

基于能值理论的吉林省农业系统可持续性分析

孔庆文¹, 王绍先², 戴明江³, 谢冬明^{4*} (1. 吉林省长白山保护区管理委员会, 吉林安图 133613; 2. 吉林省长白山科学院, 吉林安图 133613; 3. 上海伟信顾问集团有限公司, 上海 201204; 4. 江西省遥感信息中心, 江西南昌 330046)

摘要 利用能值理论对吉林省 2005~2007 年农业系统进行了评价分析。结果表明: 2005~2007 年, 吉林省农业效益在宏观层面逐步改善, 产出投入比率呈逐年上升的趋势; 不可更新辅助能值所占比率不断增加, 农业产出主要依赖化工能源等不可更新资源的投入; 环境负载率的逐年上升加大了农业生态环境的压力, 给农业生态环境带来了不利影响。最后, 结合研究结论, 提出了相关对策建议。

关键词 能值; 农业效益; 评价指标

中图分类号 F320.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)06-02772-04

Analysis of Agricultural System Sustainability in Jilin Province Based on the Emergy Theory

KONG Qing-wen et al (Committee of Changbai Mountain for Protection and Management, Antu, Jilin 133613)

Abstract The agricultural system of Jilin Province during 2005 to 2007 was evaluated and analyzed on the basis of emergy theory. The results showed that the macro agricultural benefit of Jilin Province during 2005 to 2007 was improved, and the output-input ratio was increasing yearly as well as the non-renewable assistant emergy, which indicated that agricultural output mainly depended on the fossil energy input. The pressure of agroecosystem was strengthened with the increasing of environment loading ratio which made a negative effect on the agroecosystem. Finally, some related countermeasures were put forward based on the conclusion.

Key words Emergy; Agricultural benefit; Evaluating indicator

能值理论由 Odum 等在 20 世纪 70 年代首次提出, 随后进行了长达 30 年的修正和发展, 在 20 世纪 90 年代末和 21 世纪初期基本形成了较为完整的理论体系。其原理是自然界的一切能量均来自太阳, 核算单位是 sej (Solar equivalent joules), 它是一套建立在科学基础上的评价系统, 采用统一的度量标准描述环境、资源、信息和经济值。Emergy 反映储存的能量或已经融入在产品或服务中的能量, 用来核算直接或者间接输入在产品或服务中的一切能量的总量。应用统一的标准可以对一切用于生产产品或者提供服务的能量进行核算, 能值与能量之间的转换系数为 sej/J, 即 1J 的某种产品或者服务所需要的能值。在很多情况下, 应用能值单位是非常方便的, 许多物质能够通过能值进行数量计算^[1-6]。

蓝盛芳等将能值理论引入中国, 并在社会经济、农业、林业和环境等诸多领域开展了许多探索性工作^[7-13]。近年来, 我国相关学者在这方面也开展了许多研究工作, 使得能值理论的研究和实践应用在我国得到了深入的发展^[14-23]。

笔者基于能值理论对农业效益进行了评价, 选择我国农业基础较好的吉林省作为案例, 分析了 2005~2007 年间吉林省农业系统效益的情况和发展趋势。

1 研究区域、数据与方法

1.1 研究区域介绍 吉林省位于中国东北地区的中部, 地处北温带, 在 121°38'~131°19'E、40°52'~46°18'N, 总面积 18.74 × 10⁴ km², 约占全国总面积的 2%。地貌类型种类主要有火山地貌、侵蚀剥蚀地貌、冲洪积地貌和冲积平原地貌。气候湿润多雨, 西部远离海洋而接近干燥的蒙古高原, 气候干燥, 全省形成了显著的温带大陆性季风气候特点, 四季分明, 雨热同季, 春季干燥风大, 夏季高温多雨, 秋季天高气爽, 冬季寒冷漫长。全省多年平均日照时数为 2 259~3 016 h, 全年无霜期一般为 110~160 d。大部分地区年平均气温为 2

~6 °C, 全省年降水量一般在 400~900 mm, 自东部向西部有明显的湿润、半湿润和半干旱的差异。

2007 年末, 全省总人口为 2 729.82 万人, 按照第 5 次人口普查比例计算, 农村人口为 1 278.65 万人。2007 年全省实现地区生产总值 5 226.08 亿元, 人均 GDP 达到 19 168 元; 城镇居民人均可支配收入为 11 285.52 元; 农村居民人均纯收入为 4 190 元, 高于全国平均水平。

1.2 数据来源及说明 原始数据来源于吉林省政府统计部门的网站, 包括吉林省 2005~2007 年国民经济和社会发展统计公报, 2006~2008 年《吉林省统计年鉴》等^[24-31]。选取 2005~2007 年数据进行分析, 概因这 3 种数据较完整, 易于获得, 同时也可以反映吉林省近年来农业产业发展的趋势。

1.3 农业产业效益的能值分析方法 农业产业效益的能值分析主要通过以下几个步骤实现。

(1) 绘制吉林省农业系统能值图, 如图 1 所示^[32]。

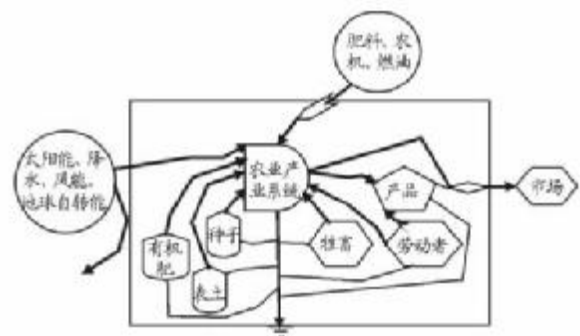


图 1 吉林省农业系统能值

Fig.1 Emergy diagram of agriculture in Jilin Province

(2) 确定资源要素以及物质的输入与输出, 资源能值换算系数等^[33-34]。吉林省农业资源要素和物质的输入输出与能值转换系数如表 1 所示。

(3) 计算资源以及物质能值的流通^[35-36]。物质能值换算公式为 $M = \tau \cdot E$ 。式中, M 为某一产品或物质的太阳能值, τ 为产品或物质的太阳能值转换系数, E 为产品或物质的可用能。

基金项目 国家科技支撑计划项目 (2006BAD03A0906)。

作者简介 孔庆文 (1967-), 女, 吉林安图人, 工程师, 从事自然资源保护与管理研究。*通讯作者, 助理研究员。

收稿日期 2009-01-09

表 1 2005~2007 年吉林省农业相关投入、产出情况和太阳能值转换率
Table 1 The agricultural input and output in Jilin Province and the transformity of solar emery 2005-2007

类别 Item	2005	2006	2007	物质单位能量	太阳能值转化率
				J/kg 或 J/kW·h Material unit energy	sej/J 或 sej/g Transformity of solar emery
太阳能//sej	1.90E+20	2.13E+20	2.47E+20	-	1.00
气温//℃	5.00	5.60	6.50	-	
降水量//mm	726.50	563.30	551.60	-	8 888 (降水势能) 15 444 (降水化学能)
风能//10 ¹⁷ J	6.52	6.52	6.52	-	1.50 E+3
地球旋转//10 ¹⁶ J	4.87	4.87	4.87	-	2.90 E+4
从事农业劳动力//人	5 020 470	4 997 961	4 921 986	-	3.85 E+5
农作物播种面积//千 hm ²	4 953.10	4 984.60	5 040.30	-	6.35 E+4
农业机械动力//万 kW	1 471.30	1 572.30	1 687.33	3.60E+06	7.50 E+7
原煤//万 t	68.05	71.25	76.71	2.09E+07	1.59 E+5
汽油//万 t	6.32	6.73	7.83	4.31E+07	1.59 E+5
柴油//万 t	78.11	84.27	84.16	4.27E+07	1.59 E+5
电力//亿 kW·h	6.57	7.26	8.72	3.60E+06	1.59 E+5
氮肥//万 t	159.30	159.60	161.70	1.00E+03	4.62 E+9
磷肥//万 t	38.80	38.90	40.70	1.00E+03	1.78 E+10
钾肥//万 t	20.00	20.90	22.10	1.00E+03	1.74 E+9
复合肥//万 t	87.90	98.40	107.40	1.00E+03	2.80 E+9
有机肥//万 t	2 009.00	2 059.23	2 110.71	9.99E+02	2.70 E+6
农药//万 t	1.85	1.89	1.94	9.98E+02	1.62 E+9
农膜//万 t	2.87	2.94	3.02	1.00E+05	3.80 E+8
水稻//万 t	478.00	493.00	500.00	1.40E+07	8.30 E+4
小麦//万 t	2.68	3.00	2.00	1.33E+07	6.30 E+4
玉米//万 t	1 815.00	1 984.00	1 800.00	1.45E+07	2.70 E+4
高粱//万 t	65.99	42.00	31.00	1.47E+07	8.30 E+4
豆类//万 t	152.83	150.00	92.00	1.50E+07	6.90 E+4
油料//万 t	54.45	58.37	43.71	2.99E+07	8.60 E+4
麻类//万 t	0.61	0.12	0.05	1.21E+06	2.70 E+4
烟叶//万 t	5.97	7.04	6.13	1.43E+06	2.70 E+4
园参//万 t	3.20	2.87	3.13	5.03E+06	8.51 E+4
蔬菜//万 t	832.56	813.65	878.46	1.26E+06	2.70 E+4
水果//万 t	66.20	67.95	65.43	2.18E+06	2.00 E+6
水产品//t	118 930.00	130 763.00	151 600.00	1.00E+09	2.00 E+4
蚕茧产量//t	1 542.00	1 700.00	2 100.00	9.61E+06	2.70 E+4
蜂蜜产量//t	7 759.00	7 500.00	8 300.00	1.34E+07	2.00 E+6
猪肉//万 t	158.00	159.00	177.90	1.65E+07	1.70 E+6
牛肉//万 t	51.00	55.00	59.30	5.23E+06	4.00 E+6
羊肉//万 t	4.20	4.30	4.60	8.50E+06	2.00 E+6
禽肉//万 t	96.86	96.74	105.72	6.95E+06	1.71 E+6
牛奶//万 t	29.40	34.50	47.31	2.26E+06	1.71 E+6
羊奶//万 t	0.60	0.50	0.69	2.47E+06	1.71 E+6
禽蛋//万 t	100.00	101.00	113.00	6.70E+06	1.71 E+6
林业//万元	337 720.00	328 534.00	399 004.00	-	1.20 E+12

注:林产品原始值单位为元,能值转换率单位为 sej/元。由于数据缺失和数据本身的特殊性,吉林省 3 年来的风能和地球自转能值引用了参考文献 [34] 中数据。

Note: The unit of forestry products is yuan, and solar transformity is sej/yuan; due to lacking of data, the emery of wind and earth rotation of Jilin Province in recent 3 years is quoted from the reference [34].

不同物质或产品的太阳能值计算方法为太阳光能值 = 光辐射能量 × 太阳能值转换率 = 农业用地面积 × 太阳辐射强度 × 太阳能转换率, 风能值 = 风能 × 太阳能值转换率 = 高度 × 空气密度 × 农业用地面积 × 涡流扩散系数 × 风速梯度变化率, 雨水势能能值 = 雨水势能能量 × 太阳能值转换率 = 农业用地面积 × 平均海拔高度 × 平均降雨量 × 密度 × 重

力加速度 × 太阳能值转换率, 雨水化学能值 = 雨水化学能量 × 太阳能值转化率 = 农业用地面积 × 平均降雨量 × 雨水的吉布斯自由能 × 密度 × 太阳能值转换率, 化肥能值 = 化肥能量 × 太阳能值转化率 = 产品质量 × 单位产品能量 × 太阳能值转化率, 化石能源能值 = 化石能量 × 太阳能值转化率 = 产品质量 × 单位产品能量 × 太阳能值转化率, 农业产品能值 =

产品能量 × 太阳能值转化率 = 产品质量 × 单位产品能量 × 太阳能值转化率。吉林省 2005 ~ 2007 年农业系统能值输入与输出的计算结果如表 2、3 所示。

表 2 2005 ~ 2007 年吉林省农业能值投入

Table 2 Emery input of agriculture in Jilin Province (2005 - 2007)

类项 Item	2005	2006	2007
太阳能值 Solar energy	1.900	2.128	2.470
降水势能 Rain potential emery	16.434	12.742	12.477
降水化学能 Rain chemical emery	24.705	19.156	18.758
风能 Wind emery	9.790	9.790	9.790
地球自转能 Geo-potential emery	14.080	14.080	14.080
可更新环境投入能值 (EmR)	66.909	57.896	57.575
Renewable source input emery			
土壤流失 Soil loses	2.030	2.043	2.066
不可更新环境投入能值 (EmN)	2.030	2.043	2.066
Non-renewable source input emery			
农业机械动力 Machine	39.722	42.449	45.554
原煤 Raw coal	22.650	23.716	25.533
汽油 Gasoline	4.333	4.615	5.369
柴油 Diesel oil	53.037	57.220	57.145
电力 Electric power	3.760	4.155	4.991
氮肥 Nitrogenous fertilizer	73.597	73.735	74.705
磷肥 Phosphorus fertilizer	69.064	69.242	72.446
钾肥 Kalium fertilizer	3.480	3.637	3.845
复合肥 Compound fertilizer	24.612	27.552	30.072
农药 Pesticide	0.299	0.306	0.314
农膜 Plastic	10.906	11.179	11.458
不可更新辅助能值 (EmA)	305.461	317.805	331.433
Non-renewable assistant emery			
从事农业劳动力 Manpower	38.511	38.338	37.755
有机肥 Organic fertilizer	0.542	0.556	0.570
可更新的辅助能值 (EmRA)	39.053	38.894	38.325
Renewable assistant emery			
总辅助能值 (EmTA) Total assistant emery	344.514	356.699	369.759
总投入 (EmT) Total input emery	413.452	416.639	429.398
增长率 Growth rate		0.77%	3.06%

(4) 计算和评价能值指标。吉林省 2005 ~ 2007 年农业系统不同能值输入与输出的结果如表 4 所示。

(5) 对区域系统进行评价, 提出建议。

表 3 2005 ~ 2007 年吉林省农业能值产出

Table 3 Emery output of agriculture in Jilin Province (2005 - 2007)

类项 Item	2005	2006	2007
水稻 Rice	55.633	57.379	58.194
小麦 Wheat	0.224	0.251	0.167
玉米 Corn	70.974	77.583	70.388
高粱 Broomcorn	8.047	5.122	3.780
豆类 Legume	15.847	15.553	9.539
油料 Oil plants	13.981	14.987	11.223
麻类 Fibre plants	0.002	0.000	0.000
烟叶 Tobacco	0.023	0.027	0.024
园参 Panax	0.137	0.123	0.134
蔬菜 Vegetable	2.823	2.759	2.978
水果 Fruits	28.819	29.581	28.484
种植能值产出 (EmP)	196.510	203.364	184.911
Plants industry emery			
水产品 Aquatic product	23.896	26.273	30.460
渔业能值产出 (EmFI) Fishery emery	23.896	26.273	30.460
蚕茧产量 Pod	0.004	0.004	0.005
蜂蜜 Honey	2.085	2.015	2.230
其他产业能值产出 (EmOT)	2.089	2.020	2.236
Other emery			
猪肉 Pork	444.106	446.917	500.041
牛肉 Beef	106.739	115.111	124.111
羊肉 Mutton	7.138	7.308	7.817
禽肉 Birds	115.105	114.958	125.639
牛奶 Creamery	11.365	13.335	18.286
羊奶 Mutton chop	0.253	0.211	0.291
禽蛋 Eggs	114.525	115.670	129.413
畜牧业能值产出 (EmS)	799.231	813.510	905.599
Stockbreeding emery			
林业 Forest	47.880	53.219	59.499
林业能值产出 (EmFO) Forest emery	47.880	53.219	59.499
总产出 (EmO) Total output emery	1 069.606	1 098.386	1 182.703
增长率 Growth rate		2.69%	7.68%

表 4 2005 ~ 2007 年吉林省农业系统能值评价指标

Table 4 The indicators of emery appraising of agricultural system in Jilin Province (2005 - 2007)

类项 Item	公式 Formula	2005	2006	2007	
种植业能值产出率//%	Planting industry output ratio	EmP/EmO	18.372	18.515	15.635
牧业能值产出率//%	Stockbreeding emery ratio	EmS/EmO	74.722	74.064	76.570
渔业能值产出率//%	Fishery emery ratio	$EmFI/EmO$	2.234	2.392	2.575
林业能值产出率//%	Forest emery ratio	$EmFO/EmO$	4.476	4.845	5.031
其他能值产出率//%	Other emery ratio	$EmOT/EmO$	0.195	0.184	0.189
环境投入能值// 10^{20} sej	Environment input emery (EmL)	$EmR + EmN$	68.929	59.929	59.631
环境贡献率//%	Environment contribution ratio	EmL/EmT	16.672	14.384	13.887
可更新环境能值投入率//%	Renewable Environment input ratio	EmR/EmT	16.183	13.896	13.408
不可更新环境能值投入率//%	Non-renewable Environment input ratio	EmN/EmT	0.491	0.490	0.481
辅助能值比率//%	Assistant emery ratio	$EmTA/EmT$	54.843	56.496	57.404
不可更新辅助能值比率//%	Non-renewable assistant emery ratio	EmA/EmT	48.626	50.336	51.454
可更新辅助能值比率//%	Renewable assistant emery ratio	$EmRA/EmT$	9.450	9.340	8.930
能值产出率	Net emery yield ratio (EYR)	EmO/EmT	2.587	2.636	2.754
能值投入率	Emery investment ration (EIR)	$EmTA/EmL$	4.998	5.952	6.201
环境负载率	Environment loading ratio (ELR)	$(EmTA + EmN)/EmR$	5.180	6.197	6.459
能值密度// 10^{11} sej/ m^2	Emery density	EmT/A	2.520	2.508	2.619
人均能值投入量// 10^{15} sej/人	Emery inputs per capita	EmT/P	8.235	8.336	8.724
人均能值产出量// 10^{16} sej/人	Emery yield per capita	EmO/P	2.130	2.198	2.403
可持续发展指数	Sustainability index	EYR/ELR	0.499	0.425	0.426

注: A 为农、林、牧、渔用地面积, 单位为 m^2 ; P 为从事第一产业的人口数, 单位为人。

Note: A is the area of agricultural, forestry, stockbreeding and fishery use land, P is the total population engaged in the first industry, and the unit is person.

2 结果分析

2.1 能值总投入与总产出分析 2005~2007年,吉林省农业能值总投入和能值总产出都呈上升趋势,但是产出增长率高于投入增长率,产出投入比率分别为2.587、2.636、2.754,表明吉林省近年来农业总体效益呈上升趋势,农业宏观层面在朝着有利的方向改善。这与农业系统生产力不断提高,品种改良和种植养殖结构优化等方面有关。

2.2 能值投入结构与能值投入率分析 2005~2007年,吉林省农业能值投入包括可更新环境能值投入、不可更新环境能值投入、不可更新辅助能值投入、可更新辅助能值投入等。受自然条件因素影响,近3年的可更新环境能值投入率和不可更新环境能值投入率逐年减少,可更新环境能值投入率分别为16.183%、13.896%、13.408%,不可更新环境能值投入率分别为0.491%、0.490%、0.481%;不可更新辅助能值投入率逐年增加,分别为48.626%、50.336%、51.454%;可更新辅助能值投入率逐年减少,分别为9.446%、9.335%、8.925%。从总体来看,吉林省农业能值投入的增长主要是由不可更新辅助能值投入增长所致。

2.3 能值产出结构与能值产出率分析 2005~2007年,吉林省农业能值产出包括种植业能值产出、渔业能值产出、畜牧业能值产出、林业能值产出和其他产业能值产出。种植业能值产出呈波动变化,2007年明显减少,从影响因素分析来看,主要受玉米减产所致。畜牧业及蚕茧和蜂蜜产业的能值产出2006年略有下降,但2007年又有增加,林业和渔业能值产出呈逐年上升趋势。从各产业能值产出所占比例来看,畜牧业能值产出比例最大,2005~2007年分别为74.722%、74.064%、76.570%,其次是种植业,林业能值产出高于渔业。

2.4 能值利用水平 能值密度、人均能值使用量、人均能值产出量3者结合可以反映一个地区农业生态系统的产业水平、集约化程度和产业效率。吉林省2005~2007年的能值密度、人均能值投入量与人均能值产出量呈逐年上升趋势,表明吉林省农业系统的产业水平、集约化程度和产业效率逐年得到改善。

2.5 能值环境评价指标 能值环境评价指标包括能值环境贡献率、环境负载率和能值可持续发展指数等,这些指标能够反映农业生态系统环境效益和可持续发展性能。环境贡献率是环境能值与总能值投入的比率,环境负载率是经济投入能值与不可更新资源能值的总和与可更新环境资源能值的比值,能值可持续发展指数是能值产出与环境负载率的比值。近3年,吉林省的环境贡献率逐年下降,这主要受自然环境的影响,降水量偏少,呈逐年下降的趋势;环境负载率逐年增大,分别为5.180、6.197、6.459,主要是因为不可更新辅助能值投入逐年加大,反映吉林省农业产值的增长主要依赖化石能源的贡献,因此对环境的压力也逐年增大;可持续发展性能有走势的趋弱,2007年有所改善,但是与2005年相比仍有一定的差距。

3 结论与讨论

吉林省2005~2007年农业系统在宏观层面逐步改善,能值产出率和人均能值产出量都呈逐年上升态势,但同时环境负载率也呈逐年上升趋势,表明吉林省3年来的农业产出

主要依赖化石能源的投入,环境负载率的逐年上升增大了农业环境的压力,会给农业生态环境带来不利影响,如农药化肥使用过量,造成农业面源污染加重,农业土壤退化,农业生态系统结构和功能失调等。吉林省应该调整农业投入结构,提高可更新资源的利用效率,逐步加大有机肥料的投入,改善整个农业生态系统的产业效益,使农业生态系统朝着有利环境友好、资源节约的方向发展。

Odum等提出的能值理论对于评价农业生态系统的可持续发展性能非常有效。但是,农业系统是一个复杂的复合系统,严格意义上讲,农业系统涵盖了社会-经济-生态复合系统,其分析过程非常繁杂,需要广泛的数据支撑。笔者从吉林省农业系统的角度出发,探讨了吉林省农业发展的可持续发展能力,因此,在分析过程中进行了适当的简化,主要在宏观层面上比较粗放的对吉林省农业的能值指标进行了计算和分析。结合吉林省有关文献资料,笔者的计算分析结果能够较为客观地反映吉林省近3年来的实际情况,表明能值理论对于分析吉林省农业可持续发展性能具有一定的现实意义。

参考文献

- [1] ODUM H T. Systems ecology: An introduction [M]. New York: John Wiley, 1983.
- [2] ODUM H T. Self-organization, transformity, and information [J]. Science, 1988, 242: 1132-1139.
- [3] ODUM E. Ecology and our endangered life support systems [M]. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, MA, 1989: 158.
- [4] ODUM H T. Environment accounting: Emery and environment decision making [M]. New York: John Wiley, 1996.
- [5] ODUM H T. Emery evaluation [C]//ULGIATI S, BROWN M T, GIAMPIETRO M, et al. Advances in energy studies. energy flows in ecology and eEconomy. MUSIS, Roma, 1998: 99-111.
- [6] ODUM H T, BROWN M T, WILLIAMS S B. Handbook of emery evaluations folios 1-4. Center for environmental policy [M]. University of Florida, Gainesville FL, 2000.
- [7] 蓝盛芳, 陈飞鹏, 刘新茂. 农业生态经济系统的能值分析 [J]. 生态科学, 1995 (2): 172.
- [8] LAN S F, ODUM HOWARD T, LIU X M. Energy flow and emery analysis of the agroecosystems of China [J]. Ecologic Science, 1998, 17 (1): 32-39.
- [9] 张耀辉, 蓝盛芳, 陈飞鹏. 海南省源环境与可持续发展的能值分析 [J]. 生态科学, 1998, 17 (2): 121-122.
- [10] 张耀辉, 蓝盛芳, 陈鹏飞. 海南省农业能值分析 [J]. 农村生态环境, 1999, 15 (1): 5-9.
- [11] 粟娟, 蓝盛芳. 评估森林综合效益的新方法——能值分析法 [J]. 世界林业研究, 2000, 13 (1): 32-37.
- [12] 隋春花, 蓝盛芳. 广州城市生态系统能值分析研究 [J]. 重庆环境科学, 2001, 23 (5): 4-6, 23.
- [13] 隋春花, 蓝盛芳. 广州与香港的环境经济能值分析 [J]. 重庆环境科学, 2003, 25 (1): 47-49.
- [14] 全川. 不可再生资源利用率度量指标研究 [J]. 自然资源学报, 2000, 15 (2): 123-127.
- [15] 李双成, 蔡运龙. 基于能值分析的土地可持续利用态势研究 [J]. 经济地理, 2002, 22 (3): 347-350.
- [16] 陆宏芳, 叶正, 赵新锋, 等. 城市可持续发展能力的能值评价新指标 [J]. 生态学报, 2003, 23 (7): 1363-1368.
- [17] 付晓, 吴刚, 刘阳. 生态学研究中的熵分析与能值分析理论 [J]. 生态学报, 2004, 24 (11): 2621-2626.
- [18] SHENG ZHAO, ZIZHEN LIB, WENLONG LIA. A modified method of ecological footprint calculation and its application [J]. Ecological Modelling, 2005, 185: 65-75.
- [19] 冯霄, 闵淑玲, 代玉利, 等. 多产品工业系统的能值分析 [J]. 过程工程学报, 2005, 5 (3): 317-321.
- [20] CHEN G Q, JIANG M M, CHEN B, et al. Emery analysis of Chinese agriculture [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 115: 161-173.
- [21] JIANG M M, CHEN B, ZHOU J B, et al. Emery account for biomass resource exploitation by agriculture in China [J]. Energy Policy, 2007, 35:

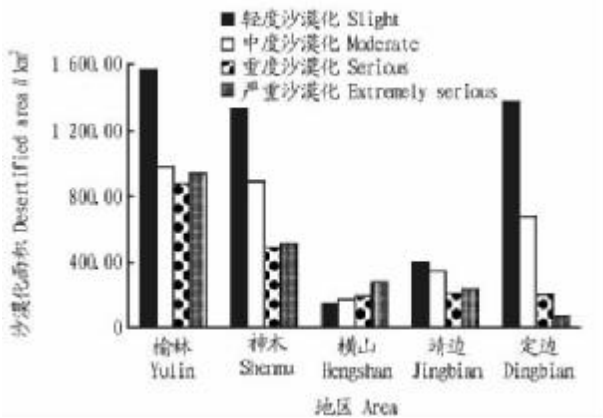


图 2 2005 年研究区各县(市)沙漠化面积

Fig. 2 Desertified area in studied counties (cities) in 2005

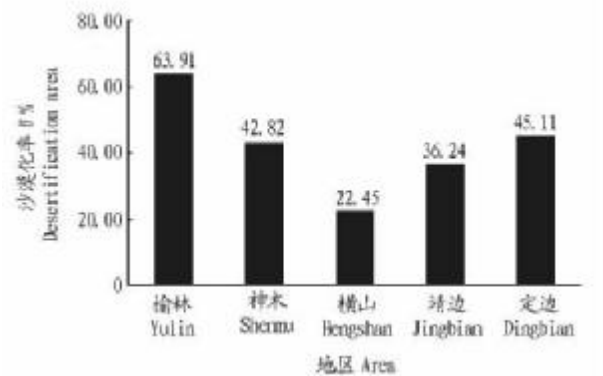


图 3 2005 年研究区各县(市)沙漠化率

Fig. 3 Desertification ratio in studied counties (cities) in 2005

4 结论

(1) 陕北长城沿线是农牧交错带沙漠化较为严重的地区之一,2005 年研究区沙漠化面积已达 11 879.17 km², 占监测区总面积的 45.2%, 以草场沙漠化为主。

(2) 在空间分布上, 沙漠化土地主要集中分布在研究区北部毛乌素沙地的东南部边缘。沙漠化最为严重的是榆林市, 较为严重的是定边县和神木县, 较轻的是靖边县和横山县, 其沙漠化率分别为 63.91%、45.11%、42.82%、36.24% 和 22.45%。

(3) 陕北长城沿线土地沙漠化是自然因素和人为因素共同作用的结果。近 30 年来气候暖干化趋势和人类对自然资源的过度利用促进了沙漠化的发展, 同时沙区人民与沙漠长期不懈的斗争引起沙漠化的逆转。

参考文献

[1] 朱震达. 中国北方沙漠化现状及发展趋势[J]. 中国沙漠, 1985, 5 (3): 3-11.
 [2] 朱震达. 中国沙漠、沙漠化、荒漠化及其治理的对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
 [3] 刘彦随, JAY GAO. 陕北长城沿线地区土地退化态势分析[J]. 地理学报, 2002, 57 (4): 443-450.
 [4] 全志杰, 王成吉, 王立宏, 等. 陕北榆林地区土地沙漠化动态遥感研究[J]. 生态学报, 1996, 15 (5): 23-26.
 [5] 高小红, 王一谋. 陕北长城沿线地区 1986~2000 年沙漠化动态变化分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25 (1): 63-67.
 [6] 王涛, 吴薇, 王熙章. 沙质荒漠化的遥感监测和评估[J]. 第四纪研究, 1998 (2): 108-201.
 [7] 徐小玲, 延军平. 毛乌素沙地的气候对全球气候变化的响应研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18 (1): 135-139.
 [8] 吴波, 慈龙骏. 50 年代以来毛乌素沙地荒漠化扩展及其原因[J]. 第四纪研究, 1998 (5): 165-172.
 [9] 杨伟, 王晓云. 陕北沙区综合治理技术措施[J]. 干旱区地理, 1999, 16 (4): 69-71.

(上接第 2775 页)

4704-4719.

[22] ZHANG L X, YANG Z F, CHEN G Q. Emery analysis of cropping-grazing system in Inner Mongolia Autonomous Region, China[J]. Energy Policy, 2007, 35: 3843-3855.
 [23] 张小洪, 蒋文举. 城市污水处理生态系统能值分析[J]. 生态学报, 2008, 28 (5): 2300-2308.
 [24] 吉林省统计局. 吉林省 2007 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. http://tjj.jl.gov.cn/tjgb/ndgb/200806/t20080611_406285.html.
 [25] 吉林省统计局. 吉林省 2006 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. http://tjj.jl.gov.cn/tjgb/ndgb/200806/t20080611_406283.html.
 [26] 吉林省统计局. 吉林省 2005 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. http://tjj.jl.gov.cn/tjgb/ndgb/200806/t20080611_406270.html.
 [27] 吉林省统计局. 2008 年吉林省统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
 [28] 吉林省统计局. 2007 年吉林省统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.

[29] 吉林省统计局. 2006 年吉林省统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
 [30] 吉林省统计局. 吉林省 2004 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. http://tjj.jl.gov.cn/tjgb/ndgb/200806/t20080611_406267.html.
 [31] 吉林省统计局. 吉林省 2003 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. http://tjj.jl.gov.cn/tjgb/ndgb/200806/t20080603_403091.html.
 [32] CAMPBELL D E, BRANDT-WILLIAMS S L, MARIA E A MEISCH. Environmental accounting using emery: Evaluation of the state of west virginia[M]. United States Environmental Protection Agency, 2005.
 [33] 郭军, 王竹, 杨月欣. 不同食物成分表或数据库中食物能量值的比较研究[J]. 卫生研究, 2005, 34 (5): 594-598.
 [34] 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.
 [35] 赵玉萍, 赵学勇, 左小安涛. 基于能值理论的奈曼旗农业生态经济系统可持续性分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27 (4): 563-571.
 [36] KAMPENG LEIA, WANG Z S. Emery synthesis and simulation for Ma-cao[J]. Energy, 2008, 3: 613-625.