

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20220403

· 粮食安全 ·

社会经济及气象因素对水稻产量的影响研究^{*}

——以三江平原为例

邹芷潇^{1,2,3}, 程昌秀^{1,2,3*}, 沈石^{1,2,3}

(1.北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;

2.北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 3.北京师范大学地理科学学部, 北京 100875)

摘要 [目的] 系统分析三江平原水稻产量的影响因素, 对指导三江平原农业生产和耕地保护及减少未来粮食安全风险具有现实意义。[方法] 文章利用1988—2018年三江平原水稻产量、气象观测和社会经济数据, 结合利用经济学模型——柯布-道格拉斯生产函数和统计学方法Lasso回归模型, 分别分析社会经济因素和自然因素对三江平原水稻产量的影响。[结果] (1) 在社会经济因素方面, 单位面积农村用电量和农业科研经费投入的单位面积增产效应比较明显, 单位面积劳动力投入和化肥施用量对水稻产量具有负效应。(2) 在自然因素方面, 生长季内平均最低气温和平均日照时数对水稻产量有正向影响, 生长季内总降水量和平均日相对湿度对水稻产量有负向影响。[结论] 为水稻生产提供政策建议: 可以通过合理施肥、加大机械化和农业科技创新的投入来提升水稻产量。同时, 适当人工增加光照时间和加强冻害防治对提高水稻产量也具有重要意义。

关键词 三江平原 水稻产量 社会经济因素 自然因素 柯布-道格拉斯生产函数 Lasso回归

中图分类号: F327 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2022]04-0024-07

0 引言

粮食安全是一个国际性的难题。中国作为农业和人口大国, 随着人口增长, 粮食安全问题日益凸显。在我国四大主粮中, 水稻是主要“口粮”, 水稻种植占有重要地位, 从事水稻生产的农户接近农户总数的50%, 近70%的地区水稻产量在增加^[1]。东北地区一直是我国最大的商品粮基地, 由于气候变化等因素, 我国水稻种植和产量的重心都在向东北方向移动, 而近20年来东北地区的水稻种植生产发生了明显的变化, 尤其是三江平原。2005年以来水稻逐渐代替大豆成为该地区最主要作物种植类型^[2-3]。因此, 深入分析三江平原水稻产量的影响因素, 有助于制定该区域水稻生产和耕地保护政策, 对保障我国未来粮食安全有着重要意义。

目前, 三江平原水稻产量影响因素研究基本集中在2009年以前。方修琦等估算了20世纪70—90年代黑龙江省气候变暖对水稻产量的贡献率^[4]; 王媛等利用1986—2000年黑龙江的气象和水稻数据得到黑龙江水稻总产量增产中29%~57%是由气候变暖引起的^[5]。蔺涛等分析了1986—2000年黑龙江省气候变化对粮食生产的影响^[6]; Zhou等采用相关分析探究了1960—2009年气象因素变化对黑龙江水稻产量变化的关系^[7]。在东北地区气候变暖的增幅加剧和“黑土耕地保护三年行动计划”的背景下, 三江平原的社会经济及气象条件发生了变化, 近年来三江平原水稻产量影响因素的研究值得探讨, 目前系统、定量的相关研

收稿日期: 2021-11-01

作者简介: 邹芷潇(1998—), 女, 广西桂林人, 博士。研究方向: 气候灾害对粮食作物的影响研究

※通讯作者: 程昌秀(1973—), 女, 新疆乌鲁木齐人, 教授、博士生导师。研究方向: 地理时空数据管理/分析/模拟。Email: chengex@bnu.edu.cn

*资助项目: 国家重点研发计划重点专项“不同温升情景下区域气象灾害风险预估”(2019YFA0606901)

究相对较少。

水稻产量受气象因素和社会经济因素共同影响,然而已有研究未能定量刻画气象因素和社会经济因素对三江平原水稻产量的影响^[5, 7]。目前已有研究分析气象因子和三江平原水稻产量的关系,同时不少学者也从全国、地区、省域等不同尺度揭示了社会经济对于水稻产量的影响不同^[8-10]: 蔺涛等发现社会经济因素对黑龙江省粮食生产有影响^[6],但综合考虑气象和社会经济因素对三江平原水稻产量影响影响的研究鲜有。因此需要系统深入分析三江平原气象因素和社会经济因素对水稻产量的综合影响非常重要。

目前,综合分析气象和社会经济因素对粮食产量影响的前提是:将粮食产量分解为经济产量、气候产量和随机误差^[11],大多将经济产量看做是随时间变化的函数,被认为是有时间变量决定的产量变化趋势,少有学者使用经济学模型对水稻产量进行分离。不少学者用一元线性回归^[12],二次函数^[13]、多年滑动平均^[14]、指数滑动平均^[15]、Logistics 函数^[16, 17]、Gompertz 曲线^[18]或 HP 滤波法^[19]等来拟合经济产量,但是传统回归拟合得到的函数无法解释其中经济产量得到的机理^[4, 6, 20]。采用具有较高的可解释性经济学模型——柯布-道格拉斯生产函数来计算经济产量,并得到不同社会经济因素对于产量的影响。在总产量剥离出经济产量后,则得到围绕该趋势的上下波动产量,其被认为是由不可控的自然因素(主要是气象因素)影响的气象产量^[21],并利用 Lasso 回归模型分析各市气象因素对于水稻产量的影响。

文章利用 1988—2018 年三江平原各市的水稻作物产量、气象数据和社会经济数据,采用经济学方法和统计学方法^[22, 23],从定量分析的角度分析气象因素和社会经济因素对三江平原水稻产量影响,为预测未来气候变化对水稻产量的影响提供支撑,对指导农业生产及减少未来粮食安全风险具有现实意义。

1 研究区与数据

1.1 研究区域

三江平原位于黑龙江省的东北部,三江平原是由黑龙江、乌苏里江和松花江三江冲积而成的沃土,总面积为 108.9 万 km²,包括佳木斯市、鹤岗市、双鸭山市、七台河市、鸡西市所属的 21 个县(市)和牡丹江市所属的穆棱市、哈尔滨市所属的依兰县。该研究主要研究的是佳木斯市、鹤岗市、双鸭山市和鸡西市(图 1),占整个三江平原的绝大部分面积。三江平原属于温带湿润、半湿润大陆性季风气候区,生长季平均日均气温 17~20℃,10℃以上活动积温 2 500~3 000℃,生长季平均总降水量 400~600mm,降水主要集中在夏秋两季。其夏季雨热同期的特点和土壤肥力较高的特点均利于农业生产。

1.2 数据来源

研究数据包括气象数据、社会经济数据和农业数据。

气象数据来自于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),获取了 1988—2018 年三江平原内鹤岗、佳木斯、双鸭山、七台河和鸡西 5 个地市的日尺度的气象观测数据,气象指标 5 类 10 个指标,包括生长季(5—9 月)的总降水量、平均日最高气温、平均日最低气温、日平均气温、平均日照时数、平均日相对湿度、日平均相对湿度小于等于 70% 的天数,1988—2018 年各个市 10℃ 以上活动积温通过五日滑动平均法计算得到。

从各市的统计年鉴获取了 1988—2019 年三江平原内鹤岗、佳木斯、双鸭山、七台河和鸡西的单位面积劳动力投入(人/hm²),农村用电量(kW·h/hm²),单位面积化肥施用量(折为纯量,t/hm²),单位面积农业科研经费投入(元/hm²)。水稻产量数据来自于各市的统计年鉴,为 1988—2018 年各市市级单产数据。水稻生长季通常为每年 5—9 月。

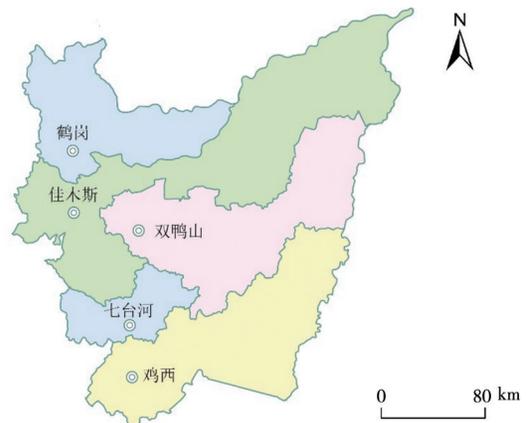


图 1 三江平原研究区

2 研究方法

水稻生产过程是社会经济因素和自然因素相互作用的结果。因此,水稻产量(Y)通常被视为经济产量(Y_t)、气候产量(Y_c)和随机误差(e),如式(1)所示。若要研究气象变化对水稻产量的影响,首先要分离出来水稻的经济(趋势)产量,获得由自然因素决定的气象产量,由于其受气象波动影响,也称为波动产量。

$$Y = Y_t + Y_c + e \quad (1)$$

式(1)中, Y 为水稻总产量(t/hm^2), Y_t 为经济(趋势)产量(t/hm^2), Y_c 为气象(波动)产量(t/hm^2)。

2.1 柯布-道格拉斯生产函数

该文采用了具有较高的可解释性经济学模型——柯布-道格拉斯生产函数,来计算经济产量,并得到不同社会经济因素对于产量的影响,公式为:

$$Y_t = Kl^{\alpha_1} k^{\alpha_2} a^{\alpha_3} b^{\alpha_4} \quad (2)$$

式(2)中, l 为单位面积劳动力投入(人/ hm^2), k 为单位面积农业科研经费投入(元), a 为农村用电量($kW \cdot h/hm^2$), b 为单位面积化肥施用量(t/hm^2)。

当计算出 Y_t 以后,就能通过式(1)计算得到气象产量 Y_c 。

2.2 Lasso 回归

该文采用Lasso回归模型,其本质是是以缩小变量集(降阶)为思想的压缩估计方法。它通过构造一个惩罚函数,可以将某些不重要变量的系数进行压缩并使某些回归系数变为0,保留重要的解释变量,从而达到变量选择和参数估计的目的。该方法也有利于解决多重共线性的问题。假设因变量气候产量 $Y_c = (y_{c1}, y_{c2}, \dots, y_{cn})'$, $n = 1, 2, \dots, 31$, $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j)'$, $j = 1, 2, \dots, 5$,考虑线性模型为:

$$Y_c = X\beta + \varepsilon \quad (3)$$

Lasso回归的参数估计通过式(3)得到, λ 为正则化参数。式(5)的求解可以转化为带有惩罚项的优化问题。公式为:

$$Q(\beta) = \|Y_c - X\beta\|^2 + \lambda \|\beta\|_1 \quad (4)$$

$$Q(\beta) = \operatorname{argmin} \|y - X\beta\|^2 \quad \text{s.t.} \sum |\beta_j| \leq s \quad (5)$$

Lasso影响系数 β_j 表示气象因素对于水稻产量的影响大小,而标准化Lasso影响系数 $\beta_{sd,j}$ 则可以用来比较不同气象因素对于水稻产量的相对重要性的大小。两个指标相互转换的公式为:

$$\beta_j = \frac{sd_{yc}}{sd_j} \beta_{sd,j} \quad (6)$$

式(6)中, sd_{yc} 表示气候产量的标准差, sd_j 表示气象因素的标准差。

2.3 工作流程

该文利用了经济学和统计学相关知识,以三江平原水稻产量为研究对象,采用了柯布-道格拉斯生产函数和Lasso回归模型,分析了社会经济和气象因素对于水稻产量的影响。基于以上研究内容,工作流程如图2所示。

3 结果与分析

3.1 社会经济因素对水稻产量的影响

通过柯布-道格拉斯生产函数式(2)拟合水稻产量和社会经济因素的关系,得到三江平原地区社会经济因素对水稻产量的影响,公式为:

$$Y = 4.4853l^{-1.5937}k^{0.3574}a^{0.4841}b^{-0.4836} \quad (7)$$

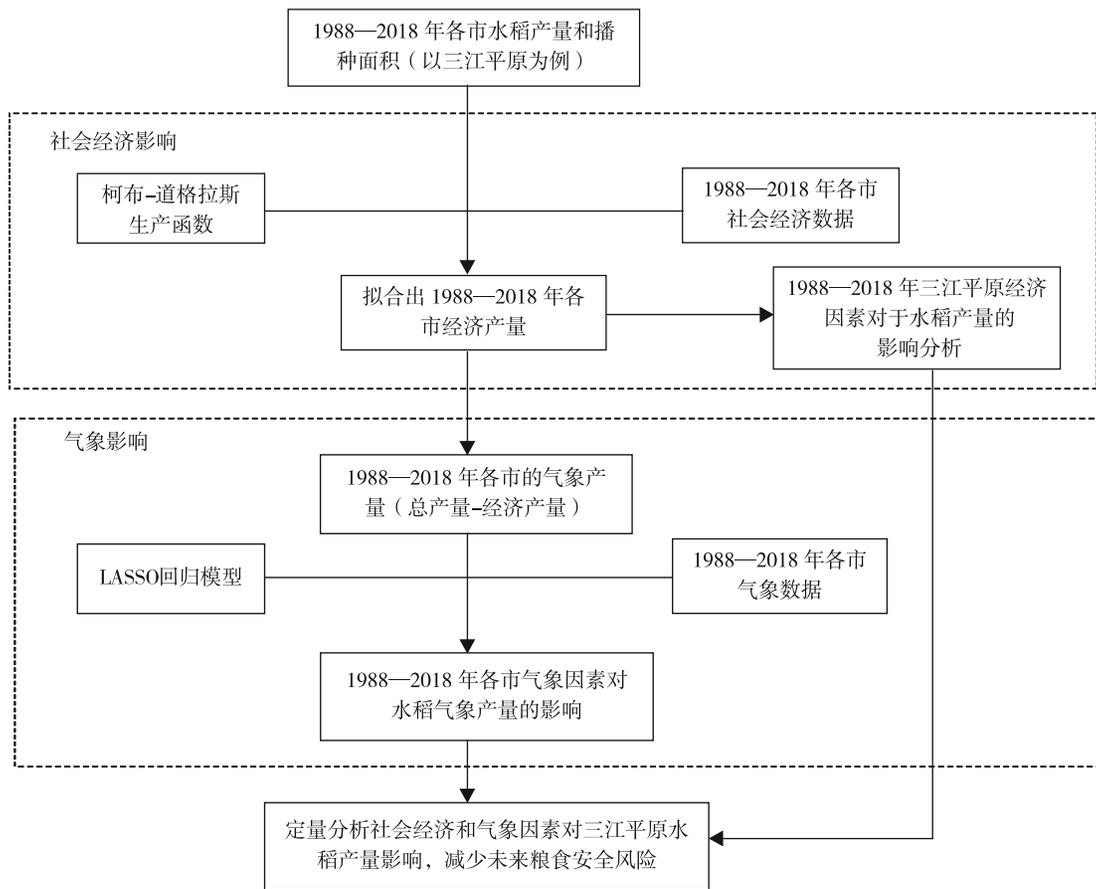


图 2 工作流程

拟合后得到的调整后的 R^2 为 0.625 6, 且所有参数均通过置信水平为 95% 的显著性检验。式 (7) 表明: ①单位面积农业科研经费投入和农村用电量的单位面积增产效应比较明显。农业科研经费投入的弹性系数为 0.357 4, 表示农业科研经费投入增加 10%, 水稻产量将增长 3.574%。农村用电量的弹性系数为 0.484 1, 表示如果农村用电量增加 10%, 水稻产量将增长 4.841%。②单位面积劳动力投入和化肥使用量对水稻产量的负向影响。劳动力投入的弹性系数为 -1.593 7, 表示如果劳动力投入减少 10%, 水稻产量将增加 15.937%。化肥施用量入的弹性系数为 -0.483 6, 表示化肥施用量增加 10%, 水稻产量将减少 4.836%。单位面积劳动力投入减少, 反而产量增加, 原因可能是与规模化生产和农村劳动力转移相关^[24, 25]。单位面积化肥施用量对于水稻单产的负向影响可能是我国在东北地区实行“黑土耕地保护三年行动计划”, 积极推行化肥减量, 增加有机肥施用导致的^[26]。

单位面积农村用电量和农业科研经费投入对于水稻产量有效。这可能是由于机械化程度的加大导致农村用电量增加, 农业科研经费的大量投入推动了技术进步, 最终提升了产量。因此, 提高机械化水平、加大科研投入和技术创新是提高水稻产量的有效途径。

农用化肥施用量和劳动力投入对水稻产量具有负效应。对于农业化肥的负效应, 麻坤等也提出了类似的发现: 继续增加化肥用量可能无法实现粮食的增产^[27], 楼宇涛等通过试验揭示了化肥的负效应, 即虽然减少了化肥的用量, 但增加有机肥的用量, 导致水稻增产^[26]。此外, 造成劳动力投入负效应的原因可能是: 一方面, 规模化生产和集约化经营会解放一部分劳动力, 导致劳动力投入的减少, 但是由于机械化水平提升水稻产量增加; 另一方面, 农村劳动力向非农部门转移, 使得非农收入增加, 则被用于生产的支出增加, 即通过购买更加优良的水稻品种或雇用机械来从事农业生产, 从而有助于水稻产量的增加^[25, 28]。

建议合理施肥提升水稻产量。

3.2 气象因素对水稻气象产量的影响

利用 Lasso 回归分析建立了生长季（5—9 月）的总降水量、平均日最低气温、平均日照时数、平均日相对湿度均与水稻产量的关系，得到各因素的标准化 Lasso 影响系数，如图 3 所示，不同气象因素对水稻产量有着不同的影响：生长季平均日照时数和生长季平均日最低气温的标准化 Lasso 影响系数主要集中在正值部分，生长季平均日相对湿度和生长季总降水量的标准化 Lasso 影响系数主要集中在负值部分。

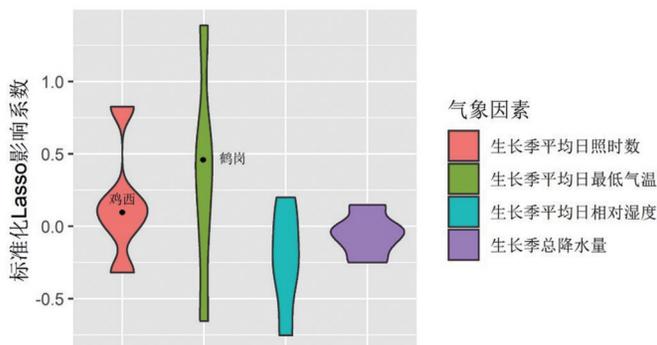


图3 不同气象因素的 Lasso 影响系数的小提琴图

根据图 3 可知，生长季平均日照时数对水稻产量有正向影响，生长季平均日照时数的增加会使得水稻光合生产能力升高^[29]，从而影响结实率和千粒重，有利于提高水稻产量。根据标准化系数和非标准化系数的关系式（6），将标准化 Lasso 影响系数转换为 Lasso 影响系数，得到三江平原各市 Lasso 影响系数，鸡西受生长季平均日照时数的影响最大，生长季平均日照时数每增加 1h，鸡西市水稻年产量增加 9.226 万 t，有可能因为鸡西有较好的水热条件，生长季日照时长的增加更有利于水稻的生长。

根据图 3 可知，大部分地区的生长季平均日最低气温标准化 Lasso 影响系数均处于正值，说明生长季平均日最低气温对水稻产量有正向影响，是因为夜间增温可以明显提高水稻地上总生物量和水稻籽粒产量^[30]，从而增加水稻产量。根据标准化系数和非标准化系数的关系式（6）得到，鹤岗受最低气温影响最大，平均日最低气温每升高 1℃，鹤岗市水稻年产量增加 26.099 万 t。可能是因为鹤岗处于低温冷害的高风险区^[31]，生长季的低温易导致冷害的发生，因此提高最低气温，减少低温冷害的发生率，更有利于鹤岗水稻增产。

根据图 3 可知，大部分地区的生长季平均日相对湿度标准化 Lasso 影响系数均处于负值，生长季平均日相对湿度对水稻产量有负向影响。一方面，较高的大气湿度会增加水稻的空粒数，降低水稻的实粒率^[32, 33]，从而影响水稻产量的提高，且湿度与温度之间是相互影响的，湿度高通常会使得温度降低，而温度降低也会影响水稻产量的提高^[34]。另一方面，群体湿度降低可能对抑制水稻病虫害有一定的作用^[35]。

根据图 3 可知，大部分地区的生长季总降水量标准化 Lasso 影响系数均处于负值，生长季总降水量对于三江平原大部分地区水稻产量具有负向影响，可能是因为水稻开花期降水与水稻空壳率和秕谷率呈显著正相关^[36]，降水过多，特别是水稻处于开花授粉阶段时，如遇暴雨冲刷，水稻在生长季内的授粉结实阶段会受到很大影响^[29]。同时，根据图 3 所示，总体来说，对比其他气象因素，生长季总降水量对于三江平原水稻产量的影响较小。

综上所述，建议可以适当地人工增加生长季的光照时间和加强冷害防治对提高水稻产量有重要意义，同时，可以在空气湿度相对较高的地区减少水分灌溉，以提高水分利用率，并且做好强降雨的应对措施对提高水稻产量也具有非常重要意义。

4 结论与讨论

4.1 结论

该文基于 1988—2018 年中三江平原各市气象数据、社会经济数据和水稻数据，利用经济学模型——柯布-道格拉斯生产函数分析社会经济因素水稻产量的影响，并建立各市 Lasso 回归模型分析气象因素对水稻产量的影响，得到的结论如下。

(1) 单位面积农业科研经费投入和农村用电量的单位面积增产效应比较明显。农业科研经费投入表

征技术进步,农村用电量表征的是机械化程度。因此政府部门应该要提高农业机械化水平,加大农业科研投入和技术创新,加速农业科技发展推广。

(2) 单位面积劳动力投入和单位面积化肥使用量对水稻产量的负向影响,这是与前人研究有所不同的。单位面积劳动力投入减少,反而水稻产量增加,有可能与规模化生产和农村劳动力转移有关。化肥施用量对于水稻单产的负向影响可能是我国在东北地区实行“黑土耕地保护三年行动计划”,积极推行化肥减量,增加有机肥施用导致的。建议可以通过合理施肥提升水稻产量。

(3) 生长季平均日照时数对水稻产量有正向影响。生长季平均日照时数增加会提高水稻光合生产能力,从而影响结实率和千粒重,利于水稻产量的形成。建议可以适当人工增加光照时间。

(4) 生长季平均日最低气温对水稻产量有正向影响。由于夜间增温明显提高水稻地上总生物量和水稻籽粒产量,从而增加水稻产量。因此,加强冷害防治对提高水稻产量具有非常重要意义。

4.2 讨论

(1) 在社会经济因素的选择上,尽管该文考虑了单位面积劳动力投入、单位面积农业科研经费投入等社会经济因素的影响,但由于政策变化因素难以进行量化,未能考虑到政策变化对于水稻产量的影响。为此,未来可以根据不同时间的政策变化来研究不同政策变化对水稻产量的影响。

(2) 在气象指标的选取上,该文虽然采用了水稻生长季内的日平均气象数据(如日平均气温等)或者日总气象数据(如:日总降水量),但是仍然忽略了水稻生长季的不同生育阶段(如开花期、抽穗期)会对水稻产量的影响是不一样的,同时还未考虑一些异常值(生长季内的极端高温、极端低温)对水稻产量的影响。因此,未来可以研究水稻不同生育阶段气象因素对水稻产量的影响,还可以通过构建干旱或者高温冷害指标来考虑一些极端气候对水稻产量的影响。

(3) 在水稻品种的数据上,受到数据收集的限制,并没有将水稻细分为早、中、晚和粳稻来展开研究,实际上社会经济和气象因素可能会对不同水稻品种产量有着不同的影响。若在今后的研究中,在数据可获取的条件下,可以针对不同水稻品种来研究其影响因素,有助于更加全面了解水稻生产的影响因素。

参考文献

- [1] 刘珍环,李正国,唐鹏钦,等.近30年中国水稻种植区域与产量时空变化分析.地理学报,2013,68(5):680-693.
- [2] 杜国明,张杨,李全峰.21世纪以来三江平原农作物种植结构演化研究.农业现代化研究,2019,40(5):736-744.
- [3] 陈浩,李正国,唐鹏钦,等.气候变化背景下东北水稻的时空分布特征.应用生态学报,2016,27(8):2571-2579.
- [4] 方修琦,王媛,徐钺,等.近20年气候变暖对黑龙江省水稻增产的贡献.地理学报,2004(6):820-828.
- [5] 王媛,方修琦,田青,等.气候变暖及人类适应行为对农作物总产变化的影响——以黑龙江省1990年代水稻生产为例.自然科学进展,2006(12):1645-1650.
- [6] 蔺涛,谢云,刘刚,等.黑龙江省气候变化对粮食生产的影响.自然资源学报,2008,23(2):307-318.
- [7] Zhou Y, Li N, Dong G, et al. Impact assessment of recent climate change on rice yields in the Heilongjiang Reclamation Area of north-east China. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(11): 2698-2706.
- [8] 韩芳玉,张俊飏,程琳琳,等.气候变化对中国水稻产量及其区域差异性的影响.生态与农村环境学报,2019,35(3):283-289.
- [9] 尹朝静.气候变化对中国水稻生产的影响研究[博士论文].武汉:华中农业大学,2017.
- [10] 周曙东,朱红根.气候变化对中国南方水稻产量的经济影响及其适应策略.中国人口·资源与环境,2010,20(10):152-157.
- [11] 房世波.分离趋势产量和气候产量的方法探讨.自然灾害学报,2011,20(6):13-18.
- [12] 曹永强,李玲慧,路洁,等.气候变化对辽宁省玉米产量的影响.中国农村水利水电,2020(11):132-137.
- [13] 侯雯嘉,耿婷,陈群,等.近20年气候变暖对东北水稻生育期和产量的影响.应用生态学报,2015,26(1):249-259.
- [14] 廉毅,高枫亭,沈柏竹,等.吉林省气候变化及其对粮食生产的影响.气候变化研究进展,2007(1):46-49.
- [15] 尹东,柯晓新,费晓玲.甘肃省夏粮气候产量变化特征的因子分析.中国农业气象,2000(3):12-15.
- [16] Auffhammer M, Ramanathan V, Vincent J R. Climate change, the monsoon, and rice yield in India. Climatic Change, 2012, 111(2): 411-424.
- [17] 朱珠,陶福祿,娄运生,等.1981-2009年江苏省气候变化趋势及其对水稻产量的影响.中国农业气象,2012,33(4):567-572.
- [18] Zhu X, Hou C, Xu K, et al. Establishment of agricultural drought loss models: A comparison of statistical methods. Ecological Indicators, 2020,

112: 106084.

- [19] 王桂芝, 陆金帅, 陈克焱, 等. 基于 HP 滤波的气候产量分离方法探讨. 中国农业气象, 2014, 35(2): 195–199.
- [20] 王亚飞, 廖顺宝. 气候变化对粮食产量影响的研究方法综述. 中国农业资源与区划, 2018, 39(12): 54–63.
- [21] Tsechoe D, Piao S, Wang X, et al. Emerging negative warming impacts on tibetan crop yield. Engineering, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.01.012>
- [22] 程昌秀, 沈石, 李强坤. 黄河流域人地系统研究的大数据支撑与方法探索. 中国科学基金, 2021, 35(4): 529–536.
- [23] 程昌秀, 史培军, 宋长青, 等. 地理大数据为地理复杂性研究提供新机遇. 地理学报, 2018, 73(8): 1397–1406.
- [24] 陈钊, 陆铭. 从分割到融合: 城乡经济增长与社会和谐的政治经济学. 经济研究, 2008(1): 21–32.
- [25] 温铁军, 董筱丹, 石嫣. 中国农业发展方向的转变和政策导向: 基于国际比较研究的视角. 农业经济问题, 2010, 31(10): 88–9
- [26] 楼宇涛, 陈红金, 陆若辉, 等. 化肥减量对水稻产量和耕地质量的影响. 浙江农业科学, 2020, 61(1): 17–19.
- [27] 麻坤, 刁钢. 化肥对中国粮食产量变化贡献率的研究. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4): 1113–1120.
- [28] 江慧珍. 气候变化对中国农业影响的经济分析[硕士论文]. 南昌: 江西农业大学, 2016.
- [29] 胡亚南. 东北作物产量对气候变化的空间响应研究[博士后学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [30] 张卫建, 陈金, 徐志宇, 等. 东北稻作系统对气候变暖的实际响应与适应. 中国农业科学, 2012, 45(7): 1265–1273.
- [31] 韩语轩. 黑龙江省水稻低温冷害风险评估[硕士论文]. 大连: 辽宁师范大学, 2016.
- [32] 韩延如, 宁万光, 史洪中, 等. 土壤水分及空气相对湿度对水稻结实期基部伤流强度及产量的影响. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 80–83.
- [33] 任义方, 高苹, 王春乙. 江苏高温热害对水稻的影响及成因分析. 自然灾害学报, 2010, 19(5): 101–107.
- [34] 高士杰, 张龙步, 陈温福. 直立穗型水稻群体小气候环境研究. 中国农业气象, 2000(3): 24–27.
- [35] 周立宏, 李秀芬, 赵凤艳, 等. 不同穗型水稻群体中温湿度特征的研究. 中国农学通报, 2009, 25(16): 86–90.
- [36] 石延英, 郭尔静, 张镇涛, 等. 东北三省水稻生长季农业气候资源及障碍型冷害的时空特征. 应用生态学报, 2020, 31(5): 1625–1635.

THE INFLUENCE OF SOCIO-ECONOMIC FACTORS AND METEOROLOGICAL FACTORS ON RICE YIELD: A CASE STUDY OF SANJIANG PLAIN *

Zou Zhixiao^{1,2,3}, Cheng Changxiu^{1,2,3*}, Shen Shi^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract A systematic analysis of the influencing factors on rice yield in Sanjiang Plain is of practical significance to guide agricultural production, cultivate land protection and reduce the risk of food security in the future. Based on rice yield, meteorological observations and socio-economic data, using economics model called Cobb–Douglas production function and statistical methods called Lasso regression, this research analyzed the affecting factors of the rice yield in Sanjiang Plain from 1988 to 2018. The results showed that: (1) In terms of socio-economic factors, chemical fertilizer application had negative effects, and rural power consumption per unit area and investment in agricultural scientific research funds per unit area had a positive effect on rice yield. (2) In terms of natural factors, the average minimum temperature and average sunshine hours in the growing season had a positive impact on rice yield, and the total precipitation and average daily relative humidity in the growing season had a negative impact on rice yield. The results can provide an important scientific basis for rice production. Through rational fertilization, investment in mechanization and technological innovation, we can improve rice production capacity and increase rice yield. At the same time, it is also of great significance to increase the light time and strengthen the prevention of freezing injury.

Keywords Sanjiang Plain; rice yield; socio-economic factors; natural factors; Cobb–Douglas production function; Lasso regression