



徐杰飞,郭泰,王志新,等.大豆高产栽培技术研究进展及展望[J].黑龙江农业科学,2024(7):108-113.

大豆高产栽培技术研究进展及展望

徐杰飞,郭泰,王志新,郑伟,李灿东,赵星棋,王象然

(黑龙江省农业科学院 佳木斯分院/国家大豆产业技术体系佳木斯综合试验站,黑龙江 佳木斯 154007)

摘要:我国大豆单产较美国有很大差距,为打破我国大豆生产的困境,提高单产是关键因素之一。本文对我国与美国典型高产大豆进行整理、比较、分析。发现美国大豆单产高于我国大豆单产的原因是大豆品种具有抗草甘膦、高耐密、抗病性好和适应性广等特性,且还具有自然地理条件优异、灌溉技术与管理和田间管理较好等优势。通过分析影响我国与美国大豆单产的原因,提出我国大豆品种育种的未来方向应该注重耐密性和抗草甘膦等。在大豆栽培技术,如在合理密植与施肥技术、科学灌溉与排水、病虫害综合防控、化学调控、农业机械化与智能化等方面应特别关注。未来大豆高产研究还应关注基因编辑技术的应用、精准农业与智慧农业的创新与应用,加强国际合作与交流,从而为我国大豆高产研究与单产的提升提供理论指导。

关键词:大豆;高产典型;抗草甘膦;耐密植;抗病性;适应性

大豆是主要油料作物之一,同时含有丰富的蛋白质,又可以制作成多种豆类制品,也可以用于饲料^[1],我国每年消耗大豆较多,但我国大豆对外依存度高,自给率不足 15%,因国外大豆具有产量高、农业机械化程度较高等优势,使得国外大豆生产成本低,所以进口大豆的成本较低,导致我国大豆的竞争力显著下降,农民种植的积极性不高^[2]。我国政府已经关注到我国大豆受国外大豆影响较大,出台了一些促进农民种植的相关政策,如轮作补贴、大豆目标价格补贴、米改豆补贴等,但效果都不是很乐观^[3]。

中国和美国都是大豆的主要生产国,但两国在大豆产量上存在显著差异。中国历史上曾是大豆产量最高的国家,但从 20 世纪 50 年代开始,美国超越了中国,成为世界最大的大豆生产国,并在总产量和单产上表现出更大的优势^[4]。以 2019 年的数据为例,中国大豆总产量达到 1 810 万 t,种植面积 935 万 hm^2 ,平均产量为 $1\,935\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,相当于单产 $129\text{ kg}\cdot(667\text{ m}^2)^{-1}$ ^[5]。虽然在黑龙江省,甚至出现了产量为 $6\,712.9\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的大豆新品种合农 71,但是与美国相比,这些数字仍然显得较小。据美国农业部统计,2019 年美国大豆总产量为 9 666.87 万 t,种植面积 3 079.6 万 hm^2 ,平均产量为 $3\,139\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,相当于单产量 $209\text{ kg}\cdot(667\text{ m}^2)^{-1}$ ^[6]。

可以看出,美国大豆的总产量是中国的 5.3 倍,种植面积是中国的 3.3 倍,平均单产是中国的 1.6 倍。这些数据揭示了一个明显的事实:尽管中国在大豆生产方面有着悠久的历史,并且不断推动新品种的研发,但在产量上仍然与美国存在显著的差距。因此本文对国内外大豆高产典型进行整理、比较、分析,旨在找出我国大豆单产与国外单产相差较大的原因,为我国大豆育种指明方向,也提出一套适合我国基本国情、可复制的高产栽培技术,同时也指出未来大豆高产研究应关注的方向,为我国大豆高产研究与单产的提升提供理论指导。

1 我国与美国大豆高产典型

1.1 我国大豆高产典型

1.1.1 黑龙江省大豆高产典型 黑龙江省在我国大豆种植面积和产量已经多年稳居全国第一,黑龙江省地处于三江平原、松嫩平原两大黑土平原,地势平坦、土质肥沃、雨热同期,适宜大豆生长,提高大豆产量有很大潜力,已经创制出大量的高产典型^[7-8]。早在 1996 年巴彦县大豆种植面积 $8\,600\text{ hm}^2$,平均产量达 $3\,553.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的高产纪录^[9],2005 年九三农垦分局以 24 万 hm^2 创造了产量达 $2\,955\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的高产纪录,2008 年创

收稿日期:2024-03-19

基金项目:黑龙江省揭榜挂帅项目(2021ZXJ05B02);农业生物育种重大项目(2023ZD0403103);黑龙江省属科研业务费项目“高油高产大豆新种质创制及育种利用”(CZKYF2021-2-C009);黑龙江省农业科技创新跨越工程农业科技基础创新杰青项目(CX22JQ02)。

第一作者:徐杰飞(1993—),女,助理研究员,从事大豆育种与栽培研究。E-mail:xujiefei008@163.com。

通信作者:郭泰(1964—),男,硕士,二级研究员,从事大豆育种与栽培研究。E-mail:guotaidadou@163.com。

造了小面积产量达 $4\ 869\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的高产纪录, 2019 年大豆品种绥农 48 在绥化市北林区西长发镇采用“垄三”栽培, 产量达 $4\ 401\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 2020 年大豆品种合农 71 在和平牧场采用“垄三”栽培滴灌, 产量达 $5\ 043\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。2022 年大豆品种合农 71 在黑龙江省肇源县采用“垄三”栽培喷灌, 示范面积 $7.3\ \text{hm}^2$, 专家实收测产面积 $0.144\ \text{hm}^2$, 平均产量为 $5\ 124\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 打破了寒地旱作条件下东北地区大豆单产纪录^[10]。

1.1.2 全国大豆高产典型 我国大豆高产纪录近几年都是在新疆创造的, 新疆作为我国大豆发展的新区域, 也是全国大豆的高产区, 20 世纪 90 年代至今多次创造了全国大豆高产纪录和高产典型^[11]。2019 年大豆品种合农 71 在新疆维吾尔自治区石河子市采用覆膜滴灌, 由专家测定产量为 $6\ 712\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 刷新了全国大豆单产纪录^[12]。2021 年大豆品种吉育 86 在新疆农垦科学院试验场 2 轮 3 号地, 采用膜下滴灌宽窄行种植, 产量达 $6\ 803.1\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 刷新了全国大豆单产纪录。2022 年大豆品种龙垦 324 在新疆农垦科学院 1 轮试验地, 由专家小面积实收测产, 产量达 $7\ 008.6\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 刷新了全国大豆单产纪录。

1.2 美国大豆高产典型及大豆单产变化

1983 年美国新泽西州大豆品种 A3127 产量达 $7\ 939.95\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 2007 年美国密苏里州农民“Kip Cullers”种植大豆品种 94M80 创造了世界大豆高产纪录, 产量达 $10\ 414.05\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 并连续 3 年夺得大豆产量竞赛冠军, 两次破世界纪录^[13]。2017 年美国密苏里州创造了被誉为大豆神话的产量 $10\ 413.75\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 2023 年 8 月佐治亚州亚历克斯·哈勒尔(Alex Harrell)史密斯维尔(Smithville)的农场以 $13\ 890.00\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 打破了大豆产量的世界纪录。

大豆的产量主要受到农业生产力水平和气候条件的影响, 其中农业生产力水平对大豆产量起着决定性的作用^[14]。在过去的 60 年里, 美国的大豆产量呈现出明显的上升趋势^[15]。美国大豆单产自 1961 年以来, 从 $1\ 690\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 上升至 2019 年的 $3\ 189\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 增长了约一倍。并且, 这种增长是以平均每年 $25\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加, 相当于平均每年增长 1.5%。美国大豆产量的增长速度也呈现出阶段性的变化^[6]。1961 至 1973 年为第一个阶段, 平均每年递增 $14\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 增速相对较低, 也反映了当时农业生产力水平的有限性。

1974 至 1994 年为第二个阶段, 平均每年递增速度为 $57\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 提高幅度较大。这 20 年是美国大豆产量提升最快的时期, 种植转基因大豆、生产技术提高等方面, 促进了大豆产量的提升。1995 至 2019 年为第三个阶段, 大豆产量的提高速度为平均每年增加 $32\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 总体上增长速度比第二阶段有所放缓。这一时期大豆生产技术的进一步提升, 主要得益于大豆转基因技术的进一步推广使用、高产集成技术的大力推广和病虫害防治的加强等^[16-17]。值得注意的是, 虽然 2016 年美国大豆产量达到历史最高值 $3\ 494\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 但在 2017 年和 2019 年两年出现了减产。主要原因在于气候因素, 如多雨、干旱和降水偏多等影响了产量的形成^[17-19]。

2 大豆高产典型的原因分析

2.1 我国大豆高产典型栽培技术

新疆和黑龙江省在全国大豆种植具有非常重要的地位, 分析这两个地方的高产典型栽培技术具有重要的意义, 可为我国大豆单产提升提供技术支持。

2.1.1 新疆春大豆膜下滴灌高产栽培技术 近几年全国大豆单产纪录主要在新疆地区产生, 这表明新疆在提高大豆产量方面取得了显著成就。新疆是典型的大陆性气候, 热量丰富, 光照充足, 降水量少, 相对湿度低, 病虫害少, 灌溉农业, 为实现大豆超高产创造了有利的条件^[20]。同时, 膜下滴灌、水肥一体化等农业技术的广泛应用, 为大豆生长提供了良好的水分和养分供应, 有助于提高产量^[21]。新疆地区的大豆高产创建应用的相关技术对全国大豆单产的提升具有重要的参考价值。这些技术包括采用覆膜滴灌宽窄行种植方式、选用适宜的品种、种子精选、适期播种、合理密植、水肥一体化、化学调控、病虫害防治等。通过综合运用这些技术, 新疆地区的大豆产量得到了显著提高^[22]。

2.1.2 黑龙江省“垄三”栽培喷灌高产栽培技术 黑龙江省在我国无论是大豆种植面积还是总产量都是全国第一, 黑龙江省的高产典型对于全国来说具有重要意义, 现在以 2022 年大豆品种合农 71 在黑龙江省肇源县采用“垄三”栽培滴灌, 平均单产 $341.6\ \text{kg}\cdot(667\ \text{m}^2)^{-1}$, 折合产量 $5\ 124\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 目前东北地区最高单产纪录应用的“垄三”栽培喷灌高产栽培技术, 为大豆高产高效提供了较好的依据。合农 71 创高产的原因, 是由于该品种本身

具有秆强不倒伏,分枝能力强,有效节数、单株荚数与粒数多,丰产性好,产量潜力大;抗逆、抗病、适应性好,综合性状优,且栽培措施上应用了粮豆轮作、平衡施肥技术、适时早播与种子处理技术、精细除草技术、喷灌补水补肥技术、化学调控技术、叶面补肥与病虫害防治技术等^[23]。

2.2 美国大豆高产典型栽培技术

世界大豆最高单产纪录的保持者是美国,美国多个高产纪录都在密苏里州,2007 年世界大豆单产纪录 $10\,414.05\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,就产自密苏里州的 Stark City,这是一个典型的农村小镇^[13]。2017 年美国密苏里州创造了被誉为大豆神话的产量 $10\,413.75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。其中在 2007 年密苏里州创高产主要原因是,密苏里州得天独厚的土壤和气候条件有利于大豆的生长,大豆品种选择具有高耐密、抗草甘膦、多抗、抗倒伏、单株荚多节多,丰产性好,适应性好等优点的大豆品种 94M80;采用宽窄行种植,保苗株数 $55\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$;化学调控:使用生长调节剂,缩短节间的生长调节物质;灌溉:在大豆开花后对大豆田进行天天喷灌,温度高时甚至一天两次,每次灌水量不多,仅 $7\sim 8\text{ mm}$;施肥:大豆出苗 20 cm 左右进行追肥,根据其产量至少施用纯氮 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,除了氮肥外还有多种微量元素,主要是铁和镁,一般与杀菌剂和除草剂一起喷施;病虫害防治:病虫害严重,尤其是菌核病发病率非常高,病株随处可见,多次使用杀菌剂 Headline。经过防治后,田间发病植株仍高达 20% ,产量会受到影响,田间管理极为精细。

2.3 我国与美国大豆高产差别的原因

从我国与美国大豆高产典型应用的栽培技术上分析,主要从大豆品种、自然环境、灌溉、精细化的田间管理等一些方面有差别。

2.3.1 品种差异 美国的高产大豆品种通常具备抗草甘膦、高耐密、抗病性好和适应性广等特性。这些品种的种植密度可以达到 $55\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[24-25]。我国现在生产上还是主要以常规大豆品种为主,虽然已经培育出了抗草甘膦的转基因大豆品种,脉育 526 等,但其耐密性等一些方面与美国大豆品种还是有一些差距,我国在转基因技术方面还有待加强,通过持续的研发和改良,有望培育出更多具备抗除草剂、高耐密和多抗等优点的大豆品种^[26]。

2.3.2 自然地理条件 美国的大豆主产区位于温带和亚热带地区,拥有适宜的气候和肥沃的土

壤,有利于大豆的生长和发育^[27]。相比之下,我国的大豆主产区主要位于东北和黄淮海地区,气候条件和土壤肥力相对较差,这在一定程度上限制了大豆的生长和产量^[28-29]。

2.3.3 灌溉技术与管理 美国作为灌溉农业的代表,其灌溉技术和管理相对成熟。政府提供补贴,使得田间灌溉设备得到广泛普及,农民可以根据大豆需肥规律进行给水给肥^[27-30]。而在我国,尤其是东北地区,灌溉设备相对短缺,只有部分高产地块能够铺设灌溉设备^[31]。为了提高大豆的产量,政府需要加大资金投入,调动农民积极性,增加灌溉设备的普及率。

2.3.4 田间管理 在美国,大部分农业土地掌握在农场主手中,大农场机械化程度高。农场主能够观察大豆的生长、病虫害发生情况以及天气变化,并采取现代农业科技解决存在的问题,调控生长过程^[32-33]。而在我国,大部分土地由散户手中掌握,机械化程度较低。为了提高大豆产量,政府需要提供财政支持,使土地集中起来(如:合作社),应用大型机械^[34]。同时,需要对合作社的农民进行高产栽培技术的培训,并在田间生产遇到问题时及时提供解决方案^[35]。

3 我国大豆品种选育方向及栽培技术

3.1 大豆品种选择及培育方向

要根据种植地区气候和土壤条件选择适合的优良大豆品种。优良品种是提高大豆单产的基础,需要注重耐密性、抗病性、耐逆性和适应性等方面的选择^[36-37]。在大豆品种培育时,应根据国外大豆品种特点,如耐密性强、多抗等优点,在后代材料选择时重点关注耐密性、抗病性等。随着分子生物学的发展,尤其 CRISPR/Cas9 基因编辑技术的出现及不断优化^[38],使得单基因的改变以及鉴定、多基因聚合等成为了可能,也能加快育种进程。还应加大转基因育种的投入,加快培育适应生产的具有抗草甘膦、高耐密、多抗等优点的大豆品种^[39]。

3.2 合理的密植与施肥技术

合理的种植方式和种植密度是实现高产的关键因素之一。应根据选择的大豆品种、种植方式及土壤和气候特点等因素综合选择适宜的种植密度,在适宜的范围适当密植,有利于提高大豆的群体产量^[40],也应根据当地的环境条件、农机现代化水平、品种特性确定适宜的种植方式,现在黑龙江省主推的种植方式有“垄三”栽培、大垄密^[41],

除了主推的还有一部分应用小垄窄行密植^[42]、宽窄行种植^[43-44]等。在施肥方面,需要科学合理地施用氮、磷、钾等营养元素。根据土壤养分状况(测土配方施肥)和大豆生长需求,制定合理的施肥方案,确保大豆生长所需营养的供应^[40]。应多关注叶面肥的应用,花期喷施叶面肥可以增加单株粒数和单株荚数、结荚期或鼓粒期施叶面肥可以显著增加大豆种子的百粒重,增产效果显著^[43]。

3.3 科学的灌溉与排水

为了优化大豆的生长和产量,需要根据大豆的生长发育规律来合理补充田间水分,以及在发生涝害时进行及时排水,因此应具备排灌结合的农田水利配套设施。特别是在大豆的几个关键生长发育时期,如开花期、结荚期和鼓粒期,水分的供应尤为重要^[45]。为了实现精准灌溉,可以采用现代化的农业技术,如土壤湿度传感器和自动灌溉系统等,根据田间的实时湿度数据来决定是否需要补充水分^[46]。同时,结合当地的气候条件和土壤特性,制定科学的灌溉计划,并在发生涝害时能够及时排水,确保大豆在各个关键生长发育时期都能获得适宜的水分供应。

3.4 病虫害综合防控

在大豆生长发育过程中,病虫害是常见的侵扰因素,它会妨碍大豆的正常生长,并最终影响其产量^[47]。在中国大豆病虫害较多,能产生重大危害的有 50 多种,其中近几年在全国爆发最严重的大豆根腐病已经被农业农村部列为大豆生产上唯一的“一类农作物病虫害”^[48]。一旦大豆田受到病虫害的侵袭,治理工作往往变得复杂和困难。因此,最好的策略是以预防为主,治疗为辅,可以有效降低病虫害的发生率,从而减少大豆产量的损失^[49],如大豆种子进行种衣剂包衣,降低土传病害的发生几率^[50],还可以应用现代科学技术进行病虫害的预防,如大豆病虫害智能化监测预警技术等^[51]。

3.5 化学调控

在大豆种植中,适当的化学调控有助于优化大豆的生长和产量。在大豆苗期,为了增加植株的抗倒伏性,通常会进行矮化处理^[52]。这主要通过使用植物生长延缓剂来实现,如多效唑、烯效唑等。这些药剂可以降低大豆植株的高度,使其更为矮壮,从而提高抗倒伏的能力^[53]。

3.6 农业机械化与智能化

现代农业应逐步走向机械化与智能化,引入自动化设备,如自动喷灌、施肥,同时通过传感器、

遥感技术等,实时监测农作物生长状态,并及时给水给肥等。现在农民虽然拥有各种农业机械设备和工具,农田作业效率比传统农业提高很多,但仍存在人工操作的局限性和不确定性,使得农作物产量和质量参差不齐。随着科技的发展,现代农业机械化与智能化的应用使农业变得规范化和精细化^[54-55]。

4 总结及展望

本文通过对我国与美国典型高产大豆品种的比较和分析,深入探讨了美国大豆的单产水平普遍高于我国的原因。在对比中发现,首先,美国大豆品种在遗传特性上表现出明显的优势,这些品种通常具备抗草甘膦、高耐密、抗病性强以及广泛的适应性等优点,这些优点使得美国大豆在面对多变的环境条件和病虫害时,能够保持较高的生产效率和稳定性。其次,自然地理条件也是影响大豆产量的重要因素,国外许多大豆种植区域拥有得天独厚的自然地理条件,如适宜的气候、丰富的水资源和肥沃的土壤等,这些都为大豆的高产提供了有力保障。自然地理条件作为一个客观存在的因素,无法直接改变。因此,我国应将关注点放在提升大豆品种的遗传特性上,尤其是培育具备抗草甘膦、高耐密、抗病性好、适应性广等优点的转基因大豆品种。在栽培技术上,也应当积极引进和改良国外的先进经验。例如,合理的密植与施肥技术,可以提高大豆群体的光能利用率和产量。科学的灌溉与排水,水肥一体化管理则能够确保大豆在不同生长阶段得到适量的水分和养分,从而提高其产量。此外,病虫害综合防控、化学调控以及农业机械化与智能化等也是提升大豆产量的关键。

大豆高产相关研究为大豆高产以及单产提升做出了很大的贡献,给予了未来农业的发展方向。随着生态气候的变化,极端天气增多、土壤退化与资源限制、病虫害的频发与防治难度增加等,应持续进行大豆高产研究与创新。在未来大豆高产研究应关注以下 3 点:(1)基因编辑技术的应用,能够加快培育具有高产、耐密、抗病等优点的大豆品种;(2)精准农业与智慧农业的创新和应用,农业机械化与智能化是农业发展的必然趋势,能够提高农业的生产效率和质量;(3)加强国际合作与交流,我国大豆单产与国外还有很大的差距,应多引进国外先进的农业技术并将之本土化,助力我国大豆单产提升。

参考文献:

- [1] 李江涛,郭海悦,于会勇.大豆常规育种与分子育种方法分析[J].大豆科技,2023(5):25-29.
- [2] 徐杰飞,郭泰,王志新,等.大豆常规育种和分子育种相结合的研究进展[J].现代农业,2021(6):2-4.
- [3] 李娜.生产者补贴政策下黑龙江省农户大豆种植行为响应研究[D].长春:吉林农业大学,2023.
- [4] 常汝镇,邱丽娟,李向华.我国大豆的生产和创新研究[J].中国农学通报,2001,17(3):91-93.
- [5] 2019年全国粮食总产量66384万吨,同比增长0.9%[J].粮食科技与经济,2019,44(12):1.
- [6] 赵秀兰,王冀.近60年美国大豆产量变化及气候影响特征与未来展望[J].农业展望,2022,18(1):26-32.
- [7] 马增林.黑龙江省大豆产业发展问题研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2009.
- [8] 赵贵兴,吴俊江,王金生,等.黑龙江省大豆高产栽培技术[J].大豆科技,2022(3):39-43.
- [9] 孙延生,杨桂兰.黑龙江省巴彦县大豆“大垄密”高产栽培技术[J].农民致富之友,1997(6):8.
- [10] 郭美玲,郭泰,高中奎,等.合农71高产创建关键技术[J].中国种业,2023(1):140-143.
- [11] 董志新,李绍长,张煜星,等.中国大豆生产发展和超高产研究对策[J].石河子大学学报(自然科学版),2001,19(2):170-172.
- [12] 郭美玲,郭泰,王志新,等.创全国大豆高产纪录品种合农71及其超高产栽培技术[J].黑龙江农业科学,2020(6):139-141.
- [13] 孙寰.世界大豆高产新记录:10414公斤/公顷:访高产记录创造者 Kip Cullers[J].大豆科技,2010(2):1-4.
- [14] LLANO M P, VARGAS W. Climate characteristics and their relationship with soybean and maize yields in Argentina, Brazil and the United States[J]. International Journal of climatology,2016,36(3):1471-1483.
- [15] ANDERSEN M A, ALSTON J M, PARDEY P G, et al. A century of U. S. farm productivity growth: a surge then a slowdown[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2018, 100(4): 1072-1090.
- [16] 尹小刚,陈阜.1961—2017年全球大豆生产时空变化[J].世界农业,2019(11):65-71.
- [17] YU C Z, MIAO R Q, KHANNA M. Maladaptation of U. S. corn and soybeans to a changing climate[J]. Scientific Reports, 2021, 11: 12351.
- [18] BURCHFIELD E, MATTHEWS-PENNANEN N, SCHOOF J, et al. Changing yields in the Central United States under climate and technological change[J]. Climatic Change, 2020, 159(3): 329-346.
- [19] MALIKOV E, MIAO R Q, ZHANG J F. Distributional and temporal heterogeneity in the climate change effects on U. S. agriculture[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2020, 104: 102386.
- [20] 魏建军.新疆超高产大豆群体生理参数及栽培措施的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2009.
- [21] 白盼盼,任金涛,章建新,等.不同水氮处理对膜下滴灌春大豆根系生长及产量的影响[J].大豆科学,2023,42(3):326-334.
- [22] 曾凯,战勇,张恒斌,等.新疆春大豆膜下滴灌高产栽培技术[J].新疆农垦科技,2023,46(5):16-17.
- [23] 郭美玲,郭泰,王志新,等.合农71品种优势与高产创建产量结果及高产原因分析[J].中国种业,2022(4):57-59.
- [24] BERTRAM M G, PEDERSEN P. Adjusting management practices using glyphosate-resistant soybean cultivars[J]. Agronomy Journal, 2004, 96(2): 462.
- [25] SOARES I O, de REZENDE P M, BRUZI A T, et al. Interaction between soybean cultivars and seed density[J]. American Journal of Plant Sciences, 2015, 6(9): 1425-1434.
- [26] 崔宁波,张正岩.转基因大豆研究及应用进展[J].西北农业学报,2016,25(8):1111-1124.
- [27] JUMRANI K, BHATIA V S. Identification of drought tolerant genotypes using physiological traits in soybean[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants: an International Journal of Functional Plant Biology, 2019, 25(3): 697-711.
- [28] 耿金剑.不同措施对极早熟冷凉地区大豆生长发育和产量影响[D].北京:中国农业科学院,2017.
- [29] 周志刚,王小利.生物黑炭施用对黄淮海地区大豆产量和土壤肥力的影响[J].耕作与栽培,2016(2):5-7,13.
- [30] RAZA A, RAZZAQ A, MEHMOOD S S, et al. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review[J]. Plants, 2019, 8(2): 34.
- [31] 张佰艾.农田水利灌溉的意义及应用措施[J].河南农业,2023(29):57-58.
- [32] GREGG E S, COLTON J, MATIN M A, et al. Efficient and participatory design of scale-appropriate agricultural machinery workshops in developing countries: a case study in Bangladesh [J]. Development Engineering, 2020, 5: 100046.
- [33] LOUKATOS D, KONDOYANNI M, ALEXOPOULOS G, et al. On-device intelligence for malfunction detection of water pump equipment in agricultural premises: feasibility and experimentation[J]. Sensors (Basel), 2023, 23(2):839.
- [34] 赵金英,何雯瑾,何伟威.推进黑龙江省农民合作社高质量发展的思考[J].中国农民合作社,2023(5):63-64.
- [35] 隰志欣,田素妍.规模经营农业技术培训与家庭农场经营绩效:基于CHIP和CLES数据调查[J].农业与技术,2023,43(21):157-163.
- [36] 李灿东.大豆种质资源耐密性评价及鉴定指标筛选[J].大豆科学,2020,39(5):688-695.
- [37] 吕锟.大豆耐密植评价方法建立及耐密植种质资源筛选[D].合肥:安徽农业大学,2021.
- [38] YAO D, ZHOU J M, ZHANG A J, et al. Advances in CRISPR/Cas9-based research related to soybean [*Glycine max* (Linn.) Merr] molecular breeding[J]. Frontiers in Plant Science, 2023, 14: 1247707.
- [39] 李荣兴,郭静,李秋澄,等.转基因抗草甘膦大豆叶片降解对土壤微环境的影响[J].中国生物防治学报,2023,39(1):88-97.

[40] 任廷虎,李宗尧,杜斌,等. 有机肥施用及合理密植提高黄淮海地区夏大豆光系统性能与籽粒产量[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(8): 1361-1375.

[41] 赵宽,王楠,兰磊,等. 试析大豆大垄窄行密植栽培及病虫害防治[J]. 种子科技, 2021, 39(9): 34-35.

[42] 余志. 大豆小垄窄行密高产栽培技术[J]. 大豆科技, 2010(2): 61.

[43] 田艺心,高凤菊,曹鹏鹏,等. 不同时期喷施叶面对高蛋白大豆生长性状及增产效果的影响[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(23): 151-153.

[44] 林海波. 种植密度对不同大豆品种产量及产量构成因素的影响[J]. 陕西农业科学, 2023, 69(6): 55-58.

[45] 王欣亮. 黑龙江省大豆需水规律、干旱及分区灌溉制度的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.

[46] CAPRARO F, TOSETTI S, ROSSOMANDO F, et al. Web-based system for the remote monitoring and management of precision irrigation: a case study in an arid region of Argentina[J]. Sensors, 2018, 18(11): 3847.

[47] 李琼,张晓明. 病虫害对 5 个大豆主产国大豆产量影响的概述[J]. 农学学报, 2018, 8(4): 23-27.

[48] 叶文武,刘万才,王源超. 中国大豆病虫害发生现状及全程绿色防控技术研究进展[J]. 植物保护学报, 2023, 50(2): 265-273.

[49] 代凤. 黑龙江省大豆病虫害综合防治措施要点[J]. 基层农技推广, 2022, 10(5): 81-82.

[50] 杨君立,何景新. 大豆包衣防治根腐病及地下害虫研究[J]. 种子世界, 2014(8): 28-29.

[51] 孙平立,乌恩,王宇,等. 大豆病虫害智能化监测预警及综合防治技术[J]. 农业工程技术, 2023, 43(23): 33-34.

[52] 黄甜,黄俊霞,同晓艳,等. 多效唑对繁茂度不同株型大豆产量及生理调控的影响[J]. 东北农业科学, 2021, 46(3): 20-23, 33.

[53] 韩冬,周伟鑫,张景云,等. 不同植物生长调节剂对大豆生长及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2023(12): 20-28.

[54] 张娟. 关于农业种植技术和现代农业机械化的相关性探讨[J]. 种子科技, 2023, 41(15): 136-138.

[55] 李现云,张洪明. 现代农业机械化与智能化技术[J]. 农业工程技术, 2023, 43(30): 16-17.

Research Progress and Prospects of High-Yield Cultivation Technology for Soybeans

XU Jiefei, GUO Tai, WANG Zhixin, ZHENG Wei, LI Candong, ZHAO Xingqi, WANG Xiangran
(Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Jiamusi Comprehensive Experiment Station of National Soybean Industry Technology System, Jiamusi 154007, China)

Abstract: There is a significant gap in soybean yield between China and the United States, and increasing yield is one of the key factors to break the difficulties in soybean production in China. This article summarized, compared, and analyzed typical high-yield soybeans in China and the United States. It was found that the reasons for the higher yield of American soybeans compared to Chinese soybeans were that soybean varieties had characteristics such as glyphosate resistance, high density tolerance, good disease resistance, and wide adaptability, excellent natural geographical conditions, good irrigation technology and management, and field management. By analyzing the reasons that affect the yield of soybean in China and the United States, it was proposed that the future direction of soybean breeding in China should focused on density tolerance and glyphosate resistance. Special attention should be paid to soybean cultivation techniques, such as reasonable planting and fertilization techniques, scientific irrigation and drainage, comprehensive pest and disease control, chemical regulation, agricultural mechanization and intelligence. Future research on soybean high-yield should also focus on the application of gene editing technology, innovation and application of precision agriculture and smart agriculture, strengthen international cooperation and exchange, and provide theoretical guidance for China's soybean high-yield research and yield improvement.

Keywords: soybeans; high yield typical; resistance to glyphosate; durable to dense planting; disease resistance; adaptability

欢迎关注本刊微信公众号

