

不同年代玉米品种籽粒胚乳细胞增殖与粒重关系研究

左振朋¹, 刘西美², 夏萌², 刘宁^{2*}

(1. 山东省农业广播电视学校, 山东济南 250013; 2. 山东中农天泰种业有限公司, 山东济南 273300)

摘要 对不同年代玉米品种籽粒胚乳细胞增殖与粒重关系进行比较研究。结果表明, 随着育种年代的推进, 粒重占生物产量的比重增大, 不同年代品种间胚乳细胞数、粒重及生物产量差异显著, 从高到低依次为 2000 年以来玉米品种、20 世纪 80—90 年代玉米品种、20 世纪 50—60 年代玉米品种。玉米品种籽粒胚乳细胞增殖和灌浆速率在最大生长速率、达到最大生长速率时间、活跃生长期、快速生长期等因素出现的时间及其长短上存在差异, 变化趋势一致。相关分析显示, 胚乳细胞增殖与灌浆速率极显著或显著相关, 籽粒胚乳细胞数增殖动态早于籽粒灌浆。现代品种胚乳细胞增殖动态与籽粒灌浆速率极显著正相关, 影响籽粒灌浆, 活跃生长及积累期延长, 有利于粒重的提高。

关键词 玉米; 不同年代; 粒重; 胚乳细胞增殖

中图分类号 S513 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)07-0037-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.07.010



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

The Relationship between Endosperm Cell Proliferation and Grain Weight of Corns at Different Decades

ZUO Zhen-peng¹, LIU Xi-mei², XIA Meng² et al (1. Shandong Central Agricultural Broadcasting and Television School, Ji'nan, Shandong 250013; 2. Shandong Zhongnong Tiantai Seed Co., Ltd., Ji'nan, Shandong 250013)

Abstract Comparative research was carried out on the relationship between proliferation of endosperm cells and grain weight in corns at different decades. Results showed that with the advances in breeding ages, proportion of grain weight in biological yield became greater. There were significant differences in endosperm cells, grain weight and biological yield in corns at different decades, which were in the order of corn variety since the year 2000>1980 s-1990 s corn variety>1950 s-1960 s corn variety. There were certain differences in proliferation and grain filling rate for the max proliferation rate, the emerging time of max proliferation rate, time to reach maximum growth rate, active growing period and the fast-increase period, but they had the same variation trend. Correlation analysis showed that the endosperm cell proliferation and grain filling rate had significant or extremely significant correlation, the process of endosperm cell proliferation and plumpness was earlier than grain filling. Endosperm cell proliferation dynamics and grain filling rate showed extremely significant correlation, which affected the grain filling. The prolong of accumulation period and active growing period was helpful to the enhancement of grain weight.

Key words Corn; Different periods; Grain weight; Endosperm cell proliferation

我国玉米种植面积 0.424 亿 hm^2 , 超过稻谷和小麦, 位居三大主粮作物之首, 产量已突破 2.25 万 kg/hm^2 , 为我国粮食安全和供给做出了重大贡献。玉米产量的大幅提高, 除生产条件改善和栽培技术提高等因素外, 品种的改新换代是一个主要原因^[1-2]。玉米胚乳约占粒重的 80%~85%, 对胚乳细胞增殖和籽粒充实动态研究表明, 在一定的种植密度条件下, 粒重的增加受灌浆持续期和灌浆速率的影响, 胚乳细胞的发育与粒重有密切的关系^[3], 王忠等^[4]研究了玉米胚乳细胞的发育及养分向籽粒的输入途径, 结果显示籽粒鲜重与胚乳细胞数呈正相关, 孙庆泉等^[5]研究了不同产量潜力玉米籽粒胚乳细胞增殖与籽粒充实期的生理活性, 结果显示高产潜力玉米胚乳细胞多于中产和低产潜力玉米胚乳细胞。提高产量是作物育种的基本目标, 产量是粒重等诸多因素共同作用的结果, 但在玉米杂交种更新换代过程中, 针对不同年代玉米品种籽粒胚乳细胞增殖与粒重之间关系的研究鲜见报道。鉴于此, 笔者选用不同年代代表性玉米品种, 对籽粒胚乳细胞增殖与灌浆速率及粒重进行比较研究, 以期为高产栽培和品种改良提供部分理论依据。

1 材料与方

1.1 试验材料

试验选用 3 组不同年代玉米代表性品种为

材料, 其中 2000 年以来品种选用郑单 958 和天泰 14(处理 A), 20 世纪 80—90 年代选用郑单 2 号和中单 2 号(处理 B), 20 世纪 50—60 年代选用金皇后和白马牙(处理 C)。5 月 15 日播种, 种植密度为 60 000 株/ hm^2 , 小区面积为 18.2 m^2 (7.0 $\text{m} \times 2.6 \text{ m}$), 随机区组设计, 3 次重复。试验地土壤耕层有机质含量 1.8%, 速效磷和速效钾的含量分别为 50.4 和 132.0 mg/kg 。在大口期和开花期分别追施尿素 1 300 和 500 kg/hm^2 , 结合施肥进行灌溉。田间肥水管理一致, 能满足玉米生长需要。

1.2 试验方法

1.2.1 籽粒胚乳细胞计数。选取生长一致具有田间代表性果穗人工授粉, 挂牌标记授粉日期, 于授粉后 5~15 d 每隔 2 d 取样 1 次, 授粉后 15 d 至成熟每隔 3 d 取样 1 次, 剥取果穗中部鲜籽粒 15 粒左右, 立即进行卡诺固定, 阶梯脱乙醇处理后 4 $^{\circ}\text{C}$ 保存, 集中采用改良胚乳细胞简易计数法进行计数^[5], 3 次重复。

1.2.2 胚乳细胞增殖和灌浆动态。以胚乳细胞数和粒重变量, 用 Richards 方程拟合胚乳细胞增殖和籽粒灌浆动态: $W = A(1 + B \exp(-cx))^{-1/N}$, 式中 A, B, N 为参数, A 为生长终值量。Richards 模拟方程的判断系数 R^2 均大于 0.99, 运用 Richards 方程准确拟合籽粒灌浆和胚乳细胞增殖动态。

1.3 数据分析 采用 ORIGIN 8.0 和 DPS 统计软件进行绘图和数据分析。

作者简介 左振朋(1982—), 男, 山东临沂人, 高级农艺师, 硕士, 从事玉米生理及遗传育种研究。* 通信作者, 研究员, 从事玉米育种及栽培技术研究推广研究。

收稿日期 2020-08-17

2 结果与分析

2.1 不同年代玉米品种单株干物质分配 从表1可以看出,不同年代玉米品种间,玉米单株生物产量差异显著。茎秆、穗柄、叶片和穗轴的干物质分配量表现为:处理A和B品种显著高于处理C品种,处理A和B品种间差异不显著;粒

重在生物产量中所占比重最高,处理A、B和C品种粒重所占比重分别是54.28%、42.21%和40.07%;不同年代品种间粒重和生物产量差异显著,从高到低依次为处理A>处理B>处理C。研究表明,在品种更替过程中,籽粒粒重不断增加,所占生物量的比重也不断提高。

表1 不同年代玉米品种单株器官干物质分配比较

Table 1 Comparison of dry matter allocation of individual plant organs of corn at different decades

处理编号 Treatment code	器官干物重 Organ dry matter weight							生物产量 Biological yield
	茎秆 Stem	叶鞘 Sheath	叶片 Leaf	穗柄 Petiole	苞叶 Bract	轴重 Axle weight	粒重 Grain weight	
A	62.63 a	17.56 a	39.81 a	3.26 a	12.44 a	19.06 a	183.76 a	338.52 a
B	70.82 a	17.36 a	39.71 a	3.35 a	13.99 a	21.49 a	121.77 b	288.49 b
C	38.23 b	9.70 b	21.02 b	3.62 a	11.94 a	13.41 b	65.46 c	163.38 c

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

2.2 不同年代玉米品种籽粒胚乳细胞增殖 不同年代玉米品种胚乳细胞增殖速率趋势一致(图1A),呈现“慢-快-慢”单峰曲线,7 d左右达到峰值。不同年代玉米品种灌浆期籽

粒胚乳细胞数量差异显著(图1B),处理A>处理B>处理C。授粉后20 d左右胚乳细胞数目基本稳定,授粉后期胚乳细胞数量有减少趋势,这可能和淀粉的积累、胚乳细胞破裂有关。

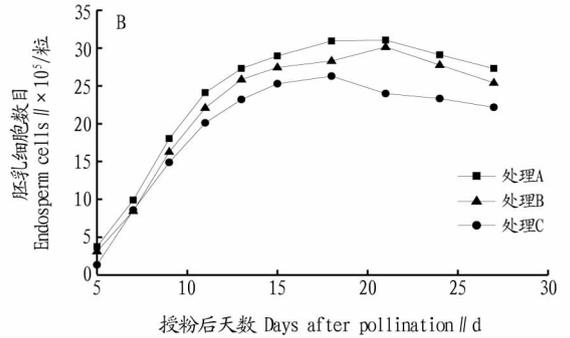
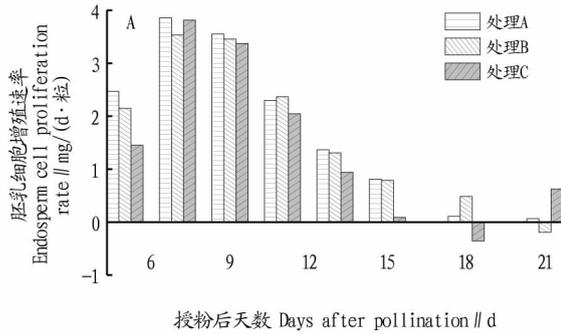


图1 不同年代玉米品种籽粒胚乳细胞增殖比较

Fig. 1 Comparison of endosperm cell proliferation of corns at different decades

籽粒胚乳细胞增殖动态拟合(表2)显示,整个胚乳细胞增殖期可分为逐渐增殖期、快速增殖期和缓慢增殖期。不同年代玉米品种籽粒胚乳细胞增殖特征参数存在差异,最大增殖速率处理A最大,而处理B最低;处理C达到最大增殖速率时间最早,而处理B最晚;处理A和B活跃生长期和快速

增殖期显著高于处理C;达到最大增殖速率生长量以处理A最高,处理C最低。这表明籽粒胚乳细胞快速增殖主要集中在授粉后5~10 d,不同年代品种籽粒胚乳细胞增殖特征参数并非呈梯度分布,胚乳细胞增殖是增殖时间、增殖活跃期、快速增殖期等因素综合作用的结果。

表2 不同年代玉米品种籽粒胚乳细胞增殖特征参数比较

Table 2 Comparison of endosperm cell proliferation characteristic parameters of corns at different decades

处理编号 Treatment code	最大增殖速率 Maximum propagation rate G_{max}	达到最大增殖速率时间 Time to reach maximum propagation rate t_{max}	达到最大增殖速率生长量 Increment to reach maximum propagation rate W_{max}	活跃生长期 Active growing period D	第一拐点 The first inflection point t_1	第二拐点 The second inflection point t_2	快速增殖期 Rapid propagation period t_3
A	3.97	7.60	31.22	11.59	4.84	10.36	5.52
B	3.74	7.84	24.80	11.69	5.06	10.63	5.56
C	3.85	7.53	20.45	9.74	5.20	9.86	4.66

2.3 不同年代玉米品种籽粒灌浆速率 从图2可以看出,不同年代品种间玉米籽粒灌浆速率的变化趋势基本一致,呈“慢-快-慢”单峰曲线,峰值位于授粉后21 d左右。不同年代品种间,处理A籽粒灌浆速率明显高于处理B和C,授粉40 d后处理B和C玉米籽粒灌浆速率无显著变化,粒重趋于稳定;授粉45 d后,处理A玉米粒重趋于稳定。处理A玉米

籽粒灌浆速率高值期长于处理B和C,这是处理A粒重较高的主要原因。

籽粒灌浆速率动态拟合(表3)显示,处理A划分3个时期的2个拐点分别是授粉后10和29 d左右,快速积累时间近19 d;处理B和C快速积累时期依次缩短,分别为16和12 d。籽粒活跃生长期、快速积累期均表现为处理

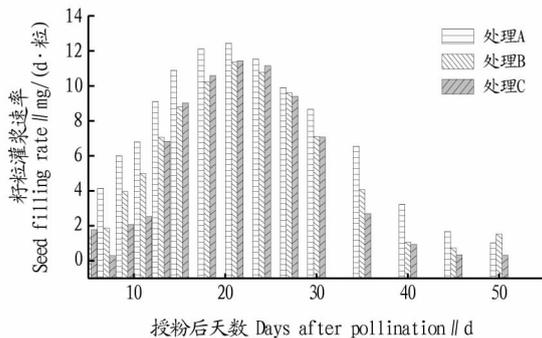


图2 不同年代品种玉米籽粒灌浆速率变化

Fig. 2 Changes of seed filling rate of corns at different decades

A>处理 B>处理 C,与粒重表现一致。这表明粒重的建成与

表3 不同年代品种玉米籽粒增重特征参数比较

Table 3 Comparison of the characteristic parameters of grain weight gain of corns at different decades

处理编号 Treatment code	最大增殖速率 Maximum propagation rate G_{max}	达到最大增殖速率时间 Time to reach maximum propagation rate t_{max}	达到最大增殖速率生长量 Increment to reach maximum propagation rate W_{max}	活跃生长期 Active growing period D	第一拐点 The first inflection point t_1	第二拐点 The second inflection point t_2	快速增殖期 Rapid propagation period t_3
A	1.23	19.97	16.19	39.16	10.61	29.33	18.73
B	1.14	21.35	13.03	34.33	13.49	29.21	15.71
C	1.14	21.40	9.83	31.69	14.11	28.69	14.58

表4 籽粒胚乳细胞增殖与籽粒灌浆速率相关系数

Table 4 Correlation coefficient between the endosperm cells proliferation in seeds and the seed filling rate

处理编号 Treatment code	处理 A Treatment A	处理 B Treatment B	处理 C Treatment C
A	0.959 2**		
B		0.935 9**	
C			0.811 9*

注: * 表示在 0.05 水平差异显著; ** 表示在 0.01 水平差异极显著水平

Note: * indicated significant differences at 0.05 level; ** indicated extremely significant differences at 0.01 level

终影响粒重增加,还与胚乳细胞增殖时间、增殖活跃期、快速增殖期等因素有关。已有研究表明,籽粒胚乳细胞的增殖和灌浆速率与粒重关系密切,籽粒的胚乳细胞增殖影响着籽粒灌浆,并决定了最终籽粒产量^[8-9],同一品种粒重的差异主要由灌浆速度和灌浆持续期的长短决定^[10],并且胚乳细胞数与籽粒干重、胚乳干重和籽粒体积都呈正相关^[11],也有研究认为胚乳细胞数目的多少和单个胚乳细胞的充实状态都对粒重有重要影响^[12],在不同品种间,玉米籽粒胚乳细胞数目多、籽粒灌浆速率高、灌浆速率高值持续期长和干物质积累量大,是高产潜力玉米品种的典型特征^[5]。该试验通过对不同年代玉米品种胚乳细胞发育和籽粒灌浆的研究结果表明,随着玉米杂交种的更替,现代品种的胚乳细胞数目、粒重和生物产量均最高;玉米籽粒胚乳细胞增殖动态与灌浆速率在最大生长速率、活跃生长期、快速生长期等特征参数上存在差异,变化趋势一致,相关分析表明两者显著正相关;胚乳细胞增殖动态早于籽粒灌浆动态,反映出籽粒胚乳细胞数目和籽粒库容有关;现代品种胚乳细胞增殖动态与籽粒灌浆速率

籽粒灌浆速率、活跃生长期和快速积累期的长短等密切相关。

2.4 籽粒胚乳细胞增殖与籽粒灌浆速率关系 由表 4 可知,处理 A 和 B 玉米籽粒胚乳细胞增殖与籽粒灌浆速率呈极显著正相关,相关系数达到 0.959 2 和 0.935 9;处理 C 则与籽粒灌浆速率显著正相关,相关系数为 0.811 9。这表明籽粒的胚乳细胞增殖和籽粒灌浆速率关系密切,玉米籽粒产量越高,相关性也就越强。

3 结论与讨论

构成粒重的主要化学成分是淀粉,而淀粉又形成于胚乳中,胚乳细胞的分裂增殖和物质充实对籽粒产量形成有重要影响,较多的胚乳细胞数目是库容较大的基本特征^[7],而最

极显著正相关,影响籽粒灌浆,活跃生长及积累期延长,有利于粒重的提高。

参考文献

- [1] 李少昆,王崇桃.我国玉米产量变化及增产因素分析[J].玉米科学,2008,16(4):26-30.
- [2] 卢振宇,李明顺,谢振江,等.我国玉米杂交种产量性状变化趋势研究[J].玉米科学,2010,18(4):13-17,22.
- [3] WANG G L, KANG M S, MORENO O. Genetic analyses of grain-filling rate and duration in maize [J]. Field crops research, 1999, 61(3): 211-222.
- [4] 王忠,顾蕴洁,李卫芳,等.玉米胚乳的发育及其养分输入的途径[J].江苏农业学报,1997,18(3):1-7.
- [5] 孙庆泉,吴元奇,胡昌浩,等.不同产量潜力玉米籽粒胚乳细胞增殖与籽粒充实期的生理活性[J].作物学报,2005,31(5):612-618.
- [6] 高佳,史建国,董树亭,等.夏玉米籽粒胚乳细胞增殖及产量对不同光照的响应[J].作物学报,2017,43(10):1548-1558.
- [7] 左振朋,王婧,董鲁浩,等.不同品质类型玉米籽粒充实期的胚乳细胞增殖与生理活性比较[J].作物学报,2010,36(5):848-855.
- [8] 王蔚华,郭文善,方明奎.小麦籽粒胚乳细胞增殖及物质充实动态[J].作物学报,2003,29(5):779-784.
- [9] 顾世梁,朱庆森,杨建昌,等.不同水稻材料籽粒灌浆特性的分析[J].作物学报,2001,27(1):7-14.
- [10] 秦大鹏,刘鹏,王空军,等.高淀粉玉米籽粒胚乳细胞增殖与淀粉积累的关系[J].山东农业科学,2008,40(8):35-39.
- [11] Pinto. Influence of endosperm cell number on kernel size and weight in maize[J]. Dissertation abstracts international. B. Science and engineering, 1986, 46(11):3652-3653.
- [12] 宋健民,戴双,李豪圣,等.小麦胚乳 14-3-3 蛋白的表达及其与淀粉体淀粉合成酶的互作[J].作物学报,2009,35(8):1445-1450.
- [13] 左振朋,田凤龙,姜朋,等.六个不同产量玉米品种籽粒淀粉积累及相关酶活性的比较[J].作物学报,2011,37(3):529-536.
- [14] MA J, MING D F, MA W B, et al. Changes in starch accumulation and activity of enzymes associated with starch synthesis of rice at different N supplying dates [J]. Agricultural sciences in China, 2004, 3(10): 738-745.
- [15] 王晓燕,董树亭,高荣枝,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.

(下转第 42 页)

稻 18 垩白度较低,与其他品种差异极显著。各水稻品种灌浆成熟期整精米率与对照差距不大,但垩白粒率、垩白度远高于对照。

表 5 低温控制对水稻灌浆成熟期外观品质的影响

Table 5 Effects of low temperature control on the appearance quality of rice varieties at grain filling period %

序号 Code	品种 Variety	整精米率 Head rice rate	垩白粒率 Chalky grain percentage	垩白度 Chalkiness degree
1	上育 397	97.14 abAB	57.77 bB	26.78 bB
2	龙稻 17	90.78 eCD	23.74 fEF	8.05 dD
3	龙稻 18	91.34 deCD	19.47 gGHI	3.91 gG
4	吉农大 538	91.16 deCD	21.68 gFG	5.11 fFG
5	九稻 68	90.28 eD	8.41 jK	1.86 hH
6	吉粳 302	98.10 aA	20.62 gGH	5.78 eF
7	通系 935	92.61 dC	17.84 hiHIJ	5.37 eF
8	通禾 66	95.61 bcB	26.02 eDE	6.44 eEF
9	吉粳 511	91.24 deCD	16.12 iJ	5.68 eF
10	吉粳 515	95.44 cB	25.15 eE	7.79 dDE
11	通育 266	95.44 cB	17.38 hiIJ	6.02 eF
12	吉粳 809	96.81 abcAB	20.93 gFG	6.28 eF
13	延粳 22	91.86 deCD	62.01 aA	28.33 aA
14	吉玉粳	84.32 fE	28.64 dD	8.15 dD
15	通 35	84.88 fE	47.61 cC	16.74 cC

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著;同列不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level; different capital letters in the same column indicated extremely significant differences at 0.01 level

2.4 低温控制对水稻减数分裂期营养品质的影响 由表 6 可知,温室低温控制灌浆成熟期不同水稻品种蛋白质含量差异极显著,吉粳 511、通育 266、通系 935、吉粳 515、吉粳 809 蛋白质含量与其他品种差异显著;各水稻品种的直链淀粉含量差异极显著,其中龙稻 18、龙稻 17 直链淀粉含量较低,与其他品种差异极显著。

3 小结

(1) 灌浆结实期温室低温控制试验耐冷性评价结果显示,龙稻 17、吉粳 302、通禾 66、吉粳 515、通育 266、吉玉粳、通 35、通育 269 等品种耐冷性表现强。

(2) 温室低温控制对灌浆结实期逆境生理指标的影响结果显示,农大 538、通育 266、吉粳 515、吉粳 302 品种的 SOD、CAT、POD 酶活性比对照高,各品种间显著差异。

(3) 温室低温控制对灌浆结实期稻米外观和营养品质的影响结果显示,龙稻 17、龙稻 18、吉粳 809、吉粳 515、通系 935

等水稻品种间外观和营养品质差异显著。

表 6 温室低温控制对水稻减数分裂期营养品质的影响

Table 6 Effects of low temperature control on the nutritional quality of rice varieties at meiosis stage %

序号 Code	品种 Variety	蛋白质含量 Protein content	直链淀粉含量 Amylose content
1	上育 397	10.00 aA	25.49 eD
2	龙稻 17	8.42 bB	23.78 fE
3	龙稻 18	8.36 bB	23.03 fE
4	吉农大 538	7.81 bBC	26.16 deD
5	九稻 68	7.88 bBC	26.32 deD
6	吉粳 302	6.68 cdCDEF	28.53 bcAB
7	通系 935	5.82 deEF	26.10 deD
8	通禾 66	6.73 cdCDE	28.98 abAB
9	吉粳 511	5.46 eF	27.95 cBC
10	吉粳 515	6.12 deEF	29.58 aA
11	通育 266	5.72 eEF	28.16 bcB
12	吉粳 809	6.35 deDEF	26.69 dCD
13	延粳 22	9.91 aA	26.07 deD
14	吉玉粳	7.85 bBC	26.70 dCD
15	通 35	7.55 bcBCD	27.90 cBC

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著;同列不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level; different capital letters in the same column indicated extremely significant differences at 0.01 level

(4) 综合分析结果显示,供试品种吉粳 515、通育 266、吉粳 302 等抗冷性较强,整体表现较适于在吉林省东部冷凉地区种植。

参考文献

- [1] DA CRUZ R P, SPEROTTO R A, CARGNELUTTI D, et al. Avoiding damage and achieving cold tolerance in rice plants [J]. Food and energy security, 2013, 2(2): 96-119.
- [2] 聂元元, 蔡耀辉, 颜满莲, 等. 水稻低温冷害分析研究进展 [J]. 江西农业学报, 2011, 23(3): 63-66.
- [3] 王主玉, 申双和. 水稻低温冷害研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(22): 11971-11973.
- [4] 朱德峰, 程式华, 张玉屏, 等. 全球水稻生产现状与制约因素分析 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(3): 474-479.
- [5] 蔡志欢, 张桂莲. 水稻低温冷害研究进展 [J]. 作物研究, 2018, 32(3): 249-255.
- [6] 邓鑫, 王亮, 徐伟豪, 等. 低温胁迫下优质稻种芽期耐冷性及不同时期抗氧化酶活性研究 [J]. 延边大学农学报, 2020, 42(1): 45-51.
- [7] 齐光, 佟伟霜, 杨雨华, 等. ABA 对低温胁迫下水稻幼苗抗氧化酶活性的影响 [J]. 湖北农业科学, 2016, 55(23): 6079-6082, 6122.
- [8] 邓化冰, 史建成, 肖应辉, 等. 开花期低温胁迫对水稻剑叶保护酶活性和膜透性的影响 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2011, 37(6): 581-585.
- [9] 王士强, 赵海红, 赵黎明, 等. 水稻冷害生理功能变化与调控研究进展 [J]. 中国农学通报, 2017, 33(36): 1-6.
- [10] 周介雄, 蒋向辉, 余显权. 抗冷水稻的生理生化特性 [J]. 种子, 2003, 22(4): 47-50.
- [11] 左振朋, 郑晓冬, 刘西美, 等. 6-BA 对爆裂玉米粒重和营养物质积累的影响 [J]. 山东农业科学, 2014, 46(8): 42-45.
- [12] 郭艳艳, 段巍巍. 不同冬小麦品种籽粒胚乳增殖和灌浆对粒重的影响 [J]. 麦类作物学报, 2018, 38(1): 84-89.
- [13] 王晓燕, 高荣岐, 董树亭. 玉米胚乳发育研究进展 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(6): 107-109.

(上接第 39 页)

- [14] 梁建生, 曹显祖, 徐生, 等. 水稻籽粒库强与其淀粉积累之间关系的研究 [J]. 作物学报, 1994, 20(6): 685-691.
- [15] 谷岩, 王振民, 何文安, 等. 不同类型玉米品种籽粒胚乳细胞增殖与籽粒建成关系 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 90-96.