

中国耕地空间格局变化对粮食生产的影响

李圆圆^{1,2}, 谈明洪^{1,2}, 张红旗¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 耕地是粮食生产的基础, 近几十年来中国耕地空间格局变化显著, 对粮食生产造成一定影响。本研究以 1990 年、2000 年、2010 年土地覆被数据为基础, 探究耕地空间格局变化, 并基于县级农业统计数据 and 土壤有机质数据得到空间分辨率为 1 km 的耕地单产数据集, 以此作为耕地粮食生产力的代表值。结果表明: 1990—2010 年, 东北、西北地区耕地开垦剧烈, 黄淮海平原耕地面积下降; 研究期内新增耕地的主要来源是草地 (46.9%), 减少的耕地前 10 年主要转为林地 (36.6%), 后 10 年转为建设用地 (53.0%); 耕地的空间格局变化造成平均粮食生产力下降 2.0%, 在此期间建设用地多占用优质耕地, 而新开垦的耕地粮食生产力普遍较低。

关键词: 耕地; 空间格局; 粮食生产; 中国

中图分类号: K902 **文献标识码:** A

The Impact of Cropland Spatial Pattern Change on Grain Production in China

Li Yuanyuan^{1,2}, Tan Minghong^{1,2}, Zhang Hongqi¹

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Cropland is the basis of grain production. In recent decades, the spatial pattern of cropland in China has changed significantly, which has caused some impact on grain production. Based on land cover data of 1990, 2000, and 2010, this study explored changes in the spatial pattern of cropland, and constructed a database with a spatial resolution of 1 km based on county-level agricultural statistics and soil organic matter data, which is the representative of crop productivity. The results show that: during the period from 1990 to 2010, drastic reclamation happened in Northeast and Northwest China while the cropland acreage decreased in Huang-Huai-Hai Plain; the main source of new cropland during the study period was grassland (46.9%), and the lost cropland was mainly converted to forest land (36.6%) in the first ten years and then to construction land (53.0%) in the following ten years; the changes in the spatial pattern of cropland have caused a decrease of 2.0% in the average crop productivity, and during this period, the construction land mostly occupied high-quality cropland, while the newly reclaimed cropland had lower crop productivity.

Keywords: cropland; spatial pattern; grain production; China

收稿日期: 2018-08-23; 修回日期: 2018-08-30

通讯作者: 谈明洪, 中国科学院地理科学与资源研究所, 副研究员, 主要研究方向为土地利用与土地变化、城市用地增长及其效应研究;
E-mail: tanmh@igsnrr.ac.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国农业资源环境若干战略问题研究”(2016-ZD-10)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

中国是世界人口大国，在自然条件的约束下不得不面临着以全球 9% 的耕地养活全球 21% 人口的困境。自 1994 年莱斯特·布朗发表《谁来养活中国》以来，中国的粮食安全问题一直是世界性论题。受人口和经济增长的影响，中国的食物需求不断增加，仅 2010—2016 年，中国谷物、谷物粉及大豆的的进口量增长了 1.65 倍，农、林、牧、渔业对外直接投资净额增长了 5 倍。根据预测，未来中国食物自给率仍将下降，大豆、谷物及谷物粉和奶制品的进口规模将持续上升。

耕地是粮食生产的基础，过去几十年来，中国的耕地经历了快速的变化。耕地一旦非农化之后，尤其是转为建设用地之后，下垫面的改变使其很难在短时间内恢复为可耕种状态，因而建设用地扩张侵占耕地的现象引起了许多学者的关注。刘彦随等 [1] 比较了中国人口规模较大的城市和集中连片优质农田的分布，发现二者具有高度重合性。据 Tan 等 [2] 对 145 个大中城市的调查研究，发现城市扩张多是占用优质耕地，1990—2000 年这些被城市占用的耕地能够生产的粮食产量相当于全国耕地平均粮食生产水平的 1.47 倍。He 等 [3] 计算之后发现，1992—2015 年建设用地扩张造成的粮食减产导致了我国粮食自给率下降 2%。在建设用地扩张的过程中，学者注意到农村居民点在人口不断减少的过程中建设用地却快速增长的现象 [4]，认为农村建设用地扩张比城市建设用地扩张对耕地减少的影响更大。

与此同时，一些生态脆弱、耕地立地条件较差地区的耕地扩张趋势十分显著。比如在新疆地区，1990—2015 年耕地增加了近 53% [5]，2000—2015 年内蒙古地区耕地增加近 23% [6]。耕地从复种指数较高、质量较好的南方和中部地区向复种指数较低的西北和东北转移的趋势已经被许多学者注意。有些学者采用统计年鉴数据或者全国第二次土地调查数据来描述这种耕地空间格局的变化 [7]，后来则多以遥感数据，比如 Landsat 专题绘图仪 / 增强型绘图仪 (TM/ETM) 数据 [8]、HJ-1 卫星电荷耦合器件 (CCD) 数据 [9] 等。

综上所述，过去几十年来中国耕地空间格局变化显著，但是由于受到耕地自然资源禀赋的限制，

转入与转出耕地之间的粮食产量并不能保证相等，耕地空间格局的变化会给粮食生产带来一定影响。耕地空间格局具体是如何变化的？这种变化带来怎样的影响？如何定量评估这种影响？

在以前的研究中，学者通常倾向于用潜在生产力作为描述粮食生产力的指标 [10]，它通常比实际产量要高。为进一步提高精度，本研究利用北师大土壤数据库的土壤有机质数据来重新调整县域内部栅格尺度的耕地单产。此前，学者发现在中国不同地区，土壤有机碳和作物产量之间存在着一个正相关的线性关系 [11]，这为县域尺度内调整格网的粮食生产力提供了依据。

二、数据与方法

(一) 数据来源

本文所用的土地利用图 (1990 年、2000 年、2010 年) 来自中国科学院资源环境科学数据中心 [12]，比例尺为 1 : 100 000。主要由六种土地利用类型组成，分别是耕地、林地、草地、湿地、建设用地和未利用地。野外调查和随机检验表明，解译的精确度超过了 90%。

1990 年、2000 年、2010 年的县级农业统计数据来源于中国种植业信息网，包括粮食作物的总产量和播种面积，以及所有农作物的耕地面积和播种面积。

1 km 空间分辨率的土壤有机质数据是基于第二次土壤调查 (1975—1985 年) 以及其他 25 本出版刊物和 60 份未出版材料得来的，共计 8 979 个土壤剖面，收录在北京师范大学的土壤数据库内 [13]。

(二) 研究方法

首先，以县级为单位计算每个县的多年粮食平均单产，即先求出某一年某个县的播种单产 (粮食播种产量 / 粮食播种面积)，然后乘以耕地的复种指数 (所有作物播种面积 / 耕地面积) 得到耕地的粮食单产，最后求多年的平均值。

其次，将县级平均产量根据土壤有机质的水平进行内部调整，从县级尺度细化到 1 km 的格网内，得到每个格网的多年平均单产。具体方法是计算每个县表层土壤 (0~30 cm) 的平均有机质含量，以该县内每个格网的有机质含量与县平均有机质含量的比值为系数，调整该格网内的粮食单产。

三、结果与讨论

(一) 耕地空间格局变化

研究数据显示, 1990—2010年, 耕地面积整体净增加了0.87%, 以2000年左右为分界点呈现出先增长后下降的趋势。2000年前, 年均净增加耕地面积约为 $2.8 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 而2000年后, 年均净减少面积约为 $1.3 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。

1990—2010年, 全国的新增耕地中最多是由草地转来的, 占比为46.9%, 其次是林地, 大约占38.8%, 湿地和未利用地一共仅占14.3%。北方的新增耕地主要来源是草地, 南方则主要来源于林地。分时段来看, 前期(1990—2000年)中国的新增耕地来源中草地占比为46.0%, 林地占比为42.7%, 后期(2000—2010年)草地占比上升了6.1%, 林地

占比则大幅下降了28.2%, 意味着后期耕地的开垦相对而言更多向草地、湿地以及荒地偏移(见图1)。

1990—2010年, 中国的城市化进程不断推进, 全国转出的耕地中有24.5%被建设用地占用。另一方面, 受到1999年推行的退耕还林、还草、还湿等生态保护政策以及农村劳动力不断向城镇转移的影响, 主动或被动减少的耕地中有37.9%转为了林地, 28.7%转为了草地, 7.3%转为了湿地。转出耕地呈现出大幅向建设用地倾斜的趋势, 后10年转出为建设用地的耕地占比大幅上升了32.3%, 占比达到了53.0%(见图2)。

虽然整体看来中国的耕地面积变化幅度不大, 但观其内部可发现耕地面积此消彼长, 不同区域之间差异显著。根据中国农业综合区划[14], 中国有八个主要的农产品主产区。

八大农产品主产区中, 黄淮海平原、长江中

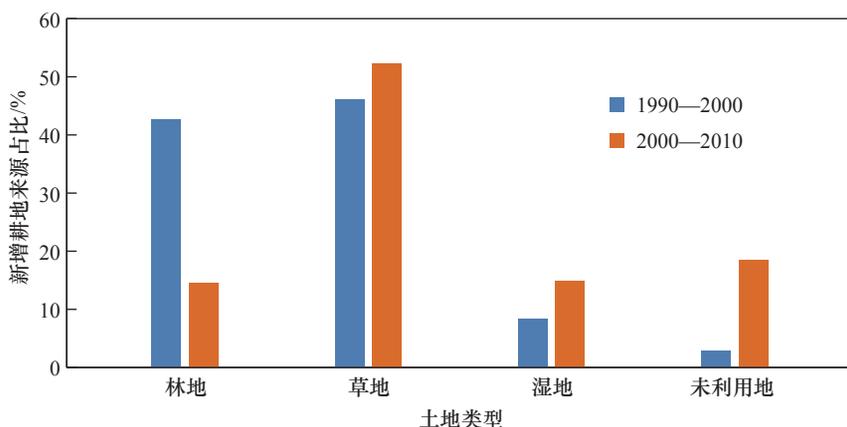


图1 中国1990—2000年和2000—2010年新增耕地来源占比变化

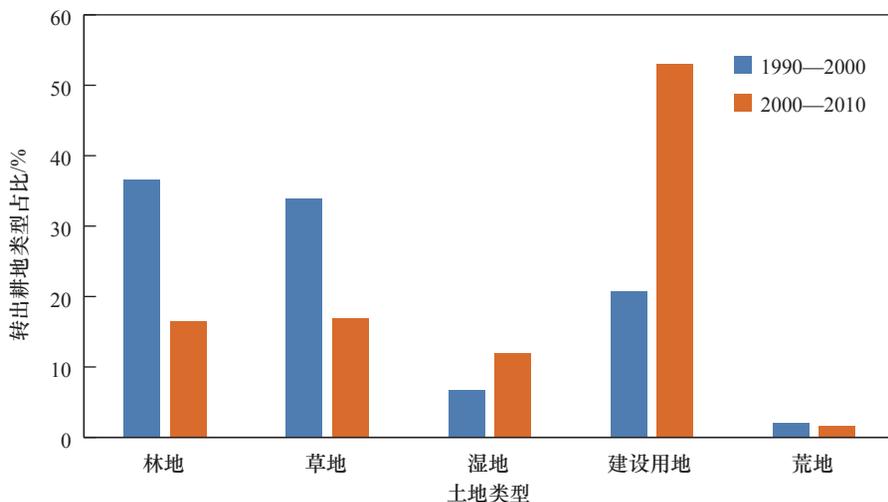


图2 中国1990—2000年和2000—2010年转出耕地类型占比变化

游和江淮地区、四川盆地以及华南蔗果区的耕地在1990—2010年共净减少了 $1.65 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，而在新疆、内蒙古东部地区和东北平原（包括松嫩平原和三江平原），耕地净增加共 $3.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$ （见图3）。

从空间上来看，1990—2010年间的新增耕地主要分布在中国的东北和西北地区。在八大农产品主产区中，内蒙古东部地区、新疆、松嫩平原、黄淮海平原以及三江平原耕地主要来源是草地，占比分别达到了70.8%、68.8%、57.7%、44.1%以及35.7%。南部的主产区华南蔗果区、四川盆地和长江中游及江淮地区的耕地则主要来源于林地，占比分别为85.3%、74.9%和53.0%。三江平原侵占湿地开垦耕地的现象十分严重，新增耕地中有38.3%都来源于湿地。在前人的研究中，这个比例甚至更高[15]。新疆地区的新增耕地主要来源除了草地以外，未利用地也占了23.2%左右。

在八大农产品主产区的转出耕地中，黄淮海平原、四川盆地、长江中游及江淮地区以及华南蔗果区四个经济相对发达的地区一共占了70.91%。黄淮海平原的损失耕地中有72.2%都转为了建设用地，在长江中游及江淮平原这个比例也高达44.9%。从空间分布上可以看到城市周围建设用地侵占耕地的现象十分明显，尤其是在京津冀、长三角、珠三角三大城市群范围内。1990—2010年，北京周边的转出耕地中，建设用地占用了72.5%，上海周边这个占比则高达90.0%。

（二）耕地空间格局变化对粮食生产的影响

在本研究的假设中，1990—2010年农药、化肥、种子等各种影响因素不变。由前文计算得到中国耕地的粮食生产力，以此为耕地地块的固有属性，再结合1990年、2000年、2010年的土地利用数据，发现耕地空间格局变化造成全国范围内粮食生产力的平均值在1990—2010年下降了约2%。在20世纪90年代，全国的平均粮食生产力下降了1.5%，而2000年以后下降趋势明显缓和，10年仅下降了0.5%。

从八大主产区的角度来看，长江中游及江淮地区、四川盆地、黄淮海平原以及华南蔗果区的粮食生产力较强，均超过了全国平均值，而东北和西北的四个主产区则远低于全国平均值（见图4）。由此可见，现今的农业生产出现了与粮食生产力相悖的发展方式，新增耕地集中的地区反而是粮食生产力较弱的地区。

由于建设用地是耕地损失最主要的途径之一，为保障国家粮食安全，中国实行了耕地“占补平衡”的政策，即非农建设经批准占用耕地之后，要按照“占多少，补多少”的原则，补充数量和质量相当的耕地，以保证耕地总量基本平衡。但实际上很难做到质量和数量的双重平衡，其主要原因有两个：

（1）通常而言，补充的耕地土壤质量较差，且多位于气候条件不太适宜耕作的地区[16]。优质耕

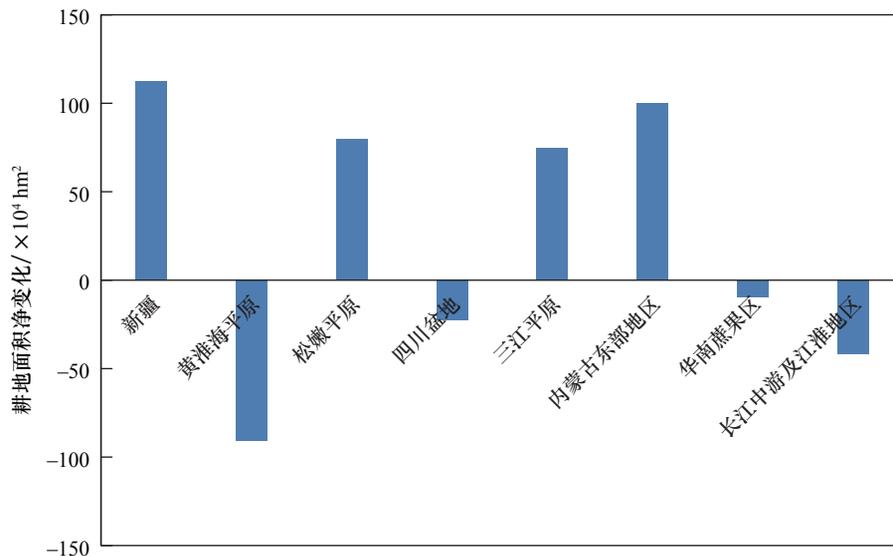


图3 1990—2010年中国农产品主产区耕地面积变化

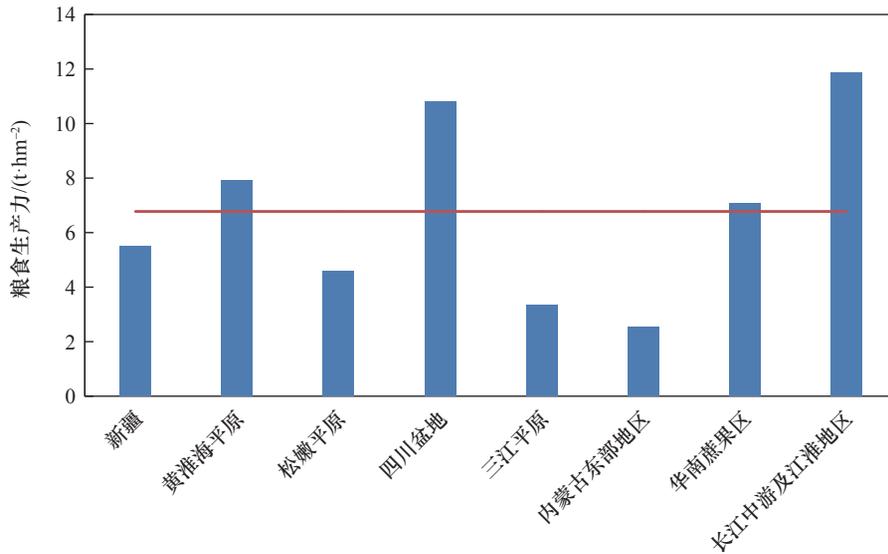


图4 八大主产区耕地平均粮食生产力
注：红线为全国耕地平均粮食生产力。

地则大多分布在城镇周边或交通沿线，容易和城镇建设用地发生冲突，被城镇扩展所占用 [17]。因而同地区耕地之间容易出现“占优补劣”。例如在八大主产区内部，被建设用地占用的耕地的粮食生产力通常也高于该地区新增耕地的粮食生产力。

(2) 热量条件决定了我国北方耕地复种指数较低，南方耕地复种指数较高，而经济发展程度上又恰好相反，加之近些年节水灌溉技术的发展，水资源对北方耕作的限制作用减弱，所以从总体格局上出现南方耕地被建设用地侵占，北方耕地大规模连片开垦的情况，南北耕地之间容易“占优补劣”。

建设用地在转出耕地中的占比仅在研究期内的两个时段中就上升了 32.28%，而中国城镇化率还有很大的提升空间。因而未来建设用地占用仍然是耕地流失的主要原因。另一方面，新增耕地主要分布于东北、西北这些地区，而这些地区耕地的粮食生产力比全国范围内建设用地占用耕地的生产力要低得多。新疆、东北平原、内蒙古东部地区新增耕地的平均粮食生产力分别是 5.7 t/hm²、4.4 t/hm² 和 2.5 t/hm²，如果想弥补全国范围内 1 hm² 被建设用地占用的耕地，就需要在新疆地区补 1.6 hm²，在东北平原补 2.0 hm²，在内蒙古东部地区补 3.6 hm² 才能保证总的产能平衡。新增耕地一是粮食产量相对较低，并且缺乏对耕地质量的后续提升与管理措

施；二是容易对区域生态安全问题造成困扰，因而新增耕地的大量开垦存在一定的风险，未来需谨慎开发。

四、结语

本文定量评估了 1990—2010 年中国耕地空间格局变化带来的粮食生产变化。为更精准地评估这种变化，本文基于县级农业数据和中国土壤有机质的格网数据，建立了 1 km 分辨率的格网级耕地粮食生产力数据库。将得到的格网级粮食生产力与土地利用变化数据相结合，可以发现：

(1) 1990—2010 年，中国耕地面积先增长后下降，总体变化幅度不大，但其内部耕地面积在不同地区发生较大变化。

(2) 1990—2010 年，中国新增耕地主要来源是草地 (46.9%)，后期 (2000—2010 年) 草地占比上升，主要去向前期 (1990—2000 年) 是林地 (36.6%)，后期建设用地占比上升，成为主要去向 (53.0%)。南方的新增耕地主要来源于林地，北方则来源于草地，东北地区开垦湿地的现象较为严重。

(3) 耕地的空间格局变化造成中国平均粮食生产力在 20 年间下降了 2%。在保证耕地产能平衡的前提下，全国每有 1 hm² 耕地被建设用地占用，就

需要在新疆开垦 1.6 hm² 耕地作为弥补, 在东北平原则需要 2.0 hm² 耕地作为弥补, 而在内蒙古东部地区则需要 3.6 hm² 耕地作为弥补。

参考文献

- [1] 刘彦随, 周扬. 中国美丽乡村建设的挑战与对策 [J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(2): 97–105.
Liu Y S, Zhou Y. Challenges and countermeasures for beautiful countryside construction in China [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2015, 32(2): 97–105.
- [2] Tan M H, Li X B, Xie H, et al. Urban land expansion and arable land loss in China—A case study of Beijing–Tianjin–Hebei region [J]. Land Use Policy, 2005, 22(3): 187–196.
- [3] He C Y, Liu Z F, Xu M, et al. Urban expansion brought stress to food security in China: Evidence from decreased cropland net primary productivity [J]. Science of Total Environment, 2017, 576: 660–670.
- [4] Liu Y Q, Long H L, Li T T, et al. Land use transitions and their effects on water environment in Huang–Huai–Hai Plain, China [J]. Land Use Policy, 2015, 47: 293–301.
- [5] 王丹, 吴世新, 张寿雨. 新疆 20 世纪 80 年代末以来耕地与建设用地扩张分析 [J]. 干旱区地理, 2017, 40(1): 188–196.
Wang D, Wu S X, Zhang S Y. Expansion of both cultivated and construction land in Xinjiang since the late 1980s [J]. Arid Land Geography, 2017, 40(1): 188–196.
- [6] 聂学海, 宋戈, 王蓓, 等. 内蒙古自治区耕地利用效益时空特征分析 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45(4): 206–211.
Nie X H, Song G, Wang B, et al. Analysis of spatio-temporal characteristics of cultivated land use benefits in Inner Mongolia [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(4): 206–211.
- [7] 谭永忠, 何巨, 岳文泽, 等. 全国第二次土地调查前后中国耕地面积变化的空间格局 [J]. 自然资源学报, 2017, 32(2): 186–197.
Tan Y Z, He J, Yue W Z, et al. Spatial pattern change of the cultivated land before and after the Second National Land Survey in China [J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(2): 186–197.
- [8] Liu J Y, Liu M L, Tian H Q, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990–2000: An analysis based on land-sat TM data [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 98(4): 442–456.
- [9] 许丽丽, 李宝林, 袁焯城, 等. 2000—2010 年中国耕地变化与耕地占补平衡政策效果分析 [J]. 资源科学, 2015, 37(8): 1543–1551.
Xu L L, Li B L, Yuan Y C, et al. Changes in China's cultivated land and the evaluation of land requisition-compensation balance policy from 2000 to 2010 [J]. Resources Science, 2015, 37(8): 1543–1551.
- [10] Liu J Y, Xu X L, Zhuang D F, et al. Impacts of LUCC processes on potential land productivity in China in the 1990s [J]. Science in China D Earth Science, 2005, 48(8): 1259–1269.
- [11] 邱建军, 王立刚, 李虎, 等. 农田土壤有机碳含量对作物产量影响的模拟研究 [J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 154–161.
Qiu J J, Wang L G, Li H, et al. Modeling the impacts of soil organic carbon content of croplands on crop yields in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(1): 154–161.
- [12] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s [J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(2): 195–210.
- [13] Shangguan W, Dai Y J, Liu B Y, et al. A China dataset of soil properties for land surface modeling [J]. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2013 (5): 212–224.
- [14] 全国农业区划委员会. 中国综合农业区划片 [M]. 北京: 农业出版社, 1981.
National Agricultural Planning Commission. Chinese synthetic agricultural regional planning [M]. Beijing: Agricultural Press, 1981.
- [15] Wang Z M, Mao D H, Li L, et al. Quantifying changes in multiple ecosystem services during 1992–2012 in the Sanjiang Plain of China [J]. Science of the Total Environment, 2015, 514: 119–130.
- [16] Song W, Liu M L. Farmland conversion decreases regional and national land quality in China [J]. Land Degradation & Development, 2017, 28(2): 459–471.
- [17] 程旭, 杨海娟. 城市扩张对大城市周边基本农田的影响——以西安市长安区为例 [J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(8): 25–34.
Cheng X, Yang H J. Analysis of the effect of urban expansion on the basic farmland around the big city—Taking Chang'an District of Xi'an as an examples [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(8): 25–34.