

# 基于联立方程组的东北区粮食生产力和耕地变化影响要素分析

姜群鸥<sup>1,2,3,4</sup>, 程雨薇<sup>1</sup>, 薛筱婵<sup>1</sup>, 邓祥征<sup>3,4\*</sup>, 陈立欣<sup>1</sup>, 聂承静<sup>5</sup>

(1.北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2.北京林业大学水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;  
3.中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4.中国科学院农业政策研究中心, 北京 100101;  
5.河北经贸大学公共管理学院, 石家庄 050061)

**摘要:** 东北区是中国粮食主产区, 研究其粮食生产力和耕地变化的影响要素对提高粮食生产、保证国家粮食安全具有重要的现实意义。该研究利用土地利用数据、自然环境数据、气象数据、区位和交通数据与社会经济数据, 采用联立方程组模型实现了东北区粮食生产力、耕地向建设用地转移及耕地向林/草地转移这 3 个区域生态过程的内生变量和外生变量之间相互作用关系的定量表达。从人口规模、社会、经济、政策、区位和自然条件等方面进行了定量分析。研究结果表明社会经济因素在较短的时间内对东北区粮食生产力起着显著作用, 农业人口增长、生产投入要素的作用也相对显著。在耕地向建设用地转移过程中, 人口规模、经济发展、区位条件、坡度及政策是其关键影响因素。耕地向林/草地转移过程主要受农业人口比例、地形坡度、区位和交通条件、政策、气候等关键控制变量的影响。该研究结论将为研究区的土地利用规划和耕地保护政策提供重要的参考信息。

**关键词:** 土地利用; 模型; 粮食; 农业生产; 耕地变化; 影响要素; 联立方程组; 东北区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.24.044

中图分类号: F301.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-24-0289-09

姜群鸥, 程雨薇, 薛筱婵, 邓祥征, 陈立欣, 聂承静. 基于联立方程组的东北区粮食生产力和耕地变化影响要素分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 289-297. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.24.044 <http://www.tcsae.org>

Jiang Qun'ou, Cheng Yuwei, Xue Xiaochan, Deng Xiangzheng, Chen Lixin, Nie Chengjing. Analysis of influencing factors of agricultural productivity and cultivated land dynamics based on simultaneous formulas in Northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(24): 289-297. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.24.044 <http://www.tcsae.org>

## 0 引言

21 世纪以来, 中国受国家区域发展战略、社会经济迅猛发展等多重因素的影响, 土地利用变化呈现高速、高强度的动态变化过程<sup>[1-2]</sup>。虽然目前的土地利用变化已开始由人类活动主导下的耕地开垦、建设用地增长的开发模式向开发与生态保护并重的方式发展, 但是转变的过程仍然是漫长的, 目前中国经济发展所导致的城市化仍使得大量耕地不断被占用<sup>[3-4]</sup>。东部及沿海地区耕地迅速减少, 32 个省、市、自治区(含台湾)中耕地面积下降的有 19 个。田光进等的中国生态环境质量评价结果显示, 中国耕地生态环境质量也处于下降状态<sup>[5-6]</sup>。近年来相关耕地政策对耕地面积的减少起到了一定的抑制作用, 但耕地总体质量下降却没能得到有效缓解<sup>[7-9]</sup>。新开垦耕地多为坡度较大的土地, 被流转的多为坡度较缓土地。

耕地质量变化对国家粮食安全和区域生态环境也具有重要影响。因此, 保护耕地质量是中国土地管理的重点, 也是一项长期不变的基本国策<sup>[9-10]</sup>。

目前, 国内外学者针对土地利用变化和粮食生产力的影响要素分析开展了大量研究<sup>[10-17]</sup>。最初的研究大多采用的是定性分析法, 这种方法对于每个要素影响的程度不能准确界定<sup>[11-12]</sup>。后来的研究大多采用统计学方法, 不仅可以识别关键的影响要素和每个要素的影响方向, 而且还可以定量分析每个要素的影响程度。如: 谭永忠等<sup>[13]</sup>运用典型相关分析方法诊断各社会经济驱动因子对土地利用变化格局形成贡献作用的大小; 朱健宁等<sup>[14]</sup>利用主成分分析法识别了无锡耕地资源变化的主要驱动因素; 刘康等<sup>[15]</sup>利用 Probit 回归模型分析了经济发达区南京市土地利用变化的主要影响因素; 张建军<sup>[16]</sup>利用土地结构方程分析了土地利用变化与农业生态经济系统的耦合关系; 战金艳等<sup>[17]</sup>利用联立方程组分析了江西耕地转移的驱动机理和关键驱动要素。但是这些方法大多是针对单个方程估算影响系数, 不能表征变量之间的依存性。虽然部分也建立了多个方程, 但是仅局限于一种尺度。

东北地区是中国的主要粮食产区。在过去 30 a, 东北地区先后经历了耕地不断被开垦和部分耕地被退为林草地的时代。针对目前耕地承载力已近极限、土

收稿日期: 2015-07-12 修订日期: 2015-11-09

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201404030104); 国家自然科学基金委重大研究计划(91325302); 中国博士后基金(2014M560110); 国家杰出青年科学基金(71225005); 河北省自然科学基金(D2015207002)联合资助。

作者简介: 姜群鸥, 河北冀州人, 女, 博士后, 讲师。研究方向为土地利用变化及效应。北京 北京林业大学水土保持学院, 100083。

Email: [jiangqo.dls@163.com](mailto:jiangqo.dls@163.com)

\*通信作者: 邓祥征, 山东日照人, 男, 研究员, 研究方向为土地管理。北京 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。Email: [dengxz.ccap@igsnrr.ac.cn](mailto:dengxz.ccap@igsnrr.ac.cn)

地供需矛盾尖锐、土地退化损毁和质量下降问题突出的情况<sup>[18]</sup>,对东北地区耕地变化和粮食生产力的驱动机制研究显得尤为重要。驱动机制的分析是揭示区域尺度土地利用/覆盖时空变化规律的重要前提。本研究采用联立方程组模型,将不同尺度的变量引入模型,实现了东北地区粮食生产力和土地利用变化时空变化的驱动机制分析,保证了东北区驱动因子与粮食生产力和土地利用变化之间的关系得到清晰的刻画,对合理保护耕地资源,为区域耕地的动态平衡与区域调控,实现区域耕地的持续利用,特别是对农业优势地区的持续发展,以及协调好耕地保护与经济发展之间的关系有着重要意义<sup>[19-20]</sup>。

## 1 数据和方法

### 1.1 数据来源

本研究针对东北区粮食生产力和耕地变化的现状和可能的影响要素,选取的数据主要有土地利用数据、粮食生产力数据、自然环境数据、气象数据、区位和交通数据与社会经济数据。

1) 土地利用数据由中国科学院资源环境科学数据中心提供,该数据是有 TM 遥感影像采用人机交互法解译而获得,解译精度达 92.7%<sup>[21]</sup>。土地利用类型包含耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类。在此基础上,采用叠加分析,计算了 1988—1995 年,1995—2000 年,2000—2005 年各种土地利用类型相互转移的面积,并提取了耕地向建设用地转移和耕地向林/草地转移的面积。

2) 自然环境数据包括地形坡度、平原面积比例和气象数据。其中地形坡度和平原面积比例数据通过东北地区 1:25 万 DEM 数据计算获得。气象数据选择了 1988—2005 年与区域生态过程相关的年均气温、年均降水量,来源于中国气象局,原始数据以文本格式记录,本研究采用梯度距离平方反比法插值成 1 km×1 km GRID 数据。

3) 区位和交通数据分别指各栅格距省会城市的距离和各县(市)高速公路密度。前者基于 1988 年、1995 年、2000 年和 2005 年东北地区省会级城市、地级城市和县级市分布图,采用距离分析法计算获得,后者以东北地区的交通线数据除以各县(市)土地面积计算获得。

4) 社会经济数据包括 1988 年、1995 年、2000 年和 2005 年东北区各县粮食生产力、农业人口、总人口、化肥施用量、灌溉投资、是否是贫困县、是否是粮食主产区、是否执行退耕还林国家政策、是否有农业补贴等,这些指标来自中国科学院资源环境科学数据中心采集数据的滞后值,部分数据来自于各分县调查统计年鉴。

东北区粮食生产力和耕地变化过程影响机制分析所需主要变量如表 1 所示。

表 1 东北区粮食生产力和耕地变化影响机制分析中所用变量  
Table 1 Variables of effect analysis on agricultural productivity and cultivated land change in Northeast China

尺度 Scale	隶属过程 Equation	变量类型 Variables	含义 Meaning	代码 Label
栅格 尺度 Grid scale	1	土地利用	耕地面积/hm <sup>2</sup>	area
	2		耕地向建设用地转移量/hm <sup>2</sup>	cfb
	3		耕地向林/草地转移量/hm <sup>2</sup>	cfg
	2,3	自然环境	地形坡度/(°)	slope
	2,3		平原面积比例/%	splain
	1,3		年均降水量/mm	rain
1,3		年均气温/°C	temp	
县域 尺度 County scale	1	粮食生产 力	粮食生产力/t	agr_prod
	2,3	区位条件	距省会城市距离/m	d_pvc
	2,3	交通条件	国家干线公路密度/(km·km <sup>-2</sup> )	highwd
	1	社会经济	农业劳动力/人	lbr
	3		农业人口比例/人	s_apop
	2		总人口/人	pop
	1		灌溉投资/亿元	k
	1		化肥施用量/t	fertilizer
	2		基本建设投资/万元	invest
	3		是否是贫困县	poverty
	3		是否粮食主产区	grain
	2,3		非农产业 GDP/万元	nagdp
3	第一产业 GDP/万元		agdp	
1,2,3	农业补贴政策		nybt	
1,2,3	退耕还林政策		tghl	

注: 1) 土地利用数据通过解译 1988 年、1995 年、2000 年、2005 年 4 期遥感数据获得; 2) 耕地向建设用地转移量指 1988—1995 年、1995—2000 年、2000—2005 年耕地向建设用地转移面积; 3) 耕地向林草地转移量指 1988—1995 年、1995—2000 年、2000—2005 年耕地向林草地转移面积; 4) 粮食生产力、农业人口比例、非农产业 GDP 和第一产业 GDP 采用的滞后一期变量值由该变量过去 4a 的平均值代替。5) 隶属方程中的 1 代表粮食生产力变化, 2 代表耕地向建设用地转移过程, 3 代表耕地向林/草地转移过程。  
Note: 1) Land use data are interpolated from the remote sensing data in 1988, 1995, 2000 and 2005. 2) The amounts of cultivated land converted to built-up area refer to the area of cultivated land that was converted into built-up area during 1988-1995, 1995-2000 and 2000-2005. 3) The amounts of cultivated land converted to forest or grassland refer to the area of cultivated land that was converted into forest or grassland during 1988-1995, 1995-2000 and 2000-2005. 4) One-period lag term of agricultural productivity, proportion of agricultural population, second and tertiary GDP, and first industry GDP refer to the average value in the past four years. 5) Equation 1 refers to the process of agricultural productivity, equation 2 is the process of cultivated land converted to built-up area, and equation 3 is the process of cultivated land converted to forest or grassland.

### 1.2 联立方程组模型

联立方程组模型就是描述变量间联立依存性的方程体系。本研究采用联立方程组,解析了东北区粮食生产力和耕地变化过程影响机制<sup>[22-23]</sup>。该方程组由粮食生产力、耕地向建设用地转移过程及耕地向林/草地转移过程 3 个回归方程构成,解析不同变量之间的相互联系,即某些被解释的因变量(各县/市农业总产出)可以作为解释变量(滞后一期的粮食总产)出现在另一方程的右边,即一些因变量  $Y_i$  同时作为自变量去影响另外的因变量  $Y_j$ ,使得对  $Y_i$  的估计误差传递给  $Y_j$ ,从而可以更深刻地刻画出区域粮食生产力和耕地变化过程的影响机理。

在构建联立方程组的过程中,为消除变量共线性对模型估计结果的影响,进行了变量的共线性诊断,剔除严重共线性变量;为消除量纲差异对估计结果的影响,以 1988 年、1995 年、2000 年和 2005 年各变量取自然对数后的数据作为模型的基本输入参数。在制备好数据的基础上,以粮食生产力 ( $ag\_prod$ )、耕地向建设用地转移量 ( $cfb$ ) 和耕地向林/草地转移量 ( $cfg$ ) 为被解释变量构建的东北区农业生产和耕地变化过程影响机理联立方程组如下

$$\ln(ag\_prod_{it}) = a_0 + a_1 \ln(lbr_{it}) + a_2 \ln(k_{it}) + a_3 \ln(area_{it}) + a_4 \ln(fertilizer_{it}) + a_5 \ln(rain_{it}) + a_6 (\ln(rain_{it}))^2 + a_7 \ln(temp_{it}) + a_8 (\ln(temp_{it}))^2 + a_9 tghl_{it} + a_{10} nybt_{it} + \xi_{it}$$

$$\ln(cfb_{it}) = b_0 + b_1 \ln(pop_{it-1}) + b_2 \ln(invest_{it}) + b_3 \ln(splain_{it}) + b_4 \ln(slope_{it}) + b_5 \ln(highwd_{it}) + b_6 \ln(d\_pvc_{it}) + b_7 \ln(ag\_prod_{it-1}) + b_8 \ln(nagdp_{it-1}) + b_9 tghl_{it} + n_{it}$$

$$\ln(cfg_{it}) = c_0 + c_1 \ln(apop_{it-1}) + c_2 \ln(splain_{it}) + c_3 \ln(slope_{it}) + c_4 (\ln(slope_{it}))^2 + c_5 \ln(highwd_{it}) + c_6 \ln(d\_pvc_{it}) + c_7 \ln(temp_{it}) + c_8 (\ln(temp_{it}))^2 + c_9 \ln(rain_{it}) + c_{10} (\ln(rain_{it}))^2 + c_{11} \ln(agr\_prod_{it-1}) + c_{12} grain + c_{13} \ln(agdp_{it-1}) + c_{14} \ln(nagdp_{it-1}) + c_{15} tghl + p_{it}$$

式中  $i$  代表基本分析单元； $t$  表示年份（1988—2005）； $t-1$  表示方程取该变量滞后一期的值； $\xi_{it}$ 、 $n_{it}$ 、 $p_{it}$  为残差； $a_0 \sim a_{10}$ 、 $b_0 \sim b_9$ 、 $c_0 \sim c_{15}$  为系数；各变量含义详见表 1。

## 2 东北区粮食生产力和耕地变化过程分析

### 2.1 东北区粮食生产力变化

本研究利用 ESAP 模型估算了 1988 年、1995 年、2000 年和 2005 年东北区的粮食生产力。经验证表明，估算结果与当地粮食单产具有良好的线性相关性，能够表征栅格尺度粮食生产力的变化<sup>[24-27]</sup>。因此，本研究采用粮

食生产力变化表征东北区 1988—2005 年的粮食生产力变化（图 1）。估算结果显示，1988—1995 年，粮食生产力平均呈小幅增长的趋势，增长的区域主要分布在平原区，而减少的区域主要分布在东北区的北部和东部；而到 1995—2000 年期间，东北区大部分区域粮食生产力呈减少的趋势，且减少的幅度显著增加，尤其是南部地区减少的幅度达到 2 000 kg/hm<sup>2</sup>；到 2000—2005 年，东北区的西部和南部平原区又呈增加的趋势，且增加的幅度是 3 个时期最大的，部分地区的生长量达到了 4 000 kg/hm<sup>2</sup>。

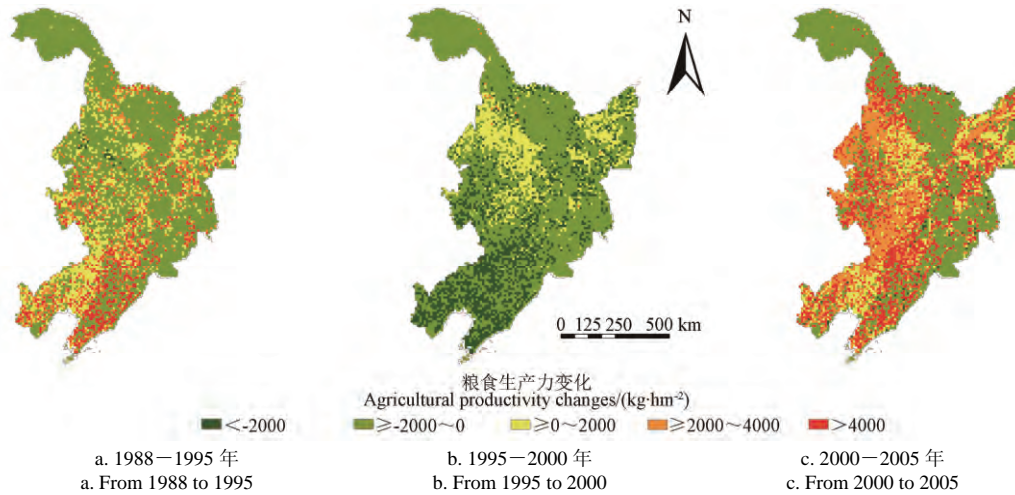


图 1 东北区粮食生产力变化

Fig.1 Agricultural productivity changes in Northeast China

### 2.2 耕地变化

东北区是中国重要粮食生产区，耕地变化直接影响国家粮

食安全。本研究基于 1988 年、1995 年、2000 年和 2005 年土地利用数据，分析了不同时期东北区耕地变化过程的差异（图 2）。

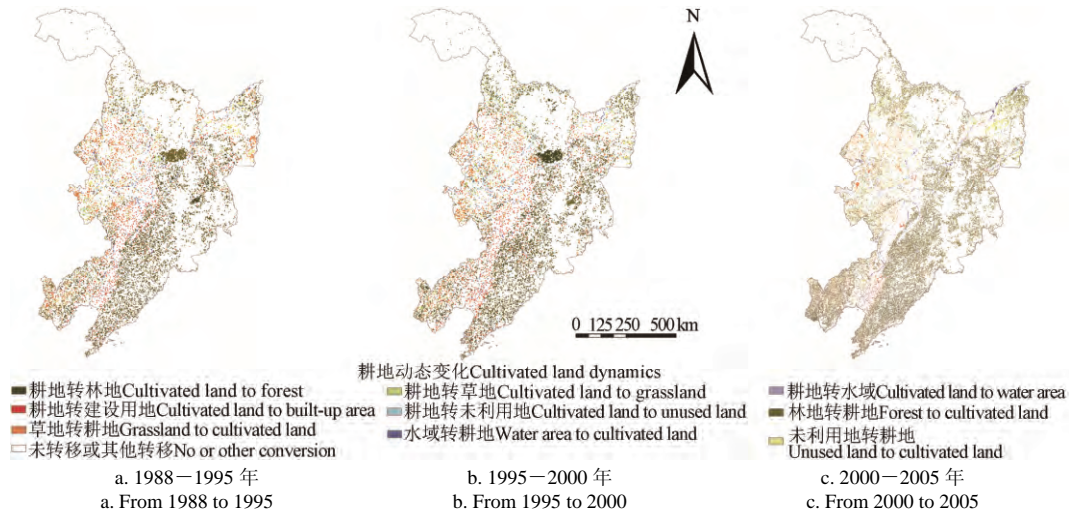


图 2 东北区耕地变化图

Fig.2 Cultivated land dynamics in Northeast China

结果显示, 1995—2000 年期间耕地变化的面积最大, 到 2000—2005 年变化趋势迅速减缓。从不同时期耕地与其他类型之间的转移面积分析出不同时期东北区生态环境变化过程。1988—1995 年大面积林地和草地被开垦为耕地, 被开垦的林地主要分布在东北区的北部地区, 而被开垦的草地主要分布在东北区的西部与内蒙古接壤的区域。到 1995—2000 年, 随着国家对生态环境的重视以及退耕还林和天保工程等一系列国家政策的实施, 这些被开垦的林地被逐渐退还为林地, 且退耕还林的趋势一直延续到了 2000—2005 年, 但是退耕的面积减少, 且退耕的面积主要转移到了东南部地区。在 2000—2005 年, 为了减少退耕还林对农业生产带来的影响, 这一时期该区东北部的一些未利用地被开垦为耕地。另外, 随着经济的快速发展和城市化程度的逐步提高, 耕地向建设用地转移也是需要值得我们关注的重要方面。耕地向建设用地转移主要分布在原有城市或者乡镇建设用地周边。

### 3 东北区粮食生产力和耕地变化的影响机制分析

#### 3.1 粮食生产力影响机制分析

1) 农业劳动力的影响。农业人口是粮食生产的主要参与者, 对粮食生产力必然也会产生重要影响(表 2)。研究结果显示, 无论是作为单要素影响因子, 还是加入了其他影响要素, 农业人口规模的影响均较显著, 但是影响程度各异。作为单要素影响因子, 其影响系数为 0.825 ( $P=1\%$ )。随着其他影响要素的不断加入, 农业人口对粮食生产力的影响系数呈下降趋势, 最终趋于平稳, 降为 0.549, 即农业人口每增长 10% 能使农业生产增长 5.49%。由此可见, 劳动力是东北区促进农业生产不可或缺的重要生产要素。

2) 农业投入要素的影响。农业投入要素的作用不可忽视, 化肥施用量与农业灌溉投资是粮食生产投入的重要组成部分, 势必也会对粮食生产力产生重要影响。当加入所有的控制变量后, 化肥施用量对粮食生产力的影响系数为 0.214, 意味着化肥施用量每增长 10% 就能使粮食生产力增长 2.14% ( $P=1\%$ ), 在不断增加其他驱动因子的过程中, 其影响系数仅减少了 0.007。灌溉投资对粮食生产力的提高作用也不容忽视, 其影响系数为 0.097 ( $P=10\%$ )。耕地面积较大的地区, 粮食生产相应也容易得到重视, 粮食生产力相对也较高。这些估算结果说明生产投入增长对粮食生产内部比较效益增加的作用日益明显; 另一方面也表明保证化肥施用量和农业用水量仍然是目前保障粮食增产的主要手段之一。

3) 气候因素的影响。该过程选取了气温和降水这两个重要的气候表征指标。在该过程中, 气温和降水的线性变化与非线性变化的影响均显著。气温升高和降水增加对粮食生产力提高均有推动作用, 但是达到一定程度之后, 却又对其产生一定的负向作用, 如降水太多则形成洪灾; 气温太高, 超过了作物的适应能力, 反而减产。气温的线性影响最终析出为 4 602.45, 而其非线性影响为 -408.781。对于降水而言, 其线性影响却在 5% 水平上显著, 其非线性影响在 10% 的水平上显著, 影响系数为 -0.756。

4) 土地管理政策的影响。退耕还林政策和农业补贴政策影响了 1988—2005 年耕地开垦与退耕过程中的粮食生产。从表 2 可以看出, 在其他条件不变的情况下, 退耕还林政策对于粮食生产力具有一定的负向作用, 而农业补贴无疑对粮食生产力有一定的促进作用, 但这并不能说明因为退耕还林对粮食具有一定的负面影响而终止其实施。不同政策对于用地的导向不同, 需要注意的是相应政策在促进粮食增收时应尽量减少其他不良影响。

表 2 东北区粮食生产力模型影响系数及其显著性  
Table 2 Effect coefficient and its significance of agricultural productivity model in Northeast China

系数 Coefficient	方程 1 Eq.1	方程 2 Eq.2	方程 3 Eq.3	方程 4 Eq.4	方程 5 Eq.5	方程 6 Eq.6
$a_1$	0.825	0.862	0.702	0.468	0.491	0.549
$a_1$ 的 P 值	30.22***	28.77***	18.36***	10.62***	9.54***	11.53***
$a_2$		0.299	0.402	0.331	0.362	0.097
$a_2$ 的 P 值		5.87***	7.72***	6.64***	7.06***	1.84*
$a_3$			0.194	0.184	0.199	0.189
$a_3$ 的 P 值			6.44***	6.45***	5.42***	5.59***
$a_4$				0.251	0.293	0.214
$a_4$ 的 P 值				9.16***	10.40***	7.98***
$a_5$					5.886	10.359
$a_5$ 的 P 值					1.03	1.97**
$a_6$					-0.409	-0.756
$a_6$ 的 P 值					0.93	1.86*
$a_7$					-6,663.438	4,602.453
$a_7$ 的 P 值					3.09***	2.31**
$a_8$					591.349	-408.781
$a_8$ 的 P 值					3.08***	2.31**
$a_9$						-0.358
$a_9$ 的 P 值						7.24***
$a_{10}$						0.222
$a_{10}$ 的 P 值						4.10***
$a_0$	-3.986	-4.193	-4.375	-3.702	18,745.737	12,914.497
$a_0$ 的 P 值	11.79***	11.09***	11.87***	10.42***	3.08***	2.30**
$R^2$	0.55	0.56	0.58	0.63	0.65	0.70

注: \*\*\*, \*\*, \* 分别表示 1%, 5% 和 10% 的统计显著性水平, 下同。

Note: \* significant at 10%; \*\* significant at 5%; \*\*\* significant at 1%, The same as below.

从上述分析来看, 社会经济因素在较短的时间内对东北区粮食生产力起着决定性作用。其中, 农业人口增长、生产投入要素的作用相对显著。

#### 3.2 耕地向建设用地转移过程的影响机制分析

1) 人口数量的影响。人口快速增长、城市化和工业化等是耕地向建设用地转移最主要的影响因素(表 3)。加入其他影响要素后, 其对耕地向建设用地转移过程的影响系数变为 0.426 ( $P=1\%$ ), 反映出人口增长 10% 能促进耕地向建设用地转移面积增加 4.26%。由此可见, 人口增长是耕地大量被转移为建设用地的重要驱动因素之一。

2) 自然环境要素的控制。该过程以平原面积比例和坡度来表征自然环境特征, 分析自然环境条件对耕地转移为建设用地的控制作用。平原面积比例在只考虑人口和农业投入的情况下, 对耕地转移为建设用地作用较显

著，随着其他控制变量的不断加入，最后变得不再显著。地表坡度对农地转移为建设用地具有一定的制约作用，坡度较大的区域不宜开发为建设用地。它对耕地转移为建设用地的影响弹性系数为-0.118，即坡度每增加 10% 耕地向建设用地转移减少 1.18%。由此可见，坡度越大，耕地向建设用地转移的几率也越小。

表 3 东北区耕地向建设用地转移面积模型影响系数及其显著性  
Table 3 Effect coefficient and its significance of model for cultivated land converted to built-up area in Northeast China

系数 Coefficient	方程 1 Eq.1	方程 2 Eq.2	方程 3 Eq.3	方程 4 Eq.4	方程 5 Eq.5	方程 6 Eq.6	方程 7 Eq.7
$b_1$	0.878	0.791	0.711	0.776	0.611	0.442	0.426
$b_1$ 的 P 值	17.68***	16.59***	12.92***	13.51***	12.73***	9.17***	8.94***
$b_2$		-0.044	-0.046	-0.042	-0.021	-0.015	-0.014
$b_2$ 的 P 值		3.14***	3.26***	3.04***	1.84*	1.44	1.29
$b_3$		0.207	0.228	0.238	0.059	0.057	0.059
$b_3$ 的 P 值		4.32***	4.74***	4.99***	1.48	1.55	1.61
$b_4$		-0.210	-0.197	-0.207	-0.152	-0.121	-0.118
$b_4$ 的 P 值		7.55***	7.04***	7.44***	6.65***	5.66***	5.55***
$b_5$			0.084	0.118	0.052	-0.001	-0.013
$b_5$ 的 P 值			2.87***	3.88***	2.09**	0.05	0.56
$b_6$				-0.162	-0.210	-0.152	-0.145
$b_6$ 的 P 值				3.55***	5.38***	4.13***	4.00***
$b_7$					0.444	0.314	0.286
$b_7$ 的 P 值					16.77***	11.09***	9.92***
$b_8$						0.351	0.414
$b_8$ 的 P 值						9.23***	10.17***
$b_9$							-0.193
$b_9$ 的 P 值							3.97***
$b_0$	-7.417	-5.964	-4.599	-6.179	-10.179	-8.418	-8.195
$b_0$ 的 P 值	11.48***	9.73***	5.96***	6.99***	13.29***	11.44***	11.26***
$R^2$	0.37	0.54	0.55	0.56	0.71	0.75	0.76

注：(t-1)表示滞后一期，下同。

Note: The t-1 variables means the one-period lag term, the same as below.

3) 经济飞速增长的影响。该过程中以第二和第三产业 GDP、基本建设投资和交通网的密度等指标表征区域经济的发展。非农产业 GDP 滞后期取 1 时，即过去 4 a 非农产业 GDP 的平均值与耕地向建设用地转移过程之间存在联动变化关系，影响也非常显著，弹性系数为 0.414 ( $P=1\%$ )。由此说明，非农产业的发展也是耕地向建设用地转移的主要原因之一。滞后 1 期粮食生产力由过去 4 a 的平均值代替，其估计结果在逐渐加入解释变量的过程中由 0.444 ( $P=1\%$ ) 变为 0.286 ( $P=1\%$ )。这也说明了耕地扩展为建设用地的部分大部分是良田，具有较高的生产力，是城市化进程中需要关注的问题之一。基本建设投资的影响弹性在不断增加控制变量的过程中逐渐减小，最后变为无显著影响。由此可见，基础建设投资对驱动东北区耕地向建设用地转移作用有限。

4) 区位条件和交通条件的影响。该过程分别以距省会城市距离和国家公路干线密度来分析其影响系数。交通干线密度对耕地向建设社用地转移过程的影响在只考虑人口、投入和自然条件控制下影响显著，但是随着其他影响要素的加入，影响系数逐渐减小，且最终趋于无显著相关。这是因为东北区的交通路线不够发达，对于当地的经济的发展虽然有一定促进作用，但还不足以对耕地向建设用地的转移产生显著影响。而到省会城市的距离却与耕地的转移具有一定的关系，距离省会城市越近的区域，由于受经济

圈发展的带动作用，非农业发展也较快。

5) 土地管理政策的影响。该过程主要考虑的是退耕还林政策对该过程的影响系数。退耕还林的过程对于城市化也产生了一定的压力，实施退耕还林政策之后，在一定程度上减少了耕地向建设用地的转移。由此可见，退耕还林政策的实施在一定程度上达到了国家宏观调控的目的，为了生态环境的可持续发展，值得进一步推广。

综上所述，在耕地向建设用地转移过程中，人口规模、经济发展、区位条件、坡度及政策是其关键影响因素。如何使耕地向建设用地的转移在满足社会经济发展需要的同时不过多产生负面影响，已日益成为学术界与决策界关注并研究的问题。

### 3.3 耕地向林/草地转移过程的影响机制分析

1) 农业人口比例的影响。农业人口比例是城市化水平的一种表征，也是促使耕地向林/草地转移的重要驱动因素 (表 4)。当加入所有的控制变量后，农业人口比例的影响系数变为 0.620 ( $P=1\%$ )，即农业人口比例每增加 10% 会导致耕地向林/草地转移面积增加 6.20%。这表明农业人口比例越大，在有限的耕地资源限制下，致使越多的农业人口转向从事林、牧、渔业或者非农业的生产。由此可见，鼓励农业人口发展乡镇小型企业和牧渔业对于区域经济和生态环境保护的协调发展具有一定的促进作用。

表 4 东北区耕地向草/林地转移量模型影响系数及其显著性

系数 Coefficient	方程 1 Eq.1	方程 2 Eq.2	方程 3 Eq.3	方程 4 Eq.4	方程 5 Eq.5	方程 6 Eq.6	方程 7 Eq.7
$c_1$	0.748	0.682	0.819	0.871	0.858	0.618	0.620
$c_1$ 的 P 值	17.37***	15.57***	15.74***	18.20***	20.81***	10.86***	10.56***
$c_2$		-0.282	-0.313	-0.260	0.036	0.074	0.074
$c_2$ 的 P 值		4.61***	5.18***	4.68***	0.78	0.68	0.68
$c_3$		-0.453	-0.449	-0.488	-0.188	-0.103	-0.103
$c_3$ 的 P 值		8.57***	8.66***	10.24***	4.67***	2.55**	2.55**
$c_4$		-0.144	-0.137	-0.149	-0.083	-0.071	-0.071
$c_4$ 的 P 值		8.54***	8.29***	9.83***	6.80***	6.14***	6.14***
$c_5$			0.161	0.020	-0.155	-0.154	-0.154
$c_5$ 的 P 值			4.66***	0.58	5.22***	5.48***	5.48***
$c_6$				0.456	0.400	0.312	0.312
$c_6$ 的 P 值				10.26***	10.61***	7.88***	7.87***
$c_7$					20905.263	19154.211	19130.330
$c_7$ 的 P 值					9.94***	9.28***	9.24***
$c_8$						-1862.270	-1705.946
$c_8$ 的 P 值						9.96***	9.30***
$c_9$							-14.161
$c_9$ 的 P 值						1.55	2.25**
$c_{10}$					0.724	1.038	1.033
$c_{10}$ 的 P 值					1.42	2.12**	2.10**
$c_{11}$							-0.026
$c_{11}$ 的 P 值							0.78
$c_{12}$							-0.062
$c_{12}$ 的 P 值							1.02
$c_{13}$							0.334
$c_{13}$ 的 P 值							6.91***
$c_{14}$							-0.193
$c_{14}$ 的 P 值							8.09***
$c_{15}$							0.010
$c_{15}$ 的 P 值							2.1***
$c_0$	-2.515	-1.775	-4.055	-6.510	-58638.41	-53718.67	-53651.74
$c_0$ 的 P 值	4.71***	3.18***	5.52***	9.13***	9.91***	9.24***	9.21***
$R^2$	0.36	0.43	0.45	0.54	0.75	0.78	0.78

2) 自然环境条件的影响。平原面积比例、平均坡度、气温和年均降水量是解释耕地向林/草地转移过程的控制变量。研究显示平原面积比例对该过程的影响并不显著。坡度却与耕地向林草地的转移量具有显著因果关系, 其影响弹性为  $-0.103$  ( $P=5\%$ ), 即区域平均坡度每增加  $10\%$ , 耕地向林/草地的转移就减少  $1.03\%$ 。表明该区域乱开垦的现象并不严重, 在坡度较大的区域, 耕地面积较少或者基本没有, 所以可退耕的面积相对也少。气温和降水也与耕地向林草地的转移量具有一定的因果关系。降水较充足和生长期较长的区域不易被转为林草地, 这也符合农民的退耕心理。

3) 区位条件和交通条件的影响。该过程分别以距省会城市的距离和国家公路干线密度来分析其影响弹性。从表 4 可以看出, 耕地向林草地的转移量随国家交通干线密度的增大而减少, 这是由于交通网的建设占用了耕地, 相应的减少了其向林草地的转移。耕地向林草地的转移量与距离省会城市的远近也有一定的因果关系。距离省会城市越近的区域, 相对转移量越少, 而偏远地方却转移较多。因此, 区位条件和交通条件也是耕地向林草地转移的重要驱动因子。

4) 区域经济的影响。本研究以滞后 1 期的第一产业 GDP、非农产业 GDP 和粮食生产力为指标研究东北区经济对该过程的影响。滞后 1 期的第一产业 GDP 对该过程的影响系数为  $0.331$  ( $P=1\%$ ), 而非农产业 GDP 的影响系数为  $-0.194$  ( $P=1\%$ ), 这表明第一产业的发展在一定程度上加速了耕地向林/草地的转移, 而滞后 1 期非农产业 GDP 却对该过程具有负向作用。这是由于第二三产业的发展虽然吸引了农业劳动力, 但是也占用了大量的良田, 对于生态环境修复没有显著的促进作用。粮食生产力的高低对耕地向林/草地转移并无显著影响, 这可能是由于政府对于退耕补贴或者进城打工所来的收入高于农业收入所致。因此, 区域经济是促进耕地向林/草地转移的重要因素之一。

5) 土地管理政策的影响。该地区自 1999 年实行退耕还林政策, 随后推行了天保工程以及农业补贴政策。这些土地管理政策对于耕地的转移均产生了一定的作用。农业补贴实施较晚, 对于耕地向林草地的转移并无太多影响, 所以该过程只考虑了退耕还林政策。毫无疑问, 该政策对于退耕还林起到了很好的推动作用, 对于该区域的生态环境保护具有积极的影响。本研究还考虑了是否是粮食主产区这一因素, 结果显示这一变量对于耕地与林草地之间的转移并无显著关系。

耕地向林/草地转移过程主要受农业人口比例、地形坡度、区位和交通条件、政策、气候等关键控制变量的影响, 而地形起伏度、是否是粮食主产区、粮食生产力等因素的影响并不显著。因此, 在这个过程中, 要正确处理人口、经济与农业生产过程的关系, 从而保障耕地面积及其所提供的供给功能、支持功能和调节功能, 保障人类生活质量和水平。

### 3.4 讨论

中国作为世界人口大国, 国家粮食安全的硬性要求、

全球气候变化的宏观背景、退化生态环境的安全保障和经济迅猛发展的现实状况, 致使越来越多的有关粮食生产力和耕地变化的影响要素研究, 开始基于“自然-社会-经济”这一复杂生态系统概念框架, 综合定量解析中国自然环境、社会经济和政策制度等不同层面和不同尺度的要素与粮食生产力、耕地变化的相互影响, 为更加准确地识别不同区域粮食生产力和耕地变化的关键影响要素、更加精确地度量不同要素对粮食生产力和耕地变化的影响程度和影响方向奠定了重要的理论基础。

对比其他学者对粮食生产力和耕地变化影响要素分析的结果发现, 粮食生产力和耕地变化的影响要素随区域特点而有所不同<sup>[10-14]</sup>。总体分析, 大家普遍认为耕地面积减少的关键因素是人类活动, 主要包括人口的增长、城市化水平的提高和经济的迅速发展<sup>[3,6,12]</sup>。由此可见, 近  $20\sim 30$  a 中国城市扩展尤其是新工业园区的创建和居民区扩展主要侵占的是耕地。进一步剖析其原因, 当然除了人类活动, 自然条件和社会政策要素也起到了一定的控制和约束作用。原有城市一般分布在地势较平坦、自然条件相对较好的区域, 耕地被开发成建设用地的成本相对较低, 因此, 周边被开垦的耕地面积也相对较多。除了人类活动要素之外, 不同区域的自然条件、气候条件和区位条件也各有不同, 因此, 这些要素对不同区域的影响强弱、影响方向也会各有不同<sup>[4,10-11]</sup>。本研究除了考虑自然环境变量和人类活动, 还通过拉长研究的时间尺度, 将政策变量也引入进来, 研究显示国家相关政策的实施对粮食生产力和耕地变化也产生了一定的影响和驱动作用。

通过本研究, 笔者认为有些问题仍然值得进一步研究。首先是快速城市化带来的耕地减少尤其是在粮食主产区优质农田的减少是否会对中国粮食安全产生显著影响是下一步需要研究的重要内容之一。农业补贴和耕地保护政策的实施虽然在不同程度上保护了耕地的数量, 但耕地质量的保障也是亟需关注的问题之一。另外, 退耕还林和天然林保护政策虽然在一定程度上减少了耕地的数量, 但是生态环境的保护对当地立地条件的改善间接地影响了耕地质量和粮食生产。因此, 国家政策的两面性究竟哪个产生的影响更加显著, 也是下一步需要研究的内容。

## 4 政策建议

1) 合理规划, 使农、林、建设用地比例协调。要考虑到百姓吃饭问题, 确保农户拥有一定数量的口粮田。由于耕地扩展为建设用地的部分大部分是良田, 具有较高的生产力, 造成了土地资源的相对浪费。建议建立科学合理的土地评级系统, 对于土壤的生产力、区位条件等进行综合评定, 优质合适土壤不应大面积被征用作建设用地。应采取一定强制措施遏制建设用地征用过快的趋势, 如罚款限地等。同时鼓励住房、厂房等建造多层, 以此取代单层建筑, 减少土地占用面积。

2) 政策补贴适度, 留住一部分人务农。通过规模生产和经营, 机械化和高科技的投入, 由生产规模小、机

械化程度低、高科技难以普及的一家一户式农业向自动化农业生产发展。提高粮食生产水平，借此减少过多务农人口的投入，促进农村生产力转移，降低人口对于区域生态环境资源的压力，保障区域土地资源可持续利用管理。此外还应进一步注重发展农村后续产业，保障农户的长远经济收益。鼓励农业人口发展乡镇小型企业或者牧渔业，促区域经济和生态环境保护协调发展。

3) 科学合理退耕还林，充分调动人民积极性。尊重自然规律，人工治理同自然修复相结合。注重服务民生，坚持以人为本，注重生态建设与经济发展有机结合。注重投资主体多元化，按照“谁投入、谁受益”的原则，采取灵活多样的形式，通过政策激励机制激发人民参与热情，进一步推动水土与环境的保护。合理安排林地、耕地两者面积，平衡农业生产与水土保持工作，相应政策在促进粮食增收时应注意尽量减少其对粮食生产造成的不良影响，从而使生态与经济稳健地发展。

## 5 结 论

本研究采用联立方程组模型实现了东北区粮食生产力、耕地向建设用地转移及耕地向林/草地转移这 3 个区域生态过程的内生变量和外生变量之间相互作用关系的定量表达。

1) 对于粮食生产力，劳动力、化肥和关概率等农业投入要素的作用对粮食生产力的影响也不可忽视。对于自然条件，耕地面积较大的地区，粮食生产相应更容易得到重视，粮食生产力也相对更高。另外，退耕还林政策和农业补贴政策对粮食生产影响不同，退耕还林政策具有一定的负向作用，而农业补贴无疑对粮食生产力提高有一定的促进作用。需要说明的是，不能因为退耕还林对粮食生产力具有一定的负面影响而终止其实施，不同政策对于用地的导向不同，相应政策在促进粮食增收时应注意尽量减少其他不良影响。

2) 耕地向建设用地转移的主要驱动因素是人口和经济，人口快速增长、经济的迅猛发展及城市化进程均推动了耕地向建设用地转移。值得注意的是耕地向建设用地转移量随滞后 1 期粮食生产力的升高而升高，这也说明了耕地扩展为建设用地的部分大部分是良田，具有较高的生产力，是城市化进程中需要关注的问题之一。基础建设投资对驱动东北区耕地向建设用地转移的作用有限，而土地管理政策对耕地向建设用地的转移产生了一定影响。退耕还林的过程对于农地城市化也产生了一定的压力，实施退耕还林政策之后，在一定程度上减少了耕地向建设用地的转移。自然环境要素对于耕地向建设用地转移具有一定的制约作用。

3) 耕地向林草地转移的主要驱动因素之一是农业人口比例，区域经济的发展也有显著影响。滞后 1 期第一产业 GDP 对耕地向林草地转移具有正向作用，而非农业 GDP 对其具有负向作用。这表明第一产业 GDP 越高，耕地向林/草地的转移越多。粮食生产力的高低对耕地向林/草地转移并无显著影响，这可能是政府的退耕补贴或者进城务工收入高于农业收入所致。区位条件和交通条

件和土地管理政策也对耕地向林草地转移产生重要影响。该区域自 1999 年实行退耕还林政策，随后推行了天保工程以及农业补贴政策。这些土地管理政策对于耕地变化均产生了一定的作用。

## [参 考 文 献]

- [1] Turner II B L, Lambin EF, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability[J]. PNAS, 2007, 104(52): 20666—20671.
- [2] Foley J A, Defries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use[J]. Science, 2005, 309: 570—574.
- [3] 邵晓梅, 杨勤业, 张洪业. 山东省耕地变化趋势及驱动力研究[J]. 地理研究, 2001, 20(3): 298—306.  
Shao Xiaomei, Yang Qinye, Zhang Hongye. Researches on cultivated land changing trend and driving factors[J]. Geographical Research, 2001, 20(3): 298—306. (in Chinese with English abstract)
- [4] 石瑞香, 杨小唤. 中国耕地变化区的气候背景对比分析[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(3): 309—314.  
Shi Ruixiang, Yang Xiaohuan. Research on the climate background in arable land changed areas of China[J]. Journal of Geo-Information Science, 2010, 12(3): 309—314. (in Chinese with English abstract)
- [5] 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的影响评价[J]. 地理学报, 2008, 63(6): 574—586.  
Shi Shuqin, Chen Youqi, Yao Yanmin, et al. Impact assessment of cultivated land change upon grain productive capacity in Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(6): 574—586. (in Chinese with English abstract)
- [6] 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.  
Yan Huimin, Liu Ji Yuan, Huang Heqing, et al. Impacts of cropland transformation on agricultural production under urbanization and grain for green project in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(5): 579—588. (in Chinese with English abstract)
- [7] Chen Yuqi, Li Xiubin, Tian Yujun, et al. Structural change of agricultural land use intensity and its regional disparity in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2009, 19(5): 545—556.
- [8] Yang Ke, Chen Baiming, Du Hongliang, et al. The contribution of cultivated land occupation by construction to China's economic growth[J]. Journal of Geographical Sciences, 2011, 21(5): 897—908.
- [9] Li Zhengguo, Tang Huajun, Yang Peng, et al. Spatio-temporal responses of cropland phenophases to climate change in Northeast China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2012, 22(1): 29—45.
- [10] 李效顺, 曲福田, 谭荣, 等. 中国耕地资源变化与保护研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(3): 387—401.  
Li Xiaoshun, Qu Futian, Tan Rong, et al. Research on the variations and protection of the cropland in China[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(3): 387—401. (in Chinese with English abstract)
- [11] 赵晓丽, 张增祥, 汪潇, 等. 中国近 30 a 耕地变化时空特征及其主要原因分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 1—11.

- Zhao Xiaoli, Zhang Zengxiang, Wang Xiao, et al. Analysis of Chinese cultivated land's spatial-temporal changes and causes in recent 30 years[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(3): 1—11. (in Chinese with English abstract)
- [12] 姚远, 李效顺, 曲福田, 等. 中国经济增长与耕地资源变化计量分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 209—214. Yao Yuan, Li Xiaoshun, Qu Futian, et al. Quantitative analysis of relationship between economy growth and cultivated land change in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(14): 209—214. (in Chinese with English abstract)
- [13] 谭永忠, 吴次芳, 王庆日. 杭嘉湖平原地区土地利用变化驱动机制分析[J]. 经济地理, 2006, 26(4): 639—656. Tan Yongzhong, Wu Cifang, Wang Qingri. The fuzzy comprehensive evaluation of water resource value on the coastal zone of northern Jiangsu[J]. Economic Geography, 2006, 26(4): 639—656. (in Chinese with English abstract)
- [14] 朱健宁, 吴群. 耕地资源数量变化及其驱动力分析: 以无锡市为例[J]. 土壤, 2008, 4(2): 193—199. Zhu Jianning, Wu Qun. Variation of acreage of cultivated land and its driving forces[J]. Soil, 2008, 4(2): 193—199. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘康, 李月娥, 吴群, 等. 基于 Probit 回归模型的经济发达地区土地利用变化驱动力分析: 以南京市为例[J]. 应用生态学报, 2015, 26(7): 2131—2138. Liu Kang, Li Yuee, Wu Qun, et al. Driving force analysis of land use change in the developed area based on Probit regression model: A case study of Nanjing City, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(7): 2131—2138. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张建军. 黄土高原沟壑区县域土地利用变化及农业生态经济系统响应[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011. Zhang Jianjun. Response of Agricultural Eco-economic System to Land Use Changes on County Scale in Loess Plateau Gully Area[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Science, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [17] 战金艳, 史娜娜, 邓祥征. 江西省耕地转移驱动机理[J]. 地理学报, 2010, 65(4): 485—493. Zhan Jinyan, Shi Nana, Deng Xiangzheng. Driving mechanism of cultivated land conversions in Jiangxi[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(4): 485—493. (in Chinese with English abstract)
- [18] Chen Zhao, Lu Changhe, Fan Lan. Farmland changes and the driving forces in Yucheng, North China Plain[J]. Journal of Geographical Sciences, 2012, 22(3): 563—573.
- [19] 刘纪远, 邓祥征. LUCC 时空过程研究的方法进展[J]. 科学通报, 2009, 54(21): 3251—3258. Liu Ji Yuan, Deng Xiangzheng. Progress of the research methodologies on the temporal and spatial process of LUCC[J]. Chinese Science Bull, 2009, 54(21): 3251—3258. (in Chinese with English abstract)
- [20] 邓祥征, 刘纪远, 赵涛, 等. 太仆寺旗土地利用变化时空格局的动态模拟[J]. 地理研究, 2004, 23(2): 147—157. Deng Xiangzheng, Liu Ji Yuan, Zhao Tao, et al. Dynamic simulation on the spatio-temporal patterns of land use change in Taibus County[J]. Geographical Research, 2004, 23(2): 147—157. (in Chinese with English abstract)
- [21] 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. Liu Ji Yuan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3—14. (in Chinese with English abstract)
- [22] 姜群鸥, 战金艳, 赵春红, 等. 代表性浓度路径情景下宁夏草地动态演变的预测与模拟[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(10): 110—117. Jiang Qun'ou, Zhan Jinyan, Zhao Chunhong, et al. Forecast and simulation of the grassland dynamic evolution under the RCPs scenarios in Ningxia Hui Autonomous Region[J]. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(10): 110—117. (in Chinese with English abstract)
- [23] 邓祥征, 姜群鸥, 战金艳, 等. 中国东北地区森林覆被变化的原因与趋势[J]. 地理学报, 2010, 65(2): 224—234. Deng Xiangzheng, Jiang Qun'ou, Zhan Jinyan, et al. Causes and trends of forestry area change in Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(2): 224—234. (in Chinese with English abstract)
- [24] 姜群鸥, 邓祥征, 林英志, 等. 中国耕地用途转移对耕地生产力影响的预测与分析[J]. 应用生态学报, 2010, 21(12): 3113—3119. Jiang Qun'ou, Deng Xiangzheng, Lin Yingzhi, et al. Impacts of cultivated land conversion on cultivated land productivity in China: Prediction and analysis[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(12): 3113—3119. (in Chinese with English abstract)
- [25] Jiang Qun'ou, Deng Xiangzheng, Zhan Jinyan, et al. Estimation of land production and its response to cultivated land conversion in North China plain[J]. Chinese Geographical Science, 2010, 21(3): 1—10.
- [26] 相慧, 孔祥斌, 武兆坤, 等. 中国粮食主产区耕地生产能力空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 235—244. Xiang Hui, Kong Xiangbin, Wu Zhaokun, et al. Spatial distribution characteristics of potential productivity of arable land in main crop production area in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(24): 235—244. (in Chinese with English abstract)
- [27] 王宗明, 张柏, 宋开山, 等. 东北地区农业土地资源潜力评价模型及其研究[J]. 生态科学, 2007, 26(4): 351—360. Wang Zongming, Zhang Bai, Song Kaishan, et al. Establishment and its application of model for evaluation of agricultural land potential productivity in Northeast China[J]. Ecological Science, 2007, 26(4): 351—360. (in Chinese with English abstract)



## Analysis of influencing factors of agricultural productivity and cultivated land dynamics based on simultaneous formulas in Northeast China

Jiang Qun'ou<sup>1,2,3,4</sup>, Cheng Yuwei<sup>1</sup>, Xue Xiaochan<sup>1</sup>, Deng Xiangzheng<sup>3,4\*</sup>, Chen Lixin<sup>1</sup>, Nie Chengjing<sup>5</sup>

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Prevention, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

4. Center for Chinese Agricultural Policy, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

5. School of Public Administration, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China)

**Abstract:** Northeast China is one of the major grain producing areas in China. However, issues are current outstanding, such as decrease in land productivity. Therefore, it is significant to carry out researches on mechanisms of cultivated land dynamics and agricultural productivity in Northeast China. In this study, we quantitatively analyzed the relationship between the endogenous and exogenous variables of three key regional ecological processes in the study area, including agricultural productivity, conversion of cultivated land to land for house or building, and conversion of cultivated land to forests or grasslands. The simultaneous equations were used in this study, which was based on the data of land use, natural environment, meteorology, location, traffic and socio-economy. Quantitative analysis was conducted from several aspects such as population size, society, economy, policy, location and natural conditions. The results showed that socio-economic factors played a decisive role in the agricultural productivity in a short period, and agricultural population growth and the role of input factors of agricultural productivity were also significant. In addition, policy was one of key influencing factors as well. Although the policy of Grain for Green has negative effect for agricultural production, it was noted that the policy of Grain for Green can not be terminated because environmental protection should be also considered. Air temperature and precipitation were also important for agricultural productivity, but they produced negative effect after reaching a certain level. In the process of cultivated land converted to building area, rapid urbanization and economic development were the main reasons, while investment in capital construction had no obvious effects. Therefore, population size and economic development were the key driving factors, and the amount of cultivated land converted to building area increased with the lagged agricultural productivity. This indicated that most of the expansion of building area was converted from fertile farmland, which had a high productivity, and it was one of the problems of urbanization and it needed attention. Geographic conditions and policy were the control factors, and the region with large slope and low plain area percentage had less conversion from cultivated land to urban area. Moreover the policy of Grain for Green also controlled the conversion from cultivated land to building area to some extent. The process of cultivated land converted to forest or grassland was mainly influenced by the key variables such as proportion of agricultural population, terrain slope, location and traffic condition, policy, climate and so on, while topography, whether was the major grain-producing county, agricultural productivity were not significant. First industry GDP promoted the conversion from cultivated land to forest or grassland, while second industry GDP and tertiary industry GDP had negative effects. The larger the proportion of rural population, the greater the increase of cultivated land converted to forest or grassland was. This suggested that larger proportion of agricultural population made more agricultural population liberate from the agricultural production process, and increased their revenue by the forestry, animal husbandry, fisheries and non-agricultural industry. Therefore, it was necessary to handle the relationship between population, economic and agricultural productivity correctly, so as to protect cultivated land and its supply functions, support functions and regulation functions and guarantee the quality and level of human life. These findings will provide important reference information for land use planning and cultivated land protection.

**Keywords:** land use; models; grain; agricultural productivity; cultivated land change; influencing factors; simultaneous formulas; Northeast China