

库布齐沙漠 3 种沙产业模式的经济效益评价

王 睿^{1,2}, 周立华^{1,3}, 陈 勇¹, 赵敏敏^{1,2}, 郭秀丽^{1,2}

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院 沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190)

摘要: 库布齐沙漠是中国第七大沙漠, 2000—2015 年沙产业发展迅速, 规模较大。库布齐模式在国内外影响力很大, 实现了防沙治沙和生态经济的双赢。但库布齐模式在科学界也存在较大争议, 主要表现在库布齐模式的水资源承载力和沙产业的效益评价方面。运用数据包络分析方法(DEA 法)评价了库布齐模式中 3 种沙产业模式 2015 年的经济效益。结果表明: 在 3 种沙产业模式中, 光伏发电综合利用模式和生态旅游模式投入产出综合效率最高, 达到 1.000, 高于生态饲料加工模式的综合效率且 3 种沙产业模式的纯技术效率均实现 DEA 有效; 3 种沙产业模式投入产出规模效率均较高, 均值为 0.978, 最优为光伏发电综合利用模式和生态旅游模式。在此基础上, 提出了库布齐模式存在的问题、沙产业今后发展的方向与对策建议。

关键词: 投入产出; 沙产业; 经济效益; 库布齐沙漠

文章编号: 1000-694X(2017)02-0392-07

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00124

中图分类号: K901

文献标志码: A

0 引言

沙漠在地球上分布十分广泛^[1], 全球干旱半干旱区占了地球陆地总面积的 41%^[2]。沙漠化作为当前全球面临的重大生态环境问题, 逐渐威胁着人类的生存和经济社会的可持续发展^[3]。第五次中国荒漠化和沙化状况公报显示, 截至 2014 年底, 中国沙漠化土地面积 1.72×10^6 km², 约占国土总面积的 17.93%^[4], 每年造成的经济损失约 540 亿元^[5]。沙漠化与贫困化往往相伴而生, 严重制约着区域社会经济发展。只有探索出一条治沙与经济社会双赢的发展路子, 实现区域社会经济可持续发展, 才是沙漠化防治的关键所在^[6]。

钱学森于 1984 年提出了沙产业这一概念^[7]。30 多年的实践证明, 这是一项前景广阔的事业, 不仅得到了政府的大力支持, 而且很适合沙漠化地区, 能够成功实现治沙与经济社会双赢目标^[8]。专家学者从不同角度对沙产业理论、实践和沙产业模式的效益评价进行了探索研究。陶明等^[9]认为, 沙产业理论体系的构建, 对在沙漠化地区发展沙产业具有重要意义, 沙产业的健康发展, 对促进沙漠化地区生态、经济、社会共赢, 人与自然和谐相处, 经济社会协调可持续发展至关重要。刘铮瑶等^[10]分析了内蒙

古沙产业发展的构想、存在的问题及发展原则和对策。黄高宝等^[11]回顾了河西走廊发展沙产业的历程, 探讨了沙产业效益评价的理论基础且对沙产业实施后的生态效益、经济效益、社会效益进行了评价。李振山等^[12]认为, 沙产业效益评价应从总体经济角度出发, 综合考虑生态系统与经济系统, 参考荒漠化监测评价指标和可持续发展指标等, 运用能值理论, 分析系统内外各组分的能值交流。由此可见, 国内外学者对沙产业进行了大量的探索研究, 但关于沙产业效益定量评价较少。近年来, 在各级政府和大量企业、个人的积极参与下, 库布齐地区沙产业发展迅速, 已将沙漠化土地改造为新兴产业园区, 使沙漠不再是地球的“癌症”, 目前库布齐沙漠地区已成为钱学森沙产业理论的示范之地^[13]。经过近 30 年生态修复的尝试和总结, 亿利资源集团提出的库布齐沙漠典型生态治理模式——库布齐模式, 向世人展示了一条改善沙漠生态、发展沙漠产业、消除沙区贫困、应对气候变化的新发展道路, 创造了巨大的生态效益和社会效益^[14]。库布齐模式作为全球治沙领域的“中国品牌”, 为全球荒漠化治理提供了路径和样本, 在国际国内沙漠化防治中产生了深远的影响。目前, 库布齐模式在科学界也存在较多争议, 主要体现在库布齐模式水资源承载力评价和库布齐

收稿日期: 2016-07-11; 改回日期: 2016-09-07

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAC06B01); 国家重点研发计划项目(2016YFC0500909)

作者简介: 王睿(1986—), 男, 甘肃武都人, 博士研究生, 研究方向为生态经济与区域可持续发展。E-mail: wangruiwr2009@126.com

通信作者: 周立华(E-mail: lhzhou@lzb.ac.cn)

模式生态、经济和社会效益评价等方面^[15-17]。然而作为库布齐模式中典型的沙产业模式,其经济效益如何?如何客观评价库布齐模式中沙产业模式的经济效益?基于这些关键问题,以库布齐模式为依据,分析库布齐沙漠3种沙产业模式的经济效益,以期客观评价库布齐模式的经济效益、促进库布齐沙漠化地区生态、经济、社会协调可持续发展提供支撑。

1 库布齐沙漠沙产业模式概况

库布齐沙漠是中国第七大沙漠,总面积约 $1.45 \times 10^4 \text{ km}^2$,东西长约 400 km,西部区南北宽 50 km,东部区南北宽 15~20 km,流动沙丘约占沙漠总面积的 61%,形态以沙丘链和格状沙丘为主。库布齐沙漠年平均降水量 316 mm,年平均气温 6.2°C ^[18]。库布齐沙漠在近 40 多年时间内先后经历个人、政府和企业为主导的防沙治沙阶段,形成了企业主导的独具特色的沙产业。大批企业参与沙产业,吸纳了更多的社会资金投入防沙治沙工作,促进了农牧民增收。

亿利资源集团依靠先进科学技术,充分利用沙漠地区独特的气候和光热资源条件,大力发展沙产业。20 世纪 90 年代初,库布齐沙漠第一家人造板加工企业建成投产,标志着该区沙产业的开始^[19-20]。随后库布齐沙漠沙产业发展迅速,规模逐渐扩大,发展状况较好,初步形成了生态饲料加工、光伏发电、生物制药和饮制品、新能源化工和生态旅游为主的沙产业体系。

1.1 光伏发电综合利用模式

库布齐沙漠光伏发电综合利用模式核心是充分利用光伏组件间的土地资源以及光伏组件下的阴凉区域,种植一定面积的苜蓿,充分利用空间的一种土地集约化模式。这种模式能充分利用有限的土地资源,实现对自然资源的充分吸收和转化从而提高了太阳能和降雨等自然资源使用率。2012 年以来,鄂尔多斯正利新能源发电有限公司先后建成 10 MW、110 MW 光伏并网发电基地,占地面积 50 hm^2 ,运营期 25 a。2015 年,该公司充分利用光伏组件下的遮阳功能,种植 66.7 hm^2 苜蓿,利用种植的苜蓿发展畜牧业养殖,目前养羊 80 只。光伏发电综合利用模式核心是把光伏发电、苜蓿种植和特色养殖结合起来,将库布齐沙漠的光能资源优势充分利用,同时又改善了生态环境,具有十分广阔的应用前景。

1.2 生态旅游模式

生态旅游是一种对环境负责的旅游行为,能实现生态环境的保护并促进当地生态环境和人口的可持续发展^[21]。库布齐沙漠独特的自然条件,孕育着丰富的旅游资源,辽阔的草原、荒漠、湿地和世界级沙漠旅游公园的建设等,为库布齐沙漠旅游产业的发展带来了广阔前景。七星湖生态旅游景区位于库布齐沙漠腹地,该景区以沙漠生态建设为主题,依托沙漠资源和湖泊,以沙漠生态旅游为特色。景区于 2002 年 5 月开始建设,2005 年 7 月正式对外开放,同年被评为国家 AAA 级景区。自 2007 年 8 月起,库布齐国际沙漠论坛每年在此召开,该景区被确定为永久会址,2015 年景区接待国内外游客达 30.4 万人。七星湖生态旅游产业的快速发展,为库布齐沙漠沙产业发展树立了一个典范。

1.3 生态饲料加工模式

生态饲料加工产业核心是从饲料原料的选购、配方设计等过程,进行严格质量监督,以控制可能发生的畜产品公害和环境污染,使生产的饲料达到低成本、高效益、低污染效果。2000 年,亿利康牧饲料有限公司建成投产,该公司固定资产 2 000 万元,建筑面积 $5\,000 \text{ m}^2$,经营项目以高档奶牛饲料为主,其次有猪浓缩饲料、全价饲料、鸡浓缩饲料等产品。公司以当地高品质秸秆、沙柳等为原料,这些原料 90% 来源于已认定的绿色食品产品及其副产品;原料消化率高、营养变异小、有毒有害成分低、安全性高,同时引进先进技术和生产工艺,按照当地农牧民的实际需求,提供各类畜禽饲料,公司产品在市场上得到养殖户及同行业的高度评价。目前,该模式不仅为当地牧民约 146 万头舍饲牲畜提供了充足饲料,而且带动了当地群众就业,促进了农牧民增收致富,应用前景广阔。

2 研究方法和数据来源

2.1 研究方法

库布齐沙漠 3 种沙产业模式的经济效益差异由数据包络分析方法(DEA)进行投入产出效益评价。DEA 是基于数学规划评价多个输入、输出的决策单元(DMU)间相对有效性的方法^[22],DMU 代表各个评价单位。其基本思路是 DEA 通过对不同 DMU 同一时点的加权投入与产出数量分析对比,确定有效

的生产前沿面,进而根据各 DMU 与最佳前沿的距离计算出 DMU 的规模效率和纯技术效率^[23]。

假设评价 M 种沙产业模式的投入产出效率情况,且有 K 种投入指标,L 种产出指标。设 x_{mk} ($x_{mk} > 0$) 代表第 m 种沙产业模式的第 k 种资源的投入量, y_{ml} ($y_{ml} > 0$) 代表第 m 种沙产业模式的第 l 种产出量。对于第 $m(m=1, 2, \cdots, M)$ 种沙产业模式, θ ($0 < \theta \leq 1$) 代表综合效率指数; ϵ 为非阿基米德无穷小量; λ_m ($\lambda_m \geq 0$) 为权重变量,用来判断不同沙产业模式的规模收益情况; s^- ($s^- \geq 0$) 为松弛变量,表示不同沙产业模式下要达到 DEA 有效需要减少的投入量; s^+ ($s^+ \geq 0$) 为剩余变量,表示不同沙产业模式下要达到 DEA 有效需要增加的产出量^[24]。

CRS 模型:

$$\begin{cases} \min[\theta - \epsilon(\sum_{k=1}^K s^- + \sum_{l=1}^L s^+)] & k = 1, 2, \cdots, K \\ \sum_{m=1}^M x_{mk} \lambda_m + s^- = \theta X_k^m & l = 1, 2, \cdots, L \\ \sum_{m=1}^M y_{ml} \lambda_m - s^+ = y_l^m & \lambda_m \geq 0, m = 1, 2, \cdots, M \end{cases} \quad (1)$$

VRS 模型:

$$\begin{cases} \min[\theta - \epsilon(\sum_{k=1}^K s^- + \sum_{l=1}^L s^+)] & k = 1, 2, \cdots, K \\ \sum_{m=1}^M x_{mk} \lambda_m + s^- = \theta X_k^m & l = 1, 2, \cdots, L \\ \sum_{m=1}^M y_{ml} \lambda_m - s^+ = y_l^m \\ \sum_{m=1}^M \lambda_m = 1 & \lambda_m \geq 0, m = 1, 2, \cdots, M \end{cases} \quad (2)$$

公式(1)是基于规模报酬不变的 DEA 模型,简称 CRS 模型。当存在最优解 $\theta_m = 1$ 时,表明第 m 个沙产业模式运行在最优生产前沿面上,沙产业模式的产出相对于投入而言达到了综合效率最优;当 $\theta_m < 1$ 时,表明第 m 个沙产业模式效率无效,若 θ_m 的值越接近 1,则表示第 m 个沙产业模式综合效率越接近有效,反之越低。

公式(2)是基于规模报酬可变的 DEA 模型,即 VRS 模型。综合效率则是纯技术效率与规模效率的乘积,用公式表达为 $\theta_m = \theta_{TE} \times \theta_{SE}$ 。用 VRS 模型得到的效率指数 θ_m 为第 m 个沙产业模式的综合效率指数; θ_{TE} 为对应沙产业模式的纯技术效率指数(Technical Efficiency),有 $0 < \theta_{TE} \leq 1, \theta_{TE} \geq \theta_m; \theta_{SE}$

为规模效率指数(Scale Efficiency), $0 < \theta_{SE} \leq 1, \theta_{SE} \geq \theta_m$ 。 $\theta_{TE}、\theta_{SE}$ 的值越接近于 1,表示沙产业模式的纯技术效率和规模效率就越高。当 $\theta_{TE} = 1$ 或 $\theta_{SE} = 1$ 时,则表示沙产业模式的纯技术效率最优或规模效率最优。

2.2 数据来源

研究数据来源于 2014—2015 年《鄂尔多斯统计年鉴》、《杭锦旗统计年鉴》和亿利资源集团提供的研究报告等资料。通过实地考察与调研,根据 2015 年库布齐沙漠沙产业模式的调查资料,对所收集的数据进行统计分析,选择沙产业毛利润收入作为产出指标,投入指标主要包括劳动力用工投入、资金投入和物质投入。基于对库布齐模式中沙产业模式投入产出系统深刻的认识,指标选取遵循以下原则:

(1)系统性原则。投入产出指标的设计充分结合库布齐地区沙产业实际,选取 3 种沙产业模式前期生产成本等作为投入指标,毛利润作为产出指标,系统反映沙产业的投入和产出情况。

(2)科学性原则。设计的指标科学合理,少而精,能反映沙产业的投入产出情况。

(3)代表性原则。因为沙产业涉及的内容繁多,用具有代表性的指标来反映沙产业的情况有助于评价其经济效益。

(4)可操作性原则。选取的指标操作性强,能很好地反映沙产业投入产出。

(5)可获得性原则。尽管有些投入产出指标很重要,鉴于数据的可获得性,选取时有所舍弃或代替。

2015 年库布齐沙漠 3 种沙产业模式的投入产出指标及原始数值见表 1。

3 结果与分析

3.1 投入产出综合效率

对库布齐模式中 3 种沙产业模式的经济效益进行评价,分析哪种模式是最有效的,利用基于规模报酬可变的 DEA 模型,即 VRS 模型,采用 DEAP 2.1 软件计算出 2015 年库布齐沙漠 3 种沙产业模式的投入产出效率,结果如表 2。

从表 1 可知,库布齐沙漠 3 种沙产业模式中,光伏发电综合利用模式表现为高投入、高产出,生态旅游模式表现为低投入—高产出,而生态饲料加工则表现出高投入—低产出,且生态旅游模式的投入规模最小。从表 2 可以看出,库布齐模式中 3 种沙产

表 1 2015 年库布齐 3 种沙产业模式投入产出指标数据

Table 1 Data of input-output indicators for the three sand industry models in the Hobq Desert in 2015						
投入产出指标	光伏发电综合利用		生态旅游		生态饲料加工	
用工投入/工时	线路检修	288	景区卫生清洁	1 080	工人技能培训	144
	苜蓿种植	120 000	业务培训	192	清理工厂	360
	浇水灌溉	216	基础设施维护	864	设备维修	72
	繁殖接生	600	景区接待服务	2 400	饲草料加工	2 400
资金投入/元	维护费	3 000 000	油费	1 200 000	水费	100 000
	员工工资	1 134 000	员工工资	884 000	电费	190 000
	灌溉费	268 000	垃圾清理费	1 000 000	工人工资	960 000
	种苗费	120 000	维护费	12 000 000	培训费	50 000
	种植费	80 000	培训费	400 000	维修费	250 000
	购买幼畜	40 000	水费	120 000	购买原料	1 120 000
	防疫费	2 400	电费	180 000	运输费	960 000
物质投入/kg	饲料	57 600	饲料	0	原料	2 100 000
/间	客房	0	客房	154	客房	0
产出指标/元	毛利润	16 440 000	毛利润	55 850 000	毛利润	12 000 000

表 2 2015 年库布齐不同沙产业模式投入产出效率

Table 2 The input-output efficiency for the three sand industry models in the Hobq Desert in 2015				
类别	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
光伏发电综合利用	1.000	1.000	1.000	不变
生态旅游	1.000	1.000	1.000	不变
生态饲料加工	0.934	1.000	0.934	递增
平均值	0.978	1.000	0.978	

业模式投入产出综合效率总体较高,其中 3 种沙产业模式投入产出综合效率平均为 0.978,这体现出库布齐模式中 3 种沙产业模式投入产出综合效率几乎已达到理想状态。综合效率的 DEA 有效产业模式为光伏发电综合利用模式和生态旅游模式,而生态饲料加工模式也达到了 0.934。从投入产出综合效率值来看,DEA 最有效的沙产业模式为光伏发电综合利用模式与生态旅游模式,效率值达到 1.000,其次为生态饲料加工模式,效率值为 0.934,仅次于前两者的综合效率值,但都达到了投入产出效率的理想状态,反映出库布齐模式中 3 种沙产业模式均实现了投入产出综合效率有效,即在目前的库布齐沙漠生态治理条件下,3 种沙产业模式能充分利用现有资源条件进行规模化经营,沙产业模式的投入产出较为合理。

3.2 投入产出纯技术效率

纯技术效率是指库布齐沙漠 3 种沙产业模式规模一定的情况下,产出最大化时的最小要素投入水平。从表 2 可以看出,库布齐模式中 3 种沙产业模式的纯技术效率均实现 DEA 有效,其值达到 1.000。从总体上看,库布齐沙模式中 3 种沙产业模式的纯技术效率值是比较高的,且均值也达到 1.000。对于库布齐模式中 3 种沙产业模式而言,技术效率的高低取决于规模效率。3 种沙产业模式的纯技术效率均实现有效,这体现出库布齐模式中 3 种沙产业模式的生产经营方式下要素资源的配置、利用水平均达到了最优。从库布齐模式中 3 种沙产业模式的纯技术效率有效可以看出,库布齐模式的沙产业发展有利于资源的高效配置,对库布齐沙漠

生态治理有着积极的促进作用,这也在一定程度反映出库布齐模式对库布齐沙漠生态治理效果显著,实现了经济效益和生态效益的双赢。这种模式的成功实践,为国内外其他沙漠化地区的沙漠化防治提供了很强的借鉴意义。

3.3 投入产出规模效率

规模效率是受企业规模因素影响的生产效率,本文规模效率代表库布齐沙漠 3 种沙产业模式的规模对沙产业投入产出生产效率的影响程度。当规模效率值为 1 时,表明 3 种沙产业模式具有规模效应、成本最低,投入产出规模合适;当规模效率值小于 1 时,3 种沙产业模式则出现规模效应递增、递减两种情况。从表 2 可看出,库布齐模式中 3 种沙产业模式投入产出规模效率整体较高,均值为 0.978,均实现 DEA 有效,这体现出库布齐模式中 3 种沙产业模式投入产出规模效率达到理想状态。3 种沙产业模式中,规模效率最优为光伏发电综合利用模式和生态旅游模式,生态饲料加工模式规模效率值为 0.934,按照规模效率小于 1 时,存在规模效应递增或递减情况,根据表 2 沙产业模式投入产出效率计算结果分析,生态饲料加工模式规模效率表现为递增,可知生态饲料加工模式呈现规模递增状态。从库布齐模式中 3 种沙产业模式规模效率来看,投入产出规模效率大都实现了 DEA 有效。其中,生态饲料加工模式规模效率值最低,仅次于光伏发电综合利用模式和生态旅游模式的规模效率。从库布齐沙漠生态饲料加工模式呈现规模递增状态来分析,这种模式可以通过规模经济提高收入,但应改变仅依靠扩大规模来提高收入的粗放型沙产业发展模式。

4 结论与讨论

4.1 结论

从库布齐模式中 3 种沙产业模式的投入产出来看,光伏发电综合利用模式表现为高投入、高产出,生态旅游模式为低投入、高产出,而生态饲料加工模式则表现出高投入、低产出,且前两种模式投入产出综合效率最高,达到 1.000,均高于生态饲料加工模式的综合效率,同时生态饲料加工模式的综合效率和规模效率均低于纯技术效率。

库布齐模式中 3 种沙产业模式的纯技术效率均实现 DEA 有效,其值和均值都达到了 1.000,反映出库布齐模式中 3 种沙产业模式的生产经营方式下要素资源的配置、利用水平均达到了最优。这也进一步表明库布齐模式的沙产业发展模式有利于资源的高效配置,对库布齐沙漠生态治理有积极的促进作用。

库布齐模式中 3 种沙产业模式投入产出规模效率整体较高,均值为 0.978,均实现 DEA 有效,最优为光伏发电综合利用模式和生态旅游模式,其值为 1.000,生态饲料加工模式规模效率值为 0.934,生态饲料加工模式呈现规模递增状态。

4.2 讨论

库布齐模式中沙产业发展迅速,规模逐渐扩大,经济效益突出,生态、社会效益也十分显著。亿利资源集团目前已形成了生态修复、生态工业、生态光能、生态牧业、生态健康、生态旅游“六位一体”互促共进的生态产业^[25],依托库布齐沙漠围封补种和半野生栽培,建立了以甘草、苦参为主的中药材规模化生产基地,研发了甘草良咽、蓉蛾益肾口服液、复方甘草片和复方甘草口服液等中蒙药系列产品。依托生态建设成果—沙柳、柠条、甘草、羊柴、花棒、沙打旺、紫穗槐、紫花苜蓿等沙生灌木及草本资源,创新生物菌技术,发展了有机饲料产业。创新了治沙+发电+种植+养殖+扶贫的生态光伏产业模式,实现了生态与能源的良性互动,提高土壤有机质,促进农牧业发展,为今后积极发展生态光伏发电沙产业综合利用模式提供了前期基础。库布齐沙漠经过近 40 多年的生态治理,今后沙产业发展可以充分利用封沙育林、流动沙地治理的成果,以原有不同植物种群构成的风沙防护林景观为基础,结合目前库布齐沙漠响沙湾景区休闲娱乐和库布齐沙漠恒盛兴汽车露营开展越野拓展训练等项目来大力发展沙区生态旅游业。综上所述,库布齐模式中 3 种沙产业模式的纯技术效率、综合效率、规模效率均实现了 DEA 有效,3 种沙产业模式的生产经营方式下要素资源的配置、利用水平均达到了较好状态,库布齐沙漠今后沙产业发展应结合当地自然条件和亿利资源集团前期产业基础,逐步形成以中草药种植与产业化经营、光伏发电与畜牧业养殖相结合、生态饲料加工、沙漠生态旅游为主导产业的沙产业模式。

库布齐模式充分利用库布齐沙漠地区独特的资源优势,通过大规模的沙漠化防治,培育和带动沙漠化地区的沙产业发展,通过沙产业的发展来反哺和促进库布齐沙漠规模化防治,实现了人与环境的可持续发展。库布齐模式把沙产业理论变成了现实,提高了沙漠化地区经济社会水平,带来了沙漠增绿、群众致富、社会发展。库布齐模式在沙漠化地区的成功实践,为沙漠化地区防沙治沙和生态经济发展起到了示范作用,但库布齐模式也存在一些问题,比如沙产业中生态饲料加工模式的高投入、低产出和规模效率低下问题,沙产业生产结构不合理和缺乏科技创新^[26-27],库布齐模式中水资源承载力的问题等^[28-29]。

本文只评价了库布齐模式中3种沙产业模式的经济效益,未对3种沙产业模式的生态效益和社会效益进行评价,选用合适方法评价其生态效益、社会效益是下一步研究的重点。鉴于相关数据的难获取性,本文只评价了2015年库布齐模式中3种沙产业模式的经济效益,未评价其他年份的沙产业模式的经济效益,应结合时间序列来分析库布齐沙产业模式经济效益的动态变化过程,这是今后进一步深入研究的方向。

参考文献:

- [1] 韩永光. 乌兰布和沙漠绿洲沙产业可持续发展研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2012.
- [2] 谢增武,王坤,曹世雄. 宁夏发展沙产业的社会、经济与生态效益[J]. 草业科学,2013,30(3):478—483.
- [3] 丁文广,仙均让,魏银丽. 企业主导的沙漠化治理模式研究——以甘肃省瓜州县为例[J]. 生态经济,2011,20(6):156—159.
- [4] 国家林业局. 中国荒漠化和沙化状况公报[EB/OL]. <http://www.forestry.gov.cn/main/69/content-831684.html>.
- [5] Maestre F T, Quero J L, Gotelli N J, et al. Plant species richness and ecosystem multi-functionality in global drylands[J]. Science,2012,335:214—218.
- [6] 李玉忠,张立萍. 河西走廊荒漠绿洲区发展沙产业探析[J]. 中国水土保持,2011,24(6):37—39.
- [7] 韩新盛. 基于生态链网的沙产业集群化研究——以库布齐沙漠为例[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2014.
- [8] 谢增武. 宁夏地区治沙产业生态经济分析[D]. 北京:北京林业大学,2013.
- [9] 陶明,黄高宝. 沙产业理论体系构建初探[J]. 中国沙漠,2009,29(3):424—431.
- [10] 刘铮瑶,董治宝,王建博,等. 沙产业在内蒙古的构想与发展:生态系统服务体系视角[J]. 中国沙漠,2015,35(4):1057—1064.
- [11] 黄高宝,陶明. 河西走廊沙产业效益评价初探[J]. 中国沙漠,2010,30(2):260—266.
- [12] 李振山,包慧娟,王涛. 沙漠化地区可持续发展评价:I. 指标体系[J]. 中国沙漠,2006,26(3):432—439.
- [13] 梁文英. 鄂尔多斯沙产业效益研究[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学,2014.
- [14] 郝树坤. 鄂尔多斯沙产业发展现状及其对策思考[J]. 内蒙古农业大学学报,2008,10(3):125—130.
- [15] 李发明,张莹花,贺访印,等. 沙产业的发展历程和前景分析[J]. 中国沙漠,2012,32(6):1765—1772.
- [16] 杨文斌,张团员,闫德仁,等. 库布齐沙漠自然环境与综合治理[M]. 呼和浩特:内蒙古大学出版社,2005.
- [17] 王文彪. 沙漠绿色经济[M]. 呼和浩特:内蒙古大学出版社,2011:89—91.
- [18] 陈雅琳,常学礼,崔步礼,等. 库布齐沙漠典型地区沙漠化动态分析[J]. 中国沙漠,2008,28(1):27—34.
- [19] 吴琼. 鄂尔多斯沙产业对区域生态环境和经济增长的影响研究[D]. 兰州:兰州大学,2010.
- [20] 黄成娟. 甘肃河西走廊沙产业发展模式研究[D]. 兰州:兰州大学,2009.
- [21] 崔琰. 库布齐沙漠土地荒漠化动态变化与旅游开发研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2010.
- [22] Coelli T J, Prasada Rao D S, Donnel C J, et al. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis[M]. New York, USA: Springer US,2005.
- [23] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operation Research,1978,2:429—444.
- [24] 方创琳,关兴良. 中国城市群投入产出效率的综合测度与空间分异[J]. 地理学报,2011,66(8):1011—1022.
- [25] 亿利资源. 库布齐“六生态”沙漠经济[EB/OL]. <http://www.elion.com.cn/article/82>.
- [26] 李富荣,塔娜. 内蒙古沙产业与生态环境建设[J]. 北方经济,2010,17(9):35—37.
- [27] 胡耀军. 鄂尔多斯市沙产业发展研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2012.
- [28] 高瑞忠,李和平,伶长福,等. 鄂尔多斯市水资源承载能力综合评价与分析[J]. 水土保持研究,2011,18(2):142—146.
- [29] 迟悦春,辛静,聂琴. 对库布齐治理沙漠模式的思考[M]//第七届内蒙古自治区自然科学学术年会论文集. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,2012:661—663.

Economic Benefits Evaluation of Three Sand Industry
Models in the Hobq Desert

Wang Rui^{1,2}, Zhou Lihua^{1,3}, Chen Yong¹, Zhao Minmin^{1,2}, Guo Xiuli^{1,2}

(1.Key Laboratory of Desert and Desertification, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: The Hobq Desert is the 7th largest desert in China. From 2000 to 2015, the scale of the sand industry in the Hobq Desert was great and it developed rapidly. The "Hobq model" had a significant impact on domestic and abroad regions and achieved a win-win effect on the prevention and control of the desertification and the maintenance of the ecological economy. But "Hobq model" had a controversy in the domain of the science, especially on the bearing capacity of the water resources and the benefit of the sand industry. At present, there is a few research on the quantitative evaluation of the benefit of the "Hobq model". It is a key point that how to evaluate the benefit of the sand industry in the Hobq Desert. This paper used the DEA analysis method to evaluate the economic benefits of three sand industry models in 2015. The results showed that the model of the comprehensive utilization of the photovoltaic power generation and the ecotourism generated the highest input-output comprehensive efficiency, which were 1.000. It is higher than that of comprehensive efficiency of the ecological feed processing model. Furthermore, the pure technical efficiency of three sand industry models was effective to the DEA. The input-output efficiency of the three sand industry models were relatively high as a whole, which was 0.978. The photovoltaic power generation and the ecological tourism were optimal. Based on the analysis above, the deficiency of the "Hobq model" was proposed, and the development trend and the proposal were pointed out.

Key words: input-output; sand industry; economic benefit; Hobq Desert