

县域农业生态系统优化途径 ——以西藏山南地区加查县为例*

李祥妹, 刘 键, 刘刚才

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要: 在分析加查县农业生态环境主要问题基础上,立足自然、社会和生态因子评价县域农业生态系统现状,以生态经济理论为指导,结合加查县自然、社会特征探索了该县农业生态系统优化的思路和途径,包括产业、工程改良、管理等措施;从而有效减少区域水土流失,提高农业生态系统功能,为县域农业生态系统优化提供案例分析。

关键词: 农业生态系统; 优化途径; 加查县

中图分类号: S181 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2003)04-0176-04

Way of Optimizing Agricultural Ecosystem in County Region

—— A Case of Lhodak, Tibet

LI Xiang-mei, LIU Jian, LIU Gang-cai

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041)

Abstract According to analyzing the issues of agriculture ecosystem in Lhodak county, the paper assesses the functional situation of the county basing on natural, social and economical facts. Taking principle of ecological economics as fundamental, following the natural and social characters of Lhodak, the author advance some measures to improve the production of agriculture. These measures include industry, engineering, management and so on. At last, the author makes a systemic study about these measures and forecast their function. Based on these work, the author explore avenues to optimize the agriculture ecosystem.

Key words agricultural ecosystem; optimizing avenues; Lhodak County

农业生态系统是农业生物、人类和与之相联系的自然环境的有机结合,其产品包括粮食作物、纤维作物、作物基因资源等3类,提供的服务包括:维持有限的流域功能(渗透、流量控制、局部土地保护),提供对于农业重要的鸟类、授粉媒介、土壤微生物的生境,建立土壤有机质,吸收大气中的碳,提供就业等方面^[1],是人类生存的主要保障,也是人类文明发展的基本保障。然而随着人口增加和人类对农业生态系统开发利用力度的加大,农业生态系统中土壤退化、水质降低、生物多样性减少、农业可利用淡水减少等问题日益严重,如何优化农业生态系统功能,增加农业生态系统的生产能力,促进区域农业持续发展是当前区域发展研究的重要课题。文章以西藏自治区加查县为案例,在分析该县农业生态系统主要问题的基础上提出相应的优化措施。

加查县位于西藏山南地区中东部雅鲁藏布江中游下段,国土面积 4 493 km²^[2],2002年初实有耕地面积 1 594 hm²,人均耕地 0.14 hm²,高于西藏自治区和全国平均水平(全国平均值为 0.117 hm²,西藏平均值为 0.091 hm²),是西藏主要的农业县之一^[3]。该县属雅鲁藏布江中游宽谷区^[4],以半干旱温带高原气候为主,草地退化、土壤侵蚀、沙漠化等生态问题突出^[5,6]。变化的天气模式,侵蚀、轮作后养分损耗等导致的土壤退化,居民贫困、无保障的土地使用权等严重威胁着该县农业生态系统的安全性^[5,6]。文章针对加查县农业气候资源、土壤条件、人口、经济状况等基本要素,根据农业生态系统优化原理^[7],提出加查县农业生态系统优化途径,并预测优化后的效益。

1 加查县农业生态系统现状分析

农业生态系统由气候、土壤、植被等自然要素和人类经济活动、生产经营方式、社会制度等社会要素共同构成,水热状况、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、土壤质地等自然要素限制着作物的生长状况和产量,区域经济发展水平、土地利用方式、农村社会制度、所有制形式等社会要素影响着农业未来发展方向。

1.1 自然要素状况

(1)水热状况 加查县多年平均日照时数 2 567.2 h,日照百分率 64%,光照充足,有利于作物光合作用,但

* 收稿日期: 2003-04-22

基金项目: 国家自然科学基金“紫色土壤允许侵蚀原态定位研究”(编号: 40201029)项目资助

作者简介: 李祥妹,女,生于 1973 年,博士生,主要从事山地生态及区域开发方面的研究。

热量低, 多年年均气温 9.2°C , 无霜期短; 多年平均降水量 516.1 mm , 平均蒸发量 2119.2 mm , 为降水量的 4.1 倍, 农业生产受干旱影响大; 降水集中于 5~9 月, 占全年降水量的 90% 以上, 雨热同期, 对作物生长有利, 但多雨年份易造成洪涝灾害。

(2) 土壤条件。成土母质多为冲(洪)积物和残坡积物, 以棕壤、暗棕壤、灰褐土、暗褐土为主, 质地主要为轻中壤, 含部分砂壤, 土壤有机质积累多, 分解缓慢, 可利用率低; 分布在河流阶地上的耕地土层深厚, 可耕性强; 分布在洪积扇及河漫滩上的耕地含砾石多, 土壤保水保墒能力差。

(3) 植被状况。自然植被中灌木以西藏锦鸡儿、蔷薇、小叶杜鹃、兰花杜鹃、西藏狼牙刺等为优势种; 乔木主要有白桦、糙皮桦和大果圆柏; 草本有矮蒿草、苔草、萎陵菜等; 土地垦殖率为 10.3%, 人工植被以粮食和油料作物为主, 并有小面积果园、菜园, 其中粮食和油料的播种面积分别占耕地面积的 93% 和 7%, 作物品种以青稞、小麦、油菜和豆类为主, 复种指数 1.3; 果园种植核桃、苹果、梨等树种, 村落附近有少量花椒分布, 农用地植被结构单一, 耕地年作物覆盖率低, 耕地土壤沙化、水土流失严重, 农用地质量下降。

1.2 社会要素状况

(1) 农业人口增长过快。加查县为典型的农牧业县, 200 年年底全县共有 8 个农业村或半农业村, 农林牧业从业人员 5 892 人, 占全县从业人员比重的 96.6%; 农业人口比重大, 增长过快等给全县农业生态系统带来较大压力。自 1965 年以来加查县人口增长过快, 由 1965 年的 9 814 人增长至 2001 年的 17 705 人, 年平均增长速度 18.1‰, 大于西藏自治区平均人口增长率。耕地面积由 1440 hm^2 增至 2001 年的 1594 hm^2 , 耕地面积年平均增长速度为 3.1‰, 然而由于人口增长速度是耕地年平均增长速度的 5.8 倍, 人均耕地由 1965 年的 0.15 hm^2 减少至当前的 0.11 hm^2 , 人口的快速增长给当地的生态系统带来较大压力, 对农业生态系统内部结构的改变较大。

(2) 牲畜存栏数的快速增长。自 1965 年以来, 加查县牲畜存栏数有了较大的提高, 由 1965 年的 23.71 万 ssu* 增加到 2001 年的 36.38 万 ssu, 年平均增长速度为 13.06‰, 存栏牲畜的快速增长加剧了区域草地的压力, 造成区域生态系统的破坏。

(3) 种植业产值比重变化较大。加查县是以农业为主的农牧结合县, 1984 年全县农业产值中种植业产值比重为 32.8%, 2001 年这一比重为 67.6%, 调查中发现种植业产值比重的快速提高是以掠夺式利用土地资源, 特别是耕地资源为代价的, 造成了耕地肥力的明显下降。

2 加查县农业生态系统主要问题

全县农业平均单产谷物为 $4956.1\text{ kg}/\text{hm}^2$, 其产量在西藏和全国来说都较高, 然而由于耕地种养不善, 土地退化严重, 农业发展的可持续性受到威胁。农业生态系统抗干扰能力弱, 农业生产不稳定。综合分析加查县农业生态系统问题可以看出: 一方面自然因素的易变性及脆弱性决定了该县农业生态系统的脆弱性, 另一方面人类不合理利用自然资源又进一步加大了生态环境的脆弱性。

2.1 自然因子变率大, 农业自然灾害较多

加查县农业生产主要依赖自然条件, 因气候因子波动大, 导致农业自然灾害较多。该县多雨年份年降水量达 650 mm 以上, 少雨年份降水不足 350 mm, 降水总量相差 2 倍以上, 增加了防洪、抗旱设施的压力; 另一方面风、沙、雹、霜冻等灾害对农业影响也较大, 未来农业生态系统中应大力发展小型灌溉系统, 特别是在半干旱地区, 结合使用控制盐碱度、水涝和地表水污染的措施, 提高农业抗灾能力, 促进生态系统稳定性的提高。

2.2 耕地质量低, 土壤养分缺乏

加查县耕地主要分布在河谷沿岸及中山地区, 成土母质及土壤性状差别大。河流阶地上的耕地砾石含量虽少但以砂壤为主, 保墒力差; 河漫滩和冲洪积扇上的耕地砾石度高, 有机质分解慢, 不易耕种。此外, 还有部分耕地存在着土壤粘化、过碱等问题。全县农耕地土种以轻壤、中壤为主, 占全县耕地总面积的 58.01% 和 27.2%; 砾体和砾底土壤占全县耕地总面积的 72.58%, 因此, 农业生态系统中土壤改良任务重, 以加速土壤熟化、减少砾石为主。从土壤养分含量看, 全县耕地土壤中速效磷、速效钾、碱解氮的含量都在 3~4 级甚至 5 级以上土壤标准中, 土壤养分缺乏问题严重。

2.3 土地用养失调加剧了农业生态系统的脆弱性

加查县农业用地仅占全县国土总面积的 0.35%, 耕地中粮食作物播种面积比重达 93%, 以谷物为主, 占粮

* ssu 为标准牲畜单位, 绵羊 = 1, 山羊 = 0.9, 牛 = 5, 马 = 6, 骆驼 = 7 资料来源: 世界资源报告 2000~2001 年, 人类与生态——正在破碎的生命之网, 中国环境科学出版社, 2002 年 4 月。

食作物播种面积比重的99.6%,养地作物豆类仅占0.4%,土壤养分损失严重;青饲料、绿肥、园地等面积极小,作物结构单一,亩产较低,经济、生态效益都较差,土地经济密度仅85元/hm²。受利益驱使,居民在生产生活中对土地掠夺式经营,调查中发现加查县农村化肥施用量不足30 kg/hm²,有机肥不足500 kg/hm²,以低质草木灰为主,不利于本县土壤形状的改良,土壤养分得不到有效的补充,地力下降、水土流失、土地沙化、土壤有机质减少等问题突出。因上述因素,加查县农业生态系统中的生产力、生物多样性等正在下降,在全县人口持续增长情况下,生态系统安全得不到有效保障,区域可持续发展受到威胁,故优化农业生态系统,发展高效优质生态农业是区域生态环境建设的主要内容^[8]。因此,在该县进行综合自然资源管理,通过控制土壤侵蚀、植树、引入农林兼作制、有效水资源管理等方式建立可持续农业体系,进而优化农业生态系统意义重大。

3 农业生态系统优化措施与途径

基于上述分析,立足加查县自然、经济、社会现状,以改善农业生态环境目标,确立农业生态系统优化的途径及措施,包括工程建设、产业结构调整 and 加大管理力度3个方面^[9]。

3.1 工程建设措施

3.1.1 改良土壤,增强土地生产力 加查县熟化程度低,土壤物理分化强烈,粗骨性强,耕层薄,质地偏轻,保水保肥力差,河谷大都邻近高山,坡面堆积物广布,砾石含量高,土温和气温低,微生物活动弱,有机质积累明显且分解缓慢,故有效养分含量低。近年来豆类作物压缩,轮作困难,同时施肥不足,土壤养分消耗多,补充少,用养比例失调,肥力下降。故农业生态系统建设首先从土壤改良方面着手,加强土地建设,培肥地力。具体措施包括以下两个方面:

(1)平整土地,深耕改土,加速土壤熟化。在做好土地平整的基础上加强深耕,增施有机肥,过砂、过粘土壤掺粘掺沙,砾石多的土壤去石、熟土覆盖,加深活土层,改善土壤物理性状,提高土壤蓄水保墒能力,加速微生物的活动,促进养分转化,增强作物根系的吸收能力。

(2)土地培肥,增强土地生产力。土地肥力是决定土地生产力的主要因素,因此农耕地必须实行用地与养地作物轮作相结合,补给施肥与生物固氮相结合的方针,促进高产、稳产。包括广辟肥源,增施有机肥,搞好生物养地,做到用养结合和合理施用化肥3个方面。

3.1.2 加强农田基本建设,提高农业抗灾能力 加查县农业灾害主要有旱、涝、风、霜冻、雹等,由于农业基础设施较差,抗灾能力弱,粮食产量波动大。因此必须加强农田基本建设,包括以下措施:

(1)加强农田水利建设,提高灌溉程度。加查县现有水浇地1466.64 hm²,占耕地总面积的90.6%,除坝乡、崔久外,其它各乡镇皆有分布。然而由于现有灌溉水渠破坏严重,大部分水浇地旱季缺水,雨季易涝,影响农业生产。未来农业发展中应以保证水浇地为主,确保耕地获得良好的浇灌条件,建议配套田间毛渠442.55 km,新垦耕地191.30 hm²,提高现有耕地抵御洪涝灾害的能力,改善农业生态环境。

(2)加强农田防护林网建设。农田防护林网是减少农业风、雹、沙、寒冻等灾害的有效措施,加查县大风、霜冻、冰雹等灾害较多,给该县农业生产带来极大的危害。故应加强农田防护林网建设,减少风、沙、雹等对农田的危害,实现以林促农、以林促经的目标。

3.1.3 加大薪炭林建设力度,促进区域生态系统的良性循环 由于加查县缺少成规模的薪炭林,居民生活用能以牛羊粪、天然灌木林草和秸秆为主,一方面减少了有机肥的蓄积量,另一方面过度砍伐天然植被后造成了较为严重的沙化、水土流失等问题。大量秸秆作为生活燃料后限制了秸秆还田力度,影响了耕地地力的恢复。通过调查发现全县居民能源消费中有47.32%来自于薪柴,24.14%来自于牛羊粪便,28.13%来自秸秆,化石质能和电能所占比重不到0.5%。大量生物质能的应用对区域农业生态系统造成了不良影响。基于此,建议政府在未来农业生态系统建设中加大薪炭林建设力度,确保农村能源消费和有机肥还田。

3.2 产业结构调整措施

调整作物结构,用地、养地结合是农田生态系统优化的重要方面^[10],为实现加查县农业生态系统结构功能的总体提升,建议采取以下途径进行产业结构调整:

(1)增加青饲料、绿肥播种面积,提高复种指数。加查县耕地复种指数仅1.3,且复种作物以油菜为主,未来扩大青饲料、绿肥的播种面积有极大潜力。未来1年内力争使全县绿肥年播种面积保证在834.2 hm²左右,青饲料播种面积保证在1874.3 hm²左右,油料作物播种面积保证在200~300 hm²,全年耕地复种指数提高到1.6~1.8的水平,既可以做到用地养地相结合,又能增加饲草产量,在保证农牧民有足够粮食、油料的前提下,促进农区畜牧业的发展。

(2) 压缩谷物播种面积, 增加豆类等养地作物播种面积, 丰富农牧民食物结构, 改善农业生态环境。2001~2015 年间, 在考虑全县人口增长前提下, 争取使谷物在粮食作物播种面积中的比重由目前的 99.6% 下降到 85% 左右, 即保证在 1 430.3 hm² 的水平, 按谷物产 5 550 kg/hm² 计, 到 2015 年末保证人均拥有谷物 492 kg, 高于目前 (455.58 kg) 水平。提高豆类及其它粮食作物如马铃薯的播种面积比重, 在改善农牧民食物结构的同时改良土壤。

(3) 扩大园地比重, 提高耕地经济密度。在雅江河谷流域选择土地肥沃的地区开辟生态园地, 建田园式农业, 提高耕地单位面积产值。到 2015 年力争使园地面积达到 152.4 hm², 比重达到全县耕地总面积的 2%~3%, 增加蔬菜及特有物种的播种面积, 提高耕地产出值。

(4) 加强良种基地建设, 为农业生态环境改善提供条件。到 2015 年末力争在加查、安绕等农业基础条件好的乡镇建 80~100 hm² 良种基地, 繁育提纯优质小麦、青稞、早熟油菜、优质高产豆类、青饲等, 为本县农业生态系统优化提供良种。

3.3 加大管理力度, 确保各项措施顺利实施

随着人口的日益增长和消费的增加, 全球生态系统都面临着严重的危机, 加查县农业生态系统也不例外, 土地掠夺式经营、人口增长、水土流失、土地退化等问题日益严重。各项旨在优化农业生态系统的措施功效的发挥必须以高效的管理作为保障^[11]。根据调查, 建议采取以下管理措施:

(1) 土地综合管理制度。组织专业人员对全县土地 (特别是耕地) 质地进行全面调查, 由政府统一组织农牧民对退化土地进行有针对性改良, 制定有机肥还田和轮作、轮休制度, 用政府调控手段加强退化土地治理力度。

(2) 加强水资源利用管理力度。加查县农田水利措施基础较好, 但由于当前水资源利用管理不力, 渠系破坏严重, 农田灌溉中大水漫灌现象突出, 一方面增加了水利设施维修的投资, 另一方面不科学的灌溉方式增加了对土壤的破坏度, 加剧了土壤盐碱化趋势。建议政府制定切实可行的水利设施保护及水资源利用政策, 促进县域水资源合理、持续的利用。

(3) 协调、开拓农产品市场, 建立农产品营销体系。加查县是西藏农产品输出县, 然而由于广大农牧民缺乏必要的市场观念和及时的信息, 农产品销售价格、销路等都受到一定影响。建议政府加大组织和引导力度, 开拓市场, 拓宽县域农产品的销售渠道, 服务于县域农牧民利益。

4 效益分析

农业生态系统优化的目的是增加区域农业生产的抗灾能力, 稳定产量, 确保区域生态安全, 提高区域居民的生活质量和水平, 其社会、经济、生态效益都很显著。

4.1 经济效益

通过农业生态系统化, 加查县农业生产将会有较大提高。中低产田土改造、坡耕地改造、高效农地建设、宜农荒地开发等工程措施的实施, 大大地提高了加查县土地的生产能力, 保障了全县的农业生产。

产业结构的调整、管理水平的提高将增加县域资源的利用效率, 产生巨大的经济效益 (表 1)。

4.2 生态效益

加查县农业生态系统优化以改善农业生态环境, 增加农业收入、改良土地为目的, 通过建设生态防护林、改良土壤性质、调整种植业结构、增加复种指数等措施可以有效地减少土壤侵蚀, 按当前加查县水土流失现状和农业生态环境建设目标, 可减少水土流失面积约 505.21 hm², 若按原有平均侵蚀模数 3 000 t/km² 计, 每年可减少 15 156 t 土壤流失, 减少了泥沙对河流的淤积, 有利于区域农业可持续发展。

4.3 社会效益

农业生态系统优化改善了耕地的生产条件, 使其耕地宜种性增宽, 有利于种植业的调整, 促进了区域种植业发展的持续性; 随着各类市场的开拓及政府对市场组织能力的加强, 农产品的商品率将会有显著增加, 农牧民收入也会随之快速增长, 有利于农民安居乐业和社会稳定。总之, 通过农业生态系统优化, 加查县的农业基础得到加强, 农业生产将会有显著的提高, 对县域经济可持续发展意义重大。

表 1 加查县农作物产值增值估计

作物名称	播种面积 (hm ²)	总增产量 (t)	每 1hm ² 增产值 (元)	总增产值 (万元)
青稞	778.99	1402.18	4320.00	336.52
小麦	908.82	1022.41	2250.00	204.48
油菜	389.49	379.76	3510.00	136.71
其它	519.32	564.76	3262.50	169.42
总计	2596.61	3369.11		847.14

下转第 183 页

3.2 耗水量和需水量与潜在蒸散、水面蒸发之间的比较

由于两密度刺槐林均属成熟林,林冠基本郁闭,因此减少了水分蒸散,林地潜在蒸散量小于水面蒸发,两密度林木的蒸散量基本一致。通过人为给水,2001年试验地两密度刺槐林分植树带内的各月土壤水分条件均达到了当地适宜的土壤水分条件,故参考对林地蒸发量和林木蒸腾量的分析,通过气象数据,按实际林分叶面积和蒸散的动态过程,运用彭曼公式,对刺槐林分的需水量进行估算。

单株刺槐的日潜在蒸散量变化很大,这与气候有很大关系,特别是受降雨的影响很大。潜在蒸散量大时,说明该天天气极其干旱,反之潜在蒸散量小的时候,有可能是因为有降雨或是阴天,使得到达地面的辐射减少,因此林地的蒸散量也就相应减少。在降雨多的月份,两密度刺槐林分的需水量相应也大。由于潜在蒸散量受气候条件影响较大,而与水分条件的关系不大,因此两密度刺槐林分的潜在蒸散量比林分实际蒸散量大得多。

4 结论与建议

(1) 生长发育期内,在自然水分条件下,1.5 m² × 6 m 和 1.5 m² × 3 m 密度刺槐林分的耗水量差异不大,分别为 199.72 mm 和 196.57 mm;而在人为给水条件下,由于土壤水分含量发生了变化,因此两密度林分需水量之间的差异增大,分别为 430.44 mm 和 346.3 mm。

(2) 刺槐林分需水量在各月的分布不同。7-8 月由于降水量多,林木在此期间受土壤水分条件的影响较小,因此该月刺槐林分的需水量更接近于潜在蒸散量,明显大于其它月份。

(3) 从蒸散量的季节变化规律来看,两密度刺槐林分的趋势一致,都是与年降雨量以及土壤水分的季节变化基本同步的单峰曲线,其中 7 月份的蒸散量最大,其次是 8、9 月份,5、6 月份最少。

(4) 林木需水量和林木耗水量之间的结果不同,是由于林分土壤含水量不同造成的。

(5) 水分是制约黄土高原径流林业的关键因子,因此要应用各种集水措施来达到不同时间植被的适宜土壤水分含量,给植被提供最大的土壤水分,这样不仅有助于植物生长,而且可提高干旱地区的土壤水分利用效率。

参考文献:

- [1] 王斌瑞,王百田.黄土高原径流林业[M].北京:中国林业出版社,1996.
- [2] 刘昌明,于沪宁.土壤-作物-大气系统水分运动实验研究[M].北京:气象出版社,1997.
- [3] 陈玉民,等.中国主要作物需水量与灌溉[M].北京:水利出版社,1995.
- [4] 段爱旺.作物群体叶面积指数的确定[J].灌溉排水,1996,15(1):50-53.
- [5] 夏仁学,等.测定作物叶面积的方法[J].植物生理学通讯,1987(5):58-60.
- [6] 郭柯,等.植物剪枝蒸腾速率变化规律的初步研究[J].植物学报,1996,38(8):661-665.
- [7] 康绍忠,等.土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M].北京:水利电力出版社,1994.
- [8] 马雪华主编.森林水文学[M].北京:中国林业出版社,1995.141-160.
- [9] 程维汉,等.农田蒸发与作物耗水量研究[M].北京:气象出版社,1994.42-73.
- [10] 刘奉觉,等.林木蒸腾耗水测算方法的比较研究[J].林业科学,1997,33(2):117-126.
- [11] 王斌瑞,等.小型蒸发计在林地土壤蒸发中的应用[A].中国黄土高原治山项目合作研究论文集[C].北京:中国林业出版社,1995.53-58.

上接第 17 页

参考文献:

- [1] 联合国开发计划署,联合国环境规划署,世界银行,世界资源研究所编.世界资源报告 2000-2001年——人类与生态系统,正在破碎的生命之网[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [2] 西藏自治区统计局编.西藏统计年鉴 2002年[M].北京:中国统计出版社,2002.134-167.
- [3] 西藏山南地区气象局,西藏山南地区科学技术委员会编.西藏山南地区县级农业气候区划[M].北京:气象出版社,1995.
- [4] 郑度.青藏高原自然地理与系统研究[J].中国科学(D辑),1996,26(4):336-341.
- [5] 张建平,等.西藏自治区生态环境问题及对策[J].山地学报,2001,19(2):86-91.
- [6] 杨本津,刘厚田.西藏“一江两河”中部流域农业生态环境及其保护途径[J].环境科学研究,1997,10(1):46-51.
- [7] 黄高宝,等.甘肃黄土高原生态环境建设与农业可持续发展战略研究[J].水土保持学报,2002,16(1):16-19.
- [8] 陈怀生,杨惠民,等.粤北喀斯特山区水资源特点与开发利用研究[J].自然地理与环境研究,1992(3):94-95.
- [9] 何毓成.四川农业生态环境问题和可持续发展对策[J].山地学报,2000,18(6):543-546.
- [10] 徐振华,等.退耕还林可持续发展的系统思路[J].水土保持学报,2003,17(1):41-44.
- [11] 王伯伦,刘新安,王术,等.稻田生态系统的优化调节[J].资源科学,2001,23(6):36-40.