

基于能值理论的北方农牧交错带种植业 可持续性分析

——以准格尔旗为例

孙特生^{1,2}, 李 波²

(1. 西北师范大学社会发展与公共管理学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 北京师范大学资源学院/地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 运用能值理论、方法, 以植被 NPP 为基础, 评价环境资源系统对准格尔旗种植业系统的影响、贡献, 揭示种植业系统的物质基础、运行效率和发展方向。研究表明: (1) 环境资源, 尤其可更新资源是准格尔旗种植业系统生产力的主要驱动因素。优化能值投入结构, 提高环境资源的利用率、转化率, 是发展准格尔旗种植业系统生产力的战略方向。(2) 准格尔旗种植业系统的可持续规模、产量主要取决于环境资源提供的自然资本、生态服务。推广以木本水果、木本粮油为主体的农林复合系统, 推进生态建设步伐, 进而增强环境资源提供自然资本、生态服务的能力, 是维持准格尔旗种植业系统可持续规模的最佳途径。(3) 实施“农牧互促”的农业发展战略, 提高农牧业系统耦合度及其整体生产力, 尤其以种植业支撑畜牧业发展, 提升农产品附加能值, 是准格尔旗种植业系统的重点发展方向。

关键词: 能值理论; 种植业系统; 可持续性; 环境资源; 准格尔旗

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)04-0224-07

Analysis on sustainability of farming system in farming-pastoral ecotone of northern China based on emergy theory

—— A case study in Zhunger County

SUN Te-sheng^{1,2}, LI Bo²

(1. College of Social Development and Public Administration, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, College of Resource Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The theory and methods of emergy were adopted to evaluate the impact and contribution of environmental resources to farming system in Zhunger County based on NPP, so as to reveal the material basis, operating efficiency and development direction of farming system. The study showed: (1) Environmental resources, especially renewable resources were the main driving factors of farming system productivity in Zhunger County. Optimizing the emergy input structure and improving the utilization and transformation efficiency of environmental resources would be the strategic orientation to improve farming system productivity in Zhunger County. (2) The sustainable scale and yield of farming system in Zhunger County depended mainly on natural capital and ecosystem services that were provided by environmental resources. The best way to maintain the sustainable scale of farming system in Zhunger County would be promoting agro-forestry systems including woody fruits and woody grain and oil crops, accelerating the pace of ecological construction, and thus enhancing the capacity of natural capital and ecological services supplied by environmental resources. (3) The key development direction of farming system in Zhunger County could be implementing the strategy of farming and stockbreeding promoting mutually, improving the coupling degree and overall productivity of farming-stockbreeding system,

收稿日期: 2012-12-30

基金项目: 国家自然科学基金(40871135); 西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目(NWNU-LKON-12-33)

作者简介: 孙特生(1975—), 男, 四川内江人, 博士, 副教授, 主要研究方向为生态经济、土地生态系统管理。E-mail: suntesheng@126.com。

通讯作者: 李 波(1965—), 男, 四川资阳人, 博士后, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为资源生态与经济。E-mail: libo@bnu.edu.cn。

particularly supporting the development of animal husbandry by farming, and enhancing the additional emergy value of agricultural products.

Keywords: emergy theory; farming system; sustainability; environmental resource; Zhunger County

种植业系统作为联系自然生态系统与社会经济系统的界面,具有自然、经济和社会属性。种植业系统与自然生态系统最本质的区别就在于物质和能量被大量移出,因而用于维持和修复系统的质能很少,这是造成生态脆弱区环境恶化的根源^[1]。北方农牧交错带种植业系统作为一个耗散结构系统,如果没有一定的能量投入作支撑,很容易造成系统的崩溃^[2],同时农牧交错带第一性生产力水平相当低^[3]。生态脆弱区种植业系统发展状况直接影响到粮食安全、生态安全。对种植业系统的能值结构、功能定量评价是破解农业生态环境问题的关键。目前,运用能值理论分析农业生态系统,其研究内容涵盖能值投入产出状况^[4-12]、运行效率^[13-17]和可持续发展^[12,18-20]等;研究尺度涉及全国范围^[4,21]、西部地区^[18]、省^[13,17]、市^[7,10,22-23]等;研究方法包括构建能值评估指标体系、应用线性回归模型等^[21,24-25]。然而基于植被 NPP,研究环境资源系统对种植业系统的影响、贡献的文献很少。植被 NPP 是在环境因素和植物生理特性共同作用下的净光合生产量,它不仅是表示植被活动的关键变量,也是陆地生态系统中物质与能量运转的基础,除了供给植物本身外,还为所有有机体生命提供能量和物质^[26];还是反映区域植被、气候、土壤等环境资源状况的综合指标。因此,本研究将植被 NPP 作为判定区域环境资源状况的基础参数,进行北方农牧交错带种植业系统的能值投入、产出状况和运行效率分析,可为生态脆弱区种植业系统可持续发展提供理论支持与政策建议。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

准格尔旗位于内蒙古自治区西南部,39°16' ~ 40°20' N 和 110°05' ~ 111°27' E 之间,总面积 7 692 km²。准格尔旗属于温带半干旱大陆性气候,年平均气温 6.2℃ ~ 7.2℃,≥10℃ 积温约 2 900℃ ~ 3 500℃。准格尔旗光能资源丰富,日照充足。历年平均降水量在 379 ~ 420 mm 之间波动,并集中在夏季,6—8 月降雨量约占总降水量的 61%。年平均蒸发量很大。冬春季风力强盛且频繁,年均风速 2 ~ 3 m·s⁻¹,大风日数 10 ~ 30 d。准格尔旗地带性土壤是栗钙土,因受黄土母质影响,还有大面积的黄绵土分布。此外,还广泛分布着风沙土及小面积分布的冲

积土等非地带性土壤。准格尔旗植被类型主要有乔、灌、草、农、沙地植被和低湿地植被等。由于气候变化、历史时期的砍伐及自清末以来的农垦,该旗天然林及草原已所剩无几,被人工植被和天然次生草原植被所代替^[27]。当地农民常年种植谷子、糜子、黍、薯类、大豆、小麦、玉米、高粱等粮食作物和花生、胡麻、油菜等油料作物以及甜菜、蔬菜、瓜类等其他农作物。由于该区属于季风气候影响的尾闾区,水土流失和土地沙化非常严重,生态环境脆弱,风、雪、旱、冻等自然灾害频繁,生产方式极其不稳定,时农时牧,农业生产长期在低水平上波动。

1.2 数据来源及预处理

本论文使用的农牧业生产数据从准格尔旗、鄂尔多斯市以及内蒙古自治区的历年《统计年鉴》中获得,并进行单位换算、加和等处理。

计算植被 NPP 时所需气象数据来源于准格尔旗气象局。

1.3 植被 NPP 计算方法

植被 NPP 是度量植物生产能力的重要指标之一,被定义为单位面积、单位时间内,绿色植物在太阳能光合作用下的生物物质年生产总量扣除自身因呼吸作用的消耗而剩下的有机物质。NPP 利用效率可以表征一个地区的土地生产力现状与潜力,也可以反映一个地区科技发展水平。对于干旱、半干旱地区,国内应用较多的 NPP 计量模型是周广胜根据水热平衡联系方程及植物的生理生态特点建立的自然植被净第一性生产力模型^[28]:

$$NPP = RDI^2 \cdot \frac{r \cdot (1 + RDI + RDI^2)}{(1 + RDI)(1 + RDI^2)} \cdot \exp(-\sqrt{9.87 + 6.25RDI}) \quad (1)$$

式中, RDI 为辐射干燥度; r 为年降水量(mm); NPP 为自然植被净初级生产力($t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

辐射干燥度采用如下经验公式计算:

$$RDI = (0.629 + 0.237PER - 0.00313PER^2)^2 \quad (2)$$

其中 PER 是可能蒸散率,它与生物温度及降水间存在如下关系式:

$$PER = PET/r = BT \times 58.93/r \quad (3)$$

式中, PET 是年可能蒸散量(mm); BT 是年平均生物温度(℃)。

$$BT = \sum t/365 = \sum T/12 \quad (4)$$

式中, t 为 30℃ > 温度 > 0℃ 的日均温; T 为 30℃ >

温度 $> 0^{\circ}\text{C}$ 的月均温。

利用研究区气象数据,运用上述公式逐步计算出 1991—2010 年各年度准格尔旗的植被 NPP 值。

1.4 能值分析方法

能值分析是美国著名生态学家 H. T. Odum 在能量系统分析基础上创立的新理论、新方法,不仅克服了传统能量分析中不同类别不同性质的能量、物质难于比较和加减的问题,而且开创了从全新角度定量分析资源环境在农业生态经济系统中作用的新领域,并建立了一套科学的理论体系,为准确评价自然环境资源价值提供了科学依据^[5,29-30]。

1.4.1 能值投入指标 能值投入指标分析能定量评价各项能值投入对农业生态系统的贡献度。能值投入包括可更新的环境资源(如太阳辐射能、雨水势能、雨水化学能、地球循环能、灌溉能、风能等)的能值投入、不可更新的环境资源(主要是表土层损失)的能值投入、不可更新的工业辅助能值投入(如氮肥、磷肥、钾肥、复合肥、农药农用机械和电能等)以及可更新的有机质能(包括有机肥能值、劳动力能值和种子能值)。前两者称为环境能值,后两者称为购买能值。上述指标的能值投入计算参考文献^{[31]-[32]}。

1.4.2 能值产出指标 由于本文所研究的准格尔

旗农业生态系统主要考虑种植业系统,故能值产出指标主要涉及该地区种植的各种农作物,它们的能量折算系数^[33]和能值转换率^[34]见表 1。参照表 1 计算出农产品的能值产出状况。

表 1 农产品的能量折算系数和能值转换率

Table 1 The energy and emergy conversion ratio of agricultural products

农产品 Products	能量折算系数 Energy conversion ratio ($10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$)	能值转换率 Emergy conversion ratio ($10^4 \text{ sej} \cdot \text{J}^{-1}$)
小麦 Wheat/ 10^3 kg	16.3	6.8
薯类 Potato/ 10^3 kg	4.0	8.3
玉米 Maize/ 10^3 kg	16.3	2.7
糜黍 Broomcorn/ 10^3 kg	15.1	8.3
谷物 Millet/ 10^3 kg	15.1	8.3
荞麦 Buckwheat/ 10^3 kg	16.3	6.8
豆类 Beans/ 10^3 kg	20.9	8.3
油料 Oil/ 10^3 kg	26.3	8.6

1.4.3 能值动态指标 能值分析方法中有一系列评价指标,本文选取以下指标对准格尔旗种植业系统生产力进行评价:能值自给率、能值投资率、净能值产出率、环境负载率、能值使用强度、可持续发展指数等(见表 2)。

表 2 准格尔旗种植业系统能值指标(1991—2010)

Table 2 The emergy indicators of farming system in Zhunger County (1991—2010)

指标 Indicator	表达式 Formula	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
能值自给率 ESR/%	$ESR = I/T$	69.48	68.90	59.38	69.36	61.21	71.98	58.46	69.22	58.25	58.00
能值投资率 EIR/%	$EIR = U/I$	43.93	45.14	68.41	44.19	63.38	38.93	71.06	44.46	71.68	72.40
净能值产出率 EYR	$EYR = Y/U$	0.07	0.14	0.08	0.12	0.08	0.15	0.12	0.16	0.04	0.05
环境负载率 ELR	$ELR = (U + N)/R$	1.08	1.11	0.89	1.06	0.85	1.38	0.94	0.99	0.82	0.81
能值使用强度 ED ($10^{17} \text{ sej} \cdot \text{km}^{-2}$)	$ED = T/S$	2.23	2.45	1.78	2.42	2.03	2.89	1.85	2.44	1.80	1.68
可持续发展指数 ESI	$ESI = EYR/ELR$	0.07	0.13	0.09	0.11	0.10	0.11	0.12	0.16	0.05	0.06
指标 Indicator	表达式 Formula	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
能值自给率 ESR/%	$ESR = I/T$	63.33	65.80	75.79	75.65	67.45	69.61	71.38	76.79	72.08	79.65
能值投资率 EIR/%	$EIR = U/I$	57.89	51.98	31.95	32.19	48.25	43.66	40.10	30.22	38.74	25.56
净能值产出率 EYR	$EYR = Y/U$	0.02	0.09	0.16	0.19	0.16	0.12	0.16	0.17	0.20	0.20
环境负载率 ELR	$ELR = (U + N)/R$	0.96	0.98	1.03	0.97	0.77	0.81	0.85	0.96	0.67	0.85
能值使用强度 ED ($10^{17} \text{ sej} \cdot \text{km}^{-2}$)	$ED = T/S$	2.02	2.12	2.52	2.37	1.79	1.90	2.01	2.40	1.70	2.22
可持续发展指数 ESI	$ESI = EYR/ELR$	0.02	0.10	0.16	0.20	0.20	0.15	0.18	0.17	0.29	0.23

2 结果与分析

2.1 基于植被 NPP 的种植业系统能值投入分析

植被 NPP 是陆地生态系统对碳的蓄积能力的

客观反映,是环境系统生产力的重要表征,也是环境资源状况的指示器。种植业系统作为陆地生态系统的重要组成部分,环境资源的能值投入量及其结构直接影响其生产力水平。因而,基于植被 NPP 评估

环境资源(尤其是可更新资源)对农业生产的贡献度,可为生态脆弱区农业可持续发展提供决策参考。

1991—2010 年,它们的动态变化见图 1。

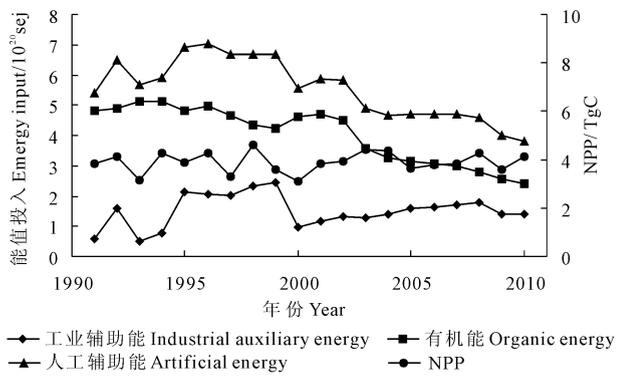
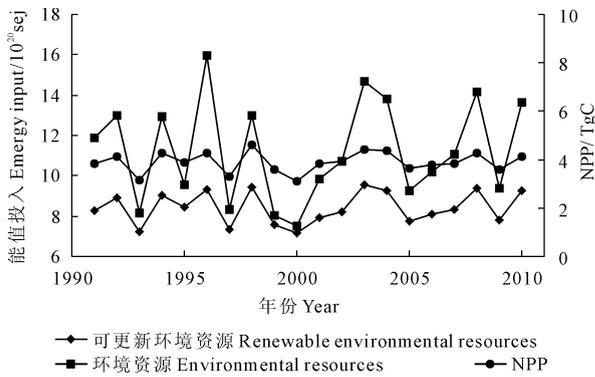


图 1 准格尔旗种植业系统的能值投入与植被 NPP 的动态变化

Fig.1 The dynamic changes of emery input and NPP of farming system in Zhunger County

图 1 显示,1991—2010 年准格尔旗种植业系统的环境资源、可更新资源的能值投入与植被 NPP 的动态变化非常一致,它们的相关系数依次为 0.897、0.968,在 0.01 水平上显著相关,并且环境资源的能值投入量远多于人工辅助能;而工业辅助能、有机能和人工辅助能投入与植被 NPP 均不相关。这说明,准格尔旗种植业系统的发展建立在大量消耗环境资源的基础上,或者说环境资源,尤其可更新资源为准格尔旗种植业系统提供物质基础、能量来源。

进一步说明准格尔旗种植业系统生产力深受当地环境资源,尤其年降水量的影响。

2.2 基于植被 NPP 的种植业系统能值产出分析

准格尔旗种植业系统是北方农牧交错带典型的人工生态系统,农产品的能值产出可反映系统能量流动状况和生产力水平,而植被 NPP 是反映植被、气候、土壤等环境资源状况的综合指标。种植业系统的能值产出与植被 NPP、年降水量和年平均气温的相关性,同样能反映系统生产力水平受当地环境资源状况的影响程度。它们的动态变化见图 2。图 2 显示,种植业系统能值产出与植被 NPP、年降水量的波动状况较为一致。分析发现,相关系数分别为 0.631、0.679,在 0.01 水平上显著相关;而系统能值产出与年平均气温不相关。这说明,准格尔旗种植业系统的能值产出受到环境资源状况,尤其是年降水量的深刻影响。

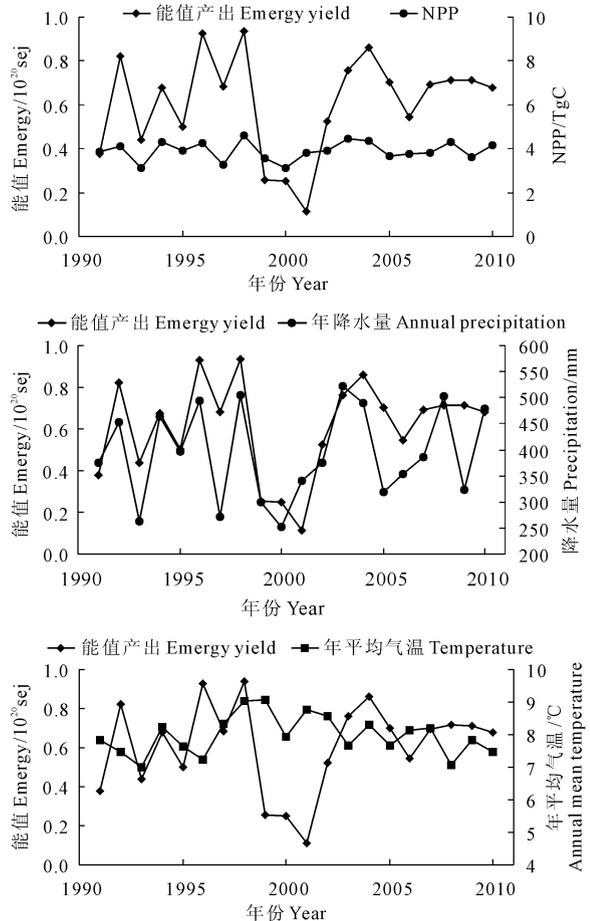


图 2 准格尔旗种植业系统的能值产出与植被 NPP、年降水量、年平均气温的动态变化

Fig.2 The relationship between emery yield of farming system and NPP, annual precipitation and annual mean temperature in Zhunger County

运用 SPSS13.0 计算主要农作物的能值产出与植被 NPP 的相关性,结果显示玉米、油料与植被 NPP 的相关性为 0.565、0.620,在 0.01 水平上显著相关;糜黍、荞麦与植被 NPP 的相关性为 0.467、0.534,在 0.05 水平上显著相关。同样地,分析发现玉米、荞麦、油料等三种农作物的能值产出与年降水量在 0.01 水平上显著相关;薯类、糜黍这两种农作物的能值产出与年降水量在 0.05 水平上相关性显著。这

此外,统计发现农作物的能值产出以玉米、糜黍

和油料作物为主,且年际波动明显。这是因为在准格尔旗,玉米、糜黍和油料等作物的播种面积较大,总产量较高。并且玉米的能值产出所占比重呈明显上升趋势,糜黍的能值产出所占比重则有所下降。但自 1996 年以来两者所占百分比之和超过 60% (2002 年除外,但也为 58.23%)。说明玉米、糜黍是

当地对农业生产贡献率最大的两种农作物。

2.3 基于植被 NPP 的种植业系统能值指标分析

为了更好地理解植被 NPP 对准格尔旗种植业系统的能值投入、产出及其动态的影响,运用 SPSS13.0 软件计算各项能值指标值与植被 NPP 之间的相关系数及其显著性水平(见表 3)。

表 3 能值指标与植被 NPP 的相关性

Table 3 The correlation between emergy indicators and NPP

指标 Indicator	能值自给率 ESR	能值投资率 EIR	净能值产出率 EYR	环境负载率 ELR	能值使用强度 ED	可持续发展指数 ESI
植被 NPP Vegetation NPP	0.74**	-0.756**	0.506*	0.528*	0.863**	—

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关; ** 表示在 0.01 水平上显著相关; — 表示相关性不显著。

Note: * significance at $P < 0.05$; ** significance at $P < 0.01$; — no significant relationship.

由表 3 可知,能值投资率与植被 NPP 呈现显著负相关,说明在植被 NPP 值大的年份,准格尔旗种植业系统可利用的环境资源的能值投入增加,需要的经济能值投入相应减少,反之亦然。能值自给率、净能值产出率、环境负载率和能值使用强度与植被 NPP 呈现不同程度的正相关,说明在植被 NPP 值大的年份,准格尔旗种植业系统可利用的无偿环境资源的能值投入增加;系统的生产效率提高,经济能值的投资回报率也升高;由于准格尔旗种植业系统属于旱作农业系统,其环境负载率一直很高,在植被 NPP 值大的年份,农民会加大对当地环境资源的开发利用强度,进一步增加环境负载率;单位土地面积可利用的环境资源的能值量也相应增加。

为深入理解影响准格尔旗种植业系统生产力的主要环境资源因子,运用 SPSS13.0 软件分析能值指标与年降水量的相关性,结果发现能值自给率、能值投资率、净能值产出率、环境负载率、能值使用强度与年降水量的相关性十分显著,说明在可更新资源中,年降水量对种植业系统生产力有显著影响。虽然可持续发展指数与年降水量的相关性不显著,但 1999—2001 年,年降水量异常少,可持续发展指数急剧下降,说明在有些年份,年降水量对准格尔旗种植业系统生产力有决定性影响。

3 讨论

种植业系统是耗散结构系统,需要不断从外界吸收能量,从而维持低熵状态,维护系统健康。种植业系统又是典型的人类补加辅助能的太阳供能系统,充分发挥人工辅助能的作用,削弱系统生产力对环境资源的过度依赖,实现自然再生产与经济再生产相结合的农业目的^[34]。一方面,辅助能通过改善

种植业系统中的一些限制因子,提高系统生产力。另一方面,现代农业过于注重工业辅助能的投入,对环境资源的价值认识不足,逐渐以人为控制方式取代自然环境亚系统的调控,这是现代农业产生弊病的根源。因此,合理认识和评价环境资源的贡献,是农业可持续发展战略研究的重要课题之一^[35]。从能值分析的结果看,准格尔旗种植业系统对当地环境资源有较强的依赖性,可更新资源仍是准格尔旗种植业系统持续发展最基本的物质基础、能量来源,农业生产仍旧没有摆脱“靠天吃饭”的局面。因此,优化能值投入结构,提高环境资源的利用率、转化率,是发展准格尔旗种植业系统生产力的战略方向。

环境资源作为最基本的资本——服务资源,表示自然生态系统提供产品和服务的能力。而植被 NPP 是最主要的存量——流量资源,表示自然生态系统的理论生产力水平,是种植业系统物质循环、能量流动的基础,发挥支持性服务功能。种植业生产活动需要植被 NPP 这一自然资本存量提供环境资源流量,并且种植业系统的可持续规模是由特定年份资本—服务资源的数量、质量和结构确定的。就种植业系统的最适宜规模而言,要受规模的经济效率、技术效率和生态效率影响。准格尔旗地处我国北方半干旱区,植被、气候、土壤等环境资源提供的自然资本、生态服务非常有限。尤其是可更新资源的更新速率缓慢,很大程度上决定了种植业生态经济系统的最大持续产出量,也为可更新资源在生态经济系统中组合配置提出了量的规定性^[36]。事实上,对于每一种可更新资源的存量,限制开采速度的是资源的稀缺,而不是开采设备^[37]。因此,推广以木本水果(如山杏、山桃、海红果等)、木本粮油(如文冠果、沙棘等)为主体的农林复合系统,推进生态建

设步伐,以增强环境资源提供自然资本、生态服务的能力,是维持准格尔旗种植业系统可持续规模的最

佳途径。

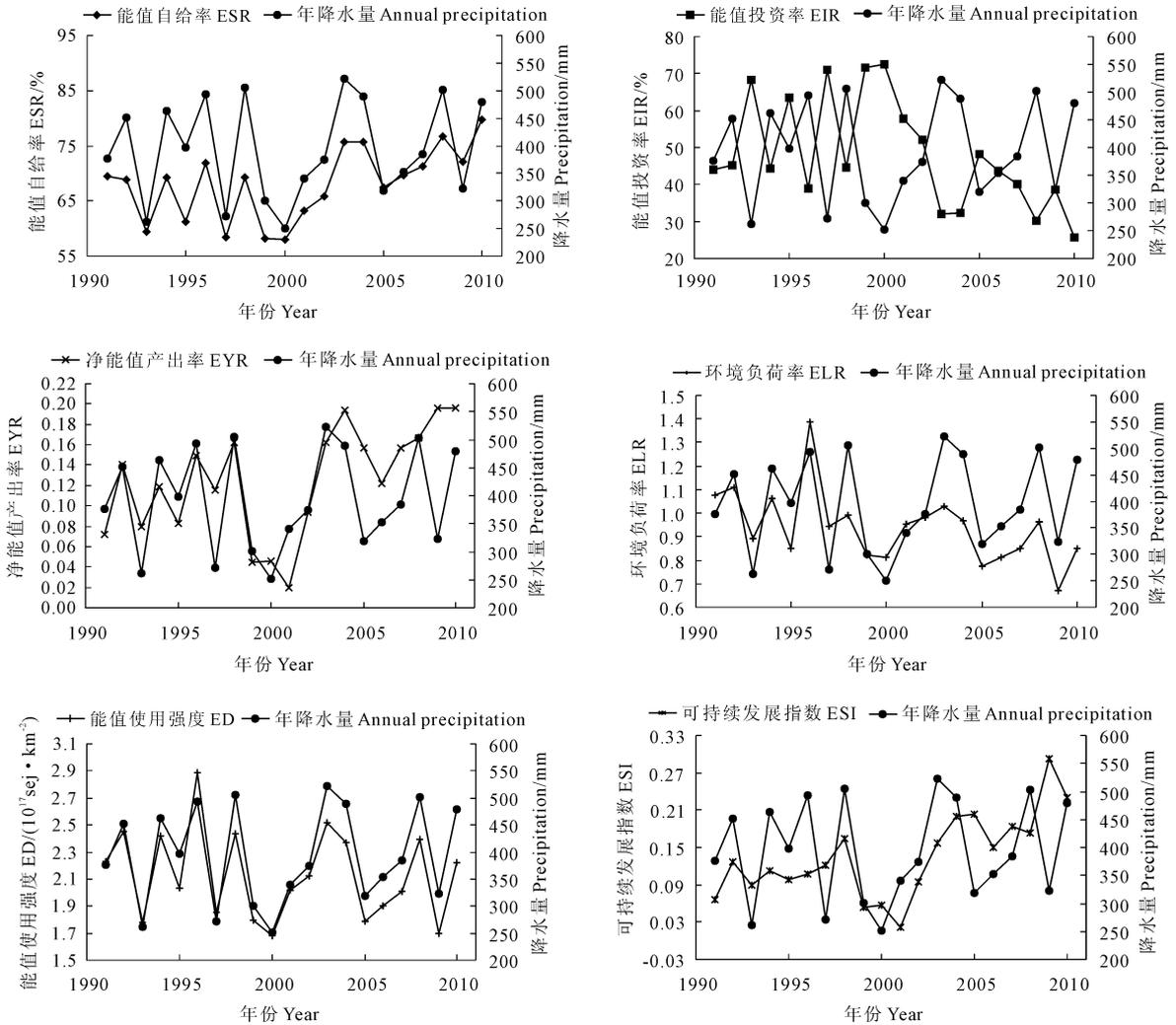


图3 能值指标与年降水量的动态变化

Fig.3 The dynamics of energy indicators and annual precipitation

在准格尔旗,滥垦、滥伐和过牧现象在过去很长一段时期内较为普遍,造成“生态平衡失调”、环境资源及其产出能值大量损失。长期以来,畜牧业主要依靠天然草地生产畜产品,吸纳牲畜废物,很少与种植业发生联系,加上放养、过牧,导致草地生态系统生产力急剧下降。以种植业支撑畜牧业发展,可以在农田种植牧草,农作物秸秆和部分农产品直接作为饲料,一方面提升农产品的附加能值,增加农田的能值产出;另一方面,畜牧业发展也不过度利用天然草地,保护草地的生态环境^[38]。因此,为了减少环境资源的能值损失,提升农产品附加能值,可实施“农牧互促”的农业发展战略,将低质能的秸秆、牧草和初级农产品转变为高质能的牛、羊肉及其毛类,从而提高农牧业系统耦合度及其整体生产力。此外,加强绿色农产品种植加工基地建设,延伸农产品链

条,增强终端产品的市场竞争力和出口创汇能力。

4 结论

运用能值理论、方法,以植被 NPP 为基础,对准格尔旗种植业系统的能值投入、产出及指标进行定量评估,评价环境资源系统对种植业系统的影响、贡献,揭示种植业系统的物质基础、运行效率和发展方向。主要结论如下:

1) 环境资源,尤其可更新资源是准格尔旗种植业系统生产力的主要驱动因素。因此,优化能值投入结构,提高环境资源的利用率、转化率,是发展准格尔旗种植业系统生产力的战略方向。

2) 准格尔旗种植业系统的可持续规模、产量主要取决于环境资源提供的自然资本、生态服务。推广以木本水果、木本粮油为主体的农林复合系统,推

进生态建设步伐,进而增强环境资源提供自然资本、生态服务的能力,是维持准格尔旗种植业系统可持续规模的最佳途径。

3) 实施“农牧互促”的农业发展战略,提高农牧业系统耦合度及其整体生产力,尤其以种植业支撑畜牧业发展,提升农产品附加能值,是准格尔旗种植业系统的重点发展方向。

参 考 文 献:

- [1] Odum E P. Basic Ecology[M]. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983:487-498.
- [2] 宋豫秦,张力小,曹淑艳.耗散结构理论在我国北方农牧交错带人地系统分析中的应用[J].中国沙漠(增刊),2000,20(6):15-21.
- [3] 程 序.西北黄土高原农业与生态恶化及恢复重建的关系[J].中国农业科学,2001,34(1):1-4.
- [4] 孙 凡,杨 松,左首军,等.基于能值理论的中国农业生态经济系统投入产出研究[J].西南大学学报(自然科学版),2010,32(10):135-141.
- [5] 陈东景,徐中民.干旱区农业生态经济系统的能值分析——以黑河流域中游张掖地区为例[J].冰川冻土,2002,24(4):374-379.
- [6] 董孝斌,高旺盛.农牧交错带农业生态系统生产力的能值分析——以武川县为例[J].干旱区资源与环境,2005,19(7):33-37.
- [7] 付 晓,吴 刚,尚文艳,等.辽宁省朝阳市农业生态经济系统能值分析[J].生态学杂志,2005,24(8):902-906.
- [8] 卢 远,韦燕飞,邓兴礼,等.岩溶山区农业生态系统的能值动态分析[J].水土保持学报,2006,20(4):166-169.
- [9] 马亚兰,刘普幸.河西走廊金塔绿洲农业生态系统资源环境效应综合评价[J].中国沙漠,2011,31(3):709-715.
- [10] 李俊莉,曹明明.生态脆弱区资源型城市农业生态系统的能值分析——以榆林市为例[J].中国农业科学,2012,45(12):2552-2560.
- [11] 朱玉林,李明杰,侯茂章,等.环洞庭湖区农业生态系统能值演变趋势的研究[J].中南林业科技大学学报,2012,32(7):133-140.
- [12] 林长伟.甘肃省景泰县农业生态经济系统能值分析[D].兰州:兰州大学,2009.
- [13] 朱玉林,李明杰,侯茂章,等.湖南农业生态系统能值结构功能效率分析[J].中国农学通报,2012,28(20):270-277.
- [14] 卢 远,华 璐,王 娟.吉林西部农业生态系统能值动态分析[J].干旱区资源与环境,2005,19(7):12-17.
- [15] 王明全,王金达,刘景双,等.东北地区农业生态系统的能值分析[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):183-188.
- [16] 张颖聪,杜受祐.四川省农业生态系统能值评价及动态计量分析[J].应用生态学报,2012,23(3):827-834.
- [17] 王闰平.基于能值的山西省农业生态系统动态分析[D].长沙:湖南农业大学,2009.
- [18] 胡小东,王龙昌,薛兰兰,等.基于能值分析方法的中国西部地区农业生态系统可持续发展研究[J].西南大学学报(自然科学版),2010,32(2):7-12.
- [19] 周子英,段建南,杨 君,等.长株潭城市群农业生态系统的能值分析及可持续发展评价[J].水土保持通报,2012,32(3):290-295.
- [20] 魏奋子,岳 敏.基于能值的青藏高原边缘区域农业生态系统可持续发展分析——以四川省阿坝藏族羌族自治州为例[J].中国生态农业学报,2009,17(3):580-587.
- [21] 蓝盛芳,Odum H T,刘新茂.中国农业生态的能流能值分析[J].生态科学,1998,17(1):32-39.
- [22] 易定宏.基于能值理论的农业生态系统分析——以湖南省怀化市为例[D].长沙:湖南农业大学,2010.
- [23] 刘富刚.基于能值分析的德州市农业生态系统分析[J].水土保持通报,2010,30(4):235-241.
- [24] 陆宏芳,蓝盛芳,彭少麟.系统可持续发展的能值评价指标的新拓展[J].环境科学,2003,24(3):150-154.
- [25] 高红梅,曹志宏,郝晋珉.天津市农业生态经济系统能值分析[J].生态经济,2010,(10):65-69.
- [26] 林广发.景观尺度植被净初级生产力遥感估算方法研究[D].广州:中山大学,2008.
- [27] 金争平,史培军,候福昌,等.黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式[M].北京:海洋出版社,1992:18-18.
- [28] 周广胜,张新时.自然植被净第一性生产力模型初探[J].植物生态学报,1995,19(3):193-200.
- [29] 王明全,王金达,刘景双.不同资源环境梯度下吉林西部生态经济系统能值分析[J].自然资源学报,2007,22(4):507-515.
- [30] Lan S F, Odum H T, Liu X M. Energy flow and emergy analysis of the agro-ecosystems of China[J]. Ecologic Science, 1998, 17(1): 32-39.
- [31] 刘玉振.农业生态系统能值分析与模式构建——以开封市为例[D].郑州:河南大学,2007.
- [32] 朱玉林.基于能值的湖南农业生态系统可持续发展研究[D].长沙:中南林业科技大学,2010.
- [33] 陈 阜.农业生态学[M].北京:中国农业大学出版社,2002.
- [34] 曹林奎.农业生态学原理[M].上海:上海交通大学出版社,2011.
- [35] 蓝盛芳,钦 佩,陆宏芳.生态经济系统能值分析[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [36] 严茂超.生态经济学新论——理论、方法与应用[M].北京:中国致公出版社,2001.
- [37] 徐忠民.生态经济学原理与应用[M].郑州:黄河水利出版社,2007.
- [38] 秦红灵,高旺盛,何文清.北方农牧交错带半干旱区种植业系统能值分析——以武川县为例[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):157-161.