

# 基于投影寻踪技术的区域种植结构调整<sup>\*</sup>

时启军, 付强, 李天霄

(东北农业大学 水利与建筑学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:** 种植业结构调整是保障粮食安全的重要措施。针对种植结构调整中数据呈现出的复杂性特征, 通过采用投影寻踪技术分析处理其复杂系统的高维数据, 能够克服传统种植结构调整中目标单一、指标选取简单等弊端。首次将投影寻踪技术应用到种植结构调整中, 建立优化配置模型, 通过分析齐齐哈尔地区的数据, 得出当地种植结构调整后 2010 年、2030 年综合效益值分别增加了 13% 和 28%, 证明了将投影寻踪技术应用于种植结构调整是合理可行的, 拓宽了投影寻踪应用的新思路, 为种植结构研究以及农业水资源的合理利用提供理论依据。

**关键词:** 投影寻踪; 种植结构; 结构型节水; 优化配置; 综合效益

中图分类号: S344

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0215-05

## Regional Plant Structure Adjustment Based on Projection Pursuit Technology

SHI Qi-jun, FU Q iang, LI Tian-xiao

(College of Water Conservancy and Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** The plant structure adjustment is a key measure to safeguard food security. Due to the complexity characteristics of data in the plant structure adjustment, projection pursuit technology (PPT for short) is adopted to analyze high-dimension data of complex system and can overcome some disadvantages of traditional plant structure adjustment such as single goal and simple index selection. Optimal allocation model based on PPT is firstly established. According to the analysis data of Qiqihaer area, the value of comprehensive benefits of the year 2010 and the year 2030 are obtained, which will respectively increase by 13% and 28%. It proves that it is feasible to adopt PPT in plant structure adjustment. The new thinking on application of PPT is expanded. Therefore, the results can provide theoretical basis for plant structure research and reasonable utilization of agriculture water resources.

**Key words:** projection pursuit; plant structure; structured water saving; optimal allocation; comprehensive benefits

随着水资源的匮乏, 农业结构型节水的理念逐渐兴起, 即依据水资源和自然条件, 通过调整农业结构, 合理布局, 实现水资源与农业生产的最优耦合。李敏提出应用土地开发整理和优化种植结构相结合来提高经济效益<sup>[1]</sup>; 陈守煜、马建琴等提出作物种植结构的多目标模糊优化模型, 并用模糊定权的方法确定指标权重<sup>[2-4]</sup>; 周惠成等应用交互式模糊优化算法实现与决策者之间的反复协商, 取得满意结果<sup>[5]</sup>; 高明杰等构建了区域节水高效种植结构调整

的模糊优化模型, 并将其应用在华北水资源约束地区种植结构优化研究中<sup>[6]</sup>; 高波建立了多层次模糊优选模型, 并应用到水资源配置方案评价中<sup>[7]</sup>。

种植结构作为特定的系统, 其本身具有多功能性, 系统是多元的, 目标亦是多元的, 系统的元素之间存在复杂的关系, 只有应用高维数据(数组)才能全面地描述系统的结构。投影寻踪作为处理和分析高维数据的一种统计方法, 能够克服人为赋权的干扰, 把高维数据投影到低维空间(一维或二维)上, 并

\* 收稿日期: 2009-06-22

基金项目: 黑龙江省科技攻关项目(GB06B106-7)

作者简介: 时启军(1983-), 男, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事农业水资源优化利用与系统分析方面研究。E-mail: shiqijun177@163.com

通信作者: 付强(1973-), 男, 辽宁锦州人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水土资源系统分析、节水灌溉及农业系统工程建模与优化技术研究。E-mail: fuqiang@neau.edu.cn

在低维空间反映高维数据特征,从而达到在低维空间研究高维数据特性的目的,能够较好地解决复杂系统问题<sup>[8]</sup>。

本文针对种植结构复杂系统,分别以效益和作物为评价指标,采用两次投影寻踪技术分析探讨种植结构优化问题,以期得到最优的种植结构比例和最佳均衡的综合效益,为粮食增产提供决策依据。

## 1 基于投影寻踪技术的优化配置建模过程

### 1.1 样本评价指标值的归一化处理

某一地区种植的  $i$  种作物分别对社会、经济、生态效益产生影响,共有  $j$  个评价指标。为了消除各指标的量纲和统一各指标的变化范围,采用下式进行极值归一化处理:

对于越大越优的指标:

$$x(i, j) = \frac{x^*(i, j) - x_{\min}(i, j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (1)$$

对于越小越优的指标:

$$x(i, j) = \frac{x_{\max}(j) - x^*(i, j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (2)$$

式中:  $x^*(i, j)$  ——作物  $i$  的第  $j$  个指标值;  $x_{\max}(j)$ ,  $x_{\min}(j)$  ——第  $j$  个指标的最大值和最小值。

### 1.2 构造投影指标函数

投影寻踪方法就是把  $p$  维数据  $\{x(i, j) | j = 1, 2, \dots, p\}$  综合成以  $a = \{a(1), a(2), \dots, a(p)\}$  为投影方向的一维投影值:

$$z(i) = \sum_{j=1}^p a(j)x(i, j) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$Q(a) = SzDz \quad (4)$$

$$Dz = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p [R - r(i, j)] \cdot u[R - r(i, j)]$$

式中:  $a$  ——单位长度向量;  $Sz$  ——投影值  $Z(i)$  的标淮差;  $R$  ——局部密度的窗口半径。  $r(i, j)$  ——样本之间的距离;  $u[R - r(i, j)]$  ——单位阶跃函数, 当  $t \geq 0$  时, 其值为 1, 当  $t < 0$  时, 其值为 0。

### 1.3 优化投影指标函数

当各指标的样本集给定时, 投影指标函数只随投影方向  $a$  的变化而变化。不同的投影方向反映不同的数据结构特征, 最佳投影方向就是最大可能暴露高维数据特征结构的投影方向, 通过求解投影指标函数最大化问题来估计最佳投影方向:

$$\text{最大化目标函数: } \max Q(a) = Sz \cdot Dz \quad (5)$$

$$\text{约束条件: } s. t. \sum_{j=1}^p a^2(j) = 1 \quad (6)$$

这是一个以  $\{a(j) | j = 1, 2, \dots, p\}$  为优化变量的

复杂非线性优化问题, 采用基于实数编码的加速遗传算法来解决其高维全局寻优问题, 从而得出最佳投影方向(指标贡献率)与对应的投影值<sup>[9]</sup>。

### 1.4 建立优化配置模型

利用上述投影寻踪技术所得的指标贡献率, 参考文献[10]采用归一化处理, 将其转化为指标权重。以区域种植业综合效益最大为目标, 建立节水高效种植结构优化配置模型:

$$\max Z = \sum_{i=1}^n a_i b_i \quad (7)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n d_i b_i \leq Q \\ \sum_{i=1}^n b_i \leq M \\ (\min b)_i \leq b_i \\ b_i \geq 0; i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $a_i$  ——应用投影寻踪得到的作物  $i$  的综合效益最佳投影方向对应的权重;  $b_i$  ——作物  $i$  的最优种植面积 ( $\text{hm}^2$ );  $d_i$  ——作物  $i$  的毛灌溉定额 ( $\text{m}^3 / \text{hm}^2$ );  $Q$  ——农业灌溉可用水总量 ( $10^8 \text{ m}^3$ );  $M$  ——总播种面积 ( $\text{hm}^2$ );  $(\min b)_i$  ——作物  $i$  满足需求的最小种植面积 ( $\text{hm}^2$ );  $n$  ——作物种类。

## 2 实例分析

齐齐哈尔位于黑龙江省西部半干旱区, 年平均降水量 400 mm 左右, 多年平均蒸发量达 1 500 mm, 加上分布不均, 十年九春旱, 农业灌溉用水利用效率较低。因此, 改善农业用水结构, 进行节水型种植结构调整势在必行。

节水型种植结构调整的目的在于通过对区域用水结构进行调整、优化, 与农业产业经济发展相结合, 以最大限度地提高区域农业灌溉用水效益为基本目标, 实现区域社会、经济、生态三方面效益的协调统一, 充分高效地利用农业水资源, 解决区域农业水资源短缺问题。根据种植规模, 现选取水稻、小麦、玉米、其他粮食作物(高粱、豆类等)、蔬菜、油料、经济作物(甜菜、烟叶等)、其他等 8 个作物类别进行研究。

### 2.1 各效益指标的确定

种植业的综合效益包括社会效益、经济效益、生态环境效益三方面, 社会效益指标较难确定, 可采用概化原则抽象; 经济效益采用区域比较优势理论确定; 生态效益指标以环境效益及水分耦合度来反映。

(1) 社会效益评价指标。考虑作物对粮食安全(粮食自给率、商品率)、人民生活舒适度、农业机械化程度等几个方面的影响, 由文献[11]的排序矩阵,

利用投影寻踪方法, 可以得出 8 种作物的社会效益最佳投影方向:

$$e = (0.2744 \quad 0.2564 \quad 0.3738 \quad 0.3186 \quad 0.4592 \quad 0.2116 \quad 0.4589 \quad 0.3891)$$

(2) 经济效益评价指标。应用区域比较优势理论<sup>[11]</sup>进行经济指标的确定, 选取单产比较优势、规模比较优势两个指标:

单产比较优势:  $A_{kl} = \frac{Y_{kl}/Y_k}{Y/Y_l}$  (9)

规模比较优势:  $B_{kl} = \frac{S_{kl}/S_k}{S/S_l}$  (10)

式中:  $A_{kl}$  —— $k$  地区作物  $l$  的单产比较优势指数;  $Y_{kl}$  —— $k$  地区作物  $l$  的平均单产 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $Y_l$  ——全国作物  $l$  的平均单产 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $Y_k$  —— $k$  地区作

物单产 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $Y$  ——全国作物平均单产 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $B_{kl}$  —— $k$  地区作物  $l$  的规模比较优势指数;  $B_{kl}$  —— $k$  地区作物  $l$  的播种面积,  $\text{hm}^2$ ;  $S_k$  —— $k$  地区的面积(或总播种面积) ( $\text{hm}^2$ );  $S_l$  ——全国作物的  $l$  播种面积 ( $\text{hm}^2$ );  $S$  ——全国粮食播种面积(或总播种面积) ( $\text{hm}^2$ )。

(3) 生态效益评价指标。选取降水与需水耦合度、环境效益指数<sup>[6, 12]</sup>两个指标。

水分耦合度:  $f = P/W$  (11)

式中:  $P$  ——作物生育期间降水量 ( $\text{mm}$ );  $W$  ——作物生育期间需水量 ( $\text{mm}$ ); 根据多年平均进行计算。

借鉴文献[12]的环境效益并结合该地区作物冬季休闲、基本无复种等特点, 确定环境效益指数。综上, 得出各作物效益指标值见表 1。

表 1 各种作物效益指标值

效益指标		水稻	小麦	玉米	其他粮食作物	蔬菜	油料	经济作物	其他
经济效益	单产优势	1.90	1.40	1.70	1.30	0.80	1.00	1.10	0.90
	规模优势	1.30	1.10	1.20	1.30	1.10	1.80	1.20	1.10
生态效益	水分耦合度	0.68	0.79	0.73	0.53	0.69	0.76	0.67	0.76
	环境效益	1.99	1.57	1.30	2.07	0.49	2.21	0.91	0.86
社会效益		0.27	0.26	0.37	0.32	0.46	0.21	0.46	0.39

2.2 约束参数的确定

根据《黑龙江省统计年鉴》及《中国工程院重大咨询项目——中国农业需水与节水高效农业建设》<sup>[13]</sup>, 确定模型的约束条件见表 2、表 3。

3 优化结果及分析

采用基于实数编码的加速遗传算法对所建立的投影寻踪多目标优化模型进行求解, 选定父代初始种群规模为  $n = 400$ , 交叉概率  $p_c = 0.80$ , 变异概率  $p_m = 0.80$ , 优秀个体数目选定为 20 个,  $a = 0.05$ , 加速次数为 15 次, 得出最佳投影方向<sup>[14]</sup>, 见图 1。  
 $a = (0.3098 \quad 0.3587 \quad 0.2902 \quad 0.2499 \quad 0.4763 \quad 0.2611 \quad 0.4204 \quad 0.3960)$

将最佳投影方向, 即指标贡献率进行归一化处理得出权重, 带入公式(7), 得出 2010 年和 2030 年齐齐哈尔地区节水高效种植结构优化方案(见表 4), 进而求出不同年份的种植业综合效益值(见图 2)。

表 3 约束方程中相关参数

年份	人口/ 万人	农业灌溉可用 水量/ $10^8 \text{ m}^3$	总播种面积/ $10^4 \text{ hm}^2$	粮食需求量/ $10^8 \text{ kg}$							
				水稻	小麦	玉米	其他粮食	蔬菜	油料	经济作物	其他
现状年	563.20	11.10	180.00	-	-	-	-	-	-	-	-
2010 年	578.80	10.20	179.60	9.60	5.28	6.02	3.12	7.52	1.39	2.89	2.55
2030 年	590.00	9.80	178.50	10.62	5.84	6.66	3.48	7.67	1.77	4.72	3.24

$Z = (29.82 \quad 33.57 \quad 38.2)$

表 2 平水年农作物净灌溉定额及农作物灌溉定额、单产预测

作物	灌溉净定额/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	毛灌溉定额/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )		单产/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	
		2010 年	2030 年	2010 年	2030 年
水稻	1275	2833	2318	6424	7277
小麦	1275	2833	2318	3424	4705
玉米	1200	2666	2181	5541	7218
其他粮食	1275	2833	2318	2375	2703
蔬菜	3750	8333	6818	20120	22400
油料	1350	3000	2454	1948	2581
经济作物	1350	3000	2454	1248	1781
其他	1875	4166	3409	1325	1562

注: 由于灌溉水利用系数的提高, 2030 年灌溉定额比 2010 年会有所下降, 科技进步使作物单产提高。

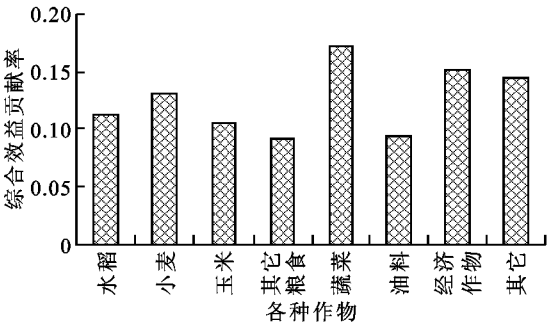


图 1 各作物综合效益指标贡献率

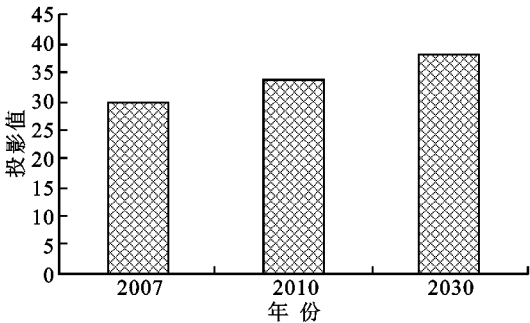


图 2 不同年份综合效益投影值

表 4 2010 年、2030 年齐齐哈尔地区种植结构调整优化结果

作物	现状播种	2010 年		2030 年	
	面积比例/ %	播种面积/ 10 <sup>5</sup> hm <sup>2</sup>	比例/ %	播种面积/ 10 <sup>5</sup> hm <sup>2</sup>	比例/ %
水 稻	8. 02	1. 94	10. 80	1. 89	10. 59
小 麦	1. 08	3. 40	18. 93	3. 30	18. 49
玉 米	40. 78	1. 88	10. 47	1. 86	10. 42
其他粮食	14. 80	2. 60	14. 48	2. 00	11. 20
蔬 菜	2. 08	0. 98	5. 46	1. 05	5. 88
油 料	7. 59	2. 48	13. 81	2. 86	16. 02
经济作物	14. 45	2. 54	14. 14	3. 20	17. 93
其 他	12. 17	2. 14	11. 92	1. 69	9. 47

从综合效益值的变化看出, 自基准年( 2007) 至 2010 年, 效益增加了 3. 75; 从 2010– 2030 年 20 a 的时间, 效益仅增加了 4. 63。说明了前期种植结构调整的潜力是很大的, 也反映了该区种植结构现状不合理; 后期潜力逐渐变弱, 说明经过一定调整后, 结构已趋于合理。

从表 4 可以看出, 在农业灌溉用水量减少的情况下<sup>[15]</sup>, 水稻的种植面积比例由 8. 02% 增加到 10. 8%, 虽然齐齐哈尔地区地处半干旱区, 但由于水资源的利用和开发尚处于初级阶段, 有较大的开发潜力<sup>[16]</sup>, 而水稻的种植在该地区有着较大的单产优势, 因此适当扩大水稻种植规模是可行的; 小麦水分耦合度较高, 未来全国需求量较大, 作为国家商品粮基地可以较快发展; 其他粮食作物包括高粱、豆类、薯类等单产优势和社会效益均较低, 因此要压缩种植面积; 蔬菜具有较高的社会效益, 作为生活必需品, 应扩大种植面积。以上分析与该地区实际情况相符, 并且符合种植业结构调整的发展态势, 因此将投影寻踪方法应用于种植结构调整是科学合理的。

4 结论与展望

本文针对种植结构调整所呈现的复杂数据特征, 将投影寻踪降维技术应用到齐齐哈尔地区种植结构调整中, 运用 Matlab7. 0 编程求解, 所得结果符合客观实际的发展态势。

(1) 计算得出, 种植结构优化后齐齐哈尔地区的种植业综合效益由现状年的 29. 8, 增加到 2010 年的 33. 6、2030 年的 38. 2, 增加比例分别为 13% 和 28%。由此也可以看出, 调整前期效益增加较为明显, 种植结构的调整是一个逐年寻优的过程。

(2) 投影寻踪技术的使用, 克服了主观赋予权重干扰, 解决了种植结构的复杂高维度问题, 将原始数据由 5 维降到 1 维, 能够直观地反映出复杂结构的特征。分析种植结构调整特点和投影寻踪技术优势可以看出, 采用投影寻踪技术解决种植结构调整问题, 具有很强的针对性, 而并非是盲目的。

(3) 在研究模式上, 首次应用投影寻踪技术建立了多目标优化模型, 先以效益为指标、作物为样本进行作物综合效益评价; 后以作物为指标、以年份为样本进行纵向比较, 是一种新的研究模式。通过模型求解, 得出了 2010 年、2030 年齐齐哈尔地区的种植结构比例, 可以为农业水资源的合理利用和粮食增产提供决策依据。

(4) 在农业灌溉水资源量减少的情况下, 通过种植结构的调整, 实现综合效益的增加是完全可行的。种植结构调整是项复杂的系统工程, 要考虑的影响因素还有很多, 需要进一步将经济、社会、生态环境各项效益具体化, 完善多目标种植结构调整模型。比如, 文中未考虑人为因素的干扰、水价等问题, 尚需作更深层探讨。

参考文献:

[ 1 ] 李敏, 赵小敏, 龚绍琦. 提高土地开发整理项目经济效益的途径[ J ]. 农业工程学报, 2004, 20( 3 ): 262-265.

[ 2 ] 邱林, 马建琴. 区域灌溉水资源优化分配模型及其应用[ J ]. 人民黄河, 1998, 20( 9 ): 15-18.

[ 3 ] 马建琴. 区域农业水资源优化模糊集分析及其应用研究[ D ]. 大连: 大连理工大学, 2003.

[ 4 ] 陈守煜, 马建琴, 张振伟. 作物种植结构多目标模糊优化模型与方法[ J ]. 大连理工大学学报, 2003, 43( 1 ): 12-15.

[ 5 ] 周惠成, 彭慧, 张弛, 等. 基于水资源合理利用的多目标农作物种植结构调整与评价[ J ]. 农业工程学报, 2007, 23( 9 ): 45-49.

[ 6 ] 高明杰, 罗其友. 水资源约束地区种植结构优化研究: 以华北地区为例[ J ]. 自然资源学报, 2008, 23( 2 ): 204-209.

[ 7 ] 高波, 徐建新, 班培莉. 基于模糊优选模型的水资源配置方案评价[ J ]. 灌溉排水学报, 2008, 27( 6 ): 58-60.

[ 8 ] 张礼兵, 程吉林, 金菊良. 农业灌溉水质评价的投影寻踪模型[ J ]. 农业工程学报, 2006, 22( 4 ): 15-18.

[ 9 ] 赵小勇, 付强, 邢贞相, 等. 投影寻踪模型的改进及其在生态农业建设综合评价中的应用[ J ]. 农业工程学报, 2006, 22( 5 ): 222-225.

[ 10 ] 杨晓华, 杨志峰, 酆建强. 区域水资源潜力综合评价的遗传投影寻踪方法[ J ]. 自然科学进展, 2003, 13( 5 ): 554-557.

[ 11 ] 宫飞. 华北地区结构型节水种植业模式及途经[ D ]. 北京: 中国农业大学, 2003.

[ 12 ] 高明杰. 区域节水型种植结构优化研究[ D ]. 北京: 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 2005.

[ 13 ] 石玉林, 卢良恕. 中国工程院重大咨询项目: 中国农业需水与节水高效农业建设[ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

[ 14 ] 封志明, 郑海霞, 刘宝勤. 基于遗传投影寻踪模型的农业水资源利用效率综合评价[ J ]. 农业工程学报, 2005, 21( 3 ): 66-70.

[ 15 ] 刘迪, 胡彩虹, 吴泽宁. 基于定额定量分析的农业用水需求预测研究[ J ]. 灌溉排水学报, 2008, 27( 6 ): 88-91.

[ 16 ] 贺延国, 付强, 邢贞相, 等. 东北半干旱抗旱灌溉区水资源可持续利用综合评价[ J ]. 东北农业大学学报, 2005, 36( 4 ): 498-502.

( 上接第 214 页 )

[ 34 ] 龙爱华, 徐中民, 程国栋. 河西走廊城市化与产业结构调整协调研究[ J ]. 中国软科学, 2002( 2 ): 98-101.

[ 35 ] 马国霞, 甘国辉, 田玉军. 水资源约束下的张掖绿洲城镇发展模式初步研究[ J ]. 中国沙漠, 2006( 3 ): 426-431.

[ 36 ] 樊自立, 徐曼, 马英杰, 等. 历史时期西北干旱区生态环境演变规律和驱动力[ J ]. 干旱区地理, 2005, 28( 6 ): 723-728.

[ 37 ] 刘蔚, 王涛, 郑航, 等. 黑河流域不同类型土地沙漠化驱动力分析[ J ]. 中国沙漠, 2008, 28( 4 ): 634-641.

[ 38 ] 张凯, 韩永翔, 张勃, 等. 基于水资源和气候系统变化影响下的黑河流域生态环境变迁研究[ J ]. 干旱地区农业研究, 2006, 24( 2 ): 159-163.

[ 39 ] 曹玲, 窦永祥, 张德玉. 气候变化对黑河流域生态环境的影响[ J ]. 干旱气象, 2003, 21( 4 ): 45-49.

[ 40 ] 马燕, 曹希强, 李志萍. 黑河下游额济纳地区环境演变及其驱动机制[ J ]. 气象与环境科学, 2008, 31( 3 ): 43-47.

[ 41 ] 蓝永超, 孙保沐, 丁永健, 等. 黑河流域生态环境变化及其影响因素分析[ J ]. 干旱区资源与环境, 2004, 18( 2 ): 74-77.

[ 42 ] 蓝永超, 丁永健, 刘进琪, 等. 全球气候变暖情景下黑河山区流域水资源的变化[ J ]. 中国沙漠, 2005, 25( 6 ): 863-868.

[ 43 ] 李林, 王振宇, 汪青春. 黑河上游地区气候变化对径流量的影响研究[ J ]. 地理科学, 2006, 26( 1 ): 40-46.

[ 44 ] 王乃昂, 颀耀文, 薛祥燕. 近 2000 年来人类活动对我国西部生态环境变化的影响[ J ]. 中国历史地理论丛, 2002, 17( 9 ): 12-19.

[ 45 ] 刘少玉, 张光辉, 张翠云, 等. 黑河流域水资源系统演变和人类活动影响[ J ]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38( 5 ): 806-819.