

基于 FCS 及 EPIC 模型的未来情境下作物空间竞争模拟

何英彬^{1,2}, 高明杰^{1*}, 周振亚¹, 张 晴¹, 韦文珊¹, 陈学渊¹, 刘 洋¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 天津工业大学管理学院, 天津 300387)

摘 要: 该文模拟了未来 2030 年气候变化和社会经济情景下东北地区粮食作物玉米、水稻和大豆空间竞争情况, 并将竞争结果空间化, 以期为相关研究和农业区域布局政策制定提供参考。该文设置 A2C1D1 (IPCCA2 CO₂ 排放气候变化情景、农民无打工收益、3 种作物政府收购价格翻一番)、A2C1D2 (IPCCA2 CO₂ 排放气候变化情景、农民无打工收益、3 种作物政府价格翻二番)、B2C2D1 (IPCC B2 CO₂ 排放气候变化情景、农民无打工收益、3 种作物政府收购价格翻一番) 和 B2C2D2 (IPCC B2 CO₂ 排放气候变化情景、农民无打工收益、3 种作物政府价格翻二番) 等 4 种 IPCC 气体排放气候变化和社会经济混合情景, 与 2009 年 3 种作物空间竞争结果比较, 可以得到如下结论: 1) 在 A2C1D1 情景下, 玉米面积所占粮食作物农田面积比例由 82.3% 下降到 77.36%, 大豆由 7.7% 上涨至 8.93%, 水稻则由 10% 上涨到 13.71%, 空间上, 玉米在小兴安岭与嫩江平原区之间的过渡地带及辽宁省腹地水系较为发达地区的周边地区有所减少, 而大豆在小兴安岭与嫩江平原区之间的过渡地带, 水稻在辽宁省腹地辽河平原面积相应有所增加; 2) 在 A2C1D2 情景下, 玉米面积比例由 82.3% 下降到 75.56%, 而大豆由 7.7% 上涨至 9.52%, 水稻则由 10% 上涨至 14.92%, 空间上, 这一情景的变化与 A2C1D1 非常相似; 3) 在 B2C2D1 情景下, 玉米所占面积比例由 82.3% 上升到 84.16%, 而大豆由 7.7% 下降至 7.27%, 水稻由 10% 则下降到 8.57%, 空间上, 玉米面积在小兴安岭与嫩江平原区之间的过渡地带和辽宁水系较为丰富的腹地地区, 大豆种植区在小兴安岭与嫩江平原区之间的过渡地出现萎缩, 而水稻在辽宁腹地种植面积逐渐减少, 这一现象与 A2C1D1 和 A2C1D2 相反; 4) 在 B2 收购价格翻两番的情景下, 玉米所占面积比例由 82.3% 下降到 80.06%, 而大豆由 7.7% 上升至 9.01%, 而水稻由 10% 则上涨到 10.93%, 空间上分布没有明显变化。从指导实际生产的角度分析, 在中国经济发展呈现新常态特征的情况下, 2030 年 B2C2D1 和 B2C2D2 的情景预测可能更加符合实际情况, 从农产品相对平衡发展的角度出发, 收购价格无差别化提高 2 倍对于优化农产品布局更加有利。

关键词: 作物; 遥感; 模型; 粮食作物; 空间竞争; FCS 模型; EPIC 模型; 未来情景

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.13.024

中图分类号: S127

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-13-0171-07

何英彬, 高明杰, 周振亚, 等. 基于 FCS 及 EPIC 模型的未来情境下作物空间竞争模拟[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 171-177. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.13.024 http://www.tcsae.org

He Yingbin, Gao Mingjie, Zhou Zhenya, et al. Simulation on crops spatial competition based on FCS and EPIC models under future scenarios[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(13): 171-177. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.13.024 http://www.tcsae.org

0 引 言

由于土地利用与土地覆盖变化是人类活动对地球表层重建的重要标志之一, 因此, 自 20 世纪 90 年代起, 土地利用与土地覆盖变化就已经成为地学研究的焦点^[1-3]。农业是人类与土地关系最为密切的生产活动, 农业土地利用从景观尺度反映了人类对自然生态系统的影响方式及程度^[4]。农田生态系统中的粮食作物空间竞争涉及到作物的组成与布局、复种或休闲及种植制度等特征, 反映在空间范围内人类对农业生产资源利用的状况^[5], 是进行农作物空间结构变化模拟研究的基础, 也是作物结构调整

和优化的依据^[6-7]。

粮食作物空间竞争模拟关键需要解决好“人与环境”的关系问题。目前, 围绕此领域的研究方法可以分为自上而下方法 (top-down methodology) 和自下而上方法 (bottom-up methodology)^[8-9] 两大体系。自上而下方法体系侧重从农田环境角度出发, 主要针对土地区域、地块或空间统计单元开展模拟, 此类方法的优点是影响因子量化相对容易, 应用时间序列方法预测影响因子未来变化较易操作, 数据较易获取^[10]。这一类方法包括国际应用系统分析研究所土地利用与覆盖模型 (International Institute of Applied System Analysis: land use change model, IIASA-LUC)^[11]、系统动力学模型^[12]、空间统计模型——土地利用变化及其影响模型 (conversion of land use and its effect, CLUE)^[13]、Logistic 模型^[14]、小尺度土地利用变化及其影响模型 (conversion of land use and its effect at small region extent, CLUE-S)^[15]。但是, 此类方法存在欠缺农户选择或决策对于土地的影响、土地单元与决策主体匹配较难等问题^[16]。

收稿日期: 2015-01-05 修订日期: 2015-05-23

基金项目: 国家自然科学基金青年基金 (41001049)

作者简介: 何英彬, 男, 吉林省吉林市人, 副研究员, 博士, 硕士生导师, 从事作物模拟及土地利用研究, 北京 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 100081。Email: heyingbin@caas.cn

※通信作者: 高明杰, 男, 河北省保定市人, 副研究员, 博士, 硕士生导师, 主要从事农业区域布局研究, 北京 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 100081。Email: gaomingjie@caas.cn

基于此,很多学者从“人”(或智能体,agent)的角度出发开展模拟,即自下而上地应用基于 Agent 的模型研究不同层次农户行为^[17],如墨西哥南部尤卡坦半岛地区整体评价模型(Southern Yucatán Peninsular Region of Mexico integrated assessment, SYPRIA)^[18]、人与景观模型(the people and landscape model, PALM)^[19]、同伴模型(companion modelling, ComMod)^[20]等。这一类方法在中国的粮食作物空间格局模拟中也得到了应用,例如黄河清等应用土地利用人工社会模型(artificial society model of land use change, LUC-ASM)^[21]、陈海等应用多智能体模型(multi-agent systems, MAS)方法研究多尺度农户决策^[22],余强毅等应用农作物空间格局动态变化模型(crop pattern dynamics, CroPaDy)模拟村镇级别农户决策预测农作物空间分布^[23]。虽然这些研究为农作物空间分布模拟预测方面的研究提供较好的参考,但是,目前国内基于 agent-based 方法的模拟还存在以下几个问题:1) Agent-based 模拟方法源自欧美,其具可操作的条件之一是研究对象为大农场、农户,即农田作物种植面积广且连片,农场边界较易确定,农户与农户之间决策影响关系容易确定,了解农场主选择意愿后可直接确定将要种植的作物;与此相反,中国种植生产以小作坊式耕种为主,不同农户种植区域犬牙交错,边界不易确定;基于此,目前国内 Agent-based 模型的研究尺度基本被定格在村或镇一级,这对更大空间尺度研究限制极大;2) 当前国内模拟研究都是以农户个体决策为起点,进行归类分析,缺乏对农户个体集成或农户群体的整体性、共性研究;农户决策基本以研究人员宏观判断知识为依据,农户最基础的符合实际的决策过程往往被忽略;3) 决策结果的空间显性,即决策过程模拟结果如何更好地在空间上得以表达仍然是没有很好解决的问题。

基于以上几点问题,作者直接以农户整体为研究对象,根据调研结果从农户实际的决策思维角度完成体现农户决策过程模型的建立^[24];并将空间研究尺度设置在区域水平即东北 3 省(吉林、辽宁和黑龙江),以突破以往研究的尺度限制;最后将作物生长模型——环境政策与气候整合模型(environmental policy integrated climate, EPIC)引入到研究中,更好完成农户决策结果的空间显性表达,实现 2010 年粮食作物玉米、水稻和大豆空间竞争的模拟。本文在此基础上,作为以前工作的延续,模拟了未来 2030 年气候变化和社会经济情景下东北地区粮食作物玉米、水稻和大豆空间竞争情况,并将竞争结果空间化,以期对相关研究和农业政策制定提供参考。

1 方法与数据

1.1 研究区域

研究区域为东北 3 省,包括辽宁省、吉林省和黑龙江省,38°43′~53°33′N, 118°53′~135°05′E,总面积约为 79 万 km²。该区域是典型大陆温带季风性气候,地形以平原、山前丘陵和高山为主,耕地主要分布在平原地区。之所以选择东北 3 省为研究区域有以下几点原因:1) 以农户整体构建农户决策模型,需要考虑研究区经济发展

水平、农户生活方式、文化背景、思维习惯、受教育水平、农业生产方式是否有均衡性、一致性,甚至个人偏好都有共性。东北三省由于历史原因,在中国经常以整体区域被提及,区域内农民的语言、文化背景、思维方式、行为习惯和经济水平较为均衡一致,这为建立区域尺度的农户决策模型提供了较好的条件;2) 东北 3 省绝大部分耕地处于平原区,且一年一熟,种植制度较为简单,大宗作物即本文所要研究的玉米、水稻和大豆种植集中连片,其他粮食作物和经济作物对于研究结果影响较小,这在中国其他区域是很难得的条件。此外,中国实行的基本农田保护政策,可以避免其他土地利用类型占用粮食作物用地,从而极大地降低了土地用途变化(包括耕地转化为其它性质用地,及耕地内部种植其他经济作物可能带来的复杂性;3) 该区域种植的玉米、水稻和大豆品种不多,且生理和物候特性较为相似,这为在这一地区统一应用一套 EPIC 模型生长参数成为可能,进而为实现粮食作物空间格局的显性表达做好铺垫。

1.2 研究方法

1.2.1 农户选择作物模型(farmer crop selection model, FCS)

在区域尺度上,以研究区农民整体为研究对象,建立农户选择作物模型,即通过不进行农户分类而假设研究区农户都为理性决策者并按照利益最优化为原则选择种植作物,建立全区通用的作物选择模型,为研究区未来 2030 年气候变化与社会经济波动情景下作物种植空间竞争模拟做好铺垫。选择典型代表区域进行农户调研,掌握影响农户种植决策的最直接因素。影响农民作物种植利益最大化判断的自然、社会经济因素包括毛收益因素,如作物单产及作物收购价及成本因素,如化肥用量及价格、农药价格、地形条件、田间管理条件等。

基于以上分析,作者建立了研究区 FCS 模型,模型的基本原理是以研究区所有农户整体为视角,将其设想为理性决策人即追求利益最大化(经在东北 3 省的农户调研验证,这一原则符合东北地区实际情况),在单位作物种植面积上计算纯利润时考虑单独作物毛收益及成本因素,通过二者计算出单位面积作物纯收益,进行三种作物纯收益的比较,选择纯收益最大的作物作为种植作物。在模型设计层面,并没有着重考虑土地权属流转,这是因为农田保护政策只允许在耕地性质下进行,不允许更改土地利用性质;耕地在不同农民间流转,他们决策方式的一致性与趋同性不影响决策机理^[24]。

1.2.2 作物空间格局模拟结果空间化表达方法

为了将 FCS 模型的结果空间化,本文引入了作物生长模型 EPIC。因为 EPIC 模型需要输入作物生长过程中每天的气候数据,所以它较好地反映了气候对作物生长的影响^[25-26];此外,土壤和田间管理数据的录入,可以使影响单产的相关因素在模型中都得以体现,单产预测结果比较准确^[27];更重要的是该模型可以将单产结果在空间定位,很好解决了空间显性问题^[28-30]。本文将东北粮食作物种植区网格成 1 km×1 km 的区域,每个网格都作为一个模拟单产的单元,应用 EPIC 模型

进行模拟。以单产为纽带，将 FCS 模型模拟结果值与单产空间单元一一对应，可以获得粮食作物空间竞争模拟结果。

1.2.3 未来情景设置

1) 气候变化情景

气候变化政府间研究小组 (intergovernmental panel on climate change, IPCC) 在温室气体排放情景特别报告 (special report on emission scenarios, SRES) 中设计了未来全球发展模型：分别为 A1、A2、B1 和 B2 共 4 类情景，其中 A1 和 A2 强调经济发展，但在经济和社会发展程度上有所不同；B1 和 B2 强调可持续发展，但在有关发展程度上同样存在差异。根据目前中国的实际情况和国家政策，在本文中选取 IPCC A2 和 B2 作为温室气体排放情景进行气候变化模拟^[31]。基于区域气候模型 PRECIS (providing regional climates for impacts studies) 的模拟，完成 2015—2030 年的逐日气候要素 (日照时数、最高温、最低温、降水量、相对湿度和风速模拟)^[32]。

2) 社会经济情景

在气候变化温室气体排放情景设置及相应气候变化模拟的基础上，本研究因地制宜地设定了影响粮食作物空间竞争的社会经济因子模式。依据 FCS 模型可知^[24]，影响比较收益的因子分别为收购价 (政策因子)、油价主导的各种投入成本 (市场因子) 及城镇化主导的打工

补偿收益 (城镇化率指标可以直接反应经济发展状况，二者之间存在较强的线性相关关系)。经比较研究，油价起伏对于 3 种作物化肥投入的影响幅度几乎相同，不是影响 3 种作物空间竞争结果差异化的显著因子，因此，在未来情景设置时，未将其纳入。根据影响因子对于最终结果的影响及未来变化幅度、可预测性，本文选择城镇化率及政府收购价格作为代表社会经济情景的具体指标。在 A2 气体排放情景下，由于经济的快速发展，城镇化率逐渐攀高，到 2030 年达到 70% 以上，绝大多数农民转化为市民，不在农村劳作，而土地流转促成的农业耕种集约化及其带来的收入大幅提高使得农民出外打工意愿大幅降低，因此，在此情景下农民打工收入将降低为 0。若以 C1 情景 (高城镇化率) 代表农民不愿外出打工即无打工收益，而以 C2 情景 (城镇化率相对现今有小幅提升) 代表农民愿意外出打工，赚取打工收益，那么在 A2C1 城镇化率高的情境下，农民打工收益为 0；相对应的 B2C2 情景下，农民外出打工收益依然存在。主要粮食作物政府收购价格代表了政策指标，分成 2 个层次：收购价格翻一番和翻二番；收购价格翻一番是按照目前 CPI 指数每年增长 3% 的水平，在 2030 年翻一番，因此此种情景属于稳妥性政策取向 (D1)；而到 2030 年翻二番是激进型政策措施，大力鼓励农业发展农民增收 (D2)。最终获得的综合情景情况如表 1。

表 1 未来情景组合表

Table 1 Combined future scenarios

未来情景代号 Scenario code	未来情景说明 Scenario specification
A2C1D1	IPCC A2 气候变化、无打工收益、价格翻一番 IPCC A2 scenario, no income of farmers through going to urban to do temporary work, prices for purchasing food crop by government doubling
A2C1D2	IPCC A2 气候变化、无打工收益、价格翻二番 IPCC A2 scenario, no income of farmers through going to urban to do temporary work, prices for purchasing food crop by government trebling
B2C2D1	IPCC B2 气候变化、有打工收益、价格翻一番 IPCC B2 scenario, farmers income through going to urban to do temporary work existing, prices for purchasing food crop by government doubling
B2C2D2	IPCC B2 气候变化、有打工收益、价格翻二番 IPCC B2 scenario, farmers income through going to urban to do temporary work existing, prices for purchasing food crop by government trebling

1.3 数据收集与处理

运行 EPIC 模型需要的气候因子由 PRECIS 模型运行得到，2030 年农民判断预测由 2029 年结果决定，因此气候模型模拟 1 km×1 km 网格 2029 年的气候因子数据。此外，应用 1:100 矢量土壤类型图 (来自南京土壤所) 确定土壤类型属性和质地特征，包括物理和化学性质如土壤 pH 值、有机碳含量、土壤容重等，将矢量土壤类型网格化成 1 km×1 km 栅格，使之与前述网格在地理位置上一一对应，田间管理参数来自于已经完成的模拟工作^[24]。将气候、土壤数据及管理数据输入 EPIC 模型，获得水稻、玉米和大豆单产空间图。成本因素如化肥价格、农药价格、外出打工收入由农户调查问卷获取。1:25 万的 DEM 模型和水系等矢量图来自东北地区自然资源数据库。坡度和缓冲区 (buffer) 数据由 DEM 通过 ArcGIS 衍生而成，空间分辨率为 1 km×1 km。模拟采用的农作物空间分布数据是通过 MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer)

图像获取的东北地区水稻、玉米和大豆 2009 年实际空间分布图^[33]。经过结果的校正修正，该图的样点验证精度超过了 90%。该图基准的空间分辨率为 0.25 km×0.25 km，本文将该验证图重采样为 1 km×1 km。

2 结果与分析

2.1 A2C1D1 情景模拟结果

A2C1D1 情景是经济快速发展，但农业鼓励政策相对温和的情景。至 2030 年，若中国城镇化率达到 70% 以上，东北地区至少不低于这一平均数字，意味着农忙打工补充收入不存在，即相当于在原效益基础上，农民种植玉米大豆的年收益各减去 1 万元^[24]，而收购价格翻一番，模拟结果见图 1a。由图可知，在基本农田面积变化不大的假设前提下，玉米所占大宗粮食作物农田面积比例由 82.3% (数字来源于 2009 年的模拟结果) 下降到 77.36%，而大豆由 7.7% 上涨至 8.93%，水稻则由 10% 上涨到

13.71%；空间上，玉米在小兴安岭与嫩江平原区之间的过渡地带及辽宁省腹地水系较为发达地区的周边地区有所减少，而大豆在小兴安岭与嫩江平原区之间的过渡地带，水稻在辽宁省腹地辽河平原面积相应有所增加。这

种变化情景的结果进一步说明：在不考虑打工补助的情况下 3 种粮食作物在东北三省大部分区域仍然没有可比性。由于种植适宜性的优势过于明显，因此，情景的改变无法撼动玉米的主导地位。

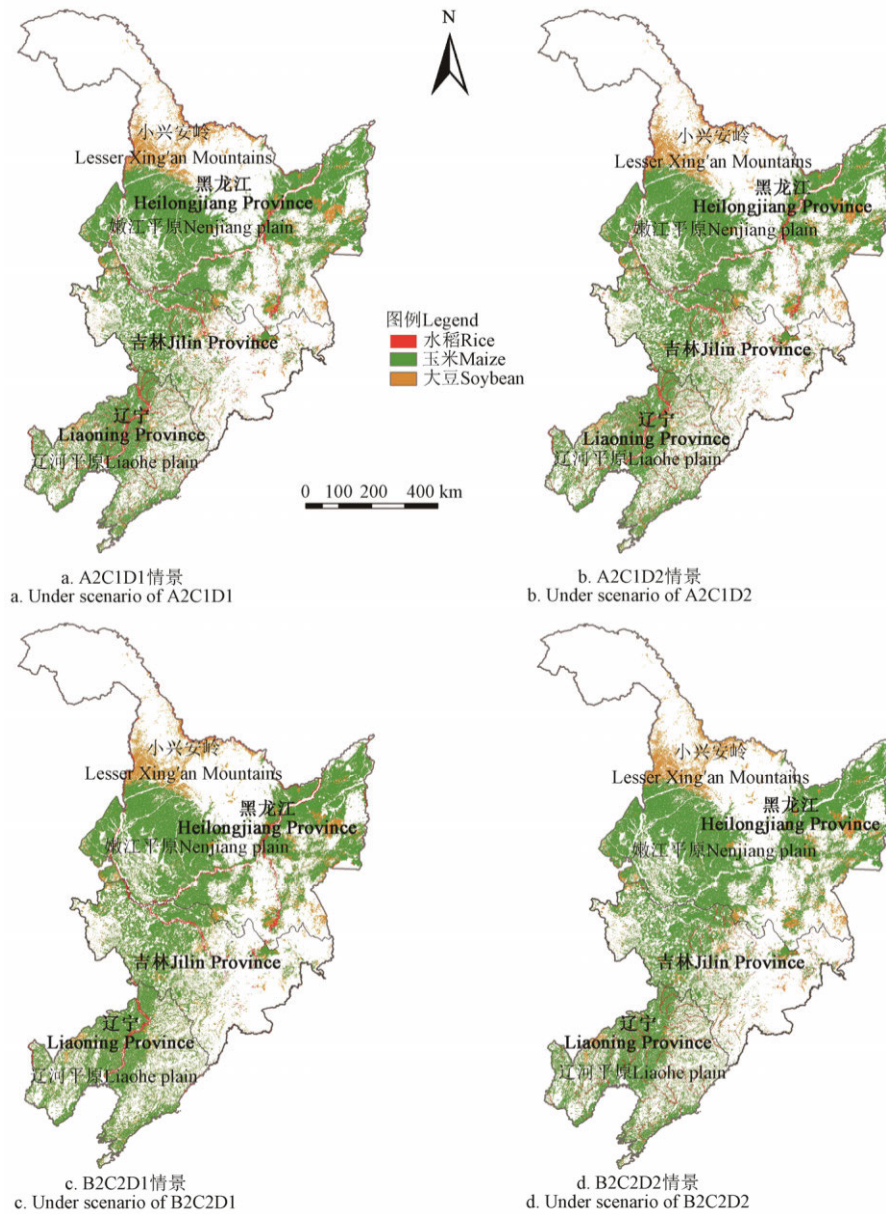


图 1 2030 年研究区 4 种情景粮食作物空间竞争模拟结果
Fig.1 Simulation of food crops spatial competition under four scenarios for year of 2030 in study area

2.2 A2C1D2 情景模拟结果

A2C1D2 情景是经济快速发展，同时，由于经济快速发展带来的财政收入的增加，使得政府有财力大幅反哺农业，并实施鼓励政策的情景。与 A2C1D1 有所不同的是，政府收购价格翻二番，模拟结果见图 1b。由图可知，在基本农田面积变化不大的假设前提下，玉米所占大宗粮食作物农田面积比例由 82.3%^[24]下降到 75.56%，而大豆由 7.7%上涨至 9.52%，水稻则由 10%上涨到 14.92%；空间上，这一情景的变化与 A2C1D1 非常相似。模拟研究年份 2009 年玉米的收购价格为湿质量 1.8 元/kg，大豆收购价格为 2.6 元/kg，水稻收购价格为 2.8 元/kg。这种

变化情景的结果进一步说明：在政策和城镇化率双因素作用下，玉米种植面积出现了更大幅度的下降，而水稻、大豆种植面积出现了上涨，且水稻种植面积上涨幅度超过了大豆。城镇化率及政策指标对于作物空间竞争结果演变有一定程度的影响。虽然玉米种植优势依旧明显，但是，这一情景有利于作物种植的平衡。

2.3 B2C2D1 情景模拟结果

B2C2D1 情景是更加注重经济的可持续发展及环境保护，农业鼓励政府相对温和的情景。在这种情景下，经济发展速度较为温和，城镇化率缓慢提升，农民一样外出打工，其结果与 2009 年结果相比较差异不大，但各

种粮食作物面积比例还是有些细微变化: 玉米所占面积比例由 82.3% 上升到 84.16%, 而大豆由 7.7% 下降至 7.27%, 水稻则由 10% 下降到 8.57%; 空间上, 玉米面积在小兴安岭与嫩江平原区之间的过渡地带和辽宁水系较为丰富的腹地地区, 大豆种植区在小兴安岭与嫩江平原区之间的过渡地出现萎缩, 而水稻在辽宁腹地种植面积逐渐减少, 这一现象与 A2C1D1 和 A2C1D2 相反。结果说明, 虽然在这种情景下, 作物空间竞争变化不大, 但水稻和大豆的面积都有了不同程度的缩减。玉米种植适宜黄金带的优势进一步凸显, 如图 1c。

2.4 B2C2D2 情景结果

B2C2D2 是最能体现政府对于粮食生产、保障粮食安全而实施的政策倾斜的情景。在这种情景下, 虽然经济是可持续发展, 政府财力在没有大幅增加的情况下, 政府仍然能够提升两倍的收购价格, 这对于粮食生产具有非常重大的提升效应。到 2030 年 3 种粮食作物收购价翻两番后, 结果如图 1d。由图可知其结果与 2009 年情况基本相当, 没有太大变化, 但水稻和大豆种植面积有所提升, 但幅度不大, 因此, 作物空间竞争的格局不会发生大的变化。玉米所占面积比例由 82.3% 下降到 80.06%, 而大豆由 7.7% 上升至 9.01%, 而水稻则有 10% 上涨到 10.93%。说明虽然在这种情景下, 政策因素对于作物空间竞争变化起到了一定的作用。

3 讨论

1) 本研究参考设置了 A2 和 B2 2 种 IPCC 温室气体变化情景下的气候因子变化情况, 根据研究结果, 气候因素在短期内, 对于粮食作物空间竞争结果影响不大。在模拟过程中, 并没有考虑极端天气或天气导致的灾害对于农作物空间竞争的影响, 因为这种情况并不会改变农民对于常规种植的认知和判断。从模拟的 4 种情景看, 打工收益、收购价格的变动, 在一定程度上改变了粮食作物种植面积比例, 但没有改变粮食作物空间竞争格局结果, 即玉米种植仍然占据主导优势。由于东北地区是世界黄金玉米带, 玉米品种产量高, 且经过一定的技术改进, 与大豆单产差距较为悬殊, 玉米效益远高于大豆, 而两者收购价格的差异并不大, 从调查问卷估计的投入成本也大致相同, 使得玉米相对于大豆有绝对的种植优势。由于水稻种植过程中田间管理较为繁琐, 且成本较高, 对于地形和水源有一定的地理区位要求, 虽然收购价格和单产相对于玉米不算低, 但种植规模远逊于玉米。

2) 从 2.1 节和 2.2 节可以发现, 城镇化率对于模拟结果影响权重重要大于粮食收购价格, 城镇化率高及收购价格翻两番对于玉米种植面积的推广都不利。玉米面积种植比例在 A2C1D1 城镇化率高涨的单因素影响下由 82.30% 下降到 77.36%, 下降了近 5 个百分点, 但是在 A2C1D2 城镇化率和政策因素双驱动下, 又下降了近 2 个百分点降至 77.56%, 可见二者对于粮食作物空间竞争的影响程度; 此外, 在 B2C2D2 情景下, 即收购价政策单因素影响下, 玉米面积下降了近 2 个百分点; 这些结果都说明城镇化率 (即打工因素) 对于粮食作物种植面积

的影响几乎是政策价格因素的 2 倍。在几乎没有城镇化率和收购价政策影响的 B2C3D1 情景里, 各种粮食作物面积所占比例几乎无明显变化。从空间竞争角度分析, 除了小兴安岭与哈尔滨平原区之间的过渡地带和辽宁水系较为丰富的腹地 (辽河平原), 2030 年其他地区并没有出现明显的作物空间竞争态势。A2C1D1、A2C1D2 情景与 B2C2D1 情景在小兴安岭与哈尔滨平原区之间的过渡地带和辽宁水系较为丰富的腹地空间竞争结果呈现相反结果, 而 B2C2D2 情景可以视为无明显空间竞争。

3) 在文献[24]中, 粮食作物空间竞争模拟精度接近为 70%。因为模拟精度非百分之百, 因此, 本文在结果中未使用模拟的、具体的玉米、水稻及大豆面积值作为衡量指标, 而是应用百分比, 其作用在于可以 2009 年真实的本底数据为基础, 参考本研究的浮动百分比预算未来的实际面积值。

4) 虽然 EPIC 模型在本研究中, 很好地模拟了粮食作物的单产, 但是 EPIC 模型毕竟是通用模型, 由很多不同作物模拟模块组成; 未来的研究可以深入考虑应用水稻、玉米和大豆专属作物生长模型进行单产模拟, 进一步提供精度。此外, 科学技术的进步对于模拟结果将会产生重要影响, 比如玉米或水稻采用新的品种, 或者玉米在东北地区进行密集栽植, 会大大提高玉米抗倒伏的能力, 同时也会提高玉米单产, 但遗憾的是这些变化在模拟过程中是无法体现。因此, 在本文的研究中实际上存在一条间接假设, 即未来到 2030 年, 东北地区不会出现相对于现在粮食种植的重大科技进展 (会导致作物种植单产产生飞跃式增长的技术)。但未来如何将此因素考虑其中是值得斟酌的重要技术环节。

5) 从指导实际生产的角度分析, 在中国经济发展呈现新常态特征的情况下, 经济增长基本符合可持续发展标准, 即 B2 气候情景; 在非高速经济发展状态下, 城镇化率不会迅猛提升到非常高的水平。因此, 2030 年 B2C2D1 和 B2C2D2 的情景预测可能更加符合实际情况, 唯一浮动的变量即是政府政策因素, 即主粮收购价格变化。从农产品相对平衡发展的角度出发, 收购价格无差别化提高两倍对于优化农产品布局更加有利, 尤其是对于东北大豆的可持续发展较有帮助, 小兴安岭与哈尔滨平原区之间的过渡地带的大豆是全国少有的高油大豆产区, 对于保障中国用油安全具有战略意义。而东北水稻绝大部分是粳稻, 其品质优良, 食用口感好, 是中国重要的稻类商品粮基地, 如果加强大中型水利工程和田间基础设施建设, 加快机械化生产进程, 将具有较强的农产品市场竞争力。从农户生产和收益角度分析, 在政府缓慢提高收购价即温和政策背景下, 种植玉米收益更高, 可在一些条件允许的地区实现“水改旱”; 如玉米、水稻和大豆收购价实现无差别快速增长, 保持目前的耕种状态是很好的选择。

4 结论

文中设置 A2C1D1 (IPCCA2 CO₂ 排放气候变化情景、农民无打工收益、3 种作物政府收购价格翻一番)、

A2C1D2 (IPCCA2 CO₂ 排放气候变化情景、农民无打工收益、3 种作物政府价格翻二番)、B2C2D1 (IPCC B2 CO₂ 排放气候变化情景、农民无打工收益、3 种作物政府收购价格翻一番) 和 B2C2D2 (IPCC B2 CO₂ 排放气候变化情景、农民无打工收益、3 种作物政府价格翻二番) 等 4 种 IPCC 气体排放气候变化和社会经济混合情景, 模拟了未来 2030 年气候变化和社会经济情景下东北地区粮食作物玉米、水稻和大豆空间竞争情况。根据研究结果, 气候因素在短期内, 对于粮食作物空间竞争结果影响不大。打工收益、收购价格的变动, 在一定程度上改变了粮食作物种植面积比例, 城镇化率对于模拟结果影响权重要大于粮食收购价格, 城镇化率高及收购价格翻两番对于玉米种植面积的推广都不利。在中国经济发展呈现新常态特征的情况下, B2C2D1 和 B2C2D2 的情景预测可能更加符合实际情况, 从农产品相对平衡发展的角度出发, 收购价格无差别化提高 2 倍对于优化农产品布局更加有利。

[参 考 文 献]

- [1] Turner II B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land use and land cover change science/research plan, IGBP Report 35 & IHDP Report 7[R]. Stockholm: IGBP, 1995.
- [2] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land use and land cover change (LUCC) implementation strategy, IGBP Report 48 & IHDP Report 10[R]. Stockholm: IGBP, 1999.
- [3] IGBP. Global change and the earth system: A planet under pressure (IGBP Science 4)[R]. Stockholm: IGBP, 2001.
- [4] 唐华俊, 陈佑启, 邱建军, 等. 中国土地利用/土地覆盖变化研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.
- [5] Liu Jiyan, Deng Xiangzheng. Progress of the research methodologies on the temporal and spatial process of LUCC[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(3): 1-9.
- [6] 殷培红, 方修琦, 田青, 等. 21 世纪初中国主要余粮区的空间格局特征[J]. 地理学报, 2006, 61(2): 190-198.
Yin Peihong, Fang Xiuqi, Tian Qing, et al. Distribution and regional difference of main output regions in grain production in China in the early 21st century[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(2): 190-198. (in Chinese with English abstract)
- [7] Frondoni R, Mollo B, Capotorti G. A landscape analysis of land cover change in the Municipality of Rome (Italy): Spatio-temporal characteristics and ecological implications of land cover transitions from 1954 to 2001[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 100: 117-128.
- [8] Parker D C, Manson S M, Janssen M A. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2003, 93(2): 314-337.
- [9] Verburg P H. Simulating feedbacks in land use and land cover change models[J]. Landscape Ecology, 2006, 21(8): 1171-1183.
- [10] 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 等. 土地利用与土地覆被变化 (LUCC) 模型研究进展[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 456-468.
Tang Huajun, Wu Wenbin, Yang Peng, et al. Recent progresses of land use and land cover change (LUCC) Models[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(4): 456-468. (in Chinese with English abstract)
- [11] Fischer G, Sun L. Model based analysis of future land-use development in China[J]. Agriculture, Ecosystem & Environment, 2001, 85: 163-176.
- [12] Saeed A K, Barlas Y, Yemgun O. Long term sustainability in an agriculture development project: A system dynamics approach[J]. Journal of Environmental Management, 2002, 64(3): 247-260.
- [13] Verburg P H, Schot P P, Dijst M J, et al. Land use change modeling: Current practice and research priorities[J]. GeoJournal, 2004, 61(4): 309-324.
- [14] Xie Yichun, Yu Mei, Tian Guangjin, et al. Socio-economic driving forces of arable land conversion: A case study of Wuxian City, China[J]. Global Environmental Change, 2005, 15: 238-252.
- [15] 吴健生, 冯喆, 高阳, 等. CLUE-S 模型应用进展与改进研究[J]. 地理科学进展, 2012, 31(1): 3-10.
Wu Jiansheng, Feng Zhe, Gao Yang, et al. Recent progresses on the application and improvement of the CLUE-S Model[J]. Progress in Geography, 2012, 31(1): 3-10. (Chinese with English abstract)
- [16] Grimm V, Revilla E, Berger U. Pattern-oriented modeling of agent-based complex systems: Lessons from ecology[J]. Science, 2005, 310: 987-991.
- [17] Verburg P H, Overmars K P. Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: Exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model[J]. Landscape Ecology, 2009, 24, 1167-1181.
- [18] Manson S M. Agent-based modeling and genetic programming for modeling land change in the southern Yucatan Peninsula Region of Mexico[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 111: 47-62.
- [19] Matthews R. The People and Landscape Model (PALM): Towards full integration of human decision-making and biophysical simulation models[J]. Ecological Modelling, 2006, 194: 329-343.
- [20] Barnaud C, Bousquet F, Trebil G. Multi-agent simulations to explore rules for rural credit in a highland farming community of Northern Thailand[J]. Ecological Economics, 2008, 66: 615-627.
- [21] 黄河清, 潘理虎, 王强, 等. 基于农户行为的土地利用人工社会模型的构造与应用[J]. 自然资源学报, 2010, 25(3): 353-367.
Huang Heqing, Pan Lihu, Wang Qiang, et al. An artificial society model of land use change in terms of households' behaviors: Model development and applications[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(3): 353-367. (in Chinese with English abstract)
- [22] 陈海, 杨维鸽, 梁小英, 等. 基于 Multi-Agent System 的多尺度土地利用变化模型的构建与模拟[J]. 地理研究, 2010, 29(8): 1519-1527.
Chen Hai, Yang Weige, Liang Xiaoying, et al. Multi-scale modeling of land use based on the MAS from field to village: A case study for Mengcha Village of Mizhi County of Shaanxi Province[J]. Geographical Research, 2010, 29(8): 1519-1527. (in Chinese with English abstract)
- [23] 余强毅, 吴文斌, 唐华俊, 等. 基于农户行为的农作物空间格局变化模型架构[J]. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3266-3276.
Yu Qiangyi, Wu Wenbin, Tang Huajun, et al. An agent-based model for simulating crop pattern dynamics at a regional scale: Model framework[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(15): 3266-3276. (in Chinese with English abstract)
- [24] 何英彬. 基于 FCS 及 EPIC 模型东北作物空间竞争模拟[R]. 北京: 国家自然科学基金委, 2013.
He Yingbin. Linking an agent based farmer crop selection model FCS with an agronomic model EPIC to simulate cropping pattern in Northeast China[R]. Beijing: NSFC, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [25] Bryant K J, Benson V W, Kiniry J R, et al. Simulating corn yield response to irrigation timings: Validation of the EPIC model[J]. Journal of Production Agriculture, 1992, 5(2): 237-242.

- [26] 范兰, 吕昌河, 陈朝. EPIC 模型及其应用[J]. 地理科学进展, 2012, 31(5): 584—592.
Fan Lan, Lü Changhe, Chen Chao. A review of EPIC model and its application[J]. Progress in Geography, 2012, 31(5): 584—592. (in Chinese with English abstract)
- [27] Cabelguenne M, Debaeke P, Bouniols A. EPIC phase, a version of the EPIC model simulating the effects of water and nitrogen stress on biomass and yield, taking account of developmental stages: Validation on maize, sunflower, sorghum, soybean, and winter wheat[J]. Agricultural Systems, 1999, 60(3): 175—196.
- [28] Priya S, Shibasaki R. National spatial crop yield simulation using GIS-based crop production model[J]. Ecological Modelling, 2001, 136(2/3): 113—129.
- [29] Wu Wenbin, Shibasaki R, Yang Peng, et al. Global-scale modelling of future changes in sown areas of major crops[J]. Ecological Modelling, 2007, 27(12): 2137—2154.
- [30] Liu Junguo. A GIS-based tool for modelling large-scale crop-water relations[J]. Environmental Modelling & Software, 2009, 69(2): 115—133.
- [31] 秦大河, Thomas Stocker. IPCC 第五次评估报告第一工作组[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1—6.
Qing Dahe, Thomas Stocker. Highlights of the IPCC working group I fifth assessment report[J]. Progressus Inquisitiones De Mutatione Climatis, 2014, 10(1): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [32] 陈楠, 许吟隆, 陈晓光, 等. PRECIS 模型对宁夏气候变化情景的模拟分析[J]. 第四纪研究, 2007, 27(3): 332—339.
Chen Nan, Xu Yinlong, Chen Xiaoguang, et al. Simulation of climate change scenario during 2071-2100 in Ningxia by PRECIS Model[J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(3): 332—339. (in Chinese with English abstract)
- [33] 黄青, 唐华俊, 周清波, 等. 东北地区主要作物种植结构遥感提取及长势监测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 218—223.
Huang Qing, Tang Huajun, Zhou Qingbo, et al. Remote sensing based monitoring of planting structure and growth condition of major crops in Northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(9): 218—223. (in Chinese with English abstract)

Simulation on crops spatial competition based on FCS and EPIC models under future scenarios

He Yingbin^{1,2}, Gao Mingjie^{1*}, Zhou Zhenya¹, Zhang Qing¹, Wei Wenshan¹, Chen Xueyuan¹, Liu Yang¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. The Management School of Tianjin Polytechnic University, Tianji 300387, China)

Abstract: In this paper, the Northeast China including the 3 provinces of Heilongjiang, Liaoning and Jilin was regarded as study area where maize, rice and soybean were main food crops. Simulation of spatial competition of the 3 crops under 4 future combined scenarios of IPCC CO₂ emission and socio-economic development (urbanization rate and governmental purchasing price for food crops) was conducted for the year of 2030 by application of the FCS (farmer crop selection) model () and EPIC (environmental policy integrated climate) model. The 4 final scenarios were A2C1D1, A2C1D2, B2C2D1 and B2C2D2. A2C1D1 represented a combination scenario by IPCC A2 option, farmers having no income when going to city to do temporary work and prices for food crop purchased by government doubling. A2C1D2 meant a combination scenario by IPCC A2 option, farmers having no income when going to city to do temporary work and prices for food crop purchased by government quadrupling. B2C2D1 was a combination scenario by IPCC B2 option, farmers having income when going to city to do temporary work and prices for food crop purchased by government doubling. B2C2D2 denoted a combination scenario by IPCC B2 option, farmers having income when going to city to do temporary work and prices for food crop purchased by government quadrupling. In comparison with simulation results in 2009, the conclusions were: 1) For the first scenario of A2C1D1, percentage of maize acreage to total arable land decreased to 77.36% from 82.3%, and meanwhile there was an increase from 7.7% and 10% to 8.93% and 13.71% for soybean and paddy rice, respectively; spatially, maize acreage declined in the fringe areas between the Lesser Xing'an Mountain and the Haerbin Plain, but in the Liaohe Plain acreages of soybean and rice went up respectively. 2) For the second scenario of A2C1D2, percentage of maize acreage to total arable land decreased to 75.56% and meanwhile that of soybean and paddy rice increased to 9.52% and 14.92%, respectively; spatially the change was very similar to that of the scenario of A2C1D1. 3) For the third scenario of B2C2D1, due to a little bit higher urbanization rate than present and present purchasing price by government doubling, percentage of maize acreage to total arable land increased to 84.16%, and meanwhile soybean and paddy rice increased to 9.52% and 14.92%, respectively; maize acreage rose in the fringe areas between the Lesser Xing'an Mountain and the Haerbin Plain, while in the Liaohe Plain acreages of soybean and rice went down respectively, which was contrary to that of the A2C1D1 scenario. 4) For the fourth scenario of IPCC B2C2D2, due to a little bit higher urbanization rate than present and present purchasing price by government quadrupling, percentage of maize acreage to total food crops acreage decreased to 80.06%, and meanwhile soybean and paddy rice increased to 9.01% and 10.93%, respectively. There was not obvious change in space. Since 2030 is not far from present, there are not very dramatic changes of food crops in space for all the 4 scenarios. We also don't consider extreme events' effect on spatial competition of food crops because cognition and judge of farmers will not be influenced by that. In terms of present practical situation in China, we deduce the scenarios of B2C2D1 and B2C2D2 maybe more accord with reality. Moreover, B2C2D2 will be more beneficial to optimizing agricultural layout.

Key words: crops; remote sensing; models; food crop; spatial competition; FCS model; EPIC model; future scenario