



钱春荣,王荣焕,于洋,等.生态区对不同熟期玉米品种生长发育与有效积温生产效率的影响[J].黑龙江农业科学,2020(9):1-8.

生态区对不同熟期玉米品种生长发育与有效积温生产效率的影响

钱春荣¹,王荣焕²,于洋¹,徐田军²,宫秀杰¹,郝玉波¹,姜宇博¹,赵久然²

(1. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所/农业农村部东北地区作物栽培科学观测实验站, 黑龙江 哈尔滨 150028; 2. 北京市农林科学院 玉米研究中心, 北京 100097)

摘要:东北和华北是我国重要的两大玉米种植区域,为促进玉米品种科学布局与推广,本研究以不同熟期的9个玉米品种为试验材料,于2014和2015年在哈尔滨和北京同步开展试验,研究不同热量资源下极早熟、中早熟和中晚熟品种的生长发育进程、积温需求及积温利用特征。结果表明:在热量资源充沛的北京,玉米营养生长和生殖生长阶段的积温需求随熟期延长呈递增趋势,而在热量资源有限的哈尔滨,营养生长阶段积温需求随品种熟期延长而增加,而生殖生长阶段积温随熟期延长而减少,熟期较长的品种通过自我调节生殖生长阶段的热量需求,对热量资源不足做出响应与适应。在热量资源有限的哈尔滨,中早熟品种可正常成熟,同时最大限度利用热量资源,积温利用率平均92.64%,积温生产效率平均 $8.14 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,而中晚熟品种存在不能正常成熟的风险;在热量资源充沛的北京,即使中晚熟品种,其积温利用率也仅有75.50%,积温生产效率平均 $7.19 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,存在积温浪费现象;在哈尔滨地区,积温生产效率主要受播种至吐丝阶段的有效积温影响,而在北京地区,积温生产效率主要受出苗至成熟阶段的日平均气温影响。综上,东北春玉米区,为适应玉米全程机械化作业需求,不宜采用积温满贯型品种过度追求积温利用率,以留出 $100 \sim 130 \text{ C} \cdot \text{d}$ 有效积温空间为宜;华北春玉米区可进一步提高积温利用率。

关键词:玉米;生育期;有效积温利用率;有效积温生产效率

温度是影响作物生长发育的重要气象因子^[1],直接影响作物的生长、产量、品质及其分布,而且影响作物的生长发育速度,从而影响作物生育期的长短与各生育期出现的早晚。作物生长发育除了要求适宜的温度范围外,对热量的总量也有一定的要求,作物完成某一发育阶段或整个生命过程,要求一定的热量积累,即积温,积温也是衡量一个地区热量资源的主要指标。 $\geq 10 \text{ C}$ 有效积温作为作物生长发育的温度指数,表征了喜温作物生长期的长短和地区热量资源的多寡,被国内广泛用于作物生长发育^[2]、农业气候区划^[3-6]、新品种推广等的研究。东北和华北地区是我国重要的春玉米生产基地,地区间光、热、水等气候资源条件差异较大,东北春玉米区,玉米生长前期经常受倒春寒影响,生长后期则光热资源不足^[7-9],部分地区玉米种植安全成熟的风险较大;

华北春玉米区,热量资源充沛,热量不是玉米生长的限制因子。近年来,在全球气候变暖的作用下^[10-12],早熟品种种植北界向北移动约2个纬度,中、晚熟品种的种植东界向东移动约1个经度^[13-18],玉米种植熟性品种的改变使低温冷害有所增加^[14],籽粒成熟度差,收获时籽粒含水量偏高,贮藏霉变风险增加。探究不同热量资源条件下不同熟期玉米品种的生长发育进程、积温需求与积温利用特征,明确热量资源与品种熟性的匹配关系,对玉米品种的合理布局与推广,合理利用光热资源,挖掘高产潜力,具有重要的指导意义。

本研究选取9个不同熟期的玉米主栽品种为供试材料,选取热量资源充沛的春玉米区(北京)和热量资源限制型春玉米区(哈尔滨)2个典型生态区,研究不同熟期玉米品种在热量充足和热量不足两种生态环境下的生长发育及积温利用特征,为玉米品种科学布局、适期收获,以及光热资源高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2014和2015年在黑龙江省哈尔滨市民主乡黑龙江省现代农业示范区($45^{\circ} 50' \text{ N}$,

收稿日期:2020-05-20

基金项目:黑龙江省杰出青年基金(JC2017008);国家玉米产业技术体系(CARS-02-34);黑龙江省应用技术与开发计划重大项目(GA18B101)。

第一作者:钱春荣(1973-),女,博士,研究员,从事玉米栽培学研究。E-mail:qcr3906@163.com。

通信作者:赵久然(1962-),男,博士,研究员,从事玉米栽培学研究。E-mail:maizezhao@126.com。

126°50'E)和北京昌平区小汤山国家精准农业研究示范基地(40°10'N,116°26'E)进行。哈尔滨试验区土壤为碳酸盐黑钙土,有机质 19.6 g·kg⁻¹,pH5.95,碱解氮 160.40 mg·kg⁻¹,速效磷19.22 mg·kg⁻¹,速效钾 675.90 mg·kg⁻¹。北京试验区土壤有机质 11.1 g·kg⁻¹,碱解氮 95.28 mg·kg⁻¹,速效磷

25.51 mg·kg⁻¹,速效钾 154.02 mg·kg⁻¹。

1.2 材料

选用当前黑龙江省和华北区大面积推广或新育成的表现突出的 9 个玉米品种为试验材料,供试品种育成单位及生育期详见表 1。

表 1 供试品种

Table 1 Maize hybrids in experiments

熟期类型 Maturity type	品种 Varieties	育成单位 Breeding institute	生育期 Growth period/d
极早熟 Super-early maturing	德美亚 1 号	黑龙江农垦丰种业有限公司	108
	克单 14	黑龙江省农业科学院克山分院	108
	德美亚 3 号	黑龙江农垦丰种业有限公司	117
中早熟 Middle-early maturing	吉单 27	吉林省四平农业科学院玉米研究所	126
	京农科 728	北京农林科学院玉米中心	126
	京单 28	北京农林科学院玉米中心	130
中晚熟 Middle-late maturing	先玉 335	先锋公司	>130
	郑单 958	河南省农业科学院粮食作物研究所	>130
	京科 968	北京农林科学院玉米研究中心	>130

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采取随机区组设计,3 次重复,哈尔滨试验区每个小区 6 行,行长 5 m,行距 0.65 m,小区面积 19.5 m²。北京试验区每个小区 12 行,行长 6 m,行距 0.60 m,小区面积 43.2 m²。

1.3.2 田间管理 哈尔滨和北京两地同期播种,2014 和 2015 年分别于 5 月 8 日和 5 月 10 日人工播种,每穴 3 粒,种植密度 3 500 株·667 m⁻²,出苗后于三叶期按设计密度定苗,哈尔滨试验区 2014 和 2015 年分别于 10 月 11 日和 10 月 13 日人工收获,北京试验区两年均于 10 月 8 日收获。其它管理措施与当地大田高产栽培技术措施一致。

1.3.3 测定项目及方法 气象数据来源于相应试验区内的田间气象观测站,按张占琴等^[19]的测定方法,利用逐日气温资料计算每季作物有效积温利用率和有效积温生产效率。

有效积温利用率(%) = 作物生育期间 ≥10℃有效积温/全年≥10℃有效积温×100;

有效积温生产效率(kg·hm⁻²·℃⁻¹·d⁻¹) = 单位面积籽粒产量/作物生育期≥10℃有效积温。

1.3.4 数据分析 采用 Excel 2013 进行数据计算和图表绘制,采用 SAS 9.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 试验点气象条件

由图 1 可知,2014 年哈尔滨试验区全年 ≥10℃有效积温 1 561.3℃·d,生长季(5 月 8 日

播种,9 月 30 日初霜)平均气温 19.72℃,≥10℃有效积温 1 459.4℃·d,全生育期降雨量 294.2 mm;2015 年全年 ≥10℃有效积温 1 565.97℃·d,生长季(5 月 10 日播种,10 月 4 日初霜)平均气温 19.78℃,≥10℃有效积温 1 444.13℃·d,全生育期降雨量 390.75 mm。2014 年北京试验区全年 ≥10℃有效积温 2 495.11℃·d,生长季(5 月 8 日播种,10 月 8 日收获)平均气温 23.7℃,≥10℃有效积温 2 109.27℃·d,全生育期降雨量 358.8 mm;2015 年全年 ≥10℃有效积温 2 343.55℃·d,生长季(5 月 10 日播种,10 月 8 日收获)平均气温 23.10℃,≥10℃有效积温 1 987.8℃·d,全生育期降雨量 466.2 mm。

2.2 两个生态区不同熟期玉米品种的生育进程

不同生态区玉米品种各生育阶段的温度条件不同,其生长发育进程对不同热量资源条件做出不同响应,从而使得同一品种在不同生态区完成某一生理阶段所需要的日数明显不同。由表 2 可知,极早熟和中早熟品种,在北京生态区其播种至出苗日数较哈尔滨生态区缩短 6.5 d,中晚熟品种出苗日数缩短 7.5 d;极早熟、中早熟和中晚熟品种在北京生态区出苗至吐丝日数分别比哈尔滨生态区缩短 5.0、8.5 和 7.5 d;极早熟品种和中早熟品种在北京生态区从吐丝至成熟,分别比哈尔滨生态区缩短 14.5 和 10.5 d,2014 和 2015 年两个生长季,中晚熟品种在哈尔滨生态区初霜来临时均未达到生理成熟。

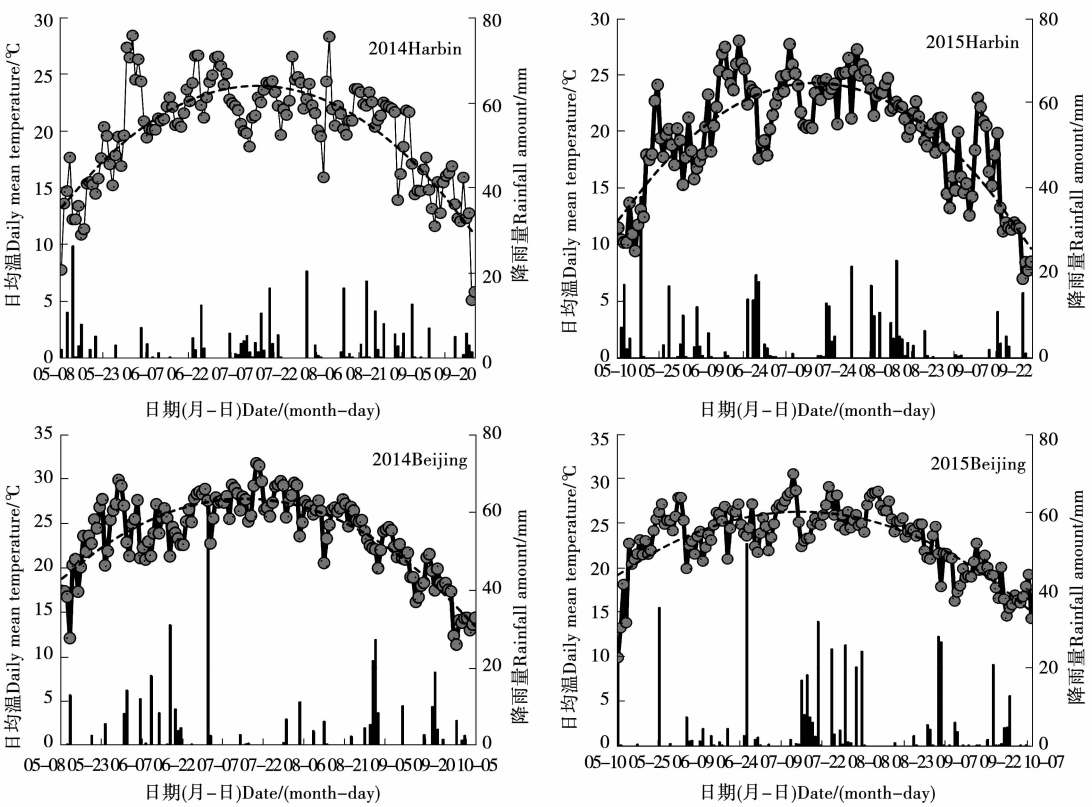


图 1 试验区生育期内日平均气温与降雨量

Fig. 1 Average daily temperature and rainfall amount in experiment location

表 2 不同生态区不同熟期品种各生长发育阶段日数

Table 2 Days in each growth and development periods of maize varieties differing in maturity in Harbin and Beijing

(d)

年度 Years	熟期类型 Maturity types	品种 Varieties	播种至出苗日数 Days from sowing to seedling emergence		出苗至吐丝日数 Days from seedling emergence to silking		吐丝至成熟日数 Days from silking to maturity	
			哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing
2014	极早熟	德美亚 1 号	13	8	53	46	58	41
		克单 14	13	8	53	46	58	41
		德美亚 3 号	13	8	57	48	63	50
		平均	13	8	54	47	60	44
	中早熟	吉单 27	13	8	62	52	67	55
		京农科 728	13	8	64	52	65	55
		京单 28	13	8	62	54	69	58
		平均	13	8	63	53	67	56
	中晚熟	先玉 335	15	8	62	53	-	57
		郑单 958	14	8	64	54	-	64
		京科 968	14	8	65	56	-	62
		平均	14	8	64	54	-	61
2015	极早熟	德美亚 1 号	15	7	49	44	56	42
		克单 14	15	7	50	44	55	42
		德美亚 3 号	14	7	55	50	59	49
		平均	15	7	51	48	57	44

续表 2

年度 Years	熟期类型 Maturity types	品 种 Varieties	播种至出苗日数 Days from sowing to seedling emergence		出苗至吐丝日数 Days from seedling emergence to silking		吐丝至成熟日数 Days from silking to maturity	
			哈尔滨	北京	哈尔滨	北京	哈尔滨	北京
			Harbin	Beijing	Harbin	Beijing	Harbin	Beijing
	中早熟	吉单 27	14	7	58	53	65	54
		京农科 728	16	7	60	53	62	54
		京单 28	15	7	62	54	67	58
		平均	15	7	60	53	65	55
	中晚熟	先玉 335	17	7	59	55	-	57
		郑单 958	16	7	61	56	-	64
		京科 968	16	7	63	58	-	62
		平均	16	7	61	56	-	61

2.3 两个生态区不同熟期玉米品种的积温需求

同一品种在不同生态区完成某一生理阶段所需要的有效积温不同,由表 3 可知,在哈尔滨和北京试验区,玉米从播种至出苗所需≥10℃有效积温分别为 57.51 和 55.62℃·d;出苗至吐丝所需≥10℃有效积温分别为 712.53 和 760.38℃·d;吐丝至生理成熟所需≥10℃有效积温分别为 661.62 和 871.40℃·d。在哈尔滨和北京两个生

态区,极早熟品种全生育期需要≥10℃有效积温分别为 1 359.85 和 1 494.59℃·d,两生态区相差 134.74℃·d;中早熟品种全生育期需要≥10℃有效积温分别为 1 448.44 和 1 740.97℃·d,两生态区相差 292.53℃·d;中晚熟品种全生育期需要≥10℃有效积温分别为 1 451.77 和 1 826.66℃·d,两生态区相差 374.89℃·d。

表 3 不同熟期玉米品种各生长发育阶段≥10℃有效积温

Table 3 Effective accumulated temperature above 10℃ in each growth and development periods of maize varieties differing in maturity

年度 Years	熟期类型 Maturity types	品 种 Varieties	≥10℃有效积温 Effective accumulated temperature above 10℃/(℃·d)							
			播种至出苗 Sowing to seedling emergence		出苗至吐丝 Seedling emerge to silking		吐丝至成熟 Silking to maturity		全生育期 Whole growth duration	
			哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing
2014	极早熟	德美亚 1 号	46.50	62.14	645.89	682.90	682.01	734.60	1374.40	1479.64
		克单 14	46.50	62.14	645.89	682.90	682.01	734.60	1374.40	1479.64
		德美亚 3 号	46.50	62.14	681.34	713.14	688.06	874.98	1415.90	1650.26
		平均	46.50	62.14	657.71	692.98	684.03	781.39	1388.24	1536.51
	中早熟	吉单 27	46.50	62.14	763.63	781.35	646.52	937.68	1456.65	1781.17
		京农科 728	46.50	62.14	785.47	781.35	624.68	937.68	1456.65	1781.17
		京单 28	46.50	62.14	763.63	816.67	649.27	964.68	1459.40	1843.49
		平均	46.50	62.14	770.91	793.12	640.16	946.68	1457.57	1801.94
	中晚熟	先玉 335	59.90	62.14	772.07	798.66	-	954.33	1459.40	1815.13
		郑单 958	52.30	62.14	791.57	816.67	-	1040.59	1459.40	1919.40
		京科 968	52.30	62.14	802.97	851.46	-	1005.80	1459.40	1919.40
		平均	54.83	62.14	788.87	822.26	-	1000.24	1459.40	1884.64
2015	极早熟	德美亚 1 号	63.85	49.10	583.45	666.30	665.58	686.30	1312.88	1401.70
		克单 14	63.85	49.10	595.10	666.30	654.93	686.30	1313.88	1401.70
		德美亚 3 号	49.80	49.10	640.40	706.20	677.38	799.30	1367.58	1554.60

续表 3

年度 Years	熟期类型 Maturity types	品种 Varieties	≥10 ℃有效积温 Effective accumulated temperature above 10 ℃/(℃·d)							
			播种至出苗 Sowing to seedling emerge		出苗至吐丝 Seedling emerge to silking		吐丝至成熟 Silking to maturity		全生育期 Whole growth duration	
			哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing
			哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	Beijing	Harbin	Beijing
	中早熟	平均	59.17	49.10	606.32	679.60	665.96	723.97	1331.45	1452.67
		吉单 27	49.80	49.10	691.15	754.70	693.63	856.50	1434.58	1660.30
		京农科 728	73.20	49.10	723.75	754.70	642.28	856.50	1439.23	1660.30
		京单 28	63.85	49.10	747.25	771.50	633.03	898.80	1444.13	1719.40
		平均	62.28	49.10	720.72	760.30	656.31	870.60	1439.31	1680.00
	中晚熟	先玉 335	80.90	49.10	716.05	789.00	-	881.30	1444.13	1719.40
		郑单 958	73.20	49.10	737.90	807.10	-	937.10	1444.13	1793.30
		京科 968	73.20	49.10	737.90	846.00	-	898.20	1444.13	1793.30
		平均	75.77	49.10	730.62	814.03	-	905.53	1444.13	1768.67

2.4 两个生态区不同熟期玉米品种的有效积温利用特征

对比年际间的有效积温利用率和有效积温生产效率,2014 年总体上高于 2015 年(表 4)。生态区间进行比较,哈尔滨生态区的有效积温利用率与有效积温生产效率基本上高于北京,极早熟品种种植在哈尔滨生态区,其有效积温利用率和有

效积温生产效率分别比种植在北京提高 41%和 5%,中早熟品种分别提高 29%和 24%,中晚熟品种分别提高 23%和 29%。熟期不同,其有效积温利用率及有效积温生产效率不同,极早熟、中早熟和中晚熟品种的平均有效积温利用率分别为 74.38%、82.30%和 84.18%,有效积温生产效率分别为 5.96、7.35 和 8.22 kg·hm⁻²·℃⁻¹·d⁻¹。

表 4 不同熟期玉米品种有效积温利用率及生产效率

Table 4 Effective accumulated temperature utilization rate and production efficiency of maize varieties differing in maturity

年度 Years	熟期类型 Maturity types	品种 Varieties	有效积温利用率 Effective accumulated temperature utilization rate/%		有效积温生产效率 Effective accumulated temperature production efficiency/(kg·hm ⁻² ·℃ ⁻¹ ·d ⁻¹)	
			哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing
2014	极早熟	德美亚 1 号	88.03	59.30	5.76 a	4.77 b
		克单 14	88.03	59.30	5.72 b	6.82 a
		德美亚 3 号	90.69	66.14	5.75 a	6.21 a
		平均	88.92	61.58	5.74 a	5.93 a
	中早熟	吉单 27	93.30	71.39	8.65 a	6.42 b
		京农科 728	93.30	71.39	8.76 a	5.89 b
		京单 28	93.47	73.88	8.11 a	6.48 b
		平均	93.36	72.22	8.51 a	6.27 b
	中晚熟	先玉 335	93.47	72.75	10.61 a	7.34 b
		郑单 958	93.47	76.93	9.83 a	6.31 b
		京科 968	93.47	76.93	10.93 a	6.52 b
		平均	93.47	75.53	10.21 a	6.71 b
2015	极早熟	德美亚 1 号	83.84	59.81	6.01 a	4.98 a
		克单 14	83.90	59.81	5.71 a	5.73 a
		德美亚 3 号	87.33	66.34	7.68 a	6.32 b
		平均	85.02	61.99	6.48 a	5.70 a

续表 4

年度 Years	熟期类型 Maturity types	品种 Varieties	有效积温利用率 Effective accumulated temperature utilization rate/%		有效积温生产效率 Effective accumulated temperature production efficiency/(kg·hm ⁻² ·℃ ⁻¹ ·d ⁻¹)	
			哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing
	中早熟	吉单 27	91.61	70.85	7.78 a	6.76 a
		京农科 728	91.91	70.85	8.40 a	6.64 b
		京单 28	92.22	73.37	7.13 a	7.13 a
		平均	91.91	71.69	7.77 a	6.85 b
	中晚熟	先玉 335	92.22	73.37	9.40 a	7.79 b
		郑单 958	92.22	76.52	7.68 a	7.10 a
		京科 968	92.22	76.52	7.81 a	8.10 a
		平均	92.22	75.47	8.30 a	7.67 a

注:数据后不同字母分别表示同年同一品种不同生态区间差异达 0.05 显著水平。
Note:Lowercase indicate significantly difference of different experiment locations of same variety in the same year at 0.05 level within the same row.

2.5 不同生育阶段平均气温、阶段有效积温与有效积温生产效率的相关与通径分析

由表 5 可知,哈尔滨试验点出苗至吐丝阶段的日平均气温和有效积温与积温生产效率呈极显著正相关,吐丝至成熟阶段的日平均气温和有效积温与积温生产效率分别呈极显著和显著负相关;北京试验点吐丝至成熟阶段日平均气温与积温生产效率呈极显著负相关,出苗至吐丝与吐丝至成熟阶段的有效积温均与积温生产效率呈极显著和显著正相关。哈尔滨试验数据通径分析结果显示,对积温生产效率的直接通径系数由大到小依次为:播种至出苗阶段有效积温(4.08)>出苗至吐丝阶段有效积温(0.31)>吐丝至成熟阶段日

平均气温(−0.08)>出苗至吐丝阶段日平均气温(−0.38)>吐丝至成熟阶段有效积温(−0.58)>播种至出苗阶段日平均气温(−4.33);北京试验数据通径分析结果显示,对积温生产效率的直接通径系数由大到小依次为:出苗至吐丝阶段日平均气温(10.62)>吐丝至成熟阶段日平均气温(4.75)>吐丝至成熟阶段有效积温(2.04)>出苗至吐丝阶段有效积温(−1.66)>播种至出苗阶段日平均气温(−14.39),可见,在哈尔滨地区,积温生产效率主要受播种至吐丝阶段的有效积温影响,而在北京地区,积温生产效率主要受出苗至成熟阶段的日平均气温影响。

表 5 不同生育阶段平均气温、阶段有效积温与有效积温生产效率的相关与通径分析

Table 5 Correlation and path analysis of average temperature,cumulative temperature during period of growth stage and cumulative temperature production efficiency

自变量 Independent variable	相关系数 Correlation coefficient		通径分析 Path analysis											
			1→y		2→y		3→y		4→y		5→y		6→y	
	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing	哈尔滨 Harbin	北京 Beijing
x1	−0.08	−0.25	−4.33	−14.39	0.16	9.98	0.02	3.66	4.04	-	−0.03	−0.25	0.17	0.75
x2	0.67**	−0.03	1.82	−13.53	−0.38	10.62	0.05	2.42	−1.43	-	0.24	−0.76	0.29	1.22
x3	−0.81**	−0.59**	1.21	−11.08	0.21	5.42	−0.08	4.75	−1.43	-	−0.27	0.8	−0.46	−0.47
x4	−0.01	-	−4.29	-	0.13	-	0.03	-	4.08	-	−0.01	-	0.18	-
x5	0.96**	0.64**	0.39	2.16	−0.28	4.88	0.07	−2.28	−0.12	-	0.31	−1.66	0.43	1.85
x6	−0.57*	0.48*	1.26	−5.32	0.19	6.37	−0.07	−1.09	−1.31	-	−0.24	−1.51	−0.58	2.04

注:x1,x2 和 x3 分别为播种至出苗、出苗至吐丝和吐丝至成熟阶段日平均气温;x4,x5 和 x6 分别为播种至出苗、出苗至吐丝和吐丝至成熟阶段有效积温。1→y,2→y,3→y,4→y,5→y,6→y 分别代表播种至出苗、出苗至吐丝、吐丝至成熟阶段日平均气温和播种至出苗、出苗至吐丝和吐丝至成熟阶段有效积温对积温生产效率的通径系数;* 和 * 分别表示差异显著性达 0.01 和 0.05 水平。
Note: x1,x2 and x3 are the average daily temperature from sowing to seedling emergence,seedling emergence to silking and silking to maturity,respectively; x4,x5 and x6 are the effective accumulated temperatures from sowing to seedling emergence,seedling emergence to silking and silking to maturity,respectively; 1→y,2→y,3→y,4→y,5→y and 6→y indicate path coefficient of x1,x2,x3,x4,x5 and x6 with cumulative temperature production efficiency,respectively;* * and * indicate significant difference at 0.01 and 0.05 levels,respectively.

3 讨论

温度是影响玉米生长发育的重要生态因子^[1],通过影响作物生育期,进而影响光有效辐射截获率和生长发育,最终影响玉米产量。有效积温是衡量农业气候资源的主要指标^[20-22],是决定玉米产量高低和玉米品种能否在某个地区安全种植的首要生态因素^[23-24],也是玉米品种区域间引种优先考虑的条件。本研究表明,同一品种在北京与哈尔滨同期播种,由北向南,随着热量资源条件的变化,北京地区营养生长和生殖生长阶段较哈尔滨地区明显缩短,玉米生殖生长阶段对生态条件的响应更敏感,其变幅大于营养生长阶段,不同熟期类型品种对生态条件变化的响应程度也不同,极早熟品种对生态区的响应最敏感。

作物的积温需求具有较好的稳定性^[2],本研究表明,同一品种在不同热量资源下,达到完熟所需要有效积温明显不同,热量资源越充足,品种达到完熟所需要有效积温越高;在热量资源充足条件下,品种熟期越长,其完成营养生长和生殖生长阶段所需要有效积温越高,而且分配到生殖生长阶段的有效积温高于营养生长阶段;在热量资源有限条件下,品种熟期越长,分配给营养生长阶段的有效积温越多,而分配给生殖生长阶段的有效积温越少,以至于中晚熟品种在哈尔滨生态区不能正常成熟。由此说明营养生长阶段对有效积温的需求相对稳定,而生殖生长阶段对有效积温的需求变幅较大,受热量资源条件影响显著。白彩云等^[25]研究指出,出苗到吐丝期所需积温是玉米品种积温需求的生理体现,对积温的需求相对稳定,其值大小可以反映这个玉米品种的熟性。播种到出苗和吐丝到成熟两个阶段,同一品种在不同热量资源生态区表现出极显著的积温需求差异,这种差异归于玉米品种对外界温度资源条件的自我生理调节。在实现正常生理成熟的条件下,不同品种吐丝到成熟积温需求的变异程度可以代表玉米品种生态适应性的大小^[25]。

品种熟期越长,其有效积温利用率和积温生产效率越高,这种趋势在热量资源有限区域更为明显,中早熟品种京农科 728 在哈尔滨试验点有效积温利用率可达 92%,积温生产效率 $8.62 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{℃}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,中晚熟品种郑单 958 有效积温利用率 92.84%,积温生产效率 $8.66 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{℃}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,但中晚熟品种郑单 958 在哈尔滨试验点两年均未正常成熟,可见,过高的积温利用率存在种植风险;本研究表明,在哈尔滨生态区,在保障作物正常成熟的

前提下,充分利用光热资源,适合种植有效积温比常年全年有效积温少 $100 \sim 130 \text{ ℃}$ 的品种。中晚熟品种京科 968 和郑单 958 在北京试验点春播有效积温利用率仅为 75% 左右,存在积温浪费,从提高光热资源利用率角度考虑,可以探索复种、套种模式。

4 结论

不同熟期玉米品种的营养生长与生殖生长对不同生态区的热量资源响应不同,当热量资源有限的情况下,晚熟品种通过调减生殖生长阶段的有效积温需求来保障自己达到完熟。东北春玉米区,为适应玉米全程机械化作业需求,不宜采用积温满贯型品种过度追求积温利用率,以留出 $100 \sim 130 \text{ ℃} \cdot \text{d}$ 有效积温空间为宜;华北春玉米区可进一步提高积温利用率。

参考文献:

- [1] Warrington I J, Kanemasu E T. Corn growth response to temperature and photoperiod. II. Leaf initiation and leaf appearance rates [J]. Agronomy Journal, 1983, 75 (5): 755-761.
- [2] 毛振强, 宇振荣, 刘洪. 冬小麦及其叶片发育积温需求研究[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(5): 14-19.
- [3] 张立伟, 秦步云. 吉林省 $\geq 10 \text{ ℃}$ 积温的分区研究[J]. 吉林气象, 2000(1): 12-15.
- [4] 刘明春, 邓振镛, 李巧珍, 等. 甘肃省玉米气候生态适应性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3): 112-117.
- [5] 闫平, 杨明, 王萍, 等. 基于 GIS 的黑龙省积温带精细划分[J]. 黑龙江气象, 2009, 26(1): 26-27, 29.
- [6] 杨晓光, 刘志娟, 陈卓. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响: VI. 未来气候变化对中国种植制度北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1562-1570.
- [7] 刘兴武, 郭海鳌, 李立春. 东北春玉米育种现状、问题及发展对策[J]. 吉林农业科学, 2002(5): 20-23.
- [8] 王崇桃, 李少昆, 韩伯棠. 玉米产量潜力实现的限制因素的参与式评估[J]. 中国软科学, 2006(7): 53-59.
- [9] 颜军, 马兴林. 我国玉米进一步增产的潜力及实现途径[J]. 农业科技通讯, 2007(9): 5-7.
- [10] 马洁华, 刘园, 杨晓光, 等. 全球气候变化背景下华北平原气候资源变化趋势[J]. 生态学报, 2010, 30 (14): 3818-3827.
- [11] 王占彪, 王猛, 尹小刚, 等. 气候变化背景下华北平原夏玉米各生育期水热时空变化特征[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(4): 473-481.
- [12] 张镇涛, 杨晓光, 高继卿, 等. 气候变化背景下华北平原夏玉米适宜播期分析[J]. 中国农业科学, 2018, 51(17): 3258-3274.
- [13] 贾建英, 郭建平. 东北地区近 46 年玉米气候资源变化研究[J]. 中国农业气象, 2009, 30(3): 302-307.
- [14] 赵俊芳, 杨晓光, 刘志娟. 气候变暖对东北三省春玉米严低温冷害及种植布局的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6544-6551.

- [15] 王培娟,梁宏,李祎君,等.气候变暖对东北三省春玉米发育期及种植布局的影响[J].资源科学,2011,33(10):1976-1983.
- [16] 纪瑞鹏,张玉书,姜丽霞,等.气候变化对东北地区玉米生产的影响[J].地理研究,2012,31(2):290-298.
- [17] 冶明珠,郭建平,袁彬,等.气候变化背景下东北地区热量资源及玉米温度适宜度[J].应用生态学报,2012,23(10):2786-2794.
- [18] Liu Z, Yang X, Chen F, et al. The effects of past climate change on the northern limits of maize planting in Northeast China[J]. Climatic Change, 2013, 117(4): 891-902.
- [19] 张占琴,魏建军,杨相昆,等.北疆“一年两作”冬小麦-复播青贮玉米模式物质生产及资源利用率研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(6):28-33.
- [20] 毛恒青,万晖.华北、东北地区积温的变化[J].中国农业气象,2000(3):2-6,19.
- [21] 柏秦凤,霍治国,李世奎,等.1978年前、后中国 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温对比[J].应用生态学报,2008(8):1810-1816.
- [22] 张存厚,李云鹏,李兴华,等.内蒙古近30年 10°C 积温变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2009,23(5):100-105.
- [23] 李言照,刘光亮,张海燕.光温因子与玉米产量的关系[J].西北农业学报,2001(2):67-70.
- [24] 戴明宏,单成钢,王璞.温光生态效应对春玉米物质生产的影响[J].中国农业大学学报,2009,14(3):35-41.
- [25] 白彩云,李少昆,柏军华,等.我国东北地区不同生态条件下玉米品种积温需求及利用特征[J].应用生态学报,2011,22(9):2337-2342.

Effects of Ecological Zone on Growth and Development and Effective Accumulated Temperature Production Efficiency of Maize Varieties Differing in Maturity

QIAN Chun-rong¹, WANG Rong-huan², YU Yang¹, XU Tian-jun², GONG Xiu-jie¹, HAO Yu-bo¹, JIANG Yu-bo¹, ZHAO Jiu-ran²

(1. Institute of Crop Cultivation and Farming, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences /Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in Northeast China, Ministry of Agriculture, Harbin 150028, China; 2. Maize Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Northeast and north China is China's important maize planting area. In order to promote the scientific distribution and popularization of maize varieties, nine maize hybrids differing in maturity duration were planted in Harbin and Beijing at the same time in 2014 and 2015 to study their growth and development process and characteristics of accumulated temperature demand and utilization in different thermal resources. The results showed that in Beijing experiment with abundant thermal resources, both accumulated temperature allocated to vegetative and reproductive growth increased progressively with prolongation of growth, but in Harbin experiment with limited thermal resources, accumulated temperature allocated to vegetative increased progressively and those allocated to reproductive growth decreased with prolongation of growth, and varieties with longer ripening periods self-regulated their heat requirement during reproductive growth to respond and adapt to limited thermal resources. In Harbin, the mid-early maturing varieties could mature normally and made maximum use of thermal resources with average accumulated temperature utilization rate of 92.64% and average accumulated temperature production efficiency of $8.14 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, however, the mid-late maturing varieties had the risk of failing to mature normally. In Beijing, even mid-late maturing varieties had accumulated temperature waste phenomenon that average accumulated temperature utilization rate of 75.50% and average accumulated temperature production efficiency of $7.19 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. In Harbin area, effective accumulated temperature production efficiency was mainly affected by the effective accumulated temperature from sowing to silking stage, while in Beijing area, accumulated temperature production efficiency was mainly affected by the daily average temperature from seedling emergence to maturity stage. To sum up, northeast spring maize area, in order to adapt to the full mechanized operation of corn demand, should not excessive pursuit of accumulated temperature utilization and the use of accumulated temperature grand slam varieties, and the utilization rate of accumulated temperature can be further improved in spring corn area of north China.

Keywords: maize; growth period; effective accumulated temperature utilization rate; effective accumulated temperature production efficiency