

# 第 16 回 日中国際学術セミナー 論文集

## 全体テーマ

エコロジカルな地域社会の形成へ向けた

日中国際共同研究の可能性

～循環経済、再生可能エネルギー、低炭素社会、地域資源の高次利用～

実施機構：島根大学・寧夏大学国際共同研究所

島根大学  ・ 寧夏大学 

## 序

第16回日中国際学術セミナーは2018年11月17日（土）～18日（日）の2日間にわたって、島根大学で開催されました。

本年度は全体テーマを「エコロジカルな地域社会の形成へ向けた日中国際共同研究の可能性～循環経済、再生可能エネルギー、低炭素社会、地域資源の高度利用～」とし、関連する多様な分野から報告・討論を実施しました。

基調講演2本、分科会発表32本、計34本の学術発表が行われ、その報告者は、大学研究者、地方行政担当者、大学院生など様々な参加がありました。中国からは、寧夏大学から17名（うちさくらサイエンス研修団10名）、西北農林科技大学から9名が参加され、国内では島根大学（各学部、附属センター）の他、就実大学、山口大学からの参加がありました。

まず基調報告として中国における再生可能資源の効率的利用、わが国における環境・エネルギーリスクの回避について報告がありました。これらは本セミナー内容の縮図でした。中国農村では80年代より太陽光、太陽熱、農畜廃棄物の有効利用が行われてきましたが、近年その活用面で利便性資源やエネルギーへの交代が問題になっています。わが国では新エネ導入は遅れ、省エネ実行は我慢と意識されています。これらから再生資源やエネルギーについて、意識や制度・システムの転換、より効率的デバイスの開発などが同時並行的に求められます。

分科会では、一つは社会経済的側面からの報告で、制度と実社会状況・ニーズの関連性、学校教育・社会教育のセッションで、もう一つは太陽光発電の技術開発、農業・畜産における効率的資源利用の技術開発などのセッションでした。持続可能な社会に至るには、意識、制度、技術、環境など多面的な開発が必要であることが実感されました。また当研究所が担う共同研究のプラットフォームとしての役割の重要性がクローズアップされました。

本プロシーディング集は、報告の中で討論された事項について再構成・修正を加えた論文18本を集めたものです。

皆様の本報告に対するご意見をお待ちしております。また、研究所業務についてもご支援のほど、よろしくお願いいたします。

2019年3月

島根大学・寧夏大学国際共同研究所  
日本側所長 伊藤勝久

## 目次

	頁
1. 环保生物质气化炉关键技术研发及在美丽乡村的推广应用 ○李进 <sup>1</sup> 崔小青 <sup>2</sup> (1 宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室 2 宁夏阳光新能源有限公司)	1
2. エネルギー自立地域づくりの意義と可能性 ○上園昌武 (島根大学法文学部)	6
3. 丝路经济带框架下西北五省农业对外投资比较优势研究 ○魏凤 樊海灵 张建伟 (西北农林科技大学经济管理学院)	22
4. 宁夏西海固地区农村基础教育研究 ○藏志勇 (宁夏大学中日联合研究所)	30
5. MOF 衍生多孔碳实现高效电容脱盐的研究 ○郜铁 李海波 周峰 岳智帅 (宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室)	40
6. Carbon@Na <sub>4</sub> Ti <sub>9</sub> O <sub>20</sub> 核壳纳米管的制备及其脱盐性能研究 ○岳智帅 郜铁 李海波 (宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室)	48
7. 来源于 ZIF-8 的多孔碳电极在锂离子电池嵌锂脱锂过程中的容量衰减机制 ○杜英杰 郜铁 马薇 李海波 (宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室)	59
8. 氩气流速对直拉单晶硅导流筒和加热器沉积的研究 ○李岩 李进 高忙忙 高昂 (宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室)	67
9. 通过二茂铁羧酸 (-1) 与 [CuI <sub>2</sub> (μ-dppm) <sub>2</sub> ] <sup>2+</sup> (dppm = 双(二苯基膦基)甲烷) 构筑配合物用于过氧化氢传感 ○刘宽冠 王茹 单其德 严小威 (宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室)	73
10. Fabrication and Characterization of Organic Solar Cells Using a Riboflavin Derivative  ○Hitoshi Mizuno <sup>1</sup> , Ryunosuke Kondo <sup>1</sup> , Hiroki Iida <sup>2</sup> , Ichiro Hiromitsu <sup>1</sup> (1 Department of Physics and Materials Science, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 2 Department of Chemistry, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University)	87
11. 宁夏新型农村医疗保险制度研究 ○郑晓婷 (宁夏大学)	99

12.	期望目标下的宁夏农村居民生活改善与实现收入倍增难点初探 ○王锋 王旭明（宁夏大学中日联合研究所）	109
13.	中国与俄罗斯农产品贸易：动态及展望 ○徐家鹏 魏紫柏 张一珠（西北农林科技大学经济管理学院）	130
14.	Optimal Planning of EV Charging Stations Considering Environmental Benefit ○Huaping Hu Ying Chen Lie Ju Liwen Deng (Northwest A & F University)	150
15.	自動車静脈市場の発展経路に関する日中比較研究の課題 ○阿部新（山口大学）	167
16.	资源使用者异质性如何影响公共池塘资源自主治理绩效 ——以黄河灌区小型农田水利设施为例 ○朱玉春（西北农林科技大学经济管理学院）	177
17.	飼料イネ FTMR に配合するデンプン源の差異がホルスタイン種泌乳牛の乳生産成績と窒素出納に及ぼす影響 ○一戸俊義 <sup>1</sup> 宋 相憲 <sup>1</sup> 安田康明 <sup>2</sup> (1 島根大学生物資源科学部 2 島根県畜産技術センター)	194
18.	日本における環境保全型農業の成立過程と持続的展開要因についての一考察 —島根県の有機農業経営の取組みを事例に— ○谷口憲治（就実大学経営学部）	206

# 环保生物质气化炉关键技术研发及在美丽乡村的推广应用

李进<sup>1</sup> 崔小青<sup>2</sup>

(1 宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室, 2 宁夏阳光新能源有限公司)

2015年11月16日, 中国国家发改委、财政部、环保部、农业部、林业部联合下发文件(发改环资[2015]2651号), 为贯彻落实党的十八大提出的大力推进生态文明建设的战略部署, 坚持节约资源和保护环境的基本国策, 按照政府引导、市场运作、多元利用、疏堵结合、以疏为主的原则, 完善秸秆收储体系, 进一步推进秸秆肥料化、饲料化、燃料化、基料化和原料化利用, 加快推进秸秆综合利用产业化, 加大秸秆禁烧力度, 进一步落实地方政府职责, 不断提高禁烧监管水平, 促进农民增收、环境改善和农业可持续发展。力争到2020年, 全国秸秆综合利用率达到85%以上; 秸秆焚烧火点数或过火面积较2016年下降5%, 在人口集中区域、机场周边和交通干线沿线以及地方政府划定的区域内, 基本消除露天焚烧秸秆现象。

随着中国环保压力的加剧, 雾霾问题频发, 农村地区散烧煤等排放污染受到高度重视, 近年来, 根据中国节能减排政策的要求, 宁夏加大节能减排力度, 不断发展循环经济, 积极建设环境友好型和资源集约型社会并逐步加大推进力度。宁夏银川月牙湖乡是银川市奶牛养殖基地, 养殖产生的畜禽粪便存在污染环境及进一步处理的问题。宁夏拥有丰富的秸秆、葡萄枝条、芦苇草、牛羊粪等可再利用的生物质资源, 伴随着各级政府鼓励农作物剩弃物再利用政策的出台, 阳光新能源以自治区产业结构为着手点, 在兴庆区月牙湖乡建秸秆及牛羊粪压块成型燃料生产线。形成一种“农林废弃物资源化循环经济”即: 农林废弃物压块成型——生物质供热能——回收有机肥还田。公司与兴庆区政府移民产业项目合作, 在银川市兴庆区月牙湖移民新区安装1000套生物质炉, 解决贫困移民户冬季供暖问题, 研究高效清洁炉具进行炊事和采暖势在必行。

项目针对农林废弃物, 将分散、量大、堆积比小、水分高的废弃物进行收集、加工、并向工业锅炉及部分家庭用户供应生物质成型燃料, 代替燃煤使用, 既可有效减轻政府的禁止露天焚烧秸秆和养殖户牛羊粪处理的工作压力, 同时, 为秸秆及牛羊粪的资源化利用找到出路, 增加农林项目收益, 又能为锅炉企业提供新型环保燃料。通过本项目的实施, 可有效利用银川周边废弃的农作物秸秆以及树枝、畜禽粪便、木屑等资源, 实现资源有效利用, 同时解决由于秸秆的闲置、废弃造成的村容不整以及秸秆的直接燃烧造成的各类环

境污染问题，真正实现废弃资源利用、环境治理的绿色发展目标。

### 一、 研究方法及内容

**研究方法：**文献调研，了解技术发展情况、现状调查，了解现有产品技术水平；经验总结，设计、实验、改进。

**研究内容：**开发一种适应木柴、稻草、麦草、牛羊粪、棉秆、玉米秸、高粱秆、稻壳、树枝、锯末、刨花、玉米芯、花生壳等各种生物质成型燃料的生物质气化炉；实现生物质气化炉使用过程中无烟无尘、上火速度快、火力猛、排放低；研发单独便携炊事型和炊事采暖型两种产品，并在月牙湖移民新村进行使用安装。对于促进循环经济、建设生态社会、实现低碳经济具有重大意义，也是当前替偏远地区代燃煤的最佳选择。

### 二、传统生物质气化炉具存在的技术缺陷

传统生物质气化炉存在四大技术缺陷：1) 传统气化炉在燃烧的过程中，产生大量含有治癌物质的焦油给用户的身体造成无形的伤害；2.) 难点火，每次加料烟雾大，烟气熏人；3) 对原材料的密度要求较高；4) 燃烧过程中易熄火冒烟。

### 三、 开发的民用生物质清洁燃烧炉具原理

根据有机物（生物质）的热解原理如图 1 所示，使炉内的生物质在一定温度和氧气条件下充分裂解为可燃性气体，即在缺氧的环境下，利用炉内生物质点燃后产生的高温，生物质裂解为甲烷、氢气、一氧化碳等可燃气体。可燃气体通过多级自然配风预混后充分燃烧，烟尘、氮氧化物排放低，清洁可靠，节能环保。

#### 1) 氧化反应

气化剂（空气）由底部进入气化炉，与生物质原料发生氧化反应，生成  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等，同时放出热量。

#### 2) 还原反应

还原区内，来自空气中的氧气被耗尽。由于供氧不足，生物质原料的燃烧不充分，产生  $\text{CO}$ ，并放出热量。同时，来自氧化层的  $\text{CO}_2$  与生物质原料中的  $\text{C}$  发生还原反应，生成  $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_m\text{H}_n$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等。在此过程中，被加热的生物质原料也发生裂解，其中的可燃气体即挥发份从原料中析出，成为燃气的一部分。还原区中的原料因重力作用下落入氧化区。

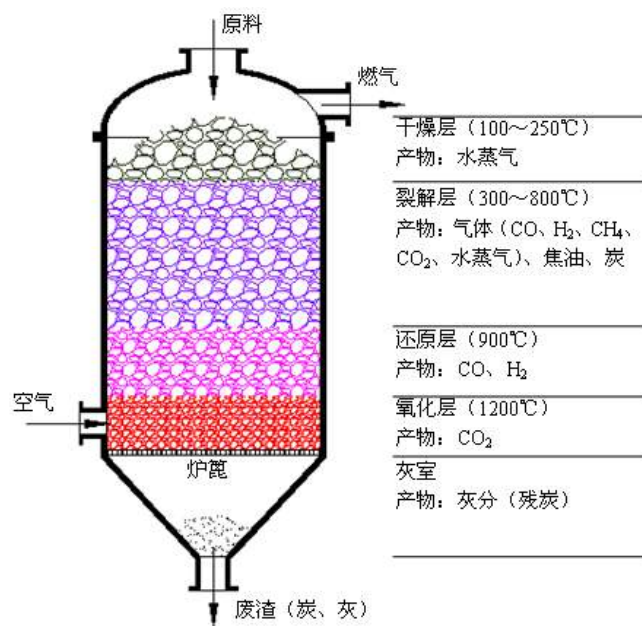


图 1: 生物质燃气产生的技术原理

### 3) 生物质原料裂解

在裂解区中的生物质原料被还原区上来的热气体加热，发生裂解反应。在此反应中，生物质中的大部分挥发分得以挥发。裂解过程的产物有炭、焦油、H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和水蒸气等，该过程需要吸热。裂解区产生的残留物因重力作用进入还原区，而产生的热气体进入干燥区。

### 4) 生物质的干燥

气化炉最上层为干燥层，加入的生物质原料被来自下方热解区的热气体加热，其中的水分蒸发为水蒸气，从而得以干燥。干燥后的物料因重力作用进入裂解区，而热气体成为燃气被引出气化炉使用。

## 四、民用生物质清洁燃烧炉工艺及特点

图 2 为 整个工艺流程图，主要采用分级送风。多级配风，清洁燃烧：无烟无尘、上火速度快、火力猛、热效率高、排放低。使生物质半气化燃烧，采用一体化设计，不需另行配置灶具，不存在堵塞、灶头故障等问题。操作简单，使用方便。使用时与传统柴灶方法一样，能持续添加燃料，亦可一次性添加或根据用量添加，并且燃料不需特殊处理。炉具占地小，即买即用，可随意摆放，使用方便。随点随用、火力大小可调。炉体采用保温隔热工艺设计，不会有烫伤危险，无安全隐患。使用时燃气预先与空气充分混合，再进行

燃烧，使燃烧进行得剧烈而充分，无任何爆炸危险。节能减排。燃料可采用一切可燃性农林废弃物；炉具采用分级燃烧方法，燃烧过程中烟尘、氮氧化物排放远低于国家排放标准，达到环保要求。

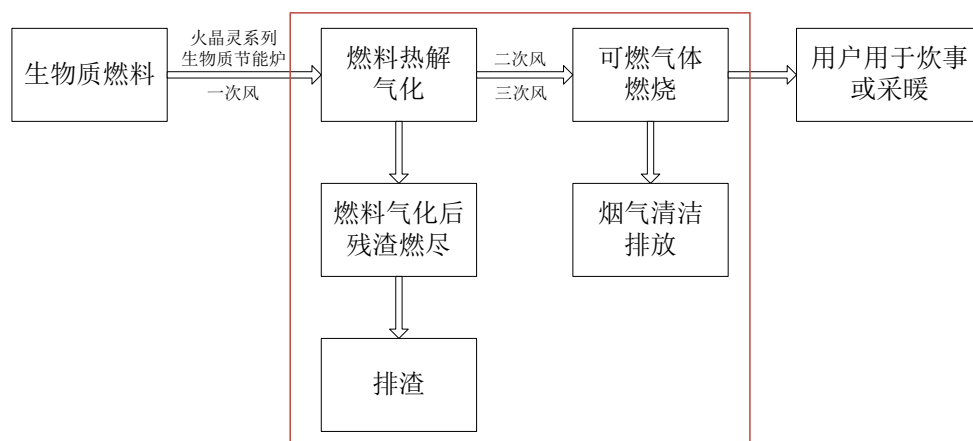


图 2：工艺流程图

## 五、价格优势

生物质汽化炉主要是在农村、乡镇等地使用。目前，中国北京等地响应国家的号召，已颁布了一系列惠农补贴政策。市场上存在的生物质颗粒燃料主要来源于小型企业的生产，由于企业规模较小、生产能力有限，因而其成本和市价价位较高。按现有工艺生产的秸秆固化成型燃料市场销售价为 400 元/t。以居民采暖为例，一个采暖季节 120 天，取暖面积按 200m<sup>2</sup>，温度达到 18℃ 的标准，约耗煤 8t，燃煤所需费用为 5200 元。而采用生物质颗粒燃料取暖，约消耗 10t，所需费用为 4000 元。随着企业大规模的生产，生产成本将会大大降低。

项目实施中建设在原料供应地，畜禽粪便、秸秆、树枝等加工原材料资源极为丰富，其所需的配料木屑等原料资源及也十分丰富，月牙湖乡及周边乡镇每年可利用的原料可达 30 万吨，可保证原料的足量供应，可最大限度的降低生产成本。即使在企业扩大规模生产时也不会很大程度上影响原材料的价格。应用后，颗粒燃料的生产成本将会降至每吨 330 元左右，使用秸秆颗粒燃料作为能源将具有较大的价格优势。这将在极大程度上刺激居民使用秸秆颗粒燃料的积极性。



## 六、产业优势

生物质汽化炉的开发和利用是国家重点支持和扶持的新型项目，可为建设社会主义新农村、保障国家能源安全、保护生态环境作出积极贡献。随着该项目的不断深入，市场的不断扩展，煤作为燃料在农村居民的炊事和取暖等方面的应用将受到政府政策的限制，将逐步退出市场，生物质汽化炉将发挥越来越重要的作用。

# エネルギー自立地域づくりの意義と可能性

上園昌武

(島根大学法文学部)

## 1. はじめに

日本社会は、3つの大きなリスクに直面している。第1に、気候変動リスクである。近年、世界各地で極端気象による災害が頻発しているが、日本では、2018年夏に観測史上最高気温の41度超えや「命にかかわる危険な暑さ」が続き、さらに各地で「経験したことがない大雨」による豪雨災害が多発した。多くの気候モデルはCO<sub>2</sub>などの大気中濃度上昇と気候変動との相関性を予測している。気候変動問題は、人類が直面する最大の環境・エネルギーリスクであることに疑いがないだろう。国際社会は、温室効果ガス（GHG）排出量を実質ゼロにする「脱炭素社会」の構築を目指している。

第2に、原発リスクである。福島第一原発事故は発生から8年が過ぎたが、未曾有の放射能汚染が今も継続し、多くの人の日常と広大な地域を犠牲にした。さらに、高レベル放射性廃棄物の処分問題は技術的・経済的に解決の糸口すら見通しが立っておらず、「トイレなきマンション」の状態である。それにも関わらず、政府は福島原発事故の教訓を生かさずに原発再稼働を推し進めている。だが、政府が唱える原発安全神話や安価神話は虚言であることが明白であるがゆえ、今も「脱原発社会」の世論が大勢を占めている。

第3に、地域衰退リスクである。東京などの一部の地域以外では、少子高齢化による人口減少と過疎化が急速に進んでおり、地域消滅の危機に晒されている。過疎高齢化問題の根本的な解決策は若者の定住であり、魅力ある職を創出し生活の質を向上させる必要がある。

これらの環境・エネルギー・地域社会のリスクを解消する方策は、エネルギー自立社会の構築である。持続可能性は、環境政策の中でも重要な理念かつ原則であるが、様々な解釈が可能である（植田、2015）。本稿では、持続可能性の観点やエネルギー自立社会の意義を踏まえ、今後のエネルギー政策のあり方について検討していきたい。

## 2. 脱炭素社会と脱原発社会の必要性

### 2-1 気候変動リスクと脱炭素社会

#### (1) 気候変動リスクへの対応

極端気象による災害や食料生産などへの悪影響が顕在化し、国際政治や経済において気候変動問題のリスク増大が懸念されている。地球温暖化の主因は、人間社会の経済活動の拡大（化石燃料の消費増加など）による温室効果ガスの排出増加であることがほぼ確実視されている。2016年に発効したパリ協定は、「産業革命以前に比べて2度より十分低く保つとともに、1.5度に抑える努力を追求すること」を目指し、今世紀後半に世界全体でCO<sub>2</sub>排出を実質ゼロにする脱炭素社会の構築に取り組むことが決められた。1.5度上昇のリスクは2度上昇に比べると、酷暑や豪雨の極端気象が少なくなり、農業・漁業生産への悪影響が減少し、気候変動の被害を受ける人が数億人少なくなると推測されている。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）によると、このままのペースで推移すれば、2030年には1.5度上昇の環境容量を超えてしまい（IPCC, 2018）、世界のCO<sub>2</sub>排出量を2030年までに2010年比で45%削減し、2050年までに正味ゼロにする必要があると指摘している（図1）。2018

年12月にポーランドで開催された国連気候変動枠組条約第24回締約国会議(COP24)では、この IPCC 報告書を踏まえて 1.5 度上昇目標について議論されたが合意には至らなかった。しかしながら、気候変動リスクの深刻さは国際政治でも共有されてきており、脱炭素社会への速やかな移行の気運が高まっている。

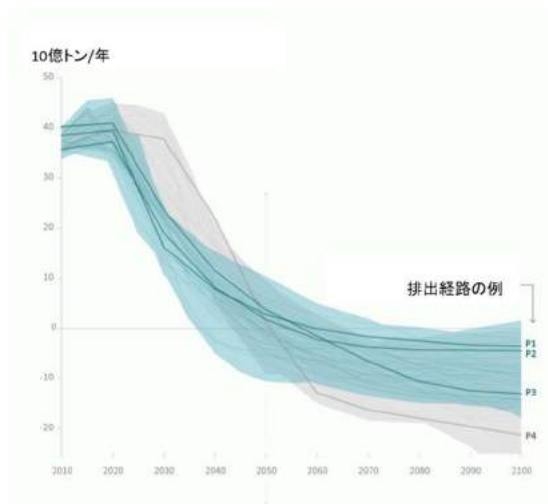


図1 1.5 度目標に向けた世界の CO<sub>2</sub> 排出経路  
(出所) IPCC (2018)

欧州連合 (EU) は、2050 年に GHG 排出量を 80~95%削減達成に向けて、2030 年に 1990 年比で 40%削減を目標に設定している。日本は、同様に 2050 年に GHG 排出量を 80%削減する目標を設定しているが、2030 年目標が 26%削減 (2013 年比) と低く、1.5 度目標や 80%削減目標の達成を担保できない。

さらに、石油などの化石燃料の高騰やエネルギー資源の有限性の問題がある。2000 年代に国際市場での石油価格が高騰し、エネルギー資源を他国に依存している国はエネルギー安全保障の脆弱性に直面している。日本のエネルギー輸入額 (原油、LNG、石炭) は 2017 年に 16 兆円であり (総輸入額 75 兆円)、毎年莫大な燃料代を海外へ支払い続けている。エネルギー価格の高騰は、エネルギー輸入に依存していれば、国民生活や経済活動に大きな打撃を与えかねない。これらの課題を同時に解消するためには、エネルギー消費を大きく減らし、再生可能エネルギー (再エネ) へ転換していくエネルギー戦略しか選択肢はないだろう。世界では、投資家が原発や化石燃料へのダイベストメント (投資撤退) を盛んに行い、Renewable Energy 100% (RE100) に加盟する企業は省エネや再エネ事業へ投資し、ビジネス界でも脱炭素社会へ大きく舵を切っている。

## (2) 地域カーボンバジェットの設定

気候変動対策は、国家目標だけではなく、地域のカーボンバジェット (炭素予算) を設定し、地域社会・経済を発展させる戦略を策定していく必要がある (上園ほか、2018)。カーボンバジェットの設定は、CO<sub>2</sub> 排出量に希少性のある資源と同等の意味をもたらすため、その分配をめぐる激しい利害対立をうむ。また、対策の遅延は将来世代に大きな負担を先延ばしにするため、カーボンバジェットには公正な倫理が求められる。例えば、排出枠の

分配に緩和や適応コストの公平性を適用すること、気候変動の悪影響とリスクを補償することなどである。

地域別のカーボンバジェットはCO<sub>2</sub>排出の上限を設定するため、工業製品の生産や貿易、農林業の育成などの産業構造、自動車などの交通体系、商業や住宅など地域構造で大規模な変革を行わざるをえない。農山村はエネルギー消費量が少なく、再エネ供給量が多いため、炭素収支が黒字になりやすい。一方で、都市は自動車交通量や人口が多く、サービス業が盛んであり、エネルギー消費が多いが、自然環境や利用可能な土地に制約があるために再エネ賦存量が少なく、炭素収支が赤字に陥りやすい。こうした都市と農山村との炭素収支のギャップを利用したカーボンオフセット（他の場所でCO<sub>2</sub>排出削減して超過分を相殺する）は、都市から人材や資金、技術を投入して農山村で再エネ事業を展開する広域連携で地域社会を発展させることも期待される。

また、エネルギー利用には3種類あり、日本全体に占める割合は熱50%、輸送燃料と電力がそれぞれ25%である。日本の再エネ普及政策は電力に偏重し、熱と輸送燃料の取り組みがほとんどない。ドイツでは、再エネの熱と輸送燃料を調達するため、電力と熱と輸送燃料をつなぐセクターカップリングが取り組まれている。再エネ電力が余剰の際には、電気自動車への充電やヒートポンプによる蓄熱で、再エネを余すことなく使って利用効率を引き上げるのである。合わせて、住宅や建築物を断熱化することで熱利用を減らしている。日本のオール電化や蓄電池は、電力の需要を増やしてしまうが、省エネ対策と、熱と輸送燃料との融通で再エネ100%を達成していく必要がある。

## 2-2 原発リスクと脱原発社会

原発は、放射能汚染による巨大なリスクを抱える技術システムである。原発のリスクは、①運転時の事故（安全な避難と日常生活の破壊）、②放射性廃棄物の処理（十万年の安全、福島原発事故の処理、核燃料サイクル）、③ウラン採掘（公害輸出）の3つに大別される。これまでに世界の原発は、スリーマイル島原発事故（1979年）やチェルノブイリ原発事故（1986年）、福島第一原発事故（2011年）の過酷事故を発生させ、広大な地域を長期間深刻な放射能汚染を引き起こしてきた。そのため、原発の事故や不祥事が起きるたびに社会での信頼が低下してきた。

政府や電力会社は、エネルギー政策について、安全性（Safety）を前提として、エネルギーの安定供給（Energy Security）、最小の経済負担（Economic Efficiency）、環境負荷の抑制（Environment）という「3E+S」を実現することが重要としている。そして、「3E」を同時に達成できるエネルギー供給方法は原発以外にないとされる。原発推進の根拠とされた「3E」は、これまでも国のエネルギー政策である「長期エネルギー需給見通し」や「エネルギー基本計画」で繰り返し述べられてきた。また、日本の原発は、安全対策が万全であり事故の発生確率が極めて低く、原発事故が発生しても多重防護システムによって安全性が確保されているという「原発安全神話」が前提とされてきた。

しかし、福島原発事故の発生によって、原発安全神話が脆くも崩れ去った。さらに原発のメリットとされた3Eはむしろデメリットとみることもできる。具体的には、①原発ゼロでも電力供給量が充分あり（2013年9月から約2年間、国内全ての原発が停止されても深刻な電力不足が起こらなかつた）、②原発事故は甚大な被害と莫大な経済損失を生みだし、原発の発電コストは高い（大島、2011）、③原発事故の放射能汚染は広域で超長期の環境被

害を引き起こした。環境破壊型で高コストの原発を使わなくても、日本の電力は十分に足りているのである。また、原発稼働の前提条件には、安全性の確保と放射性廃棄物の処理を解決しなければならないが、いずれも現状では科学・技術的に立証された解決策がみつからず、倫理上でも大きな問題を孕んでいる。実は福島原発事故以前より、①エネルギー安全保障、②原発の経済性、③環境影響、④安全性、⑤放射性廃棄物の処理については専門家の間でも見解が分かれてきた（表1）。

表1 原発を巡る主な争点

論点	メリット(原発推進派の主張)	デメリット(脱原発派の主張)
エネルギー供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 原発は電力安定供給に不可欠</li> <li>・ 石油、石炭・天然ガス、原子力という「ベストミックス」でエネルギーリスクを分散して安定供給</li> <li>・ ウラン資源は政情安定国から輸入でき、エネルギー安全保障に適う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ 原発ゼロでも電力供給は十分可能</li> <li>・ 福島原発事故以前より、東京電力などの事故隠蔽や事故発生で原発停止が相次いで停止し、エネルギー供給源として不安定</li> <li>・ ウランは枯渇性資源でいつかは消滅する電源</li> <li>・ 約2年間の原発全停止でも電力は充分足りた</li> </ul>
原発の経済性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 原発の発電コストは安い</li> <li>・ 原発事故が起きなければ他の電源に比べて発電コストが安価</li> <li>・ 原発が停止すると電気代が高くなり、企業の国際競争力が弱まる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ 原発の発電コストは高い</li> <li>・ 福島原発事故の補償や除染費用、放射性廃棄物処理費用や核燃料サイクル開発費用が莫大</li> <li>・ 英国やトルコなどへの原発輸出が撤退したとおり風力や水力発電の方が原発よりも発電コストがすでに安い</li> </ul>
環境保全	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 地球温暖化対策</li> <li>・ 発電時にCO<sub>2</sub>排出がない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ 放射能汚染は甚大な環境破壊</li> <li>・ 原発事故による放射能汚染は長期間継続する甚大な環境破壊である</li> </ul>
安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 原発を安全管理できる</li> <li>・ 徹底した安全対策で事故を防止可能</li> <li>・ 多重防護システムで放射能汚染を防止</li> <li>・ 原発事故が起きても避難計画通りに安全に避難可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ 原発を安全管理できない</li> <li>・ 完璧な安全対策はなく、事故リスクが大きい</li> <li>・ 事故は技術の欠陥だけでなく人的ミスなどでも起こるため、防止できない</li> <li>・ 避難計画通りの安全な避難は机上の空論</li> </ul>
放射性廃棄物の処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 核燃料サイクルで核のごみを減らせる</li> <li>・ 核燃料サイクルでプルトニウムを有効利用でき、放射性廃棄物を減量化</li> <li>・ 多重防護で安全に地下へ最終処分できる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ 核のごみの処分方法がない</li> <li>・ 十万元以上も核のごみを安全管理ができない</li> <li>・ 核燃料サイクルの実用化の見込みがたたず、最終処分地も未定で、核のごみは倫理的にも大問題</li> </ul>

(出所) 筆者作成

これまでのエネルギー政策の大きな問題は、原発のメリットばかりを強調してデメリットへの合理的な回答や解決方法を明示しないままに原発推進が行われてきたことである。科学・技術の進歩は豊かで利便な社会をつくってきたが、原発に代表される巨大技術システムは今や人類が制御できない生産力（生産能力）となった。全国の自治体では、脱原発を目指す条例や自治体のエネルギー計画が次々と策定された。このまま不完全な技術システムを使い続けるのか、あるいは放棄・撤退して脱原発社会を目指すのかを国民的論議で判断していく必要がある。

### 2-3 エネルギー自立地域の必要性

脱炭素・脱原発社会を実現するためには、エネルギー自立社会を構築する以外に方法はない（図2）。ドイツやスイス、オーストリアでは、エネルギー自立地域づくりが進められている（滝川、2012）。エネルギー自立とは、省エネでエネルギー需要を大きく減らし、再

生可能エネルギーで 100%エネルギーを供給することと、この省エネと再生可能エネルギー普及の取り組みが事業と雇用を創出することで、地域経済を活性化させることの2つの意味がある（図3）。

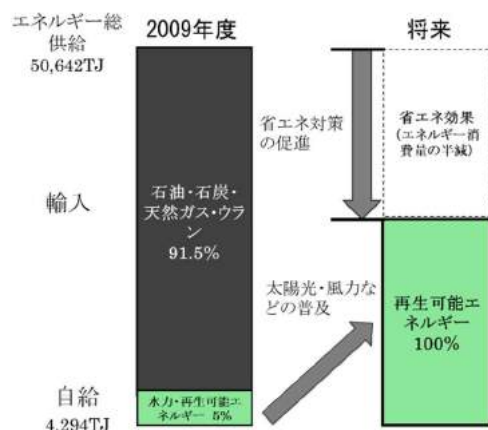


図2 エネルギー自立の概念図（島根県）

（出所）筆者作成

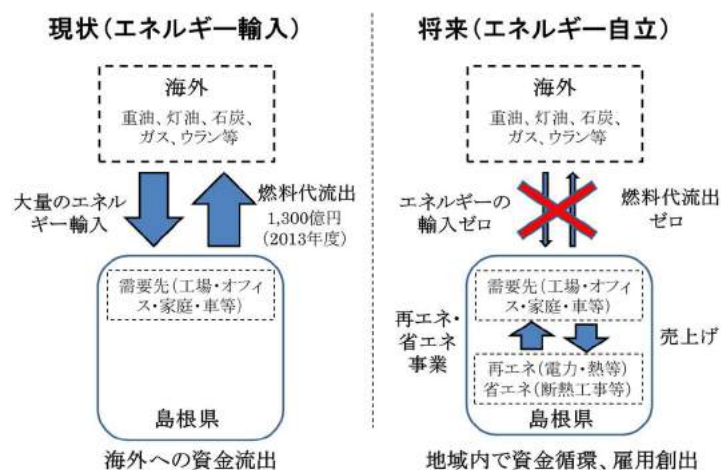


図3 エネルギー自立の経済循環

（出所）筆者作成

エネルギー自立の取り組み自体は、都市や農山村を問わずに実践可能である。だが、大都市や工業地域は膨大なエネルギーを消費するため、自治体の領域内での完全なエネルギー自給は困難であろう。そのような場合、周辺の自治体との広域連携で省エネと再エネ普及に取り組み、都市と農山村の共存を目指せばよいし、セクターカップリングの取り組みが不可欠となる。このように、エネルギー自立という概念は、全ての自治体内でエネルギー需給を完結するという意味ではなく、資源の偏在性を踏まえながら、再エネによるエネルギー自給率 100%以上を達成できる地域を増やし、やがては国全体のエネルギー完全自給に近づけていくものである。

エネルギー自立の諸効果として、①産業や雇用創出、②地域レベルでの経済発展、③一次産業の維持・発展、④過疎化・高齢化対策、⑤農山村の多面的公益機能の維持、⑥エネルギー安全保障の強化などがあげられる。これらは現行のエネルギーシステムでは十分に得られない効果である（表2）。エネルギー自立は地域社会の経済主権の確立につながる重要な取り組みともいえる。

表2 エネルギー自立地域と現行エネルギーシステムの比較

	エネルギー自立地域	現行エネルギーシステム
エネルギー需要	エネルギー消費量の大幅な削減	エネルギー消費総量は増加
エネルギー供給	再生可能エネルギー100%自給	大型火力・原子力発電
	脱原発・原発ゼロ	原発促進
	小規模分散型	大規模集中型
エネルギー安全保障	国内自給(安定)	輸入依存(脆弱)
環境問題	大きく改善(CO <sub>2</sub> ・大気汚染削減)	悪化・現状維持
経済発展パターン	内発的発展	外来型開発
政策理念	福祉重視	拡大成長重視
過疎・過密化	緩和	拡大
グローバリゼーション	緩和	拡大

(出所) 筆者作成

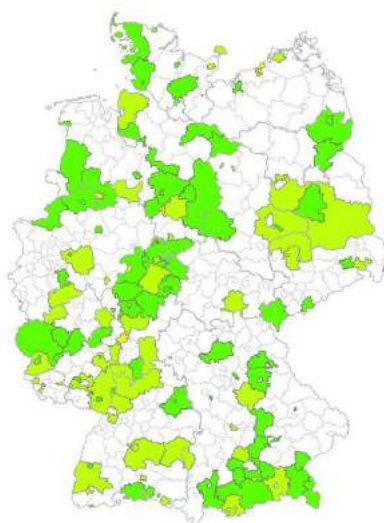


図4 ドイツの「100%再生可能エネルギー地域」(100EE)の分布図

(出所) IdE GmbH, <http://www.100-ee.de>

(注) 濃い網掛けは100EE地域(93自治体)、やや薄い網掛けは100EEスターター地域(58自治体)、薄い網掛けは100EE都市(3自治体)、白地はその他地域を示す。

ドイツでは、「100%再生可能エネルギー地域」(100ee-Region)プログラムが2007年に始まり、2017年10月現在で154自治体が参加している。参加自治体は、農山村の小規模自治体やハノーファーやフランクフルトなどの大都市も名前を連ねており、参加自治体の総人口は2500万人を超え、総面積は国土の3割を占めている(図4)。「100%再生可能エ

エネルギー地域」プログラムでは、目標の妥当性、行動計画のビジョンの質、省エネ改修プログラムの有無など 29 項目で自治体の取り組みが評価され、進行度の高い自治体が表彰される。このプログラムは、自治体を専門的に助言してエネルギー政策の品質を管理することでエネルギー自立を促し、先進的な取り組みを拡げて国のエネルギーシステムを変革することを目的としている。このプログラムの特徴は、機械設備の設置のための助成金を与えるのではなく、エネルギー変革を社会運動として取り組むところにある。

このようにエネルギー自立社会は、再エネ 100%や脱原発を実現することにとどまらず、様々な効果を楽しんでいく地域づくりである。日本において、エネルギー自立社会を目指す重要なポイントは、地域経済の重視と生活の質の向上であり、次節以降で検討していきたい。

### 3. 地域経済循環の重視

#### 3-1 原発は地域社会を衰退させている

原発は地域社会を発展させると宣伝されてきたが、原発稼働後の人口は減少している自治体の方が多い（表 3）。2010 年の大熊町、富岡町、東海村、敦賀市、旧浜岡町、旧川内市の人口は、1975 年比では増加しているが、2000 年比では大熊町と東海村以外全てが減少している。旧石巻市と旧柏崎市の人口増加は、仙台市と新潟市とのベッドタウン化の影響が大きい。日本創成会議のレポートによると、2040 年の人口予測では、原発立地 17 自治体のうち 12 が「消滅」するという。

表 3 原発立地自治体の人口推移

事業者	原発名	所在地		人口(人)			人口変化率(%)	
		道府県	市町村	1975年	2000年	2010年	2010/2000年	2010/1975年
北海道電力	泊	北海道	泊村	3,031	2,040	1,883	-7.7%	-37.9%
東北電力・東京電力	東通	青森	東通村	10,174	7,975	7,252	-9.1%	-28.7%
東北電力	女川	宮城	女川町	16,945	11,814	10,051	-14.9%	-40.7%
			旧石巻市	80,833	119,818	112,683	-6.0%	39.4%
東京電力	福島第一	福島	双葉町	7,602	7,647	6,932	-9.4%	-8.8%
			大熊町	8,190	10,803	11,515	6.6%	40.6%
	福島第二	福島	富岡町	12,770	16,173	16,001	-1.1%	25.3%
			楢葉町	7,884	8,380	7,700	-8.1%	-2.3%
	柏崎刈羽	新潟	旧柏崎市	31,915	88,418	83,587	-5.5%	161.9%
			刈羽村	5,139	5,028	4,800	-4.5%	-6.6%
日本原子力発電	東海第二	茨城	東海村	25,151	34,333	37,438	9.0%	48.9%
	敦賀	福井	敦賀市	60,205	68,145	67,760	-0.6%	12.5%
中部電力	浜岡	静岡	旧浜岡町	18,621	24,490	23,954	-2.2%	28.6%
関西電力	高浜	福井	高浜町	11,577	12,119	11,062	-8.7%	-4.4%
	大飯		旧大飯町	6,055	7,032	6,046	-14.0%	-0.1%
	美浜		美浜町	13,092	11,630	10,563	-9.2%	-19.3%
北陸電力	志賀	石川	旧志賀町	17,407	15,681	14,153	-9.7%	-18.7%
中国電力	島根	島根	旧鹿島町	9,184	8,414	7,761	-7.8%	-15.5%
四国電力	伊方	愛媛	旧伊方町	8,965	6,569	5,553	-15.5%	-38.1%
九州電力	玄海	佐賀	玄海町	7,427	6,986	6,379	-8.7%	-14.1%
	川内	鹿児島	旧川内市	61,788	73,236	71,917	-1.8%	16.4%

(注) 旧石巻市、旧柏崎市、旧浜岡町、旧大飯町、旧志賀町、旧鹿島町、旧伊方町、旧川内市は平成の合併前の人口を示している。

(出所) 総務省統計局「国勢調査」(1975年・2000年・2010年版)より作成



島根原発立地の旧鹿島町と隣接する旧島根町は過疎高齢化が著しい（図 5・6）。旧鹿島町は人口が 1970 年比で 26%減少し、高齢化率が 35%に達している。旧島根町は人口が 1970 年比で 32%減少し、高齢化率が 40%と深刻な状況である。その要因として、旧町内では仕事がないため、旧松江市や県外に若者が流出したと推察される。



図 5 旧鹿島町と旧島根町の人口推移

(出所)「国勢調査」をもとに筆者作成

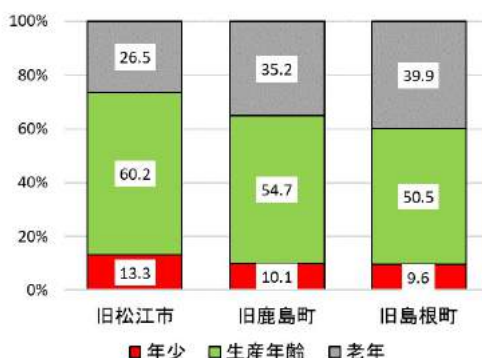


図 6 旧鹿島町と旧島根町の高齢化率

(出所)「国勢調査」をもとに筆者作成

原発は高度な技術が必要であり、部品はよそで製造されて現地で組み立てるだけである。原発は建設や定期検査時に土木関連の仕事が生まれ、その労働者の受け入れで賃貸アパートや旅館、飲食業、タクシーの売上げは伸びるが、立地地域に先進技術をもつ工場や企業が新規進出しないため、原発関連事業の地域への経済波及効果が乏しい。原発集積の福井県でさえ、飲食・宿泊など一部の産業以外への波及効果が乏しいことが明らかになっている。むしろ、農業や漁業などの地場産業が衰退するため、労働人口が流出して過疎・高齢化が進む悪循環に陥っている（図 7）。

また、原発立地自治体は、国から巨額の前払交付金を受け取る利権構造に依存しているが、こうした税財政システムは日本以外に存在しない。その理由は、甚大なリスクをもつ迷惑施設をカネで誘導することが利益相反であり、民主主義の根幹に関わる倫理上の問題と認識されているからである。実際に日本の状況を見れば、原発マネーへの依存が自

自治体財政の自立を妨げ、健全な地方自治や住民サービスを阻害し、原発拒否を事実上不可能にしている。

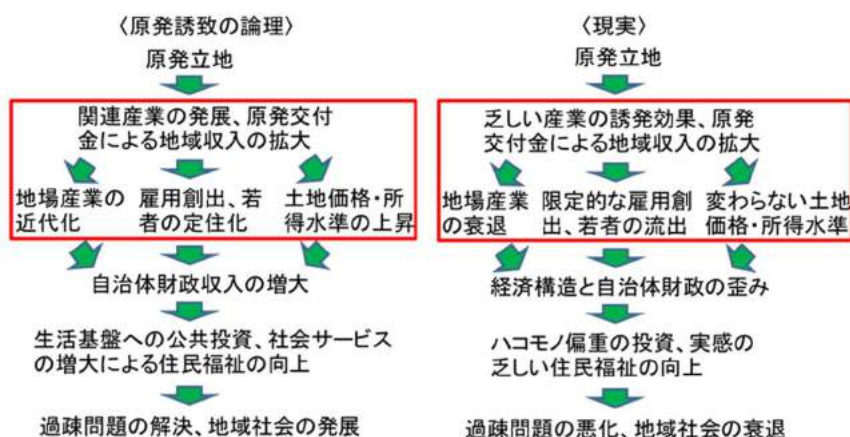


図7 島根原発と地域社会の衰退（現実）

（出所）筆者作成

原発立地自治体は、原発リスクと引き替えに原発マネーを受け取っているが、住民の安全や地域経済の自立を犠牲にしており、地方自治と相反する関係にある。こうした状況は、石炭火力発電所でも同様であり、大規模集中型のエネルギーシステムに共通する問題とみることができるだろう。

### 3-2 再エネ事業は地域社会を発展させる

エネルギー自立社会は、火力発電や原発を廃止して再エネへ転換していくことが求められる。世界では、再エネが急激に増加し続けており、その流れが変わることはない。

日本では、再エネ固定価格買取制度（2012年）の施行によって、再エネ電力（大規模水力を除く）が総発電量に占める割合は、2011年の2%から2016年の8%へと増加した。しかし、大規模風力発電所やメガソーラー、大型木質バイオマス発電所が各地で設置された結果、地域住民との紛争、木質バイオマス資源の争奪やヤシがらの輸入（PKS）などの問題が発生している。これらの大規模な再エネ事業は、東京などの大資本が設置・運営するため、利益の大半が域外に流出してしまい、高度経済成長期の外来型開発と同じ弊害を生み出している。むしろ小規模でも、地元事業者や地域社会が出資・運営する地域協働型エネルギー事業は地域紛争を回避し、地域経済循環が高くなるというメリットをもつことが国内外の事例でも明らかになっている。こうしたメリットは地域分散型エネルギー社会に移行する上で極めて重要であり、事業の形態や実施主体によって大きく左右する（大島・高橋、2016）。

再エネ事業は、電源やエネルギー種別によって地域付加価値が大きく異なる。経済波及効果の研究は、国レベルでは豊富に存在するが、市町村レベルでは世界でもほとんど行われていない。その要因として、産業連関分析は国や広域レベルでデータが集められるため、トップダウンで小単位の市町村レベルに限定するとデータの精度が粗くなることや、産業連関表の基本表のデータが古くなるという問題点が指摘されている（ラウパッハほか、2015）。

ドイツでは、エコロジー経済研究所（IÖW）が地域付加価値モデルを開発し、再エネ事業の地域付加価値を定量的に試算している（Heinbach et al. 2014）。このバリュー・チェーン（付加価値連鎖）分析は、再エネ事業において、①システム製造（風力発電機の製造など）、②計画・導入（送電網接続や資金集めなど）、③運転・維持（サービスや保険など）④システム・オペレーター（利益や関連税）という4段階で発生する事業活動の付加価値を積み上げて評価するものである。

このモデルを使って30の再エネ技術（太陽光発電、太陽熱、バイオ燃料など）による人口7.5万人の自治体の地域付加価値を試算したところ（2012年単年）、税引後の雇用者所得500万ユーロ、税引後の企業利益520万ユーロ、地方税収120万ユーロ、合計1140万ユーロの純付加価値とフルタイム雇用者数162名が生み出された（Prahl, 2014）。付加価値の内訳は、①システム製造31%（全体の割合）、②計画・導入12%、③運転・維持24%、④システム・オペレーター34%となっている。エネルギー別の付加価値は、太陽光発電と風力発電が4つの段階全体で最も高いが、③運転・維持では木質燃料とバイオ燃料が高く、④システム・オペレーターではバイオエネルギーと水力が高くなっている。再エネ事業は、こうした特性を踏まえて展開していく必要がある。

#### 4. 生活の質の向上とエネルギー貧困問題の解消

##### 4-1 気候変動対策は生活の質を向上させる

日本の気候変動対策は、ポジティブな観点を十分に踏まえてこなかったという問題がある。その代表例は、気候変動対策と生活の質との関係である。世界79カ国の市民一人への意識調査で、「あなたにとって、気候変動対策はどのようなものか」と尋ねたところ（図8）、世界全体の66%が「生活の質を高める」、27%が「生活の質を脅かす」と肯定的に回答した。それとは対照的に、日本人の60%が「生活の質を脅かす」、17%が「生活の質を高める」と否定的に回答した。

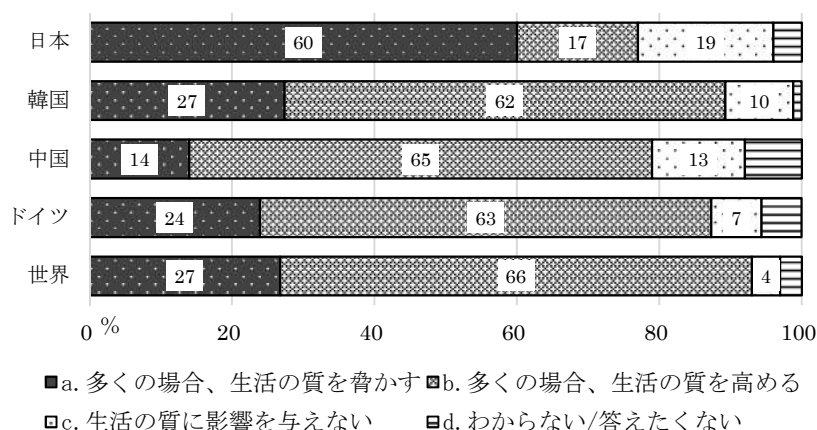


図8 気候変動対策は生活の質にどのような影響を与えるか

（出所）WWViews (2015)

この違いはどこに原因があるのだろうか。おそらく日本人の大多数は、省エネや節電と聞くと、暖房の設定温度を低く、冷房の設定温度を高く設定し、シャワーの時間を短くするなど、我慢を強いる個人の「努力」を思い浮かべるだろう。それに対して、欧州では省

エネは住宅の断熱化によって暖房の消費量とともに光熱費を削減し、冬の温かい住環境を思い浮かべるのだろう（図9）。日本とは異なり、苦役や不快を強いるのではなく、生活の質を引き上げる魅力的な取り組みと認識されている。具体例として、保育園の建物は分厚い断熱材と三重窓で断熱化されるだけでなく、化学塗料や化学製品を用いないで無垢材などの自然の素材で作られ、周りにはビオトープがあり、自然と触れあう安全な環境で子育てができる。欧州には、このような生活をより豊かにしていく派生した事例が無数に存在する。



図9 ゼロエネルギー住宅の諸効果

#### 4-2 エネルギー貧困問題の解消

経済格差の進行は、低所得者層をエネルギー貧困や燃料貧困（電気やガスなどの近代的なエネルギーを利用できない状態）に陥れている（上園、2017）。現代社会において、生活の質が保障されて健康的な日常生活を営むためには近代的なエネルギーの利用が欠かせない。ボーダーマンは、「誰もが、暖かさや温水、照明などの必須のエネルギーサービスを提供するために燃料を購入する必要がある。これらは嗜好的な購入ではなく、必需品である」（Boardman, 2010, p. 48）と指摘している。

先進国では、エネルギーインフラが整備されており、光熱費さえ支払えば誰にでも利用できる。しかし、近年のエネルギー価格の上昇や経済格差の拡大によって、その費用が家計を圧迫して暖房などを十分に使えない世帯が増加し、先進国でもエネルギー貧困が悪化している。寒冷地では冬に暖房が使えなければ、健康的な生活を営めない。

英国の「燃料貧困戦略（Fuel Poverty Strategy）」（2001年）において、「暖房で適正な室温を維持するために、世帯収入の10%以上を費やさなければならない家庭」と規定された。すなわち、燃料貧困とは、冬期に暖房を十分に利用できずに健康的な生活を営めず（目安として日中に居間で21度、他の居室で18度）、家計支出で大きな負担を強いられて日常生活で支障をきたす状況である。2009年の推計によると、北アイルランドで44%、スコットランドで33%の世帯が燃料貧困状態にあり（Liddell et al., 2012, p. 30）、英国全体で450万人にのぼる（Department of Energy & Climate Change, 2015, p. 76）。

EU全体では、5000万人から1億2500万人がエネルギー貧困の状態と推計されている（EPEE, 2009）。ドイツの所得階層別の世帯平均純収入（月平均）に占める電気代の割合をみると、2012年の最も所得の低い10%世帯は7.0%であるのに対して、最も所得の高い10%世帯は1.2%に過ぎず、逆進性を示している（図10）。月あたりの世帯平均純収入をみると、最も所得の低い10%世帯は774ユーロ（約10万円）であるのに対して、最も所得の高い10%は6,455ユーロ（約84万円）である。電気代の他に暖房費やガスなどを合わせた光

熱費全体が10%を超える世帯が相当いる。エネルギー貧困世帯の特徴は、劣悪な断熱性能の古い住宅に住み、大半が低所得の高齢者や失業者など社会的弱者である。

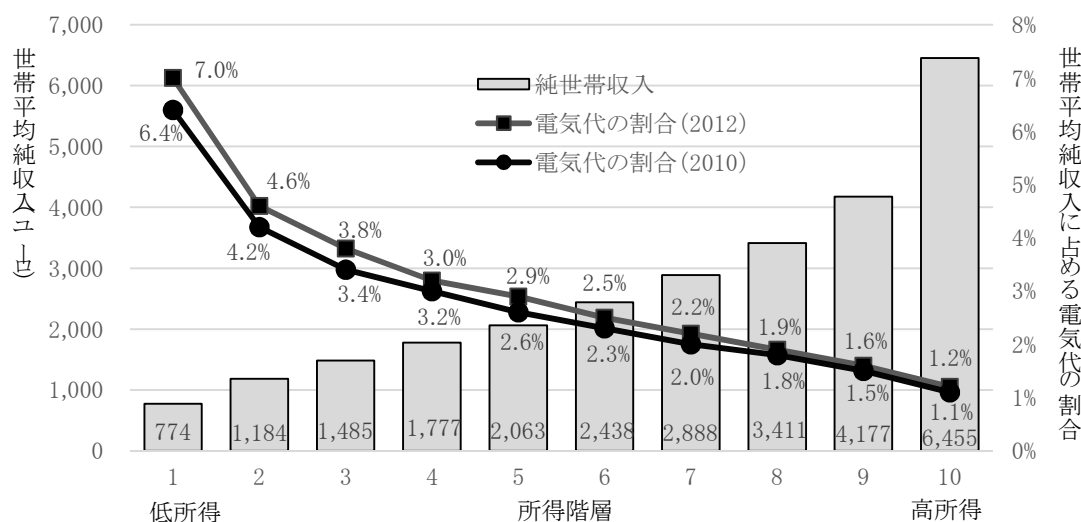


図10 ドイツの所得階層別の世帯平均純収入に占める電気代の割合

(出所) Seifried et al. (2015), p. 468.

こうしたエネルギー貧困や燃料貧困は、基本的な人権を脅かすものであり、社会的正義や公平性の問題として認識される必要がある (Walker & Day, 2012 ; Sovacool & Dworkin, 2015 ; Jenkinsa et al., 2016)。日本は、断熱性能が先進国の中でも劣悪であり、大量の暖房なしには冬の寒さをしのげない家屋が圧倒的に多く、エネルギー浪費と生活の質の貧弱性を社会問題として改善していくべきである。例えば、アパートの断熱化を家主に義務づけ、省エネ機器の購入サポートなど社会構造的な取り組みが求められる。

## 5. 中間支援組織を活かしたエネルギー自立地域づくり

再エネ事業は農林業と親和性が強い傾向にある。再エネ資源は自然が豊かで土地制約の緩い農山村に豊富に存在するが、都市部とは異なり、再エネ事業を展開できる人材と資本力が乏しく、地方自治体に専門職員が不在であることが多い。つまり、小規模分散型のエネルギーシステムを定着させていくためには、脆弱な地方の事業主体を育成していくことが不可欠である。

ドイツやオーストリアの事例をみると、地域協働型エネルギー事業を支えるためには、エネルギー事業の質保証 (e5 や欧州エネルギー・アワードなど)、公正で中立的なエネルギー・エージェンシー (省エネや再エネ促進の公営企業)、事業計画の調査や設計に関わるエネルギーコンサルタントなどの中間支援組織との協働システムが不可欠である (的場ほか, 2018)。また、地方自治や熟議民主主義が根ざさないと、経済・環境・社会を視座にした地域エネルギー・ガバナンスが有効に機能しない (図11)。

オーストリアでは、気候エネルギー基金 (Klima und Energiefonds : 以下、基金と略す) は、持続可能で気候変動緩和のエネルギーシステムを構築するために、連邦政府が共同出資して2007年に設立された。主な課題は、エネルギー生産性の向上、再エネの割合を高めたエネルギーシステムへの移行、環境保全型の社会と経済への転換、気候変動の適応と緩



和戦略の開発である (Koepl et al., 2013)。基金は、エネルギー自立地域をサポートする気候エネルギーモデル地域 (Klima und Energie Modellregionen) の事務局でもある。気候エネルギーモデル地域には 811 自治体・91 地域 (人口 230 万人) が参加し、気候変動対策プロジェクトに取り組んでいる (図 12)。モデル地域は小規模単位とされ、数百から数千人の自治体が広域地域を形成するが、最大人口が 6 万人に抑えられている。各モデル地域は、キーパーソンの役割を担う地域マネージャーを 1 名雇用できる。モデル地域は地域コンセプト (地域の環境エネルギー戦略) を作成することが求められ、エネルギー需給構造や CO<sub>2</sub> 排出量などの現状分析を踏まえて将来ビジョンを展望しなければならない。プロジェクトが成功するための要素として、実施コンセプト (潜在可能性を踏まえた目標や計画の策定)、地域の推進力 (行動計画のキーパーソン)、地域の発展プロセスへの統合 (地域経済、自治体、市民の協働) の 3 つが重要ポイントとされており (Climate and Energy Fund, 2018)、気候エネルギーモデル地域はこれらを重点的に支援している

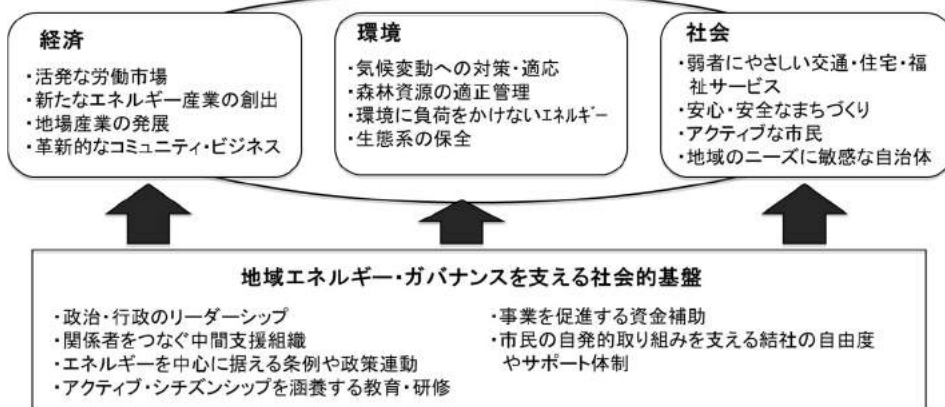


図 11 エネルギー・ガバナンスを支える社会的基盤

(出所) 的場ほか (2018)

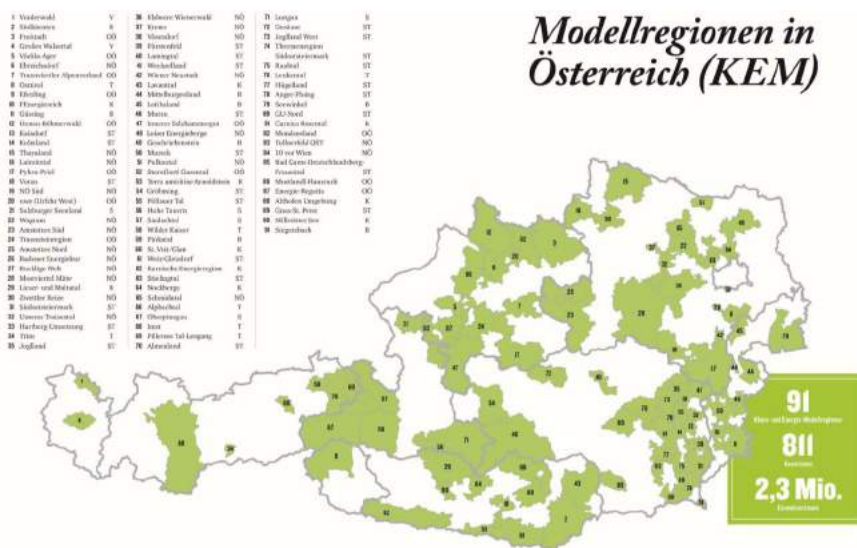


図 12 気候エネルギーモデル地域の分布図

(注) 網掛け部分は 91 ヶ所の気候エネルギーモデル地域を示す。

(出所) 気候エネルギー基金でのヒアリング調査資料 (2017 年 8 月 30 日)

気候エネルギーモデル地域に選定されたプロジェクトは3段階で実施される。第1段階で、重要なステークホルダーの関与のもとで実施コンセプトを開発する。第2段階で、地域マネージャーは様々な資金を得て2年間ノウハウを提供する。第3段階で、再エネと省エネプロジェクトへ資金を支援する。第1・2段階での最大資金額は14.5万ユーロである。マネージャーは、地域で少なくとも年2回のネットワーキングとトレーニングのイベントを開催し、担当地域のエネルギーモニタリングを実施し、エネルギー需給の実態データを作成することが求められる。ただし、エネルギー調査は専門企業の協力が不可欠であり、Energy Change 社や地域エネルギー・エージェンシーなどが多くの自治体で業務を請け負っている。

各モデル地域に対して、3年間で最大20万ユーロに加えて5万ユーロが助成され、人件費と活動費として賄われている（人件費は3~4万ユーロ程度）。人件費は基金から50%相当（週20時間）が支払われている。モデル地域に認定されると、自治体は有利な助成プログラム（太陽光発電、太陽熱温水器、建築物の断熱化、バイオマス利用など）を活用できるインセンティブがある。そのため、地域マネージャーは様々な助成金を使いこなすことと、e5や欧州エネルギー・アワードなどに基づくプロジェクトの品質管理システムの実施が求められる。また、マネージャーは大勢のステークホルダーや住民と交渉・説明し、柔軟で高いコミュニケーション能力も求められる。国内の91人の地域マネージャーは年に3回の研修において、経験交流や外部講師による勉強会に参加することになっている。こうした交流の場は相互のマネージャーや多様な関係者との人的ネットワークを構築するとともに、マネージャーの能力育成にもつながっている。

このように中間支援組織に求められる主な役割として、地域主体による事業計画の策定・運用、地域経済循環を重視した事業づくり、適正な環境アセスメントの実施、土地開発へのゾーニング規制などへの助言やコーディネートがある。日本では、中間支援組織を育成していくことが環境・エネルギー政策の課題であり、地域協働型エネルギー事業を推進するカギとなる。

## 6. おわりに

日本には、環境・エネルギー政策と呼べるものは存在しないと言っても過言ではない。現行のエネルギー政策は、気候変動問題や福島原発事故の被害やリスクが突きつけられても、2030年のエネルギー計画で原発や化石燃料依存から何も変わっていない。これは、資本主義経済の問題だけではなく、民主主義社会や政治システムの問題にも根ざしており、政治経済学の観点で事態を捉えなければならない。

環境・エネルギー・社会のリスクを回避するためには、持続可能性、生活の質の向上、地域経済の活性化、社会的な公正や正義という視点を踏まえ、エネルギー自立地域づくりに取り組んでいく必要がある。しかし、持続可能な発展目標（SDGs）の最重要課題は貧困問題であるが、日本ではエネルギー貧困問題がほとんど注目されず、また、生活の質の向上や地域経済循環というメリットも重視されていない。そして、日本の環境政策が立ち後れている背景には、被害の未然防止とリスク回避という倫理的規範が機能していないことも関係している。

エネルギー自立社会では、各地で地域協働型エネルギー事業が展開されることになるが、そこでは自治体やコミュニティの関与が極めて重要である。日本では、エネルギー政策は

“国策”とみなされてきたが、“住民自治”に基づく地域づくりと捉え直す必要がある。自治体は、地域課題の解決に向けた地域社会の理想的な将来像を描き、政策理念や目的・目標を策定しなければならない。それを実践するために、住民やコミュニティとのコミュニケーションを介していくことが求められる。そして、地方でエネルギー事業や地域政策を企画・運営していくために、中間支援組織によるサポートが欠かせない。脱炭素・脱原発社会の構築に向けたエネルギー自立地域づくりは、中央集権型政治・経済システムから地方分散型への転換、グローバル化からローカリゼーションへの転換を促すことが期待される。

#### 【付記】

本稿は、上園（2016a）・上園（2016b）・上園（2017）・上園（2019）・上園ほか（2016）・上園ほか（2018）を大幅に改稿したものである。

#### 参考文献

- 上園昌武（2016a）「ドイツにおけるエネルギー自立地域づくりの実態と諸効果」『経済科学論集』第42号
- 上園昌武（2016b）「地域分散型エネルギーシステムがもたらす新しい社会」大島堅一・高橋洋編『地域分散型エネルギーシステム』日本評論社
- 上園昌武（2017）「地球温暖化対策とエネルギー貧困対策の政策統合—ドイツの省エネ診断制度を事例に」『経済科学論集』第43号
- 上園昌武（2019）「環境・エネルギー問題で問われる資本主義」『経済』第284号
- 上園昌武・菊池慶之・片岡佳美・吹野卓・関耕平・伊藤勝久（2016）『島根の原発・エネルギー問題を問いなおす』今井出版
- 上園昌武・近江貴治・山岸尚之（2018）「低炭素発展戦略とカーボンバジェット」日本環境学会第44回研究発表会
- 植田和弘（2015）「持続可能な発展論」亀山康子・森晶寿編『グローバル社会は持続可能か』岩波書店
- 大島堅一（2011）『原発のコスト—エネルギー転換への視点』岩波新書
- 大島堅一・高橋洋編（2016）『地域分散型エネルギーシステム』日本評論社
- 滝川薫編（2012）『欧州におけるエネルギー自立地域』学芸出版社
- 的場信敬・平岡俊一・豊田陽介・木原浩貴（2018）『エネルギーガバナンス—地域の政策・事業を支える社会的基盤』学芸出版社
- ラウパッハ・スミヤ・ヨーク・中山啄夫・諸富徹（2015）「再生可能エネルギーが日本の地域にもたらす経済効果」諸富徹編著『再生可能エネルギーと地域再生』日本評論社

Boardman B. (2010), *Fixing Fuel Poverty: Challenges and Solutions*, Earthcan.

Climate and Energy Fund (2018), *Climate and Energy Model Regions - An Austrian blueprint for a successful bottom-up approach in the field of climate change and energy*.

Department of Energy & Climate Change, UK (2015), *Annual fuel poverty statistics report 2015*.



- European Fuel Poverty and Energy Efficiency (EPEE) (2009), Tackling Fuel Poverty in Europe: Recommendations Guide for Policy Makers.
- IPCC (2018), Global Warming of 1.5 °C.
- Heinbach K., et al. (2014), Renewable energies and their impact on local value added and employment, *Energy, Sustainability and Society*, 2014, 4:1
- Jenkinsa k., McCauleya D., Heffronb R., Stephanc H. & Rehnera R. (2016), Energy justice: A conceptual review, *Energy Research & Social Science*, vol.11, pp.174-182.
- Koepl A., etc. (2013), The Austrian Climate Change and Energy Fund: Promoter of Structural Change in Energy Efficiency and Climate Protection, Expert Advisory Board of the Austrian Climate Change and Energy Fund.
- Liddell, C., Morris C., McKenzie S. & Rae G. (2012), 'Measuring and monitoring fuel poverty in the UK: National and regional perspectives', *Energy Policy*, vol.49, pp.27-32.
- Prahl A. (2014), Renewable energies' impact on value added and employment in Germany -Model results for 2012, Community Power Conference February 2014, Fukushima
- Seifried D. & Albert-Seifried S. (2015), Stromspar-check for low-income households, ECEEE 2015 Summer Study Proceedings, pp.467-476.
- Sovacool B. & Dworkin M. (2015), Energy justice: Conceptual insights and practical applications, *Applied Energy*, vol.142, pp.435-444.
- Walker G. & Day D. (2012), Fuel poverty as injustice: Integrating distribution, recognition and procedure in the struggle for affordable warmth, *Energy Policy*, vol.49, pp.69-75.
- World Wide Views on Climate and Energy (2015), WWVIEWS Result Report. <http://climateandenergy.wvviews.org/publications/>

# 丝路经济带框架下西北五省农业对外投资比较优势研究

——基于熵权法的综合分析

魏凤 樊海灵 张建伟

(西北农林科技大学经济管理学院)

**内容摘要:** 农业对外投资是多因素比较优势综合作用的结果。从农业劳动力、资源、技术、资本、市场需求、政策支持 6 方面构建农业对外投资综合比较优势评价模型,运用熵权法,对西北五省农业对外投资比较优势进行了综合衡量。研究表明:陕西省农业对外投资综合比较优势最强,其次是新疆、甘肃、宁夏,青海最弱。同时结构分析发现各省具体优势差异大,陕西的劳动力、技术、资本、市场需求优势最强,政策扶持力度最弱;新疆的资源、政策扶持优势最强,市场需求优势最弱;甘肃在劳动力、技术、市场需求方面优势较强,资源优势最弱;宁夏除了资源和政策扶持优势较强,其他方面优势不明显;青海各方面优势均不明显。

**关键词:** 西北五省; 农业对外投资; 比较优势; 丝绸之路经济带

## The Comprehensive Comparative Advantage Analysis of Foreign Agricultural Investment of the Five Northwestern Provinces of China under the Framework of the Silk Road Economic Belt Based on the Entropy Weight Method

WEI Feng, FAN Hai-ling, ZHANG Jian-wei

(School of Economic&Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Foreign agricultural investment is the result of the combined action of comparative advantage of multiple factors. Using the entropy weight method, this paper established a comprehensive evaluation model from six aspects agricultural labor force, resources, technology, capital, market demand, policy support to analyze the foreign agricultural investment's comparative advantage of the five northwestern provinces of China. Research showed that comprehensive comparative advantage of foreign agriculture investment of Shaanxi Province is the strongest, followed by Xinjiang, Gansu, Ningxia, Qinghai is the weakest. The structure analysis found that the five northwestern provinces' specific advantages are different. Shaanxi's advantages in labor, technology, capital, market demand were the strongest, but its policy support were the weakest. Xinjiang's advantages in resources, policy support were the strongest and the market demand were the weakest. Gansu had advantages in labor, technology, market demand, but the resource advantage is the weakest. Ningxia's other advantage were not obvious except resources and policy support. The six aspects of advantages for Qinghai were not obvious.

**Key words:** five northwestern provinces; foreign agricultural investment; comprehensive comparative advantage; Silk Road Economic Belt

---

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(71673222); 教育部人文社科基金项目(15XJA790005); 陕西省软科学项目(2016KRM025); 杨凌示范区科技计划项目。

**作者简介:** 魏凤(1965-), 女, 西北农林科技大学教授, 博士生导师, 从事农业经济管理研究; 樊海灵(1991-), 女(壮), 西北农林科技大学硕士研究生, 从事农业经济管理研究; 张建伟(1990-), 男, 西北农林科技大学硕士研究生, 从事农村金融。

丝绸之路经济带建设为开展农业领域国际产能合作提供了新契机，国内外对丝路沿线国家多领域多形式合作进行了探讨，扩大农业对外投资是丝路经济带建设的重要内容<sup>[1]</sup>。西北五省是丝路经济带建设的核心区域，国家对这一区域的产能合作高度关注，加强与丝路沿线国家农业投资合作有助于完善区域农产品供应链，保障粮食安全，同时有利于调整农业产业结构，降低企业生产成本，提高企业国际竞争力。西北地区自然资源富集，劳动力资源丰富，发展特色农产品产业优势明显。因此加大西北地区农业对外投资是政策驱动的必然性和发展经济的必要性。我国农业对外投资起步晚，农业投资仍处于初级阶段，西北五省投资规模和质量较东部仍存在明显差距，对外投资基础相对较弱，但农业资源丰富、与丝路沿线国家尤其中亚五国宗教文化信仰和农产品需求结构极为相似、地理毗邻等使其农业对外投资有独特优势。然而，目前西北农业对外投资项目少、规模小、层次低，主要原因是对西北农业对外投资比较优势不明确，缺乏对外农业投资的理论依据。亟需明确丝路经济带建设背景下西北各省农业对外投资的比较优势，为促进西北地区农业对外投资提供理论和实证依据。

### 一、文献回顾

中外学者对对外直接投资的依据、动因、发展中国家对外投资的理论基础及我国对外投资的优势进行了较多的分析，并形成了一定的理论体系。比较优势理论是开展对外直接投资活动的主要依据，通过对外投资进行要素转移或重组，以规避产业发展劣势，优化产业结构<sup>[2]</sup>。小岛清从动态比较优势角度分析日本公司跨国直接投资活动，区别于美国跨国公司利用其垄断优势进行对外直接投资且集中在大型的制造业企业，日本对外直接投资以中小企业为主体，投资主要集中在经济发展水平较低的资源开发工业或劳动力密集工业，他认为对外直接投资应该从本国具有或趋向处于比较劣势的行业开始<sup>[3]</sup>。Hymer S. H. 将对外直接投资归因于跨国公司存在的技术、管理、信息等垄断优势，而 Dunning 的 OIL 范式认为所有权优势、内部化优势、区位优势是跨国公司实现对外直接投资的条件<sup>[4-5]</sup>。传统的理论多从发达国家出发且认为发展中国家对外投资处于劣势，对外投资优势不明显。全球化趋势下，发展中国家经济水平和技术水平有了迅猛增长，学者们开始从技术创新和技术积累、发展阶段理论等解释发展中国家对外投资活动。发展中国家通过学习型投资获取发达国家的先进技术和管理技能，当技术积累到与同期发达国家的技术差距缩小到一定程度时，发展中国家转向发达国家投资<sup>[6]</sup>。威尔斯的小规模技术理论则认为发展中国家的跨国企业在比本国更不发达的国家进行投资有独特优势，即小规模企业与当地市场更匹配<sup>[7]</sup>。我国对外直接投资的比较优势体现在资本、人才、技术、政策等方面，已具备大规模发展对外直接投资的基础条件<sup>[8]</sup>。

关于我国农业对外投资的研究主要集中在农业投资的现状、农业投资潜力、农业投资优势。随着“三农”投入总量和比重不断提高，大量资本流入农业，国内资本过剩促使农业对外投资发展迅速，投资领域不断扩大，但仍面临企业自身条件弱、国内体制障碍及东道国环境制约等一系列不利因素<sup>[9-10]</sup>。张庆萍和朱晶<sup>[11]</sup>从政治、经济、法律、劳动力市场、农业与环境、土地使用的可能性六方面分析了俄、乌、哈三国的农业投资环境，认为这一地区农业投资潜力大。王秋香认为我国农业对外投资在产业体系、农业科技等方面存在比较优势，应组建大规模农业企业，发挥规模经济的优势<sup>[12]</sup>。胡新萍指出广西在农业生产与加工环节存在人力、技术优势，东盟地区则具有农业资源优势，加之两者特有的文化认同优势，广西向东盟国家农业投资优势明显<sup>[13]</sup>。向国成<sup>[14]</sup>将农业生产、交易及需求各个环节的比较优势进行了综合考量，利用实证方法验证了农业综合比较优势的存在性。吴永常<sup>[15]</sup>则通过构建优势度指标对西部 12 省农业资源禀赋包括自然资源、劳动力、生物多样性、旅游资源、区位优势 5 方面内容的比较优势与全国平均水平进行对比。

综上，已有研究成果多从比较优势理论解释对外投资，虽有对农业综合比较优势进行实

证分析,但主要以验证内生优势的重要性为主,且对于多指标赋权问题存在人为主观性弊端,同时以上研究多是对我国农业综合比较优势进行评价,对地区农业优势的分析仅限于农业资源禀赋单维度研究,目前缺乏区域农业对外投资综合优势评价及结构分析的研究。事实上,一个经济主体的对外投资活动是多个因素相互作用的结果,明确对外农业投资的综合比较优势是进一步分析对外投资目标地区、发展路径选择的基础和依据。基于此,本文通过构建农业对外投资综合比较优势指标体系,利用熵权法确定权重,研究西北五省农业对外投资综合比较优势的强弱排序和结构特征。

## 二、农业对外投资综合比较优势评价指标体系

投资诱发要素组合理论<sup>[16]</sup>认为一国(地区)对外直接投资活动的优势源泉,除了自然资源、劳动力、资本、技术和管理等直接要素存在的比较优势外,政府鼓励企业投资的政策和法规、投资母国与东道国的政治稳定和友好关系等间接要素也是诱发投资的条件和优势所在。王世军的综合比较优势理论从技术、劳动力、资本等生产优势,基础设施、政府治理、教育水平为主的交易优势,需求规模、产品差异、需求偏好为主的需求优势三种优势来源构造综合比较优势指标体系<sup>[17]</sup>。结合这些理论和参考前人研究<sup>[14-15]</sup>,本文从投资母国角度,从农业劳动力、农业资源、农业技术、农业资本、农业市场需求以及政府农业政策支持6个方面和29个具体评价指标构成评价指标体系衡量一国或地区的农业对外投资综合优势(如表1)。不同于以往将劳动力视为农业资源的组成部分,本文单独测度劳动力优势是出于劳动力是西北地区农业对外投资非常突出的优势的考虑。

表1 农业对外投资综合比较优势指标评价体系

一级指标	二级指标	单位	指标含义
农业劳动力优势	产业从业人员数	万人	第一产业就业人数
	产业平均工资	元	第一产业就业人员工资总额/第一产业就业
	高中及以上受教育人口	%	高中及以上受教育人口/总人口
农业资源优势	人均耕地面积	千公顷/	耕地总面积/总人口
	耕地灌溉面积覆盖率	%	耕地有效灌溉面积/土地总面积
	单位耕地机械动力	千瓦时/	农业机械总动力/耕地总面积
	单位耕地农用化肥施用	千克/公	农用化肥使用量/耕地总面积
农业技术优势	R&D经费内部支出	万元	研究与开发机构用于内部开展R&D活动的实
	R&D经费投入强度	%	R&D经费内部支出/地区生产总值
	公有经济企事业单位农	人	在公有经济企事业单位就业的农业技术人
	R&D研究开发人员数量	人	参与研究与试验发展项目研究、管理和辅助
	发表科技论文数量	篇	
农业资本优势	植物新品种权申请授权	个	
	三种专利申请授权数	个	发明专利、实用新型专利和外观设计专利的
	技术市场合同成交额	万元	单位认定登记的技术合同的合同标的金额
	国家级重点农业企业数	家	
	第一产业法人单位数	家	
农业市场需求优势	第一产业固定资产投资	亿元	指农林牧渔业固定资产投资规模
	各省市外商投资额	亿元	
	人均粮食产量	千克/人	粮食产量/总人口
	人均水果产量	千克/人	水果产量/总人口
	人均肉类产量	千克/人	肉类产量/总人口
	人均奶类产量	千克/人	牛奶产量/总人口
	农产品出口量	吨	
农产品进口量	吨		

	居民人均消费水平	元/人	居民消费总额 /总人口
	社会消费品零售总额	亿元	
农业政策	地方农业财政支出占比	%	农业财政支出总额/地方财政支出总额
优势	涉农贷款余额占比	%	涉农贷款余额/贷款总额

### 三、基于熵权法的农业对外投资比较优势的评价模型

#### (一) 熵权法确定权重

不同权重会导致结果差异较大, AHP、专家调查法等主观赋权法过于人为性, 而熵权法作为一种客观赋权法其基本原理是根据系统的信息熵赋权, 信息用于度量系统的有序程度, 熵用于度量系统的无序程度。如果某项指标变异程度越明显, 则该指标的信息熵越小, 对于综合评价提供的信息量就越大, 对评价结果所起的作用就越大, 应当在评价体系赋予高值权重, 反之赋予低值。

熵权法具体运算过程如下: 假设给定了  $m$  个被评价对象,  $n$  个评价指标,  $x_{ij}$  ( $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ ) 为第  $i$  个评价对象第  $j$  项评价指标, 则决策矩阵为  $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 。首先, 采用线性插值法对决策矩阵  $X = (x_{ij})_{m \times n}$  进行标准化处理: 正向指标按式①进行处理, 负项指标按式②进行处理:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad ① \quad y_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad ②$$

标准化处理后, 所有的  $y_{ij}$  形成一个新的规范化决策矩阵  $Y = (y_{ij})_{m \times n}$

其次, 为确保熵值求权使对数运算有意义, 需按公式③对数据进行平移,

$$r_{ij} = y_{ij} + 0.5, r_{ij} \in [0.5, 1.5] \quad ③$$

再次, 对平移后的指标数据按照公式④归一化处理, 得到矩阵  $F = (f_{ij})_{m \times n}$ , 即农业对外投资综合比较优势的归一值:

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad ④$$

最后, 按照公式⑤计算各指标对应的熵值, 按照公式⑥计算第  $j$  项指标的熵权值:

$$h_j = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}, j = 1, 2, \dots, n, \text{ 其中 } k = 1 / \ln m \quad ⑤$$

$$\omega_j = \frac{1 - h_j}{n - \sum_{j=1}^n h_j}, 1 \leq j \leq n \quad ⑥$$

#### (二) 农业对外投资比较优势的综合评价指数计算

为便于计算和比较, 将各分类评价指标加权叠加, 最后得到综合评价指数, 计算模型为:

$$S_i = \sum \omega_{ij} \times F_{ij}, (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad ⑦$$

其中  $S_i$  是农业对外投资比较优势综合评价指数,  $\omega_{ij}$  是第  $j$  项指标权重,  $F_{ij}$  是指标的归一值。

#### 四、实证分析

本文利用 2014 年西北五省的相关数据,数据来源于《中国统计年鉴 2015》、《中国农村统计年鉴 2015》、《中国科技统计年鉴 2014》、农业部网站资料等。

##### (一) 西北五省农业对外投资比较优势综合评价分析

运用熵权法计算出农业对外投资综合比较优势各指标权重,按公式⑦计算各省农业对外投资比较优势的综合评价指数(表2),结果发现陕西省农业对外投资综合比较优势最强,其次是新疆、甘肃、宁夏,青海最弱。

根据综合比较优势结果,将综合得分大于0.2500的划分为第一梯队,在0.2000~0.2499之间的划分为第二梯队,小于0.1999的归入第三梯队。可见陕西处于第一梯队,农业对外投资综合比较优势得分最高,综合评价指数为0.2823;处于第二梯队的是新疆、甘肃,综合评价指数在0.20左右;宁夏和青海属第三梯队,综合评价指数在0.15左右。综合评价结果表明,西北五省农业对外投资综合比较优势存在明显的区域差异,陕西作为丝路经济带的新起点,农业对外投资综合优势较其他4省位居领先地位,在西北具有领头羊的作用。新疆、甘肃作为丝路经济带建设的核心区域和黄金段,在综合比较优势上比较明显。虽然宁夏和青海综合比较优势得分较低,整体优势并不凸显,但并不意味它们在具体优势方面不具备对外投资的比较优势。

表2 西北五省农业对外投资综合比较优势得分及排名

	陕西		甘肃		宁夏		青海		新疆	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名
劳动力优势	0.0269	1	0.0219	2	0.0141	4	0.0138	5	0.0205	3
资源优势	0.0299	3	0.0226	5	0.0333	2	0.0236	4	0.0373	1
技术优势	0.1177	1	0.0664	2	0.0430	4	0.0409	5	0.0623	3
资本优势	0.0458	1	0.0301	3	0.0197	4	0.0185	5	0.0364	2
市场需求优势	0.0578	1	0.0532	2	0.0374	4	0.0469	3	0.0358	5
政策扶持优势	0.0042	5	0.0087	4	0.0106	2	0.0092	3	0.0114	1
综合得分	0.2823	1	0.2029	3	0.1581	4	0.1530	5	0.2037	2

##### (二) 西北五省农业对外投资比较优势的结构分析

为找出各省农业对外投资具体优势所在,接下来对农业对外投资比较优势评价体系中的6大分类指标进行结构分析。

###### 1、农业劳动力比较优势

农业劳动力比较优势方面,陕西、甘肃位于五省前二,其次是新疆、宁夏和青海。分析农业劳动力比较优势的细分指标<sup>①</sup>发现,2014年陕西和甘肃第一产业从业人员为1,436.70万和1,122.07万,远高于其余三省(自治区),分别是青海的7.07倍和5.52倍,表明陕西和甘肃农业劳动力具有明显优势;同时,就农林牧渔业就业人员平均工资而言,甘肃在西北五

<sup>①</sup>由于篇幅原因,本文未给出各分类比较优势细分指标数值,详情请联系作者(710103076@qq.com)

省中排名最低，仅 31,950 元，劳动成本低、比较优势突出；高中及以上受教育人口比重，陕西在西北五省中比例最高，为 31%，可见其劳动人口素质高，具有领先优势。

## 2、农业资源优势

农业资源优势方面，新疆位居五省之首，得分为 0.0373，其次是宁夏，陕西、青海和甘肃排名靠后。对细分指标分析发现，新疆、宁夏人均耕地面积、耕地灌溉面积覆盖率等指标较其他 3 省都处于领先地位，土地资源丰富。但是，陕西单位耕地面积农用化肥使用量较高，青海则在单位耕地农用机械动力上保持领先，表明其农机装备水平较高，甘肃资源优势不明显。

## 3、农业技术优势

农业技术优势方面，陕西在西北五省中处于绝对领先地位，其次分别是甘肃、新疆、宁夏、青海。细分指标数据显示，陕西技术研发经费投入力度、技术人力资源、技术产出成果等多数指标均在西北中排第一，表明陕西在农业国际合作中具有较强的技术优势，农业企业开展对外投资具有强大的科技支撑。另外，新疆在公有经济企事业单位农业技术人员数上保持领先，说明新疆农业技术人员储备优势较显著。

## 4、农业资本优势

农业资本优势方面，陕西省仍居第一，新疆、甘肃、宁夏、青海依次排后。可见，西北五省中，陕西省在开展农业对外投资资本优势相对突出。数据显示，2015 年陕西省企业吸引外商投资额总共约 447 亿元，接近西北其余四省之和的 2 倍，这说明陕西在开展国际投资合作方面积累了一定资本和投资经验，有利于提高区域内企业的国际化视野和经营管理水平，为更好地开展农业投资合作奠定了基础。

## 5、农业市场需求优势

如表 2，比较各省农业市场需求优势，得分排名依次为陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆。这是因为陕西省在粮食、肉类、奶类等农产品人均占有量指标较低，农产品自给水平较低，需要进口大量的农产品，所以有较大的外部市场需求；就市场规模指标来看，陕西省是西北五省中最大的，因为陕西省人口数量最多，经济发展水平相对高，农产品需求较其他省份旺盛。这种自身供给无法满足需求的需求优势可激励本区域内的农业企业寻求外部投资市场，以满足本地居民农产品需求。新疆省内农产品不仅能够实现自给，还大量向中亚国家出口蔬菜、水果、肉类等农产品。

## 6、农业政策扶持力度

农业政策扶持力度优势方面，新疆的优势非常明显，其次是宁夏、青海、甘肃，陕西排名最末。各项细分指标数据显示，2014 年，新疆涉农贷款余额（亿元）比重达到 44.5%，明显高于西北其他省份，表明新疆在对农业企业金融支持力度最大。同时，宁夏农业财政支出占地方财政支出比重在西北五省是最高的，为 15.7%，这表明宁夏的农业财政支持力度最大。值得提出的是，陕西对农业发展的财政和金融支持力度均排名靠后，主要原因是农业发展相对落后的区域越能引起政府重视，国家和地方越倾向于对其加大政策支持，陕西在发展农业的政策倾斜度还不够，不能满足农业对外投资的政策需求。

## 五、主要结论和政策建议

综合以上分析可得出结论：西北五省农业对外投资比较优势具有较大地域差异性，陕西农业对外投资综合比较优势最明显，其次是新疆、甘肃、宁夏，青海农业对外投资综合比较优势最弱。但各省开展农业对外投资具体独特的比较优势和劣势，陕西的劳动力、技术、资本、市场需求优势最强，政策扶持力度最弱；新疆的资源、政策扶持优势最强，市场需求优势最弱；甘肃在劳动力、技术、市场需求方面优势较强，资源优势最弱；宁夏除了资源和政策扶持优势较强，其他优势不明显；青海各分类比较优势得分均较低，但农产品自给水平、农

业财政支出占比等细分指标上也具有一定优势。

根据以上结论提出几点建议：

（一）陕西发挥领头羊作用，政府加大农业对外投资的政策支持。一方面，陕西应充分发挥自身在劳动力、技术资本、市场需求等方面的优势，地区有实力的农业企业应积极赴丝路沿线国家特别是俄、哈进行直接投资的市场调研，了解国外投资风险与需求，为其他省农业对外投资提供经验。另一方面，地方政府要对企业调研反映的问题制定改革和扶持措施，帮助企业解决面临的问题，同时政府应积极制定丝路沿线国家农业投资指南，收集关于这些国家农业贸易、投资准入、税收优惠、行业扶持等方面的政策信息，努力寻求建立多双边的投资合作机制，消除企业开展投资的制度障碍。

（二）新疆要利用好国家的政策支持条件，最大限度发挥自己的资源优势，积极开拓中亚等周边国家农业投资市场。新疆应把握丝路经济带建设契机，合理利用国家的战略支持和良好的投资环境，一方面利用自身资源优势，加强农业科技研发和科技创新，以提升国际投资竞争力，另一方面要通过丝路背景下的农业投资研讨会，农产品、农业机械等展销会、招商会积极开拓农业对外投资市场。

（三）甘肃要强化劳动力、技术和市场需求优势，提高农业对外投资竞争力。甘肃劳动力成本低、劳动力素质相对弱，因此要强化对农业从业人员尤其是农业技术推广人员的培训，提高农业劳动者的素质；要重视科技创新，加大科研支出，鼓励科教单位对农业技术的研发和推广；通过劳动力素质的提升和科技积累，使本省农业向集约化发展，弥补资源劣势，提高农业对外投资综合优势。

（四）宁夏和青海要优先发展自己的特色农业，省政府要积极制定各自农业对外投资指南。宁夏与青海的投资优势并不明显，但宁夏有枸杞、水稻、冷凉蔬菜三大特色产业，青海畜牧业和马铃薯产业发达，政府要加大对特色产业的政策扶持，借鉴其他省或国家级农业龙头企业对外投资先锋队的经验，制定本身农业对外投资指南，鼓励当地企业开展对外投资。

#### 参考文献：

- [1] 王保忠, 何炼成, 李忠民. “新丝绸之路经济带”一体化战略路径与实施对策[J]. 经济纵横, 2013(11):60-65.
- [2] 程金亮. 我国对外直接投资的比较优势[J]. 企业改革与管理, 2010(11):48-51.
- [3] 小岛清. 对外贸易论[M]. 天津:南开大学出版社, 1987.
- [4] Hymer S H. The International Operations of National Firms: A Study Of Direct Foreign Investment [M], Cambridge :MIT Press, 1976:1-253.
- [5] Dunning J H. Explaining the International Direct Investment Position of Countries: Towards a Dynamic or Development Approach[J]. Welt Wirtschaftliches Archiv, 1981, 117(5):139-158.
- [6] 冼国明, 杨锐. 技术累积、竞争策略与发展中国家对外直接投资[J]. 经济研究, 1998(11):56-63.
- [7] 胡日东, 衣长军. 基于小规模技术理论的福建省民营企业境外直接投资战略分析[J]. 经济地理, 2006, 26(2):280-283.
- [8] 苏丽萍. 中国发展对外直接投资的比较优势分析[J]. 中国经济问题, 2007(2):72-75.
- [9] 钟钰, 赵长和, 王立鹤. 新时期促进我国农业对外投资的对策研究[J]. 经济纵横, 2016(5):94-98.
- [10] 王永春, 徐明, 王秀东. 我国农业对外投资的特点、问题与对策[J]. 经济纵



横, 2015(10):79-84.

- [11]张庆萍, 朱晶. 俄、乌、哈三国农业投资环境比较研究[J]. 国际经济合作, 2014(1):56-62.
- [12]王秋香, 陈伟. 对中国农业企业对外直接投资的思考--基于对外直接投资主流理论的借鉴和启示[J]. 经济研究导刊, 2011(7):187-188.
- [13]胡新萍等. 从广西-东盟农业比较优势看农业现代化[J]. 广东农业科学, 2013(12):207-210.
- [14]向国成, 吴婧, 韩绍凤. 关于农业综合比较优势的实证研究[J]. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2015(1):86-93.
- [15]吴永常. 西部地区农业优势资源比较分析[J]. 中国农业资源与区划, 2005(3):18-22.
- [16]Sarbajit Chaudhuri, FDI in Agricultural Land, Welfare and employment in a Developing Economy [J], Research in Economics, 2012, 64(4):229-239.
- [17]王世军. 综合比较优势理论与实证研究[D]. 浙江大学, 2006.

# 宁夏西海固地区农村基础教育研究<sup>1</sup>

藏志勇

(宁夏大学中日国际联合研究所)

**摘要：**本研究以教育学、经济学、社会学等多学科、多领域的基础理论为指导，立足于宁夏西海固地区农村基础教育的实际，从特定研究视角入手，以研究对象地区的农村基础教育现状为核心，采用因子分析法和多分类有序 Logit 模型分析等方法，深层次地探讨了农村基础教育的重要性。结合专家咨询及实地调研，对研究对象地区基础教育的现状、教育满意度和社会调查问卷等进行实证分析与评价，提出解决当地农村基础教育问题的一些思路 and 对策。

**关键词：**农村基础教育；因子分析法；多分类有序 Logit 模型；宁夏西海固地区

## 1 研究背景和意义

宁夏西海固地区生态环境脆弱，“苦瘠甲于天下”已被众所周知，农村经济社会的现状，严重影响着当地基础教育的发展。本研究认为在国家全面建设小康社会和国家推进西部大开发、建设宁夏内陆开放型经济试验区的历史机遇期，通过协调生产生活与生态文明建设关系，转变农村基础教育的方式，成为促进经济发展、保持生态环境优化、实现该地区经济社会和谐发展的重要途径。

从提高人口文化综合素质的角度看，树立科学发展观与构建和谐社会，需要转变农村的基础教育形式，更需要形成和建立可持续发展的农村教育体制。对农村基础教育方式内涵的深层次理解，以及建立健全良好运行机制，实现这一转变是解决农村教育难题的重要前提。

从分析宁夏西海固地区农村基础教育的时空角度看，需要摸清研究对象地区教育差异和转变的限制因子。建立农村基础教育的评价指标体系，是科学评价这一转变的重要手段；切合实际的对策建议，是实现基础教育取向根本转变的有效方法。

---

<sup>1</sup> 本研究是中国教育部人文社会科学研究规划基金项目《宁夏西海固生态移民进程中农村基础取向研究》(课题批准号: 13XJA880001) 阶段性研究成果之一。

因此，深入研究农村基础教育现状，为农村学生提供适合的教育和实施素质教育，对于建设和谐农村社区，具有显著的理论意义和社会现实意义。同时，研究宁夏西海固地区少数民族地区农村基础教育问题，对于进一步深入探讨我国少数民族地区农村基础教育及其规律性问题，具有重要的借鉴意义和实际应用价值。

## 2 研究方法

本课题采用了以下研究方法：

(1) 文献法。本研究从教育学、经济学、社会学等多重角度，来实证分析与研究宁夏西海固地区农村基础教育问题。因此，参阅相关图书和文献资料，借助不同学者的研究，使我们找出影响宁夏西海固地区农村基础教育的原因。

(2) 访谈法。本研究通过对宁夏西海固地区教育机构、农村中小学校长和家长以及学生进行访问，以谈话方式、统计数据了解当地农村基础教育的有关情况；对宁夏西海固地区经济社会发展条件、影响因子等进行比较分析。

(3) 实证研究方法。以宁夏西海固地区农村为主进行专题研究，对教育满意度评价、调查问卷图表分析，结合专家咨询及实地调研，提出解决当地农村基础教育问题的思路和改善少数民族地区农村基础教育的对策。

## 3 宁夏西海固地区农村基础教育研究

本研究通过研究对象地区的问卷调查，了解相关政策的有效性和现实问题，探求少数民族地区城乡民众对改善教育的渴求程度，分析宁夏西海固地区执行农村基础教育政策的实际状况，借以提出进一步加强和完善基础教育的相关措施。

本研究将西海固地区农村基础教育的问卷内容分为：公众对教育总体情况的满意度、教育领域中反映出的问题、应当首先解决的教育问题、教育满意度评价分项指标体系 4 个部分。采用随机抽样的方法，对宁夏西海固地区部分县（区）的 400 余名学生及家长（主要是初中、普通高中的在校生家长）等进行了教育工作满意度的实地问卷调查。针对调查数据，运用因子分析法和多分类有序 Logit 模型进行了实证研究与分析。

### 3.1 研究目的和手段

由于我国城乡“二元化”经济社会差异明显，提高农村基础教育发展水平的任务十

分艰巨。特别是地处西北的宁夏西海固地区，由于历史、自然、经济等原因，仍存在教育经费不足、师资队伍结构不合理、城乡教育与知识差距明显等问题，致使该地区教育整体发展水平较低，导致基础教育出现“城挤、乡弱、村空”现象。

目前，国内学者研究公众基础教育满意度主要采用整体满意度测量和多重满意度项目测量两种方法<sup>2</sup>。由于这两种测量方法的项目权重及其项目对总体满意度的影响因素分析尚有需要完善之处，因此，本研究选择了因子分析法和多分类有序 Logit 模型。

### 3.2 数据来源和研究方法及统计性描述

#### 3.2.1 数据来源

本研究所用数据，均来源于宁夏西海固地区城乡公众基础教育满意度的调查问卷。此问卷采用随机抽查方式，于 2014 年 4~9 月实施。

本研究抽取以学生家长为调查对象的问卷部分进行实证分析。共发放调查问卷 400 余份，收回有效问卷占发放问卷总数的 96.3%。

由调查问卷数据所示，学生家长评价本地区教育总体情况非常满意的占 22.70%，比较满意占 57.14%，一般占 16.01%，三项之和为 95.85%；不太满意和不满意的占 4.15%。可见，西海固地区学生家长对本地教育满意度评价较高。从调查样本统计性描述结果看，此次调查男性参与度比例较高，占 68.4%；年龄主要以中青年人为主，其中 31—40 岁的占 60.7%，41—50 岁的占 33.0%；文化程度主要以小学、初中为主，分别占 30.6%、39.8%。各收入层次比例分别为 7.38%、26.2%、18.08%、26.57%、21.77%。

家长对子女因接受教育而得到益处的评价最高，“非常满意”、“满意”两项合计达 80.41%；其次是对本地教师队伍的素质评价较高，“非常满意”、“满意”两项合计达 76.83%；再次是对当地的教育政策的满意度达 73.6%以上。相比较而言，学生家长评价撤村并校的满意度不高，“非常满意”、“满意”两项合计占 48.62%，“不太满意”、“不满意”两项合计占 24.94%；其次是对当地政府治理教育乱收费的成效满意度较低，意见较大，“非常满意”、“满意”两项合计占 48.04%，“不太满意”、“不满意”两项合计占

---

<sup>2</sup> 整体满意度测量：是指把满意度视为整体性的评估。如 21 世纪教育研究院所做的中国主要城市公众教育满意度调查，就是采用此方法对全国各地教育现状进行总体评价（21 世纪教育研究院，2009，2010）。

多重满意度项目测量：是指先测量个体对教育服务各维度的满意程度，再采用平均法求得整体的满意度。如 2009 年上海市基础教育满意度的调查，就是对构成政府教育工作多方面的满意度进行测量，求得平均值，评价公众对政府教育工作的总体满意度。

24.82%。

### 3.2.2 评价方法

本研究的评价方法共分两大部分：一是对调查表的效度、信度和可接受性进行评价，二是对学生家长评价城乡基础满意度及其影响因素进行实证研究。

#### (1) 调查表评价

① 效度评价。本研究采用因子分析法对调查表的结构效度进行了评价，并且，在对测量结构效度和变量系统的归类的同时，研究了整个调查表的结构。其因子分析模型的一般形式为：

$$X_i = u + \alpha_{i1}F_1 + \alpha_{i2}F_2 + \dots + \alpha_{im}F_m + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

其中， $X_i$  为观测到的随机变量， $F_i$  为第  $i$  个公共因子，是不可观测的变量， $\alpha_{ij}(j = 1, 2, \dots, m)$  为因子载荷， $\varepsilon_i$  是特殊因子，是不能被前  $m$  个公共因子包含的部分。

② 信度评价。本研究采用克隆巴赫  $\alpha$  系数对调查表内部一致性信度进行了评价。其计算公式为：

$$\alpha = \frac{N}{N-1} \left( 1 - \frac{\sum S_i^2}{S^2} \right)$$

其中， $N$  为调查表的条目数， $S_i^2$  为第  $i$  个变量得分的方差 ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 为调查表所有变量得分的方差。

③ 可接受性评价。本研究从调查表的条目数量、是否容易理解与填写、填写完毕的时间以及调查表的回收率和有效率等方面入手，对调查表进行了客观性的可接受性评价。

#### (2) 影响教育满意度因素分析

本研究将西海固地区的学生家长评价该地区城乡基础教育满意度分五个等级，即非常满意、比较满意、一般、不太满意、不满意，属于非连续多元有序变量，故采用因子分析法评估城乡基础教育学生家长满意度，并运用多分类有序 Logit 模型进一步做回归分析，以期确认影响学生家长满意度的主要因素。多分类有序 Logit 回归模型的表达式为：

$$\logit = \ln\left(\frac{P_j}{1-p_j}\right) = \beta_0 + \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \dots + \beta_p F_p$$

$j = 1, 2, \dots, k$

其中,  $P_j$  (学生家长满意度指数) 表示  $Y \leq j$  的累计概率,  $F_p(p=1,2,m)$  为通过因子分析所确定的  $p$  个主因子。  $\beta_0$  为常数项, 表示所有自变量为 0 时, 出现某一累计结果的概率;  $\beta_1, \beta_2 \dots, \beta_p$  为回归系数。  $\beta$  可用最大似然法求出。

### 3.2.3 变量选择与定义

在借鉴有关研究成果的基础上, 本研究选取八大类共 16 个解释变量, 被解释变量选择了学生家长对基础教育满意度评价结果。

## 3.3 公众教育满意度比较结果分析

### 3.3.1 调查表评价结果分析

在因子分析数据处理上, 本研究先将原始数据进行标准化处理, 消除变量间在数量级和量纲上的差异; 再运用 SPSS19.0 软件进行 KMO 检验, 结果为:  $KM=0.8881$ ,  $P=0.0001$ , 说明检验结果显著。这充分表明数据之间具有一定的相关性, 采取因子分析方式是合理的。

在因子分析结果处理上, 本研究发现因子分析的共同度较高 (均在 0.5 以上), 表明变量中的大部分信息均被因子所提取, 这足以表明因子分析的结果是有效的。

之后, 本研究运用 SPSS19.0 软件, 采用主成份法提取特征值大于 1 的因子共 3 个。因为初始载荷矩阵结构不够清晰, 不便于对因子进行解释, 所以, 本研究未做因子载荷矩阵, 而是运用方差最大正交旋转法对因子载荷矩阵进行旋转, 得到旋转载荷矩阵。

根据每个条目在其中一个公因子  $F_m$  上的载荷应大于 0.4, 且对其他公因子的载荷较低的原则, 在表 3-1 的主因子  $F_1$  中, 解决择校热问题 (X4)、教育部门和学校廉政风气 (X5)、解决农民工子女教育问题 (X6)、政府治理教育乱收费的成效 (X7)、减轻中小学生学习课业负担 (X8)、本地教师队伍的素质 (X9)、当地教育政策 (X10)、撤村并校 (X11)、推行素质教育的成效 (X13)、升学考试选拔制度 (X14)、学校设置学生“尖子班” (X15)、子女因接受教育而得到益处 (X16) 12 个指标具有较高的因子载荷; 在主因子  $F_2$  中, 文化程度(X3)、对寄宿制学校的感受(X12) 2 个指标具有较高的因子载荷; 在主因子  $F_3$  中, 性别 (X1)、年龄 (X2) 2 个指标具有较高的因子载荷。家长的个性特征分散在第二、第三主因子中。所以, 设计调查表的结构基本与预期设想的结构相符, 且三

个公因子解释了全部的自变量。

表3-1 旋转后的因子载荷矩阵

标准化变量	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	共同度
ZX <sub>1</sub>	-.037	.126	.615	0.991
ZX <sub>2</sub>	.041	-.148	.718	0.995
ZX <sub>3</sub>	.258	-.666	.218	0.994
ZX <sub>4</sub>	.589	.125	.014	0.950
ZX <sub>5</sub>	.710	.133	.214	0.787
ZX <sub>6</sub>	.681	-.015	-.028	0.952
ZX <sub>7</sub>	.638	.077	-.030	0.893
ZX <sub>8</sub>	.487	.198	-.208	0.993
ZX <sub>9</sub>	.660	-.028	.127	0.896
ZX <sub>10</sub>	.742	.049	.059	0.740
ZX <sub>11</sub>	.553	.382	.010	0.872
ZX <sub>12</sub>	.257	.719	.163	0.969
ZX <sub>13</sub>	.703	-.031	.015	0.890
ZX <sub>14</sub>	.646	-.160	-.092	0.916
ZX <sub>15</sub>	.548	-.200	-.146	0.919
ZX <sub>16</sub>	.490	.108	-.306	0.977

数据来源：笔者由调查问卷整理和计算而得。下同。

根据旋转后的因子载荷矩阵，运用因子得分法进行计算，得到旋转因子得分（见表3-2）。

运用 SPSS19.0 软件，分析问卷调查表的内部一致性信度，得到克朗巴赫系数  $\alpha$  值为 0.833，证明调查表的信度良好。

还有，为适合调查对象对内容的理解和容易填写，问卷调查表设计条目为 17 项，调查对象均能在 15 分钟内全部回答完毕。此调查共收回学生家长调查问卷 400 余份，有效率达 96.3%，这说明本调查表具有良好的可接受性。

表3-2 旋转因子分值表

评价指标	成份			总得分	排名
	1	2	3		
X <sub>1</sub>	.093	-.529	.158	-0.0034	16
X <sub>2</sub>	.127	-.193	-.129	0.0136	15
X <sub>3</sub>	.097	.046	-.251	0.0151	14
X <sub>4</sub>	.154	-.002	.051	0.0496	4
X <sub>5</sub>	.095	.268	.022	0.0514	3
X <sub>6</sub>	-.015	.123	.517	0.0416	6
X <sub>7</sub>	.013	.555	.162	0.0596	2
X <sub>8</sub>	.091	.120	-.166	0.0254	12
X <sub>9</sub>	.142	.072	.184	0.0613	1
X <sub>10</sub>	.141	-.055	.105	0.0452	5
X <sub>11</sub>	.150	-.064	.012	0.0408	8
X <sub>12</sub>	.145	-.166	-.082	0.0246	13
X <sub>13</sub>	.130	.023	-.022	0.0393	10
X <sub>14</sub>	.117	.064	.017	0.0415	7
X <sub>15</sub>	.144	-.051	-.023	0.0376	11
X <sub>16</sub>	.018	-.093	.593	0.0394	9

### 3.3.2 教育满意度及其影响因素结果分析

(1) 因子分析。前述因子分析法中，X<sub>4</sub>、X<sub>5</sub>、X<sub>6</sub>、X<sub>7</sub>、X<sub>8</sub>、X<sub>9</sub>、X<sub>10</sub>、X<sub>11</sub>、X<sub>13</sub>、X<sub>14</sub>、X<sub>15</sub>、X<sub>16</sub> 等 12 个指标在 F1 上有较高的载荷，说明 F1 主要解释了教育公平性、教育收费、教育过程、教育决策、教育质量、教育选拔、教育个人效益（X<sub>16</sub>）等 7 个方面的信息；X<sub>3</sub>、X<sub>12</sub> 在 F2 上有较高的载荷，X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub> 在 F3 上有较高的载荷，说明 F2、F3 主要解释了家长个体特征及教育决策部分的信息。

在因子分析的基础上，本研究再运用多分类有序 Logit 模型进一步分析了影响学生家长评价城乡基础教育满意度的主要因素。

(2) 多分类有序 Logit 模型进行回归分析。运用 SPSS19.0 软件，以学生家长对城乡基础教育满意度为因变量，以前述因子分析所确定的 3 个主因子为自变量，进行 Logit 回归处理（详见表 3-3）。拟合表 3-3 信息显示：模型的对数似然比最终统计量为 710.110，卡方统计量为 187.781，对数似然比检验的显著性水平为 0.000，小于 0.01，表明模型通过卡方检验，整体拟合效果较理想。平行性检验显示，sig 值为 0.021，表示



在 5%的显著性水平下通过检验。

如表 3-3 的 Wald 卡方检验结果所示：主因子 F1 对学生家长评价西海固地区城乡基础教育满意度具有显著的影响 ( $P < 0.05$ )；主因子 F2、F3 对学生家长评价西海固地区城乡基础教育满意度在统计中影响并不显著 ( $P > 0.05$ )，说明主因子 F1 所解释的 X4、X5、X6、X7、X8、X9、X10、X11、X13、X14、X15、X16 是影响学生家长对西海固地区城乡基础教育满意度的主要因素；学生家长的个体特征及撤村并校对学生家长评价西海固地区城乡基础教育满意度基本没有影响。因此，从表 3-2 的旋转因子得分和综合得分表中得出的结果表明：F1 所解释的 12 个因素对学生家长满意度影响的重要程度依次是：X9 > X7 > X5 > X4 > X10 > X6 > X14 > X11 > X16 > X13 > X15 > X8。

## 4 小结与对策

### 4.1 小结

学生家长对基础教育满意度的评价是衡量基础教育成果的一个重要组成部分和核心因素，会对孩子们的成长和接受教育以及提高地方人口素质等方面起着决定性作用。因此，我们选择宁夏南部山区西海固地区的学生家长为研究对象，进行实证调查，依据分析其影响因素和对教育现状的认识，全面了解该地区学生家长对农村基础教育满意度的评价和态度，目的是探究影响该地区学生家长的基础教育满意度的主要因素，寻求具有针对性的措施方法，力求为提高少数民族贫困地区的基础教育水平和质量，以及政府制定相关政策提供科学依据。

表3-3 城乡基础教育满意度影响因素的Logit模型回归结果

项目	估计	标准误	Wald	df	显著性	95% 置信区间		
						下限	上限	
阈值	[Y = 1]	-1.486	.140	113.065	1	.000	-1.760	-1.212
	[Y = 2]	1.903	.155	150.007	1	.000	1.599	2.208
位置	F1	1.543	.129	143.573	1	.000	1.291	1.795
	F2	.127	.101	1.585	1	.208	-.071	.324
	F3	.158	.101	2.414	1	.120	-.041	.356
模型	模型拟合信息			平行线检验				
		仅截距	最终	零假设	广义			
	-2 对数似然值	897.890	710.110	710.110	690.597 <sup>a</sup>			
	卡方	—	187.781	—	19.512 <sup>b</sup>			
	df	—	3	—	9			
显著性	—	.000	—	.021				

(1) 从整体情况来看，西海固地区学生家长对本地区农村基础教育满意度较高，非常满意、比较满意占 79.84%。本地教师队伍的素质、教育部门和学校廉政风气、政府治理教育乱收费的成效、择校热问题解决、当地教育政策、解决农民工子女教育问题、升学考试选拔制度、撤村并校是影响西海固地区学生家长评价本地区城乡基础教育满意度的主要因素，尤其是教师队伍的素质、教育部门学校廉政风气和政府治理教育乱收费的成效是影响西海固地区学生家长评价本地区农村基础教育满意度的关键因素。

(2) 从影响孩子未来的成长过程来看，子女因接受教育而得到益处、推行素质教育的成效、学校设置学生“尖子班”、减轻中小学生课业负担等因素，更受到西海固地区学生家长的关注。

(3) 从存在的问题来看，通过本研究的实证研究，农村的学生家长对政府治理教育乱收费的成效、对减轻中小学生课业负担、撤村并校、素质教育成效、学校设置学生“尖子班”等因素的满意度较低，极端评价和意见也较多。这就清晰地表明这 5 类农村基础教育满意度因素，应当是宁夏当地政府和针对西海固地区农村基础教育需要进一步做好“人民满意的教育”工作的重点。

(4) 西海固地区学生家长对本地区农村基础教育满意度的评价，基本上不受被调查者的性别、年龄、文化程度、寄宿制学校等变量的影响。这一结论证明农村基础教育没有产生个性化效应。

## 4.2 对策

通过上述分析，本研究对农村基础教育满意度评价具有一定的选择性，同时也存在需要解决“空校”的农村教育、城乡教育差距，优化资源配置、丰富课堂教学、提高教学质量等问题。因此，本研究认为西海固地区的农村基础教育，今后应做好以下措施及对策：

一是合理核定农村学校编制，做好学生与教职工的总量控制和结构调整工作，引导教职工从城镇学校和超编学校向农村学校和缺编学校合理流动。妥善解决兼职教师的编制问题。

二是以农村教育布局调整的“实事求是、积极稳妥”为原则，让西海固地区农村学

生就近入学，在交通不便的西海固地区保留教学点，防止农民群众子女因边远、贫困、上学不便造成学生辍学。

三是切实加强该地区农村学校的基础设施安全工作，牢固树立“安全第一”的意识，重点维修当地一些学校的简陋校舍，消除适龄儿童因路途遥远、寄宿求学可能出现的安全风险，确保学生的交通安全。

四是降低农民为培养孩子而加重的经济成本，保障农村学生的学习时间，定期检查寄宿学校的生活（包括住宿、饮食、卫生等）、娱乐等方面的工作。

五是加强“后撤点并校时代”寄宿制学校大额班学生的安全防范意识，核定农村寄宿制学校的专职教师编制，严格实行学校管理安全工作责任制和事故责任追究制度，保证师资的规范化管理。

#### **参考文献：**

- 1、李卫东，应用多元统计分析[M]，北京大学出版社，2008年。
- 2、刘国海，农村基础教育现状及策略研究[J]，中国校外教育，2014（02）。
- 3、蒲云杰，对西部农村基础教育现状对策的思考[J]，科学咨询（教育科研），2017（04）。
- 4、藏志勇，教育设施功能转变与社会需求视域下的西海固地区农村基础教育研究[J]，山西农经，2017（10）。
- 5、藏志勇，宁夏西海固地区农村撤村并校与教育资源配置对策研究[J]，新课程，2017（11）。
- 6、藏志勇，宁夏西海固地区生态移民的文化适应研究[J]，时代教育，2017(12)。
- 7、李苓，宁夏哲学社会科学发展综合研究报告[M]，宁夏人民出版社，2013年。
- 8、袁桂林，西部农村基础教育行动研究[M]，人民教育出版社，2011年。
- 9、杨东平，中国教育发展报告[M]，社会科学文献出版社，2012年。
- 10、王嘉毅、吕国光，西北少数民族基础教育发展现状与对策研究[M]，民族出版社，2006年。

# MOF 衍生多孔碳实现高效电容脱盐的研究

郜铁 李海波 周峰 岳智帅

(宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室)

**摘要:**本文以 ZIF-67 为前驱体,在化学气相沉积炉 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 中自催化组装生长,制备了由 ZIF-67 衍生的碳多面体和碳纳米管复合的杂化碳纳米团簇材料 (Carbon Polyhedron & Carbon Nanotube Hybrids, HCN)。所制备的 HCN 在性貌上由碳纳米管与多孔碳多面体缠绕复合表现出理想的网系结构。而且电化学性能表现优异,在 10 mV/s 的扫描速率下具有 343 F/g 的最高比电容和出色的倍率性能。这是因为 HCN 不仅可以提供丰富的离子存储空间和通畅的离子运输孔道,而且碳纳米管提供了快速的电子传输路径。在电容脱盐测试中,HCN-650 电极的脱盐容量为 7.08 mg/g,吸附速率为 0.03958 mg/g·min。

**关键词:** 金属有机框架, 碳多面体, 碳纳米管, 电容去离子

## **Study on the capacitive deionization behavior of porous carbons derived from MOF**

Tie Gao, Haibo Li, Feng Zhou, Zhishuai Yue

(Ningxia Key Laboratory of Photovoltaic Materials, Ningxia University)

**Abstract:** In this work, carbon polyhedron and carbon nanotube hybrids (HCN) have been synthesized by employing ZIF-67 as precursor for electrochemical supercapacitor and capacitive deionization (CDI). Basically, uniform polyhedral nanocrystals of ZIF-67 were firstly fabricated, and then they were directly subjected to chemical vapor deposition for growing carbon nanotubes. It is found that the as-fabricated HCN electrode exhibits remarkable electrochemical performance, i.e. the highest capacitance of 343 F g<sup>-1</sup> at the scan rate of 10mV s<sup>-1</sup> and excellent rate capability. This is due to that HCN can provide rich space and short ion diffusion path. Moreover, the HCN

electrodes shows superior CDI performance, i.e. The electrosorption capacity reached as high as 7.08 mg/g and the adsorption rate of 0.03958 mg/(g·min).

**Key words:** Metal organic framework, carbon polyhedron, carbon nanotube, capacitive deionization

## 1、引言

饮用水是人类生存和社会生产活动的重要资源保障，然而目前全世界面临着淡水资源短缺的严峻挑战。<sup>[1-3]</sup>为了突破这一问题，电容去离子技术作为一种新兴的海水淡化技术被认为是一种低成本、环保、节能的低驱动、无膜净化技术。碳材料以其低成本、高稳定性、优良导电性、大比表面积和孔径可调等优点作为 CDI 技术的电极活性材料被广泛研究。<sup>[4-7]</sup>追求超高吸附能力和吸附效率就需要在纳米尺度调控电极材料，高比表面积能够提供充足的活性位点用于盐离子吸附而合理的孔径分布能够保证盐离子的迅速吸脱提高工作效率。<sup>[8-12]</sup>本文以 ZIF-67 为前驱体，在化学气相沉积炉（Chemical Vapor Deposition, CVD）中自催化组装生长，制备了由 ZIF-67 衍生的碳多面体和碳纳米管复合的杂化碳纳米团簇材料（Carbon Polyhedron & Carbon Nanotube Hybrids, HCN）。并对 HCN 的进行了全面的表征分析和脱盐性能测试。

## 2、实验

首先通过  $\text{Co}^{2+}$  和 Hmim 在甲醇中通过配位键结合制备规则的十二面体结构 ZIF-67 纳米晶体。具体过程如下，将 6.89 g 的  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  超声溶解于 240 mL 甲醇溶液，标记为溶液 A；将 15.57 g 的 Hmim 加入 240 mL 甲醇溶液，标记为溶液 B。将配体溶液 B 搅拌加热至  $40^\circ\text{C}$ ，迅速倒入溶液 A。搅拌 0.5 小时后，然后在 11000 rpm 下离心 10 分钟，将收集的糊状 ZIF-67 沉淀再溶于甲醇，以此方法反复洗涤三次获得较为纯净的 ZIF-67。最后，将产物干燥过夜以备使用。

在 CVD 系统中以 ZIF-67 为前驱体和催化剂复合生长 CNTs。首先，将盛有 0.1 g ZIF-67 粉末的瓷舟送入腔室的样品台上，关闭舱门通过机械泵将石英管中的压力抽低至  $1 \times 10^{-2}$  Pa。之后，以 20 sccm 的流速注入  $\text{Ar}+4\%\text{H}_2$ ，此时压力腔内压力平衡在 2.9 Pa。然后温度从室温稳步上升到目标温度，目标温度分别设定为 500, 600, 650 和  $700^\circ\text{C}$ ，升温速率为  $15^\circ\text{C}/\text{min}$ 。当达到目标温度后，以 20 sccm 的流速注入乙炔气体 1 个小时进行 CNTs 的生长过

程，在此过程中压力平衡在 10 Pa。最后该系统在 Ar+4%H<sub>2</sub> 气氛中冷却至温度低于 200°C 后，关闭 Ar+4%H<sub>2</sub> 并取出样品。

### 3、结果讨论

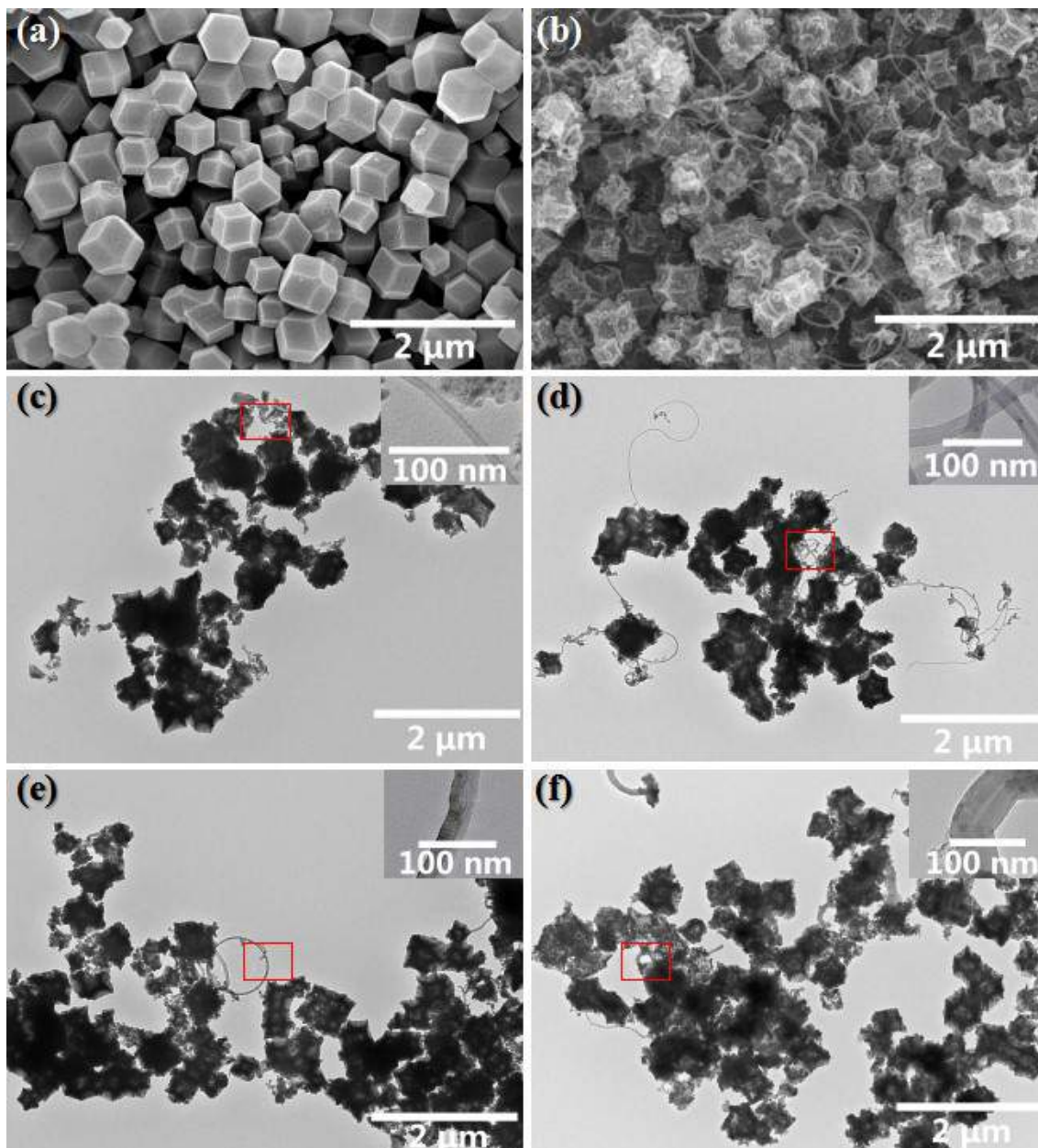


图 1 (a) ZIF-67 纳米晶体和(b) HCN-650 的 SEM 图像, (c) HCN-500, (d) HCN-600, (e) HCN-650 和(f) HCN-700 的 TEM 图像 (插图是所选区域的放大图像)。

图 1 (a)和(b)分别是 ZIF-67 和生长温度在 650°C (HCN-650) 下获得的杂化碳纳米团簇 HCN-650 的 SEM 图像。总体而言，经 CVD 处理后，ZIF-67 纳米颗粒的尺寸和多面体

形状保持良好而且颗粒表面变得粗糙多孔便于离子的吸脱过程。从图 1 (b)上可以观察到大量的 CNT 嵌入 ZIF-67 碳化衍生的多孔碳中, 延伸缠绕形成典型的网系结构, CNT 的直径约 40nm 长度接近 2 $\mu\text{m}$  能有效提升碳纳米颗粒的长程导电性同时能撑开碳多面体间空间形成通畅的离子运输通道。此外, 这一过程中 CNT 的形成是碳化过程中还原出的 Co 纳米颗粒在高温条件下对碳源的催化作用。另一方面, 对 CNT 生长温度与所获得 HCN 结构间的关系也进行了探索。图 1 (c)-(f)分别显示在 500, 600, 650 和 700 $^{\circ}\text{C}$ 下制备的 HCN 的 TEM 图像, 插图是对应于红框圈定区域的放大图像。无论在每一个温度, ZIF-67 的多面体形状都能被良好保持, 而且随着温度提升会导致 HCN 的中空结构更加明显。需要注意的是 CNT 的直径会随着生长温度的升高而增加。根据对不同温度下 CNTs 生长直径分布的统计结果和 TEM 的进一步观察发现随着温度的升高, Co 纳米颗粒团聚加剧导致尺寸变大, 沿此晶粒活性晶面催化生长的 CNT 则随之具有更大的直径。

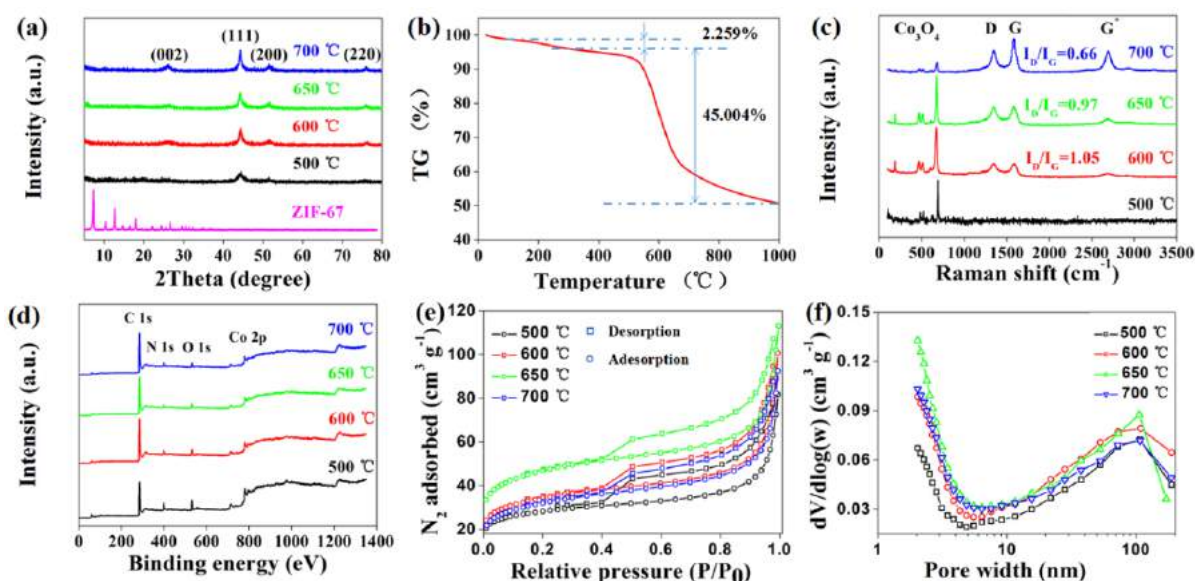


图 2 (a) ZIF-67 和 HCN 的 XRD 图谱, (b) ZIF-67 的 TGA 曲线, HCN 的(c)拉曼光谱, (d) XPS 光谱, (e)  $\text{N}_2$  吸附-脱附等温线和(f)孔径分布。

图 2 (a)是 HCN 的 XRD 图谱。各 HCN 样品在 44.2 $^{\circ}$ 、51.6 $^{\circ}$  和 75.9 $^{\circ}$  处的一组峰经与 PDF 标准卡片比对确认为单质 Co 分别在(111)、(200)和(220)晶面的特征峰(PDF 89-4307)。表明在 CVD 过程中金属钴纳米颗粒在  $\text{H}_2$  还原作用下能够一定程度保持为单质状态。此外, 所有的 HCN 样品在 22 $^{\circ}$  处都显示出与石墨碳结构在(002)晶面衍射峰相对应的特征峰, 而且随着生长温度的升高石墨峰增强证明石墨化程度增强。图 2 (b)绘制了 ZIF-67 的

TGA 曲线。可以观察到质量损失主要集中在 500°C-700°C，这主要由于碳化过程中有机配体的热分解和重组引起的。图 2 (c)是 HCN 样品的拉曼图谱。所有 HCN 样品在 188, 476, 520 和 687  $\text{cm}^{-1}$  拉曼位移处均存在伸缩振动峰，与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的相关峰位匹配，说明 HCN 体系中一部分钴以  $\text{Co}_3\text{O}_4$  形式存在。同时，在 1360, 1580 和 2680  $\text{cm}^{-1}$  处有三个峰。它们分别对应碳材料相关的特征 D 峰, G 峰和  $G^*$ 峰。随着温度从 600 增加到 700°C， $I_D/I_G$  从 1.05 降低到 0.66，这意味着高度石墨化的 CNT 很容易在高生长温度下获得。图 2 (d)是 HCN 样品的 XPS 光谱。表 5-1 中给出了根据光谱计算的各元素原子百分比。当温度达到 600 到 700°C 时，C1s 比率超过 80%且基本稳定，说明 HCN 是典型的碳基电极材料，而 Co 2p 在 HCN 体系中所占比率十分有限（3%）。当温度达到 700°C，N1s 依然能保持超过 6%的占比，N 元素较为可观比例的掺杂对于改善 HCN 的浸润性，导电性以及电容特性是十分有益的。

$\text{N}_2$ 吸附-脱附等温线和孔径分布如图2 (e)和(f)所示。所有HCN样品的等温线都是属于IV型等温线。在低相对压力下急剧增加的等温线意味着CNT和ZIF-67衍生碳中存在微孔，相对压力在0.4和0.9之间的磁滞回线表HCN体系中存在介孔孔隙。从孔径分布图谱可见微孔的尺寸集中在小于1 nm，中孔尺寸在100 nm左右，证明网系结构的HCN材料孔径分级明显适合作为高效脱盐电极。在所有HCN材料中，HCN-650的BET比表面积为 $\sim 172 \text{ m}^2/\text{g}$ ，孔体积为 $\sim 0.17 \text{ cm}^3/\text{g}$ ，两者均为所有样品中最高值，暗示该材料具有最高的电吸附量。

将HCN-650作为电极活性材料应用到CDI脱盐测试中。图3 (a)和(b)是在初始电导率为 $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、1.2V电压下电导率随时间变化的曲线和电流的实时变化。在吸附的初始阶段，溶液电导率迅速下降。100分钟后，电导率下降缓慢，趋于稳定值，表明达到吸附饱和。在此过程中，当吸附开始时电流迅速下降，直到达到很小值。一旦电路短路，吸附的离子从电极释放，电导率逐渐恢复到初始值。图3 (c)是0.8至1.4 V的电压下电导率随时间变化以及根据改进唐南模型模拟的理论曲线。随着电位的增加，浓度逐渐降低，同时高电压导致高比电吸附量。所有电压下的实验数据库与理论值非常吻合。模拟得到的有效电极面积约为 $7.2 \text{ m}^2$ ，是BET值的32% ( $172 \text{ m}^2/\text{g} \times 0.13\text{g}$ )。此外，斯特恩层电容 $C_{st}$ 高达 $0.5 \text{ F}/\text{m}^2$ ，表明吸附过程主要为双电层过程。值得一提的是在1.4 V下吸附容量高达 $7.08 \text{ mg}/\text{g}$ ，即使电压降低到0.6 V仍然具有 $1.66 \text{ mg}/\text{g}$ 的吸附容量。



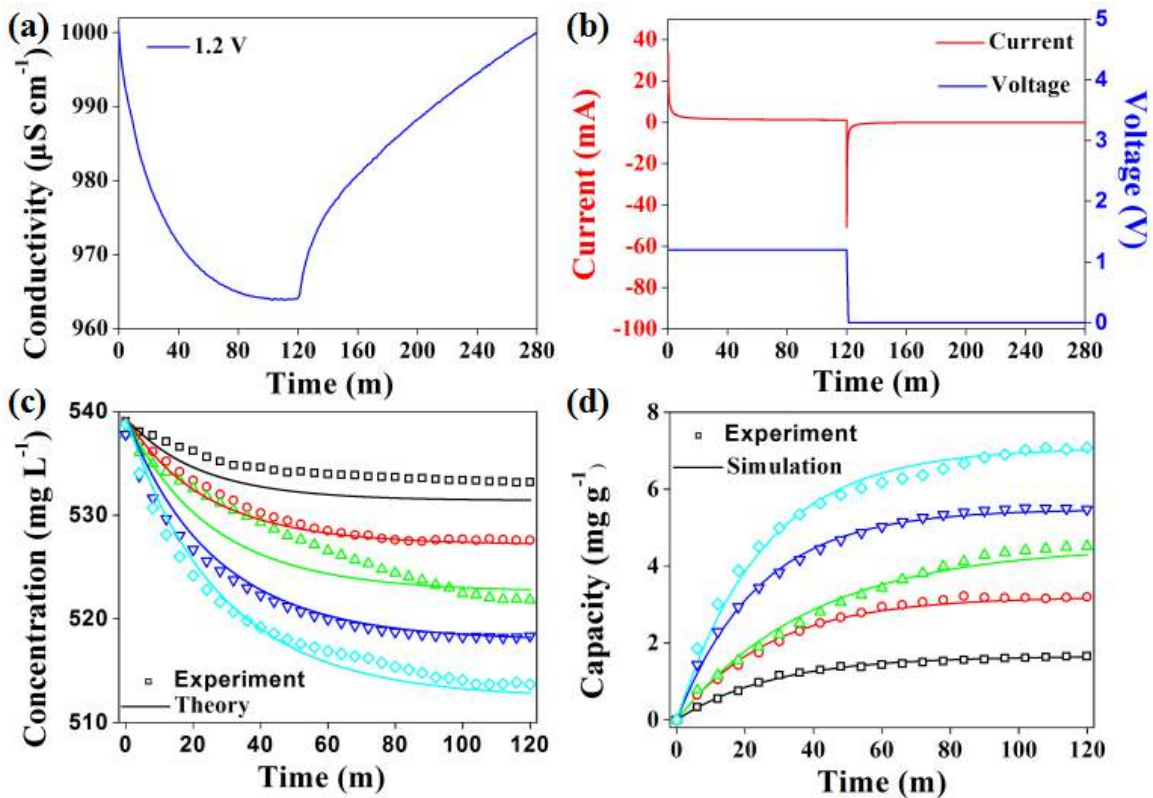


图 3 (a) HCN-650 的电吸附曲线, (b)瞬态电流变化, (c)不同电压下盐浓度随时间的变化 (线 : 理论值, 点 : 实验数据) 和(d)准一阶吸附动力学模拟曲线

## 结论

本文以ZIF-67作为前驱体,采用化学气相沉积法合成了一种新型碳多面体和碳纳米管杂化物(HCN)。HCN呈现出典型的网络结构,多面体多孔碳通过超长碳纳米管紧密连接。通过对比生长温度对HCN的影响,发现在650 $^{\circ}\text{C}$  (HCN-650)所制备的HCN在所有样品中具有最高比表面积( $\sim 172 \text{ m}^2/\text{g}$ )。研究HCN-650的脱盐特性发现其电吸附能力高达7.08  $\text{mg/g}$ 。此外,HCN-650的电吸附行为可以通过改进唐南模型来解释。

## 致谢

本论文研究工作得到了国家自然科学基金(Nos.21403120)的支持。

## 参考文献

- [1] M. A. Shannon, P. W. Bohn, M. Elimelech, J. G. Georgiadis, B. J. Marinas, A. M. Mayes, Science and technology for water purification in the coming decades, *Nature* 452 (2008) 301-310.

- [2] J. Schewe, J. Heinke, D. Gerten, I. Haddeland, N. W. Arnell, D. B. Clark, R. Dankers, S. Eisner, B. M. Fekete, F. J. Colón-González, S.N. Gosling, H. Kim, X. Liu, Y. Masaki, F. T. Portmann, Y. Satoh, T. Stacke, Q. Tang, Y. Wada, D. Wisser, T. Albrecht, K. Frieler, F. Piontek, L. Warszawski, P. Kabat, Multimodel assessment of water scarcity under climate change, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 111 (2014) 3245-3250.
- [3] P. Simon, Y. GoGotSi, Materials for electrochemical capacitors, *Nature Mater.* 7 (2008) 845-854.
- [4] G. Wang, L. Zhang, J. Zhang, A review of electrode materials for electrochemical supercapacitors, *Chem. Soc. Rev.* 41 (2012) 797-828.
- [5] L. Wang, Y. Han, X. Feng, J. Zhou, P. Qi, B. Wang, Metal-organic frameworks for energy storage: Batteries and supercapacitors, *Coord. Chem. Rev.* 307 (2016) 361-381.
- [6] P. Suktha, P. Chiochan, P. Iamprasertkun, J. Wutthiprom, N. Phattharasupakun, M. Suksomboon, T. Kaewsongpol, P. Sirisinudomkit, T. Pettong, M. Sawangphruk, High-Performance Supercapacitor of Functionalized Carbon Fiber Paper with High Surface Ionic and Bulk Electronic Conductivity: Effect of Organic Functional Groups, *Electrochim. Acta* 176 (2015) 504-513.
- [7] R. R. Salunkhe, Y. Kamachi, N. L. Torad, S. M. Hwang, Z. Sun, S. X. Dou, J. H. Kim, Y. Yamauchi, Fabrication of symmetric supercapacitors based on MOF-derived nanoporous carbons, *J. Mater. Chem. A* 2 (2014) 19848-19854.
- [8] M. E. Suss, S. Porada, X. Sun, P. M. Biesheuvel, J. Yoon, V. Presser, Water desalination via capacitive deionization: what is it and what can we expect from it? *Energy Environ. Sci.* 8 (2015) 2296-2319.
- [9] S. Porada, R. Zhao, A. van der Wal, V. Presser, P. M. Biesheuvel, Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization, *Prog. Mater. Sci.* 58 (2013) 1388-1442.
- [10] A. Thamilselvan, A. S. Nesaraj, M. Noel, Review on carbon-based electrode materials for application in capacitive deionization process, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 13 (2016) 2961-2976.

- [11] L. Chang, J. Li, X. Duan, W. Liu, Porous carbon derived from Metal-organic framework (MOF) for capacitive deionization electrode, *Electrochim. Acta* 176 (2015) 956-964.
- [12] H. Li, S. Liang, M. Gao, G. Li, J. Li, L. He, The study of capacitive deionization behavior of a carbon nanotube electrode from the perspective of charge efficiency, *Water Sci. Technol.* 71 (2015) 131-136.

# Carbon@Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub>核壳纳米管的制备及其脱盐性能研究

岳智帅 郜铁 李海波

(宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室)

**摘要:** 在本研究中, 我们报道了 C@Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub> (C@NTO)核壳纳米管的合成, 并作为一种新型的混合电容去离子 (HCDI)电极, 具有更好的性能, 克服了海水淡化存在的关键问题。C@NTO 纳米管在电化学性能方面, 如比容量、容量保持和阻抗等方面有很大的提高。根据 Langmuir 等预测, 基于 C@NTO 的 HCDI 在工作电压 1.4 V 下具有 80.6 mg/g 的超高除盐能力。而且, 即使在高浓度盐溶液中, C@NTO 的充电效率也接近 1。HCDI 脱盐能力提升主要归因于化学键的存在, 导致在脱盐过程中 Na 离子嵌入 C@NTO 电极。与纯 NTO 相比, C@NTO 具有较高的比表面积和较低的阻抗, 有利于增加盐离子的渗透和脱除率。这些结果表明, C@NTO 核壳纳米管是一种可行电极材料应用于 HCDI。

**关键词:** Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub>, Carbon@Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub>, 核壳结构, 电容去离子

## The synthesis and desalination performance of Carbon@Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub> core-shell nanotubes

Zhishuai Yue, Tie Gao, Haibo Li

(Key Laboratory of Ningxia for Photovoltaic Materials, Ningxia University)

### Abstract

In this work, we report the synthesis of carbon@Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub> (C@NTO) core-shell nanotube as novel electrodes for hybrid capacitive deionization (HCDI) with enhanced performance to overcome the several key issues of desalination. The C@NTO nanotube exhibits a highly improvement in electrochemical performance, i.e. specific capacity, capacitance retention and impedance. As predicted from Langmuir isotherm, the C@NTO based HCDI shows an ultrahigh salt removal capacity of 80.6 mg/g at cell voltage of 1.4 V. Moreover, the charge efficiency of C@NTO is closely approach to 1 even in high concentrated stream. The enhancement in salt removal capacity of the HCDI is attributed to the presence of chemical bond, resulting in insertion-desertion of Na ions into C@NTO during the desalination. Besides, the C@NTO possesses the improved specific surface area and low resistivity as compared to pure NTO, both of which are beneficial to increase the penetration of salty ions and the ion removal rate. These results suggest that the C@NTO core-shell nanotube is a feasible electrode material for desalination in the HCDI process.

**Keywords:** Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub>, Carbon@Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub>, Core-shell, Capacitive deionization

## 1 前言

饮用水匮乏已成为困扰许多国家不可避免的问题。另一方面，我们地球表面很大程度上被海洋覆盖，这意味着仅有一小部分水资源可以直接消耗。在这种情况下，寻找一种低成本、高效率的海水净化策略，对于应对淡水危机的挑战具有重要意义[1-3]。在过去的几十年里，包括反渗透、热蒸馏和机械蒸汽压缩等各种海水淡化技术不仅被提出并实现工业化生产。然而，现有的脱盐技术存在着明显的缺点，如资金成本高，脱盐效率低，回收率低，对环境有害等[4-5]。

电容去离子(Capacitive Deionization, CDI)在海水淡化领域日益受到人们的关注。它的工作原理是基于电化学双电层理论(Electric Double Layer, EDL)。带电粒子在静电力(电池电位 $< 2\text{ V}$ )的作用下被迫向相反电荷的电极方向迁移，并储存在电极与盐水界面之间形成的EDL中。再生方面，带电粒子可以通过短路释放回溶液中[6-8]。因此，CDI具有低成本、低驱动能源和环保的明显优势。CDI的脱盐能力与电极的物化性质密切相关，应具有导电性好、比表面积大、化学惰性等优点。基于上述原因，各种碳电极被提出，如活性炭[10]、碳纳米管[11, 12]、有序介孔碳[13]、碳气凝胶[14, 15]、碳纳米纤维[16]、石墨烯和碳复合材料[17]。但由于碳电极孔结构复杂、双电层叠加效应，其脱盐能力不理想( $< 20\text{ mg/g}$ )。此外，碳电极的电荷效率也相对较低，尤其是在高浓度的盐水中[18]。

最近，一种新型混合电容去离子(HCDI)系统被提出。在该系统中，采用 $\text{Na}_4\text{Mn}_9\text{O}_{18}$ (NMO)为负极，活性炭为正极的不对称结构。因此， $\text{Na}^+$ 通过化学键插入NMO中。同时， $\text{Cl}^-$ 被活性炭电极通过静电力捕获，最终脱盐能力为 $31.2\text{ mg/g}$ [19]。随后，类似的钠离子水系电池材料也相继在HCDI中得到了探索和应用，如 $\text{NaTi}_2(\text{PO}_4)_3$ 和 $\text{NaFe}_2(\text{PO}_4)_3$ [20]。但其比电容低，导电性差，容量衰减明显。同时， $\text{Na}^+$ 的嵌入/脱出在几个循环后破坏微观结构。NTO具有理论容量大( $> 200\text{ mAh/g}$ )、成本低、环境友好等优点，被认为是钠离子电池电极的理想选择。此外，与 $\text{Na}^+$ 电化学的相关反应预示着NTO在HCDI中应用的潜在能力。另一方面，还将NTO与碳耦合形成核壳结构[21]以提高导电性和微观结构稳定性[21]。

## 2 实验部分

### 2.1 样品制备

#### (1) NTO的制备

二氧化钛( $\text{TiO}_2$ )和氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )直接使用没有经过任何特殊处理。通过水热反应合成NTO的示意图如图1所示。首先， $0.3\text{ g TiO}_2$ 和 $50\text{ mL } 10\text{ M NaOH}$ 溶液放置在 $100\text{ mL}$ 的聚四氟乙烯容器中，在室温下剧烈搅拌30分钟。然后，聚四氟乙烯容器被快速转移到一个不锈钢高压釜，在 $200^\circ\text{C}$ 加热4 h。之后，当温度下降后高压釜被取出，所得白色化合物用去离子水(DI)在离心机中充分洗涤直到 $\text{pH} = 7$ 。最后，NTO纳米管在 $70^\circ\text{C}$ 烘12小时

后并磨成细粉。

## (2) C@NTO 的制备

无水葡萄糖 ( $C_6H_{12}O_6$ ) 用于生成碳包覆层的前驱体。实验步骤如下所述, 将 2.25 g  $C_6H_{12}O_6$  溶于 25 ml DI 水中后加入盛有 0.15 g NTO 的 100 ml 聚四氟乙烯容器中, 室温搅拌 30 分钟。随后停止搅拌并被转移到不锈钢高压釜, 在  $160^\circ C$  加热 4 h。之后所得沉淀物用去离子水和乙醇分别洗涤至少三次以上。然后, 棕色的前驱体在  $70^\circ C$  下加热 12 h 以出去残留溶剂。接下来, 将获得的前驱体放入低压室进行碳化。气化氛围为  $N_2$ , 气化温度为  $400^\circ C$  碳化 4 h, 最后得到黑色 C@NTO 粉末。碳化工程中, 升温速率和  $N_2$  气体流速分别设置为  $5^\circ C/$  分钟和 30 sccm。

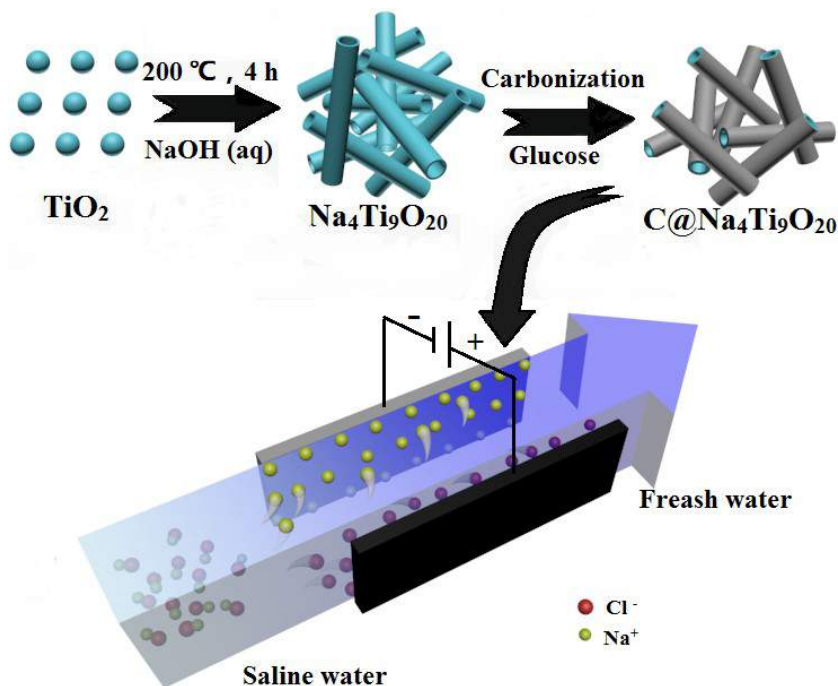


图 1 C@NTO 的合成原理图及 HCDI 的工作机理示意图

Fig. 1 The schematic synthesis of C@NTO and the working mechanism of HCDI

## 2.2 电极制备

### (1) 电化学实验电极制备

工作电极直接用制备好的活性材料(NTO 和 C@NTO)与超导炭黑、聚四氟乙烯(PTFE)按质量比 5: 1: 4 均匀混合直接制备。首先, 准确称取 0.05 g 活性物质和 0.01 g 超导炭黑移至研钵中, 滴加适量的乙醇溶液作为溶剂, 研磨数分钟。然后以 0.04 g PTFE 作为粘结剂加入, 继续搅拌, 直至得到均匀的浆体混合物。随后, 将获得的泥浆均匀地涂覆在特定的石墨纸( $10 \times 60 \times 0.2$  mm)和涂层的尺寸大约是  $10 \times 20 \times 0.25$  mm。最后为了除去残留的有机溶剂, 将所有制备电极都置于  $70^\circ C$  的电动恒温干燥箱 12 h。需要注意的是 NTO 和 C@NTO 的有效质量分别为 2.9 和 3.0 mg。

### (2) HCDI 实验电极制备

将制备好的泥浆混合物均匀地涂覆到特定的石墨纸 ( $70 \times 70 \times 0.2$  mm) 和涂层的尺寸

大约是  $55 \times 55 \times 0.29$  mm。最后，C@NTO 和 NTO HCDI 系统的总有效质量分别为 0.0730 g、0.0761 g。

### 3 材料表征与分析

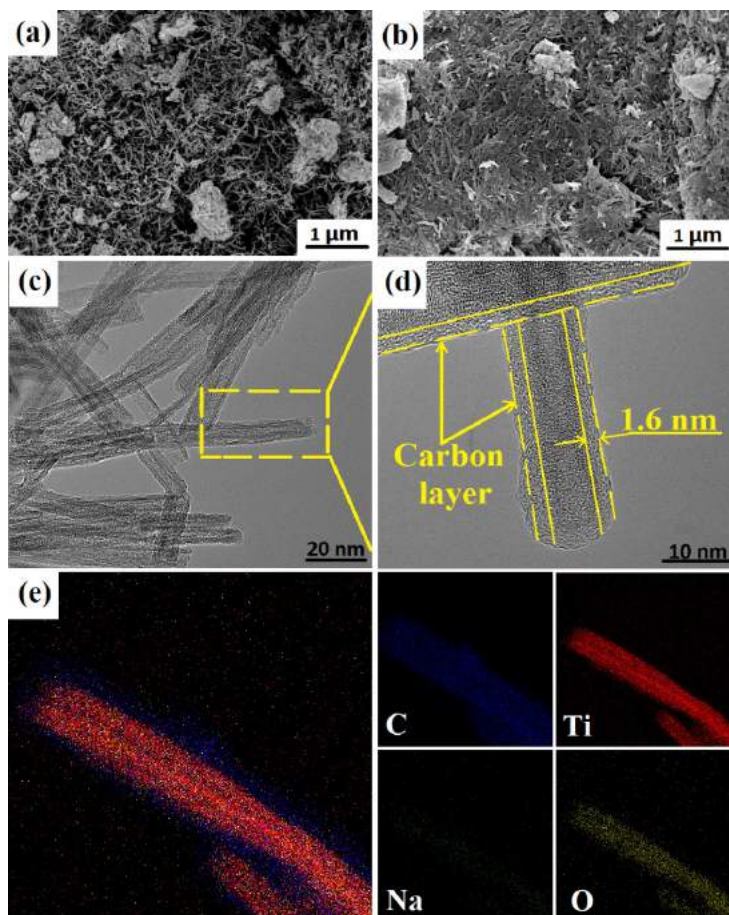


图2 (a) NTO (b) C@NTO的SEM图像, (c)低和(d)高放大倍数C@NTO的TEM图像, (e) C@NTO与C、Ti、Na和O的元素分布

Fig. 2 SEM image of (a) NTO (b) C@NTO, HRTEM image of C@NTO in (c) low and (d) high magnifications, (e) elemental mapping of C@NTO with C, Ti, Na and O

图2(a)和(b)分别是NTO和C@NTO的SEM图像, 两者都展示了典型的管状结构。但是区别在于NTO表面相对光滑致密, 而C@NTO电极表面疏松多孔。因此可预见C@NTO具有丰富的孔隙结构, 有利于离子的传输。另外, 我们发现碳包覆层在控制NTO纳米管长度方面起着重要作用。具体来说, C@NTO核壳纳米管比纯NTO纳米管短。图2(c)和(d)分别为C@NTO的低和高放大倍数下的TEM图像。很明显可以观察到C@NTO平均内径~ 5.2 nm, 远远大于 $\text{Na}^+$ 水合半径, 从而确保 $\text{Na}^+$ 的快速转移, 增强HCDI性能。此外, 碳层的厚度大约为~ 1.6 nm。利用元素分布可证明C@NTO核-壳纳米管结构。如图2(e)所示。纳米管分布有C, Na, O和Ti, 以及稳定的C包覆NTO的核壳纳米管结构。需要注意的是, 当碳化温度高于 $400^\circ\text{C}$ 时, NTO纳米管会分解且晶体结构也会发生转变[22]。



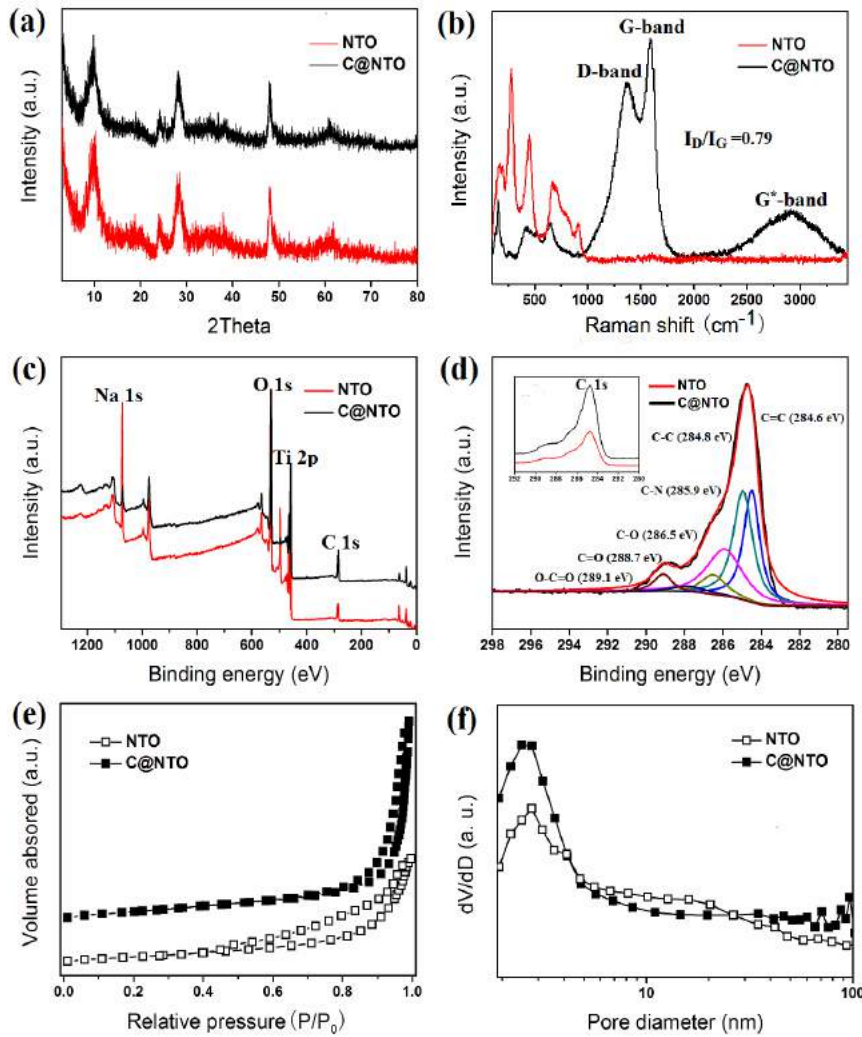


图3 (a) XRD, (b) Raman, (c) XPS, (d) C 1s, (e) N<sub>2</sub>吸附-脱附等温线以及孔径分布  
 Fig. 3 (a) XRD, (b) Raman, (c) XPS, (d) C 1s, (e) N<sub>2</sub> adsorption-desorption isotherm and pore size distribution of NTO and C@NTO

XRD表征了NTO和C@NTO的晶体结构。如图3(a)所示, NTO和C@NTO分别存在五个明显的特征峰:  $2\theta = 9.8^\circ$ 、 $24.3^\circ$ 、 $28.4^\circ$ 、 $48.2^\circ$ 和 $60.5^\circ$ , 表明NTO的晶体结构在碳层引入后仍可保持[23]。图3(b)给出了C@NTO在170.2、276.5、448.8、668.2、776.4、911.4  $\text{cm}^{-1}$ 的振动峰, 与NTO纳米管的典型结构一致[24]。除此之外, 在C@NTO的拉曼光谱中还出现了三个额外的振动峰, 被认为D峰、G峰和G\*峰分别与 $\text{sp}^3$ 型碳和 $\text{sp}^2$ 型石墨烯结构相关, 其峰值位置为1360、1580和2680  $\text{cm}^{-1}$ [25]。值得注意的是C@NTO的 $I_D/I_G$ 比值计算为0.79, 表明碳层主要由石墨结构组成, 可增强C@NTO电导率。我们还发现, C@NTO的所有化学键振动峰与纯NTO相比, 向低频方向产生了约15  $\text{cm}^{-1}$ 的偏移, 这是由于NTO与碳层之间化学键长度增加导致[26]。图3(c)是XPS全谱图, 存在Ti 2p、O 1s和Na 1s, 分别对应于457.4、529.4、1071.8 eV的振动峰。图3(d)所示的C 1s谱可以分解为5种不同的类型化学键, 包括C=C (284.6 eV)、C-C (284.8 eV)、C-N (285.9 eV)、C-O (286.5 eV)、C=O (288.7 eV)和O-C=O (289.1 eV) [25, 27]。除了C1s, Ti 2p谱包含两个峰, 第一个位于458.8 eV, 属于Ti 2p<sub>3/2</sub>,



另一个位于464.5 eV的中心位于Ti 2p<sub>1/2</sub>[28]。由于碳层的存在，NTO和C@NTO曲线之间的存在0.3 eV的偏移量。图3(e)展示了NTO和C@NTO的N<sub>2</sub>吸附-脱附等温线。总的来说，NTO和C@NTO等温线分为IV型等温线，相应的压力出现磁滞回线揭示了中孔的存在。图3(f)描绘了NTO和C@NTO的孔径分布，分别主要集中在2.789 nm和2.491 nm。此外，C@NTO的孔径分布比NTO宽得多，说明C@NTO可以提供多种混合尺寸的离子扩散途径，大大提高了脱盐能力。与孔隙结构相关的具体数值如表1所示，可以得到C@NTO的比表面积相较NTO从142.432急剧增加到193.694 m<sup>2</sup>/g。同时，孔隙体积几乎翻了一倍，从0.601 m<sup>3</sup>/g增至1.110 m<sup>3</sup>/g。这些改善主要是由于碳层的覆盖和NTO纳米管长度的收缩，可以有效地增加钠离子脱嵌的吸附空位和缩短扩散路径。

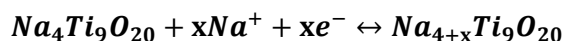
表1 NTO和C@NTO的孔隙结构

Table 1 Pore texture of NTO and C@NTO

Sample	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	V (cm <sup>3</sup> /g)	D <sub>avg</sub> (nm)
NTO	142.432	0.601	2.789
C@NTO	193.69	1.110	2.491

#### 4 电化学测试

图4(a)描述了C@NTO和NTO的CV曲线。测试条件：1M NaCl溶液，扫描速率为5 mV/s，电压窗口设置为-1到0 V。很显然，CV曲线都呈现出1对氧化还原峰，表明C@NTO存在与Na<sup>+</sup>脱嵌密切相关的高度可逆氧化还原反应，从而能够提供较高的脱盐能力。特征氧化还原峰主要位于-0.22 V和-0.38 V，伴随Ti<sup>4+</sup>/Ti<sup>3+</sup>的转化过程如下：



C@NTO的氧化还原峰电位与NTO的氧化还原峰电位基本相同，说明在电化学过程中，碳包覆层并不会影响Na<sup>+</sup>的脱嵌机理。图4(b)为NTO和C@NTO电极的扫描速率与比容量的变化。当扫描速率为1 ~ 100mv /s时，C@NTO的比电容从153.34降至42.02 F/g, NTO从62.84降至17.91 F/g。在一定的扫描速率下，C@NTO的比电容远高于NTO。为了证明C@NTO电极具有良好的电化学稳定性，对C@NTO电极的CV曲线进行了100次循环检测。C@NTO电极的电容仍然保持在92.42%。图4(c)给出了C@NTO和NTO在0.01 ~ 10<sup>6</sup>Hz频率范围内测量的EIS图[29]。由等效电路得到的拟合结果如表2所示。C@NTO的电荷转移电阻 (R<sub>ct</sub>) 相比NTO已经从2.26下降到0.98 Ω。图4(d)是C@NTO和NTO的接触角。NTO和C@NTO的测量值分别为34°和68°，说明电极具有良好的亲水性[30]。

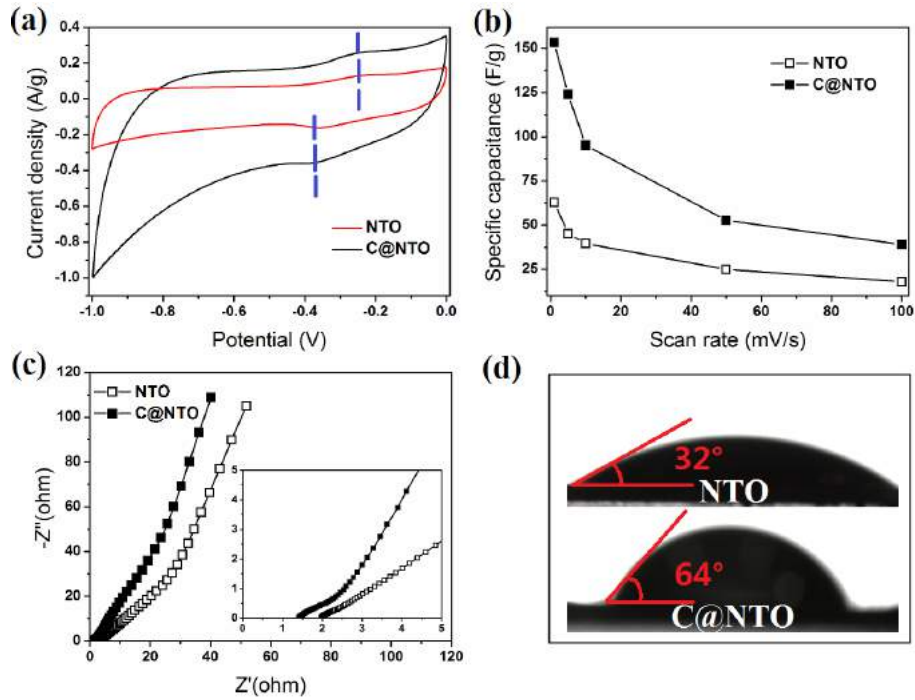


图4 NTO和C@NTO (a)的CV曲线, (b)在不同扫描速率下的比电容, (c) EIS和(d)接触角  
 Fig.4 (a) CV curve of NTO and C@NTO in 1 M NaCl solution measuring at 5 mV/s, (b) specific capacitance with respect to scan rate for NTO and C@NTO, (c) EIS spectra and (d) contact angle image of NTO and C@NTO

表2等效电路拟合出的 $R_s$ ,  $R_{ct}$ ,  $C_{dl}$ 和 $Q_{pe}$ 值

Table 2 Values of  $R_s$ ,  $R_{ct}$ ,  $C_{dl}$  and  $Q_{pe}$  fitted from the equivalent circuit

Sample	$R_s$ ( $\Omega$ )	$R_{ct}$ ( $\Omega$ )	$C_{dl}$ (F)	$Q_{pe}$ (F)
NTO	1.72	2.26	0.29	0.10
C@NTO	2.45	0.98	0.12	0.32

## 5 脱盐性能测试

图 5(a)和(b)分别展示了 C@NTO/AC 系统在初始浓度为  $500 \mu\text{S}/\text{cm}$  NaCl 溶液中 0.8, 1.0, 1.2 和 1.4 V 工作电压下电导率和电流瞬态变化规律。由于大量的反电荷离子被带电电极捕获, 电导率/电流在初始阶段出现急剧下降。随着时间的推移, 电极趋于电荷平衡导致电导率趋于相对稳定。图 5(c)是不同电压下 C@NTO 和 NTO 脱盐性能和电荷效率的对比结果。对于实验中的两类电极, 随着工作电压从 0.8 升高到 1.4 V, 脱盐容量逐渐增大。对于任意给定电压, C@NTO 的脱盐容量都远高于纯 NTO。值得注意的是, 当施加的工作电压为 1.4 V 时, C@NTO 的脱盐容量达到了  $35.12 \text{ mg}/\text{g}$ 。此外, C@NTO 电极的电荷效率接近于 100%, 而 NTO 电极的电荷效率约为 80%, 说明碳层的引入有效地提高了电量的利用效率。此外, 在不同浓度的 NaCl 溶液进行了 C@NTO 脱盐性能研究。当初始

盐浓度分别为 50 mg/L、500 mg/L 和 1000 mg/L 时，在 1.4 V 工作电压下的脱盐容量分别为 20.19 mg/g、49.91 mg/g 和 66.14 mg/g，相应的电荷效率也均接近 100%。

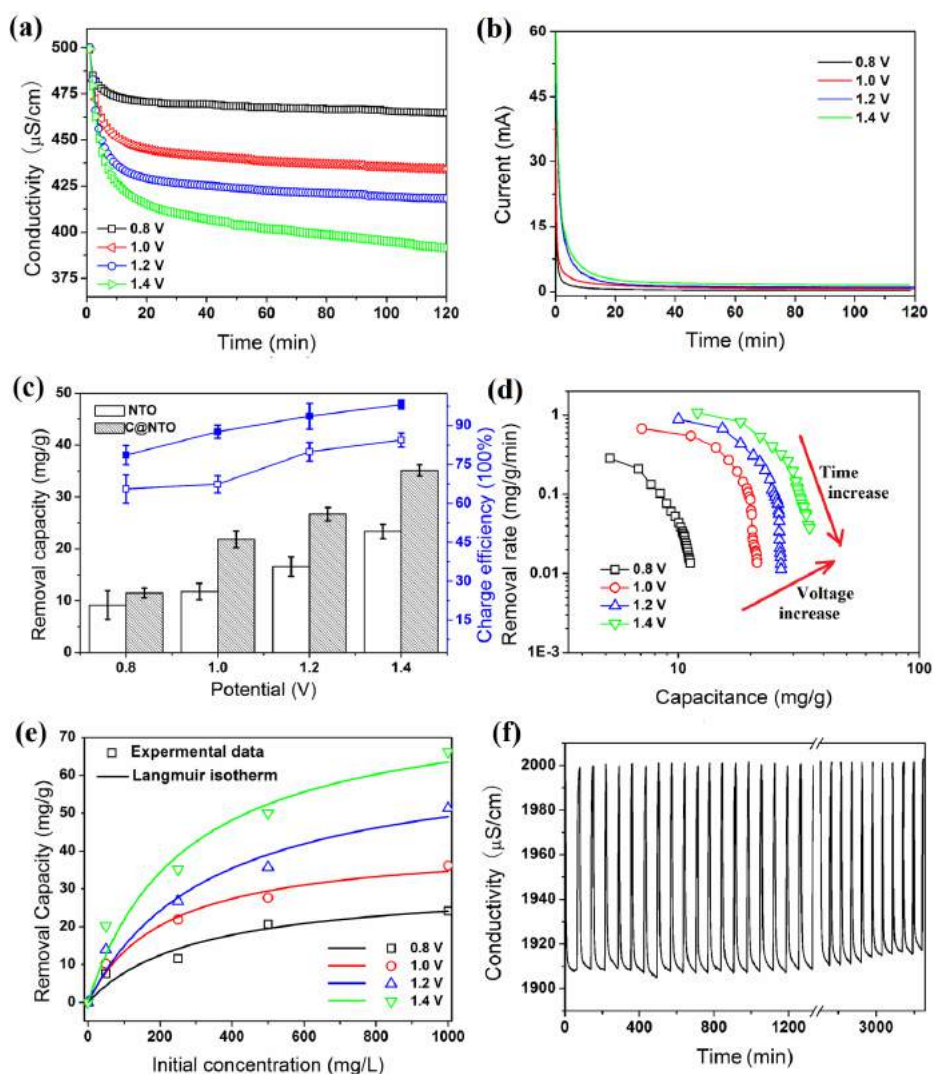


图5 C@NTO在500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  NaCl溶液中不同工作电压下(a)电导率和(b)电流随时间变化曲线, 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$  NaCl溶液中(c)NTO和C@NTO在不同工作电压下脱盐容量 (mg/g) 和电荷效率(%) (d)C@NTO在不同电压下的Ragone Kim-Yoon-Plot变化趋势, (e) C@NTO分别在0.8, 1.0, 1.2 和1.4 V工作电压下的Langmuir吸附曲线与实验数据, (f) C@NTO 在2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$  NaCl溶液中1.2 V工作电压下的循环性能。

Fig. 5(a) conductivity and (b) current transient of C@NTO in 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  of NaCl solution at different cell potential, (c) salt removal capacity (mg/g) and charge efficiency (%) in terms of potential (V) for NTO and C@NTO, (d) the effect of voltage on the CDI Ragone Kim-Yoon-Plot in NaCl solution with an initial conductivity of 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , (e) Langmuir isotherm together with experimental data of C@NTO at cell potential of 1.0, 1.2 and 1.4 V, (f) cycling performance of C@NTO at cell potential of 1.2 V in 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  of NaCl solution.

图5(d)显示了在初始电导率为500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  NaCl溶液中，电压对电容脱盐系统Ragone Kim-Yoon-Plot的影响。当工作电压从0.8增加到1.4 V时，系统脱盐容量增加，Ragone Kim-Yoon-Plot右转和上移，表明脱盐容量和脱盐速率均增大。Langmuir吸附曲线也被用于研究C@NTO的HCDI行为。模拟与实验数据分别如图5(e)和表3所示。结果表明，Langmuir吸附曲线与实验数据吻合较好，在所有电压条件下系数 $r^2$ 均接近于1。 $Q_m$ 为最大脱盐容量，分别为31.42、42.09、65.97和80.56 mg/g，在相应工作电压为0.8、1.0、1.2和1.4 V时。此外，C@NTO电极的可逆性和稳定性在初始电导率为2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 的NaCl溶液进行了验证。工作电压为1.2 V，循环50圈。如图5(f)所示，前20个周期电容吸附/脱附几乎没有变化。随着时间的推移，脱盐容量几乎没有衰减，为3.78 mg/g [31]。

表3 Langmuir拟合系数

Isotherm	Model equation	Parameter	Value			
			0.8 V	1.0 V	1.2 V	1.4 V
Langmuir	$q = \frac{q_m K_L C}{1 + K_L C}$	$q_m$	31.4225	42.0893	65.9692	80.5609
		$K_L$	0.0017	0.0046	0.0029	0.0037
		$r^2$	0.9379	0.9811	0.9590	0.9575

## 6 结论

本工作通过简单的水热反应合成carbon@Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub> (C@NTO)核-壳纳米管并作为混合电容去电离（HCDI）的电极。结果表明，C@NTO纳米管在电化学性能HCDI性能上有显著的提高。根据Langmuir吸附曲线的预测，基于C@NTO的HCDI在工作电压为1.4 V时具有80.56 mg/g的超高脱盐能力。这是由于在脱盐过程中存在化学键，导致Na<sup>+</sup>能够嵌入到C@NTO中。与纯NTO相比，C@NTO具有较高的比表面积和较低的电阻率，均有利于增加盐离子的传输性能和离子脱除能力。此外，C@NTO电极的可逆性和稳定性得到了较好的验证。这些结果表明，C@NTO核壳纳米管是HCDI脱盐工艺中可行的电极材料。

## 参考文献

- [1] G.X. Li, P.X. Hou, S.Y. Zhao, C. Liu, H.M. Cheng, A flexible cotton-derived carbon sponge for high-performance capacitive deionization, *Carbon*, 101 (2016), 1-8.
- [2] F.A. AlMarzooqi, A.A. Al Ghaferi, I. Saadat, N. Hilal, Application of Capacitive Deionisation in water desalination: A review, *Desalination*, 342 (2014), 3-15.
- [3] Y.X. Huang, F.M. Chen, L. Guo, H.Y. Yang, Ultrahigh performance of a novel electrochemical deionization system based on a NaTi<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/rGO nanocomposite, *J. Mater. Chem. A*, 5 (2017), 18157-18165.
- [4] J. Li, B.X. Ji, R. Jiang, P.P. Zhang, N. Chen, G.F. Zhang, L.T. Qu, Hierarchical hole-enhanced 3D graphene assembly for highly efficient capacitive deionization, *Carbon*, 129 (2018), 95-103.

- [5] M. Elimelech, W.A. Phillip, The future of seawater desalination: Energy, technology, and the environment, *Science*, 333 (2011), 712-717.
- [6] H. Yoon, J. Lee, S. Kim, J. Yoon, Hybrid capacitive deionization with Ag coated carbon composite electrode, *Desalination*, 422 (2017), 42-48.
- [7] Z.J. Wang, H. Gong, Y. Zhang, P. Liang, K.J. Wang, Nitrogen recovery from lowstrength wastewater by combined membrane capacitive deionization (MCDI) and ion exchange (IE) process, *Chem. Eng. J.*, 316 (2017), 1-6.
- [8] H. Wang, D.S. Zhang, T.T. Yan, X.R. Wen, J.P. Zhang, L.Y. Shi, Q.D. Zhong, Three-dimensional macroporous graphene architectures as high performance electrodes for capacitive deionization, *J. Mater. Chem. A*, 1 (2013), 11778-11789.
- [9] F.B. Su, C.K. Poh, J.S. Chen, G.W. Xu, D. Wang, Q. Li, J.Y. Lin, X.W. Lou, Nitrogen-containing microporous carbon nanospheres with improved capacitive properties, *Energy Environ. Sci.*, 4 (2011), 717-724.
- [10] N. Li, J.K. An, X. Wang, H.M. Wang, L. Lu, Z.Y.J.S. Ren, Resin-enhanced rolling activated carbon electrode for efficient capacitive deionization, *Desalination*, 409 (2017), 20-28.
- [11] C.J. Yan, L. Zou, R. Short, Single-walled carbon nanotubes and polyaniline composites for capacitive deionization, *Desalination*, 290 (2012), 125-129.
- [12] H.B. Li, S. Liang, M.M. Gao, G.L. Li, J. Li, L.J. He, The study of capacitive deionization behavior of a carbon nanotube electrode from the perspective of charge efficiency, *Water Sci. Technol.*, 71 (2015), 131-136.
- [13] Y.C. Tsai, R.A. Doong, Hierarchically ordered mesoporous carbons and silver nanoparticles as asymmetric electrodes for highly efficient capacitive deionization, *Desalination*, 398(2016), 171-179.
- [14] G. Rasines, P. Lavela, C. Macias, M.C. Zafra, J.L. Tirado, C.O. Ania, On the use of carbon black loaded nitrogen-doped carbon aerogel for the electrosorption of sodium chloride from saline water, *Electrochim. Acta.*, 170 (2015), 154-163.
- [15] H.H. Jung, S.W. Hwang, S.H. Hyun, L. Kang-Ho, G.T. Kim, Capacitive deionization characteristics of nanostructured carbon aerogel electrodes synthesized via ambient drying, *Desalination*, 216 (2007), 377-385.
- [16] Y.Z. Chen, M.B. Yue, Z.H. Huang, F.Y. Kang, Electrospun carbon nanofiber networks from phenolic resin for capacitive deionization, *Chem. Eng. J.*, 252 (2014), 30-37.
- [17] H.B. Li, S. Liang, J. Li, L.J. He, The capacitive deionization behaviour of a carbon nanotube and reduced graphene oxide composite, *J. Mater. Chem. A*, 1 (2013), 6335-6341.
- [18] E. Avraham, M. Noked, Y. Bouhadana, A. Soffer, D. Aurbach, Limitations of Charge Efficiency in Capacitive Deionization II. On the Behavior of CDI Cells Comprising Two Activated Carbon Electrodes, *J. Electrochem. Soc.*, 126 (2009), 157-162.
- [19] J. Lee, S. Kim, C. Kim, J. Yoon, Hybrid capacitive deionization to enhance the desalination performance of capacitive techniques, *Energy Environ. Sci.*, 7 (2014), 3683-3689.
- [20] S. Kim, J. Lee, C. Kim, J. Yoon, Na<sub>2</sub>FeP<sub>2</sub>O<sub>7</sub> as a Novel Material for Hybrid Capacitive Deionization, *Electrochim. Acta.*, 203 (2016), 265-271.
- [21] S.B. Wang, B.Y. Guan, L. Yu, X.W. Lou, Rational Design of Three-Layered TiO<sub>2</sub>@Carbon@MoS<sub>2</sub> Hierarchical Nanotubes for Enhanced Lithium Storage, *Adv. Mater.*, 29 (2017), 1702724.

- [22] Y. Ohsaki, N. Masaki, T. Kitamura, Y. Wada, T. Okamoto, T. Sekino, K. Niihara, S. Yanagida, Dye-sensitized TiO<sub>2</sub> nanotube solar cells: fabrication and electronic characterization, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 7 (2005), 4157-4163.
- [23] A. Villard, B. Siboulet, G. Toquer, A. Merceille, A. Grandjean, J.F. Dufreche, Strontium selectivity in sodium nonatitanate Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub> • xH<sub>2</sub>O, *J. Hazard. Mater.*, 283 (2014), 432-438.
- [24] F. Zhou, T. Gao, M. Luo, H.B. Li, Heterostructured graphene@Na<sub>4</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub> nanotubes for asymmetrical capacitive deionization with ultrahigh desalination capacity, *Chem. Eng. J.*, 343 (2018), 8-15.
- [25] M. Li, X.Z. Xiao, X.L. Fan, X. Huang, Y.J. Liu, L.X. Chen, Carbon coated sodium-titanate nanotube as an advanced intercalation anode material for sodium-ion batteries, *J. Alloys. Compd.*, 712 (2017), 365-372.
- [26] A.A. Salah, A. Mauger, K. Zaghbi, J. Goodenough, N. Ravet, M. Gauthier, F. Gendron, C.M. Julien, Reduction Fe<sup>3+</sup> of impurities in LiFePO<sub>4</sub> from pyrolysis of organic precursor used for carbon deposition, *J. Electrochem. Soc.*, 153 (2006), 1692-1701.
- [27] H.M. Cai, X.Y. Lin, Y. Qin, X.G. Luo, Hydrothermal synthesis of carbon microsphere from glucose at low temperature and its adsorption property of uranium(VI), *J. Radioanal Nucl. Chem.*, 311 (2017), 695-706.
- [28] M.Z. Yu, S. Zhou, Z.Y. Wang, J.J. Zhao, J.S. Qiu, Boosting electrocatalytic oxygen evolution by synergistically coupling layered double hydroxide with MXene, *Nano Energy*, 44 (2018), 181-190.
- [29] X. Wu, X. Hong, Z. Luo, K.S. Hui, H. Chen, J. Wu, K. Hui, L. Li, J. Nan, Q. Zhang, Graphene supported nitrogen-doped porous carbon nanosheets derived from zeolitic imidazolate framework for high performance supercapacitors, *Electrochim. Acta.*, 89 (2013), 400-406.
- [30] K.Y. Law, Definitions for hydrophilicity, hydrophobicity, and superhydrophobicity: getting the basics right, *J. Phys. Chem. Lett.*, 5 (2014), 686-688.
- [31] J. J. Lado, R. E. Pérez-Roa, J. J. Wouters, M. I. Tejedor-Tejedor, C. Federspill, M. A. Anderson, Continuous cycling of an asymmetric capacitive deionization system: an evaluation of the electrode performance and stability. *J. Environ. Chem. Eng.*, 4 (2015), 2358-2367.

## 来源于 ZIF-8 的多孔碳电极在锂离子电池嵌锂脱锂过程中的容量衰减机制

杜英杰 郜铁 马薇 李海波  
(宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室)

**摘要:** 随着日益加剧的能源短缺和环境污染,对清洁可再生的能源和储能技术的追求已经风靡世界。锂离子电池,被视为最有潜力解决能源危机的储能设备。但是,传统的石墨类锂离子电池阳极材料,理论容量仅为 372 mAh/g,远远不能满足人们的需求。发展高容量的碳材料阳极已经成为锂离子电池研究的热点。ZIF-8 作为一种典型的金属有机骨架,热解后就能获得具有杰出电化学性质和超大比表面积的多孔碳材料。当它被用作锂离子电池阳极时,具有高达 2000-3000 mAh/g 的首圈放电容量。但是,首圈容量衰减大,库仑效率低,循环稳定性差困扰着多孔碳材料的发展。通过研究,我们发现造成这种现象的原因,是锂离子电池嵌锂和脱锂过程中,多孔碳材料结构的损坏和不可逆的合金化反应。创新性地引入了密度泛函理论,进一步证明了基于多孔碳的氮掺杂石墨烯结构的容量衰减机制。最后,我们提出了有效的方法提高首圈库仑效率和循环稳定性。

**关键词:** 多孔碳,金属有机骨架,密度泛函理论,容量衰减

### **Capacity fading of nanoporous carbon electrode derived from ZIF-8 during insertion-desertion of lithium ions**

Yingjie Du

(Ningxia Key Laboratory of Photovoltaic Materials, Ningxia University)

**Abstract:** The shortage of energy resources, together with environment pollution, promote the pursuit of clean renewable energy and storage technologies all over the world. Lithium ion batteries (LIBs) are regarded as one of the most potential power sources to address the above issues due to its excellent properties of superior capacity, stable rate performance and portable volume especially for mobile electronic equipment. However, the typical commercial anode, i.e. graphite, fails to satisfy the overgrowing storage demand of LIBs because of its low theoretic capacity (372 mAh/g). The development of carbon materials with high capacity and the advantages of graphite has become a hot spot of LIBs research. Zeolitic imidazolate frameworks (ZIF-8), one of the typical metal organic frameworks, has a dodecahedron structure with controllable geometrical size. Better yet, with superior electrochemical performance and superlarge specific surface area, the nanoporous carbon can be obtained readily by pyrolysis ZIF-8 directly. When employed as anode for lithium ions batteries, the nanoporous carbon owns outstanding discharge capacity of 2000-3000 mAh/g during the first circle. However, the huge charge capacity fading, low coulombic efficiency in the first circle and unstable cycling performance perplex the advance of nanoporous carbon. Through the research, we have found that the structure damage and irreversible alloying reaction during insertion-desertion of lithium ions are responsible for these defects. Innovatively, introduced density functional theory provides crucial proofs about capacity mechanism for N-doped graphene based nanoporous carbon anode of lithium-ion batteries. In conclusion, we also take effective measures to surmount these issues when nanoporous carbon is used for anode material of LIBs.

**Keywords:** Nanoporous carbon, Metal organic framework, Density functional theory, Capacity fading



## 1 引言

能源短缺以及环境污染促进了全世界对清洁可再生能源和储存技术的追求[1]。锂离子电池被认为是解决上述问题的最有潜力的电源之一，它具有优异的容量，稳定的速率性能和特别有利于移动电子设备的便携式体积[2]。然而，典型的锂离子电池商业阳极材料，石墨，其理论容量低 ( $\sim 372\text{mAh/g}$ )，不能满足锂离子电池的日益增长的储能需求。

沸石咪唑骨架 (ZIFs-8) 是典型的金属有机骨架之一，具有可控尺寸的十二面体结构[3]。此外，可以通过直接热解 ZIF-8 获得纳米多孔碳 (NC) [4, 5] 和多孔配位聚合物 (PCP) [6, 7] 并用于电催化剂，超级电容器和锂离子电池 [8-12]。尽管已经进行了许多努力来优化与源自 ZIF-8 (NC-ZIF-8) 的 NC 阳极相关的容量衰减和循环稳定性，但是容量衰减的机制仍然是未知的并且需要彻底研究。

## 2 实验

### 2.1 NC-ZIF-8 的合成

根据我们之前的实验[13]方法制备前驱体。将 7.0392g 硝酸锌六水合物和 15.5736g 2-甲基咪唑溶解在 480ml 甲醇中，然后将混合物在 40°C 下搅拌 0.5 小时。随后，收集沉淀物 (ZIF-8) 并使用甲醇洗涤三次。最后，将 ZIF-8 颗粒置于加热炉内，同时以 50sccm 的速度注入氮气，然后以 10°C/min 的速率升温至 1000°C 并保持 2 小时。

### 2.2 理论计算模型和参数

第一性原理密度泛函理论 (DFT) 致力于计算三种 N 掺杂石墨烯模型。静态电子结构和绝热分子动力学 (MD) 计算均采用 VASP 软件[14]。所有计算均使用平面波基础，交换相关项的 PBE 密度函数和投影仪增强波 (PAW) 电位[15]。布里渊区域被分为  $2 \times 3 \times 2$  Monkhorst-pack k 点网格，截断能为 650eV。

根据拉曼光谱和高倍透射观察结果，NC-ZIF-8 可简化为多层石墨碳。因此，我们选择简化的单层石墨烯表面作为计算模型，如图 1 所示。共有 72 个原子，晶格常数为  $a = 14.78\text{\AA}$ ， $b = 12.80\text{\AA}$ ，z 方向  $c = 20\text{\AA}$  的真空层排除周期性相互作用。同时，石墨烯的 C-C 长度为  $1.4218\text{\AA}$ ，符合实验数据  $1.42\text{\AA}$ ，缺陷的形成能 ( $\Delta E_f$ ) 计算如下[16]：

$$\Delta E_f = E_{\text{total}} [\text{defect}] - E_{\text{total}} [\text{bulk}] - \sum \mu_i \quad (1)$$

其中  $E_{\text{total}} [\text{defect}]$  和  $E_{\text{total}} [\text{hulk}]$  分别是 N 掺杂和完整石墨烯的能量。  $\mu_i$  表示体积和缺陷原子的化学势。在该等式中，完整石墨烯中每个原子的能量是  $\mu_c$ ，并且  $N_2$  分子的一半能量是  $\mu_N$ 。

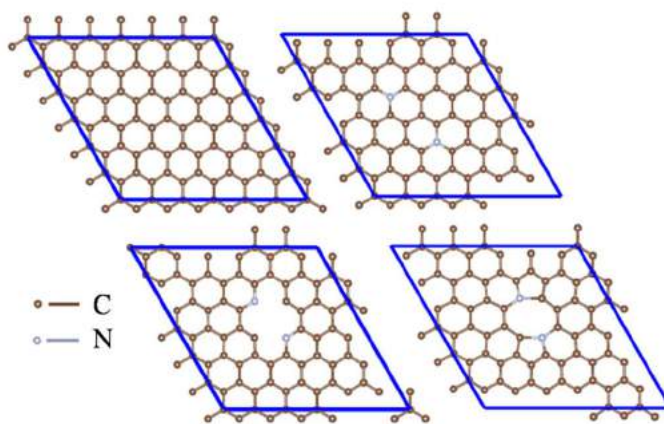


图 1 (a) 单层石墨烯，(b) 石墨，(c) 吡啶和 (d) 吡咯氮掺杂石墨烯的示意图。



### 3 结果与讨论

#### 3.1 形态和结构

图 2 (a) 和 (b) 显示了 NC-ZIF-8 的扫描电子显微镜和透射电子显微镜图像, 显示出均匀的多面体笼状结构, 平均尺寸为 50nm。同时, ZIF-8 前驱体尺寸约为 25nm (图 S1 (a))。这种明显的差异归因于高温热解[17]。有趣的是, NC-ZIF-8 衍生的大腔对 LIB 中的  $\text{Li}^+$  渗透具有极大的益处[18]。此外, 如图 2 (c) 所示, 它是 NC-ZIF-8 的高倍透射电子显微镜图像, 在 NC-ZIF-8 的表面上有许多大孔。与 ZIF-8 相比, 这些缺陷增强了 NC-ZIF-8 的不稳定性。图 2 (d) 证明了 NC-ZIF-8 中 C, N, O 的均匀分布和存量较少的 Zn。

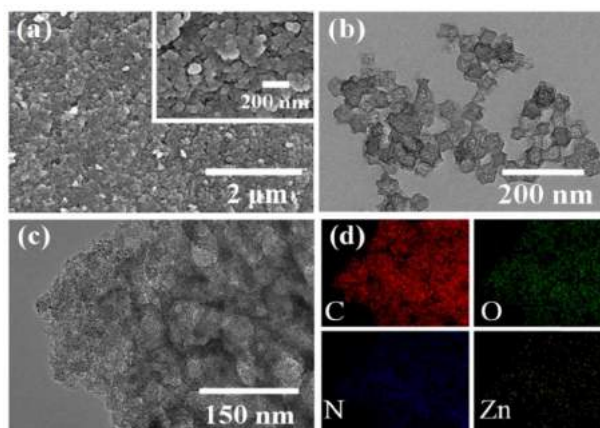


图 2 (a) 扫描电子显微镜 (b) 透射电子显微镜 (c) 高倍透射电子显微镜和 (d) NC-ZIF-8 的元素分布图

图 3 (a) 显示了 NC-ZIF-8 和 ZIF-8 的 XRD 图谱。与 ZIF-8 [19] 的典型衍射图相比, 位于  $26.6^\circ$  的峰分配给 NC-ZIF-8 图案中的碳的 (103) 面。在  $36.3^\circ$ ,  $38.9^\circ$ ,  $43.2^\circ$  处的其他三个峰被识别为金属锌衍射峰, 对应于 (002), (100), (101) 平面[20]。在图 3 (b) 中, NC-ZIF-8 的拉曼光谱显示出三个峰锁定在  $1365\text{ cm}^{-1}$ ,  $1595\text{ cm}^{-1}$  和  $2750\text{ cm}^{-1}$ , 对应于 D, G 和 2D 峰[21]。D 峰与 G 峰的强度比 ( $I_D / I_G$ ) 表示在石墨碳上存在的缺陷量。与典型的氧化石墨烯[22]相比,  $I_D / I_G = 0.936$  意味着 NC-ZIF-8 中存在大量缺陷, 这对完整和稳定的微观结构是有害的。此外, 通过 XPS 检测 NC-ZIF-8 的元素和化学状态, 包括测量光谱 (图 3 (c)), C 1s (图 3 (d)) 和 N 1s (图 3 (e))。Zn 2p 和 O 1s 的光谱绘制在图 S2 (a) 和 (b) 中。在测量光谱中, 可以找到 C, N, O 和 Zn 的存在, 这与元素映射结果一致。C 1s 轨道的高分辨率光谱表明, 解卷积的峰属于  $\text{sp}^2$  杂化碳 ( $284.8\text{ eV}$ ), C-C ( $285.8\text{ eV}$ ) 和 C-O ( $288\text{ eV}$ ) [23]。重要的是, 与 N 1s 谱相关的峰证实存在吡啶 N ( $398.3\text{ eV}$ ), 吡咯 N ( $399.1\text{ eV}$ ), 石墨 N ( $401.2\text{ eV}$ ) 和 N 氧化物 ( $403.2\text{ eV}$ ) [24]。值得注意的是, 与吡啶和吡咯 N 相比, 石墨 N 具有更高的能量, 因此 NC-ZIF-8 的结构将更容易崩溃[25]。另一方面, Zn 2p 轨道, Zn 2p  $1/2$  ( $1044.8\text{ eV}$ ) 和 Zn 2p  $3/2$  ( $1022\text{ eV}$ ) 的光谱中只有两个峰。  $22.8\text{ eV}$  的结合能隙与之前的报告非常吻合[26]。此外, O 1s 具有三个解卷积峰 C=O ( $533.5\text{ eV}$ ), C-O ( $532.4\text{ eV}$ ) 和六方  $\text{Zn}^{2+}$  离子阵列 ( $530\text{ eV}$ ) 的纤锌矿结构中的 O $^{2-}$  离子[27]。图 3 (f) 是 NC-ZIF-8 的 N $_2$  吸附 - 解吸等温线, 以及孔径分布 (插图), 表明分级多孔结构。微孔和中孔分别衍生自互连的碳骨架和 NC-ZIF-8 颗粒的空腔。NC-ZIF-8 的 Brunauer-Emmett-Teller (BET) 比表面积测量为  $1275.8\text{ m}^2 / \text{g}$ , 总孔体积为  $2.219\text{ cm}^3 / \text{g}$ 。由于高温热解, NC-ZIF-8 的空腔产生如此高的比表面积。NC-ZIF-8 的分级结构有利于插入  $\text{Li}^+$ , 然而, 在多次循环后  $\text{Li}^+$  的插入 - 离去期间很可能破坏, 导致低 CE 和循环性能。为了进行比较, ZIF-8 的热解也在  $600$  和  $800^\circ\text{C}$  下进行。NC-ZIF-600, 800 和  $1000^\circ\text{C}$  的表面积, 孔体积和孔宽如表 S1 所示。显

然，随着热解温度，表面积和孔体积增加。因此，随着温度的升高，更多的孔和缺陷将极大地影响 NC-ZIF-8 的稳定性。

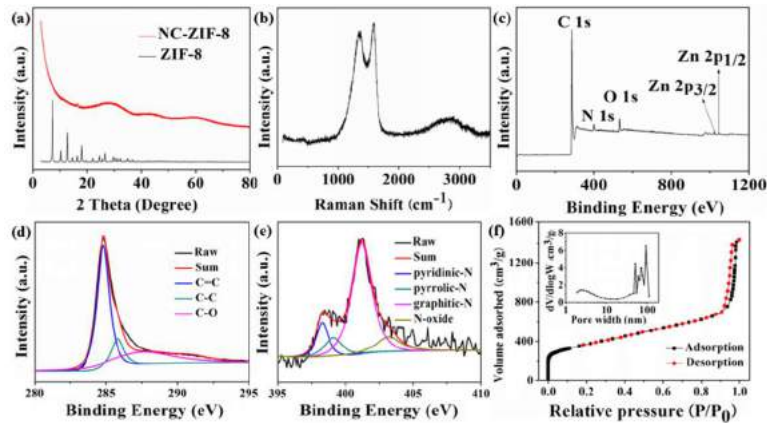


图 3 (a) XRD 图 (b) 拉曼光谱 (c) 调查 NC-ZIF-8 的 XPS 光谱 (d) C 1s (e) N 1s NC-ZIF-8 的峰。(f) NC-ZIF-8 的 N2 吸附 - 解吸等温线，插图是相应的孔径分布曲线。

### 3.2 计算结果

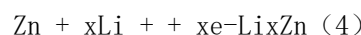
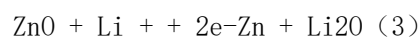
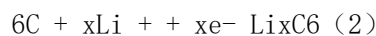
为了研究 N 掺杂对 NC-ZIF-8 结构稳定性的影响，进行了第一性原理密度泛函理论 (DFT) 计算。结果列于表 1 中，包括原子，基态能量，C-N 键长和缺陷形成能。与完整石墨烯相比，所有氮掺杂石墨烯的形成能均为正，表明它们对热力学有害。显然，吡啶和吡咯的形成能分别为 7.52 和 8.17 eV，两者都远大于石墨碳 (1.83 eV)。因此，石墨氮将占据 NC-ZIF-8 中的主要位置，对应于图 3 (e) 中 XPS 光谱的解卷积的 N 1s 峰。大量的石墨氮赋予 NC-ZIF-8 更高的能量，从而导致结构破坏。

项目	完整石墨烯	石墨氮掺杂	吡啶氮掺杂	吡咯氮掺杂
原子个数	72	72	70	70
形成能	0	1.83	7.52	8.17
键长	1.42 (C-C)	1.41	1.35	1.39, 1.48

表 1 原子数，形成能和氮掺杂石墨烯中的键长。

### 3.3 NC-ZIF-8 电池的性能和容量衰减

图 4 (a) 显示了电流密度为 50 mA / g 的 NC-ZIF-8 的 GCD 曲线。初始放电容量为 3164mAh / g，而可逆充电容量为 1347mAh / g，因此第一次循环的 CE 仅为 42.57%。正如之前报道[28]所述，平台出现在 0.3 V 代表 SEI 的形成。在图 4b 中，CE 在第二个圆圈处飙升至 105%，并在 10 个圆圈后保持在 100%。图 4 (c) 给出了 NC-ZIF-8 的典型 CV 曲线，其电压范围为 0 至 3V，扫描速率为 0.1mV / s。总结了阳极锂化在阳极上的主要电化学反应[12, 29]：



式 (2) 表示 C 和 Li<sup>+</sup>之间的反应;式 (3) 表示 ZnO 还原成金属 Zn;反应 (4) 意味着在金属 Zn 和 Li<sup>+</sup>之间形成 Li<sub>x</sub>Zn 合金。重点是，典型的不可逆合金化反应减少了透射性 Li<sup>+</sup>的数量，并且与结构坍塌相比，容量逐渐消失的主要原因相同。在阳极循环中，0.55V 出现的氧化峰可以分布到方程 (4)，说明金属 Zn 与 Li<sup>+</sup>反应形成合金化 Li<sub>x</sub>Zn。此外，根据方程 (3) 的反

应，确定位于 1.3V 和 2.5V 的微小氧化峰对 Li<sub>2</sub>O 的分解和由 ZnO 形成的金属 Zn。在阴极循环期间，在 1.0~0.6V 处存在广泛的还原峰，其被确定为方程 (2)。图 4 (d) 显示了 NC-ZIF-8 的典型奈奎斯特图。根据插图中的 Randle 等效电路进行安装。中频到低频的直线表明所有测试阳极材料都具有出色的扩散和快速动力学反应[30]。在 30 和 70 个圆之后的高频区域中，对应于溶液电阻 (R<sub>s</sub>) [31]的 x 截距从 9.75 增加到 17.6Ω。同时，在中频区域，半圆形的第二边缘的截距与电荷转移电阻 (R<sub>ct</sub>) [32]相关联，其从 44.4 增加到 88.2Ω。因此，由于 NC-ZIF-8 内部的结构衰减和 Li<sub>x</sub>Zn 合金的形成，电阻随着循环指数而增加。

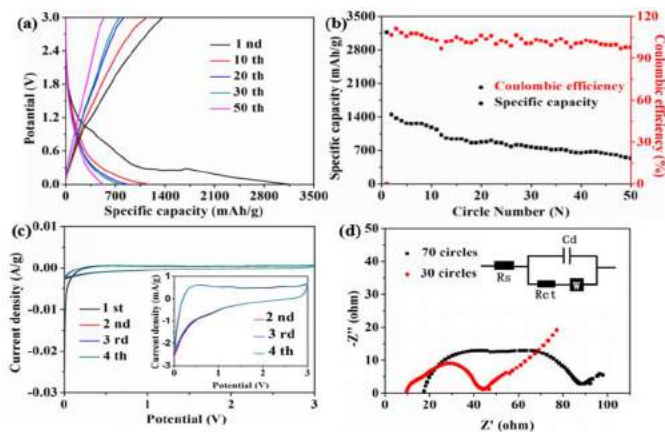


图 4 (a) 电流密度为 50mA / g 的充放电曲线，(b) 循环性能和库伦效率曲线，(c) CV 曲线，(d) 30 和 70 圈后的 EIS。

为了更全面地分析容量衰减，在 5, 10 和 50 个 LIB 循环后研究了 NC-ZIF-8 电极的结构特性。图 5 (a), (b) 和 (c) 表示 5, 10 和 50 个 LIB 循环后的锂阴极。C, N, O, Zn 的数字照片, SEM 和元素映射按顺序显示。显然，一层碳化复合材料沉积在锂阴极上，随着循环次数的增加，它变得更厚。元素映射显示聚集的碳主要由 C, N, O 和 Zn 组成，并且相同类别的元素表现来自 NC-ZIF-8 的聚集碳，尽管 SEM 图像是非常不同的。同时，当圆数达到 5, 10 和 50 时，C, N, O, Zn 的原子比变为 9: 5: 16: 2, 4: 3: 11: 1 和 4: 4: 13: 1，分别。O 和 Zn 的增加证明反应 (3) 和 (4) 随着 LIB 环的增加而增强，并且沉积在锂阴极上的合金化 Li<sub>x</sub>Zn 扩大了 LIB 的内阻，如 EIS 所示。另一方面，良好形状的 NC-ZIF-8 难以从 SEM 中捕获，这意味着中空结构的 NC-ZIF-8 塌陷并因此产生碳聚集。结果，在锂离子插入 - 离去期间的结构损坏和不可逆的合金化反应引起大容量衰减和随着 LIB 循环的快速 CE 降低。容量衰减的简要示意图如图 5 (d) 所示。

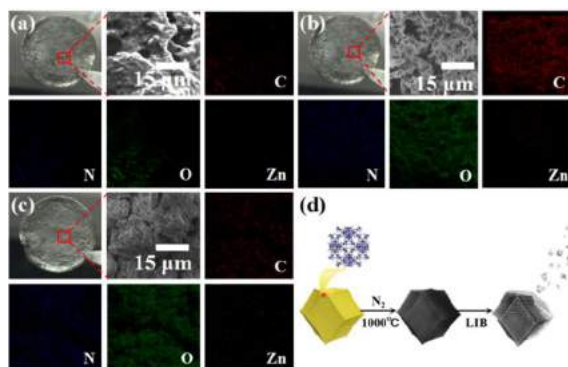


图 5 (a) 5 个圆后的锂阴极的数字图像，SEM 和元素映射，(b) 10 个圆后，(c) 50 个圆后和 (d) 容量衰减的简要示意图。

#### 4 结论

总之, NC-ZIF-8 是通过采用 ZIF-8 的高温热解并用作锂离子电池(LIB)的阳极而获得的。它在第一个循环中拥有 3164 mAh / g 的出色放电容量, 而充电容量衰减到 1347 mAh / g, 可逆容量仅为 42.57%。我们发现容量衰减的机理归因于结构变形和  $\text{Li}_x\text{Zn}$  合金形成的协同作用。容量衰减的明确机制表明优化和稳定稳健的整体骨架结构和消除合金化反应是开发用于 LIB 的耐用 MOF 衍生电极的有效途径。

#### 参考文献

- [1] Lian Shen, Yangai Liu, Brain-like manganese monoxide microspheres as anode materials for lithium ion battery, *Chem. Phys. Lett.* 677 (2018) 167-171.
- [2] Yingjie Du, Hu Ma, Mingxuan Guo, Tie Gao, Haibo Li, Random oriented hexagonal nickel hydroxide nanoplates grown on graphene as binder free anode for lithium ion battery with high capacity, *Chem. Phys. Lett.* 699 (2018) 167-170.
- [3] J. Tang, Y. Yamauchi, Carbon materials: MOF morphologies in control, *Nature Chemistry* 8 (2016) 638-639.
- [4] M. Hu, J. Reboul, S.H. Furukawa, L. Radhakrishnan, Y.J. Zhang, Y. Yamauchi, Direct synthesis of nanoporous carbon nitride fibers using Al-based porous coordination polymers (Al-PCPs), *Chem. Commun.* 47 (2011) 8124-8126.
- [5] W. Zhang, X.F. Jiang, Y.Y. Zhao, A.C. Sanchez, V. Malgras, J.H. Kim, Y. Yamauchi, M. Hu, Hollow carbon nanobubbles: monocrystalline MOF nanobubbles and their pyrolysis, *Chem. Sci.* 8 (2017) 3538-3546.
- [6] L. Radhakrishnan, J. Reboul, S. Furukawa, P. Srinivasu, S. Kitagawa, Y. Yamauchi, Preparation of Microporous Carbon Fibers through Carbonization of Al-Based Porous Coordination Polymer (Al-PCP) with Furfuryl Alcohol, *Chem. Mater.* 23 (2011) 1225-1231;
- [7] C. Young, J. Wang, J. Kim, Y. Sugahara, J. Henzie, Y. Yamauchi, Controlled Chemical Vapor Deposition for Synthesis of Nanowire Arrays of Metal-Organic Frameworks and Their Thermal Conversion to Carbon/Metal Oxide Hybrid Materials, *Chem. Mater.* 30 (2018) 3379-3386.
- [8] W. Chaikittisilp, N.L. Torad, C.L. Li, Y. Yamauchi, Synthesis of Nanoporous Carbon-Cobalt-Oxide Hybrid Electrocatalysts by Thermal Conversion of Metal Organic Frameworks, *Chem. -Eur. J.* 20 (2014) 4217-4221.
- [9] R.R. Salunkhe, C. Young, J. Tang, T. Takei, Y. Ide, Y. Yamauchi, A high-performance supercapacitor cell based on ZIF-8-derived nanoporous carbon using an organic electrolyte, *Chem. Commun.* 52 (2016) 4764-4767.
- [10] F.C. Zheng, Y. Yang, Q.W. Chen, High lithium anodic performance of highly nitrogen-doped porous carbon prepared from a metal-organic framework, *Nat. Commun.* 38 (2014) 6261-6270.
- [11] H.Y. Yang, W.H. Cui, Y.Z. Han, B. Wang, Porous nanocomposite derived from Zn, Ni-bimetallic metal-organic framework as an anode material for lithium-ion batteries, *Chinese Chem. Lett.* 29 (2018) 842-844.
- [12] B. Joshi, E. Samuel, Y.I. Kim, Hierarchically designed ZIF-8-derived Ni@ZnO/carbon nanofiber freestanding composite for stable Li storage, *Chem. Eng. J.* 351 (2018) 127-134.
- [13] T. Gao, F. Zhou, W. Ma, H.B. Li, Metal-Organic-Framework Derived Carbon Polyhedron and Carbon Nanotube Hybrids as Electrode for Electrochemical Supercapacitor and Capacitive Deionization, *Electrochim. Acta* 263 (2018) 85-93.
- [14] W. Ma, J. Zhang, L. Yan, S. Meng, Recent progresses in real-time local-basis implementation of

time dependent density functional theory for electron-nucleus dynamics, *Comp. Mater. Sci.* 112 (2016) 478 – 486.

[15] L.C. Yin, J. Liang, G.M. Zhou, H.M. Cheng, Understanding the interactions between lithium polysulfides and N-doped graphene using density functional theory calculations, *Nano Energy* 25 (2016) 203-210.

[16] Y.X. Yu, Can all nitrogen-doped defects improve the performance of graphene anode materials for lithium-ion batteries, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 15 (2013) 16819-16827.

[17] H.Y. Yin, J.J. Zhu, J.L. Chen, Q.L. Nie, MOF-derived in situ growth of carbon nanotubes entangled Ni/NiO porous polyhedrons for high performance glucose sensor, *Mater. Lett.* 221 (2018) 267 – 270.

[18] R.B. Wu, X.K. Q, K. Zhou, J. Lou, P.M. Ajayan, Porous Spinel  $Zn_xCo_{3-x}O_4$  Hollow Polyhedra Templated for High-Rate Lithium-Ion Batteries, *ACS Nano* 8 (2014) 6297 – 6303.

[19] R.C. Arbulu, Y.B. Jiang, E.J. Peterson, Y. Qin, Metal-Organic Framework (MOF) Nanorods, Nanotubes, and Nanowires, *Angew. Chem. Int. Ed.* 57 (2018) 5813-5817.

[20] A. Prabhu, A.A. Shoaibi, C.Srinivasakannan, Preparation and characterization of silica aerogel-ZIF-8 hybrid materials, *Mater. Lett.* 146 (2015) 43-46.

[21] R. Beams, L.G. Cancado, L. Novotny, Raman characterization of defects and dopants in graphene, *J. Phys. Condens. Matter* 27 (2015) 2-27.

[22] Y.H. Wang, Y.H. Li, Y.C. Wan, Q. Duan, Exceptional electrochemical performance of nitrogen-doped porous carbon for lithium storage, *Carbon* 82 (2015) 116-123.

[23] Q. Bai, F.C. Shen, S.L. Li, J. Liu, Y.Q. Lan, Cobalt@Nitrogen Doped Porous Carbon Fiber Derived from the Electrospun Fiber of Bimetal-Organic Framework for Highly Active Oxygen Reduction, *Small Me.* 7 (2018) 49-56.

[24] W. Feng, Y.M. Wang, Y.C. Zou, Y. Zhou, ZnO@N-doped porous carbon/Co<sub>3</sub>ZnC core-shell heterostructures with enhanced electromagnetic wave attenuation ability, *Chem. Eng. J.* 342 (2018) 364-371.

[25] X. Wang, Q.H. Weng, D.Q. Liu, Y. Bando, D. Golberg, Atomistic Origins of High Rate Capability and Capacity of N-Doped Graphene for Lithium Storage, *Nano Lett.* 3 (2014) 1164-1171.

[26] H.C. Liu, L. Shi, D.Z. Li, J.L. Yu, H.M. Zhang, Rational design of hierarchical ZnO@Carbon nanoflower for high performance lithium ion battery anodes, *J. Power Sources* 387 (2018) 64-71.

[27] Z.W. Wu, S.L. Tyan, H.H. Chen, J.C.A. Huang, C.R. Lee, Temperature-dependent photoluminescence and XPS study of ZnO nanowires grown on flexible Zn foil via thermal oxidation, *Superlattices Microstruct.* 107 (2017) 38-43.

[28] Y.Z. Han, P.F. Qi, S.W. Li, B. Wang, A novel anode material derived from organic-coated ZIF-8 nanocomposites with high performance in lithium ion batteries, *Chem. Commun.* 50 (2014) 8057-8060.

[29] M.J. Du, D. He, Y.B. Lou, J.X. Chen, Porous nanostructured ZnCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> derived from MOF-74: High-performance anode materials for lithium ion batteries, *J. Energy Chem.* 26 (2017) 673-680.

[30] M.Y. Yang, F.C. Lv, Z.Y. Wang, Y.Q. Xiong, M.C. Li, Binder-free hydrogenated NiO-CoO hybrid electrodes for high performance supercapacitors, *RSC Adv.* 5 (2015) 31725-31731.

[31] S.T. Liu, J.S. Zhou, H.H. Song, 2D Zn-Hexamine Coordination Frameworks and Their Derived N-Rich Porous Carbon Nanosheets for Ultrafast Sodium Storage, *Adv. Energy Mater.* 18 (2018) 569-577.

[32] L.J. Zhang, Y.Y. Zhang, S.L. Huang, Y.L. Yuan, H. Li, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Ni-based MOFs on carbon cloth for flexible alkaline battery-supercapacitor hybrid devices and near-infrared photocatalytic hydrogen evolution, *Electrochim. Acta* 281 (2018) 189-197.

# 氩气流速对直拉单晶硅导流筒和加热器沉积的研究

李岩 李进 高忙忙 高昂

(宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室)

**摘要:** 本文利用 CGSim 晶体生长软件分析了不同氩气流速下导流筒上的沉积和加热器上碳的消耗。结果表明, 导流筒上 SiC 主要沉积在导流筒内壁, 并且随着流速增加沉积速率先减小后增加, 在  $-0.5\text{m/s}$  的条件下达到最小值, 最低程度的限制了 SiC 落入熔体中。加热器上 Si 沉积在加热器上部; SiC 沉积在加热器下部; 随着氩气流速的增加 SiC 沉积减少, 且有 SiC 沉积产生时加热器上碳的消耗较少, 所以在小氩气流速下能提高加热器使用寿命; 而在不同长晶阶段加热器上碳的消耗也不相同, 在长晶后期 SiC 生成较多碳的消耗较少。综合以上结果得出在  $0.5\text{--}0.65\text{ m/s}$  流速下能在提高加热器使用寿命的同时尽量减少导流筒上的 SiC 沉积。

**关键词:** 单晶硅; 氩气流速; 沉积; 加热器; 导流筒

## Study of the Argon Flow Rate on Heater Life of Czochralski Silicon growth system

LI Yan, LI Jin, GAO Mangmang, GAO Ang

(Key Laboratory of Ningxia for Photovoltaic Materials, Ningxia University)

**Abstract:** The heater is one of the major components for the Czochralski silicon growth furnace. In this study, the CGSim package has been employed to analysis the consumption of graphite, deposition of silicon and SiC with various inert argon flow velocities in CZ silicon growth. The results showed that the silicon prefers to depositing on the upper part of the heater, while the SiC on the lower part. As increasing the argon flow velocity from  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  to  $0.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , the deposition rate of silicon decreases from  $7.8\mu\text{m/hr}$  to  $5.1\mu\text{m/hr}$  and the covering ratio of the heater increases from 25% to 100%. However, the deposition rate and covering ratio of SiC decreases from  $4.7\mu\text{m/hr}$  to  $0\mu\text{m/hr}$  and from 75% to 0%, respectively. Consequently, the conclusion could be drawn that, applying higher argon flow, lower consumption of heater and less depositions, resulting in improving the efficiency of the heater and prolonging the usage lifetime.

**Keywords:** single crystal silicon; argon velocity; deposition; heater

## 1 引言

目前, 随着太阳能行业和微电子领域的快速发展, 对单晶的品质有了更高的要求。在直拉法生产单晶硅的过程中对提高单晶品质方面已经有了大量研究<sup>[1-4]</sup>。而有效的降低单晶硅生产成本也是单晶硅生产的关键之一, 防止单晶生长过程中的宏观位错和增加加热器的使用寿命是够有效降低生产成本的手段。在直拉法生产大直径单晶硅的过程中, 由于坩埚尺寸大, 与熔体接触面积大跟熔体冲刷强度大, 导致坩埚分解速率高, 而晶体中氧的主要来源则是拉晶过程中石英坩埚的分解。其中 99% 的氧以氧化硅的形式从熔体表面被保护气氛带走并与加热器和导流筒发生反应, 消耗加热器上的碳影响加热器的使用寿命; 而导流筒上发生的反应则会使坩埚熔体上部有沉积物, 形成 SiC 和  $\text{SiO}_2$ , 由于两种沉积物的熔融温度要高于硅熔体的熔融温度, 落入熔体掺入晶体生长中则会造成宏观位错<sup>[5]</sup>。因此, 对加热器寿命和导流筒上沉积物的研究有重要意义。

在有关方面, 国内外学者做了大量的研究。Ying-Yang Teng 等<sup>[6]</sup>研究发现, 增加导流筒底



部宽度能提高坩埚侧壁上的氩气流速降低氧含量。Xin Liu 等<sup>[7]</sup>研究表明增大气流量比减小压力能够有效的减少 C 污染。N. Vorob'ev 等<sup>[8]</sup>在 DS 和 CZ 法生产晶硅中对炉体上的沉积物进行了模拟和实验方面的对比。A.D. Smirnov 等<sup>[9]</sup>计算结晶前沿氧的分布并与实验数据进行了对比。Lijun Liu 等<sup>[10]</sup>对太阳能级多晶硅定向凝固过程中碳浓度和颗粒沉淀等方面进行了研究，发现可以通过优化工艺来控制 SiC 沉淀物的分布。A.D. Smirnov<sup>[5]</sup>等分析了不同炉壁的隔热情况，得出具有较好隔热性能的生长炉内氩气中的 SiO 浓度较高。然而，对如何降低倒流筒上的沉积物和增加加热器寿命方面的研究较少，本文通过改变不同氩气流速来分析在那种流速下能降低导流筒上沉积物的同时尽量增加加热器的使用寿命。

## 2 建立模型与计算参数

### 2.1 模型建立

本文以实体单晶炉为模型，采用 STR 公司开发的 CGsim 软件进行建模并模拟分析。所建立的模型为二维轴对称模型，所模拟的单晶炉结构模型如图 1 右所示。网格采用自由划分，网格划分如图 1 左所示，网格总计 12798 个。拉晶过程中的主要工艺参数：晶体直径 300mm，晶转 9rpm，锅转 4rpm，晶体提拉速度为 60mm/hr，炉体内通有氩气作为保护气体（氩气为理想气体），标准压强为 1 大气压，投料量 300KG，单晶炉炉壁内通有冷却水，温度恒定设为 300K。更多的模型建立原理，控制方程，边界条件等见文献[11]。

为研究单晶硅晶体生长过程中沉积在加热器和导流筒上的沉积物，对导流筒和加热器上的沉积速率进行分析。通过改变不同氩气流速来尽量减少导流筒上的沉积物和提高加热器的使用寿命。设定氩气流速分别为 0.1m/s、0.15m/s、0.2m/s、0.25m/s、0.3m/s、0.35m/s、0.4m/s、0.45m/s、0.5m/s、0.55m/s 等差逐渐增大。模拟所用材料的物性参数见表 1<sup>[12]</sup>。

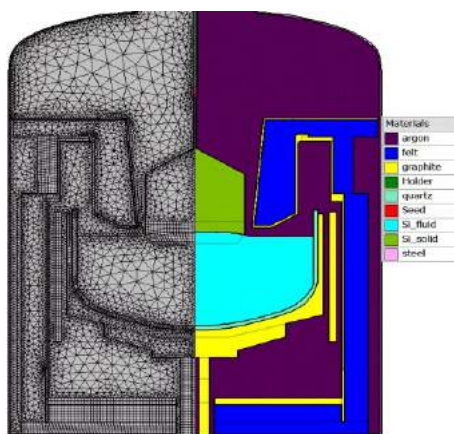


图 1 直拉单晶生长炉网格划分图（左）；炉体结构图（右）

Fig.1 Schematic of grid (Left) and furnace structure (Right) for CZ furnace

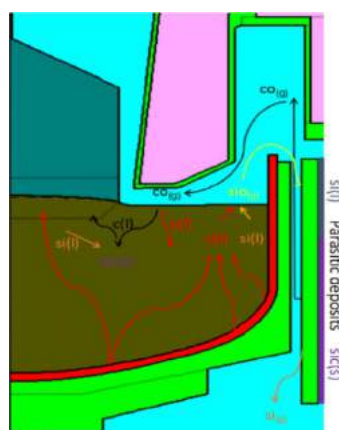


图 2 图一所选区域放大图

Fig.2 Magnifying figure of selected area in Fig.1



表 1 模拟所采用的主要物性参数

	热 传 导 率 ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	比 热 ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	密 度 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	辐 射 系 数
石墨	41.9	2100	2250	0.8
石英坩埚	3.2	1750	2520	0.5
热屏	105	2100	2250	0.4
熔体	67	1000	2510	0.3
晶体	22	927	2330	0.55
不锈钢	5.7	510	7900	0.5

### 3 结果与讨论

在生产单晶硅的过程中,由于 SiO 气体在熔体表面挥发会与导流筒上的 C 发生反应产生 SiC 和 SiO<sub>2</sub> 等沉积物,增加了落入硅熔体中的概率,而 SiC 和 SiO<sub>2</sub> 的熔融温度高于硅熔体的温度,由偏析现象进入硅晶体中,提高了形成宏观位错的概率。SiO 气体还会在保护气氛的带动下与加热器上的碳发生反应影响加热器的使用寿命。而在不同氩气流速下导流筒上的沉积和加热器上碳的消耗各不相同。本文详细分析了不同氩气流速下导流筒上的沉积规律以及加热器上碳的消耗规律。

#### 3.1 不同流速下导流筒上的沉积分析

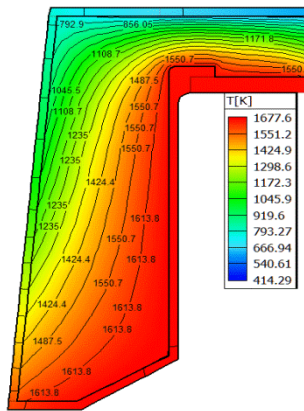


图 3 导流筒温度分布

Fig 3. Temperature distribution of the shield

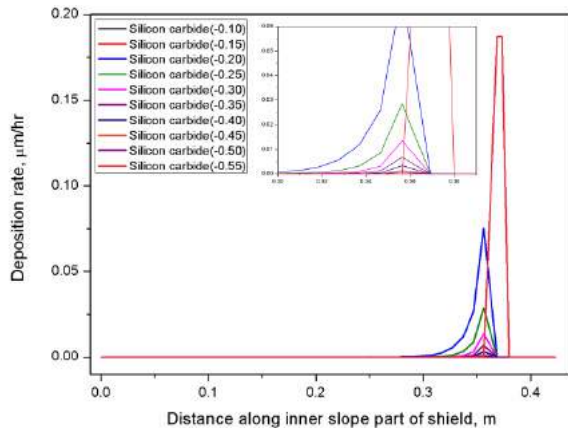


图 4 导流筒内壁和底部沉积速率

Fig 4. Deposition rate of the inner slope part of shield

导流筒的位置位于坩埚上部,所以在导流筒上有沉积物的产生会增加落入熔体的概率,导致宏观位错的产生。图三为导流筒上的温度分布,可以看出,导流筒内壁的温度低于 1600K,由于 SiO 气体在低温下不稳定(小于 1600K),会形成 SiO<sub>2</sub>,但是沉积速率的数量级与 SiC 沉积速率相比过小,所以在导流筒内壁主要考虑 SiC 沉积。

图四中以导流筒内部顶部为起始点导流筒底部外侧为终点提取数据。在 -0.1m/s 和 -0.15m/s 的条件下 SiC 沉积速率非常小,在 -0.2m/s 到 -0.55m/s 的氩气流速下, SiC 的沉积速率随着氩气流速的增加先减小后增加,在 -0.5m/s 的氩气流速下 SiC 沉积速率最小, SiC 的沉积速率峰值由 0.07 $\mu\text{m}/\text{hr}$  降低到 0.00059 $\mu\text{m}/\text{hr}$ 。这是由于随着氩气流速的增加导流筒内壁的 SiO 含量降低造成的,而且沉积发生的部位也向下移动。在流速为 -0.55m/s 时 SiC 沉积在导流筒底部,且沉积速率较之前增加。

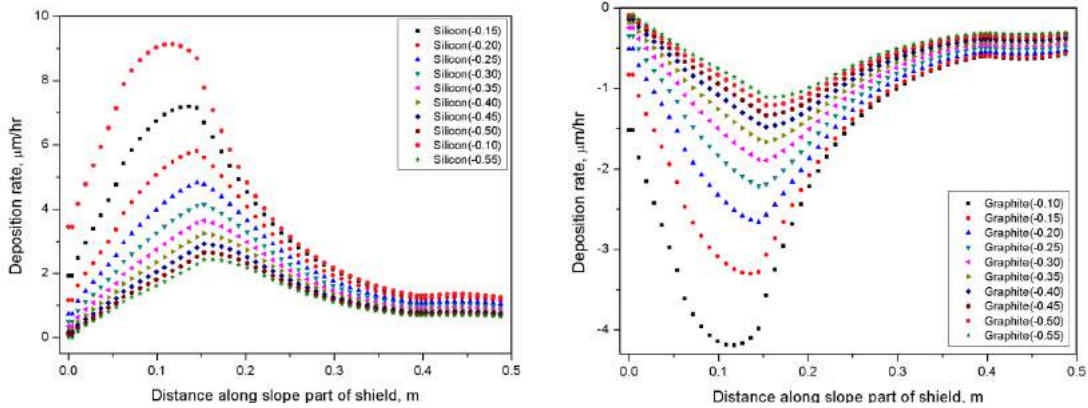


图 5 (a) 不同流速下导流筒底部和外部上硅沉积速率 (b) 不同流速下导流筒底部和外部上碳的消耗速率

Deposition rate of silicon on the bottom and outside of shield at different flow rates

Deposition rate of carton on the bottom and outside of shield at different flow rates

图 5 (a) 为导流筒底部和外部硅沉积速率随氩气流速变化的图像, 当氩气流速增大时, 硅沉积速率逐渐减小, 峰值沉积速率由  $9.139\mu\text{m/hr}$  降低到  $2.427\mu\text{m/hr}$ , 降低了 73.4%。图 (b) 中由于碳是不断消耗的, 所以沉积速率为负数。沉积速率随着氩气流速的增加而逐渐降低, 峰值沉积速率由  $4.189\mu\text{m/hr}$  降低到  $1.109\mu\text{m/hr}$ , 降低了 73.5%。由于硅在导流筒上的沉积会落入熔体中但不会影响晶体的生长, 所以导流筒上考虑碳的消耗尽量少一些较好, 流速越大碳的消耗越少, 综合导流筒内壁上的碳化硅沉积, 流速为  $-0.5\text{m/s}$  时导流筒上沉积物的形成最少且碳的消耗较少。

### 3.2 不同氩气流速下对加热器上碳的消耗分析

加热器是直拉法生产单晶硅中重要的组成之一, 加热器的使用寿命和单晶硅的成本息息相关。而加热器上碳的消耗会影响加热器的使用寿命, 减少加热器上碳的消耗会增加加热器的使用寿命。

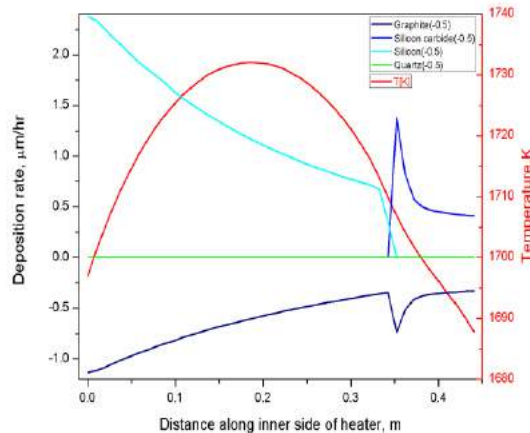


图 6 加热器内壁不同沉积物的沉积速率和碳的消耗

Deposition rate and carbon consumption on the inner side of heater

图五为氩气流速为  $-0.5\text{m/s}$  的条件下, 加热器内壁上的温度变化和碳的消耗以及 Si、SiC 的沉积速率。C 和 SiC 的辐射系数不同, 分别为 0.8 和 0.9[5], 但是对于全局热传导没有太大的影响, 所以只需分析在生成那种沉积物时碳的消耗较少以便提高加热器的使用寿命。图五可以看出加热器上部为 Si 沉积、下半部分为碳化硅沉积。且有 Si 沉积产生的时候加热器上碳的消耗较大, 有 SiC 沉积产生的时候碳的消耗较少, 所以应尽量使加热器上产生 SiC 沉积物才能减少 C 的消耗。

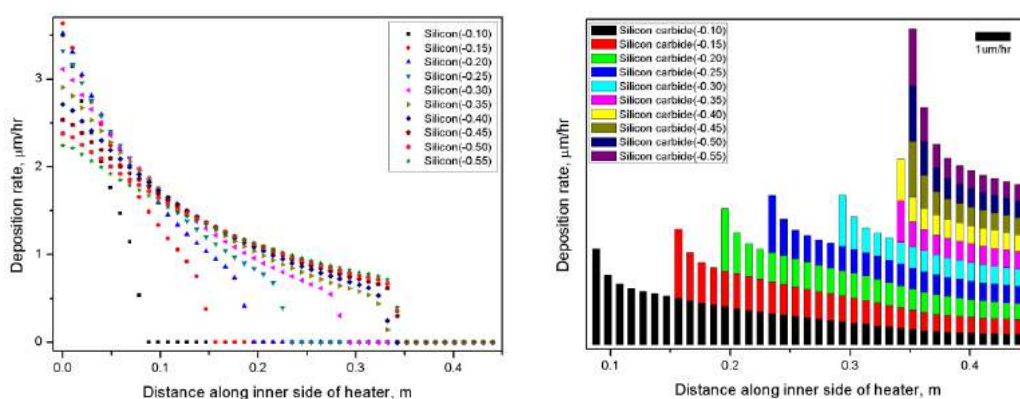


图 7 (a) 不同氩气流速下加热器内壁 Si 的沉积速率 (b) 不同氩气流速下加热器内壁 SiC 的沉积速率  
 Deposition rate of Si on inner side of heater at different argon flow rates  
 Deposition rate of Si on inner side of heater at different argon flow rates

图七 (a) 中在不同氩气流速下 Si 在加热器内壁上的沉积距离随着氩气流速的增加而逐渐变大, Si 沉积在加热器上部, 流速逐渐增大的过程中沉积距离由 0.078m 增加到 0.34m, 加热器内壁 Si 的沉积距离增加了 0.26m。而当氩气流速从-0.45m/s 到-0.55m/s 的流速时, 加热器上的沉积距离不再变化。(b) 图中 SiC 沉积在加热器底部, 沉积距离随着氩气流增加在加热器内壁的沉积距离逐渐减小, 由距离底部的 0.36m 减小到 0.09m, 减小了 75%。而在此主要考虑碳的消耗, 由于产生 SiC 沉积物的时候碳的消耗较少, 所以在小氩气流速的情况下加热器上碳的消耗少, 能够提高加热器的使用寿命。

#### 4 结论

本文研究了不同氩气流速下导流筒上沉积物的变化规律, 以及加热器上碳的消耗规律和同种氩气流速下不同长晶时期加热器上碳的消耗规律, 得出了以下结论:

- (1) 碳化硅沉积在导流筒内壁以及底部, 在氩气流速为-0.5m/s 时导流筒上碳化硅沉积较少且碳的消耗也较少。
- (2) 在小氩气流速的情况下加热器上碳的消耗较少, 能提高加热器的使用寿命。
- (3) 综合加热器上碳的消耗规律和导流筒上 SiC 的沉积规律得出在中等氩气流速下 0.5-0.65 m/s 比较适合单晶的生产, 能降低 SiC 落入熔体的概率并最大程度提高了加热器的使用寿命。

#### 参考文献

- [1] Xiao C, Yang D, Yu X, et al. Effect of dopant compensation on the performance of Czochralski silicon solar cells[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2012, 101(11):102-106
- [2] Hu D, Yuan S, He L, et al. Higher quality mono-like cast silicon with induced grain boundaries[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2015, 140:121-125.
- [3] Gao B, Kakimoto K. Global simulation of coupled carbon and oxygen transport in a Czochralski furnace for silicon crystal growth[J]. Journal of Crystal Growth, 2010, 312(20):2972-2976.
- [4] Liu X, Nakano S, Kakimoto K. Effect of the packing structure of silicon chunks on the melting process and carbon reduction in Czochralski silicon crystal growth[J]. Journal of Crystal Growth, 2016
- [5] Smirnov A D, Kalaev V V. Analysis of impurity transport and deposition processes on the furnace elements

- during Cz silicon growth[J]. *Journal of Crystal Growth*, 2009, 311(3):829-832.
- [6] Teng Y Y, Chen J C, Huang C C, et al. Numerical investigation of the effect of heat shield shape on the oxygen impurity distribution at the crystal–melt interface during the process of Czochralski silicon crystal growth[J]. *Journal of Crystal Growth*, 2012, 352(1):167-172.
- [7] Liu X, Gao B, Kakimoto K. Numerical investigation of carbon contamination during the melting process of Czochralski silicon crystal growth[J]. *Journal of Crystal Growth*, 2014, 417(6):58-64.
- [8] Vorob'Ev A N, Sid'Ko A P, Kalaev V V. Advanced chemical model for analysis of Cz and DS Si-crystal growth[J]. *Journal of Crystal Growth*, 2014, 386(1):226-234.
- [9] Smirnov A D, Kalaev V V. Development of oxygen transport model in Czochralski growth of silicon crystals[J]. *Journal of Crystal Growth*, 2008, 310(12):2970-2976.
- [10] Liu L, Nakano S, Kakimoto K. Carbon concentration and particle precipitation during directional solidification of multicrystalline silicon for solar cells[J]. *Journal of Crystal Growth*, 2008, 310(7–9):2192-2197.
- [11] STR Group, CGSim Flow Module Theory Manual, 8.12. St. Petersburg, Russia, 17th July, 2009.
- [12] CGSim, Graphical User Interface Reference Guide 15.1, STR Group. Inc., St. Petersburg, Russia, 2014

# 通过二茂铁羧酸 (-1) 与 $[\text{CuI}_2(\mu\text{-dppm})_2]^{2+}$ (dppm = 双(二苯基膦基)甲烷) 构筑配合物用于过氧化氢传感

刘宽冠 王茹 单其德 严小威  
(宁夏大学宁夏光伏材料重点实验室)

**摘要:** 在合成异金属配合物中使用二茂铁羧酸 ( $\text{FcCOOH}$ ) 作为有机金属配体, 分离出异金属配合物  $[\text{Cu}_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{FcCOO})(\text{CH}_3\text{CN})]\text{BF}_4\cdot\text{CH}_3\text{CN}$  (1)。通过 IR, EA, 粉末 XRD, UV, NMR 和 TGA 表征。单晶 X 射线结构分析表明, 二茂铁羧酸 (-1) 与  $[\text{Cu}_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2]^{2+}$  单元通过  $\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1$  桥联模式在配合物 1 中配位。配合物 1 的光学吸收, 热稳定性和电化学性质较好。此外, 异金属铜 (I) 配合物可用作检测  $\text{H}_2\text{O}_2$  的电化学传感材料。

## 介绍

异金属配合物, 广泛用于催化剂, [1,2]磁性材料, [3,4]传感器, [5,6]医学[7]等, 其结构多样性 [8-10]和有趣的物理和化学性能 [11-14]也已经受到了广泛关注。制备异金属配合物的方法是多方面的, 包括直接合成, [15]连续金属化, [16]逐步组装, [17]簇连接器方法, [18]掺杂, [19]等, 使用有机金属化合物作为构建异金属配合物的分子结构单元是一种相对简单的方法。有机金属及其衍生物可以通过杂原子直接与其他金属原子配位。他们在这里扮演的角色是金属桥联配体, 它稳定且具有有趣的特性。 [20-22]

历史上最重要的有机金属化合物是二茂铁 (Fc), 它具有超稳定的夹心结构。 [23]二茂铁基在水和好氧介质中的稳定性, 多种衍生物的可及性及其有利的电化学性质使得二茂铁及其衍生物在生物应用分子 [23-26]和催化剂 [26,27]方面是非常受欢迎的。二茂铁羧酸是单羧化二茂铁, 它可以通过羧基氧容易地与过渡金属 [28-31]等杂金属配位。我们最近的研究表明, 在 2,2'-联吡啶的辅助下,  $\text{FcCOOH}$  与铜 (II) 原子络合形成异金属配合物, 不仅可以构建具有新结构的超分子, 而且具有优异的热稳定性和电化学性能 [8]。在这里, 我们尝试将  $\text{FcCOOH}$  掺入双核铜 (I) 单元  $[\text{Cu}_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2]^{2+}$  中, 以获得更好的光学吸收和改善的电化学性能。

双核铜 (I) 单元  $[\text{Cu}_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2]^{2+}$  被认为是吸引和结合较大基底种类的有趣支架。 [32-35]许多研究表明, 一种羧酸可以连接  $[\text{Cu}_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2]^{2+}$  单元通过  $\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1$  桥接模式。 [34,36]我们通过将这个单元与  $\text{FcCOOH}$  结合制备异金属配合物来扩展这些研究工作。用三乙胺和双(二苯基膦基)甲烷 (dppm) 在  $70^\circ\text{C}$  下溶剂热处理  $\text{FcCOOH}$  和  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4\text{BF}_4$  的乙腈溶液混合物 20 小时, 导致分离出异金属络合物, 即  $[\text{Cu}_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{FcCOO})(\text{CH}_3\text{CN})]\text{BF}_4\cdot\text{CH}_3\text{CN}$  (1)。显然,  $\text{FcCOOH}$  与  $[\text{Cu}_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2]^{2+}$  骨架的络合导致 1 的性质发生显著变化。在此, 我们报道了含有二茂铁羧酸 (-1) 和双(二苯基膦基)甲烷作为配体的异金属铜 (I) 配合物的合成, 表征, 光吸收和热稳定性, 电化学性质研究。此外, 我们说明异金属铜 (I) 配合物可用作一类有效的电化学传感材料, 用于检测  $\text{H}_2\text{O}_2$ 。

## 结果和讨论

将三乙胺加入到  $\text{FcCOOH}$  和  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CN})_4\text{BF}_4$  在乙腈中的混合物中, 并形成棕色混浊溶液, 在加入半当量的 1,1-双(二苯基膦基)甲烷 ( $\text{dppm}$ ) 后转化为悬浮液。超声。将悬浮液进行溶剂热处理, 过滤后得到砂棕色溶液。缓慢蒸发溶液, 得到产物, 为配合物 1 的橙色晶体, 产率适中。它在空气中稳定, 并且在普通有机溶剂如二氯甲烷, 甲醇, 乙醇和乙腈中表现出良好的溶解性。它微溶于水, 但不溶于乙醚。红外光谱结果与其成分一致(图 S1)。红外光谱在约  $3051\text{ cm}^{-1}$ ,  $2922\text{ cm}^{-1}$ ,  $2893\text{ cm}^{-1}$ ,  $1552\text{ cm}^{-1}$ ,  $1479\sim 1433\text{ cm}^{-1}$  和  $1056\text{ cm}^{-1}$  处显示宽带, 分别对应于 C 的拉伸频率-H-键, Fc 基, 苯基和甲基基团, 羧酸酯基团的 C=O 键, Fc 和苯基的 C=C 键, 以及四氟硼酸盐 ( $\text{BF}_4^-$ ) 的 B-F 键。如图 S2 所示, 甲醇中 1 的电子吸收光谱在  $441\text{ nm}$  处显示出显著的带 ( $\xi_{\text{max}}441\text{ nm} = 321.9\text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ )。该带是二茂铁基部分的典型吸收<sup>[37,38]</sup>。通过 NMR 研究也证实了 1 的组成。在溶液 NMR (图 S3) 中, 分别在  $3.60\text{ ppm}$  和  $7.46, 7.37, 7.05\text{ ppm}$  处的质子峰指定为  $\text{dppm}$  配体的基质子和苯基质子, 表明  $[\text{Cu}_2(\mu_2-\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2]^{2+}$  支架在甲醇中结构保存, 这与文献一致。<sup>[39]</sup>在  $5.03, 4.52, 4.36\text{ ppm}$  处的三组质子峰与彼此之间的  $1: 1: 2.4$  (约  $2: 2: 5$ ) 关系与二茂铁羧酸根 (-1) 配体的 Fc 基团上的九个质子一致。与游离  $\text{FcCOOH}$  相比, <sup>[40]</sup>归因于二茂铁羧酸根 (-1) 部分中环戊二烯基环质子的三个单线态共振转移到较低场, 表明二茂铁羧酸根 (-1) 的羧基是配位的。将  $2.03\text{ ppm}$  ( $6\text{H}$ ) 的单重共振分配给两个乙腈, 表明在甲醇中不含两个  $\text{CH}_3\text{CN}$  分子。显然, 弱配位的乙腈在溶液中经历配体的解离过程, 这也在与  $[\text{Cu}_2(\mu-\text{dppm})_2(\text{MeCN})_4]^{2+}$  部分的配合物中观察到。<sup>[39]</sup>固态  $^{13}\text{C-NMR}$  光谱也与其配方一致(图 S4)。将约  $178.2\text{ ppm}$  和  $81.9, 71.1\text{ ppm}$  的峰分别指定为二茂铁羧酸根 (-1) 的羰基碳和二茂铁基。大约  $129.2\text{ ppm}$  和  $24.6\text{ ppm}$  的峰分别指定为  $\text{dppm}$  的苯基碳和基甲基碳。分别将  $121.3\text{ ppm}$  和  $3.1\text{ ppm}$  的峰分配给羰基碳和  $\text{CH}_3\text{CN}$  的甲基碳。

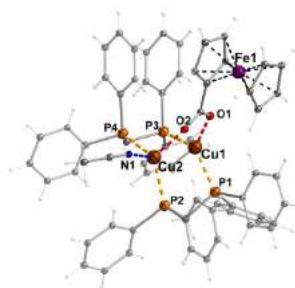


图 1.  $[\text{Cu}_2(\mu_2-\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2(\mu_2-\eta^1, \eta^1\text{FcCOO})(\text{CH}_3\text{CN})]^{+}$  的分子结构并选择原子标记。

$[\text{Cu}_2(\mu_2-\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2(\mu_2-\eta^1, \eta^1\text{FcCOO})(\text{CH}_3\text{CN})]\text{BF}_4\text{CH}_3\text{CN}$  (1) 的分子结构如图 1 所示, 晶体数据和结构细节总结在表 S1 中, 选中键长和角度在表 S2 中给出。标题化合物的固态结构在三斜晶系空间群 P-1 中作为双核铜 (I) 络合物结晶, 并且可以描述为离散的阳离子  $[\text{Cu}_2(\mu_2-\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2(\mu_2-\eta^1, \eta^1\text{FcCOO})(\text{CH}_3\text{CN})]^{+}$  种类(图 1) 和分离的  $\text{BF}_4^-$  阴离子。其分子结构由两个铜 (I) 原子组成, 由一对  $\text{dppm}$  分子和二茂铁羧酸基 (-1) 桥接。两个  $\text{dppm}$  配体双桥接两个铜原子, 形成八元  $\text{Cu}_2\text{P}_4\text{C}_2$  环。Cu-P 距离在  $2.2391(14)\sim 2.2665(15)$  的小范围内变化, 并且在铜-dppm 化合物的通常范围内。<sup>[32,34,35,39,41-46]</sup> Cu...Cu 分离在该配合物中  $[\text{Cu}(1)-\text{Cu}(2) 2.9121(16)]$  略短于复合物  $[\text{Cu}_2(\text{dppm})_2(\text{C}_7\text{H}_7\text{N})(\mu-\text{HCOO})]^{+}$  [ $2.9584(10)\text{ nm}$ ] 由于碳酸盐的取代基团不同。该距离明显长于铜的范德华半径之和 ( $0.28\text{ nm}$ ), 表明本发明化合物中的铜原子不参与金属-金属相互作用。两个铜原子以不对称的方式配位。



Cu (1) 原子与 $[\text{Cu}_2 (\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2 (\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{FcCOO}) (\text{CH}_3\text{CN})]^+$ , 不同 dppm 单位的原子和氧气中的两个磷[0.2109 (3) nm]配位桥连二茂铁羧酸根 (-1) 的原子, 得到三配位铜中心, 具有三角平面几何形状。铜原子周围的角度为 O (1) -Cu (1) -P (1) 117.87 (6)°, P (1) -Cu (1) -P (3) 127.39 (5)° 和 O (1) -Cu (1) -P (3) 114.30 (7)°。铜原子与配位 P (1), O (1) 和 P (3) 原子的最小二乘平面的偏差接近 0.0821Å, 表明铜原子几乎与其三个配位原子共面。相反, Cu (2) 原子的四面体几何形状由不同 dppm 单元的两个磷原子, 二茂铁羧酸根 (-1) 的氧原子和来自乙腈的氮原子满足。Cu (2) 原子周围的配位几何形状是扭曲的四面体, 如 Cu (2) 原子周围的角度值所示, 其范围为 90.01 (10) 至 123.75 (5)°。相对于相关的八元  $\text{Cu}_2 (\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2$  环的扭转角如下: P (1) -Cu (1) -Cu (2) -P (2) [-14.570 (46)°], P (1) -Cu (1) -Cu (2) -P (4) [-138.973 (46)°], P (3) -Cu (1) -Cu (2) -P (2) [114.045 (46)°], P (3) -Cu (1) -Cu (2) -P (4) [-10.358 (46)°]。来自 dppm 配体的甲基的 C (13) 和 C (38) 原子从平面 P (1) Cu (1) Cu (2) P (2) 和 P (3) Cu (1) Cu (2) P (4) 中偏离 0.7067 和 0.7454 (3) Å。通过 Cu (1) P (1) P (2) Cu (2) 和 Cu (1) P (3) P (4) Cu (2) [126.194 (20)°] 的最小二乘平面之间的二面角粗略估计鞍座的弯曲, 而两个二面角[119.188 (34)° 和 113.827 (34)°], 由后面的平面相对于最小二乘平面通过 Cu (1) O (1) 形成 O (2) Cu (2), 粗略显示复合物的不对称性质。这种不对称性可能至少部分是由于两个铜原子之间的不对称配位几何结构和 dppm 的苯基的空间体积。P (1) -Cu (1) -P (3) 和 P (2) -Cu (2) -P (4) 角的值分别为 127.39 (5)° 和 123.75 (5)°。相对大于 120° 的理想值, 降低了磷原子上苯环之间的相互作用。这些结果与揭示通过大体积配体的配位对系统施加的空间限制的参考文献一致。[35,36]

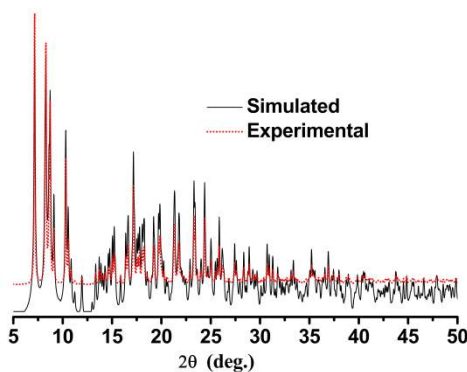


图 2. 配合物 1 的粉末 XRD 图谱。

在测量该配合物的热稳定性和电化学性质之前, 记录粉末 X 射线衍射 (PXRD) 数据以确定粉末样品的相。实验 PXRD 图案与来自单晶数据的模拟图案匹配 (图 2)。在合成的粉末样品上记录的配合物 1 的固态 UV-Vis 吸收光谱示于图 3。在该吸收光谱中在 200-600nm 范围内存在两个可区分的带。在低能量区域, 络合物 1 显示出在 446nm 处具有峰值的吸收。根据之前关于类似亚铁基二茂铁羧酸配合物的报道, [31]这种低能量区域转变应主要归属于来自 Fc 基团的金属 - 配体电荷转移 (MLCT)。在约 300nm 处观察到强吸收带, 其被指定为 dppm 配体  $\pi - \pi^*$  跃迁。[43]为了更好地理解配合物 1 的电子结构, 进行了时间密度泛函理论计算以研究其边界轨道 (图 4)。很容易观察到 HOMO (最高占据分子轨道) 主要位于 Fc 部分, LUMO

(最低未占分子轨道) 主要位于 $[\text{Cu}_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2]^{2+}$ 支架上。因此, DFT 理论计算支持如上所述的吸收转变的分配。

通过热重量 (TG) 测量研究络合物 1 的热稳定性, 在合成的粉末样品上进行。在复合物分解过程中有两个主要的质量损失步骤 (图 5)。第一步发生在  $82.8^\circ\text{C}$  和  $154.9^\circ\text{C}$  之间, 第二步发生在  $275.6^\circ\text{C}$  和  $359.4^\circ\text{C}$  之间。在第一步中, 随着  $\text{CH}_3\text{CN}$  的损失, 5.9% 的重量损失接近 4.5% 的计算值。在第二步中, 有机部分完全分解, 剩余的可能是  $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{FeO}$ , 总重量损失为 80.7%, 接近计算值的 83.4%。d (重量) / dT 曲线表明在络合物 1 的分解过程中, 两个主相转化温度分别为  $115^\circ\text{C}$  和  $326^\circ\text{C}$ 。为了在相转变温度下鉴定粉末样品的相, 基于热分解温度进行可变温度粉末 XRD (图 S6)。通过对比不同变温之间的粉末 XRD 图谱, 我们可以推断出复合物的骨架仍然存在, 并且在  $115^\circ\text{C}$  的第一阶段转化温度期间没有完全破坏。在  $326^\circ\text{C}$  的第二步中, 配合物 1 完全分解成不确定的简单金属氧化物。这些结果与 TGA 结果一致。最重要的是, 热分析结果表明配合物 1 具有良好的热稳定性。

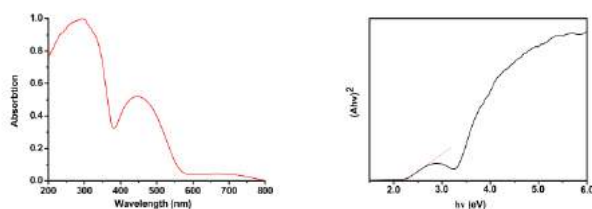


图 3. 配合物 1 的固态 UV 吸收光谱 (左) 和固体 UV-vis 漫反射光谱 ( $2.23\text{eV}$ ) (右)。

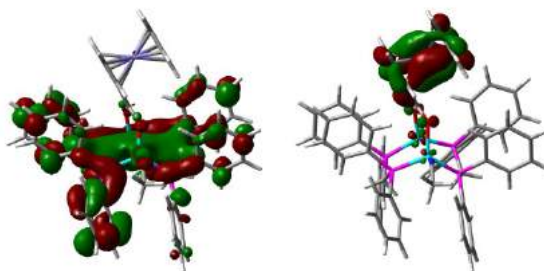


图 4. 配合物 1 的主要前沿轨道。



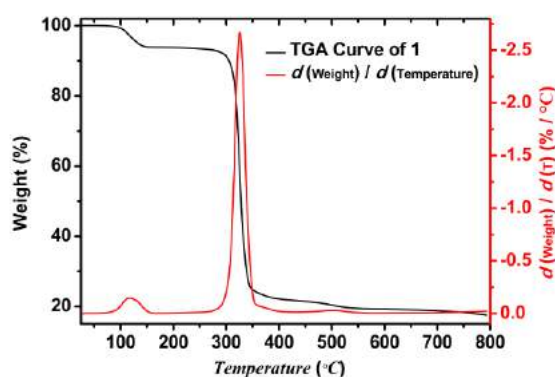


图 5. 配合物 1 的 TGA 和  $d(\text{重量})/dT$  曲线。

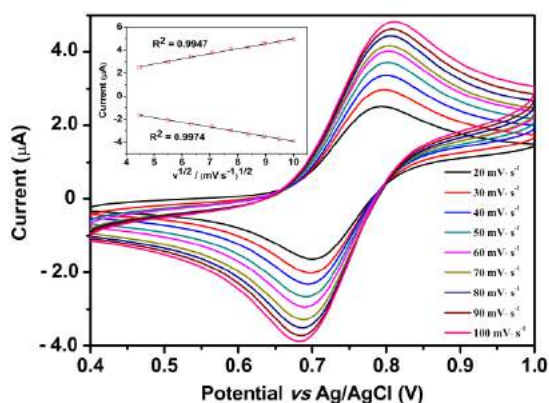


图 6. 在不同扫描速率下含有 0.1M nBu4NPF6 作为支持电解质的二氯甲烷溶液中的配合物 1 的循环伏安图。插图：阴极和阳极电流与扫描速率的平方根的关系图。

与二茂铁 (Fc) 相比, 使用循环伏安法 (CV) 研究了络合物 1 的电化学行为。如图 6 所示, 在不同扫描速率下含有 0.1M nBu4NPF6 作为支持电解质的二氯甲烷溶液中 1 的循环伏安图仅显示一对氧化还原峰, 其平均电位为 802.7 mV 和 690.7 mV, 范围为 0.4 V 为 1.0 V. 半波电位为 746.5 mV, 扫描速率为 100  $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ , 可归因于  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  氧化还原电对, 为 317 mV 大于标准物质 Fc (= 429.5 mV; 图 S5), 这是由于配合物 1 中二茂铁的羧化作用。扫描速率为 20  $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$  时, 阳极和阴极峰值电位为 94 mV, 阴极和阳极峰值电流的比值为 1.005, 表明可逆电化学过程。此外, 阳极和阴极峰值电流与扫描速度的平方根成比例 (参见图 6 中的插图), 表明氧化还原过程是扩散控制的。

我们研究了配合物 1 用于  $\text{H}_2\text{O}_2$  的电化学检测。图 7 显示含有 0.1M nBu4NPF6 作为支持电解质的 2mM 二氯甲烷溶液的 CV, 不存在和存在不同浓度的  $\text{H}_2\text{O}_2$ 。可以看出,  $\text{H}_2\text{O}_2$  引入后氧化还原电流明显偏移, 氧化还原电流随  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度的增加而变化。这种 CV 特征表明复合物 1 对  $\text{H}_2\text{O}_2$  检测具有良好的反应性。从获得的响应电流和  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度之间的线性关系 (图 6 插入

曲线)可以清楚地看出,随着 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的连续添加,还原电流增加,表明配合物 1 对 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度变化的敏感响应。从插入拟合曲线可以得到 0.3~1.5 mM 的线性范围,相关系数 R = 0.9940,与之前报道的传感材料<sup>[47,48]</sup>相当值得注意的是电稳定性和灵敏度。优于先前报道的二茂铁官能化聚合物<sup>[49-51]</sup>,其可归因于本发明络合物的独特配位结构。

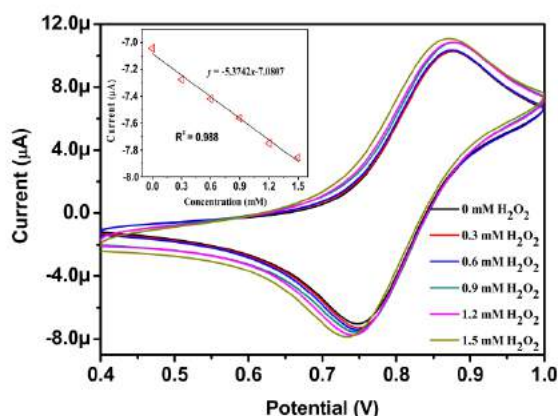


图 7.含有 0.1mMnBu4NPF6 作为支持电解质的 2mM 二氯甲烷溶液中复合物 1 的循环伏安图,不存在和存在不同浓度的 0.3,0.6,0.9,1.2,1.5mM 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>。扫描速度: 100 mV•s<sup>-1</sup>。插入: 响应电流与 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度之间的线性关系。

## 结论

在本文中,我们报道了含有二茂铁羧酸根(-1)和双(二苯基膦基)甲烷作为配体的异金属铜(I)配合物的合成和表征。晶体结构显示,标题复合物具有[Cu<sub>2</sub>(μ<sub>2</sub>-η<sup>1</sup>, η<sup>1</sup>dppm)<sub>2</sub>]<sup>2+</sup>单元与二茂铁羧酸根(-1)通过 μ<sub>2</sub>-η<sup>1</sup>, br1 桥接模式。计算分析提供了对复合物电子结构的阐述。配合物 1 显示出良好的光学吸收,良好的热稳定性和可靠的电化学稳定性。此外,复合物 1 在 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的检测中也表现出良好的性能,表明作为 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的新型非酶化学传感器的潜在应用。我们的研究结果可为未来二茂铁功能化配合物的探索奠定基础,包括合成,晶体结构,性质以及在小分子电化学检测中的应用。

## 致谢

我们衷心感谢国家自然科学基金(资助号 21601097),宁夏国家一级学科建设项目(化学工程与技术,NXYLXK2017A04)和宁夏大学进口人才研究启动资金(资助)No. BQD2015002)。

**关键词:** 异金属配合物; 铜(I); 二茂铁羧酸(-1); 电化学; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 检测

[1] P. Buchwalter, J. Rosé, P. Braunstein, *Chem. Rev.* **2015**, *115*, 28-126.

- [2] Y. Ren, O. Jiang, J. Li, H. Zeng, *Appl. Organomet. Chem.* **2016**, *30*, 699-704.
- [3] L. Rosado Piquer, E. C. Sanudo, *Dalton Trans.* **2015**, *44*, 8771-8780.
- [4] H. Bönemann, R. A. Brand, W. Brijoux, H. W. Hofstadt, M. Frerichs, V. Kempter, W. Maus-Friedrichs, N. Matoussevitch, K. S. Nagabhushana, F. Voigts, V. Caps, *Appl. Organomet. Chem.* **2005**, *19*, 790-796.
- [5] D. Ma, V. P. Ma, D. S. Chan, K. Leung, H. He, C. Leung, *Coord. Chem. Rev.* **2012**, *256*, 3087-3113.
- [6] A. Luquin, C. Bariáin, E. Vergara, E. Cerrada, J. Garrido, I. R. Matias, M. Laguna, *Appl. Organomet. Chem.* **2005**, *19*, 1232-1238.
- [7] J. B. Livramento, É. Tóth, A. Sour, A. Borel, A. E. Merbach, R. Ruloff, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2005**, *44*, 1480-1484.
- [8] K.-G. Liu, Q.-D. Shan, J. Nie, X.-W. Yan, *Z. Anorg. Allg. Chem.* **2018**, *644*, 82-85.
- [9] K.-G. Liu, Q.-D. Shan, J. Nie, X.-W. Yan, *Z. Kristallogr.* **2017**, *232*, 813-815.
- [10] S. Sculfort, P. Braunstein, *Chem. Soc. Rev.* **2011**, *40*, 2741-2760.
- [11] K. Liu, W. Shi, P. Cheng, *Coord. Chem. Rev.* **2015**, *289-290*, 74-122.
- [12] X. Zhao, B. Zhao, Y. Ma, W. Shi, P. Cheng, Z. Jiang, D. Liao, S. Yan, *Inorg. Chem.* **2007**, *46*, 5832-5834.
- [13] H. Wang, D. Zhang, Z. Ni, X. Li, L. Tian, J. Jiang, *Inorg. Chem.* **2009**, *48*, 5946-5956.
- [14] Z. Li, J. Dai, N. Wang, H. Qiu, S. Yue, Y. Liu, *Cryst. Growth Des.* **2010**, *10*, 2746-2751.
- [15] V. N. Kokozay, O. Y. Vassilyeva, *Transit. Metal Chem.* **2002**, *27*, 693-699.
- [16] A. J. Edwards, M. A. Paver, P. R. Raithby, M. Rennie, C. A. Russell, D. S. Wright, *Angew. Chem. Int. Ed.* **1994**, *33*, 1277-1279.
- [17] D. Sun, D. Wang, X. Han, N. Zhang, R. Huang, L. Zheng, *Chem. Commun.* **2011**, *47*, 746-748.
- [18] Z. Lei, X.-L. Pei, Z.-G. Jiang, Q.-M. Wang, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53*, 12771-12775.
- [19] Z. Liu, M. Wu, S. Wang, F. Zheng, G. Wang, J. Chen, Y. Xiao, A. Wu, G. Guo, J. Huang, *J. Mater. Chem. C* **2013**, *1*, 4634-4639.
- [20] M. K. Wojnar, J. W. Ziller, A. F. Heyduk, *Euro. J. Inorg. Chem.* **2017**, *2017(47)*, 5571-5575.
- [21] G. Kumar, R. Gupta, *Chem. Soc. Rev.* **2013**, *42*, 9403-9453.
- [22] F. Godoy, T. Maldonado, E. Flores, N. Agurto, R. González, G. Ferraudi, G. Lappin, *Appl. Organomet. Chem.* **2017**, e4115.
- [23] D. R. Staveren, N. Metzler-Nolte, *Chem. Rev.* **2004**, *104*, 5931-5986.
- [24] Y. Wang, P. M. Dansette, P. Pigeon, S. Top, M. J. McGlinchey, D. Mansuy, G. Jaouen, *Chem. Sci.* **2018**, *9*, 70-78.
- [25] G. Jaouen, A. Vessieres, S. Top, *Chem. Soc. Rev.* **2015**, *44*, 8802-8817.
- [26] F. A. Larik, A. Saeed, T. A. Fattah, U. Muqadar, P. A. Channar, *Appl. Organomet. Chem.* **2017**, *31*, e3664.
- [27] R. C. J. Atkinson, V. C. Gibson, N. J. Long, *Chem. Soc. Rev.* **2004**, *33*, 313-328.
- [28] D. Guo, Y.-T. Li, C.-Y. Duan, H. Mo, Q.-J. Meng, *Inorg. Chem.* **2003**, *42*, 2519-2530.
- [29] H. Hou, L. Li, G. Li, Y. Fan, Y. Zhu, *Inorg. Chem.* **2003**, *42*, 3501-3508.
- [30] C. López, R. Costa, F. Illas, E. Molins, E. Espinosa, *Inorg. Chem.* **2000**, *39*, 4560-4565.
- [31] R. Costa, C. Lopez, E. Molins, E. Espinosa, J. Perez, *Dalton Trans.* **2001**, *19*, 2833-2837.
- [32] J. K. Bera, M. Nethaji, A. G. Samuelson, *Inorg. Chem.* **1999**, *38*, 1725-1735.
- [33] P. Angaridis, F. A. Cotton, M. A. Petrukhina, *Inorg. Chim. Acta* **2001**, *324*, 318-323.
- [34] K. Jiang, D. Zhao, L. Guo, C. Zhang, R. Yang, *Chin. J. Chem.* **2004**, *22*, 1297-1302.
- [35] Y. Song, Q. Lv, S. Zhan, J. Wang, J. Su, A. Ding, *Inorg. Chem. Commun.* **2008**, *11*, 672-674.
- [36] B. Ruan, R. Hu, Y. Tian, J. Wu, H. Zhu, *J. Coord. Chem.* **2010**, *63*, 2999-3005.
- [37] B. D. Koivisto, A. S. Ichimura, R. McDonald, M. T. Lemaire, L. K. Thompson, R. G. Hicks, *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 690-691.
- [38] N. Armaroli, G. Accorsi, G. Bergamini, P. Ceroni, M. Holler, O. Moudam, C. Duhayon, B. Delavaux-Nicot, J. Nierengarten, *Inorg. Chim. Acta* **2007**, *360*, 1032-1042.
- [39] J. Diez, M. P. Gamasa, J. Gimeno, A. Tiripicchio, M. T. Camellini, *Dalton Trans.* **1987**, *5*, 1275-1278.
- [40] H. J. Kim, W. S. Jeon, J. H. Lim, C. S. Hong, H. Kim, *Polyhedron* **2007**, *26*, 2517-2522.
- [41] J. Diez, P. Gamasa, J. Gimeno, M. Lanfranchi, A. Tiripicchio, *Dalton Trans.* **1990**, *3*, 1027-1033.
- [42] D. Li, C. Che, W. Wong, S. Shieh, S. Peng, *Dalton Trans.* **1993**, *4*, 653-654.
- [43] A. M. M. Lanfredi, F. Ugozzoli, A. Camus, N. Marsich, R. Capelletti, *Inorg. Chim. Acta* **1993**, *206*, 173-185.
- [44] P. D. Harvey, M. Drouin, T. Zhang, *Inorg. Chem.* **1997**, *36*, 4998-5005.
- [45] Y. Chen, L. Zhang, L. Shi, Z. Chen, *Inorg. Chem.* **2004**, *43*, 7493-7501.
- [46] Z. Mao, J. Huang, C. Che, N. Zhu, S. K. Leung, Z. Zhou, *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 4562-4563.
- [47] J. Ju, W. Chen, *Anal. Chem.* **2015**, *87*, 1903-1910.
- [48] M. Liu, S. He, W. Chen, *Nanoscale* **2014**, *6*, 11769-11776.
- [49] P. Li, H. Kang, C. Zhang, W. Li, Y. Huang, R. Liu, *Carbohydr. Polym.* **2016**, *140*, 35-42.
- [50] S. Cosnier, *Anal. Lett.* **2007**, *40*, 1260-1279.
- [51] A. Garcia, C. Peniche-Covas, B. Chico, B. K. Simpson, R. Villalonga, *Macromol. Biosci.* **2007**, *7*, 435-439.

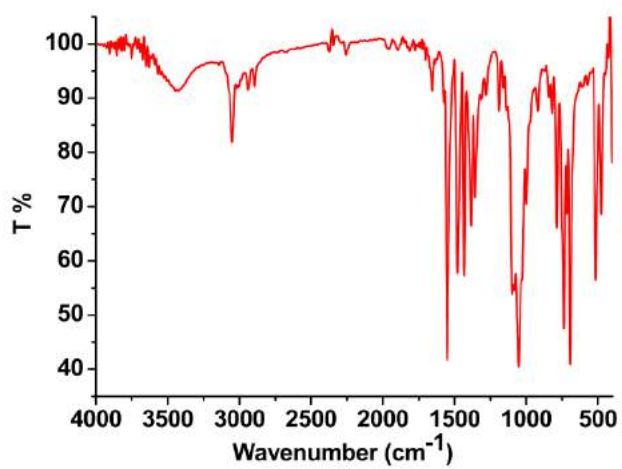


图 S1. 配合物 1 的红外光谱

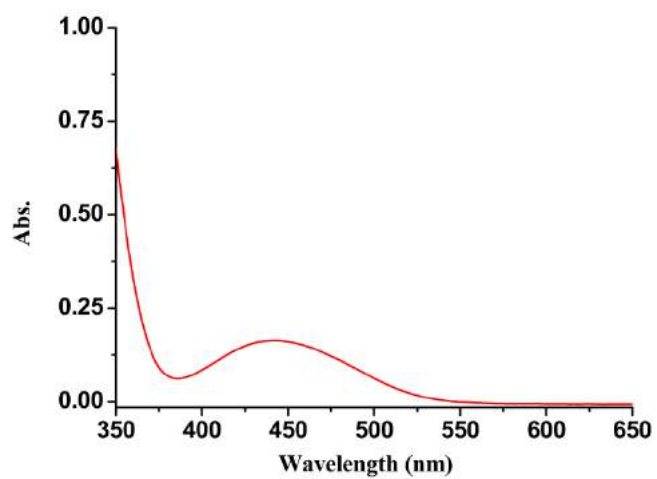
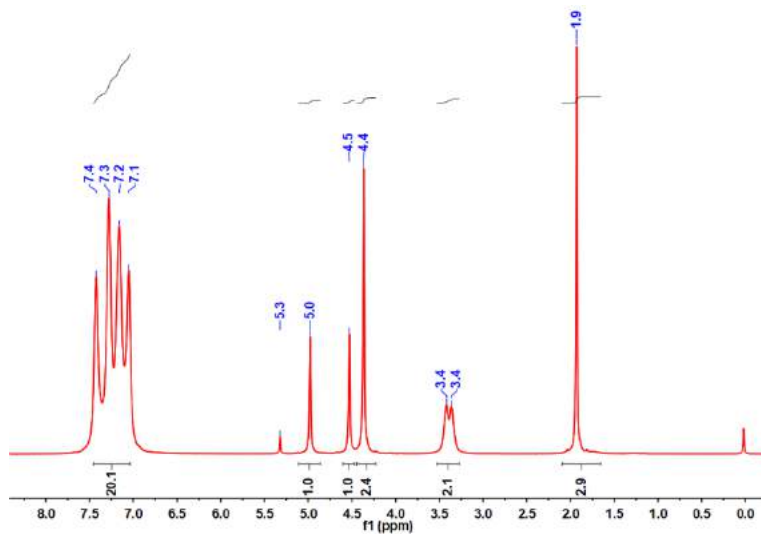


图 S2. 配合物 1 在甲醇溶液中的紫外光谱 ( $\epsilon_{\max} 441 \text{ nm} = 321.9 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ )



图S3. 配合物 1 的液体核磁氢谱图

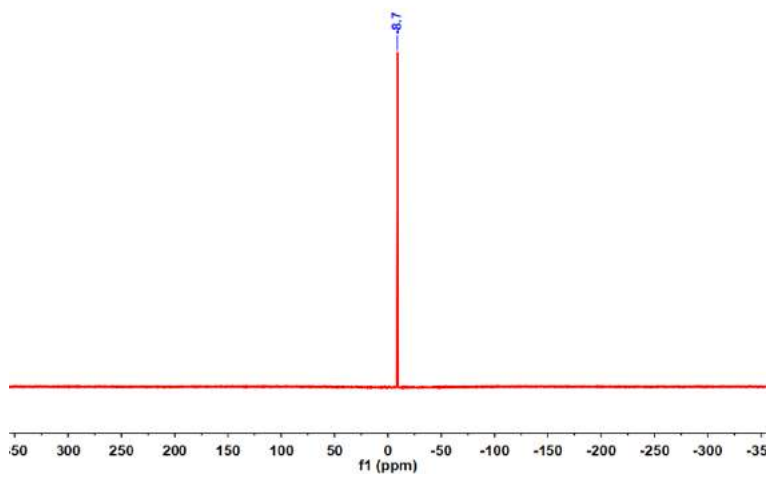


图 S4. 配合物 1 的液体核磁磷谱图

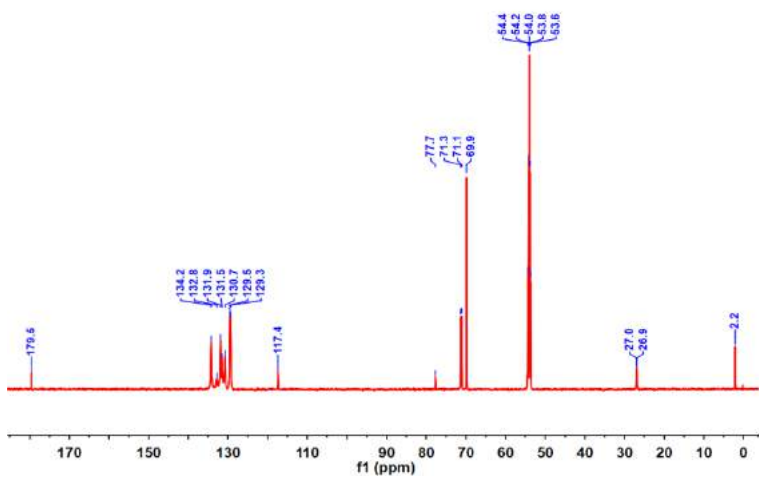


图 S5. 配合物 1 的液体核磁碳谱图

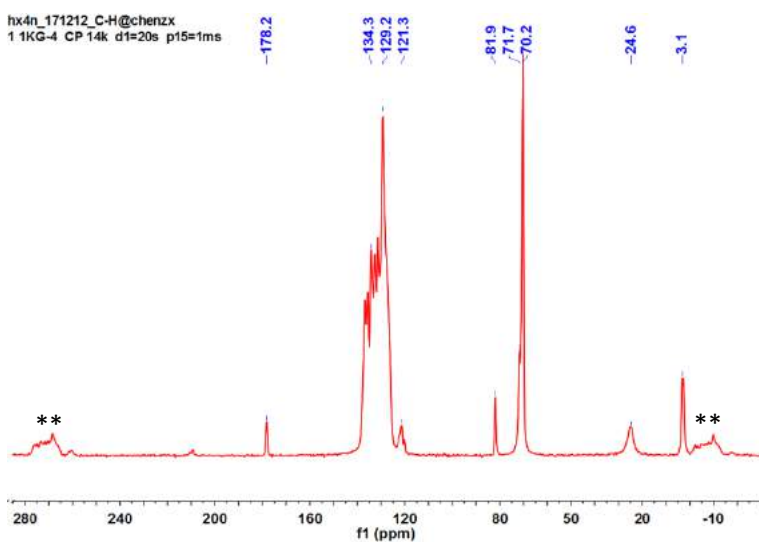


图 S6. 配合物 1 的固体核磁碳谱图

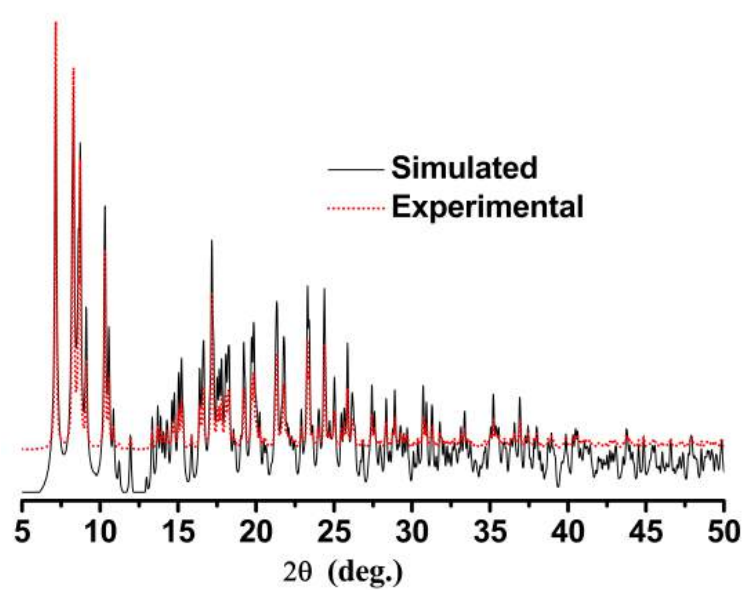


图 S7. 配合物 1 的粉末 XRD 谱图

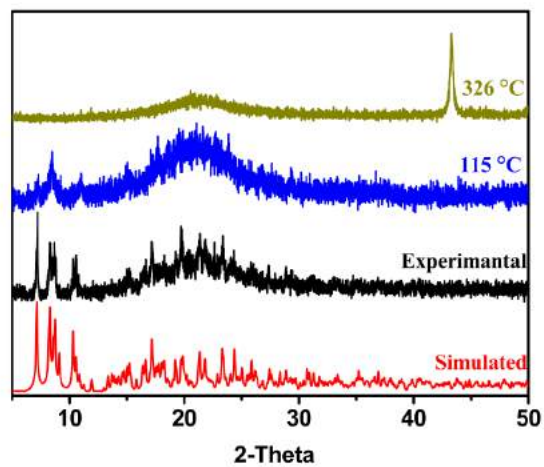


图 S8. 配合物 1 在不同相转变温度的 XRD 粉末衍射图谱

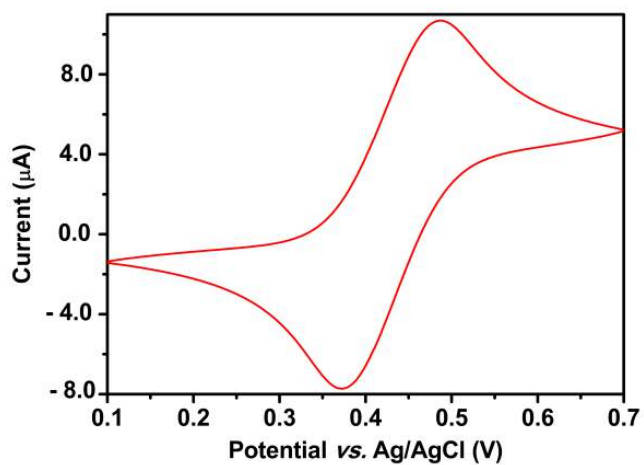


图 S8. 二茂铁在扫速  $0.1 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$  下的 CV 曲线

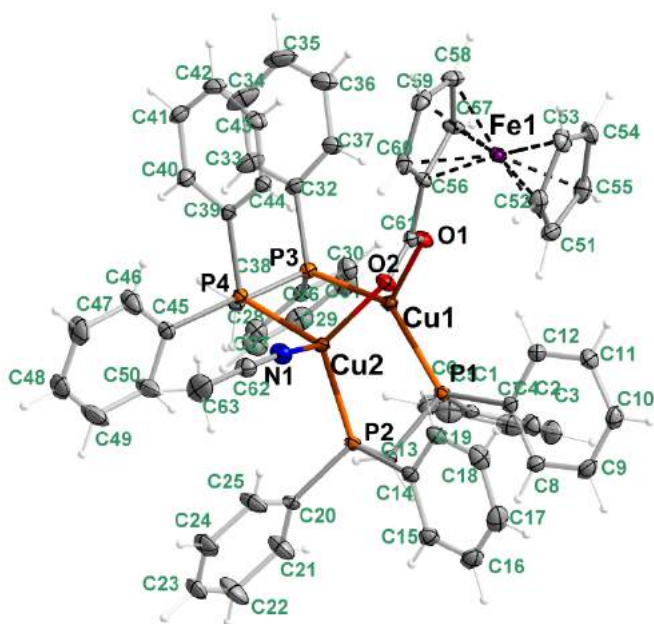


图 S9. 配合物  $[\text{Cu}_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{dppm})_2(\mu_2\text{-}\eta^1, \eta^1\text{FcCOO})(\text{CH}_3\text{CN})]^+$  的主要结构.

表 S1. 配合物 1 的主要晶体数据和结构解析.



<b>Complex</b>	<b>1</b>
Chemical formula	C <sub>65</sub> H <sub>59</sub> BF <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> P <sub>4</sub> FeCu <sub>2</sub>
Formula weight	1293.76
Crystal system	Triclinic
Space group	<i>P</i> <sub>1</sub>
<i>a</i> , Å	12.212(7)
<i>b</i> , Å	13.533(8)
<i>c</i> , Å	20.361(15)
<i>α</i> , deg	79.85(3)
<i>β</i> , deg	72.71(4)
<i>γ</i> , deg	66.13(2)
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	2932(3)
<i>Z</i>	2
$\rho_{\text{calc}}$ , g/cm <sup>3</sup>	1.465
$\mu$ , mm <sup>-1</sup>	1.132
Reflections collected	73497
Independent reflections	11584
<i>R</i> <sub>int</sub>	0.0610
Reflections <i>I</i> > 2σ( <i>I</i> )	11584
Parameters	732
GOF on <i>F</i> <sup>2</sup>	1.033
<i>R</i> <sub>1</sub> <sup>a</sup> / <i>wR</i> <sub>2</sub> <sup>b</sup> ( <i>I</i> > 2σ( <i>I</i> ))	0.0373 / 0.0834
<i>R</i> <sub>1</sub> <sup>a</sup> / <i>wR</i> <sub>2</sub> <sup>b</sup> ( <i>all</i> )	0.0549 / 0.0909

<sup>a</sup>  $R_1 = [\sum \text{abs}(\text{abs}(F_o) - \text{abs}(F_c))] / [\sum \text{abs}(F_o)]$ . <sup>b</sup>  $wR_2 = [\sum (w(F_o^2 - F_c^2)^2) / \sum [w(F_o^2)^2]]^{0.5}$ .

表 S2. 配合物 1 的主要键长[Å]和键角[°].

---

Bond lengths [Å]

Cu(1)-Cu(2)	2.9121(16)	Cu(2)-N(1)	2.129(3)
Cu(1)-O(1)	1.981(2)	Cu(2)-O(2)	2.057(2)
Cu(1)-P(1)	2.2391(14)	Cu(2)-P(2)	2.2650(13)
Cu(1)-P(3)	2.2478(14)	Cu(2)-P(4)	2.2665(15)
Angles [°]			
O(1)-Cu(1)-P(1)	117.87(6)	O(1)-Cu(1)-Cu(2)	83.59(8)
O(1)-Cu(1)-P(3)	114.30(7)	O(2)-Cu(2)-N(1)	90.01(10)
O(2)-Cu(2)-P(2)	119.01(7)	O(2)-Cu(2)-P(4)	112.15(7)
O(2)-Cu(2)-Cu(1)	76.06(7)	N(1)-Cu(2)-P(2)	103.89(8)
N(1)-Cu(2)-P(4)	97.71(8)	N(1)-Cu(2)-Cu(1)	165.14(7)
P(1)-Cu(1)-P(3)	127.39(5)	P(2)-Cu(2)-P(4)	123.75(5)
P(1)-Cu(1)-Cu(2)	93.29(4)	P(2)-Cu(2)-Cu(1)	87.65(5)
P(3)-Cu(1)-Cu(2)	98.70(4)	P(4)-Cu(2)-Cu(1)	83.11(4)

---

# Fabrication and Characterization of Organic Solar Cells Using a Riboflavin Derivative

Hitoshi Mizuno\*<sup>1</sup>, Ryunosuke Kondo<sup>1</sup>, Hiroki Iida<sup>2</sup>, Ichiro Hiromitsu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics and Materials Science, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060, Nishi-kawatsu-cho, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

\*E-mail: [mi-hitoshi@riko.shimane-u.ac.jp](mailto:mi-hitoshi@riko.shimane-u.ac.jp)

<sup>2</sup> Department of Chemistry, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060, Nishi-kawatsu-cho, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

In this work, we perform a characterization study of solution-processed organic solar cells using a riboflavin derivative, riboflavin tetrabutylate (TBRF). To investigate whether TBRF functions as a donor, heterojunction type solar cell consisting of TBRF and 3,4,9,10-perylene-tetracarboxylic bis-benzimidazole (PTCBI) is fabricated (ITO/TBRF/PTCBI (50 nm)/In (20 nm)/Al (30 nm)). The heterojunction cell showed a power conversion efficiency (PCE) value of  $3.54 \times 10^{-6}$  %. The result allowed us to confirm that TBRF functions as the donor since the cell showed a photocurrent under white light illumination owing to a photovoltaic effect. In bulk heterojunction type solar cell (ITO/MoO<sub>3</sub> (5 nm)/TBRF:[6, 6]-phenyl-C<sub>61</sub> butyric acid methyl ester (PCBM)/In (20 nm)/Al (30 nm)) that can be expected to obtain an efficient charge separation by increasing the donor-acceptor interface area in an active layer, a higher PCE of  $1.39 \times 10^{-3}$  % was obtained. Photocurrent action spectral measurement in the TBRF:PCBM bulk heterojunction device revealed that PCBM has a dominant role in photocarrier generation since the measured photocurrent response in the wavelength region of 380–650 nm was due to the optical absorption of PCBM. The results of the photovoltaic tests in the present study indicate that TBRF is applicable to photovoltaic cells.

## 1. Introduction

Organic solar cells have attracted much attention as low-cost energy conversion devices owing to their advantages of easy fabrication, lightweight and possibility to be fabricated on flexible substrates [1–10]. Heterojunction type organic solar cells have extensively been used as a typical device architecture consisting of the layered donor/acceptor heterojunction. In the heterojunction solar cells, while the cells have merit of favorable carrier transport properties, sufficient photocurrent generation cannot be occurred due to an insufficient donor–acceptor interface area. The organic solar cells with high power conversion efficiencies (PCEs) have now been fabricated using the active layers consisting of a bulk heterojunction structure obtained by blending a donor with an acceptor [1–10]. In bulk heterojunction solar cells, the donor and acceptor are naturally nanostructured due to phase segregation of the donor and fullerene derivatives. The morphology of the nanostructure can be controlled through thermal and solvent annealing. Annealing treatments typically increase the size of the domains in the blend films, which increases the distance that excitons need to travel to dissociate at the heterojunction interface. These studies have so far mainly been performed on polymer-based photovoltaic devices such as poly-3 (hexylthiophene)(P3HT):[6, 6]–phenyl–C<sub>61</sub> butyric acid methyl ester (PCBM) bulk heterojunction solar cells [1, 2]. However, the high cost of polymer materials restricts the widespread application of organic solar cells. The solar cells using small molecules (low-molecular-weight) which can be synthesized at low cost are advantageous in this regard [6, 7–10, 20]. Moreover, the small molecules offer advantages in terms of the ease of their synthesis and purification, less contamination and less inconsistencies from batch to batch preparations.

Meanwhile, riboflavin [11–16] which is one of the most important bioactive

materials is synthesized by microbial fermentation, and is obtained commercially at low cost [11, 12]. The studies of oxidation–reduction properties, electron–transfer properties, phototropism and neurotransmitter control have extensively been performed on riboflavin derivatives [13–16]. However, no device–oriented studies involving riboflavin as an electronic material have been reported yet. The relatively unexplored research areas in regard to their device characteristics motivated us to compile experimental data of the properties and utility of riboflavin in organic solar cells. Here, we report on the fabrication and characterization of solar cells using riboflavin tetrabutryrate (TBRF) [17] which is a riboflavin derivative as a donor material.

## **2. Experiment**

### **2.1. Device fabrication**

The photovoltaic devices in the present study were heterojunction type cell consisting of TBRF and 3,4,9,10–perylene-tetracarboxylic bisbenzimidazole (PTCBI) [18, 19] and bulk heterojunction type cell consisting of a blend of TBRF:PCBM (1:2 weight ratio). The device structure consists of active layer sandwiched between a transparent indium tin oxide (ITO) anode and a metal cathode (Al).

For the fabrication of solar cells, the ITO–coated glass substrates (sheet resistance: 10  $\Omega$ /sq.) were cleaned as follows. First, the ITO substrates were cleaned by ultra–sonication in acetone for 5 minutes and then cleaned in ethanol for 5 minutes. Subsequently, ammonia water (28% in water) and hydrogen peroxide (30%) were mixed in a 1:1 volume ratio and the substrates were immersed in the mixed solution kept at 80°C for 20 minutes. Finally, the ITO substrates were rinsed by distilled water three times and dried in the air.

For the preparation of the heterojunction solar cell, TBRF was dissolved in

chloroform with solution concentration of 20 mg/mL. The TBRF solution was spin-coated at 1000 rpm for 200 s on the ITO substrate. PTCBI [35, 36] was used as an acceptor molecule, which was synthesized according to a published procedure [35, 36]. Then a 50-nm thick PTCBI film was vacuum deposited on the TBRF layer. Finally, indium (In) (20 nm) and Al (30 nm) electrodes were successively deposited by vacuum evaporation on the PTCBI layer to fabricate the heterojunction structure (ITO/TBRF/PTCBI/In/Al) as shown in Fig. 1(a). Here, In and Al were thermally evaporated under a pressure of  $1.0 \times 10^{-4}$  Pa at a rate of 0.1 and 0.5  $\text{\AA} \text{ s}^{-1}$  for In (0–10  $\text{\AA}$ : 0.1  $\text{\AA} \text{ s}^{-1}$ , more than 10  $\text{\AA}$ : 0.5  $\text{\AA} \text{ s}^{-1}$ ), and  $\sim 4.0 \text{ \AA} \text{ s}^{-1}$  for Al. The deposition rates were controlled by a quartz crystal oscillator (ULVAC Inc., CRTM-6000G).

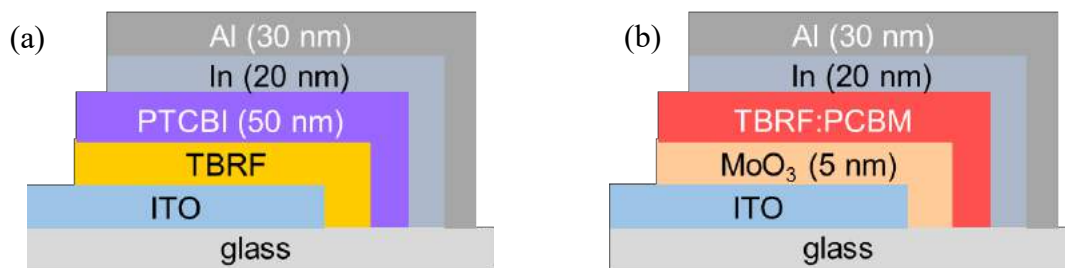


Fig. 1. Device structures of heterojunction (a) and bulk heterojunction (b) solar cells. These solar cells consist of ITO/TBRF/PTCBI (50 nm)/In (20 nm)/Al (30 nm) (a) and ITO/MoO<sub>3</sub> (5 nm)/TBRF:PCBM/In (20 nm)/Al (30 nm) (b) structures, respectively.

For the preparation of the bulk heterojunction type device, blend solution of TBRF:PCBM with 1:2 weight ratio was prepared in chloroform with solution concentration kept at 20 mg/mL. MoO<sub>3</sub> was used as a hole transport layer. A 5-nm thick MoO<sub>3</sub> film was vacuum deposited on the ITO substrate. The TBRF:PCBM blend film was obtained by spin-coating the blend solution at 1000 rpm for 200 s on the MoO<sub>3</sub> layer. To complete the photovoltaic device fabrication, In (20 nm) and Al (30 nm) were vacuum deposited on the TBRF:PCBM blend film to form the desired structure

(ITO/MoO<sub>3</sub>/TBRF:PCBM/In/Al) (Fig. 1(b)) as with the heterojunction device.

## 2.2. Characterization techniques

Optical absorption spectra for TBRF single-layer and TBRF:PCBM blend films were obtained using an ultraviolet-visible (UV-vis) spectrophotometer (Shimadzu, UV-3100PC). Current density-voltage ( $J-V$ ) plots of photovoltaic cells were measured under white light illumination (100 mW/cm<sup>2</sup>, simulated solar spectrum AM1.5). The photocurrent action spectrum under zero bias voltage was obtained by irradiating the fabricated photovoltaic devices with monochromatic light. All devices were tested in air.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Optical absorption spectra

Figures 2(a) and 2(b) show the molecular structure of TBRF the optical absorption spectrum of TBRF thin film spin-coated on a quartz substrate, respectively. In the TBRF single-layer film, four distinct absorption peaks at 352, 425, 448, and 476 nm corresponding to electronic transitions from singlet ground states to higher excited state are observed. The absorption spectra of PTCBI (50 nm), PCBM, and TBRF:PCBM blend thin films are shown in Fig. 3. Black solid, gray solid, and black dashed lines indicate the absorption spectra of PTCBI, PCBM, and TBRF:PCBM blend films, respectively. In the absorption spectral measurements, PTCBI was vacuum-deposited on the quartz substrate, and PCBM and TBRF:PCBM films were prepared by spin-coated on the quartz substrates. In PTCBI, a vibronic structure of singlet  $\pi-\pi^*$  transitions appears at ~540 nm and at ~680 nm. PCBM has only weak absorption in the visible and near-infrared regions. The absorption appeared in the range of 400–550 nm is associated with intermolecular interactions between fullerenes. In the TBRF:PCBM

blend film, four absorption peaks at 352, 459, 483, and 535 nm, and shoulder peaks at 628 and 716 nm are observed.

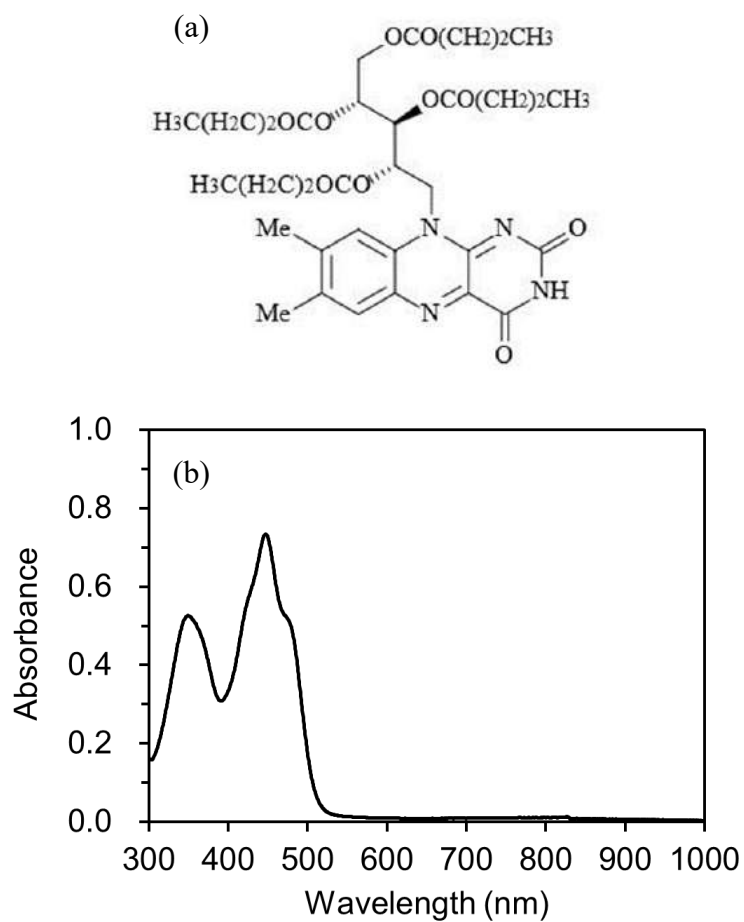


Fig. 2. (a) Molecular structure of TBRF. (b) Optical absorption spectrum of TBRF single-layer film spin-coated on a quartz substrate.



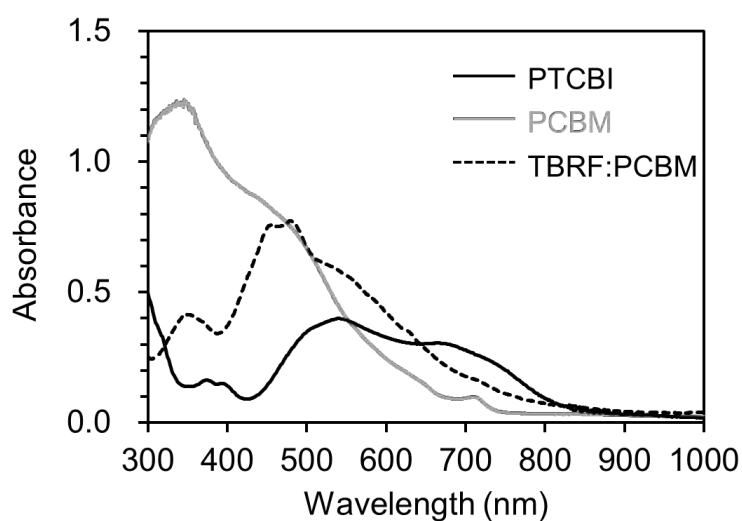


Fig. 3. Absorption spectra of PTCBI (50 nm), PCBM, and TBRF:PCBM blend thin films.

### 3.2. Photovoltaic characteristics

The  $J-V$  characteristic of the heterojunction type solar cell consisting of ITO/TBRF/PTCBI/In/Al is shown in Fig. 4. The TBRF/PTCBI heterojunction cell gave the power conversion efficiency (PCE) of  $3.54 \times 10^{-6} \%$  with open-circuit voltage ( $V_{OC}$ ) of 0.50 V, short-circuit current density ( $J_{SC}$ ) of  $3.42 \times 10^{-5} \text{ mA/cm}^2$ , and fill factor (FF) of 0.21. One of the origins of the low PCE is considered to be a high resistance of the TBRF film. Although the PCE of the heterojunction type cell is low, TBRF functions as a donor since the photocurrent was generated by irradiating the cell with white light owing to a photovoltaic effect.

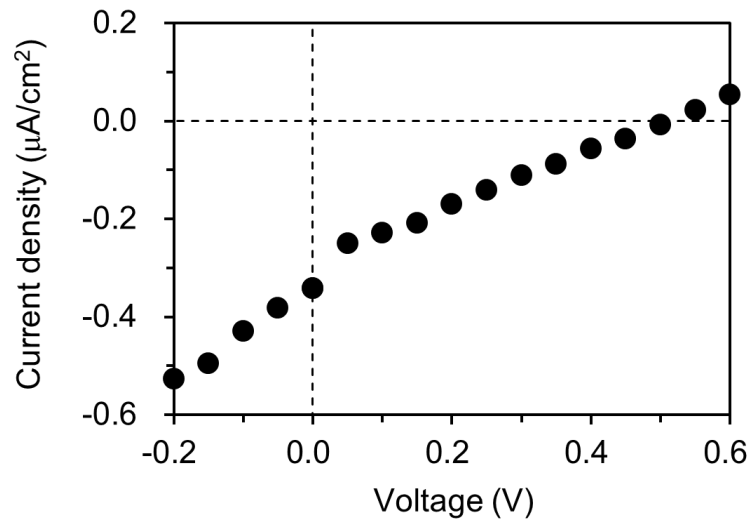


Fig. 4. The  $J$ - $V$  plots of the heterojunction type solar cell consisting of ITO/TBRF/PTCBI/In/Al.

It is expected that an efficient charge segregation by increasing the donor–acceptor interface area in an active layer will improve device performance. Thus, we employed bulk heterojunction structure (Fig. 1(b)) instead of the heterojunction structure. In many types of the bulk heterojunction type solar cells [1–9, 20], PCBM has been used as a standard and efficient acceptor [1, 2, 20]. Therefore, we used PCBM as the acceptor for solution–processed bulk heterojunction solar cell. Figure 5 shows the  $J$ - $V$  plots of the TBRF:PCBM bulk heterojunction type solar cell. The bulk heterojunction cell demonstrated a PCE of  $1.39 \times 10^{-3} \%$  ( $V_{OC} = 0.49$  V,  $J_{SC} = 8.9 \times 10^{-3}$  mA/cm<sup>2</sup> and FF = 0.32). In the TBRF:PCBM bulk heterojunction cell, the PCE was improved by a factor of 393 in comparison with the heterojunction cell, although the device performance is not directly comparable due to the different cell architecture.

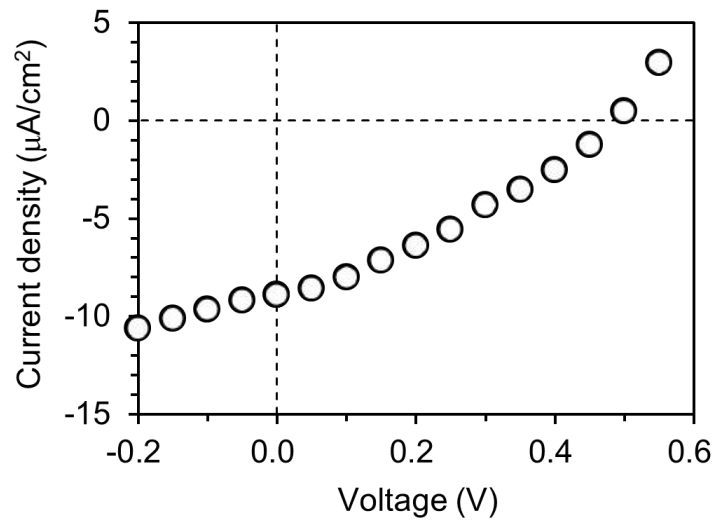


Fig. 5. The  $J$ - $V$  plots of the TBRF:PCBM bulk heterojunction type solar cell.

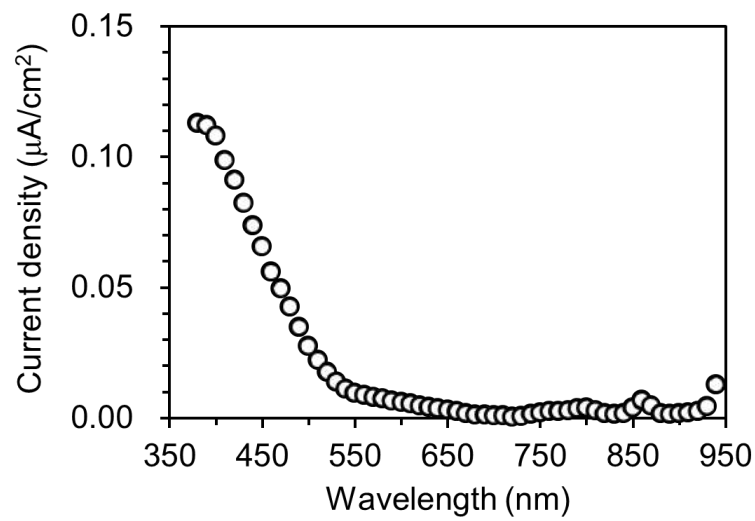


Fig. 6. Photocurrent action spectrum of TBRF:PCBM bulk heterojunction type solar cell.

To investigate the effect of the active layer on the photovoltaic characteristics, the photocurrent action spectrum was measured. The photocurrent action spectrum of the TBRF:PCBM bulk heterojunction cell (ITO/MoO<sub>3</sub>/TBRF:PCBM/In/Al) is plotted in Fig. 6. The spectrum was obtained by irradiating monochromatic light from the ITO side to

the cell. The action spectrum is dominated by photocurrents generated in the wavelength region of 380–650 nm. The action spectral shape is similar to the absorption spectrum of PCBM (see Fig. 3). This means that the photocurrent generation originates from the excitation of PCBM. In other words, in the bulk heterojunction device, TBRF makes no significant contribution to photocurrent generation. In the bulk heterojunction device, it is considered that TBRF has a role in transporting hole carriers.

#### **4. Conclusion**

Solution-processed organic solar cells using a riboflavin derivative as a donor were fabricated. The  $J-V$  measurement of TBRF/PTCBI heterojunction cell allowed us to confirm that TBRF functions as a donor. In the TBRF:PCBM bulk heterojunction type solar cell, the higher PCE of  $1.39 \times 10^{-3} \%$  was obtained owing to an increase in the donor-acceptor interface area in the active layer. From the photocurrent action spectral measurement, it was found that PCBM has a dominant role in photocarrier generation since the measured photocurrent response in the wavelength region of 380–650 nm was due to the optical absorption of PCBM. The present study showed that TBRF is applicable to photovoltaic cells as the donor material. We anticipate that enhancing the photovoltaic performance of solar cells using a riboflavin derivative leads to an effective choice to realize the low-cost solution-processed solar cells.

#### **Acknowledgements**

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number 18K14299. The authors acknowledge Ms. T. Jinjyo, Shimane University, for experimental supports.

## References

- [1] G. Zhao, Y. He, Y. Li, 6.5% Efficiency of Polymer Solar Cells Based on poly(3-hexylthiophene) and Indene-C<sub>60</sub> Bisadduct by Device Optimization, *Adv. Mater.* 22 (2010) 4355–4358.
- [2] G. Dennler, M. C. Scharber, C. J. Brabec, Polymer-Fullerene Bulk-Heterojunction Solar Cells, *Adv. Mater.* 21 (2009) 1323–1338.
- [3] Y. Liang, D. Feng, Y. Wu, S-T. Tsai, G. Li, C. Ray, L. Yu, Highly Efficient Solar Cell Polymers Developed via Fine-Tuning of Structural and Electronic Properties, *J. Am. Chem. Soc.* 131 (2009) 7792–7799.
- [4] C-C. Chen, W-H. Chang, K. Yoshimura, K. Ohya, J. You, J. Gao, Z. Hong, Y. Yang, An Efficient Triple-Junction Polymer Solar Cell Having a Power Conversion Efficiency Exceeding 11%, *Adv. Mater.* 26 (2014) 5670–5677.
- [5] H. Li, Z. Xiao, L. Ding, J. Wang, Thermostable Single-Junction Organic Solar Cells with a Power Conversion Efficiency of 14.62%, *Science Bulletin* 63 (2018) 340–342.
- [6] Z. Wang, T. Miyadera, T. Yamanari, Y. Yoshida, Templating Effects in Molecular Growth of Blended Films for Efficient Small-Molecule Photovoltaics, *Appl. Mater. Interfaces* 6 (2014) 6369–6377.
- [7] N. Iwamoto, M. Nakamura, K. Ohga, T. Yamao, S. Hotta, Thiophene/Phenylene Co-Oligomers as Novel Photovoltaic Materials, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 597 (2014) 20–28.
- [8] B. Yu, L. Huang, H. Wang, D. Yan, Efficient Organic Solar Cells Using a High-Quality Crystalline Thin Film as a Donor Layer, *Adv. Mater.* 22 (2010) 1017–1020.
- [9] P. Peumans, S. Uchida, S. R. Forrest, Efficient Bulk Heterojunction Photovoltaic Cells Using Small-Molecular-Weight Organic Thin Films, *Nature* 425 (2003) 158–162.
- [10] I. Kim, H. M. Haverinen, Z. Wang, S. Madakuni, Y. Kim, J. Li, G. E. Jabbour,

- Efficient Organic Solar Cells Based on Planar Metallophthalocyanines, *Chem. Mater.* 21 (2009) 4256–4260.
- [11] V. Massey, The Chemical and Biological Versatility of Riboflavin, *Biochemical Society Transactions* 28 (2000) 283–296.
- [12] E. Choe, R. Huang, D. B. Min, Chemical Reactions and Stability of Riboflavin in Foods, *J. Food Sci.* 70 (2005) R28–R36.
- [13] F. Müller, *Chemistry and Biochemistry of Flavoenzymes*, CRC Press: Boston (1991).
- [14] E. Silva, A. M. Edwards, *Flavins: Photochemistry and Photobiology*, Royal Society of Chemistry: Cambridge (2006).
- [15] C. T. Walsh, T. A. Wencewicz, Flavoenzymes: Versatile Catalysts in Biosynthetic Pathways, *Nat. Prod. Rep.* 30 (2013) 175–200.
- [16] H. Iida, Y. Imada, S.-I. Murahashi, Biomimetic Flavin–Catalysed Reactions for Organic Synthesis, *Org. Biomol. Chem.* 13 (2015) 7599–7613.
- [17] M. Ebitani, H. Kashiwagi, M. Inoue, S. Enomoto, T. Ishida, X–Ray Diffraction Patterns and Crystal Structures of Riboflavin Tetrabutyrates, *Chemical & Pharmaceutical Bulletin* 37 (1989) 2273–2275.
- [18] T. Maki, H. Hashimoto, Vat Dyes of Acenaphthene Series. IV. Condensation of Perylenetetracarboxylic Acid Anhydride with *o*–Phenylenediamine, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 25 (1952) 411–413.
- [19] L. Gisslén, R. Scholz, Crystallochromy of Perylene Pigments: Influence of an Enlarged Polyaromatic Core Region, *Phys. Rev. B* 83 (2011) 155311-1-7.
- [20] H. Mizuno, K. Nagano, S. Tomita, H. Yanagi, I. Hiromitsu, Organic Photovoltaic Cells with Onion–Like Carbon Thin Films as Hole Collection Layers, *Thin Solid Films* 654 (2018) 69–76.

# 宁夏新型农村医疗保险制度研究

郑晓婷

(宁夏大学)

中国自 2003 年实施新型农村合作医疗制度和近年来推行的城乡居民基本医疗保险制度以来,虽然在解决农村居民“看病难、看病贵”问题上取得了显著成效,但在政策实施过程中还存在诸多问题。新型农村合作医疗制度,只是在一定程度上解决了农村居民无钱看病的问题,仍未解决到什么地方看病和是否有合格的医务人员为他们看病的问题。特别是山区农村医疗资源匮乏,群众的医疗需求得不到满足。

## 宁夏新型农村合作医疗的实施状况

新型农村合作医疗制度是由政府组织、引导、支持,农民自愿参加,个人、集体和政府多方筹资,以大病统筹为主的农民医疗互助共济制度。<sup>1</sup>自 2003 年先行试点,逐步推广以来,各省(区)根据《中共中央、国务院关于进一步加强农村卫生工作的决定》要求,制订了本省(区)新型农村合作医疗制度的管理办法。

### 一、居民基本医疗保险制度实施情况

宁夏回族自治区从 2012 年在全区实施统筹城乡的居民基本医疗保险制度(统称为城乡居民基本医疗保险),农村居民可以享受到与城镇居民完全一样的待遇,在全国率先实现了城乡医疗保险的同等对待。目前宁夏回族自治区各市县农村居民基本医疗保险的参保率均在 90%以上。青铜峡市农村居民参保人数 20.9 万人,参保率达到 95%以上。在固原市调查的 4 个行政村中,有 3 个村的所有农户都参加了新型农村合作医疗,另外 1 个村仅有 5 户农民没有参加医保,占该村总户数的 2.7%。海原县农村居民参加基本医疗保险人员的比重从 2007 年的 85%提高到 2013 年的 97.2%。2013 年隆德县城乡居民医疗保险参保 138836 人,其中农村居民参保人数为 127332 人,占整个城乡居民参保人数的 91.7%。2013 年盐池县农村居民基本医疗保险的参保率达到 98%以上。与此同时,2013 年宁夏各级财政对城乡居民医疗保险补助标准为每人每年 300 元,城乡居民医疗保险个人缴费标准为:一档 50 元,二档 200 元,三档 400 元。其中,未成年人和在校大学生可以选择一档或三档缴费,按一档标准缴费后,享受二档基本医疗保险待遇。

在以上补助标准不变的前提下,由财政对城乡居民中三级中度残疾人员再补助 150 元,对城镇“三无”人员和贫困家庭中二级以上重度残疾人员再补助 288

---

<sup>1</sup>国务院办公厅. 关于建立新型农村合作医疗制度的意见[Z]. 2003-1-16.

元，对农村五保对象和贫困家庭中二级以上重度残疾人员再补助 350 元。下表为宁夏 2013 年在全区实行统一的城乡居医疗保险住院报销标准，按照缴费档次以及就医医院级别不同，享受的报销比例不同。

表 6.1 宁夏回族自治区城乡居民医疗保险住院报销比例

参保 档次	住院起付标准（元）				政策范围内住院费用报销比例（%）			
	三级	市二级	县二级	一级	三级	市二级	县二级	一级
一档	700	450	400	200	45	70	80	85
二档					60	80	85	90
三档					65	85	90	95

数据来源：根据宁夏回族自治区卫生厅编《宁夏回族自治区城乡居民医疗保险统计资料》整理

## 二、访谈记录与分析

### 调研地点：固原原州区扶贫办

1、访谈人：zrg，男，回族，45 岁，大学文化程度。我认为综合整个农村经济情况进行分析，按现行政策民族贫困地区推行农村养老保险还有一点的难度。一是由于固原地区农民人均纯收入水平偏低，大多数家庭仅能维持当前基本生活的必要支出，部分困难群众甚至还有困难，无经济能力考虑预期养老的问题；二是特困农民群众普遍有注重现实的思想，土地和家庭等传统保障还发挥着一定作用，部分有缴费能力的人对今后的政策存在疑虑，不愿参保；三是由于集体经济薄弱，现行政策的集体补助难以落实，部分农民的参保积极性不高，农保政策的内容还需要进一步完善和补充。

### 调研地点：西吉县老窝乡崇仁村

2、访谈人：bzf，男，65 岁，回族，半文盲。城乡居民基本医疗保险在我们村实施以来，我们村的大部分村民觉得挺划算就参保了，我们老两口由于收入低缴纳不起，就没有参保。

### 访谈地点：海原县李俊镇利沙底村

3、访谈人：mhw，男，50 岁，回族。高中文化程度。自家人口多，老伴残疾，老小 7 口人，不够住，申请自建房 5 间，共花费 6 万多元。这样三个儿子的房子就有着落了，欠下很多债。以前家没搬下来时大儿子在沟口打工，那时和现在生活的差别就是，最低生活保障制度的实施，在很大程度上保障了困难村民的基本生活。搬迁之前我就动员他把家眷接下来住，孩子上学也方便些，他多次回去商量，媳妇就是不愿意搬下来，后来政府给了低保和搬迁政策，媳妇也就同意搬来了。我觉得以农户生计资产作为基础，能够反映咱农民整体生活状况，也能够识别低保对象标准。比如那些农户家中有人残疾和人口过多缺乏劳动力的家庭最有可能获得低保。

### 调研地点：同心县城关镇八方村

4、访谈人：hnm，女，36 岁，回族，小学文化程度。四个孩子的妈妈，大女儿已经在乡饭馆打工。其余孩子分别就读移民中学初一，小学四年级，最小的一年级。问及她生这么多孩子不怕负担重，她摇头笑着说，那再没办法！小儿子怀在肚子八个月还不知道，没例假也没去医院检查，还在吃避孕药孩子就出生了。丈夫一个人挣钱，她身体不好，不能干体力活。新型农村合作医疗制度实施以来，在解决咱农民“看病难”和“看病贵”问题上起到了关键



作用。托靠政府我们能享受医疗保险，这些保险都是娃娃他爹交的，具体交多少我也不清楚。

**调研地点：吴忠市利通区人社局**

5、访谈人：gxw，男，怒族，56岁，大专文化程度。我认为养老保险制度在山区推行较为困难，根据自治区规定的十二个档次缴费，但是红寺堡区农民去年交100元档次的人数占到总缴费人数的70-80%。农民的参保积极性不高一方面是因为农保刚试点一年，农民对农保的认识还没有到位，另一方面缴费周期相对来说太长，而百姓比较现实。政策规定农村养老参保范围为16-59岁，但是从参保实际情况来看，16-45岁农村居民，养老意识不强，参保积极性不高。而政策规定的参保范围较广，其考核标准要求参保率高，这给当地的经办机构造成很大的压力，建议政府提高参保的年龄到18岁或者20岁，而不是现在的16岁。

**调研地点：中卫市人社局**

6、访谈人：wj，男，汉族，46岁。大学文化程度。我认为现在的社保项目多，村民参保需要缴纳的各种费用较多，既需要交养老，又需要交医疗，费用支出超出了家庭的可支配收入，在家庭人口规模大的家庭更为明显。虽然村民在思想上、意识上愿意参保，但是受家庭经济困难条件的限制，有心无力参保。

目前，宁夏回族自治区城乡居民基本医疗保险已实现了全覆盖，统筹资金标准逐年提高，有效缓解了农民看病难、看病贵的问题。如宁夏固原市黄铎堡镇村民李某说：“每人一年缴50元医疗保险费，有病住院大部分能报销，有头疼脑热的小病，在本村卫生室花30%的钱就能取上药，医保真正惠及了我们老百姓。今年自己得了肾结石，医院住院花费了2082元，报销了1289元，如果不参加医疗保险，所有费用都要自己出，所以每年我都把家里所有人的医疗保险及时缴清。”盐池县花马池镇村民田某，2013年参加农村医保一档且为低保人员，缴费10元，由于胆结石在县人民医院住院，由于是低保人员，住院时不用交押金，出院时一次结清报销后个人支付了650元费用。永宁县李俊镇村民刘某，缴纳农村医疗保险40元（2012年医疗保险一档缴费金额为40元），2013年8月因脑溢血住院治疗，住院两次共花费3万多元，医保报销9180元。隆德县温堡乡村民闫某67岁，是个长期病号，2013年参加的是一档医保，全年花去医疗费3.4万元，报销了1.8万元。可见，政策实施作用明显，报销比例有所提高。

**宁夏城乡居民大病保险运行分析**

近年来，宁夏将农村特困户医疗救助和农村新型合作医疗保险有机地结合起来，把门诊救助和大病住院补助有机地结合起来，民政部门资助特困人员参加新型农村合作医疗基金，将特困人员全部纳入农村合作医疗保险范围，享受有关政策待遇，提高了特困群众抵御重大疾病风险的能力。截止2013年年底，全区用于医疗救助的各级财政性资金支出21379.5万元，其中：资助参加合作医疗保险资金1601.7万元，民政部门资助参加合作医疗33.6万人，人均资助参合水平47.7元；资助参加医疗保险资金618万元，民政部门资助参加医疗保险10.9万人次，人均救助水平56.7元。民政部门直接医疗救助资金17896.4万元，直接医疗救助32.8

万人次。其中门诊救助支出 2237.2 万元，门诊救助 16.7 万人次，人均救助水平 133.96 元；住院救助支出 15659.2 万元，住院救助 16.1 万人次，人均救助水平 972.6 元<sup>2</sup>（见下图 6.1）。

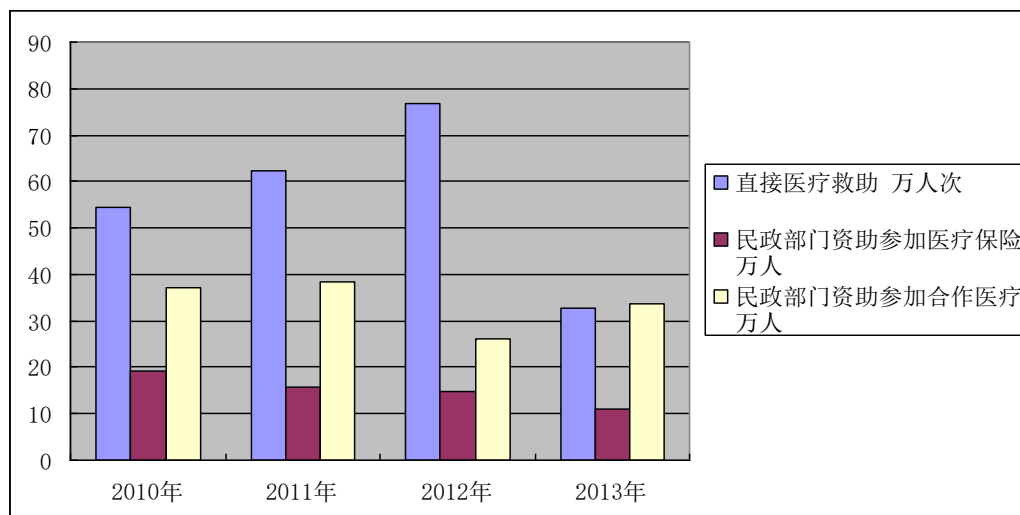


图 6.1 2010 年-2013 年宁夏医疗救助情况

资料来源：依据宁夏民政厅 2013 年宁夏民政事业统计季报,内部资料绘制

## 一、宁夏城乡居民大病保险基本情况

### （一）试点启动和公开招标

从 2013 年 7 月 1 日开始，宁夏城乡居民大病保险从 5 个地级市中选择石嘴山市(川区)和固原市(山区)进行试点，2014 年实现自治区全覆盖。保障对象为城乡居民基本医疗保险参保人员。通过公开招标，银川市城乡居民大病保险由中国人寿保险股份有限公司宁夏分公司承保；石嘴山市、吴忠市、固原市、中卫市城乡居民大病保险由中国人民财产保险股份有限公司宁夏分公司承保。

### （二）人均筹资和待遇标准

宁夏城乡居民大病保险筹资按低标准起步，2014 年人均 25 元，2015 年提高至人均 32 元，筹资 14995 万元，资金从城乡居民医疗保险基金中直接划拨。2014 年大病保险起付标准为 6000 元，2015 年大病保险起付标准调整为 8400 元，患病人员在基本医保报销之后，超过 8400 元的个人自负合规医疗费用，由大病保险资金按规定比例支付。支付比例从 50%起步，最高报销 70%，共分 8 档，报销额度上不封顶。此外，对儿童先天性心脏病、急性白血病、终末期肾病、妇女乳腺癌、宫颈癌等 20 种重大疾病的医疗费用，在大病保险规定的分段支付比例基础上再提高 1-3 个百分点，即报销比例相应达到 51%—73%。

<sup>2</sup>宁夏民政厅. 宁夏民政事业统计季报[Z]. 内部资料, 2013 年.

## 二、运行分析

### (一) 参保情况

2015年，城乡居民大病保险参保人数达到470万人，实现了城乡居民参保人员全覆盖。参保人群中，成年人316.17万人，占比67.73%；学生儿童146.93万人，占比31.26%；大学生6.90万人，占比1.47%（见下图6.2）。

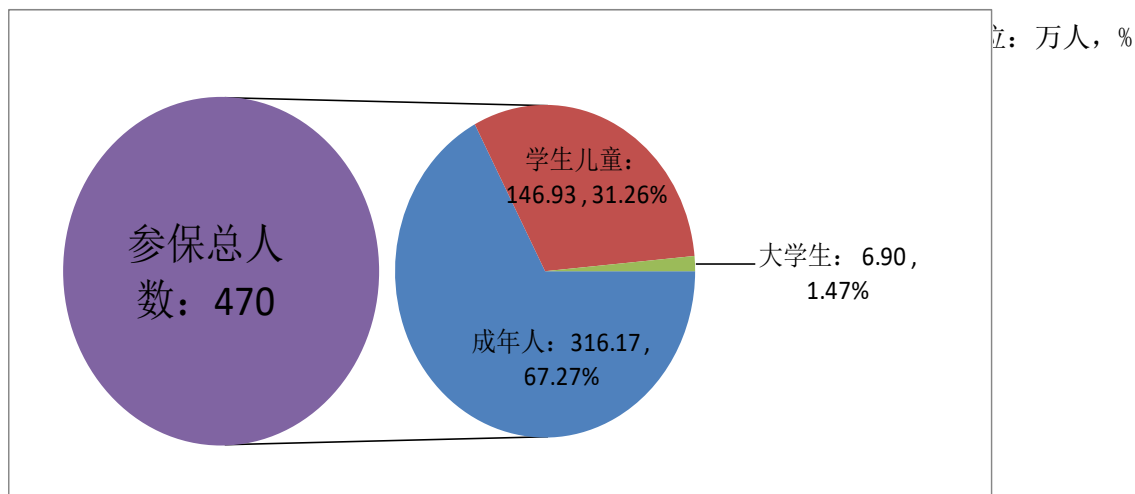


图 6.2 宁夏回族自治区 2015 年城乡居民大病保险按年龄段人员参保情况

数据来源：根据宁夏回族自治区卫生厅编《宁夏回族自治区城乡居民大病医疗保险统计资料》整理绘制。

### (二) 待遇享受情况

2015年，宁夏回族自治区城乡居民共有2.87万人次享受了城乡居民大病保险待遇，占总参保人数的0.61%；占基本医疗保险住院人次的5.1%。

#### 1. 大病受益人群分布

享受大病保险待遇人群中，60岁以上老年人占42.31%，40-60周岁之间中年人占39.32%，18-40周岁的青壮年占9.65%，18周岁以下人群占8.72%（见下图6.3）。

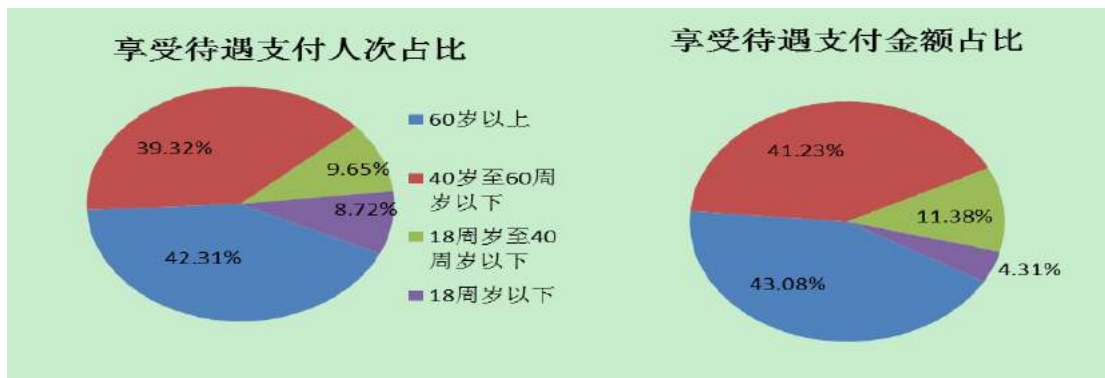


图 6.3 宁夏回族自治区 2015 年城乡居民享受大病保险情况

数据来源：根据宁夏回族自治区卫生厅编《宁夏回族自治区城乡居民大病医疗保险统计资料》

整理绘制。

从享受待遇人员情况可以看出，宁夏回族自治区 60 岁以上老年人所占比例较高，属于大病保险易发人群。

## 2. 医保待遇构成

进入大病保险待遇的人员住院总费用 100397 万元，其中基本医疗保险基金支出 49018 万元，大病保险资金支出 15303 万元。享受城乡居民大病保险待遇的人群全口径(基本+大病)实际报销比例为 64.07%。大病保险在基本医疗保险报销的基础上提高 15.24 个百分点。

进入大病保险的人群，大病保险支付比例增加，起到了支撑其继续治疗的作用，有效缓解了重大疾病人员的就医压力。

## 3. 参保人员住院医疗机构分布

从大病患者就诊医院分布情况来看，住院人次和医疗费用总额均集中在三甲医院，且宁夏医科大学总医院和宁夏回族自治区人民医院占比最高。其中宁夏医科大学总医院大病保险费用支出占全区总费用的 53.45%（见下图 6.4）。

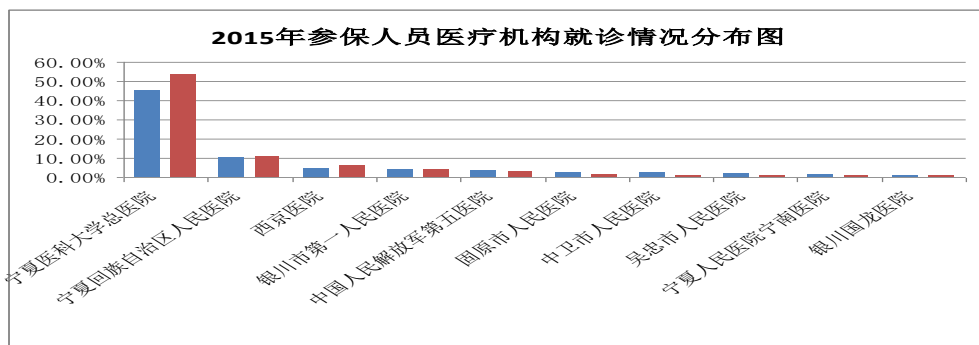


图 6.4 宁夏回族自治区 2015 年参保医疗机构就诊情况分布图

数据来源：根据宁夏回族自治区卫生厅编《宁夏回族自治区城乡居民大病医疗保险统计资料》整理绘制。

从上图可以看出，陕西西京医院是宁夏转外就医人员选择最多的一家医疗机构，主要是西安市与固原市毗邻，医疗水平较高。随着银西高铁的建成，银川至西安的路程大大缩减，区外就医尤其是到西安市就医的人员可能会出现大幅度上升趋势。

## 4. 参保人员病种分布

(1) 按照国际疾病分类学 ICD-10 对病种的分类方法，考虑到参保患者治疗情况的复杂性，下图仅依据住院病例的主要诊断为统计口径（见下图 6.5）。

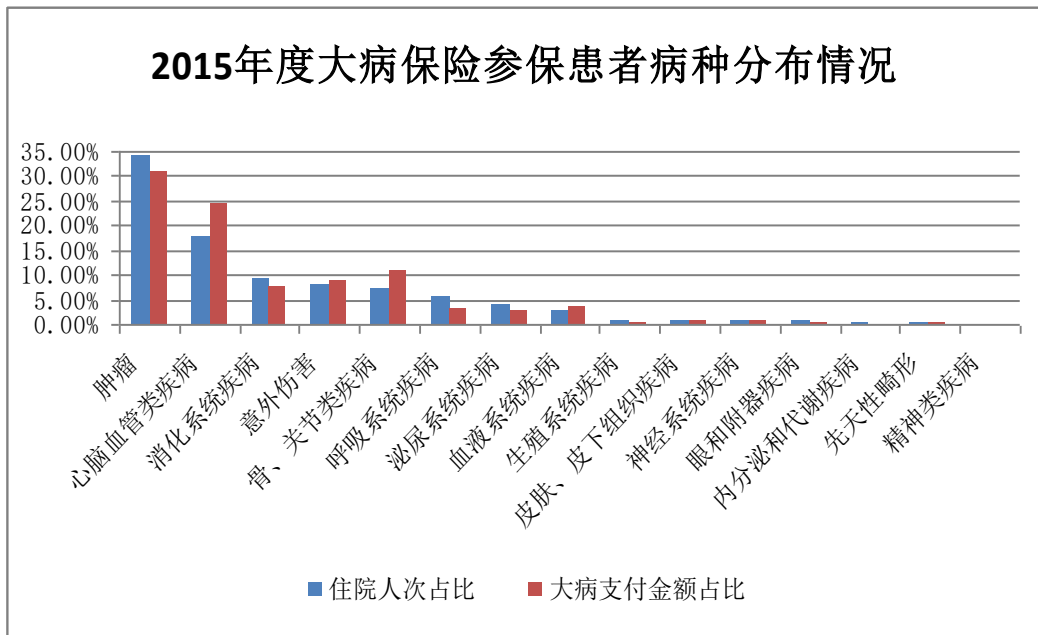


图 6.5 宁夏回族自治区 2015 年度大病保险参保患者病种分布情况

数据来源：根据宁夏回族自治区卫生厅编《宁夏回族自治区城乡居民大病医疗保险统计资料》整理绘制。

从上图可以看出，肿瘤（包括恶性肿瘤）、心脑血管类，两个病种的支付金额为 8494 万元，超过当年大病保险总金额的 50%。另外，意外伤害就诊人次占前四位，费用支出占到第三位，成为影响大病保险资金的一个重要因素。同时，也可以看出，心脑血管类、骨、关节类疾病因常使用血管支架、椎弓钉、椎间盘融合器等大额一次性耗材的缘故，其大病保险支付金额明显高于其它类疾病。

(2) 按照大病保险中 20 种重大疾病的病种作为统计口径，统计 20 种重大疾病发病率及资金支出情况（见下图 6.6）。

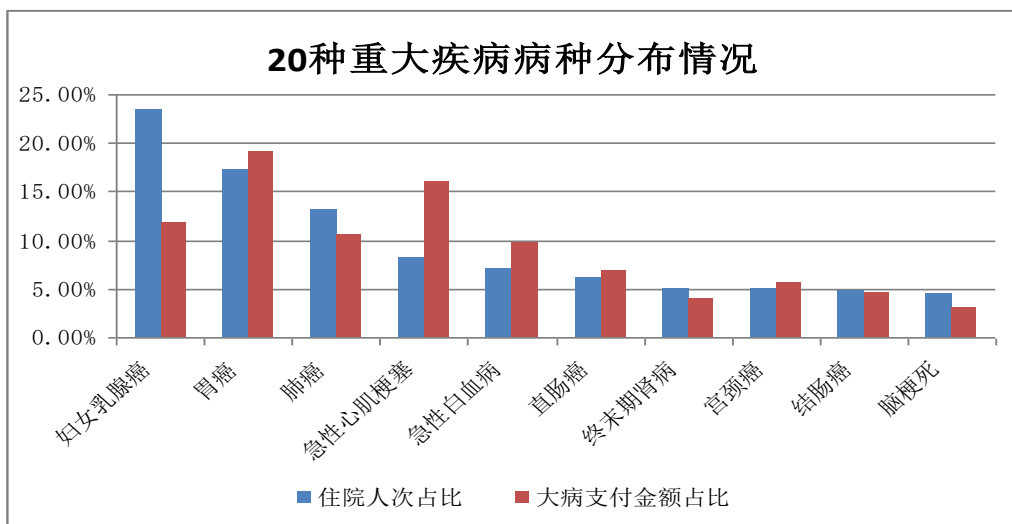


图 6.6 宁夏回族自治区 2015 年度 20 种重大疾病病种分布情况

数据来源：根据宁夏回族自治区卫生厅编《宁夏回族自治区城乡居民大病医疗保险统计资料》整理绘制。

从上图可以看出，20 种重大疾病中，妇女乳腺癌就诊人次占首位，胃癌支付金额占首位。

### 5. 参保人员就诊地域分布

按照区内区外、区内银川市和非银川市就诊人数，医疗费用及大病保险支付金额情况作为统计口径，对大病保险费用进行统计（见下表 6.2）。

表 6.2 宁夏回族自治区 2015 年度参保患者区内外住院分布表

单位：人次、万元

区域		就诊人次		大病保险支付总额	
		就诊数	占比	支付金额	占比
区内	银川市	19597	68.23%	11182.14	73.07%
	区内其他	4597	16.01%	1019.60	6.66%
区外		4526	15.76%	3101.40	20.27%
合计		28720		15303.14	

数据来源：根据宁夏回族自治区卫生厅编《宁夏回族自治区城乡居民大病医疗保险统计资料》整理。

从上表可以看出，在区内就诊的参保患者占总就诊人数的 84.24%，其中在银川市就诊的参保患者占 73.07%，明显高于区内其他地区。

### （三）运行特点

一是受益比例合理，符合大病发生规律和政策设计初衷。宁夏回族自治区自 2014 年城乡居民大病保险全面实施起，累计 6.12 万人次受益于大病保险，达到了有限度普惠的目的，有效避免了泛福利化现象。从实际报销情况看，患癌症、血液病、戈谢病等重疾、罕见病的，个人累计报销金额均比较大，体现出了大病保险“保大病”的设计初衷。

二是保障重点突出，减轻高额医疗费患者负担作用明显。通过对待遇支付情况的分析，年度个人累计报销金额最高达 53.87 万元，极大程度减轻了高额医疗费用患者的家庭负担。

### 三、存在问题

总体看来，宁夏回族自治区城乡居民大病保险制度运行平稳，保障效果良好，但在运行过程中也出现了一些问题，主要有以下几个方面：

### **（一）基本医保与大病保险经办管理衔接不顺畅**

目前宁夏回族自治区基本医疗保险由社保经办机构管理，而大病保险由商业保险公司经办管理，使城乡居民参保人员一次住院诊疗行为出现两头报销、多头跑路的现象。

### **（二）大病保险保障范围过广过宽**

大病保险工作起步之初，从政策设计、保障的范围、保障的内容上都比较宽泛，不设定具体报销范围而是采用排除法，报销金额上不封顶，意外伤害列入大病保险范围，这些都增加了大病保险资金压力。

### **（三）商业辅助的效果不明显**

中标的两家商保公司，目前只起到二次报销的“出纳”作用，没有充分发挥出商业保险专业人员、全国联网稽查的监管优势。

### **（四）部分重特大疾病患者仍面临较高个人负担**

部分城乡居民享受大病保险待遇、或因患特殊疾病发生非合规医疗费用较高，仍存在医疗费用个人负担过重的情况。如参保患者吴某，因胃癌累计花费医疗费104余万元，基本医疗保险报销15万元后，大病保险二次报销了54万元，个人自付35万元；周某因骨髓增生异常综合症累计花费医疗费用66万元，基本医保报销15万元，大病保险报销29万元，个人自付22万元。这些患者虽已充分享受了政策给予的优惠报销，但自付几十万元的医疗负担对其家庭仍然较为沉重。通过单一提高大病保险报销比例的办法已不能从根本上解决面临重特大疾病为其带来的困境。

## **四、对策建议**

### **（一）完善大病保险制度，进一步规范保障范围**

落实国家出台的《关于全面实施城乡居民大病保险的意见》（国办发〔2015〕57号），宁夏出台的《关于进一步完善城乡居民大病保险制度的实施意见》（宁人社发〔2016〕6号）、《关于印发〈宁夏回族自治区城乡居民大病保险药品目录〉的通知》（宁人社发〔2016〕23号），规范大病保险报销范围，由以前的“排除法”转为“准入法”，在基本医疗保险三项目录的基本上，增加209种大病保险药品，使大病保险的保障范围不受影响。

### **（二）建立社保与商保合署办公模式**

与商保公司建立合署办公机制，发挥专业管理优势和服务资源优势，降低运行成本，切实保障参保人的合法权益。一是实现结算一体化。利用现有的医保软件系统，加快与商业保险公司的联网结算，实现参保患者基本医保与大病保险费用同步即时自动结算，无需“二次报销”、“年终报销”，发挥“一站式服务”和“一条龙管理”机制，提高管理效率。二是实现监管一体化。城乡居民大病保险与基本医保可以实施同步监管，实现监管体系、监管人员一体化，对城乡居民医

保基本保险段及大病保险段医疗费用同时实施跟踪监控，实现事前、事中、事后分段控费，可以保障大病保险医疗服务质量，提高大病保险资金使用绩效。

### **（三）建立重大疾病多层保障机制**

对一些罕见病、重大疾病在基本医保、大病保险和民政医疗救助三层保障的基础上仍然负担过重的情况，建议制定商业健康保险做为补充。对低保、特困、优抚对象等特殊人群由政府出资保障，防止患者出现因病致贫、返贫现象，突显政府责任，让民族地区的患者充分享受社会发展成果。

### **（四）加强生态失衡下的预防性医疗**

和其他发达国家发展历程相似，我国经济也是从劳动密集型、资源消耗型的粗放式经济起步，现在不可避免要面临着环境被破坏、水被污染、食品被污染的情形。因此，医疗保障需要从疾病源头开始做起，从预防疾病做起，应该提倡和加强生态失衡下的预防性医疗。将补氧、补水相关项目添加到日常护理项目中，在民族地区尝试建立长期护理保险制度。



# 期望目标下的宁夏农村居民生活改善与实现收入 倍增难点初探<sup>①</sup>

王锋 王旭明

(宁夏大学)

本文基于国家统计局宁夏调查总队调查数据,侧重就宁夏与全国农民收入水平及实际增长情况及其城镇居民收入差距进行了比较分析。研究认为,近年来,宁夏居民收入增长已经走上快车道。但是,与全国平均水平相比仍有差距,城乡居民高低收入户之间收入还存在较大差距,特别是宁夏中南部地区居民收入增长的基础不牢、中低收入居民户收入增长较慢,还没有形成居民收入持续较快增长的长效机制和产业基础。为此,本文侧重就期望目标下宁夏农村居民生活改善与实现倍增难点进行了综合研究,对现行保障制度实施中发现的问题与缺陷,提出了对策建议。

## 一、宁夏农村居民收入增长与生活改善对比分析

改革开放以来,宁夏以新农村建设、生态移民工程、美丽乡村建设和精准扶贫整村推进工程为抓手,加快农村交通、电力、广播、电视、互联网事业发展,改善了农村生产、生活条件,加快了落后地区的脱贫步伐,为农村经济社会的持续稳定发展奠定了坚实的基础<sup>②</sup>。

### (一) 农民收入水平有了明显提升

农民收入增加是农村经济发展最终结果的体现,也是民生改善的最终目标。2014年全区农民人均可支配收入达到8410元,比1978年增长了65.2倍,年平均增长12.4%。改革开放前宁夏农民收入经历了增长、波动、徘徊、恢复阶段,仍处于较低水平。改革开放以来,宁夏农民收入在新的起点上,由于政策、科技、投入、气候等因素的共同作用,进入持续较快增长阶段。

---

<sup>①</sup> 本成果为中国宁夏回族自治区科技支撑项目阶段性成果。作者王锋现为宁夏大学中日国际联合研究所教授 博士生导师。主要研究方向:民族社会学。王旭明宁夏回族自治区统计局高级统计师。

<sup>②</sup> 宁夏回族自治区人民政府. 政府工作报告[R]. 2013(9).

表 1.1 改革开放以来宁夏与全国农民收入增长情况

年份	农民人均纯收入(元)		年度名义增长速度(%)	
	宁夏	全国	宁夏	全国
1980	175.1	191.3	26.2	19.5
1981	200.3	223.4	14.4	16.8
1982	228.6	270.1	14.1	20.9
1983	273.8	309.8	19.7	14.7
1984	298.7	355.3	9.1	14.7
1985	325.9	397.6	9.1	11.9
1986	378.8	423.8	16.2	6.6
1987	387.0	462.6	2.2	9.2
1988	480.2	544.9	24.1	17.8
1989	538.3	601.5	12.1	10.4
1990	594.3	686.3	10.4	14.1
1991	608.1	708.6	2.3	3.2
1992	618.7	784.0	1.7	10.6
1993	667.0	921.6	7.8	17.6
1994	910.5	1221.0	36.5	32.5
1995	1037.0	1577.7	13.9	29.2
1996	1415.8	1926.1	36.5	22.1
1997	1545.1	2090.1	9.1	8.5
1998	1756.1	2162.0	13.7	3.4
1999	1790.7	2210.3	2.0	2.2
2000	1724.3	2253.4	-3.7	1.9
2001	1823.1	2366.4	5.7	5.0
2002	1917.4	2475.6	5.2	4.6
2003	2043.3	2622.2	6.6	5.9
2004	2320.1	2936.4	13.5	12.0
2005	2508.9	3254.9	8.1	10.8
2006	2760.0	3587.0	10.0	10.2
2007	3181.0	4140.4	15.3	15.4
2008	3681.0	4761.0	15.7	15.0
2009	4048.3	5153.0	10.0	8.2
2010	4674.9	5919.0	15.5	14.9
2011	5410.0	6977.3	15.7	17.9
2012	6180.3	7916.6	14.2	13.5
2013	6931.0	8896.0	12.2	12.4
2014	7673.0	9892.0	10.7	11.2

资料来源：国家统计局宁夏调查总队《宁夏调查年鉴》（1980年-2013年），2014年数据根据城乡住户调查新统计口径数据调整。

这一阶段，农民收入结构和就业结构发生了明显变化，转移性收入和财产性收入大幅增长，务工收入成为农民增收的主要引擎。2014年，在全国31个省市区排位中，宁夏农民人均可支配收入水平排第25位。

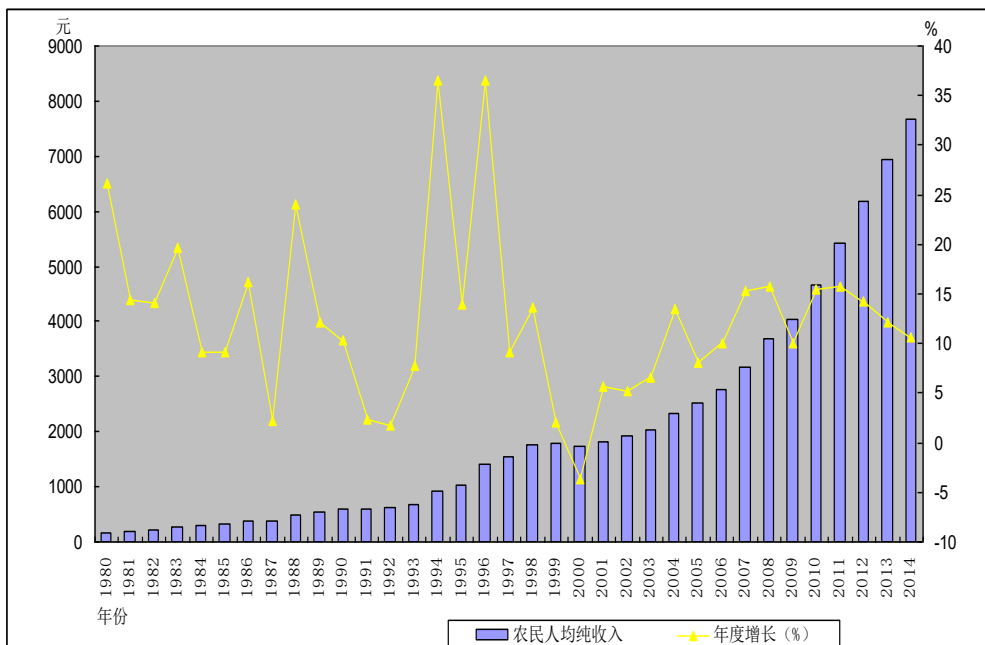


图 1.1 改革开放以来宁夏农民收入水平和增长情况

资料来源：根据国家统计局宁夏调查总队《宁夏调查数据》有关指标测算绘制

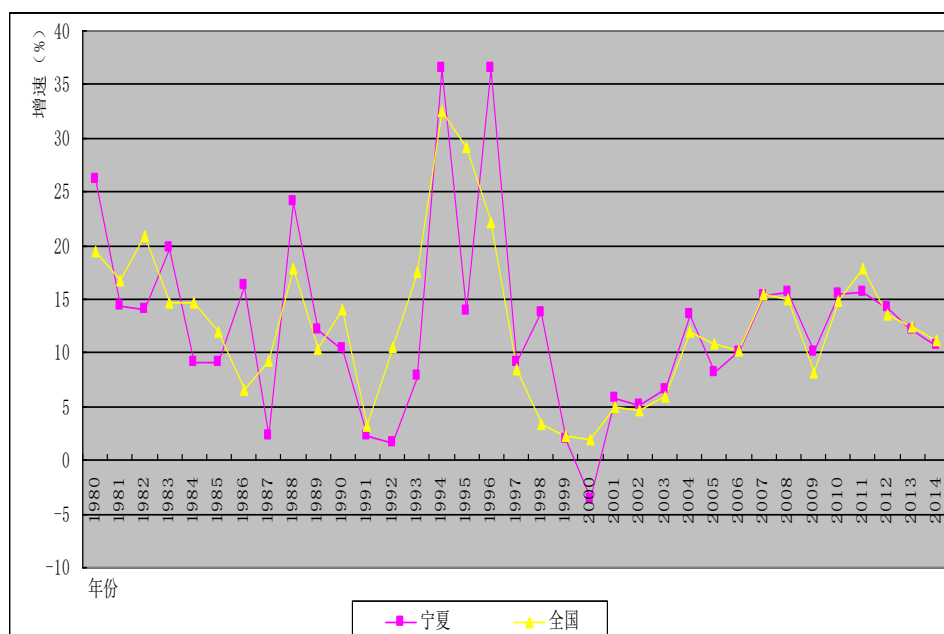


图 1.2 改革开放以来宁夏与全国农民人均纯收入年度增长速度对比情况

资料来源：根据国家统计局宁夏调查总队《宁夏调查数据》有关指标测算绘制

## （二）宁夏沿黄经济区与中南部地区农民收入对比分析

宁夏沿黄经济区得黄河水灌溉之利，是全区优质粮油重点产区，自然资源条件优势明显，经济基础雄厚，发展实力较强。宁夏中南部地区地处山区和干旱半干旱地带，是国家确定的六盘山重点扶贫地区，自然条件恶劣，经济条件差，发展相对于引黄灌区滞后。但经过中南部地区人民群众多年的艰苦奋斗和国家、自治区大力扶持，扶贫开发取得明显成效。2014年引黄灌区农民人均纯收入9687.6元，比1982年增长了30.7倍，年均增长11.4%。中南部地区农民人均纯收入由1982年的126.6元增加到2014年的5887元，增长了45.5倍，年均增长12.7%，增速比引黄灌区快1.3个百分点。以中南部地区农民收入为1，山川农民收入相对差距由1982年的2.4:1，缩小到1990年的2.2:1，一度时间有所扩大，到2000年扩大到2.7:1，之后逐步缩小，2013年缩小到低点1.7:1，2014年达到1.64:1，相对差距明显缩小。但从收入绝对水平差距看，引黄灌区与中南部地区农民收入差距逐年加大，从1982年的178.9元扩大到1990年的442.4元，2000年差距扩大到1713.4元，2014年差距达到3801元，又进一步拉大。

表 1.2 宁夏引黄灌区与中南部地区农民收入情况

年份	全区农民人均纯收入（元）	引黄灌区农民人均纯收入（元）	中南部地区农民人均纯收入（元）	引黄灌区比中南部地区高（元）	引黄灌区为中南部地区的倍数
1982	229.18	305.45	126.58	178.87	2.41
1983	273.78	342.12	178.23	163.89	1.92
1984	298.71	357.85	202.68	155.17	1.77
1985	325.88	418.95	199.65	219.30	2.10
1986	378.82	486.39	230.37	256.02	2.11
1987	387.01	520.25	203.14	317.11	2.56
1988	480.22	623.22	274.43	348.79	2.27
1989	538.30	716.41	299.40	417.01	2.39
1990	594.28	804.92	362.50	442.42	2.22
1995	1037.00	1529.81	599.62	930.19	2.55
1996	1415.78	1986.21	914.22	1071.99	2.17
1997	1545.08	2349.08	896.67	1452.41	2.62
1998	1756.11	2609.75	1053.34	1556.41	2.48
1999	1790.70	2627.14	1107.55	1519.59	2.37
2000	1724.30	2700.71	987.32	1713.39	2.74
2001	1823.13	2839.90	1078.03	1761.87	2.63
2002	1917.36	2929.60	1204.66	1724.94	2.43
2003	2043.30	3039.70	1295.09	1744.61	2.35
2004	2320.05	3407.62	1487.27	1920.35	2.29

2005	2508.89	3583.99	1687.01	1896.98	2.12
2006	2760.14	3883.48	1882.91	2000.57	2.06
2007	3180.84	4369.40	2190.52	2178.88	1.99
2008	3681.42	4863.83	2582.26	2281.57	1.88
2009	4048.33	5260.20	2916.27	2343.93	1.80
2010	4674.89	6010.76	3415.74	2595.02	1.76
2011	5409.95	6907.30	3964.00	2943.30	1.74
2012	6180.30	7870.80	4590.50	3280.30	1.71
2013	6931.00	8798.90	5246.90	3552.00	1.68
2014	7673.0	9687.6	5887.0	3800.6	1.64

资料来源：国家统计局宁夏调查总队 《宁夏调查年鉴》（1982年-2013年），2014年数据根据城乡住户调查新统计口径数据调整。

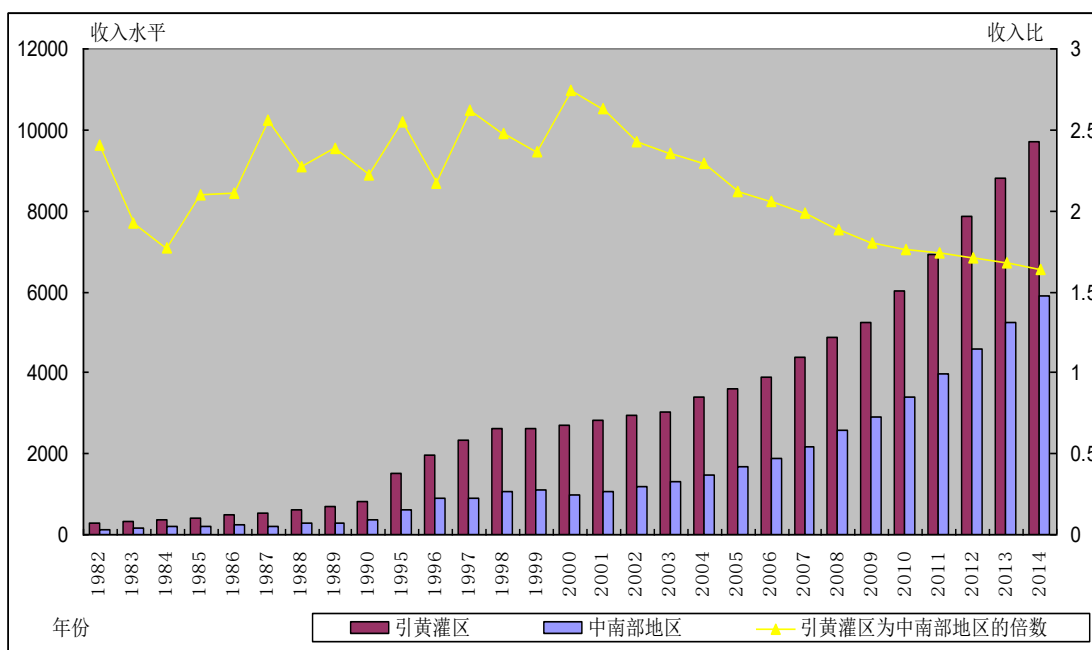


图 1.3 宁夏引黄灌区与中南部地区农民收入对比图

资料来源：根据国家统计局宁夏调查总队 《宁夏调查数据》有关指标测算绘制

### （三）农民生活消费水平和消费结构有了明显改善

表 1.3 改革开放以来宁夏农民生活消费支出及结构情况

	生活消费支出	1. 食品	2. 衣着	3. 居住	4. 家庭设用品	5. 医疗保健	6. 交通和通讯	7. 文教娱乐	8. 其他
1983	208.85	126.54	28.80	23.31	15.72	4.92	1.15	7.30	1.12
1984	231.59	135.47	30.89	28.78	19.07	6.25	1.52	8.48	0.83
1985	264.46	154.55	32.71	30.95	20.53	8.16	1.34	14.58	1.63

1986	300.86	169.8	38.65	38.63	21.95	9.00	1.73	16.98	4.12
1987	330.05	187.39	39.69	44.10	24.78	10.90	2.44	16.85	3.90
1988	397.77	205.86	48.77	48.13	41.88	12.67	2.83	34.59	3.04
1989	458.9	240.23	53.11	68.69	37.52	16.01	3.43	37.34	2.57
1990	486.32	275.25	50.71	65.86	28.95	17.01	12.10	34.11	2.33
1991	518.79	292.81	58.26	62.57	36.51	21.08	10.23	33.25	3.79
1992	561.37	323.03	53.23	73.84	32.08	23.41	9.95	40.32	5.51
1993	605.93	341.78	55.16	80.16	37.09	26.76	15.47	42.32	7.19
1994	831.32	486.2	66.92	106.38	46.60	29.36	26.35	51.42	18.09
1995	1057.78	608.6	83.86	146.30	59.26	44.31	31.29	70.87	13.29
1996	1233.63	729.68	94.44	156.20	66.72	55.42	31.32	78.77	21.08
1997	1282.46	688.18	105.17	201.21	64.00	67.82	39.14	96.81	20.12
1998	1350.18	713.36	104.88	216.69	69.17	76.84	52.98	97.10	19.17
1999	1330.18	675.86	103.17	199.46	76.43	75.07	52.69	120.66	26.84
2000	1417.13	691.31	96.70	227.35	62.10	88.53	79.79	144.98	26.38
2001	1380.75	643.76	97.49	222.51	60.73	98.21	96.00	132.35	29.69
2002	1418.12	633.16	97.52	203.75	69.80	123.32	111.00	148.20	31.38
2003	1637.13	680.15	109.19	286.09	56.09	116.31	170.52	178.34	40.44
2004	1926.82	808.54	122.49	325.21	65.30	186.90	155.26	217.06	46.05
2005	2094.48	922.54	143.09	345.93	77.16	198.84	178.47	177.90	50.55
2006	2246.97	929.15	159.10	414.65	104.32	187.60	226.41	168.85	56.89
2007	2528.76	1019.35	184.26	450.55	109.27	239.40	265.76	192.00	68.17
2008	3094.86	1288.47	217.17	582.47	123.91	318.77	299.29	192.57	72.20
2009	3347.94	1395.42	256.26	501.75	169.01	356.39	365.59	217.21	86.32
2010	4013.17	1541.77	302.61	776.44	188.12	417.92	444.02	241.08	101.22
2011	4726.64	1762.53	380.00	935.22	264.64	444.69	483.40	324.36	131.79
2012	5633.01	1990.92	487.74	1087.54	321.00	518.05	653.47	393.01	181.28
2013	6464.75	2021.77	453.35	1409.61	382.84	701.97	840.81	400.98	253.41
2014	7363.4	2290.7	549.5	1669.0	410.8	765.8	954.3	472.8	250.0

资料来源：国家统计局宁夏调查总队《宁夏调查年鉴》（1983年-2013年），2014年数据根据城乡住户调查新统计口径数据调整。

通过上表，可以看出，改革开放以来随着中国农村经济持续发展，农村社会事业不断进步，农民收入增长进入快车道，农民家庭经济实力不断增强，消费结构升级步伐加快，生存环境和生活质量显著改善，消费水平由温饱向全面建成小康社会迈进。2014年农民人均生活消费支出达到7363.4元，比1983年增加7154.6元，增长34.3倍，年均递增12.2%，快于农民收入增长0.8个百分点。

- 1、吃的方面由“温饱”转向“吃饱、吃好、追求营养健康”
- 2、衣着消费由“穿暖”转向讲究“美观、时尚”
- 3、居住消费实现了由“土坯房”到“砖瓦房”的根本性转变。

- 4、出行实现了由“难”到“易”再到“方便”的历史性转变。
- 5、信息交流和消费成为农民消费的新动力
- 6、看病就医使农民真正得到实惠。
- 7、家庭耐用消费品实现了“更新换代”和“稳步升级”
- 8、农民文化娱乐活动丰富多彩，消费潜力很大。

表 1.4 主要年份宁夏农民主要食物消费量情况

单位：公斤/人

	1985 年	1990 年	1995 年	2000 年	2014 年
粮 食	261.1	254.9	274.7	248.6	156
其中：细粮	229.0	217.78	234.7	223.4	147
蔬 菜	103	85.9	76.3	91.2	72
食 油	4.7	5.5	7.2	7.2	11.8
肉 类	7.3	8.7	7.5	11.6	15.4
家 禽	0.3	0.3	0.8	1.9	6.5
蛋 类	1.1	1.22	1.1	2.4	3.9
瓜 果	4.56	4.78	10.1	39	48
奶及奶制品	0.23	0.2	0.3	0.9	9

资料来源：国家统计局宁夏调查总队《宁夏调查年鉴》（1983年-2013年），2014年数据根据城乡住户调查新统计口径数据调整。

## 二、宁夏农村惠民教育与全国对比分析

表 1.5 2007 年-2013 年宁夏教育惠民实施项目

年 份	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
实 施 项 目	改善办学条件	改善办学条件	提高教育经费保障水平	改善办学条件	实施幼儿园建设工程	实施幼儿园建设工程	实施幼儿园建设工程
	完善助学体系	提高义务教育经费保障水平	改善办学条件	启动山区农村学生营养早餐工程	提高教育保障水平	实施校舍安全工程	改善办学条件
		大力发展职业教育	加强职业教育	发展职业技术教育	实施鸡蛋营养早餐工程	实施营养改善计划	实施助学工程

资料来源：根据宁夏回族自治区民政厅（2007年-2013年）统计数据。

随着宁夏经济实力的不断增强，2014年，宁夏农村居民人均教育消费支出367元，是2000年3.5倍，占全部生活消费总支出的5%。下表为宁夏“民生工程”中有关教育惠民实施情况。

- (一) 从免费早餐到免费午餐，营养改善计划全面推行
- (二) 改善办学条件，提高教育质量
- (三) 贫困学生资助体系日益完善，实现了从学前教育到高等教育全覆盖
- (四) 宁夏农村教育存在的问题

目前宁夏的教育虽然取得了一些成绩，但是农村教育与全国发达地区相比还存在一定差距。

#### 1、文盲率虽逐渐下降，仍与全国文盲率存在差距

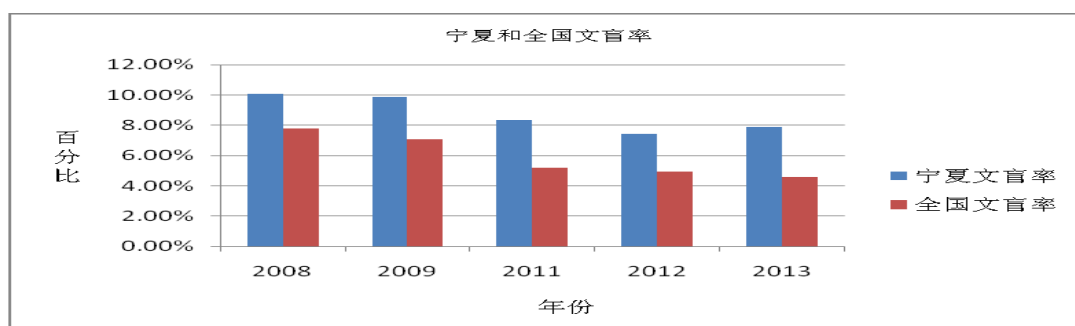


图 1.4 宁夏文盲率与全国文盲率对比图

资料来源：根据国家统计局（2008-2013年）统计数据推算数据绘制。

从图 1.4 中可以看出，全国的成人文盲率和宁夏的成人文盲率总体呈下降趋势，全国的成人文盲率从 2008 年的 7.77% 下降到 2013 年的 4.60%，下降了 3.1 个百分点，宁夏的成人文盲率从 2008 年的 10.1% 下降到 2013 年的 7.87%，下降了 2.23 个百分点，再从 2008 到 2013 这五年逐年的成人文盲率来看，宁夏的成人文盲率与全国的成人文盲率存在着明显的差距，宁夏成人的教育普及率还是比较低，由于受教育资源的分配不等原因的影响，尤其是在农村地区不识字人数还占一定比例。

#### 2、农村女性文盲率明显高于男性文盲率

从下（表 1.6，图 1.5）可以看出，2008 年宁夏女性文盲率为 14.60%，宁夏男性文盲率为 5.71%，高出 8.89 个百分点，2009 年宁夏女性与男性的文盲性之差为 8.17，2011 年两者之差为 7.12，2012 年两者之差为 5.68，2013 年两者之差为 5.81，虽然两者之间的差距是在不断缩小的，但是从差值上来看差距过大。再从另外一个角度即与宁夏女性的文盲率与全国女性的文盲率进行比较，宁夏的女性文盲率明显高于全国女性文盲率，2008 年高出 3.08 个百分点，2009 年高出 3.58 个百分点，2011 年高出 4.49 个百分点，2012 年高出 3.04 个百分点，2013 年高出 4.08 个百分点，其之间的差距基本徘徊在三到四个百分点，宁夏男性文盲率与全国男性文盲率的差距并没有女性那么高，2008 年两者之差为 1.



71, 2009 年两者之差为 2.25, 2011 年为 2.41, 2012 年为 2, 2013 年为 2.47, 从中可以看出宁夏的教育在性别方面存在着一定差距。

表 1.6 宁夏男女文盲率对比表 单位: %

文盲率 年份	宁夏女性文盲率	全国女性文盲率
2008 年	14.60%	11.52%
2009 年	14.02%	10.44%
2011 年	12.26%	7.77%
2012 年	10.35%	7.31%
2013 年	10.81%	6.73%

资料来源: 根据国家统计局 (2008 年-2013 年) 统计数据推算。

从男女文盲率看, 女性在面对教育机会的时候存在着不公平的现象, 由于农村经济条件有限, 在观念上也存在着重男轻女的观念, 所以导致女性的文盲率明显高于男性。

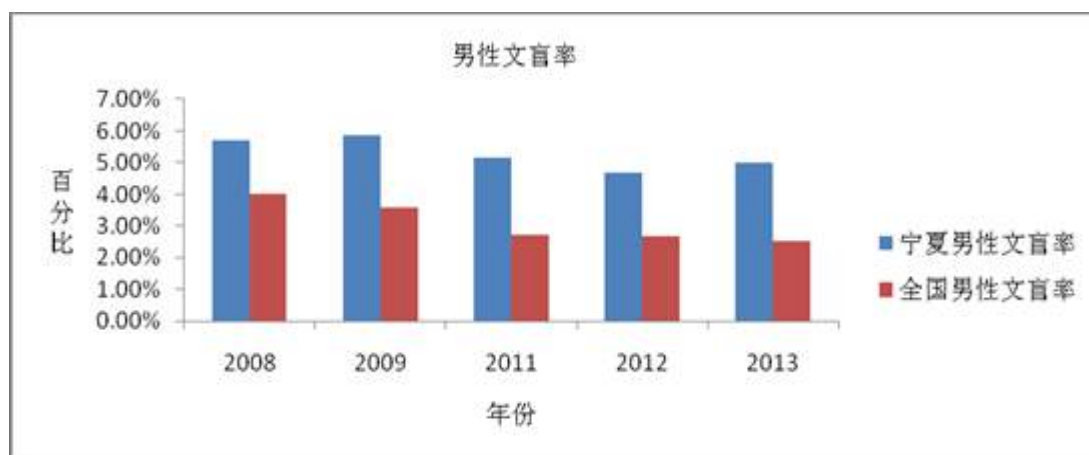


图 4.5 宁夏男性文盲率与全国男性文盲率对比图

资料来源: 根据国家统计局 (2008-2013 年) 统计数据推算数据绘制。

### (三) 初中受教育情况与全国相比差距有所拉大

2007 年全国 6 岁及 6 岁以上初中受教育人数与 6 岁及 6 岁以上人数之比为 40.22%, 宁夏 6 岁及 6 岁以上初中受教育人数与 6 岁及 6 岁以上人数之比为 36.24%, 同年相比全国的高出宁夏 3.98 个百分点, 2008 年高出 3.3 个百分点, 2009 年高出 3.17 个百分点, 2011 年高出 2.66 个百分点, 2012 年高出 3.4 个百分点, 2013 年高出 4.08 个百分点, 从 2007 年到 2012 年来看宁夏 6 岁及 6 岁以上初中受教育人数与 6 岁及 6 岁以上人数的比率

与全国的之差是逐年下降的，到了 2012 年开始两者之间的差距有所上升的趋势。2007 年 6 岁及 6 岁以上初中人数为 1803 人到 2013 年的 6 岁及 6 岁以上初中人数为 1825 人，从具体的人数来看其变化不是很大，宁夏地区 6 岁及 6 岁以上受教育程度为初中的人数与 6 岁及 6 岁以上人数之比平均值为 37.60%，全国的平均值为 41.02% ，低于全国 3.42 个百分点。如下表 1.7，1.8 所示：

**表 1.7 全国 6 岁及 6 岁以上初中受教育情况** 单位：人，%

人数 年份	6 岁及 6 岁以上初中人数	6 岁及 6 岁以上人数	比率
2007 年	448897	1116037	40.22%
2008 年	452929	1106434	40.94%
2009 年	455002	1091868	41.67%
2011 年	441905	1067267	41.41%
2012 年	430799	1047865	41.11%
2013 年	425144	1041825	40.81%

资料来源：根据国家统计局（2007 年-2013 年）统计数据推算。

**表 1.8 宁夏 6 岁及 6 岁以上初中受教育情况** 单位：人，%

人数 年份	6 岁及 6 岁以上初中人数	6 岁及 6 岁以上人数	比率
2007 年	1803	5117	36.24%
2008 年	1918	5095	37.64%
2009 年	1957	5083	38.50%
2011 年	1955	5045	38.75%
2012 年	1871	4961	37.71%
2013 年	1825	4969	36.73%

资料来源：根据宁夏回族自治区统计局（2008 年-2013 年）统计数据推算。

#### （四）高中受教育情况有所改善

2007 年 6 岁及 6 岁以上高中受教育人数与 6 岁及 6 岁以上人数之比为 12.45%，到 2013 年增长到 15.66%，增加了 3.21 个百分点，2007 年全国的为 6 岁及 6 岁以上高中受教育人数与 6 岁及 6 岁以上人数之比为 13.41%，比宁夏高出 0.96 个百分点，2008 年高出 0.83 个百分点，2009 年高出 0.94 个百分点，2011 年高出 1.88 个百分点，2012 年高出 3.4

个百分点，2013年高出0.86个百分点。宁夏6岁及6岁以上高中人数高中受教育人数与6岁及6岁以上人数之比从图中可以看出基本的趋势是属于逐年上升的趋势，也就数说受到高中教育程度的人数还是逐渐增加的，但是与全国6岁及6岁以上高中受教育的情况来看，总体上高中受教育水平有所提升，但是与全国的差距是上下波动的，到了2013年其两者间的差值回落到了0.86个百分点。但是宁夏高中受教育人数的情况与全国的差距明显要小于宁夏初中受教育人数与全国的差距，也从另一个侧面可以看出宁夏高中的受教育人数情况优于初中。如下表1.9，1.10所示：

**表 1.9 宁夏6岁及6岁以上高中受教育率情况** 单位：人，%

年份 \ 人数	6岁及6岁以上高中人数	6岁及6岁以上人数	比率
2007年	637	5117	12.45%
2008年	656	5095	12.86%
2009年	667	5083	13.12%
2011年	685	5045	13.58%
2012年	631	4961	12.72%
2013年	778	4969	15.66%

资料来源：根据宁夏回族自治区统计局（2008年-2013年）统计数据推算。

**表 1.10 全国6岁及6岁以上高中受教育率情况** 单位：人，%

年份 \ 人数	6岁及6岁以上高中人数	6岁及6岁以上人数	比率
2007年	149635	1116037	13.41%
2008年	151474	1106434	13.69%
2009年	150648	1091868	13.80%
2011年	165049	1067267	15.46%
2012年	168941	1047865	16.12%
2013年	172088	1041825	16.52%

资料来源：根据国家统计局（2007年-2013年）统计数据推算。

#### (五) 接受大专教育情况与全国接受大专教育情况基本持平

宁夏6岁及6岁以上大专教育程度的比率从2007年到2013年呈逐年上升的趋势,从2007年的7.43%到2013年的11.25%,增长了3.82个百分点,其平均值为8.75%,全国的平均值为8.79%,从平均值上来看基本与全国的6岁及6岁以上大专接受教育情况持平。如下表1.11所示:

**表 1.11 全国 6 岁及 6 岁以上人数受大专教育情况** 单位: 人, %

人数 年份	6 岁及 6 岁以上大专人数	6 岁及 6 岁以上人数	比率
2007	73184	1116037	6.56%
2008	74175	1106434	6.70%
2009	79567	1091868	7.29%
2011	107348	1067267	10.06%
2012	110990	1047865	10.59%
2013	117925	1041825	11.32%

资料来源: 根据国家统计局(2007年-2013年)统计数据推算。

### 三、城乡居民收入差距与养老保障

近年来,随着城乡居民收入持续较快增加,无论是城镇居民还是农村居民,家庭储蓄能力进一步增强,开始重视养老保障问题。但长期以来受城乡居民收入水平、就业人员工资水平较低,城乡收入差距大等因素影响,城乡居民养老保障水平差距较大。

#### (一) 城乡居民收入增长差距

改革开放以来,2000~2012年,扣除价格因素后,全国城镇居民人均可支配收入实际年均增长9.6%,农村居民人均纯收入实际年均增长7.7%。而宁夏城镇居民人均可支配收入年均增长9.3%、农村居民人均纯收入年均增长7.4%。2000~2012年,宁夏城乡居民收入增长均慢于全国0.3个百分点,而1978~2012年,宁夏城乡居民收入增长分别慢于全国0.9和1个百分点。可以看出,宁夏与全国城乡居民平均收入水平增长差距出现缩小。比较全国31个省、市、自治区居民收入增长情况,2000~2012年,农民人均纯收入年均实际增长速度与广西并列排27位,快于青海、广东、甘肃;城镇居民人均可支配收入年均实际增长速度排第12位。表明宁夏城乡居民收入增长与全国平均水平的差距不尽相同。如下表41-12所示:

表 1.12 2000 年-2013 年宁夏与全国农民收入水平及实际增长情况对比表

年 份	全国农民人均纯收入 (元)	宁夏农民人均纯收入 (元)	收入水平差距	全国农民人均纯收入实际增长 (%)	宁夏农民人均纯收入实际增长 (%)	收入增长差距
2000	2253	1724	-529	2.1	-3.2	-5.3
2001	2366	1823	-543	4.2	3.5	-0.7
2002	2476	1917	-559	5.0	5.7	0.7
2003	2622	2043	-579	4.3	4.5	0.2
2004	2936	2320	-616	6.9	8.7	1.8
2005	3255	2509	-746	8.5	6.9	-1.6
2006	3587	2760	-827	8.6	7.5	-1.1
2007	4140	3181	-959	9.5	8.8	-0.7
2008	4761	3681	-1080	8.0	5.3	-2.7
2009	5153	4048	-1105	8.6	8.4	-0.2
2010	5919	4675	-1244	10.9	10.4	-0.5
2011	6977	5410	-1567	11.4	7.7	-3.7
2012	7917	6180	-1737	10.7	12.3	1.6
2013	8896	6931	-1965	9.3	8.1	-1.2

资料来源：国家统计局宁夏调查总队《宁夏调查数据》（2000 年-2013 年）

宁夏与全国城镇居民人均可支配收入水平绝对差距由 2000 年的 1368 元扩大到 2013 年的 5122 元。到 2020 年，宁夏城乡居民收入要实现全国平均收入倍增目标任务艰巨。如下表 1.13 所示：

表 1.13 2000~2013 年宁夏与全国城镇居民收入水平差距情况对比表

年 份	全国城镇居民人均可支配收入 (元)	宁夏城镇居民人均可支配收入 (元)	收入水平差距	全国城镇居民人均可支配收入实际增长 (%)	宁夏城镇居民人均可支配收入实际增长 (%)	收入增长差距
2000	6280	4912	-1368	6.4	10.1	3.7
2001	6860	5544	-1316	8.5	11.4	2.9
2002	7703	6067	-1636	13.4	10.1	-3.3
2003	8472	6530	-1942	9.0	6.0	-3
2004	9422	7218	-2204	7.7	7.0	-0.7
2005	10493	8094	-2399	9.6	10.4	0.8
2006	11760	9177	-2583	10.4	11.5	1.1
2007	13786	10859	-2927	12.2	12.6	0.4
2008	15781	12932	-2849	8.4	10.4	2
2009	17175	14025	-3150	9.8	8.1	-1.7
2010	19109	15344	-3765	7.8	5.4	-2.4
2011	21810	17579	-4231	8.4	8.3	-0.1
2012	24565	19831	-4734	9.6	10.4	0.8
2013	26955	21833	-5122	7.0	6.6	-0.4

资料来源：国家统计局宁夏调查总队《宁夏调查数据》（2000 年-2013 年）

## （二）城乡居民收入水平差距

2013年宁夏农民人均纯收入6931元，相当于全国平均水平的77.9%，比2000年提高了1.4个百分点。在31个省、市、自治区中居第24位，与2000年一致，但比2007年提升了一位。在西部12省、市、自治区中，位居第5位，与2000年一致，低于内蒙、重庆、四川、新疆，比2007年提升了一位。在西北5省（区）中排第2位，低于新疆。

2013年城镇居民人均可支配收入21833元，相当于全国平均水平的81%，比2000年提高了2.8个百分点。宁夏城镇居民收入一度时期与全国乃至西部地区差距较大，在全国31个省（市、区）中，2000年排29位，2003、2004年连续两年排列全国末尾。随着地方财力的增强和自治区党委、政府对民生问题的高度重视，经过几年努力，在全国和西部地区的位次逐渐前移，2007年排全国第25位、西部第7位、西北第1位。2013年继续维持排全国第25位、西部第7位，低于内蒙古、广西、重庆、四川、云南、陕西，西北5省（区）第2位，居陕西之后。如下表1.14-1.16所示：

表 1.14 2013年全国31个省、市、自治区城乡居民收入水平 单位：元

地区	农民人均纯收入	位次	城镇居民人均可支配收入	位次
全国	8896		26955	
北京	18337	2	40321	2
天津	15841	4	32294	6
河北	9102	12	22580	19
山西	7154	23	22456	20
内蒙古	8596	15	25497	10
辽宁	10523	9	25578	9
吉林	9621	11	22275	23
黑龙江	9634	10	19597	29
上海	19595	1	43851	1
江苏	13598	5	32538	5
浙江	16106	3	37851	3
安徽	8098	20	23114	15
福建	11184	7	30816	7
江西	8781	14	21873	24
山东	10620	8	28264	8
河南	8475	16	22398	21
湖北	8867	13	22906	17
湖南	8372	17	23414	12
广东	11669	6	33090	4
广西	6791	25	23305	13
海南	8343	18	22929	16
重庆	8332	19	25216	11
四川	7895	21	22368	22
贵州	5434	30	20667	26
云南	6141	29	23236	14

西藏	6578	26	20023	27
陕西	6503	27	22858	18
甘肃	5108	31	18965	31
青海	6196	28	19499	30
宁夏	6931	24	21833	25
新疆	7296	22	19874	28

资料来源：国家统计局《2014年中国统计年鉴》

表 1.15 宁夏与全国农民人均纯收入差距对比情况

单位：元、%

年份	全国	宁夏	宁夏占全国 份额	在全国 31 个省(市、区) 排位	在西部 12 省 (区) 排位	在西北 5 省 (区) 排位
2000	2253	1724	76.5	24	5	1
2005	3254.9	2509	77.1	23	4	1
2007	4140	3181	76.8	25	6	2
2010	5919	4675	79	25	4	1
2012	7917	6180	78.1	24	5	2
2013	8896	6931	77.9	24	5	2

资料来源：国家统计局《中国统计年鉴》（2000年-2013年）

表 1.16 宁夏与全国城镇居民人均可支配收入差距对比情况

单位：元、%

年份	全国	宁夏	宁夏占全国 份额	在全国 31 个 省(市、区)排 位	在西部 12 省 (区) 排位	在西北 5 省 (区) 排位
2000	6280	4912	78.2	29	11	5
2005	10493	8094	77.1	28	9	2
2007	13786	10859	78.8	25	7	1
2010	19109	15344	80.3	27	7	2
2012	24565	19831	80.7	25	7	2
2013	26955	21833	81	25	7	2

资料来源：国家统计局《中国统计年鉴》（2000年-2013年）

### （三）城镇就业人员收入水平差距

#### 1、私营单位就业人员年平均工资仅是社平工资的 63.6%

2013年，全区城镇非私营单位就业人员年平均工资 50476 元<sup>[1]</sup>，私营单位就业人员年平均工资<sup>[2]</sup>32097 元，比非私营单位低 18379 元。

从宁夏五市情况看，就业人员工资差距较大。2013年，城镇非私营单位就业人员年平均工资最低的石嘴山市为 42424 元，最高的银川市为 53898 元，最低是最高的 78.7%；五市城镇私营单位就业人员年平均工资最低的固原市仅为 24695 元，最高的银川市为

33472 元，最低是最高的 73.8%。如下表 1.17 所示：

**表 1.17 2013 年城镇私营与非私营单位就业人员平均工资水平** 单位：元

地 区	城镇私营单位	城镇非私营单位	私营单位工资相当于非私营单位的 (%)
总 计	32097	50476	63.6
银 川 市	33472	53898	62.1
石嘴山市	32634	42424	76.9
吴 忠 市	31162	46010	67.7
固 原 市	24695	50384	49.0
中 卫 市	30865	44212	69.8

资料来源：宁夏统计局 国家统计局宁夏调查总队《2014 年宁夏统计年鉴》

## 2、不同行业不同就业人员工资水平差别明显

非私营单位多数就业人员工资水平低于全区平均水平，行业之间就业人员工资水平差距较大。如下表 1.18 所示：

**表 1.18 2013 年城镇非私营单位分行业就业人员年平均工资** 单位：元

行 业	2013 年
总 计	50476
农、林、牧、渔业	33699
采 矿 业	80147
制 造 业	43324
电力、热力、燃气及水生产和供应业	80137
建筑业	39589
批发和零售业	41688
交通运输、仓储和邮政业	54726
住宿和餐饮业	32363
信息传输、软件和信息技术服务业	65043
金融业	74026
房地产业	42676
租赁和商务服务业	33492
科学研究和技术服务业	57000
水利、环境和公共设施管理业	35624
居民服务、修理和其他服务业	35155
教育	50283
卫生和社会工作	44547
文化、体育和娱乐业	48919
公共管理、社会保障和社会组织	47962

资料来源：宁夏统计局 国家统计局宁夏调查总队《2014 年宁夏统计年鉴》

从登记注册类型看，有限责任公司的年平均工资为 52368 元，是全区平均水平的 1.04 倍；其次为股份有限公司，为 50172 元，是全区平均水平的 99.4%；第三位是国有单位，



为 49914 元，是全区平均水平的 98.9%。年平均工资最低的是联营单位，为 30376 元，是全区平均水平的 60.2%。如下表 1.19 所示：

**表 1.19 2013 年城镇非私营单位分登记注册类型就业人员年平均工资** 单位：元

登记注册类型	2013 年
总 计	50476
国有	49914
集体	48650
股份合作	44109
联营	30376
有限责任公司	52368
股份有限公司	50172
其他内资	34531
港澳台商投资	48112
外商投资	47264

资料来源：宁夏统计局 国家统计局宁夏调查总队《2014 年宁夏统计年鉴》

### 3、城镇非私营单位就业人员年平均工资低于全国平均水平

2013 年，全区城镇非私营单位就业人员年平均工资 50476 元，比全国平均水平低 998 元。从行业看，在 19 个国民经济行业门类中，占就业人员 83.3% 的 16 个行业门类均低于全国平均水平。

### 4、城镇私营企业就业人员年平均工资低于全国平均水平

2013 年，宁夏城镇私营企业就业人员年平均工资比全国平均水平低 609 元。在行业门类中，占全区私营单位就业人员 72.2% 的 14 个行业年平均工资均低于全国平均水平。

### 5、城乡居民收入增长与参加养老保险的协调性分析

据宁夏调查总队城乡一体化住户抽样调查结果表明，2013 年宁夏城镇常住居民户就业人员中，仅有 38.1% 的参加了城镇职工基本养老保险，11.5% 的参加了城镇居民社会养老保险，还有 24.6% 的没有参加任何养老保险。农村常住居民户就业人员中，仅有 3.6% 的参加了城镇职工基本养老保险，69.8% 的仍然参加农村社会养老保险，还有 23.2% 的没有参加任何养老保险。农民工监测调查结果表明，在就业农民工（农村以外就业 6 个月以上和在农村本地从事非农产业 6 个月以上人员）中，仅有 6.5% 的参加了城镇职工基本养老保险，58.2% 的仍然参加农村社会养老保险，还有 31.2% 的农民工没有参加任何养老保险。可以看出，由于缴费标准高，高标准的职工养老保险参保率明显很低，多数仍然参加了低标准的居民养老保险。

## 四、居民收入现状与实现倍增难点

近年来,宁夏居民收入增长已经走上快车道。但是,与全国平均水平相比仍有差距,城乡居民高低收入户之间收入还存在较大差距,特别是中南部地区居民收入增长的基础不牢、中低收入居民户收入增长较慢,还没有形成居民收入持续较快增长的长效机制和产业基础。到2020年,宁夏要在2010年基础上按照可比价格计算达到全国城乡居民收入倍增的目标,即农民人均纯收入达到11838元,城镇居民人均可支配收入达到38218元,还有很大差距。

### (一) 居民收入倍增目标的提出和实践基础

#### 1、国内外成功案例

从国内外居民收入倍增的实践经验看,通过实施居民收入倍增计划,可有效提高人民生活水平。从国内看,江苏、山东、湖南、湖北、山西、广西、贵州、甘肃等地提出了“收入倍增”规划,并形成了一些行之有效的政策体系。从国外看,主要有日本、俄罗斯、德国、韩国等国的收入倍增计划。如日本的国民收入倍增计划,主要是通过加强基础产业和设施建设、促进产业结构的合理调整,推动区域经济协调发展,提高R&D比例保护知识产权等推动收入倍增目标的实现。该倍增计划使国民收入提前3年实现了翻番目标<sup>①</sup>。韩国开展了“新农村运动”,有效缩减城乡差距,将政府投资的一半分配到农村地区,提高了农村生产率,增加了农民收入。国内外的实践表明,实现居民收入实际翻番一般需要7-10年时间,政府需要强有力的制度安排和转移支付投入。从宁夏城乡居民收入增长轨迹分析,过去实现收入较低基础上的倍增最少也得5年时间,随着收入基数的增加,倍增的年限必然延长。

#### 2、倍增目标

##### (1) 宁夏要实现全国居民平均收入倍增目标难度较大

按全国居民收入倍增目标要求,到2020年,不考虑价格因素,即按照2010年价格计算,农民人均纯收入在2010年的基础上翻一番达到11838元、城镇居民人均可支配收入翻一番达到38218元。实现这一目标,2010-2020年,全国城乡居民平均收入年平均增长7.2%,可完成收入倍增目标。而宁夏要达到全国居民平均收入倍增目标,城乡居民收入年平均需分别增长9.6%、9.7%,分别超过全国平均增速2.4、2.5个百分点。面对这一增收形势,如何实现倍增目标,任务艰巨。与宁夏前10年城乡居民收入实际增长相比,2010-2020年,宁夏农民人均纯收入平均增长要比前10年快2.8个百分点,城镇居民人均可支配收入增长要快0.3个百分点。2011年、2012年、2013年宁夏农民人均纯收入实际分别增长7.7%、12.3%、8.1%,仅2012年增长超过预期增长9.7%的速度外,其他两年均低于预期增长速度。城镇居民人均可支配收入实际分别增长8.3%、10.4%、6.6%,仅2012

---

<sup>①</sup>张车伟,蔡翼飞,董倩倩.日本“国民收入倍增计划”及其对中国的启示[J].经济学动态,2010(10).

年超过预期增长 9.6% 的速度，其他两年均低于预期增长速度。从目前城乡居民收入增长趋势看，到 2020 年，宁夏城乡居民要达到全国居民平均收入倍增目标，任务艰巨，特别是农民收入实现倍增压力更大。如表 1.20 所示：

**表 1.20 宁夏实现全国居民平均收入倍增目标需要的增长速度**

		2010 年收入水平(元)	2020 年全国收入倍增目标(元)	实现倍增的年度平均实际增长速度(%)
农民人均纯收入	全国	5919	11838	7.2
	宁夏	4675		9.7
城镇居民人均可支配收入	全国	19109	38218	7.2
	宁夏	15345		9.6

资料来源：根据国家统计局宁夏调查总队《宁夏调查数据》有关指标测算

## (2) 十年(2010—2020)宁夏居民收入倍增目标有望实现

以宁夏 2010 年城乡居民收入水平为基础，到 2020 年实现收入倍增，即 2020 年宁夏城镇居民人均可支配收入在 2010 年 15345 元基础上实现翻番，达到 30690 元，农村居民人均纯收入在 2010 年 4675 元基础上实现翻番，达到 9350 元，扣除价格因素，按可比价格计算，与全国同步增长，2011—2020 年，城乡居民收入的年均增长速度均要达到 7.2%。按可比价格计算，2011 年、2012 年、2013 年，农民人均纯收入年度实际分别增长 7.7%、12.3%、8.1%，均超过预期 7.2% 的增长速度。城镇居民人均可支配收入年度实际分别增长 8.3%、10.4%、6.6%，仅 2013 年增长略低于预期，其他年份增长均超过预期。从近几年宁夏城乡居民收入增长趋势看，这一收入倍增目标有望实现。

**表 1.21 十年(2010—2020)宁夏实现居民收入倍增目标需要的增长速度**

	2010 年收入水平(元)	2020 年宁夏收入倍增目标(元)	实现倍增的年度平均增长速度(%)
宁夏农民人均纯收入	4675	9350	7.2
宁夏城镇居民人均可支配收入	15345	30690	7.2

资料来源：根据国家统计局宁夏调查总队《宁夏调查数据》有关指标测算

## (二) 宁夏居民收入现状和差距

### 1、农民收入增长变化轨迹

纵观改革开放以来宁夏农民收入增长轨迹，农民人均纯收入实现第一个倍增（1978—1982 年）用了 5 年时间，这 5 年是在较低基数上的倍增；第二个倍增（1982—1988 年）

用了6年时间，仍然是在较低基数上的倍增；第三个倍增（1988—1994年）也用了6年时间，基数相对较低；第四个倍增（1994—2001年）用了7年时间，基数不断提高，倍增的难度加大；第五个倍增（2001—2008年）也用了7年时间，基础进一步提高，倍增的难度较大；2008—2013年在较高基数基础上，5年时间完成农民人均纯收入倍增94%的任务。未来4年，实现农民收入倍增目标基数更大，实现的难度也更大。

## 2、城镇居民收入增长变化轨迹

纵观改革开放以来宁夏城镇居民收入增长轨迹，城镇居民人均可支配收入实现第一个倍增（1978—1985年）用了7年时间，这7年是在较低基数上的倍增；第二个倍增（1985—1990年）用了5年时间，仍然是在较低基数上的倍增；第三个倍增（1990—1994年）用了4年时间，主要是1993年10月国家对机关、事业单位的工资制度进行建国以来的第三次重大改革，推动了机关事业单位和全社会居民工资性收入的较快增长；第四个倍增（1994—2002年）用了8年时间，这期间工资相对稳定，基数进一步增加，倍增的难度加大；第五个倍增（2002—2008年）用了6年时间，这期间建立起了符合事业单位特点体现岗位绩效和分级分类管理的收入分配制度，完善工资正常调增机制，加之自治区成立50周年大庆效应，对增加居民收入起到重要作用；2008—2013年在较高基数基础上，5年时间完成城镇居民人均可支配收入倍增84%的任务。

## 3、城乡居民收入水平差距

2013年宁夏农民人均纯收入6931元，相当于全国平均水平的77.9%，比2000年提高了1.4个百分点。在31个省、市、自治区中居第24位，与2000年一致，但比2007年提升了一位。在西部12省、市、区中，位居第5位，与2000年一致，低于内蒙、重庆、四川、新疆，比2007年提升了一位。在西北5省（区）中排第2位，低于新疆。

2013年宁夏城镇居民人均可支配收入21833元，相当于全国平均水平的81%，比2000年提高了2.8个百分点。我区城镇居民收入一度时期与全国乃至西部地区差距较大，在全国31个省（市、区）中，2000年排29位，2003、2004年连续两年排列全国末尾。随着地方财力的增强和自治区党委、政府对民生问题的高度重视，经过几年努力，在全国和西部地区的位次逐渐前移，2007年排全国第25位、西部第7位、西北第1位。2013年继续维持排全国第25位、西部第7位，西北5省（区）第2位。

### （三）制约宁夏城乡居民收入倍增的瓶颈

#### 1、低收入群体实现收入倍增难

宁夏农村低收入者以种植业收入为主，种植业收入增长明显不力，直接影响到农村低收入者收入倍增。2010年宁夏20%最低收入农户人均纯收入仅为1540元，比全区平均水平低3135元，仅为全区平均水平的三分之一。与20%最高收入户收入相比差距则更加明显，最高收入户人均纯收入是最低收入户人均纯收入的6.4倍。若要实现全区平均收入倍增的目标，即到2020年，农民人均纯收入达到9350元，2010—2020年，这20%最低收入农户农民收入每年需增长19.8%，快于全区平均增长速度12.6个百分点。显然，增收

难度很大。2010年宁夏20%最低收入城镇住户人均可支配收入仅为5221元，比全区平均水平低10124元，约为全区平均水平的三分之一。与20%最高收入户收入相比差距则更加明显，最高收入户收入是最低收入户的6倍。若要实现全区平均收入倍增的目标，即到2020年，城镇居民人均可支配收入达到30690元，2010—2020年，这20%最低收入城镇居民收入每年需增长19.3%，快于全区平均增长速度12.1个百分点。显然，增收难度也很大。

#### 2、纯农业户农民实现收入倍增难

纯农业户是家庭劳动力以从事农业生产经营为主体的农户，这部分农户收入受市场和自然双重因素影响，增长相对缓慢且不稳定，目前这部分农户约占全体农户的四分之一，其家庭收入来源主要是农业收入，农业收入占家庭总收入的60%以上。2012年，纯农户农民人均纯收入为5517元，相当于全区平均水平的89%，相当于非农业兼业户和非农业户农民收入的83%、85%，收入水平明显较低，若要实现全区平均的收入倍增目标，即到2020年，农民人均纯收入达到9350元，纯农业户农民收入增长明显要快于平均增长。

#### 3、劳动力文化素质低的农户实现收入倍增难

目前，农村劳动力文化程度是小学及以下的农户占全体农户的五分之一，这部分农户家庭收入相当于全区平均水平的78%。若要实现全区平均的收入倍增目标，即到2020年，农民人均纯收入达到9350元，这部分农户农民收入增长同样要明显快于平均增长。

#### 4、居民收入倍增与缩小城乡、行业、区域、阶层间收入差距问题影响收入倍增

目前宁夏山区农民收入仅为全区平均水平的76%，若要实现全区平均收入倍增目标，即到2020年，农民人均纯收入达到9350元，城镇居民收入达到30690元，2010—2020年，山区城乡居民收入增长要快于全区平均增长0.8和3.4个百分点。

# 中国与俄罗斯农产品贸易：动态及展望

徐家鹏 魏紫柏 张一珠

(西北农林科技大学经济管理学院)

摘要：随着中俄合作关系的加强以及国际局势变化，提升中俄农产品贸易的规模、层次和效率成为当前中俄的重要议题。鉴于此，本文对 1992-2017 中俄农产品贸易数据进行分析，研究中俄农产品贸易动态变化，明确中俄农产品贸易的发展潜力和方向。结果表明：1992-2017 期间，中俄农产品贸易额整体稳定增长，中国从俄罗斯农产品进口呈整体增长趋势；中国农产品比较优势处于不断下降趋势，而俄罗斯农产品比较优势表现为缓慢上升、下降再快速上升的波动过程；目前，中国和俄罗斯的农产品贸易联系整体上并不紧密的，且中国与俄罗斯农产品出口相似度指数比较高，在主要出口市场上存在竞争。1996 年到 2006 年中国农产品出口与俄国进口综合互补性高于世界水平，互补性较强，虽然 2007 年到 2017 年这段期间互补性稍有下降，但综合分析，可以预见，中国和俄罗斯之间的农产品贸易存在较大的合作与发展空间。两国应充分利用资源禀赋的比较优势，在农产品生产和进出口上规避竞争，强化互补，推动两国农产品贸易的发展。

关键词：中国；俄罗斯；农产品；贸易；动态

Agricultural Trade Between China and Russia: Dynamic and Prospect

Xujiapeng, Weizibai, Zhangyizhu

College of Economics and Management, Northwest A&F University

Abstract: As Sino-Russia cooperation keeps strengthening and international situation changes nowadays, promoting the scale, level and efficiency of Sino-Russian agricultural trade has become an important issue for China and Russia. Given this, through analyzing Sino-Russian agricultural trade data from 1992 to 2017 and studying dynamic changes of Sino-Russian agricultural trade, this paper clarifies the development potential and direction of Sino-Russian agricultural trade. Results: from 1992 to 2017, the trade volume of Sino-Russian agricultural products had witnessed a steady increase, and Chinese agricultural products imported from Russia showed an overall growth trend. Chinese comparative advantage of agricultural products is in a declining trend while Russia's is in a fluctuating process of slowly rising, falling and rapidly rising. At present, the connection of agricultural trade between China and Russia is not close as a whole. Furthermore, between China and Russia the similarity index of agricultural products export is relatively high. So, there is the competition among the main export markets. From 1996 to 2006, the comprehensive complementarity between Chinese agricultural export and Russian agricultural import was higher than that of the world, and the complementarity between these two countries was relatively strong. Although the complementarity slightly declined from 2007 to 2017, it can be predicted through comprehensive analysis that there is more cooperation and development space in Sino-Russian agricultural trade. To promote the development of agricultural trade between China and Russia, these two countries should make full use of their comparative advantages in resource endowment, avoiding competitions in agricultural production, import & export and strengthen complementation.

Keywords: China; Russia; Agricultural products; Trade; Dynamic

## 1 引言

众所周知，作为世界主要的农产品生产国和消费国，中国和俄罗斯互为对方重要的农产品贸易伙伴。俄罗斯和中国农业在要素禀赋和产品方面都具有极强的互补性和互通性，且有着长期的合作历史。习近平就任国家主席后，将俄罗斯作为出访首选国家，近年来两国元首的频繁会晤，使两国间的战略合作关系空前和谐。但中国和俄罗斯的农业合作尚未有大的突破，并且农产品贸易规模与两国的市场规模也还远不相称。进出口规模远比不上中国与日、韩、欧盟、东盟、美国、巴西和阿根廷等经济体的农产品贸易规模，明显落后于两国其它领域的合作同时。随着中俄合作关系的进一步加强、“一带一路”战略构想的实施以及受国际局势变化的影响，两国农产品贸易政策、方式与结构正发生新的变化，有必要对中俄农产品贸易的全方位回顾与深入分析，推动中俄农产品贸易的健康发展。

## 2 中俄农产品贸易总体特征

### 2.1 中俄农产品贸易规模

中俄农产品贸易额呈“升-降-升”变化趋势。1992年中俄农产品贸易额为7.89亿美元，1993年达到10.78亿美元，这是2002年之前中俄农产品贸易额的峰值，之后中俄农产品贸易额不断下降，在1999年降至谷底，仅为5.24亿美元；2000年开始趋于平稳增长，2000-2017年，中俄农产品贸易总额由6.21亿美元上升至41.79亿美元，年增长12.33%，虽然在2009、2015年出现小幅下降，但中俄农产品贸易整体上已步入稳定增长阶段。

中国对俄罗斯农产品出口呈“U”型变化。如图1所示，1992年中国对俄罗斯农产品出口6.77亿美元，1993年出口9.89亿美元，之后连续7年下降至2000年的1.85亿美元，年降幅27.06%；2000-2014年，中国对俄罗斯农产品出口保持稳定增长，2014年达到24.04亿美元，年增长20.10%；2014-2017年，中国对俄罗斯农产品出口呈现一定幅度的下降，其中2015年为18.31亿美元，2016年为20.02亿美元，2017年为20.46亿美元。

中国从俄罗斯农产品进口呈整体增长趋势。如图1所示，1992-2000年，中国从俄罗斯进口虽一直在快速增加，但进口额偏低，1992年进口1.12亿美元，2000年进口4.36亿美元，年增加18.52%；2001-2017年，中国从俄罗斯农产品进口额有了很大提升，2001年进口5.53亿美元，2017年进口21.32亿美元，年增长7.03%，但在2008、2009、2012及2014年均出现小幅下滑情况，说明中国从俄罗斯农产品进口的稳定性还不是很强。

中俄农产品贸易差额情况可以分为三个阶段。如图1所示，1992-1997年，中俄农产品贸易一直处于顺差，但数额逐年减少，其中1993年贸易顺差9.00亿美元，1997年降为1.40亿美元；1998-2010年，一直处于逆差阶段，最大逆差为2005年的4.02亿美元；2011-2016年，中俄农产品贸易处于顺差阶段，其中2011-2014年农产品贸易顺差愈来愈大，2014年顺差达到最大，为8.51亿美元；2015和2016年中俄农产品贸易顺差呈现较大幅度的下降，分别为1.12和0.10。但到2017年中俄农产品贸易又出现逆差，为0.85亿美元。

---

<sup>1</sup>文中所涉及农产品的贸易数据均来源于联合国商品贸易数据库，选取HS分类标准的中俄双边贸易数据。本文将农产品统计范围界定为(商品名称及编码协调制度)(HS)中第1-24章和第50, 51, 52, 53章产品。

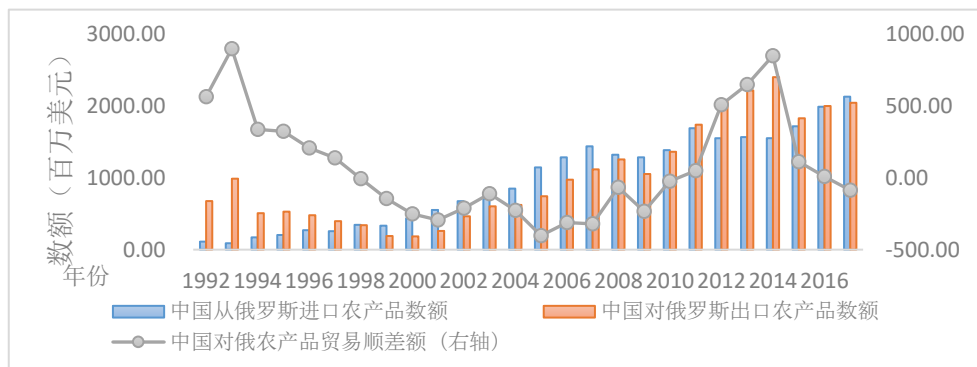


图1 1992-2017年中俄农产品贸易变化情况

## 2.2 中俄农产品贸易地位

从中国农产品世界的角度观察，2017年中国农产品出口总额为928.76亿美元，出口俄罗斯农产品20.47亿美元；中国农产品进口总额为1283.97亿美元，进口俄罗斯农产品21.32亿美元。如图2所示，中国对俄罗斯农产品出口占中国农产品出口总额的份额呈“降-升-降”趋势，最高年份是1993年，为6.46%，最低年份是2000年，仅为0.87%，2000-2011年呈缓慢增长趋势，2011年为2.18%；2012-2014年中国对俄罗斯农产品出口占中国农产品出口总额的份额相对较大，保持在2.51%-2.64%之间；2015到2017年再次呈下降趋势，分别是2.06%、2.21%和2.2%。中国从俄罗斯农产品进口占中国农产品进口总额的份额呈“升-降-升”趋势，从1992年的1.50%增加至1997年的1.95%，从1998年开始不断下降，至2010年降为0.01%，俄罗斯农产品在中国农产品进口市场中的份额越来越低；从2011-2016年中国从俄罗斯农产品进口占中国农产品进口总额的份额再次上升，保持在1.24%到1.75%之间，到2017年中国从俄罗斯农产品进口占中国农产品进口总额的份额又略有下降，为1.7%。总体来看，中俄农产品贸易额占中国与世界农产品贸易总额的份额处在0-2%之间，1998年之后一直在下降，到2011年开始再次回升。上述分析说明在2011年之后，俄罗斯作为中国农产品世界贸易中的出口市场地位保持稳定，只是近两年有较小幅度的下降，作为进口市场地位也在不断上升，同时中俄农产品贸易额占中国与世界农产品贸易总额的份额近年来呈一定的增长趋势。

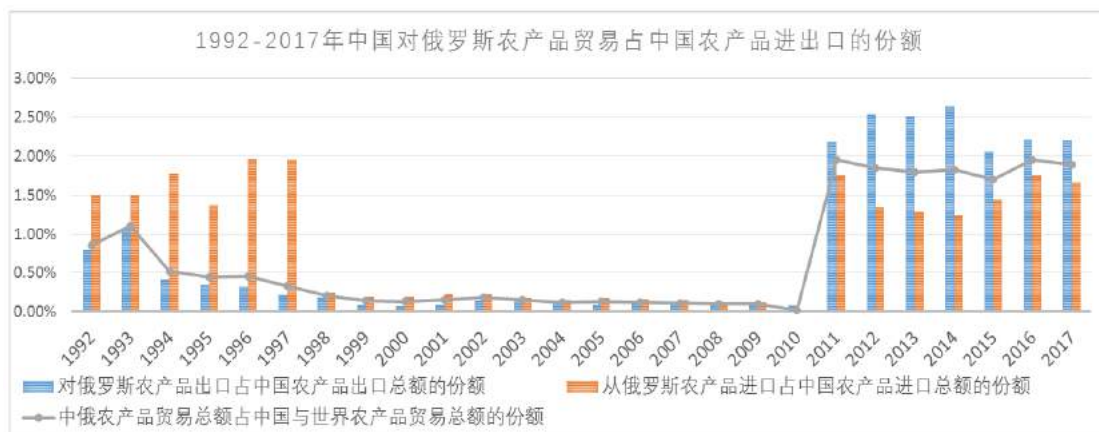


图2 1992年-2017年中国对俄罗斯农产品贸易占中国农产品进出口的份额

从俄罗斯农产品世界的角度观察，2017年俄罗斯农产品出口总额为208.03亿美元，出口中国农产品17.82亿美元；俄罗斯农产品进口总额为294.22亿美元，进口中国农产品18.76亿美元，中国是俄罗斯重要的农产品贸易国。如图3所示，1996-2017年，俄罗斯对中国农产品进口额一直在稳步增加，但俄罗斯对中国农产品出口占俄罗斯农产品出口总额的份额却起伏不定，变化很大，最低时在2008年仅为0.03%，最高时在2016年达到9.49%。俄罗



斯农产品对出口中国市场还很不稳定。1996-2013年，俄罗斯从中国农产品进口占俄罗斯农产品进口总额的份额则一直保持稳定，其中2002年以后一直保持在3%以上；2014-2017年，俄罗斯从中国农产品进口占俄罗斯农产品进口总额的份额出现较大幅度增长，2016年达到最高，为6.69%，表明中国农产品在俄市场占有率近年来有明显的进一步提高。俄中农产品贸易额占俄罗斯与世界农产品贸易总额的份额处于先下降后上升的U型趋势，1996-2000年，俄中农产品贸易额占俄罗斯与世界农产品贸易总额的份额呈下降趋势，从1996年的3.53%下降到2000年的0.22%；2001-2010年，俄中农产品贸易额占俄罗斯与世界农产品贸易总额的份额一直处于较低值，均位于1%以下且没有明显增减变化；2011-2017年，俄中农产品贸易额占俄罗斯与世界农产品贸易总额的份额开始呈现大幅度上升趋势，2017年达到最高，为9.98%。可见俄中农产品贸易占俄罗斯与世界农产品贸易的份额仍有增加的空间。上述分析说明中国作为俄罗斯农产品世界贸易中的出口市场地位起伏很大，作为进口市场地位则保持稳定，同时俄中农产品贸易占俄罗斯与世界农产品贸易的份额有较大增长空间。

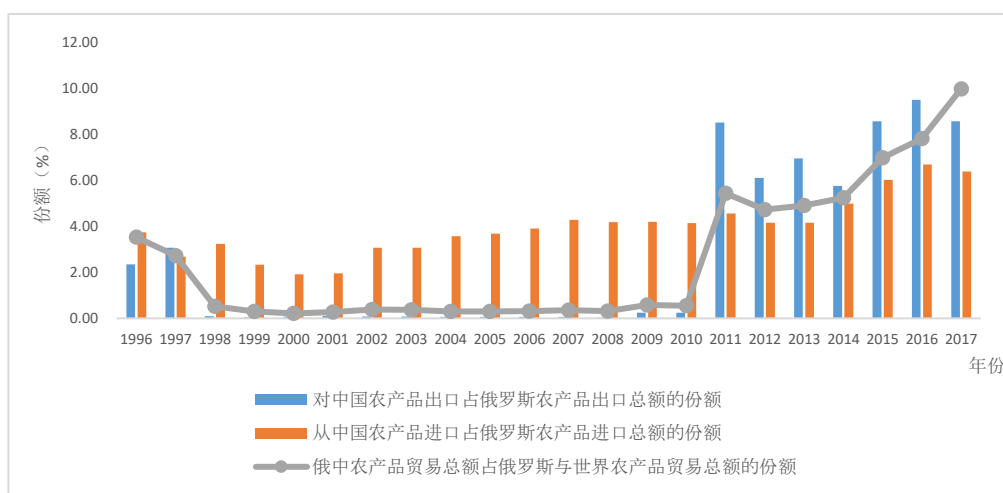


图3 1996年-2017年俄罗斯对中国农产品贸易占俄罗斯农产品进出口的份额

中俄农产品贸易在中俄整体贸易中的地位持续下降。如表1所示，1992年，中国对俄罗斯农产品出口占中国对俄罗斯出口总额的份额为28.97%，2000年为8.27%，2017年为4.78%，对俄罗斯农产品出口占中国对俄罗斯出口总额的份额在不断下降。1992年，中国从俄罗斯农产品进口占中国从俄罗斯进口总额的份额为3.17%，2000年为7.55%，2017年降为5.15%，可见近年来从俄罗斯农产品进口占中国从俄罗斯进口总额的份额也在不断下降。1992年，中俄农产品贸易额占中俄贸易总额的份额为13.45%，2000年为7.75%，2017年为3.96%，1992-2017年，中俄农产品贸易占中俄贸易总额的份额在不断下降。上述分析说明中俄农产品贸易在中俄贸易中的地位越来越弱。

表1 中俄农产品贸易额及在中俄总贸易额中所占份额单位：亿美元、%

	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
中国对俄罗斯农产品出口	6.77	5.3	1.85	7.44	13.64	18.31	20.02	20.46
中国对俄罗斯出口总额	23.36	16.65	22.33	132.11	296.12	347.57	373.4	428.31
中国对俄罗斯农产品出口占中国对俄罗斯出口总额的份额	28.97	31.81	8.27	5.63	4.61	5.27	5.36	4.78

中国从俄罗斯农产品进口	1.12	2.04	4.36	11.46	13.87	17.19	19.92	21.32
中国从俄罗斯进口总额	35.26	37.99	57.7	158.9	259.14	332.59	322.6	413.9
中国从俄罗斯农产品进口占中国从俄罗斯进口总额的份额	3.17	5.38	7.55	7.21	5.35	5.17	6.17	5.15
中俄农产品贸易额	7.89	7.34	6.21	18.91	27.51	35.5	39.93	33.38
中俄贸易总额	58.62	54.63	80.03	291.01	555.26	680.16	696	842.21
中俄农产品贸易占中俄贸易的份额	13.45	13.43	7.75	6.5	4.95	5.22	5.74	3.96

### 2.3 中俄农产品贸易结构

中国对俄罗斯农产品出口以园艺产品、水产品为主，这两类农产品占出口的份额不断上升，2016 年达到 82.16%，如图 4 所示；中国从俄罗斯农产品进口以动物产品为主，2005 年从俄罗斯进口水产品占中国从俄罗斯农产品进口总额的比例最高，达到 95.40%，2016 年有所降低，为 69.45%，如图 5 所示。

#### (1) 中国对俄罗斯农产品出口结构变化及趋势分析

园艺产品是中国对俄罗斯出口的第一大类农产品，近年中国对俄罗斯园艺产品出口占对俄罗斯农产品出口的份额一直在 60%左右，居主导地位。1992-1999 年，对俄园艺产品出口一直比较平稳，整体份额保持在 20%左右；自 2001 年中国加入 WTO 之后，中国对俄罗斯园艺产品出口开始快速增长，2001 年出口额为 0.93 亿美元，2016 年达到 12.12 亿美元，增长了 13.03 倍，年均增长率达 18.67%；受 2008 年金融危机影响，2008 年园艺产品出口增长受阻并下滑，随后一直保持在 50%-60%左右的水平，反映出中国对俄罗斯园艺产品出口具有一定的竞争力。对俄罗斯出口的园艺产品主要以食用蔬菜、食用水果和蔬菜、水果或植物其他部分的制品为主。

水产品是中国对俄罗斯出口的第二大类农产品，2016 年中国对俄罗斯水产品出口占对俄罗斯农产品出口的份额为 26.17%。1993-1995 年间，水产品占对俄罗斯农产品出口的份额较高，均位于 20%以上；1996-2006 年间，水产品占对俄罗斯农产品出口的份额稍有下降，保持在 20%以下；2007 年水产品占对俄罗斯农产品出口的份额为 23.72%，之后水产品占对俄罗斯农产品出口的份额稳步提高，在 2014 年达到最大之，水产品出口 6.47 亿美元，所占份额为 27.10%。中国对俄罗斯水产品出口有继续保持稳重增长趋势。

大宗农产品是中国对俄罗斯出口的第三大类农产品，2016 年出口 2.01 亿美元，占 10.09% 的份额。大宗农产品占对俄罗斯农产品出口的份额变动幅度比较大，主要可以分为三个阶段：1992-1993 年，由于俄罗斯国内食品紧缺，大宗农产品占对俄罗斯农产品出口的主导地位，这两年大宗农产品所占份额为 70.29%、59.48%，是份额最高的两年；1994-1998 年，大宗农产品所占份额不断下降，1998 年降为 5.21%；1999-2013 年，由于 1999、2000 年中国对俄罗斯农产品出口整体进入历史低点，使得大宗农产品所占份额又提升为 40.00%，属于历史第二高点，2001 年之后，对俄罗斯除大宗农产品以外的农产品出口不断增加，大宗农产品出口不断走低，大宗农产品占对俄罗斯农产品出口的份额保持在 10%左右。随着中国对大宗农产品的需求越来越大，未来对俄罗斯大宗农产品的出口仍可能会进一步走低。

其他农产品是中国对俄罗斯出口的第四大类农产品，主要包括蛋白质物质、杂项食品、

食品工业残料及配制的动物饲料、脂类产品等。中国对俄罗斯其他农产品出口占对俄罗斯农产品出口的份额呈先升后降再升的趋势,1992-2001年间,其他农产品所占份额逐渐增加,2001年达到峰值,其他农产品出口0.32亿美元,占份额为13.12%;2002-2009年,其他农产品出口所占份额逐渐下降,在2009降至最低,出口额仅为0.71亿美元,所占份额为6.06%;2010-2016年又再次保持稳重增长趋势。

动物产品是中国对俄罗斯出口的第五大类农产品,2016年出口0.05亿美元,占对俄罗斯农产品出口的份额为0.23%。动物产品是中国对俄罗斯农产品出口中金额与份额降幅最大的一类农产品,1998年出口1.71亿美元,占对俄罗斯农产品出口的53.93%,俄罗斯曾是中国最大的猪肉出口市场;从2004年9月起,俄罗斯全面禁止进口我国偶蹄类动物及动物制品,使得动物产品对俄罗斯出口不断萎缩,长达10年之久,因为欧美国家对俄罗斯的制裁,2014年俄罗斯重新开放中国猪肉及其他类动物产品进口,2014年中国对俄罗斯动物产品的出口从2013年的0.07亿美元增加至0.31亿美元,增加了4.43倍,预计未来对俄罗斯动物产品出口仍将会有一个较大的增幅。

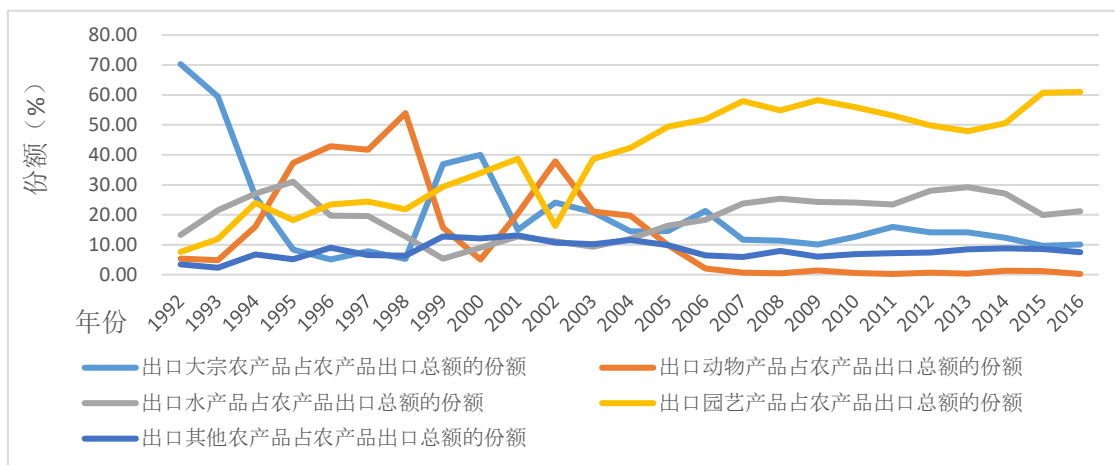


图4 中国对俄罗斯农产品出口结构变化

#### (2) 中国从俄罗斯农产品进口结构变化及趋势分析

水产品是中国从俄罗斯进口的第一大类农产品,2016年进口13.62亿美元,占从俄罗斯农产品进口的份额为69.45%,居主导地位。1992年中国从俄罗斯进口水产品0.86亿美元,之后保持较快增长,至2007年达到13.42亿美元;受金融危机等因素影响,2008-2010年一直低于2007年的数额,2011年水产品进口金额达到顶峰,为15.91亿美元,2012、2013年分别进口13.43、13.59亿美元,与2007年的进口额相当,2014、2015年略有下降。1992-2001年,水产品占从俄罗斯进口农产品的份额一直保持在50%-90%之间;2002-2011年,水产品进口份额一直保持在90%以上;2012-2014年水产品所占份额虽略微下降,但也保持在80%以上。2015-2016年降幅变大,所占份额在70%以下。作为中国从俄罗斯进口的第一大类农产品,水产品进口的变化直观反映中国从俄罗斯农产品进口的整体变化,主导地位由此可见。预计未来水产品仍然会占据中国从俄罗斯农产品进口的大头,但是从图5中可以看出中国从俄罗斯农产品进口日趋多样化,水产品的份额长期趋势是会下降的。

其他农产品是中国从俄罗斯进口的第二大类农产品,呈“升-降-升”趋势,2016年进口4.69亿美元,占从俄罗斯农产品进口的份额为23.90%。1992-2000年,其他农产品进口从0.07亿美元增加至0.82亿美元,增加明显;2001-2003年,其他农产品进口不断下降至0.27亿美元;2004-2016年,其他农产品进口从0.31亿美元增加至4.69亿美元,由图5中可以观察其他农产品的进口总体上呈增加趋势。

园艺产品是中国从俄罗斯进口的第三大类农产品，此类农产品进口所占份额较为稳定，2016年共进口0.47亿美元，占从俄罗斯农产品进口的份额为2.41%。1992-2016年，园艺产品占从俄罗斯进口农产品的份额一直处于0-3%之间，所占份额相对较低且没有较大幅度的变化，这与中国出口俄罗斯最多的产品是园艺产品有很大的关系，未来中国从俄罗斯进口园艺产品的金额和所占份额趋势要进一步观察进口的持续性。

动物产品是中国从俄罗斯进口的第四大类农产品，2016年进口0.55亿美元，占从俄罗斯农产品进口的份额为2.80%。1992-2009年，动物产品进口份额持续降低，动物产品占从俄罗斯农产品进口的份额从1992年的4.36%降低到2009年的0.20，降低了21.8倍；2009-2016年，动物产品进口由0.03亿美元增加至0.55亿美元，增长势头较快。未来动物产品的进口份额可能会继续保持稳中增长的状态。

大宗农产品是中国从俄罗斯进口的第五大类农产品，大宗农产品占从俄罗斯进口农产品的份额呈现先增后降而后保持一个较低水平的稳定状态。2016年进口0.28亿美元，占从俄罗斯农产品进口的份额为1.44%。1995年从俄罗斯进口大宗农产品0.61亿美元，为大宗农产品进口峰值，1996-2012年，大宗农产品进口降0.02亿美元，基本可忽略不计，2013年进口0.05亿美元，略有上涨，2016年增加至0.28亿美元。随着中国对大宗农产品进口的增加和中方在俄罗斯农业投资(租地)的扩大，加上俄罗斯汇率问题促使中方在俄罗斯产出的原粮回运，预计中国从俄罗斯进口大宗农产品将呈增加趋势。

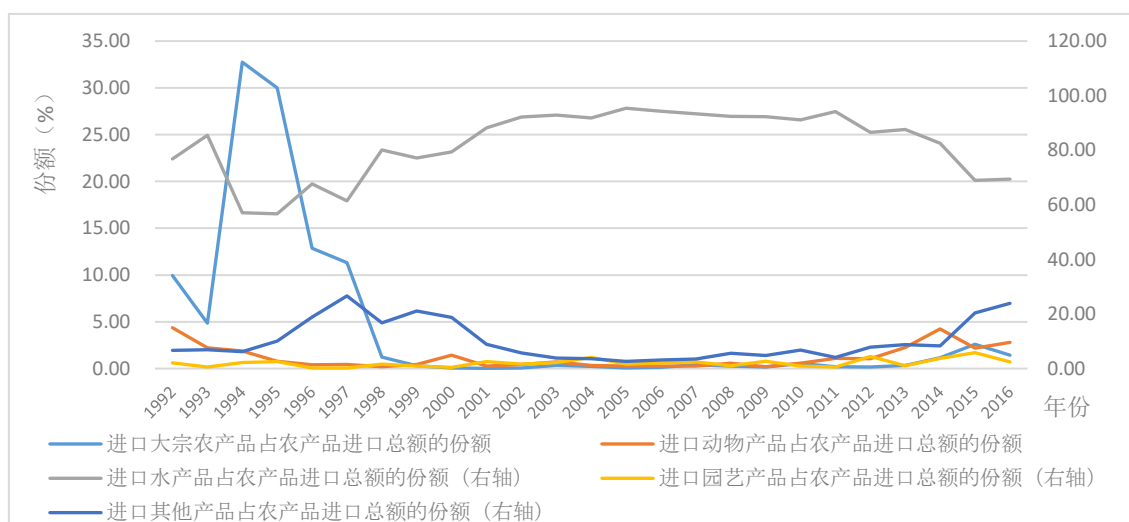


图5 中国从俄罗斯进口农产品结构变化

### 3 中俄农产品贸易分析

#### 3.1 中俄农产品贸易的比较优势和密切程度

##### (1) 中俄农产品贸易的显示性比较优势分析

比较优势是指本国生产一种产品的机会成本低于其他国家生产该产品的机会成本，则该国在生产该产品上具有比较优势。比较优势反应了一个国家的比较成本、资源禀赋和和规模优势。显示性比较优势（RCA）指数是测度比较优势的一个重要指标。显示性比较优势是指一国总出口中某类商品的出口所占的比例相对于世界贸易总额中该商品贸易所占比例的大小，

用公式表示为： $RCA_{ij} = \frac{X_{iw}^k / X_{iw}^t}{X_{ww}^k / X_{ww}^t}$ ，其中， $X_{iw}^k$ 表示国家 i 产品 k 的出口额， $X_{iw}^t$ 表示国家 i 的所有产品的出口总额， $X_{ww}^k$ 表示产品 k 的世界出口额， $X_{ww}^t$ 表示世界出口总额。一般情况下，如果  $RCA > 2.5$ ，则表明 i 国的 k 产品具有极强的竞争优势；如果  $1.25 \leq RCA \leq 2.5$ ，则具有较强的竞争优势；如果  $0.8 \leq RCA \leq 1.25$ ，则具有中等竞争优势；如果  $RCA < 0.8$ ，表明竞争力较弱。

根据表 2 和表 3（见附表）列出来的按照 HS 分类的 28 类农产品显示性比较优势可以看出，从 1992 年至 2017 年，中国一直具有比较优势的农产品有 03 章（鱼及其他无脊椎产品），05 章（其他动物产品），50 章（蚕丝）；而从 1996 年至 2017 年，俄罗斯没有农产品一直保持稳定的比较优势。其中，中国的 01 章-12 章，14 章，17 章，18 章，19 章，21 章，22 章,23 章,50-23 章农产品的比较优势一直不断下降，而 13 章一直平缓上升；

中国农产品比较优势处于不断下降趋势，俄罗斯农产品比较优势表现为缓慢上升、下降再快速上升的波动过程。如图 6 所示，1992-2016 年，中国农产品 RCA 值由 1996 年的 1.61 持续下降到 2017 年的 0.58；俄罗斯农产品 RCA 值在 1996-2002 年间由 0.21 增加至 0.27，2004 年则下降为 0.19，之后一直保持增长的趋势，并在 2015 年超出中国，虽然当前中俄农产品比较优势相似，但是俄罗斯的农业资源优势使得俄罗斯农业更具发展潜力，预计未来俄罗斯农产品比较优势仍有进一步增加的空间，并将持续超出中国。

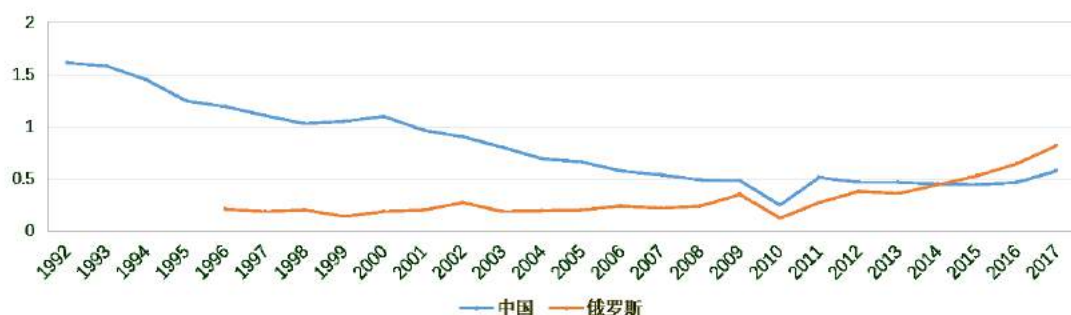


图 6 中俄农产品 RCA 值的变化

## (2) 中俄农产品贸易的贸易结合度分析

贸易结合度指数是用来衡量两国在贸易方面相互依存度的一个比较综合性的指标，用公式表示为： $TII_{ab} = \frac{X_{ab}/X_a}{M_b/M_w}$ ，其中， $TII_{ab}$ 表示 a 国对 b 国的农产品贸易结合度， $X_{ab}$ 表示 a 国对 b 国出口的农产品贸易额， $X_a$ 表示 a 国出口农产品总额， $M_b$ 表示 b 国农产品进口总额， $M_w$ 表示世界农产品进口总额。 $TII_{ab} > 1$ ，表明两国农产品贸易联系紧密， $TII_{ab}$ 值越大，表明两国农产品贸易关系越紧密， $TII_{ab} < 1$ ，则表明两国农产品贸易联系不紧密。

由图 7 可知，从 1996 到 2017 年，中国与俄罗斯的贸易结合度大都小于 1，只有 1996 年和 2004 年、2014 年、2015、2017 年的贸易结合度大于 1，这说明中国和俄罗斯的农产品贸易联系整体上是紧密的。从整体趋势来看，中国和俄罗斯的农产品贸易有三次较大的波动，分别是 2000 年、2006 年和 2011 年，这三年中国和俄罗斯的贸易结合度出现了较大的落差。根据近 20 年来的中国和俄罗斯的贸易结合度变化趋势可以推测，中国和贸易结合度波动会较为频繁，要使两国的贸易结合度大于 1，还需要两国充分利用两国的自然资源、地理环境的比较优势，通过农产品的进出口，弥补两国在农产品方面的劣势。



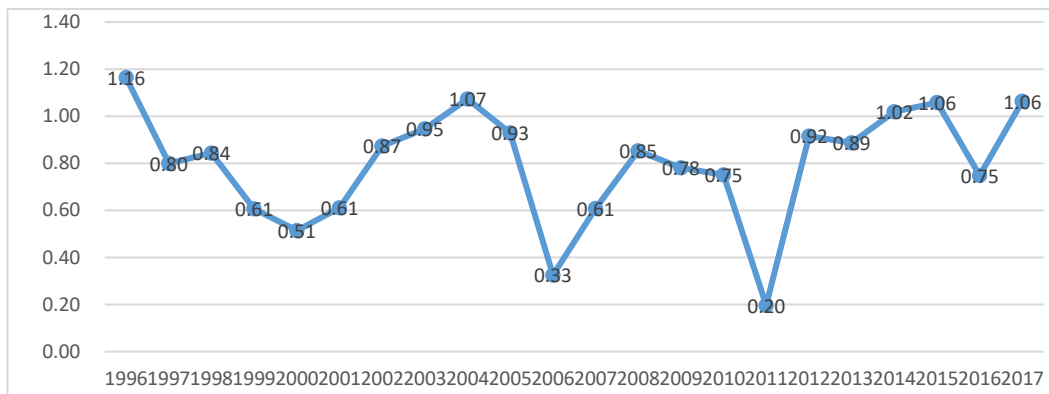


图 7 1996~2017 年中国与俄罗斯的贸易结合度变化趋势

### 3.2 中俄农产品贸易竞争性分析

#### (1) 中俄农产品出口相似度分析

##### ① 出口相似度指数

本文采用出口产品相似度指数对中俄农产品出口结构相似程度进行分析，并在此基础上分析其竞争程度。出口相似度指数是由 Kreinin 和 Finger 于 1997 年提出来，并由 Glick 和 Rose 于 1998 年进行修正的。其具体公式为：

$$S^p(ij, k) = \left\{ \sum_k \left[ \frac{(X_{iw}^k / X_{iw}^t) + (X_{jw}^k / X_{jw}^t)}{2} \right] \times \left( 1 - \left| \frac{(X_{iw}^k / X_{iw}^t) - (X_{jw}^k / X_{jw}^t)}{(X_{iw}^k / X_{iw}^t) + (X_{jw}^k / X_{jw}^t)} \right| \right) \right\} \times 100$$

其中  $X_{iw}^k$  和  $X_{jw}^k$  分别表示分别表示国家 i 和国家 j 产品 k 的出口额， $X_{iw}^t$  和  $X_{jw}^t$  分别表示国家 i 和国家 j 的出口总额(汤碧, 2012)。出口相似度指数的取值范围为 0-100。对于该指数的分析，一般认为，指数越大，代表两国在第三方市场出口产品的相似程度越明显，竞争也就越激烈；指数越小，代表两国在第三方市场上的竞争激烈程度也就越小。

##### ② 中俄农产品出口相似度分析

根据表 4 计算的中国与俄罗斯 1996-2017 年在世界市场上的农产品出口相似度指数，整体来看，中国与俄罗斯农产品出口相似度指数是比较高的。具体来说，从图 8 可以看出中俄农产品出口相似度指数的变化大致可以分为二个阶段：第一个阶段即为 1996-2003 年，这七年的出口相似度指数在整个二十一年中是比较高的，基本维持在 50 左右，说明中俄农产品在世界市场上的出口结构是非常相似的，竞争比较激烈；第二个阶段即为 2004-2017 年，在经历了 2003 年到 2004 年的陡降之后，2004 年以来，出口相似度指数基本没有太大的变化，基本维持在 37 左右，相比上一阶段下降较多；最后，从 2012 年至 2017 年的指数变化来看，中俄农产品出口相似度指数有缓慢的小幅度上升的趋势。或许中国与俄罗斯的农产品贸易出口结构相似程度正在逐渐加大，未来中俄农产品贸易的竞争性可能会逐渐提高。

表 4 1996-2017 年中国与俄罗斯农产品出口相似度指数

年份	出口相似度指数	年份	出口相似度指数	年份	出口相似度指数
1996	49.54	2003	49.05	2010	34.7
1997	55.33	2004	37.55	2011	36.26
1998	56.18	2005	38.17	2012	39.39
1999	57.29	2006	38.29	2013	39.22
2000	55.51	2007	34.07	2014	39.42

2001	54.26	2008	37.28	2015	40.79
2002	46.44	2009	36.86	2016	42.44

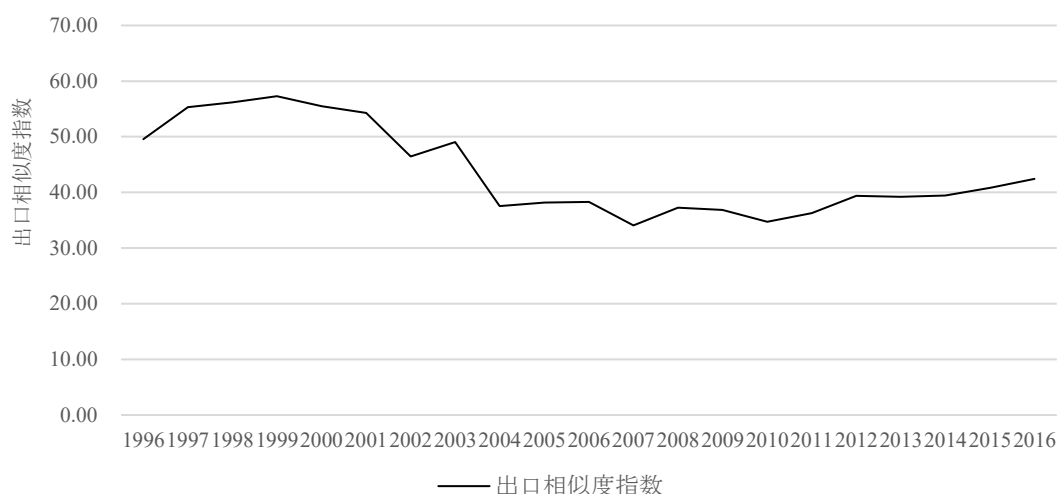


图 8 1996-2016 年中国与俄罗斯农产品出口相似度指数变化情况

为了更好的探究其具体变化趋势，此处对 2012-2016 年中国与俄罗斯出口到世界市场的具  
体农产品（按 HS 编码）主要的几类进行分析。如表 5 和表 6 所示，2012-2017 年中国出口到  
世界市场排名前五章的农产品分别是：第 52 章（棉花）、第 3 章（鱼及其他水生无脊椎动物）、  
第 7 章（食用蔬菜，根及块茎）、第 16 章（肉，鱼及其他水生无脊椎动物制品）、第 20 章（蔬  
菜，水果或植物其他部分的制品）；2012~2017 年俄罗斯出口到世界市场排名前五章的农产品  
分别是：第 10 章（谷物）、第 3 章（鱼及其他水生无脊椎动物）、第 15 章（动植物油脂、蜡，  
精制使用油脂）、第 23 章（食品工业残渣及废料；配制饲料）、第 24 章（烟草、烟草及烟草  
代用品制品）。两国贸易额排名前五章的农产品从 2012 年-2017 年都没有什么变化。将两国  
的情况对比可以得出，两国第三章农产品（鱼及其他水生无脊椎动物）在世界市场上的出口额  
都比较大，这或许就是 2012-2017 年中国和俄罗斯在世界市场上农产品出口相似度指数缓慢上  
升的一部分原因。

表 5 2012-2017 年中国对世界出口五大农产品

2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
第 52 章 棉花	第 52 章 棉花	第 52 章 棉花	第 52 章 棉花	第 52 章 棉花	第 52 章 棉花
第 3 章 鱼及其他水生 无脊椎动物	第 3 章 鱼及其他水生 无脊椎动物	第 3 章 鱼及其他水生 无脊椎动物	第 3 章 鱼及其他水生 无脊椎动物	第 3 章 鱼及其他水生 无脊椎动物	第 3 章 鱼及其他水生 无脊椎动物
第 16 章 肉，鱼及其他水 生无脊椎动物 制品	第 16 章 肉，鱼及其他水 生无脊椎动物 制品	第 16 章 肉，鱼及其他水 生无脊椎动物 制品	第 7 章 食用蔬菜，根及 块茎	第 7 章 食用蔬菜，根及 块茎	第 7 章 食用蔬菜，根及 块茎
第 20 章 蔬菜，水果或植 物其他部分的 制品	第 7 章 食用蔬菜，根及 块茎	第 7 章 食用蔬菜，根及 块茎	第 16 章 肉，鱼及其他水 生无脊椎动物 制品	第 16 章 肉，鱼及其他水 生无脊椎动物 制品	第 16 章 肉，鱼及其他水 生无脊椎动物 制品
第 7 章	第 20 章	第 20 章	第 20 章	第 20 章	第 20 章

食用蔬菜,根及块茎	蔬菜,水果或植物其他部分的制品	蔬菜,水果或植物其他部分的制品	蔬菜,水果或植物其他部分的制品	蔬菜,水果或植物其他部分的制品	蔬菜,水果或植物其他部分的制品
-----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

注: 出口五大农产品指出口值前五的农产品

表 6 2012-2017 年俄罗斯对世界出口五大农产品

2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
第 10 章 谷物	第 10 章 谷物	第 10 章 谷物	第 10 章 谷物	第 10 章 谷物	第 10 章 谷物
第 3 章 鱼及其他水生无脊椎动物	第 3 章 鱼及其他水生无脊椎动物	第 3 章 鱼及其他水生无脊椎动物	第 3 章 鱼及其他水生无脊椎动物	第 3 章 鱼及其他水生无脊椎动物	第 3 章 鱼及其他水生无脊椎动物
第 15 章 动植物油脂、蜡,精制使用油脂	第 15 章 动植物油脂、蜡,精制使用油脂	第 15 章 动植物油脂、蜡,精制使用油脂	第 15 章 动植物油脂、蜡,精制使用油脂	第 15 章 动植物油脂、蜡,精制使用油脂	第 15 章 动植物油脂、蜡,精制使用油脂
第 23 章 食品工业残渣及废料; 配制饲料	第 23 章 食品工业残渣及废料; 配制饲料	第 23 章 食品工业残渣及废料; 配制饲料	第 23 章 食品工业残渣及废料; 配制饲料	第 23 章 食品工业残渣及废料; 配制饲料	第 23 章 食品工业残渣及废料; 配制饲料
第 24 章 烟草、烟草及烟草代用品制品	第 24 章 烟草、烟草及烟草代用品制品	第 24 章 烟草、烟草及烟草代用品制品	第 24 章 烟草、烟草及烟草代用品制品	第 24 章 烟草、烟草及烟草代用品制品	第 24 章 烟草、烟草及烟草代用品制品

注: 出口五大农产品指出口值前五的农产品

### (2) 中俄农产品出口市场竞争性分析

中俄农产品不仅在具体农产品出口结构上存在竞争, 在主要的出口市场上也可能存在竞争。根据表 5 和表 6 计算的中国与俄罗斯农产品出口五大主要市场来看, 中国的农产品出口市场主要集中在日本、香港、美国、韩国、越南这五个国家和地区, 且十年内变化不大; 相比中国, 俄罗斯农产品五大出口市场相邻年份变化较大。其中, 中国也是俄罗斯农产品出口主要市场之一。总的来看, 中国与俄罗斯的农产品在韩国均有较大规模出口。就 2017 年来看, 中国在韩国出口的农产品占中国农产品出口总额的 5.94%, 俄罗斯在韩国出口的农产品占俄罗斯农产品出口总额的 7.05%。可见中国和俄罗斯在韩国市场上农产品出口竞争比较激烈。

表 7 1996-2017 年中国农产品出口五大主要市场

1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	香港	香港	香港	香港
28.95%	27.60%	22.43%	14.59%	14.51%	15.39%	13.23%	12.74%	12.80%	13.25%	9.01%
香港	香港	香港	香港	香港	香港	香港	日本	日本	日本	日本
26.05%	20.46%	16.60%	12.03%	11.06%	11.78%	12.90%	12.65%	11.87%	11.50%	11.78%
韩国	韩国	韩国	美国	美国	美国	美国	美国	美国	美国	美国
6.75%	9.90%	9.28%	9.33%	8.85%	9.26%	8.63%	8.47%	8.67%	8.44%	7.86%
美国	美国	美国	韩国	韩国	韩国	韩国	韩国	越南	越南	越南
4.74%	6.31%	8.25%	6.84%	6.51%	6.01%	5.84%	6.18%	6.35%	6.44%	3.00%
新加坡	德国	德国	越南	越南	越南	越南	越南	韩国	韩国	韩国
3.49%	2.51%	2.80%	4.05%	4.82%	4.39%	5.65%	6.12%	5.78%	5.92%	5.94%

注: 表中国家下方百分比值表示中国出口该国的农产品占中国农产品出口总额的比例 (2017 年香港、美国、



越南部分农产品数据未查到)

表 8 1996-2017 年俄罗斯农产品出口五大主要市场

1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
哈萨克 斯坦	哈萨克 斯坦	哈萨克 斯坦	中国	埃及	土耳其	土耳其	土耳其	土耳其	土耳 其	土耳 其
13.04%	15.46%	12.88%	12.51%	11.87%	11.51%	10.54%	12.42%	11.07%	9.69%	8.42%
日本	日本	乌克兰	埃及	土耳其	埃及	哈萨克 斯坦	哈萨克 斯坦	中国	中国	中国
8.09%	9.03%	12.08%	11.69%	8.79%	10.72%	9.76%	8.95%	8.57%	9.49%	7.69%
土耳其	乌克兰	埃及	韩国	中国	哈萨克 斯坦	韩国	埃及	哈萨克 斯坦	哈萨 克斯 坦	哈萨 克斯 坦
7.53%	7.69%	8.37%	11.10%	8.51%	8.10%	7.58%	7.27%	7.95%	7.68%	2.51%
乌克兰	土耳其	阿塞拜 疆	乌克兰	韩国	韩国	中国	韩国	韩国	韩国	韩国
5.63%	5.37%	5.40%	7.84%	8.49%	6.31%	6.95%	6.25%	7.22%	7.26%	7.05%
德国	荷兰	格鲁吉 亚	土耳其	乌克兰	中国	埃及	中国	埃及	埃及	埃及
5.54%	5.00%	4.38%	6.50%	6.49%	6.10%	5.36%	5.76%	6.27%	7.23%	8.60%

注：表中国家下方百分比值表示中国出口该国的农产品占中国农产品出口总额的比例

具体来说，根据表 9 列出的中国与俄罗斯出口韩国的主要农产品来看，虽然中国与俄罗斯在韩国市场上出口的农产品存在较大的差异。但两国在韩国市场上出口的农产品排名第一的都是第 3 章（鱼及其他水生无脊椎动物）。可见，中俄两国在第 3 章农产品的出口上存在较大竞争。

表 9 2017 年中国与俄罗斯出口韩国主要农产品

中国	俄罗斯
第 3 章	第 3 章
鱼及其他水生无脊椎动物	鱼及其他水生无脊椎动物
第 20 章	第 10 章
蔬菜、水果或植物其他部分的制品	谷物
第 7 章	第 23 章
食用蔬菜、根及块茎	食品工业残渣及废料；配制饲料
第 16 章	第 24 章
肉、鱼及其他水生无脊椎动物制品	烟草、烟草及烟草代用品制品
第 12 章	第 5 章
油籽；子仁；工业药用植物；饲料	其他动物产品

### 3.3 中俄农产品贸易合作空间分析

尽管由于中俄双方的经济发展水平和资源禀赋所产生的产业结构使双方存在一定程度上的竞争性，但也由于双方资源禀赋不同所产生的产品结构差异使双方在农产品贸易上具有一定的互补性。中国与俄国之间的农产品贸易互补性为双方合作的进一步开展提供了基础。

#### (1) 中俄农产品贸易互补性

反映两国贸易之间一方的出口结构与另一方的进口结构在多大程度上相配，常使用贸易互补性指数，本文采用于津平（2003）构建的综合性互补指数来分析中俄农产品贸易的互补性，该互补性指数用公式表示为： $C_{ij} = \sum_k [C_{ij}^k \times (W_k/W)]$ ，其中 $C_{ij}$ 表示国家 i 出口与国家 j 进口之间的贸易互补性指数，单个产品的贸易互补性指数为 $C_{ij}^k = RCA_{xik} \times RCA_{mjk}$ ， $RCA_{xik}$ 表示用出口来衡量的国家 i 在产品 k 上的比较优势， $RCA_{mjk}$ 表示用进口来衡量的国家 j 在产品 k 上的比较劣势。 $RCA_{xik} = (X_{ik}/X_i) / (W_k/W)$   $RCA_{mjk} = (M_{jk}/M_j) / (W_k/W)$ ， $X_{ik}$ 为 i 国 k 类产品的出口额， $X_i$ 为 i 国所有产品的出口总额， $M_{jk}$ 为 j 国 k 类产品的进口额， $M_j$ 为 j 国所有产品的进口总额。 $RCA_{xik}$ 越大表示国家 i 在产品 k 上的出口比例越大，说明该国在此产品生产上处于比较优势。 $RCA_{mjk}$ 越大表示国家 j 在产品 k 上的进口比例越大，说明该国在此产品生产上处于比较劣势。如果国家 i 在产品 k 上的比较优势明显（即 $RCA_{xik}$ 大），而国家 j 在产品 k 上的比较劣势明显（即 $RCA_{mjk}$ 大），则在产品 k 的贸易上 i 国的出口与 j 国的进口呈互补性。在多种产品存在的情况下，两国贸易的综合互补性指数可用各产品所呈现的互补性指数的加权平均来计算，加权系数为世界贸易中各类产品的贸易比重（ $W_k/W$ ）。 $C_{ij} > 1$ ，就表示 i 国产品的相对出口份额和 j 国的相对进口份额匹配程度较高，存在互补性。 $C_{ij}$ 越大，两国的贸易互补性越强；反之， $C_{ij}$ 越大，两国的贸易互补性越弱。

表 10 1996 年至 2017 年中国与俄国农产品的贸易互补性指数

年份	中国出口与俄国进口 互补性	俄国出口与中国进口 互补性	年份	中国出口与俄国进口 互补性	俄国出口与中国进口 互补性
1996	1.714	0.202	2007	0.459	0.079
1997	1.722	0.231	2008	0.613	0.103
1998	1.858	0.260	2009	0.889	0.157
1999	2.312	0.159	2010	0.185	0.028
2000	2.348	0.258	2011	0.692	0.126
2001	1.719	0.172	2012	0.613	0.230
2002	1.492	0.162	2013	0.633	0.208
2003	1.225	0.153	2014	0.630	0.258
2004	1.054	0.145	2015	0.630	0.408
2005	0.995	0.141	2016	0.635	0.461
2006	1.122	0.129	2017	0.567	0.419

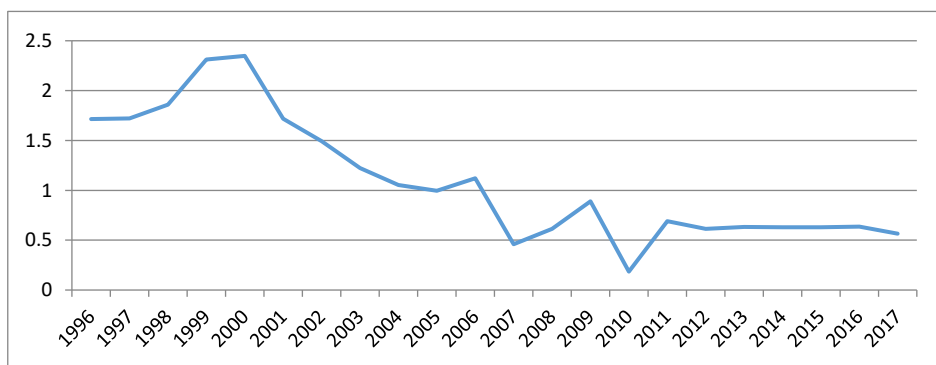


图 9 1996 年-2017 年中对俄农产品贸易互补性

从图 9-10 和表 10 中可以看出, 中国出口与俄国进口综合互补性指数在 1996 年到 2006 年基本都是大于 1 的, 说明在这段时期中国出口到俄罗斯的农产品互补性高于世界水平, 互补性较强; 2007 年到 2016 年这段期间中国出口与俄国进口综合互补性指数都是小于 1 的, 互补性有所下降, 但与同时期的其它金砖国家相比, 却是相对较高的, 说明中国与俄罗斯农产品贸易存在较大的发展空间, 俄罗斯是中国可以实施农业: “走出去” 战略的潜在目的地, 尤其是俄罗斯加入 WTO 后, 其农产品关税的下降为中国农产品出口俄罗斯市场创造了有利的条件。从整体上看, 中国出口与俄国进口综合互补性一路下滑, 主要是由于中国农产品出口比较优势逐渐下降造成的。中国社会科学院发布的“2010 年《农村经济绿皮书》”指出, 加入 WTO 以来, 中国农产品出口增长较快, 但是农产品的竞争力并没有显著增强, 某些农产品的国际竞争力甚至出现下降。这主要是由于中国资源禀赋的变化使制造业产品的比较优势提高, 农产品的比较优势相对削弱。

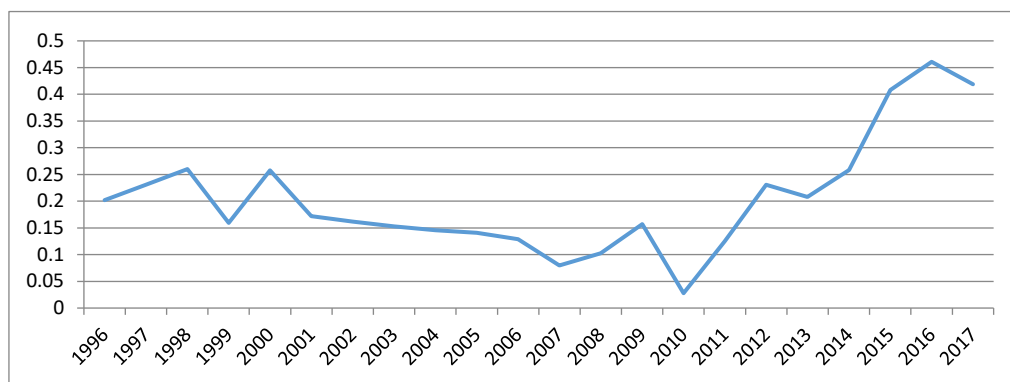


图 10 1996 年至 2017 年俄对中农产品贸易互补性

俄国出口与中国进口综合互补性指数在 1996 年到 2016 年这段期间一直都是小于 1 的, 显著低于世界水平, 互补性较弱。俄罗斯农产品的出口结构与中国的进口结构匹配程度较低, 可能是受经济发展水平和资源禀赋的差异影响, 导致俄罗斯农产品的出口比较优势较低并且中国农产品的进口比较劣势也较低。

#### (2) 中俄农产品贸易分类别互补性

中国出口与俄罗斯进口农产品分类别互补性可见表 11。除 2004 年到 2008 年以外中国出口与俄国进口存在互补性的农产品主要有: 03 章 (鱼及其他水生无脊椎动物), 07 章 (食用蔬菜、根及块茎), 08 章 (食用水果及坚果; 甜瓜等水果的果皮), 20 章 (蔬菜、水果或植物其他部分的制品), 52 章 (棉花), 53 章 (其他植物纤维)。俄罗斯出口与中国进口农产品分类别互补性可见表 12, 除少数年份和个别类别的农产品中, 俄国出口与中国进口分类别互补性都小于 1, 互补性较弱。在中国出口俄罗斯和俄罗斯出口中国的农产品中, 有些是一致的, 说明中国和俄罗斯的产业内贸易有了较大的发展, 中国和俄罗斯之间的农产品贸易存在较大的合作与发展空间。

## 4 结论政策建议

### 4.1 主要结论

(1) 中俄农产品贸易的整体特征方面, 1992 至今中俄农产品贸易额呈“升-降-升”变化趋势。中国作为俄罗斯农产品世界贸易中的出口市场地位起伏很大, 作为进口市场地位则保持稳定, 同时俄中农产品贸易占俄罗斯与世界农产品贸易的份额有较大增长空间。这样的贸易占比对于中俄这样的农业大国来说是相对偏低的, 中俄两国的农产品贸易仍有很大发展空间。

(2) 中俄农产品贸易结构方面, 中俄农产品贸易集中度很高。2016 年中国对俄罗斯农产

品出口主要集中在园艺产品、水产品、其他农产品上，这三类农产品占中国对俄罗斯的农产品出口的比重为 96.26%。大宗农产品、动物产品、饮料及烟草对俄出口较少，且波动性小；中国从俄罗斯农产品进口主要集中在水产品上，2016 年水产品占中国从俄罗斯的农产品进口的比重为 69.45%，其余几类农产品虽然所占份额不高，但最近几年都呈增加趋势，中国从俄罗斯农产品进口正日趋多样化。

(3) 中俄农产品比较优势方面，中国农产品比较优势处于不断下降趋势，俄罗斯农产品比较优势表现为缓慢上升、下降再快速上升的波动过程；中俄农产品 RCA 指数值均小于 0.8，表明中俄农产品的比较优势均比较弱，这与中俄两国都是农产品进口大国的情况是相符的。从 1992 年至 2017 年，中国一直具有比较优势的农产品有 03 章，05 章,50 章；而俄罗斯没有农产品一直保持稳定的比较优势。其中，中国的 01 章-12 章，14 章，17 章，18 章，19 章，21 章，22 章，23 章，50~23 章农产品的比较优势一直不断下降，而 13 章一直平缓上升；中国农产品比较优势处于不断下降趋势，俄罗斯农产品比较优势表现为缓慢上升、下降再快速上升的波动过程。但是俄罗斯的农业资源优势使得俄罗斯农业更具发展潜力，预计未来俄罗斯农产品比较优势仍有进一步增加的空间，并将持续超出中国。

(4) 中俄农产品贸易结合度方面，从 1996 到 2017 年，中国与俄罗斯的贸易结合度大都小于 1，只有 1996 年和 2004 年、2014 年、2015 年的贸易结合度大于 1，这说明中国和俄罗斯的农产品贸易联系整体上是不紧密的。从整体趋势来看，中国和俄罗斯的农产品贸易有三次较大的波动，分别是 2000 年、2006 年和 2011 年，这三年中国和俄罗斯的贸易结合度出现了较大的落差。根据近 20 年来的中国和俄罗斯的贸易结合度变化趋势可以推测，中国和贸易结合度波动会较为频繁，要使两国的贸易结合度大于 1，还需要两国充分利用两国的自然资源、地理环境的比较优势，通过农产品的进出口，弥补两国在农产品方面的劣势。

(5) 中俄农产品贸易竞争性方面，中国与俄罗斯 1996-2017 年在世界市场上的农产品出口相似度指数，整体来看，中国与俄罗斯农产品出口相似度指数是比较高的。两国贸易额排名前五章的农产品从 2012-2017 年都没有什么变化。中俄农产品不仅在具体农产品出口结构上存在竞争，在主要的出口市场上也可能存在竞争。中国的农产品出口市场主要集中在日本、香港、美国、韩国、越南这五个国家和地区，且十年内变化不大；相比中国，俄罗斯农产品五大出口市场相邻年份变化较大。其中，中国也是俄罗斯农产品出口主要市场之一。总的来看，中国与俄罗斯的农产品在韩国均有较大规模出口。中国和俄罗斯在韩国市场上农产品出口竞争比较激烈。虽然中国与俄罗斯在韩国市场上出口的农产品存在较大的差异，但中俄两国在第 3 章农产品的出口上存在较大竞争。

(6) 中俄农产品互补性方面，在 1996 年到 2006 年中国出口与俄国进口综合互补性高于世界水平，互补性较强；2007 年到 2017 年这段期间互补性有所下降，但中国与俄罗斯农产品贸易存在较大的发展空间，俄罗斯是中国“走出去”战略的潜在目的地。俄国出口与中国进口综合互补性一直都是小于 1 的，显著低于世界水平，互补性较弱。俄罗斯农产品的出口结构与中国的进口结构匹配程度较低，可能是受经济发展水平和资源禀赋的差异影响，导致俄罗斯农产品的出口比较优势较低并且中国农产品的进口比较劣势也较低。中国出口与俄国进口存在互补性的农产品主要有 03 章，07 章，08 章，20 章，52 章，53 章。俄罗斯出口与中国进口农产品分类别互补性除少数年份和个别类别的农产品中，俄国出口与中国进口分类别互补性都小于 1，互补性较弱。但在中国出口俄罗斯和俄罗斯出口中国的农产品中，有些是一致的，说明中国和俄罗斯的产业内贸易有了较大的发展，中国和俄罗斯之间的农产品贸易存在较大的合作与发展空间。

## 4.2 政策建议

(1) 提高中俄农产品贸易重视程度。在俄罗斯遭受西方国家经济制裁背景下，把握中俄

两国农产品贸易合作的历史机遇，继续巩固中俄农产品贸易发展成果，防止两国农产品贸易出现较大的波动和后退情况。继续扩大对俄农产品出口贸易，努力占据俄罗斯对西方国家实施农产品市场禁入政策后出现的市场空间，增加从俄罗斯农产品进口贸易，特别是增加从俄罗斯进口多样化农产品贸易，减少中俄农产品贸易顺差，增进中俄农产品贸易联系的紧密程度。

(2) 提高中俄彼此农产品进口市场地位。中俄两国均为彼此农产品重要出口市场，但作为彼此进口市场的地位却是偏低的，需要继续强化和巩固。首要任务就是改善中俄农产品贸易环境，减少或消除中俄农产品贸易壁垒和政策性障碍，促使两国农产品进入彼此市场的农产品种类和数量得到大幅提高，使得中俄具有互补性的农产品在彼此市场上也能够具有比较优势。

(3) 充分发挥中俄农产品比较优势和互补性，优化中俄农产品贸易结构。重点发展中国对俄园艺产品、水产品、其它农产品的出口，继续巩固中国在这几类农产品上的比较优势，对于不具有比较优势的大宗农产品、动物产品、烟草及饮料可以重点选择个别产品培育其比较优势。继续保持俄罗斯水产品的进口力度，同时增加俄罗斯另外几类农产品的进口数量，以增加俄罗斯农产品在中国农产品市场上的竞争力。共同努力把中俄农产品互补性落在实处，使中国的 03 章，07 章，08 章，20 章，52 章，53 章和俄罗斯的水产品等互补性能够在彼此市场上体现出来。

(4) 提高中国对俄罗斯贸易的农产品品质。中国的农产品生产加工企业要注重依靠科技进步、标准化建设及品牌营销继续提高中国农产品品质竞争力，只有达到过硬的农产品品质才会有进入对方市场的保证，另外还应主动深入了解俄罗斯农产品市场和俄罗斯农产品国际贸易动态，丰富产品类型，满足对方的农产品需求。同时中国农业企业要利用好“一带一路”战略契机，通过对俄农业投资、农业技术研发、农业劳务流动、跨国涉农企业运营管理、饮食文化等领域的农业合作，以合作带动中俄农产品贸易往更深层次的发展。

附表:

表 2 1992-2017 年中国农产品的显示性比较优势分析

类别	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
第2章	0.43	0.42	0.6	0.81	0.88	0.74	0.64	0.51	0.48	0.47	0.32	0.23	0.19	0.15	0.2	0.08	0.01	0.01	0.05	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05
第3章	1.87	1.54	1.82	1.92	1.63	1.58	1.4	1.48	1.4	1.44	1.34	1.21	1.19	1.02	0.1	0.64	0.22	1	0.51	1.1	1.06	1.05	1.02	0.97	1	0.89
第4章	0.27	0.25	0.21	0.17	0.21	0.17	0.17	0.17	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08	0.15	0.07	0.14	0.16	0.03	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05
第5章	5.9	5.43	6.06	6.75	6.37	5.51	5.28	5.38	5.57	4.47	3.6	3.13	3.14	2.65	3.28	1.65	0.11	0.11	0.9	1.97	1.93	1.8	1.71	1.43	1.55	1.65
第6章	0.07	0.1	0.11	0.1	0.12	0.12	0.1	0.1	0.09	0.09	0.09	0.07	0.08	0.08	1.58	0.07	0	0	0.05	0.1	0.11	0.15	0.15	0.11	0.13	0.11
第7章	2.54	2.82	2.96	2.62	2.53	2.23	2.07	2.05	1.97	1.8	1.59	1.34	1.26	1.24	2.88	0.83	0.05	0.09	0.63	1.34	1.04	1.03	0.99	0.98	1.14	1.17
第8章	0.56	0.7	0.58	0.58	0.54	0.47	0.42	0.41	0.38	0.34	0.35	0.34	0.33	0.29	0.15	0.25	0.03	0.03	0.16	0.35	0.38	0.37	0.34	0.37	0.4	0.38
第9章	1.97	1.93	1.07	0.97	1.21	0.91	0.85	0.88	0.84	1.01	0.9	0.79	0.84	0.66	0.18	0.37	0.11	0.12	0.22	0.39	0.37	0.44	0.41	0.4	0.4	0.46
第10章	1.69	1.9	1.58	0.06	0.14	0.87	1.2	0.97	1.26	0.7	0.91	1.13	0.25	0.43	0.18	0.25	1.04	1.8	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.02	0.04	0.05
第11章	0.5	0.64	0.52	0.5	0.97	0.8	0.51	0.42	0.44	0.44	0.38	0.34	0.32	0.32	6.39	0.36	0.57	0.55	0.19	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.25	0.26
第12章	2.22	1.95	2.51	2.13	1.71	1.15	1.08	1.24	1.14	1.03	0.88	0.7	0.61	0.61	0.12	0.34	0.05	0.08	0.14	0.27	0.25	0.25	0.25	0.24	0.23	0.19
第13章	0.77	0.96	0.78	0.76	0.91	0.87	0.75	0.63	0.61	0.73	0.66	0.47	0.37	0.44	3.27	0.47	0.01	0.01	0.57	1.18	0.69	1.07	1.23	1.3	1.37	1.41
第14章	5.22	4.88	4.99	4.45	4.41	3.64	3.39	2.81	2.53	2.14	2.12	1.56	1.44	1.36	2.55	0.84	0.42	0.36	0.35	0.97	1.12	0.94	0.95	1.01	1.14	0.96
第15章	0.34	0.47	0.76	0.52	0.51	0.73	0.34	0.16	0.17	0.14	0.09	0.07	0.06	0.1	1.03	0.05	0.35	0.55	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06
第16章	1.51	2.07	2.15	2.51	3.2	2.75	2.34	2.69	3.18	2.99	2.75	2.39	2.4	2.29	0.54	1.6	0.17	0.17	0.77	1.67	1.67	1.53	1.42	1.3	1.37	1.66
第17章	2.64	2.39	0.92	0.44	0.57	0.33	0.34	0.28	0.32	0.22	0.28	0.18	0.19	0.23	0.41	0.17	0.14	0.16	0.12	0.23	0.21	0.24	0.27	0.28	0.29	0.30
第18章	0.21	0.24	0.13	0.11	0.11	0.13	0.1	0.09	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.55	0.05	0.36	0.35	0.03	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.06
第19章	0.61	0.5	0.46	0.47	0.5	0.51	0.47	0.5	0.56	0.54	0.46	0.39	0.36	0.34	0.09	0.22	0.27	0.26	0.12	0.26	0.23	0.2	0.18	0.17	0.18	0.17
第20章	1.81	1.88	1.63	1.75	1.69	1.57	1.48	1.52	1.69	1.71	1.57	1.42	1.35	1.31	0.45	1.1	0.07	0.08	0.56	1.17	1.17	1.09	0.99	0.91	0.93	0.96
第21章	0.43	0.41	0.37	0.41	0.48	0.52	0.56	0.58	0.55	0.52	0.47	0.4	0.34	0.32	0.06	0.26	0.33	0.34	0.15	0.34	0.34	0.33	0.32	0.34	0.37	0.36
第22章	0.94	0.63	0.42	0.37	0.37	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.29	0.22	0.2	0.16	0.01	0.09	0.17	0.17	0.05	0.11	0.11	0.1	0.12	0.14	0.15	0.14
第23章	1.12	0.96	0.83	0.55	0.49	0.34	0.28	0.33	0.33	0.32	0.36	0.26	0.27	0.22	0.15	0.22	0.17	0.22	0.16	0.3	0.36	0.29	0.31	0.27	0.3	0.28
第24章	0.84	1.13	1.05	1.36	1.25	0.75	0.71	0.44	0.35	0.42	0.4	0.39	0.33	0.29	2.51	0.19	0.43	0.55	0.13	0.27	0.26	0.25	0.23	0.24	0.26	0.24
第50章	14.2	8.74	11.3	11.1	10.1	9.28	9.41	9.97	9.46	8.42	7.29	6.31	5.76	5.56	1.69	3.85	0	0	2.74	4.92	4.79	4.43	4.2	3.81	4.09	4.02
第51章	2.73	2.4	2.11	1.63	1.84	1.88	1.78	2.43	2.53	2.13	1.86	1.9	1.94	1.87	0.11	1.29	0.05	0.05	0.92	1.75	1.59	1.53	1.4	1.25	1.25	1.10
第52章	4.78	4.85	3.87	3.73	3.2	2.66	2.5	3.03	2.88	2.51	2.76	2.49	2.11	2.19	0.22	1.7	0.05	0.04	1.14	2.14	2	2.14	2.09	2.08	2.26	2.10
第53章	9.51	6.78	5.46	4.9	5.03	4.63	4.14	4.23	4.26	3.79	3.4	2.65	2.25	2.27	1.62	1.51	0.22	0.25	1.17	2.48	2.36	2.54	2.91	2.4	2.28	2.15

表 3 1996-2017 年俄罗斯农产品的显示性比较优势分析

类别	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
第1章	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0	0	0	0	0	0.02	0	0.01	0.02	0.03	0.05	0.05	0.06	0.06
第2章	0.04	0.05	0.03	0	0.01	0.01	0	0.02	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.11	0.12
第3章	0.33	0.5	0.71	0.52	0.48	0.58	0.55	0.49	0.11	0.04	0.04	0.03	0.03	1	1.02	0.88	0.92	0.99	0.98	1.35	1.62	1.48
第4章	0.16	0.12	0.12	0.07	0.21	0.16	0.13	0.12	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.16	0.06	0.05	0.13	0.12	0.12	0.14	0.17	0.14
第5章	0.07	0.05	0.06	0.12	0.18	0.23	0.12	0.13	0.3	0.01	0.02	0.01	0.02	0.11	0.12	0.14	0.17	0.27	0.25	0.36	0.48	0.4
第6章	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01
第7章	0.07	0.03	0.04	0.03	0.06	0.05	0.07	0.08	0.11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	0.04	0.14	0.2	0.14	0.14	0.29	0.38	0.33
第8章	0.04	0.04	0.07	0.07	0.08	0.09	0.06	0.1	0.03	0.01	0.01	0	0.03	0.01	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
第9章	0.09	0.08	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05	0.06	0.01	0.01	0.02	0.12	0.08	0.06	0.1	0.13	0.11	0.11	0.13	0.19	0.16
第10章	0.15	0.34	0.33	0.13	0.18	0.49	1.67	1.59	0.02	0.1	0.11	0.23	0.19	1.8	1.08	1.32	1.78	1.37	2.19	2.55	3.43	3.52
第11章	0.34	0.22	0.24	0.31	0.47	0.46	0.23	0.48	0.03	0.02	0.03	0.05	0.1	0.55	0.22	0.61	0.29	0.3	0.35	0.68	0.79	0.65
第12章	1.23	0.72	0.9	0.29	0.62	0.17	0.08	0.17	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.05	0.09	0.15	0.12	0.14	0.21	0.32	0.29
第13章	0.02	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0	0.02	0.03	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.07
第14章	0	0	0	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.13	0	0.03	0.04	0.05	0.36	0.27	0.36	0.62	0.51	0.52	0.61	0.64	0.31
第15章	0.1	0.09	0.08	0.08	0.27	0.2	0.14	0.13	0	0.02	0.04	0.04	0.06	0.55	0.32	0.34	0.73	0.79	0.88	1.04	1.45	1.26
第16章	0.23	0.24	0.17	0.23	0.27	0.29	0.2	0.14	0.21	0.02	0.02	0.02	0.03	0.17	0.08	0.07	0.13	0.15	0.13	0.13	0.17	0.20
第17章	0.45	0.23	0.21	0.27	0.28	0.24	0.29	0.19	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.16	0.08	0.13	0.18	0.19	0.21	0.21	0.31	0.52
第18章	0.22	0.26	0.22	0.19	0.29	0.31	0.31	0.31	0	0.03	0.04	0.05	0.05	0.35	0.26	0.26	0.44	0.54	0.52	0.47	0.64	0.58
第19章	0.06	0.06	0.09	0.13	0.14	0.15	0.16	0.21	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.26	0.15	0.14	0.26	0.32	0.34	0.38	0.43	0.37
第20章	0.06	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.04	0.04	0.1	0.14	0.16	0.19	0.21	0.20
第21章	0.09	0.19	0.13	0.09	0.17	0.21	0.2	0.28	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.34	0.19	0.18	0.29	0.34	0.34	0.38	0.42	0.43
第22章	0.45	0.28	0.12	0.1	0.11	0.12	0.16	0.16	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.17	0.13	0.12	0.17	0.18	0.18	0.19	0.23	0.20
第23章	0.03	0.05	0.08	0.06	0.08	0.1	0.07	0.13	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.22	0.21	0.22	0.39	0.46	0.56	0.64	0.76	0.58
第24章	0.04	0.03	0.01	0.01	0.06	0.13	0.19	0.28	0.03	0.04	0.04	0.04	0.06	0.55	0.36	0.36	0.54	0.58	0.68	0.92	0.96	0.72
第50章	0.04	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第51章	0.22	0.28	0.26	0.13	0.13	0.1	0.16	0.15	0.25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.04	0.05	0.08	0.08	0.13	0.1	0.09
第52章	0.27	0.26	0.27	0.23	0.26	0.25	0.23	0.19	0.26	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06
第53章	0.41	0.41	0.87	1.64	1.15	1.15	1.28	1.28	0.3	0.12	0.1	0.05	0.03	0.25	0.16	0.15	0.19	0.15	0.1	0.11	0.15	0.1

表 11 1996年至2017年中国出口与俄国进口农产品的分类贸易互补性指数

类别	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
第1章	0.20	0.29	0.28	0.29	0.25	0.26	0.21	0.20	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.61	0.28	0.42	0.41	0.25	0.14	0.21	0.18	0.12
第2章	3.03	3.86	3.91	2.92	2.33	2.91	2.46	1.38	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.54	0.39	0.27	0.26	0.22	0.19	0.16	0.10	0.08
第3章	1.03	1.10	0.86	0.85	0.82	1.07	1.38	1.39	0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	2.10	1.72	1.57	1.53	1.75	1.56	1.20	1.18	0.97
第4章	0.29	0.32	0.32	0.28	0.29	0.29	0.27	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.11	0.09	0.13	0.14	0.12	0.14	0.16	0.11
第5章	3.71	2.11	3.03	8.09	6.19	3.63	3.00	2.62	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	2.88	2.27	1.78	1.37	1.00	0.76	0.83	0.77	0.91
第6章	0.04	0.06	0.08	0.05	0.09	0.12	0.12	0.09	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.35	0.30	0.27	0.31	0.27	0.37	0.38	0.33	0.22
第7章	3.46	3.53	4.16	6.41	5.79	2.40	2.40	2.64	0.02	0.02	0.07	0.02	0.04	3.09	3.30	3.87	2.53	2.71	2.90	2.53	1.99	2.18
第8章	1.44	1.28	1.25	1.10	1.61	1.16	1.26	1.34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	2.08	1.61	1.48	1.55	1.45	1.17	1.29	1.28	1.23
第9章	1.89	1.34	1.98	3.20	2.81	3.02	2.91	2.35	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	1.09	0.75	0.55	0.57	0.75	0.72	0.95	1.31	0.92
第10章	0.18	1.05	1.00	3.35	3.91	0.68	0.58	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
第11章	3.71	2.13	1.68	2.22	2.50	2.04	1.67	1.26	0.01	0.00	0.06	0.00	0.01	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.15	0.13	0.17	0.15
第12章	0.72	0.49	0.59	1.55	1.02	0.63	0.61	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.40	0.28	0.22	0.17	0.20	0.30	0.37	0.37	0.25
第13章	0.73	0.86	0.79	1.05	1.36	1.78	1.58	1.05	0.00	0.01	0.05	0.01	0.03	2.40	1.71	1.32	0.49	1.05	1.52	2.79	3.23	2.93
第14章	8.32	3.47	1.99	4.62	4.13	3.46	1.91	0.90	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.36	0.15	0.14	0.29	0.20	0.24	0.33	0.55	0.36
第15章	0.75	1.42	0.74	0.71	0.63	0.52	0.30	0.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.06	0.06	0.05
第16章	8.35	6.62	5.42	3.24	3.60	3.86	3.04	2.13	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.97	0.85	0.96	1.28	1.30	1.29	0.92	1.01	1.46
第17章	3.77	2.02	3.46	4.52	3.79	2.66	2.35	1.37	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.45	0.52	0.54	0.16	0.19	0.31	0.38	0.27	0.20
第18章	0.21	0.25	0.23	0.24	0.23	0.17	0.19	0.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.10	0.12	0.14	0.12	0.14	0.15	0.14	0.15	0.11
第19章	1.15	1.15	1.04	0.39	0.55	0.54	0.41	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.18	0.16	0.15
第20章	3.11	3.11	3.41	2.84	3.82	4.07	4.30	3.63	0.03	0.03	0.01	0.03	0.05	2.45	2.11	1.84	1.84	1.70	1.69	1.52	1.45	1.39
第21章	1.11	1.63	2.15	1.73	1.67	1.73	1.47	1.34	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.69	0.64	0.60	0.56	0.56	0.55	0.54	0.56	0.53
第22章	0.87	0.84	1.01	0.56	0.75	0.76	0.61	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.19	0.17	0.19	0.18	0.20	0.21	0.22	0.23
第23章	0.25	0.22	0.30	0.69	0.47	0.47	0.61	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.53	0.38	0.31	0.34	0.30	0.32	0.31	0.30	0.25
第24章	2.42	2.62	4.36	2.90	2.21	2.13	1.99	1.75	0.01	0.01	0.09	0.01	0.01	0.79	0.64	0.52	0.44	0.44	0.40	0.60	0.67	0.42
第50章	1.86	1.08	2.99	7.96	5.69	0.96	0.58	0.19	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.66	0.34	0.66	2.11	0.76	2.47	0.45	0.64	0.57
第51章	0.46	0.45	0.74	1.52	1.63	1.08	0.89	0.60	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.23	0.19	0.35	0.22	0.15	0.17	0.16	0.21
第52章	3.04	2.87	2.44	6.86	7.66	4.65	3.28	2.45	0.03	0.02	0.00	0.01	0.02	2.03	1.21	1.22	1.04	1.03	1.11	1.42	1.84	1.51
第53章	1.61	1.11	2.08	6.44	7.27	5.68	1.63	3.00	0.06	0.02	0.02	0.01	0.02	1.29	1.11	1.27	2.13	1.90	2.24	1.88	2.18	1.81



表 12 1996 年至 2017 年俄国出口与中国进口农产品的分类贸易互补性指数

类别	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
第 1 章	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01
第 2 章	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.09	0.08
第 3 章	0.20	0.29	0.50	0.41	0.40	0.47	0.44	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.60	0.53	0.53	0.56	0.56	0.84	1.08	0.99
第 4 章	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.05	0.07	0.08	0.06	0.08	0.07
第 5 章	0.07	0.06	0.06	0.14	0.23	0.30	0.14	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.07	0.07	0.08	0.12	0.11	0.19	0.29	0.21
第 6 章	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
第 7 章	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.04	0.08	0.05	0.05	0.11	0.10	0.08
第 8 章	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
第 9 章	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01
第 10 章	0.30	0.29	0.24	0.07	0.09	0.22	0.49	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.21	0.24	0.69	0.54	1.06	2.21	2.13	2.05
第 11 章	0.12	0.08	0.08	0.15	0.16	0.17	0.08	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.08	0.19	0.09	0.12	0.16	0.35	0.41	0.35
第 12 章	0.89	1.21	2.29	0.86	2.73	0.69	0.22	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.36	0.20	0.35	0.60	0.49	0.60	0.93	1.39	1.16
第 13 章	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02
第 14 章	0.00	0.01	0.02	0.01	0.05	0.06	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.69	0.66	1.10	1.65	1.13	1.14	1.32	1.63	0.49
第 15 章	0.25	0.21	0.17	0.14	0.40	0.20	0.20	0.22	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.80	0.39	0.37	0.88	0.83	0.80	0.93	1.21	0.94
第 16 章	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
第 17 章	0.39	0.13	0.09	0.12	0.10	0.14	0.11	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.05	0.09	0.09	0.08	0.11	0.10	0.15
第 18 章	0.03	0.05	0.04	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.04	0.06	0.08	0.09	0.09	0.10	0.08
第 19 章	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.04	0.04	0.09	0.12	0.13	0.22	0.29	0.27
第 20 章	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03
第 21 章	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.10	0.14	0.14
第 22 章	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.08	0.10	0.09
第 23 章	0.06	0.15	0.22	0.07	0.11	0.07	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.13	0.11	0.16	0.20	0.26	0.38	0.34	0.25
第 24 章	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.05	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.09	0.11	0.16	0.18	0.30	0.42	0.42	0.29
第 50 章	0.08	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
第 51 章	0.82	1.08	0.93	0.49	0.57	0.40	0.56	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.11	0.09	0.14	0.19	0.19	0.33	0.25	0.22
第 52 章	1.05	1.05	0.80	0.59	0.62	0.56	0.47	0.38	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.06	0.05	0.09	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08
第 53 章	0.99	1.49	3.00	4.24	2.85	2.80	3.21	2.98	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.44	0.25	0.27	0.28	0.23	0.21	0.19	0.35	0.20

# Optimal Planning of EV Charging Stations Considering Environmental Benefit

Huaping Hu<sup>[a]</sup> Ying Chen<sup>[a]</sup> Lie Ju<sup>[b]</sup> Liwen Deng<sup>[b]</sup>

(Northwest A & F University)

**Abstract:** With the development of renewable energy technique, electric vehicle (EV) has potential to solve global warming problem which is caused by  $CO_2$ . In China, in order to extent the EV industry, it is very crucial to construct the high-efficient fast charging station. The environmental factor is most important in the future city planning, which can be measured by carbon emission. In this paper, a Multi-Objective Programming (MOP) model based on cost minimization is established to solve the charging station location problems. The minimal number of stations can be determined by solving the least circular covering rectangle problem. The rasterization method and the genetic algorithm is introduced to calculate the shortest path of charging. In the end of this paper, the result of minimum costs and the distribution of charging stations in the map will be given out. This design can maximize the overall benefits of charging station enterprises as well as accordant with green urban concepts, which is reference to the future work of city charging station planning.

**Key words:** Charging station location, genetic algorithm, carbon emission

## 1. Introduction

In the background of global warming and energy exhaustion, electric vehicle (EV) becomes the focuses approach to solve the two problems. Some researches show that

[a] **Huaping Hu** (corresponding author), Lecture of College of Economic and Management in Northwest A & F University, main research on New Technology Economic and Agricultural Economic. Email: huhuaping01@hotmail.com

[a] **Ying Chen**, Student of College of Economic and Management in Northwest A & F University, main research on Environmental Economic. Email: 18821673401@163.com

[b] **Lie Ju**, Student of College of Information Engineering in Northwest A & F University, main research on Computer Vision. Email: julie334600@gmail.com

[b] **Liwen Deng**: Student of College of Information Engineering in Northwest A & F University, main research on Computer Technology and Application. Email: dengliwen408@163.com

the charging station configuration ranks third among all the concerns of users, next to the price and life of battery and the mileage per charge. In China, by the end of 2017, the total number of EVs had reached 1.8 million, and the number of charging points had only reached 450,000, which means that there are 8 EVs waiting for one charger. According to Energy-Saving and New Energy Vehicle Development Plan (2011-2020), by 2020, the number of EVs would reach to 5 million. The charging station planning has become the problems that brook no delay. Economic affordability and environmental problems are the main factors that contributes to development of EV[1] .The energy-saving function of EV has been analyzed by several research. The benefit analysis of energy conservation and reduction emission of electric vehicle and conventional vehicle has been calculated by Zhang. It has been introduced that with the increasing use of clean energy, the energy-saving function will be more obvious [2] .

With the increasing of the quantity of EVs, establishing several supporting infrastructures quickly is crucial to the popularization and commercialization of EV industry[3]. It is vital to find a suitable business model of charging station in any country. For example, in China, the government-supported enterprise predominance business model is most reasonable, which means the private enterprise should play a most important role in charging station planning[4]. According to the study of [5] Sadeghi-Barzani, fast charging station that can make EVs charge in 20 minutes has good foreground. Economic and geographic information are used to build a Mixed-Integer Non-Linear (MINLP) optimization model, and it is solved by using genetic algorithm technique, finally the place and size of the charging stations can be determined. In this paper, the fast charging station funded by private enterprise will be discussed. But it also exists many problems, one of which is how to determine the position of charging station in the city. Fuzzy AHP method is used to prove that determining and evaluating the location is the key of charging station planning, and the effective factors consists of nature factors, management environment, public facilities and economic factors[6]. Moreover, the result of a fuzzy TOPSIS method shows that the

social and environmental criteria should be paid more attention in the location system[7]. Based on Pareto optimum theory, benefit maximization model can be built up. Zhao [3] designed a model to forecast the position and the number of charging station according to the number of EVs, which is not limited by space and time. Zhang's model[8] composes of construction costs, equipment costs, and running costs including power supply loss etc. And quantum PSO algorithm is adopted in this paper. Despite the environmental factor is crucial, currently the researches from the perspective of low-carbon is very few. A reasonable station planning can minimize the extra carbon emission caused by the additional routes of EV charging[9], which is accordant with low-carbon environmental protection concepts of city planning. Cheng[10] established a multi-objective location model which is based on maximize revenue and the low-carbon benefit has been considered. Due to the carbon credits can be traded in the market, carbon emission can be transformed into economic benefit. In addition, carbon emission is related to the driving distance of EV users and the station should be located near electric substations to reduce the electric loss[11], so the location problem can be defined as a smallest distance problem.

Many researches show that genetic algorithm (GA) is suited for solve MOP problem, especially those high-dimension stochastic problems with nonlinearities or discontinuities, due to its fine global search capability [12]. But GA has weak local searching ability and is apt to premature stagnate. There are a few improved algorithms such as Non-Dominated Sorted Genetic Algorithm-II(NSGA-II) [13] can overcome those shortcomings, those methods have been developed quickly and applied widely. In the case of selection for thermal power plant[14], the map is divided into several rectangular cells by GIS, and NSGA-II has been used to find a practical location plan.

In this paper, economic costs and environmental factors are included, and a Multi-Objective Programming (MOP) model is established. It should be noticed that the environment is the major concern in our research. Taking Beijing city as an example, there will be 400,000 EVs in Beijing by 2020. In order to meet their charging needs in

2020, to reduce the carbon emission and to get the most profit, this paper strives to find the minimum number of charging stations that can cover all demand point in the map. Beijing city is converted to a grid map data, and the obstacles (mountain, lake, scenic spot, etc.) are identified and is screened out. Genetic algorithm is used to solve this problem and the coordinates of points are coded into binary bit string to avoid premature convergence. Moreover, the key of this algorithm is to determine the Initial Population. The traffic flow is often used as a controlled variable in many studies, but in this paper, it is considered to optimize the randomly generated initial population. This is also an important part of our work, and the detail will be given in 3.7. In the end of this paper, the result of overall benefits and station distribution are given out.

## 2. Nomenclature and Models

The overall benefit consists of economic benefit, social benefit and environmental benefit. According to H Cheng[10], the social benefit can be transformed into economic benefit, therefore, only economic costs and carbon emission costs should be considered in the benefit system of the charging station. On one hand, the economic benefit depends on construction cost and operation cost. On the other hand, it is assumed that all the distance between demand point and charging station can result in extra cost. A proper charging station planning can shorten the extra driving distance and reduce the extra carbon emission, then the environmental benefit can be maximized. Those carbon dioxide emission which are caused by extra electric use can be transformed into economic cost. On this basis, a complex location problem can be simplified as a multi-objective optimal problem and an overall benefit model should be built. Table 1 highlights all the agent variables used in this model.

Table 1. Nomenclature

Nomenclature		
$C_{con}$	Construction cost	\$

$r$	Rate of return on investment	%
$C_{land}$	Land cost	\$
$C_{fixed}$	Fixed cost	\$
$l_i$	Unit land cost of the $i$ th charging station	\$
$S_i$	Site area of the $i$ th charging station	$m^2$
$\alpha$	Ratio of the cost of equipment maintenance to the income of the charging station	%
$\beta$	Rate of line loss	%
$Q$	Annual profit of the $i$ th charging station	\$
$K$	Annual charge times of per EV	
$T$	Depreciation year	
$P$	Charging cost on a single charge	\$
$R$	Maximum driving range of EV on a single charge	m
$N_i$	The number of EV in a service area	km
$n$	The number of charging station which are selected	
$C_{CO_2}$	Carbon costs	\$
$e_{CO_2}$	Average emission factors of $CO_2$	kg/kwh
$d_{nm}$	Euclidean distance between demand point to charging station	km
$P_{CO_2}$	Price of carbon	\$
$e_0$	Emission factors of $CO_2$ in Beijing	
$\varphi_{chrg}$	Charge efficiency	%
$E_{1km}$	Electric energy required for an EV for one thousand meters	kwh/km

## 2.1 Economic Benefit Model

The income of charging station depends on the requirements of charging in the service range. It assumes that the service range of each charging station are same, the charging income is a constant. In order to maximize the economic benefit, the economic cost should be minimized. The total economic cost includes construction cost and operation cost.

1) The annual construction cost consists of land cost and infrastructure investment.

$$C_{\text{con}} = \frac{r(1+r)^T}{(1+r)^T} \sum_{i=1}^n (C_{\text{land}} + C_{\text{fixed}}) \quad (1)$$

In which  $C_{\text{fixed}}$  is the infrastructure investment;  $C_{\text{land}}$  is land cost, which can be calculated as:

$$C_{\text{land}} = l_i \cdot S_i \quad (2)$$

2) The annual operation cost is proportional to the annual income:

$$C_{\text{ope}} = \sum_{i=1}^n (\alpha \cdot Q_1 + \beta \cdot Q_2) \quad (3)$$

For station  $i$ , the charging income  $Q_1$  is calculated as:

$$Q_1 = k \cdot p \cdot N_i \quad (4)$$

The power using cost  $Q_2$  is calculated as:

$$Q_2 = k \cdot p_0 \cdot q \quad (5)$$

In which  $p_0$  is the price of local electricity;  $p$  is charging cost of an EV driver on a single charge;  $q$  is electric quantity using of each EV on a single charge.

## 2.2 Environmental Benefit Model

The  $CO_2$  emission reduction is the most important part of environmental benefit. For EVs, a proper charging station planning not only can meet all the charging demands in the service range, but also can reduce the carbon emission to the utmost extent. The carbon emission depends on the distance between demand point and station point as well as the power network loss. It is assumed that all the demand points are fixed, then

EVs can follow a certain trajectory to reach to the closest station. Under these conditions, power can be optimally distributed, and the network loss will be the lowest. The objective function is established as:

$$C_{CO2} = e_{co2} \cdot \sum_n^{i=1} \sum_m^{j=1} d_{nm} \cdot P_{co2} \quad ( 6 )$$

In which  $d_{nm}$  is the Euclidean Distance between demand point and charging station;  $e_{co2}$  is carbon emission factor, which is calculated as:

$$e_{co2} = \frac{e_{elec} \cdot E_{1km}}{\varphi_{chrg}} \quad ( 7 )$$

In which  $e_{elec}$  is the provincial carbon dioxide emission factor. It depends on the energy generation mix for city, in locations where electric power is primarily generated by renewable energy, the  $e_{elec}$  is lower.

### 2.3 Constraints

Fig. 1 demonstrates that every demand point within the urban plan areas should be covered by the service range of all charging stations, which can be considered as the MCO (Minimum Coverage Overlap) Algorithm. Meanwhile, based on the economic benefit model, the total cost is directly proportional to the number of charging station. Therefore, it is vital that the least charging stations should be designed to meet the needs of all EVs. The radius of the circle (the service range of charging station) and the area of the rectangle (the area of rasterization map) are known, the minimum number of charging stations can be determined.

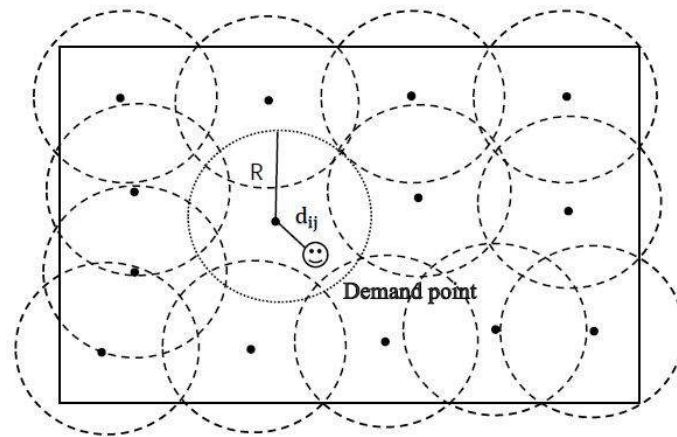




Fig. 1 . Constraints schematic diagram

- 1) Euclidean distance from demand point to charging station should be less than the maximum driving range of EV on a single charge.

$$d_{ij} < R \quad ( 8 )$$

- 2) The number of chosen charging station should be less than the number of raster data.

$$n < c \quad ( 9 )$$

### 3. Genetic Algorithm

Genetic algorithm (GA) is an adaptive searching technique based on a selection and reproduction mechanism found in the natural evolution process, which was introduced by Professor J.Holland of Michigan University in 1975.[12] Fonseca proposed that GA has several advantages to solve nonlinear and discontinuous high-dimension stochastic problems, in addition, some other research show that GA is suitable for settling multi-objective optimization problems (MOP) .

The charging station location problem has been simplified by a MOP problem. Our model includes economic benefit and environmental benefit. The charging station cost should be minimized in economic model, it relates to land price and the number of charging station. In environmental model, carbon emission depends on the position of charging station and the distance of demand point. It is obvious that the more stations, the higher the cost. And the route of charging will be shortened, and the extra carbon emission is simultaneously reduced. In order to precisely determine the optimal solution of position and the number of station, GA is selected. The algorithm flowchart Fig. is given below. It is noticed that the coordinates (x , y) are encoded in this paper, which avoids the GA's premature convergence.

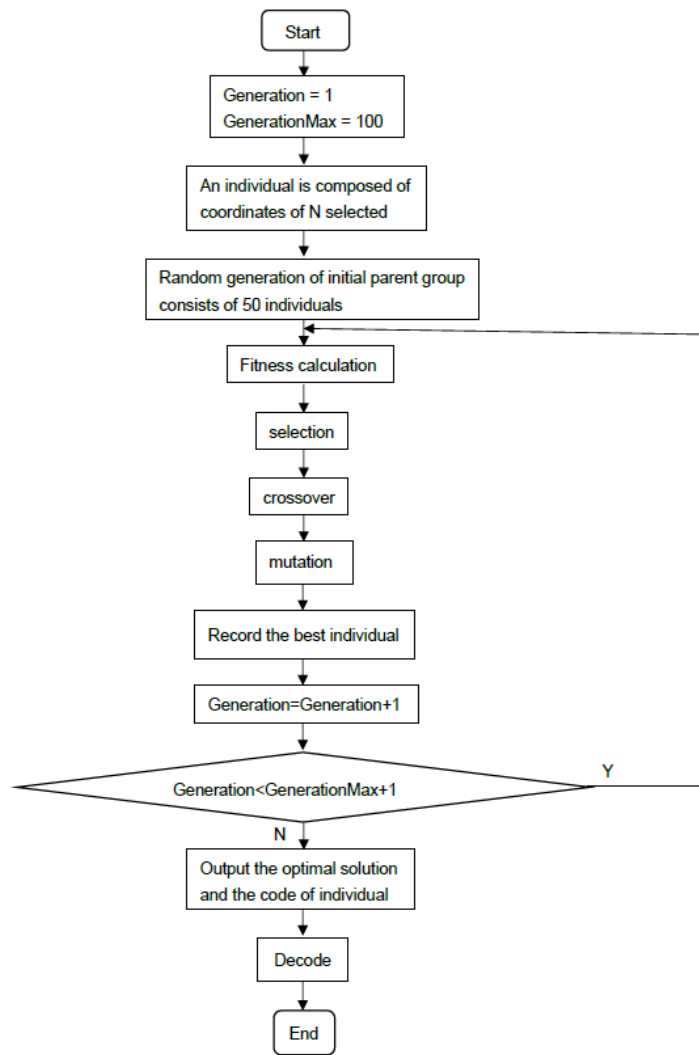


Fig. 2. Flow chart of genetic algorithm

### 3.1 Algorithm Design

#### 3.1.1 Code Design

Base on Python 3.6, the PIL package is used to get a grip map of Beijing. Then putting it on the axis, the coordinates of demand points will be obtained. It is assumed that  $x$  is abscissa,  $y$  is ordinate, in this  $m \times n$  grid. According to the rule of binary code,  $x$  as well as  $y$  is represented to binary encoding of  $k$  length,  $x, y \in (L, M)$ , there are  $2^k$  different coding:

Table. 2. Binary encode

Binary	Decimal	$x$
000000000000000000	0	L
000000000000000001	1	L+ b

000000000000000010	2	L+2b
000000000000000011	3	L+3b
.....	.....	.....
111111111111111111	$2^k - 1$	M

---

In which  $M = L + (2^k - 1)b$ ,  $b = \frac{M-L}{2^k-1}$ . The precision of  $x$  depends on  $k$ , suppose that the precision of  $x$  and  $y$  is the 4 bits after the decimal point,  $k$  can be calculated by:

$$2^{k-1} < (M-L) \cdot 10^4 \leq 2^k - 1 \quad (10)$$

In this paper, a chromosome individual is composed of binary string of  $i$  charging station position:

x <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	chromosome
001011	100100	110011	010010	001011100100110011010010

### 3.1.2 Decode

The binary code should be restored into the position coordinates. Assume that  $x, y \in (L, M)$ , the length of binary string is  $k$ , the binary code is:

$$a_k a_{k-1} a_{k-2} \dots a_3 a_2 a_1 b_k b_{k-1} b_{k-2} \dots b_3 b_2 b_1 \quad (11)$$

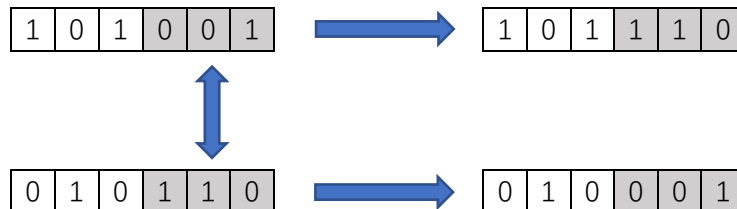
Then the decoding formulas is presented:

$$x = L + \sum_{i=1}^k a_i 2^{i-1} \frac{M-L}{2^k-1} \quad (12)$$

$$y = L + \sum_{i=1}^k b_i 2^{i-1} \frac{M-L}{2^k-1} \quad (13)$$

### 3.1.3 Copulation

In case of keeping individual diversity, a locus is selected randomly to act as an actual crossing site and to partially exchange chromosomes of the parent.



### 3.1.4 Mutation

In order to avoid the local convergence of GA, a mutation gene is selected randomly from the chromosome, and it results in the conversion of binary code 1 into 2.



### 3.1.5 Fitness Evaluation

The selection of best fitness individual who meet constraint condition should be continue to optimize process. In this paper, the overall benefit function is viewed as an evaluation function of individual fitness.

### 3.1.6 Reproduction

According to the roulette wheel selection method,  $N$  is the number of individual in population,  $f_i$  is the individual fitness,  $p$  is the probability of reproduction which is calculated as:

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{k=1}^N f_k} \quad (14)$$

Reproduced chromosomes are determined by random numbers which are generated by computer and are uniform distribution between 0 and 1. The best fitness individual is more likely to be selected, and its gene can spread in the population. Meanwhile, those individuals with small reproducing chances will be wiped out.

## 3.2 Algorithm Optimization

It is vital to determine the number of initial populations. Some researches selected the point suitable for establishing the charging station subjectively, but this paper may provide a new method. First, according to the traffic flow and pedestrian flow, the object area can be divided into several business center as the figure. 3 shows.

Second, the MCO (Minimum Coverage Overlap) Algorithm[15] is used to find out the suitable number of initial. This algorithm is proposed to improve coverage of randomly deployed wireless sensor networks, but it is also feasible for determining the minimum

value. As shown in the figure. 4, the algorithm is described as follows:

The algorithm is described as follows:

- (1) Determine the coordinate and node number of each charging station node, and construct a set of neighbor nodes according to other charging station nodes;
- (2) For each neighbor node, the coverage sector between the node and each neighbor node is calculated according to the service radius and distance of the charging station.
- (3) According to the distribution of overlapping sectors, the circumferential coverage of nodes is determined.
- (4) Nodes move along the direction with the smallest overlap factor.
- (5) The node moves a distance, and then repeats the above process.

Ultimately, the circle with radius of service range of charging station covers the whole rectangular area.

In actual application, GA will fall into premature convergence due to the decrease of population diversity. In order to prevent premature and guarantee convergence, in this paper, a suitable population is selected as 50, and the multi-point crossing operator is adopted. Moreover, in order to prevent some individuals with poor fitness to lose at the beginning, the fitness function should be changed by finding the D-value between the fitness and the average fitness. The fitness is improved due to a constant is added in a linear way so that they can be retained.

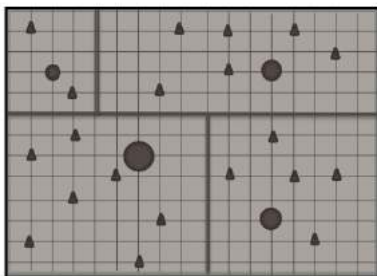


Fig. 3. Business center

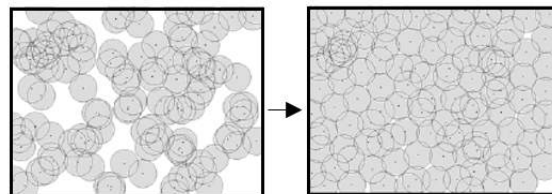


Fig. 4. MCO Algorithm

## 4. Example and Result

Taking Beijing for example, according to The Energy Saving and Consumption Reduction and Climate Change Plan for Beijing during the 13th five-year, the electric car ownership will increase rapidly by 2020. It is urgent to propose a reasonable plan for charging station location. Moreover, there are many recognizable and intensive business centers in Third Ring Road of Beijing. As Fig.5 shows, using Python 3.6 PIL package to divide the site into several  $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$  units and screens out obstacle area in which cannot build charging stations. According to the traffic flow datasets from official website, Third Ring Road area can be divided into many sectors which are centered on point of density. So that in sectors with larger traffic flows, there are also more demand points for distribution. All value measured in US dollars at current market exchange rates.

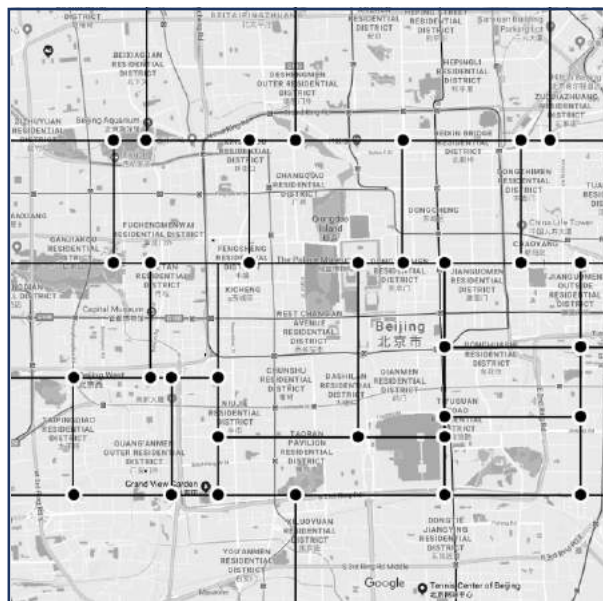


Fig. 5. Rasterization Map of Third Ring Road in Beijing

In the objective function 1, due to the selection of the 4<sup>th</sup> stage charging station which can accommodate 8 chargers[8], the value of reference parameter is determined as:

$C_{fixed} = 313\,433, \$$ ;  $r=12\%$ ;  $S_i = 165, \text{ m}^2$ . And our design of the 4<sup>th</sup> stage charging station has given in Fig.7. Different districts have different land price in Beijing, so the land cost of charging station depends on the district in which it is located. In a certain

area, an EV needs to charge 109 times a year, and the price of each charging is 11 dollars. There are 60 EVs charge in a certain station every day, so  $N_i = 60$ . $\alpha = 15\%$ ;  $\beta = 8\%$ .

In the objective function 2, according to the prediction results, the range of carbon price in 2020 is 0.014\$~0.028\$[16], in this paper,  $P_{CO_2} = 0.021$ \$. The emission factors of  $CO_2$  is 0.8292 (kg/kwh)[17] in Beijing. In common situation,  $\varphi_{chrg}=75\%$ [18], an EV running 1km needs 0.25 kwh power consumption and it can run 30 km on a single charge[10].

Assume that demand points are randomly generated on the map, on this basis, it compiled the optimal program with MATLAB 2017a and executed GA with examples, the result is shown in Table.3. In the best case, The Third Ring Road in Beijing needs 15 4<sup>th</sup> stage fast charging station which can cover all demand and get the minimum cost.

Table. 3. Result

	C_con /\$	C_ope /\$	C_CO2 /\$	Total
Optimal	561248.68	230927.4	465.0295	792641.12
Other Position	604846.02	230927.4	500.0764	836273.49
Difference	43597.33	0	35.05	43632.38

The distribution of 15 fast charging station in the map is shown in Fig. 6. According to our calculation, this group of charging station is the optimal results. As the Table 3 shows, the difference is not so obvious. Nevertheless, our result only concludes the area of Third Ring Road in Beijing, with the widening of the target zone, the differences will become more and more apparent. Based on estimates, by 2020, Beijing has a gap of charging station to the market of about 300, the differences between optimal results and other solution will reach hundreds of millions of scales.



Fig. 6. Distribution of charging station

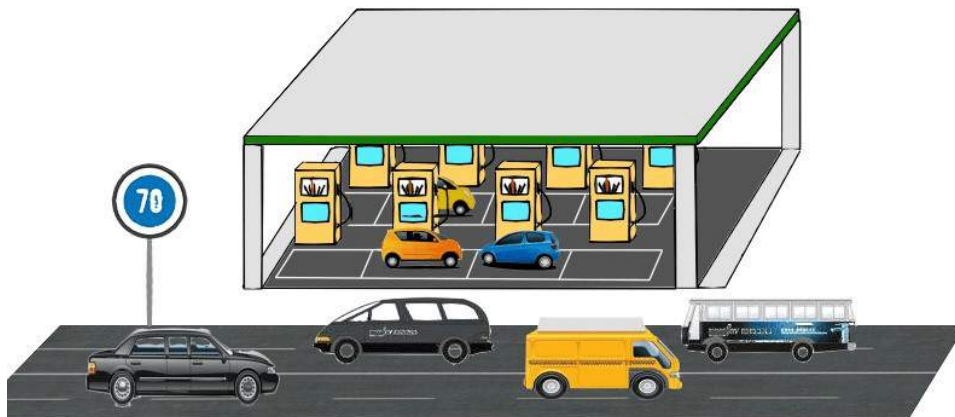


Fig. 7. Design of 4th stage charging station

## 5. Conclusion and Future Work

This paper has presented a new approach for charging station location based on environmental concern. In this system, carbon emission is considered as environmental factors which can be transformed into economic value by carbon price. It is related to route of EV running, in order to obtain the data, Euclidean Distance Method should be



introduced. In the case of Beijing, the coordinates are encoded into binary string, GA and MCO is used to precisely calculate that there are 15 charging station on the Third Ring Road in Beijing by 2020, and the overall minimum cost is given out. But there are still two shortcomings of our study. One is that the land price data of every point is hard to get, our research based on the county-level administrative regionalization to determine the land costs. The other is that the distance between demand point and station should be calculated by the actual route of EV charging. In this paper, Euclidean distance between two points is used to simplify the algorithm. In future work, better data should be collected to obtain more accurate results.

This result shows that the value of carbon costs is greatly larger than economic costs, which means the environmental factors should be paid more attention in the future study. It also can be a practical reference for future urban planning.

## References:

- [1]. Saarenpää, J., M. Kolehmainen and H. Niska, Geodemographic analysis and estimation of early plug-in hybrid electric vehicle adoption. *Applied Energy*, 2013. 107(4): p. 456-464.
- [2]. Zhang, C.X., et al., A preliminary investigation on the overall profit assessment of electric vehicle development to the society. *Journal of North China Electric Power University*, 2014.
- [3]. Zhao, M., et al., Optimal Planning of AC Charging Piles Based on Constraints of Time and Space. *Automation of Electric Power Systems*, 2016. 40(4): p. 66-70 and 104.
- [4]. Tang, M., X.U. Jie-Xian and G.U. Yue-Lei, Research on the Construction and Operation Mode of Electric Vehicle Charging Stations. *East China Electric Power*, 2011.
- [5]. Sadeghi-Barzani, P., A. Rajabi-Ghahnavieh and H. Kazemi-Karegar, Optimal fast charging station placing and sizing. *Applied Energy*, 2014. 125(2): p. 289-299.
- [6]. Lee, E.S. and R.J. Li, Fuzzy multiple objective programming and compromise programming with Pareto optimum. *Fuzzy Sets & Systems*, 1993. 53(3): p. 275 - 288.
- [7]. Guo, S. and H. Zhao, Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. *Applied Energy*, 2015. 158: p. 390-402.
- [8]. Zifa, et al., Optimal Planning of Charging Station for Electric Vehicle Based on Quantum PSO Algorithm. *Journal of Chinese Electrical Engineering Science*, 2012. 32(22): p. 39-45.
- [9]. Chen, G., et al., Multi-objective Optimal Planning of Electric Vehicle Charging Stations Considering Carbon Emission. *Automation of Electric Power Systems*, 2014.
- [10]. Cheng, H., et al., Site Planning of EV Charging Station by Considering Low Carbon Emission. *Electric Power*, 2016.
- [11]. Mu, Y., et al., A Spatial - Temporal model for grid impact analysis of plug-in electric vehicles ☆. *Applied Energy*, 2014. 114(2): p. 456-465.
- [12]. Fonseca, C.M. and P.J. Fleming, An Overview of Evolutionary Algorithms in Multiobjective Optimization. *Evolutionary Computation*, 2014. 3(1): p. 1-16.
- [13]. Zhou, J.M., et al., A new approach to automatic quadrilateral mesh generation. *IEEE Transactions on Magnetics Mag*, 1993. 29(2): p. 1910-1913.
- [14]. Bao, W., et al., The multi-objective site selection for thermal power plant based on NSGA-II and GIS. *Power System Protection & Control*, 2008.
- [15]. Gong, W.B., et al., Mobile deployment based on minimum coverage overlap in wireless sensor networks. Vol. 20. 2008. 3604-3609.
- [16]. :Publication of CO2 price forecast. [EB/OL]. [2013 - 01 - 12] <http://www.chaireconomieduclimat.org/wp-content/uploads/2011/12/11-12-20-Press-CO2-price-forecast-2012S1.pdf>.
- [17]. [Average Carbon Dioxide Emission Factor of China's Regional and Provincial Power Grids in 2010] <http://www.tanpaifang.com/tanguwen/2017/0317/58786.html>.
- [18]. Zhao, J., et al., Power System Stochastic Economic Dispatch Considering Uncertain Outputs from Plug-in Electric Vehicles and Wind Generators. *Automation of Electric Power Systems*, 2010. 34(20): p. 22-29.

# 自動車静脈市場の発展経路に関する日中比較研究の課題

阿部新

(山口大学)

a\_abe@yamaguchi-u.ac.jp

## 1. 本報告の背景

日本では、1960年代後半から使用済自動車が増大し、1970年代前半に使用済自動車を巡る環境問題が社会問題になった。その環境問題とは、車両そのものの放置や不法投棄のほか、分別作業における大気・土壌・水質汚染、および分別後の不要物の不法投棄である。また、この時期の日本は、中古車市場においても重要な転換期であり、統一品質保証のルールが設けられるなど、それまで処分すべきものとされていた中古車が商品として捉えられるようになった。このように使用済自動車市場のみならず、中古車市場においても転換期がある。つまり、静脈市場（リサイクル市場、中古車市場）には発展経路があると考えられるが、それを考慮した議論は十分ではない。

一方、中国の静脈市場も転換期に来ていると考えられる。当然だが、静脈市場の発展は所得や新車市場の拡大と密接に関係するため、国によってその発展経路は異なると考えられる。そのような中で、国家間で発展経路の共通項があるかどうかである。中国は新車販売において既に世界最大の市場になっているが、静脈市場においてはどの段階に位置づけられるのかに関心を持つことは重要である。このうち、本稿ではどのような視点で議論すべきかを提示する。

## 2. 日本の自動車リサイクル市場

まず、日本の抹消登録台数（廃車台数）を見てみる。これは前年末自動車保有台数＋当期新車販売台数－当期末自動車保有台数により、算出されるもので、使用済自動車台数、中古車輸出台数、抹消状態増加数の合計である<sup>1</sup>。図1は、これに基づいて算出された日本の抹消登録台数の推移である（阿部，2014）。これを見ると、日本の抹消登録台数は1960年代後半に急増し、100万台に到達していることがわかる。そのうち、使用済自動車台数がどの程度を占めるかだが、データが存在しないため、示すことはできない。日本では1960年代半ばに中古車輸出が始まったことから（阿部，2016b）、中古車輸出台数はわずかで、抹消登録台数はほぼ使用済自動車として日本国内で処理されたと考えられる。

日本では抹消登録台数が100万台に達した段階で、使用済自動車を巡る環境問題が社会

---

<sup>1</sup> 抹消状態増加数は、登録が抹消されている状態の車両のストックの増加数である。よって、中古車販売店やオークション会場などの在庫が増加した際に正の値として計上される。一方で在庫が減少することもあるが、その場合は負の値になる。短期的な変動はあるとは考えられるものの、在庫が増加または減少し続けることは考えにくく、この数値が常に一定量あるとは思えない。

問題になった。後述するように、1972年から国や自動車業界は環境問題の対応をするようになったのである。その結果、自動車の廃棄に関して社会は修正されたが、図1にあるように、その後も抹消登録台数は増加し続け、1990年代以降は500万台前後で安定している。

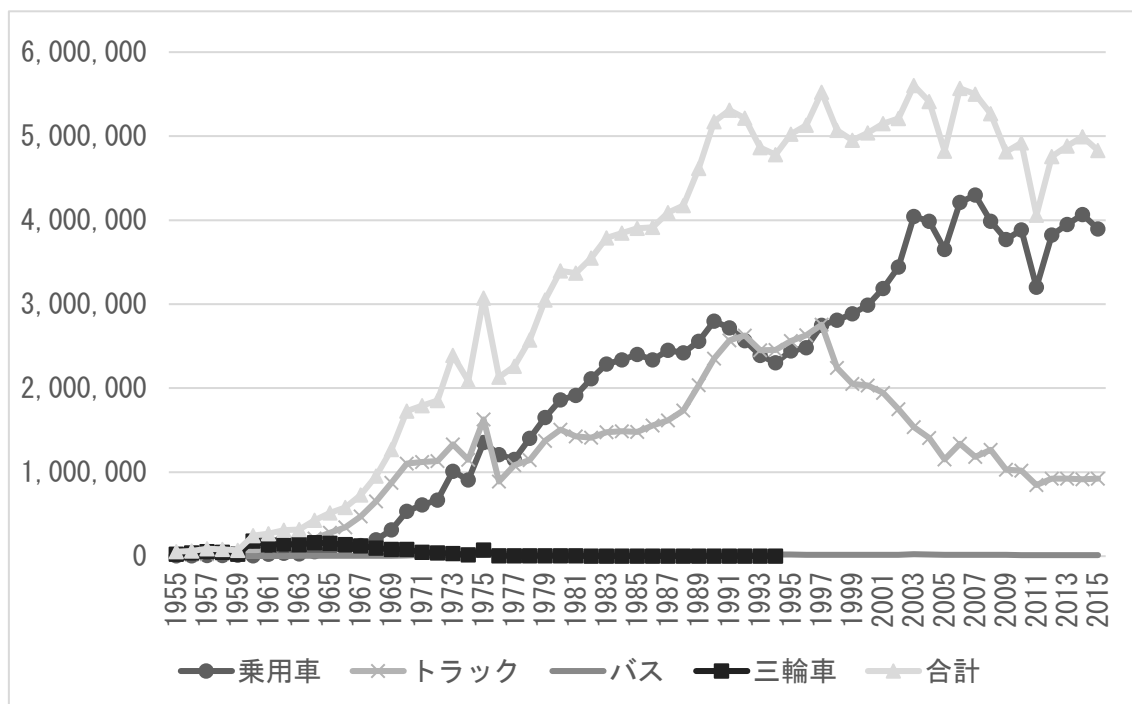


図1 日本の抹消登録台数の推移

出所：日本自動車工業会『自動車統計年報』『世界自動車統計年報』より筆者作成

注：抹消登録台数＝前年末保有台数＋当期新車登録台数－当期末保有台数

次に日本の自動車リサイクル市場の産業構造を見ておきたい。他の国も同様だが、日本でも自動車を使用済みとなった後、解体業者とシュレッダー業者（またはスクラップ業者）がその処理を担っている（外川，2001；寺西・外川編，2004）。解体業者は自動車を人力や機械により大まかに解体、分別し、部品と資源を回収し、それらを販売することで収入を得る。シュレッダー業者は解体後の車両を機械により破碎し、さらに分別し、鉄などの資源を回収する。そこで発生する残余物はシュレッダーダストと呼ばれ、精錬等によりさらに分別されるか、埋め立て、焼却などで処分される。

このように自動車を分別し、回収する工程は、複数の事業者が関わっていることが多く、下請け関係が成立している。当然ながらそれぞれは利潤を得る目的で回収する。つまり、正の利潤を得るもののみ回収するのであって、それ以外は不要になる。部品や資源は市場の状態により価格は変動するため、価格が十分に低ければ、回収されなくなる。それは、しばしば不適正に環境に排出され、外部不経済を生む。

自動車リサイクルにおける環境問題は、外川（2001）などでも示されているように、(1)分別前の車両そのものの放置、(2)分別時における汚染、(3)分別後の残余物の不法投棄があ

る。(1)は自動車のユーザーやそれから引き取った整備業者や販売業者などによるものである。往々にして車両は有償で売却できることが多いが、部品や資源の価値が低かったり、その分別や運搬のための費用が高かったりすれば、非有償となることもある。これに対して、罰則や法的責任などの費用が十分に低ければ、車両を放置することはある。法的な制度がなくても近隣住民などからの抗議や監視が十分に小さければ放置されやすくなる。それは、(2)(3)も同様の構造である。分別時に排出される廃油や廃液などは近隣の水質を汚染し、中長期的にはその滞留したものが土壌汚染として問題になりうる。また、シートなどの部品がしばしば焼却されることがあり、大気汚染も引き起こす。さらに、騒音や景観の問題もある。(3)については(2)と似ているが、その場で発生せず、別のところに運ばれて問題を引き起こすという点で異なる。いずれも、規制や監視、苦情などにより生まれる費用との大小関係による。これらが自動車リサイクルにおける環境問題である。

### 3. 日本の自動車リサイクル市場の発展

次に、比較対象としての日本の自動車リサイクル市場の発展を見ておきたい。市場の形成から初期の発展段階は使用済自動車の発生量が少なかったこともあり、その処理は少量だった。その後、1960年代に使用済自動車の発生量の増大とともに、その処理も大量処理型に移行した。その流れの中で、大量処理型の技術としてシュレッダーが導入され、同時期に使用済自動車を巡る環境問題が生じた。その流れを捉えておく。

#### (1)少量処理段階

日本では1900年頃に自動車を持ち込まれ、その後1925年頃に自動車解体業者が出現したとされる(阿部, 2013)。また、中古車販売業者も同時期に出現している(日本中古自動車販売協会連合会編, 1982)。つまり、自動車リサイクル市場と中古車販売市場は同時期に生まれている。これが意味するのは、解体業者は使用可能な車も解体していたということである。主に補修用としての中古部品に価値があり、それが解体ビジネスを早期に成立させていた。補修用として新品部品はあるが、輸入に依存していたことからその費用が高く、その不足分を中古部品が補っていた。その結果、中古部品の価値が高くなり、一部の車両について「解体する場合の利潤 $\geq$ 中古車販売の利潤」の状態になっていたと考えられる。つまり、自動車解体業者とは古くなって使えなくなった使用済自動車の受け皿ということもあるが、中古部品の生産、供給のために十分に使用可能な自動車を解体するという側面もある。前節で見たように、自動車解体業者は自動車を解体し、部品、資源を回収する役割があり、その残骸はスクラップ回収業者に引き渡される。戦前期の取引構造は不明だが、解体業者が部品供給を主体としているのであれば、建設系など他産業のスクラップも回収するスクラップ回収業者とは既に事業形態は異なっていたと予想される。

その後、日本では第二次世界大戦後、自動車の普及とともに使用済自動車のリサイクル市場も発展した。特に1950年代は、部品の輸入に制限がある中で国内の部品工業が未発達であり、国内産の新品部品は高価で低品質だったとされる。その点で純正の中古部品に補

修部品としてのニーズが生まれた。また、当時は物資不足により資源価格も高く、使用済自動車から部品を取り外した後の残骸も比較的高く売却できたとされる。その結果、日本の自動車解体業者は多くの利潤を得ることができ、東京都墨田区堅川地域などの集積地は活況を帯びていた（東京中古自動車部品協同組合，1999）。このような地域は、補修部品を求めるユーザーや整備業者のために集積したと考えられ、解体業者は部品の供給業者としての側面が強かったと考えられる。

## (2)大量処理段階への移行

1960年代になると国内の部品工業が発達し、新品部品の品質が向上し、価格が低下した。それは、中古部品および使用済自動車の価値を相対的に下げ、解体するインセンティブを弱めたと考えられる。また、都市化が進展し、地価のみならず、人件費も上昇した。収入源である中古部品の価値が低迷する一方で、費用が上昇し、主に都市部で自動車を解体していた事業者の利潤が縮小したと考えられる。

そのような中で徐々に使用済自動車の発生量が増大した。特に1960年代後半はその発生量が急増し、1960年代末には抹消登録台数は100万台に達した。使用済自動車の発生量が増大する中で、中古部品の価値の低迷や人件費などの上昇から丁寧に少量の使用済自動車を解体するよりは、価値のある部品のみを回収し、より大量に使用済自動車を処理する方向に転換するようになった。処理の大量化に伴い、使用済自動車の保管や解体作業のスペースが十分確保できず、地価の上昇も相まって、都市の中心部に立地していた解体業者はより郊外に移転するようになった。大量処理型への移行により、解体業者の収入源において、金属スクラップの売却の度合いが増えたと考えられるが、中古部品は一定の需要があった。つまり、中古部品と資源の回収という事業形態自体は変わらなかった。さらに、先にも示したように1960年代半ばより中古車の輸出が始まり、同時期に中古部品の輸出も広がった。そのため、解体業者の中古部品の販売先が広域化、グローバル化し、選択肢が広がった。

## (3)シュレッダー技術の導入

解体業者が部品取りをした後の抜け殻はスクラップ回収業者が引き取り、資源として分別をしていた。その際に様々な設備を用いるが、そのうちの1つがシュレッダーである。1960年代末にシュレッダーの事業化の検討が始まり、1970年に3社、1972年に1社が稼働した。大手総合商社のほか、自動車メーカーや自動車販売会社といった自動車産業が出資し、大都市近郊にシュレッダー工場が建設された。民間企業のこのような動きに対して、国も支援を行った。具体的には、設備投資の資金に対して低利子融資という形で補助が行われた（阿部，2017）。

シュレッダーが導入された背景として、使用済自動車が100万台に到達し、その処理が懸念されたこと、シュレッダー技術が欧米から輸入・紹介されたことがあげられる。これは、より大量に効率的に処理することで、使用済自動車が社会で溢れ、混乱することを回

避したかったためである。また、総合商社がこれに積極的に関わったのは、シュレッダー設備という大規模設備の輸入により利潤を得るといふことのほかに、自らが国内で鉄スクラップ市場をコントロールしたかったことなども指摘されている。それまで鉄スクラップ市場はアメリカなどからの輸入に依存していたが、国内生産へ転換する流れになっていた。一方で、自動車産業が積極的に関わったのは、環境問題に対する社会的責任のほか、自動車販売の促進という目的もあるとされる（阿部，2016a）。自動車産業とりわけ自動車販売会社は、1950年代より新車販売促進のため、古い車を下取りとして引き取り、新車販売の値引きをしていた。新車販売競争が過剰になり、下取り価格が高騰していったが、新車との競合を避け、それをむやみに中古車市場に流すこともできなかった。古い下取り車の扱い方が確立しない中、1950年代より早期スクラップ化が議論され、1960年代半ばには自動車販売会社自らが自動車解体業に参入するなどの動きがあった。そのような流れでシュレッダー会社は設立した。

シュレッダー導入当初、シュレッダー設備の稼働率は十分に高くはなく、経営を圧迫させた。それは、既存のスクラップ業者との競合により、シュレッダー設備を持たないスクラップ業者に使用済自動車 flowed ためである。そのため、シュレッダーは当初は普及せず、導入を断念する事業者もあった。その後、鉄鋼メーカーにより鉄スクラップの品質が重視されるようになり、その優位性などから次第にシュレッダー業者が市場で選択されるようになった。その結果、シュレッダーが普及し、自動車リサイクル市場において現在のような解体業者とシュレッダー業者の下請構造が確立した。

#### (4)使用済自動車を巡る環境問題

上記のように使用済自動車の処理が大量処理型に移行する中で、1970年代に使用済自動車をめぐる環境問題が大きく報道され、社会問題になった（阿部，2015b）。具体的には、1972年に東京都で解体作業における大気汚染、騒音、土壌汚染が社会問題化し、同時期に起きていた路上放置車両とともに対応を迫られた。国（通商産業省）は自動車産業に改善するように命令し、自動車業界は日本自動車工業会を中心に自動車リサイクル市場、産業の調査を開始し、欧米への視察をするなどして議論を進めていった。

まず、放置車両への対応として、自動車産業は1974年に放置車両を回収する仕組みを構築した。放置車両は、使用済自動車の価値が低減したことで起きた現象であり、当時の鉄スクラップ価格の低迷も背景にあった。その仕組みは、自動車産業自らが回収するのではなく、その回収のための費用を負担するものである。ただし、その仕組みの構築後、鉄スクラップ価格が上昇し、路上で放置される車両はなくなるとされる。

一方、解体作業における環境問題への対応は、効果的な方策が提示されなかった。日本自動車工業会は全国でリサイクル工業団地の建設を検討するなどの報道もあったが、その後それが具体的には進んだという事実は確認されていない。混雑現象を避ける方策として解体業者の郊外への移転は効果的ではあるが、解体業者自身にとってそのインセンティブは弱かったと考えられる。その後、日本では廃棄物処理法（廃棄物の処理及び清掃に関する

る法律)の強化や自動車解体業界内での監督、イメージ向上などにより、解体作業における環境問題を回避する動きはあったが、2005年に自動車リサイクル法(使用済自動車の再資源化等に関する法律)が施行されるまで根本的な解決には至らなかった。

前節で見たように、使用済自動車を巡る環境問題は、少なくとも(1)分別前、(2)分別時、(3)分別後の3種類があるが、1970年代に顕在化し、社会問題となった環境問題は(1)と(2)である。(3)については、シュレッダーによる破碎後の残余物の処分問題(シュレッダーダスト問題)があるが、これは1990年代に顕在化した(それ以前からも問題とする指摘はあった)。それらの結果、1990年代以降の日本では、廃棄物処理法上の関係主体の責任ルールの明確化、強化がされるとともに、自動車リサイクル法の制定の議論が進んだ。

#### 4. 日本の中古車市場

新車販売の増大により、古い車が増大し、自動車リサイクル市場のみならず、中古車市場も拡大しうる。それは、新車販売に関わる事業者にとっては問題であり、日本でも1950年代の段階から古い車が問題視されていた。新車販売に伴い、古い車を下取りするという慣行があるのは先に見たとおりだが、新車販売の過当競争により下取り価格が高騰したのである。

通常、中古車の需要側の限界便益を下回る程度に、中古車の販売価格を設定する必要がある。さらに、下取り価格が中古車の販売価格を下回らないと利潤は得られない。つまり、「中古車の限界便益 $\geq$ 中古車として販売できる価格 $\geq$ 下取り価格」になる必要があるが、新車販売の過当競争により、「下取り価格 $\geq$ 中古車として販売できる価格」となることがあった。新車販売業者は中古車を中古車販売業者へ売却するのだが、その際に十分な利潤を得られず、経営を圧迫させた。

一方で新車販売業者は、新車と競合することから、中古車販売への関与には消極的であった。むしろ古い車は消えてなくなることを望ましいとしていた。1960年前後には既に古い車の早期スクラップ化や輸出により、新車市場と競合することなく、売却する方向の議論がされた。しかし、問題を認識しつつ、克服しないまま、時間が過ぎた。

このような状況を改善するために、1960年代半ばから、自動車メーカーなど自動車業界は中古車市場の調査を開始した。この時期は乗用車の輸入自由化の動きがあり、輸入車との競合により新車販売業者の経営体力をつける必要があった。そのため、過当競争を避け、適正な下取り価格へ誘導する必要があった。この結果、専門の査定機関を作るなどで下取り価格の査定の健全化の道が開けた(阿部, 2018a)。

また、その作業において欧米の中古車市場を調査し、これを機会に自動車業界が中古車を商品として活用する方向に転換した。そして、1960年代後半に新車販売業者は中古車部門を設置したり、中古車の統一の品質保証制度を設けたりした(阿部, 2018b)。

一方、新車販売業者などから古い車を引き取り、それを売却することで利潤を得ていた中古車販売業者においても組織化の動きが出てきた。それは、下取り車の引き渡しの円滑化という新車販売業者側からの要望もあるが、中古車販売業者としても不適正業者を市場



から排除する目的で組織化を望んでいた。そのような中で、メーター巻き戻しの不正行為事件が社会問題になり、国も指導の受け皿として中古車販売業者の組織化を求めた。それらが合わさり、組織化がされ、市場の健全化が進んだ。数値上では、1970年代後半に中古車登録台数が新車登録台数を上回るようになった。それは図2の通りである(阿部, 2018c)。

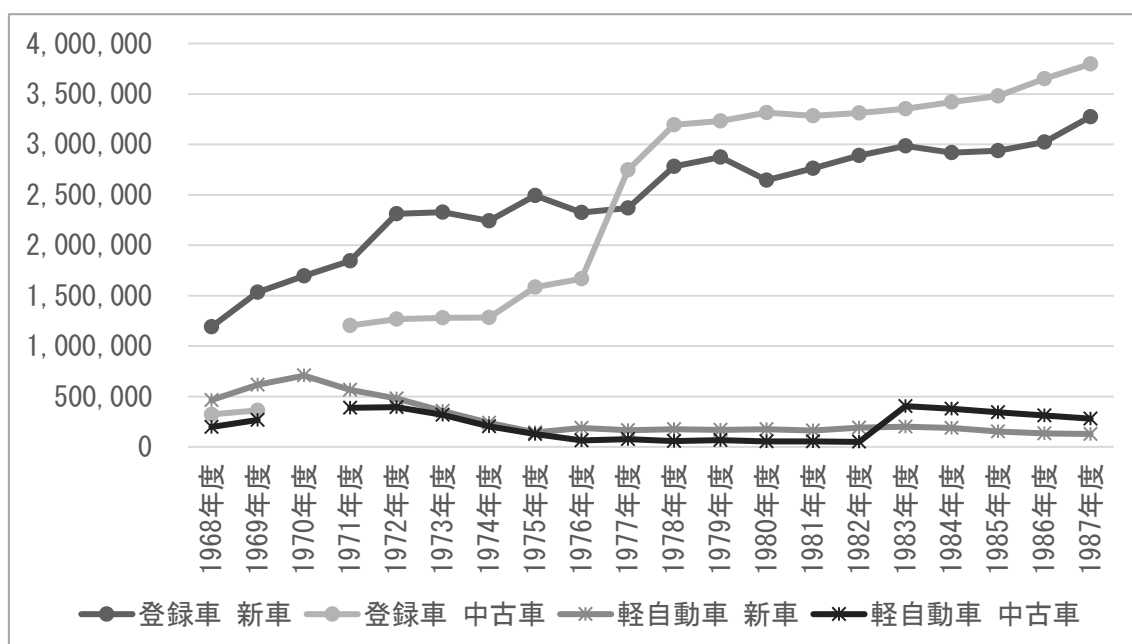


図2 新車・中古車登録届出台数の比較(乗用車、登録車・軽自動車別、単位:台)

出所: 日本自動車販売協会連合会『自動車販売実績調』昭和47年度版~昭和63年1月・2月・3月版、より阿部新作成

注: 登録車は1968年度~1969年度は新規登録台数のみ、1971年度~1976年度は新規登録・名義変更登録台数、1977年度以降は新規登録・名義変更登録・移転登録台数。軽自動車は1982年までは新規登録台数のみ、1983年度以降は新規登録・名義変更台数。

### 5. 日本と中国の比較の論点

以上の日本の自動車静脈市場の発展をまとめると図3のようになる。日本では1960年代から70年代にかけて、自動車静脈市場において変化が観察された。それは使用済自動車の発生量が増大したタイミングである。リサイクルにおいては環境問題が起こり、社会は部分的に修正をした。中古車においては不健全な中古車取引がされていたが、この時期に修正され、健全化した。

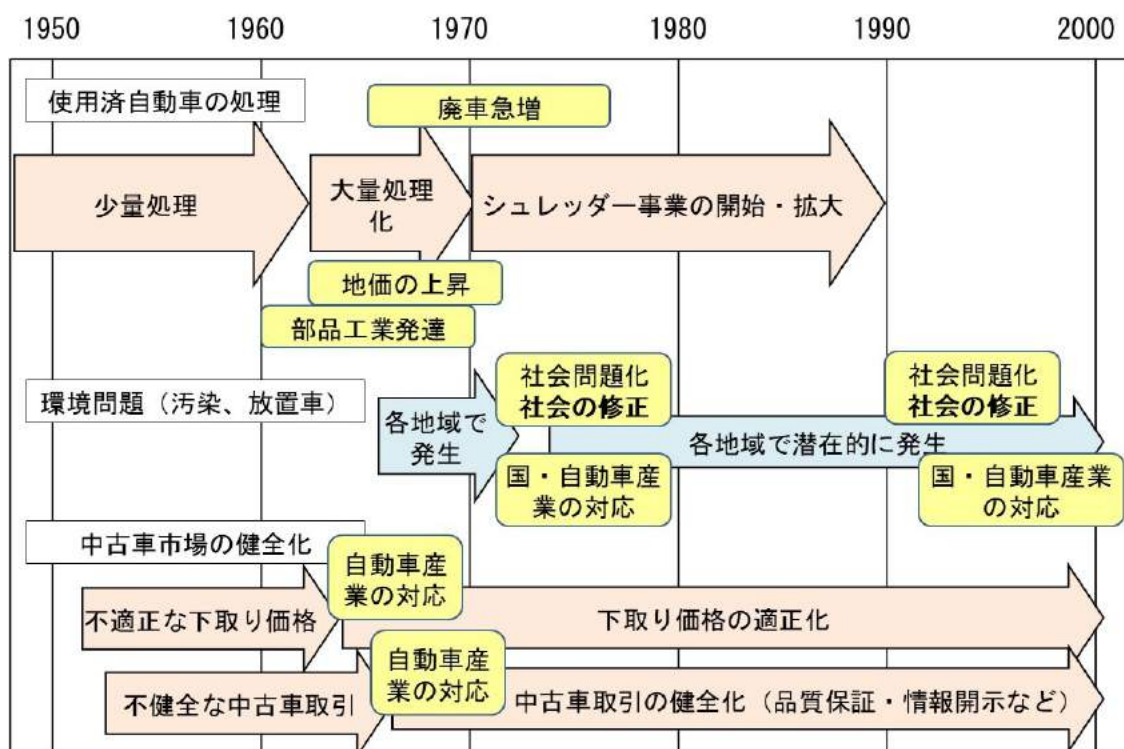


図 3 日本の自動車静脈市場の発展のイメージ

出所：阿部新作成

このような変化が中国でも共通して起きているかである。具体的には、使用済自動車の発生量の増大および大量処理型への移行の段階で環境汚染が社会問題となるかどうか、中古車市場の健全化が議論されるかどうかなどになる。その議論の際に、(1)使用済自動車の発生量の定量的な比較、(2)市場の発展段階の定性的な比較の2つの側面からの比較が求められる。そして、それらに基づいて共通項を見つけていき、静脈市場の発展経路の法則性を示す。

まず、(1)使用済自動車の発生量の定量的な比較だが、日本と中国では国土の大きさが異なることを留意する必要がある。しばしば資源循環は国単位で議論されることがあるが、国土の大きさにより資源循環の範囲は異なることがある。日本では中古車や中古部品は国境を越えて循環していることがあるが、それはスタンダードとは限らず、国土の大きさによっては国内で資源が循環することも想定される。そのため、資源循環の範囲を特定する必要がある。

自動車の場合、経済格差があれば中古車の地域間移動は起こる。ただし、地方にも富裕層はおり、また都市内部でも経済格差があるため、構造は単純ではない。筆者が寧夏回族自治区銀川市で聞き取り調査をした限りでは、省を越えて中古車が移動することもあるが、量的には多くないとのことだった。しかも年式の新しい車の移動が観察されるという。課題は年式の古い低価値の車が省を越えて大量に移動しているかどうかである。それらを観察しながら資源循環の範囲を想定し、使用済自動車の発生量を算出し、日本などと比較し

ていく必要がある。同時に新車販売台数と中古車販売台数も丁寧に見る必要がある。

次に、(2)市場の発展段階の定性的な比較については、時代とともに社会がどのように変わってきているかを整理する必要がある。中古車市場においては誤った情報の提示などで市場の信頼性が不十分な場合があり、社会全体でそれを克服しようとしているかを明らかにしていく。また、使用済自動車市場においては環境問題への対応、関連産業の整備、育成などがされているかどうかを観察する必要がある。さらに、それらの市場の発展において、自動車メーカーなど動脈産業がどのように関与しているかを見ておく必要がある。そして、日本の事情と比較をし、共通点、相違点を抽出する。

一方、現代の中国と過去の日本では異なる部分も多い。昨今の世界的な電動化、共有化の動きは過去の日本にはなく、中国特有の静脈市場の発展が想定される。電気自動車の価格帯の程度で中古車市場の発展も変わってくる。また、自動車の電池を巡る資源価格の変動により、使用済自動車の価値も変わってくるだろう。自動車リサイクル市場、中古車市場の研究は多く発表されている。それらを踏まえた比較研究が求められる。

以上

#### 参考文献

- 阿部新 (2013) 「戦前期における中古車市場と使用済み自動車市場の競合について」『月刊自動車リサイクル』(26), 56-63
- 阿部新 (2014) 「日本の使用済自動車関連統計の整理と課題」『研究論叢. 人文科学・社会科学』 63(1), 1-9
- 阿部新 (2015a) 「静脈産業の形成と発展に関する比較研究の課題：自動車の事例から」, 『研究論叢. 人文科学・社会科学』, 64(1), 1-14
- 阿部新 (2015b) 「1970 年前後の使用済自動車に関わる環境問題」『月刊自動車リサイクル』(53), 44-53
- 阿部新 (2016a) 「使用済自動車市場における流通・産業構造の実態分析：日本の 1970 年代を中心として」『研究論叢. 人文科学・社会科学』 65(1), 1-14
- 阿部新 (2016b) 「日本の中古車輸出市場の形成と貿易規制に関する一考察」『研究論叢. 人文科学・社会科学』 65(1), 15-24
- 阿部新 (2017) 「使用済自動車市場における産業政策：日本の経験の整理」『研究論叢. 人文科学・社会科学』 66(1), 1-14
- 阿部新 (2018a) 「日本の下取り車市場の競争とその是正政策」『月刊自動車リサイクル』(87), 38-47
- 阿部新 (2018b) 「1960 年代後半の中古車市場に関する整理と研究課題」『月刊自動車リサイクル』(88), 38-47
- 阿部新 (2018c) 「日本の中古車関連統計の整理と課題」『月刊自動車リサイクル』(90), 36-46
- 欧米中古車事情視察団 (1965) 『世界の中古車 欧米中古車事情視察団報告書』日本自

自動車販売協会連合会

- 佐藤正之・村松裕二（2000）『静脈ビジネス もう一つの自動車産業論』日本評論社
- 寺西俊一・外川健一編『自動車リサイクル 静脈産業の現状と未来』東洋経済新報社
- 東京中古自動車部品協同組合（1999）『東京中古部品自動車部品協同組合五十周年記念史』東京中古自動車部品協同組合
- 外川健一（2001）『自動車とリサイクル 自動車産業の静脈部に関する経済地理学的研究』日刊自動車新聞社
- 富高幸雄（2013）『日本鉄スクラップ史集成～古代から現在までの金属リサイクル総覧～』日刊市況通信社
- 日本自動車工業会（1973）『欧米廃車処理システム調査報告書』日本自動車工業会
- 日本中古自動車販売協会連合会編（1982）『十年の歩み』日本中古自動車販売協会連合会

# 资源使用者异质性如何影响公共池塘资源自主治理绩效

## ——以黄河灌区小型农田水利设施为例

朱玉春

(西北农林科技大学经济管理学院)

**内容提要:** 本文基于制度分析与发展(IAD)框架,以黄河灌区小型农田水利设施为例,通过贝叶斯网络推理模型,分析了资源使用者异质性对公共池塘资源自主治理绩效的影响。结果表明:较强的经济维度异质性会削弱资源使用群体的“内在激励”水平,增强资源使用群体的“自我能力”与“认知规范”水平,进而造成小型农田水利设施供给绩效的下降和占用绩效的上升;较强的社会维度异质性会削弱资源使用群体的“内在激励”、“自我能力”与“认知规范”水平,进而造成小型农田水利设施供给绩效和占用绩效的下降;相比经济维度异质性,社会维度异质性对小型农田水利设施自主治理绩效有着更强的影响。

**关键词:** 异质性 公共池塘资源 自主治理 绩效 小型农田水利设施

### **How Users' Heterogeneity Affects Self-governance Performance of Common-pool Resources: An Empirical Analysis of Small Hydraulic Facilities in Yellow River Area**

Zhu Yuchun

(Northwest A&F University, College of Economics & Management, Yangling, Shaanxi, 712100)

**Abstract:** Based on the Institutional Analysis and Development (IAD) framework, this paper explores the interrelations between users' heterogeneity and self-governance performance of common-pool resources from the micro-evidence of small hydraulic facilities in Yellow River area. By using a Bayesian Network model, we found that high economic heterogeneity will weaken the “intrinsic motivation” and enhance the “self-abilities” and “cognition standards” of resource users, which will reduce the supply performance and increase the occupancy performance. And high social heterogeneity will weaken the “internal incentive”, “self-ability” and “cognition standard” of resource users. On the whole, social heterogeneity has a stronger influence on self-governance performance of common pool resources than economic heterogeneity.

**Key words:** heterogeneity; common-pool resources; self-governance; performance; small hydraulic facilities

#### 一、引言与文献回顾

“Common Pool Resources”是一个先天附带“布鲁明顿学派”色彩的学术名词,是诺贝尔经济学奖得主埃莉诺·奥斯特罗姆(Elinor Ostrom)毕生学术研究的展开点,是至今仍在发展延伸的一类物品概念。围绕“Common Pool Resources”的翻译,毛寿龙(2000)在《公共事务的治理之道》中文版译序中曾进行过详细探讨,并将其译为“公共池塘资源”,

指具有竞用性但又难以排他的一类物品。正如亚里士多德所预见的那样,凡是属于最多数人的公共事物常常是最少受人照顾的事物,公共池塘资源“非排他性”和“竞用性”的属性特征使得“公地悲剧”现象似乎成为了一种正常的悲观预期,而公共池塘资源的可存续治理则长期被主流理论认为是极少发生的情形(Olson, 1971; Hardin, 1968; Sandler, 1992)。

在悲观理论基调之下, Ophuls (1973)、Hardin (1978)、Carruthers & Stoner (1981)相继提出应以“利维坦”这种国家绝对管控的方案来对公共池塘资源进行治理, Johnson (1972)、Demsetz (1967)、Smith (1981)则提出应强制实行私有产权制度来保障公共池塘资源的存续。然而现实世界中,“国家”与“市场”的二分法并不能成功地解决“公地悲剧”问题,反而一些自主组织,借助既非“国家”又非“市场”的方案,实现了有效的公共池塘资源治理。学界围绕其进行了大量的实证、案例研究,并揭示了暗含其中的制度安排,形成了精致的制度分析与发展(IAD)框架以及社会生态系统(SES)框架(V. Ostrom, 1975; Ostrom, 1986、2005; Kiser & Ostrom, 2000),为公共池塘资源治理提供了一种公共选择式的思路。IAD和SES框架阐释了公共池塘资源自主治理的一般规律,为自主治理的实践探索提供了统一的认识论支撑。然而统一的认识论并不意味着统一的认知,IAD和SES框架不同模块、不同层次变量与公共池塘资源自主治理绩效之间的具体关系尚有待进一步的挖掘,包含着众多有待探讨的议题。其中,资源使用者的异质性与公共池塘资源自主治理绩效之间呈现何种关系是当前较具争议的一个议题(Olson, 1971; Hardin, 1982; Oliver et al., 1985; Fearon and Laitin, 1996; Poteete and Ostrom, 2004; Nagendra, 2011),学者就两者之间的关系形成了不同的观点。

第一种观点认为资源使用者异质性越小,有效的公共池塘资源自主治理越容易实现(Fearon and Laitin, 1996),其主要依据在于:资源使用者异质性越小,塑造普遍性社会资本的基础越好,资源使用者间广泛交互的深层障碍越小,自主治理的内部交易成本越小;第二种观点认为资源使用者异质性越强,有效的公共池塘资源自主治理越容易实现(Olson, 1971; Hardin, 1982; Oliver et al., 1985),其主要依据在于:异质性强的资源使用者群体更容易产生自主治理,有效的自主治理往往始于个别使用者的强烈意愿与持续推动。与此同时,Poteete and Ostrom (2004)的综述性研究则指出,任何特定维度的资源使用者异质性对自主治理绩效的影响取决于公共池塘资源的具体类型及其所属的特定情形。任意种类资源、普遍情形之下,某一特定维度的资源使用者异质性与公共池塘资源自主治理绩效之间呈现正向、负向、倒“U”形、“U”形关系以及无明显关系的结果都可能出现。

从理论视角来看,资源使用者的异质性分属IAD框架中的外部环境模块以及SES框架中的使用者属性模块,它对公共池塘资源自主治理的行动情境有着重要的相互影响,与资源系统、治理系统、资源单位之间有着密切的相互作用。这些影响与作用直接决定着自主治理的绩效,然而其方向与强度的变化机制尚有待厘清。从现实视角来看,如何设计制定规则,组织具有不同经济、社会文化特征的公共池塘资源使用者实现有效的自主治理,有待进一步的制度探索。

上述分析表明,现有研究在资源使用者异质性与自主治理绩效之间的关系方面并无统领性的定论,两者间具体的关系机制研究有待进一步深化。在过去的近40年中,市场化改革使得我国私人资源配置效率、私人物品的供给效率得到了极大提高,然而公共资源的配置和供给仍未形成有效的体制机制。随着社会发展步入新阶段,此类问题逐渐成为社会矛盾的“多发地带”。在中国农村地区,这类问题尤为突出,体现在灌排方面,便是当前

小型农田水利设施的治理困境难题<sup>①</sup>。小型农田水利设施通常被视为一种典型的公共池塘资源，其具有非排他性和竞用性，即每个成员都可以获取灌溉设施资源，但资源的总量是有限的（Ostrom, 1990）。农村税费改革以来，中国小型农田水利设施自主治理出现了组织主体缺位、“只用不管”的问题，设施破损老化问题日益严重（韩俊等，2011）。为了改进这种现象，上世纪 90 年代中期，中国在世界银行和国际排灌委员会的协助下开始推行农户参与小型农田水利设施管理的改革。然而多数改革在地方推进上流于形式，在基层执行上也缺乏配套制度安排（王亚华，2013）。当前，落实“有序性”和“共享性”的治理原则，确立有效的小型农田水利设施自主治理制度安排，引导具有不同特质的基层群众实现有效的自主治理，不仅对于农民稳产增收有着重要作用，而且对重构乡土社会、提高农村地区公共资源配置效率以及社会稳定有着重要意义。基于此，本文将以黄河灌区中、下游的 100 个村庄为例，结合定性与定量研究，分析资源使用者异质性对小型农田水利设施自主治理绩效的影响，并形成对应的政策启示，为科学制定、完善、推广公共池塘资源管护政策提供依据。

## 二、理论框架分析

IAD 框架是奥斯特罗姆夫妇为首的一批学者在过去近 40 年发展起来的具有普遍性和一般性的分析框架，其最早用于研究加利福尼亚州南部的地下水治理。它旨在解释自然物质条件、社群属性、制度规则等外部变量如何影响公共池塘资源的自主治理，进而为制度安排改进与评估标准设计提供反馈。本文将把资源使用者异质性置于 IAD 框架，在控制其它变量的同时分析资源使用者异质性如何影响小型农田水利设施自主治理的绩效。

根据 IAD 框架，本文构建了小型农田水利设施自主治理绩效的分析框架，如图 1 所示。在此框架中，行动舞台（Action Arena）是核心构件，它包括自主治理的行动情境（Action Situation）以及此情境之下的行动者（Participants）。行动舞台涉及的主要问题是在给定的外部变量条件下，行动者如何根据自我预期以及内部互动来选择行动。在本文中，行动者被设定为同一村庄的农户。至于行动情境，本文将其定义为农户选择小型农田治理行为的内在激励、自身能力以及认知规范。其中，内在激励是指农户在一定外部条件、社群属性之下，按照一定制度规则进行小型农田水利设施管护治理的意愿与积极性；自身能力是指农户在开展小型农田水利设施管护治理中所具备的能力，这既包括农户自身的人力、物力、财力，也包括农户的决策力、执行力等主观能力；认知规范是指农户的自我规范意识与集体意识，包括对“搭便车”等行为的自我抵制意识、维护集体利益的意识、面对他人规劝而自我改进的意识。

影响行动舞台的一系列外部变量通常可归为自然物质条件、社群属性、制度规则三大类变量。本文所研究的核心外部变量属于社群属性中的资源使用群体内部异质性，可进一步划分定义为村庄内部的经济异质性、社会异质性（Nagendra, 2011）。除此之外，社群属性还包括村庄在小型农田水利设施自主治理方面的历史经验与传统、村庄内部的社会信任与关系网络等社会资本状况。自然物质条件指村庄人口、土地、气候水文、经济发展水平等自然环境特征与物质条件特征。至于制度规则，指小型农田水利设施治理过程中影响农户行为选择的外部规则。

行动舞台中的农户在外部变量的影响下进行各自的策略选择，并形成一定的相互作用

---

<sup>①</sup>本文研究所指小型农田水利设施为灌溉面积 1 万亩、除涝面积 3 万亩、库容 10 万立方米、渠道流量每秒 1 立方米以下的水利工程和农村供水工程，包括小型水源（含抗旱水源）工程、渠道及其配套建筑物、小型泵站以及直接为农田灌溉排水服务的小型河道治理工程等，重点是大中型灌区的田间灌排工程、小型灌区、抗旱水源工程。

模式，进而导致相应的自主治理绩效。对于相互作用模式与自主治理绩效，可通过一定的评估标准来加以评价。本文所关注的自主治理绩效主要包括小型农田水利设施的“供给绩效”和“占用绩效”，对应着渠系灌溉面临的“供给问题”与“占用问题”，反映了小型农田水利设施的非排他性和竞用性特征（王亚华，2013）。

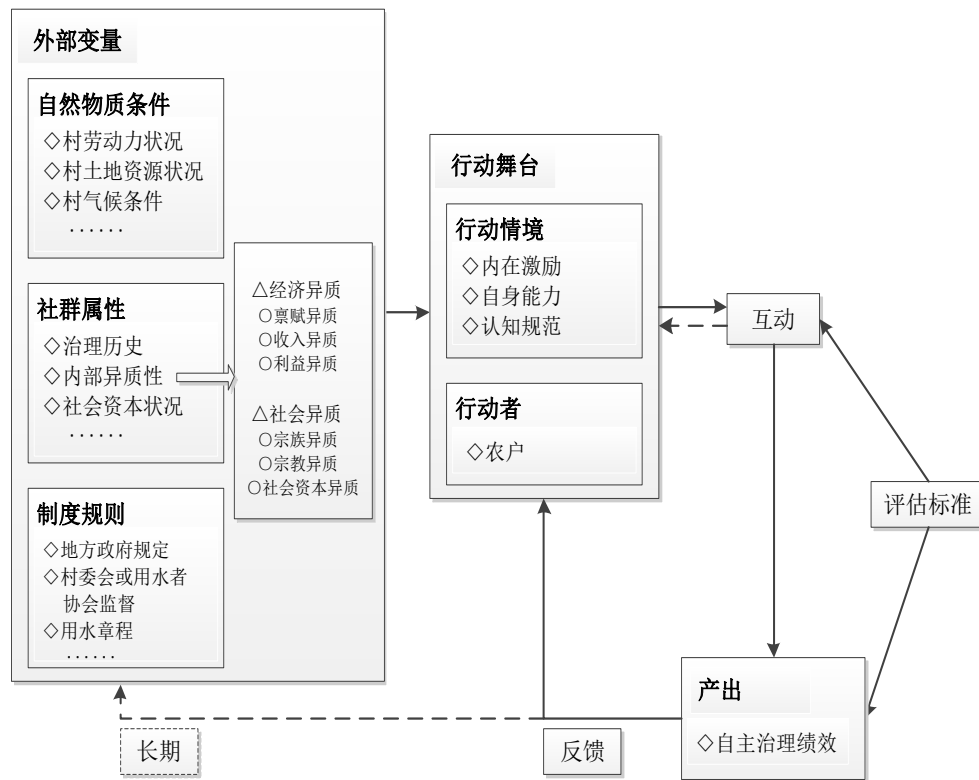


图 1 小型农田水利设施自主治理绩效的 IAD 分析框架

基于上述对基本构件的定义与描述，本文形成了小型农田水利设施自主治理绩效的简明静态图景：每个农户受自身特征、所属村庄自然物质条件、社群特征的约束，形成了参与管护小型农田水利设施的潜在能力。然而，每个农户究竟能在多大程度上发挥这种潜在能力，很大程度上取决于各自的内在激励与认知规范。农户各自的行为选择会形成一定的相互作用模式，进而导致最终的自主治理绩效。在动态视角下，前一期的自主治理绩效反馈于下一期的行动舞台，通过改变农户的内在激励，进而对下一期的相互作用模式与自主治理绩效产生影响。

### 三、数据来源、研究方法与变量定义

#### （一）数据来源

本文样本数据来源于 2015 年 7~9 月课题组对山东、河南、陕西、宁夏、内蒙古五个省（自治区）的实地调查，共抽取了 10 县、100 村、1600 户。所调查的内蒙古、陕西、宁夏、河南、山东灌区均属于黄河灌区，分别位于黄河中游、下游地区，覆盖了西北干旱、半干旱型气候区以及中东部温带半湿润型气候区，小型农田水利设施在各调查地区农业生产过程中均发挥着十分关键的作用，五个地区在小型农田水利设施自主治理方面有着典型的代表性。调查采用分层随机抽样，将灌区按中游、下游位置进行层次划分，每个层次内



选取 5 县，在充分考虑经济发展程度、农业生产水平代表性、农户在村中相对地位的前提下，从每个县选取 10 个村庄，每个村庄选取 16 个用水农户，依此形成样本量为 1600 的农户级别数据、样本量为 100 的村庄级别数据。

### (二) 研究方法

IAD 框架清晰的阐述了小型农田水利自主治理绩效的产生过程，为本文分析提供了明确的思路，而贝叶斯网络 (Bayesian Network) 则是一种能够直观、简洁、系统地模拟 IAD 框架产出过程的方法，它是 Peral (1986) 提出的一种推理模型，表现为一种有向无环图，其节点表示随机变量。贝叶斯网络以概率论为基础，通过图论的方式表达随机变量间的关联状态。相比计量经济学方法，贝叶斯网络具有更直观的表达形式以及更接近人类思维特征的推理形式，其结合了先验认知与经验数据，既避免了先验认知的主观偏差，又回避了后验信息带来的噪声问题 (李军等, 2007)。基于此，本文将构建贝叶斯网络来分析 IAD 框架下资源使用者异质性对小型农田水利设施自主治理绩效的影响，其拓扑结构形式如图 2 所示。

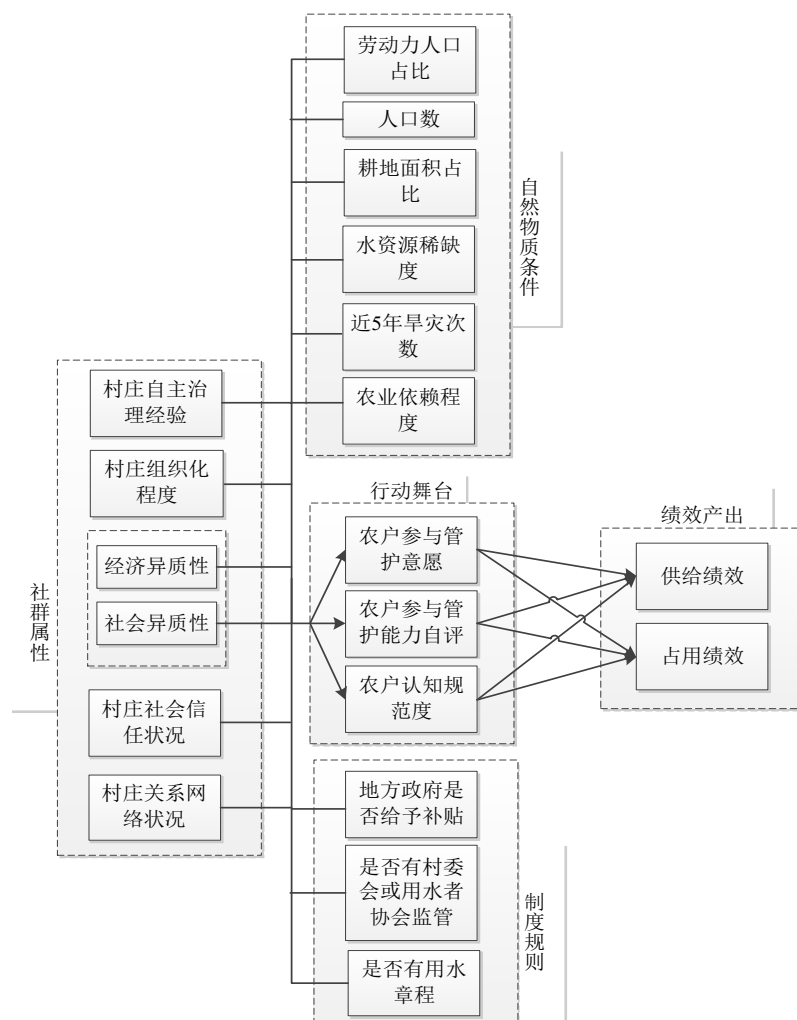


图 2 小型农田水利设施自主治理绩效产生过程的贝叶斯网络拓扑结构

### (三) 变量定义及测度

1.绩效产出。本文关注的是公共池塘资源的自主治理绩效，所谓治理，其本质在于通过某些方法与手段克服克服事物本身固有的问题或缺陷，进而实现某些理想化的要求或目标（Lam, 1999）。就公共池塘资源而言，其本身固有的非排他性和竞用性特征是“公地悲剧”现象发生的根源，正是此两大特征决定了公共池塘资源自主治理通常面临的两大问题：①供给问题，指克服资源使用过程中的“搭便车”问题；②占有问题，指克服资源的过度利用以保障其可持续状态（王亚华，2014）。基于以上分析，本文从供给维度和占有维度来评价小型农田水利设施的自主治理绩效，具体的测度方式参见表1。

2.行动舞台。行动舞台主要反映农户在一定外部环境、特定行动情境中的内在激励、自我能力以及认知规范。本文使用村庄农户参与小型农田水利设施管护的整体意愿、农户总体参与能力、农户认知总体规范度来表现行动舞台，具体的测度方式参见表1。

3.自然物质条件。自然物质条件主要反映自主治理面临的客观自然环境与物质条件，本文分别使用村庄人口数、村庄劳动力人口占比、村庄水资源稀缺程度、近5年旱灾发生次数、村庄耕地面积占比、村庄农业收入占比来分别从人口、气候水文、土地、经济角度表现其面临的自然环境与物质条件，具体的测度方式参见表1。

4.社群属性。社群属性主要反映资源使用者的社会文化特征，本文分别使用村庄自主治理经验、村庄组织化程度、村庄用水农户异质性、村庄社会信任状况、村庄关系网络状况来表现社群属性特征。其中，村庄用水农户异质性是本文的核心关注点，包括经济和社会两个维度，具体的测度方式参见表1。

5.制度规则。制度规则主要反映自主治理面临的制度环境，本文分别使用地方政府的补贴状况、村委会或用水者协会的监管状况、用水规则的章程化水平来表现制度环境，具体的测度方式参见表1。

表1 变量测算说明

变量	符号	问题、选项及赋值	测算方式	均值	标准差	
绩效产出						
供给绩效	设施完好程度	sp	小型农田水利硬件设施（水库、渠道、机井等）的完好情况：毁损十分严重=1，毁损比较严重=2，正常折损=3，维护较好=4，维护完好=5	取2个指标的均值的均值： 很低=[0,1)，较低=[1,2)，中等=[2,3)，较高=[3,4)，很高=[4,5]	2.17	1.17
	水费负担程度		农户承担水费的程度：非常高=1，比较高=2，适中=3，比较低=4，非常低=5			
占用绩效	用水满足程度	dp	过去几年耕地浇不上水事件发生的频繁程度：频繁发生=1，经常发生=2，偶尔发生=3，很少发生=4，从不发生=5	取3个指标的均值的均值：很低=[0,1)，较低=[1,2)，中等=[2,3)，	1.89	1.07
	用水纠纷		用水纠纷事件发生的频			

	频繁程度		繁程度：频繁发生=1，经常发生=2，偶尔发生=3，很少发生=4，从不发生=5	较高=[3,4)，很高=[4,5]		
	私自偷水情况		农户使用过程中私自偷水现象发生的频繁程度：频繁发生=1，经常发生=2，偶尔发生=3，很少发生=4，从不发生=5			
行动舞台						
内在激励	农户参与管护意愿	wof	农户参与小型农田水利设施自主治理的意愿：非常不愿意=1，较不愿意=2，一般=3，比较愿意=4，非常愿意=5	取村庄层面农户数据均值	2.69	1.13
自我能力	农户参与管护能力（自评）	aof	农户参与小型农田水利设施的出资、投劳或监管的能力（自评）：参与能力很弱=1，参与能力较弱=2，参与能力一般=3，参与能力较强=4，参与能力很强=5	取村庄层面农户数据均值	3.18	1.01
认知规范	农户认知规范度	rof	参与小型农田水利设施自主治理对于村庄集体利益的重要性评价：非常不重要=1，较不重要=2，一般=3，比较重要=4，非常重要=5	取村庄层面农户数据均值	3.14	0.99
自然物质条件						
人口	村庄人口数	pop	村庄常住人口数量（人）	—	229 8.16	984. 15
	村庄劳动力占比	lab	村庄劳动力人口占比（%）	—	44.9 9	22.0 2
气候水文	村庄水资源稀缺程度	wsc	村庄缺水状况：非常严重=1，比较严重=2，正常水平=3，比较充裕=4，非常充裕=5	—	2.24	1.09
	近5年旱灾发生次数	dry	近5年发生旱灾的总次数（次）	—	0.39	1.01
土地	村庄耕地面积占比	cav	村庄耕地总面积（%）	—	37.7 1	24.4 4
经济	农业依赖程度	agr	村庄农业收入占比（%）	—	63.7 0	77.3 1

社群属性						
治理经验	村庄公共事物自主治理经验	<i>eov</i>	村庄以往是否召开过涉及小型农田水利设施治理的“一事一议”活动：是=1，否=0	—	0.42	0.50
组织化	村庄组织化程度	<i>ins</i>	村庄合作社数量（个）	—	1.54	2.10
社会信任	村庄社会信任状况	<i>st</i>	村庄样本农户对亲戚、本家族成员、同组村民、同自然村村民、同行政村村民、村干部 6 类人员的信任程度：非常不信任=1、较不信任=2、一般=3、比较信任=4、非常信任=5	取村庄层面 6 类信任指标的均值	2.87	0.95
关系网络	村庄关系网络状况	<i>sn</i>	村庄样本农户对亲戚、本家族成员、同组村民、同自然村村民、同行政村村民、村干部 6 类人员的联系程度：不来往=1、很少来往=2、偶尔来往=3、有时来往=4、经常来往=5	取村庄层面 6 类联系指标的均值	3.16	0.22
经济维度						
内部异质性	耕地面积异质性	<i>csd</i>	村庄样本农户耕地面积（亩）	取村庄层面农户数据标准差	11.21	14.26
	劳动力人口异质性	<i>lpsd</i>	村庄样本农户家庭劳动力人口数量（人）	取村庄层面农户数据标准差	0.71	0.66
	农业收入异质性	<i>aisd</i>	村庄样本农户农业收入（万元）	取村庄层面农户数据标准差	2.29	2.30
	利益异质性	<i>iub</i>	村庄农户样本灌溉用水“完全用于粮食作物”，“主要用于粮食作物”，“经济作物、粮食作物基本持平”，“主要用于经济作物”，“完全用于经济作物”五个指标各自的占比 $P_i$	Blau 指数法： $H = 1 - \sum_i P_i^2$	0.36	0.25
社会维度						

	社会信任 异质性	<i>stsd</i>	同“村庄社会信任状况”	取村庄层面6类信任指标均值的标准差	0.99	0.19
	关系网络 异质性	<i>snsd</i>	同“村庄关系网络状况”	取村庄层面6类联系指标均值的标准差	0.89	0.34
	宗族异质 性	<i>cnb</i>	村庄数量排名前三姓氏各自的占比 $P_i$	Blau 指数法: $H = 1 - \sum_i P_i^2$	0.51	0.17
	宗教异质 性	<i>rbb</i>	村庄信仰人数排名前三宗教各自的占比 $P_i$ , 选项包含佛教、道教、伊斯兰教、基督教、天主教以及无宗教信仰	Blau 指数法: $H = 1 - \sum_i P_i^2$	0.16	0.05
制度规则						
补贴	地方政府 补贴状况	<i>sub</i>	村庄小型农田水利设施管护是否受到地方政府的补贴: 是=1, 否=0	—	0.63	0.34
监督	村委会或 用水者协会 监督状况	<i>ipt</i>	村委会或用水者协会是否对小型农田水利设施的使用进行监管: 是=1, 否=0	—	0.29	0.09
章程 化	用水规则 章程化水 平	<i>wua</i>	村庄是否具有明定的用水规章制度或用水规则: 是=1, 否=0	—	0.16	0.07

资源使用者异质性的本质在于衡量某一资源使用者群体的差异化程度, 本文使用经济与社会维度的 8 个连续型指标对资源使用者异质性进行表征 (见表 1)。然而, 为了保证贝叶斯网络能够进行更为有效的样本训练, 同时, 为了使不同维度的资源使用者异质性指标具有测度统一性, 本文对 8 个资源使用者异质性连续型指标进行了离散化处理。首先, 根据连续型指标的极大值与极小值计算出其极差; 其次, 将极差进行 5 等分割, 划分出 5 类区间; 最后, 根据原数值点所落入区间的不同, 对原本连续型指标进行离散化赋值。具体处理方式如图 3 所示。

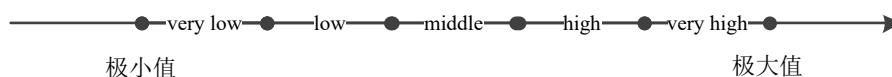


图 3 内部异质性指标离散化示意图

注: very low、low、middle、high 对应区间为左闭右开区间, very high 对应区间为闭区间; 向右方向表示异质性水平增大的方向。

#### 四、实证分析

结合图 2 给定的网络拓扑结构，应用贝叶斯方法进行样本训练，得到图 5~10 所示的参数学习结果。图 4 为初始的样本概率分布结果。分别将图 5~10 与图 4 进行对比，可进一步分析资源使用者异质性对小型农田水利设施自主治理绩效的影响强度与影响路径。

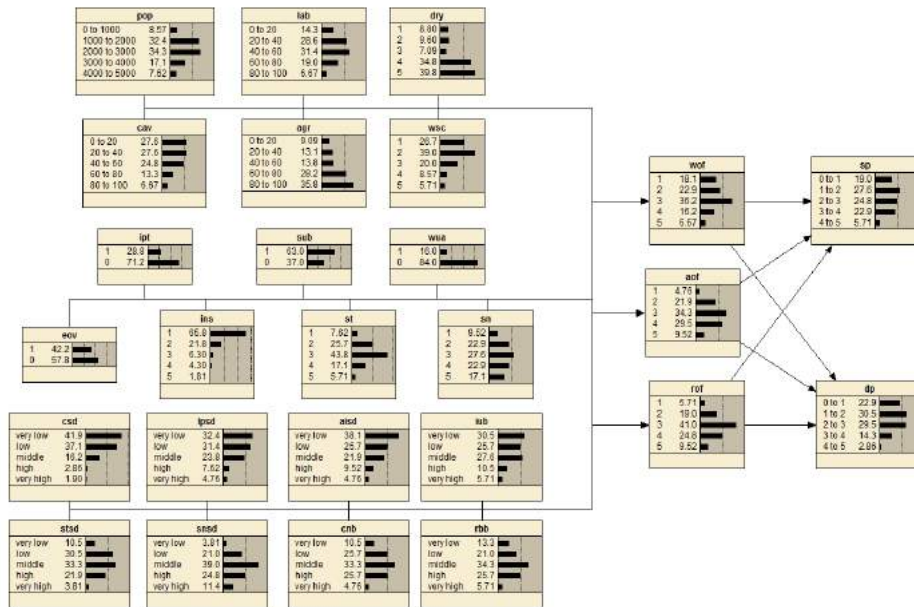


图 4 小型农田水利设施自主治理绩效产生过程的贝叶斯网络

##### (一) 经济维度异质性

通过对比表 4 与表 5 可以发现，在保持其它变量节点概率分布不变的情况下，将耕地面积异质性 (*csd*)、劳动力人口异质性 (*lpsd*)、农业收入异质性 (*aisd*)、利益异质性 (*iub*) 4 个经济维度的资源使用者异质性指标控制取值为“very low”时：农户参与管护意愿 (*wof*) 取“比较愿意”和“非常愿意”的概率共计上升了 15.34%；农户参与管护能力 (*aof*) 取“参与能力很弱”和“参与能力较弱”的概率共计上升了 22.37%；农户认知规范度 (*rof*) 取“非常不重要”和“较不重要”的概率共计上升 8.03%。与此同时，小型农田水利设施供给绩效 (*sp*) 取“一般”、“较高”和“很高”的概率上升 6.88%，占用绩效 (*dp*) 取“很低”、“较低”和“一般”的概率上升 3.68%。

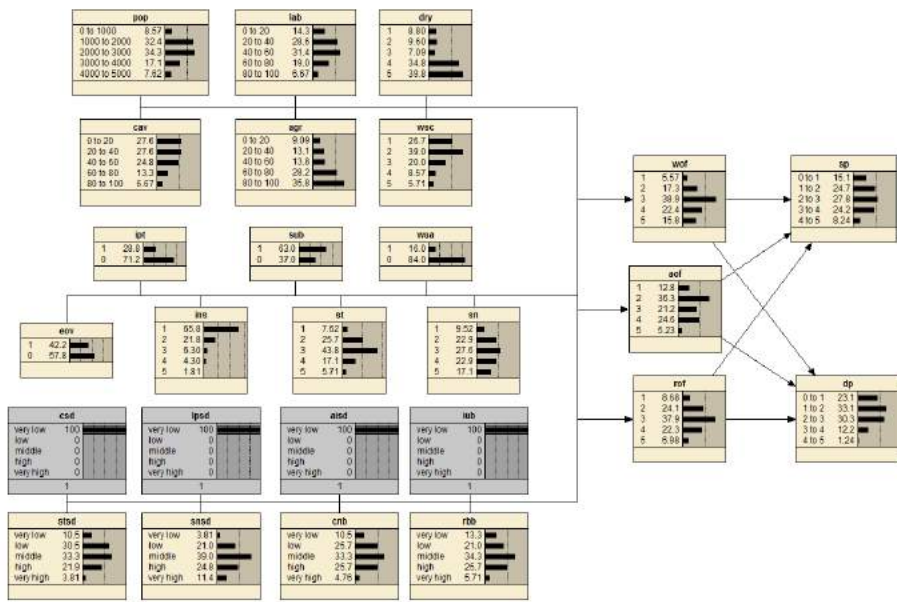


图 5 控制经济维度异质性取“very low”的贝叶斯网络

通过对比表 4 与表 6 可以发现，在保持其它变量节点概率分布不变的情况下，将耕地面积异质性 (*csd*)、劳动力人口异质性 (*lpsd*)、农业收入异质性 (*aisd*)、利益异质性 (*iub*) 4 个经济维度的资源使用者异质性指标控制取值为“middle”时：农户参与管护意愿 (*wof*) 取“非常不愿意”、“较不愿意”和“一般”的概率共计上升了 7.72%；农户参与管护能力 (*aof*) 取“参与能力一般”、“参与能力很强”和“参与能力较强”的概率共计上升了 4.55%；农户认知规范度 (*rof*) 取“比较重要”和“非常重要”的概率共计上升 0.65%。与此同时，小型农田水利设施供给绩效 (*sp*) 取“一般”、“较高”和“很高”的概率上升 4.92%，占用绩效 (*dp*) 取“很低”、“较低”和“一般”的概率上升 7.87%。

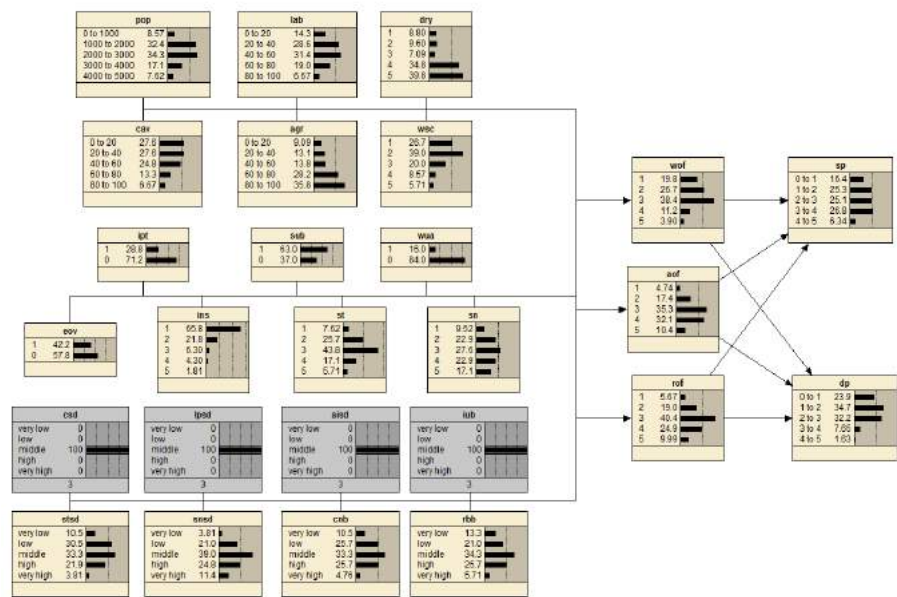


图 6 控制经济维度异质性取“middle”的贝叶斯网络

通过对比表 4 与表 7 可以发现,在保持其它变量节点概率分布不变的情况下,将耕地面积异质性 (*csd*)、劳动力人口异质性 (*lpsd*)、农业收入异质性 (*aisd*)、利益异质性 (*iub*) 4 个经济维度的资源使用者异质性指标控制取值为“very high”时:农户参与管护意愿 (*wof*) 取“非常不愿意”、“较不愿意”和“一般”的概率共计上升了 19.68%;农户参与管护能力 (*aof*) 取“参与能力一般”、“参与能力很强”和“参与能力较强”的概率共计上升了 9.88%;农户认知规范度 (*rof*) 取“一般”、“比较重要”和“非常重要”的概率共计上升 5.00%。与此同时,小型农田水利设施供给绩效 (*sp*) 取“很低”、“较低”和“一般”的概率上升 4.69%,占用绩效 (*dp*) 取“一般”、“较高”和“很高”的概率上升 6.46%。

综上分析可知,用水农户群体经济维度的异质性越强,农户参与小型农田水利设施的管护意愿会越低,农户参与小型农田水利设施的管护能力和在此过程中呈现的认知规范度越高,最终导致小型农田水利设施供给绩效的下降和占用绩效的上升。这种现象表明,经济维度的异质性可作用于资源使用群体的“行动情境”,影响其“内在激励”、“自我能力”与“认知规范”水平,进而改变公共池塘资源的供给绩效和占用绩效。其中,较强的经济维度异质性会削弱资源使用群体的“内在激励”水平,而增强资源使用群体的“自我能力”与“认知规范”水平。首先,经济维度异质性越强,资源使用群体在土地与劳动力禀赋、利益与农业收入方面的差异越大,对公共池塘资源的需求差异越大,参与公共池塘资源自主治理的积极性差异越大,达成一致有效集体行动的难度越大,资源使用群体“内在激励”水平越低。其次,较大的土地与劳动力禀赋、利益与农业收入差异意味着资源使用群体中更易涌现出经济实力较强、资源需求量较大的个体,而这部分个体通常是公共池塘资源自主治理的发起者与示范者 (Olson, 1971; Hardin, 1982; Oliver et al., 1985),因此,资源使用群体的“自我能力”水平随之升高。再者,较大的经济利益差异意味着资源使用群体间的更容易形成有效的相互监督,所以,资源使用群体的“认知规范”水平随着提高。

公共池塘资源的供给绩效水平既取决于资源使用群体的供给意愿,也取决于资源使用群体执行意愿的能力,其中,较高的供给意愿是实现较高供给绩效水平的必要条件。因此,当较强的经济维度异质性削弱资源使用群体的“内在激励”水平时,资源使用群体的供给意愿下降,公共池塘资源的供给绩效水平下降。

公共池塘资源的占用绩效水平既取决于资源使用群体的认知规范,也取决于资源使用群体践行规范的能力。因此,当较强的经济维度异质性增强资源使用群体的“自我能力”与“认知规范”水平时,公共池塘资源的占用绩效水平上升。



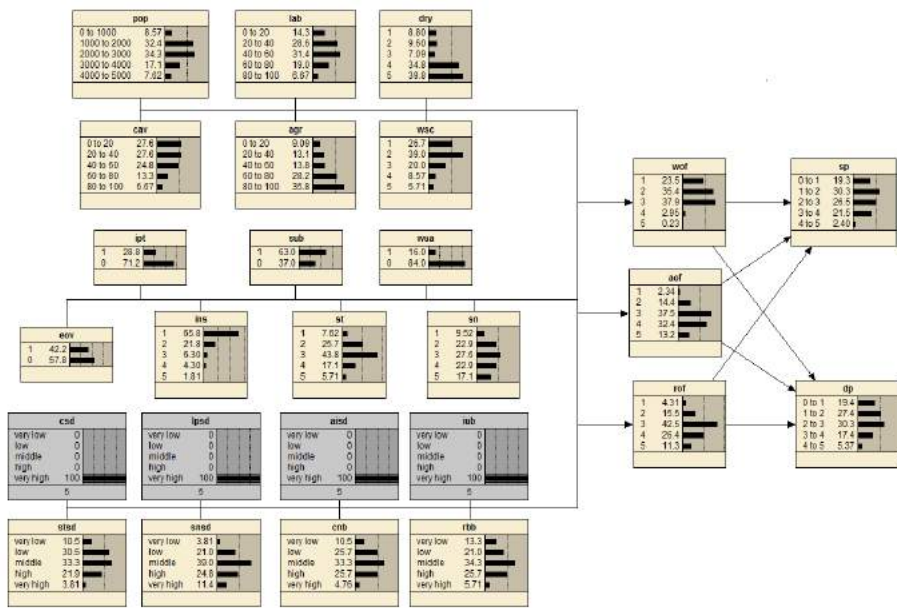


图 7 控制经济维度异质性取“very high”的贝叶斯网络

## (二) 社会维度异质性

通过对比表 4 与表 8 可以发现，在保持其它变量节点概率分布不变的情况下，将社会信任异质性 (*stsd*)、关系网络异质性 (*snsd*)、宗族异质性 (*cnb*)、宗教异质性 (*rbb*) 4 个社会维度的资源使用者异质性指标控制取值为“very low”时：农户参与管护意愿 (*wof*) 取“比较愿意”和“非常愿意”的概率共计上升了 27.54%；农户参与管护能力 (*aof*) 取“参与能力一般”、“参与能力很强”和“参与能力较强”的概率共计上升了 1.98%；农户认知规范度 (*rof*) 取“一般”、“比较重要”和“非常重要”的概率共计上升 13.75%。与此同时，小型农田水利设施供给绩效 (*sp*) 取“一般”、“较高”和“很高”的概率上升 7.78%，占用绩效 (*dp*) 取“较高”和“很高”的概率上升 8.64%。

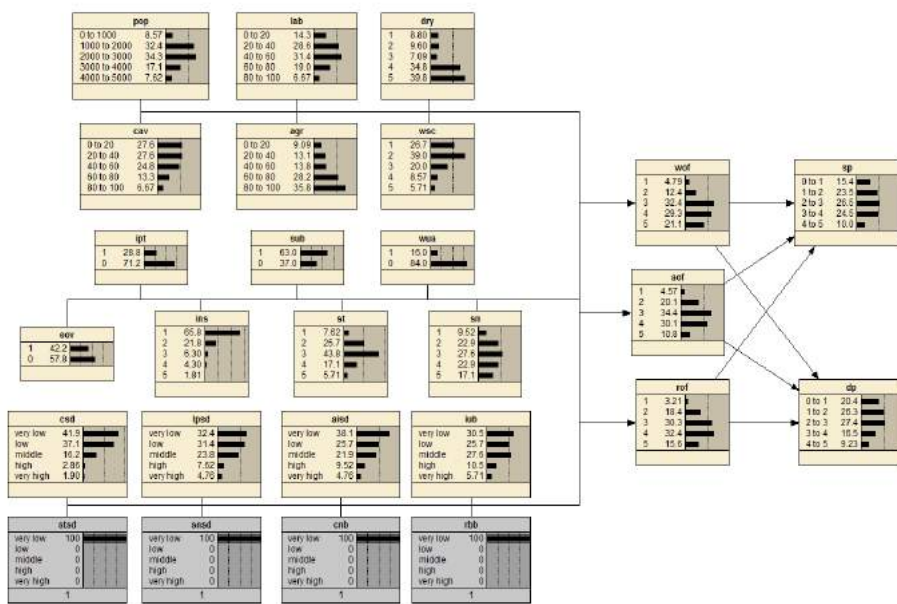


图 8 控制社会维度异质性取“very low”的贝叶斯网络

通过对比表 4 与表 9 可以发现,在保持其它变量节点概率分布不变的情况下,将社会信任异质性 (*stsd*)、关系网络异质性 (*snsd*)、宗族异质性 (*cnb*)、宗教异质性 (*rbb*) 4 个社会维度的资源使用者异质性指标控制取值为“middle”时:农户参与管护意愿 (*wof*) 取“非常不愿意”、“较不愿意”和“一般”的概率共计上升了 2.84%; 农户参与管护能力 (*aof*) 取“参与能力很弱”、“参与能力较弱”和“参与能力一般”的概率共计上升了 1.61%; 农户认知规范度 (*rof*) 取“非常重要”和“较不重要”的概率共计上升 1.08%。与此同时,小型农田水利设施供给绩效 (*sp*) 取“很低”和“较低”的概率上升 1.13%, 占用绩效 (*dp*) 取“很低”和“较低”的概率上升 1.60%。

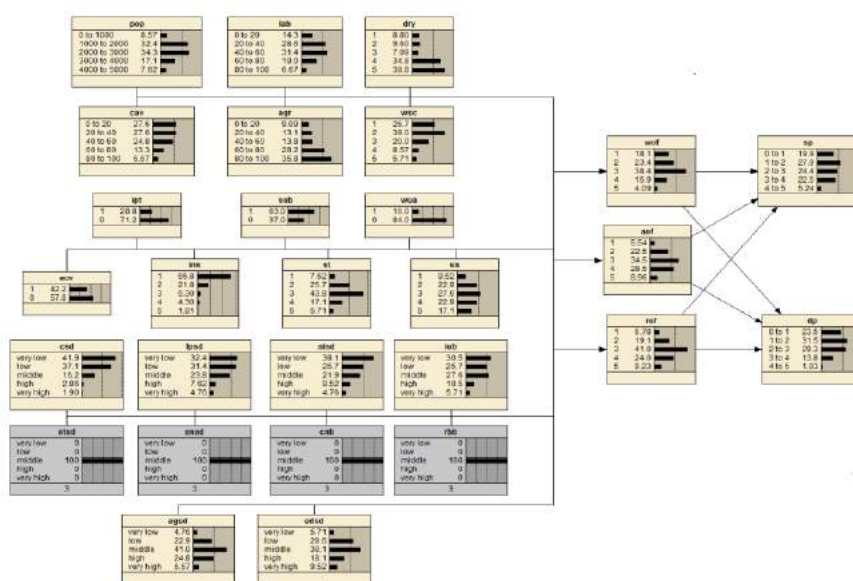


图 9 控制社会维度异质性取“middle”的贝叶斯网络

通过对比表 4 与表 10 可以发现,在保持其它变量节点概率分布不变的情况下,将社会信任异质性 (*stsd*)、关系网络异质性 (*snsd*)、宗族异质性 (*cnb*)、宗教异质性 (*rbb*) 4 个社会维度的资源使用者异质性指标控制取值为“very high”时:农户参与管护意愿 (*wof*) 取“非常不愿意”和“较不愿意”的概率共计上升了 14.50%; 农户参与管护能力 (*aof*) 取“参与能力很弱”、“参与能力较弱”和“一般”的概率共计上升了 6.21%; 农户认知规范度 (*rof*) 取“非常重要”和“较不重要”的概率共计上升 14.81%。与此同时,小型农田水利设施供给绩效 (*sp*) 取“很低”的概率上升 13.53%, 占用绩效 (*dp*) 取“很低”、“较低”和“一般”的概率上升 8.58%。

综上分析可知,用水农户群体社会维度的异质性越强,农户参与小型农田水利设施的管护意愿会越低,农户参与小型农田水利设施的管护能力和在此过程中呈现的认知规范度越低,最终导致小型农田水利设施供给绩效和占用绩效的下降。这种现象表明,社会维度的异质性可作用于资源使用群体的“行动情境”,影响其“内在激励”、“自我能力”与“认知规范”水平,进而改变公共池塘资源的供给绩效和占用绩效。其中,较强的社会维度异质性会削弱资源使用群体的“内在激励”、“自我能力”与“认知规范”水平。首先,社会维度异质性越强,资源使用群体在社会信任、关系网络、宗族构成与宗教信仰方面的差异越大,统一的合作共识越难以达成,有效的人力、物力资源统筹越难以实现,一致的群体

认知越难以形成，因此，资源使用群体的“内在激励”、“自我能力”与“认知规范”水平越低。

公共池塘资源的供给绩效水平既取决于资源使用群体的供给意愿，也取决于资源使用群体执行意愿的能力。因此，当较强的社会维度异质性削弱资源使用群体的“内在激励”与“自我能力”水平时，资源使用群体的供给意愿与能力下降，公共池塘资源的供给绩效水平下降。

公共池塘资源的占用绩效水平既取决于资源使用群体的认知规范，也取决于资源使用群体践行规范的能力。因此，当较强的社会维度异质性削弱资源使用群体的“自我能力”与“认知规范”水平时，公共池塘资源的占用绩效水平下降。

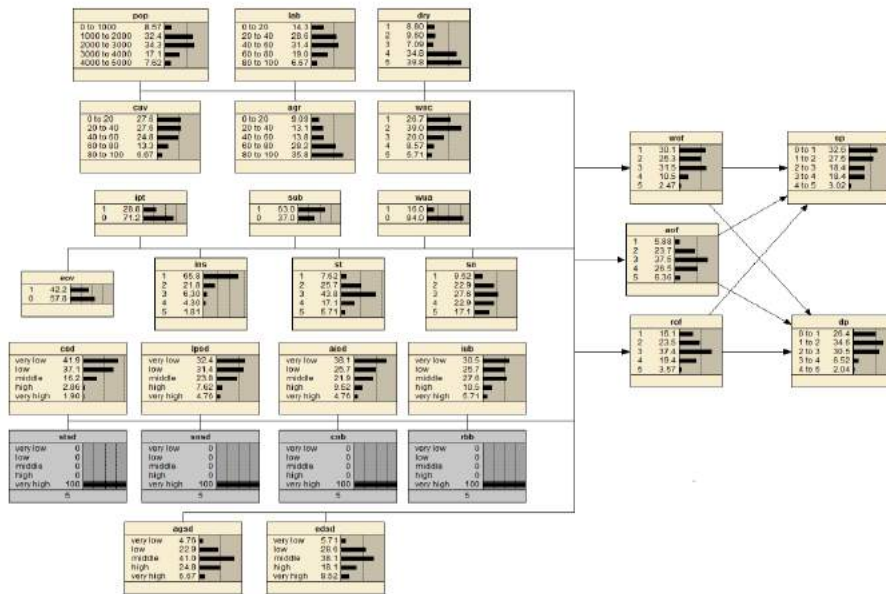


图 10 控制社会维度异质取“very high”的贝叶斯网络

### (三) 联合分析

综合图 4~10 信息可得经济、社会维度异质性与供给、占用绩效的联合分布矩阵图如图 11 所示。由图 11 可知，对于资源使用者异质性而言，A、D、G 是理想的分布区域，而 C、F、I 是非理想分布区域。整体而言，当把社会维度异质性控制在较弱水平时，经济维度异质性的变化并不会造成公共池塘资源自主治理绩效的下降。当把社会维度异质性控制在较强水平时，经济维度异质性的变化并不会造成公共池塘资源自主治理绩效的上升。在此意义上，社会维度异质性对公共池塘资源自主治理绩效有着更重要的影响。

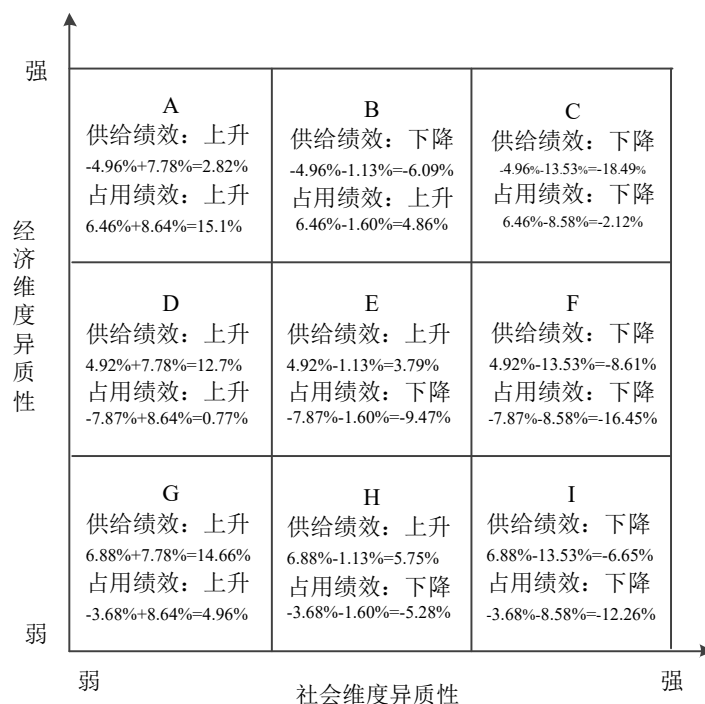


图 11 经济、社会维度异质性与供给、占用绩效的联合分布矩阵

### 五、结论与政策启示

本文以内蒙古、陕西、宁夏、河南、山东 5 个省（自治区）100 个位于黄河灌区的村庄为例，基于 IAD 框架构建贝叶斯网络，分析了资源使用者异质性和小型农田水利设施自主治理绩效的影响。结果表明：较强的经济维度异质性会削弱资源使用群体的“内在激励”水平，而增强资源使用群体的“自我能力”与“认知规范”水平，进而造成小型农田水利设施供给绩效的下降和占用绩效的上升；较强的社会维度异质性会削弱资源使用群体的“内在激励”、“自我能力”与“认知规范”水平，进而造成小型农田水利设施供给绩效和占用绩效的下降；社会维度异质性对小型农田水利设施自主治理绩效有着更强的影响。

上述研究结论具有重要的政策启示：要充分考虑资源使用者异质性和农村公共池塘资源自主治理绩效的影响。根据公共池塘资源的供给水平与可持续使用状况，判断当前公共池塘资源使用过程中的主要矛盾，依据经济、社会维度异质性联合分布规律，建立具有不同异质性水平的村民决策小组以及公共池塘资源管护小组，以针对性地提升公共池塘资源的自主治理绩效。

### 参考文献

1. 埃莉诺·奥斯特罗姆. 公共事务的治理之道. 三联书店, 2000
2. 韩俊, 何宇鹏, 王宾. 我国小型农田水利建设和管理机制: 一个政策框架. 改革, 2011(08): 5~9
3. 王亚华. 中国用水户协会改革: 政策执行视角的审视. 管理世界, 2013(06): 61~71
4. 李军, 陈士俊, 张云起. 基于贝叶斯网络的营销风险评价研究. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2007(03): 42~48.
5. Olson M. The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971
6. Hardin G. The Tragedy of the Commons. Science. 1968, 162(3859): 1243~1248

7. Sandler T. *Collective Action: Theory and Applications*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 1992
8. Ophuls W. *Leviathan or Oblivion. Toward a Steady State Economy*. San Francisco: Freeman , 1973
9. Hardin G. Political Requirements for Preserving Our Common Heritage. *Wildlife and America*, 1978, 31: 1017
10. Carruthers I D, Stoner R. *Economic Aspects and Policy Issues in Groundwater Development*. Staff working paper No. 496. Washington, DC: World Bank, 1981
11. Johnson O. E. G. Economic analysis: the legal framework and land tenure systems. *The journal of law and economics*. 1972, 15(1): 259~276
12. Demsetz H. *Toward a Theory of Property Rights*. *Classic Papers in Natural Resource Economics*. Palgrave Macmillan UK, 1974:347~359
13. Smith R J. Resolving the Tragedy of the Commons by Creating Private Property Rights in Wildlife. *Cato Journal*, 1981, 1(2):439~468
14. Ostrom V. Language, Theory and Empirical Research in Policy Analysis. *Policy Studies Journal*, 1975, 3(3):274~282
15. Kiser L. L, Ostrom E. The Three Worlds of Action: A Metatheoretical Synthesis of Institutional Approaches. *Polycentric Games and Institutions*, 2000, 1: 56~88
16. Ostrom E. An Agenda for The Study of Institutions. *Public choice*, 1986, 48(1): 3~25
17. Ostrom E. *Understanding institutional diversity*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2005
18. Hardin, R. *Collective Action*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1982
19. Oliver P., G. Marwell and R.Teixeira. A Theory of the Critical Mass. I: Interdependence, Group Heterogeneity, and the Production of Collective Action, *American Journal of Sociology*, 1985, 91(3): 522~556
20. Fearon, J. D. and D. D. Laitin. Explaining Interethnic Cooperation. *American Political Science Review*, 1996, 90(4): 715~735
21. Poteete A. R. and Ostrom E. Heterogeneity, Group Size and Collective Action: the Role of Institutions in Forest Management. *Development and Change*, 2004, 35(3): 435~461
22. Nagendra H. Heterogeneity and Collective Action for Forest Management, working paper of Human Development Report Office (HDRO), United Nations Development Programme(UNDP), 2011
23. Ostrom E. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action: Political Economy of Institutions and Decision*. New York: Cambridge University Press, 1990
24. Pearl, J. F. Propagation and Structuring in Belief Networks. *Artificial Intelligence*, 1986, 29(3): 241~288

# 飼料イネ FTMR に配合するデンプン源の差異がホルスタイン 種泌乳牛の乳生産成績と窒素出納に及ぼす影響

一戸俊義<sup>1</sup> 宋 相憲<sup>1</sup> 安田康明<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>島根大生物資源科学部, <sup>2</sup>島根県畜産技術センター)

## 緒言

近年の畜産経営は、トウモロコシなどの輸入穀物飼料やイネ科粗飼料の価格高騰によって、自給飼料の高度利用による飼料自給率の向上が喫緊の課題となっている。飼料米はトウモロコシや大麦などの輸入飼料穀物の代替となる可能性を有しており、飼料自給率を向上させる手段として近年注目されている。また、耕作放棄水田に飼料イネを作付することによって、粗飼料基盤として有効な土地利用につながると考えられる。

日本の畜産経営は、資源循環型の畜産経営確立の途にあり、家畜糞尿中に排泄される窒素の環境負荷が問題とされ、家畜糞尿の環境負荷および家畜由来に由来する面源汚染の抑制が畜産農家に強く求められる社会となっている。わが国では環境保護を目的とした家畜糞尿貯蔵と処理に関する法整備が進められ、糞尿の処理基準が策定された。家畜糞尿の処理として堆肥化が挙げられるが、堆肥化には腐熟設備建設のための投資が必要であり、小規模農家には経済的な圧迫となる。今後さらに法律の基準が厳しくなることも予想され、糞尿の汚染源である窒素を飼養技術によって低減する必要がある。

島根大学と島根県畜産技術センター酪農・環境グループとの既往の共同研究により、飼料イネ TMR を給与した泌乳牛はセンターの慣行 TMR 給与時に比べてエネルギー摂取量および糞・尿への窒素排泄量が低いことが示された。乳生産成績向上と窒素排泄量低

減の双方を達成することが可能な TMR を調製するためには、TMR 構成原料の検討が必要となる。

そこで本研究では、飼料自給率の向上を図るために自給飼料作物として飼料イネホールクロップサイレージを利用して FTMR を調製するとともに、飼料イネおよび飼料米を配合した場合の乳生産成績と窒素出納成績に及ぼす影響について検討した。

## 材料および方法

### (1) 試験計画

本試験は島根県畜産技術センターにおいて実施した。島根県畜産技術センター酪農・環境グループが飼養管理するホルスタイン種泌乳牛 11 頭（初産牛 3 頭、経産牛 8 頭（2 産次 4 頭、4 産次 2 頭、5 産次 2 頭））を実験動物として供試した。

島根県畜産技術センターと共同で、飼料イネホールクロップサイレージを粗飼料の主体とし、トウモロコシの一部を大麦と粉碎した飼料玄米でそれぞれ代替した TMR を調製した。今回は配合した TMR をそれぞれ密封容器内で嫌気発酵させた発酵 TMR（以降、大麦 FTMR、イネ FTMR と記載）を給与し、消化試験成績、乳生産成績および窒素出納に及ぼす影響について調査した。

飼料イネホールクロップサイレージの材料草品種は「べこあおば」を用いた。破碎飼料玄米は「ハナエチゼン」を使用した。供試飼料の原料組成および化学成分組成をそれぞれ表 1 および表 2 に示した。

試験は 10 月 11 日から 11 月 8 日にかけて、馴致期 11 日および本期 4 日からなる試験を 2 回実施した。各期の試験において、供試牛を 6 頭と 5 頭の 2 群に分け、大麦 FTMR 給与区とイネ FTMR 給与区にそれぞれ割り当てた。初産牛の 3 頭を 1 頭（泌乳初期）と 2



頭（泌乳初期と中期）に分け、経産牛の 8 頭は産次数合計値および試験開始時における分娩後日数合計値が概ね等しくなる様に 2 群に分けた。また経産牛については前回乳生産成績も考慮して 2 試験区への振り分けを行った。2 期目の試験では、各供試牛群への試験飼料の割り当てを反転した。

## (2) 飼養管理

本試験は畜産技術センター酪農・環境グループの定める給与体系により、供試牛を管理した。供試牛はフリーストール牛舎で飼養し、ミネラルブロックおよび水は自由摂取させた。日本飼養標準・乳牛（2006 年版）に準拠し、体重、乳量、産次数および受胎後日数に基づき各供試牛に栄養素要求量を算出した。ドアフィーダーを用い、算出した栄養素要求量を充足可能な量の大麦 FTMR とイネ FTMR を供試牛に給与した。搾乳は 1 日 2 回、7:00 および 16:00 に行った。

## (3) サンプル採取、化学分析および計算

大麦 FTMR とイネ FTMR の飼料サンプルは 1 期および 2 期にそれぞれ採取し、化学成分組成の分析に供した。消化率および窒素出納値を測定するために、直腸糞とスポット尿サンプルを本期最終日に採取し、供試牛の体重を測定した。本期 4 日間の乳量、乳成分および飼料摂取量を解析に用いた。

本試験では、フリーストール牛舎飼養下の供試牛から全糞全尿採取が不可能であったため不消化マーカ法（酸不溶性灰分）とスポット尿中の代謝産物濃度より、1 日あたりの排糞量と排尿量の推定を行い、この推定値に基づき栄養素消化率、乳生産のためのエネルギー利用効率および窒素出納を算出した。TMR および糞



サンプルは 60℃で 48 時間通風乾燥し、1 昼夜放置したものを 2 mm のスクリーンを通過するように粉碎した。TMR と糞サンプルについては AOAC (1984) により乾物、有機物、粗タンパク質、粗脂肪含量を分析し、Goering と Van Soest の方法 (1970) により、中性デタージェント繊維、酸性デタージェント繊維、酸性デタージェントリグニンおよび酸不溶性灰分の含量を測定した。乳量および乳成分組成は島根県畜産技術センター酪農・環境グループが測定したデータを解析に使用した。乳量と乳中の乳脂率、無脂固形分率をもとに乳の総エネルギー含量 (MJ/kg) を以下に示す関根ら (1985) の式を用いて算出した：

$$\text{牛乳のエネルギー含量 (MJ/kg 乳)} = 0.343 \times \text{乳脂肪率} + 0.199 \times \text{SNF 率} + 0.005$$

乳の総エネルギー含量に乳量を乗じて乳としてのエネルギー生産量 (MJ/日) を算出した。供試牛が摂取した代謝エネルギー (ME, MJ/日) の乳生産への利用効率について、以下に示す乳生産のエネルギー粗効率 (GEE, Brody と Procter 1935) と生産に利用可能な ME の乳生産効率 (NEE, Gordon ら 1995) を用いて評価した。

$$\text{GEE (\%)} = 100 \times [\text{乳生産の ME 量} \div \text{ME 摂取量}]$$

$$\text{NEE (\%)} = 100 \times [\text{乳生産の ME 量} \div (\text{ME 摂取量} - \text{維持の ME})]$$

供試牛の TDN 摂取量は、以下の式 (日本標準飼料成分表 2009 年) によって算出した。

$$\text{TDN (kg)} = 0.01 \times [\text{OM 摂取量 (kg)} \times \text{OM 消化率 (\%)} + \text{EE 摂取量 (kg)} \times \text{EE 消化率 (\%)} \times 1.25]$$

ME 摂取量を以下の式 (日本飼養標準 2006) により算出した。

$$\text{ME (MJ)} = \text{TDN (kg)} \times 3.62 \times 4.184$$

1日あたりの排尿量は、供試動物の体重および採取したスポット尿サンプル中のクレアチニン濃度測定値 (mg/dL) より、尿中へ

の1日あたりのクレアチニン排泄量は乳用牛の体重1kgあたり24.2mg（田村ら 2007）として排尿量の推定を行った。尿中窒素含量はケルダール法により測定した。

#### 統計分析

本試験は飼料（n=2）が乳用牛の泌乳成績に及ぼす効果について検討したものである。飼料の効果について、初産・経産、経産牛の産次数および乳期を因子とし、市販の統計パッケージを用いて検定を行った。とりあげた上記因子のうち、供試牛の個体数による制限のために統計分析ができない項目があり、試験期の進行により、乳期が中期から後期へ移動する個体があった。本稿では、処理区間の測定項目の差異について供試牛プロファイル別の検定結果をとりまとめ、大麦 FTMR とイネ FTMR の平均値を結果として示す。平均値間の差異は分散分析法により、有意差 5% 水準で検定した。

#### 結果および考察

乾物ほか 5 成分摂取量を表 3 に示した。粗脂肪摂取量はイネ FTMR 区が高い値を示し、繊維摂取量は大麦 FTMR 区が高い値を示した。しかし、両処理間の乾物摂取量、有機物摂取量、粗タンパク摂取量、粗脂肪摂取量に有意差はなかった。本試験で調製した大麦 FTMR 区とイネ FTMR 区の栄養素摂取量には差がなかった。

栄養素消化率を表 4 に示した。乾物消化率、有機物消化率、粗タンパク消化率は大麦 FTMR 区に比べてイネ FTMR 区が 2 ポイント程度高い値を示し、粗脂肪消化率は大麦 FTMR 区に比べて、イネ FTMR 区が有意に高かった。中性デタージェント繊維消化率は大麦 FTMR 区が高い値を示したが、有意差はなかった。

乳量および乳成分についての結果を表 5 に示した。乳量および乳タンパク質、乳脂肪、無脂乳固形分含量、乳エネルギー含量に処理間差はなかった。MUN において大麦 FTMR に比べてイネ FTMR が有意に高い値を示した。MUN 値は適正值（10－14 mg/dL）であったが乳タンパク質含量の値より、粗タンパク質に比べてデンプンの給与が過剰であったことが示された。

TDN 摂取量および乳生産のエネルギー利用効率を表 6 に示した。消化試験により算出した TDN 摂取量に処理間差はなかった。また、供試牛の乳生産に対する TDN 充足率は両区で 108%と算出された。全乳期での比較において、GEE と NEE は両区間に有意差は見られなかったが、NEE はイネ FTMR が高い値を示した。NEE は両区間とも 100%未満であり、体組織蓄積がみとめられた。このことから、イネ FTMR がムギよりもより効率的な ME の乳生産利用が行われ、高い  $k_L$  値であった可能性がある。既往の共同研究で供試した慣行 TMR の成績と比較すると、飼料イネ FTMR は GEE の差はないが、NEE において高い値を示した。このことから、飼料イネ FTMR はエネルギー効率が優れた飼料だと考えられる。

窒素出納成績について表 7 に示した。両処理区間に有意差はなかった。しかし、体蓄積量が負の値にならなかったことから体組織からの動員がなく、身を削った無理な生産は行われなかったことが示された。BUN の値は生理的正常値の範囲内であった。両 FTMR 給与区の糞および尿への窒素排泄量合計値は島根県畜産技術センターの慣行 TMR および飼料イネ TMR 給与時より 1.5 ポイント低い値を示し、乳中 MUN 値から推察した様に、デンプンと分解性タンパク質給与量の調節により、さらなる窒素排泄量の低減が達成できる可能性が示唆された。

本試験の結果より、イネ FTMR と大麦 FTMR は栄養素摂取量、消

化率および乳生産成績が同等であったことから、破碎飼料玄米は圧ペン大麦と同等の飼料価値を持つものと考えられる。よって、飼料イネホールクロップサイレージ配合 TMR の原料とする場合、輸入穀物である大麦は、国産の破碎飼料玄米で充分代替できる可能性が示唆された。これにより、飼料イネホールクロップサイレージおよび飼料米の配合 TMR による飼料自給率の向上がさらに拡大する可能性がある。しかし、乳量は輸入飼料中心の従来 TMR に比べて低く、実用させるためには乳量増加が必須である。乳量を増加させる方法として、微生物タンパク質合成量および小腸への代謝性タンパク流入量を増加させる飼料組成の検討が必要であると考えられる。

窒素出納成績においてもイネ FTMR と大麦 FTMR に差は見られなかった。糞尿由来の窒素排泄を低減しながら、飼料自給率の向上を図る上で飼料イネホールクロップサイレージと破碎飼料玄米を配合した TMR は有効な手段だと示唆される。さらに、今後は飼料イネホールクロップサイレージを配合した TMR において、課題である乳量の増加を図りつつ窒素排泄量を過度に増加させない方法も検討課題である。

また、今回用いた FTMR 技術は保存性と作業効率性に優れており、調製した TMR を商業レベルで流通させることも可能になる。それによって、高齢化が進む酪農家の作業軽減と飼料の安定供給が期待でき、今後の重要な飼料給与体系になると考えられる。これを実現するためには、FTMR を調製する基地局の設置および流通経路の整備が今後の課題であると考えられる。

表 1 供試飼料の原料組成 (% 乾物)

	大麦 FTMR	イネ FTMR
飼料イネサイレージ	26.7	26.7
アルファルファ	16.9	16.9
イタリアンライグラス乾草	17.1	17.1
圧ペン大麦	10.4	—
破砕飼料玄米	—	10.4
圧ペントウモロコシ	12.3	12.3
コーングルテンフィード	14.1	14.1
ダイズ粕	2.5	2.5

表 2 供試飼料の化学成分組成

	大麦 FTMR	イネ FTMR
乾物 (%)	45.4	44.9
有機物 (% 乾物)	84.3	82.2
粗タンパク質 (% 乾物)	13.6	14.0
粗脂肪 (% 乾物)	2.0	2.6
中性デタージェント繊維 (% 乾物)	41.0	33.2
酸性デタージェント繊維 (% 乾物)	28.0	23.4

表 3 栄養素摂取量 (kg/日)

	大麦 FTMR	イネ FTMR
乾物	19.5	19.4
有機物	16.4	16.0
粗タンパク質	2.7	2.7
粗脂肪	0.4	0.5
中性デタージェント繊維	8.0	6.4
酸性デタージェント繊維	5.5	4.5

表 4 栄養素消化率 (%)

	大麦 FTMR	イネ FTMR
乾物	69.0	71.3
有機物	67.8	69.7
粗タンパク質	70.0	73.4
粗脂肪	58.8	60.6
中性デタージェント繊維	57.2 <sup>a</sup>	53.6 <sup>b</sup>
酸性デタージェント繊維	61.2	58.5

表 5 乳量および乳成分

	大麦 FTMR	イネ FTMR
乳量 (kg)	22.9	23.5
乳成分 (%)		
乳脂率 (%)	4.6	4.5
タンパク (%)	3.8	3.7
無脂固形分 (%)	9.2	9.2
MUN (mg/dL)	10.9 <sup>b</sup>	12.4 <sup>a</sup>
エネルギー含量 (MJ/kg)	3.4	3.4

MUN: 乳中尿素窒素

表 6 エネルギー利用効率

	大麦 FTMR	イネ FTMR
TDN 摂取量 (kg/日)	11.4	11.4
TDN 充足率 (%)	108.4	108.1
GEE (%)	45.7	47.7
NEE (%)	85.8	98.3

TDN: 可消化養分総量

GEE: 乳生産のエネルギー粗効率

NEE: 生産に利用可能な ME の乳生産効率

表 7 窒素出納成績

	大麦 FTMR	イネ FTMR
窒素摂取量 (g/d)	424	435
糞中排泄 (g/d)	127	118
(% 摂取量)	30	27
乳中排泄 (g/d)	136	136
(% 摂取量)	32	31
尿中排泄 (g/d)	123	145
(% 摂取量)	29	33
体蓄積 (g/d)	39	36
(% 摂取量)	9	8
BUN (mg/dL)	13	14

BUN : 血漿中尿素窒素



## 引用文献

Agricultural and Food Research Council (AFRC). 1993. Energy and protein requirements of ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Response to Nutrients. CAB International, Wallingford.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1984. Official Method of Analysis of the AOAC, 14th edn. AOAC, Arlington, VA.

農業・食品産業技術総合研究機構編. 2006. 日本飼養標準・乳牛 (2006年版). 中央畜産会. 東京.

農業・食品産業技術総合研究機構編. 2009. 日本標準飼料成分表 (2009年版). 中央畜産会. 東京.

関根純二郎・近藤誠司・大久保正彦・朝日田康司: 乳成分含量による牛乳エネルギー価の推定. 日畜会報 56:583-587. 1985

田村哲生・井上和典・篠原 晃・古賀照章: 泌乳牛の日中の部分尿による総窒素およびアラントインの排泄量の推定. 日畜会報 78: 311-316. 2007

# 日本における環境保全型農業の成立過程と持続的展開要因についての一考察 —島根県の有機農業経営の取組みを事例に—

谷口憲治

(就実大学経営学部・島根大学名誉教授)

## 1. はじめに

日本における環境保全型農業についての議論と実践は、高度経済成長の負の遺産が明確になった1970年以降本格的に行われるようになった。ただ、これまでの研究は、この農業が出てきた経済的・政策的・技術的研究が中心となっているため、この農業の性格、特徴は示されてもそれがどのように発展するかが不十分となっていることから外部経済要因の変化に対するこの農業経営の展開要因を明らかにする。<sup>1)</sup>

本稿では、日本における農業経営における環境保全型農業の形成過程を概観し、その展開要因について島根県における有機農業経営体の事例を中心にみていく。この有機農業経営展開考察の視点は、環境保全に取り組みながら持続的な経済組織とするためにどのような取組みをしているのかを経営学的視点から整理していく。<sup>2)</sup> 特に、有機農業研究において1980年代後半を境にその経営者の取り組み姿勢の違いが指摘されているが、ここではグローバル化前後の経営対応の違いを中心に考察していく。<sup>3)</sup> ここで、本稿では、後で詳述するが、現在の農業政策の使用法に則り、有機農業を環境保全型農業の一形態とし、環境保全農業、環境保全型農業の語句は、農林水産省が、それぞれ1991年の『農業白書』、1994年の「環境保全型農業の考え方」での使用内容とする。また、環境保全型農業の定義については、グローバル化が顕著でない1980年代以前の農業生産者、消費者によるものを有機運動定義とし、それが顕著となる1980年代後半になって国がはじめた対応を政策定義として叙述する。

## 2. グローバル社会成立の前後の定義

### 有機農業運動定義と環境保全型農業の政策定義—

#### 1) グローバル社会以前に成立した有機農業運動定義

農業生産性向上は、物質的豊かさを求める人間生活には不可欠のものであるが、第二次大戦後、食糧難克服のため化学肥料、農薬といった合成化学物資が大量投入されていった。さらに1961年には、農工間所得格差是正を目指す農業基本法が制定され、合成化学物資投入による農業生産向上させる政策を農業の近代化政策として促進された。こうした生産性向上政策は、環境汚染、食料安全性、健康被害といった国民生活に負の影響をもたらすことになったが、それらは、消費者、生産者といった国民生活の実生活の中から経験的に認識されるようになった。そのため、こうした負の影響への対応は、国民自らその克服策として個別的、組織的対応がなされ、政策の基本方針の変化を必要とする政策的対応は遅れることとなった。

こうした中で有機農業運動による有機農業が出現したのである。農業生産性向上のための農薬や化学肥料の増投は、それを散布する農業者、散布した食料を食べる消費者に健康

被害をもたらすことになり、それを克服しようとする動きが1960年代に全国各地の農村及び都市から起こり、その中で1971年に日本有機農業研究会が設立された。この有機農業について、「奇形化した現代日本農業を本来の「あるべき姿の農業」に修復する草の根・等身大の生活・農業・社会変革運動」とし、1978年には「生産者と消費者の提携の十原則」による産消提携運動を行うことにより「大量生産・大量広域流通に代わる地場生産・地場消費（地域自給・地域資源循環）を提案し、運動の中に取り組んでいった」としている。<sup>4)</sup> この有機農業運動は、「現代の農業技術体系や農業労働観、農産物流通システム、農産物の消費構造および国の農業政策に内在する様々な歪み」を総体として是正する運動」とされるように農業基本法と相入れないものであり、「農薬や化学肥料を使わない農業、それが有機農業であるというだけの単純な解釈に留まっていると、今日の社会のいろいろな矛盾を看過することになる」としている。また、脚注にも示すように「産消提携十原則」には、価格設定、取引および配送方法から生産者と消費者の関係も規定している。本稿では、この規定を有機農業運動定義とする。この定義は、その後、有機農業運動の拡大に伴い、公正および平等を政策立案の原則とする中で制定された政策定義とは大きく異なるものであった。<sup>5)</sup>

## 2) グローバル社会成立後に成立した政策定義

### (1) 政策定義の成立過程と内容

日本農業における環境汚染、食料安全性、健康被害への政策対応は、国内外の対応に遅れて始まることとなった。国内では前述のように1960年代に農業生産者や消費者の中で認識され、1970年代の有機農業運動となったが、国際的には、1963年に消費者の健康の保護と食品の構成な貿易を目的とする国際食品規格委員会（コーデックス委員会）の設立、1970年には地球規模の環境問題等に対処する民間の国際組織ローマ・クラブの設立となり、そこでは1972年に研究報告書『成長の限界』が著された。その後、1985年にはアメリカが、環境負荷の軽い農業として低投入持続型農業政策を示し、1986年にチェルノブイリ原発事故の発生による環境問題に対する国際的な認識が高まった。こうした中で日本政府もこれに対応せざるを得ない状況となった。そして、1987年3月に有機農業研究議員連盟の発足、1988年4月の87年度版農業白書による「高付加価値農業」としての有機農業の公式言及、9月の特別栽培米制度の導入、1989年5月の農林水産省の有機農業対策室の設置、さらに「有機」「無農薬」の表示のあり方等を検討する食品表示対策室の設置となった。<sup>6)</sup>

こうした過程を経て、1991年の『農業白書』に環境保全農業という言葉が農林水産省の公式文書として最初に現れた。<sup>7)</sup> ここにおいては「農業の生産性向上と環境保全との調和のとれた環境保全農業を確立することが重要」とされ、それまでの生産性至上から環境との調和による農業への政策的変化を示している。このことは、1992年6月に「我が国及び世界の新しい事態に対応するため」農林水産省が新世紀に向けた今後の施策の方向性として発表された「新しい食料・農業・農村政策の方向」（新政策）における「主な政策の展開方向」において「環境負荷の軽減に配慮した農法の推進」として「環境保全に資する農業」をあげている。この過程を経て、環境保全型農業という表現が示されることとなり、現在

もそれを踏襲しているので本稿では政策定義とする。つまり、1994年4月の農林水産省環境保全型農業推進本部による「環境保全型農業の基本的考え方」において「農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業」とされている。<sup>8)</sup> ただ、これと同じように、従来の生産性向上とは異なる新たな農業の動きである「高付加価値農業」、さらに先述した有機農業運動が示した定義との関連は示されていない。<sup>9)</sup>

このように国内外のそれまでの生産性至上とは異なる農業の認識の高まり、有機農業運動の定義との関連性を持たない「有機農業」および「環境保全農業」の国の公的言及は、有機農産物が多量に流通する事態となり、「似て非なる有機農業」が急増し、有機農産物の基準を求める動きが民間企業・団体、市町村行政で高まり、その結果、農林水産省は、1993年に有機農産物及び特別栽培農産物に係る表示ガイドラインを施行することとなった。<sup>10)</sup> しかし、このガイドラインには法的強制力はなく、問題の解消にはならず、このような時期に環境保全型農業が出され、「今後の施策の方向性」を示したものの基準が不明確なため、1999年の食料・農業・農村基本法（新農業基本法）、持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律（持続型農業促進法）では「環境保全型農業」という用語は一切登場していない」ということとなった。<sup>11)</sup> この新農業基本法関連で2000年に施行された「農林物資の規格化及び品質表示の適正化に関する法律」（改正JAS法）においては、「グローバル・スタンダード」である「コーデックス基準に準拠」して「有機基準は認証・表示だけ」を明確にしたため、「有機農業よりも優先度がはるかに高い減農薬・減化学肥料による栽培なり、その流通を持続型農業促進法によって本格的に取り組んでいくことを意図したもの」という評価も現れた。<sup>12)</sup> このように有機農業の政策的定義が狭義であったが、明確になったため、それ以外の環境保全型農業と内容で類似している「持続可能な農業、低投入型農業、あるいはクリーン農業（環境調和型農業）等々様々の呼び方があるが、基本的には同一である」こととなった。<sup>13)</sup>

ここで述べたように、有機農業運動との有機農業に対する差異、さらには環境保全型農業とそれと類似する農業との差異が出てくるのは、生産性向上と環境との調和する農業そのものに対する政策立案のための理念・目的と政策内容に対する研究が不十分であったため政策定義も一般的で曖昧になり政策対象決定も科学的根拠に欠く結果、一貫性のないものとなった。<sup>14)</sup>

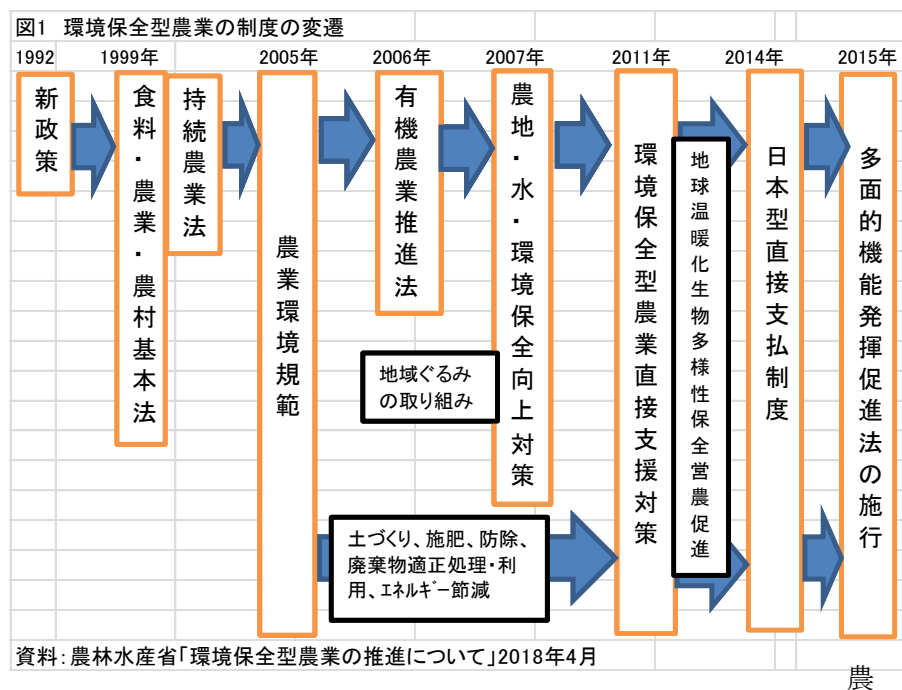
## （2）有機農業認証による政策定義と環境保全型農業の政策定義の拡大

有機農産物取引における基準となる定義制定が求められ、国が法的拘束力のないガイドラインや地方自治体の条例で基準や認証制度が制定されたが、社会的混乱の解消には至らなかった。<sup>15)</sup> これに対し、1992年以来検討を続けてきた国連のコーデックス委員会が「有機生産食品の生産、加工、表示及び販売に係るガイドライン」を1999年に採択したため、2000年にそれに準拠したJAS法改正により有機農産物やその加工食品に関する日本農林規格が制定されることでその混乱は鎮静することとなり、欧米、豪等の諸外国の有機食品もこのガイドラインに準拠しているためグローバル化の国際的取引を推進することが容易

となった。そこにおいては、有機農産物の生産方法の基準として「堆肥等による土作りを行い、播種・植え付け前2年以上及び栽培中に（多年生作物の場合は収穫前3年以上）、原則として科学的肥料及び農薬は使用しないこと」「遺伝子組み換え種苗は使用しないこと」とし、この基準及び名称の表示方法を規定した。<sup>16)</sup>この基準に基づき農林水産大臣から認定された登録認定機関からの審査が義務付けられ、罰則規定も設けられる法的拘束力のあるものであった。この後、2001年にコーデックスが有機畜産物の国際基準を採択したことから、これに基づき2005年に有機畜産物の日本農林規格が制定され、それとともに同年有機畜産物の加工食品についての規格改正も行われた。

有機農産物、有機畜産物等の政策定義が明確になるとともにそれ以外の「生産性向上と環境に調和」する農業に区別されることになった。1992年に法的拘束力およびチェック体制もない行政指導のガイドラインにおいて環境保全型農業の内容を有機農産物とそれとは別に無農薬栽培、無化学肥料栽培、減農薬栽培、減化学肥料栽培の農産物という規定を設け、1997年には米麦にもその表示することにしたが不徹底性は解消しなかった。そして、2000年のJAS改正で法的拘束力の持つ有機農産物の規定により、漸くFAOにも日本における有機農産物の法的定義がされたと認めさせることとなった。<sup>17)</sup>ただ、ガイドラインで化学肥料と農薬の使用量の規制をする有機農産物以外のものについては、「消費者から『減農薬栽培』の定義が曖昧である」という指摘を受け、2003年に特別農産物に係る表示ガイドラインを改正し、肥料、農薬使用量をその地域の慣行使用量5割以下とするものを特別栽培農産物とし、2004年から施行した。<sup>18)</sup>こうして1994年に「環境保全型農業の基本的考え方」という政策定義にその一形態である有機農業に対し法的定義を加えたものを2004年から内容とするものとした。2018年4月の農林水産省が示す「環境保全型農業について（これまでの制度の変遷）」を示すと図1のようになる。

この図が示すようにでは1992年の「環境保全農業に資する農業」とした新政策も1999年の持続農業法も存在する。「農業の生産性向上と環境保全との調和のとれた」農業として同一の範疇とされているのである。2000年以降をみると2005年に



業環境規範、2006年に有機農業推進法を制定して政策的推進策を拡充していった。前者は、規範を示して農業生産者自らがその実行状況を点検し、その認識を高めようとするもので、「土づくり」「施肥」「防除」の他に使用済みプラスチック等の「廃棄物の処理・利用」「エネルギーの節減」「新たな地県・情報の収集」「生産情報の保存」が含まれるようになった。後者は、有機農業を容易に従事し、有機農産物の生産・流通・販売に取り組み、消費者がそれを容易に入手できるようにし、生産者・流通・販売者、消費者が自主的に尊重して連携するようになるものであった。この有機農業促進法は短期間で成立したため課題が多く、この法律の有機農業の定義が、JAS法に依拠したものと明記されていないため、JAS法の生産基準に準拠しているもののJAS認証を受けない農業生産者を含めるか、有機質肥料や堆肥の過剰施用等環境負荷軽減の担保、農地の持つ公益機能の評価が存在した。<sup>19)</sup> これは、「連携」としてその中に入れたことにより有機農業運動定義の「人と人との友好的付き合い関係」「交流の強化」に類似することとなった。また、有機農業規定もJAS法に基づく以外に、有機JAS企画に基づいた生産基準を遵守するもので登録認証組織によるチェックが不要なものも有機農業となった。後者については、この法律で有機農産物として認定されるが、販売に際して「有機」と表示できず、外国からは有機農産物と認めてもらえないものであった。<sup>20)</sup>

2007年の農地・水・環境保全向上対策においては、地域ぐるみで化学肥料・化学合成農薬の5割低減の取組に対して支援するもので、農業振興地域内の農用地を対象として水路、ため池、農道など共同活動を一体的に行う場所であれば農用地以外を含めて農業者と農業者以外の住民を含めて活動で、中山間地域等直接支払交付金を受けている農地も対象とされる。2011年の環境保全型農業直接支払対策では、農地・水・環境保全向上対策と合せて行う地球温暖化防止や生物多様性保全に効果の高い営農を支援するものであり、2018年度からは「国際水準GAP（Good Agricultural Practice:農業生産工程管理）の実施」がその交付要件となっている。2014年からは、自然環境保全に資する農業生産活動の実施に伴う追加的コスト支援の環境保全型農業直接支払とし、これに中山間地域等直接支払、水源涵養、自然環境保全、景観形成宇野多面的機能を支える地域の共同活動を支援する農地維持支払いと農地、水路、農道等の地域資源の補修や植栽による景観形成、施設の長寿命化等の資源向上支払からなる多面的機能支払を日本型直支払制度とした。2015年からは、これを「農業の多面的機能の発揮の促進に関する法律」として実施している。

このように環境保全型農業は、有機農業および土づくり、施肥、防除の他に地球温暖化防止、生物多様性保全を含む広範囲機能実現を内容に持つ政策定義となっていった。

### 3. グローバル社会期の環境保全型農家の経済的存立基盤

#### 1) 環境保全型農家の経済的特徴

政策定義が法的定義されるようになった2000年の世界農林業センサスから環境保全型農業について販売農家に対する調査されることになった。ここにおける環境保全型農業とは「地域の慣行に比べて、農薬や化学肥料の使用量を減らすか、又は、たい肥による土づく

りのいずれかの取組を行っているもの」としている。2) この状況をみたのが表1である。

これによる  
と取組農家は  
21.5%でその  
過半数が稲で  
ある。化学肥  
料または農薬  
を使用してい  
ないが1%強  
に過ぎず、慣  
行栽培の半分  
減が14%程  
度である。

	計	取組農家	主位作物		化学肥料		農薬		堆肥による 土づくり している
			稲	野菜	使用 しない	慣行の 半分以下	使用 しない	慣行の 半分以下	
全国	2,336,909	501,556	269,998	119,933	32,053	314,215	26,789	337,715	368,298
	100.0	21.5	11.6	5.1	1.4	13.4	1.1	14.5	15.8
北海道	62,611	20,760	6,410	6,320	863	7,323	1,048	8,999	17,012
	100.0	33.2	10.2	10.1	1.4	11.7	1.7	14.4	27.2
都府県	2,274,298	480,796	263,588	113,613	31,190	306,892	25,741	328,716	351,276
	100.0	21.1	11.6	5.0	1.4	13.5	1.1	14.5	15.4
主業 農家	500,484	185,890	54,469	71,177	14,426	104,905	8,626	112,588	155,259
	100.0	37.1	10.9	14.2	2.9	21.0	1.7	22.5	31.0
準主業 農家	599,449	132,080	84,544	23,646	7,978	85,292	7,539	92,198	93,666
	100.0	22.0	14.1	3.9	1.3	14.2	1.3	15.4	15.6
副業的 農家	1,236,976	183,586	130,985	25,110	9,649	124,018	10,624	132,929	119,363
	100.0	14.8	10.6	2.0	0.8	10.0	0.9	10.7	9.6

注:主位作物は当該農家の中で販売金額が最も多い作物、主業農家は農業所得が50%以上で年間60日以上、自営農業に従事している65歳未満の世帯員が入る農家、準主業農家は農家所得の50%以上が農外所得で他は主業農家と同じ、副業的農家は年間60日以上農業従事し65歳未満の世帯員がいない農家  
資料:世界農林業センサス2000年

地域別では、  
北海道が都府  
県と比べて取  
組農家、野菜および堆肥による土づくりの割合が高くなっている。農家形態別でみると稲を除いて主業農家、準主業農家、副業的農家の順で取組農家の割合が高く、取組農家、野菜、化学肥料、堆肥による土づくりの割合は、準主業農家の2倍となっている。主業農家は3割が堆肥による土づくりを主に野菜に対して行っている。畑作、酪農家の多い北海道はその典型と言える。

## 2) 環境保全型農家の水稲経営状況

農林水産省は  
環境保全型農家  
の水稲栽培につ  
いて2003年に経  
営調査を行った  
がその調査対象  
農家を示したの  
が表2である。

		a/戸				
		有機栽培	無農薬・ 無化学 肥料栽培	無農薬 栽培	無化学 肥料栽培	減農薬又は 減化学 肥料栽培
全国	調査対象水稲作付面積	168(33.1)	95(35.2)	68(24.5)	136(54.4)	221(75.9)
	水稲作付面積	497	270	277	250	291
北海道	調査対象水稲作付面積	137(12.1)	122(28.2)	89(6.6)	242(35.5)	417(62.0)
	水稲作付面積	1,128	432	1,350	681	673
府県	調査対象水稲作付面積	172(41.1)	92(36.9)	66(46.2)	123(63.1)	196(81.0)
	水稲作付面積	418	249	143	195	242

注:()内数値は水稲作付面積中環境保全型水稲の%  
資料:農林水産省「環境保全型農業推進農家の経営分析調査」2003年

この表から府  
県では水稲作付

面積が419aと比較的大規模経営農家が対象で、その内有機栽培が41.1%と北海道の農家よりその栽培に特化した農家と言える。このことは、他の栽培形態でも同じ傾向である。特に減農薬または減化学肥料栽培形態は総作付面積に占める割合が高く、府県は8割に達し、この栽培形態の経営成果の特徴が反映するものといえる。

このような農家の経営成果を環境保全型農業の栽培形態別に見たのが表3である。



この表は、慣行栽培による経営成果と比較したものであるが、どの栽培形態とも粗収益、所得、販売価格および労働時間が多くなっており、収量が少なくなっている。つまり、価格は高く収量は低いが、所得は高くなっているもののそれだけ多くの労働を投じている。ただ、所得の数値が労働時間の数値に比べて高くなっているために所得の労働生産性は1.0以上となっており慣行栽培のそれより経営的効率が高い結果となっている。こうした経営成果を出すためには、これらの栽培の技術や高価格実現の経営能力が不可欠となる。このためにこれらの農家の主な販売先割合をみたのが表4である。

この表からいずれの栽培形態とも消費者に直売割合が高くなっているが、減農薬又は減化学肥料栽培は農協が61.3%と直売の2倍強となっている。無化学肥料栽培も農協が40.6%で直売を上回っている。有機栽培、無農薬・無化学栽培は直売とともに農協以外の集出荷団体割合が高く、農薬や化学肥料をしていないこれらの栽培形態の農家はそれを取り扱っている農協への販売割合が低くなっている。これらの栽培形態は合成化学資材を無くすることで安全な生産物を提供していることを理解する需要者との繋がりにより高価格販売を安定して行っている面があるといえる。

これまでみてきたような環境保全型農業推進のための政策および経営の状況にあって現在の存在状況を2018年1月の農林水産省「環境保全

表3 稲作環境保全型農業推進農家経営 (慣行栽培対比・全国)

	有機栽培	無農薬・ 無化学 肥料栽培	無農薬 栽培	無化学 肥料栽培	減農薬又は 減化学 肥料栽培
粗収益(10a当り)	143.5	142.7	127.8	106.2	105.6
経営費(10a当り)	125.9	121.1	112.5	99.9	94.3
所得(10a当り)	190.3	208.8	179.7	127.2	138.9
収量(10a当り)	84.4	92.7	91.4	91.5	92.8
販売価格(60kg当り)	177.1	151.9	157.5	129.2	113.2
労働時間	161.1	165.7	135.4	115.1	101.0

注:有機栽培は有機JAS生産行程管理者、無農薬・無化学栽培は農作物の生産過程及び前作の収穫後から作付までの期間のほ場管理において農薬及び化学肥料を使用しない栽培、無農薬栽培は生産過程等において化学肥料は使用しているが農薬は使用していない栽培、無化学肥料栽培は生産過程等において農薬は使用しているが化学肥料は使用していない栽培、減農薬又は減化学肥料栽培は農薬の使用回数、化学肥料の使用量をどちらかを地域の慣行の50%以上節減している栽培  
調査対象農家は、有機栽培は有機JAS格付主位部門が水稻の農家、無農薬・無化学肥料農家は稲の販売金額が最大で、有機栽培のものを除いて、無農薬・無化学肥料栽培の作付面積が最大の農家、無農薬栽培破格栽培形態別作付面積のうち無農薬栽培による作付面積が最大の農家、他の形態もそれぞれその作付面積が最大の農家  
資料:表2と同じ

表4 主な販売先別割合 (全国)

	有機栽培	無農薬・ 無化学 肥料栽培	無農薬 栽培	無化学 肥料栽培	減農薬又は 減化学 肥料栽培
農協	8.0	21.5	25.5	40.6	61.3
消費者に直売	34.5	40.1	37.6	35.2	28.8
生協等消費者団体	1.5	3.1	6.7	7.1	0.7
農協以外の集出荷団体	24.3	28.7	14.8	8.3	3.7
その他	21.7	6.6	15.4	8.8	5.5

資料:表2と同じ

表5 環境保全型農業の取り組み状況

類型	農家概数	総農家数%	販売農家数%
有機JAS認証取得	4,000	0.16	0.25
有機JAS以外の有機 特別栽培	8,000	0.32	0.49
エコファーマー	44,000	1.74	2.7
計	155,000	6.13	9.51
	211,000	8.34	12.94

注:総農家数%、販売農家数%は、それぞれ253万戸、163万戸に対する%、有機JASの面積シェアは0.6%としている。  
資料:農林水産省「環境保全型農業の推進について」2018年



型農業の推進について」のものをまとめたものが表 5 である。

この表の内容は、農林水産省資料には、「オーガニック・エコ農業の取組状況」と表記されているものであるが、表のエコファーマーは、1999 年の「持続性の高い農業生産方式の導入に関する法律」（持続農業法）に基づき、「土づくり、化学肥料及び化学合成農薬の使用削減技術の導入に一体的に取り組む農業者の愛称」で、「持続性の高い農業生産方式の導入に関する計画」を作成し都道府県知事に提出し認定を受けることになっているが、図 1 に示されているように環境保全型農業の一形態となっている。ここに示されているように、環境保全型農業を推進する農家は、総農家の 8.34%、販売農家数の 12.94%、有機 JAS 以外のものを含めて有機農産物は販売農家数に対して、また、同資料が示す面積シェア有機 JAS でも 1%未滿にすぎない。この点について同資料は、有機 JAS 以外の有機も含めた有機農家について「有機農業を志向する新規就農者が多い一方、技術的ハードルが格段に高いことや、販路確保が困難なことから、徐々に増加しているものの農業全体ではまだわずか」、特別栽培米、エコファーマーについては「生産に要するコストに見合う付加価値が付かないため停滞」としている。これは、表 3、表 4 で示したことももの同一のものである。

#### 4. 「近代農業」に対抗して成立した有機農業運動の展開—木次有機農業研究会—

##### 1) 木次有機運動成立背景と「地域自給」

戦後の食糧増産政策、高度経済成長期の農工間格差是正を目指す 1961 年の農業基本法政策は、化学肥料、農薬の多投により行われたが、それによる負の遺産として環境汚染、農業者の健康問題、消費者の食の安全問題が明らかになる中で島根県木次町において有機農業運動が展開した。

ここで示す木次乳業有限公司（以下木次乳業と略記）を拠点とする有機農業運動は、1972 年の木次有機農業研究会の結成により開始された。この組織の結成は、1971 年の日本有機農業研究会結成の翌年であるため日本でも最も歴史のあるもので、「地域自給」という運動理念の実現を目指して現在まで活動を続けている。<sup>22)</sup>

この「地域自給」について木次有機農業研究会では、変化する社会情勢に応じて常に議論を重ねて基本となる考えとそれに基づく対処法により活動している。この基本となる考えについて「研究会での議論に基づくもう一つの結論」として「人間として…快適に生き生きと暮らし…生を全うする…その基本は健康である」とし、「農業の基礎は、生産者自身の健康によい“たべもの”の自給であり、生産者自身の健康である。その延長上に生産された農産物の余剰を消費者に届ける。消費者はそれに対する適正な対価を負担することによって、生産の継続を可能にする」としている。<sup>23)</sup>こうした考えは、木次有機運動の創始者で、酪農家であり木次乳業の創業者である佐藤忠吉氏を中心とした人々の中から生まれたものである。佐藤忠吉氏は、1920 年生まれで、兵役期間を除き木次町東日登で農業に従事している。つまり、戦後の農業の近代化以前までこの地域では地域資源の循環的利用により米、牛、木炭生産を自給自足的な小規模家族経営を基本に営々と生計をたててきたことを体現している人である。<sup>24)</sup> また、戦後、復員後、1953 年から酪農を開始したが、その開始には地元

の日登中学校長で「生活綴り方教室」教育を行い、無教会派のクリスチャンの加藤歎一郎氏の影響を受けたとされている。<sup>25)</sup>「無教会派のクリスチャン」「生活綴り方」教育は、地域の実生活を主体的に直視する力を育み、自然状態維持を大切にするキリスト教義は、佐藤忠吉氏と共に加藤歎一郎氏の教え子をはじめ地域の多くの人々に影響を及ぼしたと思われる。こうして酪農を始めたが、1955年には、他の二人の酪農家と木次町内の牛乳屋（処理業者）と共同で生乳の加工と販売を行い、1962年には、町の学校給食用脱脂粉乳を生乳にするために木次牛乳を6名の共同出資による木次乳業有限会社とした。これは、忠吉氏の「（生産者が）消費者の腹の中にまで責任を取る」ことの実体化で、地域における異業種連携、六次産業化の実践であった。この有限会社化は、当初の酪農組合化が農協の協力が得られず実現しなかったため信用確保のための次善策としている。こうした同一町内地域の人々と協力して地域資源を利用し、生産、加工、販売をする地域自給体制を実現していき、その中で新たな技術力および経営力を築いていった。

ただ、この時期の忠吉氏の酪農は、近代化農法に基づくものであったが、1961年から65年にかけて乳牛に硝酸塩中毒による挙動・情緒不安定、乳房炎、繁殖障害、起立不能といった疾病が相次いで発生する中でこの農法に疑問を抱くようになった。この原因について化学肥料による牧草ではないかというアドバイスをしたのが、加藤歎一郎氏の教え子で1957年からクリスチャンとなり佐藤忠吉氏の父親のもとで3年間研修を受け、1962年から酪農を始めた大坂貞利氏であった。忠吉氏も養蚕をしていた父親が有機質堆肥で育った桑の葉を小さい蚕に与えていたことを思い出し、牛に山野で育った草を与えたところ健康を回復した経験から、「1960年代末から耕種部門も含めて。全国に先がけて有機農業的な取り組み」<sup>26)</sup>始めこととなった。こうした相次ぐ乳牛の疾病に加え、木次乳業は、工場火災、集中豪雨、豪雪による被害で、経営悪化で「大手乳業会社への”身売り”」に遭遇したが大坂氏や忠吉氏の父親の適切な助言もありこれを乗り切った。

## 2) 木次町の有機農業運動と「地域自給」の展開

このような経過を経て1972年に木次有機農業研究会が発足することとなった。<sup>27)</sup>この組織構成は「会員15名うち農家会員7名」、農家会員は「木次町やその周辺地域（吉田村、加茂町、横田町、大東町、宍道町）」となり、「木次乳業は生乳の加工・販売、会員農家の豚肉、野菜の集荷・配送も引き受け」た。消費者グループとの提携も始まり、1973年に松江市の食養（食べ物の質、食べ方）グループ、1975年9月松江市の『たべもの』の会（準備会で1976年正式発会）と牛乳や卵などの共同購入となった。これにより松江市、出雲市、京阪神の消費者グループや生協等から牛乳の直接取引、共同購入が行われるようになった。こうして、これまで木次町内の酪農家中心の「地域自給」から周辺町村の農家および消費者、松江市から京阪神の消費者や生協等を含む有機農業運動組織で、1980年には80名の会員となり、これまでの牛乳に加えて卵、豚肉、野菜の直接取引、共同購入を行う組織となったのである。こうした規模の拡大とともに、木次有機農業研究会では牛乳等の「作り方」「食べ方」をも議論し共通の認識のもとに独自の有機農産物の開発を行っていった。その中心となる木次乳業では「地域の風土を前提に、それに添った（逆らわない）牛乳生産」を「（作

り方)の基本」とし、具体的には「放牧を基本とする」「山地酪農」および「エメンタールチーズの製造」それに相応しい「乳肉兼用のブラウンスイス主の導入」を実現し、それによる全国に先駆けて「パスチャライズ牛乳やノンホモ牛乳」「各種のナチュラルチーズ」という独自の製品開発も実施していった。このように「自給的農業+酪農という自分たちの小規模有畜複合農業」を基本とし、「地域の風土」に添った牛乳生産の中から「消費者に評価される」新製品開発を行っていったのである。これは、需要があるからといって、それに対応できるように大量生産をするために農業生産方法を工業的に変えようとする事への対応であり、それにより地域の独自性のある新製品の開発であり、そうした農業生産の特性を理解した消費者需要があることで実現したものであった。これは先に述べた「生産者自身の健康によい“たべもの”の自給」が「農業の基礎」であり、「農産物の余剰を消費者に届ける」という「地域自給」の考えに基づくものであった。こうした中でも木次有機農業運動の拡がりからそうした「農産物の余剰」を求める事への対応が求められ、新工場の設置も「牛乳・乳製品生産のあり方について消費者と生産者から直接意見を聴く「木次に集う会」を開催した。このような中で規模拡大と「地域自給の確立」のあり方が、木次乳業の社員の中から提起されたのである。このように「地域自給の確立」の方策を探求しながら有機農業運動を進めることで一方的な規模拡大に歯止めをかけ続けている。この問題は、「社内自給を目指す農事組合法人「手がわり村」の開設、チーズ加工部門を木次乳業から切り離し、酪農生産組合設置により有機農業研究会会員による質の高いものを組織的に分離して行うことにした。さらに、牛乳、乳加工製品以外の有機農産物の「地域自給」を目指す食の杜を建設することにした。「自給を基本とする自立した地域」という食の杜の自給とは「農業生産面だけでなく、農・食・医すべてにわたり、暮らし全体に関わるもの」とし人間本来が求める「健康で生き生きとした生活を送ることが実現すべき目標」となっている。1999年に「健康農業の里・シンボル農園」として完成し、後に「食の杜」と呼ばれるようになった。そこでの有機農業生産活動は、「原料については、まず地場産を考え、地場産がない場合はできるだけ生産地の近い国産を使う」とし、「腹の中まで責任を持った食べもの」を作るようにしている。

## 5. グローバル社会に対応して成立した有機農業の展開—いわみ地方有機野菜の会—

### 1) いわみ地方有機野菜の会成立の背景

国際的に経済活動の完全な自由化を目指すグローバル社会が展開する中で、各地域の異なる自然条件の下、人的・物的資源を活かし移動不可能な農業は最もグローバル化に適せず、条件不利地域国の農業はその存続に新たな対応が求められた。このよう対応の一つとして有機農業が注目され展開することとなった。

ここに示す島根県浜田市にあるいわみ有機野菜の会は、有機野菜を生産する10名の独立した個別農家が参加する共同売組織で、1999年に結成されたいわみ地方有機農業の会を改称して2001年に結成された。この組織の創設者である佐々木一郎氏は、就農するにあたりこれからの農業経営を継続させていくための一つの方策としてグローバル社会に対応する農業を考え、その中で有機農業を展開することとなった。こうした佐々木一郎氏による有機

農業の技術的、経営的基礎の下にいわみ有機野菜の会という独自の組織が形成された

佐々木一郎氏は、岡山大学農学部を卒業した後、岡山県農業試験場で1年間研修を受けてから1983年に浜田市の実家で就農することとなった。実家は230年からこの土地で農業を営んでおり、7代目として農業経営をすることとなった。佐々木氏のホームページ「先代までは米・果樹・しいたけ等を栽培していました」という状態に満足せず、さらに「農業が産業として成り立つ」ことを証明するために・・・経営的に胸を張れる売上げを確保しつつ、地域の方々を雇用して地域経済の発展に貢献することを目指しております」とあるように就農時からこうしたビジョンにより、それまでの地域の伝統的な農業を革新していこうとしていた。このことは「就農当初は、水稻、果樹、シイタケ、タケノコ、イチゴ、メロンと多品目経営で、家族6人が早朝から深夜まで働いて農業所得が6百万円でした。また、当時の農薬は殺菌・殺虫力が強く、作業は危険をとまなうことがあり・・・労働時間が長く、低所得の農業に疑問を感じた」とあることから分かる。<sup>28)</sup> この考えは、1985年から87年にかけての2度の海外視察により軟弱野菜を中心とした有機農業への経営革新の道が明らかになったようである。当時、1985年のプラザ合意による円高ドル安という為替レートの急変、1986年からの多角的貿易交渉であるウルグアイ・ラウンド開始による貿易の自由化交渉が具体化した時期で予想されるグローバル化への対応が農業経営に求められる時であった。このことについて「ヨーロッパや中国を訪れ、土地の広さ、売られている野菜の価格の安さに衝撃を受け」とし、これに対応するために「大量生産を重視している外国には無い食品の新鮮さ、安全性を追求し、無農薬のものを家族やお客様に食べてもらいたいという思いから有機農業をはじめることになりました」と述べている。<sup>29)</sup> その後、化学肥料、農薬を多投し、低労賃の外国産農産物に対して新鮮さ、安全性を端的に示す有機軟弱野菜栽培に経営変革することにしたのである。それで、「軟弱野菜を周年・安定的に商品供給をおこなうためには、ハウス面積を70アール程度まで拡大が必要と考えた」が農地確保が困難なため「1987年から自宅付近の山林をハウス幼稚に切り崩し規模拡大を図り、「浜田市内で消費者への対面販売を行うなどして造成費を蓄えながら計画的に規模拡大」した。<sup>30)</sup> これにより、消費者志向に基づく軟弱野菜の製品化、販売のための生産および経営技術を培ったといえる。佐々木氏のホームページには1989年生協しまねとの交流開始、1995年生協しまねへ野菜供給開始、1995年認定農業者認定、2000年エコファーマー認定、2001年有機JAS認証取得とあるように有機農業経営に変革していった。この間に佐々木氏は、自分が開発したハウス栽培有機野菜の生産・販売技術を受け入れた研修生に移転し、そこで自立した農業経営者と同一品目を同一技術で栽培することにより同一有機野菜の継続的共同販売体制を築くことができ、1999年にはいわみ有機農業の会という組織の結成となった。こうした体制づくりの中でスーパー等小売業者との価格交渉力をつけていった。

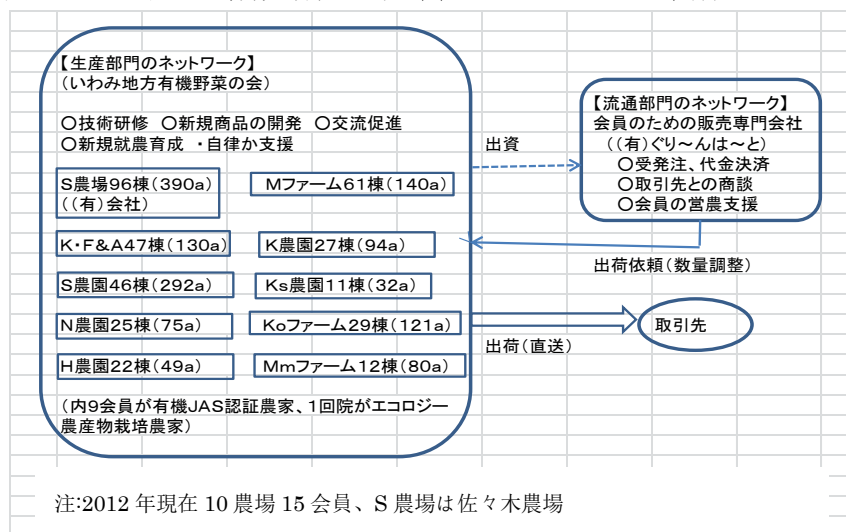
## 2) いわみ有機野菜の会展開ーJAS有機野菜のネットワーク供給システムの形成ー

いわみ有機野菜の会は、グローバル化が進展する中の農業経営変革としてハウス有機野菜実施を行い、この会を結成し初代会長の佐々木一郎氏の栽培・販売技術を基礎にそれらを常に向上させることにより展開していった。つまり、ハウス栽培による計画的周年栽培を目指すと共に土壌診断を自ら行い、それを基に、同一種類の野菜の連作をなくすことにより、連作障害及び特定の病気や害虫の発生を防ぐ栽培で、そのことは、野菜が必要とする肥料成分に応じた栽培を行い、同一成分不足を避けて堆肥を有効に利用することにもなり、こうした技術と経営が効率的となる独自の栽培方法を開発・実施し、それをマニュアル化したのである。また、有機野菜について、「安心・安全」というのは当たり前で、商品として売れるためには、「安全・安心でおいして！」野菜ではないといけない」ということから「硝酸体窒素をなるべく少なくする」という技術指標を明示することも行っている。

31) こうした技術・経営体系を県から要請された研修生に伝え、そこで育成された人が佐々木一郎氏の農場周辺で就農するようになり、いわみ有機農業の会、それを改称したいわみ有機野菜の会となった。こうして新鮮・安全・美味な有機野菜生産と出荷を安定的・継続的に実施していくために月に約一回開かれる会合で問題点を出し合い、その対応策を明らかにすることで技術の統一化と向上に努め、個人では不可能な定質品の定量販売を可能として、価格交渉力をも向上させていった。ただ、当初、共同販売は、佐々木農場が会員の農産物を仕入れ、

図2 いわみ地方有機野菜の会と(有)ぐり〜んは〜との関係

その仕入れ値で佐々木氏が取引先開発、商談を行っていたが、取引が広域となり、量的にも拡大するなかで販売会社の必要性が高まり、また、会員が生産活動に専念する時間を増やし、有利販売活動を行うために2008年に会の専門販売会社「(有)ぐり〜んは〜と」



注:2012年現在10農場15会員、S農場は佐々木農場

資料:石見地方有機野菜の会、(有)ぐり〜んは〜と(現在は株式会社)HP

〜んは〜と関係を示したのが図2である。

この設立により会員とは契約販売により市況に左右されない価格設定をしている。また、そこには、土壌分析の専門家が配置されており、栽培を始める前に土壌成分を調べ、不足分は補い必要な要素を数値で示す肥料設計ソフトが構築されていて数値に基づいた品質管理を行っている。この販売会社は、地域に有機野菜産地を作り、地元のスーパーや学校給食に有機(エコ)野菜を供給し、地元の雇用を確保するという地域貢献に努める「いわみ地方有機野菜の会」により設立され、「安心安全…美味しく栄養価の高い野菜を供給、産業としての農業の確立…地域貢献、品質管理・顧客管理を徹底」を経営理念とすること

から地域経済・地域農業に密着したその発展に貢献する組織となっています。こうしたシステム化でも未だに大型量販店の需要には対応できないでいるために、新規就農育成と自立化支援を継続的に行い、「子会員・孫会員」の育成を行っている

## 6. まとめ

これまで考察してきた日本における環境保全型農業の成立過程と持続的展開要因について明らかになったことは以下の通りである。

第一に、本稿の研究対象である環境保全型農業の定義について明らかにした。現在、日本において環境保全型農業は、有機農業を一形態として含むもので、1991年の『農業白書で』で環境保全農業、1994年から「環境保全型農業の考え方」で環境保全型農業と公式文書で示されて以降、そうした標記で示されている。現在、有機農業と市場で表記されるものは、有機JAS法により有機農業として認証されたものに限られているが、2006年の有機農業推進法が成立してから、有機JAS法と同じ生産方法を行うものであっても認証を受けないものも有機農業としている。この場合は、その生産物が市場で有機農産物の表示が出来ず、有機農産物として海外への輸出は出来なくなっている。

第二に、日本における環境保全型農業の特徴として、国と民間の有機農業に対する考え方としての定義に差異が生じ、社会的な混乱を生じながら展開したことを示した。農業生産者および消費者といった民間の有機農業運度より国の対応が遅れたため、双方の有機農業に対する定義の差異となった。本稿では、前者を有機農業運動定義、後者を政策定義としたが、後者はグローバル化が顕著となった時期であったために政策定義が示され以前と違った要因で日本の有機農業は展開をした。

第三に、日本における環境保全型農業の展開が国と民間の有機農業に対する考え方といえる定義の違いから社会的混乱も起こり円滑な展開が進まなかったが、その経済的要因として、稲作経営を事例として低収量、労働生産性の低さを指摘すると共にそうした経営の特質を理解した需要者への直接販売をする経営がその進展要因となることを示した。

第四として環境保全型農業の展開要因について島根県の二つの事例から考察した。事例の一つは、「近代農業」に対抗して成立した有機農業運動の展開で、木次有機農業研究会を、事例の二つはグローバル社会に対応して成立した有機農業の展開で、石見地方有機野菜の会を取り上げた。前者は有機農業運動定義による有機農業であり、後者は政策定義による有機農業である。

この二つの形態とも「生産性向上と環境の調和」をそれぞれの時期の問題に対応して展開していることが明らかになった。双方ともその地域の地域資源を有効に活かそうとする取組でその基本には独自の生産と経営技術が存在していた。常に独自の製品を開発し、それを独自性についてそれを消費する人たちに理解してもらいながら規模拡大を推進しているのである。需要があるからと言って生産拡大しようとする有機農業生産方法を逸脱するのである。こうした対応は農業生産一般にもいえるし、有機農業を継続して展開する事象から学ぶ点である。このためにその中核となる指導者が経営理念に独自な見解を持つこ

とであり、ここで示した双方ともそれが見られた。また、そうした指導者がその理念を一方向的に押し付けるのではなく、ともに行う人々及びその需要者にも常に真摯に話し合うことにより展開していることが明らかになった。双方は、その立地する環境条件とその展開の契機とが違ってきているが、独自の理念のもとにその都度問題を解決する形で経営を継続的に展開しているのである。

## 注

- 1)1990年代から環境保全型農業の研究が行われるようになった。このことおよび日本および欧米において農業と環境についての関連性が問題とされてきたことについては、嘉田良平「環境保全型農業の課題と方向」『日本農薬学会誌』18、1993年、合田素行「日本における環境保全型農業の現状とその可能性」『農業経済研究』第68巻第2号、1996年。経営の特徴としては黒河功「低投入型」酪農における経営展開の特徴」『農業経営研究』24、1998年、胡柏「環境保全型稲作の収益形成力と形成条件分析」『農業経済研究』第73巻第1号、2001年。ドイツにおける実情については、アロイス ハイセンフーパー他著『ドイツにおける農業と環境』（四方康行・谷口憲治・飯国芳明訳）農山漁村文化協会、1996年。
- 2)展開要因の考察方法については、展開をJ.A.Schumpeterの経済発展の概念を援用する。そこで「発展」とは経済が自分自身のなかから生み出す経済生活の循環の変化のこと、具体的には、新しい「財貨の発見」「生産方法」「販路の開拓」「原料あるいは半製品の新しい供給源の獲得」「組織の実現」という「新結合の遂行」とし、それは合理的・創造性の高い企業家により実現するとされる。これをアジア、グローバル社会には「経済成長から人間の開発、発展」というパラダイムへの「見直し」の考えが提起されている。J.A.Schumpeter『経済発展の理論』岩波文庫（上）、岩波書店、1977年、p.174。西川潤『人間のための経済学』岩波書店、2000年、pp.91-97。経営学的視点については、J.A.Schumpeterの「新結合の遂行」要因とともに新製品開発のための企業行動論（事業機会の発見、マーケティング戦略・戦術、実行、制御）を加味して考察する。古川一郎・森口剛・阿部誠『マーケティング・サイエンス入門』有斐閣アルマ、2003年
- 3)1980年代後半以前について「①有機農業運動（のちに産消提携運動）と呼ばれる有機農産物の共同購入運動に関わってきた人々」と「②1980年代後半に新規参入して第2次「有機農業」ブームをもたらした、有機農産物の市場流通を是としそれを指向する人々」と区分している。足立恭一郎「有機農業と基準」『農林問題研究』第104号、1991年月。
- 4)5)6)足立恭一郎、前掲書、この中で「提携の十原則」とは、(1)モノの売り買い関係ではなく、人と人との友好的つき合い関係、(2)産消合意の上での計画生産、(3)生産物の全量引取り、(4)互助互惠精神に基づく価格取り決め、(5)交流の強化、(6)自主配送、(7)グループの民主的運営、(8)学習活動の重視、(9)グループの適正規模の堅持、(10)理想に向かっての逐次前進」とまとめられている。
- 7) 河相一成「農業の保全発展のために「環境」をどうつくるのか」『JACOM 農協時論』

- <https://www.jacom.or.jp/archive02/document/ronsetsu/jiron/jiron01/01102306.html>
- 8) 農林水産省「新しい食料・農業・農村政策の方向」<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo02/newblaw/hoko.html>
- 9) 蔦谷栄一「我が国における持続型農業展開の課題」『農林金融』1999年9月。
- 10)11)12) 蔦谷、前掲論文。基準についての議論は、足立恭一郎「有機農業と基準」『農林問題研究』第104号、1991年9月。
- 13)出村克彦「農業と環境—新たな農政目標—」『会計検査研究』No.26、2002年9月。注11)の蔦谷栄一論文にも指摘されていたものを含めたものに対して、近年の農林水産省資料における「環境保全型農業について（これまでの制度と変遷）」には、持続農業法もそれに含めている。農林水産省「環境保全型農業の推進について」2018年1月。
- 14)1991年の『農業白書』に環境保全農業という言葉が農林水産省の公式文書として現れ、化学肥料や農薬の多投による環境や人体への被害の是正を求める1970年代の国内の有機農業運動に対して農林水産省等の大半の行政機関は「その本質に深く立ち入って理解しようとする人は極めて少数」であった。その後の食の安全安心、環境問題への国内意識の高まり、1980年代になって欧米の環境保全農業政策の推進に対応して、1987年に有機農業研究議員連盟が結成され、これを契機に政策的対応が行われることとなった。足立恭一郎、前掲書。また、1991年以前について「消費者の指向は、科学的根拠によるものより「健康・本物」といったイメージ先行形」とし「有機・減農薬栽培に関する研究はほとんど行われず、有機資材施用の効果の有無、施用による土壌侵食の防止や物性改善が主体であった」、「有機・減農薬栽培について研究機関が取り上げ始めた」のは1992年の農林水産省による「環境保全型農業」の提唱後」と指摘している。堀田博「有機栽培と観光栽培農産物の品質上の差異」『日本食品科学工学会誌』第46巻第6号1999年。
- 15)小川華奈・保田茂「有機農産物の認証制度の基準に関する考察」『神戸大学農学部研究報告』22(1)、1996年1月。
- 16)農林水産省消費・安全局「有機食品の件さ認証制度について」2007年8月  
[http://www.maff.go.jp/j/jas/jas\\_kikaku/pdf/youuki\\_seido\\_a.pdf#search=有機農業認証制度+改正JAS](http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/youuki_seido_a.pdf#search=有機農業認証制度+改正JAS)。
- 17)FAO（国連食糧農業機関）の報告書では「2000年まで日本には「有機農産物」の法的定義がなかった」としている。「FAOが日本の有機農業関係法の問題点を指摘」西尾道徳の環境保全型農業レポートNo.221、2013年1月。<http://lib.ruralnet.or.jp/nisio/?p=2621>。この有機農業の政策定義は、ガイドラインにも示してあったが、それか法的拘束力、認証制度のないものであることから「法的定義がない」とされた。
- 18)GREEN JAPAN「有機農産物及び特別栽培農産物に係る表示ガイドライン」  
[http://www.greenjapan.co.jp/nose\\_yukifood\\_guide.htm](http://www.greenjapan.co.jp/nose_yukifood_guide.htm)
- 19)「有機農業推進法が成立」西尾道徳の環境保全型農業レポートNo.68、2006年12月  
<http://lib.ruralnet.or.jp/nisio/?p=1350>
- 20)「有機JAS以外の有機農業の実態調査結果」西尾道徳の環境保全型農業レポートNo.187



2011年8月、<http://lib.ruralnet.or.jp/nisio/?p=1469>

- 21) 農林水産省「2000年等解農林業センサス 第11巻 農業総合統計書 第3集（農業経営分類統計）」[http://www.data.go.jp/dataset/maff\\_2018521\\_0150](http://www.data.go.jp/dataset/maff_2018521_0150)
- 22) ここでの事実関係は、筆者のこれまでの聞き取りと榊瀧俊子『有機農業運動と〈提携〉ネットワーク』「第7章 酪農農家の共同体を拠点とする有機農業運動」新曜社、2008年、井口隆史「木次乳業を拠点とする流域自給圏の形成」『地域自給のネットワーク』コモンズ、2013年を参考とする。
- 23)～26) 井口隆史、前掲書、この地域資源循環は、永田恵十郎『地域資源の国民的利用』農山漁村文化協会、1988年
- 27) 発足経緯は、「1971年の日本有機農業研究会発足の情報を国際基督教大学の高橋三郎氏を通して木次日本キリスト教福間博利氏や大坂貞利氏の呼びかけで、木次町内の「合成洗剤を考える会」を母体に発足」とある。この後の消費者グループとの関連についても含め、榊瀧俊子、前掲書
- 28) 島根県「きらり」島根の『環境農業』情報誌、2008年度第3号  
[https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/seisan/kankyo\\_suishin/Kankyo\\_nougyo/sengen/kirari.data/kirari3.pdf](https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/seisan/kankyo_suishin/Kankyo_nougyo/sengen/kirari.data/kirari3.pdf)
- 29) 島根県「島短食レポ隊 in 浜田 part1」<https://www.pref.shimane.lg.jp/medical/kenko/kenko/syokuiku/katsudou/kenritsudaigaku-shokureport.data/7.pd> 2016年
- 30) 瀬尾光広「株式会社毎日新聞 第58回全国農業コンクール優秀事例から 有機農業で地域を牽引する農業経営の実現 有限会社「佐々木農場」（島根県浜田市）代表取締役佐々木一郎さん」『農業と経済』第78巻第3号、2012年3月
- 31) 「佐々木農園-大学生がつくる地域活性化サイト」<http://shimaken.org/nogyou2/> 有機農家/佐々木農園-1/

---

島根大学・寧夏大学国際共同研究所  
第 16 回日中国際学術セミナー論文集

2019 年 3 月 31 日発行

発行者 島根大学・寧夏大学国際共同研究所  
(所長 伊藤勝久)  
〒750021 中国寧夏銀川市西夏区賀蘭山西路寧夏大学 A 区  
TEL +86-951-206-1818  
〒690-8504 松江市西川津町 1060 島根大学内  
TEL 0852-32-6547 (伊藤勝久)、32-9735 (国際交流課)  
Homepage <http://www.ningxia.shimane-u.ac.jp/index.html>

---