



基于气候适宜度的黑龙江省大豆种植区划研究

薛志丹¹, 孟 军², 吴秋峰²

(1. 东北农业大学 工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 东北农业大学 理学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:为促进黑龙江省大豆种植结构优化、发展大豆种植业,结合黑龙江省实际情况,综合考虑温度、降水、日照,建立气候适宜度模型。利用黑龙江省 32 个气象站点 1998–2018 年逐日气候数据及大豆全生育期内的观测资料,计算大豆种植气候适宜度。基于计算结果及 K-means 算法将全省大豆种植区域进行划分。研究结果表明:黑龙江省大豆种植可以划分为 4 个区域,其中北部高寒地区的温度适宜度偏低(低于 0.30),大豆种植宜选取耐寒性强、发育期短的大豆品种;中、南部地区各项气候适宜度均高于省内均值,气候条件基本满足大豆生长发育所需,适宜发展大豆种植业。最终基于区划结果及区域气候特征,对各区域大豆种植品种提出建议。

关键词:黑龙江;大豆;气候适宜度模型;区划方法

Soybean Planting Division in Heilongjiang Province Based on Climate Suitability

XUE Zhi-dan¹, MENG Jun², WU Qiu-feng²

(1. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. College of Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to promote the optimization of soybean planting structure and develop soybean planting, a climate suitability model considering temperature, precipitation and sunshine factors was established in combination with the actual situation in Heilongjiang province. This study calculated the climate suitability of soybean planting based on the daily climate data of 32 meteorological stations in Heilongjiang province from 1998 to 2018 and the observation data during the whole soybean breeding period. Then we divided the soybean planting areas of Heilongjiang province based on the calculation results and K-means. The results showed that the soybean planting regions in Heilongjiang province can be divided into four regions. In the northern region, soybean with strong cold tolerance should be selected adapt to the low temperature suitability. The climate suitability of the central and southern regions is higher than the average of Heilongjiang province. The climatic conditions of the two regions basically meet the needs of soybean growth and development. Finally we make recommendations of the regional soybean varieties based on the results of regionalization and regional climate characteristics.

Keywords: Heilongjiang; Soybean; Climate suitable model; Regionalization method

黑龙江省作为中国大豆主要产区之一,拥有得天独厚的气候条件和土壤条件来生产非转基因大豆。黑龙江省大豆种植面积占全国大豆种植面积的 40%~44%,大豆产量占全国的 40%~46%^[1],全省约有豆农 660 万人,占农业人口的 1/3^[2],豆农 40%~50% 的家庭收入来自大豆,其中北部地区豆农的收入占比偏高。黑龙江省大豆产业的发展对中国大豆产业发展以及黑龙江省经济发展具有至关重要的作用。黑龙江省处于高纬度地区,在全球气候变化的影响下,大豆生产风险不断加大^[3]。因此,明确气候环境和大豆生长发育之间的关联性对于合理利用农业气候环境资源、降低生产风险及调整大豆生产结构具有重要意义。气温、降水、光照等气候条件是影响作物生长发育及产量的关键因素,明确大豆不同生育期对各气候因素的适宜性对

于驱动大豆生产布局显得尤为重要。

农业气候适宜度,简称气候适宜度,是一个具有模糊概念的量化指标,是通过模糊数学中隶属函数的方法用气温、降水、日照等气候因素的数量变化反映对作物生长发育的适宜性^[4]。众多国内外学者围绕农业气候适宜度相关问题开展了一系列研究,Wassmann 等^[5]对菲律宾的水稻产量受气候变化的影响程度进行关联性分析,并利用模型量化模拟,扩展研究范围;高红霞等^[6]结合内蒙古兴安盟的气象资料及玉米生育期资料,建立兴安盟玉米气候适宜度模型并与历年气象产量进行相关性分析,检验该模型的实际适用性;扬长保等^[7]基于农业气候适宜度,结合专家系统和 GIS 技术以乡镇为最小单位对吉林省进行划分。

本研究在前人农业气候适宜度研究的基础上,

收稿日期:2019-01-08

基金项目:黑龙江省哲学社会科学研究规划项目(16JYB17);黑龙江省教育厅成果研发培育项目(TSTAU-C2018009)。

第一作者简介:薛志丹(1995–),女,硕士,主要从事农业大数据的研究。E-mail:xzd0214@163.com。

通讯作者:孟军(1965–),男,博士,教授,博导,主要从事农业大数据和农业系统工程等研究。E-mail:merd@neau.edu.cn。

结合黑龙江省实际气候情况及大豆生长发育资料,对已有的适宜度模型进行改进,建立黑龙江省大豆气候适宜度模型。根据计算出的黑龙江省各地区的气候适宜度量化结果结合 K-means 算法对大豆种植区域进行区划,将区划结果同传统依靠积温带划分的大豆种植产区进行讨论分析,为黑龙江省大豆种植合理布局及结构调整提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况及材料

黑龙江省位于中国东北部,是中国位置最北、最东,纬度最高的省份,介于 E121°11′~135°05′, N 43°26′~53°33′,地貌特征为“五山一水一草三分田”,主要由山地、台地、平原和水面构成。气候为温带大陆性季风气候,≥10℃ 积温为 1 800~2 800℃,气温由南向北降低,降水集中在 6~8 月,西部易旱,中部及东部易涝,光照时间长,太阳辐射资源丰富。

地理信息数据获取自国家测绘局 1:25 万地理信息数据,包括黑龙江省行政边界、数字高程栅格数据等地理信息资料。黑龙江省 32 个气象观测站(气象站分布位置如图 1)1998~2018 年日平均气温、20:00~20:00 时降水量、日照时长等气象数据及气象观测站经纬度坐标均来源于中国气象局气象数据中心在中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)公布的数据资料。黑龙江省大豆品种种类、生长特性等资料均来自 2005~2018 年黑龙江省种子管理局发布的《黑龙江审定推广的大豆品种》。

1.2 试验设计

根据黑龙江省历年大豆生长发育过程中观测资料,将大豆的全育期分为 6 个阶段,分别为播种—出苗、出苗—三真叶、三真叶—开花、开花—结荚、结荚—鼓粒、鼓粒—成熟。以日气象要素作为单位,建立黑龙江省大豆温度、降水、日照适宜度模型^[8-10]。在地理信息系统中,将获取到的 1:25 万地理信息数据导入,进行拼接、配准等图层处理,最终生成黑龙江省经纬度栅格图层。利用地理信息系统的空间分析功能,结合 32 个气象观测站的气候适

宜度计算结果,实现由点到面的空间合并,生成基于气候适宜度的黑龙江省大豆种植温度、降水、日照区划图;运用 K-means 算法结合气候适宜度计算结果对黑龙江省大豆种植进行区划并与传统基于积温带划分的区划图进行对比分析。

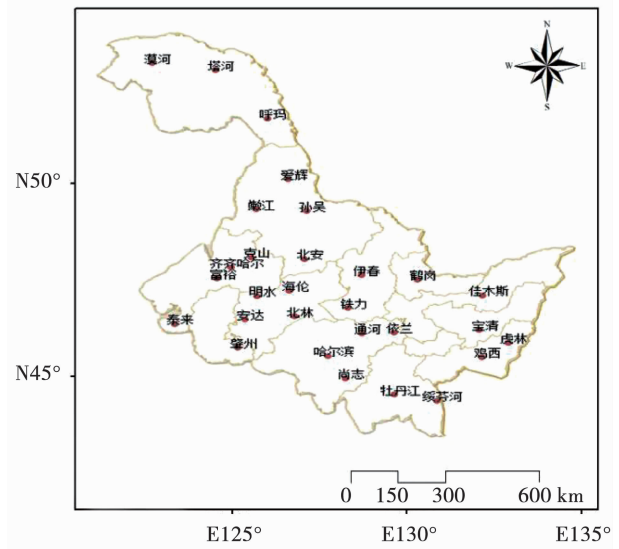


图 1 黑龙江省气象观测站分布图

Fig. 1 The meteorological observatory distribution of Heilongjiang province

1.3 气候适宜度模型的建立

1.3.1 温度适宜度函数 本研究结合黑龙江省的实际情况和大豆各生育期气象指标,确定温度适宜度函数计算如式(1)。

$$F(t) = \frac{(t - t_l)(t_h - t)^B}{(t_0 - t_l)(t_h - t_0)^B}$$
 (1)

其中,B 的取值如式(2)所示。

$$B = \frac{t_h - t_0}{t_0 - t_l}$$
 (2)

式(1)中 F(t) 为某一生育时期的温度适宜度;t 为大豆某发育期日平均温度;t_l、t_h 和 t₀ 分别为大豆各生育时期所需的下限温度、上限温度和适宜温度,参照东北地区春大豆指标体系^[11],结合黑龙江省大豆生产实践,确定大豆各生育时期三基点温度,如表 1 所示。

表 1 大豆各生育期的上限、下限及适宜温度

Table 1 The minimum,maximum and optimum temperature at each growth phase of soybean (℃)

温度 Temperature	播种—出苗 Sowing-Seedling	出苗—三真叶 Seedling-Branching	三真叶—开花 Branching-Flowering	开花—结荚 Flowering-Podding	结荚—鼓粒 Podding-Seed filling	鼓粒—成熟 Seed filling-Maturity
t _l	7.5	10.0	13.0	16.0	14.0	10.0
t _h	15.0	19.0	22.0	24.0	23.0	18.0
t ₀	26.0	30.0	32.0	32.0	30.0	26.0

1.3.2 水分适宜度函数 参考马树庆等^[12]研究,大豆某一生育时期降水量/需水量 < 0.9 时,出现轻旱;大豆某一生育时期降水量/需水量 > 1.2 时,出现轻涝;0.9 ≤ 大豆某一生育时期降水量/需水量 ≤ 1.2 时,认为基本符合大豆生长发育所需水分,故水分适宜度计算如式(3)。

$$F(r) = \begin{cases} \frac{r}{0.9ET_c} & r < 0.9ET_c \\ 1 & 0.9ET_c \leq r \leq 1.2ET_c \\ \frac{1.2ET_c}{r} & r > 1.2ET_c \end{cases} \quad (3)$$

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (4)$$

式(3)中 $F(r)$ 为某一生育时期的水分适宜度; r 为大豆某发育期累积降水量; ET_c 为大豆各生育时期的需水量。式(4)中 K_c 为大豆作物系数, ET_0 为作物参考蒸散量,采用国际粮农组织 (FAO) 推荐的 Penman-Monteith 方法计算^[13]。本文中 K_c 、 ET_c 的取值见表 2。

1.3.3 日照适宜度函数 相关研究表明^[14],当日

照时数达到可日照时数的 70% 以上时,作物达到对光照反映的适宜状态,采用式(5) 计算大豆各生育期日照适宜度。

$$F(S) = \begin{cases} e^{-[(S-S_0)/b]^2} & S < S_0 \\ 1 & S \geq S_0 \end{cases} \quad (5)$$

其中, $F(S)$ 为大豆某发育时期日照适宜度函数, S 为某生育时期实际日照时数, S_0 为可日照时数 (L_0) 的 70%, L_0 的计算方法参照式(6)、(7)^[15], b 为日照常数,随生育时期不同而变化,其参考取值见表 2。

$$\sin \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\sin(45^\circ - \frac{\phi - \delta - \gamma}{2}) \times \sin(45^\circ + \frac{\phi - \delta - \gamma}{2})}{\cos \phi \times \cos \delta}} \quad (6)$$

$$L_0 = \frac{2t}{15} \quad (7)$$

式(6)中, ϕ 为地理纬度, δ 为赤纬, γ 为蒙气差, t 为时角。

表 2 大豆各生育期作物系数、需水量及日照常数 b

Table 2 The crop coefficient, water requirement and sunshine constant b at each growth phase of soybean						
发育期	播种 - 出苗	出苗 - 三真叶	三真叶 - 开花	开花 - 结荚	结荚 - 鼓粒	鼓粒 - 成熟
Development period	Sowing-Seedling	Seedling-Branching	Branching-Flowering	Flowering-Podding	Podding-Seed filling	Seed filling-Maturity
K_c	0.45	0.60	0.90	1.32	1.20	0.70
ET_c/mm	26.90	95.70	18.90	155.61	66.69	186.30
b	5.05	4.87	4.72	4.48	4.18	4.18

1.3.4 K-means 聚类算法 聚类是一个将不同的对象按照某种类似的属性划分和分类成多个类别的过程^[16]。K-means 聚类算法是一种无监督学习,是以距离为相似度进行分类,首先随机选取 K 个初始聚类中心,然后对所有数据点进行分类,采用误差平方及准则函数计算每个对象与 K 个聚类中心的距离,改变聚类中心,不断迭代,最终使目标函数 J_c 最小,误差平方和准则函数如式(8)所示。

$$J_c = \sum_{j=1}^C \sum_{k=1}^{n_j} \|x_k^{(j)} - m_j\|^2 \quad (8)$$

其中, m_j 是 C 个聚类中心,分别代表 C 个类。本文将黑龙江省 32 个气象站点作为研究对象,各站点的温度、降水、日照适宜度作为变量,进行相似度分析,使得大豆种植综合气候条件相似的地区形成聚类。依据黑龙江省种子管理局审定推广的各大豆品种的生长特性,将各大豆品种各生育时期所需的温度、降水及日照条件作为分析要素,并将其同各区域气候适宜度指标进行对比分析,筛选出各区域适宜种植的大豆品种,进而完成黑龙江大豆种植品种区划。

2 结果与分析

2.1 黑龙江省大豆种植气候适宜度分析

根据黑龙江省 32 个气候站 1998 - 2018 年大豆全育期内的气温、降水及日照数据结合适宜度函数计算各地每年大豆种植的温度、降水及日照适宜度量化数值,并取各项指标历年的平均值作为当地的气候适宜度数量值^[17-18]。由表 3 可知,1998 - 2018 年大豆全育期的温度适宜度为 0.188 2 ~ 0.891 2,全省均值为 0.539 7,差值达 0.703 0;省内差值较大的原因在于黑龙江省纬度跨度大,位于最北端的漠河县属寒温带大陆季风性气候,春季升温延缓、秋季降温急剧,常有早霜和冻害发生,故在大豆发育的播种一出苗、结荚一鼓粒、鼓粒一成熟阶段的温度适宜度偏低,1999 年漠河的温度适宜度低至 0.047 6,温度条件较不适宜大豆种植。

黑龙江省的降水资源比较稳定,全省年降水量为 400 ~ 650 mm,降雨量总的分布趋势是山区大,平原区小,东部大,西部及西北部小,中南部次之。水分为作物生长发育必不可少的因素,适宜的水分会

对作物的生长发育、产量产生促进的作用;水分不足、水分过多则会阻碍作物的生长发育^[19-20]。由表3可知,黑龙江省1998-2018年大豆全育期的水分适宜度为0.4451~0.5600,全省均值为0.5026,差值仅为0.1149;省内大豆种植水分适宜度差值较小,主要原因为全省降水集中于作物生长季,生长季降水约为全年总量的83%~94%且省内夏季降水差异偏小,故水分适宜度量化数值较集中且降水基本满足大豆生长发育所需。

表3 黑龙江省各气候站点大豆气候适宜度平均值(1998-2018)

Table 3 The mean of climate suitability of soybean sites in Heilongjiang province (1998-2018)

站名 Station	温度适宜度 Temperature suitability	水分适宜度 Precipitation suitability	光照适宜度 Sunshine suitability
漠河 Mohe	0.1882	0.5009	0.7303
塔河 Tahe	0.3637	0.4825	0.6502
新林 Xinlin	0.2826	0.5254	0.7118
呼玛 Huma	0.6572	0.4602	0.7938
加格达奇 Jiagedaqi	0.5432	0.5180	0.7577
爱辉 Aihui	0.7286	0.5029	0.7826
嫩江 Nenjiang	0.7442	0.5052	0.7889
孙吴 Sunwu	0.7003	0.4912	0.7313
北安 Beian	0.8055	0.5176	0.7845
克山 Keshan	0.8165	0.4979	0.7768
富裕 Fuyu	0.8448	0.4484	0.7530
齐齐哈尔 Qiqihar	0.8757	0.4694	0.8562
海伦 Hailun	0.8164	0.5104	0.7842
明水 Mingshui	0.8376	0.5222	0.7413
伊春 Yichun	0.7186	0.5476	0.6989
鹤岗 Hegang	0.8205	0.5164	0.6725
富锦 Fujin	0.8452	0.4833	0.7238
泰来 Tailai	0.8811	0.4451	0.8429
北林 Beilin	0.8616	0.5308	0.7909
安达 Anda	0.8754	0.4827	0.7700
铁力 Tieli	0.8082	0.5600	0.7540
佳木斯 Jiamusi	0.8580	0.5005	0.7244
依兰 Yilan	0.8501	0.5286	0.6915
宝清 Baoqing	0.8774	0.4829	0.7413
肇州 Zhaozhou	0.8812	0.4882	0.8599
哈尔滨 Harbin	0.8912	0.5139	0.7206
通河 Tonghe	0.8360	0.5286	0.7372
尚志 Shangzhi	0.8528	0.5500	0.7409
鸡西 Jixi	0.8621	0.5063	0.7578
虎林 Hulin	0.8689	0.5127	0.7926
牡丹江 Mudanjiang	0.8769	0.5233	0.6957
绥芬河 Suifenhe	0.7003	0.4937	0.6613

2.2 黑龙江省大豆全育期气候适宜度的空间分布

利用地理信息系统的空间分析功能,分别将全省32个气象站的各项气候适宜度指标作为各坐标点的属性值,并据此实现由点到面的空间辐射,展示黑龙江省大豆全育期内温度、降水及日照适宜度

日照是保证作物正常生长发育的重要因素,日照时长及日照强度直接影响作物的生长发育速度及植株的发育程度。黑龙江省日照资源较丰富,全省年日照时数多为2400~2800h,其中生长季日照时数占总时数的44%~48%。由表3可知,黑龙江省1998-2018年大豆全育期的日照适宜度为0.6502~0.8599,全省均值为0.7751,差值为0.2097;全省日照适宜度较高,全省日照条件基本满足大豆各个发育阶段所需。

的空间分布情况^[21-24]。

由图2可知,温度适宜度的数值分布受纬度影响明显,全省温度适宜度的空间分布基本呈水平移动的趋势;随着纬度的降低,大豆全育期的温度适宜度呈现升高的趋势,北部漠河县地处我国最北

端,年均气温偏低,无霜期短且春季升温较缓,不能够较好地满足大豆播种一出苗期的温度所需,大豆种植温度适宜度偏低;南部地区齐齐哈尔、大庆、绥

化等地的温度适宜度偏高,其播种一出苗、出苗—三真叶、三真叶—开花阶段的温度适宜度明显优于中、北部地区同发育期的温度适宜度。

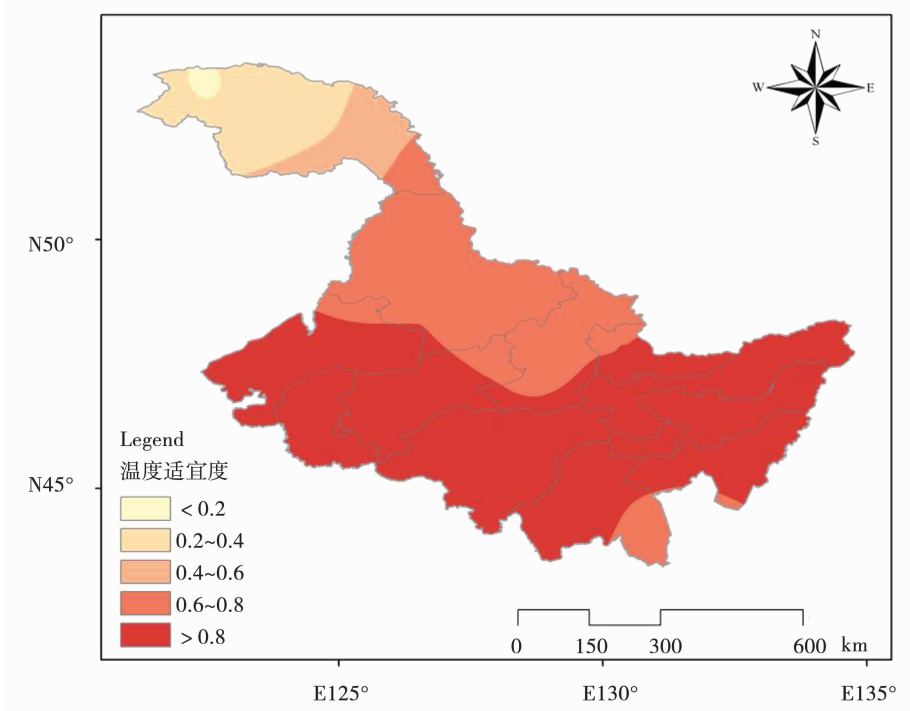


图2 黑龙江省大豆全育期温度适宜度的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of soybean temperature suitability during the whole breeding period in Heilongjiang province

化黑龙江省大豆全育期水分适宜度的空间分布情况如图3,全省水分适宜度根据数值可划分为4个层次,水分适宜度大多集中在0.45~0.50和

0.50~0.55两个层次;处于黑龙江省中、东部地区、绥化、哈尔滨、牡丹江及伊春市的水分适宜度偏高,其中伊春市西南部的水分适宜度为省内最优范围。

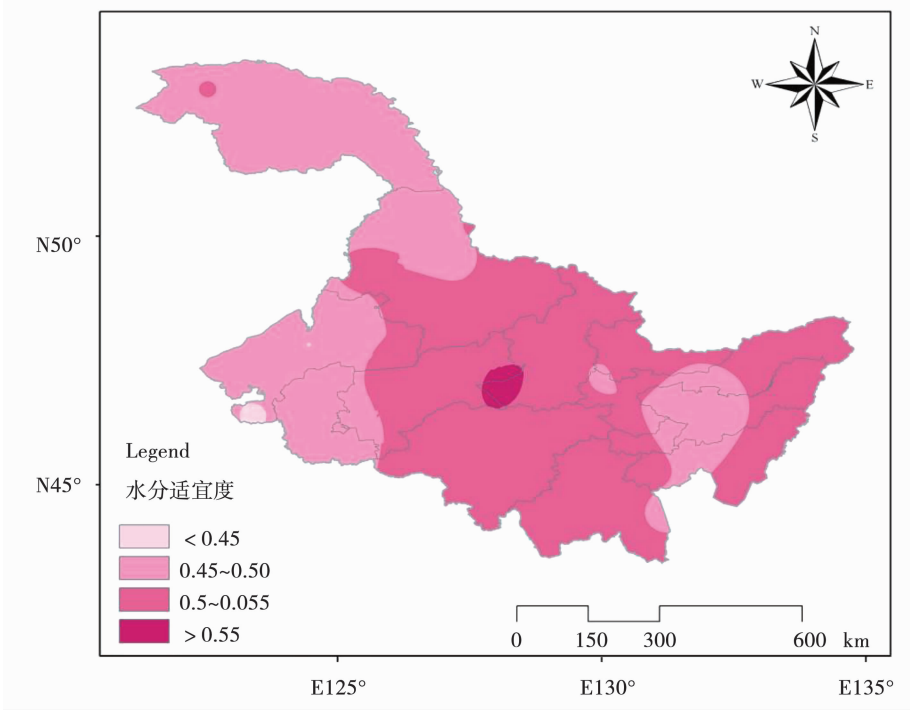


图3 黑龙江省大豆全育期水分适宜度的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of soybean precipitation suitability during the whole breeding period in Heilongjiang province

黑龙江省太阳辐射资源比较丰富,生长季的辐射总量占全年的55%~60%,有利于作物的生长发育。由图4可知,省内大部分地区的大豆种植日照适宜度为0.70~0.80,西部地区的日照适宜度明显

优于东部;其中,大兴安岭地区中部及牡丹江南部的大豆种植日照适宜度偏低,为0.65~0.70;齐齐哈尔西南部及大庆中南部地区的日照情况最适宜大豆种植。

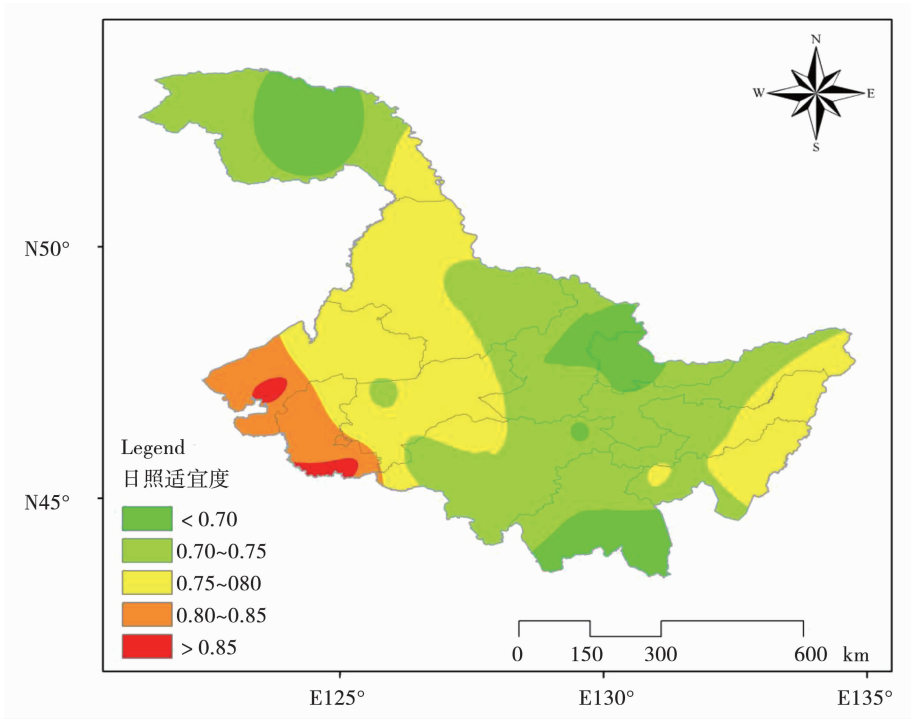


图4 黑龙江省大豆全育期日照适宜度的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of soybean sunshine suitability during the whole breeding period in Heilongjiang province

2.3 基于气候适宜度的 K-means 聚类结果及大豆种植区划

依据上文中黑龙江省大豆种植的温度、水分、日照适宜度的计算结果,将各气候站点的3项气候适宜度指标作为变量,进行K-means聚类分析,使得所有气候站点按照大豆种植气候适宜度的相似程度进行分类,并根据分类结果对黑龙江省大豆种植进行区划。由表4中的聚类结果,将黑龙江省划分成4个大豆种植区域,各区域温度、水分、日照条件均存在差异。其中,I类种植区域温度适宜度低于0.40;日照适宜度偏低,低于省内平均水平;水分适宜度约为0.50,基本满足大豆全育期内的生长所需。此种植区域年平均气温较低(如漠河年平均温度-5℃),无霜期较短,春季降水偏少,容易发生春旱,适宜种植耐寒性强、发育期短的早熟类大豆品种。II类种植区域温度适宜度及日照较I类种植区域有明显优势,整体温度适宜度均值为0.70,夏季温度适宜度明显高于春、秋两季;水分适宜度的

范围为0.4602~0.4912;日照适宜度较高,数值在0.75附近波动。该区域适宜种植播种期稍晚,且出苗至成熟发育日数较短的大豆品种。III类种植区域的温度适宜度为0.7442~0.8689;水分适宜度为0.4827~0.8165;日照适宜度为0.7768~0.8599。此区域夏季短促,温热多雨;秋季降温迅速且多雨;无霜期平均为140 d,气候条件适宜种植播种期及成熟期较早,三真叶一开花、开花一结荚期需水量较大的大豆品种。IV类种植区域为全省大豆种植气候适宜度最高的区域,温度适宜度为0.8376~0.8912;水分适宜度集中分布在0.50~0.55。此区域大豆全育期内平均温度为全省最高,降水及光照充足,且降水集中在夏季,适宜种植中晚熟、单产较高的大豆品种。

为充分利用全省的气候资源与种质资源、提升大豆产量及大豆品质,根据各种植区域气候特征选取适宜种植的大豆品种,完成大豆种植品种区划,具体大豆种植品种区划见表4。

表 4 黑龙江省大豆种植品种区划
Table 4 Zoning of soybean planting varieties in Heilongjiang province

聚类 Cluster	地区 Region	大豆品种 Soybean variety
I	漠河县、新林区、呼中区、塔河县	北豆 36、吴疆 1 号、华疆 2 号、圣豆 44、北兴 1 号、北豆 43、黑河 35
II	加格达奇、松岭区、呼玛县、黑河市北部(孙吴县、逊克县)、伊春市北部(嘉荫县)	华疆 4 号、北豆 42、东农 49、黑河 45、黑河 43、黑河 52、广石绿大豆 1 号、克山 1 号、金源 55、合农 95
III	黑河市南部(嫩江、五大连池、北安)、齐齐哈尔北部(讷河市、克山县、克东县)、泰来县、海伦市、安达市、大庆东部(肇州县)、鸡西东部(虎林市)	东农 60、绥农 38、黑河 48、北豆 40、东生 7 号、绥农 44、绥农 36、东农 63、东农 48、东农 52、合丰 55、合丰 50、润豆 1 号
IV	齐齐哈尔中部(富裕县)、绥化西部(明水县)、伊春南部(铁力市)、鹤岗市、佳木斯中南部(佳木斯市、富锦市)、双鸭山东部(宝清县)、哈尔滨(依兰县、通河县、尚志市)、鸡西市、牡丹江中部(牡丹江市、绥芬河)	东农 55、黑农 52、黑农 51、东农 42、东农 57、东农豆 251、东农豆 252

3 讨 论

黑龙江省传统的大豆种植区划采用 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温区划的方法,将黑龙江省划分为 6 个积温带,并按照所处积温带的不同对大豆种植品种进行限定。此方法仅就活动积温 1 个因素对黑龙江省大豆种植进行区划,忽略了降水、日照等因素对于大豆生长的影响及气候条件对各发育期的不同效应;另一方面,区划的数据来源于 1990 年之前的气候数据,随着全球气候的变化,近 20 年全省气温较之前有明显的上升,以往的数据不能够良好地体现目前的气候状况。

在传统区划方法的基础上,国内众多学者展开一系列相关研究。杨显峰等^[25] 根据 1971 – 2006 年气候数据,以每 10 年为研究区间研究黑龙江省内平均积温变化趋势,将平均积温变化和旬平均温度变化与大豆温度适宜度作为参照对目前黑龙江省大豆种植区划进行修正;胡国兴等^[26] 从大豆品种生育期多样性及分布规律的角度,以 21 个北美大豆生育期组标准品种为对照,在扎兰屯、赤峰、呼和浩特、杭锦后旗和额济纳旗 5 个地点,对从内蒙古自治区各地生产上收集的具有代表性大豆品种进行田间种植,每个品种选整齐一致的植株进行定点观察,应用分年度划分法对供试品种进行生育期组划分,并根据品种分布区域,参照当地农业区划和气象资料对内蒙古自治区大豆种植进行区划。本文结合气候适宜度、K-means 算法,对黑龙江省大豆种植进行重新区划,依据平均积温变化修正大豆种植区划的研究方法,综合考虑到温度、水分、日照气候条件对大豆生长发育的影响;与通过生育期分组优化品种布局的研究方法相比,前者更多地关注于作物本身的生长及分布规律,通过试验观察结果,按照各生育期组大豆的特性及自然分布规律来完成品种区划,本文则从气候条件的角度出发,研究各地大豆种植气候适宜度,按照气候适宜度指标首先完成

大豆种植区域划分,其次根据各大豆品种的生长特性,分析匹配各区域适宜种植的大豆品种,最终完成大豆种植品种划分。

此外,作物的生长是一个复杂多变且受多方面因素影响的过程,除文中提到的 3 个因素外还会受到土壤、肥料、栽培措施等诸多因素的影响。且受数据条件的限制,本文中所使用的大豆生长的三基点温度指标及作物系数,均参考全省平均指标,该指标会与北部高寒地区大豆实际生长情况有一定差异。在水分适宜度函数构建中,仅考虑生理需水量及发育期的实际降水量,忽略了降水的后延性、降水引起的地表径流及降水下渗。在之后的研究中应考虑依据土壤相对湿度数据对水分适宜度模型进行优化,并按照行政区域修正温度指标值,使得研究结果更具准确性。

4 结 论

本文结合黑龙江省实际情况,对温度、降水、日照适宜度函数中的参数及各生育时期对大豆生长发育影响的权重系数进行修正,建立了以生育时期为尺度的黑龙江省大豆气候适宜度模型。依据 1998 – 2018 年全省 32 个气象站点的日值数据及气候适宜度函数计算各地历年大豆全育期的温度、降水、日照适宜度,根据计算结果及 K-means 算法将黑龙江省大豆种植区域重新划分成 4 个区域并依据区域气候适宜度特征对大豆种植品种进行合理布局。以期依据区划结果,合理规划黑龙江省大豆种植面积及品种结构,提高黑龙江省的大豆产量及大豆品质。

参考文献

[1] 吴俊彦. 播期对黑河主栽大豆生育进程和产量及品质的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2013. (Wu J Y. Effects of sowing date on the growth process, yield and quality of main soybean in Heihe [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sci-

ences, 2013.)

[2] 刘光武. 黑龙江省大豆产业发展研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2016. (Liu G W. A study on the soybean industry development in Heilongjiang province[D]. Jilin: Jilin University, 2016.)

[3] 杨晓娟, 刘园, 白薇, 等. 黑龙江大豆生产时空分析与风险评估[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(2): 201-205. (Yang X J, Liu Y, Bai W, et al. Spatial and temporal analysis and risk assessment of soybean production in Heilongjiang province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(2): 201-205.)

[4] 徐玲玲, 吕厚荃, 方利. 气候变化对黄淮海地区夏玉米气候适宜度的影响[J]. 资源科学, 2014, 36(4): 782-787. (Xu L L, Lyu H Z, Fang L. Effects of climate change on climate suitability of summer maize in Huang-Huai-Hai region[J]. Resources Science, 2014, 36(4): 782-787.)

[5] Robin M, Reiner W. Modelling the impacts of climate change and methane emission reductions on rice production: A review[J]. European Journal of Agronomy, 2003, 19(4): 573-598.

[6] 高红霞, 武荣盛, 刘洋. 内蒙古兴安盟玉米气候适宜度模型构建[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2017, 38(1): 23-28. (Gao H X, Wu R S, Liu Y. Construction of corn climate suitability model in inner mongolia Xing'an league[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2017, 38(1): 23-28.)

[7] 刘国成, 杨长保, 刘万崧, 等. 基于模糊数学的农业气候适宜度划分研究及应用[J]. 吉林农业大学学报, 2007(4): 460-463. (Liu G C, Yang C B, Liu W Z, et al. Research and application of agroclimatic suitability division based on fuzzy mathematics[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2007(4): 460-463.)

[8] 张超. 同化数据在气候适宜度区域化模型中的应用[J]. 中国农学通报, 2017, 33(1): 120-127. (Zhang C. Application of assimilation data in regional model of climate suitability[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(1): 120-127.)

[9] 武晋雯, 孙龙戩, 纪瑞鹏, 等. 辽宁水稻气候适宜度日尺度评价研究[J]. 资源科学, 2017, 39(8): 1605-1613. (Wu J W, Sun L Z, Ji R P, et al. Daily scale evaluation of rice climate suitability in Liaoning[J]. Resources Science, 2017, 39(8): 1605-1613.)

[10] 刘维, 李伟君, 吕厚荃. 早稻抽穗开花至成熟期气候适宜度对气候变暖与提前移栽的响应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(1): 49-59. (Liu W, Li Y J, Lyu H Q. Response of climate suitability to early warming and early transplanting in early rice from flowering to maturity[J]. Chinese Agricultural Science, 2018, 51(1): 49-59.)

[11] 杨显峰, 杨德光, 汤彦辉, 等. 东北春大豆气候适宜性指标体系的建立研究初步[J]. 种子世界, 2009(11): 36-38. (Yang X F, Yang D G, Tang Y H, et al. Study on the establishment of climate suitability index system for spring soybean in northeast China[J]. Seed World, 2009(11): 36-38.)

[12] 马树庆, 王琪, 于海, 等. 东北地区玉米出苗速度与水土热条件的关系及出苗期气象评估[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8): 2049-2055. (Ma S Q, Wang Q, Yu H, et al. The relationship between emergence rate of maize and hydrothermal conditions in northeast China and meteorological assessment during emergence[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(8): 2049-2055.)

[13] 邱美娟, 郭春明, 王冬妮, 等. 基于气候适宜度指数的吉林省大豆单产动态预报研究[J]. 大豆科学, 2018, 37(3): 445-451, 457. (Qiu M J, Guo C M, Wang D N, et al. Dynamic prediction of soybean yield in Jilin province based on climate suitability index[J]. Soybean Science, 2018, 37(3): 445-451, 457.)

[14] 李秀芬, 朱海霞, 宫丽娟, 等. 黑龙江省寒地大豆气候适宜度演变特征[J]. 中国农学通报, 2018, 34(28): 93-100. (Li X F, Zhu H X, Gong L J, et al. Evolution characteristics of climate suitability of cold soybeans in Heilongjiang province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(28): 93-100.)

[15] 黄璜. 中国红黄壤地区作物生产的气候生态适应性研究[J]. 自然资源学报, 1996(4): 340-346. (Huang H. Study on the climate ecological adaptability of crop production in red-yellow soil region of China[J]. Journal of Natural Resources, 1996(4): 340-346.)

[16] Ron L, Avi O. Clustering for real-time response to water distribution system contamination event intrusions[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2019, 145(2): 243-251.

[17] 王英. 基于GIS及综合权重法的甘肃黄土高原区山洪灾害风险区划研究[J]. 中国农村水利水电, 2018(8): 118-122. (Wang Y. Study on the risk regionalization of mountain flood disasters in the Loess Plateau region of gansu based on GIS and comprehensive weight method[J]. China Rural Water and Hydropower, 2018(8): 118-122.)

[18] 侯英雨, 张艳红, 王良宇, 等. 东北地区春玉米气候适宜度模型[J]. 应用生态学报, 2013, 24(11): 3207-3212. (Hou Y Y, Zhang Y H, Wang L Y, et al. The climate suitability model of spring maize in Northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(11): 3207-3212.)

[19] Ivo E R, Luigi M, Gabriele C, et al. Abrupt and gradual temperature changes influence on the climatic suitability of northwestern Alpine grapevine-growing regions for the invasive grape leafhopper Scaphoideus titanus Ball (Hemiptera, Cicadellidae) [J]. Acta Oecologica, 2018, 91: 22-29.

[20] Julia A, Carlos R P, Karl L S, et al. Modeling climatic and hydrological suitability for an encroaching tree species in a Neotropical flooded savanna[J]. Forest Ecology and Management, 2018, 429: 244-255.

[21] 马增林. 黑龙江省大豆产业发展问题研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009. (Ma Z L. Research on the development of soybean industry in Heilongjiang province[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009.)

[22] Shahid A, Juntakan T, Kuaanan T, et al. GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand[J]. Renewable Energy, 2019, 132: 1360-1372.

[23] Dumitru M, Petru, Ionel B. The suitability of moldova climate for balneary-climatic tourism and outdoor activities-a study based on the tourism climate index[J]. Present Environment and Sustainable Development, 2018, 12(1): 263-282.

[24] Oliveira E F, Martinez P A, Sao-Pedro V A, et al. Climatic suitability, isolation by distance and river resistance explain genetic variation in a Brazilian whiptail lizard[J]. Heredity, 2018, 120(3): 251-265.

[25] 杨显峰, 杨德光, 汤艳辉. 黑龙江省年有效积温变化趋势和大豆温度生态适宜性种植区划[J]. 作物杂志, 2010(2): 62-65. (Yang X F, Yang D G, Tang Y H. Changes of annual effective accumulated temperature and soybean temperature ecological suitability in Heilongjiang province[J]. Crops, 2010(2): 62-65.)

[26] 胡兴国, 宋雯雯, 魏云山. 内蒙古自治区大豆品种生育期分组及种植区划[J]. 中国农业科学, 2016, 49(2): 260-271. (Hu X G, Song W W, Wei Y S. Grouping and planting division of soybean varieties in Inner Mongolia Autonomous region[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(2): 260-271.)