

化控后移对不同密度玉米产量构成和籽粒灌浆特性的影响

杨粉团¹, 孔凡丽¹, 张兆琴², 曹庆军¹, 李刚^{1*}, 于洪浩², 李贺²

(1. 吉林省农业科学院/东北作物生理生态与耕作重点实验室, 长春 130033; 2. 梨树县蔡家镇农业站, 吉林 梨树 136503)

摘要:以玉米品种先玉335为供试材料,在大田条件下设2个种植密度(常规密度6万株/hm²和高密度9万株/hm²,分别记作D₆和D₉)进行试验,每个密度设置4个处理(对照T_{CK}、8叶期化控T₈、15叶期化控T₁₅、8和15叶期两次化控T₈₊₁₅),探讨化控时期后移至15叶期的T₁₅和T₈₊₁₅处理对不同密度处理下玉米籽粒灌浆特性的影响,通过Logistic方程拟合籽粒灌浆过程,解析灌浆特征参数与粒重的关系。研究表明,化控后移处理T₁₅和T₈₊₁₅与常规化控处理T₈比较,可以提高籽粒灌浆速率,粒重快增期的籽粒灌浆速率在常规密度下分别提高35.1%和15.5%,在高密度下分别提高5.0%和3.3%。高密度下T₁₅处理较T₈处理的活跃灌浆时间和有效灌浆时间分别延长2.8 d和4.0 d。通过化控后移可以提高前期的灌浆速率,延长籽粒灌浆持续时间,达到玉米增产的目的。

关键词:玉米;化控;密度;灌浆特性

中图分类号:S513;S482.8

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2020)06-0014-05

Effect of Postponing Chemical Regulation on Yield Components and Grain Filling Characteristics under Different Densities of Maize

YANG Fentuan¹, KONG Fanli¹, ZHANG Zhaoqin², CAO Qingjun¹, LI Gang^{1*}, YU Honghao², LI He²

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Northeast Crop Physiology Ecology and Cultivation, Ministry of Agriculture, P.R.China, Changchun 130033; 2. Caijia Agricultural Station, Lishu 136503, China)

Abstract: Using the maize variety Xianyu 335 and self-made plant growth regulator as experimental material, field experiments were conducted with four chemical regulation treatments (T_{CK}: no spray; T₈: spray at the eight-leaf; T₁₅: spray at the fifteen-leaf; T₈₊₁₅: twice spray at eight and fifteen leaf) and two planting densities (60 000 plants/ha as normal density and 90 000 plants/ha as high density, recorded D₆ and D₉, respectively) to discuss the effect of postponing chemical regulation stage to fifteen-leaf on grain filling characteristics of maize under different densities. The grain filling process was fitted by Logistic equation and the relationship between grain weight and characteristic parameters of grain filling was analyzed. The results showed that compared with the conventional chemical control treatment, T₁₅ and T₈₊₁₅ could increase the grain filling rate. The grain filling rate at the rapid growth stage of grain weight increased by 35.1% and 15.5% respectively under the conventional density, and increased by 5.0% and 3.3% respectively under the high density. The active grouting time and effective grouting time of T₁₅ under high density were extended by 2.8 d and 4.0 d respectively compared with T₈. The grain filling duration could be prolonged and the grain filling rate could be increased by postponing chemical regulation.

Key words: Maize; Chemical regulation; Density; Grain-filling characteristic

灌浆是玉米生长发育过程极为重要的生育阶

段,玉米的产量受灌浆阶段干物质积累量的影响最大,而粒重是籽粒产量的重要构成因素之一,其高低决定于灌浆速率和持续时间。常规的栽培管理如开花后的氮肥供应可以提高玉米籽粒灌浆前期的平均灌浆速率^[1],灌浆期如遇到风灾倒伏,玉米籽粒灌浆速率明显降低造成百粒重下降^[2]。化学调控技术作为玉米抗倒的主要技术措施在多

收稿日期:2018-12-28

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0300603);吉林省农业科学院创新团队项目(CXGC2017TD011)

作者简介:杨粉团(1979-),女,副研究员,硕士,主要从事作物质量安全生产技术研究。

通讯作者:李刚,男,博士,研究员, E-mail: ligang6@yeah.net

地区已经证实,生产上采用的常规化控剂主要有玉黄金^[3]和乙矮合剂^[4]等,新型化控剂冠菌素^[5]未大面积使用。近年来为改善化控剂在产量方面的负效应,杀菌剂 Opera 作为新型化控剂在玉米上使用,可以增加干物质积累量和籽粒产量,且在 13 叶期喷施效果好于 8 叶期喷施^[6]。在吉林西部地区采用乙烯利类化控剂进行两次化控可以改善穗上群体结构,维持后期群体物质生产能力^[7]。吉林省中部半湿润区通常在玉米 6~8 叶期进行常规化控^[8],化控时期后移至 15 叶期对密植玉米的群体结实性和灌浆特性方面的研究目前未有报道。

本研究在大田条件下以抗倒性能差的玉米品种先玉 335 为试验材料,在不同叶龄喷施乙烯利类植物生长调节剂,用 Logistic 模型对玉米籽粒的灌浆过程进行拟合,并计算各灌浆参数,系统研究各灌浆参数与粒重的相关性,探讨化控后移对不同密度下玉米籽粒灌浆特性的影响,以期为该地区构建适宜的玉米丰产模式提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

试验时间为 2018 年 5~10 月,试验地点在吉林省梨树县蔡家镇马家村,选择抗倒性较差的玉米品种先玉 335 为试验材料。采用等行距种植,行距 60 cm。种植密度为 6 万株/hm²和 9 万株/hm²,分别记作 D₆和 D₉。每个密度设置 4 个,分别对照、8 叶期喷、15 叶期喷和 8+15 叶期两次喷,分别记作 T_{CK}、T₈、T₁₅和 T₈₊₁₅。

采用裂区设计,密度为主区,化控时期为裂区,每小区 8 行,行长 13 m,行距 60 cm,小区面积 62.4 m²。共 8 个处理,3 次重复。所用化控剂为以乙烯利和胺鲜酯为主要成分的自制化控剂。供试土壤为黑土。土壤基础肥力为有机质 16.7 g/kg,全氮 1.19 g/kg,有效氮、磷、钾分别为 126.7 mg/kg、20.1 mg/kg 和 102.9 mg/kg。

1.2 测定方法与测定项目

1.2.1 灌浆速率测定

玉米开花期各处理选择花期长势一致,植株大小基本相同,无病虫害的 60 个单株进行标记。从花后 5 天开始取样,以后每 7 天取样一次,直至完熟。各小区每次取标记的三穗带回实验室。取每穗中部 100 粒,称取籽粒鲜重。然后立即置于烘箱 105℃下杀青 30 min,降至 75℃烘干至恒重,称其干重,换算成百粒重。

1.2.2 灌浆特性分析

采用文廷刚等^[9]的方法,用 Logistic 方程拟合玉米籽粒生长动态,即 $Y=K/(1+ae^{-bt})$,其中开花后天数(t)为自变量,百粒重(Y)为因变量,K 为拟合最大百粒重,a、b 为待定系数,对 Logistic 方程一阶和二阶求导,得灌浆速率方程: $V(t)=dY/dt=Kabe^{-bt}/(1+ae^{-bt})^2$ 。

1.2.3 产量及产量相关性状调查

成熟期每个小区收获标记的 20 个鲜果穗,称重,并选取标准穗 10 穗带回实验室,风干,考种、计算实际产量。

1.3 数据处理及分析方法

利用 Microsoft Excel 2013 和 Curve Expert 1.4 软件计算和分析,采用 SPSS Statistics 25 软件进行统计分析,LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 化控后移对籽粒增重和灌浆速率的影响

从图 1 可以看出,两密度下玉米籽粒物质积累过程均表现为“慢-快-慢”的“S”形增重变化,密度间表现为高密度处理的籽粒增长速率低于低密度处理。低密度处理粒重的表现为 T₈₊₁₅>T₁₅>T_{CK}>T₈,高密度处理粒重的表现为 T₁₅>T_{CK}>T₈₊₁₅>T₈。两密度下 T₈ 处理的粒重在花后 40 d 之后均出现速度放缓甚至停止的现象,而 T₁₅ 处理对籽粒增重的促进作用显著。

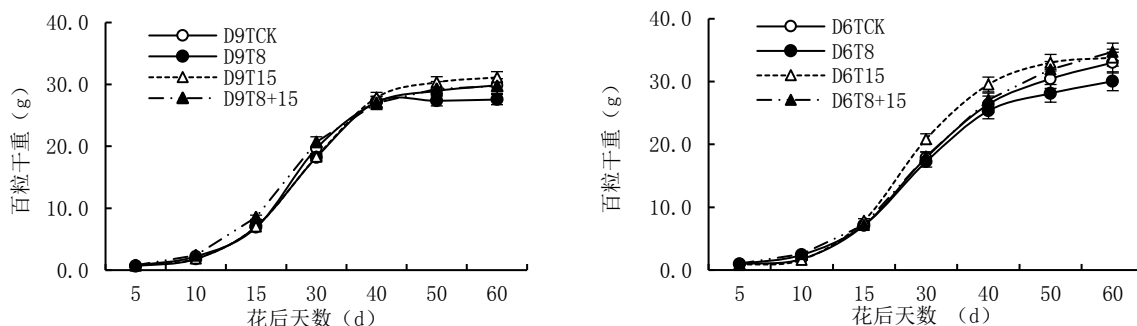


图 1 百粒干重随时间变化图

由图2可知,不同处理下玉米籽粒灌浆速率均呈单峰曲线变化,籽粒灌浆速率达到最大值的时间基本一致,均为灌浆中期(吐丝后25~30 d)。在D₆下,T₁₅处理在达到灌浆最大速率之前增速快,之后下降比其它处理快。而T₈和T₈₊₁₅处理在花后20天之内和T_{CK}差异不大,之后T₈处理达到

最大灌浆速率的时间提前且下降速度增大。在D₉下,各化控处理的作用发生变化,T₈₊₁₅处理前期灌浆速率增快而后期延缓灌浆速率的降低;在灌浆后期T₁₅处理灌浆速率的降低幅度最小,最终T₁₅处理的百粒重最大。

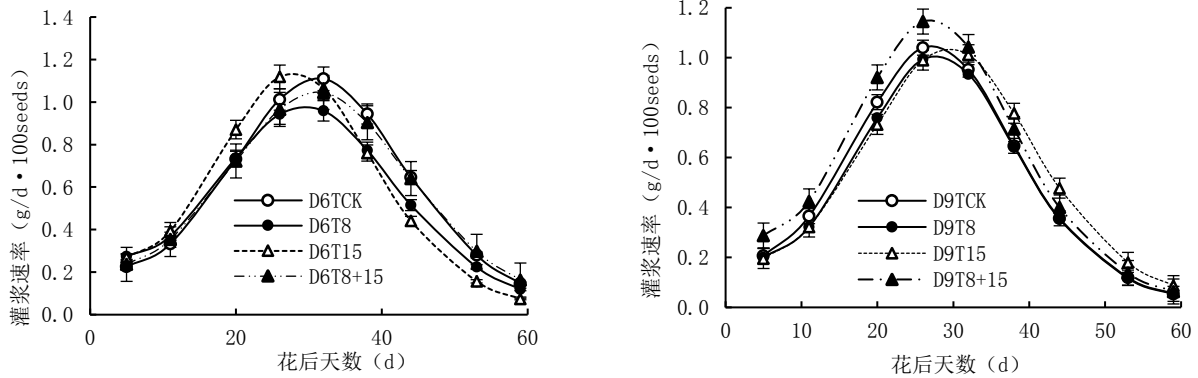


图2 化控处理对玉米籽粒灌浆速率的影响

2.2 不同化控时期对玉米籽粒灌浆参数的影响

图1曲线符合典型的生长曲线变化规律。以开花后的天数(t)为自变量,百粒重(Y)为因变量,应用Logistic方程对籽粒灌浆过程进行拟合可以看出,不同处理玉米籽粒灌浆速率方程拟合的

决定系数在0.994~0.998之间,说明Logistic方程较好拟合不同处理下的籽粒灌浆进程。依据Logistic曲线方程进一步计算出不同处理籽粒灌浆特征的次级参数,将灌浆过程分为渐增期、快增期和缓增期。由表1可以看出,达到最大灌浆速

表1 不同处理籽粒灌浆参数

处理	方程	R ²	T _{max} (d)	G _{mean} (g/d · 100seeds)	G _{max} (g/d · 100seeds)	D (d)	T (d)
D ₆ T _{CK}	y=33.67/(1+31.45e ^{-0.117t})	0.997 8	29.4	0.490 8	0.986 9	51.2	68.6
D ₆ T ₈	y=30.42/(1+21.921e ^{-0.112t})	0.996 9	27.6	0.443 1	0.851 1	53.6	68.7
D ₆ T ₁₅	y=34.51/(1+35.70e ^{-0.133t})	0.996 9	26.8	0.563 0	1.149 9	45.0	61.3
D ₆ T ₈₊₁₅	y=35.13/(1+27.05e ^{-0.112t})	0.997 9	29.5	0.498 1	0.982 8	53.6	70.5
D ₉ T _{CK}	y=30.15/(1+35.91e ^{-0.139t})	0.997 7	25.8	0.512 5	1.047 5	43.2	58.8
D ₉ T ₈	y=28.57/(1+37.58e ^{-0.140t})	0.994 4	26.0	0.485 3	0.997 5	43.0	58.9
D ₉ T ₁₅	y=32.00/(1+38.04e ^{-0.131t})	0.995 8	27.8	0.508 7	1.047 1	45.8	62.9
D ₉ T ₈₊₁₅	y=30.16/(1+27.55e ^{-0.137t})	0.997 0	24.3	0.521 2	1.030 8	43.9	57.9

注:T_{max}为达到籽粒最大灌浆速率的时间,G_{mean}为籽粒平均灌浆速率,G_{max}为籽粒最大灌浆速率,D为籽粒活跃灌浆期,T为有效灌浆时间

率的时间在24~30 d之间,活跃灌浆期的时间介于43~54 d之间。低密度下,以D₆T₁₅活跃灌浆时间最短,比D₆T₈处理缩短的天数长达9 d;达到最大灌浆速率的时间比对照早2.6 d;平均灌浆速率最大,达0.563 0 g/d · 100seeds。有效灌浆时间以D₆T₈₊₁₅最长。而高密度下D₉T₁₅处理虽然达到最大灌浆速率的时间最晚,但它的活跃灌浆期和有效灌浆时间最长,分别比常规化控延长2.8 d和4.0 d,进一步分析不同化控处理间籽粒灌浆阶段特征参数(表2),结果表明,快增期的灌浆量约占最

终粒重的58%,而快增期持续的天数仅为有效灌浆时间的三分之一。缓增期的天数约为渐增期的1.5倍,但缓增期和渐增期的灌浆量大致持平。提高快增期的平均灌浆速率是形成粒重的关键,其次是渐增期。化控后移的T₁₅和T₈₊₁₅处理,快增期的平均灌浆速率在常规密度下高于常规化控处理T₈ 35.1%和15.5%,在高密度下高于常规化控处理T₈分别为5.0%和3.3%。化控后移处理可以有效提高灌浆速率。

表2 不同密度各化控处理籽粒灌浆3阶段的特征

处理	T ₁ (d)	V ₁ (g/d·100seeds)	W ₁ (g/100seeds)	T ₂ (d)	V ₂ (g/d·100seeds)	W ₂ (g/100seeds)	T ₃ (d)	V ₃ (g/d·100seeds)	W ₃ (g/100seeds)
D ₆ T _{CK}	18.2	0.391 4	7.12	22.5	0.865 3	19.44	28.0	0.242 4	6.78
D ₆ T ₈	15.8	0.406 3	6.43	23.5	0.746 2	17.56	29.3	0.209 1	6.12
D ₆ T ₁₅	16.9	0.430 5	7.29	19.8	1.008 2	19.92	24.6	0.282 5	6.95
D ₆ T ₈₊₁₅	17.7	0.419 4	7.42	23.5	0.861 7	20.28	29.3	0.241 4	7.07
D ₉ T _{CK}	16.3	0.391 1	6.37	19.0	0.918 4	17.41	23.6	0.257 3	6.07
D ₉ T ₈	16.5	0.365 1	6.04	18.9	0.874 6	16.49	23.5	0.245 1	5.75
D ₉ T ₁₅	17.7	0.381 3	6.76	20.1	0.918 1	18.47	25.0	0.257 2	6.44
D ₉ T ₈₊₁₅	14.6	0.435 9	6.37	19.3	0.903 8	17.41	24.0	0.253 2	6.07

注:T₁、T₂、T₃分别为粒重渐增期、快增期、缓增期持续时间,W₁、W₂、W₃分别为渐增期、快增期、缓增期籽粒灌浆量,V₁、V₂、V₃分别为粒重渐增期、快增期、缓增期籽粒灌浆速率,下同

2.3 玉米籽粒灌浆参数与百粒重的相关性

百粒重与籽粒灌浆特征参数的相关分析见表3,到达籽粒最大灌浆速率的时间,有效灌浆时间、籽粒活跃灌浆期、粒重渐增期籽粒灌浆速率和百粒重之间表现中度正相关关系。在本试验条

件下,籽粒灌浆时间和粒重渐增期籽粒灌浆速率是影响化控粒重的主要因素。说明延长玉米品种的灌浆时间,增加渐增期灌浆速率可以增加粒重。

表3 玉米籽粒灌浆特征参数和百粒重的相关分析

参数	T _{max}	G _{max}	G _{mean}	D	T	T ₁	T ₂	T ₃	V ₁	V ₂	V ₃
百粒重(g)	0.757	0.268	0.186	0.571	0.666	0.682	0.576	0.572	0.373	0.186	0.186

2.4 化控后移对玉米产量性状的影响

玉米产量性状的方差分析(表4),结果显示,密度对穗粒数和百粒重均有极显著影响,化控对穗粒数和百粒重均有显著影响。但密度和化控互作对穗粒数和百粒重均无显著影响。

对穗粒数影响上,2个密度下3个化控处理均

有增加穗粒数的作用,其中T₁₅效果最佳,T₈₊₁₅次之。对百粒重的影响上,T₈处理在D₆和D₉下均降低百粒重,低密度抑制百粒重形成的作用大于高密度,而有T₁₅参与的处理,有弥补T₈处理抑制作用的效果。

表4 各处理的玉米产量构成因素

处理	穗粒数(n)		百粒重(g)	
	D ₆	D ₉	D ₆	D ₉
T _{CK}	614±8a	538±18a	39.9±1.0ab	35.9±1.8a
T ₈	619±9a	556±6a	35.1±1.8b	33.2±0.8a
T ₁₅	648±10a	569±4a	38.8±2.0ab	36.0±1.1a
T ₈₊₁₅	629±15a	557±12a	41.0±0.4a	34.7±1.3a
方差分析				
密度		**		**
化控		*		*
密度×化控		n.s.		n.s.

注:“n.s.”表示差异不显著(P>0.05),“**”表示差异极显著(P<0.01),“*”表示差异显著(P<0.05);采用邓肯法进行多重比较,穗粒数和百粒重数据均为各处理3次重复的平均值,数值后的小写字母表示同一列数据在0.05水平上差异显著

3 讨论与结论

在特定的自然资源条件下,配套的栽培耕作技术是影响产量的主要因素^[10-11]。研究籽粒灌浆

特征对于揭示高产形成机制、实现良种良法配套具有重要意义^[12]。密植下化控处理对产量具有显著的直接作用(贡献率27%~41%),这种作用在于仅靠化控处理即可增密1.17万株/hm²^[13]。本试

验对不同密度下化控的产量结果显示,高密度下化控后移对改善产量构成因子更加有利,是调控密植栽培实现高产目标首选的配套措施。此外,在多种作物上,化控作为调控灌浆过程和影响产量的手段,效果也得到了印证。文廷刚等^[9]认为,在小麦始穗期外施 GA_3 能提高渐增期灌浆速率,延长快增期和缓增期的持续时间,改善籽粒灌浆参数,达到增加粒重的目的。张倩等^[14]研究表明,在水稻拔节期喷施 30% 矮·烯微乳剂增强茎秆抗倒伏能力的同时可以改善水稻产量构成因素,提高产量。在玉米上,不同地区选用不同的调节剂喷施时间也有差异。在黑龙江地区玉米花后 25 天喷施噻苯隆-乙烯利复配剂可以缩短籽粒灌浆快增期和缓增期的灌浆持续时间,提高灌浆平均速率和籽粒重量,实现春玉米促早成熟并提高产量,此种调节剂主要喷施于棒三叶,其试验结果在大田生产上使用有一定的技术局限性^[15]。在黑龙江第一积温带到第三积温带,玉米 3 叶期和 6 叶期使用外源植物激素复配剂聚康奈水剂可以提高籽粒灌浆速率,有助于利用有限的积温降低籽粒含水量最终增加产量,该试验主要以提高玉米抗冷能力为出发点,需要从苗期开始发挥调节剂的作用^[16]。在半干旱地区,8 叶期喷施 25 mg/kg 的烯效唑可以提高玉米灌浆速率^[17]。

同一品种低密度籽粒灌浆速率要高于中、高密度^[18],在本试验条件下,化控后移处理 T_{15} 和 T_{8+15} 和常规化控处理 T_8 比较,可以提高籽粒灌浆速率,粒重快增期的籽粒灌浆速率在常规密度下分别提高 35.1% 和 5.0%,在高密度下分别提高 5.0% 和 3.0%。高密度下 T_{15} 处理较 T_8 处理的活跃灌浆时间和有效灌浆时间分别延长 2.8 d 和 4.0 d。通过化控后移提高籽粒灌浆前期的灌浆速率和延长籽粒灌浆持续时间是高密度种植条件下改善群体物质积累性能,提高粒重的必要补充技术,化控后移在增强抗倒性能的同时,还可以达到玉米增产的目的。

参考文献:

- [1] 曹玉军, 窦金刚, 高玉山, 等. 施氮对不同种植密度玉米产量和子粒灌浆特性的影响[J]. 玉米科学, 2015, 23(6): 136-141, 148.
- [2] 曹庆军, 曹铁华, 杨粉团, 等. 灌浆期风灾倒伏对玉米籽粒灌浆特性及品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(9): 1107-1113.
- [3] 魏 湜, 杨振芳, 顾万荣, 等. 化控剂玉黄金对玉米品种东农 253 穗部和抗倒性影响[J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(12): 1-7.
- [4] 卢 霖, 董志强, 董学瑞, 等. 乙矮合剂对不同密度夏玉米茎秆抗倒伏能力及产量的影响[J]. 作物杂志, 2015(2): 70-77.
- [5] 陶 群, 黄官民, 郭 庆, 等. 冠菌素对玉米抗倒伏能力及产量的影响[J]. 农药学报, 2019, 21(1): 43-51.
- [6] 王媛媛, 田北京, 徐彩龙, 等. 新型化控剂 Opera 对密植夏玉米生长及子粒灌浆的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(2): 74-80.
- [7] 张 帅, 宁芳芳, 黄收兵, 等. 化控处理时期对玉米植株-根系形态及产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(2): 1-11.
- [8] 刘志铭, 盖旭东, 李宝玉, 等. 化控对高密度春玉米抗倒伏能力及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2019, 44(6): 1-5.
- [9] 文廷刚, 陈昱利, 杜小凤, 等. 不同植物生长调节剂对小麦籽粒灌浆特性及粒重的影响[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(1): 84-90.
- [10] 付晋峰, 王 璞. 播期和种植密度对玉米籽粒灌浆的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(3): 117-122, 130.
- [11] 方 恒, 李援农, 谷晓博, 等. 覆膜与施氮组合下夏玉米籽粒灌浆过程拟合分析[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 245-252.
- [12] 韦还和, 孟天瑶, 李 超, 等. 粳交超级稻甬优 538 的穗部特征及籽粒灌浆特性[J]. 作物学报, 2015, 41(12): 1858-1869.
- [13] 朴 琳, 任 红, 展 茗, 等. 栽培措施及其互作对北方春玉米产量及耐密性的调控作用[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 1982-1994.
- [14] 张 倩, 张明才, 张海燕, 等. 30% 矮·烯微乳剂对水稻茎秆理化特性的调控[J]. 作物学报, 2013, 39(6): 1089-1095.
- [15] 刘晓双, 顾万荣, 朴 琳, 等. 噻苯隆-乙烯利复配剂对春玉米籽粒灌浆特性的影响及其激素调控机理[J]. 生态学杂志, 2017, 36(12): 3526-3534.
- [16] 徐田军, 董志强, 高 娇, 等. 聚康奈水剂对黑龙江省不同积温带玉米籽粒灌浆的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 451-458.
- [17] Irshad Ahmad, Muhammad Kamran, Shahzad Ali, et al. Seed filling in maize and hormones crosstalk regulated by exogenous application of uniconazole in semiarid regions[J]. Environmental Science and pollution Research. 2018, 25: 33225-33239.
- [18] 岳海旺, 卜俊周, 魏建伟, 等. 种植密度对冀中南地区不同夏玉米品种 LAI 和灌浆特性的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(S1): 166-173.

(责任编辑: 刘洪霞)