

玉米成熟过程中激素含量及其与 子粒灌浆和脱水相关性分析

戴凌燕^{1,2}, 刘玉涛³, 殷奎德², 王宇先³, 迟 莉³, 张树权⁴

(1. 黑龙江省农业科学院博士后科研工作站, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319;
3. 黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006; 4. 黑龙江省农业科学院经济作物研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要: 以先玉 335 和郑单 958 为材料, 研究了黑龙江半干旱区玉米成熟过程中子粒和穗位叶中激素含量变化及其与子粒灌浆和脱水的相关性。结果显示, 子粒中 IAA、GA₃ 和 ZR 含量与灌浆速率均呈正相关, 且 IAA 达到极显著 ($P < 0.01$), 两品种相关系数分别为 0.9506 和 0.9488; 而穗位叶中 ABA 含量与灌浆速率呈负相关。子粒中 ABA 含量与子粒脱水速率呈负相关, IAA 和 ZR 含量与子粒的脱水速率呈正相关, 其中郑单 958 子粒中 ZR 含量与脱水速率相关性显著 ($P < 0.05$), 相关系数为 0.8813; 穗位叶中 IAA、GA₃、ZR 和 ABA 含量与子粒脱水速率均呈负相关, 先玉 335 穗位叶中 ZR 和 ABA 含量与脱水速率相关性显著 ($P < 0.05$), 相关系数分别为 -0.9296 和 -0.9216; 郑单 958 穗位叶中 IAA 含量则与脱水速率相关性显著 ($P < 0.05$), 相关系数为 -0.8976。在半干旱春玉米区, 玉米子粒灌浆速率主要与子粒中 IAA、GA₃、ZR 和 ABA 等 4 种内源激素含量相关, 而脱水速率则与子粒和穗位叶中各内源激素含量均相关。

关键词: 玉米; 激素; 灌浆速率; 脱水速率; 相关性; 黑龙江省; 半干旱区

中图分类号: S513.01; Q946.885 **文献标志码:** A

Hormone contents of maize and their relationship with kernel filling and dehydration rate during maturation

DAI Ling-yan^{1,2}, LIU Yu-tao³, YIN Kui-de², WANG Yu-xian³, CHI Li³, ZHANG Shu-quan⁴

(1. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences Postdoctoral Programme, Heilongjiang Harbin 150086, China;

2. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Heilongjiang Daqing 163319, China;

3. Qiqihar Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heilongjiang Qiqihar 161006, China;

4. Industrial Crops Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heilongjiang Harbin 150086, China)

Abstract: The experiments were conducted to determine content changes of indole-3-acetic acid (IAA), gibberellin-3(GA₃), zeatin riboside (ZR) and abscisic acid (ABA) in kernels and ear leaves of two maize cultivars Xianyu 335 and Zhengdan 958, grown in semi-arid area of Heilongjiang province, and investigate the relationship between hormone and kernel filling and dehydration rate during maturation. The results indicated that the contents of IAA, GA₃ and ZR in kernels were positively correlated with kernel filling rate, and IAA was significant ($P < 0.01$) and correlation coefficient reached 0.9506 and 0.9488 in Xianyu 335 and Zhengdan 958, respectively. But the ABA content in ear leaves was negatively correlated with kernel filling rate. ABA content in kernels was negatively correlated with kernel dehydration rate. In addition, the contents of IAA and ZR in kernels were positively correlated with kernel dehydration rate. The correlation between ZR content in kernels of Zhengdan 958 and dehydration rate was significant ($P < 0.05$), and the correlation coefficient was 0.8813. The contents of IAA, GA₃, ZR and ABA in ear leaves were all negatively correlated with kernel dehydration rate. The correlation between ZR and ABA content in ear leaves and dehydration rate in Xianyu 335 were significant ($P < 0.05$), and the correlation coefficients were -0.9296 and -0.9216, respectively. The correlation between IAA content in ear leaves and dehydration rate in Zhengdan 958 was significant ($P < 0.05$), and the correlation coefficient was -0.8976. In the semiarid region of spring maize, kernel filling rate of maize was largely cor-

收稿日期: 2016-06-17

修回日期: 2017-04-06

基金项目: 黑龙江省博士后科学基金项目 (LBH-Z13187); 国家科技支撑计划 (2013BAD07B01-05)

作者简介: 戴凌燕 (1977—), 女, 湖南衡阳县人, 副教授, 博士, 主要从事植物生理相关研究。E-mail: dailingyan770416@126.com。

通信作者: 张树权 (1965—), 男, 黑龙江安达人, 研究员, 主要从事旱作农业研究。E-mail: zsqhlj@126.com。

related with its hormones including IAA, GA₃, ZR and ABA, while its dehydration rate was mainly correlated with hormones both in kernels and the ear leaves.

Keywords: maize; hormone; filling rate; dehydration rate; correlation; Heilongjiang province; semi-arid region

玉米是世界重要的粮食、饲料和经济作物,在农业生产和国民经济发展中占有至关重要的地位。玉米产量和品质除受遗传因素影响外,还受环境条件的影响。黑龙江省处于中国早熟春玉米区的最北端,无霜期短、热量资源不足;尤其该省的西部地区降水较少,属于半干旱地区,多重劣势环境因素限制该区玉米产量和品质提高。

玉米子粒饱满程度及含水量直接影响玉米的产量和品质,植物内源激素可调控子粒发育过程^[1],目前在玉米、小麦和水稻等谷类作物中均得到证实^[2-7]。生长素(IAA)、赤霉素(GA₃)和细胞分裂素(CTK)会影响叶片中光合产物向子粒的运输,也会影响子粒中干物质积累的速度;而脱落酸(ABA)对植物体内水分代谢有很大影响,可能会与玉米子粒成熟过程中脱水进程密切相关。

目前,研究玉米成熟期激素对子粒发育调控时,多以子粒为研究对象,而对于穗位叶中激素对子粒发育的影响罕见报道。同时,研究激素对子粒发育影响时,多集中在灌浆过程,而对脱水过程研究很少。而且,黑龙江半干旱地区主要高产玉米品种成熟期激素含量变化未见报道。因此,本研究以高产玉米品种先玉 335(灌浆及脱水快)和郑单 958(灌浆及脱水较慢)为试材,分析成熟过程中子粒及穗位叶中 IAA、GA₃、ZR 和 ABA 含量的动态变化,同时探讨激素与灌浆速率及脱水速率的相关性,为玉米高效育种和引种提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料及栽培条件

玉米品种先玉 335 和郑单 958 均由黑龙江省农科院齐齐哈尔分院提供。

试验布设于黑龙江省农科院齐齐哈尔分院富拉尔基试验基地,该区为碳酸盐黑钙土。土壤含有:有机质 26.5 g·kg⁻¹,碱解氮 100 mg·kg⁻¹,有效磷 16.9 mg·kg⁻¹,速效钾 134 mg·kg⁻¹,全氮 0.162%,全磷 0.09%,全钾 0.5%。盐总量 0.027%,pH 7.82。

采用随机区组设计试验,3 次重复。小区面积 32.5 m²,行长 5 m,10 行,垄距 0.65 m,在区组两边各设 4 行保护行。2013 年 5 月 8 日播种,两品种种植密度均为 60 000 株·hm⁻²,严格按密度绳播种,肥量 375 kg·hm⁻²(N、P 和 K 含量各占 15%),种子下方 5 cm 施肥;5 月 10 日自走式喷灌,灌水量 25 mm。

3 叶期人工除草,定苗,6 月 7 日耢一遍地。拔节期追施尿素 300 kg·hm⁻²,耢二遍地。整个生育期内,5 月和 9 月降水很少,分别为 17.7 mm 和 37.3 mm,6—8 月降水较多,水分亏缺主要出现在种子萌发、出苗期和子粒灌浆后期。

1.2 测定项目

1.2.1 灌浆速率及脱水速率测定 玉米吐丝期选择健壮一致并同日散粉的果穗挂牌标记,授粉后至成熟,每隔 10 d,每小区各取 5 个果穗中部子粒 100 粒,称其鲜重和干重。子粒灌浆速率为每百粒玉米种子每天增加干物质的量(g)。子粒灌浆速率=[后一次取样百粒干重(g) - 前一次取样百粒干重(g)]/[两次取样间隔天数(d)]。子粒脱水速率=[前一次取样含水量(%) - 后一次取样含水量(%)]/[两次取样间隔天数(d)]

1.2.2 激素提取及含量测定 自授粉后,每隔 10 d 分别取 3 个果穗及相应穗位叶。取果穗中部子粒,穗位叶中部叶片(避开主叶脉)分别置于液氮中冷冻后转入 -70℃ 超低温冰箱保存,用于子粒和穗位叶中内源激素 IAA、GA₃、ZR 和 ABA 含量测定。内源激素测定采用酶联免疫法(ELISA)^[8-9],试剂盒购自中国农业大学。

1.3 数据统计分析

使用 Excel 2007 软件进行数据处理和制图,采用 SPSS 16.0 进行显著性和相关分析。利用单因素方差分析(ANOVA)和新复极差法(Duncan)比较品种间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同玉米品种成熟过程中灌浆速率及脱水速率的变化

两个品种灌浆速率及脱水速率变化如图 1。授粉后,两个品种灌浆速率均为先升高后降低,21 ~ 30 d 时灌浆速率最大,随后逐渐降低。授粉后 30 d 内,两个品种的灌浆速率几乎一致,但随后差别较大,在 31 ~ 40 d 时,先玉 335 极显著高于郑单 958($P < 0.01$);在 41 ~ 50 d 时,先玉 335 高于郑单 958,但差异不显著;而在 51 ~ 60 d 时,郑单 958 灌浆速率则显著高于先玉 335($P < 0.05$)。两个品种脱水速率先快后慢,趋于平稳;授粉后 40 d 内,先玉 335 脱水速率均高于郑单 958,且在 21 ~ 30 d 时,差异显著($P < 0.05$);而在 61 ~ 75 d 时,郑单 958 自然性脱水显著高于先玉 335($P < 0.05$)。

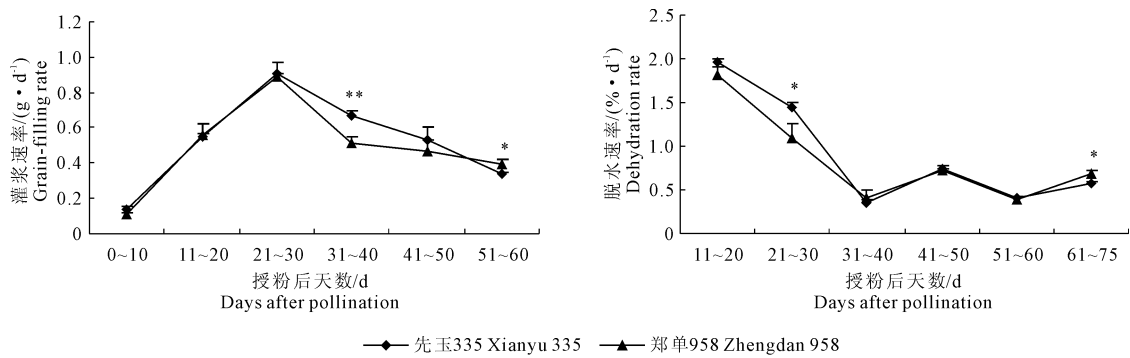


图 1 成熟过程中两个品种灌浆及脱水速率变化

Fig.1 Filling and dehydration rate of two varieties during maturation

注: ** 表示显著性在 0.01 水平, * 表示显著性在 0.05 水平。下同。

Note: ** means significant at the $P < 0.01$ level; * means significant at the $P < 0.05$ level. The same as below.

2.2 不同玉米品种成熟过程中各内源激素含量变化

2.2.1 子粒中内源激素含量变化

两个品种成熟过程中子粒 4 种内源激素 IAA、GA₃、ZR 和 ABA 含量变化趋势一致(图 2)。子粒中 IAA 含量先升高后下降,在授粉后 30 d 达到最大。先玉 335 IAA 含量仅在 10 d 和 20 d 时高于郑单 958,但差异不显著;在 30 d 时低于郑单 958,差异不显著;而在 40 d、50 d 和 60 d 时则显著低于郑单 958($P < 0.05$)。子粒中 GA₃ 含量在授粉后 20 d 较 10 d 时下降,但在 30 d 达到最大值,后随着灌浆过程中逐渐下降。先玉 335 GA₃ 含量在授粉后 40 d 内均高于郑单 958,且前 20 d 差异显著($P < 0.05$);但在 50 d 和 60 d 时低于郑单 958,且 60 d 时差异显著($P < 0.05$)。子粒中 ZR 含量先增加后降低,与 IAA 变化趋势相同。授粉后 50 d 内,先玉 335 ZR 含量均高于郑单 958,但仅在 30 d 时差异显著($P < 0.05$);而郑单 958 则在 60 d 时显著高于先玉 335($P < 0.05$)。ABA 含量变化无明显规律,授粉后 40 d 内,先下降,再升高,后再下降;50 d 后含量相对稳定。先玉 335 ABA 含量除 20 d 外,其它各时期均显著高于郑单 958($P < 0.05$)。

2.2.2 穗位叶中内源激素含量变化

成熟过程中两个品种穗位叶中内源激素 IAA、GA₃、ZR 和 ABA 含量变化如图 3。4 种内源激素含量均在灌浆后期达到最大值。随灌浆进行,两个品种穗位叶中 IAA 含量逐渐升高;先玉 335 在授粉 20 d 和 30 d 时,IAA 含量显著高于郑单 958($P < 0.05$),但 10 d 和 40 d 时郑单 958 显著高于先玉 335;而 50 d 和 60 d 时两个品种差异不明显。穗位叶中 GA₃ 含量在灌浆期内含量变化较小,郑单 958 该激素在 20 ~ 50 d 期间内基本平衡;除 20 d 外,先玉 335 GA₃ 含量均显著高于郑单 958($P < 0.05$)。两个品种穗位叶中 ZR 含量较恒定,变化较小;仅在 30 d 时,郑单 958 ZR 含量显

著高于先玉 335($P < 0.05$),其余时期先玉 335 该激素含量均高于郑单 958,且在 20、40 d 和 60 d 时达到显著($P < 0.05$)。两个品种穗位叶中 ABA 含量在灌浆 10 d 和 60 d 时较高,郑单 958 仅在 30 d 时显著高于先玉 335($P < 0.05$),而先玉 335 在其余时间均高于郑单 958,且 10 d 和 40 d 时达到显著($P < 0.05$)。

2.3 不同玉米品种成熟过程中内源激素与灌浆速率的相关分析

在成熟过程中,先玉 335 和郑单 958 子粒中 IAA、GA₃ 和 ZR 含量与子粒灌浆速率呈正相关(表 1),且 IAA 含量与子粒灌浆速率极显著正相关($P < 0.01$),两品种相关系数分别为 0.9506 和 0.9488;郑单 958 子粒中 ABA 含量与子粒灌浆速率负相关,但先玉 335 两者间无明显相关性。穗位叶中 IAA、GA₃ 和 ZR 含量与子粒灌浆速率无明显相关性,但 ABA 含量子粒灌浆速率呈负相关。

2.4 不同玉米品种成熟过程中内源激素与脱水速率的相关分析

两个品种子粒和穗位叶中内源激素与子粒脱水速率的相关性如表 2,两者间的相关性仅使用 20 ~ 60 d 期间内的数据。两个品种子粒中 IAA 和 ZR 含量均与子粒的脱水速率呈正相关,且郑单 958 子粒中 ZR 含量与子粒脱水速率呈显著正相关($P < 0.05$),相关系数为 0.8813;子粒中 ABA 含量与子粒脱水速率呈负相关;郑单 958 子粒中 GA₃ 含量与子粒脱水速率呈负相关,但先玉 335 两者间无明显相关性。先玉 335 和郑单 958 穗位叶中 IAA、GA₃、ZR 和 ABA 含量与子粒脱水速率均呈负相关关系;先玉 335 穗位叶中 ZR 和 ABA 含量与子粒脱水速率相关性显著($P < 0.05$),相关系数分别为 -0.9296 和 -0.9216,而郑单 958 穗位叶中 IAA 含量则与子粒脱水速率相关性显著($P < 0.05$),相关系数为 -0.8976。

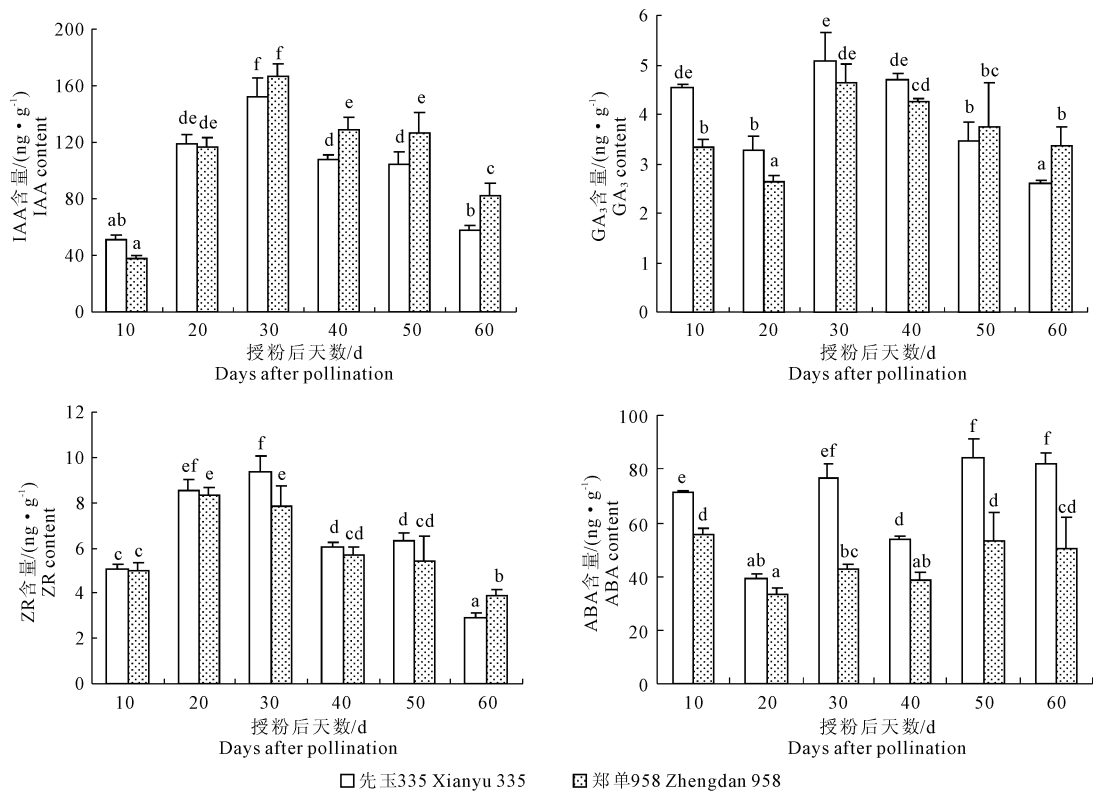


图 2 成熟过程中两个品种子粒中激素含量变化

Fig.2 Changes of hormones in kernel of two varieties during maturation

注:图中标以不同字母表示差异达 0.05 显著水平。下同。
Note: Different lowercase letters mean significant difference at $P < 0.05$ level. The same as below.

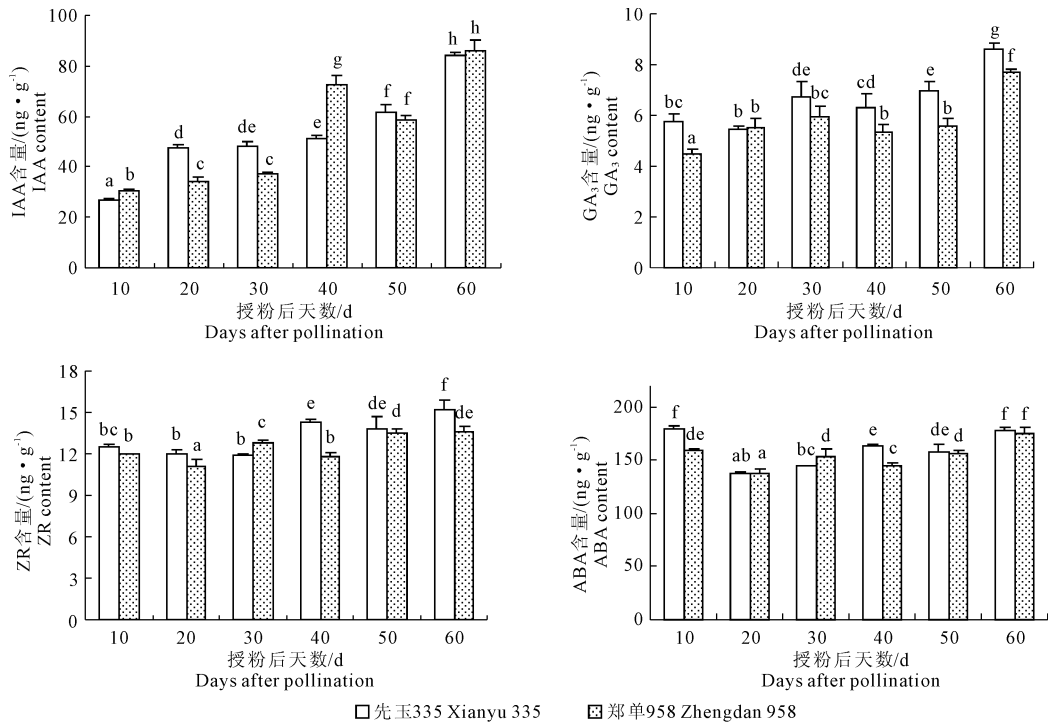


图 3 成熟过程中两个品种穗位叶中激素含量变化

Fig.3 Changes of hormones in ear leaf of two varieties during maturation

表 1 两品种灌浆速率与激素间的相关分析

Table 1 Correlation analysis on filling rate and hormones of two varieties

品种 Cultivar	IAA 含量 IAA content	GA ₃ 含量 GA ₃ content	ZR 含量 ZR content	ABA 含量 ABA content
子粒 Kernel				
先玉 335 Xianyu 335	0.9506* *	0.4250	0.7363	- 0.1390
郑单 958 Zhengdan 958	0.9488* *	0.5340	0.6907	- 0.5748
穗位叶 Ear leaf				
先玉 335 Xianyu 335	0.0852	- 0.0388	- 0.2476	- 0.7493
郑单 958 Zhengdan 958	- 0.0704	0.2576	0.0476	- 0.3251

注: * * 表示显著性在 0.01 水平, * 表示显著性在 0.05 水平。下同。

Note: * * means significance at $P < 0.01$ level; * means significance at the $P < 0.05$ level. The same as below.

表 2 两品种脱水速率与激素间的相关分析

Table 2 Correlation analysis on dehydration rate and hormones of two varieties

品种 Cultivar	IAA 含量 IAA content	GA ₃ 含量 GA ₃ content	ZR 含量 ZR content	ABA 含量 ABA content
子粒 Kernel				
先玉 335 Xianyu 335	0.6451	0.10031	0.8169	- 0.4944
郑单 958 Zhengdan 958	0.2821	- 0.4899	0.8813 *	- 0.6419
穗位叶 Ear leaf				
先玉 335 Xianyu 335	- 0.6250	- 0.6559	- 0.9296 *	- 0.9216 *
郑单 958 Zhengdan 958	- 0.8976 *	- 0.4019	- 0.6341	- 0.6577

3 讨 论

黑龙江省属于中国早熟春玉米区,春季及秋季较干旱,且无霜期短。本试验地位于该省西部,属半干旱区。玉米成熟期的灌浆速率决定产量,而脱水速率影响其收获品质。本试验中先玉 335 和郑单 958 两个品种的灌浆及脱水速率趋势一致,且从图 1 中可看出,在灌浆前期,灌浆速率与脱水速率呈反比关系。可能是灌浆前期发生于 8 月份,较高的温度和较充足的雨水使得灌浆速率增加,与祝云芳等^[10]研究结果一致;但较大的空气湿度不利于子粒脱水。先玉 335 在灌浆中后期(即 30~50 d)表现出较强的灌浆能力,而郑单 958 则在灌浆后期还保持较高的灌浆速率;先玉 335 在授粉后 40 d 内,脱水速率大于郑单 958。总的看来,与在其它地区种植一样,在黑龙江西部半干旱地区,先玉 335 比郑单 958 灌浆及脱水都快速。

植物激素对子粒成熟期的灌浆过程起重要调控作用^[11],且主要依赖于子粒中内源激素间的平衡及调节^[2,6]。IAA 和 ZR 均可促进细胞分裂^[12],在本试验中,子粒中 IAA 含量变化与 ZR 含量变化趋势相同,在授粉后均为先升高后降低,与子粒灌浆速率正相关。徐云姬等^[3]研究认为,在玉米灌浆前期,ZR 和 IAA 可能通过调控胚乳细胞分裂和增加库强对

子粒灌浆和粒重的形成起调节作用。子粒中 GA₃ 含量在授粉后初期含量较高,随后下降,30 d 时骤升达到最大值,在后续灌浆过程中逐渐下降;GA₃ 含量也与子粒灌浆速率正相关。从两个玉米品种子粒灌浆速率变化来看,子粒中 ZR 和 GA₃ 含量变化起决定性作用。从图 1 中可看出,在授粉后 50 d 内,先玉 335 子粒中 ZR 含量均高于郑单 958;同时,在授粉后 40 d 内,先玉 335 子粒中 GA₃ 含量均高于郑单 958,与两品种灌浆速率差异高度一致。GA 对谷类作物灌浆特性的影响结论不一。有研究表明,在子粒活跃灌浆期,玉米子粒中 GA₃ 含量与灌浆速率呈极显著负相关;而且充实差的玉米子粒比充实好的子粒有更高含量的 GA₃^[3]。在水稻相关研究中也有类似的结论^[7,13],但在麦类作物研究中却得出相反结论。李秀菊等^[14]研究表明,GA 可促进小麦不同花位的子粒重。褚孝莹等^[15]发现,在小黑麦开花期喷施 GA₃ 可提高子粒灌浆速率,并促进干物质积累。本试验中 GA₃ 含量与子粒灌浆速率正相关,且在灌浆前期和中期,灌浆快的玉米品种先玉 335 子粒中 GA₃ 含量高,而在灌浆后期,灌浆慢的玉米品种郑单 958 GA₃ 含量高。有研究认为喷施 GA 的效应不在于提高子粒灌浆前期的灌浆速率,而在于显著延长灌浆持续期并提高灌浆中后期的灌浆速率^[5],这与本试验结论大体一致。本试验中,玉米子

粒中 IAA、GA₃ 和 ZR 三者含量与灌浆速率均呈正相关关系,可能是 GA₃ 通过调节 IAA 水平,进而使 ZR 含量升高,直接促进细胞增殖^[16-17]。

ABA 是一种胁迫激素,尤其在水分胁迫下,可在根部形成运输到叶片,通过调节叶片气孔开闭降低水分蒸腾。目前在水稻^[7]、小麦^[18]和玉米^[3]上的研究发现,子粒中 ABA 含量与子粒灌浆速率呈正相关关系。本试验子粒中 ABA 含量变化无规律,品种郑单 958 子粒中 ABA 含量与其灌浆速率负相关,与以上禾谷类作物中研究结论相反。但先玉 335 在整个灌浆期内,子粒中 ABA 含量均大于郑单 958。董宝娣等^[19]和梁海燕等^[20]研究表明,适度胁迫下,ABA 在小麦灌浆初期可加快灌浆速率,促进提前成熟。杨建昌等^[21]发现,水稻早种或在齐穗期喷施 ABA,均可使灌浆速率增加,灌浆期缩短。本试验在半干旱区开展,灌浆期存在水分供应充足及亏缺情况,导致子粒中 ABA 含量变化无规律。但灌浆快的先玉 335 子粒中 ABA 含量始终较高,可见,在水分充足或轻度水分胁迫下,灌浆迅速持续期短的玉米品种具有子粒中 ABA 含量高的特点。

本试验中玉米灌浆期内,穗位叶中内源激素含量除 IAA 外,GA₃、ZR 和 ABA 变化较小,4 种激素含量均在灌浆末期达到最高。且从图 3 可看出,先玉 335 穗位叶中 GA₃、ZR 和 ABA 含量多数时间均高于郑单 958。穗位叶中 IAA、GA₃ 和 ZR 含量与子粒灌浆速率无明显相关性,但 ABA 含量与其呈负相关关系。穗位叶中 IAA、GA₃、ZR 和 ABA 含量与子粒脱水速率均呈负相关关系。分析其原因可能是,在玉米成熟期,各种代谢物质应优先供给生长中心,即种子,激素也不例外,会从各合成部位运输到子粒。而且,半干旱区植株灌浆过程中的水分代谢必然受到水分亏缺的影响。因此,若穗位叶中留存较多激素,将使子粒中激素含量降低,不利于子粒的水分代谢,从而影响子粒脱水进程。

综上所述,在半干旱春玉米区,玉米子粒灌浆速率主要与子粒中内源激素含量相关,而脱水速率则与子粒和穗位叶两者中内源激素含量均相关。同时,玉米子粒的灌浆及脱水速率与子粒和穗位叶中 GA₃、ZR 和 ABA 三种内源激素直接相关,其作用机制还需进一步研究。

参 考 文 献:

[1] Finkelstein R R. The role of hormones during seed development and germination[C]//Davies P J. Plant Hormones – biosynthesis, signal transduction, action. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2004:

513-537.
[2] 王艳芳,崔震海,阮燕晖,等.不同类型春玉米灌浆期间子粒中内源激素 IAA、GA、ZR、ABA 含量的变化[J].植物生理学通讯,2006,42(2):225-228.
[3] 徐云姬,顾道健,张博博,等.玉米果穗不同部位子粒激素含量及其与胚乳发育和子粒灌浆的关系[J].作物学报,2013,39(8):1452-1461.
[4] 柏新付,蔡永萍,聂凡.脱落酸与稻麦子粒灌浆的关系(简报)[J].植物生理学通讯,1989,(3):40-41.
[5] 杨卫兵,王振林,尹燕桦,等.外源 ABA 和 GA 对小麦子粒内源激素含量及其灌浆进程的影响[J].中国农业科学,2011,44(13):2673-2682.
[6] 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.
[7] Zhang H, Tan G, Yang L, et al. Hormones in the grains and roots in relation to post-anthesis development of inferior and superior spikelets in japonica/indica hybrid rice[J]. Plant Physiol Biochem, 2009,47(3):195-204.
[8] 何钟佩.农作物化学控制实验指导[M].北京:北京农业大学出版社,1993:60-68.
[9] 李宗霆,周燮.植物激素及其免疫测定技术[M].南京:江苏科学技术出版社,1996:250-284.
[10] 祝云芳,陈泽辉,霍可以,等.夏播玉米组合的子粒灌浆脱水特性[J].贵州农业科学,2013,41(6):45-48.
[11] Brenner M L, Cheikh N. The role of hormones in photosynthate partitioning and seed filling[C]//Davies P J. Plant Hormones. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1995:649-670.
[12] 张龙,杨洪强,李强,等.生长素和细胞分裂素对平邑甜茶组培苗 PAs 和 NO 含量的影响[J].园艺学报,2009,36(7):953-958.
[13] Yang J, Zhang J, Wang Z, et al. Hormonal changes in the grains of rice subjected to water stress during grain filling[J]. Plant Physiol, 2001,127:315-323.
[14] 李秀菊,职明星,卫秀英.BA 与 GA 对小麦不同花位子粒粒重的影响[J].作物学报,2001,27(6):1017-1020.
[15] 褚孝莹,魏湜,李双双,等.外源 GA₃ 对小黑麦子粒灌浆特性及产量的影响[J].麦类作物学报,2012,32(6):1156-1160.
[16] Morris R D, Blevins D G. Cytokinins in plant pathogenic bacteria and developing cereal grains[J]. Aust J of Plant Physiol, 1993,20:621-637.
[17] 王忠.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2002:276-282.
[18] Yang J, Zhang J, Wang Z, et al. Activities of key enzymes in sucrose-to-starch conversion in wheat grains subjected to water deficit during grain filling[J]. Plant Physiol, 2004,135:1621-1629.
[19] 董宝娣,刘孟雨,张正斌,等.水分胁迫条件下不同抗旱类型小麦灌浆期内源激素的变化[J].麦类作物学报,2007,27(5):852-858.
[20] 梁海燕,刘迪迪,张娜,等.干旱胁迫对不同基因型小麦子粒灌浆及内源激素的影响[J].西北农业学报,2015,24(5):41-47.
[21] 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.