

大豆超高产品种选育研究进展

王 岚, 孙君明, 赵荣娟, 王连铮, 罗赓彤, 李 斌

(中国农业科学院 作物科学研究所, 北京 100081)

摘要:采用杂交育种结合高肥水鉴定后代的方法育成中黄 13、中黄 19 和中黄 35 共 3 个超高产大豆品种。中黄 13 和中黄 19 产量各 2 次达 $4.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上; 中黄 35 利用滴灌结合施肥、化控倒伏、调节土壤 pH 等措施, 产量 3 次达 $6.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上, 在大豆超高产育种和栽培研究取得进展。中黄 13 获 2012 年国家科技进步一等奖和 2010 年北京科技进步一等奖, 推广面积已连续 5 年居全国首位。

关键词:大豆; 超高产; 育种

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2013)05-0687-07

Advances in Soybean Breeding for Super High-yielding

WANG Lan, SUN Jun-ming, ZHAO Rong-juan, WANG Lian-zheng, LUO Geng-tong, LI Bin

(Crop Science Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: We used cross breeding and evaluated progenies and lines under conditions of high fertility with irrigation, developed Zhonghuang 13, Zhonghuang 19 and Zhonghuang 35, three soybean cultivars with super high-yielding, and made certain progress in soybean breeding for super high-yielding and cultivation. Zhonghuang 13 and Zhonghuang 19 each obtained yield of $4.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ twice. Zhonghuang 35 got to $6.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ three times by using drip irrigation with fertilizer, lodging controlled by chemical and soil pH regulation by ferrous sulphate. Zhonghuang 13 won State and Beijing first-class Science and Technology Award, Zhonghuang 13 occupied first place among released soybean cultivars in China during the past five years.

Key words: Soybean; Super high yielding; Breeding

我国著名水稻专家杨守仁教授对水稻超高产育种有深入的研究, 形成了独特的理论和方法, 即“理想株型和优势利用相结合”和优化性状组配以及关于杂交后代选择标准的“偏矮秆”(理想株型)与“偏大穗”(优势利用)相结合的方法”。他同时指出:“日本自 1981 年起通过籼粳稻杂交开展水稻超高产育种, 国际水稻研究所通过理想株型进行水稻超高产育种, 都有一定进展。韩国近年对水稻矮秆大穗有一定研究, 认为有生产潜力^[1]。关于对大豆的超高产研究, 赵团结、盖钧镒等^[2]指出:“八五”国家育种攻关立项后, 已逐步实现了西北 $5.625 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、东北 $4.875 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、黄淮 $4.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、南方 $3.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的小面积(667 m^2 以上)高产。很多单位和专家进行大豆超高产研究, 并获得了可喜的结果。罗赓彤等^[3]利用新大豆 1 号等创造了我国 20 世纪大豆单产最高纪录 $5.95 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 宋书宏等^[4]在辽宁海城利用辽豆 14 创造了 $4.91 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 高产, 盖翠香等^[5]利用 JN96-2343 创造了 $4.63 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 高产, 李杰坤、张磊等^[6]利用夏大豆 MN413 创造了 $4.73 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 高产, 张性坦等^[7]利用诱处 4 号创造了 $4.88 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 高

产, 赵正金等^[8]利用南农 88-31 创造了 $3.77 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 高产, 魏建军等^[9]对超高产大豆中黄 35 的生理参数进行了研究。许多学者对大豆超高产的株型、高光效、超高产品种的设计等做了深入的探讨^[10-12]。我们从 1991 年开始从事黄淮海地区大豆超高产育种研究, 经 20 余年的工作, 先后育成了 3 个大豆超高产品种—中黄 13、中黄 19 和中黄 35^[13-18], 现将试验结果加以汇总, 以期为大豆超高产育种提供参考。

1 材料来源及选育经过

1.1 试验材料

1991~1995 年广泛收集高产抗倒伏优质综合性状优良的大面积推广的大豆品种和品种资源作为有性杂交的亲本。以有性杂交为主, 年配制组合 60~70 个。1991~2012 年配制杂交组合 1 200 余个, 其中以提高产量为目标的组合占 60%, 以提高抗性和品质为目标的组合各占 15%, 以提高适应性等为目标组合占 10%。组合配制时, 选择有显性

收稿日期: 2013-04-03

基金项目: 国家高技术研究发展计划“863 计划”(2003AA207170); 国家科技支撑计划(2006BAD01A04, 2011BAD35B06-3)。

第一作者简介: 王岚(1963-), 女, 硕士, 副研究员, 主要从事大豆遗传育种研究。

通讯作者: 王连铮(1930-), 男, 研究员, 莫斯科季米里亚捷夫农业大学农学博士, 苏联、印度农科院院士, 主要从事大豆遗传育种研究。

E-mail: wanglianzheng@caas.cn。

性状的材料作为父本,如紫花、棕毛、高大等^[19-23]。

1.2 杂交后代的处理

采用改良系谱法。 F_1 淘汰假杂种, F_2 以株高熟期为重点进行选择, F_3 继续株高熟期选择同时对抗性进行重点选择, F_4 在 F_3 的基础上重点选择抗性品质, $F_5 \sim F_6$ 重点选择丰产性,整齐一致时决选品系。早期(F_3 开始)淘汰组合; $F_3 \sim F_5$ 先选组合,后选单株; F_4 后加大优良组合的群体数。

1.3 高肥水条件下鉴定后代

为了选出超高产材料,对大豆品种资源和杂交后代在高肥水条件下进行鉴定,重点鉴定其丰产性和抗倒伏性。

1.4 南繁

对表现优良的杂交后代和稳定品系,从1993年开始在海南三亚崖城中国农科院棉花所海南试验站南繁,有的年份进行2次,已南繁20次,对加速大豆新品种选育和推广起到重要作用。

2 选育过程中的主要措施

2.1 鉴定筛选抗倒伏性亲本

对250份大豆原始材料、推广品种及大量的杂交后代进行抗倒伏性鉴定,选出豫豆8号、中90052-76、Hobbit、中品661、遗-2、遗-4、Dekabig、Osaka、科丰6号、中黄2号、中黄4号、诱处4号、铁丰18和中91-1等20份材料作为有性杂交的骨干亲本,先后育成22个大豆新品种在黄淮海、东北、华北和西北地区推广,其中中黄13、中黄19和中黄35为超高产大豆品种^[24-25]。

2.2 明确当地大豆品种遗传改良的方向

叶兴国、王连铮等^[26-27]对黄淮海地区和黑龙江不同时期有代表性的大豆主要品种的遗传改良进行了试验和比较研究,结果表明:单株粒重与产量相关达极显著,相关系数为 0.59^{**} (河南安阳)~ 0.72^{**} (北京昌平);倒伏度与产量相关系数为 $0 \sim 0.61^{**}$;脂肪含量与产量达 $0.54^{*} \sim 0.66^{*}$;荚比与产量达 $0.51^{*} \sim 0.53^{*}$;每荚粒数与产量达 $0.47^{*} \sim 0.51^{*}$;三四粒荚率与产量达 $0.44^{*} \sim 0.50^{*}$;每节荚数与产量达 $0.43^{*} \sim 0.50^{*}$;百粒重与产量达 $0.42^{*} \sim 0.45^{*}$ 。因此,在后代选择时,应当注意这些与产量有关的性状,特别是单株粒重和抗倒伏性。株重粒大中高不倒广适多抗肥水鉴定应是大豆超高产育种的方向。

2.3 异地鉴定

1995年决选的中作951、中作952和中作953于1996年在河北、天津等地试验,这些品系严重倒

伏,说明:(1)当时选的品系抗倒伏性不过关;(2)当时育种圃场的肥力水平低于大豆生产水平,亟需提高育种圃场的肥力水平。在1995年前育种圃场施磷酸二铵 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,灌水1次;在1995年以后,育种圃场施磷酸二铵 $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,灌水3次。

2.4 选择优良品系

F_5 和 F_6 以上世代,当性状整齐一致时可决选品系。高世代组合数量要少,每个组合群体要大,优良组合株行数达1000行左右,这样选出优良品系的几率较大。对优良品系来说,产量是第一位的,其次要考虑品质、抗性和适应性等。1997年决选的中作975(中黄13)较对照中黄4号增产40.88%,1998年参加所内品比试验较对照增产28.09%。

2.5 对突出好的品系和优良组合的后代及时进行南繁

从1993年开始先后进行了20次南繁,如中黄13(中作975)南繁了3次。南繁缩短了育种年限,加快了优良品系繁殖速度,进而使大豆新品系较快地投入试验和生产。

2.6 及时参加区域试验和生产试验

从1995年起每年有5~10个品系参加全国和省级区域试验和生产试验,先后有22个品种被全国和省级品种审定委员会审定。中黄13(中作975)于1998~2000年参加天津市区域试验和生产试验,1999~2000年参加安徽省区域试验和生产试验,2001年3月分别被安徽省和天津市审定;同年8月,被全国品种审定委员会审定;以后相继参加陕西、北京、辽宁、四川、湖北等省市试验并获得审定。又参加河南和山西省的引种试验,获准在这2个省适宜地区推广种植。

3 产量表现

2004~2012年,对育成的超高产品种在黄淮海地区 and 新疆地区进行了超高产鉴定,成绩较突出。

3.1 黄淮海地区产量表现

1999年,中黄19(中作9612)参加全国黄淮海地区南片大豆区域试验,于河南西华试点出现 $4838 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的高产(3次重复平均),居西华试点首位。这是黄淮海区域试验首次出现产量 $4.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上的结果。2004年,与京晋公司合作,在山西襄垣良种场种植 8.1 hm^2 中黄号大豆,其中中黄13种植 2.24 hm^2 。经专家组现场验收,实收 0.067 hm^2 中黄13和中黄19,产量分别为 4686 和 $4413 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;2005年,专家组对山西襄垣县夏店镇坡底村现场验收,实收 0.067 hm^2 中黄13和中黄19,产量分别为 4584 和 $4719 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

3.2 新疆地区产量表现

为了探讨中黄系列大豆品种的高产潜力,从2007年开始在新疆进行大豆高产栽培的研究。2007年与新疆农垦科学院作物科学研究所合作,中黄35种植面积0.36 hm²,实收0.18 hm²,获产量5 577 kg·hm⁻²;2009年与新疆148团合作,实收中黄35 0.178 5 hm²,获产量6 038 kg·hm⁻²;2010年与新疆148团试验站合作,种植3.02 hm²中黄35,实收0.159 9 hm²,获产量6 088 kg·hm⁻²;2012年与新疆沙湾县乌兰乌苏镇小庙村合作,种植0.62 hm²中黄35,实收0.15 hm²,获产量6 321 kg·hm⁻²。除小面积(667 m²以上)3次创造产量6 t·hm⁻²以上的

全国纪录以外,还创造了我国大豆大面积高产纪录(3 hm²以上)^[28-29]。

4 超高产大豆的产量构成及关键栽培措施

4.1 超高产大豆的产量构成

4.1.1 黄淮海及辽宁地区超4.5 t·hm⁻²的大豆产量构成 经实测,产量超4.5 t·hm⁻²的大豆产量构成如下:密度18.7~35.0株·m⁻²,株高73.6~97.0 cm,节数16.6~17.0个,单株荚数30.1~56.2个,单株粒数71.2~115.1个,单株粒重21.5~24.4 g,百粒重24.8~24.9 g(表1)。

表1 黄淮海及辽宁地区超4.5 t·hm⁻²的大豆产量构成

Table 1 Yield composition of soybean over 4.5 t·ha⁻¹ in Huanhuaihai and Liaoning

年度 Year	品种 Cultivar	产量 Yield /t·hm ⁻²	实收面积 Harvest area /m ²	密度 Density /plants per m ²	株高 Plant height/cm	主茎节数 Main stem nodes	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	单株粒重 Seed weight per plant/g	百粒重 100-seed weight/g	地点 Location
2004	中黄13	4.686	667	22.2	86.4	16.8	36.6	76.5	21.5	24.9	山西襄垣
2005	中黄13	4.584	667	26.3	73.6	—	39.8	87.1	—	—	山西襄垣
2005	中黄19	4.719	667	25.4	88.8	—	56.2	115.1	—	—	山西襄垣
1999	中黄19	4.838	区试	18.7	85.4	17.0	42.1	98.3	24.4	24.8	河南西华区域试验3次重复平均
2009	中黄35	4.503	667	35.0	93.7	16.6	30.1	71.2	—	—	辽宁普兰店
2011	中黄35	4.872	667	18.7	97.0	17.0	52.4	—	—	—	北京密云太师屯

4.1.2 新疆地区超6 t·hm⁻²的大豆产量构成 经实测,产量超6 t·hm⁻²的大豆产量构成如下:密度28.3~29.9株·m⁻²,株高52.4~114.5 cm,节数11.8~16.8,单株荚数36.4~47.5个,单株粒数94.3~102.1个,百粒重20.0~22.1 g(表2)。2012

年6月17日由于遭受严重雹灾,生长点全部被打掉,叶大部被打坏,因此株高和节数等性状不太典型,但可说明,受灾后加强肥水等田间管理,也可获得高产。

表2 新疆地区超6 t·hm⁻²的大豆产量构成

Table 2 Yield composition of soybean over 6.0 t·ha⁻¹ in Xinjiang

年度 Year	品种 Cultivar	产量 Yield/t·hm ⁻²	实收面积 Harvest area/m ²	密度 Density /plants per m ²	株高 Plant height /cm	主茎节数 Main stem nodes	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100-seed weight/g	地点 Location
2009	中黄35	6.038	794	29.3	90.1	16.8	36.4	94.3	22.0	新疆148团19号地
2010	中黄35	6.088	711	29.9	114.5	—	40.5	102.1	22.1	148团试验站苏红
2012	中黄35	6.321	668	28.3	52.4	11.8	47.5	—	20.0	新疆沙湾县乌兰乌苏镇小庙村

4.2 超高产大豆的关键栽培技术措施

选用高产品种,精细整地合理施有机肥。春播大豆最好秋整地,翻地前秋施腐熟有机肥30 t·hm⁻²,翻后整平耙细,达到播种状态。播种量根据品种的百粒重、土壤肥力和所要求的密度来决定。在2~3片复叶期定苗,做到植株均匀健壮。每7~10 d进行滴灌结合施肥,每次滴灌375~600 m³·hm⁻²,施肥45~

60 kg·hm⁻²,做到水肥同步,可减少化肥流失,提高肥料利用率。采用化控调节土壤pH和植株高度:如土壤pH高时可用硫酸亚铁来调节,可用缩节胺来调节植株高度,以免倒伏。及时防治病虫害,苗前用除草剂进行化学除草;生育期间对病虫害要注意防治,可中耕2~3次;生育后期及时喷洒叶面肥和微量元素,以增加粒重;收获前,拔掉杂株,以保持品种纯度。

表 3 大豆不同产量水平时土壤的营养状况

Table 3 Soil nutritional condition at different yield level

年度 Year	品种 Cultivar	产量 Yield/t·hm ⁻²	实收面积 Harvest area/m ²	碱解氮 Nitrogen/mg·kg ⁻¹	速效磷 P ₂ O ₅ /mg·kg ⁻¹	速效钾 K ₂ O/mg·kg ⁻¹	有机质 Organic matter/g·kg ⁻¹	pH	地点 Location
2004	中黄 13	4.686	667	82.27	11.6	167.2	2.378	—	山西襄垣
2005	中黄 13	4.584	667	66.76	18.3	205.2	1.880	—	山西襄垣
2005	中黄 19	4.719	667	79.72	14.5	219.1	2.059	—	山西襄垣
2010	中黄 35	6.088	711	67.00	16.6	430.0	1.820	8.52	148 团试验站苏红

土壤营养状况对大豆产量影响显著。产量 4.5 t·hm⁻² 以上时,土壤碱解氮 66.76~82.27 mg·kg⁻¹,速效磷 11.6~18.3 mg·kg⁻¹,速效钾 167.2~430.0 mg·kg⁻¹,有机质 2.0 g·kg⁻¹ 左右;产量 6 t·hm⁻² 以上时,土壤的速效钾显著高,达 430 mg·kg⁻¹,这点值得重视(表 3)。

5 讨 论

5.1 在诸多育种目标中,产量是第一位的,要选株重粒大的品系

大豆的产量是由每株荚数、每株粒数、百粒重(上述几个性状构成单株粒重)及密度构成的。在育种进程中对与产量有关的性状要特别注意选择。相关研究表明,每株粒重和产量呈极显著正相关,相关系数达 0.59** (安阳)~0.72** (昌平);产量与每荚粒数、每节荚数、百粒重、三四粒荚率显著相关,在后代选择时也应当注意。这与 Byth 等^[30] 的结果相似。

5.2 要注意选择密植条件下不倒伏的品种(系)

根据我们进行的研究:倒伏性与产量呈极显著负相关($r = -0.61^{**}$)。因此,在大豆超高产育种中,首先要筛选抗倒伏的推广品种和有一定特点的材料作为亲本。我们从 250 余份材料选出 20 份材料作亲本,同时对杂交后代及品系进行高肥水鉴定,以明确后代和品系的抗倒伏性,决选品系,特别注意选择在密植条件下(30 株·m⁻²)不倒伏的品系。

5.3 株高适中,不宜太高

目标产量 3.0 t·hm⁻² 以下时,株高为 60~80 cm 即可。中黄 35 产量在 3.0 t·hm⁻² 时,株高为 78.02 cm;产量 4.5 t·hm⁻² 时株高达 93.7 cm;产量 6.08 t·hm⁻² 时株高为 114.5 cm。中黄 35 在产量超过 6.0 t·hm⁻² 时,虽然株高达 114.5 cm,由于调控适当并未倒伏,而是略有倾斜(似倒非倒),籽粒很饱满,百粒重达 22.1 g。

5.4 品种具有高光合生产率是超高产的基础

魏建军等^[9] 对中黄 35 超高产大豆群体的生理参数进行了研究,结果表明:中黄 35 和对照新大豆 1 号

的最大叶面积指数(LAI_{max})分别为 4.31 和 3.64, LAI 大于 3 的天数分别持续 50 和 36 d,全生育期的总光合势(LAD)分别为 2 766 375 和 2 385 645 m²·d;中黄 35 生育前期(出苗后第 16~58 天)群体的光合生产率为 3.3~5.2 g·m⁻²·d⁻¹,而后期(出苗后第 72~114 天)则为 2.52~5.0 g·m⁻²·d⁻¹,对照分别为 3.8~6.0 和 0.6~3.5 g·m⁻²·d⁻¹;中黄 35 的生物产量、籽粒产量和经济系数为 13 943.2 kg·hm⁻²、5 521.5 kg·hm⁻² 和 39.6%,对照则为 13 108.1 kg·hm⁻²、4 666.5 kg·hm⁻² 和 35.63%。与对照相比,中黄 35 最大叶面积指数持续时间长,全生育期的总光合势高,后期群体的光合生产率大,经济系数高是实现超高产目标的基础。

5.5 在超高产大豆育种中,应综合考虑品质、抗性和适应性

如在选育适于黄淮海中南部种植的大豆品种中黄 13 时,既考虑产量,又考虑品种的蛋白质含量,因为此地为高蛋白大豆产区。而东北、华北和西北大部地区是高油品种,因此,中黄 35 既考虑品种的产量,又考虑品种的含油量。而品种能否大面积推广与其适应性密切相关。通过利用不同纬度、遗传背景丰富且地理远缘的品种杂交,选育出高产广适应的中黄 13 和中黄 35 等品种。Zhang 等^[31] 研究证明:中黄 13 在长光照条件下, *GmCRY1a* 基因表达量恒定,说明此品种适应性广。通过对大豆胞囊线虫进行研究,明确北京地区以 4 号生理小种为主,通过杂交明确灰皮支黑豆和 PI437654 是抗胞囊线虫的较好抗源,以此为资源育成了高抗的品种和品系^[32-34]。

5.6 在超高产大豆育种中,育种方法应以有性杂交为主,结合辐射育种和分子育种

因为产量性状是受多基因控制的,只改变 1~2 个基因对产量影响不一定很大。杨守仁教授认为:产量受“微效多基因”所控制。各种育种方法有自己的特点:如辐射育种对提早熟期、提高含油量很有效^[35-38],而分子育种在转化抗性基因上效果很好,所以应当结合起来运用^[39-45]。

5.7 在超高产大豆育种中,应重视野生大豆资源的利用

野生大豆具有遗传多样性^[46-49],它在一些性状

如高蛋白抗胞囊线虫等优于栽培大豆,因此,对野生大豆应加以利用。

5.8 良种良法相结合,才能创造高产

只有将高产品种放在高肥水条件下鉴定,才能明确该品种高产潜力,而且,不同品种对肥料的反应是不同的。张晓红等^[50]对 17 个大豆品种进行比较研究,以筛选大豆耐低磷基因型,为提高土壤磷素利用率提供依据。结果表明,不同品种在根干重、冠干重、根系活性吸收表面积、植物磷含量、分泌性酸性磷酸酶活性等差异显著,确定了中黄 15、中黄 19、Nf37 为耐低磷基因型,中黄 10 号和冀黄 13 为不耐低磷基因型。

参考文献

- [1] Yang S R, Zhang L B, Chen W F, et al. Theories and methods of rice breeding for maximum yield [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, 22(3): 295-306.
- [2] 赵团结, 盖钧镒, 李海旺, 等. 超高产大豆育种研究的进展与讨论[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(1): 29-37. (Zhao T J, Gai J Y, Li H W, et al. Advances in breeding for super high-yielding soybean cultivars [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(1): 29-37.)
- [3] 罗赓彤, 战勇, 刘胜利, 等. 新大豆 1 号和石大豆 1 号高产记录的创造[J]. *大豆科学*, 2001, 20(4): 270-274. (Luo G T, Zhan Y, Liu S L, et al. The creation of the highest yield records on Xindadou 1 and Shidadou 1 of soybean cultivars [J]. *Soybean Science*, 2001, 20(4): 270-274.)
- [4] 宋书宏, 王文斌, 吕桂兰, 等. 北方春大豆超高产技术研究[J]. *中国油料作物学报*, 2001, 23(4): 48-50. (Song S H, Wang W B, Lyu G L, et al. Research on technology for super high yielding in spring soybean [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2001, 23(4): 48-50.)
- [5] 盖翠香, 邱家驹, 刘瑞云, 等. 超高产夏大豆种质 JN96-2343 创新研究初报[J]. *大豆通报*, 2003(4): 22. (Gai C X, Qiu J X, Liu R Y, et al. A preliminary study on development of summer-planting soybean line JN96-2343 with super-yield potential [J]. *Soybean Bulletin*, 2003(4): 22.)
- [6] 李杰坤, 张磊, 戴瓯和, 等. 夏大豆 MN413 单产 4726 kg/hm² 高产栽培技术[J]. *安徽农业科学*, 2001, 29(1): 34-35. (Li J K, Zhang L, Dai O H, et al. Study on super-high yielding cultivation technique of 4726 kg/hm² in summer soybean MN413 [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2001, 29(1): 34-35.)
- [7] 张性坦, 赵存, 柏惠侠, 等. 夏大豆诱处 4 号公顷产 4500 kg 生理指标研究[J]. *中国农业科学*, 1996, 29(6): 46-54. (Zhang X T, Zhao C, Bai H X, et al. Study on physiological indexes of summer soybean variety Youchu 4 yielding 4500 kg/ha. [J] *Scientia Agricultura Sinica*, 1996, 29(6): 46-54.)
- [8] 赵正金, 王玉红, 邱家驹. 夏大豆南农 88-31 特征特性及其栽培技术[J]. *大豆通报*, 2000(1): 20. (Zhao Z J, Wang Y H, Qiu J X. Characteristics of summer-planting soybean cultivar Nannong 88-31 and its cultivation techniques [J]. *Soybean Bulletin*, 2000(1): 20.)
- [9] 魏建军, 罗赓彤, 张力, 等. 中黄 35 超高产大豆群体的生理参数[J]. *作物学报*, 2009, 35(3): 506-511. (Wei J J, Luo G T, Zhang L, et al. Physiological parameters of super-high yielding soybean cultivar Zhonghuang 35 [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(3): 506-511.)
- [10] 张敬涛, 郑殿峰, 申晓慧, 等. 半矮秆大豆窄行密植超高产生长发育动态研究[J]. *大豆科学*, 2009, 28(5): 842-845. (Zhang J T, Zheng D F, Sheng X H, et al. Study on dynamics of growth and development of semi-dwarf soybeans with super high-yielding under high density [J]. *Soybean Science*, 2009, 28(5): 842-845.)
- [11] 杜维广, 刘丽君. 大豆超级种培育的思考[J]. *大豆通报*, 2006(5): 7-8, 12. (Du W G, Liu L J. Thinking on the breeding of super soybean cultivars [J]. *Soybean Bulletin*, 2006(5): 7-8, 12.)
- [12] 王曙明, 孟凡凡, 郑宇宏, 等. 大豆高产育种研究进展[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(9): 162-166. (Wang S M, Meng F F, Zheng Y H, et al. Progress of soybean breeding for high yield [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(9): 162-166.)
- [13] 王岚, 王连铮, 赵荣娟, 等. 大豆超高产育种研究[J]. *大豆科学*, 2007, 26(3): 406-410. (Wang L, Wang L Z, Zhao R J, et al. Soybean breeding for super high yielding [J]. *Soybean Science*, 2007(3): 406-410.)
- [14] Wang L Z, Wang L, Zhao R J, et al. Breeding for super high-yielding soybean [C]. Beijing: World Soybean Research Conference VIII Abstracts, 2009.
- [15] Wang L, Wang L Z, Zhao R J, et al. Soybean breeding for high yield and high protein content [C]. Beijing: World Soybean Research Conference VIII Abstracts. 2009.
- [16] 王岚, 王连铮, 赵荣娟, 等. 高产高油早熟广适应性大豆新品种中黄 35 的选育[J]. *大豆科学*, 2009, 28(2): 360-362. (Wang L, Wang L Z, Zhao R J, et al. Development of soybean new cultivar Zhonghuang 35 with high yielding, high oil, early maturity and broad adaptability [J]. *Soybean Science*, 2009, 28(2): 360-362.)
- [17] 王连铮, 王岚, 赵荣娟, 等. 高产高蛋白多抗性广适应性大豆新品种中黄 13 (中作 975) 的选育报告[J]. *大豆科技与产业化*, 2008(1): 1-7. (Wang L Z, Wang L, Zhao R J, et al. Breeding Report of Zhonghuang 13 (Zhongzuo 975) with high yielding, high protein, multi-resistance and broad adaptability [J]. *Soybean Science-Tech and Industrialization*, 2008(1): 1-7.)
- [18] 王连铮, 王岚, 赵荣娟, 等. 优质、高产大豆育种的研究[J]. *大豆科学*, 2006, 25(3): 205-211. (Wang L Z, Wang L, Zhao R J, et al. Study in soybean breeding for good quality and high yield [J]. *Soybean Science*, 2006, 25(3): 205-211.)
- [19] 蒋建科. 大豆超高产育种获重大突破-亩产达 312.4 公斤 [N]. *人民日报*, 2004-11-2(11). (Jiang J K. Soybean breeding for super high yielding got important breakthrough-4868 kg/ha [N]. *People's Daily*, 2004-11-2(11).)
- [20] 王彬如, 王连铮, 翁秀英, 等. 大豆杂交育种技术 [M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1976. (Wang B R, Wang L Z, Weng X Y, et al. Technique of soybean cross breeding [M]. Harbin: Heilongjiang People's Press, 1976.)
- [21] 王连铮, 王金陵. 大豆遗传育种学 [M]. 北京: 科学出版社, 1992. (Wang L Z, Wang J L. Soybean genetics and breeding [M]. Beijing: Science Press, 1992.)
- [22] 王连铮, 郭庆元. 现代中国大豆 [M]. 北京: 金盾出版社, 2007. Wang L Z, Guo Q Y. Soybean in modern China [M]. Beijing: Jindun Press, 2007.)
- [23] 王连铮. 大豆研究 50 年 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版

- 社,2010. (Wang L Z. Soybean research works for 50 years[M]. Beijing:China Agriculture Scien-Tech Press,2012.)
- [24] 王连铮,王彬如,翁秀英,等. 大豆高产品种选育的研究[J]. 黑龙江农业科学,1980(1):11-17. (Wang L Z, Wang B R, Weng X Y, et al. Study on soybean breeding for high yield[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,1980(1):11-17.)
- [25] 王连铮,胡立成. 高蛋白高产大豆新品种黑农 35 的选育及大豆矮化育种等问题[J]. 中国农业科学,1995,28(5):38-45. (Wang L Z, Hu L C. Breeding of new spring soybean(*Glycine max* L.) cultivar Heinong 35 with high protein content and high yield and problems on soybean breeding for dwarf and others[J]. Scientia Agricultura Sinica,1995,28(5):38-45.)
- [26] 叶兴国,王连铮,刘国强. 黄淮海地区大豆品种遗传改进[J]. 大豆科学,1996,15(1):1-10. (Ye X G, Wang L Z, Liu G Q. Genetic improvement of main characters of soybean cultivars in the Huang-Huai-Hai valley[J]. Soybean Science,1996,15(1):1-10.)
- [27] 王连铮,叶兴国,刘国强,等. 黑龙江省及黄淮海地区大豆品种的遗传改进[J]. 中国油料作物学报,1998,20(4):20-25. (Wang L Z, Ye X G, Liu G Q, et al. Genetic improvement of soybean cultivars in Heilongjiang province and Huang-Huai-Hai valley[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,1998,20(4):20-25.)
- [28] 王岚,王连铮,孙君明,等. 高产高油大豆中黄 35 的中间试验和示范推广项目的总结[J]. 大豆科技与产业化,2011(1):10-22. (Wang L, Wang L Z, Sun J M, et al. Field experiment, demonstration and extension of soybean cultivar with high yield and high oil content[J]. Soybean Scien-Tech and Industrialization,2011(1):10-22.)
- [29] 王连铮,罗庚彤,王岚,等. 北疆春大豆中黄 35 公顷产量超 6 吨的栽培技术的创建[J]. 大豆科学,2012,31(2):216-223. (Wang L Z, Luo G T, Wang L, et al. Development of soybean cultivation technology with the yield over 6 tonnes per hectare for soybean cultivar Zhonghuang 35 in northern Xinjiang province[J]. Soybean Science,2012,31(2):216-223.)
- [30] Byth D E, Weber C R, Caldwell B E. Correlated truncation selection for yield in soybeans[J]. Crop Science,1969,9:699-702.
- [31] Zhang Q Z, Li H Y, Li R, et al. Association of the circadian rhythmic expression of *GmCRY1a* with a latitudinal cline in photoperiodic flowering of soybean[J]. PNAS,2008,105:21028-21033.
- [32] 颜清上,陈品三,王连铮. 中国小黑豆抗源对大豆孢囊线虫 4 号生理小种抗性机制的研究 I. 抗源品种对大豆孢囊线虫侵染和发育的影响[J]. 植物病理学报,1996,26(4):317-323. (Yan Q S, Chen P S, Wang L Z. Mechanism of resistance to race 4 of *Heterodera* in Chinese black soybeans. I. The effects of resistant varieties on the penetration and development of *Heterodera glycines* [J]. Acta Phytopathologica Science,1996,26(4):317-323.)
- [33] 颜清上,王岚,李莹,等. 利用 RAPD 技术寻找大豆抗孢囊线虫 4 号小种标记初报[J]. 大豆科学,1996,15(2):126-129. (Yan Q S, Wang L, Li Y, et al. Preliminary study on identification of RAPD marker associated with resistance to race 4 of *Heterodera glycines* [J]. Soybean Science,1996,15(2):126-129.)
- [34] 王连铮,赵荣娟,王岚,等. 大豆抗孢囊线虫 4 号生理小种新品种的选育研究[J]. 中国农业科学,2002,35(5):476-481. (Wang L Z, Zhao R J, Wang L, et al. Study on soybean breeding for resistance to Physiological Race 4 of Cyst Nematode[J]. Scientia Agricultura Sinica,2002,35(5):476-481.)
- [35] 翁秀英,王彬如,王连铮,等. 大豆辐射育种的研究[J]. 遗传学报,1974,1(2):157-169. (Weng X Y, Wang B R, Wang L Z, et al. Study on soybean mutation breeding[J]. Acta Genetica Sinica,1974,1(2):157-169.)
- [36] Wang L Z, Wang L, Zhao R J, et al. Irradiation mutation techniques combined with biotechnology for soybean breeding[J]. Acta Nucleatica Agricultura,2001,15(5):274-281.
- [37] Wang L Z, Wang L, Zhao R J, et al. Combining radiation mutation techniques with biotechnology for soybean breeding[C]. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency TECDOC-1369,2003:107-115.
- [38] 王连铮,赵荣娟,王岚,等. 大豆辐射育种的某些研究[J]. 中国油料作物学报,2001,23(2):1-5. (Wang L Z, Zhao R J, Wang L, et al. Some research on soybean mutation breeding[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2001,23(2):1-5.)
- [39] Hu C Y, Wang L Z. In planta soybean transformation technologies developed in China: procedure, confirmation and field performance [J]. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant,1999,35:417-420.
- [40] Wang L, Clemente T, Wang L Z, et al. Regeneration study of soybean cultivars and their susceptibility to *Agrobacterium tumefaciens* EHA 101[J]. Acta Agronomica Sinica,2003,29(5):664-669.
- [41] Wang L, Wang L Z, Liu Z F, et al. Soybean transformation of foreign gene mediated *Agrobacterium tumefaciens* [C]. Chicago: Proceeding of WSRC VI,1999.
- [42] 王连铮,尹光初,罗教芬,等. 大豆致瘤及基因转移[J]. 中国科学 B 辑,1984(2):137-142. (Wang L Z, Yin G C, Luo J F, et al. A study on tumor formation of soybean and gene transfer[J]. Science in China(Series B),1984(2):137-142.)
- [43] Wang L Z, Yin G C, Luo J F, et al. T-DNA transfer in soybean [C]. Tsukuba: Proceedings of International Symposium on Soybean in Tropical and Subtropical Cropping Systems,1986:165-170.
- [44] Week J, Wang L, Xin A Q, et al. Expression of the cyanamide hydratase gene in soybean[C]. Missouri: Congress on in vitro Biology St. Louis,2001:6-7.
- [45] Nichols D M, Wang L Z, Pei Y L, et al. Variability among Chinese *Glycine soja* and north American soybean genotypes[J]. Crop Science,2007,47:1289-1298.
- [46] 裴颜龙,王岚,葛颂,等. 野生大豆遗传多样性研究 I. 4 个天然居群等位酶水平的分析[J]. 大豆科学,1996,15(4):302-309. (Pei Y L, Wang L, Ge S, et al. Studies on genetic diversity of *Glycine soja* - isozyme variation in four populations[J]. Soybean Science,1996,15(4):302-309.)
- [47] Wang L. Comparison of several character between *Glycine soja* and *Glycine max* and its utilization in soybean breeding[J]. Soybean Science,2010,29(4):575-579.
- [48] Wang L. Some research on hybridization of wild and cultivated soybean [J]. Soybean Scien-Tech and Industrialization,2010(4):10-19.
- [49] Wang L. Result of natural pollination between cultivated soybean and wild soybean in Beijing [C]. Beijing: Abstract of World Soybean Ressearch Conference VIII,2009:223-224.
- [50] 张晓红,韩胜芳,张振海,等. 不同大豆基因型耐低磷能力的评价[J]. 河北农业大学学报,2008,31(2):6-10,26. (Zhang X H, Hang S F, Zhang Z H, et al. Evaluation of tolerance to low phosphorous capacity of different soybean genotypes[J]. Journal of Hebei Agricultural University,2008,31(2):6-10,26.)

图版 Plate



A



B



C



D



E



F



G



H

A. 2004 年中黄 13 在山西襄垣实测产量 $4\,686\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; B. 2005 年中黄 13 在山西襄垣实测产量 $4\,584\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; C. 2005 年中黄 19 在山西襄垣创 $4\,719\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 高产; D. 2009 年中黄 35 在新疆生产建设兵团农八师 148 团创 $6\,038\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 高产; E. 2010 年中黄 35 在新疆生产建设兵团农八师 148 团实收创 $6\,088\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 高产; F. 2012 年中黄 35 在新疆沙湾县乌兰乌苏镇小庙村实收创 $6\,321\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 高产; G. 2009 年中黄 35 在新疆生产建设兵团农八师 148 团实收 5.8 hm^{-2} , 创 $5\,470\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 大面积高产; H. 2010 年中黄 35 在新疆生产建设兵团农八师 148 团实收 3.08 hm^{-2} , 创 $5\,438\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 高产。

A. Zhonghuang 13 yielded $4\,686\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ at Xiangyuan, Shanxi in 2004; B. Zhonghuang 13 yielded $4\,584\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ at Xiangyuan, Shanxi in 2005; C. Zhonghuang 19 yielded $4\,719\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ at Xiangyuan, Shanxi in 2005; D. Zhonghuang 35 yielded $6\,038\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ at 148 Regiment Agricultural Eight Division of Xinjiang Production and Construction Corps in 2009; E. Zhonghuang 35 yielded $6\,088\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ at 148 Regiment Agricultural Eight Division of Xinjiang Production and Construction Corps in 2010; F. Zhonghuang 35 yielded $6\,321\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ at Xiaomiao Village Ulan Chahanwusu Town Shawan County Xinjiang in 2012; G. Zhonghuang 35 yielded $5\,470\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ with the harvest area of 5.8 hectare at 148 Regiment Agricultural Eight Division of Xinjiang Production and Construction Corps in 2009; H. Zhonghuang 35 yielded $5\,438\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ with the harvest area of 3.02 hectare at 148 Regiment Agricultural Eight Division of Xinjiang Production and Construction Corps in 2010.