



## 利用 MAS 选育抗大豆花叶病毒病 SC7 新品种阜豆 169

王传之, 李 智, 王 敏, 樊志明, 周洪利, 杜霄力, 孙云飞, 于 伟

(阜阳市农业科学院/国家大豆改良中心(安徽)/现代农业产业技术体系阜阳大豆综合试验站, 安徽 阜阳 236065)

**摘 要:**为培育黄淮海和长江流域大豆产区主要大豆花叶病毒流行株系 SC7 的抗性大豆品种, 阜阳市农业科学院/国家大豆改良中心安徽分中心以郑 97196 为母本、科丰 29 为父本进行杂交, 结合 MAS 方法选育出抗花叶病毒 SC7 株系夏大豆新品种阜豆 169。两年试验平均粗蛋白含量 40. 96%, 平均粗脂肪含量 19. 4%。抗性基因连锁分子标记 BARCSOYSSR\_02\_0631 鉴定和人工接种鉴定结果均表明, 该品种对大豆花叶病毒 SC3 和 SC7 株系均表现抗病。对 8 个大豆疫霉菌株均表现抗病。2019 年生产试验产量 2 668. 05 kg·hm<sup>-2</sup>, 较对照中黄 13 增产 9. 43%。苗期耐渍, 后期耐旱, 抗倒抗病, 落叶性好, 不裂荚, 高产稳产。于 2020 年通过安徽省农作物品种审定委员会审定, 审定编号为皖审豆 20200001。此次 MAS 技术的应用实现了大豆品系抗花叶病毒 SC7 相关位点的早期子代选择鉴定, 不仅突破了时空条件的限制, 而且避免了传统方法接种鉴定时传播花叶病毒的情况, 减少了后续工作量, 缩短抗病高产大豆品种育种周期。

**关键词:**大豆; 抗花叶病毒病; 分子标记辅助选择; 阜豆 169

## Breeding of the New Soybean Cultivar Fudou 169 Resistant to Soybean Mosaic Virus SC7 by Molecular Marker-Assisted Selection

WANG Chuan-zhi, LI Zhi, WANG Min, FAN Zhi-ming, ZHOU Hong-li, DU Xiao-li, SUN Yun-fei, YU Wei

(Fuyang Academy of Agricultural Sciences/Fuyang Comprehensive Test Station of National Soybean Industrial Technology System/Anhui Branch of National Soybean Improvement Center, Fuyang 236065, China)

**Abstract:** In order to cultivate the soybean varieties resistant to soybean mosaic virus SC7 strain, which are the main soybean mosaic virus strains in the soybean producing areas of the Huang-huai-hai and Yangtze River basins, the Fuyang Academy of Agricultural Sciences/Anhui Branch of the National Soybean Improvement Center used Zheng 97196 as the female parent and Kefeng 29 as the male parent, a new summer soybean variety Fudou 169 with resistance to mosaic virus SC7 was bred by hybridization and MAS (molecular marker-assisted selection). The average crude protein content of the two-year trial was 40. 96%, and the average crude fat content was 19. 4%. The identification results of resistance gene-linked molecular marker BARCSOYSSR\_02\_0631 and artificial inoculation showed that the variety showed resistance to soybean mosaic virus SC3 and SC7 strains. Fudou 169 showed disease resistance to 8 isolates of *Phytophthora sojae*. The production test yield in 2019 was 2 668. 05 kg·ha<sup>-1</sup>, and an increase of 9. 43% compared with the Zhonghuang 13. In 2020, it was approved by the Anhui Provincial Crop Variety Approval Committee, and the approval number was Wanshendou 20200001. The application of MAS technology has realized the early progeny selection and identification of resistant to mosaic virus SC7 in soybean lines, which not only breaks through the limitations of time and space conditions, but also avoids the transmission of mosaic virus in traditional methods of inoculation and identification, reducing the risk of infection, cuts down on the follow-up and shortens the breeding cycle of disease-resistant and high-yield soybean varieties.

**Keywords:** soybean; resistant to mosaic virus; molecular marker assisted selection (MAS); Fudou 169

大豆 [*Glycine max* (L.) Merrill] 不仅是中国的传统作物, 也是世界上重要的粮油作物之一, 其籽粒富含蛋白质和脂肪, 具有较高的营养价值。作为油脂、蛋白质及保健活性物质的重要来源以及食品、饲料等多种加工工业的原料受到全世界的关注。近年来, 我国耕地面积紧张, 国内大豆品种产量低、抗逆性差、亲本来源基础狭窄及易遭受病虫害等现状成为制约大豆产业发展的主要瓶颈。为了改变我国大豆供不应求的局面, 满足人民生活

不断改善对大豆品种所提出的新要求, 必须利用生物技术培育一批在高产、多抗等育种目标上表现突出的大豆新品种, 避免田间突变株和传统杂交育种的盲目性, 利用现代分子生物技术促进精准选育, 增强大豆的高产稳产能力, 提高我国商品大豆的品质, 缩小我国大豆育种水平与国外的差距<sup>[1-2]</sup>。

2021 年中国经济八大重点任务中包括重点解决好种子和耕地问题。农以种为先, 种子是农业的“芯片”。当前, 中国生产上 90% 以上的品种都来自

收稿日期: 2021-02-10

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0101404); 国家大豆产业技术体系 (CARS04)。

第一作者: 王传之 (1981—), 男, 博士, 高级农艺师, 主要从事大豆分子生物技术育种与栽培研究。E-mail: jfwcz@ 163. com。

通讯作者: 于伟 (1974—), 男, 硕士, 研究员, 主要从事大豆育种及栽培研究。E-mail: yuwei\_yzy@ 126. com。

常规育种,有性杂交仍是大豆传统育种的主要方法之一。多年来,我国种业自主创新能力不足,育种手段和理念落后,至今依然主要存在育种盲目性和依赖经验等突出问题。近几年来,随着科技发展,我国科技人员创新性地提出分子模块设计育种科技体系,进行了理论创新、技术研发和品种设计等方面的探索与实践,并指出分子设计育种将成为未来我国提高种业自主创新能力,解决中国种业发展“卡脖子”科技的重要手段<sup>[3]</sup>。

优良种质资源是育种工作的前提和基础,利用分子标记辅助选择 (molecular marker-assisted selection, MAS) 技术进行抗病虫育种是经济有效绿色环保的常用手段。中国是大豆发源地,种质资源丰富。王大刚等<sup>[4]</sup>研究发现齐黄 1 号、大白麻与皖豆 33 携带的抗 SC3 基因不是等位基因且独立遗传,并利用皖豆 33 × 南农 1138-2 的 392 株 F<sub>2</sub> 群体将皖豆 33 携带的 SC3 抗性基因  $R_{SC3(w)}$  定位在大豆 2 号染色体 SSR 标记 BARCSOYSSR\_02\_0610 和 ZL-52 之间。Yan 等<sup>[5]</sup>将利用科丰 1 号和南农 1138-2 抗感杂交群体鉴定出的抗花叶病毒病基因 *Rsc7* 定位在 BARCSOYSSR\_02\_0632 和 BARCSOYSSR\_02\_0621 之间。王传之等<sup>[6]</sup>在大豆公共遗传图谱上挑选引物,结合自然群体材料筛选出抗大豆花叶病毒病 SC7 分子标记 BARCSOYSSR\_02\_0631,该标记抗病检测正确率为 79.2%,同时鉴定出一批抗病育种材料。

在这些研究的基础上,针对黄淮海和长江流域大豆产区主要大豆花叶病毒流行株系 SC7,阜阳市农业科学院/国家大豆改良中心安徽分中心通过传统杂交育种结合 MAS 技术培育出大豆抗逆新品种阜豆 169。本文对阜豆 169 的选育过程、特征特性、产量表现等进行了系统阐述,旨在推动分子育种不断从理论走向实践,促进聚合多基因育种目标的实现。

## 1 选育过程

阜豆 169 是通过系谱法从杂交组合郑 97196 × 科丰 29 选育而来 (图 1)。2010 年选用丰产性好、农艺性状优良、籽粒商品性佳、抗逆性较强、且有较高配合力的科丰 29 (中国科学遗传与发育生物学研究所选育) 作父本,该材料是具有外来血缘和经过辐射处理的后代材料,与综合农艺性状优良的豫豆系列高产品种郑 97196 (河南省农业科学院棉油所选育) 有性杂交,当年冬季 F<sub>1</sub> 南繁加代。结合本课题

组前期研究结果,利用分子标记 BARCSOYSSR\_02\_0631<sup>[6]</sup> 进行早期抗性鉴定,表现为抗性,以该分子标记检测抗花叶病毒 (SC7) 不仅准确性高而且便于操作。该品种的选育过程实现了多年加代、田间观察和早代测产,及室内分子标记辅助选择和系谱法的有机结合。

2014 年自设品比试验,较阜豆 9 号增产 3%。2015 年参加皖北地区夏大豆新品种多点比较试验,较对照品种中黄 13 增产 6%。2016 年参加安徽省夏大豆品比试验,产量较对照中黄 13 平均增产 9%。各试验田间观察记载和室内考种结果显示,该品系的所有性状均整齐一致,整个生育期间表现较好,且农艺性状稳定,出圃系号为阜豆 169。2016 年安徽省夏大豆品比试验中,阜豆 169 单产 2 462.40 kg·hm<sup>-2</sup>,比对照中黄 13 增产 8.55%,高抗 SMV SC3 和抗 SMV SC7 株系。2017 年参加安徽省大豆区试,高抗 SMV SC3 和 SC7 株系,比对照中黄 13 增产 5.42%。2018 年参加安徽省大豆区试,抗 SMV SC3 和 SC7 株系,较对照中黄 13 增产 2.19%。2019 年生产试验单产 2 668.05 kg·hm<sup>-2</sup>,较对照品种增产 9.43%。

### 1.1 亲本组成

参考盖钧镒等<sup>[7]</sup>、张孟臣等<sup>[8]</sup>、李金花等<sup>[9]</sup>研究和审定品种相关省或国家审定品种公告,查找阜豆 169 亲本来源,并追溯到原始亲本,绘制阜豆 169 的亲本系谱树 (图 1)。阜豆 169 亲本来源除 5905、郑 85558-0-5、郑 85569、郑 79076、CF28002、40354、徐州 109、跃进 3 号和辐良等不清楚外,其他亲本均可追溯到原始祖先亲本。阜豆 169 亲本系谱树由直接亲本和核心祖先亲本构成,包括国内核心祖先亲本 7 个 (上海 1 个:上海红芒早毛豆;山东省 3 个:定陶平顶黄豆、四角齐和即墨油豆;江苏省 3 个:邳县软条枝、滨海大白花和铜山天鹅蛋),国外核心祖先亲本 2 个,均来自美国 (Clark 63 和 Mamotan),直接亲本 42 个 (郑 97196、郑 100、郑 93048、豫豆 13、郑 85558-0-5、郑 8910、郑 8930、郑 80024-10、海交 07、郑 133、周 8401、郑 85569、郑 77249、跃进 5 号、郑 76064、郑 79076、郑 505、周 7327-118、豫豆 3 号、郑 76066、泗豆 2 号、科系 8 号、徐州 109、跃进 3 号、郑 135、苏 58-161、邳县软条枝、6825-3-11、早丰 1 号、莒选 23、5905、58-161、徐豆 1 号、徐州 126、科丰 29、9010、8101、CF28002、40354、中黄 4 号、遗 112 和诱变 30)。核心祖先亲本占亲本总数的 17.65%,表明核心祖先亲本对品种改良创制影响与贡献较大,

且阜豆 169 在进化与育种选择过程中,经过了高产抗逆的定向改良创制,亲本的优良农艺性状及其基因经过了多次的基因重组、基因累积和基因互作,

在人为定向选择与自然选择的作用下,品种累加与聚合了核心祖先亲本和直接亲本的优良性状及其基因,为品种的遗传改良创新奠定了坚实基础。

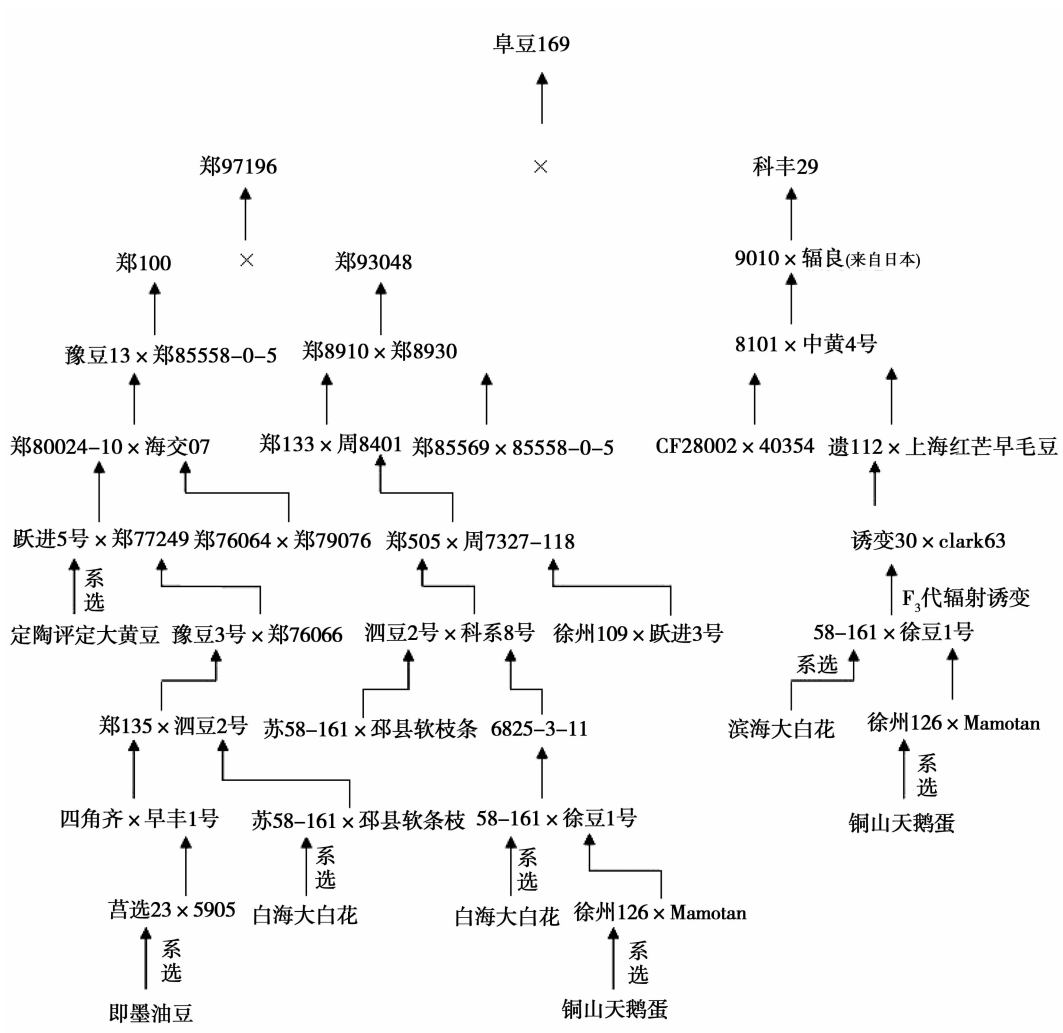


图 1 阜豆 169 亲本系谱  
Fig. 1 The family tree of Fudou 169

1.2 亲本来源

系谱分析表明,阜豆 169 亲本主要来源于河南、山东、江苏、北京和上海等 5 个省市,其中江苏省包括核心祖先亲本(邳县软条枝、滨海大白花和铜山天鹅蛋)、泗豆 2 号、苏 58-161、徐州 109 和徐豆 1 号等育成品种或创新种质材料,山东省包括核心祖先亲本(定陶平顶大黄豆、四角齐和即墨油豆)、跃进 3 号及跃进 5 号等育成品种,以及河南的豫豆 3 号、豫豆 13 和郑 100 等,另外还有上海红芒早毛豆等农家品种,此外还有日本的辐良和美国的两个亲本(Mamotan 和 Clark 63)。由此可见,亲本地理远缘、遗传基础好、生态类型各异,保证了基因及其农艺性状遗传的多样性。

2 主要特征特性

2.1 农艺性状

阜豆 169 属中熟夏大豆品种。有限结荚习性,紫花,灰茸毛,椭圆形叶片。籽粒椭圆、黄色,褐脐。成熟时全落叶,不裂荚,抗倒伏。2017 和 2018 年两年区域试验表现:平均株高 78.5 cm,底荚高度 20.8 cm,有效分枝数 2.0,单株荚数 36.9,单株粒数 80.4,百粒重 19.3 g。全生育期 103 d 左右,比对照品种(中黄 13)迟熟 3 d(表 1)。国家大豆改良中心(南京)抗性鉴定结果显示,2017 年对大豆花叶病毒流行株系 SC3 表现高抗(病情指数 0)、SC7 表现高抗(病情指数 0);2018 年对 SC3 表现抗病(病情指数 13)、SC7 表现抗病(病情指数 3)。

表 1 阜豆 169 农艺性状  
Table 1 The agronomic trait of Fudou 169

农艺性状 Agronomic trait	2017		2018		平均 Mean
	阜豆 169	CK( 中黄 13)	阜豆 169	CK( 中黄 13)	
	Fudou 169	CK( Zhonghuang 13)	Fudou 169	CK( Zhonghuang 13)	
全生育期 Growing days/d	105.0	99.0	100.0	99.0	102.5
株高 Plant height/cm	83.9	60.4	73.1	47.8	78.5
底荚高度 Lower pods height/cm	22.3	16.1	19.3	14.3	20.8
主茎节数 Nodes number of main stem	17.1	14.8	15.2	14.0	16.2
有效分枝数 Effective branches number	1.8	1.4	2.1	2.0	2.0
单株荚数 Pods number per plant	34.5	25.8	39.2	31.4	36.9
单株粒数 Seeds number per plant	86.3	70.6	74.5	61.9	80.4
单株粒重 Seed weight per plant/g	17.3	15.4	13.4	13.3	15.4
百粒重 100-seed weight/g	19.8	21.9	18.8	21.7	19.3

2.2 品质性状、抗病性和转基因检测结果

2017 年经农业农村部谷物品质监督检验测试中心(北京)检测,阜豆 169 粗蛋白(干基)含量 41.18 %,粗脂肪(干基)含量 19.56%,蛋脂总和高达 60.74%;

2018 年粗蛋白(干基)含量 40.73%,粗脂肪(干基)含量 19.24%,蛋脂总和为 59.97%(表 2)。

表 2 区域试验品质结果  
Table 2 The nutritive compositions of Fudou 169 in regional test

年份 Year	粗蛋白质含量 Crude protein content	粗脂肪含量 Crude fat content	蛋脂总和含量 Crude protein and fat content
2017	41.18	19.56	60.74
2018	40.73	19.24	59.97

2017 年区域试验中的人工接种鉴定结果表明,阜豆 169 的大豆花叶病毒 SC3 和 SC7 病情指数均为 0,表现为高抗。2018 年区域试验中的人工接种

鉴定结果表明,大豆花叶病毒 SC3 和 SC7 病情指数分别为 13% 和 3%,表现为抗病(表 3)。

表 3 区域试验人工接种鉴定花叶病毒病抗性结果  
Table 3 The results of resistance identification to mosaic virus by artificial inoculation in regional test

年份 Year	SC3		SC7	
	病情指数	抗性	病情指数	抗性
	Disease index/%	Resistance	Disease index/%	Resistance
2017	0	高抗	0	高抗
2018	13	抗	3	抗

经南京农业大学植物保护学院人工接种 8 个大豆疫霉菌株(弱毒力:PS1、PS3、PS5;中等毒力:PS4、PsMC1;强毒力:USAR2、Ps41-1;超强毒力:PsJS2)鉴定,阜豆 169 均表现抗病性(R),其中强毒力 USAR2

和超强毒力 PsJS2 为中等抗性 (IR)。经农业农村部转基因植物环境安全监督检验测试中心(合肥)检测,阜豆 169 中未检测出 *CaMV 35S-CTP4* 基因、*CaMV 35S* 启动子、*NOS* 终止子、*CP4-epsps*、*bar*、*pat* 和 *Bt* 基因,检测结果为阴性。

经农业农村部植物新品种测试(南京)分中心 2018 和 2019 年两个生长周期的测试,阜豆 169 具备特异性、一致性和稳定性。

表 4 区域试验和生产试验产量结果  
Table 4 The yield result in regional test and production test

年份 Year	试验 Test	平均产量 Average yield/( kg·hm <sup>-2</sup> )	CK 平均产量 Average yield of CK/( kg·hm <sup>-2</sup> )	增产率 Yield increase rate/%
2017	区域试验	2488.95	2361.1	5.42
2018	区域试验	2286.60	2237.7	2.19
2019	生产试验	2668.05	2438.1	9.43

4 栽培要点

4.1 播期

适播期为 5 月下旬—6 月上中旬,最迟 6 月下旬。在适宜播期内,一般情况下,播种越早,产量越高。

4.2 密度

高肥田留苗 22.5 万株·hm<sup>-2</sup>左右,中肥田留苗 24 万~27 万株·hm<sup>-2</sup>。播种较晚时,密度宜适当大一些。

4.3 田间管理

掌握好土壤墒情,确保一播全苗,达到苗齐、苗壮;及时间苗、定苗,保证留苗密度;及时除草,可化学除草或结合中耕进行除草;苗期注意防涝除渍,花荚~鼓粒始期遇旱要及时灌溉;肥力差的追施初花肥可用尿素 75 kg·hm<sup>-2</sup>或者复合肥 112.5~150 kg·hm<sup>-2</sup>,于雨前撒施,鼓粒期叶面喷施 1%~2% 尿素溶液和 0.2% 磷酸二氢钾溶液;播种前注意拌毒土等防治蛱螋,苗期注意防治蚜虫、红蜘蛛,花荚期注意防治叶甲、造桥虫、卷叶螟、食心虫、斜纹夜蛾、豆荚螟等害虫,以及黄淮海近年时有发生的症青情况;中后期阴雨天多时要及早喷施多菌灵等杀菌剂防病。

5 适宜区域

阜豆 169 适宜于淮北、沿淮及江淮地区中等以上肥力夏大豆主栽地区种植。

参考文献

[1] LUSSER M, PARISI C, PLAN D, et al. Deployment of new biotechnologies in plant breeding [J]. Nature Biotechnology, 2012, 30(3): 231-239.

[2] NELSON R, WIESNER-HANKS T, WISSER R, et al. Navigating

3 产量表现

2017 年区域试验平均产量 2 488.95 kg·hm<sup>-2</sup> (表 4),阜豆 169 较对照中黄 13 增产 5.42%;2018 年区域试验阜豆 169 平均产量 2 286.60 kg·hm<sup>-2</sup>,较对照中黄 13 增产 2.19%。2019 年生产试验阜豆 169 产量 2 668.05 kg·hm<sup>-2</sup>,较对照中黄 13 增产 9.43%。

complexity to breed disease-resistant crops [J]. Nature Reviews Genetics, 2018, 19(1): 21-33.

[3] 薛勇彪, 种康, 韩斌, 等. 创新分子育种科技支撑我国种业发展 [J]. 中国科学院院刊, 2018(9): 893-899. (XUE Y B, CHONG K, HAN B, et al. Innovation and achievements of designer breeding by molecular modules in China [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018(9): 893-899.)

[4] 王大刚, 陈圣男, 黄志平, 等. 皖豆 33 对 SMV 株系 SC3 的抗性遗传分析及分子标记定位 [J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 531-536. (WANG D G, CHEN S N, HUANG Z P, et al. Inheritance and gene mapping of resistance to soybean mosaic virus strain SC3 in soybean cultivar Wandou 33 [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2019, 41(4): 531-536.)

[5] YAN H, WANG H, CHENG H, et al. Detection and fine-mapping of SC7 resistance genes via linkage and association analysis in soybean [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2015, 57(8): 722-729.

[6] 王传之, 李智, 王敏, 等. 利用 MAS 进行大豆花叶病毒 SC7 抗性鉴定及分子育种初探 [J]. 大豆科技, 2019(5): 10-14. (WANG C Z, LI Z, WANG M, et al. Preliminary study on resistance identification and molecular breeding to soybean mosaic virus SC7 by MAS [J]. Soybean Science & Technology, 2019(5): 10-14.)

[7] 盖钧镒, 熊冬金, 赵团结. 中国大豆育成品种系谱与种质基础(1923-2005) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2015. (GAI J Y, XIONG D J, ZHAO T J. The pedigrees and germplasm bases of soybean cultivars released in China (1923-2005) [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2015.)

[8] 张孟臣, 张磊, 刘学义, 等. 黄淮海大豆改良种质 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2014. (ZHANG M C, ZHANG L, LIU X Y, et al. Soybean in Huang-Huai-Hai [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.)

[9] 李金花, 常世豪, 杨青春, 等. 1985—2020 年河南省育成大豆品种亲缘分析及骨干亲本挖掘 [J]. 大豆科学, 2021, 40(4): 433-444. (LI J H, CHANG S H, YANG Q C, et al. Genetic analysis and backbone parents mining of soybean cultivated in Henan Province from 1985 to 2020 [J]. Soybean Science, 2021, 40(4): 433-444.)