

文章编号: 1005-0906(2013)04-0042-06

玉米不同部位子粒灌浆特性 与粒重的关系研究

孟佳佳, 董树亭, 张吉旺, 刘鹏, 赵斌

(山东农业大学农学院 / 作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘要: 以郑单 958(ZD958)和登海 661(DH661)为试验材料, 研究在 4.5 万、7.5 万、10.5 万株 hm^2 种植密度下玉米上部及中下部子粒灌浆特性和粒重的关系。结果表明, 穗粒数和千粒重是决定子粒最终产量的重要因素, 两者均随着密度的增加而显著降低。同一密度下, 穗位层光照自开花当天(0 d)先降低后升高, 总体呈“高-低-高”的变化趋势, 底层光照则持续升高。上部子粒的起始生长势、灌浆速率、胚乳细胞数及淀粉含量均低于中下部子粒。相关及通径分析表明, 影响粒重的主要因素是灌浆速率、胚乳细胞数目和淀粉含量, 其相关系数分别为 0.959 66**、0.981 91** 和 0.877 76*。光照(包括穗位层和底层)主要通过灌浆速率和淀粉含量来间接影响粒重。

关键词: 玉米; 密度; 粒重; 灌浆特性

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Relationship Between Grain-filling Characteristics and Grain Weight in Different Kernel Positions of Maize

MENG Jia-jia, DONG Shu-ting, ZHANG Ji-wang, LIU Peng, ZHAO Bin

(College of Agronomy, Shandong Agricultural University /

State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, China)

Abstract: Two cultivars ZD958 and DH661 were used to analyze the effects of different planting densities on grain filling characteristics and grain weight in apical and mid-basal kernel positions of maize. The results showed that both grain number and kernel weight decreased with the increase of density and they determined the grain yield together. At the same density, ear layer transmission declined since pollination(0 d) and then increased slowly while that of bottom kept increasing since pollination. The initial division power(R_0), division rate, endosperm cell number and starch content of apical kernels were lower than these of mid-basal kernels. Correlation and path analysis showed that main factors that affected grain weight were division rate, endosperm number and starch content, their correlation coefficients were 0.959 66**, 0.981 91** and 0.877 76*, respectively. Light transmission, including ear layer and bottom, affected grain weight via division rate and starch content.

Key words: Maize; Density; Kernel weight; Grain-filling

玉米整个生长期会受多种内外因素影响, 种植密度是影响玉米产量的主要调节因子^[1], 高密度不仅

会造成群体小气候的恶化^[2], 也会影响玉米子粒的灌浆特性, 引起粒重的降低, 从而导致减产。合理密植是实现玉米优质高效生产的重要措施和关键环节, 是玉米高产和超高产栽培研究的一个重要内容^[3]。

目前, 对于水稻、小麦等作物的灌浆特性及粒重的研究已比较深入^[4~9], 有关玉米粒重变化动态的研究也有一定的报道。李绍长等^[10]研究了玉米子粒灌浆进程对不同生态区及播期的响应, 认为导致不同地区粒重差异的主要原因是纬度引起的日照时数和气候变化不同; 孙庆泉等^[11]探索了不同产量潜力玉

收稿日期: 2012-04-11

基金项目: 国家自然科学基金(31171497)、玉米现代产业技术体系(nyhyzx07-003)、国家重大基础研究项目(2011CB10010)、农业部玉米产业技术体系(CARS-02)

作者简介: 孟佳佳(1988-), 女, 安徽宿州人, 硕士, 研究方向为玉米生理生态。E-mail: mengjiajiax@163.com
董树亭为本文通讯作者。

米间子粒胚乳细胞增殖与子粒充实期的生理活性,认为子粒中激素含量和相关酶活性调控着胚乳细胞的增殖和物质充实过程,并最终决定子粒产量的差异;黄智鸿等^[12]提出同一品种粒重的差异取决于子粒平均灌浆速率和最大灌浆速率,不同品种粒重的差异依赖于灌浆持续期的长短,认为胚乳细胞数的不同是引起粒重不同的主要因素;张海艳等^[13]研究了影响子粒灌浆速率的关键酶和主要限制因子,探索了玉米子粒淀粉积累的控制机理。玉米子粒灌浆特性和粒重变化的研究目前多集中于生态条件和生理机制差异等方面,有关玉米不同部位子粒灌浆特性及粒重增重对密度的响应(即密度的调控作用)等方面的研究报道较少。

本试验以登海 661 和郑单 958 为材料,通过设置密度梯度分析玉米冠层透光率的改变,研究不同部位子粒灌浆特性、胚乳细胞增殖动态和淀粉积累与粒重的关系,以明确高密度条件下玉米粒重降低的内在机理,为玉米高产栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

2010~2011 年于山东农业大学黄淮海区域玉米技术创新中心(36°10' N, 117°09' E),选用品种郑单 958(ZD958)和品种登海 661(DH661)为试材,设置 45 000、75 000、10 5000 株 hm^2 3 个密度,代表低、中、高 3 个密度水平。采用裂区设计,品种为主区,密度为副区,小区面积 42 m^2 ,行距 60 cm,3 次重复。试验地为沙质壤土,土壤 0~20 cm 耕层含有机质 11.2 g/kg、全氮 0.7 g/kg、碱解氮 57.0 $\mu\text{g/g}$ 、速效磷 25.7 $\mu\text{g/g}$ 、速效钾 106.0 $\mu\text{g/g}$ 。试验田施肥总量为纯氮 120.0 kg/hm^2 、 P_2O_5 72.0 kg/hm^2 、 K_2O 96.0 kg/hm^2 ,磷肥和钾肥作为底肥一次性施入,氮肥于拔节期(40%)和大喇叭口期(60%)分批次施入。全生育期按照高产田水平进行管理,及时防治病虫害。

1.2 测定方法

1.2.1 玉米冠层透光率的测定

分别于大喇叭口期、开花期、花后 10、20、30、40、50 d 采用 CI-110 冠层分析仪测定穗位层及底层的光照强度,透光率 = 测定层光强 / 顶层顶部光强 $\times 100\%$ 。

1.2.2 产量及产量构成的测定

于子粒完熟期进行收获,每小区选取 20 株生长一致的植株雌穗进行考种,测千粒重、穗行数、行粒数、秃尖长。每小区收获中间的 3 行,进行产量

测定。

1.2.3 子粒灌浆特性测定

开花后选取生长一致的植株统一标记,自开花当天(记为 0 d)每隔 5 d 每小区取样穗 5 个,取其上部(自顶部第 3~10 环)及中下部子粒(自穗底部第 13~22 环)各 100 粒称其鲜重,采用排水法测量其体积,然后 105℃ 杀青 30 min,80℃ 烘干至恒重,称其干重。

1.2.4 子粒胚乳细胞计数

选取生长一致且具有田间代表性的果穗对其花丝进行去头处理,次日统一人工授粉并挂牌标记授粉日期,于授粉后 3、5、7、10、15、20、25、30、35、40 d 取样,剥取果穗上部(自顶部第 3~10 环)及中下部(自穗底部第 13~22 环)鲜子粒 6~8 粒,立即进行 FAA 固定,4℃ 保存,采用张祖建^[14]和王晓燕^[15]等的方法计算胚乳细胞数量。

1.2.5 淀粉含量的测定

授粉后每隔 10 d 取鲜子粒,105℃ 杀青,80℃ 烘干,磨粉后采用蒽酮比色法测定淀粉含量。

1.2.6 数据分析

采用 Excel 2003、SAS 9.0 等软件进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 密度对玉米冠层透光率的影响

不同位层的冠层透光率均随密度的增加而明显降低。同一种种植密度下,穗位层透射率呈自开花当天(0 d)先降低(10 d 时最低)后逐步回升的变化趋势;底层透光率持续升高。整个灌浆期内,密度对穗位层和底层透射率的影响均达到极显著水平,其影响趋势依次为低密度 > 中密度 > 高密度处理(表 1)。

2.2 玉米不同品种的产量及产量构成

穗行数、行粒数及千粒重随密度的增加而降低;秃尖长随密度的提高而极显著上升。种植密度为 7.5×10^4 株 hm^2 时两品种子粒产量均达到最大,DH661 在此密度下的产量分别比低密度(4.5×10^4 株 hm^2) 和高密度 (10.5×10^4 株 hm^2) 高 28.25% 和 3.73%;ZD958 在此密度下的产量分别比低密度和高密度高 26.23% 和 3.27%(表 2)。

2.3 玉米不同部位子粒灌浆特性

用 Logistic 方程 $y=A/(1+Be^{-kx})$ 对玉米子粒灌浆特性进行模拟(表 3)。各部位子粒的最终粒重(A 值)均随密度增加而降低,且上部子粒的最终粒重显著低于中下部子粒。其中,DH661 的上部粒重平均比中

续表 3 Continued 3

品种 Cultivar ($\times 10^4$ 株 hm^2)	密度 Density	粒位 Position	灌浆曲线 Curve equation of grain-filling	R_0	T	D	T_{\max}	T_1	T_2	T_3	G_{mean}	G_{\max}	G_1	G_2	G_3
ZD958	4.5	上部	$y=21.5052/(1+79.6989 \times e^{-0.1581t})$; $R^2=0.9940$	0.1581	56.76	37.95	27.69	19.36	16.66	40.10	0.57	0.85	0.23	0.75	0.11
		中下部	$y=26.6197/(1+69.6511 \times e^{-0.1736t})$; $R^2=0.9985$	0.1736	50.91	34.56	24.44	16.86	15.17	35.74	0.77	1.16	0.33	1.01	0.16
	7.5	上部	$y=21.1889/(1+89.8630 \times e^{-0.1508t})$; $R^2=0.9963$	0.1508	60.30	39.79	29.83	20.43	17.47	42.83	0.53	0.80	0.22	0.70	0.10
		中下部	$y=26.2438/(1+48.0463 \times e^{-0.1510t})$; $R^2=0.9965$	0.151	56.07	39.74	25.64	16.92	17.44	38.63	0.66	0.99	0.33	0.87	0.14
	10.5	上部	$y=20.2030/(1+76.5186 \times e^{-0.1548t})$; $R^2=0.9952$	0.1548	57.70	38.76	28.02	20.31	17.02	40.69	0.52	0.78	0.21	0.69	0.10
		中下部	$y=25.7373/(1+73.1548 \times e^{-0.1606t})$; $R^2=0.9965$	0.1606	55.34	37.36	26.73	18.94	16.40	38.94	0.69	1.03	0.29	0.91	0.14

注: R_0 为起始生长势; T 为灌浆持续期; D 为活跃灌浆期; T_{\max} 为最大灌浆速率时间; T_1 为渐增期; T_2 为快增期; T_3 为缓增期; G_{mean} 为平均灌浆速率; G_{\max} 为最大灌浆速率; G_1 为渐增期灌浆速率; G_2 为快增期灌浆速率; G_3 为缓增期灌浆速率。

Note: R_0 , Initial division power; T , Duration division period; D , Active division period; T_{\max} , The time of max division time; T_1 , Slow-division period; T_2 , Fast-division period; T_3 , Steady-division period; G_{mean} , Mean division rate; G_{\max} , Max division rate; G_1 , Division rate of Slow-division period; G_2 , Division rate of fast-division period; G_3 , Division rate of steady-division.

2.4 玉米不同部位子粒胚乳细胞增殖动态

不同种植密度下,两个品种玉米胚乳细胞增殖趋势相似(图 1)。授粉初期,细胞数目增长缓慢,授粉后 5~15 d 细胞数目急剧增多,20 d 左右达到最大值。DH661 的胚乳细胞数变化范围是 $81.1 \times 10^4 \sim 93 \times 10^4$ 个,ZD958 胚乳细胞数变化范围是 $75 \times 10^4 \sim 86.3 \times 10^4$ 个,DH661 的胚乳细胞数要大于 ZD958,可能与品种的遗传特性有关。各密度条件下,上部子

粒的胚乳细胞数均小于中下部子粒,但同一品种不同密度条件下,中下部子粒的胚乳细胞数目差异很小。

相关分析表明,两个品种的胚乳细胞个数与粒重($R_{\text{DH661}}=0.98191^{**}$; $R_{\text{ZD958}}=0.98695^{**}$)及灌浆速率($R_{\text{DH661}}=0.92348^{**}$; $R_{\text{ZD958}}=0.95424^{**}$)呈极显著正相关,而与灌浆持续时间呈负相关($R_{\text{DH661}}=-0.73571$; $R_{\text{ZD958}}=-0.80538$),相关不显著。

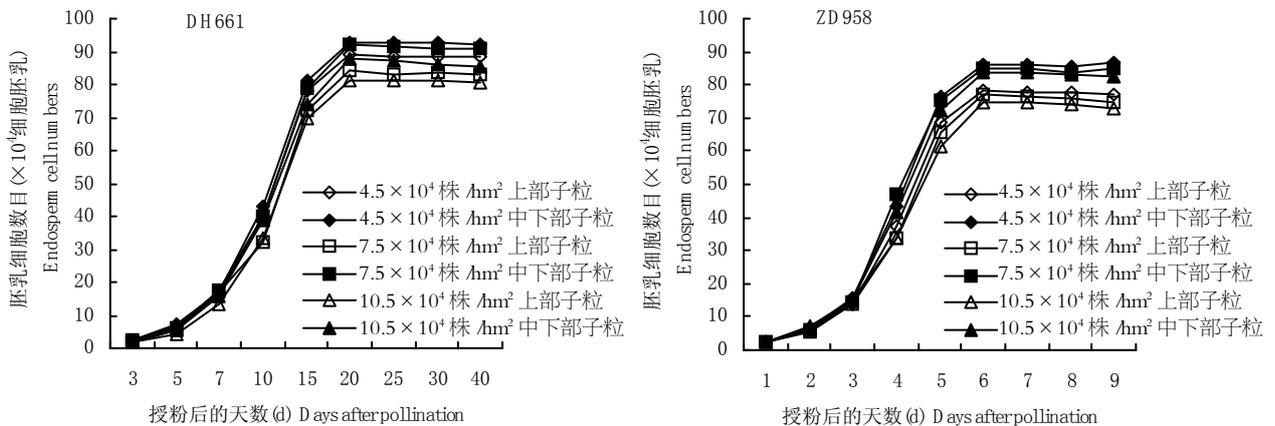


图 1 不同密度下玉米不同部位子粒胚乳细胞增殖动态

Fig.1 Multiplication of endosperm cell of different kernel position under different plant densities

2.5 玉米不同部位子粒淀粉含量

淀粉含量随着子粒的发育而迅速上升(图 2),授粉后 20 d 内淀粉含量明显增加,30 d 后趋于缓慢增

长,40 d 后趋于平衡。不同部位间子粒淀粉含量变化表现为中下部 > 上部。密度处理间淀粉含量变化依次表现为高密度 > 中密度 > 低密度处理。

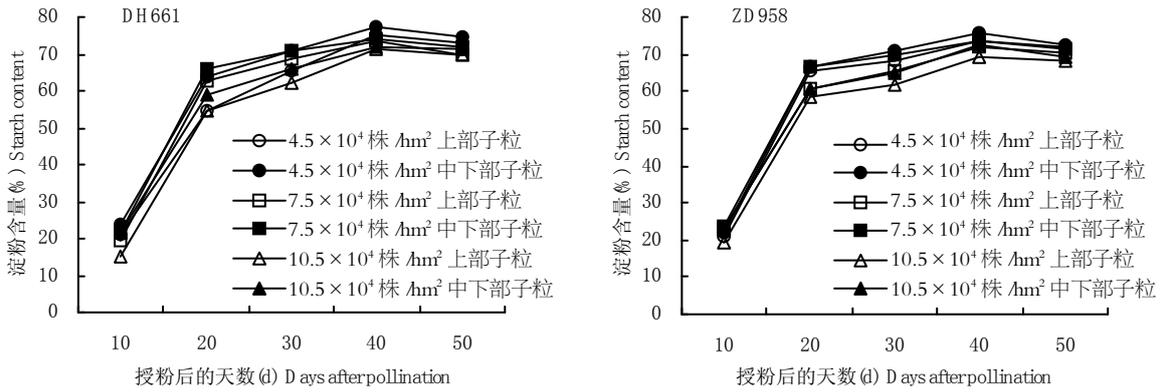


图 2 密度对玉米不同部位子粒淀粉含量的影响

Fig.2 Effect of plant density on starch content and soluble sugar in different kernel positions

相关分析表明, 淀粉含量与穗位层透光率相关性显著($R_{DH661}=0.830\ 90^*$; $R_{ZD958}=0.815\ 88^*$), 与底层透光率的相关性未达显著性水平($R_{DH661}=0.790\ 26$; $R_{ZD958}=0.810\ 04$), 说明穗位层透光率越大越有利于淀粉的积累。

2.6 影响不同部位子粒重的各因子的通径分析

对影响粒重的环境(光照)和生理因子进行通径分析, 以了解各因子之间的相互关系及其对粒重的

贡献(表 4)。以 DH661 为例, 各因子对粒重的相关及通径系数表明, 影响粒重的因子主要为灌浆速率、胚乳细胞数目和淀粉含量, 其相关系数分别为 $0.959\ 66^{**}$ 、 $0.981\ 91^{**}$ 和 $0.877\ 76^*$ 。灌浆持续期、胚乳细胞数目及淀粉含量对粒重的直接作用很小, 主要通过灌浆速率来间接影响粒重。光照(穗位层和底层)主要是通过影响灌浆速率和淀粉含量来影响粒重。

表 4 DH661 各因子的通径系数和相关系数

Table 4 Path efficient and relative efficient of the effectors on grain weight of DH661

因子 Factor	穗位层光照 Ear layer light X_1	底部光照 Bottom light X_2	灌浆速率 Division rate X_3	灌浆持续期 Division duration X_4	胚乳细胞数目 No. of endosperm cell X_5	淀粉含量 Starch content X_6	粒重 Grain weight Y
通径系数							
$X_1-(X_1-X_0)$	0.392 95	0.252 48	0.505 86	-0.310 16	0.145 28	0.367 79	
$X_2-(X_1-X_0)$	0.376 34	0.263 62	0.501 92	-0.284 96	0.160 15	0.349 80	
$X_3-(X_1-X_0)$	0.246 99	0.164 41	0.804 80	-0.383 13	0.209 29	0.411 28	
$X_4-(X_1-X_0)$	-0.281 23	-0.173 34	-0.711 52	0.433 36	-0.166 74	-0.406 03	
$X_5-(X_1-X_0)$	0.251 88	0.186 28	0.743 18	-0.318 83	0.226 64	0.396 52	
$X_6-(X_1-X_0)$	0.326 50	0.208 33	0.747 78	-0.397 52	0.203 03	0.442 64	
相关系数							
X_1	1.000 00						
X_2	0.957 73 ^{**}	1.000 00					
X_3	0.628 55	0.623 66	1.000 00				
X_4	-0.715 70	-0.657 55	-0.884 09 [*]	1.000 00			
X_5	0.641 01	0.706 63	0.923 43 ^{**}	-0.735 71	1.000 00		
X_6	0.830 90 [*]	0.790 26	0.929 15 ^{**}	-0.917 29 ^{**}	0.895 81 [*]	1.000 00	
Y	0.568 30	0.614 20	0.959 66 ^{**}	-0.743 04	0.981 91 ^{**}	0.877 76 [*]	1.000 00

注: *代表 $P<0.05$; **代表 $P<0.01$ 的显著水平。

Note: * indicated significant at $P<0.05$, ** indicated significant at $P<0.01$.

3 结论与讨论

密度的改变会引起玉米冠层结构和透射率的变

化, 从而影响玉米群体光合和子粒中蔗糖、淀粉等有机物的合成, 最终影响粒重。本研究显示, 玉米群体冠层透光率随密度的增加而降低, 且同一密度下自

开花当天(0 d),穗位层透射率呈“高-低-高”的变化趋势,底层光照则始终升高。这不仅为开花初期的充分授粉提供了良好的环境条件,而且为其生长后期的子粒灌浆提供了足够的光照,有利于粒重的增加。同时穗位层光照与淀粉含量呈出显著相关,因此适宜的冠层透光率对于提高粒重有很重要的意义。

玉米子粒的败育常发生在穗的顶部,中下部小花最先分化发育,然后向上下分化,顶部小花分化晚,花丝抽出迟,顶部小花在整个发育过程中始终处于劣势地位,极易发生子粒败育^[16,17]。另外,营养物质不均衡的向顶式运输也导致上部子粒的败育,引起上部和中下部粒重的差异。早在20世纪90年代初期,赵久然等^[18]研究发现,在玉米的整个发育过程中,果穗中、下部子粒在干重、鲜重、体积等方面没有差异,而上部子粒与中下部子粒之间则有显著差异。本试验结果显示,不同品种上部粒重比中下部粒重平均要低19.98%~25.10%,与上述结论趋同。本研究还发现,穗粒数和粒重均随密度的增加而显著降低,且上部粒重降低最明显,这与王晓燕等^[19]研究结果基本一致,表明穗粒数和千粒重是决定高密度条件下产量的主要原因,而上部粒重的大小可能是引起最终粒重高低的关键因素。

起始生长势(R_0)反映了受精子房的生长潜势^[20], R_0 越大其受精子房的生长潜力也就越大。本试验发现,上部弱势粒的起始生长势(R_0)低于中下部强势粒,这可能与上部子粒的发育晚及光合产物的运输情况有关,这也是引起上部粒重较小的原因之一。目前,对于影响粒重的因素众多研究说法不一。黄智鸿认为影响不同品种粒重的主要因素是灌浆持续长短;Mou B., et al.^[21]发现粒重与灌浆速率呈正相关,而与灌浆持续时间无关。本研究发现,影响粒重的因子主要为灌浆速率、胚乳细胞数目和淀粉含量。通径分析表明,灌浆速率的直接和间接作用都很大,是影响粒重的主要因子。

粒重的增加不仅取决于灌浆特性,还依赖于胚乳细胞的发育、增殖过程以及其物质充实度,即淀粉等物质的积累速度和积累时间^[22]。本研究结果表明,不同部位子粒胚乳细胞在授粉后5~15 d急剧增加,20 d左右达到最高,这与谷岩等^[23]的研究结果相似。此阶段玉米淀粉含量处于快增期,说明此阶段是子粒生长过程中淀粉的关键充实期,也是决定玉米子粒产量和品质的重要阶段。另外,本试验结果显示,同一品种在不同密度条件下,上部子粒的胚乳细胞数目差异较大而中部差异很小,且上部子粒的胚

乳细胞数目低于中下部子粒;同时,作为主要充实物的淀粉含量,上部子粒的要低于中下部子粒。由此可见,密度主要影响上部子粒胚乳细胞的增殖和物质充实状态,这是最终导致上部粒重低于中下部粒重的主要原因。有关玉米子粒灌浆和粒重增加的密度调控机制尚待进一步研究。

参考文献:

- [1] 佟屏亚,程延年.玉米密度与产量因素关系的研究[J].北京农业科学,1995(1):23-25.
- [2] 申丽霞,王璞,张软斌.施氮对不同种植密度下夏玉米产量及子粒灌浆的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(3):314-319.
- [3] 刘霞,李宗新,王庆成,等.种植密度对不同粒型玉米品种子粒灌浆进程、产量及品质的影响[J].玉米科学,2007,15(6):75-78.
- [4] 王蔚华,郭文善,方明奎,等.小麦子粒胚乳细胞增殖及物质充实动态[J].作物学报,2003,29(5):779-784.
- [5] 杨建昌,仇明,王志琴,等.水稻发育胚乳中细胞增殖与细胞分裂素含量的关系[J].作物学报,2004,30(1):11-17.
- [6] 谢光辉,杨建昌,王志琴,等.水稻子粒灌浆特性及其与子粒生理活性的关系[J].作物学报,2001,27(5):557-565.
- [7] 张组建,朱庆森,王志琴,等.水稻品种源库特性与胚乳细胞增殖和充实的关系[J].作物学报,1998,24(1):21-27.
- [8] 封超年,郭文善,施劲松,等.小麦花后高温对子粒胚乳细胞发育及粒重的影响[J].作物学报,2000,26(4):399-408.
- [9] 杨建昌,王国忠,王志琴,等.旱种水稻灌浆特性与灌浆期子粒中激素含量的变化[J].作物学报,2002,28(5):615-621.
- [10] 李绍长,白萍,吕新,等.不同生态区及播期对玉米子粒灌浆的影响[J].作物学报,2003,29(5):775-778.
- [11] 孙庆泉,吴元奇,胡昌浩,等.不同产量潜力玉米子粒胚乳细胞增殖与子粒充实期的生理活性[J].作物学报,2005,31(5):612-618.
- [12] 黄智鸿,王思远,申林,等.超高产玉米子粒的灌浆特性[J].西北农业学报,2007,16(4):14-18.
- [13] 张海艳,董树亭,高荣岐,等.玉米子粒淀粉积累及相关酶活性分析[J].中国农业科学,2008,41(7):2174-2181.
- [14] 张组建,朱庆森.水稻胚乳细胞计数方法研究[J].江苏农学院学报,1996,17(2):7-12.
- [15] 王晓燕,董树亭,高荣岐,等.不同类型玉米胚乳细胞增殖动态及其与粒重的关系[J].华北农学报,2006,21(2):23-26.
- [16] 郭晓华.玉米花粒败育的一般成因及其与产量的关系[J].辽宁农业科学,1988(3):12-17.
- [17] Otegui ME, Andrade F H, Suero E E. Growth, water use and kernel abortion of maize subjected to drought at silking[J]. Field Crops Res., 1995, 40: 87-94.
- [18] 赵久然,陈国平.不同时期遮光对玉米子粒生产能力的观察[J].中国农业科学,1990,23(4):28-34.
- [19] 王晓燕,张洪生,盖伟玲,等.种植密度对不同玉米品种产量及子粒灌浆的影响[J].山东农业科学,2011(4):36-38.
- [20] 朱庆森,曹显祖,骆亦其.水稻子粒灌浆的生长分析[J].作物学报,1988,14(3):182-193.

(下转第54页)

- 2003, 11(2):73-74, 88.
- [11] 李文才, 林振武, 汤玉玮. 硝酸还原酶的研究 V. 棉花硝酸还原酶活力与硝态氮含量的关系[J]. 作物学报, 1983, 9(2):93-97.
- [12] Kapoor H C, Prakash S, Madaan T R. Regulation of in vivo nitrate reductase activity in cotton (*Gossypium hirsutum*) leaves in light and dark and the possible role of cytokinin[J]. Indian: Journal of Biochemistry and Biophysics, 1987, 24(6), 326-328.
- [13] 董志强, 解振兴, 薛金涛, 等. 苗期叶面喷施 6-BA 对玉米硝酸还原酶活力的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(5):54-57.
- [14] 徐田军, 董志强, 兰宏亮, 等. 低温胁迫下聚糠萘合剂对玉米幼苗光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(2): 352-359.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高级教育出版社, 2000.
- [16] Zhang C F, Peng S B, Peng X X. Responese of glutamate synthase in-forms to nitrogen sucrose in rice roots[J]. Plant Sci., 1997, 125: 163-167.
- [17] 吴良欢, 蒋式洪, 陶勤南. 植物转氨酶(GOT 和 GPT) 活性比色测定方法及其应用[J]. 土壤通报, 1998, 29(3): 136-138.
- [18] 董志强. Bt 棉氮素代谢特征与丰产性抗虫性协同表达的化学调控[D]. 中国农业大学博士学位论文, 2000.
- [19] Lea P J, Ireland R J. Plant amino acids// Singh B K ed. Nitrogen metabolism in higher plants[M]. New York: Marcel Dekker, 1999.
- [20] Yamagata H, Tanaka K. The site of synthesis and accumulation of rice storage proteins[J]. Plant Cell Physiol, 1986, 27: 135-145.
- [21] 高玲, 叶茂炳, 张荣铎, 等. 小麦旗叶老化期间的内肽酶[J]. 植物生理学报, 1998, 24(2): 183-188.
- [22] 王月福, 于振文, 李尚霞, 等. 氮素营养水平对冬小麦氮代谢关键酶活性变化和子粒蛋白质含量的影响[J]. 作物学报, 2002(11): 743-748.
- [23] 师超, 张鹏, 卞科. 盐诱导小麦根尖细胞死亡过程中蛋白酶活性的变化[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(6): 136-139.
- [24] 赵辉, 荆奇, 戴廷波, 等. 花后高温和水分逆境对小麦子粒蛋白质形成及其关键酶活性的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(12): 2021-2027.
- [25] Lamattina L, Lezica R P, Conde R D. Protein metabolism in senescing wheat leaves, Determination of synthesis and degradation rates and effects on protein loss[J]. Plant Physiol, 1985, 77: 587-590.
- [26] 段辉国, 黄作喜, 卿东红. 水分胁迫下亚精胺对小麦幼苗蛋白质含量与蛋白酶活性的影响[J]. 内江师范学院学报, 2006, 21(2): 69-72.

(责任编辑: 胡娟)

(上接第 47 页)

- [21] Mou B, Kronstad W E. Duration and rate of grain filling in selected winter wheat populations I[J]. Inheritance Crop Sci., 1994, 34: 833-837.
- [22] 秦大鹏, 刘鹏, 王空军, 等. 高淀粉玉米子粒胚乳细胞增殖与淀粉积累的关系[J]. 山东农业科学, 2008(8): 35-39.
- [23] 谷岩, 王振民, 何文安, 等. 不同类型玉米品种子粒胚乳细胞增殖与子粒建成的关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 90-96.

(责任编辑: 高阳)