

近 20 年来黑河干流中游地区土地利用/覆被变化及驱动力定量研究

李传哲^{1,2}, 于福亮^{1,2}, 刘佳^{1,2}, 严登华^{1,2}, 周婷^{1,2}

(1. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038; 2. 水利部 水资源与水生态工程技术研究中心, 北京 100038)

摘要: 黑河干流水量统一调度实施后(即 2000 年以后),流域干流中游地区用水量在时空上进一步受到限制。为此,研究黑河干流中游地区土地利用/覆被变化过程及其驱动力,尤其是黑河水量统一调度以来的生态环境问题,对研究区可持续发展具有重要意义。研究表明:①研究区土地利用发生了较大变化,1985—2000 年,耕地、林地、城乡工矿居民用地逐渐增加,而草地、水域、未利用土地不断减少,2000—2005 年耕地、城乡工矿居民用地逐渐增加,而草地、林地、水域、未利用土地不断减少;②黑河流域干流水量统一调配以来,一方面研究区可用水量进一步减少,另一方面研究区耕地短时间增加较快,研究区生态环境有退化的迹象,草地、林地、水域面积呈现减少趋势,变化率分别为 2.14%、7.36% 和 3.69%;③1985—2000 年土地利用类型主要呈现耕地和城乡工矿居民用地、耕地和未利用土地之间的相互转换,草地转为耕地,2000—2005 年,土地利用类型主要呈现未利用土地转为耕地,草地和耕地之间相互转换;④土地利用程度变化存在明显的区域差异,以甘州区变化最大;⑤研究区土地利用/覆被变化的主要驱动力为社会经济因子,包括人口增长、经济社会发展等,2000 年黑河流域水量统一调配以后,中游可利用水量的约束直接影响着研究区的土地利用变化。

关键词: 土地利用/覆被变化;水量调度;黑河干流中游地区

中图分类号: F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1000-3037(2011)03-0353-11

人类活动深刻地改变着自然地理环境,土地利用是这种作用的主要形式,而其直接结果是地表覆被状况的改变^[1]。目前,人类面临的许多环境问题都与土地利用/覆被变化(Land Use/Cover Change,简称 LUCC)有关^[2]。在全球环境变化研究中,LUCC 研究具有特殊的重要意义:一方面为气候变化的全球和区域模式以及陆地生态系统模式提供情景;另一方面,有助于解释人地系统相互作用的内在机制。因此,LUCC 研究成为地理学综合研究的国际性前沿课题^[3]。

黑河是我国西北地区第二大内陆河,发源于祁连山,跨青海、甘肃、内蒙古三省(区),流域总面积达 $12.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,流域内有我国重要的国防科研基地,下游属少数民族地区,战略地位十分重要。由于水资源总量不足,黑河流域区域之间水事矛盾频发,自 20 世纪 60 年代以来,随着中游经济社会的发展,进入下游的水量逐渐减少,下游额济纳绿洲地区出现了河道断流加剧、湖泊干涸、地下水位下降、天然林大面积减少、草场严重退化、土地沙漠化加剧、沙尘暴肆虐等一系列生态环境问题。为此,1992 年国家计委批复了多年平均情况下的黑河

收稿日期: 2010-03-09; 修订日期: 2010-10-19。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2010CB951102); 国家科技支持计划项目(2007BAB28B01 和 2008BAB42B03); 国家自然科学基金项目(50709042)。

第一作者简介: 李传哲(1983-),男,湖北监利人,博士,主要从事水资源合理配置、土地利用/覆盖变化、气候变化的水文响应等方面的研究。E-mail: lichuanzhe@iwhr.com

干流水量分配方案,1997年水利部提出了不同来水情况下的黑河干流水量分配方案,并经国务院批复后由水利部转发甘、蒙两省(区)政府执行。针对日益严峻的流域生态恶化局面和突出的水事矛盾,2000年5月,党中央、国务院就黑河治理问题作了具体指示。同时,为实现黑河流域综合治理规划与张掖市社会经济持续发展的双赢,水利部结合全国节水型社会建设进程实践需求,将张掖市作为全国首个节水型社会建设试点,2002年《张掖市节水型社会建设试点方案》通过审批。自2000年水利部正式启动黑河省级分水工作以来,张掖市采取“全线闭口、集中下泄”的方式,连续多年全面完成了黑河水量调度工作。但另一方面,由于张掖市用水量在时空上进一步受到限制,也给其农业、生态环境造成了一些影响^[4-6]。

本文选取黑河干流中游地区的张掖市所属甘州区、临泽县和高台县为研究区,以遥感图像解译为基础,研究不同时期土地利用/覆被变化情况及驱动力,特别是研究评估黑河干流水量统一调配后的流域变化情况,对黑河干流中游地区生态经济系统的可持续发展及指导未来流域管理均具有重要意义。

1 研究区概况与数据来源

研究区位于东经 $98^{\circ}57' \sim 100^{\circ}52'$,北纬 $38^{\circ}39' \sim 39^{\circ}59'$,总面积 $9\,501.85\text{ km}^2$,年均降水量 $70 \sim 312\text{ mm}$,年均蒸发量 $1\,900 \sim 2\,300\text{ mm}$ 。截至2005年底,研究区总人口 80.80×10^4 人,2005年GDP为 77.42×10^8 元,其中第一、二、三产业增加值分别为 25.90×10^8 、 24.53×10^8 、 26.99×10^8 元。

本次研究采用的土地利用影像为1985、2000年2期Landsat TM遥感影像和2005年的CBERS遥感影像,其中1985年和2000年遥感影像波段组成为4、3、2(RGB)并已有解译成果,2005年的CBERS遥感影像在本次研究中基于ERDAS和ArcGIS平台解译完成,并利用2000年遥感影像进行纠正,解译精度约为91.7%。3期遥感影像时相均为6—10月。土地利用分类系统采用20世纪80年代以来的遥感解译分类系统,即土地利用类型包括耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地和未利用土地6类一级类型。

2 土地利用/覆被变化特征分析

2.1 土地利用变化的结构特征分析

本文利用不同时期土地利用/覆被变化面积变化幅度来揭示研究区土地利用变化的结构特征。基于ArcGIS平台空间分析与统计功能,按土地利用类型的分类分别进行计算和统计。研究区3期土地利用变化情况如表1所示。

(1) 研究区土地利用分类面积居前三位的始终是未利用土地、耕地和草地。

(2) 耕地面积由1985年的 $1\,749.65\text{ km}^2$ 增加到2005年的 $1\,848.35\text{ km}^2$,20 a间增加了 98.70 km^2 ,增加幅度5.64%。其中,2000—2005年,耕地面积增加了 44.14 km^2 ,与前15 a的总增长量相当。从耕地增长的分布区域看,临泽县、高台县是2000年后研究区耕地增长的主要区域,增长约 44 km^2 。

(3) 林地面积从1985年到2000年增加了 8.59 km^2 ,增加4.90%,2000年以后呈减少趋势,2005年林地面积 170.42 km^2 ,相比2000年减少 13.54 km^2 ,相比1985年减少 4.96 km^2 。林地中有林地和灌木林面积基本不变,疏林地和其他林地有不同程度的减少。

(4) 草地呈逐年减少趋势,1985年草地面积 $1\,402.13\text{ km}^2$,2005年草地面积 $1\,352.39\text{ km}^2$,减少 49.74 km^2 ,减少幅度3.55%。高覆盖度草地几乎没有什么变化,而中低

覆盖度草地分别减少 5.94 km² 和 43.09 km², 占草地总面积的 0.42% 和 3.07%。

(5) 水域总体面积减少, 1985 年水域面积 255.79 km², 2005 年水域面积 240.57 km², 20 a 间减少 15.22 km², 减少幅度 5.95%。水域面积减少主要体现在滩地减少 19.41 km², 滩地减少实际上是研究区内耕地向河流滩地扩展的结果。

(6) 城乡工矿居民用地面积逐年增加, 20 a 间增加 69.38 km², 增加幅度 49.31%。其中城镇用地增加 7.18 km², 增加幅度 59.14%, 农村居民点用地增加 55.49 km², 增加幅度 47.94%, 其他建设用地增加 6.70 km², 增加幅度 52.30%。城乡工矿居民用地后 5 a 的增加量几乎与前 15 a 的增加量相当, 表明后 5 a 来研究区的城市化进程加快。

(7) 未利用土地逐年减少, 由 1985 年的 5 778.19 km² 减少至 2005 年的 5 680.04 km², 20 a 间减少 98.15 km², 减少幅度 1.70%。沼泽地和裸岩石砾地基本上未发生变化, 沙地减少 22.65 km², 减少幅度 2.35%, 戈壁减少 52.03 km², 减少幅度 1.57%, 盐碱地减少 16.65 km², 减少幅度 4.38%, 裸土地减少 6.27 km², 减少幅度 3.44%。

表 1 1985—2005 年研究区土地利用变化

Table 1 Changes of land use in the study area from 1985 to 2005

	耕地	林地	草地	水域	城乡工矿居民用地	未利用土地
1985 年面积/km ²	1 749.65	175.38	1 402.13	255.79	140.70	5 778.19
2000 年面积/km ²	1 804.21	183.96	1 381.95	249.80	179.17	5 702.76
2005 年面积/km ²	1 848.35	170.42	1 352.39	240.57	210.08	5 680.04
1985—2000 年面积变化/km ²	54.56	8.59	-20.18	-6.00	38.47	-75.44
2000—2005 年面积变化/km ²	44.14	-13.54	-29.56	-9.23	30.91	-22.72
1985—2005 年面积变化/km ²	98.70	-4.96	-49.74	-15.22	69.38	-98.15
1985—2000 年变化率/%	3.12	4.90	-1.44	-2.35	27.34	-1.31
2000—2005 年变化率/%	2.45	-7.36	-2.14	-3.69	17.25	-0.40
1985—2005 年变化率/%	5.64	-2.83	-3.55	-5.95	49.31	-1.70

注: 本文只列出土地利用分大类的结果, 亚类由于篇幅所限不予列出。

总体而言, 1985—2005 年, 随着研究区经济快速发展和城市化进程的推进, 耕地、城乡工矿居民用地大量增加, 未利用土地被开发, 草地、林地和水域面积减少。尤其是 2000—2005 年, 经济社会的发展使研究区的土地利用结构发生较大的变化, 林地、草地和水域呈减少趋势。

2.2 土地利用变化的空间分布特征和变化方向分析

多度和重要度可分别用来定量表示土地利用空间分布特征和变化方向。多度表示土地利用变化过程中某种变化类型斑块数占有所有变化斑块数的比例, 如果值越大, 则该变化类型在空间分布上越广泛, 是一种常见的土地利用变化类型, 反之表示空间分布越稀少, 偶发性越强。多度计算公式为^[7]:

$$D = (N_i / N) \times 100\% \quad (1)$$

式中: i 为某种土地利用类型, D 为某种土地利用变化类型的多度, N_i 为 i 种土地利用变化类型的斑块数 (个), N 为区域土地类型变化的斑块总数 (个)。

重要度表示土地利用变化类型对于区域的重要程度, 是确定土地利用变化方向的重要依据。重要度计算公式为^[7]:

$$IV_i = D_i + P_i \quad (2)$$

式中: IV_i 为 i 类型土地利用变化的重要度, D_i 为 i 类型土地利用变化的多度, P_i 为 i 类型土地利用变化斑块面积与土地总面积的百分比。

从研究区土地利用变化的多度和重要度结果(表 2、表 3)可知,1985—2000 年,土地利用类型主要呈现耕地和城乡工矿居民用地、耕地和未利用土地之间的相互转换,草地转为耕地。耕地转为城乡工矿居民用地的重要度达 5.90%,城乡工矿居民用地转为耕地的重要度 5.02%,耕地转为未利用土地的重要度 4.76%。2000—2005 年,土地利用类型主要呈现未利用土地转为耕地,草地和耕地之间相互转换。未利用土地转为耕地的重要度 5.22%,耕地转为草地的重要度 4.31%,草地转为耕地的重要度 4.19%。究其原因,在靠近人类活动最强烈的区域,大量的草地和未利用地转化为耕地,同时,耕地也有部分转化为草地、林地、沙地和裸地等,但这部分面积较之其他土地利用类型转化为耕地的面积要小,这也是 2000—2005 年来研究区耕地增加的主要原因。

表 2 1985—2000 年研究区土地利用变化主要类型的多度和重要度(单位:%)

Table 2 The frequency and importance degree of the major types of land use change in the study area from 1985 to 2000

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	城乡工矿居民用地	未利用土地
耕地	-	1.45 (1.67)	3.07 (3.80)	1.47 (1.56)	5.47 (5.90)	4.16 (4.76)
林地	1.11 (1.21)	-	0.75 (0.79)	0.31 (0.37)	0.22 (0.22)	0.86 (0.88)
草地	3.86 (4.53)	0.69 (0.74)	-	1.14 (1.20)	0.44 (0.44)	2.85 (3.15)
水域	1.85 (1.93)	0.05 (0.05)	0.81 (0.84)	-	0.02 (0.02)	1.31 (1.37)
城乡工矿居民用地	4.93 (5.02)	0.20 (0.21)	0.22 (0.22)	0.06 (0.06)	-	0.23 (0.24)
未利用土地	3.03 (3.60)	0.74 (0.76)	2.17 (2.31)	1.05 (1.08)	0.28 (0.29)	-

注:括号内数据为重要度。

表 3 2000—2005 年研究区土地利用变化主要类型的多度和重要度(单位:%)

Table 3 The frequency and importance degree of the major types of land use change in the study area from 2000 to 2005

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	城乡工矿居民用地	未利用土地
耕地	-	1.29 (1.38)	3.81 (4.31)	1.22 (1.25)	2.87 (2.99)	2.82 (2.93)
林地	1.44 (1.58)	-	0.78 (0.82)	0.07 (0.07)	0.14 (0.14)	0.75 (0.76)
草地	3.39 (4.19)	1.08 (1.12)	-	0.71 (0.73)	0.26 (0.26)	2.56 (2.62)
水域	1.44 (1.58)	0.33 (0.37)	1.29 (1.31)	-	0.07 (0.07)	0.71 (0.72)
城乡工矿居民用地	1.62 (1.68)	0.19 (0.20)	0.49 (0.49)	0.02 (0.02)	-	0.16 (0.16)
未利用土地	4.37 (5.22)	0.84 (0.86)	3.46 (3.76)	0.94 (0.96)	0.28 (0.29)	-

注:括号内数据为重要度。

2.3 土地利用程度变化的时空特征分析

土地利用程度主要反映了土地利用的广度和深度,不仅反映了土地利用中土地本身的自然属性,同时也反映了人类因素和自然环境因素的综合效应。采用刘纪远^[8]提出的土地利用程度的综合分析方法,将土地利用程度按照土地自然综合体在社会因素影响下的自然平衡分为 4 级,并赋予分级指数(表 4),得出土地利用程度的定量化表达式。

表 4 土地利用程度分级赋值

Table 4 The valuation on each grade of land use degree

分级类型	未利用土地	林、草、水用地级	农业用地级	城镇聚落用地级
土地利用类型	未利用地或难利用地	林地、草地、水域	耕地、园地、人工草地	城镇、居民点及工矿交通用地
分级指数	1	2	3	4

土地利用程度综合指数计算公式为:

$$L_j = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (3)$$

式中: L_j 为某研究区域土地利用程度综合指数; A_i 为研究区域内第 i 级土地利用程度分级指数; C_i 为研究区域内第 i 级土地利用程度分级面积百分比; n 为土地利用程度分级数。

土地利用程度变化量 L_{b-a} 和变化率 R 计算公式为:

$$L_{b-a} = L_b - L_a = 100 \times \left[\sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ib}) - \sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ia}) \right] \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ib}) - \sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ia})}{\sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ia})} \quad (5)$$

式中: L_b 为 b 时间的区域土地利用程度综合指数; L_a 为 a 时间的区域土地利用程度综合指数; A_i 为第 i 级的土地利用程度分级指数; C_{ib} 为某区域 b 时间第 i 级土地利用程度面积百分比; C_{ia} 为某区域 a 时间第 i 级土地利用程度面积百分比。

土地利用程度及其变化量和变化率可定量地揭示该范围土地利用的综合水平和变化趋势,如果 $L_{b-a} > 0$ 或 $R > 0$,则区域土地利用处于发展期,否则处于调整期或衰退期。

如表 5 所示,20 a 来研究区土地利用程度有所上升,由 1985 年的 160.56 上升到 2005 年的 164.10,增加 3.53,说明研究区土地利用处于发展上升期。1985—2000 年研究区土地利用程度综合指数提高 2.19,而 2000—2005 年研究区土地利用程度综合指数提高 1.35,可见近年来对土地开发利用程度逐渐加大。土地利用程度变化在区域上存在着很大的差异,甘州、临泽和高台三县(区)中,经济相对落后的临泽县和高台县土地利用程度很接近,市区即甘州区土地利用程度高。可见,市区土地利用程度最高,接着是近郊,最后是相对偏远的县,呈中心极化式格局分布。

表 5 1985—2005 年研究区土地利用程度综合指数、变化量和变化率

Table 5 The comprehensive index, variable quantity and change rate of land use degree in the study area from 1985 to 2005

县区	土地利用程度综合指数			土地利用程度变化量			土地利用程度变化率		
	1985 年	2000 年	2005 年	1985—2000 年	2000—2005 年	1985—2005 年	1985—2000 年	2000—2005 年	1985—2005 年
甘州	192.88	195.73	197.76	2.85	2.04	4.88	0.015	0.010	0.025
临泽	148.00	150.30	151.39	2.30	1.10	3.39	0.016	0.007	0.023
高台	141.12	142.65	143.59	1.53	0.94	2.47	0.011	0.007	0.018
研究区	160.56	162.74	164.10	2.18	1.35	3.53	0.014	0.008	0.022

2.4 土地利用变化的区域差异分析

土地利用变化的区域差异可用相对土地利用变化率表示,即一定时间内某一区域的土地利用动态与整个区域土地利用动态之比,计算公式为^[7]:

$$R_{\text{相}} = \frac{R_{\text{局}}}{R_{\text{全}}} = \frac{|U_b - U_a|}{U_a} \bigg/ \frac{|C_b - C_a|}{C_a} = \frac{|U_b - U_a| \times C_a}{U_a \times |C_b - C_a|} \quad (6)$$

式中： $R_{\text{相}}$ 为相对土地利用变化率； $R_{\text{局}}$ 、 $R_{\text{全}}$ 分别为局部和整体的某一种土地利用类型的土地利用动态度； U_a 、 U_b 分别为研究初期及末期局部某一种土地利用类型的数量； C_a 、 C_b 分别为研究初期及末期整个区域某一种土地利用类型的数量。若 $R_{\text{相}} > 1$ ，表示该局部土地利用变化的幅度大于整体的变化幅度；若 $R_{\text{相}} < 1$ ，则反之。

如表 6 所示，1985—2005 年耕地相对变化率以高台县最大，为 2.27，甘州区最小，为 0.13；林地相对变化率以高台县最大，为 2.80，甘州区最小，为 0.43；草地相对变化率以临泽县最大，为 1.91，高台县最小，为 0.54；水域相对变化率以临泽县最大，为 2.24，甘州区最小，为 0.65；城乡工矿居民用地相对变化率以甘州区最大，为 1.41，高台县最小，为 0.24；未利用土地相对变化率以甘州区最大，为 1.54，高台县最小，为 0.79。

表 6 1985—2005 年各区县土地利用相对变化率

Table 6 The relative change rate of classified land-use in different counties from 1985 to 2005

土地利用类型	1985—2000 年			2000—2005 年			1985—2005 年		
	甘州	临泽	高台	甘州	临泽	高台	甘州	临泽	高台
耕地	0.16	2.01	2.08	0.10	1.67	2.43	0.13	1.88	2.27
林地	1.26	1.22	0.02	0.94	1.04	1.09	0.43	0.77	2.80
草地	1.29	2.99	0.15	0.93	1.21	0.99	1.07	1.91	0.54
水域	0.11	4.16	0.70	0.97	1.08	1.01	0.65	2.24	0.89
城乡工矿居民用地	1.30	0.94	0.28	1.45	0.26	0.23	1.41	0.63	0.24
未利用土地	1.59	0.86	0.79	1.38	1.05	0.78	1.54	0.91	0.79

2.5 土地利用变化的速度分析

单一土地利用动态度可定量描述区域一定时间范围内某种土地利用类型变化的速度，它对比较土地利用变化的区域变异和预测未来土地利用变化趋势都具有积极的作用。计算公式为^[7]：

$$R_{\text{单}} = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (7)$$

式中： U_a 、 U_b 分别为研究期初、末某一种土地利用类型的数量； T 为研究期时段长。当 T 设定为年时， $R_{\text{单}}$ 为研究时段内某一土地利用类型的年变化率。

综合土地利用动态度用于表征区域土地利用变化的速度，计算公式为^[7]：

$$R_{\text{总}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_i}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (8)$$

式中： LU_i 为研究初期第 i 类土地利用类型的面积； ΔLU_i 为第 i 类土地利用类型研究期末转为其它土地利用类型面积的绝对值； T 为研究时段。当 T 设定为年时， $R_{\text{总}}$ 为研究时段内某一土地利用类型的年变化。

如表 7 所示，1985—2005 年研究区土地利用变化最大的类型是城乡工矿居民用地，年变化率达到 2.47%，其次是耕地，年变化率为 0.28%，其他 4 种土地利用类型均有所减少，水域、草地、林地和未利用土地年变化率分别为 0.30%、0.18%、0.14% 和 0.08%。1985—2000 年研究区综合土地利用动态度为 0.200，2000—2005 年综合土地利用动态度为 0.343，

1985—2005 年综合土地利用动态度为 0.061。

表 7 1985—2005 年研究区土地利用年变化率(单位:%)

Table 7 The change rate of classified land use in the study area from 1985 to 2005

土地利用类型	1985—2000 年	2000—2005 年	1985—2005 年
耕地	0.21	0.49	0.28
林地	0.33	-1.47	-0.14
草地	-0.10	-0.43	-0.18
水域	-0.16	-0.74	-0.30
城乡工矿居民用地	1.82	3.45	2.47
未利用土地	-0.09	-0.08	-0.08

3 土地利用/覆被变化的驱动力定量分析

土地利用/覆被变化是各种驱动因素的综合结果,主要驱动因素包括土地利用的决策失误、社会经济发展、外界自然环境变化、人类活动影响等。在几十年甚至百年尺度上,自然因素引起的环境变化幅度相对较小,而人类活动产生的环境变化,在强度上甚至超过了自然因素引起的环境变化,成为主要因素^[9]。Kasperson 指出^[10]:“在环境典型带,土地利用/覆被动态变化中,人类方面的驱动力因素有:人口、技术水平、富裕程度、政治经济结构、信任与态度”。Ehrlich 等指出^[11],人口、富裕程度和技术是研究人类驱动力的主要方面。因此,本文根据因子分析方法的相关原理和要求,采用 1985—2005 年黑河中游地区统计年鉴资料,选取影响土地利用/覆盖变化的降水量、蒸发量、总人口、农业人口、农业总产值、粮食总产量、实际灌溉面积、大牲畜存栏数、GDP、人均 GDP、农民人均纯收入、粮食播种总面积、中游消耗水资源量等 13 个分析因子进行主成分分析。

根据 1985—2005 年黑河干流中游地区土地利用/覆被变化驱动力指标值建立 21×13 的原始指标矩阵 $\mathbf{x} = (x_{ij})_{n \times p}$ 。由于所选指标数据过分悬殊,为消除因此而导致的噪音影响,对原始数据进行标准化处理。根据相关矩阵可知,各因子间的相关性较好,适合用因子分析法提取综合因子。旋转前后各因子的特征值、贡献率和累积贡献率如表 8 所示。

表 8 总方差分解

Table 8 Total variance explained

因子	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	特征值	变量贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	变量贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	变量贡献率/%	累积贡献率/%
1	7.459	57.378	57.378	7.459	57.378	57.378	7.047	54.210	54.210
2	2.272	17.475	74.853	2.272	17.475	74.853	2.545	19.573	73.783
3	1.287	9.898	84.752	1.287	9.898	84.752	1.426	10.969	84.752
4	0.848	6.520	91.271						
5	0.686	5.278	96.549						
6	0.338	2.599	99.148						
7	0.058	0.447	99.595						
8	0.032	0.245	99.840						
9	0.013	0.098	99.937						
10	0.004	0.033	99.971						
11	0.002	0.019	99.989						
12	0.001	0.011	100.000						
13	1.773×10^{-5}	0.000	100.000						

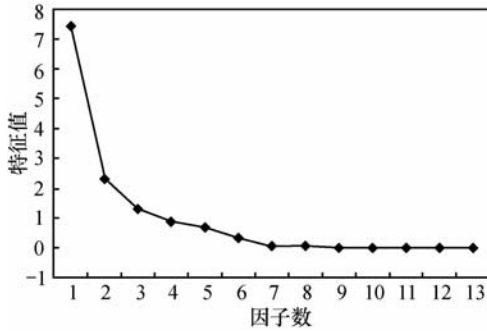


图1 因子碎石图

Fig. 1 Scree plot

因子分析中选取因子的两个原则:特征值大于1的因子;因子的累积贡献率大于或约等于85%。从表8和图1看出,选取前3个因子即可满足条件 $\sum_{j=1}^3 \lambda_j / \sum_{j=1}^{13} \lambda_j \approx 85\%$, 可以作为综合因子充分反映土地利用/覆被变化的驱动力情况。

提取的3个因子代表了13个因子的综合信息,因而很难命名。为此需对其旋转,使因子载荷值向两极端趋近,以明确各因子代表的含义。采用 Varimax with Kaiser Normalization 因子

旋转法对初始因子载荷矩阵施以25次的正交旋转。计算结果(表9)表明旋转后因子分类极其明确。同时由表8可知旋转前后综合因子代表的信息量始终满足约等于85%的要求,可认为旋转前后信息量没有损失。

表9 旋转因子载荷矩阵

Table 9 Rotated component matrix

指标	因子			旋转因子		
	1	2	3	1	2	3
降雨量	-0.090	0.441	-0.568	-0.145	0.161	0.692
蒸发量	-0.115	-0.245	0.862	-0.131	0.062	-0.892
总人口	0.984	0.068	-0.041	0.931	0.320	0.070
农业人口	0.523	0.669	0.227	0.305	0.823	0.044
农业总产值	0.984	-0.072	0.034	0.961	0.222	-0.051
粮食总产量	0.558	0.749	0.234	0.318	0.906	0.068
实际灌溉面积	0.967	-0.155	-0.013	0.970	0.126	-0.039
大牲畜存栏数	0.884	0.139	-0.187	0.831	0.303	0.231
GDP	0.965	-0.212	-0.064	0.988	0.057	-0.014
人均GDP	0.969	-0.195	-0.061	0.987	0.075	-0.010
农民人均纯收入	0.982	-0.113	0.022	0.970	0.181	-0.056
粮食播种总面积	-0.585	0.568	-0.076	-0.703	0.315	0.279
中游消耗水资源量	0.151	0.734	0.250	-0.070	0.785	0.045

由表9和图2可看出,旋转使因子载荷值向两极端趋近更为明显,利于综合因子的命名。第一主成分代表总人口、农业总产值、实际灌溉面积、大牲畜存栏数、GDP、人均GDP、农民人均纯收入和粮食播种总面积,占原始方差的54.210%,这些指标反映了人口、农业及经济发展水平,可概括为人口和经济因子的作用;第二主成分代表农业人口、粮食总产量和 中游消耗水资源量,占原始方差的19.573%,可概括为农业生产要素的作用;第三主成分代表降雨量、蒸发量,代表了水文气象等因素对土地利用变化的影响,可概括为自然条件因子的作用,占原始方差的10.969%。

由以上分析表明,研究区土地利用/覆被变化受到自然因子和社会经济因子的共同影响。第一主因子和第二主因子所代表的指标反映的都是社会经济因子,所以社会经济因子是土地利用/覆被变化的主要驱动力。自然因子对研究区土地利用/覆盖变化的驱动作用有限,人类活动对土地利用格局的影响力度与影响范围越来越大,人类活动比自然因子更能改变生物圈的状态和能量平衡。

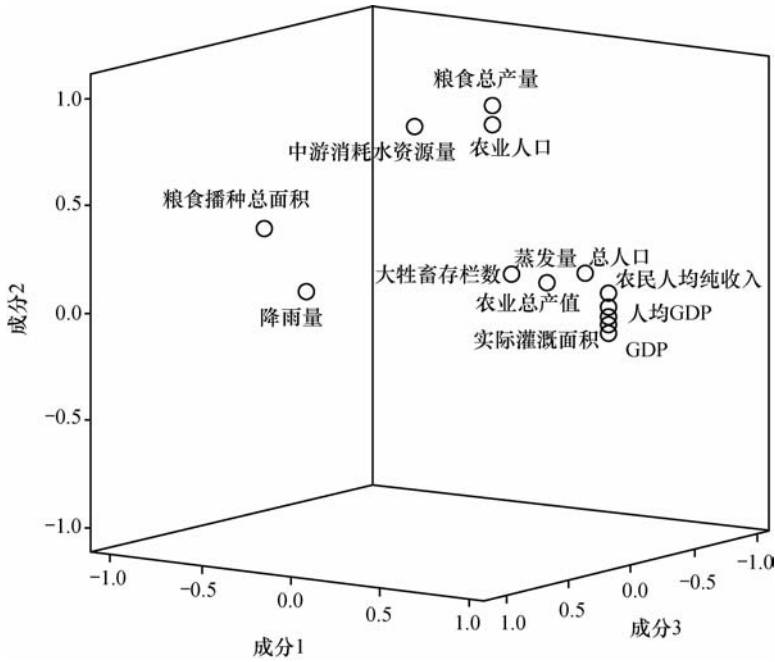


图 2 旋转因子载荷图

Fig. 2 Component plot in rotated space

人口因素对耕地面积的变化有很大的影响。依据张掖市历年统计年鉴,研究区 1985 年的总人口为 64.70×10^4 ,到 2005 年增长到 80.80×10^4 ,其中 1985—2000 年人口增长相对较快。1985—2005 年间耕地、城乡工矿居民用地面积增大,草地、林地、水域面积减少,这些变化归根结底是人口增加和经济发展需要的结果。一方面人口增加必然会导致城镇扩张,居民建筑用地和交通用地增加,驱动耕地、未利用土地向城乡工矿居民用地转换,另一方面社会经济发展促使人们不断开垦草地、林地、未利用土地以扩大耕地面积。但是人们对粮食需求的增多也会导致现有的耕地压力过大及其质量下降。随着科技的发展,越来越多的技术被应用到农业生产中,大大促进了农业土地的利用效率。这从一定程度上导致了农产品的增加而对耕地需求的减少。同时表现在农业内部结构上,就是科技进步导致人们越来越重视土地的经济效益,由于比较利益的原则人们更加倾向于能够给他们带来更多经济效益的行业,就有更多的耕地转为种植业。因此,近些年不断增强的人类活动是导致土地利用程度综合指数持续增大的重要原因。政策因素对于区域土地利用变化也具有显著的推动与影响,但由于政策因素难以量化进入区域土地利用变化的驱动模型,如何量化研究土地利用变化的政策驱动因素还有待于进一步的探索。

4 结论

(1) 1985—2005 年研究区土地利用结构发生了较大的变化。耕地、城乡工矿居民用地一直在增加,草地、水域、未利用土地一直在减少,林地 1985—2000 年在增加,而 2000—2005 年在减少。黑河干流水量统一调度以来,耕地和城乡工矿居民用地增加较快,林地、草地和水域面积减少。

(2) 1985—2005 年土地利用类型主要在耕地、城乡工矿居民用地和未利用土地之间转

换。特别是黑河干流水量统一调度以来,在靠近人类活动最强烈的区域,大量的草地和未利用土地转化为耕地是导致研究区 2000—2005 年来耕地增加的主要原因。

(3) 1985—2005 年研究区土地利用程度在上升,表明研究区土地利用处于发展上升期。黑河干流水量统一调度以来研究区土地利用程度综合指数提高的速度加快,表明近年来对土地开发利用程度逐渐加大。土地利用程度变化在区域上存在着很大的差异,经济相对落后的临泽和高台土地利用程度很接近,市区即甘州区土地利用程度高。市区土地利用程度最高,接着是近郊,最后是相对偏远的县市,呈中心极化式格局分布。

(4) 1985—2005 年研究区土地利用变化最大的类型是城乡工矿居民用地,其次是耕地,其他 4 种土地利用类型均有所减少。黑河干流水量统一调度以后的综合土地利用动态度高于之前的综合土地利用动态度,表明黑河干流水量统一调度以来研究区土地利用程度整体加大。

(5) 黑河流域干流水量统一调度以来,一方面研究区可利用水量进一步减少,地下水开采力度加大^[5],另一方面研究区耕地短时间较快增加,新增的耕地又需要灌溉,致使研究区草地、林地、水域面积呈现出退化的趋势,变化率分别为 2.14%、7.36% 和 3.69%。

(6) 对研究区土地利用/覆被变化的驱动因子分析表明,人为因素起主要作用。人口增长和社会经济发展一直是驱动研究区土地利用/覆被变化的根本因子,人口增加必然会导致城镇扩张,居民建筑用地和交通用地增加,驱动耕地、未利用土地向城乡工矿居民用地转换,社会经济发展促使人们不断开垦草地、林地、未利用土地以扩大耕地面积。黑河流域干流水量统一调度后,较大减少了流域中游地区水资源的可利用量,导致研究区草地、林地、水域相应退化,植被覆盖度降低。

(7) 黑河流域干流水量统一调度以后,研究区可利用水资源更为紧缺,为解决水资源带来的社会经济发展瓶颈制约问题,需要严格控制耕地发展规模,不能增加新的耕地面积;需要合理优化种植业内部的用地结构,以水定产业结构;还需要大力推进张掖市节水型社会建设。

参考文献 (References):

- [1] Tumer II B L, W C Clark, R W Kates, *et al.* The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere Over the Past 300 Years [M]. Cambridge University Press, 1990.
- [2] 刘彦随, 陈百明. 中国可持续发展问题与土地利用/覆被变化研究[J]. 地理研究, 2002, 21(3): 324-330. [LIU Yan-sui, CHEN Bai-ming. The study framework of land use/cover change based on sustainable development in China. *Geographical Research*, 2002, 21(3): 324-330.]
- [3] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 645-652. [CAI Yun-long. A study on land use/cover change: The need for a new integrated approach. *Geographical Research*, 2001, 20(6): 645-652.]
- [4] 张勃, 毛彦成, 柳景峰. 黑河中游土地利用/覆盖变化驱动力的定量分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(5): 726-730. [ZHANG Bo, MAO Yan-cheng, LIU Jing-feng. Analysis driving forces of LUCC in Heihe Middle Reaches. *Arid Land Geography*, 2006, 29(5): 726-730.]
- [5] 魏智, 金会军, 南永超, 等. 黑河分水对中下游水环境的影响[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(5): 34-36, 54. [WEI Zhi, JIN Hui-jun, NAN Yong-chao, *et al.* The effect on water environment in middle and downstream area of Heihe River after water allocation. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2007, 26(5): 34-36, 54.]
- [6] 魏智, 金会军, 蓝永超, 等. 黑河实施分水后中游灌区地下水资源量的变化分析[J]. 冰川冻土, 2008, 30(2): 343-350. [WEI Zhi, JIN Hui-jun, NAN Yong-chao, *et al.* Analysis of the change of groundwater resources due to water allocation in the irrigation areas of the middle Heihe River. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, 30(2): 344-350.]

- [7] 朱会义, 李秀彬, 何书金, 等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 253-260. [ZHU Hui-yi, LI Xiu-bin, HE Shu-jin, *et al.* Spatial and temporal analysis of land use change in Bohai Rim. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(3): 253-260.]
- [8] 刘纪远. 西藏自治区土地利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992. [LIU Ji-yuan. Tibet Autonomous Region Land Use. Beijing: Science Press, 1992.]
- [9] 李晓兵. 国际土地利用-土地覆盖变化的环境影响研究[J]. 地球科学进展, 1999, 14(4): 395-400. [LI Xiao-bing. International Research on environmental consequence of land use/cover change. *Advance in Earth Sciences*, 1999, 14(4): 395-400.]
- [10] 孙丹峰, 杨冀红, 刘喜顺. 高分辨率遥感卫星影像在土地利用分类及其变化监测的应用研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 160-164. [SUN Dan-feng, YANG Ji-hong, LIU Xi-shun. Application of high-spatial IKONOS remote sensing images in land use classification and change monitoring. *Transaction of the CSAE*, 2002, 18(2): 160-164.]
- [11] Ehrlich P R, Daily C C. Population extinction and saving bio-diversity [J]. *AMBIO*, 1993, 22(2/3): 64-68.

Research on Land Use/Cover Change and Its Driving Force in Midstream of the Heihe Mainstream Basin during the Past 20 Years

LI Chuan-zhe^{1,2}, YU Fu-liang^{1,2}, LIU Jia^{1,2}, YAN Deng-hua^{1,2}, ZHOU Ting^{1,2}

(1. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. Research Center of Water Resources & Ecology of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China)

Abstract: Since water allocation scheme in the Heihe River Basin (HRB) between Gansu Province and Inner Mongolia was executed after 2000, water use in the midstream in the HRB was limited by space-time restriction. Therefore, it is important to analyze the land use/cover change and driving force, and the problem of eco-environment. The results were as follows: 1) The land use structure changed greatly in the study area. From 1985 to 2000, farmland, woodland, residential and industrial land increased while grassland, water area and unused land decreased; from 2000 to 2005, farmland, residential and industrial land continued to increase, while the remaining land use types decreased. 2) Since the execution of the water allocation scheme in the HRB, the ecological environment deteriorated more quickly, the main reasons of which may be that the available water decreased and the farmland area increased quickly in such a short period. Grassland, woodland and water area decreased obviously, and the change ratios of grassland, woodland and water area were 2.14%, 7.36% and 3.69%, respectively. 3) From 1985 to 2000, the major patterns of land use change were mutual conversion of farmland and residential and industrial land, mutual conversion of farmland and unused land, the conversions of grassland to farmland; from 2000 to 2005, the major patterns of land use change were the conversions of unused land to farmland, mutual conversion of grassland and farmland. 4) There were obvious spatial differences in land use degree changes, and the greatest change took place in Ganzhou County. 5) The main forces of land use changes in the study area are population growth and economic development. However, the amount of the available water resources of the HRB influenced the land use changes more significantly after 2000.

Key words: land use/cover change; water regulation; midstream of Heihe mainstream basin