文章编号:1003-8701(2015)05-0026-05

植物生长调节剂及其在大田作物上的应用分析

曹庆军[1],杨粉团[1],王一鸣[2],梁　尧[1],李　贺[3],于洪浩[3],李　刚[1],姜晓莉[1]*

(1. 吉林省农业科学院/农业部东北作物生理生态与耕作重点实验室,长春 130033;
2. 公主岭市植检植保站,吉林 公主岭 136100;3.梨树县蔡家镇农业站,吉林 梨树 136503)

摘　要:植物生长调节剂在调控作物的生长发育、提高作物产量、改良品质和增强作物抗逆性等方面发挥了重要作用,我国已经成为世界上植物生长调节剂应用最广泛的国家之一。本文结合科研和生产实际,就作物化学调控技术在实现粮食作物生产"定向调控"、抗逆减灾、提质增效及农产品安全生产方面的研究进展进行梳理、归纳和总结,并展望其未来发展方向。

关键词:植物生长调节剂;化控技术;农作物;研究进展

中图分类号:S482.8　　**文献标识码**:A

Advances in Research of Plant Growth Regulator Application on Crops

CAO Qing-jun[1], YANG Fen-tuan[1], WANG Yi-ming[2], LIANG Yao[1],
LI He[3], YU Hong-hao[3], LI Gang[1], JIANG Xiao-li[1]*

(1. *Jilin Academy of Agricultural Science / Key Laboratory of Northeast Crop Physiology Ecology and Cultivation, Ministry of Agriculture, Changchun* 130033; 2. *Station of Plant Quarantine and Protection of Gongzhuling, Gongzhuling* 136100; 3. *Caijia Agricultural Technical Extension Station, lishu* 136503, China)

Abstract: Plant growth regulator (PGRs), which was most widely used in our country, has played an important role in regulating crop growth, increasing cereals yield, improving crop quality and enhancing crops resistance. In this paper, combined with scientific research and production practice, the advanced progress and mechanism of 'oriented control' and disaster relief in cereals production were comprehensively analyzed and summarized, and prospecting of future development direction was made in the meantime.

Key words: Plant growth regulator; Crop chemical regulation; Crop; Research progress

植物的生长发育不但需要水分、矿质、光、热等资源的供应,而且还受到一类生理活性物质—植物生长物质的调控[1]。植物生长调节剂在调控作物生长发育、增强作物抗逆性,提高产量、改善品质和提高作物种植效益等方面发挥了重要作用,我国已成为世界上植物生长调节剂应用最广泛的国家之一[2]。与传统农业技术措施相比,作物化学调控技术具有"用量小、成本低、操作简单、见效快、效益高"等优点,并已成为我国粮食作物高产、优质、高效农业技术体系的一个重要组成部分[3-4]。近几年,随着人口的不断增加,生态环境负荷的日益加剧,同时伴随全球气候变化异常,台风、干旱等自然灾害发生频繁[5],给世界的粮食安全带来了严峻的挑战,如何增强粮食作物的抗灾能力,开展作物的抗灾减灾安全生产已成为国家粮食安全领域关注的焦点之一[6]。本文就植物生长调节剂在主要粮食作物上的应用及其作用机理和研究热点进行梳理、归纳和总结,并对这一领域的发展方向予以展望。

收稿日期:2015-05-16

基金项目:"948"计划项目(2011-G19);吉林省科技发展计划项目(20130206016NY);"十二五"国家粮食丰产科技工程重大专项(2012BAD04B02)

作者简介:曹庆军(1986-),男,硕士,助理研究员,研究方向为作物生理与生态。

通讯作者:姜晓莉,女,副研究员,E-mail: jxl1990@sohu.com

1　PGRs及作物化控技术

植物生长调节剂(Plant growth regulator, PGRs)是指具有激素活性的人工合成的化学物质。PGRs具有内源激素的作用,其主要通过影响植物的内源激素系统,如植物内源激素的合成、

运输、代谢、与受体的结合以及此后相关的信号转导过程[7],来调控作物的生长发育过程。因此,作物化学控制技术的发展与当前植物激素生理的研究进展有密切的关系[8]。

作物化控技术(Crop chemical regulation),是指通过应用植物生长调节剂(PGRs)来影响植物内源激素系统的平衡和物质代谢,从而调控作物的生长发育进程,使其朝着人们预期的方向和目标发生变化的技术[8]。随着农业以及农业科学技术水平的不断提高,运用植物生长调节剂有目的地调控植物的生长发育和产量形成过程已经成为现代农业生产技术体系中不可缺少的重要技术措施之一。传统常规栽培技术主要是通过改善作物生长所需要的光、热、水、气等资源来挖掘和提高作物的产量潜力水平,而化控技术能够主动调控基因的表达,来实现作物生长的"人为定向"调控。当前,PGRs的应用已成为21世纪国内外农业实现超高产生产的重要技术措施之一[9]。

2　常用PGRs的类型及其应用

根据国家农药登记制度,植物生长调节剂列为农药类,目前除了赤霉素是通过赤霉菌取自生物体外,其他绝大多数调节剂都是通过人工化学合成的途径来实现的[9]。植物生长调节剂对植物生长的效应可分为促进剂、延缓剂、抑制剂3类[3, 9]。目前,已发现具有调控植物生长和发育功能的植物生长调节剂主要有生长素、赤霉素、乙烯、细胞分裂素、脱落酸、油菜素内酯、水杨酸、茉莉酸和多胺等,而作为植物生长调节剂被应用在农业生产中主要是前6种。

目前农资市场上在农作物上应用的商品化的植物生长调节剂种类繁多,据吉林省四平地区农资市场不完全统计,应用于玉米、水稻等作物的调节剂约有30余种,如玉黄金、吨田宝、维他灵2号、壮丰灵、达尔丰等,但就有效成分而言,这些调节剂多为乙烯利、玉米健壮素、缩节胺、矮壮素等单剂或其一两种混剂(见表1),约占市场上产品的70%~80%。

植物生长调节剂从作用类型上分,有专用型和通用型,如玉黄金、壮丰灵等为玉米专用型,但多以通用型为主;从剂型上来看,主要以水剂为主,部分为粉剂,有效成分的含量多在30%~50%之间;从作用效果上看,主要应用于控制作物旺长,通过控制节部茎秆长度,促进根系发育,来防止作物倒伏,这方面在玉米[10-12]、水稻[13-15]和小麦[16-19]等作物上有大量报道。

3　调节剂在主要作物上的应用

表1　作物常用植物生长调节剂及其成分、类型列表

商品名称	主要成分	类型	剂型	有效成分含量(%)	主要作用
玉米壮丰灵	乙烯利、芸苔素内酯	玉米专用	水剂	30	防倒伏
玉黄金	乙烯利、氨鲜酯	玉米专用	水剂	30	防倒伏
玉米健壮素	6-氨基呋喃嘌呤,2-氯乙基膦酸	玉米专用	水剂	40	防倒伏
缩节胺	1,1-二甲基氮杂环己基氯化物	通用型	水剂	-	降株高
矮壮素	氯化-2-氯乙基三甲铵	通用型	水剂	50	防徒长、防倒伏
吨田宝	哌啶嗡盐与基因激活剂	通用型	水剂	-	降株高、植株健壮
乙烯利	乙烯利	通用型	水剂	40	防倒伏
多效唑	多效唑	小麦、水稻	粉剂	80	杀菌、促根、促分蘖

3.1　提高农作物产量、改善商品品质

产量是作物生产永恒的追求目标,基因型和环境条件的差异是影响农作物产量和品质的主要因素。不同的植物生长调节剂其有效成分、作用部位、作用时期和作用机理不同,因而其对作物生长的作用效果、作用机理及作用的复杂程度也不同[20],最终导致植物生长节调剂对作物产量和品质的作用效果也存在巨大差异。马雪梅等[13]研究认为,在水稻幼穗分化期应用PGRs吨田宝及其助剂可以有效促进细胞的分裂和组织分化,加快水稻生育进程,增加叶绿素含量,延缓叶片和植株衰老,增产9.8%~17.3%,增产效果非常明显。水稻垩白含量作为评价水稻稻米品质的重要指标,而水稻垩白的形成与灌浆动态有密切的关系,生产上可通过运用植物生长调节剂,调控灌浆期光合产物的合成、运转和积累过程中多种酶活性和内源激素代谢水平,来调节水稻的灌浆动态,进而影响垩白含量,提高水稻的品质[21];另据报道,在水稻齐穗期后7 d通过联合喷施多效唑和6-BA的措施,能显著增加籽粒中胚乳淀粉细胞数目,改良垩白性状。生产上,还可以采用植物生长调节剂定向调控米粉稻中稻米直链淀粉的

含量，来改善水稻稻米的品质[17]。另外，将植物生长调节剂多效唑与微量元素($MnSO_4$)配合浸种，可促进小麦分蘖，显著提高小麦的产量[22]。玉米在抽雄前喷洒乙烯利(450 mL/hm^2)可以有效调节玉米的群体结构，通过适当提高种植密度来提高玉米的籽粒产量[23]。玉米种子经过200～4000倍液的叶面宝液浸种处理，能提高发芽率，促进苗期生长以及植株苗期的干物质积累，实现增产3.0%～17.9%[24]。从近些年吉林、新疆、黄淮海等粮食主产区作物超高产田块及“吨粮田”实现情况来看[25-26]，作物化控技术到位率在提高作物产量潜力方面起到了重要的支撑作用。根据2009年以来梨树县玉米高产竞赛参赛农户农业技术田间到位率调研结果来看，化控技术到位率由最初的30%提高到2013年年底的90%以上(图1)，表明化控技术在保障作物高产和稳产方面的优势效果逐步得到高产农户的接受和应用。

3.2 塑造群体理想株型结构，降低倒伏风险

良好的株型和合理的群体结构是作物获得高产的必要条件[27]，塑造合理的群体结构也是当前植物生长调节剂应用的主要领域之一[28]。除病虫害影响外，作物倒伏发生条件有三个[29]：一是作物所受外力的大小，即暴雨、大风等长时间极端天气影响；二是作物茎秆的抗弯曲强度(与茎倒伏有关)，即对外界的抵抗力；三是作物根系的锚固强度(与根倒伏有关)。高密度种植是降低作物茎秆抗倒伏力导致倒伏发生的重要原因之一[30]，在高密度群体下作物化控防倒的作用机理是通过在作物生长的关键期喷施合理的植物生长调节剂，有效抑制营养生长阶段的过快发育，进而适当降低玉米的株高、穗位高，实现植株“变矮变粗壮”目的，从而有效提高玉米群体茎秆纤维素、木质素[10]等组分含量及改善作物茎秆的机械特性[31]，增强玉米群体的抗倒伏能力，降低倒伏发生的风险。

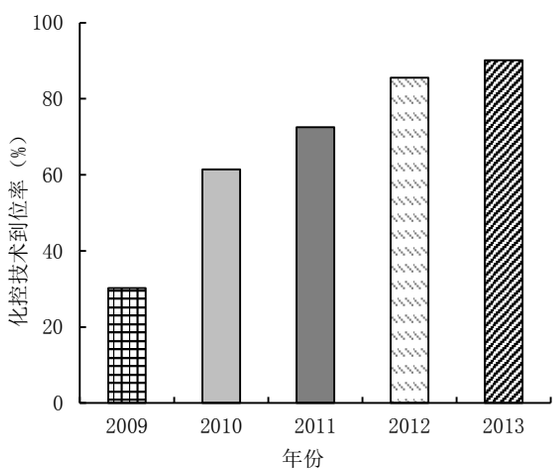

图1 梨树县玉米高产竞赛参赛农户化控技术田间到位率年度变化

作物的抗茎倒能力与作物茎器官的农学性状密切相关，但不同植物生长调节剂对改善作物与抗茎倒有关的性状存在差异。李宁等[11]研究认为，喷施植物生长调节剂可提高玉米茎秆的抗倒伏能力，相同处理下非抗倒伏品种郑单958的茎倒伏率降低明显，增产效果更为显著”。利用化控技术可降低玉米空秆率和秃尖长，提高行粒数和穗粒重，实现玉米增产，化控处理对非抗倒伏品种郑单958的增产效果更为明显。萧长亮等[32]以易倒伏水稻品种垦稻12为试验材料，结果表明化控处理后水稻株高明显降低，节间长度受到抑制，茎秆抗折力增强，弯曲力矩和倒伏指数双重下降，有效降低了水稻倒伏的发生。杨胜海等[33]以平展型玉米品种正大999为试验材料，分别施用玉米矮壮、矮吨、乙烯利和控旺专家等4种植物生长调节剂，结果显示喷施调节剂后均增强玉米植株的抗倒伏能力，但在干旱条件下易造成减产，因此，该技术的应用有一点减产的风险。

作物品种的丰产性与抗倒伏能力是一个矛盾的综合体，如何在高密度种植条件下最大程度地发挥品种的高产潜力，同时又尽可能地降低倒伏发生的风险，这是当前农业生产中遇到的一个问题。对于易倒伏品种通过应用作物的化学调控技术来降低倒伏风险是解决这一问题最有效的途径之一，也是当前条件获取作物高产的关键技术。

3.3 提高作物对逆境生态的适应能力

作物对逆境的适应性和抵抗力是受遗传因素和植物激素共同制约和影响的，逆境条件可以激发植物体内激素含量和活性的变化，进而影响某些生理代谢过程的发生[34]。盐胁迫下不利于种子中DAN、RNA、蛋白的合成，进行正常的有丝分裂[35]，会影响种子的发芽及幼苗的生长发育，Tabur S等[36]研究表明，采用PGRs赤霉素(GA)、激动素(KIN)预处理大麦种子可以缓解盐胁迫造成的根尖有丝分裂指数降低以及染色体畸变的频率。例如，我国长江中上游一些低洼地区小麦生长发育易受涝渍胁迫危害，经植物生长调节剂浸种处理后可显著提高苗期小麦抗氧化酶(如POD、SOD、CAT)含量以及根系活力[37]，因此对改善和提高小麦抗耐涝能力有一定积极作用。另

外,采用某些PGRs浸种处理可缓解玉米苗期干旱胁迫。据报道,赤霉素(GA)和矮壮素浸种处理,可明显提高农大108和陕单902两个玉米品种的发芽率、发芽势、干重,水分利用率提高3.68%~19.47%[21]。研究还表明,含有水杨酸(SA)、赤霉素、脱落酸等低分子量代谢物的植物生长调节剂在改善和缓解作物苗期干旱、低温等逆境胁迫方面具有重要作用,这极大丰富了植物生长调节剂的应用范围,同时也给作物防灾减灾生产带来了新的启示。

4　PGRs研究方向与安全使用

4.1　PGRs的发展方向

实践表明,应用作物化控技术有效地解决了玉米、水稻、小麦等大田作物在不利环境条件和高密度种植下形成空秆,易倒伏的矛盾,达到稳产、高产和高效目的,但随着农田环境污染压力的增加和对食品质量安全的担忧,绿色、环保、安全、无残留、高效的植物源型调节剂的研发将成为未来发展方向。同时,从农业轻简化发展角度来看,通过调节剂与肥料、微肥、微生物农药或其他功能性产品的混用或生产多功能复合产品,来满足农业生产多目的的需求,具有更加广泛的应用前景。

植物生长调节剂的作用位点是植物组织,而根系和叶片是其主要吸收部位,调节剂有效成分从被吸收部位进入植物组织,然后经过一系列的运输过程到达作用部位,是通过物理扩散的方式来实现的[38],运输效率较低;而植物生长调节剂属于农药的范畴,因此客观上需要加强调节剂安全性检测与评价,系统开展动物急性和慢性毒性试验,综合评估其对植物、土壤、水循环等环境影响的长期效应,以便制定相应的标准来限定不同作物施用时期、施用量和安全允许的残留量等。

植物生长调节剂的施用方式主要包括叶面喷施和种子处理。从目前市面上所售植物生长调节剂来看,大部分以叶面喷施为主,部分也有通过种子包衣或浸种的方式来进行[39-40]。但植物生长调节剂的药效一般持续时间较短,叶面喷施方式能够保证在作物生长最需要的时期进行施用,提高了施用效率,但是高秆作物,如玉米等在生育后期叶面喷施会遇到操作不便,费力费时等实际困难,这在一定程度上限制了PGRs在生产中的应用范围;而发展新型种子拌种或包衣技术能简化和克服这些困难,也是未来农业和新型、安全、高效植物生长调节剂研究和发展的方向之一[41]。

4.2　PGRs的安全使用

植物生长调节剂是作物化学调控技术的核心,作物化控技术具有控上、促下,塑造理想株型,改善田间通风透光条件的作用,因此调节剂的选用应根据作物生产的需要和目的,合理地选择调节剂的类型和剂型,所以应用化控技术最基本的原则首先是适用性的原则。

另外,化控技术也是一把“双刃剑”,每种PGRs的用量和施用时期有严格的说明,用量过大会造成减产[42]和植株畸形等后果,所以,PGRs的使用还需坚持安全性的原则。

5　展　望

按照《国家粮食安全中长期规划纲要(2009-2020)》,2020年我国的粮食需求将达5725亿kg,按粮食自给率95%计算,未来几年粮食需增产1000亿kg,因此,我国人口增加与粮食需求的缺口之间的矛盾将会在未来很长一段时间持续存在。无论是从粮食安全还是环境生态可持续发展的角度看,作物高产、优质、高效、生态、安全栽培技术的基础创新与标准化水平都有待进一步提高[43-44]。作物化控技术具有成本低,收效快,效益高等独特优势,可以在一定程度上弥补在作物育种或其他栽培技术难以解决的问题上的不足,应用前景不可估量。

中央一号文件指出:“提高种地集约经营、规模化经营、大力扶持家庭农场、专业大户、农民合作社等新型主体”,规模化经营正在和即将成为农业发展的主要形式,生产方式的改变必将带动生活方式的转变,随着社会对健康和生态安全的重视[45],必须充分发挥科技的创新、支撑和引领作用,作物化控技术并不是一门独立的学科,其未来发展将围绕以下问题展开:①加紧研究作物化控技术与轻简化栽培技术的结合,做好关键的技术储备,实现作物生产的精准、简化和高效栽培。②加大调节剂应用所需配套设备和机具的研制,特别是多功能复合型智能装备。③开展调节剂施用技术的规范化和标准化建设。④加强安全、高效、低残留或无残留新型调节剂的研发与创制,加强调节剂残留、生态安全检测与风险评估方面的工作。

参考文献:

[1] 赵昌用.植物生长调节剂的使用与作物的化学调节[J].湖北农业科学,1988(10):39-41.

[2] 张　锋,潘康标,田子华.植物生长调节剂研究进展及应用对策[J].现代农业科技,2012(1):193-195.

[3] 赵 敏,周淑新,崔彦宏.我国玉米生产中植物生长调节剂的应用研究[J].玉米科学,2006(14):127-131.
[4] 周凤兰,陈泽光,张吉川,等.浅谈植物生长调节剂在农业生产上的应用[J].吉林农业科学,1997(4):76-79.
[5] 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(9):1107-1113.
[6] 翟丙年,郑险峰,杨岩荣,等.植物生长调节物质的研究进展[J].西北植物学报,2003(6):1069-1075.
[7] 薛金涛.化学调控对高产性状的调控效应研究[D].北京:中国农业科学院,2008:62.
[8] 田晓莉,李召虎,段留生,等.作物化学控制的研究进展及前景[J].中国农业科技导报,2004(5):11-15.
[9] 赵 敏,邵凤赟,周淑新,等.植物生长调节剂对农作物和环境的安全性[J].环境与健康杂志,2007(5):370-372.
[10] 裴志超.春玉米密植高产群体茎秆质量的化学调控机理[D].北京:中国农业科学院,2010:147.
[11] 李 宁,李建民,翟志席,等.化控技术对玉米植株抗倒伏性状、农艺性状及产量的影响[J].玉米科学,2010,18(6):38-42.
[12] 张瑞琪.不同化控剂对夏玉米农艺性状和产量的影响[J].安徽农业科学,2006(1):80,153.
[13] 马雪梅,杨靖韬,戴兴玉.水稻应用化控剂吨田宝及加其助剂试验总结[J].北方水稻,2011(4):66-67.
[14] 徐高云.水稻应用化控剂吨田宝示范总结[J].农业科技通讯,2011(7):87-88.
[15] 杨安中,黄义德.旱作水稻喷施6-苄基腺嘌呤的防早衰及增产效应[J].南京农业大学学报,2001(2):12-15.
[16] 王法宏,赵君实,秦月秋,等.化控条件下小麦基本苗密度对产量的效应[J].莱阳农学院学报,1993(3):183-187.
[17] 吴成春.米粉稻稻米直链淀粉含量化学调控及其生理基础研究[D].长沙:湖南农业大学,2007:62.
[18] 陈静彬,刘 强,荣湘民,等.几种植物生长调节剂对水稻氮素积累与转运及贮存的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2003(2):99-102.
[19] 姬玉梅,王 岭.化控剂对小麦矮抗58农艺和产量性状的影响[J].吉林农业科学,2015(2):31-33.
[20] 赵丽梅,彭 宝,孙 寰,等.化控剂在杂交大豆制种中的应用[J].大豆科学,2011(5):777-780.
[21] 张建军.植物生长调节剂对早稻垩白的影响及机理研究[D].长沙:湖南农业大学,2002:34.
[22] 拓秀丽,郑险峰,周建斌.不同化学及营养调控措施配合对旱地冬小麦生长及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2008(3):63-67.
[23] 高 波.乙烯利对寒地高产玉米群体结构的调控机制[D].哈尔滨:东北农业大学,2008:53.
[24] 蒋文春,陈永祥,马冬菊,等.叶面宝浸拌种对玉米生长发育及产量的影响[J].沈阳农业大学学报,1996(4):9-13.
[25] 陈延玲,高 强,王贵满,等.吉林省中部黑土区玉米吨粮田技术集成[J].吉林农业科学,2013(2):15-17.
[26] 边少锋,赵洪祥,徐克章,等.雨养条件下春玉米"吨粮田"栽培的增产因素分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011(6):61-67.
[27] 曹庆军,崔金虎,王一鸣,等.玉米耐密性及其生理基础研究进展[J].吉林农业科学,2011(6):17-21.
[28] 孟 彦,李艳萍,王文化.化控技术在玉米生产上的应用与研究[J].安徽农学通报(下半月刊),2011(10):110-111.
[29] Crook M J, Ennos A R. Stem and root characteristics associated with lodging resistance in four winter wheat cultivars[J]. The Journal of Agricultural Science, 1994, 123(2): 167-174.
[30] 曹庆军,王洪预,张 铭,等.高施肥水平下密度对春玉米产量的影响[J].玉米科学,2009(3):113-115.
[31] 刘 鑫,谢瑞芝,牛兴奎,等.种植密度对东北地区不同年代玉米生产主推品种抗倒伏性能的影响[J].作物杂志,2012(5):126-130.
[32] 萧长亮,解保胜,赵 姝,等.化学调控对寒地水稻抗倒及产量性状的效应研究[J].作物杂志,2011(6):68-72.
[33] 杨胜海,吴 军,潘兴书,等.化控剂对玉米品种正大999群体生长及产量的影响[J].作物杂志,2013(5):90-93.
[34] 傅腾腾,朱建强,张淑贞,等.植物生长调节剂在作物上的应用研究进展[J].长江大学学报(自然科学版),2011(10):233-235.
[35] Anuradha S, Rao S S R. Effect of brassinosteroids on salinity stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Plant Growth Regulation, 2001, 33(2): 151-153.
[36] Tabur S, Demir K. Role of some growth regulators on cytogenetic activity of barley under salt stress[J]. Plant Growth Regulation, 2010, 60(2): 99-104.
[37] 陈大清,董登峰,骆炳山,等.涝渍逆境下化学调节剂对苗期小麦生理特性的影响[J].湖北农学院学报,1998(2):90-91.
[38] 王小兰.植物生长调节剂在作物生产中的安全使用[J].甘肃广播电视大学学报,2005(3):1-4.
[39] 拉民(Lamine Diallo)."玉黄金"拌种对春玉米生长发育的调控作用[D].长春:吉林大学,2013:47.
[40] 冯乃杰,郑殿峰,张明才,等.化控种衣剂对大豆幼苗侧根原基的发生和内源激素含量的影响[J].中国农学通报,2005(1):272-274.
[41] 马建义,徐礼根,郑永泉,等.植物生长调节剂生物筛选方法的初步构建[J].浙江大学学报(理学版),2002,29(3):329-335.
[42] Gaska J M, Oplinger E S. Use of Ethephon as a Plant Growth Regulator in Corn Production[J]. Crop Science, 1988, 28(6): 981.
[43] 王立春,边少锋,任 军,等.提高春玉米主产区玉米单产的技术途径研究[J].玉米科学,2010,18(6):83-85.
[44] 王立春,边少锋,任 军,等.吉林省玉米超高产研究进展与产量潜力分析[J].中国农业科技导报,2004,6(4):33-36.
[45] 赵 锦,杨晓光,刘志娟,等.全球气候变暖对中国种植制度的可能影响 X.气候变化对东北三省春玉米气候适宜性的影响[J].中国农业科学,2014(16):3143-3156.

(责任编辑:王 昱)