



基于分期播种试验的大兴安岭东部大豆丰产优质气候评价方法研究

王彦平¹, 有 思¹, 崔文芳²

(1. 呼伦贝尔市气象局, 内蒙古 呼伦贝尔 021008; 2. 内蒙古农业大学 职业技术学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要: 为了开展大兴安岭东部地区大豆优质、丰产定量化评估服务, 利用扎兰屯农业气象监测站 1992—2021 的大豆发育期和呼伦贝尔市大豆单产资料, 结合多年生产实践以及分期播种试验数据, 得出大豆各生育阶段丰产优质气象适宜指标, 确定各阶段丰产优质气象条件及其重要程度, 建立丰产优质气候评价方法和指标, 并利用分期播种试验的产量和品质数据进行了验证。根据实际产量和品质特征的丰产优质气象等级符合的占 60%, 基本符合的占 17%, 不符合的占 23%。评价指标综合考虑了影响产量和品质的气候条件, 评价方法丰富了高寒地区大豆种植过程中气候影响的定量评估研究, 也为其他大田作物在气候影响评价方面提供了可借鉴的方法。

关键词: 大兴安岭东部; 大豆; 丰产优质; 气候评价方法

Study on Climatic Evaluation Method of High Yield and Quality of Soybean Based on Stage Sowing Experiment in Eastern Da Hinggan Mountains

WANG Yanping¹, YOU Si¹, CUI Wenfang²

(1. Hulun Buir Meteorological Office, Hulun Buir 021008, China; 2. Vocational and Technical College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: In order to develop the quantitative evaluation service of soybean high quality and high yield in the Eastern Da Hinggan Mountains, based on the data of soybean development from 1992 to 2021 at the Zalantun Agrometeorological Monitoring Station, and the soybean yield per unit area in Hulun Buir City, combined with years of soybean production practice and staged seeding test data, the suitable meteorological indicators for high yield and good quality at each growth stage of soybean were analyzed, the meteorological conditions for high yield and good quality at each stage and their importance were determined, and the evaluation methods and indicators for high yield and good quality climate were established. The yield and quality data of the stage seeding experiment were used to verify the results. The results showed that the meteorological grade of high yield and good quality that conformed to the actual yield and quality characteristics accounted for 60%, basically conformed to 17%, and not conformed to 23%. The evaluation index comprehensively considers the climatic conditions that affect the yield and quality. The evaluation method enriches the quantitative assessment of the climate impact during the soybean planting process in the alpine region, and also provides a reference method for other field crops in the climate impact assessment.

Keywords: the Eastern Da Hinggan Mountains; soybean; high yield and quality; climate assessment method

大豆的产量和品质主要受遗传特性的内因影响, 但气候条件是重要的外因。在中高纬度和高海拔冷凉地区, 气温升高有利于大豆生长, 如黑龙江哈尔滨及以北地区是气温较低的高寒地区, 气候变暖将明显改善大豆生育期的热量条件, 大豆产量将增加^[1-2]。丁振麟^[3]的研究表明, 温度是影响大豆籽实含油率的主要气候因子, 东北中高纬度冷凉地区的公主岭和哈尔滨的大豆含油量也显著高于中低纬度和低纬度地区。高彦萍等^[4]研究认为持续的干旱导致大豆产量明显降低, 提前成熟。James 等^[5]研究表明, 始花期到鼓粒初期干旱会限制分枝生长, 使分枝产量减少, 进而影响总产量。干旱也使大豆籽粒蛋白质含量增加, 脂肪含量下降^[6]。

分期播种是研究气候因子与大豆产量、品质间

关系常用的手段, 但研究结论因生态区域、品种类型和播期设置等因素不同而不尽相同^[7-10]。不同播期对华南夏大豆品种的农艺性状、产量和品质都有明显的影响, 播期对产量、粗蛋白、粗脂肪及蛋脂总和的影响达显著或极显著水平; 对不同品种的产量构成因素也有显著的影响^[11]。同一大豆品种春季、秋季播种, 可明显提高蛋白质含量, 同一大豆品种在不同的年份(即不同气候)和不同播季(即春播、夏播、秋播)条件下, 对大豆品质与农艺性状均产生不同程度的影响。以往研究多针对南方夏大豆单一品种或同一品种类型进行研究, 关于北方高寒地区不同播期下气候生态条件变化及其对不同类型大豆产量和品质综合影响研究几乎未见报道。大豆产量高低和品质优劣一方面取决于遗传因素, 另

收稿日期: 2023-02-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(32160506); 内蒙古自治区气象局科技创新项目(nmqxkjcx202102); 内蒙古自治区气象局引导性创新基金项目(nmqxydxc202205)。

第一作者: 王彦平(1974—), 女, 硕士, 正高级工程师, 主要从事农牧林业气象研究和服务。E-mail: fei_ping@sohu.com。

一方面则受气候条件的重要影响,特别是产量对气候条件的响应十分明显,而气候条件对产量和品质的提高的影响并不是协同作用,因此建立丰产优质气候评价方法,评价分析大豆在某一气候条件下产量和品质能够达到的最优组合,是定量评价气候条件对大豆产量和品质影响的一个重要手段。

本研究立足于大兴安岭东部大豆产区,以3个不同类型的品种为供试材料,在正常栽培条件下,结合大豆多年发育期和产量资料,并通过分期播种试验,研究大豆不同生育阶段丰产优质的气象指标,分析了不同类型品种大豆产量、品质气候因子的关系,建立了大兴安岭高寒地区大豆丰产优质气候评价方法,旨在揭示气候条件对大豆产量和品质的影响,对大豆优质高产、稳定发展有较强的指导意义。

1 材料及方法

1.1 数据来源

大豆发育期资料:来源于大兴安岭东部的扎兰屯国家二级农业气象监测站1992—2021年近30年大豆发育期观测资料,基本可代表大兴安岭东部地区大豆生产情况。

气象数据:大兴安岭东部大豆主产区(扎兰屯市、阿荣旗和莫力达瓦旗3个旗县)平均值。

大豆产量资料:来源于呼伦贝尔市统计年鉴,根据呼伦贝尔市1992—2021年30年大豆总产和种植面积计算大豆单产。

品质等级:参考《GB/T 1352-2009 大豆》^[12]。

1.2 分期播种试验

2020和2021年进行大豆丰产优质气候评价方法验证,试验在内蒙古自治区呼伦贝尔扎兰屯市大河湾进行。以呼伦贝尔市农科所大豆室选育的3个优质丰产品种蒙豆12(高油大豆,蛋白质含量36.58%,脂肪含量22.88%,百粒重约20g)、蒙豆13(高蛋白品种,蛋白质含量43.84%,脂肪含量19.27%,百粒重约20g)和蒙豆15(高产品种,蛋白质含量40.14%,脂肪含量20.61%,百粒重约24g)为试验材料。

以10d为间隔、分5期播种,分别于4月25日(10cm地温稳定通过8℃初日)、5月5日、5月15日(当地正常播期)、5月25日、6月5日播种,分别代表第一播种期到第五播种期。每个品种设计5个播期,每个播期3次重复,收获后分小区测定产量和品质。

1.3 数据分析

采用SPSS 17.0软件进行相关分析,使用yaahp 12.6.7760.20695软件计算权重系数。

2 结果与分析

2.1 各生育期丰产优质气象指标的确定

2.1.1 大豆主要生育期的划分 统计大兴安岭东麓扎兰屯农业气象监测站大豆观测固定地段30年发育期资料,得出大豆播种至成熟各个生育期的具体时间如表1所示。

表1 大豆主要生育期的时间
Table 1 Time of main development stages of soybean

主要生育期 Main growing stage	播种~分枝 From sowing to branching	分枝~结荚 From branching to podding	结荚~成熟 From podding to mature	全生育期 The whole growing period
时段 Time	5月上旬~7月上旬	7月中旬~8月上旬	8月中旬~9月中旬	5月上旬~9月中旬
平均生育期 Average growing period	5月13日~7月10日	7月11日~8月8日	8月11日~9月19日	5月13日~9月19日

2.1.2 气象产量的计算 农作物的产量是在各种自然和非自然因素综合影响下形成的,一般将作物的实际产量分解为趋势产量、气象产量和社会产量。由于年际间气象条件的差异造成作物产量的波动,相应的产量分量称为气象产量,计算公式为 $Y_c = Y - Y_t$,式中, Y_c 表示作物气象产量, Y 表示作物社会产量, Y_t 表示作物趋势产量。 Y_t 的计算采用滑动平均法得到。

本研究利用1992—2021年呼伦贝尔市大豆社会产量(单产由总产和播种面积计算而得),采用

5年滑动平均值得出1992—2021年的趋势产量,气象产量为社会产量与趋势产量之差^[12]。

2.1.3 丰产优质气象等级的确定 呼伦贝尔市多年大豆生产实践表明,一般丰产的年份大豆品质也较高,脂肪含量基本能达到优质标准。利用2020和2021年大豆分期播种试验数据,按照《GB/T 1352-2009 大豆》^[13]中规定的高油大豆质量指标,即粗脂肪含量 ≥ 22.0 为一等, ≥ 21.0 为二等, ≥ 20.0 为三等,对3个大豆品种不同播期下的产量和品质进行分析,其中理论产量按照《农业气象观测规范 大豆》

(G/B 34808—2017) 中附录 D 进行测产和计算, 实际产量为理论产量 $\times 0.85^{[14]}$ 。由表 2 可知, 不同品种大致表现为相同的趋势, 气象产量最高或次高的气候条件下, 脂肪含量均为 20.0% ~ 20.2%, 达到

国标《GB/T 1352 – 2009 大豆》^[13] 中规定的三等优质指标, 蛋脂总和含量也表现出较高的水平, 因此光温水对产量提高有利的气候条件同样也利于品质的提高。

表 2 3 个大豆品种不同播期下的产量和品质

Table 2 Yield and quality of the three soybean varieties at different sowing stages

品种 Varieties	播期(年-月) Sowing date (month-day)	理论产量 Theoretical yield/ (kg · hm ⁻²)	实际产量 Real yield/ (kg · hm ⁻²)	气象产量 Meteorological yield/ (kg · hm ⁻²)	脂肪含量 Fat content /%	蛋白质含量 Protein content/%	蛋脂总和 Total protein and fat/%
蒙豆 12 Mengdou 12	4-25	3616	3073	42	21.1	39.3	60.4
	5-5	3533	3003	-68	20.8	39.6	60.3
	5-15	3700	3145	-4	20.7	39.1	59.8
	5-25	3561	3027	-124	20.8	38.8	59.6
	6-5	3425	2911	-120	20.5	39.5	60.0
蒙豆 13 Mengdou 13	4-25	3849	3272	200	20.1	39.6	59.6
	5-5	3987	3389	241	20.0	39.6	59.6
	5-15	3712	3155	4	19.6	39.6	59.2
	5-25	3352	2849	-266	19.5	39.9	59.4
	6-5	3310	2814	-282	19.0	39.7	58.7
蒙豆 15 Mengdou 15	4-25	3752	3189	110	19.9	40.4	60.3
	5-5	3991	3392	312	20.2	39.9	60.1
	5-15	3465	2946	-92	19.8	40.1	59.9
	5-25	3638	3093	6	19.8	39.9	59.6
	6-5	3441	2925	-184	19.4	40.5	59.8

注: 产量均为 2020 和 2021 年平均产量, 仅作为本研究验证丰产优质的依据。

Note: Output is the average output in 2020 and 2021, which is only used as the basis for the verification of high yield and high quality in this study.

将 1992—2021 年 30 年的气象产量(kg·hm⁻²) 按照从大到小排序, 分为 4 个等级: 气象产量 $Y_c \geq 225$, 为 4 级; $0 \leq Y_c < 225$, 为 3 级; $-75 \leq Y_c < 0$, 为 2 级; $Y_c < -75$, 为 1 级。

2.1.4 丰产优质气象指标的确定 根据以上分析, 丰产年基本代表优质年, 因此气象产量等级最高的丰产年(4 级), 查询相应年份主要发育期的气象指

标, 即可确定丰产优质气象要素的范围, 确定原则以该产量等级年份平均状态下的气象要素为准, 剔除偏离平均值较大的极端天气下(如阶段干旱、阶段低温、极端高温、暴雨洪涝等)的气象要素, 同时参考其气象产量次高的 3 级年份的气象条件。具体指标范围如表 3 所示。

表 3 大豆丰产优质年气象指标

Table 3 Annual meteorological indicators for high yield and quality of soybean

气象要素 Meteorological element	播种 ~ 分枝 From sowing to branching	分枝 ~ 结荚 From branching to podding	结荚 ~ 成熟 From podding to mature	全生育期 The whole growing period
日平均气温(T) Average temperature(T)/℃	18.0 ~ 20.0	22.0 ~ 24.0	≥18.0	19.0 ~ 21.0
日降水量合计(ΣR) Total daily precipitation(ΣR)/mm	130 ~ 250	120 ~ 180	130 ~ 200	450 ~ 650
日照时数(ΣS) Sunlight hours(ΣS)/h	≥500	≥130	≥390	≥1000
气温日较差(ΔT) Daily temperature range(ΔT)/℃	≥12.0	≥10.0	10.0 ~ 13.0	11.0 ~ 12.0
≥10℃有效积温(ΣT _{≥10℃})	≥450	≥250	≥350	≥1100
Effective accumulated temperature of ≥10℃(ΣT _{≥10℃})/(℃·d)				
日平均气温≥10℃日数(ΣD _{≥10℃})	-	-	-	≥140
Daily average temperature≥10℃ Days(ΣD _{≥10℃})/d				

2.2 丰产优质气候评价方法的确定

2.2.1 气候条件对产量和品质的影响 大豆播种~分枝阶段,所需水分占总耗水量的 17% 左右,水分过多,温度过高,都会引起茎叶徒长,影响分枝数,此时适当的干旱可促进根系生长和分枝形成^[15-16],日照充足、日较差大能促进干物质积累速率和生长速率^[17]。为了确定气象要素在不同发育期对大豆产量和品质影响的大小,利用 2020 和 2021 年大豆分期播种试验数据(3 个品种 5 个播期,两年为 30 种不同气候条件),将 30 种不同气候条件下气象要素与产量构成因素、品质要素分别做相关分析,如表 4 所示:此期日降水量合计与一次分枝数呈极显著的负相关,日平均气温与气象产量呈极显著负相关;日照时数和气温日较差对气象产量的影响达到极显著和显著正相关。分枝~结荚期,分枝数仍然与日降水量合计呈显著负相关,与日照时数和气温日较差呈极显著正相关,株结实粒数与日平均气温达极显著正相关;百粒重和有效积温、日照时数、气温日较差呈显著和极显著的正相关。大

豆生殖生长过程中,气温超高并伴有干旱环境将对开花和受精过程具有负作用^[18],分枝~结荚期气象产量与日平均气温呈显著负相关。Wolf 等^[19]研究也发现,温度升高使大豆籽粒蔗糖含量下降,油酸含量增加,由于糖含量与油分含量呈负相关,所以油分含量随温度升高而增加;而且温度对大豆品质的影响随生育期不同而存在差异,8 月中旬的温度条件对蛋白质含量正效益最大,9 月上旬平均气温和 9 月下旬平均气温日较差对蛋白质含量的负效益最大,9 月下旬平均气温和日较差对脂肪含量的正效益最大^[20]。研究结果表明,分枝~结荚期蛋白质含量与有效积温达到显著正相关,结荚~成熟期脂肪含量与有效积温和日照时数达显著和极显著正相关,蛋脂总和与日照时数呈显著正相关,蛋脂总和与气温日较差呈极显著负相关。结荚~鼓粒~成熟期是大豆需水量最多的时期,结实粒数与有效积温达极显著正相关,与日平均气温和日照时数达显著正相关,百粒重与日降水量合计达显著正相关。

表 4 气候因子与产量构成因素、品质要素的相关关系

Table 4 Correlation between climatic factors and yield components and quality factors

生育期 Growth stage	气候因子 Climatic factor	分枝数 Branches number	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight	气象产量 Meteorological yield	蛋白质 Protein	脂肪 Fat	蛋脂总和 Total protein and fat
播种~分枝 From sowing to branching	日平均气温 Average temperature	-0.093	-0.634 **	0.120	-0.477 **	0.036	-0.393	-0.340
	日降水量合计 Total daily precipitation	-0.603 **	0.257	-0.681 **	-0.003	-0.065	0.180	0.360
	≥10℃有效积温 Effective accumulated temperature of ≥10℃	-0.209	-0.413 *	0.013	-0.219	0.061	-0.371	-0.236
	日照时数 Sunlight hours	0.223	0.563 **	0.086	0.550 **	0.047	0.259	0.268
	气温日较差 Daily temperature range	0.345	0.437 *	0.080	0.498 *	0.001	0.283	0.237
分枝~结荚 From branching to podding	日平均气温 Average temperature	-0.013	-0.547 **	0.339	-0.397 *	0.174	-0.455 *	-0.403 *
	日降水量合计 Total daily precipitation	-0.459 *	0.204	-0.624	0.140	-0.023	0.138	0.368 *
	≥10℃有效积温 Effective accumulated temperature of ≥10℃	0.030	-0.350	0.375 *	-0.009	0.452 *	-0.755 **	-0.341
	日照时数 Sunlight hours	0.475 **	0.149	0.508 **	0.216	0.065	-0.031	-0.162
	气温日较差 Daily temperature range	0.556 **	-0.223	0.659 **	-0.037	0.039	-0.155	-0.386 *

表 4(续)

生育期 Growth stage	气候因子 Climatic factor	分枝数 Branches number	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight	气象产量 Meteorological yield	蛋白质 Protein	脂肪 Fat	蛋脂总和 Total protein and fat
结荚~成熟 From podding to mature	日平均气温 Average temperature	0.341	0.431 *	0.100	0.312	-0.101	0.338	0.151
	日降水量合计 Total daily precipitation	0.360	0.060	0.422 *	0.034	-0.002	-0.018	-0.223
	≥10℃有效积温 Effective accumulated temperature of ≥10℃	0.217	0.517 **	-0.025	0.349	-0.146	0.443 *	0.235
	日照时数 Sunlight hours	-0.114	0.416 *	-0.362 *	0.267	-0.189	0.554 **	0.426 *
	气温日较差 Daily temperature range	0.565 **	0.137	0.003	0.274	-0.165	-0.323	-0.521 **

注: * 表示差异在 0.05 水平显著; ** 表示差异在 0.01 水平显著。
Note: * indicates that the difference is significant at 0.05 level; ** indicates that the difference is significant at 0.01 level.

2.2.2 丰产优质气象适宜等级的赋值 将大豆播种~分枝期、分枝~结荚期及结荚~成熟期气象条件适宜等级分为非常适宜、适宜、较适宜和不适宜 4 个等级,依据大豆丰产优质年气象指标(表 4)和

气候因子与产量构成因素、品质要素的相关关系(表 5),确定各时期评价指标及重要程度,进行气象适宜等级赋值(表 6)。

表 6 大豆丰产优质气象适宜等级赋值
Table 6 Evaluation of meteorological suitability grade for high yield and good quality of soybean

气象适宜等级 Meteorological suitability level	等级赋值 Grade assignment	播种~分枝期 From sowing to branching	分枝~结荚期 From branching to podding	结荚~成熟期 From podding to mature
非常适宜 Very suitable	4	同时满足以下 3 个条件: (1) $130 \leq \sum R \leq 250$ (2) $\Delta T \geq 12.0$ (3) $\sum S \geq 500$	同时满足以下 4 个条件: (1) $120 \leq \sum R \leq 180$ (2) $22.0 \leq T \leq 24.0$ (3) $\Delta T \geq 10.0$ (4) $\sum S \geq 130$	同时满足以下 4 个条件: (1) $130 \leq \sum R \leq 200$ (2) $T \geq 18.0$ (3) $\sum S \geq 390$ (4) $10.0 \leq \Delta T \leq 13.0$
适宜 Suitable	3	$130 \leq \sum R \leq 250$ 的前提下,满足以下条件之一: (1) $\Delta T \geq 12.0$ (2) $\sum S \geq 500$	$120 \leq \sum R \leq 180$ 的前提下,满足以下条件之二: (1) $22.0 \leq T \leq 24.0$ (2) $\Delta T \geq 10.0$ (3) $\sum S \geq 130$	$130 \leq \sum R \leq 200$ 或 $T \geq 18.0$ 的前提下,满足以下条件之一: (1) $\sum S \geq 390$ (2) $10.0 \leq \Delta T \leq 13.0$
较适宜 More suitable	2	$\sum R < 130$ 或 $\sum R > 250$ 的前提下,满足以下条件之一: (1) $\Delta T \geq 12.0$ (2) $\sum S \geq 500$	< 120 或 $\sum R > 180$ 的前提下,满足以下条件之一: (1) $22.0 \leq T \leq 24.0$ (2) $\Delta T \geq 10.0$ (3) $\sum S \geq 130$	$\sum R < 130$ 或 $\sum R > 200$, 且 $T < 18.0$ 的前提下,满足以下条件之一: (1) $\sum S \geq 390$ (2) $10.0 \leq \Delta T \leq 13.0$
不适宜 Unsuitable	1	不符合以上条件的其他情况	不符合以上条件的其他情况	不符合以上条件的其他情况

注:气象适宜等级由“非常适宜”到“不适宜”逐级判断。
Note: Meteorological suitability level is judged from “very suitable” to “unsuitable”.

2.2.3 丰产优质气象评价指标计算 通过以上分析,大豆丰产优质气象等级受播种~分枝期(X_1)、

分枝~结荚期(X_2)及结荚~成熟期(X_3)光温水的共同影响,依据这 3 个时期的气象适宜指数赋值

(表6),建立大豆丰产优质气象等级评价模型 $D = a \times X_1 + b \times X_2 + c \times X_3$,式中, D 为丰产优质综合评价指标, X_1 、 X_2 和 X_3 为各发育阶段丰产优质气象等级赋值。由层次分析法^[21-23]确定 a 、 b 、 c 为权重系数,播种~分枝期为 0.298 1,分枝~结荚期为 0.317 8,结荚~成熟期为 0.384 1(表7)。将表7 中的权重带入大豆丰产优质气象等级评价模型,得到评价公式为

$D = 0.298\ 1 \times X_1 + 0.317\ 8 \times X_2 + 0.384\ 1 \times X_3$ 。

2.2.4 气象评价等级的确定 计算 1992—2021 年呼伦贝尔岭东大豆主产区逐年各生育期丰产优质气象等级,计算综合判识指标 D ,按照从大到小排序,将大豆丰产优质气象等级分为 4 级,为非常适宜(Ⅰ级)、适宜(Ⅱ级)和较适宜(Ⅲ级)和不适宜(Ⅳ级)(表8)。

表 8 大豆丰产优质等级评价指标
Table 8 Evaluation index of high yield and quality grade of soybean

丰产优质气象等级 High yield and high quality meteorological grade	评价指标(D) Evaluating indicator(D)	定性描述 Qualitative description
非常适宜(Ⅰ级)Very suitable (Grade I)	$D \geq 2.5$	产量高、脂肪含量高、蛋白质和脂肪含量总和和高
适宜(Ⅱ级)Suitable (Grade II)	$2.0 \leq D < 2.5$	产量高,脂肪含量、蛋白质和脂肪含量总和和较高
较适宜(Ⅲ级)More suitable (Grade III)	$1.5 \leq D < 2.0$	产量较高,脂肪含量、蛋白质和脂肪含量总和和较高
不适宜(Ⅳ级)Unsuitable (Grade IV)	$D < 1.5$	产量和脂肪含量均较低

2.3 丰产优质气象等级评价指标的验证

利用 2020 和 2021 年分期播种试验的 30 种气候条件下的气象要素、产量和品质数据,对综合判识指标 D 进行验证的结果如表 9 所示,由于蛋白质和油分都是光合作用的次生产物,这两种贮藏物质在形成过程中是相互消长的。凡环境条件有利于蛋白质形成时,则种子内油分含量相对减少;反之,环境条件不利于蛋白质形成时,则油分增加。因

此,一般大豆品种蛋白质和油分含量的总值,往往是相差不大的^[3]。根据大兴安岭东部地区大豆以高油为优质目标,因此分析了大豆产量、脂肪含量和蛋脂总和的变化,实际产量和品质特征的丰产优质气象等级评价,符合的为 18 种(占 60%),基本符合的为 5 种(占 17%),不符合的为 7 种(占 23%),因此,评价指标基本适用于大兴安岭东部大豆丰产优质的气象适宜条件。

表 9 大豆丰产优质气象等级评价指标验证
Table 9 Verification of meteorological grade evaluation index for high yield and quality of soybean

年份 Year	品种 Cultivar	播期 (月-日) Sowing time (month-day)	播种~分枝 From sowing to branching	分枝~结荚 From branching to podding	结荚~成熟 From podding to mature	气象产量 Meteorological yield/ (kg·hm ⁻²)	脂肪含量 Fat content/%	蛋脂总和 Total protein and fat/%	评价等级 Evaluation grade	验证结果 Verification results
2020	蒙豆 12 Mengdou 12	4-25	2	2	4	-22	20.9	60.2	2.4(适宜)	符合
		5-5	2	2	2	-384	20.7	59.8	1.9(较适宜)	基本符合
		5-15	2	2	3	-34	20.5	59.3	2.2(适宜)	符合
		5-25	2	2	1	-313	20.8	59.5	1.4(不适宜)	不符合
		6-5	2	2	1	13	20.6	60.2	1.4(不适宜)	不符合
	蒙豆 13 Mengdou 13	4-25	2	2	3	578	19.7	59.4	2.2(适宜)	基本符合
		5-5	2	2	1	102	20.0	59.5	1.6(较适宜)	符合
		5-15	2	2	1	159	19.5	58.8	1.6(较适宜)	基本符合
		5-25	2	2	1	-285	19.4	59.3	1.4(不适宜)	符合
		6-5	2	2	1	-349	19.1	58.5	1.4(不适宜)	符合
	蒙豆-15 Mengdou-15	4-25	2	2	3	96	19.7	60.0	2.2(适宜)	符合
		5-5	2	2	3	103	19.7	59.9	2.2(适宜)	符合
		5-15	2	2	1	-75	19.4	59.7	1.6(较适)	不符
		5-25	2	2	1	-36	19.5	59.4	1.4(不适宜)	符合
		6-5	2	2	1	-74	19.4	60.0	1.4(不适宜)	不符合

表 9(续)

年份	品种	播期 (月-日)	播种~分枝 From sowing to branching	分枝~结荚 From branching to podding	结荚~成熟 From podding to mature	气象产量 Meteorological yield/ (kg·hm ⁻²)	脂肪含量 Fat content/%	蛋脂总和 Total protein and fat/%	评价 等级 Evaluation grade	验证 结果 Verification results
2021	蒙豆 12	4-25	3	2	2	167	21.3	60.5	2.1(适宜)	符合
	Mengdou 12	5-5	3	2	2	215	20.9	60.9	2.1(适宜)	符合
		5-15	3	2	2	-9	20.9	60.3	2.1(适宜)	不符合
		5-25	1	2	1	-39	20.7	59.7	1.2(不适宜)	基本符合
		6-5	1	2	1	-254	20.4	59.8	1.2(不适宜)	符合
	蒙豆 13	4-25	3	3	3	-178	20.2	59.6	2.6(非常适宜)	不符合
	Mengdou 13	5-5	3	2	2	380	19.7	59.5	2.1(适宜)	符合
		5-15	3	2	2	-150	19.6	59.6	2.1(适宜)	基本符合
		5-25	1	2	2	-247	19.5	59.4	1.4(不适宜)	符合
		6-5	1	2	2	-215	19.0	59.8	1.4(不适宜)	符合
	蒙豆 15	4-25	3	2	1	124	20.1	60.6	1.9(较适宜)	符合
	Mengdou 15	5-5	3	2	1	522	20.6	60.2	1.9(较适宜)	符合
		5-15	3	2	1	-110	20.2	60.1	1.9(较适宜)	符合
		5-25	1	2	1	48	20.1	59.8	1.2(不适宜)	不符合
		6-5	1	2	1	-295	19.4	59.7	1.2(不适宜)	符合

3 讨论

根据大兴安岭东部高寒地区大豆丰产优质的目标,产量提高的同时含油量增加。播种~分枝期日平均气温 18.0~20.0℃,降水量为 130~250 mm,日照时数为 500 h 以上,气温日较差为 12.0℃以上时,利于大豆分枝数的增加;分枝~结荚期日平均气温 22.0~24.0℃,降水量为 120~180 mm,日照时数为 130 h 以上,气温日较差为 10.0℃以上时,利于产量形成、油分积累和蛋脂总和的增加,从而利于品质的提高;结荚~成熟期日平均气温 18.0℃以上,降水量为 130~200 mm,日照时数为 390 h 以上,气温日较差为 10.0~13.0℃,利于籽粒干物质积累,水热匹配良好、光照充足、昼夜温差小利于大豆产量和籽粒品质的提高。从整个生育期看,日平均气温 19.0~21.0℃,降水量为 450~650 mm,日照时数为 1 000 h 以上,气温日较差为 11.0~12.0℃且日平均气温≥10℃日数为 140 d 以上,可促进大豆获得高产和优质。

依据各阶段丰产优质气象指标及其重要程度建立的丰产优质气候综合判识指标 *D*,将大豆丰产优质气象等级分为 4 级,为非常适宜(Ⅰ级)、适宜(Ⅱ级)和较适宜(Ⅲ级)和不适宜(Ⅳ级),经过分期播种数据对评价指标的检验,符合实际产量和品质特征的丰产优质气象等级评价有 18 种(占

60%),基本符合的为 5 种(占 17%),不符合的有 7 种(占 23%),因此,评价指标基本适用于大兴安岭东部大豆丰产优质的气象适宜条件。

4 结论

作物同一气候条件对产量和品质的影响较为复杂,本研究综合考虑了影响大豆产量和品质的气候条件,近似得出光温水对大豆产量提高有利的气候条件,同样也利于品质的提高,优质丰产可近似为同一气候条件下的综合结果。建立的评价方法丰富了高寒地区大豆种植过程中气候影响的定量评估研究,也为其他大田作物在气候影响评价方面提供了可借鉴的方法。

参考文献

[1] 郝兴宇,韩雪,居辉,等. 气候变化对大豆影响的研究进展[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2697-2706. (HAO X Y, HAN X, JU H, et al. Progress on the impact of climate change on soybean[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(10): 2697-2706.)

[2] 张桂华,王艳秋,郑红,等. 气候变暖对黑龙江省作物生产的影响及其对策[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(3): 95-100. (ZANG G H, WANG Y Q, ZHENG H, et al. The impact of climate warming on crop production in Heilongjiang Province and its countermeasures[J]. Journal of Natural Disasters, 2004, 13(3): 95-100.)

[3] 丁振麟. 气候条件对大豆化学品质的影响[J]. 作物学报,

1965, 4(4): 313-320. (DING Z L. Effect of climatic conditions on the chemical quality of soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 1965, 4(4): 313-320.)

[4] 高彦萍, 冯莹, 马志军, 等. 水分胁迫下不同抗旱类型大豆叶片气孔特性变化研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 77-79. (GAO Y P, FENG Y, MA Z J, et al. Changes of stomatal properties of soybean leaves in different drought-resistant types under water stress[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(2): 77-79.)

[5] JAMES R F, CARL R C, PHILIP J B. Drought-stress effects on branch and mainstem seed yield and yield components of determinate soybean[J]. Crop Science, 2001, 41(3): 759-763.

[6] JIN J, WANG G H, LIU X B, et al. Interaction between phosphorus nutrition and drought on grain yield, and assimilation of phosphorus and nitrogen in two soybean cultivars differing in protein concentration in grains[J]. Journal of Plant Nutrition, 2006, 29(8): 1433-1449.

[7] 杜祥备, 孔令聪, 习敏, 等. 江淮区域稻麦两熟制周年资源分配、利用特征[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(7): 1078-1087. (DU X B, KONG L C, XI M, et al. Characteristics of resource allocation and utilization of rice and wheat cropping in Jianghuai region[J]. Chinese Journal of Ecological Agriculture, 2019, 27(7): 1078-1087.)

[8] 成臣, 曾勇军, 吕伟生, 等. 南方稻区优质晚粳稻产量和品质调优的播期效应[J]. 核农学报, 2018, 32(10): 2019-2030. (CHENG C, ZENG Y J, LYU W S, et al. Broadcast period effect of yield and quality tuning of high-quality late japonica rice in southern rice area[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(10): 2019-2030.)

[9] 余鹏, 李小华, 叶胜海, 等. 播期对浙江省常规晚粳稻品种农艺性状及产量的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(5): 978-987. (YU P, LI X H, YE H S, et al. Effect of sowing date on agronomic traits and yield of conventional late japonica rice varieties in Zhejiang province[J]. Journal of Nuclear Agricultural Science, 2016, 30(5): 978-987.)

[10] 陈小荣, 钟蕾, 贺晓鹏, 等. 稻穗枝梗和颖花形成的基因型及播期效应分析[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(4): 424-428. (CEN X R, ZHONG L, HE X P, et al. Analysis of genotype and sowing effect of rice stalk and plum flower formation[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2006, 20(4): 424-428.)

[11] 程艳波, 江炳志, 蔡史欣, 等. 不同播期对华南夏大豆品种产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(1): 35-45. (CHENG Y B, JIANG B Z, CAI S X, et al. Effects of sowing date on yield and quality of summer-sown soybean in south China[J]. Soybean Science, 2010, 29(1): 35-45.)

[12] 王希平, 赵慧颖. 内蒙古呼伦贝尔市林牧农业气候资源与区划[M]. 北京: 气象出版社, 2006. (WANG X P, ZHAO H Y. Climatic resources and regionalization of forestry and pastoral farming in Hulun Buir[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006.)

[13] 国家粮食和物资储备局. 大豆: GB/T 1352-2009[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会, 2009: 9. (National Food and Material Reserve Agency. Soybean: GB/T 1352-2009[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration of the People's Republic of China, 2009: 9.)

[14] 中国气象局. 农业气象观测规范 大豆: GB/T 34808-2017[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会, 2017: 11. (China Meteorological Administration. Agricultural meteorological observation standard Soybean: GB/T 34808-2017[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration of China.)

[15] 林而达, 张厚瑄, 王京华. 气候变化对中国农业影响的模拟研究[M]. 北京: 中国农业科学与技术出版社, 1997. (LIN E D, ZHANG H X, WANG J H. Simulation of the impact of climate change on Chinese agriculture[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1997.)

[16] RTTER R, VAN DE GEIJN S C. Climate change effects on plant growth, crop yield and livestock[J]. Climatic Change, 1999, 43: 651-681.

[17] 戚尚恩, 孙有丰, 祁宦, 等. 淮北气候条件对夏大豆的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(2): 267-270. (QI S E, SUN Y F, QI H, et al. Effect of climatic conditions on summer soybean growth in Huaibei region[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(2): 267-270.)

[18] 仇锦生. 高温对大豆的影响[J]. 大豆通报, 2003(1): 12. (QIU J S. Effect of high temperature on soybean production[J]. Soybean Bulletin, 2003(1): 12.)

[19] WOLF R B, CAVINS J F, KLEIMAN R, et al. Effect of temperature on soybean seed constituents: Oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids and sugars[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1982, 59: 230-232.

[20] 谷传彦, 黄兴蛟, 王凤娟. 黄淮海夏大豆蛋白质和脂肪含量与气象条件的关系[J]. 大豆科学, 2003, 22(1): 54-58. (GU C Y, HONG X J, WANG F J. The relationship between protein and oil content of summer soybean seeds and climatic factors in Huanghuaihai valley[J]. Soybean Science, 2003, 22(1): 54-58.)

[21] 王莺, 王劲松, 姚玉璧, 等. 甘肃省河东地区气象干旱灾害风险评估与区划[J]. 中国沙漠, 2014, 34(4): 1115-1124. (WANG Y, WANG J S, YAO Y B, et al. Risk assessment and regionalization of meteorological drought disasters in Hedong Region of Gansu province[J]. Journal of Desert Research, 2014, 34(4): 1115-1124.)

[22] 张丽娟, 陈红, 张金峰, 等. 黑龙江省雷暴灾害损失风险评估与区划[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(6): 117-123. (ZHANG L J, CHEN H, ZHANG J F, et al. Risk assessment and regionalization of thunderstorm disaster loss in Heilongjiang Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(6): 117-123.)

[23] 李文亮, 张丽娟, 张冬有. 黑龙江省低温冷害风险评估与区划研究[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(10): 149-153. (LI W L, ZHANG L J, ZHANG D Y. Study on risk assessment and regionalization of cold damage in Heilongjiang province[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(10): 149-153.)