

农牧交错带耕地数量变化对粮食产量影响的时空关联性

——以内蒙古乌兰察布市为例

孙乌仁·图雅¹, 苏根成¹, 迟文峰^{2,3}

(1. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010020;

2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: [目的] 分析耕地变化和粮食生产的时空动态特征及其相互关联性, 为研究区耕地集约利用水平的提高与粮食产量的增加提供科学依据。[方法] 利用遥感解译获取的土地利用变化数据和粮食产量等统计数据, 采用地理学和经济学理论、技术与方法, 分析区域耕地与粮食产量的时空动态格局, 构建“粮耕弹性系数”反映农牧交错区耕地资源变化与粮食生产的互动关系, 揭示耕地数量变化对粮食产量的影响机理。[结果] (1) 1990—2000 年耕地扩张明显, 研究区中部、北部增加而东部减少。粮食产量逐渐上升, 四子王旗粮食产量对耕地面积具有高敏感度, 其它地区粮食产量对耕地数量变化的敏感度较低。(2) 2000—2013 年, 耕地总量明显减少, 耕地利用变化主要发生在研究区中部和南部, 粮食产量出现先减少后增加的趋势, 乌兰察布市东部和西部地区粮食综合生产能力明显提高, 粮食产量对耕地数量变化的敏感度变低。[结论] 1990—2013 年乌兰察布市耕地数量变化对乌兰察布市粮食产量的影响显著。全市粮食产量对耕地数量变化的敏感度有着明显的区域差异, 且 2000—2013 年的敏感度相对 1990—2000 年而言较低。

关键词: 农牧交错带; 耕地; 粮食生产; 时空变化; 乌兰察布市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0186-07

中图分类号: F301.2

文献参数: 孙乌仁·图雅, 苏根成, 迟文峰. 农牧交错带耕地数量变化对粮食产量影响的时空关联性[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 186-192. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.032

Spatio-temporal Relevance of Arable Land Dynamic Changes to Grain Yield in Transitional Area Between Pastoral and Agricultural Region

—A Case Study in Ulanqab City in Inner Mongolia

Sunwuren · Tuya¹, SU Gencheng¹, CHI Wenfeng^{2,3}

(1. School of Geographical Sciences, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010020,

China; 2. Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of

Sciences, Beijing 100101, China; 3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: [Objective] To analyze spatial dynamic characteristics and interrelationship between cultivated land changes and grain production in order to provide a scientific basis for improving the level of intensive utilization of cultivated land and increasing grain production. [Methods] Using land use change data obtained by remote sensing and the agricultural statistical data from local governments in 1990—2013, with the theory, technology and methods of geography and economics, we analyzed the spatio-temporal dynamic patterns of regional arable land and grain production, and developed a farmland-grain elasticity coefficient to depict the interrelationship between farmland and grain production and reveal the impact mechanism of arable land dynamic change on grain production. [Results] (1) The arable land in 1990—2000 was significantly expanded, which increased in the central and northern part in the study area while it decreased in eastern part. The grain production increased gradually. The grain production was very sensitive to the arable land changes in Siziwang Banner, and less sensitive to the arable land changes in other areas. (2) The total arable land was

收稿日期: 2015-10-20

修回日期: 2015-11-06

资助项目: 国家自然科学基金项目“耕地动态与干暖化对北方农牧交错带生态系统干扰作用以及影响机理: 以乌兰察布市为例”(41161015)

第一作者: 孙乌仁·图雅(1992—), 女(蒙古族), 内蒙古自治区兴安盟人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源开发利用与管理。E-mail: wuren-tuya6268@163.com。

通讯作者: 苏根成(1957—), 男(汉族), 陕西省府谷县人, 本科, 教授, 研究方向为土地资源开发利用与管理。E-mail: sugc1128@sina.com。

significantly decreased in 2000—2013, mainly occurred in central and southern area. The trend of grain production in the study area was increased after the first decrease. The food production capacity was significantly improved in the eastern and western area in the Ulanqab City and the sensitivity to arable land was low. [Conclusion] Cultivated land changes in 1990—2013 have significant effect on grain production of the Ulanqab City. The sensitivity of the grain production to the cultivated land changes has significant regional differences as well as in different periods, which was lower in 2000—2013 than that in 1990—2000.

Keywords: ecotone; arable land; grain production; spatio-temporal variation; Ulanqab City

耕地资源是农业生产最基本的物质条件,是人类生存与发展的基础。耕地面积的增减,在一定程度上导致粮食生产环境条件发生改变,从而影响到粮食产量,同时对环境生态系统及社会经济生态系统的安全造成较大影响^[1-2]。随着经济的发展、工业化、城市扩张以及人口规模的集聚增长^[3],部分耕地非农业化现象严重,耕地资源受到不同程度的破坏,耕地资源日益减少,影响到粮食生产与供给。

近年来,国内外学者就耕地资源变化及其对粮食产量的影响进行了许多探索研究,并取得了一定成果。在西欧国家,由于人均耕地面积较多,主要侧重于研究耕地质量与生态环境变化对粮食生产能力的影 响,很少对耕地资源在不同部门之间的配置及其对粮食产量的影响进行研究^[4-6]。然而,中国人多地少的矛盾致使耕地资源的科学合理利用对社会经济与生态环境意义重大,尤其耕地变化对于粮食产量具有一定的关联性,且对于确保国家粮食安全意义非凡。当前国内对耕地面积与粮食安全耦合关系的研究集中在全国与区域尺度^[7-9],如傅泽强等^[8]对中国耕地数量变化与粮食产量进行相关性分析,认为耕地数量是影响粮食安全最基本的约束因子,耕地质量、投入水平是粮食单产高低的决定因素。刘彦随等^[9]对中国粮食生产与耕地变化的时空动态进行了研究。也有学者对地区性的耕地利用变化进行研究,但在耕地资源的时空变化及其驱动因素方面和耕地数量变化对粮食产量的影响方面的研究较少^[10-17]。

国家粮食生产能力依赖于不同区域的粮食生产与供给,北方农牧交错带是中国东部农业区和西部牧业区的过渡地带,是东部农耕区的生态屏障和畜产品供应基地,同时也是西部牧区的水资源涵养带和饲料供应基地。因此,本文拟以乌兰察布市为例,分析耕地变化和粮食生产的时空动态特征及其相互关联性,以期研究区耕地集约利用水平的提高与粮食产量的增加提供科学依据。

1 研究区概况

乌兰察布市地处于内蒙古自治区中部,辖1区(集宁区)、1市(丰镇市)、4旗(察哈尔右翼前旗、察哈

尔右翼中旗、察哈尔右翼后旗、四子王旗)和5个县(商都县、化德县、卓资县、凉城县、兴和县),地理范围为东经 $109^{\circ}16'$ — $114^{\circ}49'$,北纬 $39^{\circ}37'$ — $43^{\circ}28'$,土地总面积为 $54\,585.74\text{ km}^2$ 。区域东部与河北省接壤,东北部与内蒙古锡林郭勒盟相邻,南部与山西省相连,西部与自治区首府呼和浩特毗连,北部与蒙古国交界。乌兰察布市地处中温带,年平均气温为 $0\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$,主要地区均为干旱和半干旱的大陆性气候所控制(图1),气候寒冷、干旱。年降水量的地理分布受地形影响十分明显,年平均降水量 $150\sim 450\text{ mm}$ 。由于受干旱多风等气候因素和滥垦、过牧、过度采伐等人类不合理的土地利用活动的影响,该区域成为中国典型的农牧交错区,土地利用类型以耕地和草地为主。2013年乌兰察布市土地利用现状中耕地 $14\,762.91\text{ km}^2$,占 27.04% ;林地 $2\,030.87\text{ km}^2$,占 3.72% ;草地 $32\,430.47\text{ km}^2$,占 59.41% ;水域用地 731.11 km^2 ,占 1.34% ;建设用地 $1\,652.43\text{ km}^2$,占 3.03% ;未利用地 $2\,977.94\text{ km}^2$,占 5.46% 。

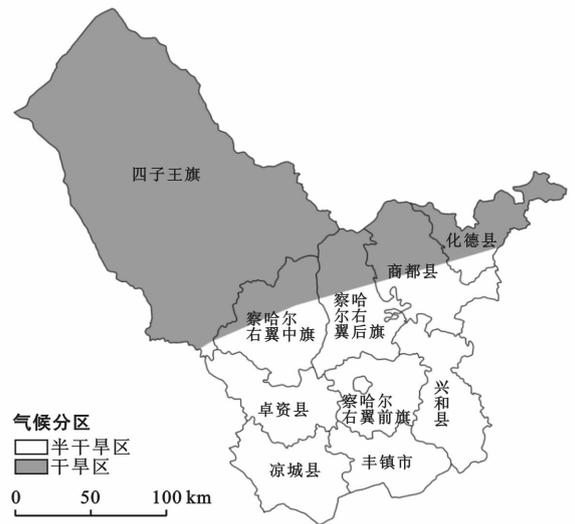


图1 2013年乌兰察布市地理位置与行政区划

2 数据与方法

2.1 数据

本文基于中国科学院土地利用覆被变化 $1:10$ 万数据集解译的乌兰察布市1990—2013年土地利用矢量数据,本数据采用人机交互式目视判读获取地类信

息,总体精度不低于 94.3%,满足本文研究需求^[7,18]。本文运用 ArcGIS 空间分析平台对耕地进行提取,以便对耕地现状以及动态进行统计分析。粮食产量数据来源于历年《内蒙古自治区统计年鉴》《内蒙古年鉴》《内蒙古县(市)社会经济统计年鉴》等统计资料及有关部门的研究报告。在此基础上,利用 Origin 等相关分析软件对 1990—2013 年粮食产量数据进行动态变化分析,并作出近 20 a 粮食产量变化趋势图。

2.2 方法

本文研究耕地利用时空变化对粮食生产的作用,借鉴经济学中“弹性系数”的概念,构建“粮耕弹性系数”^[19]模型,即粮食产量对耕地面积变化的敏感度,来反映耕地面积增减与粮食生产的互动关系。

$$T = [(A_{t+1} - A_t) / A_t] / [(B_{t+1} - B_t) / B_t] \quad (1)$$

式中: A_t, A_{t+1} ——基期和末期的粮食产量(t); B_t, B_{t+1} ——基期和末期的耕地面积^[9](km^2)。当 $T < 0$,粮食产量与耕地面积成逆向变化,粮食生产受非耕地因素影响显著, T 绝对值越大,说明粮食生产受非耕地面积因素影响作用越显著,对耕地面积变化越不敏感;若耕地面积增加,表明耕地质量或集约利用水平衰退对粮食生产的负面效应超过耕地面积增长带来的正面效应;若耕地面积减少,表明耕地质量或集约利用水平提升对粮食生产带来的正面效应超过耕地

面积减少带来的负面效应^[19]。当 $T > 0$,粮食产量与耕地面积同向变化,粮食生产受耕地面积变化影响大,具有敏感性。若耕地面积增加, T 值越大说明粮食生产受耕地面积变化的影响相对越小,受耕地质量或耕地集约利用水平变化的影响相对更大;若耕地面积减少, T 值越大表明粮食产量减产越严重,耕地面积的减少给粮食生产带来的负面效应越大^[19]。

3 结果与分析

3.1 乌兰察布市耕地面积的时空变化特征

如表 1 所示,1990—2013 年乌兰察布市土地面积变量为 $1\,493.9 \text{ km}^2$,占区域总面积的 2.74%。耕地呈现先升后降总量减少的变化特征,减少面积为 380.38 km^2 ,占土地变化总面积的 25.46%。其中耕地转为草地的面积占 17.30%,耕地转为林地的面积占 8.16%。1990—2000 年乌兰察布市耕地面积增加 79.29 km^2 ,耕地利用动态度达 0.52%,主要由草地转化而来;2000—2013 年,耕地持续减少 459.67 km^2 ,耕地利用动态度达到 3.02%,主要转化为草地和林地。由此可知,乌兰察布市耕地面积减少的同时,水域及未利用地均有所减少,而林地、草地及建设用地面积有所增加,表明在乌兰察布市耕地面积减少促进了土地利用转化过程。这也是近 20 a 来农牧交错区耕地利用变化的显著特征。

表 1 1990—2013 年乌兰察布市各地类面积及变化面积统计

年份	项目	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1990	面积/ km^2	15 143.32	1 906.16	31 911.41	778.73	1 549.48	3 296.92
	比例/%	27.74	3.49	58.46	1.43	2.84	6.04
2000	面积/ km^2	15 222.61	1 915.89	31 766.72	748.94	1 557.39	3 374.27
	比例/%	27.89	3.51	58.20	1.37	2.85	6.18
2013	面积/ km^2	14 762.89	2 030.93	32 430.54	731.16	1 652.46	2 977.91
	比例/%	27.05	3.72	59.41	1.34	3.03	5.46
1990—2000	变化量	79.29	9.91	-144.64	-29.72	7.92	77.27
	动态度/%	0.52	0.52	0.45	3.82	0.51	2.34
2000—2013	变化量	-459.67	114.92	663.75	-17.83	95.11	-396.27
	动态度/%	3.02	6.00	2.09	2.38	6.11	11.74
1990—2013	变化量	-380.38	124.83	519.11	-47.55	103.03	-319.09
	动态度/%	2.51	6.55	1.63	6.11	6.65	9.68

1990—2000 年乌兰察布市土地利用格局总体呈现出明显的区域差异性。区域中部及北部耕地增加而东部耕地减少,在四子王旗、察哈尔右翼中旗、商都县、化德县和察哈尔右翼前旗耕地扩张较为明显

(图 2a)。1990—2000 年耕地面积增加 79.29 km^2 ,主要来自林地、草地的转化,空间格局向林地、草地大幅延伸,耕地转入动态度远大于耕地转出动态度。然而,由于受半干旱区水资源条件、土壤有机质含量和

土壤物理环境等限制,有撂荒与开垦并存的现象^[18-22]。同时因草地和林地开垦为耕地的代价较低,在经济利益的驱动下,人们不断地毁林毁草将其开垦为耕地。

2000—2013年乌兰察布市耕地利用变化主要发生在区域中部和南部,四子王旗西南部、凉城县和丰镇市的耕地减少变化最为明显,而察哈尔右翼前旗和

兴和县,由于农田灌溉等基础设施的改进,耕地面积呈现增加态势(图2b)。在国家生态建设政策引导和调控下,尤其是在退耕还林/草工程的实施后,大面积耕地向林地、草地转变。因此,2000—2013年全市耕地面积总体呈现减少趋势,耕地面积减少459.67 km²。与此同时,工业化与城市化快速扩张对耕地资源的占用以及农业结构调整也是不可忽略的重要因素。

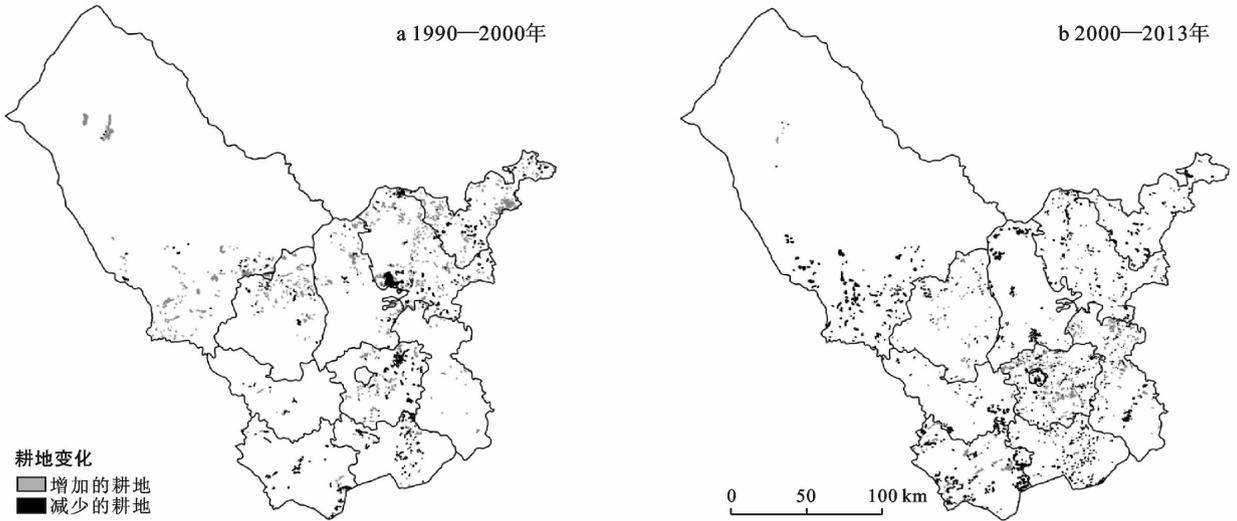


图2 1990—2013年乌兰察布市耕地变化动态

3.2 乌兰察布市粮食产量的时空变化特征

如图3所示,1990—2013年乌兰察布市粮食产量先增加后减少,总体呈上升趋势,增加 2.83×10^5 t, 2013年达到 1.19×10^6 t。2000年前后10 a粮食产量变化明显,其中1990—2000年粮食产量增加 4.98×10^4 t, 2000年达到 1.40×10^6 t,主要依靠耕地扩张及粮食播种面积增加这一粗放式的增长方式。受耕地占补平衡政策的影响以及在经济利益的驱动下,耕地面积大幅增加。2000—2013年粮食产量减少 2.16×10^5 t,主要原因是自1999年实施退耕还林还草工程以来,乌兰察布市耕地面积大量减少。其中,随着农田水利建设和农机装备等基础设施的不断改进以及科技投入水平的不断提高,从2009年开始乌兰察布市粮食产量有缓慢上升的趋势。

如表2所示,1990—2013年期间,察哈尔右翼后旗、察哈尔右翼中旗、凉城县和四子王旗等区域的年粮食产量波动较大。其演进特征是:(1)1990—2000年乌兰察布市粮食产量增加 4.98×10^5 t,2000年达到 1.40×10^6 t,年均粮食产量增加大于 5.00×10^4 t的县有察哈尔右翼后旗、察哈尔右翼中旗、凉城县、兴和县和卓资县;(2)2000—2005年粮食产量减少 5.14×10^5 t,2005年降到 8.87×10^5 t,除了耕地资源

丰富的丰镇市和凉城县之外,其它旗县粮食产量都出现不同程度的下滑,其中粮食产量减少大于 5.00×10^4 t的县有察哈尔右翼后旗、察哈尔右翼中旗、化德县、商都县、四子王旗和兴和县;(3)2005—2013年期间粮食产量增加 2.98×10^5 t,2013年达到 1.19×10^6 t,察哈尔右翼后旗、察哈尔右翼中旗和四子王旗的粮食产量增幅较为明显。

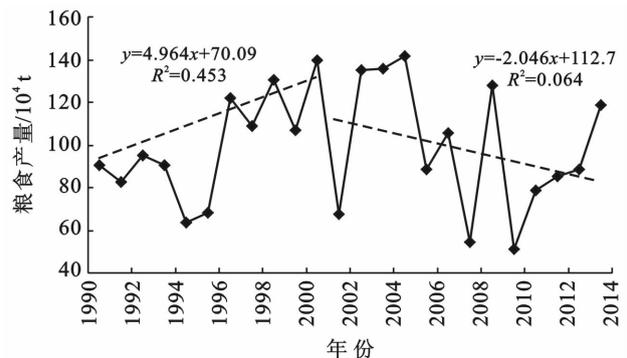


图3 1990—2013年乌兰察布市年粮食产量变化

3.3 耕地动态对粮食产量变化的时空关联性分析

农牧交错带耕地是粮食生产最重要的自然资源基础,对粮食的有效供给能力起着根本性的作用。本文通过构建“粮耕弹性系数”模型,即粮食产量对耕地数

量变化的敏感度,来分析耕地动态对粮食产量影响时空关联性。粮食产量与耕地面积的同向、逆向变化,反映了粮食生产受耕地因素影响程度大小。在一定的农业基础设施和科学施肥、灌溉条件下,耕地面积或粮食播种面积的较小变化对粮食产量造成很大的波动。采

用公式(1)对1990—2000和2000—2013年2个时期的乌兰察布市分县粮食生产对耕地变化的敏感度进行评价分析^[9],并将其敏感度划分为4个级别:① $T \leq 0$ 为无敏感性;② $0 < T \leq 5$ 为低度敏感性;③ $5 < T \leq 10$ 为中度敏感性;④ $T > 10$ 为高度敏感性^[6]。

表2 1990—2013年乌兰察布市粮食产量分县统计

10^4 t

年份	察哈尔右后旗	察哈尔右前旗	察哈尔右中旗	丰镇市	化德县	集宁区	凉城县	商都县	四子王旗	兴和县	卓资县
1990	5.42	10.02	10.12	11.11	6.60	0.08	11.01	12.00	8.52	9.05	6.31
1995	5.17	7.18	9.08	7.26	3.70	0.10	3.73	10.70	8.06	6.51	6.47
2000	10.85	14.30	16.16	14.90	8.68	0.18	16.73	16.81	13.04	14.99	13.41
2005	2.43	13.05	2.50	15.23	2.34	0.68	21.05	7.22	5.50	9.94	8.72
2013	7.88	7.06	6.43	6.63	4.93	1.01	22.50	7.83	9.85	8.57	5.82

3.3.1 敏感度总体时空特征分析 1990—2000年粮食生产对耕地变化敏感度最高的(旗)县有1个,中度敏感的(旗)县有1个,低度敏感的(旗)县有6个,无敏感性的(旗)县有2个(图4a);2000—2013年粮食生产对耕地变化高度敏感的(旗)县有1个,低度敏感的(旗)县有3个,无敏感性的(旗)县有6个(图4b)。1990—2000与2000—2013年2个时期的粮食生产对耕地变化敏感度有变化的(旗)县有6个,分别为四子王旗、察哈尔右翼后旗、商都县、化德县、兴和县和凉城县。

3.3.2 敏感度时空特征的县域差异性分析 1990—2000年粮食生产对耕地变化高度敏感的(旗)县为察

哈尔右翼中旗,随着耕地面积的不断扩大和粮食产量明显增加,耕地数量的较小变化引起粮食产量的较大波动;中度敏感的(旗)县为四子王旗,分布于乌兰察布市西部地区,粮食产量对耕地面积具有较高的依赖性;低敏感性的(旗)县分布于区域东部及南部,该地区耕地总量增加,但是减少的耕地主要分布在传统农业区,在耕地的熟化程度和基本农田设施建设方面,都是新增耕地难以比拟的,因此粮食产量对耕地变化的敏感度较低;无敏感性的(旗)县主要分布于乌兰察布市中部地区,相对其他县而言,察哈尔右翼后旗与卓资县雨水较多,光日照长,有利于作物光温作用增强、产量提升,粮食产量受耕地变化的影响较小。

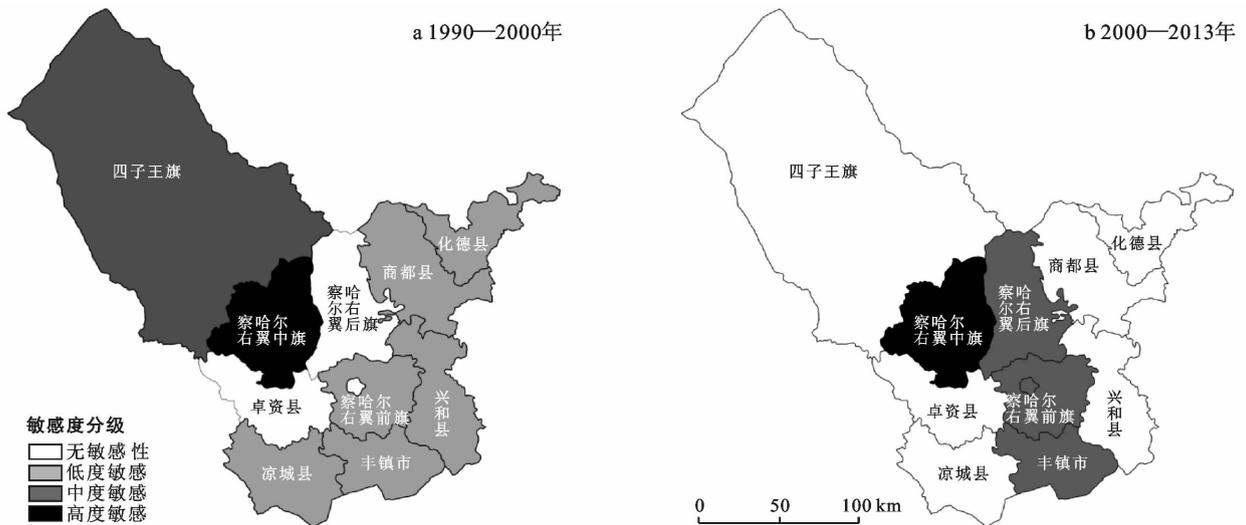


图4 乌兰察布市粮食产量变化对耕地面积变化敏感性格局

2000—2013年粮食生产对耕地变化敏感度最高的(旗)县为察哈尔右翼中旗,尽管耕地集约利用水平有所提高,但是耕地数量变化仍然是其粮食产量变化的主导因素;低度敏感的(旗)县有察哈尔右翼后旗、

察哈尔右翼前旗、丰镇市,分布于乌兰察布市中部和南部地区;粮食产量对耕地变化具有无敏感性的(旗)县主要分布于研究区东部和西部地区,其中有四子王旗、凉城县、化德县、商都县和兴和县,由于农田水利

建设及农机装备等基础设施的改进,单位耕地的科技投入水平的不断提高,加强了耕地的粮食综合生产能力。

4 讨论与结论

4.1 讨论

由于耕地利用变化导致的耕地数量变化,使得耕地在空间分布和结构构成上产生巨大改变,进而影响到粮食综合生产能力。这种耕地数量、空间分布的同时改变将对粮食生产和生态安全造成较大影响,而不同原因产生的耕地增减在粮食生产和生态安全上具有不同的作用。遥感监测结果显示了耕地的时空面积变化,也明确反映出耕地增加的来源和耕地减少的去向,同时结合相关资料分析,发现耕地变化的基本特征和耕地增减的原因。

耕地面积和粮食单产是影响粮食产量最重要的因素,耕地面积是粮食播种面积得以提高的基础,耕地质量是粮食单产高低的决定因素。在一定的农业科技水平和基础设施条件下,耕地面积的增减对粮食的有效供给能力起着最根本的约束作用。在研究耕地利用变化对粮食生产能力影响时,除了考虑耕地面积变化对粮食生产能力的影响之外,还应该考虑耕地资源质量的优劣与粮食作物种植结构调整这2个因素对粮食产量的影响^[23-24]。受数据与时间所限,本次研究没有对此展开深入分析。在今后的研究中,有必要继续完成耕地数量与质量变化以及粮食作物种植结构对粮食生产能力综合影响的探索。

乌兰察布市粮食产量增加,尤其是1990—2000年期间,主要依靠耕地扩张及粮食播种面积增加这一粗放式的增长方式。而种植业结构调整、土壤肥力变化、气候变化、粮食价格、农业政策调整等多种因素的叠加,导致的粮食产量周期性波动,应引起足够重视^[17]。在未来的农业发展中,应优化种植业布局,侧重提高现有耕地质量,加强农业基础设施特别是农田水利设施建设,稳步提高耕地基础地力和产出能力,注意科学施肥和灌溉,着力改造中低产田,强化科技支撑,大力推进农业关键技术研究,提高耕地质量和粮食单产,最终保障粮食产能的持续提升。

4.2 结论

(1) 在过去的近20 a间,乌兰察布市耕地面积总体减少380.38 km²,占土地变化总面积的25.46%。2000年前后粮食产量变化较大,粮食产量增加2.83×10⁵ t,2013年达到1.19×10⁶ t。

(2) 1990—2000年,耕地净增加79.29 km²,主要来自草地、林地的转化,研究区中部、北部增加而东

部减少;粮食产量增加了4.98×10⁵ t,2000年达到1.40×10⁶ t。年均粮食产量增加大于5.00×10⁴ t的县有察哈尔右翼后旗、察哈尔右翼中旗、凉城县、兴和县、卓资县。除了四子王旗粮食产量对耕地面积具有较高的依赖性以外,其它地区粮食产量对耕地变化的敏感度较低。

(3) 2000—2013年,耕地总量明显减少,净减少面积为459.67 km²,受自1999年以来的退耕还林还草工程的实施,乌兰察布市大量不适宜耕种的农田退耕。耕地利用变化主要发生在研究区中部和南部。粮食产量先减少后增加,但总体呈下降趋势,总共减少2.16×10⁵ t。随着农田水利建设和农机装备等基础设施的不断改进以及科技投入水平的不断提高,乌兰察布市东部和西部地区粮食综合生产能力明显提高,粮食产量对耕地面积的敏感度变低。

[参 考 文 献]

- [1] 石淑芹,陈佑启,姚艳敏,等. 东北地区耕地变化对粮食生产能力的影响评价[J]. 地理学报,2008,63(6):574-586.
- [2] 刘文超,颜长珍,秦元伟,等. 近20 a陕北地区耕地变化及其对农田生产力的影响[J]. 自然资源学报,2013,28(8):1373-1382.
- [3] Kuang Wenhui, Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal dynamics of impervious surface areas across China during the early 21st century[J]. Chinese Science Bulletin, 2013,58(14):1-11.
- [4] Gordon P, Abdoulla F. The influence of cropping rotations and soil cultivation practice on the population ecology of carabids (*Coleoptera carabidae*) in arable land[J]. Pedobiologia, 2002,46(2):452-474.
- [5] Gerowitt B, Isselstein J, Marggraf R. Rewards for ecological goods: Requirements and perspectives for agricultural landuse[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2003,98(1/2/3):541-547.
- [6] Semwal R L, Nautiyal S, Sen K K, et al. Patterns and ecological implications of agricultural land-use changes: A case study from central Himalaya, India[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2004,102(1):81-92.
- [7] Liu Jiyuan, Liu Mingliang, Tian Hanqin, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during1990-2000: An analysis based on Landsat TM data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005,98(4):442-456.
- [8] 傅泽强,蔡运龙,杨友孝,等. 中国粮食安全与耕地资源变化的相关分析[J]. 自然资源学报,2001,16(4):313-319.
- [9] 刘彦随,王介勇,郭丽英. 中国粮食生产与耕地变化的时空动态[J]. 中国农业科学,2009,42(12):4269-4274.

- [10] 石淑芹,陈佑启,姚艳敏,等. 耕地变化对粮食生产能力的影响评价:以吉林中西部地区为例[J]. 资源科学, 2007,29(5):143-149.
- [11] 徐珊,宋戈,王越,等. 东北粮食主产区耕地资源变化驱动机制及其对粮食产量的影响[J]. 水土保持通报, 2014,34(2):218-229.
- [12] 孔萌. 农牧交错带耕地时空动态变化特征及驱动力分析:以乌兰察布市为例[J]. 水土保持研究,2014,21(2):269-278.
- [13] 金涛. 中国粮食生产时空变化及其耕地利用效应[J]. 自然资源学报,2014,29(6):911-919.
- [14] 张国平,刘纪远,张增祥. 近 10 a 来中国耕地资源的时空变化分析[J]. 地理学报,2003,58(3):323-332.
- [15] 方修琦,殷培红,陈烽栋. 过去 20 a 中国耕地生产力区域差异变化研究[J]. 地理科学,2009,29(4):470-476.
- [16] 赵哈林,赵学勇,张铜会. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题[J]. 地球科学进展,2002,17(5):739-747.
- [17] 刘彦随,杜国明,刘阁. 黑龙江省近 30 a 来粮食生产变化及增产因素分析[J]. 农业现代化研究,2014,35(5):519-524.
- [18] 龙花楼. 中国乡村转型发展与土地利用[M]. 北京:科学出版社,2012:93-94.
- [19] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报,2014,69(1):3-14.
- [20] Liu Yansui, Wang Dawei, Gao Jay, et al. Land use cover changes, the environment and water resources in Northeast China [J]. Environmental Management, 2005,36(5):671-701.
- [21] Turner II B L, Meyer W B, Skole D L. Global land use/land cover change: Towards an integrated study [J]. Ambio, 1994,23(1):91-95.
- [22] 闫慧敏,刘纪远,黄河清,等. 城市化和退耕还林草对中国耕地生产力的影响[J]. 地理学报,2012,67(5):579-588.
- [23] 宋小青,欧阳竹. 1999—2007 年中国粮食安全的关键影响因素[J]. 地理学报,2012,67(6):793-803.
- [24] 陈佑启. 我国耕地利用变化及其对粮食生产的影响[J]. 农业工程学报,2000,16(6):29-32.

(上接第 185 页)

- [9] 周立青,程叶青. 黑龙江粮食生产的时空格局及动因分析[J]. 自然资源学报,2015,30(3):491-502.
- [10] 潘佩佩,杨桂山,苏忠伟,等. 太湖流域粮食生产时空格局演变与粮食安全评价[J]. 自然资源学报,2013,28(6):931-944.
- [11] 潘佩佩,杨桂山,苏忠伟,等. 太湖流域耕地变化与粮食生产研究[J]. 长江流域资源与环境,2013,21(10):1289-1296.
- [12] 周亮,徐建刚,张明斗,等. 粮食增产背景下淮河流域农业生产效率时空变化分析[J]. 地理科学,2013,33(12):1476-1483.
- [13] 高超,姜彤,翟建青. 过去(1958—2007)和未来(2011—2060)50 a 淮河流域气候变化趋势分析[J]. 中国农业气象,2012,33(1):8-17.
- [14] 王振波,方创琳,徐建刚,等. 淮河流域空间开发区划研究[J]. 地理研究,2012,31(8):1387-1397.
- [15] 廉晓梅. 我国人口重心、就业重心与经济重心空间演变轨迹分析[J]. 人口学刊,2007,29(3):23-28.
- [16] 王晓文,田秉涛,李娟,等. 1985—2010 年福建省耕地重心时空变化研究[J]. 亚热带资源与环境学报,2014,9(2):1-9.
- [17] 肖丽群,陈伟,吴群,等. 未来 10 a 长江三角洲地区耕地数量变化对区域粮食产能的影响:基于耕地质量等别的视角[J]. 自然资源学报,2012,27(4):565-576.
- [18] 曹志东,王劲峰,高一鸽,等. 广州 SARS 流行的空间风险因子与空间相关性特征[J]. 地理学报,2008,63(9):981-993.
- [19] 高军波,周春山,王义民,等. 转型时期广州城市公共服务设施空间分析[J]. 地理研究,2011,30(3):424-436.
- [20] 谷建立,张海涛,陈家赢,等. 基于 DEM 的县域土地利用空间自相关格局分析[J]. 农业工程学报,2012,28(23):216-224.
- [21] 赵明华,王秀英. 山东省粮食安全及对策研究[J]. 中国经济与管理科学,2008,20(2):64-67.