

第三章 生态脆弱区土地利用变化

第一节 三江源地区土地利用变化研究

一、三江源地区概况

三江源地区位于中国西部的青海省南部,地处青藏高原腹地,地理位置为北纬 $31^{\circ}39' \sim 36^{\circ}12'$,东经 $89^{\circ}45' \sim 102^{\circ}23'$,海拔在 2560~6826m,平均海拔 3500~4800m,自西向东海拔逐渐降低(图 3-1),雪山冰川广布,是中国冰川集中分布地之一,河流密布,湖泊、沼泽众多,是世界上海拔最高、面积最大、湿地类型最丰富的地区,同时也是中国面积最大、生物多样性最集中的自然保护区。

三江源行政区域包括果洛藏族自治州的玛多、玛沁、达日、甘德、久治、班玛 6 个县,玉树藏族自治州的称多、杂多、治多、曲麻莱、囊谦、玉树 6 个县,海南藏族自治州的兴海、同德 2 个县,黄南藏族自治州的泽库、河南 2 个县以及格尔木市代管的唐古拉乡,总面积为 30.25 万 km^2 ,约占青海省总面积的 43%。

该区属于典型的高原大陆性气候,表现为冷热两季交替、干旱两季分明,整体气候特征是热量低、年温差小、日温差大、日照时间长、辐射强烈,风沙大,植物生长期短。生态环境独特、地形地貌复杂,自然环境类型多样,生物多样性丰富,三江源区植被类型以高寒草甸、高寒灌丛草甸和高寒草原为主,植物种类较少,以温带科属为主,特有种、属种稀少。

三江源地区是长江、黄河、澜沧江三大河流的发源地,被誉为“中华水塔”,具有重要的水源涵养和供给功能。是我国江河中下游地区和东南亚国家生态环境安全和区域可持续发展的生态屏障。

三江源地区自然条件较为严酷,生态系统群落结构简单,系统内物质、能量的流动比较缓慢,抗干扰和自我恢复能力低,是全球生态环境最为敏感和脆弱的地区之一。近年来,受全球气候变暖和人类活动的影响,三江源地区生态系统持续退化,生态系统结构和功能受到严重干扰,生态系统服务功能不断减弱,已对我国黄河、长江、澜沧江中下游乃至亚洲东部地区的生态安全构成威胁。

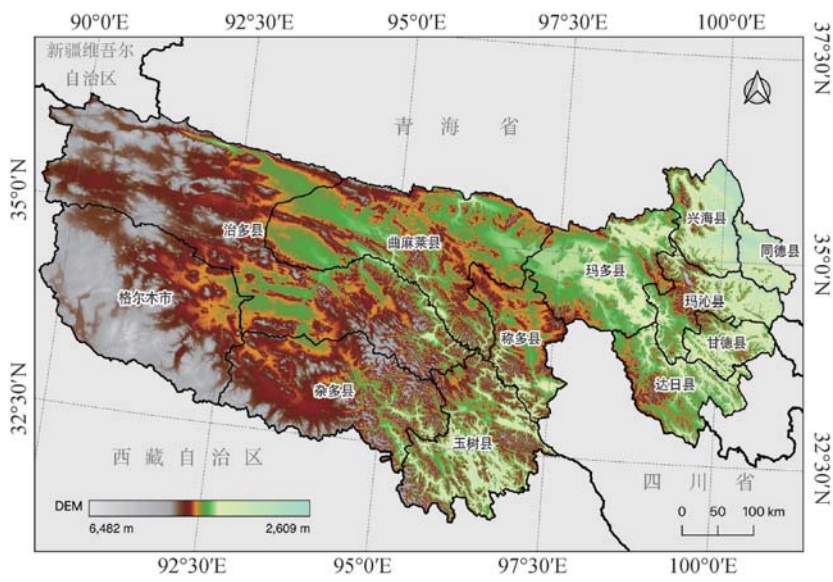


图 3-1 三江源地区地理位置

二、三江源地区土地利用变化分析方法

(一)单一动态度

该指标反映了一定时间内研究区某种土地利用类型数量变化的情况(Wang et al. ,1999),计算公式如下:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\% \tag{3-1}$$

式中, U_a 和 U_b 分别为研究期初和期末的某种土地利用的面积(hm^2); T 为研究时段长(年), K 为单一土地利用类型动态度。

(二)综合动态度

某一研究区的综合土地利用动态度反映了研究区土地利用年变化率(Wang et al. ,1999),可表示为:

$$S=\left(\frac{\sum_{i=1}^n(LA_{(i,t_1)}-ULA_i)}{\sum_{i=1}^nLA_{(i,t_1)}}\right)/T\times100\% \tag{3-2}$$

式中, $(LA_{(i,t_1)}-ULA_i)$ 为研究期间第 i 种土地利用类型发生转移的面积(hm^2); $LA_{(i,t_1)}$ 为研究初期第 i 种土地利用的面积(hm^2); ULA_i 为研究期间第 i 种土地利用类型未发生转移的面积(hm^2)。

三、三江源地区土地利用变化情况

气候、地形、土壤及人类活动共同决定了三江源地区土地利用方式的分布(图 3-2),三江源草地面积占 67%以上,是最主要的用地类型;其次为未利用土地,主要分布在中、西部的高海拔地区,约占该区总面积的 23%;林地和水域的比例相对较小,分别不足 5%;建设用地的面积最小,二者占比之和小于 3%,主要集中在东部平原区(同德、兴海等县)以及南部的囊谦和玉树等县。

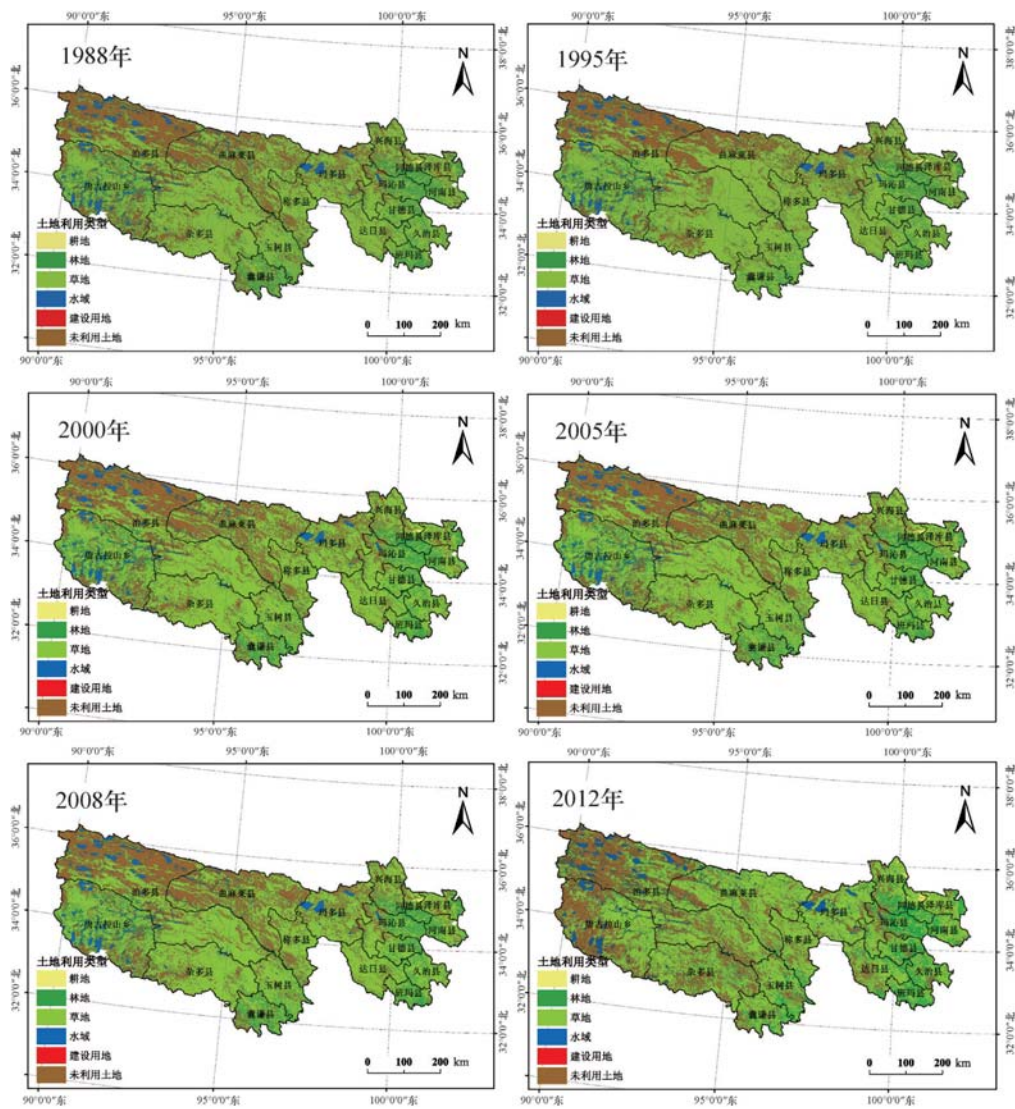


图 3-2 三江源地区不同时期土地利用分布情况

从动态度上看出(表 3-1),1988—1995 年间,三江源地区的林地、水域和未利用地在减少,而耕地、草地和建设用地在增加;在 1995—2000 年间,主要表现为草地的大幅减少,林地和水域则呈增加趋势,而耕地、建设用地在持续增加;相较于 2000 年以前,2000—2008 年间,各项用地的动态度明显下降,总体变化不明显;2008—2012 年间,三江源地区建设用地的大幅减少,而耕地、林地和水域的快速增加,草地和未利用地都有小幅度的减少。

表 3-1 三江源地区不同时期土地利用动态度(%)

用地类型		1988— 1995 年	1995— 2000 年	2000— 2005 年	2005— 2008 年	2008— 2012 年	1988— 2012 年
单一动态度	耕地	0.27	1.37	0.70	0.38	1.22	1.40
	林地	-1.53	2.40	0.00	-0.02	4.69	1.34
	草地	0.84	-1.11	-0.06	-0.01	-0.65	-0.21
	水域	-1.38	2.01	0.14	0.02	6.45	1.86
	建设用地	0.29	1.38	0.39	1.38	-4.37	-0.32
	未利用土地	-1.88	3.09	0.14	-0.05	-0.23	-0.01
综合动态度		1.50	2.12	0.05	0.01	8.71	2.48

分县统计发现,同德县耕地和建设用地的比例较高林地面积占比超过 20%。除唐古拉乡外,其他县均超过 50%。对于水域来说,唐古拉乡、治多县和玛多县的水域面积均超过本县面积的 5%。三江源地区的未利用地主要分布在治多县、曲麻莱县和唐古拉山乡。1988—2008 年间,各县耕地比例均呈现先减少后增加的趋势;同德和玉树两县林地逐年下降,而兴海县的林地面积则有所增加;达日县的草地比重较高,这些年几乎没有变化,而曲麻莱县和同德县草地比例比较小的地方,草地反而有减少趋势,同时玉树县的草地则是先增加后减少;唐古拉乡的水域有所增加,而玛多县和治多县的水域面积则是先增加后减少;同德县、囊谦县、泽库县、称多县和兴海县的建设用地有所减少,玉树则是先减少后增加,河南县、玛沁县和唐古拉乡的建设用地逐年增加;曲麻莱县的未利用地有所增加,其他地区变化很小。

总体而言,随着农业经济的快速发展以及人类活动的增加,三江源地区耕地和建设用地面积不断增加,同时也出现了如草地、林地减少,未利用地增加的现象;从土地利用变化速度的时间趋势上看,伴随着一系列生态环境工程的实施,三江源各项用地变化趋缓。

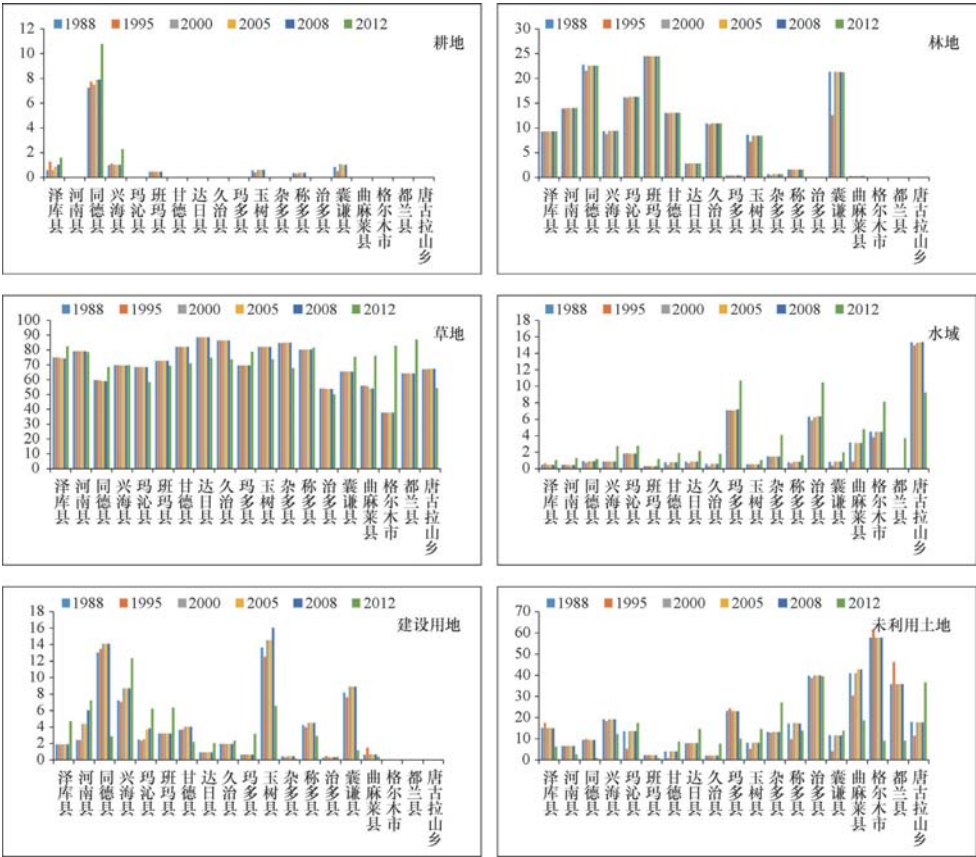


图 3-3 各县不同用地的面积比例(单位:%)

第二节 黔桂喀斯特山区土地利用变化

一、喀斯特山区概况

(一)自然条件概况

中国典型的喀斯特山区,大量的碳酸盐岩、硫酸盐岩和卤化盐岩在流水的不断溶蚀作用下,在地表和地下形成了各种奇特的喀斯特景观。黔桂喀斯特山区位于 $42^{\circ}15' \sim 44^{\circ}55' N, 80^{\circ}5' \sim 84^{\circ}5' E$,地处我国华南地区与西南地区,总面积大约为 21.41 万 km^2 ,该区域为贵州、广西两省(自治区)的大部分区域,其中,贵州省包括贵阳市、六盘水市、安顺市,黔西南布依族苗族自治州、黔南布依族苗族自治州、毕节市的大部分地区,铜仁、遵义和黔东南苗族侗族自治州的小部分地区;广西壮族自治区

治区包括河池市、百色市、柳州市、来宾市、贵港市、崇左市和南宁市的大部分地区(图 3-4)。

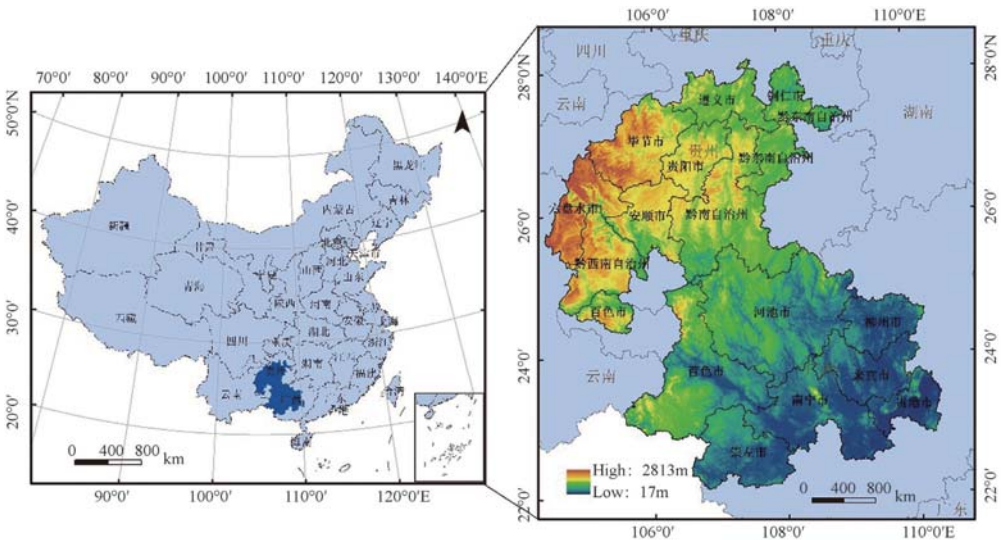


图 3-4 喀斯特山区位置示意图

喀斯特山区海拔在 17~2813m,由东南向西北海拔逐渐增加,区域内主要是中小起伏的山地,喀斯特地貌分布广阔,喀斯特地貌类型由东南向西北从高原峰丛地貌逐渐过渡为丘陵平原峰林地貌,土壤类型主要以石灰岩、赤红壤、红壤和黄壤为主,土层厚、肥力高、水利条件好的耕地所占比重低。

喀斯特山区由北向南从亚热带湿润季风气候过渡为亚热带季风气候,喀斯特山区北部地区有气温变化小、冬暖夏凉、气候宜人等特点,喀斯特山区南部地区有气候温暖、热量丰富、干湿分明、季节变化不明显、日照适中等特点,区域内年平均气温在 14~24℃,且从北部到南部年平均气温逐渐增加。区域内水系包括三岔河、鸭池河、清水江、南盘江、红水河、柳江、郁江和黔江等诸多支流,区域内降雨变化较大,水资源丰富,年平均降雨量在 900~1700mm,从北向南,降雨逐渐增加。

(二) 研究区经济条件概况

喀斯特山区人口约为 4616 万,区域经济逐年增长,但是经济总量偏小,占全国总量的不到 3%,人均水平低。区域自然条件差,耕地资源少,在产业发展方面存在农业投入不足、农产品加工水平低、工业总量小、产业结构和产品结构层次低、资源约束矛盾突出等问题。喀斯特山区生态环境复杂多样,蕴藏着极为丰富的生物资源,生物多样性优势突出,但是生态环境脆弱,随着人类活动的加剧,区域内水资源缺乏、旱涝灾害、植被破坏、生态系统结构简化、水土流失以及石漠化等生态环境问题愈演愈烈。由于人类长期的不合理开发利用资源,加之全球气候正处于不断变化之

中,且有越发恶劣的趋势,喀斯特山区洪灾旱灾不断,极端天气频发,生态系统的负担日益加重,生态环境退化愈发严重,这严重影响人与自然和谐,危及人类生存,制约区域可持续发展。

二、喀斯特山区土地利用变化情况

喀斯特山区土地利用类型主要以林地为主(表 3-2),占喀斯特山区总面积的 56%左右;其次是耕地,面积比重为 25%左右;再次是草地面积,所占比重为 15%左右,而水域、建设用地、未利用地面积较小,都不到总面积的 2%。空间上,林地大面积分布于中部地区河池市、百色市,草地则多分布于喀斯特山区西北地区,耕地多分布于西北与东南地区,建设用地零星分布于整个区域(图 3-5)。

表 3-2 1990—2010 年喀斯特山区土地利用变化(km²)

	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1990 年	56180.34	121291.23	32300.57	1850.00	2484.39	23.39
1995 年	53810.92	122818.78	32992.32	1800.39	2676.99	30.53
2000 年	56227.80	121034.22	32209.32	1964.97	2670.96	22.65
2005 年	56122.66	121927.71	31335.96	1945.12	2776.93	21.55
2010 年	55509.58	121888.68	30788.52	2317.35	3597.95	27.84

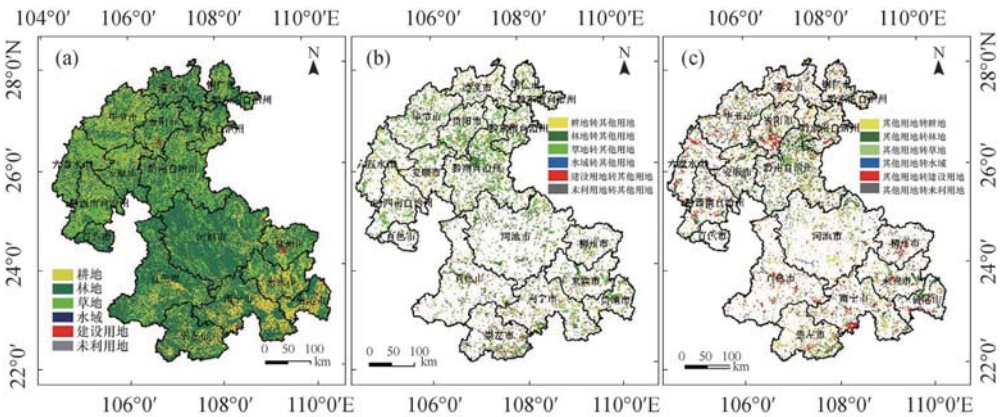


图 3-5 喀斯特山区 1990 年(a)土地利用和 1990—2010 年土地利用转出(b)与转入(c)

从 1990 年到 2010 年,喀斯特山区耕地和草地总面积在减少,林地、水域、建设用地和未利用地面积在增加。其中,耕地面积呈先减少后增加的趋势,1990—2010 年总面积减少了 670.76km²(1.19%),草地则在逐年减少,减少总面积为 1512.02km²(4.68%)。林地呈波动型增加趋势,1990—2010 年总面积增长了 597.45km²(0.49%),水域面积大体呈增加的趋势,面积增加了 467.35km²(25.62%),建设用地

和未利用地皆呈波动型增长趋势,建设用地总面积增加了 1113.56km²(44.82%),未利用地总面积增加了 4.45km²(19.02%)。

1990—2010 年,喀斯特山区土地利用变化主要集中在耕地和林地的相互转移、林地和草地的相互转移,以及耕地、林地、草地向建设用地的转移(表 3-3)。1990—2010 年,转出面积最大的是草地(2356.50 km²),主要转为林地(73.24%)、耕地(16.44%)和建设用地(6.36%)。草地转出区域主要分布于喀斯特山区中部的黔南自治州、西北部的安顺市和毕节市、北部地区的贵阳市、黔东南自治州以及东南的来宾市和贵港市(图 3-5);其次是林地,转出面积为 1617.13 km²,且多转为草地(45.09%)、耕地(25.38%)和建设用地(15.91%),多分布于中部的黔南自治州、中部河池市以及西南的百色市;耕地的转出量为 1515.06 km²,且主要转为了建设用地(49.72%)和林地(31.27%),主要分布在南部的南宁市、中部的黔南自治州以及西北部的六盘水市;水域、草地和未利用地的转出量较少分别为 30.19 km²、54.04 km²、3.56km²,且 3 种土地利用变化大部分都发生在南部地区崇左市。

表 3-3 1990—2010 年喀斯特山区土地利用转移矩阵(km²)

		2010 年						
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	总计
1990 年	耕地	54665.28	473.70	103.15	183.74	753.33	1.14	56180.34
	林地	410.44	119674.10	729.15	217.55	257.31	2.68	121291.23
	草地	387.44	1725.86	29944.07	90.33	149.79	3.07	32300.57
	水域	16.63	3.54	2.50	1819.81	6.40	1.12	1850.00
	建设用地	28.91	11.48	8.24	5.40	2430.36	0.00	2484.39
	未利用地	0.87	0.00	1.40	0.52	0.77	19.84	23.39
	总计	55509.58	121888.68	30788.52	2317.35	3597.95	27.84	214129.93

转入量最大的是林地,转入面积为 2214.58 km²,主要转自草地(77.93%)和耕地(21.39%),主要分布于中部的黔南自治州、东南部的贵港市以及西北部的毕节市和安顺市(图 3-5);其次是建设用地转入面积为 1167.60 km²,主要转自耕地(64.52%)、林地(22.04%)和草地(12.83%),主要分布于南部的南宁市、西南部的百色市、北部的贵阳市和西北的六盘水市;耕地和草地的转入量相当,耕地的转入量为 844.30 km²,主要转自林地(48.61%)和草地(45.89%)。主要分布在中部的黔南自治州和河池市,南部的崇左市以及北部的贵阳市;草地的转入量为 844.45 km²,主要转自林地(86.35%)和耕地(12.22%),分布于中部的黔南自治州和河池市,西北部的安顺市以及东南的来宾市;而水域和未利用地的转入量相对较少仅有 497.54 km² 和 8.01 km²,多分布于中部的河池市。

第三节 黑河流域土地利用变化

一、黑河流域概况

(一)自然条件概况

黑河流域是我国第二大内陆河流域,位于我国西北干旱半干旱地区、河西走廊中部,大致介于 $97^{\circ}30' \sim 102^{\circ}5'E$, $37^{\circ}44' \sim 42^{\circ}41'N$ 之间(图 3-6)。黑河流域西南与青藏高原相邻,西与疏勒河流域相接,东与石羊河流域相邻,北至内蒙古自治区额济纳旗境内的居延海,与蒙古人民共和国接壤。整个流域总面积 12.8 万 km^2 ,横跨 3 省(自治区)11 个县(市、区、旗),包括青海省海北州的祁连县,甘肃省张掖市的民乐县、山丹县、甘州区、临泽县、高台县和肃南裕固族自治县,嘉峪关市,酒泉市的肃州区和金塔县,内蒙古自治区阿拉善盟的额济纳旗。

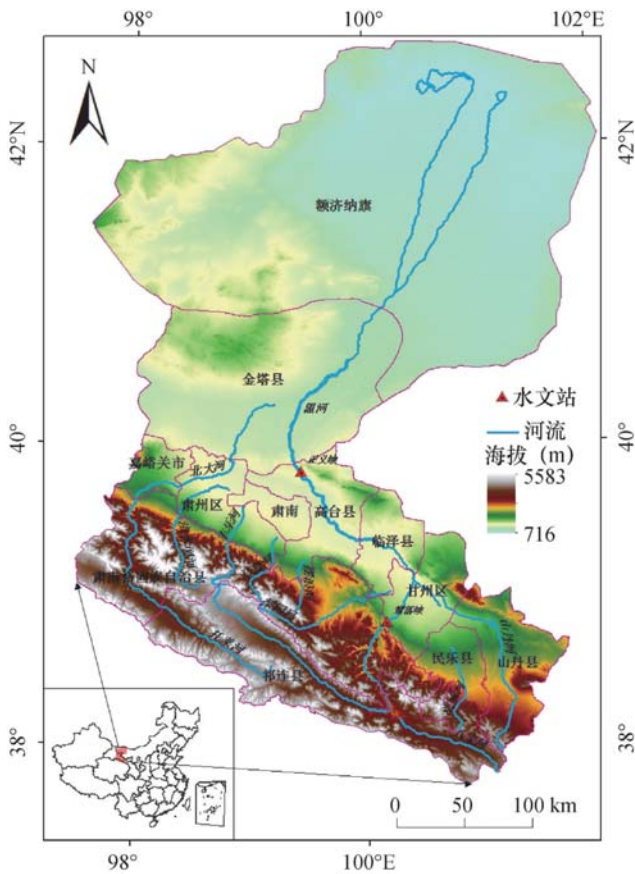


图 3-6 黑河流域的地理位置

黑河流域的上、中、下游以莺落峡和正义峡为分界点,上游是青藏高原东北部边缘的祁连山山地,中游地处河西走廊中部,为祁连山前倾斜平原,下游是低山山地和阿拉善高平原,并有部分区域与巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠接壤,垂直地带性地貌景观十分鲜明,地势西高东低、南高北低,海拔在 716~5583m。上游以放牧业为主,中游是重要的农业种植绿洲区,下游生态环境直接影响到我国北方地区沙尘暴的发生。祁连山水源涵养区、农业绿洲和荒漠戈壁三大生态系统在黑河流域交错衔接,是景观非常活跃的地区,也是生态非常脆弱的地区。

黑河流域位于欧亚大陆中部,周围高山环绕,远离海洋,海洋湿润气流难以到达,主要受中高纬度的西风带环流控制和极地冷气团影响,流域气候为典型的温带大陆性气候。气候干燥,降水稀少而集中,流域多年平均降水量仅 200mm,由上游的 350mm 向下游递减为 50mm 以下,其中有 60% 的降水集中在 7—9 月。蒸发能力强,年潜在蒸散发 2400~3000mm,由上游的 700mm 向下游增加到 3700mm。日照充足,太阳辐射强烈,昼夜温差大,年太阳总辐射 5500~6500 MJ/m²,年日照时数 3000~3600h,多年平均温度 6~8℃,≥0℃ 年平均积温 2900℃·d,无霜期由上游的 100d 左右增加到下游的 130d 左右(张勃等,2001,2002)。

黑河流域水系主要包括黑河、八宝河、洪水河、山丹河、梨园河、北大河、洪水坝河、丰乐河、马营河、摆浪河等。其中黑河是我国第二大内陆河,干流全长 821km,横亘我国西北内陆腹地,多年平均年径流量仅 $15.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。黑河南衔祁连山区的雪水,从莺落峡进入河西走廊,流经正义峡谷后在金塔县境内的鼎新与北大河汇合;北润中蒙边境的额济纳大地,流至内蒙古自治区额济纳旗境内的狼心山西麓又分为东西两河:东河(达西敖包河)向北分 8 个支流呈扇形注入东居延海;西河(穆林河)向北分 5 条支流注入西居延海。

由于黑河流域人口和经济的快速增长,水资源开发无序和过量用水,近半个世纪出现了严重的生态问题:上游,超载过牧,草原沙化,冰川退缩,雪线抬升;中游,在传统种植结构和发展模式的重压下,已无力向下游输送维持生态平衡的水量;下游,河道断流加剧,胡杨大片死亡,沙漠侵蚀日甚,绿洲极度萎缩,尾间西居延海 1961 年宣告枯竭,东居延海也于 1992 年消失。为遏制黑河下游生态日益恶化的趋势,国务院决策自 2000 年开始对黑河实行水量统一调度。自干涸以来,2002 年 7 月 17 日黑河水首次流入东居延海,2003 年 9 月 24 日首次流入干涸 42 年的西居延海。

(二)农业生产概况

黑河流域是我国西北地区重要的经济社会中心,流域内发育有张掖、临泽、高台、酒泉、金塔、鼎新、民乐、山丹等绿洲,农业开发已有两千多年历史,是我国十大商品粮基地之一。中游位于山前冲积扇下部和河流冲积平原上,是重要的农业种植绿洲区,也是黑河流域农业经济最发达的地区,其中张掖市是我国最大的市级制种玉米生产基地。黑河流域光热资源充足,昼夜温差大,土壤肥沃,灌溉便利,可利用水资源 $26.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,适宜多种农作物生产,流域内种植的农作物有玉米、小麦、大麦、

油菜、薯类、蔬菜、瓜果、棉花、药材等,几乎均为一年一熟农作物,其中黑河流域种植的大部分玉米为制种玉米,属于经济作物。

黑河流域农业灌溉用水占总用水量的 90% 以上,并主要集中在中游地区(Song et al., 2015)。水资源是维持黑河流域生态系统的纽带(张志强, 2001),同时也是制约黑河流域农业生产的最主要因素。近几十年来,由于农作物比较收益差异、水资源时空分布不均、气候变暖和国家政策等因素的共同影响,黑河流域的农作物种植结构变化显著:总体上,玉米种植比例增长,小麦种植比例下降;蔬菜、瓜果、棉花等经济农作物种植比例增加(刘德祥等, 2005; 马红勇等, 2015)。同时黑河流域的农业绿洲呈现出持续扩张趋势,导致农业灌溉用水量显著增加,对黑河流域生态系统的可持续发展造成了很大影响(Song et al., 2015)。基于遥感手段及时准确地获取黑河流域农作物种植结构变化信息,可为评估耕地生态服务价值、绘制农作物需水曲线、核定农作物用水效率等研究提供重要基础数据,并为黑河流域水资源需求变化分析提供支持,既是确保黑河流域粮食安全的重要基础环节,又是区域生态安全和农业灌溉用水合理利用的重要保障。

此外,黑河流域许多地区(尤其是民乐县和山丹县)存在多种农作物交错种植的情况,同一种农作物连片种植的面积一般不超过 $250\text{m} \times 250\text{m}$,大部分连片种植同种农作物的地块面积在 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 左右。黑河流域耕地地块碎小、农作物种植结构复杂的这种特征,导致 MODIS、NOAA/AVHRR、SPOT VEGETATION 等低空间分辨率影像不适宜黑河流域农作物种植结构遥感提取研究,因为过低的空间分辨率引起的混合像元现象会严重降低提取精度。

二、黑河流域农作物种植结构遥感提取

黑河流域的耕地主要通过目视解译得到,然后以耕地为掩膜计算得到耕地范围的多时相 NDVI 数据,并结合农作物分类样本获取不同农作物的时序 NDVI 曲线,根据不同农作物的物候期差异选定参与分类的关键时间窗口,通过对各时间窗口上分类样本 NDVI 的统计分析确定适宜的判别阈值;对不同农作物的时间窗口及其阈值进行组合,建立农作物种植结构的提取规则;基于提取规则,逐级分层次地建立分类决策树提取农作物种植结构;对提取结果进行小斑块去除,并利用农作物验证样本数据进行精度评价。

(一) 耕地的目视解译

为避免目视解译时遗漏部分耕地,充分考虑到不同农作物的物候期特征,本研究选取覆盖各类农作物生长期的多个时相 TM/ETM+/OLI 镶嵌影像分别进行假彩色合成,选用的假彩色合成对应的波段分别为短波红外波段(R)、近红外波段(G)、红外波段(B),充分利用了这三个对植被敏感的波段,以提高对耕地的识别能力;黑河流域的耕地几乎为旱地,在假彩色影像上呈绿色,长势越好,颜色越绿,呈片状或条带状分布,纹理均一。根据耕地在假彩色影像上的特点,目视解译得到黑河流域

2007、2012 和 2014 年耕地矢量边界(图 3-7~图 3-9)。

由于缺少准确的耕地统计数据,本研究未能在数量上对黑河流域耕地解译结果进行精度验证;仅从谷歌地球(Google Earth)的高空间分辨率影像上选取 2007、2012 和 2014 年的耕地和其他地类验证样本,建立误差混淆矩阵在空间上对耕地的目视解译结果进行精度验证,解译精度均在 90%以上。2007—2014 年,黑河流域的耕地范围呈现出扩张趋势。由于黑河流域中游地区的光、热、水条件适宜农业绿洲的发育,黑河流域 2007、2012 和 2014 年的耕地均主要分布于中游地区,而在上游和下游分布较少(图 3-7~图 3-9)。

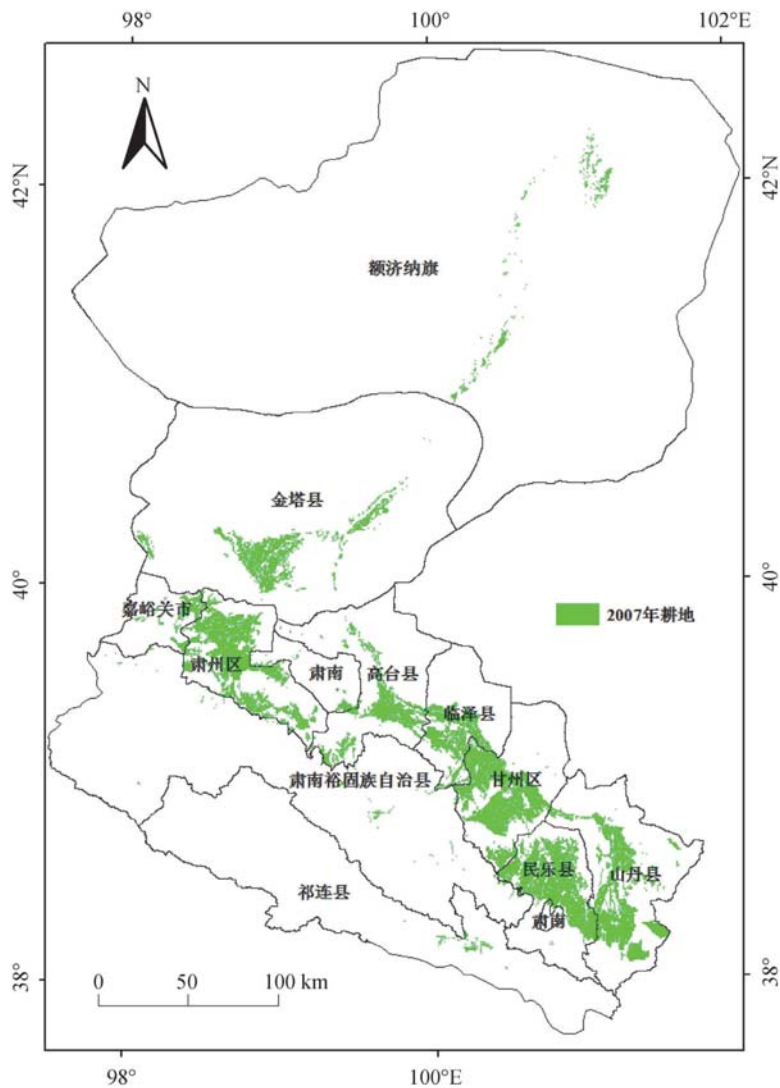


图 3-7 黑河流域 2007 年的耕地空间分布

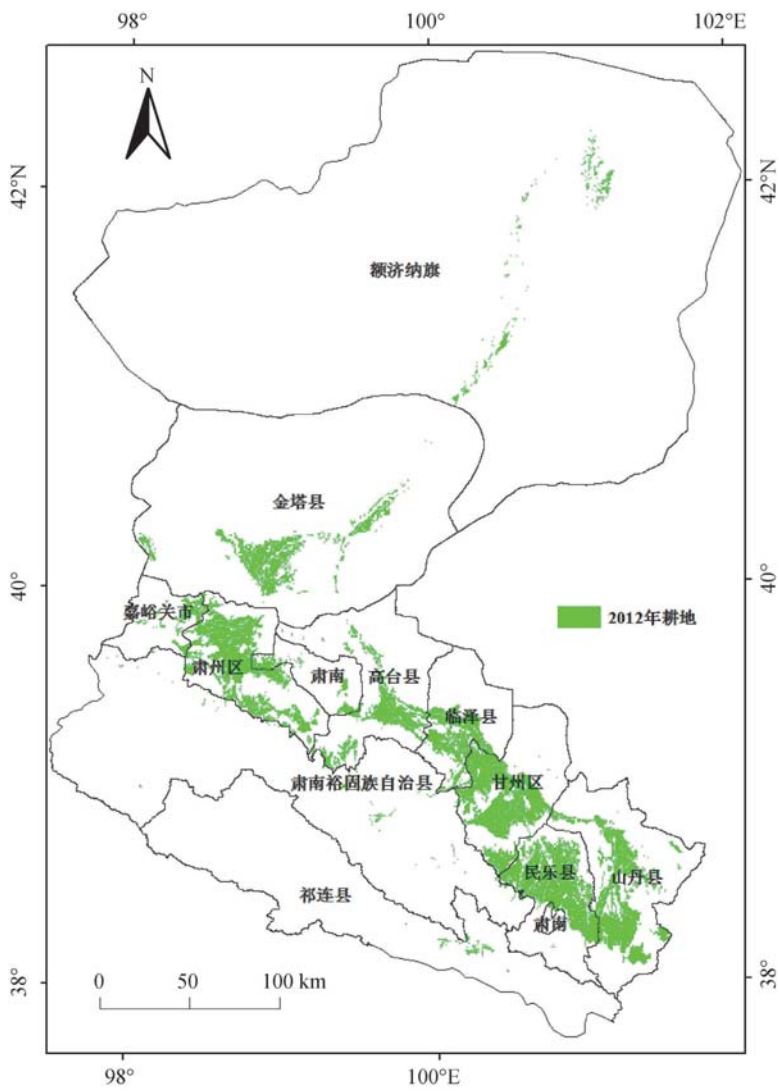


图 3-8 黑河流域 2012 年的耕地空间分布

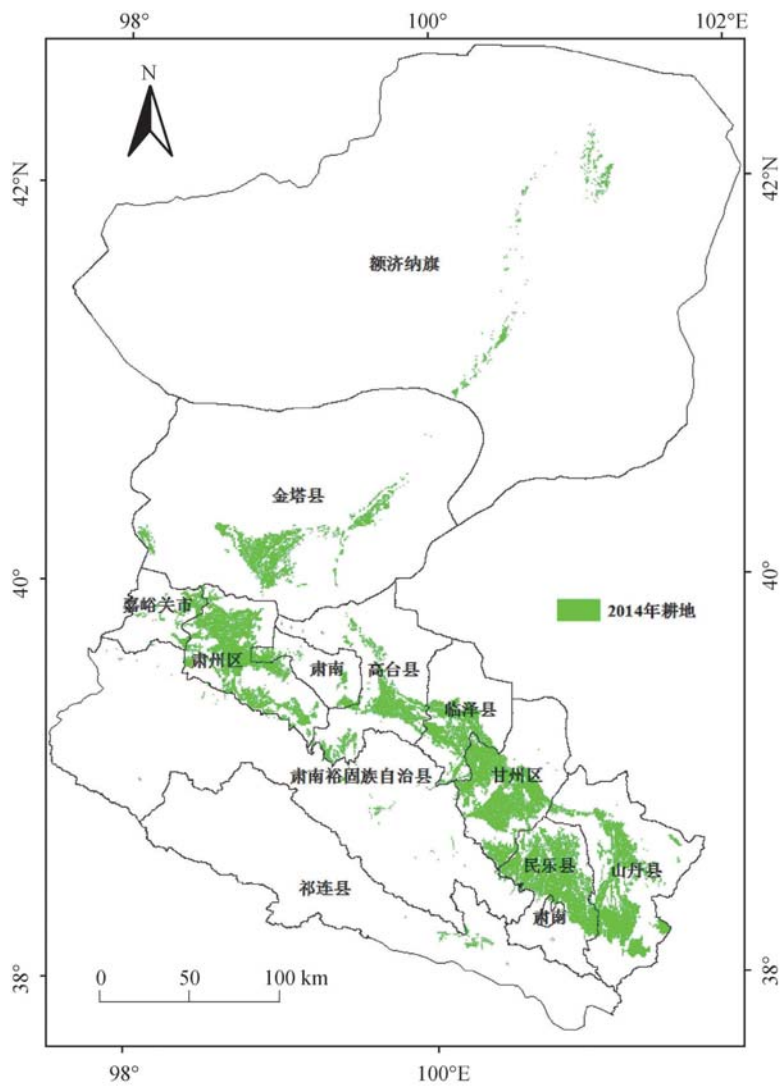


图 3-9 黑河流域 2014 年的耕地空间分布

(二)确定时间窗口及判别阈值

1. 时间窗口的选择

为了避免耕地外的草地、林地等植被对农作物种植结构提取的影响,以黑河流域耕地矢量边界为掩膜计算得到耕地范围的 NDVI 数据,并通过波段合成(Layer Stacking)得到覆盖主要农作物生长期的多时相 NDVI 数据。结合 2012 年农作物分类样本,绘制 2012 年主要农作物玉米、小麦、大麦和油菜分类样本的 NDVI 时序曲线(图 3-10)。

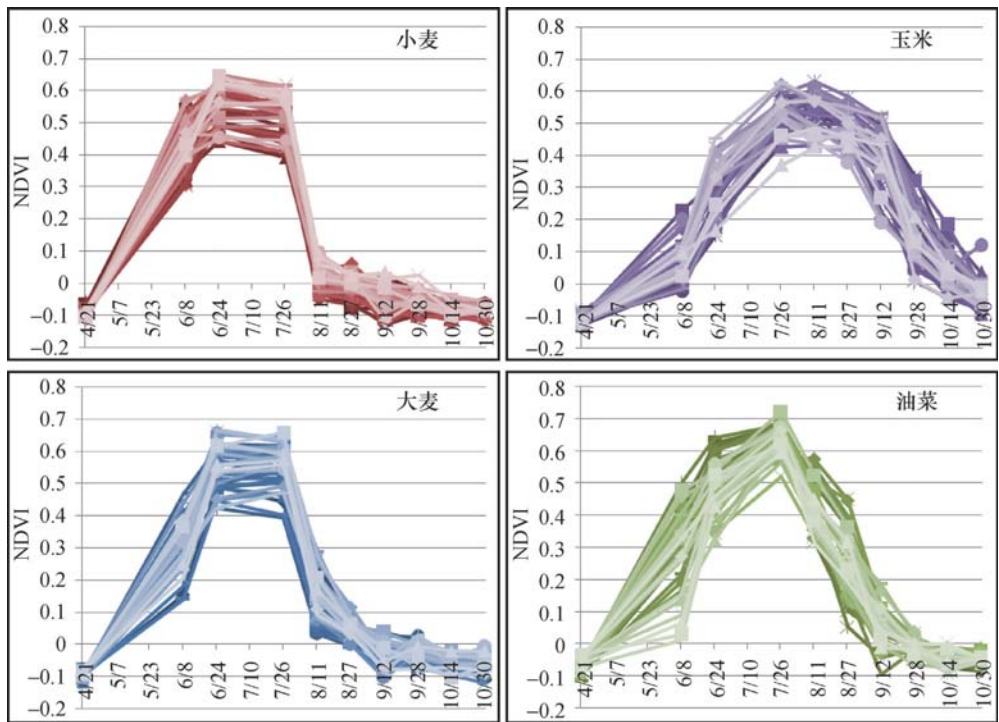


图 3-10 黑河流域小麦、大麦、油菜和玉米分类样本的 NDVI 时序曲线

小麦和大麦作为夏熟作物,收获期明显早于秋熟作物玉米和油菜,农作物收获后会导致时间窗口上的 NDVI 骤减,因此在 8 月小麦和大麦的 NDVI 骤减,而油菜和玉米的 NDVI 分别在 9、10 月才出现骤减。小麦的收获期为 7 月底至 8 月初,比大麦的收获期早 1 周左右,因此在 8 月上半月时大麦的 NDVI 大于小麦;小麦的播种期早于大麦,出苗也早于大麦,出苗后会引引起时间窗口上 NDVI 激增,因此小麦 4 月至 5 月 NDVI 的变化幅度大于大麦,而 6 月上半月至下半月小麦 NDVI 的变化幅度小于大麦。玉米和油菜的收获期相差 1 个月左右,在 8 月底至 9 月初油菜的 NDVI 开始骤减时,玉米的 NDVI 虽然也处于下降阶段,但仍普遍大于 0.2,与油菜形成明显差异。

对黑河流域 2012 年玉米、小麦、大麦和油菜分类样本的时序 NDVI 曲线分别取

平均值得到四种主要农作物的标准时序 NDVI 曲线(图 3-11)。农作物的时序 NDVI 曲线有效直观反映了农作物物候期与 NDVI 的对应关系。由于仅有 2012 年的农作物样本数据,本研究假设 2007 和 2014 年的农作物 NDVI 曲线的变化情况与 2012 年基本一致,以黑河流域 2012 年不同农作物的标准时序 NDVI 曲线为基准,结合农作物物候期信息和 2007、2012、2014 年有效 TM/ETM+/OLI 影像的分布时相情况选定农作物种植结构提取的关键时间窗口。

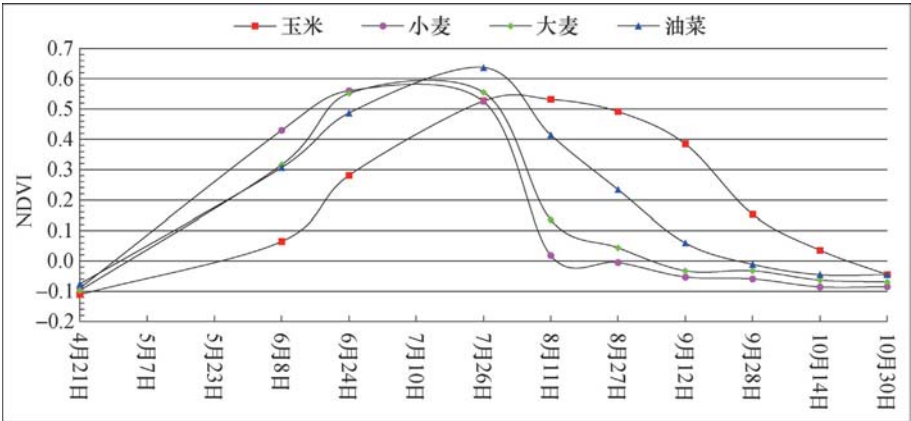


图 3-11 黑河流域主要农作物的标准 NDVI 时序曲线

黑河流域的夏熟作物(小麦/大麦)的播种、收获时间均早于秋熟作物(玉米/油菜),二者的标准时序 NDVI 曲线差异较明显,可以选择小麦/大麦的出苗期(5 月)和收获期(8 月)作为时间窗口首先将夏熟作物与秋熟作物分离。然而由于受云的影响不能获取 2012 年 5 月覆盖整个流域的清晰镶嵌影像,标准时序 NDVI 曲线缺少 5 月的数据,无法选择 5 月作为时间窗口,因此 2007 年选择(8,2)^①、2012 年选择(8,1)、2014 年选择(8,2)作为时间窗口分离秋熟作物和夏熟作物。

秋熟作物中玉米属于禾本科植物,而油菜属于十字花科植物,品种差异导致物候期及生理特征差异较大,其标准时序 NDVI 曲线也存在较大差异。玉米播种期早于油菜,玉米 4 月下半月播种,比油菜早半个月左右,然而玉米种植的行间距远远大于油菜,在油菜出苗后其覆盖度明显大于玉米,因此(6,1)、(6,2)和(7,2)这几个时间窗口油菜的 NDVI 均大于玉米,但差异并不明显。玉米的收获期比油菜晚,油菜在成熟后叶片凋落,覆盖度会快速下降,在(8,1)之后的时间窗口油菜的 NDVI 均小于玉米,并在 8 月底和 9 月时差异最为明显。因此 2007 年选择(9,2)、2012 年选择(9,1)、2014 年选择(8,2)作为时间窗口分离玉米和油菜。

夏熟作物小麦和大麦都属于禾本科小麦族植物,物候期及生理特征差异较小,其标准时序 NDVI 曲线差异较小。小麦的播种期和收获期均比大麦稍早,在 6 月初

^① (x,y)表示 NDVI 的时相,其中 x 表示月份,y∈{1,2},分别表示上半月、下半月。余同。

小麦的 NDVI 高于大麦,但 6 月大麦的 NDVI 增加速度大于小麦,8 月初小麦的 NDVI 小于大麦,为了更好地区分小麦和大麦,尽量选择 6 月和 8 月共同作为时间窗口。因此 2007 年选择(6,2)和(8,2),2012 年选择(6,1)和(6,2)、2014 年选择(6,1)作为时间窗口分离小麦和大麦。

由于分离出来的四种主要农作物中还混杂有其他农作物,需要根据农作物的物候期特征分别选定时间窗口,将其他农作物分别从主要农作物中分离出来。其中 2007 年选择从玉米和油菜中分离其他农作物的时间窗口均为(7,2)、(8,2),从小麦中分离其他农作物的时间窗口为(6,2)、(7,2),从大麦中分离其他农作物的时间窗口为(6,2)、(7,2)、(8,2)、(9,2)。2012 年选择从玉米中分离其他农作物的时间窗口为(6,2)、(7,2)、(8,1)、(8,2),从油菜中分离其他农作物的时间窗口为(6,2)、(7,2)、(8,2),从小麦和大麦中分离其他农作物的时间窗口均为(6,2)、(7,2)。2014 年选择从玉米和油菜中分离其他农作物的时间窗口均为(6,2)、(7,2)、(8,1),从小麦和大麦中分离其他农作物的时间窗口均为(6,2)、(7,2)。

综上所述,最终选定 2007 年的 4 个时间窗口为(6,2)、(7,2)、(8,2)、(9,2),2012 年的 6 个时间窗口为(6,1)、(6,2)、(7,2)、(8,1)、(8,2)、(9,1),2014 年的 5 个时间窗口为(6,1)、(6,2)、(7,2)、(8,1)、(8,2)。由于不同年份 TM/ETM+/OLI 影像受云影响的情况不一样,2007 年、2012 年和 2014 年可利用的有效影像的分布时相存在差异,因此不同年份选定的时间窗口也存在一定差异;同时不同农作物由于物候期特征的差异选定的时间窗口也存在差异。

2. 判别阈值的确定

根据黑河流域 2012 年农作物分类样本在不同时相上的 NDVI 统计值,经过多次试验确定 2007、2012 和 2014 年各时间窗口的适宜阈值(表 3-4)。其中从根结点(耕地)分类为内部结点(夏熟作物、秋熟作物以及混杂着其他农作物的玉米、小麦、大麦、油菜)的过程,时间窗口阈值的确定应该只根据农作物分类样本的整体生长状况(NDVI 的平均值)来确定,避免决策函数及判定阈值过多造成漏分和错分现象。从内部结点分类为根结点的过程(即分别从玉米、小麦、大麦、油菜中分离其他农作物的过程),时间窗口阈值的确定除了要考虑农作物分类样本的整体生长状况(NDVI 的平均值),还需要考虑长势较好(NDVI 的最大值)和长势较差(NDVI 的最小值)的情况,避免造成漏分和错分。

表 3-4 黑河流域 2012 年农作物分类样本的多时相 NDVI 统计情况

统计项		不同时相 NDVI 的统计值									
		(4,2)	(6,1)	(6,2)	(7,2)	(8,1)	(8,2)	(9,1)	(9,2)	(10,1)	(10,2)
玉米	最大值	-0.08	0.23	0.45	0.63	0.63	0.58	0.53	0.33	0.18	0.12
	最小值	-0.13	-0.02	0.15	0.37	0.43	0.38	0.19	0.01	-0.04	-0.09
	平均值	-0.11	0.06	0.28	0.53	0.53	0.49	0.38	0.15	0.04	-0.05

续表

统计项		不同时相 NDVI 的统计值									
		(4,2)	(6,1)	(6,2)	(7,2)	(8,1)	(8,2)	(9,1)	(9,2)	(10,1)	(10,2)
小麦	最大值	-0.06	0.57	0.65	0.61	0.09	0.06	0.03	0.03	-0.04	-0.06
	最小值	-0.11	0.30	0.44	0.39	-0.05	-0.07	-0.13	-0.10	-0.12	-0.12
	平均值	-0.09	0.43	0.56	0.52	0.02	-0.01	-0.05	-0.06	-0.09	-0.09
大麦	最大值	-0.08	0.47	0.67	0.66	0.29	0.12	0.04	0.03	-0.02	-0.01
	最小值	-0.12	0.14	0.42	0.39	0.03	-0.01	-0.10	-0.08	-0.11	-0.12
	平均值	-0.10	0.32	0.55	0.55	0.13	0.04	-0.03	-0.03	-0.06	-0.07
油菜	最大值	-0.04	0.50	0.64	0.72	0.57	0.45	0.18	0.04	0.00	-0.01
	最小值	-0.10	0.01	0.32	0.52	0.31	0.05	-0.10	-0.07	-0.09	-0.09
	平均值	-0.08	0.31	0.49	0.64	0.41	0.23	0.06	-0.01	-0.05	-0.05

(三)建立提取规则及决策树分类

1. 提取规则的建立

根据基于农作物物候期特征和农作物样本时序 NDVI 曲线共同选定的时间窗口,以及通过对各时间窗口上分类样本 NDVI 的统计分析确定的判别阈值,建立了黑河流域 2007、2012 和 2014 年主要农作物种植结构的提取规则(表 3-5)。由于不同年份选定的时间窗口存在差异,不同年份的农作物提取规则采用的决策函数及判别阈值存在细微差异。

表 3-5 黑河流域 2007、2012 和 2014 年主要农作物种植结构的提取规则

年份	作物类型	农作物种植结构提取规则
2007	玉米	$NDVI_{62} < NDVI_{72}, NDVI_{72} > 0.4, NDVI_{82} > 0.35, NDVI_{92} > 0.15$
	小麦	$NDVI_{62} > NDVI_{82}, NDVI_{62} > 0.05, NDVI_{72} > 0.3, NDVI_{82} < 0.2$
	大麦	$NDVI_{62} \leq NDVI_{82}, NDVI_{62} > 0.1, NDVI_{72} > 0.45, NDVI_{82} < 0.15, NDVI_{92} < 0.1$
	油菜	$NDVI_{72} > NDVI_{82}, NDVI_{72} > 0.4, NDVI_{82} \geq 0.25, NDVI_{92} \leq 0.15$
2012	玉米	$NDVI_{62} < NDVI_{81}, NDVI_{72} > 0.4, NDVI_{81} > 0.4, NDVI_{82} > 0.35, NDVI_{91} > 0.2$
	小麦	$NDVI_{62} - NDVI_{61} > 0.25, NDVI_{62} > 0.35, NDVI_{72} > 0.3, NDVI_{81} < 0.3$
	大麦	$NDVI_{62} - NDVI_{61} \leq 0.25, NDVI_{62} > 0.25, NDVI_{72} > 0.35, NDVI_{81} < 0.3$
	油菜	$NDVI_{62} > 0.2, NDVI_{72} > 0.35, NDVI_{81} \geq 0.3, NDVI_{82} < 0.35, NDVI_{91} \leq 0.2$
2014	玉米	$NDVI_{62} > NDVI_{81}, NDVI_{72} > 0.4, NDVI_{81} > 0.4, NDVI_{82} \geq 0.35$
	小麦	$NDVI_{61} > 0.35, NDVI_{62} > 0.3, NDVI_{72} > 0.3, NDVI_{82} < 0.25$
	大麦	$NDVI_{61} \leq 0.35, NDVI_{62} > 0.25, NDVI_{72} > 0.3, NDVI_{82} < 0.25$
	油菜	$NDVI_{62} > 0.2, NDVI_{72} > 0.4, NDVI_{81} > 0.25, 0.25 \leq NDVI_{82} < 0.35$

注: $NDVI_{xy}$ 表示时间窗口 (x,y) 的 NDVI 值,如 $NDVI_{62}$ 表示 6 月下旬的 NDVI 值。

2. 基于分类决策树提取农作物种植结构

根据农作物种植结构的提取规则及提取顺序(首先将夏熟作物与秋熟作物分类开,再分别将夏熟作物小麦和大麦、秋熟作物玉米和油菜分类开,最后将其他农作物分别从玉米、小麦、大麦和油菜中分类出来,不同年份的提取顺序相同),自上而下设置决策函数及判别阈值,分别逐级分层次构建了黑河流域 2007、2012 和 2014 年农作物种植结构提取的决策树(图 3-12~图 3-14)。

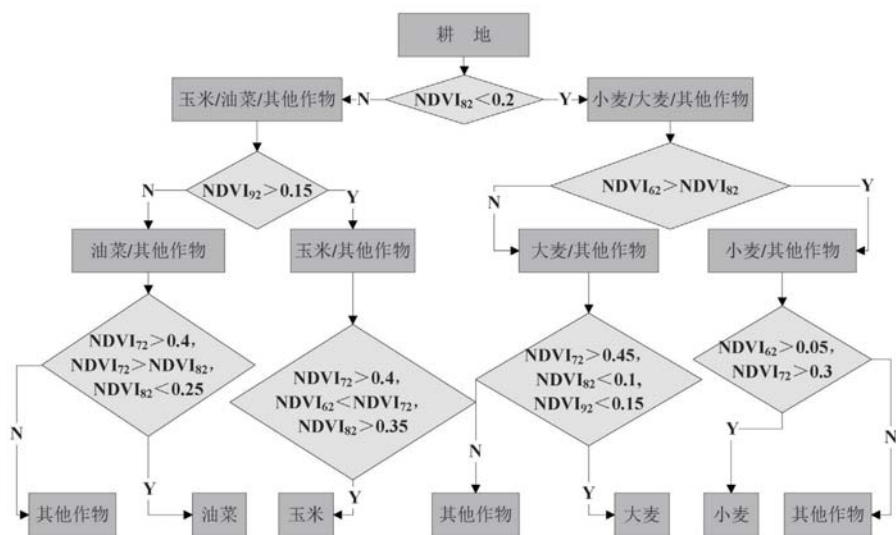


图 3-12 2007 年黑河流域农作物种植结构提取的分类决策树

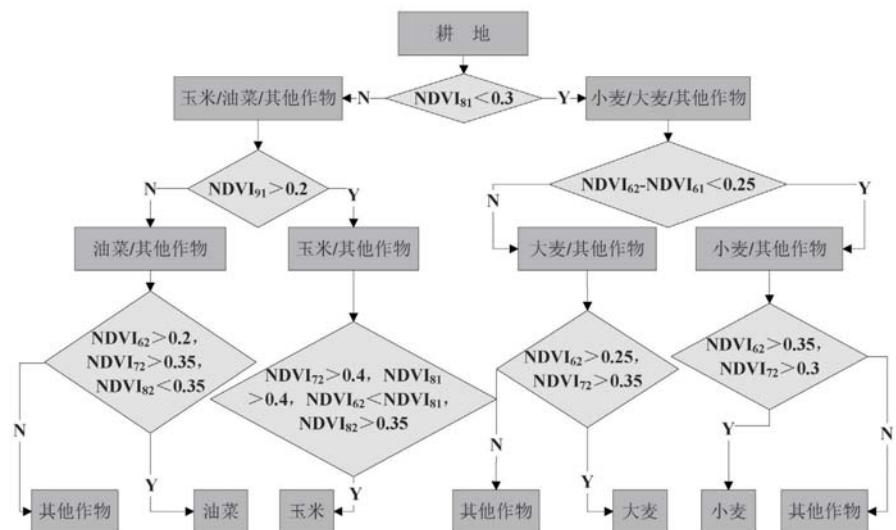


图 3-13 2012 年黑河流域农作物种植结构提取的分类决策树

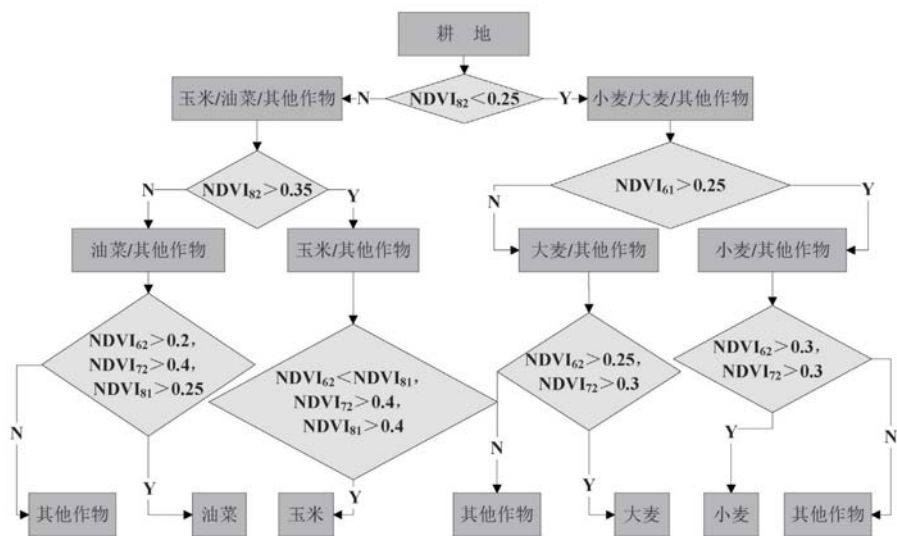


图 3-14 2014 年黑河流域农作物种植结构提取的分类决策树

根据构建的分类决策树,在 ENVI 5.1 上进行决策树分类,遥感提取黑河流域 2007、2012 和 2014 年农作物的种植结构。

(四)小斑块去除与精度评价

1. 小斑块去除

由于本研究选用的决策树分类是基于像元的遥感影像分类方法,其分类结果不可避免地会存在许多由单个或少数像元组成的同类型小斑块,然而绝大多数的小斑块都是不符合真实情况的存在。无论从真实反映地物分布(提高解译精度)的角度,还是从专题制图及实际应用的角度,都有必要依据区域实际情况对这些小斑块进行后处理(剔除或重新分类)。

目前常用的小斑块去除方法有主要/次要分析(Majority/Minority Analysis)、聚类处理(Clump)和过滤处理(Sieve)。本研究选用的是主要/次要分析中的主要分析(Majority Analysis),利用主要分析进行小斑块去除是定义一个以待判像元为中心的变换核并设定其尺寸(Kernel Size),采用类似于卷积滤波的计算方法,将中心像元的类别用变换核中占主要地位(像元数最多)的像元类别代替,并引入中心像元权重(Center Pixel Weight)来确定中心像元类别将被计算的次数;其中变换核尺寸越大则分类结果处理得越平滑,中心像元权重越大则中心像元分为其他类别的概率越小。本研究根据黑河流域大部分连片种植同种农作物的地块面积大约为 100m×100m 的特点,设置变换核尺寸为 3×3 像元(即 90m×90m),中心像元权重为 5,基于 ENVI 5.1 软件对 2007、2012 和 2014 年黑河流域农作物种植结构提取结果进行小斑块去除。

2. 精度评价及误差分析

遥感解译结果是在一定程度上对地物真实分布信息的概括,但由于传感器的系统误差、辐射能量在传播过程中的变形及丢失、数据处理方法及模型的不完善、操作者的知识局限及人为错误、训练集缺乏代表性等诸多不确定性因素的共同影响,遥感解译结果会存在一些无法避免的误差,需要通过精度评价对解译结果的质量进行客观地定量评价。精度评价是通过对比真实参考源检验解译结果的可信性及科学性程度,真实参考源可以由野外实地调查获取,可以通过高空间分辨率影像获取,也可以从高精度的遥感解译数据中获取(Congalton,1991)。

不同于其他遥感解译研究可以较易从高空间分辨率影像上选取水体、林地、草地、耕地等不同地类的验证样本,农作物种植结构提取研究的不同种类农作物在高空间分辨率影像上难以分辨,同时也难以通过野外实地调查获取历史年份农作物种植结构的真实参考源,因此本研究从高精度的解译结果——“黑河生态水文遥感试验:黑河流域土地利用覆被数据集”2012 年 6 月的地表类型覆被解译结果——中获取真实参考源,利用分层采样法和纯像元采样法随机选取玉米、小麦、大麦、油菜和其他农作物的与分类样本完全不同的验证样本各 50 个作为真实参考源。根据黑河流域的特点,验证样本的尺寸均为 3×3 像元(即 $90\text{m}\times 90\text{m}$)。由于仅有 2012 年的农作物验证样本,本研究仅利用误差矩阵(Congalton,1991)的方法对 2012 年黑河流域种植结构提取结果进行精度评价,得到分类结果的用户精度、制图精度、总体精度和 Kappa 系数(表 3-6)。

表 3-6 黑河流域 2012 年农作物种植结构提取结果精度评价

		验证样本					合计	用户精度 (%)
		玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物		
提取结果	玉米	423	0	0	9	57	489	86.50
	小麦	0	390	54	5	14	463	82.74
	大麦	0	57	393	16	9	475	82.23
	油菜	0	0	0	360	12	372	96.77
	其他农作物	27	3	3	60	358	451	79.38
合计		450	450	450	450	450	2250	
制图精度 (%)		94.00	86.67	87.33	80.00	79.56		

注:总体精度为 85.51%,Kappa 系数是 0.8190。

从误差矩阵可知,由于玉米与小麦、大麦、油菜的物候期、生理特征及种植间距差异较大,较易区分,仅与其他农作物存在漏分(27/450)和错分(57/489),并与同为秋熟作物的油菜存在 9/489 的错分;小麦和大麦由于物候期、生理特征及种植间距均差异较小,二者之间存在较多的相互漏分和错分。

与用户精度互补的是错分误差,即将分类结果中的农作物样本分类到与地面真

实类型不同的概率;与制图精度互补的是漏分精度,即地面的某种农作物类型被错误分类为其他类别的概率。2012 年黑河流域种植结构提取结果的玉米、小麦、大麦、油菜和其他农作物的错分误差分别为 13.50%、17.26%、17.77%、3.23%和 20.62%,漏分误差分别为 6.00%、13.33%、12.67%、20.00%和 20.44%。从概率上说,玉米、小麦、大麦和其他农作物的错分误差大于漏分误差,则玉米、小麦、大麦和其他农作物的提取结果较之真实情况存在一定程度的多分;而油菜的错分误差小于漏分误差,则油菜的提取结果较之真实情况存在一定程度的漏分。

由于标准时序 NDVI 曲线由 2012 年的分类样本得到,并且 2012 年选定参与分类的 6 个时间窗口较之 2007 年的 4 个和 2014 年的 5 个要多,因此认为 2007 和 2014 年黑河流域农作物种植结构的提取精度低于 2012 年的 85.51%。

三、黑河流域农作物种植结构时空格局变化

本部分首先分析了 2007—2014 年黑河流域耕地的扩张特征并揭示了耕地扩张的原因,再基于黑河流域 2007、2012 和 2014 年农作物种植结构提取结果,揭示黑河流域 2007—2014 年农作物种植结构的时空分布特征,从流域尺度和县域尺度两个方面分析了 2007—2012 年和 2012—2014 年农作物种植面积和种植比例的时空格局变化特征,同时也分析了 2007—2012 年和 2012—2014 年农作物种植类型转移的特征,并分析了 2007—2014 年农作物景观格局变化的特征,最后定性地解析了农作物种植结构变化的主要驱动力。

(一)耕地范围的变化

1. 耕地的扩张特征

黑河流域 2007、2012 和 2014 年的耕地面积分别为 $694.34 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $727.50 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $742.73 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。2007—2014 年,黑河流域的耕地面积呈现明显扩张趋势,其中 2007—2012 年扩张了 $33.16 \times 10^3 \text{ hm}^2$,在 2007 年的基础上扩张了 4.78% (每年扩张 0.96%),扩张速度为 $6.63 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$;2012—2014 年期间扩张了 $15.23 \times 10^3 \text{ hm}^2$,在 2012 年的基础上扩张了 2.09% (每年扩张 1.05%),扩张速度进一步加快,达到 $7.62 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$ (图 3-15 和图 3-16)。

从县域尺度上看,2007—2012 年,黑河流域耕地的增加主要集中在肃南裕固族自治县、甘州区、民乐县、山丹县、临泽县和高台县,而减少的耕地主要由山丹县、甘州区、民乐县和祁连县贡献(表 3-7)。黑河流域的 11 个县(区、旗)的耕地总扩张面积及对总扩张的贡献率分别为甘州区(8376.59 hm^2 , 25.26%)、民乐县(7229.37 hm^2 , 21.80%)、山丹县(1335.27 hm^2 , 4.03%)、临泽县(2295.26 hm^2 , 6.92%)、高台县(2029.98 hm^2 , 6.12%)、肃南裕固族自治县(8854.27 hm^2 , 26.70%)、肃州区(1174.83 hm^2 , 3.54%)、金塔县(1184.44 hm^2 , 3.57%)、嘉峪关市(474.87 hm^2 , 1.43%)、额济纳旗(103.03 hm^2 , 0.31%)和祁连县(198.99 hm^2 ,

0.30%)。其中耕地扩张速度最快的是肃南裕固族自治县($1770.85\text{hm}^2/\text{a}$),其次为甘州区($1675.32\text{hm}^2/\text{a}$)和民乐县($1445.87\text{hm}^2/\text{a}$);祁连县和额济纳旗的耕地面积较小,耕地扩张面积及扩张速度也都很小。黑河流域内的肃南裕固族自治县的耕地扩张主要发生于肃州区与高台县之间(图 3-15),肃南裕固族自治县的其他地区的耕地面积小且变化较小。

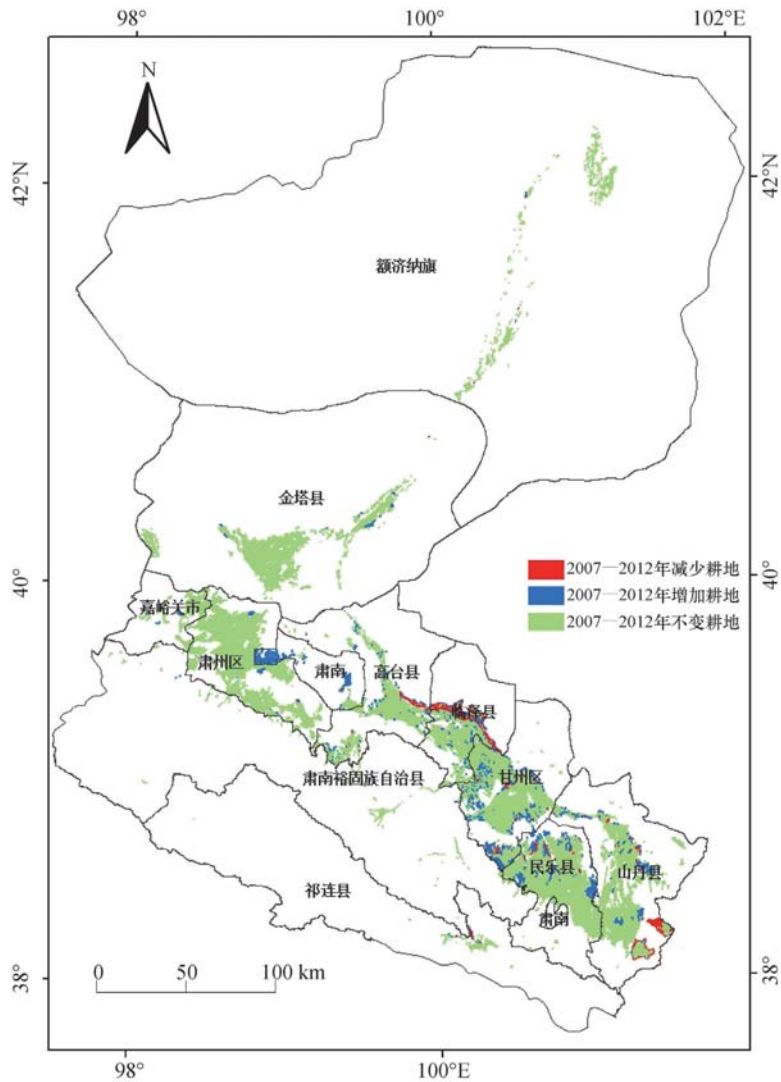


图 3-15 2007—2012 年黑河流域耕地变化(单位: hm^2)

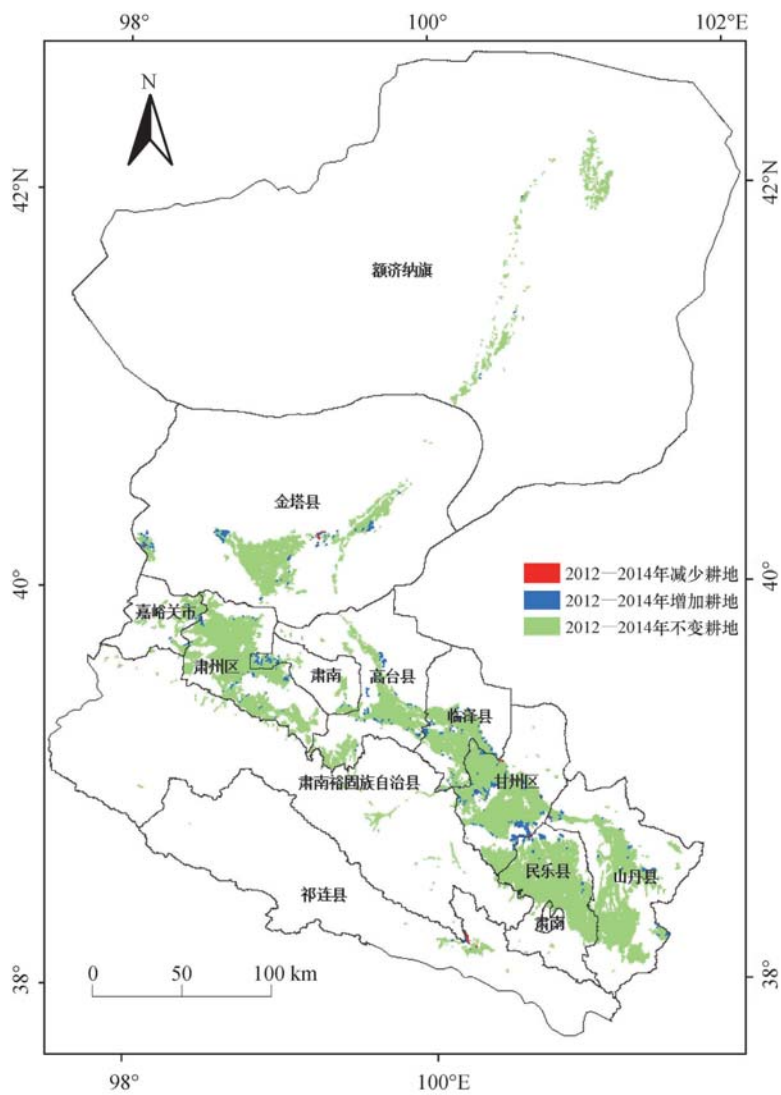


图 3-16 2012—2014 年黑河流域耕地变化(单位:hm²)

表 3-7 2007—2012 年黑河流域耕地变化情况

地区	增加(hm ²)	减少(hm ²)	总扩张(hm ²)	扩张速度(hm ² /a)	对总扩张的贡献率(%)
甘州区	8710.58	333.99	8376.59	1675.32	25.26
民乐县	7537.12	307.75	7229.37	1445.87	21.80
山丹县	5614.69	4279.42	1335.27	267.05	4.03
临泽县	2378.82	83.56	2295.26	459.05	6.92
高台县	2074.43	44.45	2029.98	406.00	6.12

续表

地区	增加(hm ²)	减少(hm ²)	总扩张(hm ²)	扩张速度(hm ² /a)	对总扩张的贡献率(%)
肃南裕固族自治县	8868.75	14.48	8854.27	1770.85	26.70
肃州区	1182.99	8.16	1174.83	234.97	3.54
金塔县	1198.52	14.07	1184.44	236.89	3.57
嘉峪关市	474.87	0.00	474.87	94.97	1.43
额济纳旗	134.61	31.58	103.03	20.61	0.31
祁连县	229.36	129.23	100.13	20.03	0.30
黑河流域	38404.74	5246.70	33158.05	6631.61	100.00

2012—2014 年,黑河流域耕地的增加主要集中在甘州区和金塔县,耕地的减少主要发生在祁连县、甘州区和金塔县(表 3-8)。黑河流域的 11 个县(区、旗)的耕地总扩张面积及对总扩张的贡献率分别为甘州区(4068.45hm²,26.71%)、民乐县(1108.16hm²,7.28%)、山丹县(1462.78hm²,9.60%)、临泽县(1619.02hm²,10.63%)、高台县(1442.32hm²,9.47%)、肃南裕固族自治县(946.07hm²,6.21%)、肃州区(895.4hm²,5.88%)、金塔县(3122.61hm²,20.50%)、嘉峪关市(284.04hm²,1.86%)、额济纳旗(84.39hm²,0.55%)和祁连县(198.99hm²,1.31%)。其中耕地扩张速度最快的是甘州区(2034.23hm²/a),其次为金塔县(1561.30hm²/a);祁连县(99.50hm²/a)和额济纳旗(42.20hm²/a)的耕地扩张速度较小。

表 3-8 2012—2014 年黑河流域耕地变化情况

地区	增加(hm ²)	减少(hm ²)	总扩张(hm ²)	扩张速度(hm ² /a)	对总扩张的贡献率(%)
甘州区	4150.72	82.26	4068.45	2034.23	26.71
民乐县	1110.70	2.54	1108.16	554.08	7.28
山丹县	1470.67	7.89	1462.78	731.39	9.60
临泽县	1619.02	0.00	1619.02	809.51	10.63
高台县	1442.33	0.00	1442.32	721.16	9.47
肃南裕固族自治县	946.54	0.47	946.07	473.04	6.21
肃州区	895.04	0.00	895.04	447.52	5.88
金塔县	3168.39	45.78	3122.61	1561.30	20.50
嘉峪关市	284.04	0.00	284.04	142.02	1.86
额济纳旗	84.39	0.00	84.39	42.20	0.55
祁连县	312.75	113.75	198.99	99.50	1.31
黑河流域	15484.57	252.69	15231.88	7615.94	100.00

由于黑河流域中游具有全流域最适宜农业生产的光、热、水资源,2007—2014 年黑河流域耕地的持续扩张主要发生在中游地区,并且多发生在耕地的边缘(图 3-15 和图 3-16,表 3-7 和表 3-8)。农业绿洲(耕地)的持续扩张引起农业灌溉用水的增加,势必在水资源极度缺乏的黑河流域加剧流域内、部门间的水资源矛盾,进而引起一系列生态问题:中游农业用水的增加会减少下游水资源的供应,导致下游天然绿洲的萎缩,从而加剧黑河流域大风、沙尘暴等极端天气;农业用水的持续增加会不断挤压生态、生活及工业用水空间,不利于保障生态系统和区域可持续发展(程国栋,2002,2009;李小琴,2005)。

2. 耕地持续扩张的原因

虽然我国在黑河流域实施了退耕还林、退耕还草等一系列生态保育工程来试图减缓耕地扩张速度、缓解农业用水带来的压力,但效果并不明显,甚至 2012—2014 年耕地的扩张速度高于 2007—2012 年(表 3-7 和表 3-8),减少的耕地主要用于生态保育工程和城镇化,增加的耕地主要来源于耕地开荒。这可能是在一部分耕地被改造为林地、草地的同时,又有大量的耕地由其他地类开垦而来(Song et al.,2015),这可能也是 2007—2012 年和 2012—2014 年在耕地减少的同时却增加了更多耕地的原因(表 3-7 和表 3-8)。通过 2015 年 8 月实地调研发现,开荒耕地的现象在黑河流域各地区普遍存在,尤其是中游地区,利用新开垦的耕地进行农作物生产较之租用其他农户的耕地少了许多土地投入(根据《全国农产品成本收益资料汇编》的统计数据,历年中国农作物生产的土地投入持续增加并且增加幅度超过了物资与服务费用)。此外,我国实施的农业生产补贴政策大多是按照农作物种植面积来给予农户现金和物资,并且补贴额度一直在不断增加,这在一定程度上促使农户去开垦更多的新耕地。黑河流域耕地扩张主要受人类活动干预的同时,近几十年来黑河流域的气候暖湿变化(马红勇,2015)趋势也为耕地的形成提供了有利条件。

(二)农作物种植结构的时空分布

1. 2007 年农作物种植结构的空间分布

2007 年,黑河流域种植的主要农作物中玉米的空间分布最广,高达 118209.42hm²,其次为小麦(45923.94hm²),再次为大麦(23507.46hm²),油菜(16366.23hm²)的空间分布最小(图 3-17)。其中大部分的玉米分布于甘州区,其他的玉米主要种植在金塔县和肃州区中部,玉米在临泽县和高台县也有一定分布。小麦主要集中种植在甘州区南角与民乐县西角的交汇处以及民乐县的东部,在肃州区也有较多分布。大麦主要集中种植在民乐县的中部和山丹县的北部。油菜分散种植在民乐县和山丹县的中部,在祁连县也有少量种植。

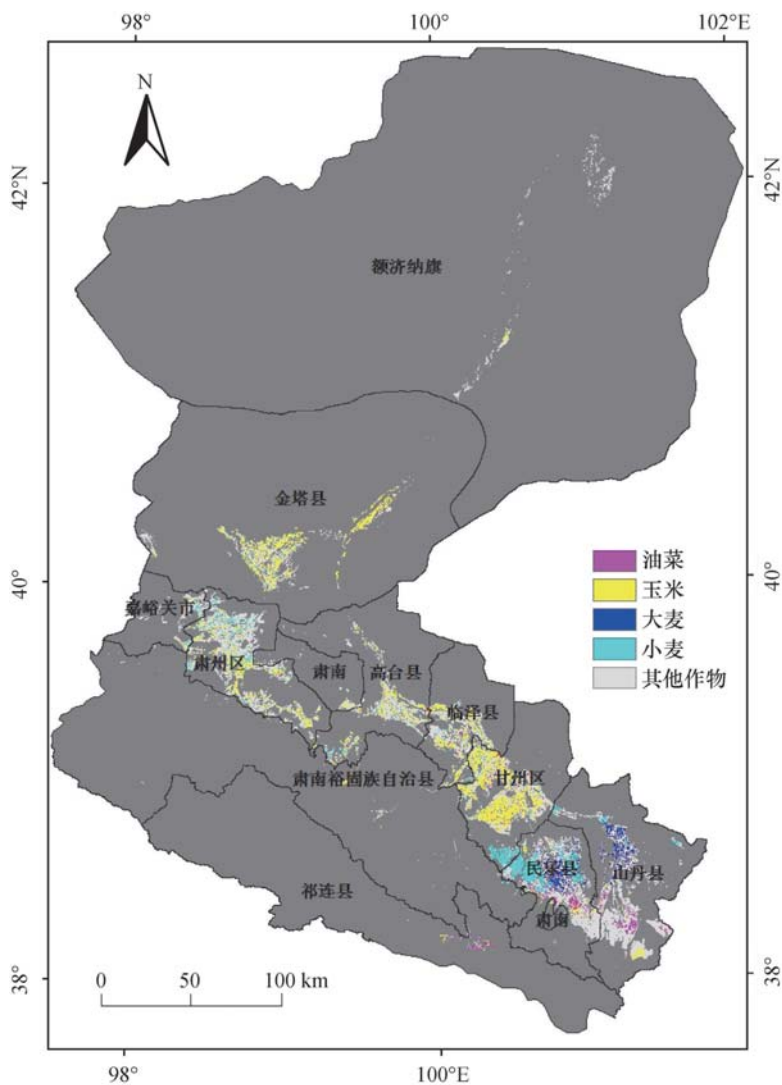


图 3-17 2007 年黑河流域农作物种植结构空间分布

黑河流域 2007 年玉米主要分布在甘州区(45060.57hm^2 , 38.12%),在金塔县(22936.77hm^2 , 19.40%)、肃州区(18665.73hm^2 , 15.79%)、临泽县(11747.70hm^2 , 9.94%)和高台县(9668.34hm^2 , 8.18%)也分布较多(表 3-9)。小麦主要分布在民乐县(21314.79hm^2 , 46.41%),在甘州区(7869.87hm^2 , 17.14%)和肃州区(7160.76hm^2 , 15.59%)也分布较多。大麦主要分布在民乐县(11984.04hm^2 , 50.98%)和山丹县(11419.92hm^2 , 48.58%)。油菜主要分布于民乐县(5284.53hm^2 , 32.29%)和山丹县(4957.11hm^2 , 30.29%),在甘州区(2332.35hm^2 , 14.25%)和祁连县(1329.12hm^2 , 8.12%)也有较多分布。

表 3-9 黑河流域 2007 年各区县的农作物种植面积 (hm²) 及对各类农作物总面积的贡献率 (%)

地区	玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物
甘州区	45060.57 (38.12%)	7869.87 (17.14%)	99.81 (0.42%)	2332.35 (14.25%)	66441.70 (13.55%)
民乐县	3465.09 (2.93%)	21314.79 (46.41%)	11984.04 (50.98%)	5284.53 (32.29%)	73175.18 (14.92%)
山丹县	2273.58 (1.92%)	2112.03 (4.60%)	11419.92 (48.58%)	4957.11 (30.29%)	84720.32 (17.28%)
临泽县	11747.70 (9.94%)	2109.87 (4.59%)	0.00 (0.00%)	638.10 (3.90%)	40033.94 (8.16%)
高台县	9668.34 (8.18%)	2124.27 (4.63%)	2.43 (0.01%)	534.42 (3.27%)	41238.87 (8.41%)
肃南裕固族自治县	1679.76 (1.42%)	535.05 (1.17%)	1.26 (0.01%)	218.97 (1.34%)	11022.58 (2.25%)
肃州区	18665.73 (15.79%)	7160.76 (15.59%)	0.00 (0.00%)	809.19 (4.94%)	96569.09 (19.69%)
金塔县	22936.77 (19.40%)	1847.52 (4.02%)	0.00 (0.00%)	84.51 (0.52%)	46584.08 (9.50%)
嘉峪关市	917.19 (0.78%)	740.97 (1.61%)	0.00 (0.00%)	154.53 (0.94%)	14058.18 (2.87%)
额济纳旗	959.22 (0.81%)	83.97 (0.18%)	0.00 (0.00%)	23.40 (0.14%)	14432.10 (2.94%)
祁连县	835.47 (0.71%)	24.84 (0.05%)	0.00 (0.00%)	1329.12 (8.12%)	2061.72 (0.42%)

2. 2012 年农作物种植结构的空间分布

2012 年,黑河流域农作物的种植仍以玉米为主,其种植面积较之 2007 年增加了 31305.69hm² (26.48%),高达 149515.11hm²,主要分布于甘州区、临泽县、高台县、肃州区和金塔县,其中在甘州区、临泽县和高台县的种植较集中,在肃州区和金塔县的种植呈现分散特征(图 3-18)。小麦(33681.06hm²)的分布范围仍然仅次于玉米;油菜(20024.55hm²)的空间分布较之 2007 年有所扩张,并超过大麦(15430.77hm²)的分布面积;小麦、大麦、油菜主要分布于民乐县和山丹县。

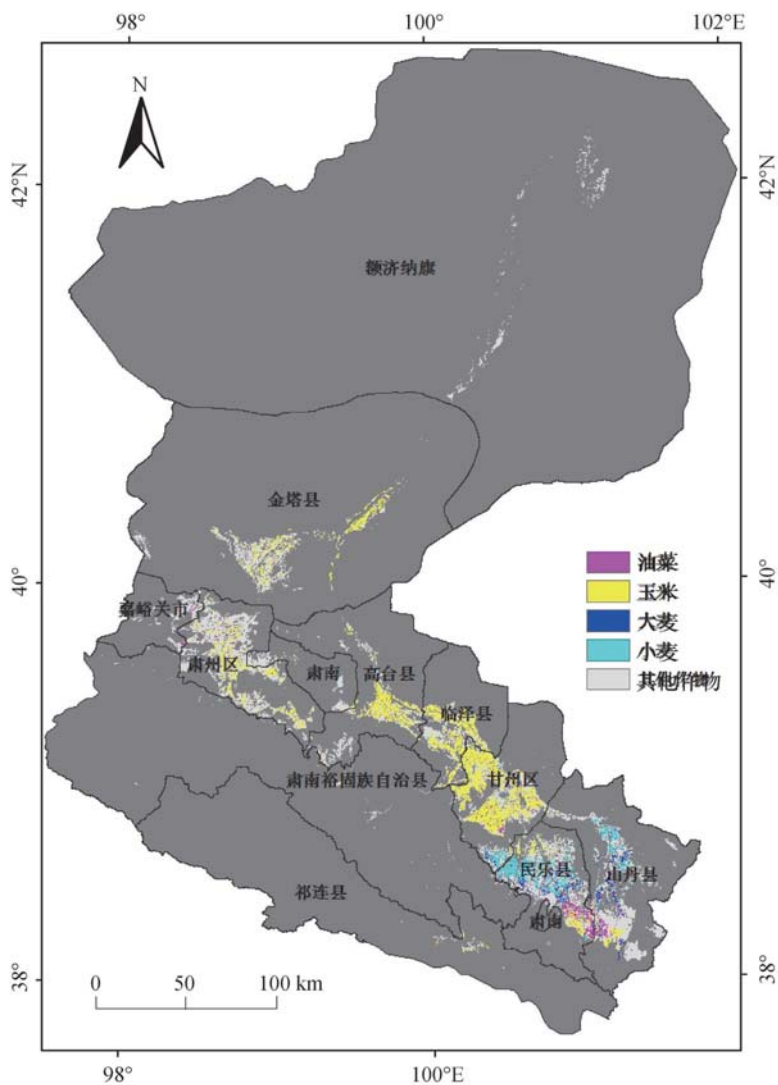


图 3-18 2012 年黑河流域农作物种植结构空间分布

黑河流域 2012 年的玉米仍主要分布于在甘州区(57240.63hm^2 , 38.28%), 在临泽县(23688.72hm^2 , 15.84%)、肃州区(19763.19hm^2 , 13.22%)、高台县(18157.23hm^2 , 12.14%)和金塔县(14801.40hm^2 , 9.90%)也分布较多;较之 2007 年,甘州区、临泽县和高台县的玉米分布有明显增加,肃州区的玉米分布有小量增加,而金塔县的玉米分布有较大减少(表 3-10)。小麦、油菜和大麦均主要分布在民乐县和山丹县,其中小麦在两县的分布分别为 22230.09hm^2 (46.41%)和 7204.86hm^2 (21.39%),小麦在甘州区(3650.58hm^2 , 10.84%)也有较多分布;油菜在民乐县和山丹县的分布分别为 10370.79hm^2 (51.79%)和 5362.47hm^2 (26.78%);大麦在山丹县和民乐县的分布

分别为 7828.38hm² (50.73%)和 5643.45hm² (36.57%),大麦在甘州区(1518.12hm², 9.84%)也有较多分布。

表 3-10 黑河流域 2012 年各区县的农作物种植面积(hm²)及对各类农作物总面积的贡献率(%)

地区	玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物
甘州区	57240.63 (38.28%)	3650.58 (10.84%)	1518.12 (9.84%)	1174.77 (5.87%)	66596.79 (13.09%)
民乐县	9389.16 (6.28%)	22230.09 (66.00%)	5643.45 (36.57%)	10370.79 (51.79%)	74819.51 (14.70%)
山丹县	4531.23 (3.03%)	7204.86 (21.39%)	7828.38 (50.73%)	5362.47 (26.78%)	81891.29 (16.09%)
临泽县	23688.72 (15.84%)	40.23 (0.12%)	8.64 (0.06%)	168.48 (0.84%)	32918.79 (6.47%)
高台县	18157.23 (12.14%)	61.56 (0.18%)	3.24 (0.02%)	435.60 (2.18%)	36940.69 (7.26%)
肃南裕固族自治县	554.22 (0.37%)	23.49 (0.07%)	53.46 (0.35%)	345.51 (1.73%)	21335.21 (4.19%)
肃州区	19763.19 (13.22%)	355.50 (1.06%)	276.75 (1.79%)	1183.32 (5.91%)	102800.84 (20.20%)
金塔县	14801.40 (9.90%)	99.72 (0.30%)	53.91 (0.35%)	419.22 (2.09%)	57263.07 (11.25%)
嘉峪关市	134.46 (0.09%)	12.87 (0.04%)	36.18 (0.23%)	440.73 (2.20%)	15721.49 (3.09%)
额济纳旗	243.90 (0.16%)	1.71 (0.01%)	0.00 (0.00%)	6.12 (0.03%)	15349.99 (3.02%)
祁连县	1010.97 (0.68%)	0.45 (0.00%)	8.64 (0.06%)	117.54 (0.59%)	3213.68 (0.63%)

3. 2014 年农作物种植结构的空间分布

2014 年,黑河流域的玉米仍为种植最广泛的农作物,种植面积在 2012 年的基础上增加了 20195.28hm² (13.51%),达到 169710.39hm²,玉米主要分布于甘州区、肃州区、临泽县、民乐县和山丹县;小麦(33606.26hm²)、油菜(24265.08hm²)和大麦(12743.37hm²)仍主要分布于民乐县和山丹县,油菜在肃州区也开始有大面积种植(图 3-19)。

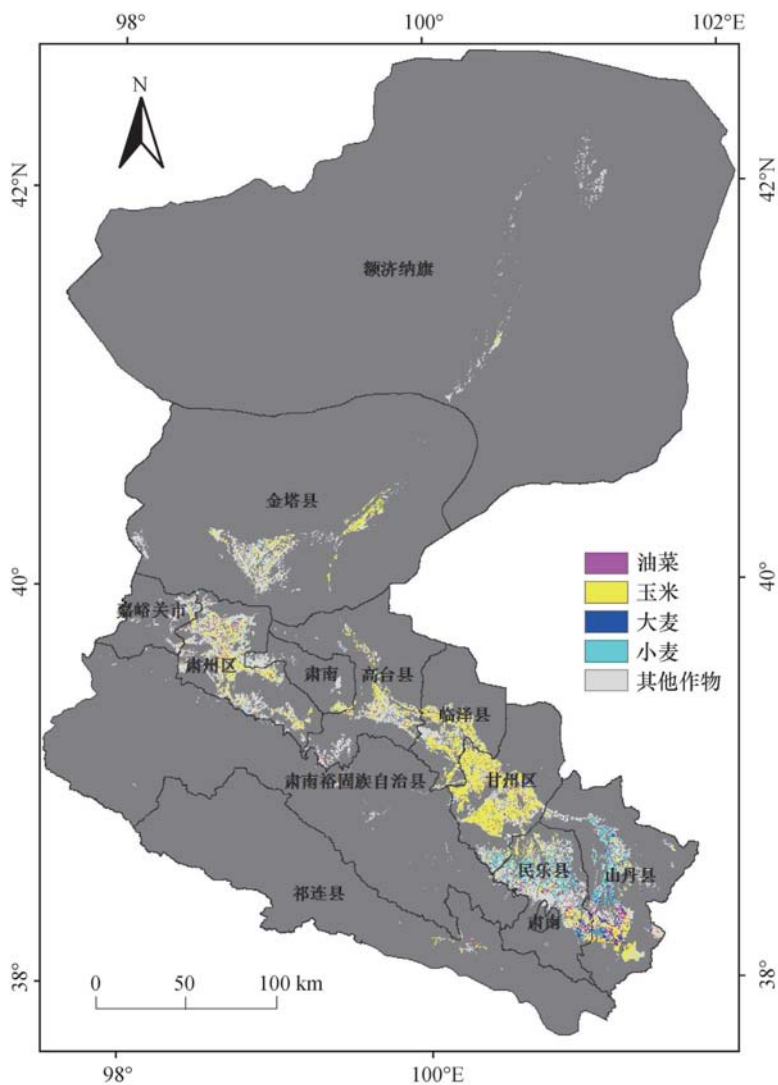


图 3-19 2014 年黑河流域农作物种植结构空间分布

黑河流域 2014 年玉米在甘州区(62784.36hm^2 , 37.00%)和肃州区(22997.52hm^2 , 13.55%)的分布较之 2012 年有所扩张,在山丹县(19249.92hm^2 , 11.34%)和民乐县(16111.89hm^2 , 9.49%)的分布有明显增加,而在临泽县(21133.80hm^2 , 12.45%)、金塔县(12866.22hm^2 , 7.58%)、高台县(10000.80hm^2 , 5.89%)的分布有大量减少(表 3-11)。有 46.55% 和 36.94% 的小麦分别分布在民乐县(15647.22hm^2)和山丹县(12417.93hm^2)。有 55.44% 和 28.72% 的大麦分别分布在山丹县(7065.18hm^2)和民乐县(3659.67hm^2)。油菜在山丹县(8237.79hm^2)、民乐县(7386.21hm^2)和肃州区(3195.90hm^2)的分布分别达到总油菜面积的 33.95% 、 30.44% 和 13.17% 。

表 3-11 黑河流域 2014 年各区县的农作物种植面积(hm^2)及对各类农作物总面积的贡献率(%)

地区	玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物
甘州区	62784.36 (37.00%)	2046.87 (6.09%)	331.38 (2.60%)	1847.70 (7.61%)	67239.04 (13.38%)
民乐县	16111.89 (9.49%)	15647.22 (46.55%)	3659.67 (28.72%)	7386.21 (30.44%)	80756.17 (16.07%)
山丹县	19249.92 (11.34%)	12417.93 (36.94%)	7065.18 (55.44%)	8237.79 (33.95%)	61310.19 (12.20%)
临泽县	21133.80 (12.45%)	245.43 (0.73%)	141.48 (1.11%)	685.53 (2.83%)	36237.64 (7.21%)
高台县	10000.80 (5.89%)	338.85 (1.01%)	559.44 (4.39%)	1459.80 (6.02%)	44681.75 (8.89%)
肃南裕固族自治县	1817.01 (1.07%)	175.86 (0.52%)	168.75 (1.32%)	99.18 (0.41%)	20997.16 (4.18%)
肃州区	22997.52 (13.55%)	1736.91 (5.17%)	412.56 (3.24%)	3195.90 (13.17%)	96931.76 (19.29%)
金塔县	12866.22 (7.58%)	780.21 (2.32%)	194.85 (1.53%)	927.09 (3.82%)	60991.56 (12.14%)
嘉峪关市	1160.28 (0.68%)	175.59 (0.52%)	179.19 (1.41%)	255.42 (1.05%)	14859.30 (2.96%)
额济纳旗	385.11 (0.23%)	1.80 (0.01%)	0.81 (0.01%)	4.86 (0.02%)	15293.53 (3.04%)
祁连县	1203.48 (0.71%)	49.59 (0.15%)	30.06 (0.24%)	165.60 (0.68%)	3101.54 (0.62%)

(三)农作物种植面积和种植比例变化

1. 流域尺度农作物种植面积变化

2007—2014 年,黑河流域玉米和油菜的种植面积(CA)呈现增加趋势,而小麦和大麦的种植面积呈现减少趋势(表 3-12)。2007—2012 年,黑河流域玉米和油菜的种植面积分别由 2007 年的 $118.21 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $16.37 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 增加到 2012 年的 $149.52 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $20.02 \times 10^3 \text{ hm}^2$,分别增加了 $31.31 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $3.66 \times 10^3 \text{ hm}^2$,种植面积变化速度(CAV)分别为 $6.26 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$ 和 $0.73 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$,种植面积变化率(CAR)分别为 $5.30\%/\text{a}$ 和 $4.47\%/\text{a}$ 。小麦和大麦的种植面积分别由 2007 年的 $45.92 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $23.51 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 减少到 2012 年的 $33.68 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $15.43 \times 10^3 \text{ hm}^2$,分别减少了 $12.24 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $8.08 \times 10^3 \text{ hm}^2$,种植面积变化速度分别为—

$2.45 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$ 和 $-1.62 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$, 种植面积变化率分别为 $-5.33\%/\text{a}$ 和 $-6.87\%/\text{a}$ 。其他农作物种植面积的变化较小, 2007—2012 年期间共增加 $18.51 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 种植面积变化速度为 $3.70 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$, 种植面积变化率仅为 $0.76\%/\text{a}$ 。

表 3-12 2007—2014 年黑河流域农作物种植面积变化

	单位	玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物	耕地
$CA_{2007}(i)$	10^3 hm^2	118.21	45.92	23.51	16.37	490.34	694.34
$CA_{2012}(i)$	10^3 hm^2	149.52	33.68	15.43	20.02	508.85	727.50
$CA_{2014}(i)$	10^3 hm^2	169.71	33.62	12.74	24.27	502.40	742.73
$CAC_{2007-2012}(i)$	10^3 hm^2	31.31	-12.24	-8.08	3.66	18.51	33.16
$CAC_{2012-2014}(i)$	10^3 hm^2	20.20	-0.06	-2.69	4.24	-6.45	15.23
$CAV_{2007-2012}(i)$	$10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$	6.26	-2.45	-1.62	0.73	3.70	6.63
$CAV_{2012-2014}(i)$	$10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$	10.10	-0.03	-1.34	2.12	-3.23	7.62
$CAR_{2007-2012}(i)$	$\%/\text{a}$	5.30	-5.33	-6.87	4.47	0.76	0.96
$CAR_{2012-2014}(i)$	$\%/\text{a}$	6.75	-0.10	-8.71	10.59	-0.63	1.05

2012—2014 年期间, 黑河流域玉米和油菜的种植面积在 2012 年的基础上分别增加了 $20.20 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $4.24 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 分别增至 2014 年的 $169.71 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $24.27 \times 10^3 \text{ hm}^2$ (表 3-12); 种植面积变化速度明显快于 2007—2012 年, 分别为 $10.10 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$ 和 $2.12 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$; 种植面积变化率也高于 2007—2012 年, 分别为 $6.75\%/\text{a}$ 和 $10.59\%/\text{a}$ 。小麦和大麦的种植面积较之 2012 年分别减少了 $0.06 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $2.69 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 减少到 2014 年的 $33.62 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $12.74 \times 10^3 \text{ hm}^2$; 小麦的种植面积的减少速度较之 2007—2012 年大幅减缓, 仅为 $-0.03 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$, 同时其种植面积变化率也大幅减缓, 为 $-0.10\%/\text{a}$; 大麦的种植面积减少速度也有一定减缓, 为 $-1.34 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$, 但其种植面积变化率却进一步增大, 低至为 $-8.71\%/\text{a}$ 。2012—2014 年, 其他农作物共减少 $6.45 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 种植面积变化速度为 $-3.23 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$, 种植面积变化率只有 $-0.63\%/\text{a}$ 。

2. 流域尺度农作物种植比例变化

2007—2014 年, 黑河流域玉米和油菜的种植比例(CP)随着种植面积的增加也呈现出增加趋势, 而小麦和大麦的种植比例随着种植面积的减少呈现出下降趋势 (表 3-13)。2007—2012 年, 黑河流域玉米和油菜的种植比例分别由 2007 年的 17.02% 和 2.36% 增加到 2012 年的 20.55% 和 2.75% , 分别增加了 3.53% 和 0.40% , 种植比例变化速度(CPV)分别为 $0.71\%/\text{a}$ 和 $0.08\%/\text{a}$, 种植比例变化率(CPR)分别为 $4.14\%/\text{a}$ 和 $3.36\%/\text{a}$ 。小麦和大麦的种植比例分别由 2007 年的 6.61% 和 3.39% 减少到 2012 年的 4.63% 和 2.12% , 分别减少了 1.98% 和 1.26% , 种植比例变化速度分别为 $-0.40\%/\text{a}$ 和 $-0.25\%/\text{a}$, 种植比例变化率分别为 $-6.00\%/\text{a}$ 和 $-7.47\%/\text{a}$ 。

2012—2014 年期间,黑河流域玉米和油菜的种植比例较之 2012 年分别增加了 2.30%和 0.51%,分别增加到 2014 年的 22.85%和 3.27%(表 3-13);种植比例变化速度较之 2007—2012 年有所增加,分别为 1.15%/a 和 0.26%/a;同时种植比例变化率也高于 2007—2012 年,分别为 5.59%/a 和 9.35%/a。小麦和大麦的种植比例在 2012 年的基础上分别减少了 0.10%和 0.41%,分别减少到 2014 年的 4.53%和 1.72%;种植比例变化速度较之 2007—2012 年均有所减缓,分别为 -0.05%/a 和 -0.20%/a;同时小麦的种植比例变化率也大幅减缓,为 -1.12%/a,但大麦的种植比例变化率却有一定增加,为 -9.55%/a。2007—2014 年,黑河流域其他农作物的种植比例一直呈现减少趋势且下降幅度逐渐增加,2007—2012 年和 2012—2014 年种植比例分别减少了 0.67%和 2.30%,种植比例变化速度分别为 -0.13%/a 和 -1.15%/a,种植比例变化率分别为 -0.19%/a 和 -1.65%/a。

表 3-13 黑河流域 2007—2014 年农作物种植比例变化

	单位	玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物	耕地
$CP_{2007}(i)$	%	17.02	6.61	3.39	2.36	70.62	100.00
$CP_{2012}(i)$	%	20.55	4.63	2.12	2.75	69.94	100.00
$CP_{2014}(i)$	%	22.85	4.53	1.72	3.27	67.64	100.00
$CPC_{2007-2012}(i)$	%	3.53	-1.98	-1.26	0.40	-0.67	0.00
$CPC_{2012-2014}(i)$	%	2.30	-0.10	-0.41	0.51	-2.30	0.00
$CPV_{2007-2012}(i)$	%/a	0.71	-0.40	-0.25	0.08	-0.13	0.00
$CPV_{2012-2014}(i)$	%/a	1.15	-0.05	-0.20	0.26	-1.15	0.00
$CPR_{2007-2012}(i)$	%/a	4.14	-6.00	-7.47	3.36	-0.19	0.00
$CPR_{2012-2014}(i)$	%/a	5.59	-1.12	-9.55	9.35	-1.65	0.00

3. 县域尺度农作物种植面积变化

2007—2012 年期间,黑河流域的玉米在甘州区、民乐县、山丹县、临泽县、高台县、肃州区和祁连县的种植面积呈现增加趋势,而在肃南裕固族自治县、金塔县、嘉峪关市和额济纳旗呈现减少趋势,其中在甘州区、临泽县和高台县增加的种植面积较大,分别为 12180.06hm²、11941.02hm² 和 8488.89hm²,而在金塔县减少的种植面积高达 8135.37hm²(表 3-14)。小麦的种植面积仅在民乐县和山丹县有所增加,分别增加 915.30hm² 和 5092.83hm²,在其他 9 个县(区、旗)的种植面积均减少,其中在甘州区和肃州区的减少面积较多,分别为 4219.29hm² 和 6805.26hm²。大麦在民乐县和山丹县的种植面积呈现减少趋势,分别减少 6340.59hm² 和 3591.54hm²,在其他 9 个县(区、旗)的种植面积均增加,其中在甘州区的增加面积为 1418.31hm²。油菜在民乐县、山丹县、肃南裕固族自治县、肃州区、金塔县和嘉峪关市的种植面积呈增加趋势,在甘州区、临泽县、高台县、额济纳旗和祁连县的种植面积呈减少趋势,其

中在民乐县的增加面积高达 5086.26hm²,在甘州区和祁连县的减少面积较多,分别为 1157.58hm² 和 1211.58hm²。

表 3-14 2007—2012 年黑河流域各县(区、旗)农作物种植面积(hm²)变化

	玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物
甘州区	12180.06	-4219.29	1418.31	-1157.58	155.09
民乐县	5924.07	915.30	-6340.59	5086.26	1644.33
山丹县	2257.65	5092.83	-3591.54	405.36	-2829.03
临泽县	11941.02	-2069.64	8.64	-469.62	-7115.14
高台县	8488.89	-2062.71	0.81	-98.82	-4298.19
肃南裕固族自治县	-1125.54	-511.56	52.20	126.54	10312.63
肃州区	1097.46	-6805.26	276.75	374.13	6231.75
金塔县	-8135.37	-1747.80	53.91	334.71	10678.99
嘉峪关市	-782.73	-728.10	36.18	286.20	1663.32
额济纳旗	-715.32	-82.26	0.00	-17.28	917.89
祁连县	175.50	-24.39	8.64	-1211.58	1151.96

2012—2014 年,黑河流域的玉米在甘州区、民乐县、山丹县、肃南裕固族自治县、肃州区、嘉峪关市、额济纳旗和祁连县的种植面积呈现增加趋势,其中在甘州区、民乐县和山丹县增加的种植面积较大,分别为 5543.73hm²、6722.73hm² 和 14718.69hm²,而在临泽县、高台县和金塔县的种植面积分别减少 2554.92hm²、8156.43hm² 和 1935.18hm²(表 3-15)。

表 3-15 2012—2014 年黑河流域各县(区、旗)农作物种植面积(hm²)变化

	玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物
甘州区	5543.73	-1603.71	-1186.74	672.93	642.24
民乐县	6722.73	-6582.87	-1983.78	-2984.58	5936.66
山丹县	14718.69	5213.07	-763.20	2875.32	-20581.10
临泽县	-2554.92	205.20	132.84	517.05	3318.85
高台县	-8156.43	277.29	556.20	1024.20	7741.06
肃南裕固族自治县	1262.79	152.37	115.29	-246.33	-338.05
肃州区	3234.33	1381.41	135.81	2012.58	-5869.09
金塔县	-1935.18	680.49	140.94	507.87	3728.49
嘉峪关市	1025.82	162.72	143.01	-185.31	-862.20
额济纳旗	141.21	0.09	0.81	-1.26	-56.46
祁连县	192.51	49.14	21.42	48.06	-112.14

小麦的种植面积仅在甘州区和民乐县分别减少 1603.71hm² 和 6582.87hm²,在其他 9 个县(区、旗)的种植面积均有所增加,其中在山丹县和肃州区的增加面积较多,分别高达 5213.07hm² 和 1381.41hm²(表 3-15)。大麦在甘州区、民乐县和山丹县的种植面积呈现减少趋势,分别减少 1186.74hm²、1983.78hm² 和 763.20hm²,在其他 8 个县(区、旗)的种植面积均呈小幅度增加。油菜在民乐县、肃南裕固族自治县、嘉峪关市和额济纳旗的种植面积呈减少趋势,其中在民乐县的减少面积高达 2984.58hm²,在其他县(区)的种植面积均呈增加趋势,其中在山丹县、高台县和肃州区的增加面积分别为 2875.32hm²、1024.20hm² 和 2012.58hm²。

4. 县域尺度农作物种植比例变化

2007—2014 年,黑河流域玉米种植比例一直在各主要农作物中最高的县(区、旗)是甘州区、临泽县、高台县、肃南裕固族自治县、肃州区、金塔县和额济纳旗,其中甘州区和肃州区的玉米种植比例一直呈增加趋势,而金塔县的玉米种植比例一直呈减少趋势,其他县(旗)玉米的种植比例呈现波动变化(表 3-16)。

表 3-16 2007—2014 年黑河流域各县(区、旗)农作物的种植比例(%)

农作物类型		甘州区	民乐县	山丹县	临泽县	高台县	肃南裕固族自治县
玉米	2007	36.99	3.01	2.16	21.54	18.05	12.48
	2012	43.97	7.67	4.24	41.69	32.66	2.48
	2014	46.77	13.04	17.78	36.16	17.53	7.81
小麦	2007	6.46	18.50	2.00	3.87	3.97	3.98
	2012	2.80	18.15	6.74	0.07	0.11	0.11
	2014	1.52	12.66	11.47	0.42	0.59	0.76
大麦	2007	0.08	10.40	10.83	0.00	0.00	0.01
	2012	1.17	4.61	7.33	0.02	0.01	0.24
	2014	0.25	2.96	6.52	0.24	0.98	0.73
油菜	2007	1.91	4.59	4.70	1.17	1.00	1.63
	2012	0.90	8.47	5.02	0.30	0.78	1.55
	2014	1.38	5.98	7.61	1.17	2.56	0.43
其他农作物	2007	54.55	63.51	80.32	73.42	76.98	81.91
	2012	51.16	61.10	76.66	57.93	66.44	95.62
	2014	50.09	65.36	56.62	62.00	78.33	90.28
农作物类型		肃州区	金塔县	嘉峪关市	额济纳旗	祁连县	黑河流域
玉米	2007	15.15	32.10	5.78	6.19	19.65	17.02
	2012	15.89	20.38	0.82	1.56	23.23	20.55
	2014	18.36	16.98	6.98	2.46	26.45	22.85

续表

农作物类型		肃州区	金塔县	嘉峪关市	额济纳旗	祁连县	黑河流域
小麦	2007	5.81	2.59	4.67	0.54	0.58	6.61
	2012	0.29	0.14	0.08	0.01	0.01	4.63
	2014	1.39	1.03	1.06	0.01	1.09	4.53
大麦	2007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.39
	2012	0.22	0.07	0.22	0.00	0.20	2.12
	2014	0.33	0.26	1.08	0.01	0.66	1.72
油菜	2007	0.66	0.12	0.97	0.15	31.26	2.36
	2012	0.95	0.58	2.70	0.04	2.70	2.75
	2014	2.55	1.22	1.54	0.03	3.64	3.27
其他农作物	2007	78.38	65.20	88.58	93.12	48.50	70.62
	2012	82.65	78.83	96.18	98.39	73.86	69.94
	2014	77.38	80.51	89.35	97.50	68.16	67.64

嘉峪关市 2007 年和 2014 年玉米的种植比例最高,而 2012 年的油菜种植比例最高(表 3-16)。祁连县 2007 年的油菜种植比例最高,玉米种植比例一直呈增加趋势,到 2012 年和 2014 年玉米的种植比例增至最高。小麦、大麦和油菜种植比例一直较高的县是民乐县和山丹县;其中民乐县 2007 年和 2012 年小麦的种植比例最高,2007 年大麦的种植比例第二,小麦和大麦的种植比例一直呈减少趋势,油菜的种植比例呈波动变化,2012 年油菜的种植比例超过大麦位于第二,玉米的种植比例一直呈增加趋势,2014 年玉米的种植比例超过了小麦变成最高;山丹县的玉米、小麦和油菜均呈现增加趋势,油菜呈现减少趋势,2007 年和 2012 年大麦的种植比例最高,2014 年玉米的种植比例最高。

2007—2012 年,甘州区、民乐县、山丹县、临泽县、高台县、肃州区和祁连县的玉米种植比例呈增加趋势,其中临泽县和高台县的增加幅度较大,分别为 20.14%和 14.61%;肃南裕固族自治县、金塔县、嘉峪关市和额济纳旗的玉米种植比例呈减少趋势,其中肃南裕固族自治县和金塔县的减少幅度分别低至 10.00%和 11.72%(表 3-17)。小麦的种植比例仅在山丹县呈增加趋势,增加了 4.74%,其他 10 个县(区、旗)均呈现减少趋势。大麦在民乐县和山丹县呈现出明显减少趋势,分别减少 5.79%和 3.50%,在其他县(区、旗)的变化均很小,呈现小幅度增加或不变趋势。祁连县油菜的种植比例大幅减少,达 28.56%,民乐县、山丹县、肃州区、金塔县和嘉峪关市的油菜种植比例均呈现增加趋势,其中民乐县油菜的种植比例增加 3.88%。其他农作物在甘州区(-3.39%)、民乐县(-2.41%)、山丹县(-3.65%)、临泽县(-15.49%)和高台县(-10.54%)呈减少趋势,而在肃南裕固族自治县(13.72%)、肃州区(4.27%)、金塔县(13.64%)、嘉峪关市(7.60%)、额济纳旗(5.27%)和祁连县(25.36%)的种植比例均增加。

表 3-17 2007—2012 年黑河流域各县(区、旗)农作物种植比例变化(%)

	玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物
甘州区	6.98	-3.66	1.08	-1.01	-3.39
民乐县	4.66	-0.34	-5.79	3.88	-2.41
山丹县	2.09	4.74	-3.50	0.32	-3.65
临泽县	20.14	-3.80	0.02	-0.87	-15.49
高台县	14.61	-3.85	0.00	-0.21	-10.54
肃南裕固族自治县	-10.00	-3.87	0.23	-0.08	13.72
肃州区	0.74	-5.53	0.22	0.29	4.27
金塔县	-11.72	-2.45	0.07	0.46	13.64
嘉峪关市	-4.96	-4.59	0.22	1.72	7.60
额济纳旗	-4.63	-0.53	0.00	-0.11	5.27
祁连县	3.58	-0.57	0.20	-28.56	25.36

2012—2014 年,甘州区(2.80%)、民乐县(5.37%)、山丹县(13.54%)、肃南裕固族自治县(5.33%)、肃州区(2.74%)、嘉峪关市(6.15%)、额济纳旗(0.89%)和祁连县(3.21%)的玉米种植比例呈增加趋势;临泽县、高台县和金塔县的玉米种植比例呈减少趋势,分别减少了 5.53%、15.13%和 3.39%(表 3-18)。小麦的种植比例仅在甘州区和民乐县呈减少趋势,分别减少了 1.28%和 5.49%,其他 9 个县(区、旗)均呈现减少趋势,其中山丹县小麦的种植比例增加了 4.72%。大麦在甘州区、民乐县和山丹县呈现减少趋势,分别减少 0.92%、1.65%和 0.80%,在其他县(区、旗)的种植比例均呈现小幅度增加。油菜在民乐县、肃南裕固族自治县、嘉峪关市和额济纳旗的种植比例呈增加趋势,在其他县(区)的种植比例呈减少趋势,其中在民乐县的种植比例下降 2.49%,在山丹县的种植比例增加 2.59%。其他农作物的种植比例在民乐县、临泽县、高台县和金塔县呈增加趋势,其中在高台县的增加幅度高达 11.89%,在其他县(区、旗)的种植比例呈现减少趋势,其中在山丹县的减少幅度低至-20.04%。

表 3-18 2012—2014 年黑河流域各县(区、旗)农作物种植比例变化(%)

	玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物
甘州区	2.80	-1.28	-0.92	0.47	-1.07
民乐县	5.37	-5.49	-1.65	-2.49	4.26
山丹县	13.54	4.72	-0.80	2.59	-20.04
临泽县	-5.53	0.35	0.23	0.88	4.07
高台县	-15.13	0.48	0.97	1.78	11.89
肃南裕固族自治县	5.33	0.65	0.49	-1.12	-5.34
肃州区	2.47	1.10	0.11	1.60	-5.28

续表

	玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物
金塔县	-3.39	0.89	0.18	0.65	1.67
嘉峪关市	6.15	0.98	0.86	-1.16	-6.83
额济纳旗	0.89	0.00	0.01	-0.01	-0.89
祁连县	3.21	1.08	0.46	0.94	-5.69

(四)农作物种植类型转移

1. 2007—2012 年农作物种植类型转移

2007—2012 年期间,黑河流域农作物种植发生了明显转移,大部分的转移发生在四种主要农作物(小麦、大麦、玉米和油菜)与其他农作物之间,而四种主要农作物之间的转出、转入较小(图 3-20)。转出的玉米主要位于甘州区和金塔县,转出的玉米主要是转移为其他农作物;转出的小麦、大麦和油菜主要分布于民乐县和山丹县,其中在肃州区和甘州区也有较多的小麦转出,在祁连县有一些油菜转出。转入的玉米主要位于甘州区、临泽县、高台县、肃州区、民乐县和山丹县;转入的小麦、大麦和油菜主要分布于民乐县和山丹县;其中在民乐县和山丹县转入的玉米和油菜主要位于南部高海拔,这是因为气候变暖使此区域的无霜期缩短,开始适宜玉米和油菜的种植。

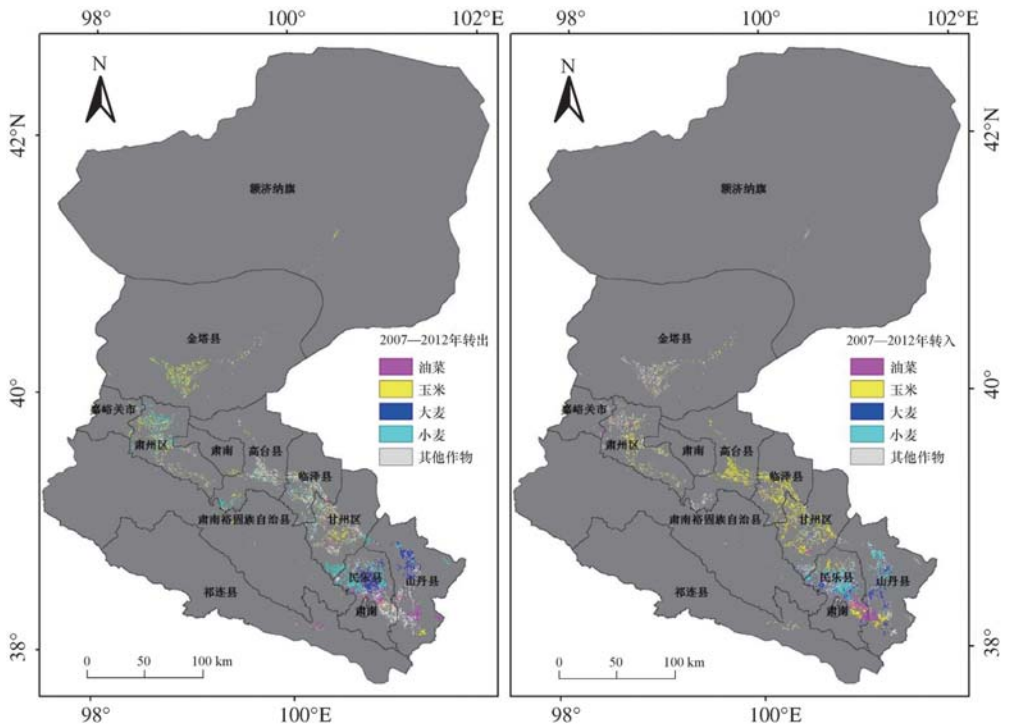


图 3-20 2007—2012 年黑河流域农作物种植类型转移

2007—2012 年,黑河流域玉米、小麦、大麦和油菜的转出面积分别为 $49.47 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $33.45 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $20.25 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $14.18 \times 10^3 \text{ hm}^2$,分别占 2007 年玉米、小麦、大麦和油菜种植面积的 41.85%、72.84%、86.13%和 86.62%(表 3-19)。

表 3-19 黑河流域 2007—2012 年农作物种植类型转移矩阵($\times 10^3 \text{ hm}^2$)

		2012 年转入面积						2007 年转出
		玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物	其他地类	总计
2007 年 转出面积	玉米		0.59	0.44	2.08	46.25	0.11	49.47
	小麦	3.07		2.43	1.37	26.41	0.16	33.45
	大麦	0.51	7.58		0.85	11.27	0.03	20.25
	油菜	3.70	1.17	1.03		8.16	0.12	14.18
	其他农作物	72.58	11.69	8.11	13.48		4.84	110.70
	其他地类	0.92	0.17	0.15	0.06	37.12		38.42
2012 年转入总计		80.78	21.21	12.17	17.83	129.21	5.27	

减少的玉米、小麦、大麦和油菜绝大部分转移为其他农作物,转出为其他农作物的面积分别为 $46.25 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $26.41 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $11.27 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $8.16 \times 10^3 \text{ hm}^2$,分别占 2007—2012 年玉米、小麦、大麦和油菜转出面积的 93.48%、78.96%、55.67%和 57.54%(表 3-19)。黑河流域玉米、小麦、大麦和油菜的转入面积分别为 $80.78 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $21.21 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $12.17 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $17.83 \times 10^3 \text{ hm}^2$,分别占 2012 年玉米、小麦、大麦和油菜种植面积的 54.03%、62.97%、78.87%和 89.06%。增加的玉米、小麦、大麦和油菜绝大部分由其他农作物转移而来,有其他农作物转入的面积分别为 $72.58 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $11.69 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $8.11 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $13.48 \times 10^3 \text{ hm}^2$,分别占 2007—2012 年玉米、小麦、大麦和油菜转入面积的 89.85%、55.13%、66.66%和 75.56%。

2. 2012—2014 年农作物种植类型转移

2012—2014 年,黑河流域农作物种植转移仍主要发生在四种主要农作物(小麦、大麦、玉米和油菜)与其他农作物之间(图 3-21)。转出的玉米主要位于甘州区、临泽县、高台县、肃州区、金塔县和民乐县,转出的小麦、大麦和油菜主要分布于民乐县和山丹县,其中在甘州区也有较多的小麦转出。转入的玉米主要位于甘州区、临泽县、肃州区、金塔县、民乐县和山丹县;转入的小麦、大麦和油菜主要分散分布于民乐县和山丹县。

2012—2014 年,黑河流域玉米、小麦、大麦和油菜的转出面积分别为 $57.18 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $22.38 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $14.67 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $17.63 \times 10^3 \text{ hm}^2$,分别占 2012 年玉米、小麦、大麦和油菜种植面积的 38.24%、66.45%、95.10%和 88.06%(表 3-20)。减少的玉米、小麦、大麦和油菜绝大部分转移为其他农作物,转出为其他农作物的面积分别为 $50.27 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $14.66 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $6.24 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $9.86 \times 10^3 \text{ hm}^2$,分别占 2012—2014 年期间玉米、小麦、大麦和油菜转出面积的 87.91%、65.49%、42.56%和

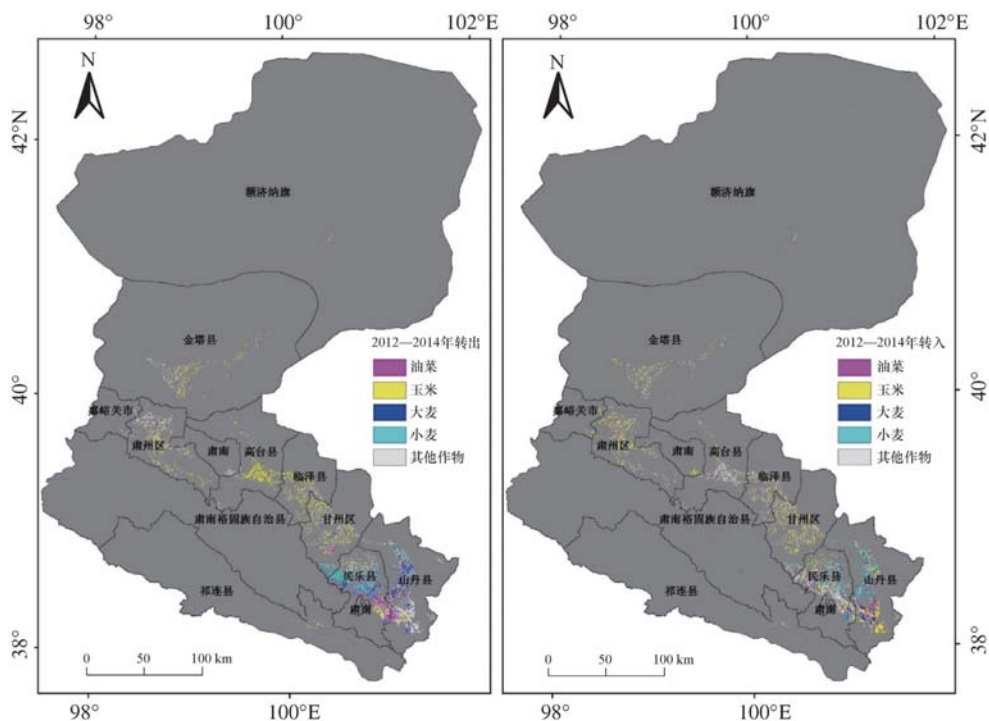


图 3-21 2012—2014 年黑河流域农作物种植类型转移

55.93%。黑河流域玉米、小麦、大麦和油菜的转入面积分别为 $77.37 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $22.32 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $11.99 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $21.87 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，分别占 2014 年玉米、小麦、大麦和油菜种植面积的 45.59%、66.38%、94.06%和 90.15%。增加的玉米、小麦、大麦和油菜绝大部分由其他农作物转移而来，有其他农作物转入的面积分别为 $65.70 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $14.02 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $8.32 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $13.45 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，分别占 2012—2014 年玉米、小麦、大麦和油菜转入面积的 84.91%、62.83%、69.45%和 61.50%。

表 3-20 2012—2014 年黑河流域农作物种植类型转移矩阵($\times 10^3 \text{ hm}^2$)

		2014 年转入面积						2012 年转出
		玉米	小麦	大麦	油菜	其他农作物	其他地类	总计
2012 年 转出面积	玉米		1.66	1.54	3.71	50.27	0.00	57.18
	小麦	3.74		0.97	3.02	14.66	0.00	22.38
	大麦	2.54	4.25		1.63	6.24	0.00	14.67
	油菜	4.33	2.34	1.09		9.86	0.00	17.63
	其他农作物	65.70	14.02	8.32	13.45		0.11	101.60
	其他地类	1.06	0.04	0.07	0.06	14.13		15.35
2014 年转入总计		77.37	22.32	11.99	21.87	95.16	0.11	

(五) 农作物景观格局分析

1. 农作物类型水平的景观格局变化

2007—2014 年,黑河流域玉米的平均斑块大小(MPS)从 2007 年的 3.47hm^2 增加到 2012 年的 6.62hm^2 ,而在 2014 年降低至 5.02hm^2 ,一直保持较高水平并呈波动增长趋势,说明玉米一直都大面积连片种植,2007 年时破碎度(平均斑块大小的倒数)低于小麦和油菜、高于大麦,而 2012 年和 2014 年其破碎度远远低于其他三种主要农作物,总体呈现出集中种植趋势(图 3-22a)。小麦和油菜的平均斑块大小分别由 2007 年的 1.73hm^2 和 1.02hm^2 增加到 2012 年的 2.23hm^2 和 1.11hm^2 ,再下降至 2014 年的 1.63hm^2 和 0.47hm^2 ,呈现波动下降趋势,即小麦和油菜总体呈分散种植趋势,并且油菜的破碎度一直最低。大麦的平均斑块大小由 2007 年的 4.29hm^2 骤降到 2012 年的 1.28hm^2 ,再持续下降至 2014 年的 0.74hm^2 ,一直呈下降趋势,且 2007—2012 年($0.60\text{hm}^2/\text{a}$)的下降速度高于 2012—2014 年($0.37\text{hm}^2/\text{a}$),呈现出分散种植趋势且分散趋势越来越明显。从 2007—2014 年各主要农作物的平均斑块大小可以进一步验证黑河流域具有耕地地块碎小的特征,即同一种农作物连片种植几乎都没有超过 $250\text{m} \times 250\text{m}$ (6.25hm^2)的情况(仅 2012 年玉米的平均斑块大小为 6.62hm^2 ,大于 6.25hm^2),因此常用的等高时间分辨率影像拥有较低空间分辨率($250 \sim 1000\text{m}$)不适宜在本研究中使用;而大部分连片种植同种农作物的地块面积在 $100\text{m} \times 100\text{m}$ (1.00hm^2)左右(2014 年大麦和油菜的平均斑块大小低于 1.00hm^2 ,仍存在较多混合像元带来的误差),因此选用 Landsat 系列的 TM/ETM+/OLI 影像作为遥感数据源,并且农作物样本数据的采样大小为 3×3 像元。

黑河流域玉米的最大斑块指数(LPI)在四种主要农作物中一直最大并呈波动增长,从 2007 年的 2.14% 增加到 2012 年的 2.30% ,而在 2014 年降低至 2.20% ,最大斑块指数在很大程度上体现了农作物种植的优势度,黑河流域的耕地景观中玉米一直是优势景观类型,其种植的优势度一直高于小麦、大麦和油菜,并且玉米的优势度总体呈现升高的趋势(图 3-22b)。小麦、大麦和油菜的最大斑块指数均呈下降趋势,分别由 2007 年的 0.93% 、 0.33% 和 0.26% 逐步下降到 2014 年的 0.07% 、 0.06% 和 0.03% ,小麦、大麦和油菜的种植优势度一直较低且呈下降趋势,其中小麦种植的优势度高于大麦和油菜。

黑河流域玉米的边缘密度(ED)在四种主要农作物中一直最大并呈先减少后增加的波动变化,从 2007 年的 $48.22\text{m}/\text{hm}^2$ 减少到 2012 年的 $40.03\text{m}/\text{hm}^2$,而在 2014 年增加至 $50.95\text{m}/\text{hm}^2$,玉米在耕地景观中具有最好的连通性,是各类农作物之间能量与物质交互的不可或缺的通道(图 3-22c)。小麦和大麦的边缘密度总体呈下降趋势,其连通性也总体呈现下降趋势,其中小麦的边缘密度先由 2007 年的 $18.50\text{m}/\text{hm}^2$ 减少到 2012 年的 $13.96\text{m}/\text{hm}^2$,再增加到 2014 年的 $15.47\text{m}/\text{hm}^2$;大麦的边缘密度由 2007 年的 $8.14\text{m}/\text{hm}^2$ 减少到 2012 年的 $7.94\text{m}/\text{hm}^2$,再减少到 2014 年的 $7.65\text{m}/\text{hm}^2$ 。

油菜的边缘密度呈增长趋势,由 2007 年的 $9.57\text{m}/\text{hm}^2$ 增加到 2012 年的 $11.09\text{m}/\text{hm}^2$,再增加到 2014 年的 $21.35\text{m}/\text{hm}^2$,油菜在耕地景观中表现出越来越好的连通性,在农作物间能量与物资交换过程中体现出越来越重要的地位。

2007—2012 年期间,黑河流域玉米的散布与并列指数(IJI)呈减少趋势,虽然大部分县(区、旗)玉米的种植范围有很大扩张,但玉米邻近种植的各类型农作物(尤其是小麦)大幅减少(图 5-20),因此玉米的散布与并列指数从 2007 年的 17.87%减少到 2012 年的 11.65%(图 3-22d)。同时 2007—2012 年在小麦、大麦和油菜主要分布地——山丹县和民乐县转入了大量玉米,小麦、大麦和油菜的临近农作物散布程度大幅度增加,小麦、大麦和油菜的散布与并列指数分别由 2007 年的 24.60%、17.86%和 52.18%增加到 2012 年的 64.18%、73.53%和 68.29%。2012—2014 年,在临泽县、高台县和金塔县转出的玉米远远多于转入的玉米,在山丹县和民乐县转入了大面积的玉米,并在临泽县、高台县、肃州区和金塔县等县(区)转入了较大面积的小麦、大麦和油菜,2014 年黑河流域玉米、小麦、大麦和油菜各自的临近农作物散布程度较之 2012 年有所增加,其散布与并列指数分别增加 14.75%、2.46%、7.51%和 12.09%,分别增至 26.40%、66.64%、81.04%和 80.38%。由于本研究将玉米、小麦、大麦和油菜之外的其他农作物全部归为一类,即低估了临近农作物的种类,因此四种主要农作物的散布与并列指数较之真实情况均有低估,尤其是玉米。

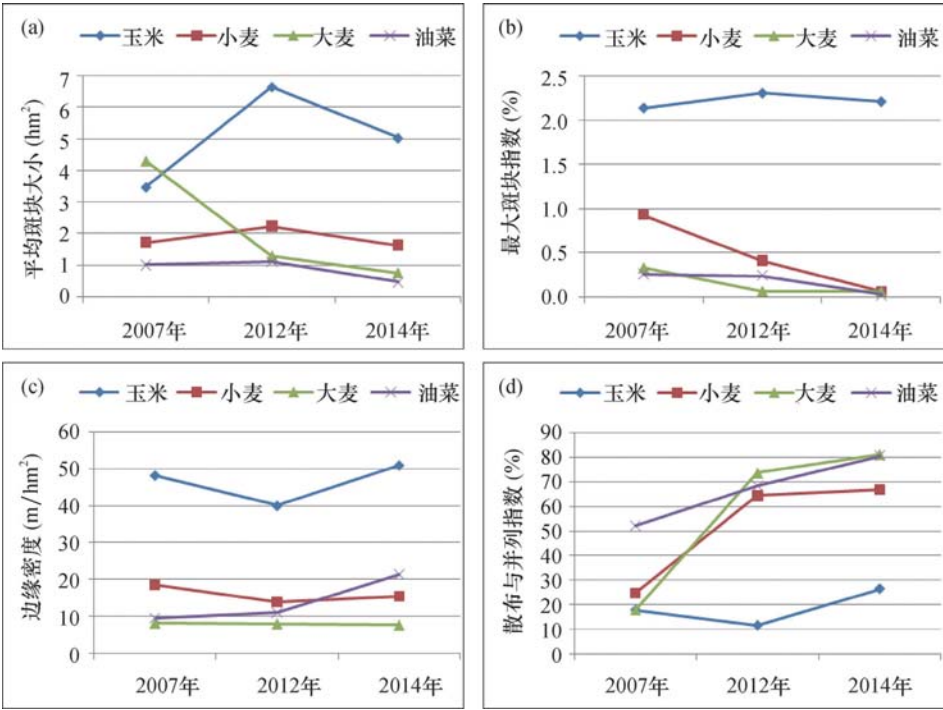


图 3-22 2012—2014 年黑河流域农作物类型水平的景观指数

2. 耕地景观水平的景观格局变化

2007—2014 年,由于黑河流域各农作物景观格局的巨大变化,耕地景观格局也呈现出明显变化(表 3-21)。平均斑块大小(MPS)呈先增加后下降的波动变化,由 2007 年的 6.84hm² 增加到 2012 年的 8.31hm²,再下降到 2014 年的 5.0hm²。由于 2007—2012 年具有明显种植优势的玉米的平均斑块大小呈增加趋势,耕地景观的破碎化程度减轻,农作物整体呈现集中种植趋势,而 2012—2014 年各类农作物的平均斑块大小均呈下降趋势,耕地景观的破碎化程度也随之加剧并高于 2007 年的水平。

表 3-21 2012—2014 年黑河流域耕地景观水平的景观指数

年份	MPS(hm ²)	LPI(%)	ED(m/hm ²)	IJI(%)	CONTAG(%)	SHDI
2007	6.84	8.95	80.81	55.43	57.29	0.93
2012	8.31	6.79	66.26	59.83	60.10	0.90
2014	5.00	5.08	83.56	64.41	56.95	0.92

最大斑块指数(LPI)呈下降趋势,由 2007 年的 8.95%减少到 2012 年的 6.79%,再减少到 2014 年的 5.08%。耕地景观的最大斑块指数大小主要取决于其他农作物的最大斑块面积和耕地景观面积,虽然玉米和油菜的最大斑块指数于 2007—2012 年略有增加,但玉米和油菜的持续扩张使其他农作物的分布更为破碎,同时小麦和大麦的最大斑块指数不断下降并呈现破碎化种植趋势,使其他农作物的分布被分割得更加破碎,并且 2007—2014 年耕地不断扩张,因此黑河流域的最大斑块指数呈现不断下降趋势,在一定程度上也说明了耕地在人类活动的不断干预下最大斑块的面积越来越小,农作物分布整体呈现出破碎化的趋势。

边缘密度(ED)呈现先减少后增加的波动变化,2007—2012 年,由于玉米、小麦、大麦和其他农作物的边缘密度均呈减少趋势,耕地景观的边缘密度由 2007 年的 80.81m/hm² 减少到 2012 年的 66.26m/hm²,耕地景观表现出的连通性呈减少趋势。2012—2014 年,由于各类农作物的边缘密度均呈增加趋势,耕地景观的边缘密度增加到 2014 年的 83.56m/hm²,耕地景观表现出的连通性呈增加趋势。

散布与并列指数(IJI)呈增加趋势,由 2007 年的 55.43%增加到 2012 年的 59.83%,再增加到 2014 年的 64.41%。2007—2014 年,随着玉米和油菜的扩张,小麦、大麦和油菜的分散种植,以及其他农作物的破碎化加剧,黑河流域耕地景观内各类农作物的邻近农作物的散布程度呈增加趋势,导致耕地景观的散布与并列指数呈不断增加趋势,整体上耕地景观的农作物分布趋于均匀化。

蔓延性指数(CONTAG)呈先增长后减少的波动变化,由 2007 年的 57.29%增加到 2012 年的 60.10%,再减少到 2014 年的 56.95%。蔓延性指数与边缘密度呈现良好的负相关,2007—2012 年,优势农作物玉米以及小麦和油菜都呈现集中种植趋势,整个耕地景观的集聚程度增加,蔓延性指数呈增加趋势。2012—2014 年,玉米、小麦、大麦、油菜和其他农作物都呈现分散种植趋势,整个耕地景观的集聚程度下

降,蔓延性指数呈减少趋势,耕地景观作为能量与物质交换。

香农多样性指数(SHDI)呈先减少后增加的波动变化,先由 2007 年的 0.93 减少到 2012 年的 0.90,再增加至 2014 年的 0.92。2007—2012 年,在人类生产活动的干预下,优势农作物玉米的种植范围不断扩张并呈现集中种植趋势,并且小麦、油菜的空间分布在除山丹县和民乐县以外的县(区、旗)明显减少,大麦种植范围大幅缩小,小麦、大麦和油菜主要分散种植于山丹县和民乐县,耕地景观的农作物种植多样性呈现减少趋势。2012—2014 年,各类农作物的破碎化程度加剧,玉米在临泽县、高台县和金塔县的分布减少,而在小麦、大麦和油菜的主要分布区(山丹县和民乐县)的分布明显增多,同时小麦、大麦和油菜的分布在除山丹县和民乐县以外的大部分县(区、旗)有所增加,耕地景观的农作物种植多样性呈现增加趋势,人类生产活动的干预使耕地景观的农作物分布趋于破碎化、多样化。