

黄淮海地区夏玉米超高产研究技术探讨

王向阳, 冀天会, 孙晓娟, 王灵军, 马克义 (洛阳农林科学院, 河南洛阳 471023)

摘要 综述了夏玉米高产攻关研究的产量及构成因素、灌浆、农艺性状、生理生化特征以及夏玉米高产机理的研究, 分析了夏玉米高产攻关的难点和突破点, 得出夏玉米高产攻关中应该重视水肥运筹, 提高高产田块的重演性, 深入分析超高产机理的研究, 最终实现夏玉米连续超产, 实现粮食安全。

关键词 夏玉米; 超高产; 黄淮海地区; 研究进展

中图分类号 S513 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)18-07780-04

On Super High-Yield Technique for Summer Maize in Huang-Huai-Hai Region

WANG Xiang-yang et al (Luoyang Academy of Agriculture & Forestry, Luoyang, Henan 471023)

Abstract The yield and yield components, grouting, agronomic traits, physiological and biochemical characteristics and high yield mechanism of summer maize were reviewed, the difficult points and breakthrough of high-yielding summer maize were analyzed, it was concluded that summer maize high yield should be paid attention to irrigation and fertilization, improve the repeatability of high-yield field, thorough analysis and research super high yield mechanism, realize continuous production of summer maize and achieve food security.

Key words Summer maize; Super high-yield; Huang-Huai-Hai Region; Research progress

自 2001 年起玉米就成为全球第一大作物, 在我国, 玉米的种植面积占第 1 位, 按总产量, 玉米是我国第二大作物^[1]。玉米是 C4 作物, 具有光合生产效率高、产量潜力大的特点, 能够高效、集约利用光、热等资源, 被誉为 21 世纪的“谷中之王”。近年来, 随着我国经济社会的快速发展, 人们食物结构的优化以及畜牧业的快速崛起, 对玉米的生产提出了新的要求, 同时由于人口数量的增加, 人均耕地面积的减小, 大幅度地提高单位面积的玉米产量, 对于保障我国粮食安全, 促进农村土地流转和农业发展农民增收具有重要意义^[2]。

1 高产攻关研究的必要性和现实性

由于自 20 世纪 90 年代以来世界粮食增长速率明显减缓^[3], 在未来几十年里, 将面临粮食持续短缺的问题^[4]。预计到 2030 年, 我国人口将达到 16 亿, 而人均耕地面积将不足 0.08 hm², 粮食缺口预计为 1.2 亿 ~ 1.5 亿 t^[5]。前人大量研究表明, 高产田对我国粮食总产的贡献率为 54.09%^[6], 因此, 保障我国粮食安全的关键是玉米持续增产, 大力发展高产攻关田建设, 以及中低产田的提升改造, 依赖单产的进一步提高, 在有限的耕地面积上产出更多的粮食。超高产技术的研究对进一步提升玉米单产水平具有重要的推动作用^[7-8]。在现有的生产条件下通过各种技术措施取得玉米高产甚至超高产是农学家一直追求的目标^[9-10]。在玉米增产因素中, 品种的贡献率占 30% ~ 40%^[11], 栽培技术的不断进步使品种潜力得以充分发挥, 玉米超高产具有了实际的可能性。因此, 开展不同玉米种植区域(东北玉米种植区、黄淮海玉米种植区、西南山地玉米种植区等)玉米高产潜力探索以及小面积(0.067 ~ 1.000 hm²)玉米超高产创建, 进一步集成和优化关键栽培技术措施, 对玉米大面积高产的实现和国家的粮食安全具有重要意义^[12]。

1.1 美国已经进行了常年的高产竞赛, 深挖高产潜力 自

作者简介 王向阳(1976-), 男, 河南宜阳人, 助理研究员, 硕士, 从事玉米品种评价及配套高产栽培技术研究, E-mail: lynkswy@126.com。

收稿日期 2013-06-01

20 世纪 60 年代绿色革命以来, 围绕提高作物产量, 世界许多国家和组织开展了大量的高产研究与实践, 主要集中在两个方面: 一是提高产量潜力, 二是缩小潜在产量与农户实际产量之间的差距^[1]。美国早在 1914 年就开展玉米高产竞赛, 第 1 块高产田出现在 Indiana 州, 采用农家品种, 单产为 7 125 kg/hm² (当年美国玉米平均产量是 1 575 kg/hm²), 较平均单产增加 3.5 倍多, 1941 年杂交种推广后单产达到 12 070 kg/hm², 之后逐年增加^[13]。1985 年 Illinois 州的 Herman Warsaw 在非灌溉条件下创造了 23 224 kg/hm² 的世界纪录^[14], 到 2002 年 Iowa 州的 Francis Childs 又将纪录提高到 27 743 kg/hm²^[15]。2006 年美国玉米高产竞赛(NCYC)共有 46 个州 3 154 名参赛者进行 9 个级别的角逐, 最高产量是 21 797.3 kg/hm²。2006 年美国玉米平均产量是 49 358.7 kg/hm²^[16]。美国玉米的超高产主要是自然生态条件适宜、土壤状况非常好、品种耐密性和抗逆性强、栽培措施到位等综合运用得以实现的。

1.2 我国高产攻关研究的演变进程 改革开放 30 多年来, 我国玉米生产得到快速发展。这与玉米良种及高产高效栽培技术的研究与推广息息相关^[17]。从品种特性看, 我国玉米生产主栽品种经历了平展型→紧凑型→耐密型的发展过程^[18-19]。从栽培技术看, 我国玉米生产经历了从劳动力密集的精耕细作发展到依靠科技, 结合玉米生长需要的配方施肥、机械化生产和抗灾简化栽培^[20]。自 2008 年起我国大力开展包括玉米在内的粮食高产创建活动, 且规模逐年扩大。自此玉米高产创建活动在全国展开, 大力促进了玉米品种的改良和高产栽培技术的创新。2008、2009、2010 年, 农业部分别在全国粮食主产区建设了 150、600 和 1 000 个万亩连片玉米高产创建示范片, 近年来, 在吉林、新疆、山东和河南等地区涌现出单产超过 15 000 kg/hm² 的高产田块, 有力地推动了玉米高产研究和玉米高产的实现, 为我国未来粮食安全提供了技术保障。

1.3 在新疆、榆林、浚县实现了高产田块 黄淮海地区属温

带半湿润气候,年平均降水量 500~800 mm,多集中在 6 月下旬~9 月上旬,自然条件对玉米生长发育极为有利^[21]。近几年在高产攻关方面做了大量的探索,并取得了较高的产量水平。2008 年陕西榆林 0.467 hm² 玉米平均产量达到 19 890.0 kg/hm²。2009 年新疆 0.333 hm² 玉米产量达 20 401.50 kg/hm²,山东莱州登海集团创 19 347.00 kg/hm² 全国夏玉米高产纪录;山东莱州金海种业 0.203 hm² 玉米产量 17 572.95 kg/hm²;山东兖州 0.667 hm² 夏玉米高产田实现产量 15 443.70 kg/hm²;河南浚县 1.000 hm² 夏玉米高产田再次突破吨粮,产量达 15 000.00 kg/hm²;河北辛集 3.333 hm² 夏玉米实收 11 153.85 kg/hm²^[1]。通过高产攻关研究,形成了玉米高产技术规程,为黄淮海地区大面积增产积累了技术和实践经验。

2 超高产特征

2.1 产量及构成因素特征 高产群体的产量挖潜需要深入分析与产量相关的产量构成三因素形成的机理与特征,通过产量构成三因素的协调发展,最终实现高产。赵明等提出的“三合结构”模式以及定量表达式^[22-24],可以在研究产量三要素的基础上全面掌握玉米高产群体参数变化与产量形成的定量关系^[25]。陈国平等对 2009 年来全国 41 块玉米高产田分析得出,产量结构模式为:88 110 穗/hm²、穗粒数 530 粒、千粒重 368.3 g、穗粒重 191.4 g^[26]。但若以最高产的 75 000~90 000 株/hm² 计算,其产量结构模式为:85 200 穗/hm²、穗粒数 547 粒、千粒重 367.1 g、穗粒重 197.5 g。产量与穗粒数和穗粒重呈显著正相关,与单位穗数的相关性未达到显著水平。产量构成要素间的相关分析表明,单位穗数与穗粒数和穗粒重均呈显著负相关;与千粒重虽呈负相关关系,但未达到显著水平。高产田块的产量取决于穗粒数和穗粒重,而增加穗粒数是提高穗粒重的关键。光温条件、品种和密度使决定玉米高产的关键因素。曹国军等研究认为,超高产处理产量构成直接途径系数大小顺序为单位面积穗数 > 穗粒数 > 千粒重,即超高产处理各产量构成因素对子粒产量的相对重要性以单位面积穗数最大,其次是穗粒数,千粒重最小^[27]。王志刚等则认为,穗数和穗粒数是决定高产(15 000 kg/hm² 以上)群体产量的主要因素。实现 15 000 kg/hm² 以上群体的产量结构为:穗数 7 080~9 600 穗/hm²,穗粒数 477~654 粒,千粒重 324.7~388.7 g,穗粒重 168.9~234.0 g^[25]。

2.2 灌浆特征 灌浆是玉米生长发育过程中非常重要的生育阶段。玉米产量受灌浆的影响非常大。灌浆时间和灌浆速率决定了玉米灌浆时期的干物质积累量^[28]。玉米灌浆对玉米产量影响最大,通过深入分析玉米灌浆的特征特性,特别是超高产玉米的灌浆特性,对玉米的超高产实现具有重要意义,大量研究认为灌浆速率受基因型和环境条件的共同影响^[29]。黄振喜等研究认为玉米籽粒灌浆启动快且高灌浆速率持续时间和生长活跃期(50 d 以上)长的杂交种更容易实现高产^[30]。吴春胜研究认为,超高产玉米的籽粒灌浆速率高值持续期显著高于非高产玉米,延长灌浆持续天数和提高灌浆

速率对提高玉米最终粒重具有重要意义^[31]。黄智鸿等研究表明,灌浆持续期长短是影响不同品种粒重的主要因素,而且胚乳细胞数与灌浆速率和灌浆持续期均呈极显著相关^[32]。

2.3 农艺性状特征 玉米的农艺性状对玉米的超高产实现提供了重要的物质保障,叶面积、干物质积累等农艺性状的改善,是玉米实现超高产的重要前提。与普通高产栽培相比,超高产玉米叶面积系数大,叶片功能期长,叶倾角小,株型相对紧凑,群体内光分布合理^[33-34]。超高产栽培玉米叶面积指数大,吐丝之后表现更为明显,棒三叶最为突出。不同叶位的叶倾角超高产栽培均小于普通高产栽培,而叶向值均大于普通高产栽培,在棒三叶表现最为明显^[35]。掌握超高产玉米的干物质积累与分配对提高产量具有重要意义^[36-38]。高的生物产量是获得高产的物质基础。黄智鸿等研究表明:超高产品种的生育中期和后期物质生产优势较好,出苗后至小喇叭口期干物质主要分配在叶片,散粉至收获干物质由叶片开始向籽粒转移^[39]。王志刚等研究指出,超高产栽培春玉米的叶面积指数(LAI)比普通高产群体(6.29)高 0.66。LAI 在全生育期内 40 d 以上维持在 6.0 以上^[33]。李渤海等研究表明,播种 90 d 后产量水平较高的杂交种 LAI 较产量水平较低的少下降 28.31%^[40]。黄振喜等研究也指出,产量较高的杂交种后期 LAI 下降缓慢^[30]。

2.4 生理生化特征 叶片光合速率和酶活性对个体产量的形成具有决定性的作用^[41-42],是反映玉米生理功能的重要指标。同时叶面积是植物截获光能的物质载体^[30]。特别是玉米抽雄吐丝后叶片的光合功能直接影响到籽粒产量^[43]。光合生理是玉米超高产机理研究的重要研究领域,玉米光合特性一直是作物生理生态领域研究的热点。现代品种具有较高的产量潜力主要是改善了玉米叶片光合特性。国内外学者研究认为^[40,44-46],植株个体较高的光合速率与光能利用效率,开花后叶片光合色素与碳同化关键酶降解缓慢且维持较高生理活性的时间是现代品种产量高的重要原因。Ding 等研究认为,玉米品种更替过程中,现代玉米开花后的高光合性能与叶绿素及碳同化酶维持较高生理功能有关^[47]。高产品种表现出灌浆前期净光合速率较高,后期净光合速率下降缓慢的特点。因此在玉米高产创建过程中,应该选择具有高光效,且后期光合速率下降缓慢的玉米品种,以利于超高产的实现。

超高产玉米还具有较好的生化特性,特别是关于抗衰老活性酶的研究对超高产具有重要意义。玉米后期能够抗衰老,对于玉米灌浆、产量形成等具有重要意义。大量研究表明,超高产通过各种栽培措施的应用具有较高的抗衰老特性。随着叶片的衰老,超高产品种的叶片中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性呈现出先升高后降低的变化趋势,峰值均出现在吐丝期,随后逐渐降低,而超高产玉米降低的速率较一般产量品种降低的慢。黄智鸿等研究指出,超高产玉米品种的清活性氧的能力较高,有利于延缓玉米植株衰老,最终增加植株干物质积累^[48]。桑丹丹等研究也提出,超高产春玉米花粒期棒三叶

POD 活性表现为下位叶大于穗位叶,穗位叶大于上位叶;CAT、SOD 活性和乳熟期不同层位叶片净光合速率表现为上位叶大于穗位叶,穗位叶大于下位叶^[49]。

3 水肥运筹机理研究

“肥是劲,水是命”,水和肥料是影响玉米生长发育及产量的主要环境因子,合理的肥水运筹是影响玉米产量的重要因素^[50]。玉米高产攻关试验中,一般认为,玉米田间始终保持湿润状态,且肥料供应充足,氮、磷、钾含量配比合理是玉米高产实现的基本前提,然而在高产攻关实践中出现了大量肥料施入过多,浪费水资源的状况,使得小面积高产攻关田里能够实现超高产,但却仅仅局限在试验田,一般大田由于无力实现大量的水肥投入而难以实现,造成玉米超高产攻关成本远大于产量提高带来的效益。因此,通过研究超高产玉米肥料和水分吸收利用机理,以最小的水肥投入,充分发挥玉米水肥耦合互作效应,降低超高产成本,使玉米超高产能够在在大田应用具有重要意义。

玉米是需氮量较多的作物,近年来为了增加玉米产量,氮肥的投入量较大,从而造成氮肥利用率的下降。根据希尔效应,在一定范围内,玉米产量随着氮肥施入量的增加而增加,当超过特定的用量时,玉米产量反而随着氮肥施入量的增加而下降。因此找到玉米氮肥施入量的临界值具有重要意义。同时氮肥还要和磷钾肥配合施入,以提高植株的产量和抗逆性。超高产夏玉米每生产 100 kg 经济产量需要的养分比例为 $N:P_2O_5:K_2O=2.40:1.00:2.73$ 。同时肥料的施入时期对于玉米对肥料的吸收利用具有重要影响,吐丝后适当追肥对夏玉米超高产至关重要^[49]。因此通过施肥为玉米后期灌浆增加产量对实现超高产至关重要^[51]。据刘宝存等研究认为,我国高产田平均施有机肥 4.6 t/hm²,同时施入纯氮 485.3 kg/hm²、纯磷 243.0 kg/hm²、纯钾 169.5 kg/hm²^[52]。施肥运筹原则是将全部有机肥、大部分磷钾肥和约 20% 的氮肥作基肥,追肥主要施入氮肥以及少量的磷钾肥,以满足玉米在花粒期的需要^[11]。

超高产夏玉米全生育期耗水量为 9 750 mm/hm²左右,开花前耗水量占 40%~46%,开花后耗水量占 54%~60%。耗水强度苗期阶段最低,开花期前后最高,超高产夏玉米水分运筹掌握足墒播种,适墒出苗,苗期水分适度,穗期、花粒期充分供水,主要耗水层水量较足而均恒,贮水层水量充足而稳定灌水时期分布上应重视底墒水,强调大口,开花水,保证乳熟、蜡熟水,加强花粒期阶段的水分管理^[53]。

通过充分发挥水肥互作耦合效应可以在减小水肥投入的前提下提高玉米产量。通过合理的施肥,特别是氮磷配合施用,可以在水分消耗同等条件下提高玉米耗水系数,显著提高玉米水分利用效率。优化施肥可以改善根系环境和养分供应水平,并保持较高的生理活性^[54]。高肥高水互作效应大,水分利用效率高,经济效益大,是实现夏玉米超高产的最佳肥水组合^[55]。吐丝后适当追肥对于超高产夏玉米灌浆期养分充足供应至关重要^[56]。高肥高水互作效应大,产量水平达 13 500 kg/hm²以上,水分利用效率高,经济效益大,

是实现夏玉米超高产的最佳肥水组合^[55]。然而对于在不同生态类型区玉米超高产所需的水肥施入量也不一样,需要在对不同类型区的玉米水肥运移情况深入研究后得出最适宜的水肥施入量,通过合理的水肥施入,配合有利的栽培措施,可以在降低水肥投入的前提下实现玉米超高产,对玉米超高产在大田大面积的实现具有重要意义。

4 问题与探讨

4.1 玉米高产机理需要进一步深入研究 我国玉米高产攻关田产量已远超农民大田产量,但和美国玉米高产田块的产量还有较大的差距,因此高产攻关仍需进一步深入机理研究,特别是进一步深入研究玉米高产机理,及与产量水平紧密相关的机理研究,主要有:①产量构成机理(穗数、穗粒数、粒重);②光合机理(物质生产);③源库机理(源库平衡);④群体结构机理;⑤水肥耦合机理(节本增效),最终实现夏玉米超高产潜力充分挖掘。尽管在这些机理方面已经进行了大量研究,然而还需要更深入地探讨分子水平上的机理,探讨大面积应用推广机理,为夏玉米攻关产量能够更进一步提高做理论和技术支撑。

4.2 重演性差,提升中低产田 夏玉米高产攻关试验地产量水平已经远远高于 15 000 kg/hm²,而绝大多数的农民田块中产量水平却相对较低,特别是在一些旱地丘陵地区没有灌溉条件的田块产量水平更低。如何在试验田块挖掘夏玉米超高产潜力的同时将研究技术和经验移植到农民田块,使得农民田块的中低产田能够实现产量大于 30% 的增长或更多,将是高产攻关研究要解决的实际问题。特别玉米超高产攻关田水分供应充足,施肥量也较大,有机肥使用量较多,造成成本较大,成型的高产技术在农民田块里由于成本的限制无法实现,因此高产攻关需要考虑到农民田块的应用前景,充分利用水肥耦合原理,降低水肥投入,减少高产投入成本,同时适应机械化操作,节本增效,最终实现大田产量的提升。所以,深入总结小面积高产攻关田块高产的机理和技术经验,使得在农民田块中得到重演,同时提升中低产量将是下一步的研究热点和难点。

4.3 实现粮食安全 玉米生产的丰欠直接影响我国粮食生产,是关系到我国总体玉米产量和国家粮食安全的重要课题,因此,玉米生产对保障我国粮食生产与粮食安全具有重要作用。通过选择超高产研究的技术规程和理论技术,加以精细的田间管理和病虫害防治,配合以具备:耐密性强,单株竞争能力弱;源库协调,籽粒要大;茎秆矮、细、韧,雄穗小;光能截获转化率高;同化产物向籽粒中运转分配多,收获指数高;根系活力强,功能持续期长;水肥生产效率高的超高产玉米品种,最终实现大面积玉米高产,为国家粮食产量倍增作出更大的贡献。

参考文献

- [1] 李少昆,王崇桃.玉米高产潜力途径[M].北京:科学出版社,2010:1-12.
- [2] 杨今胜,王永军,李登海,等.超高产夏玉米栽培研究初报[J].青岛农业大学学报:自然科学版,2007,24(2):97-100.
- [3] MANN C C. Crop scientists seek a new revolution[J]. Science, 1999, 283: 310-3140.

- [4] HUANG J, PRAY C, ROZELLE S. Enhancing the crops to feed the poor [J]. *Nature*, 2002, 418: 678-684.
- [5] 戴小枫, 孟宪学, 刘世珍, 等. 养活 2030 年 16 亿人口需要新的农业科技革命[J]. *中国农业通报*, 1998, 14(2): 7-9.
- [6] 刘景辉, 王志敏, 李立军, 等. 超高产是中国未来粮食安全的基本技术途径[J]. *农业现代化研究*, 2003, 24(4): 161-165.
- [7] BRUIJSEMA T W, TOLLENAAR M, HECKMAN J R. Boosting crop yields in the next century[J]. *Better Crops with Plant Food*, 2000, 84(1): 9-11, 13.
- [8] 王志敏, 王树安. 集约多熟超高产——21 世纪我国粮食生产发展的重要途径[J]. *农业现代化研究*, 2000, 21(4): 193-196.
- [9] 谢瑞芝, 李潮海, 周苏玫, 等. 超高产夏玉米生长机制研究[J]. *河南农业大学学报*, 1999, 33(1): 11-16.
- [10] 张玉芹, 杨恒山, 高聚林, 等. 超高产春玉米冠层结构及其生理特性[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(21): 4367-4376.
- [11] 戴景瑞, 鄂立柱. 我国玉米育种科技创新问题的几点思考[J]. *玉米科学*, 2010, 18(1): 1-5.
- [12] 陈国平, 高聚林, 赵明, 等. 近年我国玉米超高产田的分布、产量构成及关键技术[J]. *作物学报*, 2012, 38(1): 80-85.
- [13] 陈国平. 参观美国玉米生产后的借鉴与思考[J]. *作物杂志*, 1992(2): 1-4.
- [14] 刘志全, 路立平, 沈海波, 等. 美国玉米竞赛介绍[J]. *玉米科学*, 2004, 12(4): 110-113.
- [15] 孙世贤. 简要介绍美国 2002 年玉米高产竞赛[J]. *玉米科学*, 2003, 11(3): 102.
- [16] 刘志全, 李万良, 路立平, 等. 2006 年美国玉米高产竞赛的启示[J]. *玉米科学*, 2007, 15(6): 144-145.
- [17] 赵久然, 王荣焕. 30 年来我国玉米主要栽培技术发展[J]. *玉米科学*, 2012, 20(1): 146-152.
- [18] 李登海. 从事紧凑型玉米育种的回顾与展望[J]. *作物杂志*, 2000, 1(5): 1-5.
- [19] 赵久然. 简便易行、实用有效的玉米增产措施——优势互补型品种间套种法[J]. *北京农业科学*, 2001, 19(1): 33-34.
- [20] 裘敏, 刘旺清, 魏亦勤, 等. 超高产技术与我国未来粮食安全[J]. *内蒙古农业科技*, 2007(1): 15-17.
- [21] 肖家雄. 黄淮海夏玉米生产中相关问题的探讨[J]. *河北农业科学*, 2007, 11(3): 25-26.
- [22] 赵明, 李建国, 张宾, 等. 论作物高产挖潜的补偿机制[J]. *作物学报*, 2006, 32(10): 1566-1573.
- [23] 赵明, 王树安, 李少昆. 论作物产量研究的“三合结构”模式[J]. *北京农业大学学报*, 1995, 21(4): 359-364.
- [24] 赵明, 付金东. 玉米高产性能量化分析及其技术途径[J]. *玉米科学*, 2008, 16(4): 8-12.
- [25] 王志刚, 高聚林, 张宝林. 内蒙古平原灌区高产春玉米 (15 t hm⁻² 以上) 产量性能及增产途径[J]. *作物学报*, 2012, 38(7): 1318-1327.
- [26] 陈国平, 王荣焕, 赵久然. 玉米高产田的产量结构模式及关键因素分析[J]. *玉米科学*, 2009, 17(4): 89-93.
- [27] 曹国军, 耿玉辉. 叶青超高产春玉米产量构成特性分析[J]. *玉米科学*, 2012, 20(5): 80-83.
- [28] 金益, 张永林, 王振华, 等. 玉米灌浆后期的百粒重变化的品种间差异分析[J]. *东北农业大学学报*, 1998, 29(1): 7-11.
- [29] 李绍长, 盛茜, 陆嘉惠, 等. 玉米籽粒灌浆生长分析[J]. *石河子大学学报: 自然科学版*, 1999, 3(S1): 1-5.
- [30] 黄振喜, 王永军, 王空军, 等. 产量 15 000 kg · ha⁻¹ 以上夏玉米灌浆期间的的光合特性[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1898-1906.
- [31] 吴春胜. 超高产玉米灌浆速率与干物质积累特性研究[J]. *吉林农业大学学报*, 2008, 30(4): 382-385, 400.
- [32] 黄智鸿, 王思远, 申林, 等. 超高产玉米籽粒的灌浆特性[J]. *西北农业大学学报*, 2007, 16(4): 14-18.
- [33] 王志刚, 高聚林, 任有志, 等. 春玉米超高产群体冠层结构的研究[J]. *玉米科学*, 2007, 15(6): 51-56.
- [34] 王俊秀, 高聚林, 王志刚, 等. 不同覆膜方式对春玉米超高产群体冠层垂直结构的影响[J]. *玉米科学*, 2009, 17(6): 63-67.
- [35] 张玉芹, 杨恒山, 高聚林, 等. 超高产春玉米冠层结构及其生理特性[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(21): 4367-4376.
- [36] 胡昌浩. 玉米栽培生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [37] TOLLENAAR M, DAYNARD T B. Effect of source-sink relation on dry matter accumulation and leaf senescence of maize [J]. *Can J Plant Sci*, 1982, 62: 855-860.
- [38] KARLEN D L, LFLANNERY R, SADLER E J. Dry matter nitrogen, phosphorus and potassium accumulation rate by corn on norfolk loamy sand [J]. *Agron J*, 1987, 79: 649-656.
- [39] 黄智鸿, 王思远, 包岩, 等. 超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J]. *玉米科学*, 2007, 15(3): 95-98.
- [40] 李潮海, 刘奎. 不同产量水平玉米杂交种生育后期光合效率比较分析[J]. *作物学报*, 2002, 28(3): 379-383.
- [41] 王建林, 徐正进, 冯永祥, 等. 作物超高产栽培与株型育种的光合作用基础[J]. *中国农业通报*, 2004, 20(5): 130-133.
- [42] 何萍, 金继运. 氮钾营养对春玉米叶片衰老过程中激素变化与活性氧代谢的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5(4): 289-296.
- [43] KHAN M N A, MURAYAMA S, ISHIMINE Y, et al. Physio-morphological studies of F1 hybrids in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Plant Production Science*, 1998, 1: 231-239.
- [44] 王空军, 董树亭, 胡昌浩, 等. 我国 1950s-1990s 推广的玉米品种叶片光合特性演进规律研究[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 247-251.
- [45] TOLLENAAR M. Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959 to 1988 [J]. *Crop Science*, 1988, 29: 1365-1371.
- [46] ECHARTE L, LUQUE S, ANDRADE F H, et al. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1995 [J]. *Field Crops Research*, 2000, 68: 1-8.
- [47] DING L, WANG K J, JIANG G M, et al. Effects of nitrogen on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years [J]. *Annals of Botany*, 2005, 96: 925-930.
- [48] 黄智鸿, 李秀娟, 梁煊赫, 等. 超高产玉米品种叶片保护酶活性及膜脂过氧化作用研究[J]. *江苏农业科学*, 2008(2): 29-31.
- [49] 桑丹丹, 高聚林, 王志刚, 等. 不同覆膜方式下超高产春玉米花粒期叶片衰老特性研究[J]. *玉米科学*, 2009, 17(5): 77-81.
- [50] 王宜伦, 李潮海, 何萍, 等. 超高产夏玉米养分限制因子及养分吸收积累规律研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(3): 559-566.
- [51] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳, 等. 超高产夏玉米植株氮素积累特征及一次性施肥效果研究[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(15): 3151-3158.
- [52] 刘宝存, 孙明德, 吴静. 北京郊区粮田土壤养分与施肥[J]. *北京农业科学*, 1999, 17(6): 31-34.
- [53] 东先旺, 刘树堂, 殷玉楼, 等. 超高产夏玉米耗水特性与灌水指标的研究[J]. *莱阳农学院学报*, 1999, 16(3): 157-162.
- [54] 张玉芹, 杨恒山, 高聚林, 等. 超高产春玉米的根系特征[J]. *作物学报*, 2011, 37(4): 735-743.
- [55] 东先旺, 刘树堂, 陶世荣. 不同肥水组合对夏玉米水分利用效率及经济效益的影响[J]. *华北农学报*, 2000, 15(1): 81-85.
- [56] 齐文增, 陈晓璐, 刘鹏, 等. 超高产夏玉米干物质与氮、磷、钾养分积累与分配特点[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(1): 26-36.

(上接第 7764 页)

迅速将植物生长调节剂带入到植物组织内部作用, 一般用浓度 25% 丙酮代替清水作为赤霉素和激动素的溶剂, 对提高东方百合切花整齐度具有一定的促进效果。

5 小结与展望

近年来, 百合植物以其纯天然、无公害、富营养, 并具有观赏、药用、食用的特点而备受亲睐, 其潜在的价值研发已引起学者和医药行业的关注, 并得到了广泛的开发与利用。笔者介绍了百合的生物学特征、对光照、温度及其他环境条

件的要求以及这些因素对百合开花的影响, 提出在高海拔地区对百合开花期的主要调控技术, 从而为百合植物的开发利用提供科学和技术保证。

参考文献

- [1] 王凤兰, 周厚高, 黄子锋, 等. 百合花期调控技术[J]. *农业科技通讯*, 2004(8): 25.
- [2] 王磊, 汤庚国, 刘彤, 等. 球根花卉花期调控的研究进展[J]. *南京林业大学学报*, 2004, 28(1): 66-70.
- [3] 郭志刚, 张伟. 球根类[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [4] 潘文, 龙定建, 唐玉贵. 几种常见花卉的花期调控技术[J]. *广西林业科学*, 2003, 32(4): 205-206.