

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0283

张唯佳, 饶良懿. 荒漠化治理技术产业化过程中资源—环境—经济协调发展研究: 以阿拉善盟为例. 草业科学, 2020, 37(2): 383-392.

ZHANG W J, RAO L Y. Coordinated development of resource-environment-economy system in the industrialization of desertification control technology: A case study of Alxa League of Inner Mongolia. Pratacultural Science, 2020, 37(2): 383-392.

荒漠化治理技术产业化过程中资源—环境—经济协调发展研究: 以阿拉善盟为例

张唯佳^{1,2}, 饶良懿^{1,2}

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 林业生态工程教育部工程研究中心, 北京 100083)

摘要: 荒漠化治理是我国生态文明建设的重要内容, 荒漠化治理技术产业化是巩固治理成果的途径, 也是涉及资源、环境、经济系统的复杂过程, 三者间的协调发展备受关注。本研究基于压力—状态—响应 (pressure – state – response, PSR) 和资源—环境—经济 (resources – environment – economy, REE) 相融合的框架模型构建协调发展指标体系, 运用主成分分析法和隶属函数构建协调度评价模型, 量化了 2010–2016 年内蒙古阿拉善盟荒漠化治理技术产业化过程中资源、环境、经济系统综合发展水平及系统间协调度。结果表明, 该区经济系统和资源系统均具有不同程度的发展, 环境系统发展相对滞后, REE 系统协调度较低, 整体呈上升态势。从发展能力和协调可持续能力两方面采取措施将有利于提高 REE 系统协调发展水平, 推动荒漠化治理技术产业化进程。

关键词: 荒漠化治理技术产业化; 资源—环境—经济协调发展; 阿拉善盟

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2020)02-0383-10

Coordinated development of resource-environment-economy system in the industrialization of desertification control technology: A case study of Alxa League of Inner Mongolia

ZHANG Weijia^{1,2}, RAO Liangyi^{1,2}

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Engineering Research Center of the Ministry of Education of Forestry Ecological Projects, Beijing 100083, China)

Abstract: Desertification control is extremely important for the construction of an ecologically stable civilization in China. The industrialization of desertification control technologies consolidates the achievements of desertification control, which is a complex process involving resource, environmental and economic systems. The coordinated development of these three systems has attracted much attention. In the current study, a coordinated development index system was first constructed based on the integrated framework model of pressure – state – response and resource – environment – economy. Then, taking Alxa League of Inner Mongolia as an example, a coordination degree evaluation model was constructed by using principal component analysis and membership function. Finally, the comprehensive development levels of resource, environmental and economy systems (REE) and the coordination degree among systems in the industrialization of desertification control technology in this region from 2010 to 2016 were quantified. The results showed that the economic system and resource system had differing levels of development and the environmental system was relatively underdeveloped. The degree of

收稿日期: 2019-06-05 接受日期: 2019-09-20

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFC0506702)

第一作者: 张唯佳 (1995-), 女, 山东泰安人, 在读硕士生, 主要从事荒漠化与生态系统修复研究。E-mail: Wszwj23@126.com

通信作者: 饶良懿 (1976-), 女, 福建建瓯人, 教授, 博士, 主要从事水土保持与生态系统修复研究。E-mail: raoliangyi@bjfu.edu.cn

coordination in the REE system was low but with an overall rising trend. Measurements taken from two aspects of development and coordinated sustainability would facilitate improvements to the coordinated development level of the REE system and promote the industrialization of desertification control technology.

Keywords: industrialization of desertification control technology; coordinated development of resource–environment–economic system; Alxa League of Inner Mongolia

Corresponding author: RAO Liangyi E-mail: raoliangyi@bjfu.edu.cn

荒漠化是干旱、半干旱和亚湿润干旱地区面临的土地退化问题^[1], 严重威胁我国生态环境安全和社会经济可持续发展。截至 2014 年, 我国荒漠化土地总面积已达 261.16 万 km²^[2]。多年来, 我国针对不同气候类型区及荒漠化成因摸索出一系列荒漠化治理技术, 包括优良植物资源选育^[3]、生物结皮^[4-5]、植被恢复^[6]与建设^[7]等生物类技术, 节水保水剂^[8-9]、固沙材料^[10]、土壤改良剂^[11]等化学类技术, 高效节水^[12-13]、沙障设置^[14]等工程类技术, 以及生物、化学、工程类多种组合的综合类治理技术^[15-16]。近年来, 部分荒漠化治理技术依托沙生植物资源生产出产品, 经由加工、销售等环节实现产业化, 取得了生态效益和经济效益的双赢。内蒙古阿拉善盟被划分为我国生态强约束区域, 在我国西部生态环境建设中占据重要地位^[17]。2000–2016 年, 荒漠化治理技术的大量应用有效遏制了阿拉善盟土地荒漠化趋势^[18], 该区荒漠化治理技术产业化过程与机制也成为研究热点。

荒漠化治理技术产业化是涉及资源、环境、经济系统的复杂过程, 从三者协调发展的视角开展综合性研究已成为研究区域可持续发展问题的新趋势, 而当前对荒漠化治理技术产业化过程中资源–环境–经济系统协调发展的研究还鲜见报道。鉴于此, 本研究基于压力–状态–响应 (pressure – state – response, PSR) 和资源–环境–经济 (resources – environment – economy, REE) 相融合的框架模型构建了适用于荒漠化治理技术产业化过程的资源–环境–经济系统协调发展指标体系, 并运用主成分分析法和隶属度函数构建了协调度评价模型, 以定量衡量阿拉善盟荒漠化治理技术产业化过程中资源、环境、经济系统综合发展水平及三者协调发展现状, 并初步辨析荒漠化治理技术产业化过程中资源环境制约因素, 探讨各系统间的协调发展机制, 以期政府决策提供

科学依据, 同时为其他区域荒漠化治理技术产业化的相关研究提供借鉴。

1 研究区概况

阿拉善盟位于内蒙古自治区最西部 (97°10′ – 106°53′ E, 37°24′ – 42°47′ N), 是全区沙漠最多、土地沙化最严重的地区。盟内分布有巴丹吉林、乌兰布和和腾格里三大沙漠, 全盟荒漠化面积 20.4 万 km², 占全盟面积的 76%^[19]。阿拉善盟属大陆性气候区, 多年平均气温 5~8 °C, 干旱少雨、风大沙多, 年总辐射值约为 6 300 MJ·m⁻², 太阳能资源丰富^[20]。从东南向西北年降水量的减少和年蒸发量的增加使阿拉善盟植被具有明显区域性和地带性, 植被呈草原化荒漠带、典型荒漠带和极旱荒漠带的分布格局, 以旱生、超旱生的灌木、半灌木植被为主^[21]。

阿拉善盟广阔的沙漠戈壁、独特的沙生植物资源、充足的光热资源为实现荒漠化治理技术产业化提供了空间和资源基础。近年来, 阿拉善盟政府根据土地荒漠化程度及沙生植物资源开发情况, 从东南向西北将阿拉善盟划分为沙漠边缘沙生植物资源优势开发区、典型荒漠沙生植物资源保护性开发区和戈壁绿洲沙生植物资源适度开发区 3 个沙生资源植物产业重点发展带, 应用良种选育技术、造林技术、节水灌溉技术等荒漠化治理技术培育当地沙生植物。现已形成肉苁蓉 (*Cistanche deserticola*)、锁阳 (*Cynomorium songaricum*) 等沙生药材以及黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*)、沙地葡萄 (*Vitis rupestris*)、红枣 (*Ziziphus jujubal*)、沙葱 (*Allium mongolicum*) 等沙生经济作物的规模种植^[22], 并通过食品、药品、保健品等相关产品的生产实现了技术商品化。相关企业的出现促进了企业、合作社、基地和农牧民连接机制的形成, 最终实现荒漠化治理技术产业化 (图 1)。

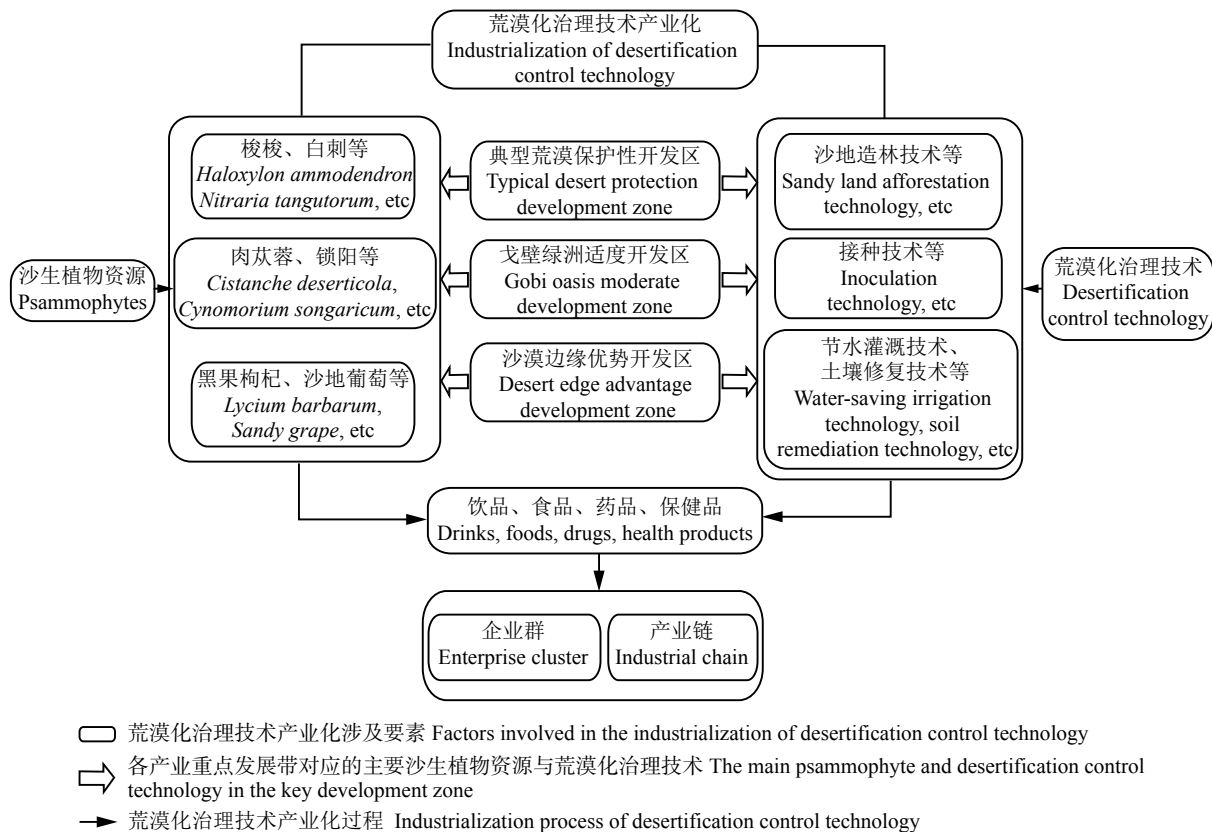


图 1 阿拉善盟荒漠化治理技术产业化概念模式

Figure 1 Conceptual model in the industrialization of desertification control technology in Alxa League

2 研究方法

2.1 资源—环境—经济系统协调发展指标体系构建

经济合作与发展组织和联合国环境规划署于二十世纪八九十年代共同发展了压力—状态—响应^[23]框架模型，对人类与生态环境间的相互作用进行系统探究。本研究在深入了解和客观分析研究区资源、环境、经济系统间相互关系和体系结构的基础上，通过理论分析法、专家咨询法以及对现有文献中能反映荒漠化治理技术产业化资源—环境—经济系统协调发展状况的指标做频数统计，基于压力—状态—响应和资源—环境—经济^[24]相融合的框架模型，对资源—环境—经济系统进行内部划分，即各系统层分别划分为压力、状态和响应 3 个标准层。在遵循科学性、层次性和数据可获得性等原则的前提下，选取 18 个具代表性的指标构建了阿拉善盟荒漠化治理技术产业化资源—环境—经济系统协调发展指标体系(表 1)。指标体系数据来源于 2010—2016 年《阿拉善盟统计年鉴》、《阿拉善盟年鉴》、《阿拉善盟环境状况

公报》、《阿拉善盟国民经济和社会发展统计公报》、《内蒙古统计年鉴》和《内蒙古自治区水资源公报》等。

2.2 资源—环境—经济系统综合发展水平衡量

主成分分析法^[25]是通过研究指标体系内在关系，在反映原始变量主要信息的前提下把多指标合成为少数互不相关的综合指标的一种数据降维方法。本研究基于表 1 中的指标数据，运用主成分分析法，量化了 2010—2016 年阿拉善盟荒漠化治理技术产业化资源、环境、经济三系统的综合发展水平。

2.2.1 数据标准化处理

为消除变量在数量级和量纲上的不同，在进行主成分分析之前要对原始数据进行标准化处理，处理公式：

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i}; \tag{1}$$

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n}; \tag{2}$$

表 1 阿拉善盟荒漠化治理技术产业化资源-环境-经济协调发展指标体系
Table 1 Resource-environment-economy coordinated development index system in the industrialization of desertification control technology in Alxa League

系统层 System layer (A)	标准层 Standard layer (B)	指标层 Indicator layer (C)	指标属性 Indicator attributes
A ₁ 资源系统 Resource system	B ₁ 资源压力 Resource pressure	C ₁ 单位GDP水耗Unit GDP water consumption/(×10 ⁻⁴ m ³ ·CNY ⁻¹)	负指标 Negative
		C ₂ 机电井眼数Electrom echanical wellbore number/hole	负指标 Negative
	B ₂ 资源状态 Resource status	C ₃ 沙生药材面积Sandy medicinal materials area/hm ²	正指标 Positive
		C ₄ 沙生经济作物面积Sandy cash crops area/hm ²	正指标 Positive
	B ₃ 资源响应 Resource response	C ₅ 节水灌溉面积Water-saving irrigation area/hm ²	正指标 Positive
		C ₆ 生态治理系数Ecological governance coefficient/%	正指标 Positive
A ₂ 环境系统 Environmental system	B ₄ 环境压力 Environmental pressure	C ₇ 农药施用强度Pesticide application intensity/(kg·hm ⁻²)	负指标 Negative
		C ₈ 年降水量Annual precipitation/mm	正指标 Positive
	B ₅ 环境状态 Environmental state	C ₉ 沙尘天气日数 Dust weather days/d	负指标 Negative
		C ₁₀ 年平均风速Average wind speed/(m·s ⁻¹)	负指标 Negative
	B ₆ 环境响应 Environmental response	C ₁₁ 工业废水处理率 Industrial wastewater treatment rate/%	正指标 Positive
		C ₁₂ 工业固体废物综合利用率 Comprehensive utilization rate of industrial solid waste/%	正指标 Positive
A ₃ 经济系统 Economic system	B ₁ 经济压力 Economic pressure	C ₁₃ 人均GDPPer capita GDP/CNY	正指标 Positive
		C ₁₄ 农牧民人均纯收入 Per capita net income of farmers and herdsmen/CNY	正指标 Positive
		C ₁₅ 恩格尔系数Engel's coefficient/%	负指标 Negative
	B ₂ 经济状态 Economic status	C ₁₆ 林业产值Forestry output value/(× 10 ⁹ CNY)	正指标 Positive
		C ₁₇ 农业产值Agricultural output value/(× 10 ⁹ CNY)	正指标 Positive
	B ₃ 经济响应 Economic response	C ₁₈ 科技经费投入Investment in science and technolgy/(× 10 ⁴ CNY)	正指标 Positive

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n - 1}} \tag{3}$$

式中：*i*表示选取的指标个数 (*i* = 1, 2, …, *m*)；*j*表示选取的指标样本个数 (*j* = 1, 2, …, *n*)；*x_{ij}*为各指标的原始数据；*x̄_i*为各指标的算数平均值；*s_i*为各指标的标准差；*z_{ij}*为标准化后的指标数据。

2.2.2 计算资源、环境、经济系统综合得分

数据标准化处理后，利用 R 软件得出各指标主成分相关矩阵的特征值、特征向量、主成分载荷矩阵、方差贡献率等输出结果。每项指标的标准化数值与其在主成分上载荷的乘积之和，即为各个主成分的得分值，计算公式为：

$$F_p = \sum_{i=1}^p z_i \times f_{ip} \tag{4}$$

式中：*p*为提取的主成分个数；*F_p*为主成分得分；*z_i*为各个单项指标的标准化值；*f_{ip}*为各指标主成分的载荷。

最后通过综合评价指数函数计算出各系统的综合得分：

$$F = \frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} F_1 + \frac{\lambda_2}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} F_2 + \cdots + \frac{\lambda_p}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} F_p \tag{5}$$

式中：*F*为各系统综合得分；*λ_i*为提取的主成分所对应的特征值。

2.3 资源-环境-经济系统协调度评价模型构建

协调度是度量发展过程中系统间彼此和谐一致程度的数值^[26]。协调度评估是对各系统实际值与其协调值接近程度的定量描述。荒漠化治理技术产

业化过程中各系统间协调发展状况是动态变化的，因此系统间协调程度通常不能仅用协调和不协调来衡量，更多是处于协调与不协调之间的模糊概念。为定量描述各系统间的协调程度，采用模糊数学中隶属度的概念建立协调度计算公式^[27]：

$$W(i/j) = \exp[k(X_i - X'_i)^2];$$

(6)

$$k = -\frac{2}{S^2}。$$

(7)

式中： $W(i/j)$ 为第*i*系统对第*j*系统的协调度； X_i 为第*i*系统综合发展水平的实际值； X'_i 为与第*j*系统实际值相协调的第*i*系统的综合发展水平值。运用 Eviews 软件通过建立*i*系统对*j*系统的回归方程 $X_i = a + bX_j$ 来探究，回归模型表明，要使系统*i*与系统*j*间协调发展，就要求系统*X_i*每变化一个单位，系统*X_j*变化*b*个单位，从而可确定协调值 $X'_i = bX_j$ ；*S*为*i*系统的标准差；*S*²为*i*系统的方差。

计算出 $W(i/j)$ 和 $W(j/i)$ 后，两系统间协调度计算公式如下：

$$W(i,j) = \frac{W(i/j) + W(j/i)}{2}。$$

(8)

三系统间协调度计算公式如下：

$$W(i,j,k) = \frac{W(i/j,z) \times W(j,z) + W(j/i,z) \times W(i,z)}{W(i,j) + W(j,z) + W(i,z)} + \frac{W(z/i,j) \times W(i,j)}{W(i,j) + W(j,z) + W(i,z)}。$$

(9)

2.4 协调度等级划分

参考相关文献 [28-30] 对协调程度等级的划分，

本研究对各系统协调度等级划分如表 2 所列。

3 资源—环境—经济系统协调度评价结果分析

3.1 资源、环境、经济各系统综合发展水平分析

应用 R 软件对阿拉善盟荒漠化治理技术产业化过程中资源、经济、环境系统分别做主成分分析，按照累计贡献率超过 85% 的原则分别提取各系统的主成分特征值、方差贡献率、累积方差贡献率 (表 3)。

根据表 3 结果，将公式 (2) 计算得出的经济、资源、环境三系统各自主成分得分带入公式 (3) 中计算经济、资源、环境三系统综合得分 (图 2)。

阿拉善盟荒漠化治理技术产业化过程中经济系统综合发展水平呈稳步增长趋势 (图 2)，综合得分从 2010 年的-1.153 9 上升到 2016 年的 1.265 8，说明近年来产业化有效推动了地区经济发展和农牧民生活改善。资源系统综合发展水平整体呈波动上升趋势，这得益于当地沙生经济作物面积、沙

表 2 协调度等级划分

Table 2 Classification of coordination degree

水平 Level	等级 Degree
[0, 0.5)	失调 Imbalance
[0.5 - 0.6)	弱协调 Weak coordination
[0.6 - 0.7)	初步协调 Preliminary coordination
[0.7 - 0.8)	中度协调 Moderate coordination
[0.8 - 0.9)	良好协调 Good coordination
[0.9, 1.0)	优质协调 Quality coordination

表 3 各系统主成分及方差贡献率

Table 3 Principal components and variance contribution rates of each system

系统 System	主成分 Principal component	主要对应指标 Major corresponding Indicator	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累积方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%
资源系统 Resource system	P1	C ₅ 、 C ₆	4.326	72.102	94.654
	P2	C ₂ 、 C ₃ 、 C ₄	0.762	12.695	
	P3	C ₁	0.591	9.857	
环境系统 Environmental system	P1	C ₉ 、 C ₁₁	2.561	42.687	85.28
	P2	C ₇	1.424	23.741	
	P3	C ₈ 、 C ₁₀ 、 C ₁₂	1.131	18.852	
经济系统 Economic system	P1	C ₁₄ 、 C ₁₅ 、 C ₁₆ 、 C ₁₇ 、 C ₁₈	4.758	79.306	94.738
	P2	C ₁₃	0.926	15.431	

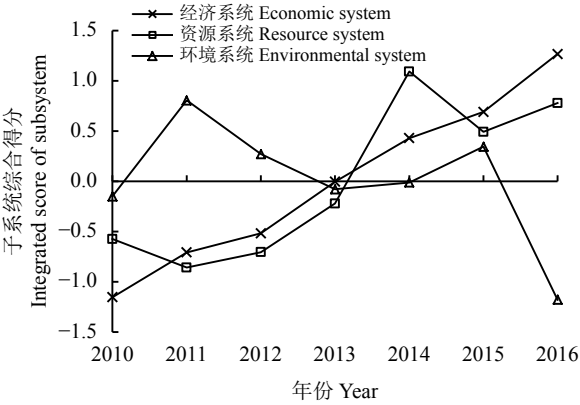


图 2 资源-环境-经济系统综合发展水平趋势
Figure 2 Trend of comprehensive development level of resource – environment – economic system

生药材面积和林业生态建设面积等的稳步提升。依托荒漠化治理技术的推广应用，阿拉善盟植被面积逐年增加，“十二五”以来，阿拉善盟共完成林业生态建设 11.2 万 hm^2 ，截至 2017 年，人工种植梭梭林达 27.8 万 hm^2 ，接种肉苁蓉 4.7 万 hm^2 ^[19]；年产锁阳 1 250 t、甘草 245 t、麻黄 175 t^[31]，规模化原材料基地的逐步形成推动了资源系统的发展。2013–2014 年资源系统综合得分约增加 1.3，

主要影响指标是 C_3 ，沙生药材面积由 9.8 hm^2 增加到 23 hm^2 ，增加了 13.2 hm^2 ；2014–2015 年得分降低，则主要是受指标 C_2 影响所致，2015 年机电井眼数较 2014 年增加了 38.5%，导致水资源消耗过多进而阻碍了资源系统发展。环境系统综合发展水平整体呈下降趋势，但这种态势不稳定，波动较为剧烈。2016 年指标 C_{11} 和 C_{12} 分别较 2015 年下降近 70% 和 60%，导致 2015–2016 年环境系统得分出现了由 0.344 8 到 -1.179 1 的“断崖式”下降。总体来看，经济系统发展水平最高，资源系统基本跟上了经济系统发展步伐，环境系统发展相对滞后。

3.2 资源-环境-经济系统协调度分析

按照公式 (6)~(8) 求得 2010–2016 年阿拉善盟荒漠化治理技术产业化过程中资源、环境、经济系统两两间及三系统整体协调度，并采用表 2 中评价标准对协调度等级进行评价划分 (表 4)。

根据系统间协调度的计算结果，对 2010–2016 年阿拉善盟荒漠化治理技术产业化资源-环境-经济系统协调发展状况进行分析：

表 4 阿拉善盟荒漠化治理技术产业化资源-环境-经济系统协调度及评价
Table 4 Coordination degree and evaluation of resource – environment – economy system in the industrialization of desertification control technology in Alxa League

年份 Year	经济-资源 Economy – resource		资源-环境 Resource – environment		经济-环境 Economy – environment		资源-环境-经济 Resources – environment – economy	
	协调度均值 Mean coordination degree	协调水平 Coordination level	协调度均值 Mean coordination degree	协调水平 Coordination level	协调度均值 Mean coordination degree	协调水平 Coordination level	协调度均值 Mean coordination degree	协调水平 Coordination level
2010	0.48	失调 Imbalance	0.28	失调 Imbalance	0.05	失调 Imbalance	0.19	失调 Imbalance
2011	0.84	良好协调 Good coordination	0.49	失调 Imbalance	0.59	弱协调 Weak coordination	0.57	弱协调 Weak coordination
2012	0.82	良好协调 Good coordination	0.67	初步协调 Preliminary coordination	0.86	良好协调 Good coordination	0.88	良好协调 Good coordination
2013	0.85	良好协调 Good coordination	0.79	良好协调 Good coordination	0.97	优质协调 Quality coordination	0.88	良好协调 Good coordination
2014	0.22	失调 Imbalance	0.14	失调 Imbalance	0.71	中度协调 Moderate coordination	0.26	失调 Imbalance
2014	0.92	优质协调 Quality coordination	0.14	失调 Imbalance	0.07	失调 Imbalance	0.22	失调 Imbalance
2016	0.62	初步协调 Preliminary coordination	0.50	弱协调 Weak coordination	0.39	失调 Imbalance	0.44	失调 Imbalance

经济—资源系统协调度由2010年0.48的失调水平上升到2016年0.62的初步协调水平,虽然协调度整体呈上升趋势,但其年平均增长率仅为4%,上升速率缓慢,这凸显了荒漠化治理技术产业化资金、人力、资源投入大,回收周期长的特点。以阿拉善盟主体荒漠化治理技术——梭梭培育技术和肉苁蓉接种技术的产业化为例,种植梭梭后第3年可以接种苁蓉,接种成功后第3年可连续采挖5年左右,暂停接种2年后再继续接种。按如此规律计算,每一棵苁蓉收益的周期约为10年,其中5年为间隔年,5年为收益年^[32]。而肉苁蓉的根、茎部位经工厂加工、企业销售等环节形成产业链仍需一定时间周期,且基于产业化实现更多经济效益的需要,梭梭种植和苁蓉接种过程需抽取地下水灌溉^[33]。植物可用部位较少,后期产品的科技水平低,利润有限,导致经济效益未及时得到显著提高^[34],水资源红线也牵制了资源系统与经济系统的协调发展,使两系统协调水平呈现缓慢上升状态。虽然经济—资源系统协调度年平均增长率在两两系统间最低,上升速率最慢,但其协调度均值为0.68,在两两系统间等级最高。由此分析得出,虽然产业化过程中经济效益未及时反馈,但沙生植物资源和水资源仍是荒漠化治理技术产业化中带来经济效益的重要物质基础,高效经营管理可使资源系统对经济系统发挥更可持续的促进作用。2013–2014年经济—资源系统协调度出现大幅下降,主要是由于指标 C_3 增加所致,沙生药材面积突增虽然使资源系统综合得分增长至较高水平,但短期内资源规模的扩张却导致资源系统与经济系统发展节奏不符,两系统协调程度降至较低水平。这也说明,一个地区两子系统的综合发展水平较高,两系统间的协调度不一定较高;一个地区两子系统的综合发展水平处于上升态势,两系统间的协调度不一定处于上升态势,反之亦然。

资源—环境系统和经济—环境系统协调度均值为0.43和0.52,分别处于失调水平和弱协调水平,虽然协调程度不佳,但协调度年平均增长率分别为10%和41%,整体趋于协调;且二者协调度变化趋势类似,都呈先上升再下降后上升的“N”型发展,变动的时间点也一致,这表明环境系统对经济系统与资源系统的作用力基本等同。资源—环境

系统协调度的最大降幅出现在2013–2014年,下降原因与经济—资源系统协调度下降原因相同;经济—环境系统协调度的最大降幅出现在2014–2015年,主要是受2015年异常高温等灾害性天气和病虫害频发^[35]的影响。2016年虽然环境治理状况不佳,但随气候趋于正常,环境系统与其他系统的协调度有所提高。由此分析得出,环境污染对资源和经济系统影响不显著,而气候异常直接影响着沙生植物资源培育规模与水平,因此环境系统中温度、降水等气候气象因素的变化对荒漠化治理技术产业化的资源和经济系统影响更大。

资源—环境—经济系统的协调度均值在2010–2013年为0.53,虽处于初步协调水平但呈逐年上升趋势,说明阿拉善按照2008年《阿拉善盟行政公署关于加强防沙治沙工作的决定》和2011年国家林业局下发的《关于进一步加快发展沙产业的意见》中的规定开展产业化治沙模式取得了一定成效。且自2011年中国沙产业良种繁育基地在阿拉善盟正式启动,阿拉善盟依托沙地营林、良种选育等荒漠化治理技术大面积种植具生态功能的沙生经济植物与沙生药材,使三系统间的良好互馈作用在这一时期占据重要地位。2013–2016年受不良气候条件和盲目扩张沙生植物资源规模影响,加之产业化种植过程效率低、后续产品加工转化率滞后、投资回收慢等问题凸显,三系统协调度均值下降到0.45,回到失调水平。总体看,2010–2016年资源—环境—经济系统协调度以年平均15%的速度增长,整体趋于协调。

4 结论与建议

4.1 结论

通过对2010–2016年阿拉善盟荒漠化治理技术产业化过程中资源—环境—经济系统综合发展水平及系统间协调度进行定量分析,得出如下结论:

1) 产业化过程中经济系统和资源系统均得到了不同程度的发展,环境系统综合发展水平整体呈下降趋势。说明荒漠化治理技术产业化带动了经济发展,扩大了资源利用规模,但经济和资源系统的发展在一定程度上是以牺牲环境为代价的,忽视了生态环境的保护。

2) 资源—环境系统均值为0.43,处于失调水

平; 经济-环境系统均值为 0.52, 处于弱协调水平; 经济-资源系统协调发展水平最高, 均值为 0.68, 处于初步协调水平。两两系统间协调度均处于上升态势, 资源-环境-经济系统整体趋于协调发展。一个地区两系统各自的综合发展水平高低和变化趋势与两系统间协调度大小和变化趋势无关。

3) 资源系统与环境、经济系统的互馈模式优劣是决定资源-环境-经济系统协调与否的关键。沙生植物资源和水资源是资源系统的核心, 其开发利用规模、程度与质量影响着经济-资源系统和资源-环境系统间协调度的高低, 进而影响着资源-环境-经济系统整体协调程度的变化。水土资源承载力有限、沙生植物资源种植周期长、可用部位较少、后续产品开发科技水平低等因素制约了阿拉善盟荒漠化治理技术产业化过程中资源-环境-经济系统的协调发展, 阻碍了荒漠化治理技术持续产业化的进程。

4.2 建议

在产业化治沙的重大战略下, 阿拉善盟在推动荒漠化治理技术产业化的同时, 还需健全协调发展机制以实现产业化与资源环境协同发展, 未来应在发展和协调可持续两方面进行改善:

1) 发展方面。首先, 政府有必要联合科研院所, 在充分考虑当地水文、土壤、气候、生物等生态

系统要素间相互作用的前提下将生物措施、工程措施和化学措施等各类荒漠化治理技术进行针对性优化和综合集成, 使其在沙生植物资源开发中发挥最大作用。其次, 要积极通过技术集成创新和应用, 在保留并充分发挥原生品种优势的基础上对沙生植物资源加以改良, 如提高单位产量、增加可用部位、提高抗虫抗灾性等, 培育出更适合产业化发展的新品种并加以推广, 提高沙生植物资源的产量和质量。最后, 要明确栽培过程中的标准化操作方法和生产过程中针对产品等级评价、包装、贮藏、运输等具体问题的实施标准, 提高沙生植物资源的后续加工转化率。

2) 协调可持续方面。盲目发展单个系统对地区资源-环境-经济协调程度的提升有害无益, 只有在适度开发资源和保护环境的前提下发展经济, 让三系统间互相适应发展节奏才能使其协调发展。这就要求政府部门将优化资源配置与管理纳入统一战略决策体系, 通过立法禁止水资源破坏性利用和沙生植物资源过度开发行为, 以补贴或技术支持等形式鼓励企业修建节水型水利措施, 同时明确资源红线对产业化的约束, 严格按水土资源承载力和沙生植物资源开发上限科学规划产业化规模, 使荒漠化治理技术产业化走上可持续发展道路。

参考文献 References:

- [1] D'ODORICO P, BHATTACHAN A, DAVIS K F, RAVI S, RUNYAN C W. Global desertification: drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, 2013, 51(1): 326-344.
- [2] 李晓梅. 我国防沙治任重道远. *国土绿化*, 2016(1): 8-9.
LI X M. China has a long way to go in sand control. *Land Greening*, 2016(1): 8-9.
- [3] 武志博, 田永祯, 赵菊英, 谢宗才, 薛旺, 程业森, 李季梅. 阿拉善地区天然梭梭优树选择研究. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(6): 88-91.
WU Z B, TIAN Y Z, ZHAO J Y, XIE Z C, XUE W, CHENG Y S, LI J M. A study on plus tree selection of the natural *Haloxylon ammodendron* in Alashan Region. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(6): 88-91.
- [4] HE M Z, HU R, JIA R L. Biological soil crusts enhance the recovery of nutrient levels of surface dune soil in arid desert regions. *Ecological Indicators*, 2019, 106: 105497.
- [5] 麻云霞, 王月林, 李钢铁, 梁田雨, 邹苗, 王檬檬, 杨颖. 生物地毯治沙工程: 生物结皮现状的研究进展. *草地学报*, 2019, 27(3): 531-538.
MA Y X, WANG Y L, LI G T, LIANG T Y, ZOU M, WANG M M, YANG Y. Research progress on the status of biological crust: A kind of biological carpet sand control engineering. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(3): 531-538.
- [6] GAO X D, LI H C, ZHAO X N, MA W, WU P T. Identifying a suitable revegetation technique for soil restoration on water-limited

- and degraded land: Considering both deep soil moisture deficit and soil organic carbon sequestration. *Geoderma*, 2018, 319: 61-69.
- [7] LI S Y, TANG Q L, LEI J Q, XU X W, JIANG J, WANG Y D. An overview of non-conventional water resource utilization technologies for biological sand control in Xinjiang, northwest China. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(2): 873-885.
- [8] CAO Y B, WANG B T, GUO H Y, XIAO H J, WEI T T. The effect of super absorbent polymers on soil and water conservation on the terraces of the Loess Plateau. *Ecological Engineering*, 2017, 102: 270-279.
- [9] JIAN Y, LI Y, XIN M, MAMEDOV A I, LEVY G J. Superabsorbent polymers(SAPs) properties and concentration effects on water retention under drying conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 2017, 81(4): 889-901.
- [10] 赖俊华, 张凯, 王维树, 王彦奎, 徐贤伦, 屈建军, 肖建华. 化学固沙材料研究进展及展望. 中国沙漠, 2017, 37(4): 644-658.
- LAI J H, ZHANG K, WANG W S, WANG Y K, XU X L, QU J J, XIAO J H. Research advances and prospect in chemical sand-fixing materials. *Journal of Desert Research*, 2017, 37(4): 644-658.
- [11] 赵英, 喜银巧, 董正武, 李生字. 土壤改良剂在沙漠治理中的应用进展. 鲁东大学学报(自然科学版), 2019, 35(1): 51-58.
- ZHAO Y, XI Y Q, DONG Z W, LI S Y. Advances in application of soil amendments in desert control. *Journal of Ludong University (Natural Science Edition)*, 2019, 35(1): 51-58.
- [12] 范豫川, 闫旭东, 张宏飞, 逢好胜, 刘利宁, 王天舒, 李淑娟, 俞杨浏, 左强, 石建初. 内蒙古宜耕沙地作物适宜性评价与节水灌溉方式配置. 农业工程学报, 2017, 33(21): 115-127.
- FAN Y C, YAN X D, ZHANG H F, PANG H S, LIU L N, WANG T S, LI S J, YU Y L, ZUO Q, SHI J C. Suitable evaluation for crops and water-saving irrigation methods for arable sandy land in Inner Mongolia. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(21): 115-127.
- [13] 胡家帅, 王振华, 郑旭荣. 灌水对滴灌红枣产量、品质及水分利用的影响. 排灌机械工程学报, 2016, 34(12): 1086-1092.
- HU J S, WANG Z H, ZHENG X R. Effects of different irrigation treatments on drip irrigation red jujube's yield, quality and water use efficiency. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2016, 34(12): 1086-1092.
- [14] LI X J, ZHOU R P, JIANG H T, ZHOU D D, ZAHNG X W, XIE Y H, GAO W B, SHI J, WANG Y H, WANG J, DONG R, BYAMBAA G, WANG J, WU Z B, HAI C X. Quantitative analysis of how different checkerboard sand barrier materials influence soil properties:a study from the eastern edge of the Tengger Desert, China. *Environmental Earth Sciences*, 2018, 77(13): 481.
- [15] 张登山, 田丽慧, 吴汪洋, 张明远, 周鑫, 王俏雨, 汪海娇, 张宏巍. 青海高原沙化土地综合治理研究进展. 中国治沙暨沙业学会2018年学术年会论文集. 格尔木: 中国治沙暨沙业学会, 2018.
- ZHANG D S, TIAN L H, WU W Y, ZHANG M Y, ZHOU X, WANG Q L, WANG H J, ZHANG H W. Research Progress on comprehensive control of desertification land in Qinghai Plateau. *Proceedings of the 2018 Annual Meeting of China Association for Desertification Control and Sand Industry*. Golmud: China National Sand Control and Desert Industry Society, 2018.
- [16] 郭彩霞, 韩致文, 李爱敏, 钟帅. 库布齐沙漠生态治理与开发利用的典型模式. 西北师范大学学报(自然科学版), 2017, 53(1): 112-118.
- GUO C Y, HAN Z W, LI A M, ZHONG S. The typical models of ecological management and development and utilization in the Hobq Desert. *Journal of Northwest Normal University (Natural Science)*, 2017, 53(1): 112-118.
- [17] 徐勇, 张雪飞, 李丽娟, 戴尔阜, 徐卫华. 我国资源环境承载约束地域分异及类型划分. 中国科学院院刊, 2016, 31(1): 34-43.
- XU Y, ZHANG X F, LI L J, DAI E F, XU W H. Regional differentiation and classification for constraints of national resources and environment carrying. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2016, 31(1): 34-43.
- [18] 潘霞, 高永, 汪季. 基于归一化植被指数的阿拉善盟土地荒漠化反演研究. 土壤通报, 2018, 49(5): 1024-1033.
- PAN X, GAO Y, WANG J. The inversion research of land desertification in Alxa Banner based on normalized difference vegetation index. *Chinese Journal of Soil Science*, 2018, 49(5): 1024-1033.
- [19] 王文舒, 孟和巴雅尔, 段志鸿, 王霞, 刘雪娟, 武志博. 阿拉善盟梭梭肉苁蓉产业发展现状. 内蒙古林业, 2018(8): 27-31.
- WANG W S, Menghebayaer, DUAN Z H, WANG X, LIU X J, WU Z B. Development status of *Cistanche deserticola* industry in Alxa League. *Inner Mongolia Forestry*, 2018(8): 27-31.
- [20] 马玉峰, 李喜仓, 宋进华, 高春香, 赵东, 申彦波. 内蒙古自治区太阳总辐射的气候学计算及其时空分布特征. 气象与环境学报, 2013, 29(6): 102-109.
- MA Y F, LI X C, SONG J H, GAO C X, ZHAO D, SHEN Y B. The climatological calculation of global solar radiation and its

- temporal and spatial distribution in Inner Mongolia Autonomous Region. *Journal of Meteorology and Environment*, 2013, 29(6): 102-109.
- [21] 张凯, 司建华, 王润元, 王小平, 韩海涛, 郭锐. 气候变化对阿拉善荒漠植被的影响研究. *中国沙漠*, 2008(5): 879-885.
ZHANG K, SI J H, WANG R Y, WANG X P, HAN H T, GUO N. Impact of climate change on desert vegetation in Alxa Region. *Journal of Desert Research*, 2008(5): 879-885.
- [22] 阿拉善盟林业局. 阿拉善盟特色林沙产业和精品林果业发展迅猛. *内蒙古林业*, 2017(8): 47.
Aixa League Forestry Bureau. The characteristic desert industry and high-quality fruit industry of Alxa League have developed rapidly. *Inner Mongolia Forestry*, 2017(8): 47.
- [23] RAPPORT D J. What constitutes ecosystem health? *Perspectives in Biology and Medicine*, 2015, 33(1): 120-132.
- [24] XING L, XUE M G, HU M S. Dynamic simulation and assessment of the coupling coordination degree of the economy-resource-environment system: Case of Wuhan City in China. *Journal of Environmental Management*, 2019, 230: 474-487.
- [25] ABDI H, WILLIAMS L J. Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews Computational Statistics*, 2010, 2(4): 433-459.
- [26] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系: 以珠江三角洲城市群为例. *热带地理*, 1999(2): 76-82.
LIAO Z B. Quantitative judgement and classification system for coordinated development of environment and economy: A case study of the city group in the Pearl River Delta. *Tropical Geography*, 1999(2): 76-82.
- [27] 刘小林. 区域人口、资源、环境与经济系统协调发展的定量评价. *统计与决策*, 2007(1): 64-65.
LIU X L. Quantitative evaluation of the coordinated development of regional population, resources, environment and economic system. *Statistics and Decision-making*, 2007(1): 64-65.
- [28] 李佳, 吴军年, 杜哲. 生态脆弱地区资源-环境-经济协调发展程度评价: 以民勤地区为例. *中国沙漠*, 2007(1): 117-122.
LI J, WU J N, DU Z. Evaluation of coordinated development degrees of environment-resource-economy system in ecological fragile area: A case study in Minqin District. *Journal of Desert Research*, 2007(1): 117-122.
- [29] 黄永春, 朱帅, 雷砺颖. 中国资源、经济和环境发展水平与协调度的研究. *经济与管理评论*, 2018, 34(1): 45-54.
HUANG Y C, ZHU S, LEI L Y. A study of the development level and coordination degree of resource economy and environment. *Economics and Management Review*, 2018, 34(1): 45-54.
- [30] 李虹, 王娜, 袁颖超. 京津冀森林资源-经济-环境系统协调发展动态评价. *统计与决策*, 2019, 35(1): 106-109.
LI H, WANG N, YUAN Y C. Dynamic evaluation of the coordinated development of the Beijing-Tianjin-Hebei forest resources-economy-environment system. *Statistics and Decision-making*, 2019, 35(1): 106-109.
- [31] 格日勒, 那仁花, 格日勒图雅. 回眸沙生灌木生态工程建设经验: 阿拉善沙产业开发途径的探索. *内蒙古草业*, 2010, 22(3): 42-44.
Gerilr, Narehhua, Geriletuya. Looking back at the construction experience of sandy shrub eco-engineering: Exploration of the development way of Alxa League desert industry. *Inner Mongolia Prataculture*, 2010, 22(3): 42-44.
- [32] 郝晨, 段娜, 袁彦, 徐军, 高君亮, 刘禹廷. 荒漠植物肉苁蓉经济效益分析. *林业科技通讯*, 2018(10): 73-75.
HAO C, DUAN N, YUAN Y, XU J, GAO J L, LIU Y T. Economic benefit analysis of desert plant *Cistanche deserticola*. *Forest Science and Technology*, 2018(10): 73-75.
- [33] 韩永光, 高君亮, 董雪, 张秋良. 乌兰布和沙区沙产业开发中水资源供需平衡分析. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2010, 31(3): 157-162.
HAN Y G, GAO J L, DONG X, ZHANG Q L. The analysis of supply and demand balance of water resources in sand industry development of Ulan Buh Sandy Area. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2010, 31(3): 157-162.
- [34] 宁宝英, 马建霞, 姜志德. 基于专利视角的中国沙产业技术发展现状及限制因素. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(7): 119-125.
NING B Y, MA J X, JIANG Z D. Patent analysis on deserticulture technologies and its constraint factors in China. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(7): 119-125.
- [35] 常佩静, 杨梅. 2015 年阿拉善盟气候影响分析. *现代农业*, 2016(10): 94-95.
CHANG P J, YANG M. Climate impact analysis of Alxa league in 2015. *Modern Agriculture*, 2016(10): 94-95.

(责任编辑 魏晓燕)