

不同栽培模式下春玉米籽粒灌浆特性的研究

李国红¹, 杨恒山¹, 张玉芹¹, 肖利¹, 李莹莹¹, 高聚林²

(1. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028042; 2. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: 以金山 27 和先玉 335 为供试品种, 在西辽河平原研究了农户模式(目标产量 $11.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 以 NH 表示)、高产模式(目标产量 $12.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 以 GC 表示)和再高产模式(目标产量 $14.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 以 ZGC1、ZGC2 表示, ZGC1 和 ZGC2 密度相同, 施肥时期不同)下春玉米籽粒灌浆特性。结果表明, 不同栽培模式下玉米籽粒灌浆过程均可用 Logistic 方程进行描述, 2 个品种籽粒的终级生长量, 除先玉 335 中下部籽粒外均表现为 $\text{NH} > \text{GC} > \text{ZGC1} > \text{ZGC2}$ 。2 个品种起始生长势均表现为 $\text{NH} > \text{GC} > \text{ZGC}$, 其中, 金山 27 表现为 $\text{ZGC1} > \text{ZGC2}$, 先玉 335 则为 $\text{ZGC2} > \text{ZGC1}$ 。4 种栽培模式下最大灌浆速率和平均灌浆速率均表现为 $\text{NH} > \text{GC} > \text{ZGC2} > \text{ZGC1}$, 达到最大灌浆速率的时间均以 NH 最快, ZGC2 最慢; 有效灌浆期总体上表现为 $\text{ZGC1} > \text{ZGC2} > \text{NH} > \text{GC}$ 。籽粒平均灌浆速率的大小, 在灌浆不同阶段存在一定的差异, 灌浆渐增期和快增期均表现为 $\text{NH} > \text{GC} > \text{ZGC}$, 而灌浆缓增期则表现为 $\text{ZGC} > \text{NH} > \text{GC}$ 。灌浆快增期积累的干物质量对产量的贡献率为 $\text{ZGC2} > \text{ZGC1} > \text{GC} > \text{NH}$ 。脱水速率前期表现为 $\text{NH} > \text{GC} > \text{ZGC1} > \text{ZGC2}$, 授粉后 32~60 d 的脱水速率为 $\text{ZGC2} > \text{ZGC1} > \text{GC} > \text{NH}$, 且模式间差异较大。

关键词: 春玉米; 栽培模式; 灌浆特性; 产量因素

中图分类号: S513.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)03-0001-06

Grain-filling properties of spring maize under different cultivation patterns

LI Guo-hong¹, YANG Heng-shan¹, ZHANG Yu-qin¹, XIAO Li¹, LI Ying-ying¹, GAO Ju-lin²

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028042, China;

2. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: The grain-filling characteristics of Jinshan 27 and Xianyu 335 under different planting patterns, the farmers model (NH, target yield $11.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), high yield model (GC, target yield $12.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), and higher yield model (ZGC1, ZGC2, target yield $14.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), were studied in west Liaohe plain in this paper. The results showed that Logistic equation could be used to simulate grain filling process of spring maize in different cultivation patterns. Except the mid-basal of Xianyu 335, order of the final weight of one hundred kernel of two varieties in different planting models was $\text{NH} > \text{GC} > \text{ZGC1} > \text{ZGC2}$, order of the initial grain-filling potential of two spring maize varieties in different planting models was $\text{NH} > \text{GC} > \text{ZGC}$, initial grain-filling potential of jinshan 27 was higher in ZGC1 than in ZGC2, but lower in ZGC1 than in ZGC2 for Xianyu 335. The maximum grain-filling rate and mean grain-filling rate in four cultivation patterns were ordered as $\text{NH} > \text{GC} > \text{ZGC2} > \text{ZGC1}$. NH model had shortest maximizing grain-filling time while ZGC2 model had the longest one. Effective grain-filling time in four planting models was ordered as $\text{ZGC1} > \text{ZGC2} > \text{NH} > \text{GC}$. There were some differences in the mean grain-filling rate in different stages. Gradual-increase grain-filling period and fast-increase grain-filling period in those models were ordered as $\text{NH} > \text{GC} > \text{ZGC}$, while slow-increase grain-filling period was ordered as $\text{ZGC} > \text{NH} > \text{GC}$. The ratio of dry matter accumulation to yield in fast-increase period in those four planting models was ordered as $\text{ZGC2} > \text{ZGC1} > \text{GC} > \text{NH}$. The order of dehydrating rate in earlier stage in those planting models was $\text{NH} > \text{GC} > \text{ZGC1} > \text{ZGC2}$. At 32~60 days after pollination, that order was $\text{ZGC2} > \text{ZGC1} > \text{GC} > \text{NH}$. The differences among different patterns were significant.

Keywords: spring maize; cultivation patterns; grain-filling properties; production factors

收稿日期: 2013-01-25

基金项目: 国家科技支撑计划(2011BAD16B13); 内蒙古民族大学科研创新团队支持计划(NMD1003)

作者简介: 李国红(1985—), 女, 内蒙古通辽人, 硕士研究生, 主要从事玉米高产栽培研究。E-mail: 15247542235@163.com。

* 通信作者: 杨恒山(1967—), 男, 内蒙古兴和人, 教授, 主要从事作物高产栽培研究。E-mail: yanghengshan2003@yahoo.com.cn。

灌浆是玉米籽粒形成的关键过程,对产量高低起着决定性的作用。国内外学者从栽培品种^[1-2]、生态环境^[3]、种植密度^[4]、肥水条件^[5-6]等方面研究了玉米的灌浆特性,揭示了上述因素对玉米籽粒灌浆的影响,表明了玉米籽粒灌浆特性既与品种有关,又与生态环境和栽培管理措施有关。但从栽培模式(多因素综合)层面研究玉米的灌浆特性报道甚少。不同栽培模式下,其种植密度、施肥水平等管理因素不同,其群体质量必然发生变化,而这些变化无疑会影响到灌浆过程。本研究的 4 种栽培模式是基于目标产量所确立的,并经 3 年的试验验证,具有较好的代表性。研究不同栽培模式下籽粒的灌浆的差异性,对揭示不同水平玉米产量形成机理具有重要的作用,并可为进一步栽培调控提供理论指导。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

西辽河平原光照充足,玉米生长季(5—9 月)日照时数在 1 300 h 以上; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温在 3 200 $^{\circ}\text{C}$ 左右,且温度的日较差较大;地势平坦,土壤肥沃,并灌条件良好,农业机械化水平高,具有实现玉米大面积高产、超高产的潜力和优势。玉米种植面积稳定在 $6.0\times 10^5\text{ hm}^2$ 左右,平均单产 $7.50\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,较全国平均单产 $5.25\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 高 40% 以上,总产约占内蒙古自治区玉米总产的 30%,是内蒙古自治区最重要的玉米主产区^[7]。

试验于 2011 年在地处西辽河平原的内蒙古民族大学实验农场($43^{\circ}36'\text{N}$, $122^{\circ}22'\text{E}$,海拔 178 m)进行。试验田土壤为灰色草甸土,播前耕层土壤养分含量为:有机质 $26.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $0.95\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $56.34\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $9.69\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $87.44\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

供试品种为金山 27 和先玉 335。试验设农户模式(目标产量 $11.25\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,多点生产田调查的基础上形成)、高产模式(目标产量 $12.75\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,前 3 年试验的基础上形成)、再高产模式 1 和再高产模式 2 (目标产量 $14.25\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,前 3 年试验的基础上形成,这两个模式仅在密度和追氮时期分配上有所不同)共 4 个处理,分别以 NH、GC、ZGC1 和 ZGC2 表示。各种植模式均等行距播种,行距 50 cm,小区面积为 60 m^2 ,随机排列,3 次重复。4 月 28 日播种,10 月 2 日收获。各模式磷、钾肥均一次性底施;农户模式和高产模式氮肥在小喇叭口期一次性追施,再高产模式 1 在拔节期和大喇叭口期按 1:2 比例追施,

再高产模式 2 在拔节期、大喇叭口期和吐丝期按 3:6:1 的比例追施。田间试验设计方案见表 1。

表 1 不同栽培模式的田间试验方案
Table 1 The field-experiment design

栽培模式 Cultivation patterns	整地方式 Site preparation methods	种植密度 Density /(万株·hm ⁻²)	施肥量/(kg·hm ⁻²) Fertilizing amount		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
NH	旋耕灭茬 Rotary	6.00	251	69	0
GC	旋耕灭茬 Rotary	7.50	260	105	45
ZGC1	旋耕灭茬、深松 Rotary and deep loosening	8.25	375	170	50
ZGC2	旋耕灭茬、深松 Rotary and deep loosening	9.00	375	170	250

1.3 测定项目与方法

百粒重获取:抽雄期选代表性植株 50 株进行标记,从授粉后 10 d 起每隔 7 d 随机取 5 穗,每穗按籽粒的粒位由上而下分别取上部(3~13 粒)和中下部(22~33 粒)样粒,混合后随机取 100 粒,用电子天平称其鲜重,并以排水法测定鲜籽粒体积。将上述籽粒在恒温箱 105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青后 80 $^{\circ}\text{C}$ 烘至恒重,称籽粒干重。

产量及其构成:各小区测产面积为 30 m^2 ,人工脱粒后测鲜粒重和含水率,并折算成含水率为 14% 的产量。同时,测定各小区内有效穗数,并分别取 10 穗测定穗粒数及百粒重。

灌浆参数计算:以授粉后天数(x)为自变量,百粒质量(y)为因变量,用 Logistic 方程 $y = a/(1 + be^{-cx})$ 拟合籽粒增重进程,其中, x 为授粉后持续的天数, y 为 x 时刻的百粒籽粒干物质积累量(g), a 为籽粒终极生长量(g), b 、 c 均为回归参数。利用 y 对 x 求一阶导数,可得出玉米的灌浆速率方程式 $V(x) = ace^{(b-cx)}/[1 + e^{(b-cx)}]^2$ 。由此导出次级灌浆参数:平均灌浆速率 $GR_{\text{mean}}(\text{g}\cdot 100\text{grain}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})$ 、灌浆速率达最大时的时间 T_{max} 和最大灌浆速率 $GR_{\text{max}}(\text{g}\cdot 100\text{grain}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})$; T_{99} 为有效灌浆时间,表示达到籽粒终极生长量 99% 的时间; W_{max} 为灌浆速率最大时的籽粒重。 R^2 为决定系数,表示方程的拟合程度; R_0 为起始生长势,反映受精子房的生长潜势;灌浆速率曲线具有两个拐点,求其对 x 的二阶导数,并令其为 0,可得两个拐点在 x 坐标上的值 x_1 和 x_2 ,试验结束时间 x_3 ,确定灌浆过程的 3 个阶段,分别为渐增期($0\sim x_1$)、快增期($x_1\sim x_2$)和缓增期($x_2\sim x_3$)。并求出各时期灌浆持续时间(T)、平均灌浆速率(GR_{mean})和贡献率(RGC)。

数据处理:用 Excel 软件进行数据处理与作图,运用 DPS 等软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式下春玉米产量及其构成

由表 2 可见,2 个品种均为 ZGC2 模式产量最高,金山 27 和先玉 335 产量分别为 15.171 t·hm⁻²和

15.086 t·hm⁻²,较 ZGC1 模式高 16.16% 和 5.72%,较 GC 模式高 20.58% 和 8.80%,较 NH 模式高 26.95% 和 15.59%,差异达显著或极显著水平。穗粒数表现为 NH > GC > ZGC1 > ZGC2,其中 NH 模式与 GC 模式、ZGC1 模式和 ZGC2 模式差异极显著。4 种模式的有效穗数间的差异均达到极显著水平,百粒重则表现为 NH > GC > ZGC2 > ZGC1。

表 2 不同栽培模式下春玉米产量及其构成

Table 2 The yield and yield components of spring maize in different cultivation patterns

品种 Cultivars	栽培模式 Cultivation patterns	有效穗数 Spike number /(万穗·hm ⁻²)	穗粒数/粒 Grains per spike	百粒重 100-kernel weight/g	产量 Yield /(t·hm ⁻²)
金山 27 Jinshan 27	NH	5.650dD	628aA	38.28aA	11.951cB
	GC	6.567cC	582.4bB	36.70abA	12.582bAB
	ZGC1	6.850bB	572.4bB	34.61cB	13.060bAB
	ZGC2	7.784aA	546.0cC	35.72bcB	15.171aA
先玉 335 Xianyu 335	NH	4.950dC	667.5aA	42.22aA	13.051cB
	GC	6.010cB	599.9bB	39.88abA	13.866bcAB
	ZGC1	6.517bB	567.9cC	37.95cB	14.270abAB
	ZGC2	7.3834aA	562.1cC	38.53bcB	15.086aA

注:同品种内不同模式间比较,不同大(小)写字母分别表示差异达到 0.01(0.05)显著水平。

Note: Within the same species comparison between different modes, different capital letters (small letters) showed significant difference at 0.01 (0.05) level.

2.2 不同栽培模式下春玉米籽粒干重积累动态

由图 1 可知,2 个品种的中下部籽粒干物质增重明显高于上部籽粒。上部籽粒和中下部籽粒干物质积累均为前期快后期缓慢,上部籽粒和中下部籽粒干重快速增长期都集中于授粉后 18 ~ 39 d 内,2 个品种平均日增重均表现为 NH > GC > ZGC,金山

27 ZGC2 > ZGC1,先玉 335 则为 ZGC1 > ZGC2。模式间的差异金山 27 较先玉 335 更为明显。授粉后 39 ~ 60 d 籽粒干重增长减缓,金山 27 和先玉 335 上部籽粒和中下部籽粒平均日增重量均表现为 ZGC2 > ZGC1 > GC > NH,各模式间差异总体上表现为上部籽粒大于中下部籽粒。

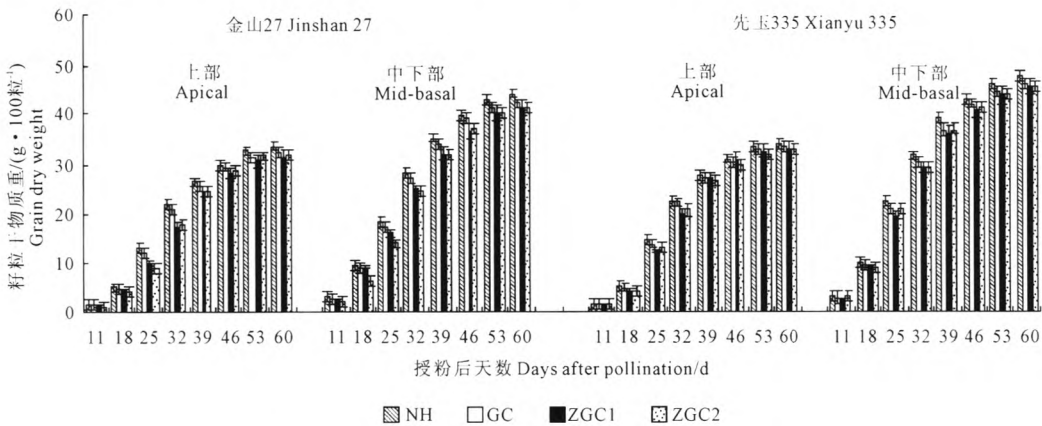


图 1 不同栽培模式春玉米籽粒干物质积累动态

Fig. 1 Dynamics of grain dry matter accumulation of spring maize of different cultivation patterns

2.3 不同栽培模式下春玉米籽粒灌浆模型

以授粉后天数为自变量,各自相应的籽粒重为依变量,对不同种植方式春玉米上部、中下部籽粒的

灌浆过程用 Logistic 方程拟合。得出各栽培模式上部、中下部籽粒粒重依授粉后天数变化的 Logistic 方程参数估计值和决定系数。由表 3 可知,不同栽培

模式玉米上部、中下部籽粒灌浆过程方程拟合的决定系数都在 0.99 以上,说明不同栽培模式玉米籽粒灌浆过程均可用 Logistic 方程进行描述。2 个品种籽粒的终级生长量,除先玉 335 中下部籽粒外均表

现为 $NH > GC > ZGC1 > ZGC2$,而且都是中下部籽粒的终级生长量明显大于上部籽粒。中下部籽粒 NH 比 GC、ZGC1 和 ZGC2 平均分别高 3.0%、4.6% 和 4.7%,上部籽粒平均分别高 2.8%、2.9% 和 4.4%。

表 3 不同栽培模式春玉米籽粒灌浆过程的 Logistic 方程参数估计值

Table 3 The parameters of Logistic equation for grain-filling of spring maize in different cultivation patterns

品种 Cultivars	粒位 Grain position	栽培模式 Cultivation patterns	模拟方程 Simulated equation	籽粒终级生长量 α /(g·100grain ⁻¹) The final weight of one hundred kernel	决定系数 R^2 Coefficient of determination
金山 27 Jinshan 27	上部 Apical	NH	$y = 33.2425/[1 + 15.5946\exp(-0.1494x)]$	33.2425	0.9974
		GC	$y = 32.2053/[1 + 16.9527\exp(-0.1513x)]$	32.2053	0.9985
		ZGC1	$y = 31.8985/[1 + 18.5056\exp(-0.1412x)]$	31.8985	0.9998
		ZGC2	$y = 31.5306/[1 + 22.9842\exp(-0.1487x)]$	31.5306	0.9994
	中下部 Mid-basal	NH	$y = 44.1373/[1 + 10.8453\exp(-0.1335x)]$	44.1373	0.9992
		GC	$y = 42.5957/[1 + 11.6979\exp(-0.1362x)]$	42.5956	0.9995
		ZGC1	$y = 41.8652/[1 + 10.4903\exp(-0.1233x)]$	41.8652	0.9991
		ZGC2	$y = 41.5622/[1 + 16.5011\exp(-0.1408x)]$	41.5622	0.9994
先玉 335 Xianyu 335	上部 Apical	NH	$y = 33.9005/[1 + 14.2107\exp(-0.1501x)]$	33.9005	0.9976
		GC	$y = 33.1303/[1 + 15.6590\exp(-0.1539x)]$	33.1303	0.9978
		ZGC1	$y = 33.3654/[1 + 19.1358\exp(-0.1541x)]$	33.3654	0.9994
		ZGC2	$y = 32.7930/[1 + 17.2052\exp(-0.1525x)]$	32.7930	0.9984
	中下部 Mid-basal	NH	$y = 46.6177/[1 + 14.2162\exp(-0.1547x)]$	46.6177	0.9974
		GC	$y = 45.5571/[1 + 10.9738\exp(-0.1402x)]$	45.5571	0.9979
		ZGC1	$y = 44.9614/[1 + 11.2863\exp(-0.1376x)]$	44.9614	0.9982
		ZGC2	$y = 45.1891/[1 + 10.8274\exp(-0.1380x)]$	45.1891	0.9982

2.4 不同栽培模式下春玉米籽粒灌浆参数

根据 Logistic 方程计算出的不同栽培模式春玉米上部、中下部籽粒灌浆特征参数见表 4。起始生长势(R_0)反映的是受精子房的生长潜势,与籽粒生长初期的生长速率有密切的关系。由表 4 可知,2 个品种起始生长势均表现为 $NH > GC > ZGC$,金山 27 $ZGC1 > ZGC2$,先玉 335 则为 $ZGC2 > ZGC1$,模式间的差异 2 个品种均表现为上部籽粒大于中下部籽粒。4 种模式上部籽粒的最大灌浆速率和平均灌浆速率明显小于中下部籽粒,均表现为 $NH > GC > ZGC2 > ZGC1$ 。上部籽粒和中下部籽粒达到最大灌浆速率的时间均以 NH 模式最快,ZGC2 模式最慢,ZGC2 模式上部籽粒达到最大灌浆速率的时间比 NH 模式的平均延迟 4.17 d,中下部籽粒的则平均延迟 2.85 d。在 4 种栽培模式中,上部籽粒和中下部籽粒的有效灌浆期均表现为 $ZGC1 > ZGC2 > GC > NH$ 。

2.5 不同栽培模式下春玉米籽粒灌浆阶段特征

以 Logistic 方程对不同栽培模式下籽粒增重进程进行拟合,据 Logistic 方程的拐点,将籽粒增重大过程划分为渐增期、快增期和缓增期 3 个阶段。通

过分析各参数的变化表明(表 5),3 个时期的平均灌浆速率均是中下部籽粒的大于上部的,灌浆渐增期中下部籽粒的持续天数、平均灌浆速率与贡献率和上部籽粒的差异比较大。2 个品种上部籽粒和中下部籽粒灌浆渐增期平均灌浆速率的变化是 $NH > GC > ZGC1 > ZGC2$,灌浆快增期平均灌浆速率呈现 $NH > GC > ZGC2 > ZGC1$ 的变化,而灌浆缓增期平均灌浆速率的变化是 $ZGC2 > ZGC1 > NH > GC$;4 种模式的前期灌浆持续天数依次呈增加趋势,后期灌浆持续天数则呈减少趋势。3 个时期中,缓增期持续的时间最长,但是这个时期积累的干物质量对产量的贡献率最小,下部籽粒灌浆持续时间比上部籽粒的短,但是积累的物质质量对产量的贡献率却是中下部籽粒大于上部籽粒;快增期持续的时间最短,但积累的干物质量对产量的贡献率最大,积累的干物质量对产量的贡献率为 $ZGC2 > ZGC1 > GC > NH$,且中下部籽粒灌浆持续时间比上部籽粒的长,但是积累的干物质量对产量的贡献率却是中下部籽粒的小于上部籽粒的。

表 4 不同栽培模式春玉米籽粒灌浆参数
Table 4 The grain-filling parameters of spring maize in different cultivation patterns

品种 Cultivars	粒位 Grain position	栽培模式 Cultivation patterns	R_0	GR_{max} $/(g \cdot 100 grain^{-1} \cdot d^{-1})$	T_{max}/d	W_{max}/g	GR_{mean} $/(g \cdot 100 grain^{-1} \cdot d^{-1})$	T_{99}/d
金山 27 Jinshan 27	上部 Apical	NH	2.0032	1.2414	18.39	16.62	0.6519	34.40
		GC	1.7939	1.2183	18.70	16.10	0.6299	34.10
		ZGC1	1.6353	1.1263	20.66	15.95	0.5651	37.02
		ZGC2	1.3563	1.2092	21.08	16.27	0.5962	36.88
	中下部 Mid-basal	NH	3.7262	1.4727	17.86	22.07	0.7846	40.04
		GC	3.3546	1.4510	18.05	21.30	0.7592	39.25
		ZGC1	3.0435	1.2907	19.06	20.93	0.6796	42.20
		ZGC2	2.5748	1.4227	19.91	20.78	0.7445	40.08
先玉 335 Xianyu 335	上部 Apical	NH	2.2287	1.2820	17.68	16.95	0.6675	33.88
		GC	1.9887	1.2750	17.87	16.57	0.6620	33.37
		ZGC1	1.6570	1.2553	18.66	16.68	0.6426	34.73
		ZGC2	1.8013	1.2698	19.16	16.40	0.6462	34.18
	中下部 Mid-basal	NH	4.0637	1.8031	17.16	23.31	1.0154	36.99
		GC	3.8047	1.5972	17.48	22.78	0.9249	38.64
		ZGC1	3.6595	1.5468	17.61	22.48	0.8926	39.39
		ZGC2	3.8207	1.5595	17.96	22.59	0.8991	39.03

表 5 不同栽培模式下春玉米籽粒灌浆的阶段特征
Table 5 The grain-filling stage characteristic of spring maize in different cultivation patterns

品种 Cultivar	粒位 Grain position	栽培模式 Cultivation patterns	灌浆渐增期 Early filling stage			灌浆快增期 Fast filling stage			灌浆缓增期 Late filling stage		
			天数 Days /d	平均速率 GR_{mean} $/(g \cdot 100 grain^{-1} \cdot d^{-1})$	贡献率 RGC /%	天数 Days /d	平均速率 GR_{mean} $/(g \cdot 100 grain^{-1} \cdot d^{-1})$	贡献率 RGC /%	天数 Days /d	平均速率 GR_{mean} $/(g \cdot 100 grain^{-1} \cdot d^{-1})$	贡献率 RGC /%
金山 27 Jinshan 27	上部 Apical	NH	14.97	0.8329	37.95	13.18	1.1000	39.91	21.84	0.2736	18.14
		GC	15.32	0.7877	37.80	13.03	1.0796	44.05	21.65	0.2676	18.15
		ZGC1	17.11	0.7031	38.31	13.89	0.9978	44.12	19.01	0.2903	17.57
		ZGC2	17.66	0.6915	37.74	13.24	1.0715	44.50	19.10	0.2983	17.76
	中下部 Mid-basal	NH	14.16	1.1812	38.41	14.64	1.3042	43.84	21.31	0.3644	17.75
		GC	14.40	1.1187	38.31	14.36	1.2851	43.87	21.24	0.3527	17.81
		ZGC1	15.14	1.0547	38.97	15.76	1.1427	43.96	19.11	0.3660	17.07
		ZGC2	15.35	0.9587	38.27	14.93	1.2657	44.05	19.72	0.3674	17.68
先玉 335 Xianyu 335	上部 Apical	NH	14.38	0.8903	37.80	12.93	1.2271	43.98	22.89	0.2713	18.22
		GC	14.53	0.8532	37.68	12.82	1.1799	44.04	22.65	0.2655	18.28
		ZGC1	16.01	0.7892	37.73	13.21	1.1390	44.11	21.57	0.2810	18.16
		ZGC2	15.30	0.7027	37.66	12.94	1.1575	44.16	21.76	0.2916	18.17
	中下部 Mid-basal	NH	13.83	1.2609	39.63	13.06	1.5979	43.02	23.71	0.3632	18.25
		GC	13.91	1.2724	38.11	12.98	1.4148	43.53	23.11	0.3618	18.36
		ZGC1	13.99	1.2146	38.53	14.23	1.3701	43.95	21.78	0.3656	17.92
		ZGC2	13.64	1.1515	38.00	14.18	1.3814	44.03	22.17	0.3724	17.97

2.6 不同栽培模式下春玉米籽粒灌浆期脱水速率

籽粒体积增长前期,也是籽粒含水量高峰期,此时维持较高的籽粒含水百分量,能扩大库容。由表 6 可以看出,两品种脱水速率均表现为上部籽粒的脱水速率大于中下部籽粒的脱水速率,授粉后 11 ~ 32 d 脱水速率均为 NH > GC > ZGC1 > ZGC2,上部籽

粒在授粉后 18 ~ 32 d 脱水速率差异最大,金山 27 品种的 NH 模式分别较 GC 模式、ZGC1 模式与 ZGC2 模式的脱水速率高 5.5%、12.5% 和 29.6%;先玉 335 品种的 NH 模式分别较 GC 模式、ZGC1 模式与 ZGC2 模式的脱水速率高 4.5%、25.4% 和 25.7%。授粉后 32 ~ 60 d 的脱水速率为 ZGC2 > ZGC1 > GC > NH,金山 27 在授粉后 39 ~ 46 d 时 4 种模式间差异最大,ZGC2 模式的脱水速率分别较 ZGC1 模式、GC 模式

与 NH 模式高出 36.5%、34.5% 和 27.5%;先玉 335 在授粉后 43 ~ 50 d 差异最大,ZGC2 模式的脱水速率分别较 ZGC1 模式、GC 模式与 NH 模式高出 44.7%、40.0% 和 14.9%。4 种模式中下部籽粒的脱水速率差异性最大的时间出现在授粉后 53 ~ 60 d,金山 27 品种的 ZGC2 模式分别较 ZGC1 模式、GC 模式与 NH 模式的脱水速率高 66.5%、63.7% 和 44.0%;先玉 335 品种分别高 44.2%、26.0% 和 11.6%。

表 6 不同栽培模式下春玉米籽粒灌浆脱水速率
Table 6 The grain-filling dehydrating rate of spring maize in different cultivation patterns

品种 Cultivars	粒位 Grain position	栽培模式 Cultivation patterns	授粉后天数 Days after pollination/d						
			11 ~ 18	18 ~ 25	25 ~ 32	32 ~ 39	39 ~ 46	46 ~ 53	53 ~ 60
金山 27 Jinshan 27	上部 Apical	NH	2.2862	2.1055	1.7257	0.7049	0.6731	0.5212	0.3823
		GC	2.1022	2.0021	1.6307	1.0686	0.6833	0.5584	0.3853
		ZGC1	2.0449	1.9845	1.5095	1.1237	0.7206	0.5806	0.4417
		ZGC2	1.8352	1.7436	1.2142	1.1806	0.9188	0.5950	0.4485
	中下部 Mid-basal	NH	2.0719	2.0345	1.3986	0.7398	0.7220	0.3347	0.1424
		GC	1.9782	1.8593	1.3465	0.9281	0.7315	0.4817	0.1546
		ZGC1	1.8527	1.5559	1.2808	1.1422	0.7319	0.5418	0.2382
		ZGC2	1.4866	1.4559	1.2117	1.2016	0.8849	0.5766	0.4256
先玉 335 Xianyu 335	上部 Apical	NH	1.8747	2.9266	1.6385	0.9694	0.8670	0.6318	0.5171
		GC	1.7745	2.8155	1.5655	0.9764	0.9237	0.6744	0.5344
		ZGC1	1.6381	2.7302	1.2223	1.0631	1.0234	0.8525	0.6542
		ZGC2	1.5844	2.3359	1.2171	1.0757	1.0502	0.9292	0.7483
	中下部 Mid-basal	NH	1.4125	2.2704	1.2457	0.9320	0.7008	0.5808	0.3249
		GC	1.2347	2.1158	1.1333	0.9334	0.7180	0.6662	0.4306
		ZGC1	1.1508	2.0145	1.0118	0.9952	0.8571	0.8276	0.5145
		ZGC2	1.0629	1.8913	0.9831	1.0125	0.9508	0.8851	0.5820

3 结论与讨论

玉米粒重取决于灌浆速率和灌浆持续期的长短。本研究表明,不同栽培模式栽培下籽粒灌浆过程存在一定差异。NH 模式的灌浆速率较高,最大灌浆速率出现时间较早,百粒重较高,ZGC 模式最大灌浆速率和平均灌浆速率较小,其百粒重也较低。这与张海艳等^[8]关于粒重与灌浆速率关系的研究结论一致。活跃灌浆期和有效灌浆时间均表现为 ZGC > NH > GC,而百粒重则表现为 NH > GC > ZGC,这反映了灌浆速率对粒重的影响强于灌浆时间,这与秦泰辰^[9]、杨铁钊^[10]的研究结论一致。不同栽培模式下,籽粒终极生长量的模拟结果与百粒重的测定结果具有较好的一致性。

有效穗数、穗粒数和百粒重是构成玉米产量的三要素。本研究的 4 种栽培模式下有效穗数与产量具有较好的一致性,均表现为 ZGC2 > ZGC1 > GC > NH,这反映了有效穗数对产量的决定性作用。穗粒

数和百粒重的大小均表现为 NH > GC > ZGC,其次序与有效穗数正好相反,这反映了增密对穗粒数和百粒重的负面影响。有效穗数 ZGC2 虽然高于 ZGC1 (设计密度二者相差 7 500 株·hm⁻²),但由于采用了氮肥后移技术,提高了灌浆缓增期的平均灌浆速率,从而导致百粒重高于 ZGC1,这也是 ZGC2 产量高的主要原因之一。从籽粒灌浆过程来看,ZGC 模式灌浆渐增期和快增期的平均灌浆速率均低于其它模式。因而进一步优化其灌浆前期的管理,缓和因密度增加对籽粒灌浆造成的影响,提高渐增期和快增期籽粒的灌浆速率,从而实现玉米产量的再提高。

本研究的栽培模式是基于产量目标在前期试验研究的基础上所形成的,不同栽培模式的种植密度、整地方式、施肥水平及时期有所不同。虽然在产量目标的实现上具有科学性和可行性,但在籽粒灌浆过程差异的成因解析上存在一定的困难,有待于结合单因素试验进一步深入研究。

(下转第 73 页)

3 结 论

通过以上分析结果表明,与对照相比,3种灌溉技术均能提高地温,在5 cm土层深度上环管、小管和微喷分别比对照平均高出2.3℃、0.8℃和1.5℃。各处理间地温差值随土层深度的增加而降低,其差值的峰值均出现在10:00~14:00,这时温度增幅最大,大小依次为环管>小管>微喷>对照,最大差值均在5 cm表层深度处,其值分别是5.5℃、5℃、5℃和4℃。各处理在不同生育期均表现出先增大后减小的趋势,且表层5~10 cm土层在花期到坐果期增幅大于其它时期,各处理中环管在不同生育期不同深度土层上的温度均值大于其它各处理,小管和微喷在不同的生育期土壤温度有所差异,而对照在各处理不同生育期不同土层深度上均最小,且各处理在各时刻不同深度与对应深度处土温具有明显的指数函数关系。

通过以上分析表明,采用不同的节水灌溉技术改变了土壤蒸发的上表面,不同的毛管布置使土壤的湿润体发生了改变,从而一定程度上影响了土壤与大气之间的热量交换,降低了土壤水分的垂直蒸发。因此采用节水灌溉技术均具有提高地温的作用。

参 考 文 献:

- [1] 张玉先,罗 奥,祁倩倩,等.不同耕作措施对黑龙江西部土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):93-96,172.

- [2] German A, Bollero, Donald G B. Soil temperature and planting date effects on corn yield, leaf area, and plant development[J]. American Society of Agronomy, 1996, 88:385-390.
- [3] Wang Huixiao, Liu Changming, Zhang lu. Water-saving agriculture in China: an overview[J]. Advances in Agronomy, 2002, 75:135-168.
- [4] Willis W O, Wierenga P J, Vredenburg R T. Fall soil water: effect on summer soil temperature[J]. Soil Science Society of America, 1997, 41:615-617.
- [5] 祁 峰,岳 云,熊春蓉.不同覆膜方式对粮饲兼用玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):71-75.
- [6] 祁 峰,岳 云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33.
- [7] 王俊鹏,孙景生,刘祖贵,等.不同麦秸覆盖量对夏玉米田棵间土壤蒸发和地温的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):95-100.
- [8] 雷金银,吴发启,王 健,等.保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2008,24(10):40-45.
- [9] 张 伟,汪 春,梁 远,等.残茬覆盖对寒地旱作区土壤温度的影响[J].农业工程学报,2006,22(5):70-73.
- [10] 陈青云,钱振权.浮膜覆盖对地温、气温及蔬菜生长发育的影响[J].农业工程学报,1994,10(4):125-130.
- [11] 杨 凯,冯永忠,李永平,等.黄土高原坡耕地不同耕作措施对土壤温度和水分的作用效应[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):190-195.
- [12] 王建东,龚时宏,于颖多,等.地面灌溉水频率对土壤水与温度及春玉米生长的影响[J].水利学报,2008,39(4):500-505.
- [13] 张朝勇,蔡焕杰.膜下滴灌棉花土壤温度的动态变化规律[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):11-15.
- [14] 王卫华,王全九,刘建军.新疆棉花苗期覆膜地温变化分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):139-144.
- [15] 张 治,田富强,钟瑞森,等.新疆膜下滴灌棉田生育期地温变化规律[J].农业工程学报,2011,27(1):44-51.

(上接第6页)

参 考 文 献:

- [1] Poneleit C G, Egli D B. Kernel growth rate and duration in maize as affected by plant density and genotype[J]. Crop Sci, 1979, 19: 385-388.
- [2] 崔俊明,张进忠,王立义,等.不同紧凑型玉米灌浆特性比较[J].玉米科学,1999,7(4):53-56.
- [3] Badu-Apraku B, Hunter R B, Tollenaar M. Effect of temperature during grain filling on whole plant and grain yield in maize(*Zea mays* L.) [J]. Can J Plant Sci, 1983:63:357-363.
- [4] 柯福来,马兴林,黄瑞冬,等.种植密度对先玉335群体籽粒灌浆特征的影响[J].玉米科学,2011,19(2):58-62.

- [5] 陈建忠,肖荷霞,毛彩云,等.钾肥对玉米籽粒灌浆的影响研究[J].玉米科学,2008,16(6):146-148.
- [6] 李绍长,白 萍,吕 新,等.不同生态区及播期对玉米籽粒灌浆的影响[J].作物学报,2003,29(5):775-778.
- [7] 杨恒山,高聚林,张玉芹,等.超高产春玉米氮磷钾养分吸收与利用的研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):15-20.
- [8] 张海艳,董树亭,高荣岐.不同类型玉米籽粒灌浆特性分析[J].玉米科学,2007,15(3):67-70.
- [9] 秦泰辰.玉米籽粒发育性状的遗传及产量性状关系的研究[J].作物学报,1991,17(3):185-191.
- [10] 杨铁钊.玉米籽粒灌浆性状与产量性状的相关及遗传研究[J].河南农业大学学报,1985,19(3):325-340.