



李阳,魏然,韩德志,等.黑河地区气象因子对大豆品种黑河 43 产量构成的影响[J].黑龙江农业科学,2022(6):22-26.

黑河地区气象因子对大豆品种黑河 43 产量构成的影响

李 阳¹,魏 然^{2,3},韩德志^{2,3},袁 园¹,姜 宇^{2,3},于晓光²,崔杰印^{2,3},位昕禹²

(1.黑龙江省黑河市气象局,黑龙江 黑河 164300;2.黑龙江省农业科学院 黑河分院,黑龙江 黑河 164300;3.国家土壤质量爱辉观测实验站,黑龙江 黑河 164300)

摘要:目前国内种植面积最大的大豆品种黑河 43,产量多年表现较稳定,为探索气象因子对其产量构成的影响,本研究利用 2017—2021 年连续 5 年黑河市气象局所观测的气象因子数据,监测黑龙江省农业科学院黑河分院试验基地中黑河 43 的产量构成因子,对气象因子与产量因子进行相关性分析,建立适合黑河地区的大豆产量预报模型。结果表明:黑河 43 产量构成与 6 月平均温度和 7 月降水量正相关性较强,与 9 月降水量和 7 月日照时数呈显著负相关;利用多元线性回归分析,建立了黑河 43 产量构成的气象因子回归方程 $Y=3\,048.903-3.573X_1+2.387X_2-3.099X_3+0.03X_4$,表明 7 月日照时数(X_1)、6 月降水量(X_2)、9 月降水量(X_3)、7 月平均温度(X_4)对黑河 43 的产量构成具有显著作用。该回归方程可有效监测大豆品种黑河 43 的产量情况,并预测其产量。

关键词:黑河 43;气象因子;产量构成;相关分析;回归分析

大豆是我国重要的粮油作物,也是主要的植物蛋白质来源和工业原料^[1]。大豆产业的高质量发展是保障国家粮油安全、实现经济发展和社会稳定的重要基础^[2]。黑龙江省大豆种植面积和总产量都位居全国第一,而黑河地区是黑龙江省最重要的大豆产地。黑河市大豆种植面积常年稳定在 66 万 hm^2 以上,占全省的 1/3、全国大豆面积的 1/7,是全国大豆种植面积最大、总产量最高的地级市。因此享有“中国大豆看龙江,龙江大豆看黑河”的美誉^[3]。黑河地区位处黑龙江省东北部,属于寒温带大陆性季风气候,有效积温 1 950~2 300 $^{\circ}\text{C}$,年均降水量 500~550 mm,日照时数 2 560~2 700 h,无霜期 90~120 d,处于黑龙江省农业划分的第四、五、六积温带,地区内大豆的生育期为 105~120 d^[4-5]。在国家、省农业专项建设基金和产业发展基金支持下,黑河市正在力争加快建设高纬寒地优质大豆产业基地,延长大豆产业链,提升市场竞争力和占有率。而黑河 43 是

黑河地区最重要的主栽品种之一,是黑龙江省农业科学院黑河分院以黑交 92-1544 为母本,黑交 94-1211 为父本经多年选育而成的高产稳产大豆品种。于 2007 年通过黑龙江省审定推广,2012 起连续 6 年年推广面积在 67 万 hm^2 以上,是“十三五”期间全国推广种植面积最大的大豆品种,累计推广面积超过 666.67 万 hm^2 ^[6-7]。

近年来气候变化成为了一个全球性的重要研究方向,我国地表年平均温度以 0.23 $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 的速度上升,降水分布也出现了改变^[8]。农业是受气候变化影响最直接且敏感的行业^[9],气象因子是大豆生长过程中的必要因素,是影响大豆产量的主要原因之一。多变的气象因子会影响大豆产量,甚至会影响全国粮食安全。国内学者针对气象因子对农作物产量的影响进行了大量研究,其中丛日环等^[10]通过相关性分析和线性回归模型的方法,对长江流域冬油菜不同生育阶段的气象因子与产量的关系进行了分析,明确了各气象因子对冬油菜产量的影响;杨丽等^[11]利用 M-K 检验和 Sen 斜率对河北省宁晋县 1982—2018 年的气象数据和对应年份的玉米产量数据进行分析,进而解释了玉米生产主要的气象影响要素;杨宁等^[12]通过灰色关联度分析方法对玉米产量与气象因子进行了灰色关联分析,确定了各气象因子对玉米产量影响的大小;李香颜等^[13]通过回归

收稿日期:2022-03-14

基金项目:国家大豆产业技术体系资金资助项目(CARS-04-05B);黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项大豆优异品种创制及高产高效栽培配套技术集成(HNK 2019CX013-2);高效、绿色现代农业技术示范推广(2021 YD003-00)。

第一作者:李阳(1988—),女,硕士,工程师,从事农业气象研究。E-mail:379417684@qq.com。

分析,线性倾向估计和积分回归等方法分析了河南省气候变化与大豆产量之间的关系。整体来说国内针对气象因子对大豆产量影响的研究较少,而针对黑龙江省北部黑河地区的气象因子对大豆产量影响的研究鲜见报道。因此本研究以全国累计推广面积最大的大豆品种黑河43为研究对象,针对黑河地区气象因素对大豆产量构成进行分析,建立适合黑河地区的大豆产量预报模型,以期在黑河地区大豆产量监测提供科学准确的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

气象因子监测点设在黑龙江省黑河市爱辉区气象站,黑河43种植在黑龙江省农业科学院黑河分院试验基地(47°42′N~51°03′N,124°45′E~129°18′E),气象站与试验基地相距500 m。试验选用固定轮作地块,固定密度,按照一般生产田管理。试验田土壤类型为暗棕壤,有机质含量为39.7 g·kg⁻¹,pH6.08,碱解氮含量为266.86 mg·kg⁻¹,有效磷15.4 mg·kg⁻¹,速效钾102.09 mg·kg⁻¹。

1.2 材料

本研究利用2017—2021年连续5年黑河市气象局所观测的气象因子数据和黑河43产量及产量构成因子数据进行分析。供试大豆品种为黑河43,亚有限结荚习性,株高75.0 cm左右,无分枝,百粒重20.0 g左右。在适应区,出苗至成熟生育期为115 d左右,需≥10℃活动积温2 150℃左右^[5]。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 田间试验采用大区对比种植法,密度为33万株·hm²,小区面积为120 m²。大豆成熟后记录产量并选择2 m²样地采样,分别测量株高、单株荚数、单株粒数和百粒重等产量构成因素。气象数据采用黑河市爱辉区气象站观测的作物生育期内各月平均气温(T_{av})、降水量(RF)和日照时数(SH)。

1.3.2 数据分析 采用Excel 2010进行数据处理,SPSS 23.0对大豆产量构成因子和各气象因子相关性进行分析。

2 结果与分析

2.1 黑河地区气象因素变化

通过黑龙江省黑河市爱辉区气象局监测数

据,整理出近5年大豆生育期间各月相关气象数据(表1),分析气象因子变化情况,其中变异最大的是6月降水量(变异系数为85.13%),最小为9月平均气温(变异系数为3.03%),其他气象因子变异系数从大到小依次为9月降水量>7月降水量>5月降水量>8月日照时数>7月日照时数>8月降水量>5月日照时数>6月日照时数>9月日照时数,而各月平均气温变异系数均小于10%。通过分析可知黑河地区近5年气象因素中各月平均温度极为稳定,变异幅度很小,而各月的日照时数也整体相对稳定,变异幅度不大。但黑河地区的降水量变化较大,如6月最高年份降水量为192.0 mm,而最低年份仅为22.6 mm,9月最高年份降水量为142.1 mm,最低年份为23.9 mm。生育期降水量的变化对大豆生长发育有着重大影响,直接影响大豆产量,不同的气象因子变化致使黑河43不同年份间产量构成差异较大,需进一步进行相关分析。

表1 大豆生育期黑河地区气象因素变化

气象因子	平均值	最小值	最大值	变异系数/%
5月平均气温/℃	13.0±1.0	11.9	14.1	7.69
6月平均气温/℃	18.5±1.3	17.0	20.3	7.03
7月平均气温/℃	22.5±1.1	21.2	23.8	4.89
8月平均气温/℃	18.9±0.7	18.1	19.8	3.70
9月平均气温/℃	13.2±0.4	12.7	13.6	3.03
5月降水量/mm	58.6±29.4	24.7	92.8	50.17
6月降水量/mm	78.7±67.0	22.6	192.0	85.13
7月降水量/mm	139.7±74.8	56.4	244.9	53.54
8月降水量/mm	165.9±62.7	94.1	259.3	37.79
9月降水量/mm	74.9±46.4	23.9	142.1	61.95
5月日照时数/h	260.9±78.8	187.7	372.0	30.20
6月日照时数/h	245.0±51.7	184.2	319.3	21.10
7月日照时数/h	242.7±92.0	146.6	384.2	37.91
8月日照时数/h	189.9±77.7	106.9	283.3	40.92
9月日照时数/h	207.3±28.9	165.9	232.6	13.94

2.2 不同年份黑河43产量及相关农艺性状分析

对黑河43近5年的产量构成因子进行基本统计,由表2可知,单株荚数变异相对较大(变异系数为22.99%),百粒重变异最小(变异系数为3.74%),这也说明品种百粒重具有良好的适应性,为黑河43稳产奠定了遗传基础。黑河43

的产量构成因子表现的相对稳定与品种特性符合。试验中产量最高年份是 2019 年,产量为 2 523.1 kg·hm⁻²,而最低年份是 2020 年,产量为 1 290.4 kg·hm⁻²,同年黑河 43 的株高、单株荚数、单株粒数、百粒重平均值均为最低。造成低产的主要原因应该与该年份大豆生育期内降水量分布不均,生育期前期干旱缺水,后期降水过多有关。

表 2 黑河 43 产量及产量构成因子变化

项目	平均值	最小值	最大值	变异系数/%
小区产量/kg	25.7±5.9	15.5	30.3	22.96
公顷产量/ (kg·hm ⁻²)	2138.3±490.8	1290.4	2523.1	22.95
株高/cm	70.9±14.3	51.1	83.2	20.16
单株荚数/个	27.4±6.3	22.0	37.4	22.99
单株粒数/个	55.5±7.0	43.4	60.2	12.61
百粒重/g	18.7±0.7	17.7	19.6	3.74

对黑河 43 近 5 年产量及产量构成因子进行相关性分析可知(表 3),黑河 43 产量构成因子与产量均为正相关,其中单株粒数与产量达到显著水平,相关系数为 0.953。这说明在相同的栽培条件下黑河 43 的产量水平与单株粒数紧密相关,当其单株粒数较多时,产量也会提高。其他产量构成因子与产量相关性从大到小依次为,株高(0.783),百粒重(0.72),单株荚数(0.357)。

表 3 黑河 43 产量与产量构成因子相关性分析

项目	产量	株高	单株荚数	单株粒数	百粒重
产量	1				
株高	0.783	1			
单株荚数	0.357	0.788	1		
单株粒数	0.953*	0.889*	0.616	1	
百粒重	0.720	0.890*	0.891*	0.893*	1

注:* 在 0.05 水平(双尾)相关性显著。

2.3 气象因子和黑河 43 产量及产量构成因子的相关性分析

通过对近 5 年大豆生育期内不同月份气象因子和黑河 43 产量构成进行相关性分析可知(表 4),在各月平均气温中,6 月、8 月平均气温与产量构成均呈正相关,6 月平均气温与产量相关系数为 0.655,7 月平均气温与产量构成均呈负相关,其中与单株粒数和产量相关系数较大,相关系数分别为-0.677 和-0.683,其余各月平均气温

与产量相关性表现为 5 月、9 月为负相关,相关系数分别为-0.373 和-0.416,8 月与产量呈正相关,相关系数为 0.423;在各月降水量中,7 月降水量与产量呈正相关且相关性较强,相关系数是 0.769,而 9 月降水量与产量呈显著负相关,相关系数为-0.911,并且与其他产量因子也均呈负相关。其余各月中 5 月、8 月降水量与产量均为负相关,相关系数分别为-0.328 和-0.685,而 6 月为正相关,系数是 0.308;各月日照时数与产量构成因子均呈负相关,其中 5 月、8 月日照时数与株高呈显著负相关,9 月日照时数与单株荚数呈极显著负相关,5 月、7 月日照时数与单株粒数呈显著负相关,6 月日照时数与百粒重呈显著负相关,7 月日照时数与产量呈显著负相关,其相关系数为-0.945,各月日照时数按照与产量相关性绝对值由大到小依次排列为 7 月日照时数>5 月日照时数>6 月日照时数>8 月日照时数>9 月日照时数。由于单株粒数与产量为显著正相关,因此可以发现各月气象因子和单株粒数的相关性与和产量的相关性有着相似的变化趋势。综上所述,可以确定 6 月、7 月平均气温,7 月、9 月降水量,7 月日照时数与产量相关性较大。

表 4 气象因子和黑河 43 产量及产量构成因子的相关性分析

项目	株高	单株荚数	单株粒数	百粒重	产量
5 月平均气温	-0.415	0.114	-0.226	0.039	-0.373
6 月平均气温	0.870	0.638	0.708	0.722	0.655
7 月平均气温	-0.386	-0.176	-0.677	-0.476	-0.683
8 月平均气温	0.188	0.357	0.515	0.581	0.423
9 月平均气温	-0.296	-0.481	-0.562	-0.637	-0.416
5 月降水量	-0.200	-0.317	-0.380	-0.485	-0.328
6 月降水量	-0.137	-0.077	0.278	0.221	0.308
7 月降水量	0.315	-0.262	0.569	0.144	0.769
8 月降水量	-0.433	-0.376	-0.714	-0.686	-0.685
9 月降水量	-0.838	-0.335	-0.843	-0.610	-0.911*
5 月日照时数	-0.938*	-0.549	-0.889*	-0.740	-0.872
6 月日照时数	-0.626	-0.727	-0.778	-0.897*	-0.626
7 月日照时数	-0.870	-0.424	-0.919*	-0.701	-0.945*
8 月日照时数	-0.905*	-0.801	-0.700	-0.764	-0.545
9 月日照时数	-0.858	-0.980**	-0.637	-0.875	-0.405

注:* 在 0.05 水平(双尾)相关性显著;** 在 0.01 水平(双尾)相关性极显著。

2.4 产量预测模型

为了建立高准确性的黑河 43 产量预测模型,尝试分别采用全因子和显著因子作为自变量(X),黑河 43 产量为因变量(Y)建立多元线性回归方程。全因子建模的自变量(X)为黑河 43 生育期内各月全部气象因子,共 15 个因子。采用逐步回归的方法得出预测模型如下:

$$Y=3\,048.903-3.573X_1+2.387X_2-3.099X_3+0.03X_4 \tag{1}$$

式中, X_1 为 7 月日照时数(h); X_2 为 6 月降水量(mm); X_3 为 9 月降水量(mm); X_4 为 7 月平均气温($^{\circ}\text{C}$)。

显著因子建模的自变量(X)只选取在 0.05 水平上显著相关的气象因子,得出预测模型如下:

$$Y=3\,298.251-1.57X_1-4.29X_2 \tag{2}$$

表 5 全因子产量预测模型与显著因子产量预测模型对比

产量预测模型	实际产量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	模拟产量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	R^2	误差/ $\%$	效果
$Y=3\,048.903-3.573X_1+2.387X_2-3.099X_3+0.03X_4$	2002.5	2035.1	1.000	1.6	准确
$Y=3\,298.251-1.57X_1-4.29X_2$	2002.5	2171.1	0.792	8.4	基本准确

3 讨论

通过相关性分析可以确定 6 月、7 月平均气温,7 月、9 月降水量和 7 月日照时数与黑河 43 产量相关性较大;多元线性回归分析得出,7 月平均气温,6 月、9 月降水量和 7 月日照时数对产量构成有显著作用。6 月份为黑河 43 出苗期至始花期前,较高的温度可以促进大豆植株营养生长阶段干物质积累,低温导致大豆植株生理活性减弱,容易产生根部病害,从而影响苗期正常发育,延缓分枝、开花、成熟等发育阶段,6 月平均气温每增减 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,大豆产量增减 $112.5\sim150.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[15]。而 7 月黑河 43 进入花期后,植株蒸腾作用最强,需水、需肥量最大时期,此时土壤水分充足可促进养分的供应,充沛的降雨可以保障大豆植株花、荚的正常发育,对大豆开花结荚具有积极促进作用^[16],因此 7 月降水量对产量影响最大,而大多数情况下降水量的增加会导致平均气温的降低,因此 7 月平均气温与黑河 43 产量呈现负相关。

式中, X_1 为 9 月降水量(mm); X_2 为 7 月日照时数(h)。

两个产量模型的 R^2 分别为 1.000 和 0.792,通过了 95% 的显著性检验,表明方程具有良好回归效果。采用误差百分比法对模型预测准确度进行分析^[14],2015 年黑河 43 实际产量为 $2\,002.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,7 月平均气温为 $22.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,6 月、9 月降水量分别为 28.0 和 79.6 mm,7 月日照时长为 233.6 h,将这些气象因子带入模型中得出模拟产量分别为 $2\,035.1$ 和 $2\,171.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,得出的误差分别为 1.6% 和 8.4%。模型 1 误差比小于 5% 可以认为准确,而模型 2 误差比大于 5% 小于 10%,为基本准确。所以全因子产量模型更加准确(表 5)。

通过两个产量预测模型对比发现,全因子和显著因子模型都受 9 月降水量和 7 月日照时数影响,且均为负面效应,说明在黑河地区 7 月过高的日照时数和 9 月过多的降水量不利于黑河 43 产量的形成。

由于试验基地局部气象因子与气象站观测的气象数据存在着一定的差异,且试验进行年份相对较短,对于模型的预测精度有一定的影响,这导致产量预测模型存在一定的偏差,在后续的研究中,需增加观测样本数量,增加观测年限,逐步完善黑河 43 产量预测模型,为黑河地区大豆产量预报提供科学合理的理论依据。

4 结论

本研究利用 2017—2021 年黑河市气象因子数据和大豆品种黑河 43 产量构成因子数据,通过相关性分析确定了在黑河地区 6 月、7 月平均气温,7 月、9 月降水量和 7 月日照时数是对黑河 43 产量及产量构成影响较大的气象因子。并采用逐

步回归法建立黑河 43 产量预测模型,经检验对黑河 43 产量具有较准确的预报作用。

参考文献:

- [1] 司伟,韩天富.“十四五”时期中国大豆增产潜力与实现路径[J]. 农业经济问题,2021(7):17-24.
- [2] 王玉飞,杨智玲,王宪勇.期货市场助力大豆产业高质量发展研究[J]. 农业经济问题,2021(11):45-55.
- [3] 李晓晨,黄峰华,毕洪文,等.黑河市大豆产业发展分析[J]. 辽宁农业科学,2021(6):66-68.
- [4] 盖志佳,刘婧琦,蔡丽君,等.大豆低温冷害研究进展及防控技术[J]. 农学学报,2021,11(1):7-10,16.
- [5] 刘晓莉.黑河地区大豆重茬种植存在的问题及解决途径[J]. 中国农业科技导报,2005(5):22-24.
- [6] HAN D, HAN J, JIANG S, et al. Shattering-resistance of an elite soybean variety ‘Heihe 43’ and identification of shattering-resistant genes[J]. Euphytica, 2021, 217(6):1-12.
- [7] 刘发,闫洪睿,张雷,等.早熟春大豆品种黑河 43 大面积久推不衰原因解析[J]. 大豆科学,2018,37(5):817-819.
- [8] 易福金,周甜甜,陈晓光.气候变化、农业科研投入与农业全要素生产率[J]. 南京农业大学学报(社会科学版),2021,

21(4):155-167.

- [9] 陈源源.气候变化对中国粮食生产的影响[J]. 中国农学通报,2021,37(12):51-57.
- [10] 丛日环,张智,鲁剑巍.长江流域不同种植区气候因子对冬油菜产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2019,41(6):894-903.
- [11] 杨丽,刘海军,唐晓培.气候变化对河北省宁晋县夏玉米产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2022,40(1):113-122.
- [12] 杨宁,孔令刚,甄铁军,等.夏玉米产量与主要气象因子灰色关联度分析[J]. 农学学报,2020,10(11):37-42.
- [13] 李香颜,张金平.气候变化对河南省大豆产量的影响分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(4):55-58.
- [14] 徐相明,谈建国,顾品强,等.奉贤黄桃产量的气象影响因子分析及预测模型的建立[J]. 中国农学通报,2021,37(35):43-50.
- [15] SCOTT H D, DEANGULO J, DANIELS M B, et al. Flood duration effects on soybean growth and yield[J]. Agronomy Journal, 1989, 81(4):631-636.
- [16] 林汉明,常汝镇,邵桂花,等.中国大豆耐逆研究[M]. 北京:中国农业出版社,2009.

Effects of Meteorological Factors on Yield of Soybean Variety Heihe 43 in Heihe Region

LI Yang¹, WEI Ran^{2,3}, HAN De-zhi^{2,3}, YUAN Yuan¹, JIANG Yu^{2,3}, YU Xiao-guang², CUI Jie-yin^{2,3}, WEI Xin-yu²

(1. Heihe Meteorological Bureau, Heihe 164300, China; 2. Heihe Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heihe 164300, China; 3. National Soil Quality Aihui Observation Experiment Station, Heihe 164300, China)

Abstract: At present, Heihe 43, the soybean variety with the largest planting area in China, has a relatively stable yield for many years. In order to explore the influence of meteorological factors on its yield, this study used the meteorological factor data observed by the Heihe Meteorological Bureau for five consecutive years from 2017 to 2021 to monitor Heihe 43 yield composition factor in the branch test base of Heihe Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences. The correlation analysis between the meteorological factor and the yield factor, and the establishment of a soybean yield forecast model which is suitable for Heihe region. The results showed that the yield composition of Heihe 43 had a strong positive correlation with the average temperature in June and precipitation in July, and a noteworthy negative correlation with the precipitation in September and sunshine hours in July. The estimated yield of Heihe 43 was established in use of Multiple Linear Regression analysis. The formed meteorological factor regression equation was $Y = 3\,048.903 - 3.573X_1 + 2.387X_2 - 3.099X_3 + 0.03X_4$, indicated that the sunshine hours in July (X_1), the precipitation in June (X_2), the precipitation in September (X_3) and the monthly average temperature in July (X_4) had a significant effect on the yield composition. The regression equation can effectively monitor the yield of soybean variety Heihe 43 and predict its yield.

Keywords: Heihe 43; meteorological factors; yield composition; correlation analysis; regression analysis