

基于 Logit 模型的世界主要作物播种面积变化模拟

吴文斌^{1,2}, 杨鹏^{1,3}, 谈国新⁴, 邹金秋¹, 柴崎亮介², 唐华俊¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室, 北京 100081;

2. 东京大学空间情报科学研究中心, 日本东京 153-8505; 3. 东京大学气候研究中心, 日本千叶 277-8568;

4. 华中师范大学教育信息工程中心, 武汉 430079)

摘要: 农作物播种面积动态变化因其重要性已经引起了国内外学者的广泛关注。从“人—地关系”中人的角度出发, 利用多元 Logit 模型初步建立了全球尺度的农作物播种面积变化模拟系统, 分析研究了未来 30 年内世界主要农作物播种面积变化的数量特征和空间格局。模型建立思路是: 作物播种面积变化是农户作物选择行为的直接结果, 而选择何种作物进行播种是由作物效用决定的。因此, 利用离散选择理论, 选择影响作物效用大小的主要解释变量建立效用函数, 动态模拟农户作物选择行为, 并得到这种选择行为所带来的农作物播种面积变化的时空特征。模型建立后, 利用联合国粮农组织 (FAO) 2001-2003 年统计数据 and 2001 年 MODIS 全球土地覆盖数据产品对模型结果进行验证, 结果表明模型运行可靠, 和实际状况吻合较好, 可以应用于未来情景模拟分析。其后, 以 5 年为步长, 模型对世界四大作物 (水稻、玉米、小麦和大豆) 在 2005-2035 年间的播种面积动态变化进行了模拟, 从全球作物总播种面积变化差异、四大作物播种面积变化的区域差异和不同区域内四大作物播种面积变化差异等方面进行了分析研究, 结果表明: 不同作物播种面积变化的数量特征和空间格局是不相同的。虽然目前模型还存在一些不确定性, 但仍然能够在一定程度上为理解现在和未来农业土地利用的复杂动态变化提供帮助, 模拟结果可为有关部门提供决策支持和信息服务。

关键词: 作物播种面积; 动态变化; 模拟; Logit 模型; 作物选择; 世界

1 前言

作物播种面积与耕地面积不同, 指的是实际播种或移植有农作物的土地面积^[1]。受诸多因素影响, 作物播种面积往往在时间和空间二维尺度上显现动态变化, 这种时空变化对区域乃至全球的作物收获产量、农产品供应和粮食安全有着重要影响。作为土地利用/土地覆盖变化 (LUCC) 的重要组成部分^[2], 作物播种面积变化对气候、生物地球化学循环、土地质量及陆地—海洋的相互关系等都发挥重要作用, 对于区域或全球生态环境变化具有重要意义^[3, 4]。因此, 作物播种面积变化及其驱动机制研究成为了 LUCC 研究的焦点和热点。

从已经或正在进行的有关作物播种面积变化研究来看, 作物播种面积变化信息获取方法主要包括统计汇总 (如刘成武^[1]) 和遥感监测 (如周清波^[5]、吴炳方^[6]、李景刚^[7]、张国平^[8]、Xiao 等^[9])。这两种方法都是以获取历史或现时作物播种面积信息为前提^[10], 难以用于分析预测播种面积未来变化趋势, 而且不能综合考虑农业土地利用变化中最为积极的人类活动的影响作用。空间模型在弥补上述方法的不足方面具有较强的优势, 本文就是从“人地关系”中“人”的角度出发, 利用 Logit 模型建立一个全球尺度的作物播种面

收稿日期: 2006-09-20; 修订日期: 2007-01-09

基金项目: 国家高技术发展计划(863 计划) (2003AA131020) [Foundation: National High Technology Research and Development Program of China, No.2003AA131020]

作者简介: 吴文斌 (1976-), 汉族, 湖北潜江市人, 助理研究员。主要从事土地利用/土地覆盖变化、土地评价方面的研究。E-mail: wwbyn@yahoo.com 或 wwbyn@iis.u-tokyo.ac.jp

积变化模拟系统，通过对农户作物选择或决策行为的模拟来动态监测作物播种面积时空变化，并对世界四大作物播种面积在未来 30 年内的变化趋势进行了研究分析。

2 研究方法

2.1 思路

作物播种面积是农户作物选择行为的直接结果，作物选择行为的时空变化会驱动作物播种面积发生时空变化；选择何种作物进行播种是由作物效用大小决定的，亦即，在众多可选的作物中，效用最大的作物将最终被农户选择耕作。在任一模拟年份，世界不同区域农户会依据该区域的农业耕作制度确定可供选择的作物，计算作物效用大小并据此完成该年份的耕作作物选择，最后计算该作物选择行为所带来的作物播种面积的数量特征和空间分布。这样，模型在不同时序年份进行模拟，可以研究分析作物播种面积的时序和空间变化特征。

据联合国粮农组织 (FAO) 统计，水稻、玉米、小麦、大豆等四类作物是世界主要作物类型，其播种面积之和约占全球作物总播种面积 75%^[11]。因此，本文将主要考虑这四种作物播种面积的变化。模型的基本框架如图 1 所示。

2.2 作物选择模块

作物选择模块是模型的核心组成部分，其主要功能是模拟世界不同区域农户的作物选择或决策行为。这类决策问题或选择问题通常是决策者依据自身的策略或规则从几个可供选择的方案中做出自己的选择，这些方案用离散的数据来表示。以这样的决策结果作为被解释变量所建立的模型，称为离散选择模型^[12]。如果被解释变量只存在两种选择，称为二元选择模型；若存在多种选择，则称为多元选择模型^[13]。

在本研究中，农户选择作物为世界四大作物，应采用多元选择模型。由于离散选择模型的被解释变量为非线性，因此往往需要将其转化为效用模型进行估计。常用的效用模型为 Probit 模型和 Logit 模型。由于 Logit 模型所假设的随机效用分布形式更适合于效用最大化时的分布选择，所以 Logit 模型应用最为广泛，本文就是采用多元 Logit 模型，通过模拟世界不同区域农户作物选择行为来实现世界主要作物播种面积变化模拟研究。

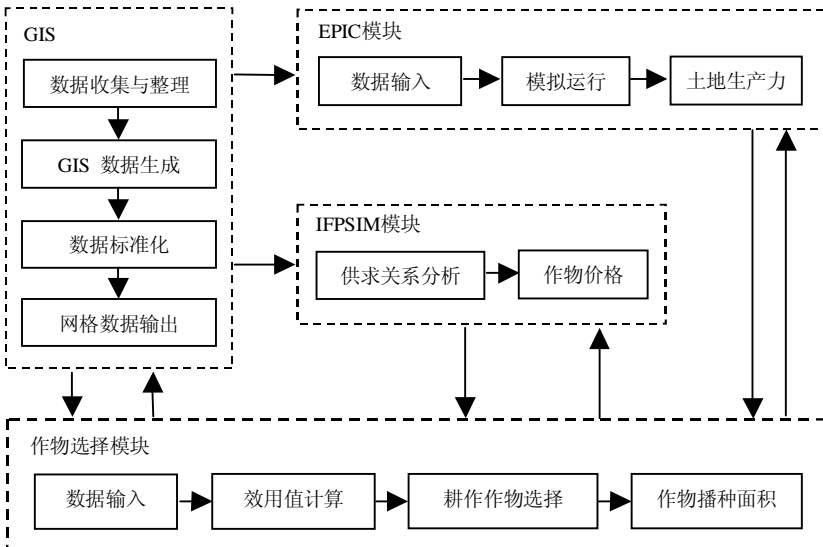


图 1 模型基本框架

Fig. 1 The model framework in this study

其基本形式为:

$$u(x) = a + bx \quad (1)$$

式中: u 表示效用, x 为某种时空变量, a 、 b 为常(系)数^[14]。

$$P_i = e^{u_i} / \sum_{i=1}^N e^{u_i} \quad (2)$$

式中: P_i 为选择项 i 被选择的概率, u_i 为选择项 i 的效用, i 为选择项 ($i = 1, 2, \dots, N$)。

在作物选择模块中, 从四大作物中选择何种作物进行耕作是由作物效用值决定的, 选择适宜的解釋变量来建立效用函数, 就成为了模型建立的关键所在。模型主要考虑了三类变量 ① 自然环境变量: 温度、降水、土壤理化性质、地形地貌、土地生产力等; ② 社会经济环境变量: 农业人口密度、农村人均纯收入、农业机械化水平、道路通达度、国际农产品价格等; ③ 农业生产管理类变量: 灌溉、施肥、农药等。但分析发现, 有些变量之间存在较强的相关性, 可能会造成共线性影响, 如, 在自然环境变量中, 土地生产力是温度、降水、土壤、地形等因子相互作用的结果, 其本身就反映了栽培管理(灌溉、施肥等)的影响作用。因此, 在构建模型时剔除了那些和主要变量相关性过高的其他变量, 最后选择了土地生产力、农业人口密度、道路通达度、国际农产品价格等四个变量作为作物效用函数的解釋变量。

2.3 EPIC 模块

作物生长模型——EPIC 模型的原名是“Erosion Productivity Impact Calculator”, 系美国农业部农业研究中心(USDA-ARS)最初于 1984 年开发推出的研究土壤侵蚀与作物单产关系的作物生长模型, 近年来被更名为“Environmental Policy Integrated Climate——考虑气候因素的作物生产环境决策模型”。通过输入温度、降水、土壤养分以及不同作物参数等数据, EPIC 模型能准确模拟不同生长环境下的土地潜在生产力^[15]。通过与 GIS 的集成, EPIC 模型能被应用于区域甚至全球尺度的模拟研究^[16]。在本文中, EPIC 模块的主要功能是模拟一定自然生态环境和农业耕作管理条件下全球尺度范围内的土地潜在生产力, 详细介绍参见文献^[11], 模拟结果将作为一个关键变量输入到 Logit 模型中参与作物效用值计算。

2.4 IFPSIM 模块

全球农产品供应变化会引起国际农产品价格波动, 价格变化会直接影响农产品收益变化, 这种收益变化又会在很大程度上驱动作物播种面积发生变化。在本文中, IFPSIM 模块正是用来分析研究国际农产品价格这一经济变量对作物效用值的影响作用, 通过数据交换, 该模块输出结果引入到作物选择模型中进行效用函数的计算。IFPSIM 模型是一个多农产品、多区域和多时段的世界农业粮食政策模拟模型, 可以动态模拟多种农产品的供求、贸易和价格变化。在 IFPSIM 模型中, 全球农产品价格是由该产品全球供给量等于需求量时的价格水平决定的, 就是需求曲线和供给曲线相交点的价格^[17]。

3 数据来源与处理

模型需要的数据列表、数据来源和有关说明见表 1。可以看出, 模型输入数据包括空间数据和属性数据两类。空间数据主要包括全球土地潜在生产力分布、全球道路通达度数据、全球人口密度分布、全球农业用地分布、全球灌溉区域空间分布、全球国家行政边界及全球耕作制度分布和 MODIS 全球土地利用/土地覆盖数据。属性数据主要为国际农产品价格数据和 FAO 农业统计数据。在这些数据中, 大多数数据直接输入到 Logit 模型中进行作物效用值计算, 部分数据以调控参数形式用于监控世界不同区域农户的作物选择行为, 还有部分数据用于模型验证和校正。

表 1 模型运行的数据列表及说明

Tab. 1 Input data list and their explanations

| 数据名 | 数据来源 | 数据说明 |
|----------------------------|---|--------------|
| 2000~2035 年全球土地生产力分布 | 由基于 GIS 的 EPIC 模型模拟得到 | 作物效用函数变量 |
| 2000~2035 年国际农产品价格数据 | 由 IFSIM 模型模拟得到 | 作物效用函数变量 |
| 1993 年全球道路通达度 | ESRI 世界数字化图 (http://www.maproom.psu.edu/dcw/) | 作物效用函数变量 |
| 1998 年全球人口密度分布 | Landscan 全球人口数据集 (http://www.oml.gov/sci/landscan/) | 作物效用函数变量 |
| 1993 年全球农业用地分布 | IGBP-DIScover 土地利用/土地覆盖数据 (http://edcns17.cr.usgs.gov/glcc/) | 区域作物选择参数 |
| 1995 年全球灌溉区域分布 | 全球灌溉区域分布数据 (http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/forschung/global_irrigation_map/index.html) | 区域作物选择参数 |
| 全球耕作制度分布 | 通过匹配不同区域的生态环境因子和作物生长参数确定, 详见参考文献[11] | 区域作物选择参数 |
| 全球国家行政边界 | GIS 生成 | 包括全球 165 个国家 |
| 2001~2003 年 FAO 农业统计数据 | FAOSTAT 数据集 (http://faostat.fao.org/) | 模型验证 |
| 2001 年 MODIS 全球土地利用/土地覆盖数据 | 波士顿大学地理系生产的土地覆盖数据 (http://www-modis.bu.edu/landcover/) | 模型验证 |

模型输入数据, 尤其是空间数据, 由于数据来源不一、数据格式和内容亦不同, 必须经过加工处理后才能被模型利用。数据处理主要包括数据内容和数据格式处理。模型在全球尺度运行, 输入数据必须覆盖整个全球范围, 但考虑到全球南北半球的陆地分布和土地利用现状, 以及减小模型计算量, 模型剔除了南北两极的海洋或永久冰川覆盖区域, 将模拟区域空间范围确定为: 西经 180°~ 东经 180°, 北纬 84°~ 南纬 56.5°, 所有空间数据依据上述地理坐标进行处理。模型开发语言是 C 语言, 所有计算基于 GIS 栅格数据进行, 空间数据处理转化为栅格数据, 存储为二进制格式; 栅格数据分辨率为 6 分弧度, 整个模拟区域共包括 1405 (行)*3600 (列) 个网格数据。属性数据和统计数据转换为文本格式, 可以直接被 C 语言读取。模型输出文件格式和输入文件格式一样, 空间数据为二进制格式, 属性数据为文本格式。

4 2000-2003 年模型模拟

2000-2003 年模拟阶段的主要目的是以多年历史统计资料为基础, 进行参数设定、模型调试和结果验证。以 2000 年为现状年, 取步长 $t = 1$ 年, 连续对 2001-2003 年进行了模拟, 然后对模型结果进行了验证。常用的模型验证方法是比较分析法, 即将模拟结果和真实观测值或其他模型结果 (假定为真实值) 进行比较分析^[18]。本文利用两种不同数据源对模型结果进行了验证。

首先, 将 2001-2003 年模拟结果和 FAO 2001-2003 年统计数据进行比较分析(图 2)。从图中可看出: 水稻、玉米和小麦等作物播种面积模拟结果和 FAO 统计数据吻合比较好, 以水稻面积模拟结果 ($R^2 = 0.96$) 为最好; 大豆面积模拟结果 ($R^2 = 0.68$) 和 FAO 统计数据相比, 偏差较大, 总体上预测结果偏低。即便如此, 从整体上来说, 模型模拟结果比较符合实际, 模型运行基本可靠, 可以在此基础上对未来作物播种面积变化进行模拟研究。

其次, 比较分析模型 2001 年模拟结果同其它空间数据的差异, 评价模型在世界不同区域的模拟效果。具体地, 对模型 2001 年模拟结果进行空间叠加分析, 得到 2001 年全球农用耕地分布图 (图 3a); 然后将处理结果和由 MODIS 土地利用/覆盖数据产品提取的 2001 年全球农用耕地分布图 (图 3b) 进行比较。从图 3 可见, 模型模拟结果总体上和

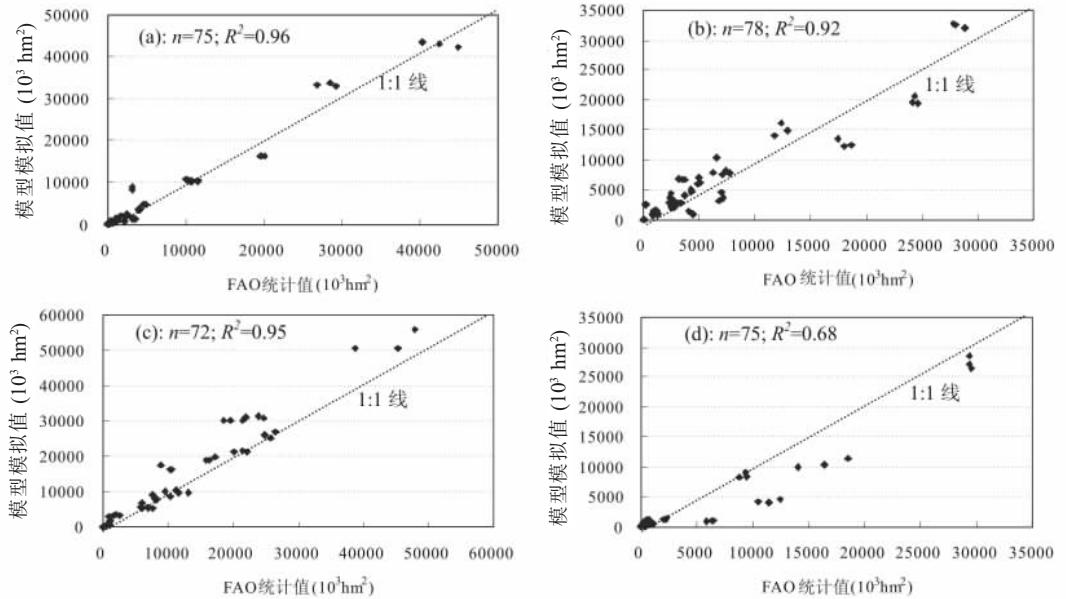


图 2 2001-2003 年不同作物播种面积模拟值和 FAO 统计值比较 (a. 水稻; b. 玉米; c. 小麦; d. 大豆)
 Fig. 2 Comparison between model-simulated area and FAO statistical data for different crops during 2001-2003 (a. rice; b. maize; c. wheat; d. soybean)

MODIS 提取的全球农用耕地数据吻合较好。分区域看，北美洲的模拟结果比 MODIS 数据大，相差区域主要在美国和加拿大接壤的东南部；两类空间数据在南美洲比较一致。在欧洲大陆，MODIS 数据生成的农用耕地面积比模型模拟结果大，主要差异区域分布在欧洲东部地区，这也是两类数据差异最大的区域。非洲由于农业用地比重小，两类数据误差并不大，不同区域主要位于非洲西海岸。两类农用耕地数据在亚洲的吻合度较高，尤其是两个世界农业大国（印度和中国）的结果比较一致，差异区域表现在印度西北部和中国东北部；在澳大利亚，模型结果和 MODIS 数据除在东北部地区有差异外，其余地区一致性较好。需要指出的是，由模拟结果生成的 2001 年全球农用耕地数据仅包括水稻、玉米、小麦和大豆等四大作物，数据显然比实际农用耕地面积要小；同样，由 MODIS 数据提取的 2001 年全球农用耕地数据也会因数据类别合并、综合等，存在遗漏部分耕地用地或包括非耕地用地等问

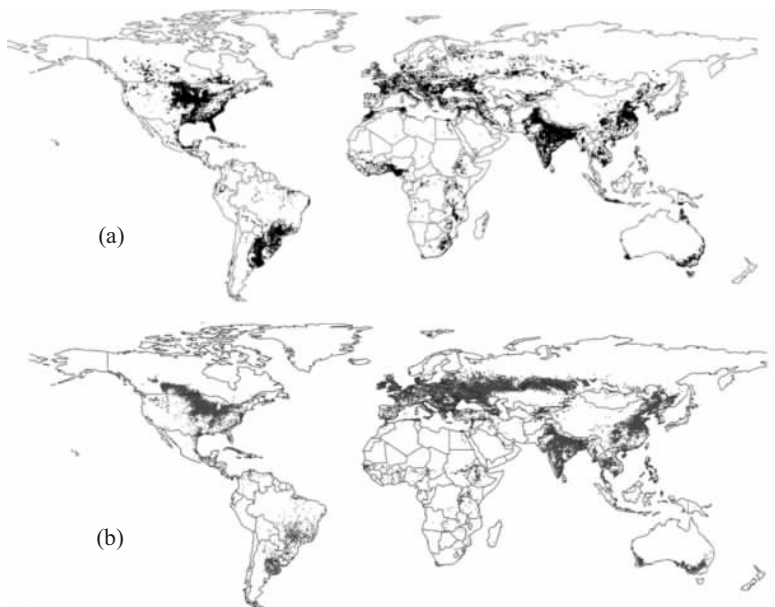


图 3 2001 年全球农用耕地分布(a. Logit 模拟数据; b. MODIS 生成数据)
 Fig. 3 Global cropland distribution in 2001 (a: Logit-Simulated; b: MODIS-retrieved)

题, 这些都会导致两类空间数据的相异性。考虑到这些因素, 应该说, 这两类数据的相似性和一致性比较好, 模型模拟结果较好地反映了真实状况。

5 2005-2035 年模型模拟

在 2000-2003 年模拟基础上, 模型取步长 $t = 5$ 年, 以 2005-2035 年为模拟期间, 对未来 30 年内世界四大作物播种面积动态变化进行模拟。

5.1 四大作物总播种面积变化差异

从表 2 可看出, 在世界四大作物中, 小麦分布最为广泛, 播种面积最大, 其总播种面积约占全球耕地面积的 22%; 水稻和玉米次之, 大豆播种面积最小, 约占全球耕地的 5%^[19]。在未来 30 年内,

表 2 2005-2035 年世界四大作物总播种面积变化 (单位: 10^8 hm^2)

Tab. 2 Changes of total sown areas for four crops by model simulation across the world during 2005-2035 (unit: 10^8 hm^2)

| 作物类型 | 2005 年 | 2010 年 | 2015 年 | 2020 年 | 2025 年 | 2030 年 | 2035 年 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水稻 | 1.65 | 1.59 | 1.60 | 1.65 | 1.66 | 1.78 | 2.09 |
| 玉米 | 1.46 | 1.56 | 1.94 | 1.76 | 1.67 | 1.88 | 1.86 |
| 小麦 | 2.64 | 2.60 | 2.74 | 2.91 | 3.00 | 3.43 | 3.80 |
| 大豆 | 0.62 | 0.56 | 0.52 | 0.59 | 0.71 | 0.61 | 0.75 |

四大作物总播种面积都具有不断提高的总体趋势, 但不同作物面积变化差异明显。小麦和水稻播种面积都有相当稳定的扩大趋势, 但增加幅度不同, 小麦的上升幅度明显高于水稻, 为四大作物面积增幅最大的作物, 尤其 2025 年以后, 其强势的上升态势明显比前期大。到 2035 年, 全球水稻和小麦总播种面积将分别增加 26% 和 44%, 达到 2.09 亿 hm^2 和 3.8 亿 hm^2 。全球玉米和大豆总播种面积在未来 30 年内分别增加 28% 和 22%, 达到 1.86 亿 hm^2 和 0.75 亿 hm^2 , 但两种作物都表现为波动增长, 出现过显著的阶段性下降, 如玉米在 2015-2025 年间, 大豆在 2010-2020 年与 2025-2030 年间。

5.2 四大作物播种面积变化的区域差异

图 4 则描述了四大作物播种面积变化的区域差异。如图 4a, 亚洲是世界水稻主要产区, 2005 年水稻播种面积占世界水稻面积 90%, 远高于其他区域, 未来 30 年内亚洲水稻播种面积将平稳增加 16%, 2025 年前保持相对稳定, 之后增幅加大; 拉丁美洲和非洲水稻播种面积也呈现增加趋势, 但增幅不大; 其余区域水稻面积几乎没有变化。全球玉米带主要分布在美国、中国东北、欧洲东部和非洲东南部等地区, 图 4b 反映了世界不同区域玉米播种面积未来 30 年的变化走势: 大洋洲玉米播种面积较小, 增加缓慢; 亚洲玉米播种面积总体下降 3%; 其余各大洲玉米播种面积变化总态势是增加, 但一个显著特征就是波动较大, 经历了一个“二增一减”的变化过程: “增加 (2005-2015 年) —减小 (2015-2025 年) —再增加 (2025-2035 年)”。从图 4c 可看出, 小麦主要分布在欧洲、北美洲和亚洲东部, 澳大利亚南部和非洲东部也有部分面积播种; 各个区域小麦播种面积都显现为平稳上升趋势, 2025 年前, 播种面积虽有扩大, 但幅度不大, 2025 年后, 增加态势明显加快, 尤其欧洲小麦面积增加幅度最大 (约 42%)。全球大豆主要分布在北美洲、南美洲和亚洲 (图 4d)。南美洲和亚洲大豆播种面积 2025 年前持续平稳上升, 之后到 2030 年经历一个小幅度下降, 然后迅速上升, 尤其南美洲增加幅度最大, 使其成为全球最大大豆种植区域; 北美洲大豆播种面积变化总态势是减少 26%, 但在 2015-2025 年间有一个阶段性的回升; 世界其它区域玉米面积比重小, 其变化趋势不大。

5.3 不同区域的四大作物播种面积变化差异

图 5 反映了不同区域内的四大作物播种面积变化的差异。北美洲的主要农作物为小麦、玉米和大豆 (图 5a); 未来 30 年内, 小麦和玉米播种面积总体上表现为稳定增加, 分别增加 42% 和 39%, 小麦面积在模拟后期增加幅度较大; 大豆面积在波动中减少 26%,

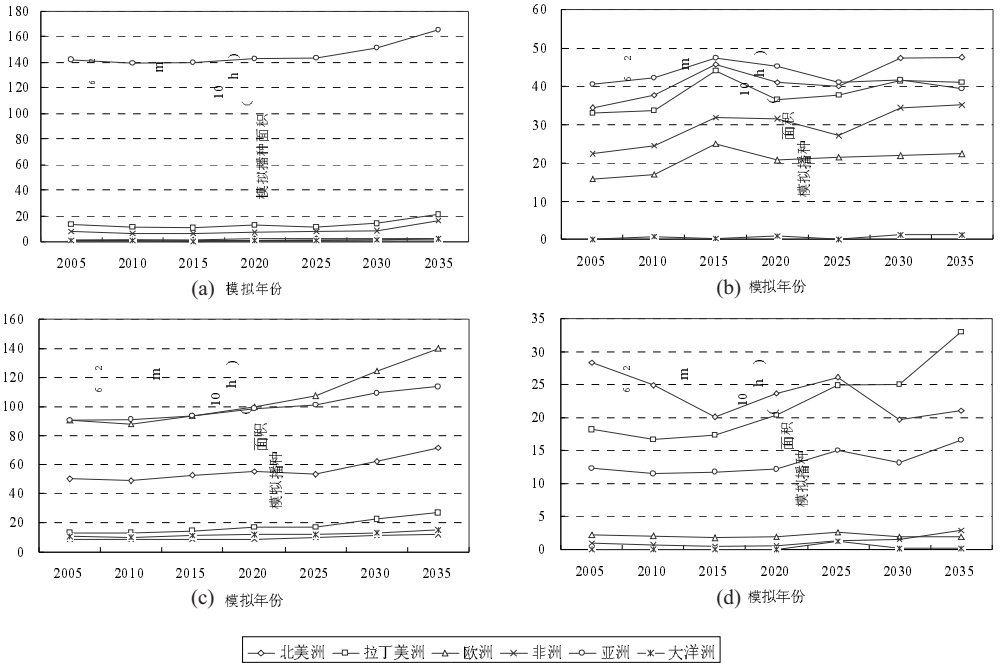


图 4 2005-2035 年世界四大作物播种面积变化的区域差异 (a. 水稻; b. 小麦; c. 玉米; d. 大豆)

Fig. 4 Dynamic changes of crop sown areas across different regions during 2005-2035

(a. rice; b. wheat; c. maize; d. soybean)

水稻面积基本保持不变。拉丁美洲包括中美洲和南美洲 (图 5b)，其北部主要是玉米和大豆带，南部则为小麦种植区域，水稻播种面积最小；从变化趋势看，大豆、小麦和水稻面积都处于平稳上升，玉米则在波动中缓慢增长 24%。欧洲 (图 5c) 作物类型相对单一，以小麦和玉米为主；小麦播种面积逐年均衡扩大，到 2035 年增加 55%，玉米则相对稳定，变化不大，大豆和水稻面积几乎没有变化。四大作物在亚洲都有大面积种植，尤其水稻面积最大；分析未来 30 年的模拟结果 (图 5d) 可看出：亚洲是四大作物播种面积变化最小的区域，水稻和小麦播种面积虽增加但幅度不大，为 16% 和 26%，玉米面积则减少 3%，大豆面积基本不变。非洲 (图 5e) 由于其自然地理环境脆弱性和易变性，没有出现大面积的作物耕作带，作物播种面积变化波动较大，以玉米和水稻最为突出，小麦和大豆面积则变化不大。和大洋洲类似，大洋洲 (图 5f) 以种植小麦为主，到 2035 年，小麦播种面积增加 45%，变化过程表现为平稳上升，其余作物播种面积总体上变化不大，除大豆面积外，在模拟后期都略有增长。

6 结论与讨论

(1) 从“人—地关系”中人的角度出发，模拟研究了未来 30 年内世界主要作物播种面积变化的数量特征和空间格局。具体地，利用离散选择理论，选择影响农户作物选择的主要变量，计算不同作物效用值并以此作为从众多可供选择的作物中进行优化选择的主要依据，通过模拟不同年份的农户作物选择行为来实现世界主要作物播种面积动态变化的研究分析。

(2) 以 FAO 2001-2003 年农业统计数据 and 2001 年 MODIS 全球土地覆盖数据产品为假定真实值，对模型模拟结果进行了验证，结果表明：模型对水稻、玉米和小麦等作物面

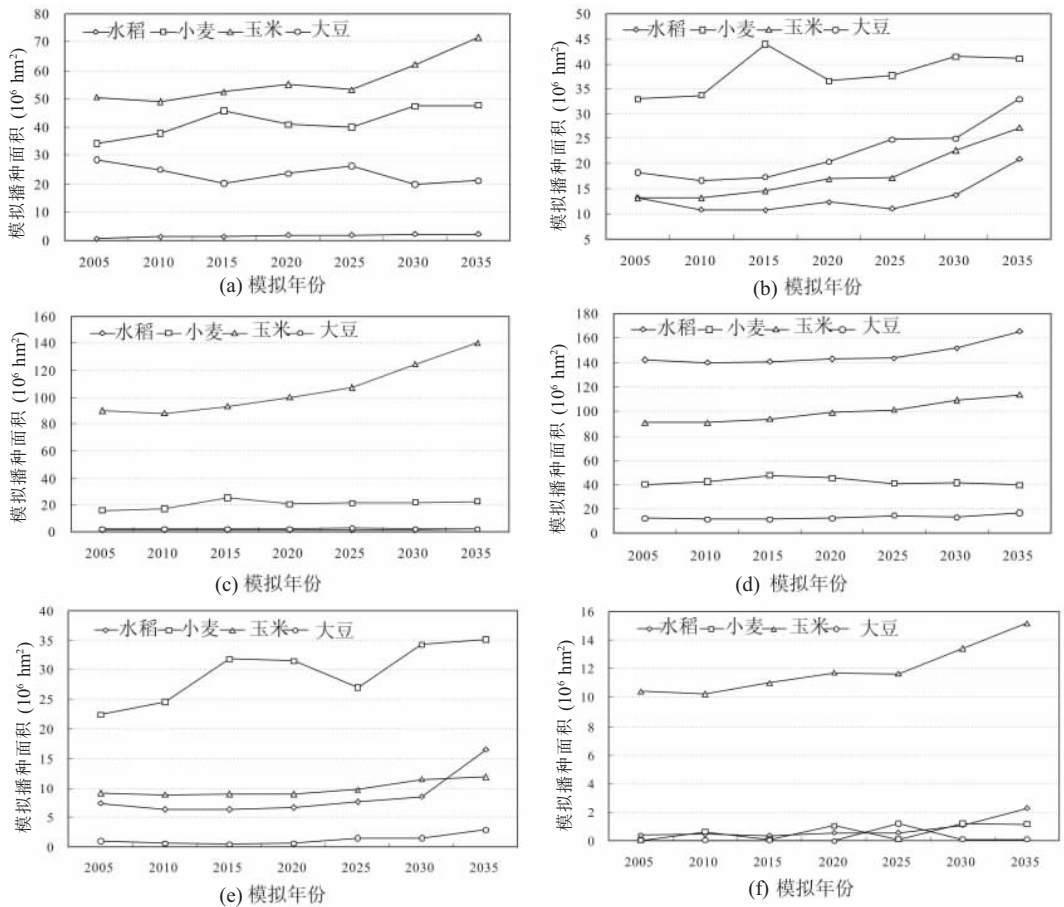


图5 2005-2035年不同区域的作物播种面积变化曲线

(a. 北美洲; b. 拉丁美洲; c. 欧洲; d. 亚洲; e. 非洲; f. 大洋洲)

Fig. 5 The regionally dynamic changes of crop sown areas for different crops during 2005-2035

(a. North America; b. Latin America; c. Europe; d. Asia; e. Africa; f. Oceania)

积变化模拟效果最好, 相对而言, 模型较低模拟了大豆的播种面积; 同样, 模拟结果和MODIS全球土地覆盖数据产品总体吻合好。这些表明Logit模型具有一定可靠性, 可在一定程度上为理解目前和未来农业土地利用的复杂动态变化提供帮助。

(3) 模型在经过参数校正和结果验证后, 以5年为步长, 对2005-2035年的世界四大作物播种面积动态变化进行了模拟, 分别对总播种面积变化差异、四大作物播种面积变化的区域差异、不同区域内四大作物播种面积变化差异进行了分析研究, 结果表明: 不同作物播种面积变化的数量特征和空间格局是不相同的, 这种变化必然对未来世界农产品供应和全球粮食安全等产生深远的影响。

(4) 土地利用系统是一个不同尺度下自然和社会因素综合影响的复杂系统^[20]。本文考虑了农业土地利用选择中的主要影响因子, 部分因子(如道路)的未来情景数据无法获取, 模型假定其是不变的, 这会造成模型结果的不确定性。因此, 模型结果更多反映的是特定条件下的一种可能性, 并非与现实世界完全接近的“预测结果”^[21]。模型对农用耕地内的作物选择的动态变化进行了有效模拟, 但没有考虑土地利用本身的时空动态变化, 如农业用地和其它非农业用地(如城市用地)的相互转换, 这种年际变化率虽然不大, 但从一个较长的几十年来看, 这种变化是不能忽视的。另外, 作为一个全球性土地利用变

化模拟模型,模型的假定是基于全球尺度,也是均质分布的;实际上,全球不同区域土地利用方式总会受到一些特定因素(如政策、突发性灾害等)的影响或制约,因此各驱动因子的权重系数是不尽相同的。因此,应该说,本文中建立的模型还只是一个初步的简化模型,还需要在以上几个方面进行进一步的深入研究。

参考文献 (References)

- [1] Liu Chengwu, Li Xiubin. Regional differences in the changes of the agricultural land use in China during 1980-2002. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(2): 139-145. [刘成武, 李秀彬. 1980年以来中国农地利用变化的区域差异. *地理学报*, 2006, 61(2): 139-145.]
- [2] Maik Heistermann, Christoph Muller, Kerstin Ronneberge. Land in sight? Achievements, deficits and potentials of continental to global scale land-use modeling. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 114: 141-158.
- [3] Kevin E. Trenberth. Rural land use change and climate. *Nature*, 2004, 427: 213-214.
- [4] Jonathan A Foley, Ruth DeFries, Gregory P Asner et al. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309: 570-573.
- [5] Zhou Qingbo, Liu Jia, Wang Limin et al. Current situation and prospect analysis of the application of EOS-MODIS satellite data in agriculture. *Journal of Library and Information Sciences in Agriculture*, 2005, (2): 202-205. [周清波, 刘佳, 王立民等. EOS-MODIS 卫星数据的农业应用现状及前景分析. *农业图书情报学刊*, 2005, (2): 202-205.]
- [6] Wu Bingfang. Operational remote sensing methods for agricultural statistics. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(1): 25-35. [吴炳方. 全国农情监测与估产的运行化遥感方法. *地理学报*, 2000, 55(1): 25-35.]
- [7] Li Jinggang, He Chunyang, Shi Peijun et al. Change process of cultivated land and its driving forces in the North China during 1983-2001. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 274-282. [李景刚, 何春阳, 史培军等. 中国北方13省1983年后的耕地变化与驱动力研究. *地理学报*, 2004, 59(2): 274-282.]
- [8] Zhang Guoping, Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang. Spatial-temporal changes of cropland in China for the past 10 years based on remote sensing. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3): 323-332. [张国平, 刘纪远, 张增祥. 近10年来中国耕地资源的时空变化分析. *地理学报*, 2003, 58(3): 323-332.]
- [9] Xiao Xiangming, Boles Stephen, Froking Steve et al. Mapping paddy rice agriculture in South and Southeast Asia using multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 100: 95-113.
- [10] Liu Jiyuan, Liu Mingliang, Tian Hanqin et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990-2000: An analysis based on Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98: 442-456.
- [11] Tan Guoxin, Shibasaki Ryosuke. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration. *Ecological Modelling*, 2003, 168: 357-370.
- [12] Ben-Akiva M E, Lerman S R. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge: MIT Press, 1985.
- [13] Zheng Siqi, Fu Yuming, Liu Hongyu. A study on location choice decision of urban residents using ordered logit model. *Progress in Geography*, 2004, 23(5): 86-93. [郑思奇, 符育明, 刘洪玉. 利用排序多元Logit模型研究城市居民的居住区位选择. *地理科学进展*, 2004, 23(5): 86-93.]
- [14] Chen Yanguang, Liu Jisheng, Fang Yangang. Utility maximization, Logit transformation and the basic mathematical models for analytical urban geography. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(5): 581-586. [陈彦光, 刘继生, 房艳刚. 效用最大化、Logit变换和城市地理学的数量分析模型. *地理科学*, 2002, 22(5): 581-586.]
- [15] Yang Peng, Tan Guoxin, Zha Yan et al. Integrating remotely sensed data, GIS and crop growth model to assess crop yield. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2005. [杨鹏, 谈国新, 查燕等. 集成遥感影像、地理信息系统和作物模型的作物单产研究. 见: *资源遥感与数字农业: 3S技术与农业应用*. 北京: 中国农业科技出版社, 2005.]
- [16] Priya Satya, Shibasaki Ryosuke. National spatial crop yield simulation using GIS-based crop production model. *Ecological Modelling*, 2001, 135: 113-129.
- [17] Oga K, Yanagishima K. JIRCAS working report No.1: International food and agricultural policy simulation model. Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS) Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 1996. 121.
- [18] Parker D C, Manson S M, Janssen M A et al. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003, 93(2): 314-337.
- [19] Billie Leff, Navin Ramankutty, Jonathan A Foley. Geographic distribution of major crops across the world. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004, 18, GB1009, doi: 10.1029/2003GB002108.
- [20] Duan Zengqiang, Verburg P H, Zhang Fengrong et al. Construction of a land-use change simulation model and its application in Haidian district, Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 1037-1047. [段增强, Verburg P H, 张凤荣等. 土地利用动态模拟模型的构建及其应用: 以北京市海淀区为例. *地理学报*, 2004, 59(6): 1037-1047.]

- [21] He Chunyang, Shi Peijun, Li Jinggang et al. Scenarios simulation land use change in the northern China by system dynamic model. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(4): 599-607. [何春阳, 史培军, 李景刚 等. 中国北方未来土地利用变化情景模拟. *地理学报*, 2004, 59(4): 599-607.]

Global-scale Modeling of Future Changes in Sown Areas for Major Crops Based on a Logit Model

WU Wenbin^{1,2}, YANG Peng^{1,3}, TAN Guoxin⁴, ZOU Jinqiu¹,
SHIBASAKI Ryosuke², TANG Huajun¹

(1. *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Lab of Resources Remote Sensing and Digital Agriculture, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;*

2. *Center for Spatial Information Science, the University of Tokyo, Tokyo 153-8505, Japan;*

3. *Center for Climate System Research, the University of Tokyo, Chiba 277-8568, Japan;*

4. *Engineering Research Center for Education Information Technology, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China)*

Abstract: Potential dynamics of agricultural crop sown area has attracted a wide range of attention from numerous researchers due to its ecological and socio-economic implications. This paper describes a method to develop and implement an integrated model to dynamically simulate future changes in sown areas of the world's major crops (rice, maize, wheat and soybean) at a global scale. The general hypothesis of this study is that crop sown area change is directly linked with farmer decisions on crop choice, and what kind of crop to be cultivated is highly dependent on the random utility of available crops. The modeling approach is based on a crop choice model, which is a Multinomial Logit Model and used to model farmer crop choice decisions among a variety of available alternatives by using an optimization approach. The assessment of model performance by comparing model estimates with FAO statistical data (2001-2003) and MODIS land cover product (2001) indicates its reliability and dignity for addressing the complicated dynamic change of agricultural land use change at present and capability for long-term scenario investigation and applications for the future. From model simulation for crop sown area change during 2005-2035 in different regions in the world, global potential cropping patterns of major crops can be interpreted. Moreover, the results present that the change rates and trajectories of crops in different regions show a great variation over time and space.

This study is an attempt of detecting future sown area change at a global level by using a simplified approach along with some assumptions. Although some uncertainty remains in the model, the outcomes can help to understand and explain the causes, locations, consequences and trajectories of land-use change, and provide a great support service for land-use planning and policy-making activities.

Key words: agricultural crop sown area; dynamic change; simulation; Logit model; crop choice; global scale