

黑龙江推广大麦-荞麦二熟制的生态适宜度分析

张金红^{1,2}, 李奇峰², 史磊刚^{2*}, 李存军², 臧德彦¹, 周静平²

(1. 东华理工大学测绘工程学院, 南昌 330013; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089)

摘要: 在全球气候变化背景下, 我国黑龙江地区热量资源显著增加。从生态适宜度的角度分析了黑龙江地区改一熟制为大麦-荞麦二熟制的可行性。首先基于作物生育期特点及前人研究成果, 利用温度、降水、日照和生态适宜度模型计算适宜度值, 并通过生态适宜度与相对气象产量的相关分析确定作物减产临界值, 以减产率为 0、15% 和 30% 作为作物适宜度划分阈值, 进一步利用 ArcGIS 进行栅格叠加产生大麦-荞麦二熟制生态适宜度分布图, 发现黑龙江部分地区已具备发展二熟制的生态条件。大麦-荞麦二熟制与传统种植模式对比, 显示出明显的经济效益, 即使灌溉一次仍有一定优势; 最后从经济效益和劳动力需求两方面分析大麦-荞麦社会效益, 表明大麦-荞麦模式具有较高推广度。

关键词: 气候变暖; 生态适宜度; 大麦-荞麦; 黑龙江

中图分类号: S162.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2017)01-0124-06

The ecological suitability of barley-buckwheat double cropping system in Heilongjiang Province

ZHANG Jinhong^{1,2}, LI Qifeng², SHI Leigang², LI Cunjun², ZANG Deyan¹, ZHOU Jingping²

(1. Faculty of Geomatics, East China Institute of Technology, Nanchang 330013;

2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089)

Abstract: The thermal resources significantly increased in Heilongjiang plantation area due to the global climate change; therefore the feasibility of a barley-buckwheat double cropping system instead of a single cropping system in Heilongjiang was analyzed from the aspect of ecological suitability. According to the past studies, the suitability value was calculated using temperature, precipitation, sunshine and ecological suitability model. The correlation analysis between the ecological suitability and the relative meteorological yield was conducted to determine the critical value of crop production. the grid producing barley-buckwheat double cropping ecological suitability maps were made based on the reduction rates of 0, 15% and 30%, indicating that some regions in Heilongjiang Province have the ecological conditions for planting the double crops. Compared with the traditional planting pattern, there were obvious economic advantages in the double cropping system under one irrigation scenario. According to the analysis of social need and labor need, the barley-buckwheat model would be of high popularization in Heilongjiang Province.

Key words: climate warming; ecological suitability; barley-buckwheat; Heilongjiang Province

IPCC 第五次评估报告指出, 过去 130 年全球升温 0.85℃, 与 1850—1900 年相比, 2003—2012 年间平均升温达 0.78℃^[1]。有学者基于当前热量状况, 采用多种方法分析农业能否利用多余热量发展多熟制, 提高土地收获指数。我国目前也在该领域取得了一定进展^[2-6], 如杨婷等^[2]基于遥感影像数据进行种植制度的时空动态分析; Zhang 等^[3]和杨晓光等^[4]

通过确定种植制度气候区划指标, 分析气候变暖对作物种植区域影响; 朱新玉等^[5]和代立芹等^[6]构建作物适宜度评价模型模拟不同地区作物适宜度的分布状况。研究结果显示气候变化对各区影响程度存在较大差异, 因此需要因地制宜地采取应对措施。

以往黑龙江受气温限制, 传统种植模式以一熟制为主。但研究显示, 1981 年以来黑龙江全年 ≥ 10

收稿日期: 2016-04-26

基金项目: 北京市农林科学院科技创新能力建设专项 (KJCX20151414) 和国家重点研发计划项目子课题 (2016YFD03002013) 共同资助。

作者简介: 张金红, 硕士研究生。E-mail: 1147670400@qq.com

* 通信作者: 史磊刚, 博士, 副研究员。E-mail: shilg@nrcita.org.cn

℃的积温呈显著增长势态, 线性拟合增长率近 $84\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ [7-8]; 无霜期作为影响作物生长周期的重要因子, 2000年后统计天数为 $157.7\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ [8], 现仍以 $3.5\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率增长 [9], 初、终霜冻预计出现在 9 月下旬和次年 4 月下旬。如仍沿袭传统耕作模式, 以一熟大麦区为例, 麦茬休闲期内光、热严重浪费, 不利于农户增产增收。

目前熟制研究尚处于初步阶段, 本研究以黑龙江为研究区, 选取早熟大麦和中熟荞麦品种, 生育期均为 80 d 左右, 与当地无霜期吻合。结合 GIS 空间分析, 探讨大麦-荞麦二熟制生态适宜度, 后期还加入经济、社会效益分析, 旨在分析新形势下地处我国最北部的省区发展多熟制的条件, 为该区农业

生产提供全面可信的参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

作物生长受诸多气象因子综合影响, 筛选温度、降水和光照作为主导生态指标。气象数据来自中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/satellite>), 由于气候变化在 2000 年后最为显著, 因此下载黑龙江 2000—2014 年间 37 个站点逐日气象数据, 对 5—9 月按旬求和处理。将站点坐标导入 ArcGIS 软件, 后期气象数据处理结果采用 Kriging 插值生成空间栅格影像。其他数据来源于统计年鉴及相关文献资料。

表 1 大麦各生育期温度、需水量条件

Table 1 Temperature, physiology water requirement in different growth stages of barley

生育期 Child-bearing period	时间 (旬) Time (10 d)	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$	需水量/mm Water demand
苗期 Seedling	5月上旬初—5月上旬	3	$15\leq T_0\leq 18$	30	10.0
分蘖期 Tillering	5月中旬初—5月下旬	3	$13\leq T_0\leq 18$	20	34.6
抽穗开花期 Heading	6月上旬初—6月中旬	5	$18\leq T_0\leq 20$	28	59.8
灌浆成熟期 Grain filling	6月下旬初—7月上旬	12	$20\leq T_0\leq 22$	25	120.7

表 2 荞麦各生育期温度、需水量条件

Table 2 Temperature, physiology water requirement in different growth stages of buckwheat

生育期 Child-bearing period	时间 (旬) Time (10 d)	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$	需水量/mm Water demand
苗期 Seedling stage	7月中旬初—7月下旬	8	$15\leq T_0\leq 30$	36	85.8
花期 Florescence	8月上旬初—8月下旬	10	$18\leq T_0\leq 22$	30	429.0
成熟期 Maturation period	9月上旬初—9月下旬	10	$18\leq T_0\leq 25$	33	265.2

表 3 大麦、荞麦适宜度重赋值

Table 3 Revaluation barley, buckwheat suitability

大麦适宜度等级 (≥ 0) Barley suitability degree	荞麦适宜度等级 (≥ 0) Buckwheat suitability degree	赋值 Evaluation
$S\geq 0.7579$	$S\geq 0.7407$	4
$0.7477\leq S\leq 0.7579$	$0.7334\leq S\leq 0.7407$	3
$0.7375\leq S\leq 0.7477$	$0.7261\leq S\leq 0.7334$	2
$S\leq 0.7375$	$S\leq 0.7261$	1

表 4 大麦、荞麦适宜度阈值划分

Table 4 Threshold division of barley, buckwheat suitability

生态适宜度等级 Ecological suitability degree	阈值范围 (≥ 0) Assignment range
最适宜 Optimum level	≥ 48
适宜 Suitable level	41~48
可种植 Planted level	32~41
不适宜 Inadequate level	≤ 32

1.2 大麦荞麦气象模型参数

大麦、荞麦各生育期气象模型参数 [10] 见表 1 和表 2。

1.3 生态适宜度评价方法

1.3.1 温度适宜度模型温度适宜度 [11] 公式为:

$$S(T) = \begin{cases} 0, T \leq T_1 \text{ or } T \geq T_2 \\ \left[\frac{(T - T_1)(T_2 - T)^B}{(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B} \right], T_1 < T < T_2 \end{cases}$$

$$B = \frac{T_2 - T_0}{T_0 - T}$$

T 、 T_1 、 T_2 和 T_0 为作物在某生育期的平均温度、下限温度、上限温度和最适温度。

1.3.2 降水适宜度模型降水适宜度模型^[12-13]为:

$$S(R) = \begin{cases} R/R_0, & R < R_0 \\ 1, & R \geq R_0 \end{cases}$$

R 、 R_0 表示作物在该旬天然降水量、需水量 (mm); 当 $R \geq R_0$ 时默认多余的降水被土壤存蓄。

1.3.3 日照适宜度模型日照适宜度模型^[14]为:

$$S(S) = \begin{cases} 1, & S \geq H \\ S/H, & S < H \end{cases}$$

S 、 H 为某旬总日照时数、该旬日照时数多年平均值 (h), 以 H 作为日照临界值。

作物全生育期温度适宜度 $S_T(t)$ 、降水适宜度 $S_R(t)$ 、日照适宜度 $S_S(t)$ 为各生育期温度、降水、日照适宜度的算术平均值。

1.3.4 生态适宜度模型作物生态适宜度 S 表达式为:

$$S = R_1 S_T(t) + R_2 S_R(t) + R_3 S_S(t)$$

其中 R_1 、 R_2 和 R_3 为权重, 通过相对气象产量 X 与温度、降水及光照适宜度拟合获得。气象产量是粮食实际产量中受气候因素主导的部分, 具有随机性。基于前人研究^[12,15], 实际产量 L 可分解为趋势产量 L_s 和气象产量 L_q 之和。 L_s 受生产力水平等社会因素制约, 逐年的波动性小, 具有可模拟性。采用 3 年滑动平均法模拟趋势产量, 得相对气象产量指标 X :

$$X = L_q/L_s = (L - L_s)/L_s$$

通过 Matlab 对相对气象产量与温度、降水和日照适宜度做相关分析, 拟合最优解设为 X_1 、 X_2 和 X_3 , 相对气象产量表达为:

$$X = X_1 S_T(t) + X_2 S_R(t) + X_3 S_S(t)$$

则权重 R_i 为:
$$R_i = \frac{X_i}{\sum_{i=1}^3 X_i}$$

1.4 生态适宜度阈值

1.4.1 大麦适宜度阈值 在黑龙江大麦产区区内均匀筛选 13 个大麦种植县、市, 计算温度、降水和日照适宜度权重分别为 0.41、0.2788 和 0.3112。SPSS 软件对相对气象产量 X_1 与生态适宜度 S_1 做相关性分析, 得到大麦方程为:

$$S_1 = 0.0679 X_1 + 0.7579$$

相关系数为 0.429。0.7579 为气象产量减产临界值, 气象产量减产 15%, 30% 的生态适宜度为 0.7477, 0.7375。

1.4.2 荞麦适宜度阈值 荞麦在黑龙江种植少, 统计数据不完善, 选取内蒙古荞麦产量与气象数据做相关分析, 得到温度、降水和日照适宜度权重为 0.3809、0.2517 和 0.3674。拟合相对气象产量 X_2 与生态适宜度 S_2 得到荞麦方程为:

$$S_2 = 0.049 X_2 + 0.7407$$

相关系数为 0.84。0.7407 为气象产量减产临界值, 气象产量减产 15%, 30% 的生态适宜度为 0.7334, 0.7261。

选减产率为 0、15% 和 30% 作为大麦、荞麦适宜度划分阈值。

1.4.3 大麦荞麦多年适宜度阈值 对大麦、荞麦适宜度阈值重分类并赋值见表 3。

对大麦、荞麦重分类结果进行栅格叠加运算, 为消除历年生态适宜度波动性及符合实际生产需要, 采用专家分析法重设 15 年适宜度阈值, 见表 4。

2 结果与分析

大麦、荞麦生态适宜度插值显示, 大麦适宜度较高的地区主要分布在黑龙江省佳木斯、鸡西和双鸭山市东部, 哈尔滨、牡丹江市南部, 伊春、铁力和鹤岗市中部; 荞麦适宜度由东南向西北方向递减 (图 1), 大麦、荞麦适宜度的空间分布呈现出显著规律。

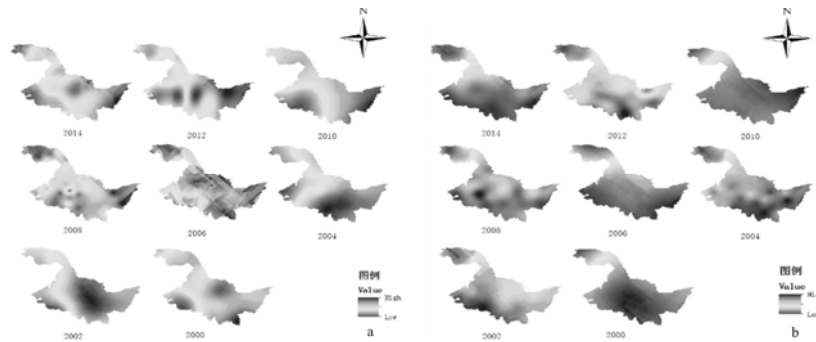


图 1 代表年份大麦 (a)、荞麦 (b) 生态适宜度变化趋势分布

Figure 1 The spatial distribution of ecological suitability change trends for barley (a), buckwheat (b) in typical years

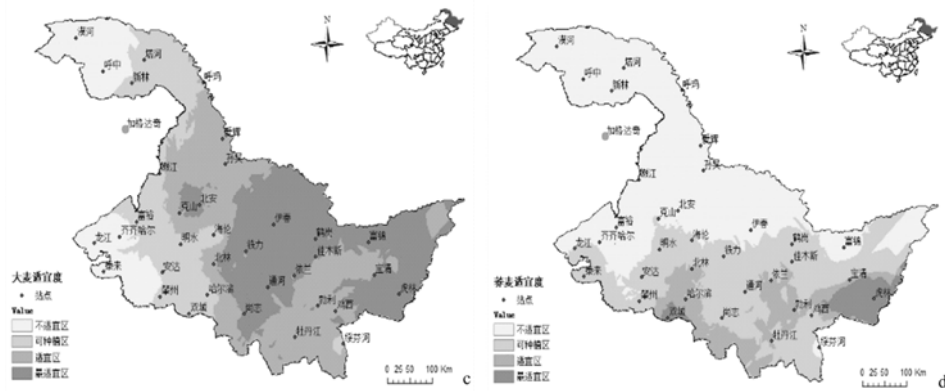


图 2 大麦 (c)、荞麦 (d) 适宜度分布

Figure 2 Suitable degree distribution of barley (c), buckwheat (d)

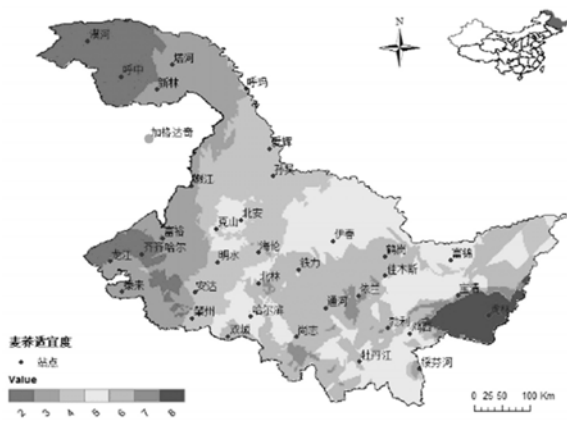


图 3 大麦-荞麦适宜度分布

Figure 3 Suitable degree distribution of barley-buckwheat

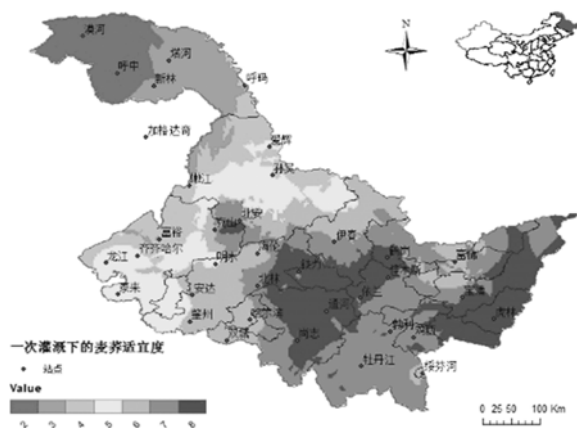


图 4 一次灌溉下的大麦-荞麦适宜度分布图

Figure 4 Suitable degree distribution of barley-buckwheat under one irrigation

重分类及阈值划定后, 大麦、荞麦适宜度分布如图 2, 大麦最适宜区主要分布在中部和东部地区, 荞麦最适宜区范围小, 集中在东部虎林、鸡西地区。叠加图 2 中 A、B, 得出大麦-荞麦二熟制适宜度分布如图 3, 等级越高, 越利于推广二熟制。图 3 显示受荞麦限制, 大麦-荞麦最适宜区仍集中在东部的

虎林、鸡西地区, 中部有少量分布。

因荞麦生态最适宜区分布较窄, 试通过灌溉提高降水适宜度, 采取对荞麦加入一次灌溉。荞麦在盛花期为需水临界期, 选取 8 月上旬灌溉^[16]。已知灌溉量充足的情况下, 降水适宜度 ≈ 1 , 则大麦-荞麦二熟制适宜度分布见图 4。

3 讨论

以上生态适宜度模型细化了作物不同生育期对光、温和水的需求, 与相对气象产量拟合划定阈值的方法比较, 采用模糊等级法确定阈值^[16]更为可靠, 拟合结果均通过 0.05 的显著性检验。通过对比显示黑龙江大麦适宜度分布与调查资料基本吻合, 验证了结果的准确性; 荞麦虽不是传统作物, 但前人研究显示^[7,17], 黑龙江鹤岗、伊春沿线以东积温值仅次于西南部地区, 虎林地区年平均降水量充沛, 与本研究大麦-荞麦在雨养条件下最适宜区分布相对应。加入灌溉后显示最适宜区面积扩大近 3 倍, 并且在黑龙江中部地区已有广泛分布。

基于大麦-荞麦二熟制生态适宜度研究, 为提高结果的参考价值, 加入经济和社会因素进一步探讨该种植模式在黑龙江的发展前景。

3.1 经济效益分析

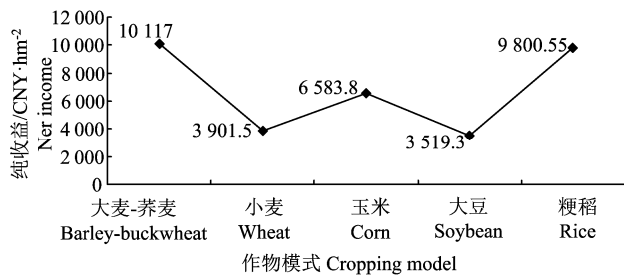
大麦、荞麦各项生产成本见表 5, 用净产值和纯收益作为经济效益主要衡量指标^[18]。净产值为总产值减去生产资料投入成本; 纯收益为净产值与人工费用之差。

年鉴中整理大麦、荞麦种植县、市 2000—2014 年产量数据, 顺序排列并对前 1/4 数据取平均后作为最适宜区产量值, 统计大麦和荞麦产量, 结果分别为 4 707 和 1 681.8 kg·hm⁻²; 为提高保证率, 以产量低 10% 计算收益情况, 则净产值和纯收益分别为 12 511 和 10 117 CNY·hm⁻²。

表 5 农作物经济指标调查
Table 5 Survey crop economic indicators

费用项目 Cost item	大麦 Barley	荞麦 Buckwheat
市场价格/CNY·kg ⁻¹ Market prices	3	5
投入项目/CNY·hm ⁻² Investment projects		
种子 Seed	758	675
化肥 Chemical fertilizer	1 798	800
农药 Pesticide	225	225
机具 Implement	1 725	1 560
人工 Labour	1 494	900

与传统种植模式相比, 大麦-荞麦二熟制更具有经济优势, 约为粳稻收益的 1.03 倍, 小麦收益的近 2.59 倍 (图 5)。在灌溉条件下, 不同灌溉模式投入成本不一, 统计 2013—2014 年间采用电泵抽水费用约 250 CNY·hm⁻², 柴油抽水费用约 450 CNY·hm⁻²。对于使用柴油灌溉来说, 在一次灌溉下大麦-荞麦与粳稻收益基本持平, 如进一步提高土地灌溉率, 最适宜区还将扩大, 但综合农业成本及水资源利用率, 仅考虑在黑龙江中部部分县、市增加一次灌溉。



小麦、玉米、大豆、粳稻数据来源于《全国农产品成本收益资料汇编-2014》; 均为 2013 年数据

The data of wheat, corn, soybean, rice from Compilation of cost and income data of agricultural products in China-2014; the data are from 2013

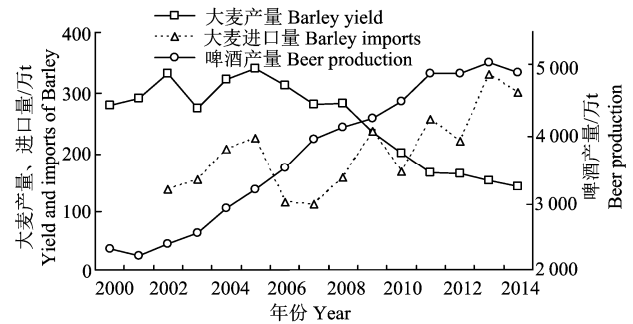
图 5 黑龙江不同种植模式纯收益比较

Figure 5 The comparison of pure benefit in Heilongjiang Province under different planting patterns

3.2 社会效益分析

从经济效益方面看, 大麦用途广泛, 集粮食、饲料和啤酒生产原料^[19]于一身。中国作为全球五大啤酒生产国之一, 2000—2014 年间啤酒产量以年均 232 万 kL 增长, 而国内大麦的产量却从 2005 年开始显著下滑, 2010—2014 年间基本呈现进口量大于产量的势态 (图 6), 因此政府政策上大力扶持大麦种植, 为扩大大麦播种面积提供契机。荞麦作为一种小众作物, 近年来对其营养、保健价值逐步认可, 其加工产品备受青睐, 市场前景看好。2010 年以来全国范围内价格不断攀升, 资料显示 2014 年部分地区市场收购价格已上涨到 5.8 CNY·kg⁻¹, 为农民带

来巨大效益。



数据来源于 2014—2020 年中国大麦行业市场分析与发展趋势研究报告。

Data from 2014 to 2020, the market analysis and development trend of barley industry in China

图 6 2000—2014 年中国大麦产量、进口量和啤酒产量
Figure 6 Statistics of barley production, imports and beer production in China from 2000 to 2014

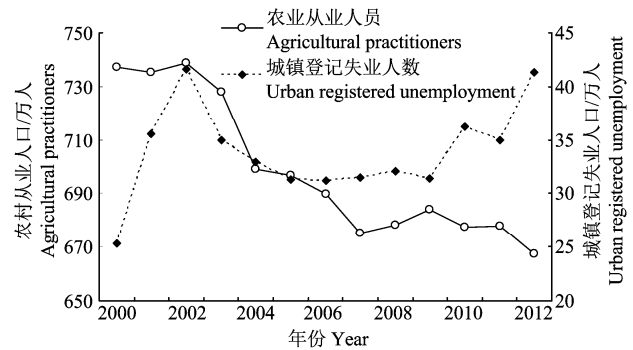


图 7 2000—2012 年黑龙江农业从业人员及城镇登记失业人数

Figure 7 Agricultural workers, the registered urban unemployment statistics in Heilongjiang Province in 2000—2012

从劳动力需求方面看, 图 7 显示 2000—2012 年黑龙江农业从业人员整体呈现递减趋势, 与之相对的城镇登记失业人口却呈现增长势态。如推动大麦-荞麦二熟制, 投入少、产量高且易管理, 同时市场前景看好, 将吸引外出务工人员返乡, 促进劳动力资源优化配置。

4 结论

在雨养条件下, 黑龙江已具备发展大麦-荞麦二熟制的生态条件, 且较传统模式经济效益好。加入一次灌溉后最适宜区明显扩大, 经济效益虽在灌溉区与粳稻基本持平, 但从生物多样性及丰富农产品市场结构角度却优于一熟制, 同时二熟制还能增加粮食产量、吸纳富余劳动力, 与保障粮食安全及社会发展需要相适应, 政府应积极引导, 强化大麦-荞麦经济效益, 未来前景看好。

研究中忽略了地形地貌对气象因子的作用, 且黑龙江缺少荞麦统计资料, 采用内蒙古荞麦种植区模拟结果替代可能对精度上有影响。经济、社会效益数据来源对市场调查的准确度依赖性强, 需进一步探讨一种稳定的模型加以完善。

参考文献:

- [1] IPCC. Work group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Climate change 2013: the physical science basis: summary for policymakers, technical summary and frequently asked questions[R] [2013-10-28]. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf.
- [2] 杨婷, 赵文利, 王哲怡, 等. 基于遥感影像 NDVI 数据的中国种植制度分布变化[J]. 中国农业科学, 2015, 48(10): 1915-1925.
- [3] ZHNAG G L, DONG J W, ZHOU C P, et al. Increasing cropping intensity in response to climate warming in Tibetan Plateau, China[J]. Field Crop Res, 2013, 142: 36-46.
- [4] 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 329-336.
- [5] 朱新玉, 刘杰, 史本林, 等. 气候变暖背景下中原腹地冬小麦气候适宜度变化[J]. 地理研究, 2012, 31(8): 1479-1489.
- [6] 代立芹, 李春强, 魏瑞江, 等. 河北省冬小麦气候适宜度及其时空变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 399-406.
- [7] 曹萌萌, 李俏, 张立友, 等. 黑龙江省积温时空变化及积温带的重新划分[J]. 中国农业气象, 2014, 35(5): 492-496.
- [8] 杨晓强, 张立群, 李帅, 等. 1980-2008 年黑龙江省气候变暖及其对大豆种植的影响[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(2): 96-100.
- [9] 胡琦, 潘学标, 张丹, 等. 东北地区不同时间尺度下气温和无霜期的变化特征[J]. 中国农业气象, 2015, 36(1): 1-8.
- [10] 刘巽浩. 耕作学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 70-73.
- [11] 田俊, 黄淑娥, 祝必琴, 等. 江西双季早稻气候适宜度小波分析[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(4): 646-651.
- [12] 赖纯佳. 淮河流域农业种植制度的气候风险评估[D]. 广州: 广州大学, 2010.
- [13] 蒋定生, 黄国俊, 帅启富, 等. 渭北旱塬降水对农作物生长适宜度的模糊分析[J]. 中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊, 1992, 16(2): 61-71.
- [14] 易雪, 王健林, 宋迎波. 气候适宜指数在早稻产量动态预报上的应用[J]. 气象, 2010, 36(6): 85-89.
- [15] 王效瑞. 安徽未来气候变暖的农业最优决策研究[J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27(3): 309-312.
- [16] TUAN N T, QIU J J, VERDOODT A, et al. Temperature and precipitation suitability evaluation for the winter wheat and summer maize cropping system in the Huang-Huai-Hai plain of China[J]. Agr Sci China, 2011, 10(2): 275-288.
- [17] 顾红, 高永刚, 刘丹, 等. 黑龙江省近 43a 积温和降水的变化对农业的影响[J]. 黑龙江气象, 2007(4): 4-7.
- [18] 盛婧, 郑建初, 陈留根, 等. 现阶段作物生产的生态与经济效益评估—以江苏省为例[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 157-160.
- [19] 岳子惠. 我国大麦种植户生产决策行为分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 9-13.