

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20201112

· 粮食安全 ·

基于 LMDI 的三江平原地区粮食增产 影响因素研究^{*}

王 倩, 张 郁*, 邹小娇

(东北师范大学地理科学学院, 吉林长春 130024)

摘要 [目的] 分析三江平原地区粮食产量“十二连增”的贡献因素, 为实现持续稳产高产目标提供决策依据。[方法] 运用对数平均迪氏分解模型(LMDI), 基于粮食播种面积、粮食单产两个视角, 对2003—2015年三江平原地区23个县域尺度的粮食增产因素进行分解。[结果] 从增产格局看, 三江平原东部、北部地区增产效果优于西部、南部, 且水稻增产最显著, 玉米次之, 大豆产量呈下降趋势; 从增产总效应看, 粮食播种面积和单产均呈现正向效应, 但单产效应贡献量不足播种面积效应贡献量的1/3; 从分作物分效应看, 播种面积效应与单产效应的贡献量均为水稻>玉米>大豆, 大豆播种面积累积效应为负值。[结论] 研究区粮食生产的“十二连增”是以播种面积扩大为主的外延式增产。今后在稳定粮食播种面积的同时, 加强优质高产作物品种的培育、发展精准农业、进一步提高作物单产, 才是保障三江平原地区粮食增产的关键。

关键词 粮食增产 LMDI 模型 粮食播种面积 粮食单产 三江平原

中图分类号:F323.21 文献标识码:A 文章编号:1005-9121[2020]11103-07

0 引言

三江平原地区是我国重要的商品粮生产基地, 也是首批现代农业示范基地之一, 在保障国家粮食安全任务中发挥重要的作用。2003—2015年三江平原地区实现了粮食产量的“十二连增”, 粮食总产量增加的同时, 其粮食生产结构和时空格局也发生了较大变化^[1]。既往的增产格局能否持续? 维系其增产态势靠扩大粮食播种面积还是进一步提高粮食单产, 这是值得关注的研究主题。

关于粮食增产格局的研究, 国内学者多基于遥感解译数据, 采用空间自相关^[2-3]、聚类分析^[4]、粮食重心迁移模型^[5-6]等方法揭示粮食产量或增加量的时空分异格局, 或应用粮食贡献度、多元回归模型等方法探讨粮食生产格局变化的影响因素^[7-8]。研究结果表明, 我国粮食生产格局出现了“北进中移”的态势, 粮食生产重心向东北和中部集中^[9-10], 但对粮食增产的影响因子及其贡献度分析还有待深入研究。在粮食增产影响因素的分解研究中, 传统的分解方法多存在分解不彻底、有残差和余项的问题, 而对数平均迪氏分解方法(LMDI)弥补了传统分解方法的不足^[11], 但已有相关研究多揭示了大尺度区域上粮食增产影响因素的贡献程度^[12-13], 更具实践意义、县域尺度上的增产因素分解研究亟待开展。鉴于此, 文章基于2003—2015年三江平原地区粮食增产格局的时空变化特征分析, 进一步运用LMDI模型从播种面积和单产视角对研究区23个县域的粮食增产因素进行分解, 以期为三江平原地区乃至黑龙江省的种植结构优化调整、促进粮食生产持续高产稳产提供决策依据。

收稿日期: 2019-04-02

作者简介: 王倩(1994—), 女, 山东烟台人, 硕士。研究方向: 土地资源管理

*通讯作者: 张郁(1969—), 女, 黑龙江宝清人, 教授。研究方向: 农业地理及土地资源管理。Email: zhangy221@nenu.edu.cn

*资助项目: 国家自然科学基金项目“东北地区粮食生产格局与水土资源配置的耦合效应”(41571115)

1 研究区概况

三江平原位于东北平原东北部，由黑龙江、松花江及乌苏里江冲积而成，包括 23 个县、县级市、市辖区以及黑龙江省原农垦总局下辖的 4 个分局^[14]，总面积约 10.9 万 km²，耕地面积占总面积的比例为 44.85%。从农业生产自然条件来看，地处温带湿润、半湿润大陆季风性气候区，雨热同季，年降水量 500~650mm；土壤有机质含量高，主要包括黑土、白浆土、草甸土、沼泽土等土壤类型，粮食作物以水稻、玉米、大豆为主（2003—2015 年小麦产量占粮食总产量的比重由 3.22% 降至 0.01%，故后续增产影响因素分析中不包含小麦）。

2 研究方法与数据来源

2.1 LMDI 因素分解模型

该研究将三江平原地区粮食总产量分解为水稻、玉米、大豆 3 种粮食作物的产量，每种作物产量又分解为作物单产与播种面积的乘积。

$$G = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{23} G_{ij} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{23} Y_{ij} \times S_{ij} \quad (1)$$

式（1）中， G 表示三江平原粮食总产量（t）， G_{ij} 表示 i 县域第 j 种粮食作物的产量（t）， Y_{ij} 、 S_{ij} 分别表示 i 县域第 j 种粮食作物的单产（t/hm²）和播种面积（hm²）。

设基期的粮食总产量为 G^0 （t），时期 T 的粮食总产量 G^T （t），三江平原粮食总产变化量 ΔG_{tot} （t）可表示为：

$$\Delta G_{tot} = G^T - G^0 = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{23} \Delta G_{Y,ij} + \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{23} \Delta G_{S,ij} \quad (2)$$

式（2）中， $\Delta G_{Y,ij}$ 、 $\Delta G_{S,ij}$ 分别表示 i 县域第 j 种作物单产变化和播种面积变动导致的粮食总产变化量（t）。

该文采用 LMDI 模型进行三江平原粮食总产变化量的加法分解为：

$$\Delta G_{tot} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{23} \frac{G_{ij}^T - G_{ij}^0}{\ln G_{ij}^T - \ln G_{ij}^0} \ln \frac{Y_{ij}^T}{Y_{ij}^0} + \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{23} \frac{G_{ij}^T - G_{ij}^0}{\ln G_{ij}^T - \ln G_{ij}^0} \ln \frac{S_{ij}^T}{S_{ij}^0} \quad (3)$$

式（3）中， G_{ij}^T 、 G_{ij}^0 分别表示时期 T 和基期时 i 县域 j 种粮食作物的产量（t）。当某一因素效应符号为正时，该因素对粮食生产变动起着正向影响；否则，就起负向影响。由数据分析可知， G_{ij}^T 、 G_{ij}^0 不存在相等的情况^[12]。

2.2 数据来源

该研究数据包括三江平原地区 23 个县域（含县、县级市、市辖区及黑龙江省原农垦总局所辖的 4 个分局）的粮食生产统计数据。其中，水稻、玉米、大豆的播种面积和产量等数据来自《黑龙江省统计年鉴》（2004—2016）并参考中国农科院统计数据。

3 结果分析

3.1 粮食增产结构的时序特征

由图 1a 可以看出，2003—2015 年三江平原地区粮食播种面积呈波动上升趋势，由 238 万 hm² 增加到 487.03 万 hm²，增幅高达 104.6%；其中，2006 年粮食播种面积虽减少 12.88 万 hm²，但由于单产提高，仍实现了粮食增产目标。从分作物播种面积来看，水稻、玉米的播种面积明显增加，水稻播种面积增加了 161.97 万 hm²，增幅为 209.7%；玉米播种面积增加了 165.05 万 hm²，增幅高达 385.4%；12 年来水稻和玉米的总播种面积占三江平原地区粮食播种面积的 91.8% 左右；大豆的播种面积则下降明显（由 107.07 万 hm² 下降到 39.87 万 hm²）。

由图 1b 可知，2003—2015 年三江平原地区粮食总产量实现了“十二连增”，由 1 010.14 万 t 增加至

4 322.87万t, 增产量为3 312.73万t; 从分作物构成来看, 水稻和玉米的产量增加明显, 分别由532.92万t、224.93万t增加到2 305.74万t、1 864.72万t, 增幅分别为332.7%、729.0%, 2015年水稻和玉米的总产量占三江平原地区粮食产量的97.5%, 大豆产量呈波动下降趋势。

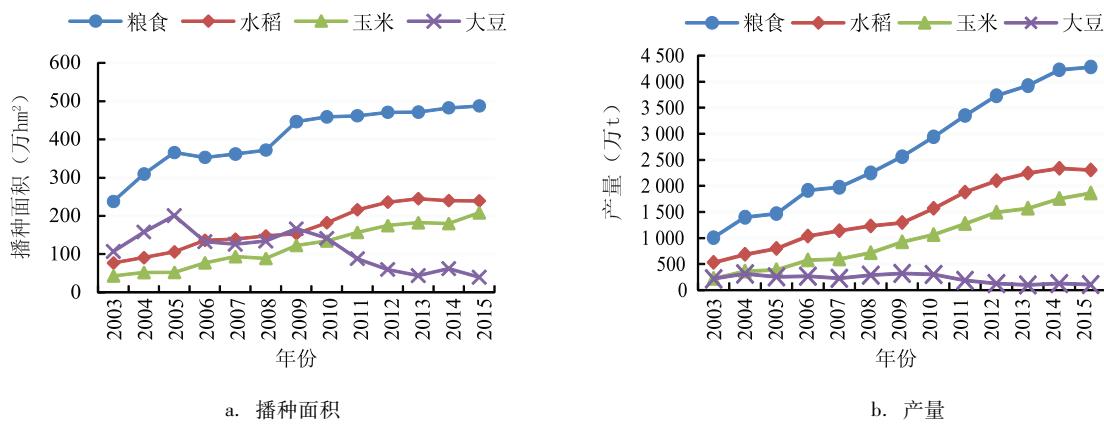


图1 2003—2015年三江平原地区粮食作物播种面积及产量变化

3.2 粮食增产结构的空间分布特征

应用自然断裂法(类内差异最小, 类间差异最大)将2003—2015年的粮食增产量划分为5个等级, 其中, 粮食增产最少的县域主要分布在三江平原南部和中部地区, 粮食增产量仅为115万t; 粮食增产量最多的县域集中连片分布在三江平原东北部地区, 其粮食增产量占研究区的51.8%。从粮食增产量的空间分布来看, 三江平原地区的东部优于西部, 北部优于南部。

3.3 三江平原地区粮食增产的影响因素效应分解

3.3.1 粮食增产总效应的时序特征

该文运用LMDI模型从播种面积和单产两方面对2003—2015年三江平原地区粮食增产因素进行分解, 分解结果见表1及图3。由表1可知, 在粮食产量“十二连增”期间, 播种面积总贡献量为2 497.03万t, 贡献率高达75.38%; 而单产的贡献量仅为815.70万t, 不足播种面积效应的1/3。从图3来看, 播种面积及单产对粮食增产的作用方向和作用强度均有明显的波动性和差异性; 研究时段内, 播种面积和单产的贡献量均为正值, 播种面积对粮食增产的贡献量呈波动性增加态势, 是三江平原地区粮食增产的主要驱动力, 但这种播种面积效应的增加幅度在逐渐减弱; 单产对粮食增产的正向效应贡献量远不如播种面积效应大, 且这种单产效应随时间变化呈明显的波动性。

从分作物来看, 水稻和玉米的播种面积正向效应显著, 贡献量分别为1 324.82万t、1 317.63万t, 分别占粮食播种面积效应累积增加量的47.5%、47.3%; 大豆的播种面积效应呈下降趋势, 总贡献量为-144.05万t。水稻和玉米的单产效应均为正值, 其中, 水稻的贡献量最大(448万t), 占粮食单产效应

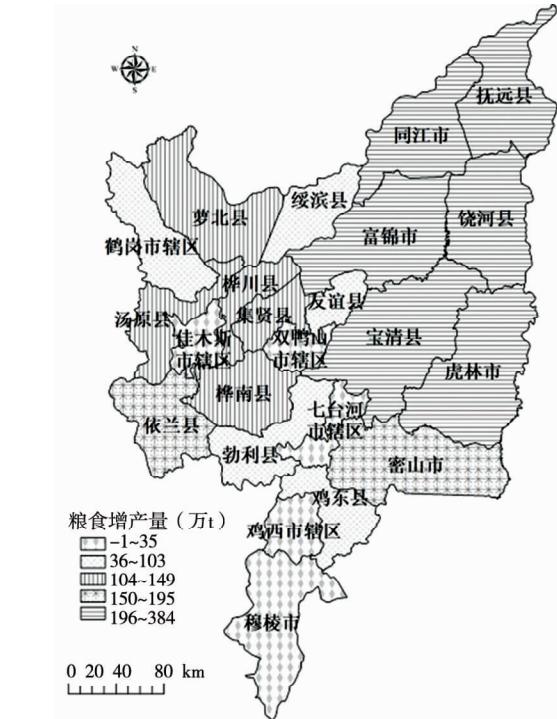
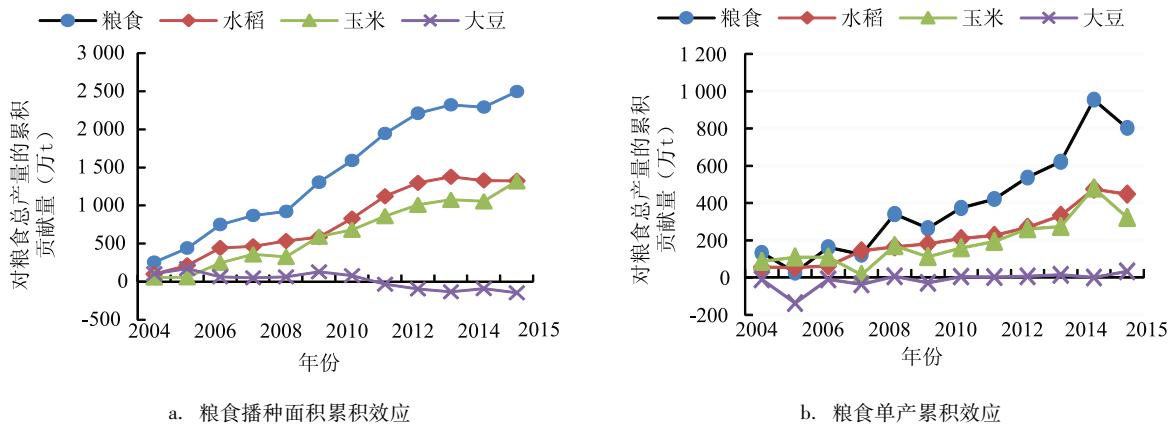


图2 2003—2015年三江平原地区粮食增产的空间结构

表1 2003—2015年三江平原地区粮食增产的因素分解结果

分解因素	贡献量(万t)	贡献率(%)
粮食播种面积	2 497.03	75.38
粮食单产	815.70	24.62
合计	3 312.73	100

累积增加量的 55.8%；玉米的贡献量为 322.16 万 t；大豆的单产效应贡献，6 个年份为正效应，6 个年份为负效应，整体累积贡献量为 33.3 万 t。



a. 粮食播种面积累积效应 b. 粮食单产累积效应

图 3 2004—2015 年播种面积与单产对三江平原地区粮食增产量的累积贡献

3.3.2 粮食增产总效应的空间特征

由图 4a 可知，2003—2015 年三江平原地区粮食增产最多的地区主要集中在东北部抚远县、饶河县等 6 个县域，总体来看，多数县域的播种面积效应占比较高，说明三江平原地区粮食增产目标主要靠粮食播种面积扩大实现的。从播种面积效应来看，三江平原东北部地区抚远县、同江市等 5 个县域粮食增产的播种面积效应最大，均在 146 万 t 以上，仅佳木斯市辖区为负值（-95.18 万 t）。从单产效应来看，研究区东北部县域是单产效应较高的区域，仅绥滨县是负向效应（-4.64 万 t）。综合来看，三江平原东北部地区粮食增产效果显著是其播种面积扩大和单产提升两者高度耦合的结果。

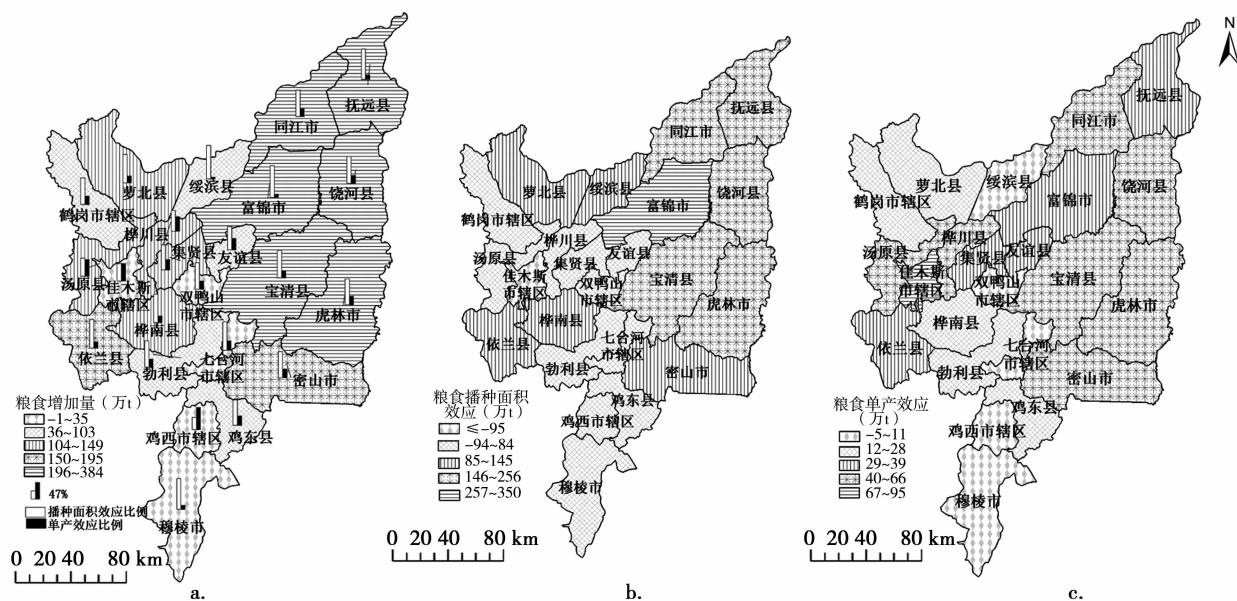


图 4 2003—2015 年三江平原地区粮食增产分解效应的空间分布

3.4 分作物增产的影响因素效应分解

将三江平原地区各县域粮食增产因素的分解效应进行累加，得到 2003—2015 年分县域分作物增产的累积效应（图 5），不同作物的影响因素空间差异明显。

由图5可知,三江平原地区水稻播种面积负向效应最显著的是佳木斯市辖区,为-20.73万t;研究区中部及南部大部分地区播种面积效应较低,位于东北部抚远县、同江市、富锦市的正向效应最明显,其中,抚远县高达244.98万t,占研究期间其粮食增产总量的83.0%,即扩大播种面积是抚远县水稻产量大幅增加的主要原因;从水稻单产效应看,三江平原地区东部和北部地区的正向效应比较显著,其中,同江市和虎林市最高(43万~60万t),两者的水稻单产提升水平较高;中部双鸭山市辖区、七台河市辖区与南部鸡西市辖区、穆棱市的负向效应显著,即这些地区水稻单产水平呈下降态势。研究区东北部的播种面积效应和单产效应都优于其他县域的原因:一是受气候变暖影响,三江平原东北地区热量增加明显,为其水稻播种面积增加提供了良好的自然条件;二是在黑龙江省“控制西部,稳定中部,发展东部”的水田发展思路引导下,水热适宜的地区旱改水现象也比较普遍,2015年三江平原地区水田扩张程度十分明显,水田已成为耕地的主要利用类型^[15]。

玉米的播种面积效应对玉米增产起主导作用,萝北县、集贤县等11个县域的玉米播种面积正向效应

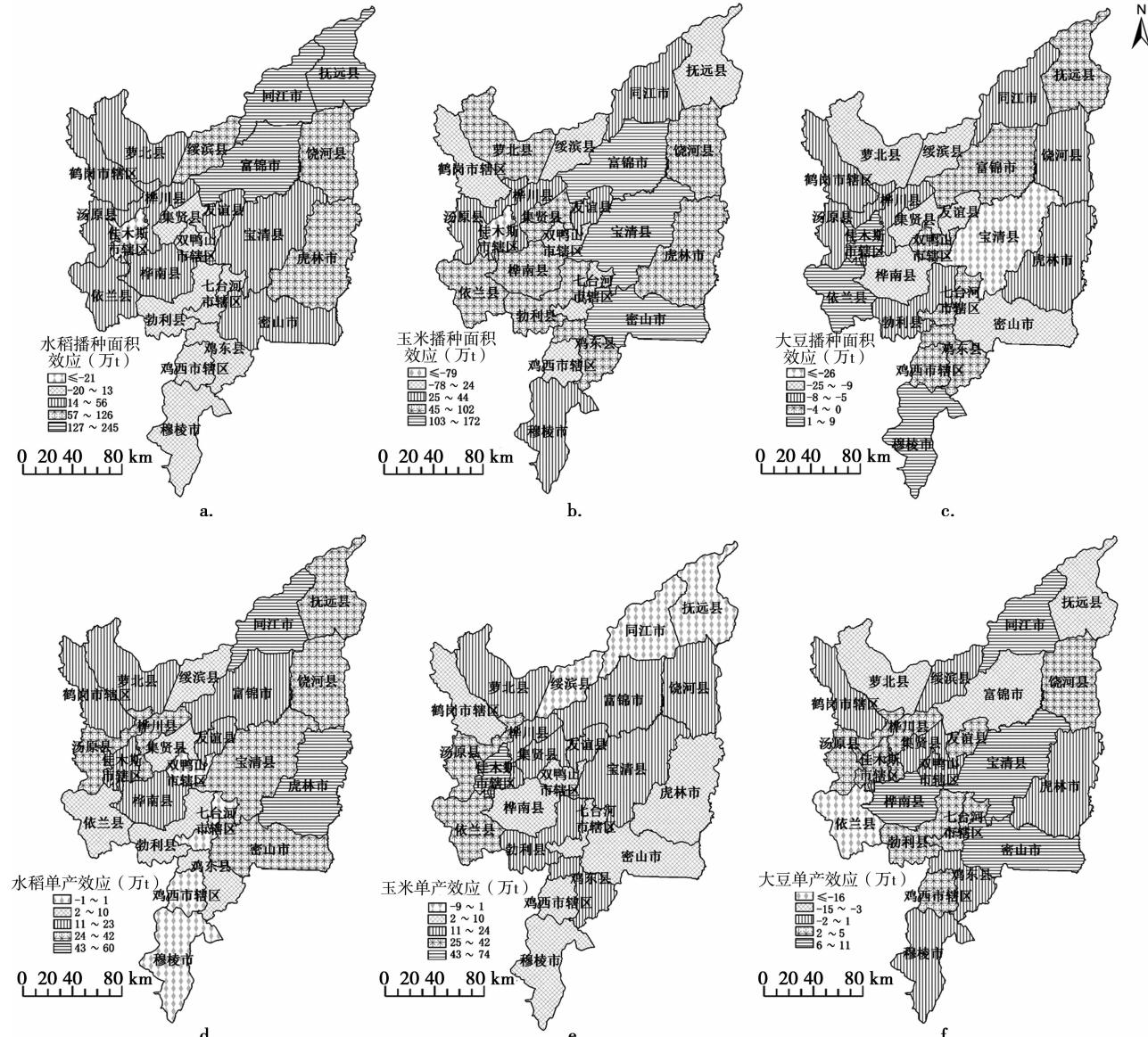


图5 2003—2015年三江平原主要粮食作物播种面积及单产的累积效应

显著，其中，富锦市、宝清县、密山市贡献最大，介于 103 万~172 万 t；佳木斯市辖区负向效应最显著，为 -78.68 万 t。与之相比，玉米单产效应在研究区西部汤原县、依兰县和佳木斯市辖区的正向效应显著。从图 5b、图 5e 可知，玉米单产效应的贡献远不如播种面积效应显著。

大豆的播种面积效应多为负值（包含萝北县、绥滨县等 20 个县域），其中，宝清县负向效应最显著；仅佳木斯市辖区、依兰县和穆棱市的播种面积为正向效应但贡献量小于 9 万 t。大豆单产正向效应高于播种面积效应，主要集中在同江市、桦南县、宝清县和密山市；依兰县单产负向效应最高，为 -15.52 万 t。由于进口大豆对国内大豆市场的冲击，三江平原地区农户种植大豆的积极性不高^[16]，种植面积和产量都有所下降。因此，大豆对三江平原地区粮食增产的贡献量远不及玉米和水稻。

4 结论与建议

该文基于 LMDI 模型对 2003—2015 年三江平原地区 23 个县域粮食增产的影响因素进行分解，厘清了播种面积及单产对其粮食增产的贡献程度，可为黑龙江省农业生产结构的优化调整及国家宏观调控政策的制定提供参考。主要有以下结论。

4.1 结论

(1) 从增产格局来看，2003—2015 年三江平原地区粮食总产量增加 3 312.73 万 t，粮食播种面积增加了 249.03 万 hm²，播种面积效应总贡献量为 2 497.03 万 t，而单产效应的贡献量仅为 815.70 万 t。从增产效应的空间分布上看，东部优于西部，北部优于南部。在三江平原地区“十二连增”期间，粮食播种面积的扩大是其粮食持续增长的主要驱动因素。

(2) 从分作物增产的分解效应来看，3 种粮食作物中水稻的增产效应最显著，玉米次之，大豆的增产效应呈逐渐下降趋势。水稻和玉米的播种面积效应均为正值，其中，水稻的播种面积正向效应最显著，玉米次之，大豆的负向效应显著（-144.05 万 t）；3 种粮食作物的单产效应均为正值，贡献量依次为水稻 > 玉米 > 大豆；综上，研究区粮食产量持续快速增长的主要原因是水稻、玉米播种面积的扩大叠加上水稻、玉米、大豆单产的提高。

(3) 从分县域尺度来看，影响粮食增产的分解因素具有明显的空间异质性。水稻的播种面积效应和单产效应在研究区东北部贡献显著，东北部地区是水稻生产优势产区；大多数县域玉米的播种面积效应显著，各县域的单产效应差异并不明显；大豆的播种面积效应以负向效应为主，其单产效应贡献量较高的县域主要分布在三江平原中部地区。

4.2 建议

2003—2015 年三江平原地区粮食产量的“十二连增”是以播种面积扩大为主的外延式增产。鉴于我国耕地后备资源的有限性，依靠不断扩大耕地面积、粗放式的农业发展道路不可持续，努力提高粮食单产水平应成为三江平原地区提升农业生产潜力的主要方向。当前，水稻是研究区内利润优势明显的作物，三江连通工程为其水稻高产稳产提供了重要的设施保障，但要避免利润驱动下盲目扩种水稻引发生态环境恶化的问题；随着“市场定价、价补分离”的粮食收储政策改革，种植玉米的利润优势应通过优化玉米品质、提高单产水平得以实现；国产大豆受国际市场的冲击较大，应加大国家政策补贴力度、激发豆农的种粮积极性以确保大豆生产规模的稳定性。总之，在稳定粮食播种面积的同时，加强优质高产作物品种的培育，大力发展精准农业，进一步提高作物单产，是保障三江平原地区粮食增产的有效途径。

参考文献

- [1] 吴健生, 蒋培培, 黄秀兰, 等. 广东省粮食供需时空格局. 自然资源学报, 2013, 28 (2): 253–265.
- [2] 王凤, 刘艳芳, 孔雪松, 等. 中国县域粮食产量时空演变及影响因素变化. 经济地理, 2018, 38 (5): 142–151.
- [3] 卫晓梅, 吴健生, 黄秀兰, 等. 基于县域尺度的京津冀地区粮食产需时空格局及安全研究. 中国农业大学学报, 2016, 21 (12): 124–132.
- [4] 陈玉洁, 张平宇, 刘世徽, 等. 东北西部粮食生产时空格局变化及优化布局研究. 地理科学, 2016, 36 (9): 1397–1407.

- [5] 刘阁. 黑龙江省粮食生产的时空格局及增产因素分析 [硕士论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [6] 李明杰, 王国刚, 张红日. 山东省县域粮食生产格局演变及其影响因素. 农业现代化研究, 2018, 39 (2): 248–255.
- [7] 周立青, 程叶青. 黑龙江省粮食生产的时空格局及动因分析. 自然资源学报, 2015, 30 (3): 491–501.
- [8] 张锦宗, 朱瑜馨, 赵飞, 等. 我国粮食生产格局演变及增产贡献研究. 中国农业资源与区划, 2017, 38 (7): 10–16, 35.
- [9] 刘彦随, 翟荣新. 中国粮食生产时空格局动态及其优化策略探析. 地域研究与开发, 2009, 28 (1): 1–5, 16.
- [10] 程叶青, 张平宇. 中国粮食生产的区域格局变化及东北商品粮基地的响应. 地理科学, 2005, 25 (5): 513–520.
- [11] B. W. Ang. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? Energy policy, 2004, 32 (9): 1131–1139.
- [12] 刘玉, 高秉博, 潘瑜春, 等. 基于 LMDI 模型的中国粮食产量变化及作物构成分解研究. 自然资源学报, 2014, 29 (10): 1709–1720.
- [13] 邓宗兵, 封永刚, 张俊亮, 等. 中国粮食生产区域格局演变研究. 农业技术经济, 2013 (9): 108–114.
- [14] 栾福超, 张郁, 刘岳琪. 水足迹视角下三江平原地区农业水土资源配置效率研究. 中国农业资源与区划, 2018, 39 (4): 30–35, 82.
- [15] 于杰. 三江平原东北部耕地变化及其对农业经济的影响 [硕士论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [16] 周立青. 三江平原耕地资源变化及其对粮食生产的影响 [硕士论文]. 长春: 东北地理与农业生态研究所, 2015.

STUDY ON THE INFLUENCING FACTORS OF GRAIN YIELD INCREASE IN SANJIANG PLAIN BASED ON LMDI MODEL^{*}

Wang Qian, Zhang Yu^{*}, Zou Xiaojiao

(College of Geographical Sciences, Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024, China)

Abstract This research aims to analyze the contributing factors of "twelve consecutive increases" in grain yield in Sanjiang Plain, so as to provide decision-making basis for achieving the goal of sustainable, stable and high yield. Based on the two perspectives of grain sowing area and grain yield per unit area, the influencing factors of grain yield increase at 23 counties in Sanjiang Plain from 2003 to 2015 were decomposed by Logarithmic Mean Weigh Division Index Method (LMDI). From the perspective of yield increase pattern, the yield increase in the eastern counties was better than that in the west, and the north was better than the south. The yield increase of rice was the most significant, followed by maize, and the yield of soybean showed a downward trend. From the perspective of the total effect of yield increase, the planting area and yield of grain had positive effects, but the contribution value of grain yield was less than one-third of the contribution of planting area effect. From the perspective of different effects on different crops, the contribution of planting area effect and yielding effect was rice > corn > soybean, and the cumulative effect of soybean planting area was negative. It concludes that the grain yield increase in the study area is actually mainly the extension of the planting area. In the future, while stabilizing the grain planting area, strengthening the cultivation of high-quality and high-yield crop varieties and developing precision agriculture are the keys to ensuring the increase of grain production.

Keywords grain yield increase; LMDI model; grain sown area; grain yield; Sanjiang Plain