

利用播期研究气候条件对黑龙江春玉米产量性状的影响

韩毅强¹, 高亚梅¹, 郑殿峰², 杜吉到²

(1. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘 要: 不同播期致使作物所处的气候条件不同, 进而影响作物的生长发育和产量。本文以哲单 37(特早熟, 生育期 113 d)、先玉 335(中早熟, 118 d)、郑单 958(中熟, 120 d)等 3 个玉米品种为试验材料, 于 2012 年到 2014 年在黑龙江林甸县进行了为期三年分期播种试验, 分析了玉米产量相关性状与各个生育阶段气象因子的关系。结果显示: 分期播种对 3 个玉米品种均有影响, 其中对早熟品种影响最大。播期主要通过影响玉米百粒重、穗长和秃尖引起产量的变化, 贡献最大的因素是百粒重, 总效应为 0.847, 其次是穗长, 总效应为 0.840, 秃尖为负效应, 总效应为 -0.213。产量性状与气候条件相关性分析发现, 玉米产量与抽雄~成熟期的日均温度、降雨呈显著正相关。因此在黑龙江第二积温带播种中早熟和中熟玉米品种(先玉 335 和郑单 958)适当早播可增加抽雄~成熟期的日均温度, 增加积温以达到增产的效果; 晚播有利于避开早春易发生的干旱、冷害等自然灾害。采用偏最小二乘路径模型 PLS-PM 处理分析结果显示, 播期对产量性状有较大的直接作用(0.763), 同时通过影响各生育期的气候和土壤条件间接影响产量。综上所述, 在黑龙江西部地区影响玉米产量最关键的气象因子是抽雄~成熟期的温度和降雨, 此时适量的灌溉更有利于增加产量。

关键词: 玉米; 分期播种; 气象因子; 产量
中图分类号: S352; S161 **文献标志码:** A

Effects of meteorological factors on yield traits of maize (*Zea mays* L.) in Heilongjiang during various sowing seasons

HAN Yi-qiang¹, GAO Ya-mei¹, ZHENG Dian-feng², Du Ji-dao²

(1. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agriculture University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;
2. College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agriculture University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: Differences in climatic conditions under which crops are grown during various growth seasons affects development and yield of maize. A three-year field experiment was conducted to assess the relationship between yield related traits and meteorological factors at each growth stage in Lindian County of Heilongjiang Province from 2012 to 2014, and the Zhedan 37 (early maturity, 113 d), Xianyu 335 (early maturity, 118 d) and Zhengdan 958 (medium - maturity, 120 d) of three maize varieties were sown during three sowing reasons. The results showed that sowing date had effects on three maize varieties, and the effects on early maturing variety were most significant. Sowing date mainly affected ear length, bald tip and 100-kernel weight leading to the change of maize yield, and the biggest contributor was 100-kernel weight with a total effect value of 0.847, followed by ear length with a total effect value of 0.840. However, bald tip had a negative correlation with yield, showing a total effect value of -0.213. Furthermore, yield traits and climatic conditions correlation analysis showed that the maize yield had a significant positive correlation with average daily temperature and precipitation from tasseling stage to maturity stage. So, the study has shown that early sowing at appropriate time improved yield for medium maturing maize in the western region of Heilongjiang by increasing average daily temperature and accumulated temperature. Suitable late sowing for early maturing maize can avoid spring drought, cold damage and other natural disasters in early spring. The result of PLS - PM (Partial Least Square Path Modeling) analysis indicated that

收稿日期: 2016-03-01
基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD20B04)
作者简介: 韩毅强(1976—), 男, 河北宣化人, 硕士, 主要从事气候变化与耕作栽培及农业减灾领域研究。E-mail: hyq420@163.com。
通信作者: 郑殿峰(1969—), 男, 教授, 主要从事耕作与栽培研究。E-mail: zhengdianfeng@hlau.cn。

sowing date had a direct effect (0.763) on yield, and had an indirect effect on yield by interacting with meteorological factors and soil condition at each growth stage. Above all, temperature and precipitation from tasseling stage to maturity stage are the most important meteorological factors for maize yield in the western region of Heilongjiang, and irrigation during these stages will contribute to high and stable yields.

Keywords: Maize (*Zea mays* L.); interval sowing; meteorological factor; yield

作物产量是由作物品种与环境条件共同决定的,作物品种主要由遗传的基因型决定,环境条件包括自然因素、非自然因素及随机事件^[1]。非自然因素一般指在时间序列上反映生产力发展水平的因子,包括栽培措施、耕作水平等科技手段;自然因素指以气象要素影响为主的以年为周期的因子,称为气象产量项^[2]。对作物影响最大、贯穿作物生长始末的气象因素有降雨、日照和温度,这三个因素同时对作物生长产生作用,影响着产量的高低^[3]。现对不同生育阶段气象条件如何影响产量构成因素的研究报道较少,且规律尚不明确^[4-6]。明薄、Yoldas等^[7-8]利用大田分期播种的方法,使作物生育期处于不同的气象条件下,以缩短试验周期,排除土壤、栽培管理水平与品种等时空异质性的干扰,分析了气象因子与作物生长及产量变化的关系。黑龙江西部地区的玉米种植带,生产灌溉能力很有限,主要依靠降雨,加之春季降水少,变率大,因此春玉米在播种至幼苗生长期间(4月下旬至6月中旬)易于发生春旱。春旱除了抑制出苗外,还明显影响幼苗长势和生长发育速度,从而造成减产。为了缓解春旱对玉米生产的影响,有学者提出在春季干旱时适当晚播避害^[9-10]。本研究通过三年大田分期播种试验,探讨玉米各生育期气候条件及土壤环境对玉米产量

性状的影响,以期获得影响黑龙江西部地区玉米产量性状的主要气象因子,为玉米种植的避(抗)旱、避寒及灾后补种品种的选择提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况及试验设计

实验布置于黑龙江省大庆市林甸县宏伟乡吉祥村(黑龙江省第二积温带),该材地处 47°13′8.55″N, 125°0′3.84″E,试验地点为平坦、整齐、肥力均匀的大豆茬口地块。试验土壤类型为草甸黑钙土,0~20 cm 耕层土壤基本状况见表 1。基施硫酸钾型掺混肥料(N:P₂O₅:K₂O=15:23:10)550 kg·hm⁻²。各小区田间管理措施均与当地高产模式一致。

试验材料选择哲单 37(特早熟)、先玉 335(中早熟,2014 年由于出苗不齐没进入统计)、郑单 958(中熟)3 个品种。本地玉米正常播种时期为 5 月 10 日左右,据此 2012 年设 3 个播期处理分别为 4 月 27 日(D1)、5 月 7 日(D2)、5 月 17 日(D3)。由于 2012 年苗期低温,第一播期和第二播期出苗仅相差 1 d,因此 2013 年和 2014 年播期分别设为 5 月 8 日(D2)、5 月 15 日(D3)、5 月 22 日(D4)。每播期 4 次重复,采用随机区组设计,每小区 10 m 行长、8 行区,行距 0.65 m,种植密度 6.15 万株·hm⁻²。

表 1 0~20 cm 耕层土壤基本农化状况
Table 1 The basic chemical properties of soil (0~20 cm soil layer)

年份 Year	碱解氮 Alkail - N /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Olsen - P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	pH 值	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)
2012	196.50	4.40	210.40	7.82	2.96
2013	188.60	4.52	220.60	8.01	2.88
2014	176.52	4.62	190.70	8.21	2.76

1.2 气象资料收集及玉米数据考查

气象资料来自“中国气象科学数据共享服务网”(http://cdc.cma.gov.cn, 2014)^[11]。玉米生育期划分为播种到出苗阶段(emergence to seedling stage, ETS)、出苗到拔节阶段(seedling to spike formation stage, STSF)、拔节到抽雄阶段(spike formation to tasseling stage, SFTS)和抽雄到成熟阶段(tasseling to ripening period, TTRP)等 4 个阶段。各阶段分别计算日均最高温度(maximum daily temperature, DT_{max})、

日均最低温度(minimum daily temperature, DT_{min})、日均温度(daily temperature, DT)、气温日较差(average daily temperature range, ADTR)、各阶段降水量(periodic precipitation, PP)。各品种关键生育进程见图 1, 生育期内每月温度、降水见表 2。整个生育期内利用智能土壤温湿度记录仪记录土壤湿度(average daily soil humidity, SH),土壤温度(average daily soil temperature, ST)。人工记录播种期、苗期、拔节期、抽雄期、成熟期的日期;成熟期测定株高(plant height, P)、穗

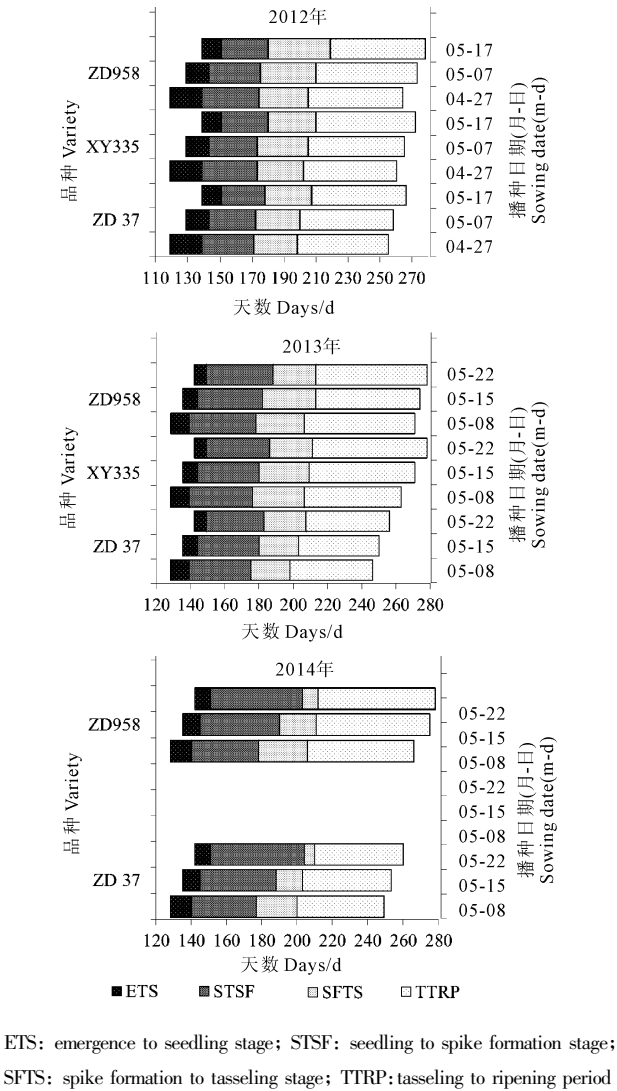


图 1 各玉米品种不同播期生育进程

Fig.1 Growth duration of three maize varieties during each sowing day

位高(ear height, E)、穗长(ear length, L)、秃尖(bare tip length, B)、穗粗(ear diameter, D)、穗行数(row number, R)、行粒数(kernel number per row, N)和百

粒重(100 – kernel weight, K);收获时,去除边行后选取具代表性的 10 m² 测产获得实际产量(yield, Y)。

1.3 数据分析

用 Microsoft Excel 2010 软件录入数据和作图,差异显著性检验应用 SPSS19.0 中单因素方差分析 Duncan 检测,相关性分析应用 Pearson 方法,拟合产量和其它性状的线性关系利用向后筛选方法。应用 R 语言的 plsmp 程序包对温度、降雨、播期、品种、土壤温、湿度与产量的关联性进行偏最小二乘路径模型(PLS – PM, partial least square path modeling)处理分析。

2 结果与分析

2.1 试验年份气象条件及土壤温、湿度变化

林甸地区属于大陆季风性气候,四季温差较大,无霜期 129 d,降水年内和年际间变率大,干旱灾害发生频繁。表 2 显示,从 2000 年到 2011 年 5—9 月平均气温 18.8℃,5—9 月平均降水量 361.0 mm,降雨明显集中在 7 月和 8 月,5 月降雨极少。试验年份 2012 年和 2014 年与该地区历年气象条件相比较降雨较为特殊,5 月份降雨比往年同期多,8 月份降雨比往年同期少。2013 年 5—9 月份降雨量比往年多 103.1 mm。2014 年 5 月气温较低,玉米种子的萌发较晚。

土壤水分收支平衡的变化必然受气候影响,土壤湿度的主要气象影响因子是降水和实际蒸发^[12]。影响土壤温度的气象影响因子主要是气温和日照度。在生育期内 0、5、10、15 cm 和 20 cm 土壤温度变化表明,土壤温度从 5 月份到 7 月份逐渐升高,6 月底 7 月初达到最大值,随后逐渐降低。地表土壤温度(0 cm)在地表裸露时受日照度影响较大,5 月和 6 月地表土壤温度高出其它土层的温度较多,7 月份植株逐渐繁茂,各层土壤温差逐渐减小(图 2)。研

表 2 2000—2014 年气象条件

Table 2 Meteorological conditions in 2000—2014

因素 Climatic factor	年份 Year	月份 Month					5—9 月平均 Average
		5	6	7	8	9	
日均温度 ADT/℃	2000—2011	14.7	20.6	23.1	21.2	14.3	18.8
	2012	15.8	21.2	23.6	21.8	16.4	19.8
	2013	17.9	21.5	23.4	22.0	15.0	20.0
	2014	14.2	23.0	22.9	21.4	14.8	19.2
	2000—2011	29.6	67.1	128.8	90.0	45.5	361.0
降雨量 ADP/mm	2012	63.0	72.0	92.4	4.2	78.7	310.3
	2013	25.0	119.0	207.0	68.0	46.0	464.1
	2014	48.6	33.4	145.3	27.0	57.0	311.3
	2000—2011						

究土壤温度与气候的相关性发现各层土壤温度均与降雨量无显著相关性,与风速显著负相关($R \leq -0.160, n = 152$),与空气温度极显著正相关($R \geq 0.794, n = 152$),其中地表温度与日空气温度相关系数最小,这与日光直接照射有关。15 cm 处土壤湿度在 5 月到 10 月间保持在 25% ~ 35% 之间,明显有 6 个波峰,均出现在降雨之后。最高湿度在 6 月 11 日为 34.2%,而长时间的无降雨(7 月 1 日 - 7 月 21 日)和较大的实际蒸发量导致在 7 月 22 日土壤湿度仅为 25.4%。相关性分析发现土壤湿度与降雨量极显著正相关性($R = 0.228, n = 152$),与风速呈极显著负相关($R = -0.238, n = 152$),原因是风速增加植物蒸腾量和土壤蒸发量;土壤湿度与空气温度极显著正相关($R = 0.247, n = 152$),体现了本地区雨热同季的特性。王磊等^[12]研究中国西北区西部土壤湿度及其气候响应时发现,土壤湿度和气候因子之间存在相互响应,土壤湿度与气温普遍存在负相关,土壤湿度与降水之间总体响应不明显。表明不同气候条件地区土壤湿度与气候条件的关系不相同,各地区间的试验结果要区分看待^[13]。

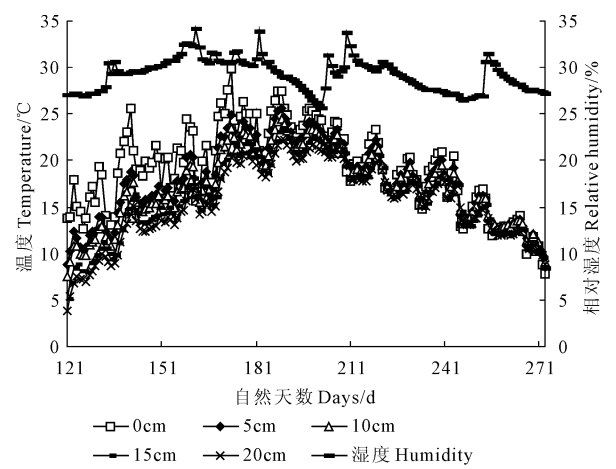


图 2 2012 年玉米生育季节内土壤温度和湿度变化趋势
Fig.2 Changes of temperature and relative humidity of soil during maize growing seasons in 2012

2.2 播期对产量性状的影响

产量分析发现,2014 年玉米产量显著低于前两年,同时产量相关性状分析也发现,2014 年穗长、穗行数和百粒重均显著低于 2012 年和 2013 年。各品种产量由高到低依次是先玉 335、郑单 958、哲单 37。其中郑单 958 和先玉 335 产量高并稳定,适合本地区种植;哲单 37 能够较早成熟,但产量太低。分期播种对不同玉米品种的产量性状影响变化趋势有所不同,先玉 335 和郑单 958 两个品种随播期的延迟

而产量下降,适合播种日期是 5 月 8 日左右,哲单 37 的最适播种日期是 5 月 15 日左右。显著性分析发现播期通过改变玉米的穗长、秃尖、穗行数、行粒数和百粒重等性状引起产量的变化,见表 3。

将实际产量和穗部性状作线性拟合,采用向后筛选的方法,通过残差分析验证,回归方程为 $y = 207.54x_1 + 443.22x_2 - 792.29x_3 - 5437.32, F = 29.758^* (P < 0.01)$,方程达极显著水平, y 为实际产量、 x_1 为百粒重、 x_2 为穗长、 x_3 为秃尖,其中穗粗、穗行数和行粒数相关性太小被移除。决定系数 $R^2 = 0.662$,剩余因子 $e = \sqrt{1 - R^2} = 0.581$,说明对实际产量有影响的因素除了百粒重、穗长和秃尖外还存在其它影响因素,较为复杂。由通径系数可以发现直接效应为穗长(0.569) > 百粒重(0.530) > 秃尖(-0.309),穗长对产量影响最大,秃尖对产量影响是负向的并且最小。间接效应对产量的贡献为百粒重(0.317) > 穗长(0.271) > 秃尖(0.096),秃尖与穗长显著正相关、与产量显著负相关,秃尖影响了穗长对产量的间接贡献。播期主要通过影响玉米穗长、秃尖和百粒重引起产量的变化。

2.3 不同阶段气象因子、土壤温、湿度的变化与产量性状的相关分析

按照播种到出苗阶段、出苗到拔节阶段、拔节到抽雄阶段和抽雄到成熟阶段等 4 个阶段,获取各个生育阶段的气象数据,分析各阶段气象因子与产量性状的相关性,省略相关性不显著的性状得到表 4。分析发现气候条件对各个品种的影响各不相同,哲单 37 受气候影响最大的是穗长,其与播种到出苗阶段温度、出苗到拔节阶段温度日较差、抽雄到成熟阶段日均温度和降雨显著相关。先玉 335 的产量与抽雄到成熟阶段温度和降雨显著正相关。郑单 958 的株高、穗位高、穗长和行粒数等性状与出苗到拔节阶段温度呈显著负相关,而与拔节到抽雄阶段温度显著正相关。不同品种生育期不同,其产量性状与气候条件相关性各不相同,结合气象条件分析发现 2012 年 8 月和 2014 年 8 月降雨较少,此时玉米生长处于抽雄到成熟阶段,此阶段降雨显著影响产量。抽雄到成熟阶段的温度、降雨量影响哲单 37、先玉 335 和郑单 958 穗长和产量。哲单 37、先玉 335 和郑单 958 在黑龙江地区的生育期约为 110 ~ 120 d,晚播导致生育期缩短,有效积温降低,最后一个播期积温小于 2 500℃(先玉 335 和郑单 958 正常生育期所需积温约为 2 600℃ ~ 2 700℃),造成抽雄到成熟阶段有效积温降低,影响玉米穗长生长和产量形成。

表 3 不同播期产量性状的变化

Table 3 Grain yields and yield components of maize during each sowing day											
年份 Year	品种 Variety	播期 Planting date	株高 P/cm	穗位高 E/cm	穗长 L/cm	秃尖 T/cm	穗粗 D/cm	穗行数 R/行	行粒数 R/粒	百粒重 K/g	实际产量 Y/(kg·hm ⁻²)
2012	哲单 37 Zhedan37	D1	276.8a	116.0ab	21.3a	1.88a	4.93a	14.0a	37.7a	27.1b	8150b
		D2	274.1a	110.5b	21.6a	1.73a	5.18a	13.5a	36.4a	27.8b	8497ab
		D3	273.5a	126.0a	21.8a	0.58b	4.88a	14.0a	37.6a	29.6a	8749a
	先玉 335 Xianyu335	D1	305.0a	138.0a	23.1a	2.03a	5.13a	16.0a	41.7a	34.7a	10306a
		D2	309.0a	115.0b	22.6a	1.98a	4.75a	16.0a	38.5a	35.5a	9811a
		D3	311.3a	127.0ab	22.2a	1.75a	4.75a	16.0a	40.2a	31.7b	8184b
	郑单 958 Zhengdan958	D1	303.0a	147.5a	22.7a	1.25b	5.03a	16.0a	39.4a	38.7a	8686a
		D2	318.5a	136.3a	19.9b	2.53a	4.85a	16.0a	39.5a	36.5b	8502a
		D3	301.3bcd	133.3a	21.8ab	1.15b	4.98a	16.0a	40.3a	36.4b	8260a
	年均 Annual		292.5A	127.7A	22.1A	1.65A	4.94A	15.3A	38.8A	33.0A	8761A
2013	哲单 37 Zhedan37	D2	269.3a	103.3a	17.5a	1.9a	4.7a	15.5ab	30.8b	31.3a	7412b
		D3	276.1a	105.5a	18.4a	1.25ab	4.83a	16.0a	34.0a	31.6a	8670a
		D4	261.8a	95.8a	17.5a	0.54b	4.53a	15.0b	29.8b	28.2b	7590b
	先玉 335 Xianyu335	D2	332.8a	111.8a	19.1ab	0.68a	4.76a	16.0a	36.8a	35.1a	10068a
		D3	314.3ab	111.3a	19.7a	0.86a	4.82a	16.0a	36.8a	34.4a	8830b
		D4	294.5b	113.1a	18.1b	0.68a	4.62a	16.0a	33.2b	32.9b	8174b
	郑单 958 Zhengdan958	D2	299.0a	148.5a	19.0a	0.30a	4.68a	16.0a	36.8a	35.6a	9945ab
		D3	300.0a	121.0b	20.3a	0.56a	4.72a	16.0a	35.4a	36.7a	10676a
		D4	293.8a	128.8b	19.8a	0.46a	4.52a	16.0a	36.0a	36.3a	9703b
	年均 Annual		292.4A	115.4B	18.8B	0.81B	4.69B	15.8A	35.0B	34.3A	9008A
2014	哲单 37 Zhedan37	D2	242.5a	101.0a	18.8a	2.15a	4.90a	15.0a	35.8a	30.1a	6167a
		D3	235.3a	102.8a	15.8b	0.93b	4.48ab	13.8b	36.6a	26.2b	5225ab
		D4	216.3b	96.0a	16.1b	2.87a	4.10b	13.3b	32.1b	25.5b	4331bc
	郑单 958 Zhengdan958	D2	244.0a	114.3a	18.6a	0.70	5.18a	15.5ab	38.3a	38.7a	8044a
		D3	259.0a	116.3a	15.9b	1.95a	4.51b	16.8a	30.9b	34.1b	5863b
		D4	251.1a	114.9a	15.6b	0.05c	4.50b	14.7b	27.0c	29.2c	5215b
	年均 Annual		241.4B	107.6B	16.8C	1.44A	4.61B	14.9B	33.5B	30.6B	5808B

注:同一年份、同品种每列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),年际间均值每列不同大写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Values within each year followed by different lowercase letter are significantly different at $P < 0.05$. Mean values among different year followed by different upper letter are significantly different at $P < 0.05$.

土壤直接与作物的根部接触,是固定作物的介质,能够不断地供应和协调作物生长发育所必需的水分、养分、空气和热量,土壤的温度、湿度必然影响作物的生长。分析土壤的温度、湿度与产量的相关性发现,哲单 37 的产量与播种到出苗阶段的土壤湿度正相关,与拔节到抽雄阶段土壤湿度负相关,与抽雄到成熟阶段土壤湿度正相关;先玉 335 的产量与抽雄到成熟阶段土壤湿度正相关,见表 4。以上结果表明玉米在生殖生长期的土壤水分对玉米产量有较强的影响。王延宇等^[14]通过回归旋转正交组合试验研究各生育期土壤水分对玉米产量影响,发现土壤水分在灌浆成熟期对产量影响大于其它时期。

采用偏最小二乘路径模型进一步分析温度、降雨、播期、品种、土壤温、湿度与产量的交互作用,结果显示品种对产量的直接作用小于播期对产量的直接影响,播期的直接作用系数是 0.763,并通过气候和土壤条件的影响间接影响产量的形成(见图 3)。

3 讨论与结论

在全球气候环境日益恶化的今天如何充分适应当地气候条件,将作物的关键生育期置于有利的气候条件中,播期和品种的选择至关重要^[15],适宜的播期是玉米充分利用生态环境中有利的光、温、水资源的条件保障^[16]。由于北方地区气候条件具有强

表 4 不同阶段气象因子与产量性状的相关性

Table 4 Correlations between meteorological factors at different stages and yields

品种 Variety	生育阶段 Growth stage	日均 最高温 DT _{max}	日均 最低温 DT _{min}	日均 温度 DT	温度 日较差 ADTR	阶段性 降水量 PP	土壤 温度 ST	土壤 湿度 SH
哲单 37 Zhedan37	播种到出苗 ETS	l	- b/L/y	l			- r/- k	l/y
	出苗到拔节 STSF				l/y		- B	
	拔节到抽雄 SFTS			- k			P/n	- y
	抽雄到成熟 TTRP			L		y	- l/- y	y
先玉 335 Xianyu335	播种到出苗 ETS		l/- n					
	出苗到拔节 STSF	- b		- b	d/y			
	拔节到抽雄 SFTS				l/b			
	抽雄到成熟 TTRP	y	y	l/y	l/b	- B/y	- p	Y
郑单 958 Zhengdan958	播种到出苗 ETS		- d		p		- l	
	出苗到拔节 STSF	- L/- N	- l/- d	- L/- n				- p/- b
	拔节到抽雄 SFTS	L/n	p/l/n/y	L/N/k/y	B			- r
	抽雄到成熟 TTRP			l/y	- Y			

注: B(b):秃尖;D(d):穗粗;K(k):百粒重;L(l):穗长;N(n):行粒数;R(r):穗行数;Y(y):产量。小写字母表示显著相关,大写字母表示极显著相关,“-”表示负相关。

Note: B(b): bare tip, D(d): ear diameter, K(k): kernels per ear, L(l): ear length, N(n): kernel number per row, R(r): row number, Y(y): yield. The upper and lowercase letters indicate significant correlations at 5% and 1% probability levels, respectively. “-” represents a negative correlation.

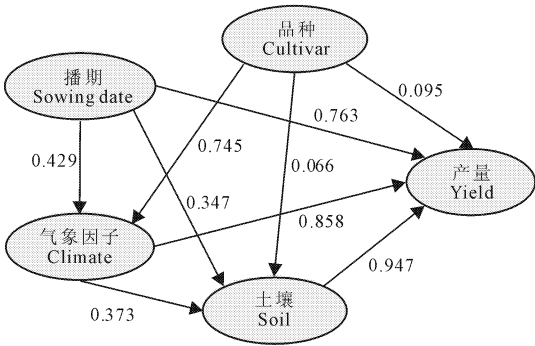


图 3 气象因子、播期、品种、土壤与产量性状的 PLS-PM 分析结果

Fig.3 The result of PLS-PM among meteorological factors (climate), sowing data, cultivar, soil and yield

烈的时空特异性,品种、播期和地区的变化将产生以下两种情况:第一,地区气候资源能够满足作物生长发育的需求,使气候条件与产量性状的相关性变模糊;第二,某些阶段的气象因子不能满足作物生长发育的需求,凸显为该地区产量提升的限制因素^[7]。本试验发现在晚播的情况下秋季低温造成了中熟品种先玉 335、郑单 958 提前成熟,生育期缩短,影响了产量形成。早熟品种哲单 37 在 5 月 17 日左右播种产量最高。对产量的直接贡献最大的是穗长,然后是百粒重、秃尖长;但穗长与秃尖极显著正相关,所以对产量的间接贡献反而不如百粒重。

玉米是需水较多的作物,王振华等^[17-18]研究玉米生产的主要限制因子,发现干旱往往导致出苗不齐,发育滞后等问题,特别是灌浆期干旱会导致子粒发育不良而导致严重减产。王琪等^[10]研究表明,在东北中部玉米主产区,玉米幼苗长势好坏主要取决于水分。刘树新等^[19]在研究玉米空杆的成因时曾经提出不适合的气象条件将引发玉米空杆。本研究发现 2012 年哲单 37 和先玉 335 早播空杆率均显著高于晚播,这可能与初春的低温和干旱有关。但哲单 37 和先玉 335 抽雄到成熟期的降雨与产量显著相关,即抽雄到成熟期的降雨是关键的气候因子,对产量形成更为重要。土壤湿度与作物的关系更密切,成熟期的土壤湿度与先玉 335 的产量极显著相关,体现了这种递进关系。

在黑龙江省松嫩平原播期延后将缩短适合作物生长的气候天数,需要较长生育期的作物品种将不能成熟。陆卫平等^[20]研究我国东北玉米生长条件时指出,早播延长生育期显著提高了产量,北方玉米适当早播可以增产。前人分析气候变化对东北地区玉米产量的影响时发现在水分基本适宜的条件下,玉米生长季气温升高、积温增加,使玉米生长发育和灌浆速度加快,生物量增加,从而提高单产^[4,21]。赵会薇等^[22]研究分期播种对不同棉花品系的影响时发现,不同品系主要性状指标差异明显,大多数春

播产量高、夏播品质好,少数夏播产量高。本研究表明,随着播期的推迟,玉米苗期和拔节期的环境温度逐渐升高,玉米的生育期缩短,不利于玉米产量的形成。先玉 335 抽雄到成熟阶段日均温度与穗长呈显著正相关,出苗到拔节阶段的日均最高温度和平均温度影响秃尖;哲单 37 播种到苗期阶段的日均最低温度极显著影响穗长,显著提高产量,降低秃尖。3 个品种,在拔节到抽雄阶段的温度对玉米产量是正向的影响,此阶段降雨对哲单 37 和先玉 335 也有显著的增产效应。说明在本地区拔节到抽雄阶段的温度是影响玉米产量的主要因素,但出苗到拔节阶段过高的温度会引起产量的降低。本地区在没有春天低温和霜害情况时可以适当提前播期,获得较高拔节到抽雄阶段的温度,延长生育期获得高产,当出现春季低温或霜害时可以补种早熟品种哲单 37。

PLS – PM 是研究显变量集合之间的关系,检测显变量(manifest variable, MV)和潜变量(latent variable, LV)、潜变量和潜变量之间关系的一种多元先验模型。该方法已被应用到市场调研、经济学、化学、生物信息学、医学、药理学等各个领域^[23–24]。本研究利用 PLS – PM 对气象因子、播期、品种、土壤温、湿度与产量的交互作用进行分析,发现播期不仅直接影响产量的形成,还可以使作物生育期处于不同气候条件和土壤条件下间接影响产量的形成。在 4 种条件下品种对产量的直接作用最小为 0.095,品种通过生育期长短不同影响所处生育期内的气候条件间接影响产量。这表明播期对产量影响较大,适合的播期不应随意调节,农民为了追求高产提前播种的方式是不妥的。本研究受试验年份气象条件的限制,不能够完全代表本地气象条件,对分析会有一定影响。气象条件对产量影响,首先会影响到玉米生物量的积累,所以在后续的研究中我们将增加玉米干物质积累、叶面积、节间长度等方面的数据,从玉米生物量积累方面研究气候对产量的影响。

参 考 文 献:

[1] 李世奎.中国农业灾害风险评价与对策[M]. 北京:气象出版社,1999, 35.

[2] 崔振才.哈尔滨地区降水量对大豆产量影响的研究[J].东北农业大学学报,2003,34(1):30-33.

[3] 金 宁.降雨、日照、温度对作物产量的综合影响——“三因值”概念初析[J].北京农业科学,1983,(1):31-34.

[4] 马树庆,王 琪,罗新兰.基于分期播种的气候变化对东北地区

玉米(*Zea mays*)生长发育和产量的影响[J].生态学报,2008,28(5):2131-2139.

[5] Caliskan S, Caliskan M E, Arslan M, et al. Effects of sowing date and growth duration on growth and yield of groundnut in a Mediterranean – type environment in Turkey[J]. Field Crops Res, 2008, 105: 131-140.

[6] 符冠富,王丹英,李 华,等.水稻不同生育期温光条件对籽粒充实和米质的影响[J].中国农业气象,2009,30(3):375-382.

[7] 明 博,朱金城,陶洪斌,等.黑龙江流域玉米不同生育阶段气象因子对产量性状的影响[J].作物学报,2013,39(5):919-927.

[8] Yoldas F, Esiyok D. Effects of sowing dates and cultural treatments on growth, quality and yield of processing beans[J]. Pak J Biol Sci, 2007, 10(15):2470-2474.

[9] 张 婷,吴普特,赵西宁,等.垄沟种植模式对玉米生长及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):27-30,40.

[10] 王 琪,马树庆,徐丽萍,等.东北地区春旱对春玉米幼苗长势的影响指标和模式[J].自然灾害学报,2011,20(5):141-147.

[11] 国家气象情报信息中心.中国气象科学数据共享服务网. <http://cdc.cma.gov.cn/>.2014.

[12] 王磊,文 军,韦志刚,等.中国西北区西部土壤湿度及其气候响应[J].高原气象,2008,27(6):1257-1266.

[13] 李 琛.近二十年来东北地区土壤湿度的诊断分析[D].南京:南京信息工程大学,2010.

[14] 王延宇,王 鑫,赵淑梅.玉米各生育期土壤水分与产量关系的研究[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):100-105.

[15] Lin Y, Wu W, Ge Q. CERES – Maize model – based simulation of climate change impacts on maize yields and potential adaptive measures in Heilongjiang Province, China[J]. J Sci Food Agric, 2015, 95(14):2838-2849.

[16] 侯玉虹,陈传永,郭志强,等.春玉米不同产量群体叶面积指数动态特征与生态因子资源量的分配特点[J].应用生态学报,2009,20(1):135-142.

[17] 王振华,张 林.黑龙江省松嫩平原中南部玉米生产限制因素及对策[J].玉米科学,2008,16(5):147-149.

[18] López-Bellido R J, López-Bellido L, Benítez-Vega J, et al. Tillage system, preceding crop, and nitrogen fertilizer in wheat crop: II. water utilization[J]. Agron J, 2007,99:66-72.

[19] 刘树新,陈晓颖.玉米空秆的成因及预防措施[J].种子世界,2013,(4):37-38.

[20] 陆卫平,陈国平,郭景伦,等.不同生态条件下玉米产量源库关系的研究[J].作物学报,1997,23(6):725-733.

[21] 赵秀兰.近 50 年中国东北地区气候变化对农业的影响[J].东北农业大学学报,2010,(9):144-149.

[22] 赵会薇,李悦有,王彦立,等.超早熟短季棉育种材料分期播种主要性状差异分析[J].华北农学报,2012,27(增刊):87-92.

[23] 陈民志.脂质代谢及炎性通路基因与冠心病关联关系研究[D].济南:山东大学,2011:32.

[24] Kucharik C J. Contribution of planting date trends to increased maize yields in the Central United States[J]. Agron J, 2008, 100:328-336.