

水田化进程下挠力河流域耕地时空变化特征

李娜¹, 雷国平¹, 张慧¹, 周浩²

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 东北大学 土地管理研究所, 沈阳 110004)

摘要:以三江平原腹地挠力河流域为研究区,基于 1990 年、2002 年、2013 年 3 期遥感数据分析了该地区水田化进程中耕地时空变化特征,为耕地资源的利用与开发提供依据。结果表明:20 多年间流域耕地呈现不稳定增长态势,旱地和水田的变化趋势与耕地综合变化趋势不完全一致;1990—2002 年旱地变化幅度小,水田变化幅度大,2002—2013 年旱地面积比例由 44.57% 下降至 42.24%,水田继续保持增长趋势,但增长速度明显放缓;耕地转入上,流域耕地子类型的内部转换发生明显。旱地主要转入用地类型为未利用地、水田和林地,水田主要转入用地类型为旱地。耕地转出上,1990—2002 年流域的旱地水田流出以耕地内部转换为主,2002—2013 年旱地和水田的转出与 1990—2002 年转换趋势基本保持一致。

关键词:土地利用;遥感;挠力河流域;LUCC;耕地

中图分类号:F301.2; TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)05-0063-05

Spatial-Temporal Characteristics of Farmland due to the Paddy Field Expansion in Naolihe River Basin

LI Na¹, LEI Guoping¹, ZHANG Hui¹, ZHOU Hao²

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Land Management Institute, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Based on the remote sensing data in 1990, 2000, 2013, spatial and temporal change characteristics of the arable lands during the period of becoming paddy fields in the Naolihe River Basin of Sanjiang Plain are analyzed, aiming to provide the basis for the utilization and exploitation of the arable land resources. The results showed that it was unstable for the growth of the arable lands in the Naolihe River Basin during the 20 years, and change trend of the dry lands and paddy fields was not completely according with the comprehensive change trend of the arable lands; during the period from 1990 to 2002, change trend of the dry lands was small while paddy field was big, and during the period from 2002 to 2013, the dry land area declined from 44.57% to 42.24%, while the paddy fields kept to grow with obvious slowed speeds; on arable lands transfer in, the internal conversion among subtypes in the Naolihe River Basin was obvious. The newly increased dry lands were mainly the unutilized lands, paddy fields and forestlands, while dry lands were the resources of the increased paddy fields. On arable lands transfer out, during the period from 1990 to 2002, the transferred out dry lands and paddy fields in the Naolihe River Basin were mainly the internal conversion, and the transfer trend of the transferred out dry lands and paddy fields during the period from 2002 to 2013 were basically according with the situation during the period from 1990 to 2002.

Keywords: land use; remote sensing; Naolihe River Basin; LUCC; farmland

耕地作为农业生产中不可替代的物质资料,其数量、质量及空间分布体现了区域粮食安全程度,是维系经济发展的重要资源^[1]。我国人均耕地少、耕地质量总体偏低,近年来经济的快速发展导致出现一系列耕地不合理使用问题,使得耕地在数量和质量上压力

日益加剧。

流域作为比较完整和独立的土地利用系统,其土地利用变化具有自身内在的特点,但目前相关研究多从行政单元出发、研究尺度较大,且多侧重于土地利用或土地覆盖分类方面^[2-4],对流域垦殖变化过程及

收稿日期:2015-08-28

修回日期:2015-10-14

资助项目:黑国土科研“两大平原现代农业综合配套改革试验区土地管理制度创新研究”(201411)

第一作者:李娜(1989—),女,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,研究方向为土地利用规划与管理。E-mail:271494300@qq.com

通信作者:雷国平(1963—),男,黑龙江青冈人,教授,博士生导师,主要从事土地利用规划与管理研究。E-mail:guopinglei@126.com

机制研究较少。三江平原是全球变化最为敏感的区域之一^[5],位于其腹地的挠力河流域作为该平原土地开发历史最早的流域,是新中国成立以来最重要的垦区之一^[6],建国以来该地区农业开发活动非常活跃,经历了大规模的土地开发,尤其是1980年国家进入经济迅速发展时期后,地区由于过度追求粮食产量导致土地利用结构变化剧烈,生态环境持续恶化^[7]。20世纪90年代初期以来当地农业结构的调整促使大量易涝旱地转变为水田,造成流域水田面积骤增,作物结构单一,并由此引起一系列生态环境问题^[8],开展该地区垦殖过程研究具有重要的现实意义。

为深入了解该地区耕地资源现状及变化趋势,本文以20世纪90年代初当地农业结构的调整作为时间切入点,基于遥感和地理信息系统技术,结合马尔科夫转移矩阵、空间分析模型分析流域1990—2013年垦殖变化情况,并深入了解该流域耕地动态变化规律,为指导地区的农业经济发展提供依据。

1 研究区概况

挠力河流域位于黑龙江省三江平原境内,地理位置为 $131^{\circ}31'—134^{\circ}10'E$, $45^{\circ}43'—47^{\circ}45'N$,东南以完达山为界,东与乌苏里江相接,流域面积约为2.49万 km^2 ,其中耕地面积1.55万 km^2 (2013年),多分布于富锦市、饶河县和宝清县境内。目前该区已建成6个县、7个现代化农场,总人口达到125万人,其中农业人口占65.4%。流域地处半干旱地带,为中温带大陆性季风气候区,夏季高温多雨,冬季寒冷漫长,多年平均降水量518 mm,降水分布不均匀,主要集中于

6—9月份,春季干旱频繁,秋季又多洪涝灾害。流域地形上呈现西南高、东北低的态势,水系自西南流向东北。地貌类型主要由山地与平原两部分组成,山地占流域面积的38.3%,主要分布于流域西南部 and 南部,平原占61.7%,主要分布于流域北部和中部的内、外七星河及挠力河中游地区^[7]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

研究中涉及的遥感影像共3期,分别为1990年、2002年、2013年,为美国陆地资源卫星Landsat TM/OLI多光谱遥感影像,数据源来自美国地质勘探局USGS,研究区属中温带大陆季风气候区且范围大,选用不同卫星数字产品;1990年、2002年影像数据均采用Landsat TM四景遥感影像,空间分辨率30 m,考虑到部分影像在6—10月期间云量过高且清晰度不够,研究将时间约束前后各推1年,以便在不影响最终判定结果的基础上获得较为清晰的影像数据;2013年影像数据采用Landsat 8 OLI四景影像,云量均维持在1%以下。经几何纠正及RGB假彩色的合成,参照全国土地利用分类体系,确定该地区土地利用类型为耕地(包括旱地和水田)、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6大类。根据不同土地利用类型的影像色调、纹理等特征建立解译标志,参照流域地形图、各种历史资料配合进行人工目视解译,将所得数据查错、修改和拼接,并采用Google Earth软件进行精度验证($Kappa=0.874$),最终得到流域3期土地利用数据,之后对流域耕地分布信息进行提取,结果如图1所示。

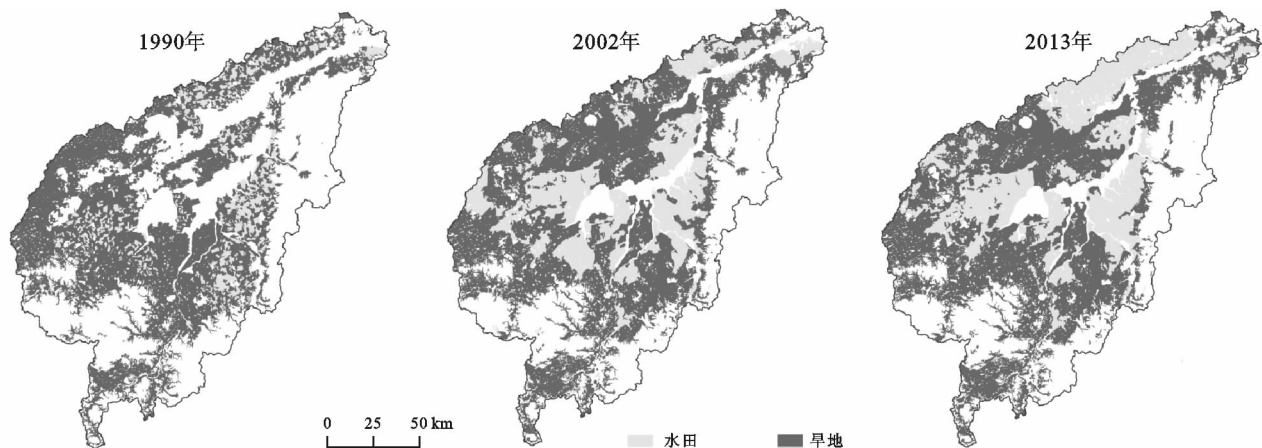


图1 挠力河流域3期耕地分布

2.2 研究方法

时间单元上,本文研究时间段为1990—2013年,为了解当地水田化进程中耕地在不同时间段内变化情况,研究采用3期土地利用数据,将研究期共划分为两个时间段:第一阶段1990—2002年;第二阶段2002—2013年,研究流域在整个研究期和各个时间

段的动态变化情况。

在自然和人为因素影响下,区域时间段、空间位置存在差异,其耕地变化幅度和速度是不同的,变化幅度为研究时段初、末的面积差值,变化速度可以用动态度模型进行定量描述,而相对变化率常用来反映土地利用变化的区域差异^[2],二者计算公式如下:

$$K=\frac{(U_b-U_a)}{U_a}\cdot\frac{1}{T}\times100\%$$

(1)

式中: K 为耕地动态变化度; U_a 和 U_b 为研究时段初、末的面积(km^2); T 为研究时段长度(a)。

为分析各土地利用类型变化对旱地和水田的转化影响程度,研究借鉴经济学中的贡献率指标概念对转化影响程度进行衡量,公式如下^[4]:

$$K_{m-n}=\frac{I_{m-n}}{\Delta I_n}\quad(I_{m-n}\leq\Delta I_n)$$

(2)

式中: K_{m-n} 为土地利用类型 m 转化为 n 的贡献率(%); I_{m-n} 为土地利用类型 m 转化为 n 的面积(km^2); ΔI_n 为转入土地利用类型 n 的面积之和(km^2)。

3 结果与分析

3.1 耕地数量总体变化特征

研究利用 ArcGIS 9.3 软件平台,对挠力河流域耕地面积信息进行汇总统计(表 1),结果显示,23 年间该流域耕地变化极其剧烈。受自然条件、政策因素等影响,研究期内流域耕地面积呈现不稳定增长态势。1990 年流域耕地面积为 12 398 km^2 ,至 2002 年,面积增加了 3 019 km^2 ,达到 15 417 km^2 ,其对应垦殖率(即区域耕地面积占土地总面积的比例)增加了 12.75 个百分点,由 52.35% 上升到 65.10%,耕地年变化率达到 1.06%,增长幅度非常明显;但随着未利用地和滩涂用地的逐渐开发殆尽,耕地后备资源逐年减少,2002—2013 年流域耕地增长幅度相对较小,11 年间耕地仅增加 108 km^2 ,耕地年增加量约 10 km^2 ,垦殖率仅上升了 0.45 个百分点,达到 2013 年的 65.55%。

耕地子类型上,研究期不同时间段内的旱地和水田变化趋势与耕地综合变化趋势不完全吻合。1990—2002 年,旱地变化幅度非常小,12 年间仅增加 123 km^2 ,对应年变化率为 0.04%,其相对面积比例仅由 1990 年的 44.05% 上升至 2002 年的 44.57%。与之对应的是该时间段内水田变化幅度非常大,1990 年,水田面积仅为 1 965 km^2 ,2002 年其面积达到 4 862 km^2 ,年变化量为 242 km^2 ,相对面积比例由 1990 年的 8.30% 上升至 2002 年的 20.53%,增加了 12.23 个百分点,该时间段内水田年变化比例最大,达到 1.02%;与 1990—2002 年时间段不同的是,2002—2013 年耕地子类型间呈现相反的变化趋势,其中旱地下降了 551 km^2 ,相对面积比例也由 44.57% 下降为 2013 年的 42.24%,水田继续保持增长趋势,但增长速度明显放缓,11 年间其面积增加了 659 km^2 ,相对面积比例上升了 2.78%,年变化量降至 60 km^2 。20 世纪 90 年代初期以来,挠力河流域大

规模推广“旱改水”的“以稻治涝”种植模式,大量的旱田被垦殖为水田,水田增长幅度非常明显,并给当地带来了大量经济效益,但水田面积的过度扩张导致的农业灌溉用水供应不足、土壤盐渍化严重等负面因素会抑制水田的扩张,由此导致两个时间段内耕地子类型变化态势差异较大。

表 1 挠力河流域 3 期耕地变化情况

年份	耕地类型	面积/ km^2	所占比重/%	年变化量/ km^2	年变化率/%
1990	旱地	10432	44.05		
	水田	1965	8.30		
	合计	12398	52.35		
2002	旱地	10555	44.57	10	0.04
	水田	4862	20.53	241	1.02
	合计	15417	65.10	252	1.06
2013	旱地	10004	42.24	-50	-0.21
	水田	5521	23.31	60	0.25
	合计	15525	65.55	10	0.04

土地利用变化动态度能从另一角度上反映土地利用类型的变化趋势。对研究期内 1990—2002 年、2002—2013 年、1990—2013 年 3 个时间段的耕地变化动态度(包括耕地及其子类型)进行计算(图 2)。结果显示,流域不同时间段内耕地变化动态度差异大。1990—2002 年,耕地子类型中旱地动态度仅 0.10%,2002—2013 年变为-5.22%,水田在不同时间段内均呈现较为明显的上涨态势,在 1990—2002 年,其动态度在各时间段的耕地子类型中达到最高的 12.29%,反映了 20 多年间流域水田化现象十分明显。与耕地子类型变化动态度的变化幅度不同的是,耕地的综合动态度变化相对较为平缓,1990—2002 年为 2.03%,2002—2013 年降为 0.06%。23 年间,水田整体变化动态度达到 7.87%,而旱地呈现轻微的下降趋势,动态度为-0.18%,但耕地综合面积整体上升,其对应动态度为 1.10%。

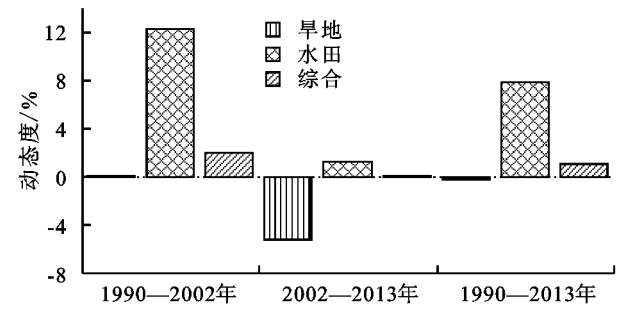


图 2 1990—2013 年挠力河流域耕地变化动态度情况

3.2 耕地转换特征

3.2.1 耕地转入途径分析 为直观反映流域耕地内外部转换情况,研究利用 ArcGIS 的叠加分析功能将

相邻时间序列的土地利用数据进行叠加,通过对叠加结果的耕地信息提取获得对应时间段耕地(包括旱地和水田)的转换信息。

1990—2002 年,挠力河流域耕地在空间和数量上变化非常明显(附图 1),流域耕地转入途径中共有 11 个转换子类型,期间耕地最主要的变化子类型为旱地→水田、水田→旱地、未利用地→旱地和林地→旱地,其中旱地→水田主要发生在挠力河下游北岸地区、内外七星河流域和挠力河干流中游东岸部分地区,变化极其剧烈,该地区海拔低且排水不畅,涝害严重,“以稻治涝”农业结构调整政策的大量推行导致该地区旱水田化发生明显。水田→旱地多零星分布于挠力河上游东部沿岸地区和内外七星河流域的北部地区。由于 20 世纪 90 年代该流域未利用地多集中于外七星河北岸和流域中部地区,未利用地→旱地耕地转化子类型基本集中于该区域。林地→旱地大部分发生在下游北部的山区,转换较为集中。其余的如林地→水田、草地→旱地、建设用地→旱地等转换子类型发生不明显。

与 1990—2002 年不同的是,2002—2013 年耕地转换发生相对较为平缓,由于未利用地资源的逐渐开发殆尽,该时间段内基本没有未利用地→旱地和未利用地→水田转换类型,绝大部分为水田→旱地和旱地→水田,其中水田→旱地多成片集中于流域中部偏南地区、挠力河中游南部沿岸和外七星河上游地区。而旱地→水田转换发生明显偏北,主要分布于外七星河下游北岸地区。

对各转换子类型面积统计可知(表 2),1990—2002 年其他用地类型向旱地转入面积大小依次为未利用地>水田>林地>水域用地>建设用地>草地。新增旱地主要来源于未利用地、水田和林地,其面积

依次为 1 155.77,941.70,862.51 km²,其转换贡献率依次达到 33.93%,27.65%和 25.32%,水域用地转换贡献率为 12.25%。流域内由于草地面积极少,基本不存在草地转化为旱地的现象,建设用地多以居住和工矿用途为主,二者贡献率相对很小,均不足 1%;旱地是水田增加的来源用地,12 年间共有 3 118.49 km²的旱地转为水田,对该时间段内水田面积增加贡献率为 81.09%,其次是未利用地,贡献率达到 12.28%,水域→水田转换子类型面积为 199.59 km²,林地、草地和建设用地转换贡献率非常小。以上分析表明 1990—2002 年,挠力河流域由于耕地后备资源相对充裕(如未利用地)、农业结构调整政策等原因,流域耕地子类型的内部转换(旱地→水田和水田→旱地)和外部转换(未利用地→旱地、林地→旱地和未利用地→水田)均非常明显。

相对 1990—2002 年,2002—2013 年时间段内旱地和水田的转入更为集中。其中水田→旱地转换类型面积达到 772.87 km²,其对旱地增加的贡献率达到 82%,其次为水域用地,当地居民对河流周边滩涂用地的大量开发,11 年间共有 79.72 km²的水域用地转换为旱地,林地转换为旱地的速度明显放缓,该时间段内共有 60.35 km²的林地→旱地发生,不足 1990—2002 年的 1/14,共有 23.62 km²的草地向旱地发生了转换,其转换贡献率为 2.52%,未利用地的急剧减少导致当地政府对该用地类型的控制和保护力度逐渐加大,该时间段内基本不存在未利用地转换为旱地的现象;2002—2013 年,水田增加的来源用地中绝大部分为旱地,转换面积为 1 432.04 km²,其转换贡献率达到 98.06%,其余用地类型转换面积均非常小。以上分析表明,该时间段内旱地和水田的来源用地较为单一,多围绕耕地内部进行转换。

表 2 挠力河流域耕地与其他土地利用类型转变

时间	耕地类型	旱地	水田	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1990—2002 年	旱地	转入面积/km ²	—	941.70	862.51	12.88	417.23	15.81
		相对比例/%	—	27.65	25.32	0.38	12.25	0.46
	水田	转入面积/km ²	3118.49	—	41.57	8.56	199.59	5.18
		相对比例/%	81.09	—	1.08	0.22	5.19	0.13
2002—2013 年	旱地	转入面积/km ²	—	772.87	60.35	23.63	79.72	5.96
		相对比例/%	—	82.00	6.40	2.51	8.46	0.63
	水田	转入面积/km ²	1432.04	—	18.52	0.00	5.42	2.87
		相对比例/%	98.06	—	1.27	0.00	0.37	0.20

3.2.2 耕地转出途径分析 作为典型的商品粮输出基地,挠力河流域产业以农业种植和加工为主,耕地是主要的经济来源用地,相对于耕地转入来说,耕地转出的发生几率更低。由附图 2 可以看出,1990—2002 年、2002—2013 年流域耕地的转出途径类型基本表现

为耕地的内外部转换为主。1990—2002 年,耕地最主要的转出类型为旱地→水田,流域中部和北部地区均分布有大量该耕地转出子类型,其次为水田→旱地转换子类型,主要零星分布于挠力河中部的东岸、内七星河上游和流域北部地区。其余的如旱地→林地、旱地

→水域、水田→林地等转换发生较为困难,流域内该耕地转出类型分布非常少;2002—2013 年,最主要的耕地转出途径类型为旱地→水田和水田→旱地,与 1990—2002 年不同的是,旱地→水田发生较为集中,主要分布于流域北部地区,水田→旱地成斑块状零星分布于流域内,其余水田转出途径类型同样发生不明显,11 年间转为除旱地之外的其他用地类型非常少。

统计结果表明(表 3),1990—2002 年,挠力河流域旱地主要流向水田,其转出面积达到 3 118.49 km²,对应转出贡献率达到 94.98%,其次为林地,约有 1.84%的旱地转为林地,其余的如旱地→水域和旱地→建设用地转出贡献率比例分别达到 1.63%和 1.48%,由于国家政策和农户的自我意识等原因,土地撂荒现象基本不存在,仅有 2.50 km² 的旱地转为未利用土地,草地由于流域内面

积很小,基本不存在旱地→草地的耕地转出类型;在水田的转出上,挠力河流域绝大部分水田转出流向为旱地,面积达到 941.70 km²,转出贡献率比例为 99.30%。由以上分析可知,在该时间段内流域的旱地水田流出以耕地的内部转变为主。

2002—2013 年,在旱地的转出上,约有 1 432.04 km² 的旱地转换为水田,其转出贡献率比例达 97.42%,由于经济建设的需要,流域存在一定的侵占农田的现象,期间有 26.83 km² 的旱地转换为建设用地,其余转出类型面积均非常小;水田的转出上,共有 772.87 km² 的水田转换为旱地,与 1990—2002 年不同的是,其转出贡献率比例下降了 2.91 个百分点,变为 96.39%。其次为水域用地,约 13.73 km² 的水田转换为滩涂等水域用地。

表 3 挠力河流域耕地与其他土地利用类型转变

时间	耕地类型		旱地	水田	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1990—2002 年	旱地	转出面积/km ²	—	3118.49	60.52	0.00	53.38	48.48	2.50
		相对比例/%	—	94.98	1.84	0.00	1.63	1.48	0.08
	水田	转出面积/km ²	941.70	—	2.80	0.00	0.02	1.93	1.89
		相对比例/%	99.30	—	0.30	0.00	0.00	0.20	0.20
2002—2013 年	旱地	转出面积/km ²	—	1432.04	6.67	2.69	0.00	26.83	1.76
		相对比/%	—	97.42	0.45	0.18	0.00	1.83	0.12
	水田	转出面积/km ²	772.87	—	4.93	6.31	13.73	3.96	0.00
		相对比例/%	96.39	—	0.61	0.79	1.71	0.49	0.00

由流域耕地转换特征分析结果可知,耕地的转入与转出在土地利用类型种类及贡献率比例上存在较大的差异:耕地的转入途径较广,未利用地、林地、水域用地和耕地内部本身均有部分贡献率比例的转换发生;由于地区经济结构特点、不同土地利用类型的自然属性差异特征等原因,耕地的转出途径较为单一,水田化进程的不同时间段内耕地的转换都大部分集中在耕地内部本身的转换上,其他地类相对比例非常小。

4 结 论

(1) 20 多年间挠力河流域耕地数量呈现不稳定增长态势,1990 年流域耕地面积 12 398 km²,2002 年达到 15 417 km²,至 2013 年面积仅增加 108 km²,为 155.25 km²。耕地子类型中,旱地和水田的变化趋势与耕地综合变化趋势不完全吻合。1990—2002 年旱地变化幅度小,期间仅增加 123 km²,而水田变化幅度大,相对面积比例由 1990 年的 8.30%上升至 2002 年的 20.53%;2002—2013 年,旱地面积比例由 44.57%下降为 2013 年的 42.24%,水田继续保持增长趋势,但增长速度明显放缓,面积比例上升 2.78 个百分点。动态度上,旱地动态度由 1990—2002 年的

0.10%变为 2002—2013 年的一 5.22%,水田则由 12.29%下降至 1.23%。

(2) 耕地转入上,流域耕地子类型的内部转换(旱地→水田和水田→旱地)和外部转换(未利用地→旱地、林地→旱地和未利用地→水田)均非常明显。1990—2002 年新增旱地主要来源于未利用地、水田和林地,其转换贡献率依次达到 33.93%,27.65%和 25.32%。旱地是水田增加的来源用地,12 年间对水田面积增加贡献率为 81.09%;2002—2013 年旱地和水田的来源用地结构较为单一,多围绕耕地内部进行转换,水田→旱地的转换贡献率 82%,基本不存在未利用地转为旱地现象,水田增加的来源用地中绝大部分为旱地,转换贡献率 98.06%。

(3) 耕地转出上,1990—2002 年流域的旱地水田流出以耕地内部转换为主,该时间段内有 3 118.49 km² 的旱地流向水田,转出贡献率 94.98%,有 99.30%水田流向为旱地;2002—2013 年旱地和水田的转出与 1990—2002 年转换趋势基本保持一致,11 年间约有 1 432.04 km² 的旱地转换为水田,772.87 km² 的水田转换为旱地。

- cals, runoff and erosion from agricultural management systems[R]. Washington D C: USDA, 2010.
- [9] Liu Baoyuan, Zhang Keli, Xie Yun. An empirical soil loss equation[C]// Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [10] Fu G, Chen S, McCool D K. Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield with RUSLE, SEDD, and ArcView GIS[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 85(1): 38-49.
- [11] 谢红霞, 李锐, 杨勤科, 等. 退耕还林(草)和降雨变化对延河流域土壤侵蚀的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 569-576.
- [12] 汪邦稳, 杨勤科, 刘志红, 等. 延河流域退耕前后土壤侵蚀强度的变化[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 27-33.
- [13] Yoder D, Lown J. The future of RUSLE: inside the new revised universal soil loss equation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995, 50(5): 484-489.
- [14] 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.
- [15] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 35-41.
- [16] 谢云, 刘宝元. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6-11.
- [17] Sharpley A N, Williams J R. EPIC-erosion/productivity impact calculator: 1. Model documentation[J]. Technical Bulletin-United States Department of Agriculture, 1990, 4(4): 206-207.
- [18] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting rainfall erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loess Equation (RUSLE)[M]// Agricultural Handbook N0. 730. Washington D C: USDA, 1997.
- [19] McCool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation [J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30(5): 1387-1396.
- [20] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(6): 1835-1840.
- [21] 李天宏, 郑丽娜. 基于 RUSLE 模型的延河流域 2001—2010 年土壤侵蚀动态变化[J]. 自然资源学报, 2012, 27(7): 1164-1175.
- [22] Lufafa A, Tenywa M M, Isabirye M, et al. Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based Universal Soil Loss model [J]. Agricultural Systems, 2003, 76(3): 883-894.
- [23] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准 SL190—2007[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.

(上接第 67 页)

挠力河流域地处三江平原腹地,是该地区主要的商品粮输出地,耕地的开发与利用是当地农业经济的主要来源。自 20 世纪 90 年代初期以来,“以稻治涝”农业结构调整政策的大量推行造成该流域旱地水田化现象非常明显,而近年来,黑龙江省东部“两江一湖工程”、“高标准基本农田建设工程”等多项土地整治工程陆续实施,对该地区耕地数量及水田化进程造成了强烈的影响^[9-12]。开展该地区垦殖过程研究有助于流域土地资源开发与保护,为农业经济的可持续发展提供参考依据。

参考文献:

- [1] 曹银贵,袁春,周伟,等. 中国耕地变化的驱动因子及其省域差异分析[J]. 中国土地科学, 2008, 22(2): 17-22.
- [2] 宋开山,刘殿伟,王宗明,等. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J]. 地理学报, 2008, 63(1): 93-104.
- [3] 刘吉平,赵丹丹,田学智,等. 1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3234-3244.
- [4] 杨春艳,沈渭寿,王涛. 近 30 年西藏耕地面积时空变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 264-271.
- [5] 王宗明,宋开山,刘殿伟,等. 1954—2005 年三江平原沼泽湿地农田化过程研究[J]. 湿地科学, 2009, 7(3): 208-217.
- [6] 栾兆擎,胡金明,邓伟,等. 人类活动对挠力河流域径流情势的影响[J]. 资源科学, 2007, 29(2): 46-51.
- [7] 周浩,雷国平,张博,等. 1990—2013 年挠力河流域耕地变化下水土资源平衡效应分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 272-280.
- [8] 刘红玉,张世奎,吕宪国. 20 世纪 80 年代以来挠力河流域湿地景观变化过程研究[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 698-705.
- [9] 杜国明,李昀,于风荣,等. 基于遥感的 2000—2009 年三江平原北部耕地变化特征分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 225-229.
- [10] 杜国明,潘涛,尹哲睿,等. 水田化进程中的富锦市耕地景观格局演化规律[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 207-214.
- [11] 宋戈,梁海鸥,林佳,等. 黑龙江省垦区耕地利用综合效益评价及驱动力分析[J]. 经济地理, 2010, 30(5): 835-840.
- [12] 王帅,曲长祥,冯翔迪,等. 黑龙江省耕地集约利用的区域差异及影响因素分析[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(5): 142-146.