

土地开发整理的生态足迹评价 ——以浙江省淳安县为例

王晓明¹, 许 玉¹, 钱 翌², 王秀珍³

(1. 新疆农业大学资源环境学院, 乌鲁木齐 830052;

2. 青岛科技大学环境与安全工程学院, 青岛 266042; 3. 浙江省气象科学研究所, 杭州 310004)

摘 要:对生态足迹模型方法的背景、理论和计算方法作了简要介绍, 并利用生态足迹模型对 1997 ~ 2003 年期间浙江省淳安县土地开发整理的效果进行了测算和评价, 结果表明开发整理使淳安县 2004 年生态足迹需求减少了 11.43 %。指出生态足迹分析方法对土地资源的生态价值评估具有重要意义, 可以对土地资源的合理高效利用起到指导决策的作用。

关键词:生态足迹; 可持续发展; 土地开发整理

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0192-03

Ecological Footprint Evaluation of Land Reclamation ——A Case Study in Chun 'an County, Zhejiang Province

WANG Xiao ming¹, XU Yu¹, QIAN Yi², WANG Xiu zhen³

(1. College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. College of Environment and Safety Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China;

3. Institute of Zhejiang Meteorology, Hangzhou 310004, China)

Abstract: Ecological footprint is a perfect method to measure regional sustainability. The back ground, theory and calculateing method of ecological footprint were presented. Using EF method, the effect of land reclamation in Chun 'an county was analyzed. The result indicated that land reclamation had decreased 11.43 % EF of Chun 'an county in 2004. It is point out that EF method will be more useful in measuring ecological value of land resource, therefore, the EF research will be helpful to decision-making in land using.

Key words: ecological footprint; sustainable development; land reclamation

土地开发整理, 包括土地开发、农用地整理、居民点整理, 是以未利用地或废弃居民点用地为对象, 整理增加耕地为目标的土地利用调整措施。除了直接的经济社会效益, 即增加耕地, 提高农业生产水平, 土地开发整理还会使生态环境发生变化, 并对区域的生态可持续发展水平产生影响。因此, 利用生态经济的方法对土地开发整理的这种影响进行评价十分必要。

1 研究进展

衡量可持续发展状态的方法, 一般包括系统化指标体系评价、经济发展指标评价以及生物物理量评价三大类。

系统化指标体系, 如中国科学院可持续发展研究组(1999)提出的“中国可持续发展指标体系”^[1]; 经济发展指标评价方法, 如 Daly 和 Cobb 提出的“可持续经济福利指数”(ISEW)^[2], Cobb 等提出的“真实发展指标”(GPI)^[3]等; 生物物理量评价如 Odum 的能值分析理论^[4], Constanza 等的

生态系统服务价值的评估研究^[5], 生态足迹也是其中具有代表性的一种生物物理评价模型。

生态足迹(ecological footprint, EF, 也译作生态空间占用)分析方法, 由加拿大生态经济学家 William Rees 等在 1992 年提出^[6], 在 1996 年和 Wackernagel 提出具体的计算方法^[7,8], 是近年来发展的测度生态可持续发展的定量方法, 是度量人类活动对生态系统的压力和影响的一条新途径。生态足迹模型提出后, 受到学术界的广泛关注, 在短时期内就不同的地域空间尺度、不同的社会领域进行了模型方法的运用和实践, 其理论方法和计算模型在迅速地发展和完善。关于生态足迹的研究逐渐成为生态经济和可持续发展的一个研究热点。

生态足迹概念 1999 年首次被介绍到国内, 国内学者对生态足迹指标的应用研究也逐步展开, 进行了逐步深入的研究。其中, 李利峰、杨开忠、张志强、谢高地等人分别介绍了生态足迹分析法的理论框架、指标体系和计算方法, 对其应

收稿日期: 2005-07-13

基金项目: 浙江省自然科学基金项目: 基于 GIS 技术的山区农业气候资源优化利用模式研究(302395); 浙江省科技计划项目: 农业宏观管理与决策信息化技术研究(021107751)

作者简介: 王晓明(1974 -), 男, 江苏南京人, 硕士研究生, 主要研究方向为资源与环境经济; 通讯作者: 钱翌(1962 -), 男, 浙江建德人, 主要研究方向为区域生态规划与评价。

用前景作出评价^[9~12]。此后,徐中民、成升魁等人先后以甘肃^[13]、新疆^[14]、北京、上海^[15]、以及青藏高原^[16]等地区作为研究区域开展了生态足迹指标的实证应用研究。

2 生态足迹概念及计算方法

2.1 概 念

生态足迹可定义为:“用生态空间面积来衡量人类对自然资本的消费,及自然系统能够持续提供的生态服务功能,从而对人类活动的可持续性进行评价的一种工具。”

生态足迹分析法的思路是,人类要维持生存必须消费各种产品、资源和服务,人类的每一项最终消费的量都可追溯到提供生产该消费所需的原始物质与能量的生态生产性土地面积。在一定技术条件下,某一物质消费水平下,要维持某一规模人口的持续生存必需的生态生产性土地的面积即为生态足迹,即生态足迹的需求。自然所能提供的为人类所利用的生态生产性土地面积是生态足迹的供给(即生态承载力)。

如果生态足迹的需求小于生态承载力,可判断人类经济社会的发展在自然生态系统能承受的最大限度之内(生态盈余);相反,如果需求大于供给,则认为人类社会的发展处于不可持续状态(生态赤字)。

2.2 计算方法

任何已知人口(某个个人、一个城市或一个国家)的生态足迹是生产这些人口所消费的资源 and 吸纳这些人口所产生的废弃物所需要的生物生产总面积。在生态足迹账户核算中,生物生产面积主要考虑 6 种类型:化石燃料土地、可耕地、林地、草场、建筑用地和水域。

生态足迹计算公式如下:

$$EF = N \times ef, ef = \sum_{i=1}^n aai = \sum_{i=1}^n (ci / pi)$$

式中:*i*——消费商品和投入的类型;*pi*——*i* 种消费商品的平均生产能力;*ci*——*i* 种商品的人均消费量;*aai*——人均 *i* 种交易商品折算的生物生产面积;*N*——人口数;*ef*——人均生态足迹;*EF*——总的生态足迹。

3 淳安县土地开发整理生态足迹评价

3.1 淳安县概况

淳安县隶属于杭州市,位于浙江省西部、钱塘江上游,西邻安徽省黄山市,东接桐庐、建德。全县总面积 4 418 km²,多为丘陵山地,植被多为亚热带阔叶林,雨量充沛,生态环境优良。1959 年新安江水电站建成后蓄水形成的千岛湖,位于淳安县内中东部,水面面积 533 km²,水质良好。2004 年末淳安县总人口 45.16 万人,其中非农业人口 6.63 万人,城镇居民人均可支配收入 10 862 元,农民人均纯收入 3 920 元,属于浙江省经济欠发达县。

3.2 淳安县 1997~2004 年的生态足迹计算

淳安县生态足迹计算包括两部分,即生物资源消费部分和能源消费部分。计算中所用到的生物资源全球平均产量数据,采取联合国粮农组织 1993 年有关生物资源的世界平均产量资料(表 1)。生物资源的消费数量,利用统计数据进行了贸易调整,其计算公式为:

$$C_i = P_i + I_i - E_i$$

式中:*C_i*——第 *i* 种生物资源的消费量,*P_i*——第 *i* 种资源的生产量,*I_i*——第 *i* 种资源的进口量,*E_i*——第 *i* 种资源的出口量。

对能源消费,按不同种类能源的热量折算系数和吸收 CO₂ 所需要的单位土地面积,来将不同种类的能源消费,换算成可以比较的统一的化石燃料土地面积(表 2)。

生物资源消费和能源消费计算得出的各种土地类型的生态足迹需求,利用均衡因子换算成为具有相同生态生产能力的生物生产性土地面积,合计得出总的人均生态足迹的需求面积。

根据淳安县 1996 年和 2004 年的统计年鉴的消费资料,分别计算出这两年的人均生态足迹。结果表明,1996~2004 年,淳安县人均生态足迹从 0.947 19 hm² 增加到 1.074 46 hm²,增长 0.127 27 hm²(表 4)。

淳安县生态承载力计算分别采用 1996 年和 2004 年的耕地、林地、建筑用地、水域的面积数据,用产量因子和均衡因子换算成为具有世界平均生产能力的生态生产性土地面积,并扣除为保持生物多样性所需的 12 % 面积,得到生态承载力面积。

生态承载力计算采用的产量因子,根据淳安县粮食、木材、水产的平均生产水平与世界平均产量的比值,淳安县产量因子的数据表明,淳安县各类生产性土地的生产能力均高于世界平均水平。计算的结果表明,1996~2004 年,淳安县人均生态承载力(生态足迹供给),从 1.076 94 hm² 下降到 1.012 19 hm²,年均下降 0.01 hm²(表 3)。

综合淳安县生态足迹需求和生态承载力计算的结果,1996~2004 年,淳安县生态足迹的供给和需求状况,发生了从生态盈余到生态赤字的逆转。1996 年,淳安县人均生态盈余为 0.129 75 hm²,到 2004 年,变成人均生态赤字 - 0.062 27 hm²,表明淳安县生态环境有劣变的趋势(表 4)。主要原因是实施“工业兴县”战略后,各种生物资源和能源的消费数量都大大增加,但承担生态生产功能的耕地、林地、水域却有面积不断缩减的趋势,造成在生态足迹需求上升的同时,生态承载力却逐步下降的局面。

表 1 淳安县 1996、2004 年生物资源消费生态足迹

消费种类	世界平均产量/(t·hm ⁻²)	1996 年总产量/t	2004 年总产量/t	1996 年人均生态足迹/hm ²	2004 年人均生态足迹/hm ²	土地类型
小麦	2.744	13664	3046	0.01111	0.00246	耕地
豆类	1.856	4838	6767	0.00582	0.00807	耕地
稻谷	2.744	82169	49906	0.06684	0.04027	耕地
玉米	2.744	14410	16207	0.01172	0.01308	耕地
番薯	12.607	15654	20121	0.00277	0.00353	耕地
油菜籽	1.856	5755	8912	0.00692	0.01063	耕地
花生	1.856	60	194	0.00007	0.00023	耕地
芝麻	1.856	302	490	0.00036	0.00058	耕地
蔬菜	18	82410	164822	0.01022	0.02028	耕地
茶叶	0.566	4015	3502	0.0005	0.0137	耕地
猪肉	0.074	4808	17000	0.01896	0.50869	草地
鸡肉	0.033	11320	1196	0.34143	0.08025	草地
蜂蜜	0.05	452	1704	0.03057	0.07546	草地
禽蛋	0.4	2363	3683	0.01319	0.02039	草地
水产	0.029	59.897	7550	0.00267	0.57648	水域
桑蚕	1	4430	4054	0.34095	0.00898	林地
柑橘	3.5	1982	31392	0.00442	0.01986	林地
西瓜	18	9864	12242	0.00629	0.00151	林地
油茶籽	1.6	1922	3680	0.00268	0.00509	林地
板栗	3	505	2598	0.00038	0.00192	林地
核桃	3	368	2143	0.00027	0.00158	林地
木材	1.99 *	198427 *	97100 *	0.22255	0.10804	林地

*单位为 m³。

3.3 土地开发整理的生态足迹评价

根据淳安县国土资源局的统计,1996~2004 年,淳安县共完成土地开发 426.63 hm²,废弃宅基地整理 13.18 hm²,标准农田建设(耕地整理)5 327 hm²,开发整理共新增耕地 497.13 hm²。新增耕地开发整理前均为未利用地或废弃宅基地,因此变为耕地后可视为新增生物生产土地,提高了淳

安县的生态承载力。由此可计算其对生态承载力的贡献,对开发整理进行生态足迹评价。

表 2 淳安县 1996、2004 年能源消费生态足迹

能源消费		1996 年总	2004 年总	折算系数/	全球平均足迹	1996 年人均	2004 年人均	土地类型
种类	消费量/t	消费量/t	(G·t ⁻¹) / (G·hm ⁻²)	足迹/hm ²	足迹/hm ²			
原煤	29235	117913.43	20.934	55	0.02484	0.09938	化石燃料土地	
焦炭	10349	6800	28.74	55	0.01207	0.00787	化石燃料土地	
原油	0	0	41.868	93	0.00000	0.00000	化石燃料土地	
汽油	815	4678.27	43.124	93	0.00084	0.00480	化石燃料土地	
柴油	1234	9356.55	42.705	93	0.00126	0.00951	化石燃料土地	
液化气	860	2023.08	50.2	71	0.00136	0.00317	化石燃料土地	
水电	21428.4 *	24800.1 *	11.84	1000	0.00057	0.00069	建筑用地	

*单位为万 kW·h。

表 3 淳安县 1996、2004 年生态承载力

土地类型	1996 年各类土地	2004 年各类土地	产量		均衡	1996 年人均生态	2004 年人均生态
	面积/hm ²	面积/hm ²	因子	因子	承载力/hm ²	承载力/hm ²	承载力/hm ²
耕地	18335.4	17272.01	2.3	2.8	0.26355	0.24630	
林地	309274.662	285969.34	1	1.1	0.75931	0.69655	
草地	0	0			0	0	
水域	58292.361	54066.39	4.7	0.2	0.12230	0.11254	
建筑用地	5471.064	6650.38	2.3	2.8	0.07864	0.09484	
吸收	0	0			0	0	
总供给					1.22380	1.15022	
扣除生物多样性用地(12%)					0.14686	0.13803	
承载力					1.07694	1.01219	

表 5 淳安县 1997~2004 年土地开发整理面积

年份	标准农田建设			废弃宅基地整理		土地开发		合计	
	整理面积	建成标准 农田面积	新增耕 地面积	整理 面积	新增耕 地面积	土地开 发面积	增加耕 地面积	开发整理 总面积	增加耕地 总面积
1997	0	0	0	9.5	9.5	24.33	24.33	33.83	33.83
1998	0	0	0	3	3	4.53	4.53	7.53	7.53
1999	7.47	7.47	1.39	0	0	103.27	103.27	110.74	104.66
2000	1170	848.72	14.26	0	0	53.75	53.75	1224.15	68.01
2001	916.6	642.26	4.68	0	0	135.23	135.23	1051.83	139.91
2002	862.4	478.81	9.75	0	0	44.47	44.31	906.87	54.06
2003	1515	929.34	12.74	0	0	24.77	24.77	1539.9	37.51
2004	855	425	14.66	0.68	0.68	36.28	36.28	891.95	51.62
合计	5327	3331.6	57.48	13.18	13.18	426.63	426.47	5766.8	497.13

(1)淳安县生态足迹需求中,耕地草地林地所占比重大,2004 年生态足迹中,耕地草地林地分别占到 29 %、31 %、15 %。但化石燃料土地面积增加最快,从 1996 年的 0.044 41 hm²增加到 2004 年的 0.137 20 hm²,增加了两倍多。

(2)经济社会进步会带来资源消费的快速增加,这种影响会体现在生态足迹的变化上。淳安县从 1996 年的生态盈

参考文献:

[1] 牛文元.持续发展导论[M].北京:科学出版社,1994.2-3.

[2] Cataned B E. An index of sustainable economic welfare (ISEW)for chile[J]. Ecological economics,1999,28:231-244.

[3] Hard P,Barg S,Hodge T,et al. Measuring sustainable development: Review of current practicee[R]. Occasional paper number 17,1997,11(HSD):1-2,49-51.

[4] 隋春花,张耀辉,蓝盛芳.环境-经济系统能值评介:介绍 Odum 的能值理论[J].重庆环境科学,1999,21(1):18-20.

[5] Robert Constonza,Ralph d,Arge,et al. The value of the world,s ecosystem servicee and natureal capital[J]. Nature,1997,vol 387,15.

[6] William E R. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what economics leave out[J]. Environ. urbon,1992,(4):121-130.

表 4 淳安县 1996、2004 年生态盈余(赤字)计算

土地类型	1996 年各类足迹	2004 年各类足迹	均衡	1996 年人均	2004 年人均
	需求面积/hm ²	需求面积/hm ²	因子	生态足迹/hm ²	生态足迹/hm ²
耕地	0.13529	0.11284	2.8	0.37882	0.31596
草地	0.38786	0.6848	0.5	0.19393	0.34240
林地	0.2366	0.14698	1.1	0.26026	0.16168
化石燃料土地	0.04037	0.12473	1.1	0.04441	0.13720
建筑用地	0.00057	0.00069	2.8	0.00159	0.00193
水域	0.34095	0.57648	0.2	0.06819	0.11530
合计				0.94719	1.07446
生态承载力				1.07694	1.01219
生态盈余(赤字)				0.12975	-0.06227

开发整理新增耕地均有配套农田水利设施,生产力水平相对较高,计算生态承载力时,采用淳安县平均的产量水平(产量因子),用均衡因子换算成生态生产性土地面积。

由此计算得出淳安县土地开发整理新增耕地提供了 2004 年人均生态承载力 1.012 19 hm² 中的 0.007 11 hm² (0.7 %),占当年人均生态赤字 - 0.062 27 hm² 的 11.43 %,即如果没有这些开发整理,淳安县 2004 年生态赤字还将增加 11.43 %。

4 结 论

通过以上对浙江省淳安县土地开发整理的生态足迹分析,可以得出以下结论:

余到 2004 年的生态赤字,清楚的表明,在生态足迹增加的同时,如果没有生态承载力的相应提高,区域的生产和消费活动会走向不可持续,生态环境也会发生相应的变化。

(3)土地开发整理能够使部分生态生产能力很低的未利用地转变为优质耕地,从而提高区域的生态生产力,进而增加生态承载力,减缓区域不可持续的发展,成为在淳安县特定环境条件下改善生态质量的有效措施之一。

等进行西南地区 R 值的估算时亦发现此修正模型的结果也不理想^[19]。

采取日雨量模型计算次/日降雨的 R 值时当雨量且雨型为长历时低强度降雨时,计算结果与基准值比较明显偏大,而当雨型为高强度短历时的暴雨时,日雨量模型计算结果较基准值又明显偏小。如 2000 年 7 月 16 日一次降雨产生的侵蚀力高达 $2\,220\text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$,而日雨量模型计算值则为 $741,1\,090,415$,明显偏小;而 2003 年各降雨雨型多为长历时低强度的降雨,从而三模型计算结果明显偏大,该年计算结果相对偏差系数分别高达 $0.84 \sim 1.46$ 。

3 结 论

本文利用河南省鲁山县水土保持科学试验站 4 年 49 次汛期降雨过程资料,计算了次降雨侵蚀力,累计得到各月侵蚀力值。该区域降雨侵蚀力最高值出现在 7 月份,平均为 $1\,071\text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$,占 5~9 月份降雨侵蚀力总值的参考文献:

30%;降雨侵蚀力月际间分布与降雨量的分布不一致,降雨侵蚀力的峰值较雨量出现提前一个月。

三个模型计算结果经与基准值比较分析,CREAMS 模型有效系数和相对偏差系数均较其它两个模型表现出较好的稳定性,模型有效系数与相对偏差系数分别 0.78 和 0.58 ($0.16 \sim 1.27$),表现出一定的稳定性。对于高强度短历时、低强度长历时的降雨雨型模型计算值分别大幅偏低、偏高。因此,应该根据区域多年降雨特性选择更加合适的回归参数,结果可能会更好些。总之,日雨量模型无论从其结构上还是资料的易得性看均具有较好开发应用前景,同时它还能反映降雨侵蚀力的年内分布,具有重要的实践意义。

同时应该指出的是,限于条件,本文仅摘取了 4 年的降雨资料,资料的周期太短可能会对研究结果有一定的影响。如卜兆宏研究发现多年平均降雨侵蚀力的计算应至少要求有 16 年的降雨资料,因此应利用对长周期资料并结合小区观测的流失量资料对 R 值及各模型的验证做进一步的研究。

- [1] 唐克丽,等. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004. 310 - 337.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A Guide to conservation planning[M]. Agriculture Handbook,1978. No.537. USDA.
- [3] Renard K G, et al. predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation(RUSLE)[R]. National Technical information Service, USDA,1997.
- [4] 贾志军,等. 晋西黄土丘陵区降雨侵蚀力 R 指标的确定[J]. 中国水土保持,1987,(6):18 - 20.
- [5] 张宪奎. 黑龙江省土壤流失预报方程中 R 指标的研究[A]. 水土保持科学理论与实践[M]. 北京:中国林业出版社,1992.
- [6] 卜兆宏,等. 降雨侵蚀力因子新算法的初步研究[J]. 土壤学报,1992,29(4):408 - 417.
- [7] 刘秉正. 渭北地区 R 值的计算与分布[J]. 西北林学院学报,1993,(2):21 - 29.
- [8] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律[J]. 中国水土保持,1994,(4):12 - 13
- [9] 周伏建,陈明华,林福兴,等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报,1995,9(1):13 - 18.
- [10] 王万中,焦菊英,郝小品. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布(II)[J]. 水土保持学报,1996,2(1):29 - 39.
- [11] 黄炎和,卢程隆,郑添发,等. 闽东南降雨侵蚀力指标 R 值的研究[J]. 水土保持学报,1992,6(4):1 - 5.
- [12] 谢云,刘宝元,章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):6 - 11.
- [13] Richardson C W, Foster G R, Wright D A. estimation of erosion index from daily rainfall amount[J]. Transactions American Society of Agricultural Engineers, 1983,26:153 - 157.
- [14] Elsenbeer H D,Classel W T. A daily rainfall erosivity model for Wester Amazonia[J].J. Soil and Water Conservation, 1993,48(5):439 - 444.
- [15] YU B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for Australian tropic[J]. Australian Journal of soil Research,1996,34:139 - 152.
- [16] 章文波,谢云,刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学,2002,22(6):705 - 711.
- [17] 郭新波,王兆骞,张如良. 浙江红壤地区降雨侵蚀力季节分布与日雨量模型研究[J]. 水土保持学报,2001,15(3):35 - 37.
- [18] 卜兆宏,等. 降雨侵蚀力因子的算法及其在土壤流失量监测中的选用[J]. 遥感技术与应用,1992,7(3):1 - 10.
- [19] 宁丽丹,石辉. 利用日降雨量资料估算西南地区的降雨侵蚀力[J]. 水土保持研究,2003,10(4):183 - 186.

(上接第 194 页)

- [7] Wackernagel M, William E R. Our Ecological footprints: reducing human impact on the earth[M]. Gabriol Island:New Society Publishers,1996.
- [8] Mathis. Wackernagel, William E. Rees. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital:Economics from a ecological footprint perspective[J]. Ecological Economics,1997(20):3 - 24.
- [9] 李利峰,成升魁. 生态占用—衡量可持续发展的新指标[J]. 资源科学,2000,15(4):375 - 382.
- [10] 杨开中,杨咏,陈洁. 生态足迹分析理论与方法[J]. 地球科学进展,2000,15(6):630 - 636.
- [11] 谢高地,鲁春霞,成升魁,等. 中国的生态空间用研究[J]. 资源科学,2001,23(6):20 - 23.
- [12] 徐中民,程国栋,张志强. 生态足迹方法:可持续性定量研究的新方法—以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例[J]. 生态学报,2001,21(9):1484 - 1490.
- [13] 徐中民,张志强,等. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. 地理学报,2000,(5):607 - 616.
- [14] 陈东景,徐中民. 生态足迹理论在我国干旱区的应用与探讨:以新疆为例[J]. 干旱区地理,2001,24(4):305 - 309.
- [15] 苏筠,成升魁,等. 大城市居民生活消费的生态占用初探:对北京、上海的案例研究[J]. 资源科学,2001,(6):24 - 28.
- [16] 鲁春霞,谢高地,等. 青藏高原自然资产利用的生态空间占用评价[J]. 资源科学,2001,(6):29 - 35.