

气候情景下典型开垦与退耕区耕地动态变化的定量模拟

姜群鸥^{1,2,3}, 谭蓓¹, 薛筱婵¹, 齐元静^{1*}, 邓祥征^{2,3}

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100038; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 中国科学院农业政策研究中心, 北京 100101)

摘要: 全球气候变化是当前关注的热点问题, 研究气候情景下中国典型开垦与退耕区耕地动态变化对保障中国粮食安全具有重要意义。该研究以东北地区作为典型区, 基于设计的土地利用规划情景和 RCPs (representative concentration pathways) 气候情景, 采用土地利用变化动态 (DLS, dynamics of land system) 模型模拟了在规划情景和 RCPs 气候情景下开垦与退耕区 2010—2030 年耕地的空间分布格局, 分析不同耕地类型未来的变化趋势。研究表明: 规划情景下水田呈持续减少的态势, 而旱田在 2000—2010 年有小幅增长的态势, 而后出现大面积减少; AIM (Asia-Pacific integrated model) 气候模式情景下旱田增长趋势也较明显, 水田则保持小幅减少的态势; MESSAGE (model for energy supply strategy alternatives and their general environmental impact) 气候模式情景下, 耕地面积呈减少的态势。从不同用地类型之间的转移分析得出, 该区域开垦与退耕相逆的现象在未来情景下仍会延续, 但是发生的频率却随着时间的推移逐渐降低。该研究为开垦与退耕区应对气候变化, 合理进行农业规划和耕地保护提供参考。

关键词: 土地利用; 气候变化; 规划; 耕地变化; 定量模拟; 情景; 开垦与退耕区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.09.041

中图分类号: P94; F301.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-09-0271-10

姜群鸥, 谭蓓, 薛筱婵, 等. 气候情景下典型开垦与退耕区耕地动态变化的定量模拟[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 271—280.

Jiang Qun'ou, Tan Bei, Xue Xiaochan, et al. Quantitative modeling changes in area of reclamation and returning cultivated land to forest or pastures under representative concentration pathways (RCPs) climate scenarios[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(9): 271—280. (in Chinese with English abstract)

0 引言

耕地是土地资源最重要的类型, 也是人类赖以生存的基础和保障。随着中国城市化的飞速发展, 耕地问题已逐渐成为日益严重的社会问题。作为一个人口大国, 确保粮食安全是关乎国计民生的首要任务。为了达到这一目标, 中央农村工作会议提出必须坚守“18 亿亩耕地红线”, 同时保持现有耕地面积的基本稳定。但是, 改革开放以来, 在城市规模扩张、农村非农产业发展^[1-2]、退耕还林还草政策实施以及过大人口压力等, 不仅严重影响国家的粮食安全, 而且危及社会稳定和经济发展^[3-4]。除了人类活动之外, 全球气候变化对耕地的时空演变也有着巨大的推动作用^[5-6]。近年来, 中国粮食主产区多次出现干旱, 给中国的粮食生产及供应平添更大的压力。有鉴于此, 中国作为耕地最为紧张的第一人口大国, 必须施行最为严厉的耕地政策, 也更需关注未来气候环境下, 中国耕地面积的时空演变特征, 以为应对气候变化对中国粮食安全造成的威胁, 提前采取有效措施^[7-8]。

因此, 分析研究气候变化背景下耕地的动态变化对于更合理地管理耕地、进行农业规划具有重要意义。

土地利用变化和气候变化之间的关系非常复杂^[9-11]。土地利用变化对气候环境的影响现已被广泛认同, 普遍认为人类活动引起的土地利用变化尤其是城市扩张、生态用地的退化导致了气候的变化。Hansen 等^[11]认为土地利用变化导致地表反照率变化, 引起了温度的降低。高学杰等^[12]使用 RegCM3 区域气候模式分析了中国区域在实际植被和理想植被分布情况下各 15 a 时间长度 (1987—2001 年) 的气候变化情况, 研究了中国土地利用状况对气候的影响。气候变化对土地利用变化的反馈作用也是需要关注的重要内容之一。未来气候情景应用较广的是 IPCC 公布的依据当前气候变化特点以及趋势对未来气候变化趋势估算的结果。闫丹等^[13]根据 IPCC 第 4 次报告, 分析了 A1B (经济高速增长模式)、A2 (区域经济多样化增长模式)、B1 (引进更多清洁能源的经济增长模式) 和无气候变化模式 4 种气候变化情景下鄱阳湖区 1985—2035 年的土地利用变化过程, 分析了未来气候变化可能对鄱阳湖区土地利用变化产生的影响。2014 年, IPCC 在第 5 次评估报告中改为根据大气辐射强度来设定气候情景, 即所谓的“有代表性的浓度路径”(RCP, representative concentration pathways), 不同于以前的以减排为主要考虑变量的情景设定, 这也是从比较科学的角度出发并着眼于适应的策略^[14-18]。但是目前针对新的气候变化情景开展对土地利用变化的研究, 尤其是对耕地变化的研究

收稿日期: 2014-11-17 修订日期: 2015-03-14

基金项目: 国家自然科学基金委重大研究计划 (91325302); 中国博士后基金 (2014M560110)

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, 100083。Email: jiangqo.dls@163.com。
*通信作者: 齐元静, 山东淄博, 男, 讲师, 研究方向为土地空间规划。北京 北京林业大学, 100083。Email: qi yuanjing0506@163.com。

却相对较少。本研究依据 IPCC 第 5 次评估报告中所发布的典型浓度路径下不同气候模式, 模拟分析了东北区耕地的空间格局的演变特征, 从而为开垦与退耕区应对气候变化, 合理进行农业规划和耕地保护提供基础资料。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

本研究选择东北地区作为研究区, 东北地区经过半个世纪的开垦, 北大荒成为“北大仓”, 随着 20 世纪末天保工程和退耕还林还草政策的实施, 大量的耕地退还为林草地, 因此, 东北地区是中国典型的开垦与退耕区。东北地区地处中国最北部, 包括黑龙江省、吉林省和辽宁省, 传统意义的东北地区还包括内蒙古东北部的部分地区。该地区位于欧亚大陆的东部, 北面与素称“寒极”的东西伯利亚为邻, 西面是高达千米的蒙古高原, 冬季寒冷, 且较同纬度大陆低 10°C 以上。由于气温较低, 蒸发微弱, 降水量虽不十分丰富, 但湿度仍较高。该区域也是中国东北部地区自然地理单元完整、自然资源丰富、经济实力雄厚的大经济区域, 在全国经济发展中占有重要地位, 且具有优越的农业自然条件。经过几十年的农业综合开发, 该地区已成为中国粮食市场的“稳压器”和“国家粮食安全的后备战略基地”^[19-23]。全区耕地 2521.57 万 hm^2 , 占全国的 19.4%, 人均耕地面积 0.212 hm^2 , 为全国人均水平的 2 倍多, 年均粮食产量占全国的比例 16.6% 左右, 主要粮食作物玉米、大豆、水稻年均产量占全国的比例分别为 30.0%、40.5% 和 9.7% 左右。因此, 研究东北地区未来气候情景下更低的时空演变特征对东北地区农业可持续发展, 对保证全国粮食需求的常续有效供应, 具有重要的现实意义^[24-26]。

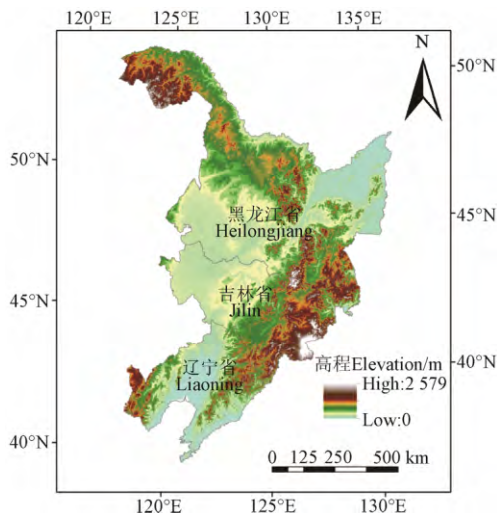


图 1 研究区位置图

Fig.1 Location of study area

1.2 数据来源

该研究采用的数据主要有土地利用数据、自然环境数据、气象数据、区位和交通数据与社会经济数据。其中, 土地利用数据是作为模型模拟的基期数据和验证数据, 而其他数据则是作为驱动因子输入数据。

1) 土地利用数据是由中国科学院资源环境科学数据

中心提供, 成图比例尺为 1:10 万, 定位精度达 92.7%^[19-20]。该数据包括 2000 年和 2005 年 2 期, 其中, 2000 年土地利用数据作为模拟的基期数据, 2005 年土地利用数据用来验证。对于土地利用类型, 则分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类, 其中耕地又分为水田和旱田。

2) 自然环境数据包括地形坡度、平原面积比例和气象数据。地形坡度和平原面积比例是基于开垦与退耕区 1:25 万 DEM 数据计算获得的。气象数据选择了 1995—2005 年与区域生态过程相关的年均气温、年均降水量, 该类数据来源于中国气象局, 原始数据以文本格式记录, 本研究采用基于 DEM 的梯度距离平方反比法插值成 $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ GRID 数据^[20]。

3) 区位数据主要包括各栅格距主要城市的距离、距重要交通路线的距离和到水域的距离。这类数据是以主要城市的分布图、重要交通路线图和水域分布图为基础, 利用空间距离估算方法获得栅格尺度区位数据。

4) 社会经济数据包括 1995—2005 年 GDP、人口、农业人口比例, 各产业产值等^[20], 这些指标来自中国科学院资源环境科学数据中心采集的数据, 原始数据取自各分县调查统计数据。

2 研究方法

2.1 DLS 模型原理

本研究采用土地利用变化动态 (DLS, dynamics of land system) 模型模拟开垦与退耕区未来情景下耕地利用格局。DLS 模型是从系统角度、运用模型方法、定量地分析土地利用变化的驱动机理和开展区域土地利用变化动态模拟的有效工具。DLS 模型充分考虑与自然、生态、社会经济等相关应用模型的链接, 通过设计区域用地结构变化的不同情景, 提炼服务于土地利用规划、环境保护、自然资源管理的决策参考信息。用户可以在 DLS 模型中输入非线性的需求变化、不同的转换规则和不同用地结构演替模式下的驱动因子, 模拟分析区域土地利用系统的复杂变化^[27]。为了准确模拟土地利用的未来可能情景, DLS 模型还考虑了地形地貌、环境、贸易、制度安排与土地管理政策等宏观层次的影响。

土地系统动态 (DLS) 模型由 3 个模块构成: 用地结构变化情景分析模块、用地分布驱动分析模块、用地结构变化空间分配模块 (图 2)。用地结构变化情景分析模块提供了每种用地类型每年的需求变化; 用地分布驱动分析模块以表达用地类型分布与驱动因子之间的空间统计关系为目的, 主要测度驱动因子对用地类型分布的影响; 用地结构变化空间分配模块主要基于栅格尺度土地供需平衡分析, 实现用地结构变化的空间分配^[27-29]。

2.2 DLS 模型参数

2.2.1 模型输入参数

模型输入参数包括土地利用数据、驱动因子数据和土地利用需求数据。其中, 驱动因子数据因区域的不同而各异, 本研究选取了开垦与退耕驱区的 17 个主要影响因素: 海拔、坡度、平原面积比例、年降水量、年均气

温、国家干线公路密度、农业生产力、总人口、农业人口比例、灌溉投资、基本建设投资、第一产业 GDP、GDP、

是否粮食主产区、距省会城市距离、距高速公路距离、距省道的距离，具体见表 1。

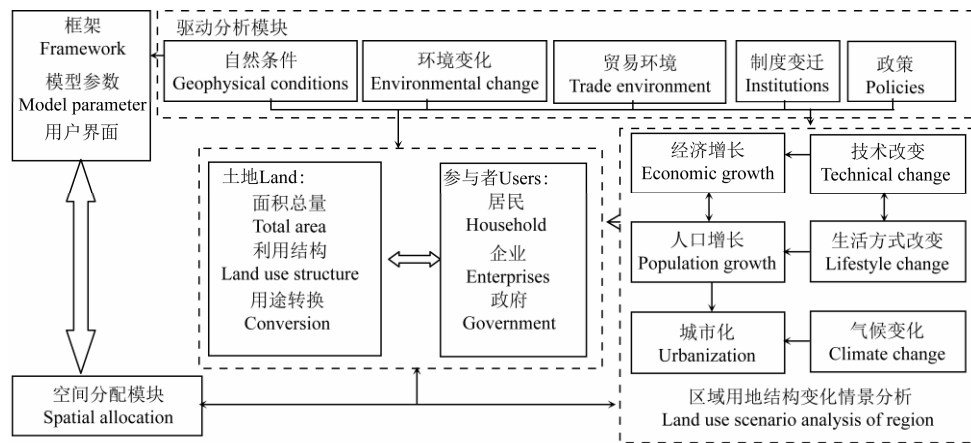


图 2 土地系统动态 (DLS) 模型原理^[24]

Fig.2 Principle of dynamics of land system^[24]

表 1 DLS 模型输入参数特征

Table 1 Characteristics of input parameters of DLS model

变量类型 Type of variable	含义/单位 Meaning/unit	最大值 Maximum	最小值 Minimum	均值 Mean
土地利用	土地利用类型	6	1	-
	海拔/m	2579	0	327.9
	地形坡度/(°)	70.5	0	4.7
自然环境	平原面积比例/%	100	0	49.6
	年降水量/mm	3260		582.4
	年均气温/°C	10	-8	2.5
交通条件	国家干线公路密度/(km·km ²)	9.5	0.1	0.6
	距省会城市距离/km	914	0	287.7
区位条件	距高速公路的距离/km	782	0	228.8
	距省道距离/km	204	0	29.8
	农业生产力/(km·hm ²)	8923	0	2011.1
	农业人口比例/%	95.1	3.5	61.2
	总人口/万人	490.3	2.4	50.7
社会经济	灌溉投资/亿元	208.0	3.8	60.8
	基本建设投资/万元	470.3	12.6	122.9
	是否粮食主产区	1	0	-
	GDP/万元	1184.6	1.1	110.6
	第一产业 GDP/万元	79.0	0.2	8.4

2.2.2 驱动因子系数估算

首先需要确定空间权重矩阵 W ，表达不同空间对象之间的空间布局和邻近关系，其形式如下：

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & \cdots & W_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & \cdots & W_{nn} \end{bmatrix}$$

式中： n 表示空间单元个数； W_{ij} 表示单元 i 和 j 的邻居关系。

$$P_i = \frac{\exp(C+A \cdot X'(t+1)+B \cdot X(t)+\alpha \cdot W \cdot X'(t+1)+\beta \cdot W \cdot X(t))}{1+\exp(C+A \cdot X'(t+1)+B \cdot X(t)+\alpha \cdot W \cdot X'(t+1)+\beta \cdot W \cdot X(t))}$$

式中： P_i 表示每个栅格可能出现土地利用类型 i 的概率；

X 是由 t 年份的人口、GDP、农业人口比例、各产业产值等社会经济因素构成的自变量； X' 是由 $t+1$ 年份的年均气温与年降水量构成的自然环境条件自变量； A 、 B 、 α 和 β 为自变量系数； C 为常数项。

2.2.3 土地利用需求数据

DLS 模型要求把不同情景下的土地利用需求结果输入模型，以便进行空间分配和模拟。不同情景的土地需求数据可以根据不同方法获取，比如马尔科夫模型、系统动力学模型、CGE 模型等。本研究采用的是规划情景和 RCPs 气候情景数据，主要依据研究区土地规划和 IPCC 第 5 次评估报告公布的数据计算所得，然后将计算的研究时段内各年度的各种土地利用类型的需求量输入模型。

2.2.4 空间分配

空间分配模块首先计算需要进行分配的栅格数量。对于需要分配的栅格，模型将计算其不同用地类型的分配概率 $L_{i,k}$ ，包括 3 种不同的情况：

1) 如果在前一模拟年份某用地类型已经存在，并且它的稳定性小于 1，空间分配模块将计算该用地类型的分布概率、补偿因子与稳定性因子的和，作为该用地类型的分配概率：

$$L_{i,k} = P_{i,k} + C_k + S_k$$

式中： $L_{i,k}$ 为栅格 i 中第 k 种用地类型的分配概率； $P_{i,k}$ 为栅格 i 中第 k 种用地类型的分布概率； C_k 和 S_k 分别是补偿因子和第 k 种用地类型的稳定性因子。

2) 当补偿因素 S_k 接近于 0 时， $L_{i,k}$ 由分布概率 $P_{i,k}$ 和补偿因子 C_k 组成，即：

$$L_{i,k} = P_{i,k} + C_k$$

3) 排除一个栅格分配呈现需求减少的用地类型的可能性。

如果空间分配允许考虑稳定性的设置，则将具有最高 $L_{i,k}$ 的用地类型分配给那些待分配用地类型面积不足的栅格 (图 3)。

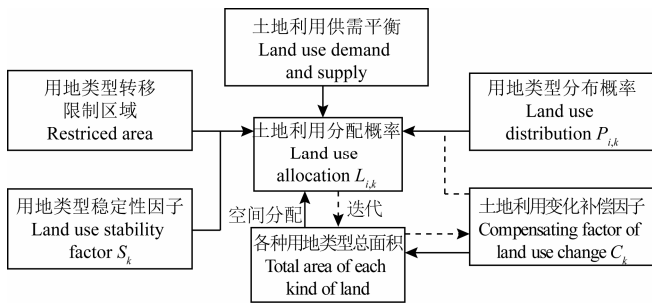


图3 DLS模型土地利用结构变化空间分配

Fig.3 Spatial allocation of land use structure changes for DLS model

2.3 情景分析

本研究采用了 IPCC 第 5 次报告中公布的最符合中国未来发展的 2 种情景，分析不同气候情景下耕地的变化动态。耕地动态模拟需要模拟所有地类的空间布局，因此，情景设计过程中包括了除水域和未来用地之外的所有用地类型。为了便于与气候情景的状况相比较，本研究还依据研究区的土地利用规划设计了规划情景。3 种情景具体如下：

2.3.1 规划情景

开垦与退耕区的规划情景主要是结合东北 3 个省份的土地利用总体规划设计的，具体的设计目标是按照可持续发展的要求，因地制宜构建环境友好型土地利用模式，推进长白山区天然林保护与建设、中部黑土地退化治理、西部“三化”草地综合治理，保护好向海、莫莫格等重要湿地。严格控制居民点、工业企业进入生态敏感区，保护和改善生态环境。鉴于以上研究目标，设计了开垦与退耕区的土地利用结构。该区域面积较大，总体来看，规划情景下土地利用结构未发生显著变化。但从绝对量分析，耕地面积呈小幅减少态势，而林地面积随着时间的推移而有所增加。建设用地面积扩展速度较快，反映了城市化快速扩展的现状。草地面积比例相对较少，面积绝对量也呈一定减少的态势。与国家发展战略相一致，部分未利用地被开垦成其他用地，增加了土地利用效率。

2.3.2 气候情景

本研究采用的是 IPCC 预测的 RCPs 不同排放气候模式情景下测的 0.5°×0.5°的土地利用数据，此数据表征的是每个 0.5°×0.5°网格上各种用地面积的百分比。首先，利用研究区边界对 0.5°×0.5°的全球土地利用数据进行剪裁，然后将百分比数据乘以每个网格剪裁后对应的面积，再相加得到各种用地类型的总面积。然后基于 DLS 模型，将其细化至 1 km 空间尺度上，从而估算出开垦与退耕区不同气候模式情景下的耕地空间变化特征。

1) MESSAGE 气候模式情景

MESSAGE 气候模式又称能源供应战略可替代模式，是高端的情景 (RCP3-PD)。该情景下，开垦与退耕区的耕地面积呈小幅减少的态势，减少速率较小也较稳定，到 2030 年耕地面积减少比例仅为 1.7%。与之类似的是林地面积也呈减少的态势，但是减少速率在 2020 年之前较

高，之后速率逐渐降低，到 2030 年减少幅度约为 2.1%。与耕地面积变化趋势相反，草地随时间呈增长的态势，增长速率维持在 0.1%~0.3%。建设用地面积毫无疑问是呈增长的态势，到 2030 年建设用地面积相比 2005 年增长 43.6%。

2) AIM 气候模式情景

AIM 气候模式又称亚太综合模式，属于中端情景 (RCP6)。该气候模式情景下，耕地面积变化趋势与 MESSAGE 气候模式情景恰好相反，呈增长的态势，且增长速率较大，维持在 0.2%~0.3%的增长水平。林地面积变化趋势虽然与 MESSAGE 气候模式情景相同，但是变化速率却是先快后慢。该气候模式情景下，草地面积也呈减少的态势，减少速率也是先快后慢，至 2030 年草地面积相比 2005 年减少 11.1%。建设用地呈增长的趋势，增长速率相比 MESSAGE 气候模式情景较小，到 2030 年建设用地面积增长比例大约为 31.3%。

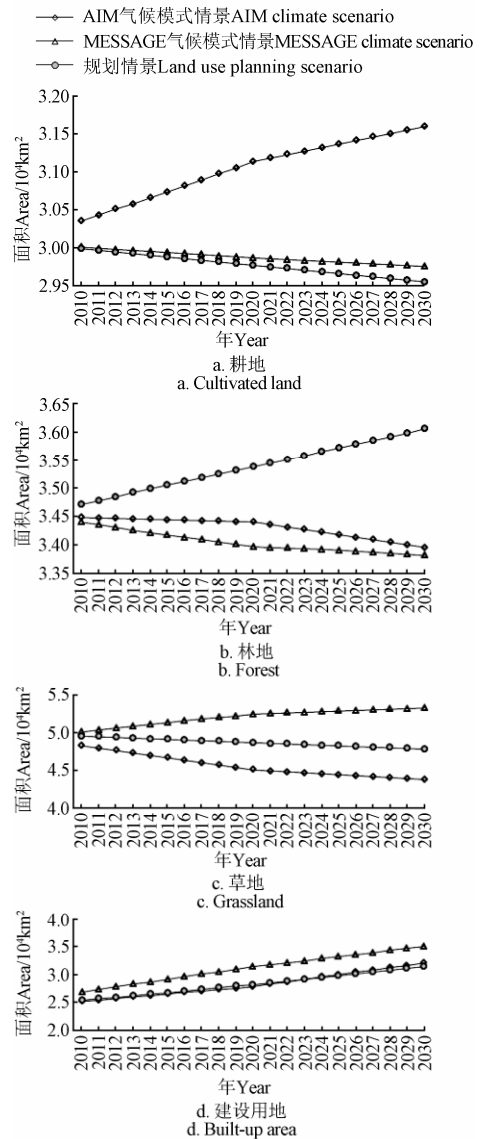


图4 不同情景下东北地区土地利用结构变化图

Fig.4 Land use structure change under different scenarios in Northeast China

3 结果与分析

3.1 土地利用变化过程模拟结果的精度验证

开垦与退耕区主要关注的是耕地变化，为了便于准确评估模型对开垦与退耕区耕地利用变化的效果，本研究利用开垦与退耕区 2000 年的土地利用数据为模拟的本底数据，对 2005 年 7 种用地类型的模拟结果进行比较分析，如图 3 所示。基于混淆矩阵法，估算了模型的总体模拟精度和单种用地类型的模拟精度（图 5）。图 6 结果显示，DLS 模型对于 7 种用地类型的总体精度为 75.7%。其中，林地和耕地的模拟精度较高，分别为 86.0% 和 75.2%，而建设用地模拟精度相对非常低，仅为 50.3%。对于水田和旱田而言，模拟精度分别为 73.8% 和 75.7%。虽然建设用地模拟精度较低，但对比 CLUE 模型的模拟结果，CLUE 模型对建设用地的模拟精度也比较低，整体精度比 DLS 模型略低。尽管元胞自动机模型对建设用地模拟精度较高，但是整体模拟精度较低，因此，本研究综合考虑选择了 DLS 模型。

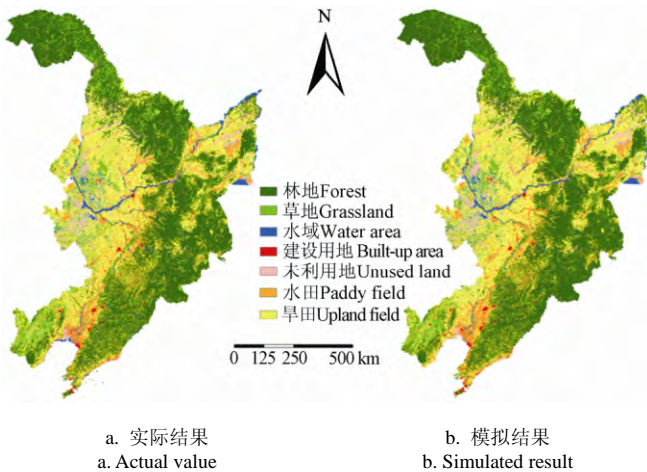


图 5 东北地区土地利用类型模拟结果与实际结果

Fig.5 Comparative analysis between simulated value and actual value in Northeast China

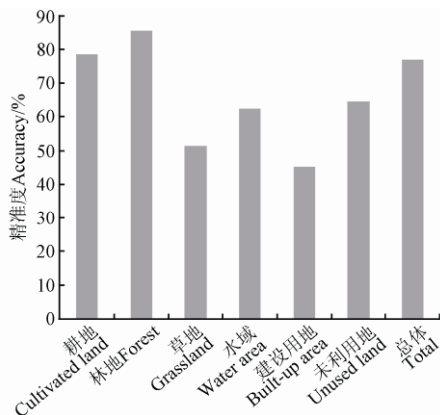


图 6 东北地区不同类型土地利用模拟精度验证

Fig.6 Accuracy verification of land use simulation in Northeast China

本研究还在典型开垦与退耕区的县级水平上统计了正确模拟栅格数量，并与县域总栅格数绘出散点图（图 7）。从散点图分析发现，各县正确模拟栅格数与总

栅格数具有很强的相关性，正确模拟的栅格数与总栅格数的线性关系系数为 0.791 ($R^2=0.9715$)。从图 7 中可以发现几乎所有的点都位于趋势线附近，几乎没有异常值。从而也说明 DLS 模型对于土地利用变化模拟的结果在区域水平的精准性较平均，是模拟土地利用变化的可选模型。

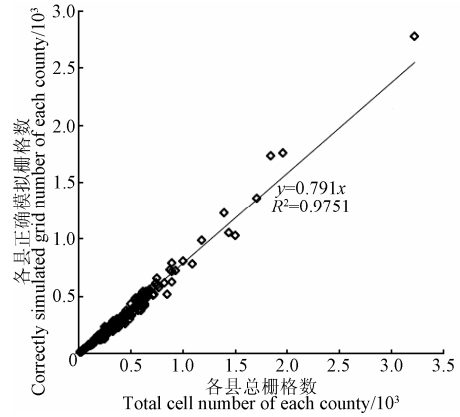


图 7 东北地区各县级水平上用地类型模拟精度

Fig.7 Accuracy verification of land use simulation in county level in Northeast China

3.2 典型开垦与退耕区耕地动态变化过程的情景模拟

3.2.1 未来情景耕地空间格局的动态模拟

本研究采用 DLS 模型对开垦与退耕区在规划情景、AIM 气候模式情景和 MESSAGE 气候模式情景 3 种情景下耕地空间格局进行模拟。模拟结果显示，在规划情景下，随着时间的推移，耕地面积呈减少的态势。2010—2020 年，被开垦的耕地面积达 2 785 km²，占该区域耕地面积的 0.9%。被开垦的耕地所分布区域主要集中在东部林地与耕地的混杂区，究其原因可能主要是由于天保工程、退耕还林的后续影响所致（图 8a，图 8b）。另外，这些耕地位于山区，耕种条件逐渐受到限制。随着经济的发展，农业人口也逐渐被从种植业中解放出来，发展林业经济，促成了耕地向林地的转移。2020—2030 年，耕地减少的态势趋缓，耕地转出的空间分布基本与 2010—2020 年一致，未发生显著变化（图 8b，图 8c）。

AIM 气候模式情景下，耕地面积呈扩展的态势，且增幅较大。其中，2010—2020 年，耕地扩展的区域主要集中在西部与大小兴安岭靠近的区域，尤其是大兴安岭的沿线地带。还有松花江北面的草地也有部分被开垦为耕地。这些区域基本都是位于原有耕地附近，为了增加粮食产量，更容易被开垦（图 8d，图 8e）。2020—2030 年，耕地面积扩张的趋势更加明显。该阶段内，耕地扩展的区域与 2010—2020 年相似，只是扩展幅度增大（图 8e，图 8f）。MESSAGE 气候模式情景下，耕地面积呈减少的态势。与规划情景相比，该气候模式情景下的耕地面积减少幅度更大。耕地减少的区域主要是在东部平原区，而扩展的区域主要是在东部长白山地区。由于开垦与退耕区面积较大，减少的面积又相对较少。因此，在土地利用分布图上较难区分（图 8g，图 8h，图 8i）。

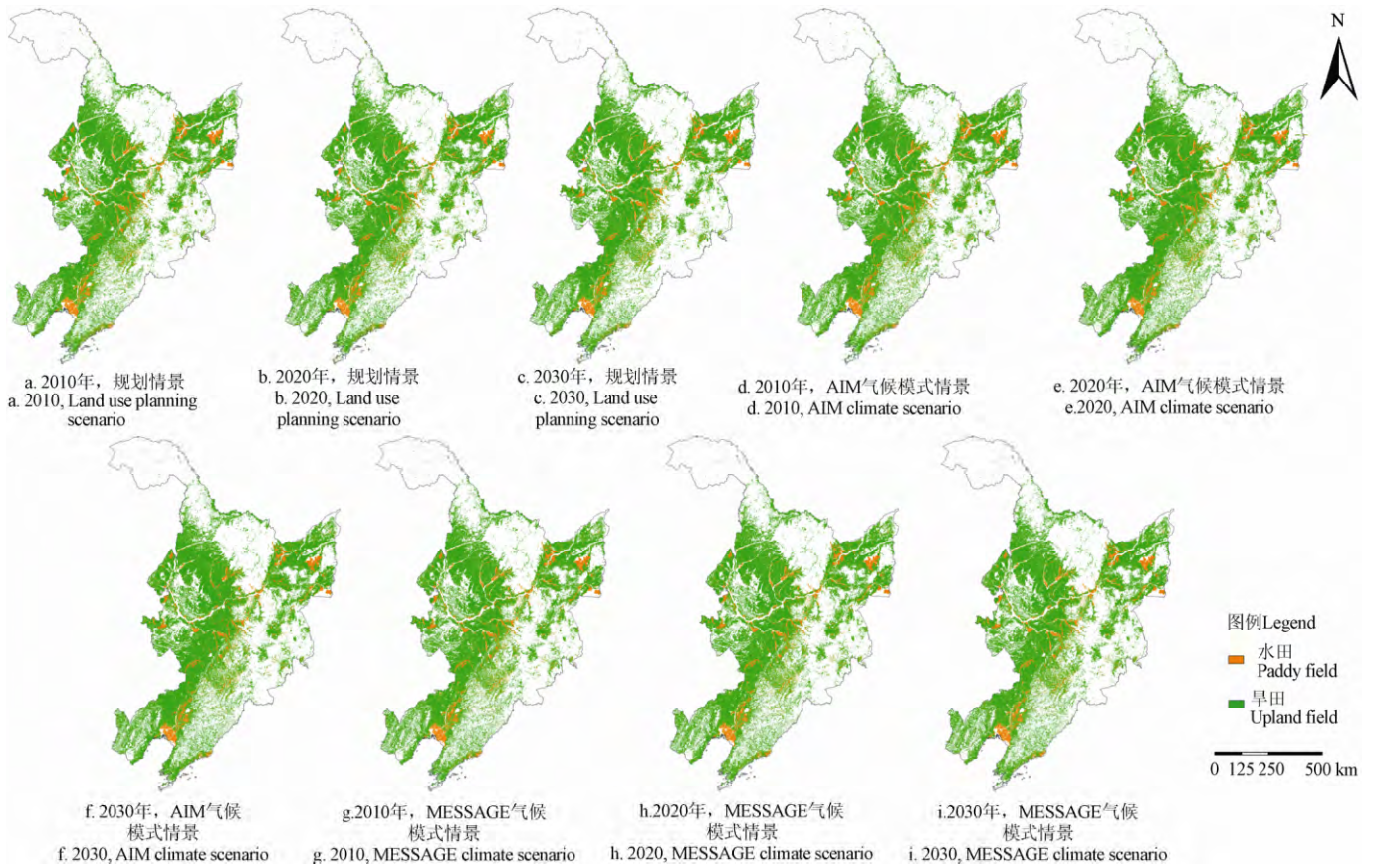


图 8 2010—2030 年东北地区未来情景下耕地空间格局分布图

Fig.8 Simulation on land use change under future land use scenario from 2010 to 2030 in Northeast China

3.2.2 未来情景下不同类型耕地面积变化特征

基于规划情景下模拟的耕地利用变化,本研究估算了不同时段不同类型耕地变化的面积(图9)。统计结果显示,与2000—2010年相比,水田持续减少,而旱田并没有延续2000—2010年小幅增长的态势,而是出现大面积减少。其中,2010—2020年,耕地中旱田面积减少1699 km²,而水田仅减少450 km²。这主要是由于开垦与退耕区水田数量本身就比旱田数量少,再有旱田转移为其他用的难度也比水田要低。到2020—2030年,旱田的减少数量为1283 km²,比2010—2020年略有降低。水田几乎保持了2000—2020年的相同水平。

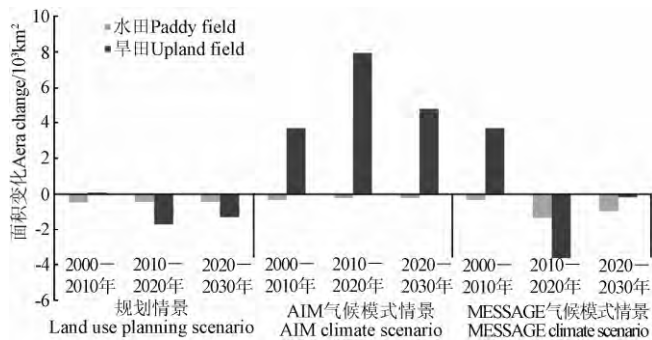


图 9 3 个时期东北地区未来情景下不同类型耕地变化面积统计图

Fig.9 Area of cultivated land changes under future land use scenario during three periods in Northeast China

AIM 气候模式情景下,不同时段不同耕地类型的统计结果显示,旱田的增长趋势最明显,而水田与规划情

景一致,仍然保持小幅减少的态势。其中,2010—2020年,旱田增长幅度最大,达7947 km²。到2020—2030年,旱田的增长幅度略有减少,为4815 km²。水田减少面积则呈减少的趋势,其中2000—2010年,水田减少面积为336 km²,而到2020—2030年,水田面积减少降到200 km²。该气候模式情景下,耕地面积的增加速度是以牺牲林草地等生态用地为代价的,因此,在保证粮食安全的同时,又增加了环境危机,值得我们思考。

MESSAGE 气候模式情景下,2010—2020年耕地中旱田地减少的面积最大,达3632 km²,基本将2000—2010年增长的旱田地面积抵消,但是退耕与开垦的区域分布不同。2020—2030年,旱田的减少幅度降为168 km²。从水田的面积变化分析,水田面积一直呈减少的态势,3个时期中,2010—2020年水田减少面积最大,为1320 km²,而到2020—2030年,水田减少面积降为950 km²。虽然水田面积相对旱田较小,但是绝对数量较大。该区域是中国大米的重要生产基地之一,水田的减少势必造成大米产量的直线减少。如果该区域未来沿这种气候模式情景发展,水田的大面积减少也需要引起我们的注意。

3.2.3 未来情景下耕地用途转移和动态过程解析

本研究将2010年和2020年、2020年和2030年的土地利用动态模拟结果图叠加,估算得出规划情景下耕地用途转移分布图(图10)。研究显示,2010—2020年耕地转移为林地的区域主要分布在西北部的大小兴安岭地

带以及东部的长白山地带，这些区域是原有林地的集中区。从行政区域来看，耕地向林地的转移主要位于吉林省区，从东部边境地带延伸到了省区的中部范围。黑龙江省的东南部地区以及辽宁北部地区也有部分区域转移为林地。耕地向建设用地转移主要集中在原有城市用地的周边地区，由于所选区域较大，耕地向建设用地扩展的分布较分散，在图中并不十分明显。从行政区划上分析，耕地向建设用地转移主要分布在辽宁省的西部以及东部辽东半岛附近、吉林省的中部以及黑龙江省的哈尔滨及周边地区。这些区域都是经济相对发达的地区，经济的发展推动了耕地向建设用地的转移。其他用地转移为耕地的区域主要集中在东北平原的北部和西部地区。2020—2030 年，耕地用途转移的方向基本与 2010—2020 年类似，耕地向林地转移还是位于长白山和大小兴安岭地带；其他用地向耕地转移主要集中在东北平原和三江平原；耕地向建设用地转移主要集中在原有城市用地周边地区。

AIM 气候模式情景下，2010—2020 年耕地转移类型主要为建设用地，与规划情景不同，该气候模式情景下，

向林草地的转移几乎不存在这种现象了。转移为建设用地的区域在该时段仍然是城市周边地区，并没有显著增长的区域。该时段耕地用途转移的显著特征是其其他用地向耕地的转移，其中，向水田转移面积非常小，而向旱田转移面积却要大得多。向耕地转移的类型主要是林地。其中，林地向耕地转移主要分布在西部与大小兴安岭靠近的区域，尤其是大兴安岭的沿线地带。这些区域距离原有耕地距离较近，也是最容易被开垦的区域。而草地向耕地的转移则主要分布在东北部靠近三江平原的地带以及中部的松嫩平原地区。水田向旱田的转移面积较少，主要分布在辽河平原的西北部，这可能主要是由于该区域的气候趋暖干所致。2020—2030 年，耕地用途的转移类型基本与 2010—2020 年相似，但是不同类型的转移量却有所不同。比较显著的是耕地向建设用地的转移，在西北部边界地区增长较快，这可能是由于与俄罗斯的边境贸易加强，边境城市扩展加速所致。而其他用地转为水田的面积仍较小，转为旱田的区域仍然分布在开垦与退耕区的西部地区以及东北部的三江平原地带。

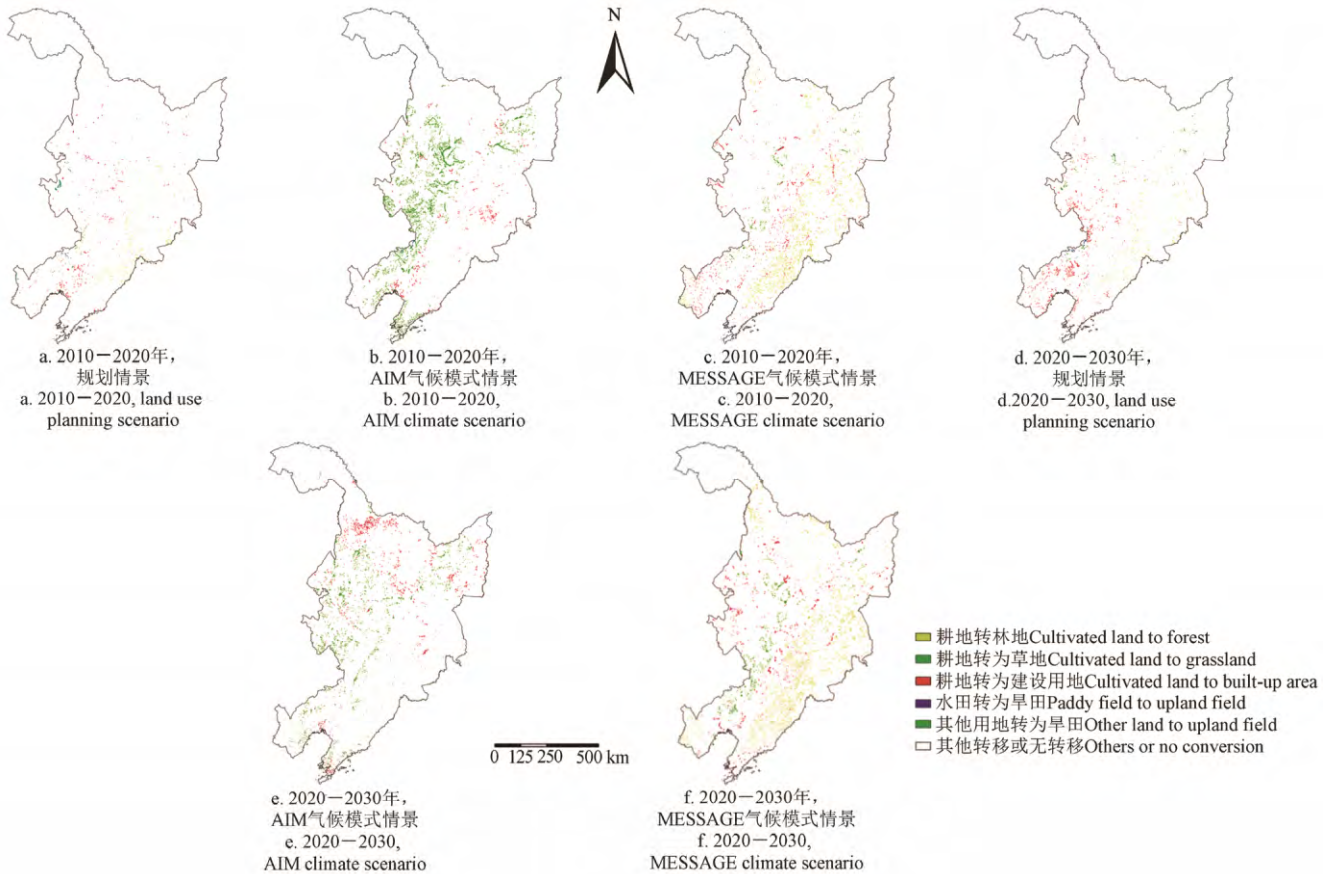


图 10 2 个时期东北地区未来情景下耕地用途转移分布图
Fig.10 Cultivated land conversion under future land use scenario during two periods in Northeast China

相比其他 2 种情景，MESSAGE 气候模式情景下耕地面积转移量较少，因此，耕地转移的空间分布图也较其他两种情景少。2010—2020 年，耕地向草地的转移则分布在开垦与退耕区的中西部与内蒙接壤的地带，靠近大兴安岭。由于靠近内蒙古自治区，牧业发展相对较快，而耕地向草地转移促进了当地牧业的发展，从而使农业

经济多元化发展。水田转为旱田也主要分布在西南部辽宁省境内。耕地向建设用地的扩展仍然是分布在原有建设用地周围，由经济发展带动所致。2020—2030 年，耕地转移较显著的是耕地向建设用地的转移，主要分布在辽东半岛经济发达地区以及吉林省的西部地区。该种气候模式情景下，至 2020—2030 年，耕地向林地转移仅为

零星栅格,在转移分布图上较难辨认。而其他用地转为旱田的区域主要集中在黑龙江省的西南部、吉林省东部以及辽宁省的西南部地区。而水田向旱田的转移主要分布在西南部辽宁省境内。

4 结 论

本论文采用 DLS 模型定量模拟了典型开垦与退耕区规划情景、AIM 气候模式情景和 MESSAGE 气候模式情景下的耕地动态变化过程。其中,规划情景下模拟的耕地利用面积呈减少的态势。开垦的耕地主要转为林地和建设用地,转为的林地主要分布在西北部的大小兴安岭地带以及东部的长白山地带。2020—2030 年,耕地减少的态势趋缓,但是减缓幅度不大。水田在 2000—2030 年呈持续减少的态势,而旱田 2000—2010 年呈小幅增长,随后出现大面积减少。AIM 气候模式情景下,耕地面积呈扩展的态势,且增幅较大。退耕的主要是草地,主要分布在东北部靠近三江平原的地带以及中部的松嫩平原地区。水田向旱田的转移面积较少,主要分布在辽河平原的西北部。MESSAGE 气候模式情景下,耕地面积呈减少的态势,且减少幅度变大。耕地减少的区域主要转移为草地和建设用地,其中,向草地的转移则分布在开垦与退耕区的中西部与内蒙接壤的地带,靠近大兴安岭。退耕的区域分布在黑龙江省的西南部、吉林省东部以及辽宁省的西南部地区。

对比 3 种情景的结果发现,MESSAGE 气候模式情景和规划情景的耕地变化无论是从趋势上还是从空间布局均比较相似,且呈减少态势,而 AIM 气候模式呈增加态势。虽然 MESSAGE 气候模式情景和规划情景下耕地变化趋势相同,但 2 种情景仍然有很大差异。MESSAGE 气候模式情景是高端气候模式情景,经济发展较快,排放量较多,城市用地扩张是耕地减少的主要原因之一;而规划情景下耕地的减少主要用于生态环境建设,从而也说明在规划情景下退耕还林和天保工程的实施仍然会在未来一段时间内发挥作用,促进林地的增长。但是 MESSAGE 气候模式情景下,林地破坏较严重,虽然草地建设有所增长,但是建设用地的扩张和林业生态用地的破坏仍然会对当地的生态环境造成一定的压力。在 AIM 气候模式情景下经济发展和规划情景可能类似,建设用地的增长速率与规划情景基本相同,但是该种情景下侧重于农业的发展,林草地被大量开垦为耕地,水土流失日趋严重,生态环境势必也会逐渐随之恶化。

总之,开垦与退耕区的耕地被开垦和退耕这种相逆的现象在未来 20 a 仍然会延续,无论是规划情景还是气候情景。但是这种相逆的现象逐渐在减少,尤其是到 2020—2030 年,这种现象减少的程度最显著。被开垦与被退耕相逆的现象不仅是在数量上会减少,在空间分布上也可以看出,这种相逆现象有些区域在逐渐消失,有些区域在减弱。但是并不能因为减弱,而忽视该区域的这种变化,它仍然是影响环境和气候变化的重要因素之一。

[参 考 文 献]

- [1] 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)
- [2] 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)
- [3] 王秀芬,陈百明,毕继业. 新形势下耕地总量动态平衡分析[J]. 资源科学, 2005, 27(6): 28—33. Wang Xiufen, Chen Baiming, Bi Jiye. Dynamic equilibrium of the total cultivated land in China in a new situation[J]. Resources Science(Transactions of the CAS), 2005, 27(6): 28—33. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘新卫. 中国农业结构调整中的耕地保护[J]. 国土资源情报, 2007(11): 44—49. Liu Xinwei. Cultivated land protection in Chinese agricultural construction adjustment[J]. Land and Resources Information, 2007 (11): 44—49. (in Chinese with English abstract)
- [5] 石瑞香,杨小唤. 中国耕地变化区的气候北京对比分析[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)
- [6] 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)
- [7] 王国刚,杨德刚,苏芮,等. 生态足迹模型及其改进模型在耕地评价中的应用[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1081—1086. Wang Guogang, Yang Degang, Su Rui, et al. Application of traditional ecological footprint and its derivatives in evaluating utilization of croplands[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(5): 1081—1086. (in Chinese with English abstract)
- [8] 尹昌应. 规划情景约束下的城市土地利用空间格局模拟[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(2): 66—70. Yin Changying. Modeling urban land use pattern under the constraints of land planning scenarios[J]. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(2): 66—70. (in Chinese with English abstract)

- [9] 李婧, 范泽孟, 岳天祥. 中国西南地区土地覆盖情景的时空模拟[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3266—3275.
Li Jing, Fan Zemeng, Yue Tianxiang. Spatio-temporal simulation of land cover scenarios in southwestern of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3266—3275. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1—11.
Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. Geographical Research, 2003, 22(1): 1—11. (in Chinese with English abstract)
- [11] Hansen J, Nazarenko L, Ruedy R, et al. Earth's energy imbalance: Confirmation and implications[J]. Science, 2005, 308: 1431—1435.
- [12] 高学杰, 张冬峰, 陈仲新, 等. 中国当代土地利用对区域气候影响的数值模拟[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(3): 397—404.
Gao Xuejie, Zhang Dongfeng, Chen Zhongxin, et al. Simulation of impact of land use on regional climate[J]. Science in China: Ser D, 2007, 37(3): 397—404. (in Chinese with English abstract)
- [13] 闫丹, Uwe A Schneider, Erwin Schmid, 等. 未来气候变化对鄱阳湖区土地利用变化的影响评估[J]. 资源科学, 2013, 35(11): 2255—2265.
Yan Dan, Uwe A Schneider, Erwin Schmid, et al. Impact of future climate change on land use change in Poyang lake[J]. Resources Science, 2013, 35(11): 2255—2265. (in Chinese with English abstract)
- [14] 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 Qunou, 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, 2014, 23(10): 110—117. (in Chinese with English abstract)
- [15] 何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 基于系统动力学模型和元胞自动机模型的土地利用情景模型研究[J]. 中国科学 D 辑, 2005, 35(5): 464—473.
He Chunyang, Shi Peijun, Chen Jin, et al. Research on land use scenario model based on system dynamics model and cellular automaton model[J]. Science in China: Ser D, 2005, 35(5): 464—473. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王丽萍, 金晓斌, 杜心栋, 等. 基于灰色模型-元胞自动机模型的佛山市土地利用情景模拟分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 237—242.
Wang Liping, Jin Xiaobin, Du Xindong, et al. Land use scenarios simulation of Foshan city based on gray model and cellular automata model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2012, 28(3): 237—242. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张永民, 赵士伦, Verburg P H. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用[J]. 自然资源学报, 2003, 18(3): 310—318.
Zhang Yongmin, Zhao Shilun, Verburg P H. CLUE-S and its application for simulating temporal and spatial change of land use in Naiman Banner[J]. Journal of Natural Resource, 2003, 18(3): 310—318. (in Chinese with English abstract)
- [18] Overmars K P, Verburg P H, Veldkamp A. Comparison of a deductive and all inductive approach to specify land suitability in a spatially explicit land use model[J]. Land Use Policy, 2007, 24(3): 584—499.
- [19] 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)
- [20] 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)
- [21] 程叶青, 张平宁. 东北地区农业可持续发展问题探讨[J]. 经济地理, 2006, 26(2): 300—303.
Cheng Yeqing, Zhang Pingning. Study on agriculture sustainable development in Northeast China[J]. Economic Geography, 2006, 26(2): 300—303. (in Chinese with English abstract)
- [22] 何秀丽, 张平宁, 程叶青. 东北地区农业可持续发展地域分析与总体评价[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(4): 413—416.
He Xiuli, Zhang Pingyu, Cheng Yeqing, et al. Territorial differentials and general assessment of sustainable Agriculture Development in Northeast China[J]. Chinese Academy of Sciences, Research of agricultural Modernization, 2008, 29(4): 413—416. (in Chinese with English abstract)
- [23] IPCC. Climate Change 2007: the Physical Science Basis[M]. Solomon S, Qin D, Manning M, et al. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 966.
- [24] Van Vuuren D P, Stehfest E, den Elzen M G J, et al. RCP2.6: Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C[J]. Climate Change, 2011, 109: 95—116.
- [25] 李飞. 社会经济数据空间化研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(4): 102—105.
Li Fei. A review on research about spatialization of socioeconomic data[J]. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(4): 102—105. (in Chinese with English abstract)

- [26] 甘红, 刘彦随, 王大伟. 土地利用类型转换的人文驱动因子模拟分析[J]. 资源科学, 2004, 26(3): 88—93.
Gan Hong, Liu Yansui, Wang Dawei. Simulation and analysis of the human driving factors of land use type conversion[J]. Resources Science, 2004, 26(2): 88—93. (in Chinese with English abstract)
- [27] Deng Xiangzheng, Su Hongbo, Zhan Jinyan. Integration of multiple data sources to simulate the dynamics of land systems[J]. Sensors, 2008, 8: 620—634.
- [28] 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 Qunou, 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)
- [29] 姜群鸥. 中国典型区土地利用动态变化过程的模拟研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2012.
Jiang Qunou. Dynamic Simulation of the Land Use Change in Typical Area of China[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2012. (in Chinese with English abstract)

Quantitative modeling changes in area of reclamation and returning cultivated land to forest or pastures under representative concentration pathways (RCPs) climate scenarios

Jiang Qun'ou^{1,2,3}, Tan Bei¹, Xue Xiaochan¹, Qi Yuanjing^{1*}, Deng Xiangzheng^{2,3}

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100038, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Center for Chinese Agricultural Policy, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Northeast China as one of the important agricultural production bases is an area under reclamation and returning cultivated land to forests or pastures. Therefore, it is of great practical significance in guaranteeing the sustainable development and national food security to study the spatial and temporal variation of cultivated land in Northeast China under future climate scenarios. With the Northeast China as the study area, the authors collected data of land use, natural environment and social-economic, and simulated the spatial distribution and changing trends of cultivated land with the land use change dynamic (DLS) model based on the scenarios of land use planning and representative concentration pathways (RCPs) from year 2010 to 2030. The results showed that the area of cultivated land had an overall decreasing trend under the land use planning scenario, but the area of upland field increased slightly from year 2000 to 2010 and then declined greatly, while the paddy field continuously declined from year 2000 to 2030. The major land use type converted from the cultivated land was forest which mainly located in the Great and Small Xing'an Mountain and Changbai Mountain. Cultivated land transferred to residential area is around the original city. However, the expansion of urban area is not obvious due to the dispersion of conversion area over a large studied area. The increase in the area of cultivated land was mainly in the northern and western parts of Northeast China. Besides, the total area of cultivated land had a tendency to increase considerably under the Asia-Pacific Integrated model (AIM) scenario, with the upland field expanding more obviously and the paddy field declining slightly, which was mainly transferred from forest and grassland. Among them, the converted forest land was in the Greater Xing'an Mountains, while the converted grassland was near the Three River Plain and Songnen Plain. In addition, the cultivated land showed a greater decreasing trend under the model for energy supply strategy alternatives and their general environmental impact (MESSAGE) scenario compared to the land use planning scenario, and most of them were from grassland and residential area. Although the cultivated land showed a downward trend both in MESSAGE and land use planning scenarios, the direction of change was different. MESSAGE scenario had a rapid economic development and more emissions of greenhouse gases, so the expansion of residential area was also one of the significant reasons for decrease in cultivated land, while the planning scenario focused on the ecological construction, therefore, more cultivated land was converted to forest. As for the AIM scenario, it had a similar economic development ratio, but it emphasized the agricultural production, and ecological construction was less than that under the planning scenario. Moreover, analysis on the conversion between different land use types indicated that the reclamation and returning cultivated land to forests or pastures was likely to continue under future scenarios, but the frequency of occurrence could decrease as the time goes by. The conclusions can provide significant decision-making information for the rational agricultural planning and cultivated land protection in Northeast China to adapt to the climate change.

Key words: land use; climate change; planning; cultivated land change; simulation; scenario; area of reclamation and returning cultivated land to forest or pastures