

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

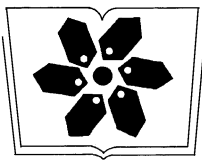
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性	李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 (I)
第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述	李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)
应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述	赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)
微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响	强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)
黑河中游春小麦需水量空间分布	王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)
祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算	田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)
甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性	常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)
灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响	张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)
玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法	杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)
西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例	杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)
黑河河岸植被与环境因子间的相互作用	许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)
干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响	蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)
树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较	方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)
胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应	王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)
柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量	张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)
玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征	涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)
摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响	宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)
燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选	彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)
光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响	赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)
水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响	杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)
猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用	尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)
不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响	王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)
不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化	卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)
脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响	毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)
过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变	王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)
基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价	岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)
毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系	胡兵辉, 廖允成 (2559)
民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析	岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)
青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值	张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)
基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析	许宝泉, 施为群 (2585)
专论与综述	
全球变化下植物物候研究的关键问题	莫 非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)
区域气候变化统计降尺度研究进展	朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)
干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展	李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)
山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展	张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)
旱地小麦理想株型研究进展	李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)
小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展	张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com

毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系

胡兵辉^{1,2}, 廖允成^{1,*}

(1. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西南林业大学 环境科学与工程系, 昆明 650224)

摘要: 针对毛乌素沙地脆弱农业生态系统生产力实际, 根据复合生态系统耦合理论, 借助能值理论及分析方法, 选择毛乌素沙地偏农区的榆阳区 and 偏牧区的乌审旗为比较研究对象, 对两地近 27a 的农牧耦合系统初级生产力、次级生产力及系统耦合状况进行了对比分析, 探讨性提出了区域农牧系统耦合程度的演变规律。结果表明, 榆阳区是偏农型的农牧耦合产业发展模式, 乌审旗是偏牧型的农牧耦合产业发展模式; 榆阳区有以耗粮型生猪、禽类生产为主的势头, 乌审旗有以节粮型草食动物生产为主的势头; 榆阳区和乌审旗的初级生产力、次级生产力及 A(有效能值利用率)、B(单位低质能产品转化成高质能产品率)、SCD(系统耦合度)值均沿时间序列增大, 且 SCD 值有呈三阶段型增长的规律性。依据研究结果, 最后提出了毛乌素沙地农牧生态系统耦合发展的途径, 以期能为沙地农牧生态系统稳健发展提供可靠的理论支撑与政策导向。

关键词: 农牧生态系统; 耦合关系; 能值分析; 毛乌素沙地

The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland

HU Binghui^{1,2}, LIAO Yuncheng^{1,*}

1 College of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

2 Department of Environment Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

Abstract: Aiming at real productivity of frail farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland, basing on coupling theory of complex ecosystem, Uxin banner where grazing is dominant and Yuyang district where farming is the main character were selected as research object by means of using emergy theory and analytic methods, it analyses the primary productivity, secondary productivity and the coupling status of the farming and grazing system in those two areas for 27 years. And it comes up with a possible evolvement regulation of the extent of agro-ecosystem coupling. The results show that the industrial development model of Yuyang district is farming-dominant, but Uxin banner is the grazing-dominant; Yuyang district has the tendency of pig, poultry production, but Uxin banner has the tendency of herbivorous animal production; the primary productivity, secondary productivity, A, B and SCD in those two areas are all increasing, and the SCD has the increase in the shape of “three-stage” in 27 years. In conclusion, this paper brings forward the developmental methods of farming and grazing ecosystems coupling in Mu Us sandland, it is expected to provide credible theory supports and direction to healthy development of the farming and grazing ecosystems.

Key Words: farming and grazing ecosystems; coupling relationship; emergy analysis; Mu Us sandland

1 问题的提出

系统耦合是一个源于物理学的名词, 现已被广泛应用于生命、地球科学等领域并成为研究热点和创新点。任继周先生是我国最早把系统耦合思想引入农业生产范畴的发起人^[1]。景观异质性或空间异质性为不同生

基金项目: 高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目 (706054)

收稿日期: 2010-03-23; 修订日期: 2011-02-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yunchengliao@163.com

态系统的存在、系统内自由能的积累以及生态系统非平衡态延伸、系统间能量交换与物质循环创造了条件^[2]。而生态系统的延伸,可使不同生态系统实现结构与功能的结合,产生新的结构-功能体,即发生系统耦合,形成耦合系统。刘爱民等认为农牧耦合存在两种基本类型,一是特定地域农牧生态系统中农牧业生产之间的内部耦合;二是不同地域农牧生态系统之间的农牧空间耦合^[3]。农牧耦合的实质是通过农牧之间能量、物质、信息、技术(负熵流)交互式输入输出而导致农牧耦合系统效益的变化。自然条件下的耦合现象普遍存在,但并不一定是理想的耦合方向,故自然条件下或粗放经营条件下形成的耦合系统生产力水平低下且不稳定。这可以通过人为干扰的形式、强度、频率、持续时间等的调整,达到相对优化的程度,以最大限度地提高耦合生态系统生产力。然而目前较多的研究集中在系统耦合模式的建立和耦合过程的分析,对系统耦合结果定量化的研究较少,特别是针对生态环境脆弱地区的耦合系统研究更少^[4]。

位于我国北方农牧交错带的毛乌素沙地农牧生态系统,是我国重要的生态屏障区,也是农业与畜牧业交错、耦合发展的典型区域,生态环境脆弱^[5-6],因此该区成为学术界研究和讨论的热点区域,但关于毛乌素沙地农牧生态系统耦合研究的报道几乎没有。本研究选择毛乌素沙地偏农区的榆阳区和偏牧区的乌审旗为研究对象,探讨这两种偏重不同产业模式的农牧耦合系统的初级生产力、次级生产力及耦合度的发展状况和演变规律,以期能为农牧生态系统稳健发展提供科学的理论支撑与政策导向。

2 研究区域概况

榆阳区(108°58′—110°24′E,37°49′—38°58′N)地处陕西省境内的毛乌素沙漠向陕北黄土高原丘陵沟壑区的过渡地带,即毛乌素沙地的东南部,包括一个区、10个镇和18个乡,东西宽128km,南北长124km,土地面积为7053km²^[7-8]。境内地形地貌大致以长城为界,西北部为沙漠草滩区地貌,属毛乌素沙漠东南缘地带,地势开阔平坦,沙丘、草滩交错分布,约占总面积的65.1%;东南部属黄土高原丘陵沟壑区,梁峁起伏,沟壑纵横,约占总面积的34.9%;榆溪河穿境内中部贯南北,形成较宽的中南部河川区地貌。全境地势东北高,中部、南部低,最高海拔1413m(位于麻黄梁乡),最低海拔870m(位于镇川镇)^[9]。属中温带半干旱大陆性季风气候;区内降水主要集中在6—9月份,且由南向北递减,年均降水量为398mm,最大为693mm,最小为159mm;年均蒸发量为1891mm;年均气温8.3℃,最高气温38.6℃,最低气温-32.7℃;春季最大风速为4.1m/s,年大风日数为11.5d^[11]。生产性土地利用类型主要有林地、牧草地、耕地、园地等。

乌审旗(37°38′54″—39°23′50″N,108°17′36″—109°40′22″E)位于鄂尔多斯高原西南部,地处内蒙古高原向黄土高原过渡的低洼地带,即毛乌素沙地的中北部,是内蒙古自治区重要的畜牧业生产基地。东邻伊金霍洛旗,南连陕西省榆阳、神木、横山、靖边等县区,西连鄂托克前旗,北接鄂托克旗和杭锦旗。总面积1.1645万km²,旗境南北长194km,东西宽104km,平均海拔1300m,整体地势由西北向东南平缓下降^[10-11]。温带极端大陆性季风气候,受极地大陆冷气团控制的时间较长,受海洋热带暖气团影响时间较短,降水少,干旱多风,蒸发强烈,日照充足^[12]。年降水量350—400mm(南部略少于北部),年蒸发量约2592mm,年平均气温6—8℃,≥10℃积温2800—3000℃,年平均风速3.4m/s,全年日照时数2800—3000h。冬春季降雪稀少,夏秋季雨水集中,年际和年内变化很大,多西北风,风沙频繁,属于半干旱地区。乌审旗的土地资源比较丰富,虽然土地沙化的程度较高,但草地、林地、耕地的面积也较大,其中草地面积占总土地面积的一半以上,尤以天然草场比重最大。

3 数据来源与研究方法

3.1 数据来源

研究数据主要来源于陕西省榆林市榆阳区统计局、农业局、畜牧局、草原监理站及内蒙古自治区鄂尔多斯市乌审旗统计局、农业局、畜牧局、草原监理站。

3.2 研究方法

能值分析理论与方法是美国著名生态学家、系统能量分析先驱 Odum H T 教授创立的,能值与能量不同,是一新的科学概念和度量单位。通常以太阳能值衡量某一能量或物质的能值。任何能量包含太阳能之量,即

为该能量的能值,单位为太阳能焦耳(Solar emjoules,缩写为 sej)^[13-14]。某种资源、产品或劳务所含的太阳能值是其形成过程直接或间接应用的太阳能总和。此能值观念,以同一种能量类别单位量化并比较一系统中流动或贮存的不同类别的能量及其在该系统中的贡献^[15]。本研究应用的能量折算标准及能值转换率指标(单位 sej/J 或 sej/g)参考 Odum H T、陈阜、董孝斌、严茂超等的研究成果^[4,16-18]。

董孝斌等人根据能值分析的理论方法^[4],探讨性提出农牧系统耦合度的概念和计算模型。其定义为:在特定区域的生态系统内循环条件下,系统耦合度(SCD)为农牧系统内的有效能值利用率(A)和单位低质能产品转化成高质能产品率(B)的乘积,公式为:

$$SCD = A \times B = \frac{\text{畜产品总能值}}{\text{粮食产出能值} \times \text{利用系数} + \text{牧草能值和秸秆能值}} \times \frac{\text{高质能产品能值}}{\text{低质能产品能值}}$$

并取粮食能值的畜牧业利用系数为 15%。高质能产品能值为草食动物牛、羊的肉和毛类的能值,低质能产品能值为秸秆和牧草的能值。式中 A 部分反映了种植业与畜牧业子系统之间的总有效能值的利用率,B 部分反映了畜牧业内部的品种结构合理性。理论上,在草畜基本平衡的范围内,此值越大,说明农牧系统之间的耦合程度相对越好。需要说明的是,虽然该计算模型还不是很成熟,但在一定程度上完全可以反应系统的状况,具有其实用性。

4 结果与分析

4.1 毛乌素沙地农牧生态系统生产力的对比演变

(1) 初级生产的能值动态

由表 1 和图 1 可以看出,榆阳区与乌审旗的总初级生产力均在波动中逐渐增加,并有明显的三阶段型增长特点,即前期增长平缓,中期(20 世纪 90 年代)加快,后期又平缓。在近 27a 的生产力演变过程中,榆阳区牧草和粮食能值产出占总初级能值产出的 66%—90%,平均为 76%,是初级生产力的主要组成部分;秸秆和人工草是增加幅度最大的生产力组成,其占初级能值产出比率的幅度在 10%—38%之间,增长量几乎是 1980 年的 4 倍。而在乌审旗,牧草始终是初级生产力的最主要部分,其占初级能值产出比率的幅度在 76%—94%之间,平均达 83%,但牧草产量有减少趋势,同样秸秆和人工草是增加幅度最大的生产力组成,其占初级能值产出比率的幅度在 1%—11%之间,增幅达 11 倍,增长势头明显。蔬菜和水果生产在榆阳区与乌审旗对初级生产力的贡献均为增加,产出比率分别从很小增加到 2% 和 1% 左右;榆阳区相对粮食产出较大,其粮食的产

表 1 近 27a 榆阳区与乌审旗初级生产能值产出状况/(sej)

Table 1 Primary emergy production status of Yuyang district and Uxin banner in near 27 years

区域 Region	年份 Year	能值总产出 Total emergy	粮食 Food	油料 Oil	水果 Fruit	蔬菜 Vegetable	秸秆 Straw	人工草 M-grass	天然草 N-grass
榆阳区	1980	4.57×10 ²⁰	8.68×10 ¹⁹	2.61×10 ¹⁹	2.26×10 ¹⁷	1.35×10 ¹⁸	2.04×10 ¹⁹	2.38×10 ¹⁹	2.99×10 ²⁰
	1985	4.73×10 ²⁰	9.64×10 ¹⁹	4.96×10 ¹⁹	6.84×10 ¹⁷	1.45×10 ¹⁸	1.60×10 ¹⁹	3.85×10 ¹⁹	2.71×10 ²⁰
	1990	4.60×10 ²⁰	1.16×10 ²⁰	2.88×10 ¹⁹	7.82×10 ¹⁷	1.68×10 ¹⁸	3.38×10 ¹⁹	5.92×10 ¹⁹	2.20×10 ²⁰
	1995	6.08×10 ²⁰	1.34×10 ²⁰	1.36×10 ²⁰	2.22×10 ¹⁸	3.23×10 ¹⁸	6.14×10 ¹⁹	3.33×10 ¹⁹	2.38×10 ²⁰
	2000	6.66×10 ²⁰	1.75×10 ²⁰	1.29×10 ²⁰	4.87×10 ¹⁸	3.37×10 ¹⁸	8.68×10 ¹⁹	6.97×10 ¹⁹	1.97×10 ²⁰
	2005	7.19×10 ²⁰	1.98×10 ²⁰	9.38×10 ¹⁹	1.02×10 ¹⁹	4.39×10 ¹⁸	1.24×10 ²⁰	1.24×10 ²⁰	1.65×10 ²⁰
	2006	6.98×10 ²⁰	1.69×10 ²⁰	6.11×10 ¹⁹	1.02×10 ¹⁹	5.23×10 ¹⁸	1.28×10 ²⁰	1.36×10 ²⁰	1.88×10 ²⁰
乌审旗	1980	8.10×10 ²⁰	1.32×10 ¹⁹	2.87×10 ¹⁹	3.24×10 ¹⁷	7.75×10 ¹⁶	1.08×10 ¹⁹	1.59×10 ¹⁵	7.57×10 ²⁰
	1985	8.08×10 ²⁰	1.44×10 ¹⁹	2.33×10 ¹⁹	9.85×10 ¹⁷	1.85×10 ¹⁷	1.18×10 ¹⁹	9.55×10 ¹⁵	7.57×10 ²⁰
	1990	8.33×10 ²⁰	3.15×10 ¹⁹	1.70×10 ¹⁹	9.94×10 ¹⁷	2.48×10 ¹⁷	2.58×10 ¹⁹	9.55×10 ¹⁵	7.57×10 ²⁰
	1995	9.42×10 ²⁰	6.63×10 ¹⁹	6.14×10 ¹⁹	2.81×10 ¹⁸	3.11×10 ¹⁷	5.42×10 ¹⁹	9.55×10 ¹⁵	7.57×10 ²⁰
	2000	10.6×10 ²⁰	1.09×10 ²⁰	9.98×10 ¹⁹	1.19×10 ¹⁸	3.60×10 ¹⁷	8.95×10 ¹⁹	3.39×10 ¹⁸	7.54×10 ²⁰
	2005	10.9×10 ²⁰	1.24×10 ²⁰	7.52×10 ¹⁹	5.56×10 ¹⁸	1.26×10 ¹⁸	1.01×10 ²⁰	2.12×10 ¹⁹	7.64×10 ²⁰
	2006	10.3×10 ²⁰	1.18×10 ²⁰	2.52×10 ¹⁹	5.49×10 ¹⁸	1.48×10 ¹⁸	9.69×10 ¹⁹	2.12×10 ¹⁹	7.64×10 ²⁰

出比率占初级生产力的幅度在 19%—28% 之间,平均为 24%,而乌审旗粮食产出比率占其初级生产力的幅度在 2%—11% 之间,平均仅 7%,但均呈增长趋势,平均来看,榆阳区粮食产出比率较大,几乎是乌审旗粮食产出的 3.5 倍。榆阳区与乌审旗基本上均在 80 年代后期注重了对基本农田的养护和投入,农田生产力得以迅速提高,并确保国家退耕还林(草)后耕地面积下降的情况农田生产力的稳定,同时为设施养殖业提供了丰富的秸秆来源,为农牧耦合系统健康发展奠定了物质基础。应农牧业生产需要,这些基本农田也可以随时用作人工牧草(苜蓿、沙打旺等)的生产,是粮食和牧草的双重生产基地。另外,乌审旗以其较大的草地面积使其总初级生产力远大于榆阳区,近 27a 乌审旗初级生产的能值产出是榆阳区的 1.48—1.81 倍,平均为 1.63 倍,其主要是牧草系统的贡献;约 2000 年后,榆阳区与乌审旗均注重了人工草地和天然草地的养护,同时全面实施“为牧而农、以农促牧”的发展思路,两地初级生产能值产出的差距有所减小。

总体上,粮食生产在榆阳区初级生产中占有举足轻重的作用,牧草生产在乌审旗初级生产中占有绝对的优势地位,充分说明榆阳区是偏农型的农牧耦合产业发展模式,乌审旗是偏牧型的牧农耦合产业发展模式。

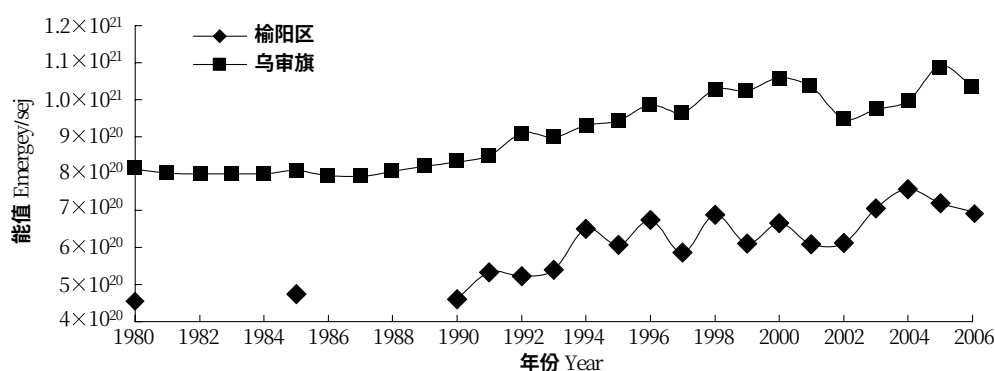


图 1 近 27a 榆阳区与乌审旗初级生产能值产出的演变及比较

Fig. 1 The evolvement and compare of primary energy production in Yuyang district and Uxin banner in near 27 years

(2) 次级生产的能值动态

由表 2 和图 2 知,榆阳区和乌审旗的总次级生产力也均稳步增加,同样有明显的 3 阶段型增长的特点,即前期增长平缓,中期(20 世纪 90 年代中后期)加快,后期又平缓。乌审旗在 80 年代至 90 年代初次级生产力略大于榆阳区,大致在 1992 年出现转型,榆阳区次级生产力随后明显增大,而乌审旗增加幅度相对较小,差距幅度凸显。这主要是由于 90 年代初榆阳区开始发展生猪、禽类设施生产所致。在近 27a 里榆阳区生猪、禽类的能值产出占次级生产能值产出的比例在 77%—85% 之间,平均达 81%。榆阳区是生猪生产的优质区域,气候适宜,以肉质好、味美、出肥快而闻名,很快就成为榆阳区农牧耦合系统经济发展的新亮点,仅生猪生产一

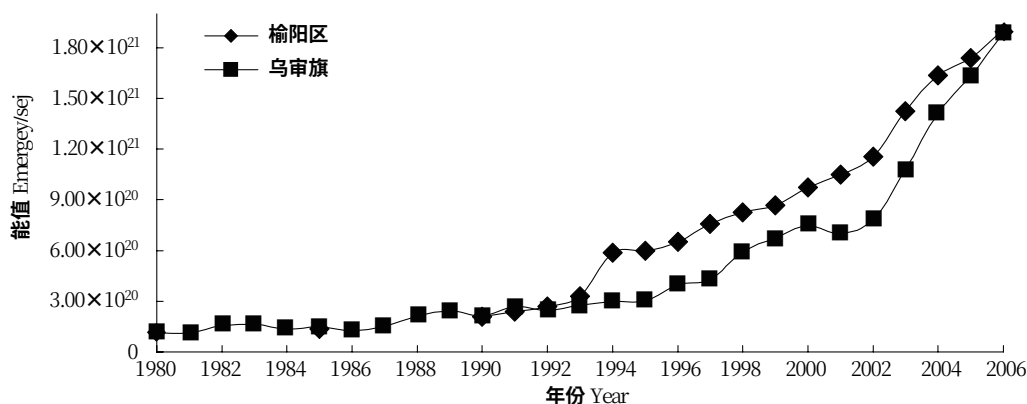


图 2 近 27a 榆阳区与乌审旗次级生产能值产出的演变与比较

Fig. 2 The evolvement and compare of secondary energy production in Yuyang district and Uxin banner in near 27 years

项,占次级能值产出比率的幅度为 68%—77%,平均为 75%。这转型也与 90 年代后草场改良、围栏、轮牧、定期禁牧等措施实施后产草量显著增加及秸秆产量增加导致草食畜牧业全面健康发展关系密切,这同时带动了区域奶业、毛绒业、皮业等的发展,也促进了农牧耦合系统的健康。如果仅就高质能产品而言,乌审旗在整个演变过程中的产出基本上均高于榆阳区,其高质能产品平均能值产出占总次级能值产出的 64%,而榆阳区仅 15%,另外,乌审旗畜牧业系统产出势头强劲,后期增长较快,且在 2006 年其次级生产力已基本赶上榆阳区并有超越趋势。总体上,榆阳区有以耗粮型生猪、禽类生产为主的势头,乌审旗有以节粮型草食动物生产为主的势头。同时,在整个次级生产力演变过程中,乌审旗在演变节奏上均较榆阳区慢一个节拍,这与榆阳区交通便利、市场调控快捷、科技实力相对较强有关,乌审旗身处毛乌素沙漠腹地,交通不畅、经济落后,人为优化调控系统的措施甚少,导致农牧业发展滞后,这也体现了榆阳区农牧耦合系统比乌审旗较为开放的实际。说明开放系统与外界能流、物流、信息流交换频繁,系统人为优化调控力度大,系统产出高。

表 2 近 27a 榆阳区与乌审旗次级生产能值产出状况/(sej)

Table 2 The status of secondary energy production in Yuyang district and Uxin banner in near 27 years

区域 Region	年份 Year	能值总产出 Total energy	猪肉 Pork	牛羊肉 Meat	奶类 Milk	绵羊毛 Wool	禽肉 Chicken	禽蛋 Egg	皮子 Fur
榆阳区	1980	7.97×10^{19}	6.14×10^{19}	1.00×10^{19}	2.00×10^{18}	3.72×10^{18}	4.36×10^{16}	2.53×10^{18}	0
	1985	1.37×10^{20}	1.13×10^{20}	9.81×10^{18}	5.19×10^{18}	4.64×10^{18}	6.54×10^{16}	4.26×10^{18}	0
	1990	2.08×10^{20}	1.58×10^{20}	2.39×10^{19}	9.62×10^{18}	7.26×10^{18}	2.29×10^{17}	8.93×10^{18}	0
	1995	5.98×10^{20}	4.63×10^{20}	4.94×10^{19}	3.36×10^{19}	7.10×10^{18}	3.62×10^{18}	4.09×10^{19}	0
	2000	9.73×10^{20}	6.62×10^{20}	1.85×10^{20}	3.02×10^{19}	1.05×10^{19}	6.76×10^{18}	7.90×10^{19}	0
	2005	1.74×10^{21}	1.25×10^{21}	2.69×10^{20}	7.31×10^{19}	1.67×10^{19}	8.12×10^{18}	1.24×10^{20}	0
	2006	1.91×10^{21}	1.40×10^{21}	2.87×10^{20}	6.95×10^{19}	1.37×10^{19}	8.49×10^{18}	1.23×10^{20}	0
乌审旗	1980	1.00×10^{20}	5.04×10^{19}	2.08×10^{19}	2.42×10^{17}	2.85×10^{19}	0	0	1.23×10^{19}
	1985	1.39×10^{20}	5.46×10^{19}	4.27×10^{19}	4.19×10^{17}	4.09×10^{19}	0	0	9.08×10^{18}
	1990	2.02×10^{20}	7.23×10^{19}	8.81×10^{19}	7.40×10^{17}	4.08×10^{19}	0	0	9.50×10^{18}
	1995	2.85×10^{20}	1.55×10^{20}	8.82×10^{19}	1.20×10^{18}	4.00×10^{19}	0	0	1.87×10^{19}
	2000	4.59×10^{20}	2.42×10^{20}	1.54×10^{20}	1.52×10^{19}	4.85×10^{19}	0	0	2.88×10^{20}
	2005	1.25×10^{21}	7.04×10^{20}	3.47×10^{20}	1.20×10^{20}	7.52×10^{19}	0	0	3.85×10^{20}
	2006	1.45×10^{21}	8.05×10^{20}	4.34×10^{20}	1.24×10^{20}	8.80×10^{19}	0	0	4.37×10^{20}

从图 3 知,榆阳区和乌审旗次级生产与初级生产能值产出比率的演变表现为,80 年代相对平缓,90 年代后逐渐增加,且差距拉大。这不仅是两地农牧耦合系统整体产出提高的表现,同样也是农牧耦合系统开放程度进一步扩大的表现。80 年代两地相对农牧业生产方式落后,产业结构弊端明显,初级产品转化为次级产品的转化率低下,而进入 90 年代以后,两地农牧业生产方式逐渐转变,产业结构渐趋合理,系统产品的转化率也显著提高,榆阳区因独特的地理优势,其增长幅度明显较快。

4.2 毛乌素沙地农牧生态系统耦合状况的对比演变

从图 4 可以看出,榆阳区与乌审旗种植业与畜牧业系统之间的有效能值利用率(A)均在沿时间序列增大,但榆阳区的有效能值利用率一直高于乌审旗,具体表现为 80 年代稍高,90 年代平均高出 1.05,尤其以 2000 年后差距拉大达到 1.92,但差距基本平稳。有效能值利用率高表示有更多的初级生产力转化成了次级生产力,亦即,促进了农牧系统耦合。两地单位低质能产品转化成高质能产品率(B)均在沿时间序列增大,在 1993 年两条演变曲线出现交点,榆阳区 B 值增加明显较快,其畜牧业发展势头良好,反映出榆阳区畜牧业内部品种结构较为合理,且更新换代较快,有利于农牧系统耦合度提高。1993 年前两地 B 值平均提高率基本持平,乌审旗平均高出 0.04,1993 年后榆阳区 B 值开始迅速提高,平均高出乌审旗 0.18,但乌审旗 2002 年后 B 值增加速度突快,有超越榆阳区的可能。在初级生产力的推动下,两地农牧耦合系统 A、B 值演化曲线的变化,主要是由于两地家庭生猪、禽类养殖及畜禽品种更新换代和产业规模扩大的时间不同造成的。农牧系统

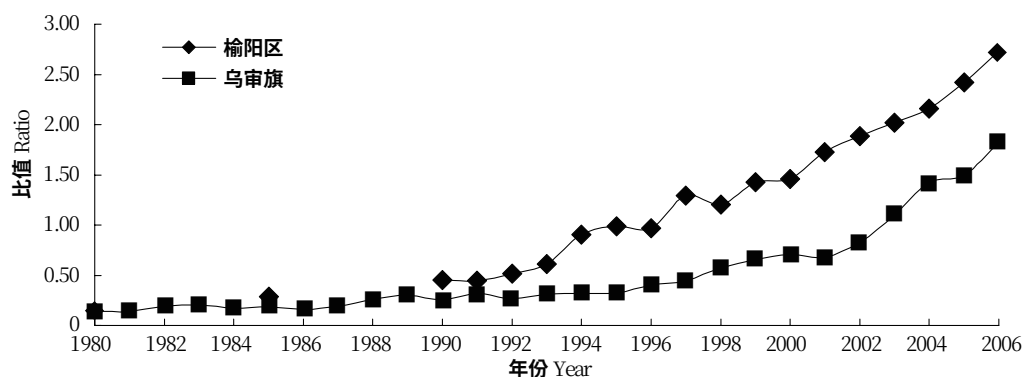


图3 近27a 榆阳区与乌审旗次级生产与初级生产能值产出比率的演变及比较

Fig. 3 The ratio evolvement and compare of secondary and primary energy production of Yuyang district and Uxin banner in near 27 years

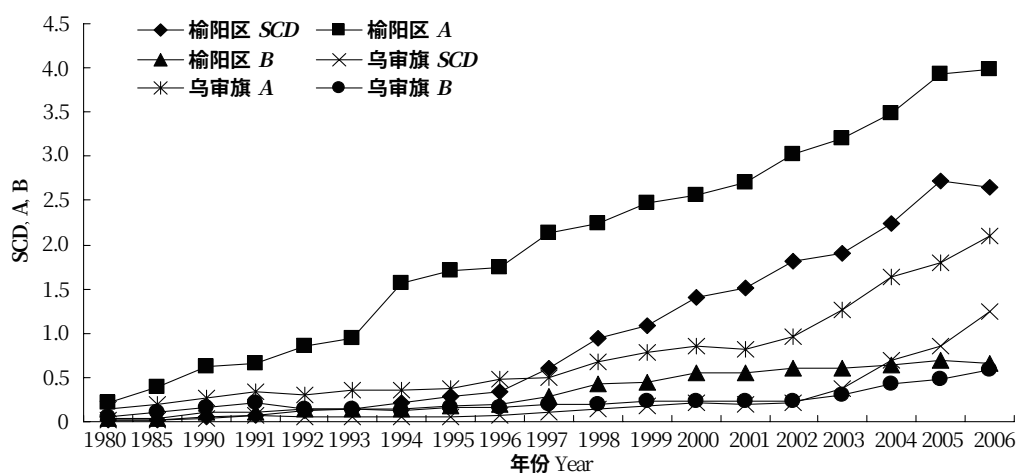


图4 近27a 榆阳区与乌审旗的 SCD、A 和 B 值

Fig. 4 The SCD, A and B of Yuyang district and Uxin banner in near 27 years

耦合度(SCD)的演变主要受A和B的双重影响。依据榆阳区和乌审旗初级能值产出和次级能值产出的3阶段型增长规律,并从两地系统耦合度的演变与比较曲线可以看出,完整曲线也呈3阶段型变化。如榆阳区农牧系统耦合度的演变曲线可大致划分为3个阶段,即1980—1990年、1990—2005年和2005—以后某年3个阶段,第1阶段是榆阳区种植业大力发展,而畜牧业发展受阻的时期,90年代后开始注重设施畜牧业发展,1996年是发展加快的转折点,第3阶段也就是2005年后,榆阳区农牧系统耦合度出现下降;乌审旗农牧系统耦合度的演变曲线目前只出现了两阶段性,以2002年为分割点,2002年以前乌审旗只注重了草食畜牧业的发展,而忽视了种植业在畜牧业发展中的作用,致使其系统耦合度一直较低,直到2002年后出现了转机,家庭设施养殖业大力发展,为牧而农的思想深入人心,畜牧业与种植业开始共同发展,系统耦合度明显提高。可见,目前乌审旗农牧系统耦合度尚处于较低水平,还有很大发展潜力。

5 毛乌素沙地农牧生态系统耦合发展的思考

由于毛乌素沙地农牧生态系统耦合演变是具有规律性可寻的,故提高A、B和SCD值是系统发展应该考虑的主要方向,这就对系统农牧业结构调整提出了更高的要求。实行草地农业应是毛乌素沙地农牧业结构调整的现实途径。草地农业的发展要以人工草地为主,以农业生产方式大量种植人工牧草、辅以饲料作物,替代对天然草地的破坏。系统也将从以往的以作物副产品为主、放牧为主的农牧系统耦合走向今后以草为主、舍饲圈养为主的农牧系统耦合。草业的生产也将更加集约化、规模化和科学化,农牧系统耦合的效率和强度将

大大提升。因此,要积极地调整产业结构,按照因地制宜原则发挥地域资源优势,抓住特色产业,继续推进人工草地和基本农田建设,引导农、牧民逐步走向为牧而农,舍饲养殖,平衡草畜,摆脱以粮为主的生产方式,迈向更有市场和生态良好的畜牧业,使其由数量型和自给型向质量型和商品型转变,提高系统净能值产出率和可持续性,降低环境负载率,实现生态和经济的双赢。另外,实施草地农业,可实现农牧耦合系统物质、能量、信息的互补性投入和资源的广度、深度利用。同时,农牧耦合所产生的联动效应,不但能促进资源、要素的流动集合和优化组合,并可展现出强劲的扩张态势,从而放大耦合系统的生产力,使广大农牧民从中受益。

毛乌素沙地农牧生态系统耦合以后,牧区经济效益的增长主要在年出栏羔羊数增加和冬季存栏数增加中得以体现,农区经济效益的增加主要是通过养殖育肥,充分利用农副产品和饲料丰富的优势实现增值,同时还可以利用不同季节的市场价格差值获得经济利益。这些只是系统耦合后的畜牧业生产的耦合效益,显然这种单方面的效益是系统耦合效益的很小一部分。农产品加工业通过农产品加工增值,以及产品向系统外输出的市场化过程,特色产业、生态旅游业等高附加值产业的发展,以及与系统外的物质、能量、信息交换和价值流动过程,毫无疑问都会产生更大的有形和无形的耦合效益。

References:

- [1] Ren J Z. Strategic meaning of system coupling in big agriculture. *Science (Shanghai)*, 1999,51(6):12-14.
- [2] Liu X L, Ren J Z. Landscape ecological mechanism on system coupling of the meta-ecosystem consisted of mountain, desert and oasis in Hexi corridor, Gansu, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002,13(8):979-984.
- [3] Wang A M, Liu Y, Gao X. Study on the regional differences between agriculture and stockbreeding and their coupling in Hexi area. *Economic Geography*, 2002,12(22):49-53.
- [4] Dong X B, Gao W S, Yan M C. Emergy evaluation of the coupling effects of ecological economic systems of two selected counties in the eco-tonw between agriculture and pasture in the North China. *Transactions of the CSAE*, 2005,11,21(11):1-6.
- [5] Xu X L, Yan J P. Study on frangibility and sustainable development in Mu Us sandland. *Research on Arid Region*, 2004,21(3):286-289.
- [6] Liu Y H, Li X B. Frail ecological environment and sustainable development. Beijing: Press of Commerce, 2001:21-31.
- [7] Mo H W, Ren Z Y, Wang X, Han Y S. Dynamic changes of net primary productivity of cultivated land in wind-drift sand region — A case of Yuyang area of Northern Shaanxi province. *Scientia Geographica Sinica*, 2007,27(4):537-541.
- [8] Jiao C X, Ren Z Y, Huang J Z. Land use dynamic change and driving force in wind drift sand region-Taking Yuyang of Northern Shaanxi as an example. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006,20(2):135-138.
- [9] Mo H W, Ren Z Y, Wang X. Study on dynamic change of value of vegetation sand-fixing effect — A case study in the Yuyang region. *Arid zone research*, 2006,23(1):56-59.
- [10] Wang B, Ding G D, Gu X H, Ma S L. Initial study on vegetation recovering effects in Maowusu Hinterland. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007,14(3):237-239.
- [11] Song Y M, Liu Z Y, Zhou Z F, Dang H Z, Liu S M. Temporal patterns of precipitation, evapotranspiration and the meaning to land use in Mu Us sandland. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006,42(5):6-10.
- [12] Zhou H Z, Liu S M, Yu X F, Zhang J S, Zhou Z F, Wu J Y. Study on estimation of regional evapotranspiration by remote sensing in the Mu Us sandland — A case study of Wushen county in Inner Mongolia. *Progress in Geography*, 2006,25(4):79-88.
- [13] Zhang Y H. Emergy analysis method of agro-ecosystem. *Chinese Journal of Eco-agriculture*, 2004,12(3):181-183.
- [14] Lan S F, Odum Howard T, Liu X M. Energy flow and emergy analysis of the agroecosystems of China. *Ecologic Science*, 1998,17(1):32-39.
- [15] Lan S F, Qin P. Emergy analysis of ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001,12(1):129-131.
- [16] Odum H T, Brown M T, Williams S B. Handbook of emergy evaluation: a compendium of data for emergy computation issued in a serie of folios. Folio No. 1- Intrduction and Global Budget. Gainesville: Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida; 2000. p. 16.
- [17] Chen P. Course of agroecology. Beijing: The Press of Meteorology, 1998:69-84.
- [18] Yan M C. On the new ecological economics-the theory, methods and applications. Beijing: Chinese Publishing House Addressed to the Pubilic, 2001:2-15.

参考文献:

- [1] 任继周. 系统耦合在大农业中的战略意义. *科学(上海)*, 1999,51(6):12-14.

- [2] 刘学录,任继周. 河西走廊山地-绿洲-荒漠复合系统耦合的景观生态学机制. 应用生态学报,2002,13(8): 979-984.
- [3] 王爱民,刘宇,高翔. 河西地区农牧地域分异与农牧耦合探讨. 经济地理,2002,12(22,增刊):49-53.
- [4] 董孝斌,高旺盛,严茂超. 基于能值理论的农牧交错带两个典型县域生态经济系统的耦合效应分析. 农业工程学报,2005,11,21(11):1-6.
- [5] 徐小玲,延军平. 毛乌素沙地的脆弱性与可持续发展研究. 干旱区研究,2004,21(3):286-289.
- [6] 刘燕华,李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展. 北京:商务印书馆,2001:21-31.
- [7] 莫宏伟,任志远,王欣,韩用顺. 风沙过渡区耕地生态系统净第一性生产力动态变化研究——以陕西榆阳区为例. 地理科学,2007,27(4): 537-541.
- [8] 焦彩霞,任志远,皇家柱. 风沙过渡区土地利用变化及其驱动因素分析——以陕北榆阳区为例. 水土保持学报,2006,20(2):135-138.
- [9] 莫宏伟,任志远,王欣. 植被生态系统防风固沙功能价值动态变化研究——以榆阳区为例. 干旱区研究,2006,23(1):56-59.
- [10] 王博,丁国栋,顾小华,马士龙. 毛乌素沙地腹地植被恢复效果初步研究. 水土保持研究,2007,14(3):237-239.
- [11] 宋云民,刘致远,周泽福,党宏忠,刘绍民. 毛乌素沙地降水,蒸散时间分布格局及其对土地利用的意义. 林业科学,2006,42(5):6-10.
- [12] 周会珍,刘绍民,于小飞,张劲松,周择福,邬俊义. 毛乌素沙地蒸散量的遥感研究——以内蒙古乌审旗为例. 地理科学进展,2006,25(4): 79-88.
- [13] 张耀辉. 农业生态系统能值分析方法. 中国生态农业学报,2004,12(3):181-183.
- [15] 蓝盛芳,钦佩. 生态系统的能值分析. 应用生态学报,2001,12(1):129-131.
- [17] 陈阜. 农业生态学教程. 北京:气象出版社,1998:69-84.
- [18] 严茂超. 生态经济学新论——理论、方法与应用. 北京:中国致公出版社,2001:2-15.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change	
..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al (I)	
Overview on the 2 nd international workshop on ecosystem assessment and management (EAM)	
..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)	
Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 nd International Workshop on	
EAM	ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356)
The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (<i>Avena sativa</i> L.)	
field	QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)
Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin	
..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)	
Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) forest in the Qilian Mountains	
..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)	
Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,	
Gansu Province	CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)
Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis	
of Hexi Corridor	ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)
The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin	
..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)	
Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case	
study in Gansu Province	YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)
The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin	
..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)	
Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings	
..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)	
The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> (<i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i>) and two	
chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars	FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)
Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature	
..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)	
Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal	
..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)	
“Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed	
..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)	
Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress	
..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)	
Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy	
..... PENG Yuanying, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)	
Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat (<i>Avena nuda</i> L.)	
..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)	
Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties	
..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)	

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)
- Review and Monograph**
- The key issues on plant phenology under global change MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元