

国审转基因大豆品种的农艺性状、 产量、品质及抗性分析

赵阳¹ 李敏敏² 张兰迎³ 张成才³ 赵鹏³ 何小春² 宋阜徽³ 孙立信³ 邱牧²
(¹ 洛阳职业技术学院,河南洛阳 471000;² 山东省聊城市农业科学院,聊城 252000;³ 山东省临朐县农业农村局,临朐 262600)

摘要:随着转基因技术的快速发展,转基因大豆品种在我国农业生产中的应用日益广泛。本研究系统分析了2023–2025年国家审定的19个转基因大豆品种的性状信息,旨在评估其转基因性状构成、农艺与产量品质表现、抗性特征及育种分化。结果表明,所有品种均具备耐草甘膦特性,部分品种(“脉育”系列)兼具耐草铵膦能力,转化体来源呈现以国内机构为主的多元化趋势。农艺与产量品质性状在不同生态区间分化显著:北方春大豆品种株高秆壮,黄淮海夏播品种单株生产力突出,长江流域品种则矮秆多分枝。相关性分析显示,产量与单株粒重、单株有效荚数、单株粒数呈强正相关,粗蛋白与粗脂肪含量存在极显著负向权衡。聚类分析将品种划分为4个类群,包括综合均衡型、高油专用型、性状混杂型及高蛋白多分枝型,反映出清晰的育种目标分化。抗性评价表明品种对花叶病毒病具有一定抗性,但对胞囊线虫抗性普遍较弱。总之,转基因除草剂耐受性状为高产优质育种提供了关键技术支撑,未来应注重加强品种的生态区精准布局。

关键词:转基因大豆;农艺性状;产量;品质;抗性

Analysis of Agronomic Traits, Yield, Quality and Resistance of Nationally Reviewed Genetically Modified Soybean Varieties

ZHAO Yang¹, LI Minmin², ZHANG Lanying³, ZHANG Chengcai³, ZHAO Peng³,
HE Xiaochun², SONG Fuhui³, SUN Lixin³, QIU Mu²

(¹ Luoyang Vocational Technical College, Luoyang 471000, Henan; ² Liaocheng Academy of Agricultural Sciences, Liaocheng 252000, Shandong; ³ Linqu County Agricultural and Rural Bureau, Linqu 262600, Shandong)

大豆作为我国重要的粮油兼用作物,在保障植物油和植物蛋白供给、维持农业生态平衡等方面具有不可替代的作用,其生产稳定性直接关系到国家粮食安全战略的顺利实施^[1]。然而,在传统大豆种植模式下,田间杂草防控难度大、人力成本高^[2],加之土传病害与气传病害频发,严重制约了大豆单产与品质的提升,影响着农户种植效益与生产积极性。因此,探索更加高效、绿色的大豆生产方式,成为推动大豆产业可持续发展的迫切需求。

近年来,转基因技术在大豆育种中的应用为

上述问题提供了有效的解决路径^[3]。通过导入耐除草剂等目标性状,转基因大豆品种能够与化学除草剂协同使用,实现高效、精准的杂草防除,显著降低了田间管理的人工投入与除草风险。同时,部分品种还聚合了抗病虫、耐旱等遗传特性,进一步增强了作物在生物与非生物胁迫下的适应能力,从而提升了大豆生产的可控性、稳定性与规模化种植效率。

为科学评价转基因大豆的综合表现,本研究系统收集了2023–2025年通过国家农作物品种审定委员会审定的19个转基因大豆品种,涵盖不同的遗传背景与性状组合。研究分析了这些品种在关键农艺

性状(如株高、生育期)、抗逆能力(抗病性、抗虫性及耐除草剂性能)以及产量构成因素等方面的具体表现,以期对不同生态区的大豆品种合理布局、配套栽培技术优化及产业化推广应用提供坚实的数据支撑和决策依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源 数据来源于国家农作物品种审定委员会于2023–2025年审定的转基因大豆品种信息。本研究共收集了在此期间通过国审的全部19个品种(表1),涵盖了由中国农业科学院作物科学研究所(转化体中黄6106)、北京大北农生物技术有限公司(转化体DBN9004)以及上海交通大学(转化体SHZD3201)等不同主体所研发的系列品种,包括“中联豆”“脉育”和“交育”等系列,确保了数据集的时效性与代表性。

1.2 分析指标 分析指标主要包括三大类性状:(1)农艺性状:生育日数、株高、主茎节数、有效分枝数、底荚高度、单株有效荚数、单株粒数和单株粒重;(2)产量与品质性状:百粒重、生产试验产量表现(生试产量)、粗蛋白含量和粗脂肪含量;

(3)抗逆性状:重点关注其转基因目标性状(如耐草甘膦、耐草铵膦)以及对其主要病害的抗性。这些指标全面反映了品种的生产性能、适应性与经济价值。

1.3 数据处理 采用描述性统计与比较分析法,对不同生态区、不同转化体来源的品种进行归类分析。通过R语言^[4]程序包ggplot2、dplyr、tidyr、gridExtra绘制箱线图,直观展示各性状的分布特征与品种间变异。通过R语言程序包corrplot、Hmisc、dplyr、RColorBrewer进行相关性分析,并绘制相关性热图。通过R语言程序包cluster、dendextend、ggplot2进行聚类分析,以树状图可视化结果,揭示不同品种间的表型相似性与分组结构。

2 结果与分析

2.1 转基因性状与转化体来源 通过对国审转基因大豆品种信息(表1)的分析可知,当前获批的转基因大豆品种均以耐草甘膦为主要目标性状,其中大部分品种使用了中国农业科学院作物科学研究所提供的中黄6106转化体。此外,北京大北农生物

表1 国审转基因大豆品种信息

序号	品种	审定年份	品种来源	转基因目标性状	转化体名称	转化体所有者
1	中联豆 1512	2023	黑农 69// 哈北 46-1/ 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
2	中联豆 1510	2023	黑农 69// 哈北 46-1/ 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
3	中联豆 1311	2023	黑农 69// 哈北 46-1/ 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
4	中联豆 1309	2023	北豆 40// 北豆 40// 黑河 38/ 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
5	中联豆 2041	2023	华疆 2 号 // 垦丰 20/ 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
6	中联豆 2109	2023	华疆 2 号 // 克山 1 号 / 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
7	中联豆 2825	2023	黑河 43// 黑河 43/ 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
8	中联豆 1307	2023	北豆 40// 北豆 40// 黑河 38/ 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
9	中联豆 1505	2023	黑农 69// 哈北 46-1/ 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
10	脉育 565	2023	合丰 50/DBN9004	耐草甘膦、草铵膦	DBN9004	北京大北农生物技术有限公司
11	脉育 579	2023	合丰 50/DBN9004	耐草甘膦、草铵膦	DBN9004	北京大北农生物技术有限公司
12	脉育 511	2023	合丰 50/DBN9004	耐草甘膦、草铵膦	DBN9004	北京大北农生物技术有限公司
13	脉育 503	2023	合丰 50/DBN9004	耐草甘膦、草铵膦	DBN9004	北京大北农生物技术有限公司
14	脉育 526	2023	合丰 50/DBN9004	耐草甘膦、草铵膦	DBN9004	北京大北农生物技术有限公司
15	脉育 4003	2024	中黄 35// 中黄 13/DBN9004	耐草甘膦、草铵膦	DBN9004	北京大北农生物技术有限公司
16	中联豆 6024	2024	冀豆 17// 黑河 38/ 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
17	中联豆 5046	2024	汾豆 99/ 中黄 6106	耐草甘膦	中黄 6106	中国农业科学院作物科学研究所
18	交育 1 号 GS	2025	中豆 32 (SHZD3201) /Williams82	耐草甘膦	SHZD3201	上海交通大学
19	交育 7401GS	2025	中豆 32 (SHZD3201) /Williams82	耐草甘膦	SHZD3201	上海交通大学

技术有限公司开发的 DBN9004 转化体则兼具耐草甘膦和草铵膦双重抗性,应用于“脉育”系列品种。2025 年审定的“交育”系列品种则引入了上海交通大学自主开发的 SHZD3201 转化体,进一步丰富了转基因大豆的转化体来源。整体来看,我国转基因大豆育种呈现出以国内科研机构与企业为主体的技术体系,性状集中、转化体来源逐步多元化,反映出在保障除草剂耐受性方面的技术积累与品种选育进展。

2.2 农艺及产量、品质性状统计分析 对 19 个国审转基因大豆品种的产量及农艺性状进行统计分析表明,其产量主要分布在 2545.5~3223.5kg/hm² 范围内,表现出较为稳定的产量潜力(图 1)。株高(63.7~120.0cm)、有效分枝数(0.2~3.3 个)等农艺性状变异明显,显示出多样的株型结构。品质方面,粗蛋白含量介于 35.80%~43.28% 之间,粗脂肪含量在 19.04%~23.69% 之间,呈现出显著品种差异。整体来看,各性状在不同品种间存在广泛变异,反映出明确的遗传多样性及差异化育种

目标。

从株型与产量品质的综合视角看,三大生态区的转基因大豆品种呈现出鲜明的适应性分化(表 2)。北方春大豆品种株高较高、主茎节数多但有效分枝数极少,表现为典型的高大、单秆型株型,以充分利用北方春播区的长日照和生长季;黄淮海夏播品种在株高和主茎节数上表现突出,同时单株生产能力极强(单株有效荚数、单株粒数、单株粒重均明显最高),显示出其在高密度夏播条件下追求个体高产潜力的特点;而长江流域品种则株高最矮、分枝性最强,株型更为紧凑,以适应该地区的多熟制种植和密植需求。在产量表现上,黄淮海品种平均生试产量最高,与其优良单株性状直接相关;品质方面,长江流域品种粗蛋白含量明显优于其他两区,而北方春大豆品种粗脂肪含量相对较高,体现了地域生态条件对品质形成的影响。总体而言,我国转基因大豆的株型结构与产量、品质性状针对不同产区的光温资源与耕作制度进行了精准适配。

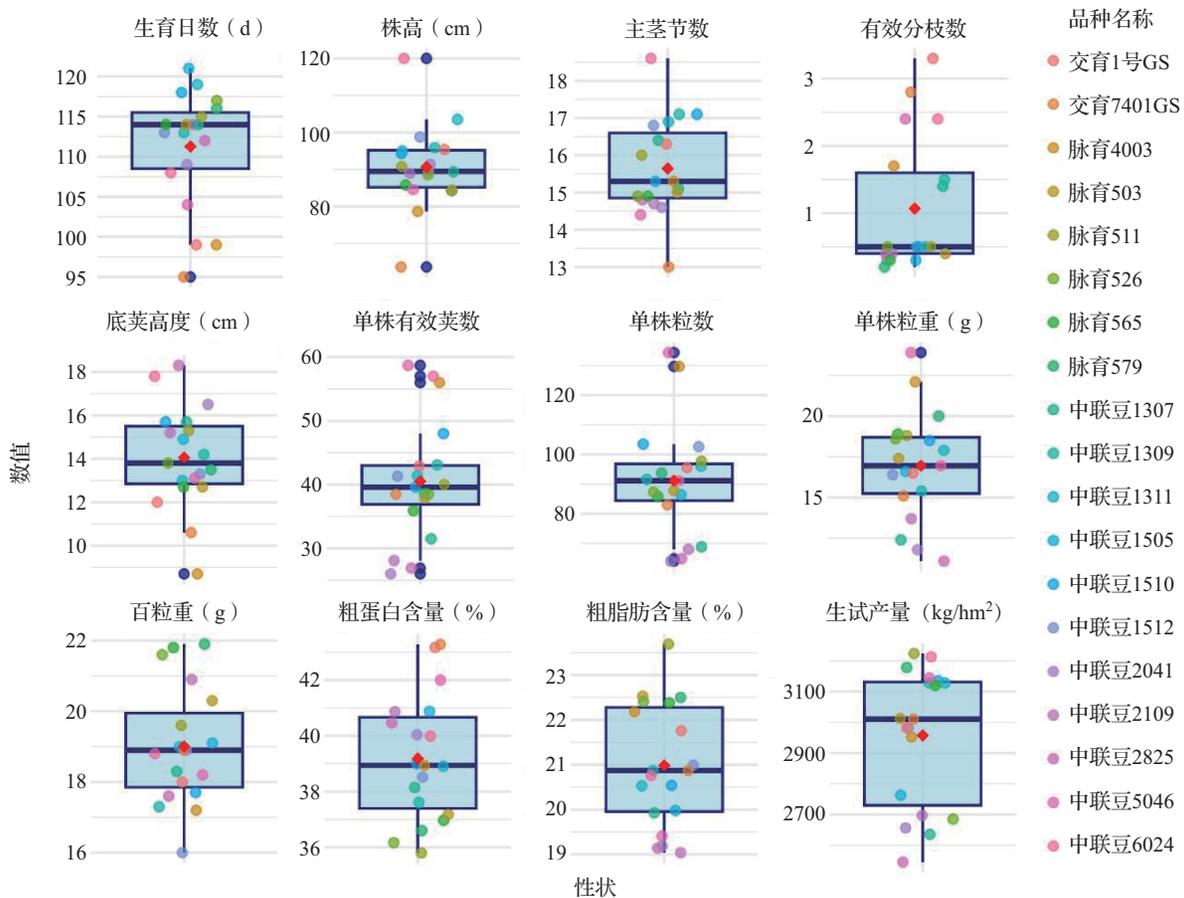


图 1 国审转基因大豆品种性状箱线图

表2 国审转基因大豆品种性状描述性统计分析

性状		北方春大豆 品种	黄淮海 品种	长江流域 品种
生育日数 (d)	最大值	121.00	108.00	99.00
	最小值	109.00	99.00	95.00
	平均值	114.93	103.67	97.00
株高(cm)	最大值	103.50	120.00	95.40
	最小值	84.30	78.70	63.70
	平均值	91.48	94.43	79.55
主茎节数	最大值	17.10	18.60	16.30
	最小值	14.60	14.40	13.00
	平均值	15.69	16.10	14.65
有效分枝数	最大值	1.50	2.40	3.30
	最小值	0.20	1.70	2.80
	平均值	0.55	2.17	3.05
底荚高度 (cm)	最大值	18.30	17.80	12.00
	最小值	12.70	8.70	10.60
	平均值	14.63	13.20	11.30
单株有效 荚数	最大值	48.00	58.70	42.90
	最小值	26.00	56.00	38.50
	平均值	36.91	57.23	40.70
单株粒数	最大值	103.50	134.40	95.50
	最小值	64.00	129.70	83.00
	平均值	85.57	132.05	89.25
单株粒重 (g)	最大值	20.00	23.90	16.50
	最小值	11.10	22.10	15.10
	平均值	16.25	23.00	15.80
百粒重 (g)	最大值	21.90	18.80	18.90
	最小值	16.00	17.20	18.00
	平均值	19.29	18.07	18.45
粗蛋白含量 (%)	最大值	40.88	42.00	43.28
	最小值	35.80	38.94	43.17
	平均值	38.37	40.31	43.23
粗脂肪含量 (%)	最大值	23.69	22.18	21.76
	最小值	19.04	19.41	20.87
	平均值	20.98	20.78	21.32
生试产量 (kg/hm ²)	最大值	3223.50	3213.00	3010.50
	最小值	2545.50	2952.00	2982.00
	平均值	2920.61	3103.00	2996.25

2.3 农艺及产量、品质性状相关性分析 分析国审转基因大豆品种农艺及产量、品质性状相关性可知,大豆产量与单株粒重($r=0.90, P<0.001$)、单株有效荚数($r=0.81, P<0.001$)和单株粒数($r=0.80, P<0.001$)呈强正相关,表明提高单株结实能力是增产的关键(图2)。粗脂肪含量也与产量呈中等正相关($r=0.47, P<0.05$),提示高油品种具备一定的产量优势。

在品质与株型方面,粗蛋白含量与粗脂肪含量呈极显著负相关($r=-0.61, P<0.01$),显示两者存在明显的代谢权衡。值得注意的是,粗蛋白含量与有效分枝数呈正相关($r=0.63, P<0.01$),而与生育日数呈负相关($r=-0.62, P<0.01$),说明高蛋白品种倾向于分枝多、生育期短的特征。株型上,株高与主茎节数高度正相关($r=0.87, P<0.001$),构成主茎型架构的基础,而有效分枝数与单株有效荚数呈正相关($r=0.53, P<0.05$),表明增加分枝有助于提高结荚潜力。

综上,高产育种应聚焦于提升单株结荚数与粒重,而品质改良需协调蛋白质与脂肪的平衡关系,并利用分枝性强、生育期短的株型特性助力高蛋白育种。

2.4 聚类分析 如图3所示,19个国审转基因大豆品种被清晰地划分为4个具有显著差异的类群,更精细地揭示了其育种方向与性状组合。

第I类群主要为“中联豆”系列(如中联豆1311、中联豆1510等),其在粗蛋白含量、株高和主茎节数上表现中等,产量稳定,属于综合农艺性状均衡型品种。第II类群为“脉育”系列品种(如脉育565、脉育579等),最突出的特征是高粗脂肪含量(平均22.3%)和较高的百粒重,但粗蛋白含量相对较低,属于典型的高油型品种。第III类群为“中联豆”系列(如中联豆2041、中联豆2109等),在多个关键性状上表现中等或偏下,且特性较为混杂,最显著的特征是单株生产能力较弱,导致产量潜力普遍较低。第IV类群包括“交育”系列、中联豆5046及脉育4003,其特征是粗蛋白含量较高(平均42.1%),有效分枝数多,部分品种生育期较短、株高较矮,属于高蛋白、多分枝型品种。该聚类结构可清晰反映出我国转基因大豆在育种目标上的分化,为针对性品种推广与亲本选配提供了依据。

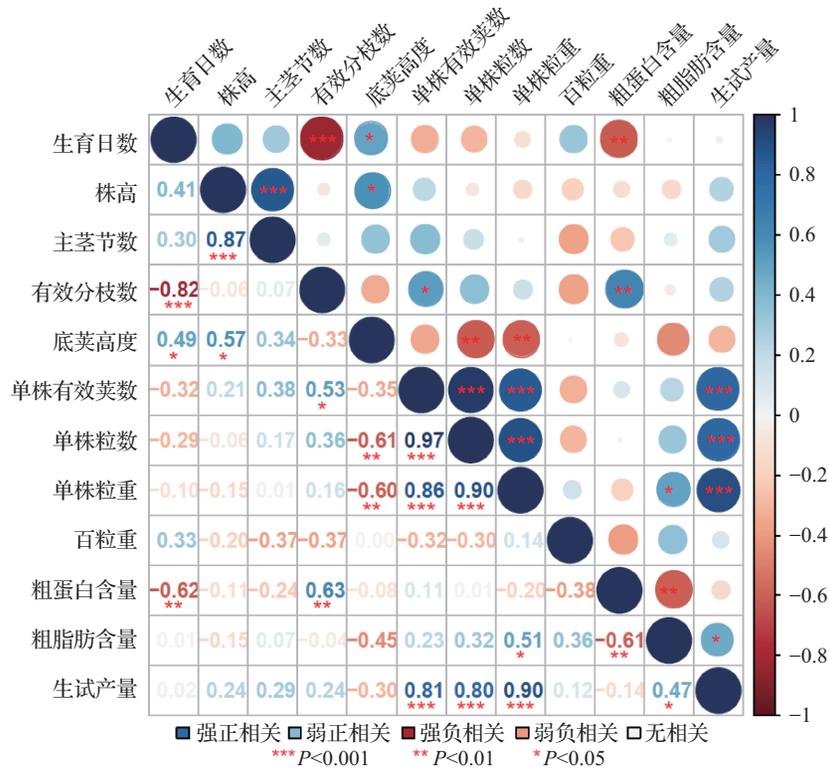


图2 国审转基因大豆品种性状相关性分析

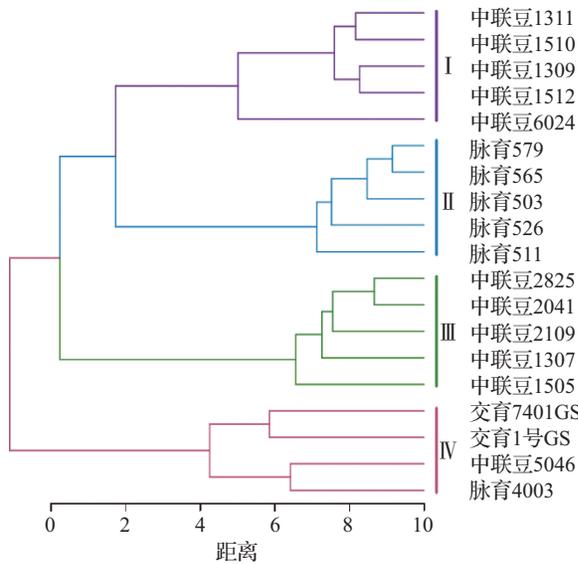


图3 国审转基因大豆品种聚类分析

2.5 抗性分析 在病害抗性方面,19个国审转基因大豆品种均表现出对花叶病毒病不同程度的抗性,其中大多数品种对1号和3号生理小种表现为中感至感,普遍缺乏高水平的抗性,表明这2个流行小种仍是当前生产中的主要威胁,但脉育4003、中联豆5046、交育7401GS等5个品种对3号生理小种达到抗或中抗水平,显示出较强抗性。值得注意的是,

黄淮海和长江流域夏播区审定的较新品种(如中联豆6024、中联豆5046、“交育”系列)对7号株系表现出抗或中抗水平,显示出育种在针对特定病毒小种方面取得的进展。而在胞囊线虫病方面,多数品种表现为感或中感,提示该病害仍是当前转基因大豆育种中的主要防控难点,尤其在发病严重区域需谨慎种植。

在除草剂耐受性方面,所有品种均具备耐草甘膦特性,且均通过“耐受4倍中剂量草甘膦”的鉴定。此外,“脉育”系列还具备耐草铵膦能力,展现出更广谱的杂草防控潜力。

3 讨论

3.1 转基因性状的实用价值 国审转基因大豆品种的转基因性状(主要为耐草甘膦,部分为耐草甘膦和草铵膦双抗)展现出多方面的显著实用价值,其中最直接的实用价值在于简化杂草防控,实现高效、低成本的田间管理,尤其适用于规模化种植。耐草甘膦特性允许在生长期使用广谱除草剂,极大减少了中耕除草的劳动力投入,解决了大豆生产中长期存在的草害难题,尤其适用于规模化种植。双抗(草甘膦+草铵膦)性状更进一步提供了交替用药策略,有效延缓杂草抗药性发展。

除草剂耐受性确保了作物在关键生长期免受杂草竞争^[5],为品种遗传潜力的发挥创造了优越环境。分析表明,转基因品种在产量(平均2957.37kg/hm²)和品质(粗蛋白含量35.80%~43.28%,粗脂肪含量19.04%~23.69%)上均表现出色,尤其是育种者能够将转基因背景与高产株型(如高结荚数、大粒)和优质性状(高蛋白或高油)成功聚合,培育出目标明确的特用品种(如高油型的“脉育”系列和高蛋白型的“交育”系列),满足了多元化的市场需求。

综上所述,转基因性状的实用价值不仅体现在除草管理的便捷性上,更在于其为实现大豆高产、优质、高效生产的综合育种目标提供了关键的技术支点和稳定的实现途径。

3.2 品种区域化布局的重要性 不同生态区的品种在生育期、株型、抗病性等方面存在显著差异,需结合当地气候与病害发生情况选择适宜品种。北方春大豆区品种株高秆壮、主茎发达,以充分利用漫长的生长季和充足光照;而黄淮海夏播区品种则强调在短生育期内的单株高产能力;长江流域品种矮秆多分枝,以适应多熟制和密植需求。将最适应特定地区光、温、水条件的品种布局在最佳生态区,从而最大程度地发挥其产量潜力,避免因引种不当造成的生育期不适、产量损失甚至绝收风险,实现光温资源与品种生态型的精准匹配,保障高产稳产。

另外,不同品种对胞囊线虫病等土传病害的抗性存在明显短板,且病害生理小种分布具有地域性,如北方春大豆产区胞囊线虫病3号小种威胁严重。因此,可以结合抗性数据进行区域化布局,指导品种被种植在其抗性能有效应对当地主要病害压力的区域,实现“避灾”或“减灾”,这对于保障转基因品种在引入后的长期生产稳定性至关重要,是可持续农业管理的重要组成部分。

3.3 不同品种的产业化方向与育种角色 根据聚类分析结果,我国当前国审转基因大豆品种可划分为4个特征鲜明的类群,其在大面积种植和亲本选配上的优势如下。

第I类群(综合农艺性状均衡型)适合作为大面积推广的主力品种,其产量稳定、农艺性状均衡,

具有广泛的生态适应性,种植风险较低。作为亲本,其价值在于能提供稳定的高产遗传背景,可用于改良其他品种的产量潜力和适应性。

第II类群(高油专用型)是面向油脂加工产业的特用品种,大面积种植的经济效益明确。其核心优势在于极高的脂肪含量,是创制高油新品种的优异亲本,能显著提升后代的含油量。

第III类群(性状混杂型)在当前性状下,其综合表现不具备大面积种植的竞争优势。然而,该类群中个别品种可能携带某些特异性状(如特定的抗性),可作为育种中的特色基因供体,用于改良特定缺陷,但其应用需经过严格筛选。

第IV类群(高蛋白、多分枝型)非常适合作为高蛋白食品加工专用品种推广,满足市场对蛋白原料的需求,其早熟特性也利于多熟制种植。在育种上,该类群是宝贵的高蛋白和早熟基因资源,对于培育高蛋白、适宜轻简栽培的新品种具有关键价值。

4 结论

本研究系统评估了19个转基因大豆品种的综合性状,结果表明当前国审转基因大豆品种在除草剂耐受性方面表现一致且可靠,在病害抗性上具备一定基础,但对胞囊线虫病的整体抗性仍有待进一步提升。将除草剂耐受性与关键土传病害抗性相结合是未来育种亟待加强的方向,这将进一步夯实大豆生产的稳定性。

参考文献

- [1] 计哈,张学彪,康孜涵,何琦.全产业链视角下我国大豆产业发展现状、问题与对策.中国农业资源与区划. <https://link.cnki.net/urlid/11.3513.s.20250908.1354.008>
- [2] 李威,朱玉鹏,孙宾成,温有祥,吴宗声,徐一帆,宋雯雯,徐彩龙,吴存祥.转基因大豆结合免耕平作实现东北地区大豆生产轻简化.作物学报,2025,51(10):2738-2749
- [3] 肖滢,孙思奇,崔思宇,程金魁,陈丽梅.转基因玉米和大豆产业化现状与展望.中国农业大学学报,2025,30(9):1-14
- [4] R Core Team. A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2021
- [5] 徐杰飞.转基因技术赋能大豆产业的现状、挑战与展望.中国种业,2025(7):28-32

(收稿日期:2025-09-28)