

绥农 14 系谱产量生理特性演化研究

金 剑^{1,2}, 刘晓冰¹, 邱丽娟³, 米 亮¹, 李艳华¹, 王光华¹, Stephen J. Herbert⁴

(¹中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081; ²大豆生物学教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150030;

³中国农业科学院作物研究所, 北京 100081; ⁴美国麻省大学植物与土壤科学系, 阿姆斯特市 01003, 麻省 美国)

摘 要:对绥农 14 系谱中 14 个品种进行大田及盆栽试验, 揭示同一大豆系谱的产量及相关生理性状演化趋势, 探讨未来大豆品种改良的关键性状。结果表明: 经过 5 个世代的杂交重组, 鼓粒初期(R5)的光合速率显著增加, 绥农 14 最高, 为 $16.2 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 且光合速率的增加与产量显著相关($P < 0.05$), 但叶面积指数(LAI)没有规律性的变化; 通过系统选育, 根系形态性状也发生显著变化, 从绥农 14 的早代亲本到晚代亲本, 根重、根长及根表面积均有不同程度的提高, 但主要表现为生殖生长后期; 抗性方面, 倒伏级别从 4(75% 倒伏)下降到 1(无倒伏), 籽粒病虫害比率也分别从 5.3% 和 20% 降低至 0 和 6.8%; 生殖生长后期的干物质积累、收获指数及荚粒数的增加与产量的提高密切相关, 而百粒重对产量的提高贡献不大。

关键词:大豆; 系谱; 产量; 光合速率; 根系特性

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2009)03-0426-08

Physiological Change of Pedigree of Suinong 14 in Relation to Yield Improvement

JIN Jian^{1,2}, LIU Xiao-bing¹, QIU Li-juan³, MI Liang¹, LI Yan-hua¹, WANG Guang-hua¹, Stephen J. Herbert⁴

(¹Key Lab of Black Soil, Northeast Institute of Geography and Agro-ecology, CAS, Harbin 150081, Heilongjiang; ²Key Laboratory of Soybean Biology of Ministry of Education, Harbin 150030, Heilongjiang; ³Institute of Crop Science, CAAS, Beijing 150081, China; ⁴Department of Plant and Soil Sciences, University of Massachusetts, Amherst 01003, MA USA)

Abstract: With fourteen cultivars in pedigree of Suinong 14, a field and a pot experiment were conducted to evaluate yield-related physiological improvement in a pedigree of soybean, and to seek the crucial traits in need of improving future soybean breeding. The results showed that the photosynthetic rate at the initial seed filling stage(R5) greatly increased after 5 generations of recombination, which contributes to $16.2 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ of this rate in Suinong 14, the highest one among 14 cultivars. Furthermore, the photosynthetic rate had significant relation with yield($P < 0.05$), but leaf area index(LAI) had no relation with yield. The root morphological characteristics changed greatly as well. From early to late generation, root weight, root length and root surface area increased to some extent, especially at late reproductive stage. For stress-resistant capability, the resistances of lodging reduced from 4(75% of lodging) to 1 of score(no lodging), and the percentage of disease and pest seed decreased from 5.3% and 20% to 0 and 6.8%, respectively. The improvement of dry weight accumulation, harvest index and number of pod and seed were closely related with yield increment, but 100-seed weight did not contribute yield improvement that much.

Key words: Soybean; Pedigree; Yield; Photosynthetic rate; Root characteristics

长期以来,大豆产量低,而且提高缓慢,有研究表明,大豆产量仅以每年 0.5% ($9.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) ~ 0.7% ($13 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的速度增长^[1]。美国在近 60 年的大豆平均产量从 $1350 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 $2250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 在加拿大的安大略省,1941 年至 1998 年间的大豆产量从 $1200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 $2600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,

其中遗传改良起 $50\% \sim 60\%$ 的作用^[2]。因此,分析探讨一段时期内品种的遗传改良的性状变化对于制定未来的育种策略极为重要。

黑龙江省多年来一直是我国的大豆生产基地,也是世界大豆的主要生产带。近 10 年来,大豆种植面积 $233 \sim 300 \text{ 万 hm}^2$, 占全国大豆面积的 30% 左

收稿日期: 2009-02-03

基金项目: 中国科学院研究所学科前沿领域资助项目(KZCX3-SW-NA3-23); 国家自然科学基金资助项目(40701048)。

作者简介: 金剑(1974-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事黑土区作物生理生态研究。E-mail: jinjian29@hotmail.com。

右,总产 400 ~ 500 万 t,占全国的 40%。在种植的品种中,绥农 14 是代表性品种,目前国内推广面积也最大,1996 ~ 2002 年仅在黑龙江、吉林、内蒙古 3 省(自治区)的推广面积就超过了 4.5 万 hm^2 ,增产 63 720 万 kg。绥农 14 的直接父本合丰 25 在黑龙江推广面积达 66.67 万 hm^2 ,母本绥农 8 号是辽宁省中南部及黑龙江省南部主栽品种。绥农 14 的祖先亲本合丰 23、丰收 10 号、小粒豆 9 号、丰收 6 号、克山四粒荚、元宝金、紫花 4 号曾是东北重要的大豆品种,也是建国以来黑龙江省大豆育成品种的主要来源^[3-4]。紫花 4 号、元宝金、荆山朴和克山四粒荚等 10 个品种,对黑龙江省大豆遗传贡献率达 73%^[5]。在东北地区,绥农 14 亲本应用频率很高,其中,紫花 4 号、元宝金、丰收 6 号的衍生品种数分别为 114、85、57 个^[6]。值得一提的是,绥农 14 的祖先中,品种十胜长叶和 Amsoy 是国外种质,由两者衍生品种数分别为 52 和 19 个,对我国育成品种的核贡献率分别达到 13.41% 和 4.88%,且 Amsoy 被列为东北地区十大祖先亲本之一^[7-8]。

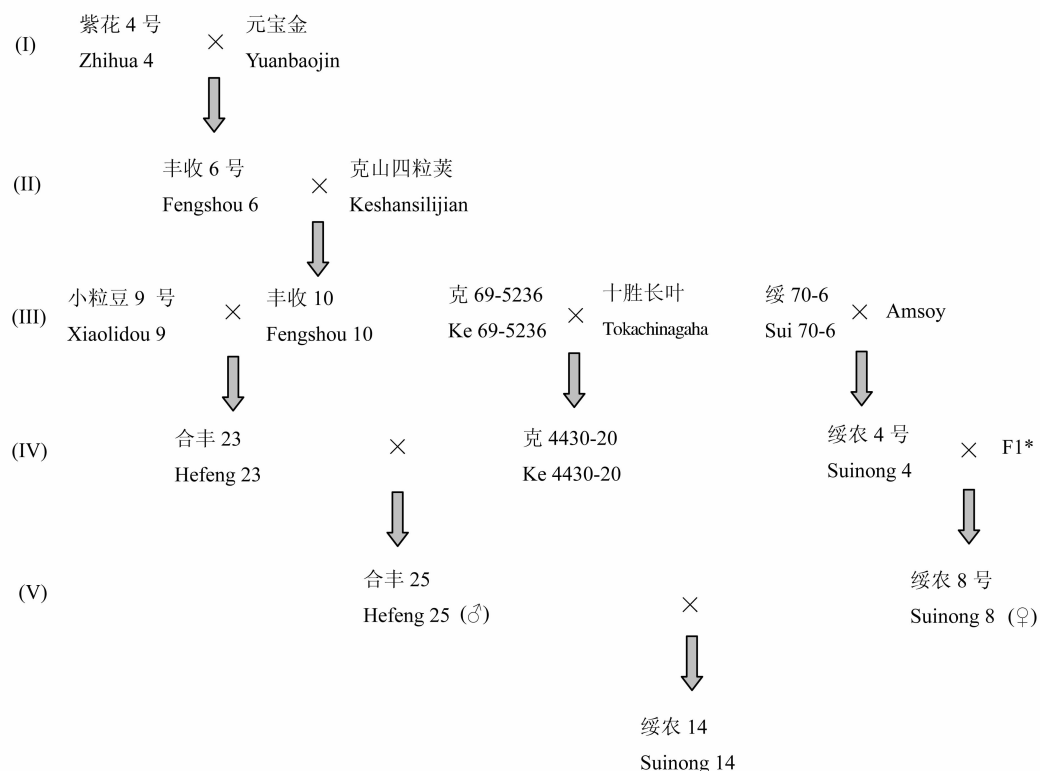
大豆育种的实质是连续地从不同的祖先亲本中积

累目标性状的增效基因,而淘汰减效基因^[9]。经过 5 个世代的杂交重组和遗传改良,绥农 14 的遗传组成与紫花 4 号相比已经发生了很大的变化^[10]。然而,对于绥农 14 系谱与产量相关的生理特性,如干物质和养分积累、光合特性、根系性状、产量形成等,研究较少,以往仅对其基本的农艺性状(种皮色、子叶色、脐色、花色、茸毛色、粒形、百粒重、生长习性等)进行了相关报道^[10-11]。因此,开展此方面的研究,解析品种遗传改良过程中的生理特性变化,以及其与产量的相关关系,提出未来育种需改良的关键性状,探讨大豆再增产的潜力,可为大豆遗传学提供丰富的表型数据,而且对于优良种质的保护和利用及新品种的定向培育具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

由于绥 70-6、克 69-5236 和 F1 三个材料未能保存下来,所以此研究只对该系谱中(图 1)的其余 14 个品种进行试验。品种引自中国农业科学院作物科学研究所国家种质库。



I-V 分别代表 1-5 世代的杂交重组; ♂, ♀ 分别代表父本和母本,下同。

I-V indicate recombination from the first to the fifth generation; ♂ and ♀ indicate pistil and pollen parent, respectively, same as follow.

图 1 绥农 14 亲本系谱图

Fig. 1 Pedigree of Suinong 14 and its parents

1.2 试验设计

试验分两个,第一个为田间试验,主要研究绥农14系谱的群体性状,包括叶面积指数、光合生理特性、抗倒伏、抗病虫及产量性状等;第二个为盆栽试验,重点研究绥农14系谱的根系形态演化趋势。

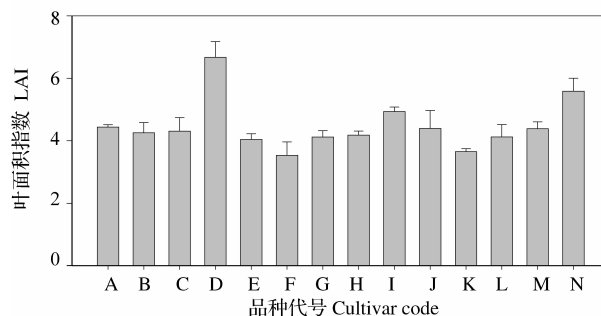
田间试验于2007年在中国科学院海伦生态试验站(N47°26', E126°38')进行。采用随机区组,3次重复,每小区面积17.5 m²。密度27.6万株·hm⁻²,常规垄作方式,垄宽0.70 m。施肥处理为播种前施底肥,尿素50 kg·hm⁻²(N 46%)、二铵50 kg·hm⁻²(N 18%、P₂O₅46%)、三元素150 kg·hm⁻²(N 18%、P₂O₅16%、K₂O 16%),人工点播,出苗后进行间苗、补苗、定苗,确保达到设计密度,其它各项田间管理同大田。在鼓粒初期(R5)取样,每个小区取样5株,每个品种共取样15株,进行各项形态及生理指标的测定。植株叶面积用CI-203便携带手持式激光叶面积仪测定,并计算群体叶面积指数(Leaf area index, LAI);用CI-301Ps光合测定系统在群体条件下测定仪测定叶片的净光合速率($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),开路测定,测定时间在9:00~12:00时;采用烘干法测定植株干物质重。在成熟期(R8)测定植株抗倒伏性,并分为5个等级(1为全部直立;5为全部倒伏)进行评价;收获后测定产量性状(荚数、粒数、百粒重),记录籽粒抗病虫粒数。

盆栽试验在中科院东北地理所盆栽试验场(N45°42', E126°38')进行。随机处理,12次重复。土壤含水量控制在20%(W/W)左右。在第3片复叶展开期(V3)、鼓粒初期(R5)、鼓粒期(R6)和完熟期(R8)取样,在子叶痕处将植株分为地上与地下两部分,将根系缓缓地从中盆中倒出,并浸泡在水中一段时间后,用流水缓缓将根冲洗干净,剥离根瘤,并记录根瘤数。用根系分析系统Winrhizo2004(加拿大Regent公司生产)测定根系形态特性,包括根长、根表面积及平均根直径。采用烘干法测得根系及地上部茎、叶的干物质重。

2 结果与分析

2.1 LAI及光合速率

在R5期测定了绥农14系谱的LAI,但并没有表现出明显的规律。十胜长叶、合丰23和元宝金的LAI较高,而丰收6和绥农4相对较低,系谱其它中品种则差异不大(图2)。在绥农14的系谱中,LAI与产量的相关关系不大($P < 0.05$)。



A:绥农14;B:合丰25;C:绥农8号;D:合丰23;E:克4430-20;F:绥农4号;G:小粒豆9号;H:丰收10;I:十胜长叶;J:Amsoy;K:丰收6号;L:克山四粒荚;M:紫花4号;N:元宝金,下同。
A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M and N are Suinong 14, Heifeng 25, Suinong 8, Hefeng 23, Ke 4430-20, Suinong 4, Xiaolidou 9, Fengshou 10, Shishengchangye, Amsoy, Fengshou 6, Keshangsilijia, Zihua 4, Yuanbaojin, respectively, same as follow.

图2 绥农14系谱R5期LAI

Fig. 2 LAI at the R5 stage in pedigree of Suinong 14

同一时期的光合速率在绥农14系谱中表现出明显的规律性。绥农14的光合速率在14个系谱品种中最高,达到了 $16.2 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,说明绥农14光合潜力较高,其单位叶面积在单位时间内有更高的同化效率。在绥农14的父本合丰25系列中,早代亲本十胜长叶和元宝金的光合速率显著低于合丰25,且呈现出逐代增加的趋势,而其母本绥农8号系列中,光合速率差异不大(图3)。相关分析表明,R5期的光合速率与产量间的相关系数为0.654*,在 $P < 0.05$ 水平上显著,说明绥农14系谱对产量的选育压力是通过光合速率的不断提高而实现的。

2.2 生长动态

在V3期,绥农14的地上部和地下部根系干物质重与其早世代亲本相比,差异不大。在父本合丰25系列中,虽然其早代的元宝金和紫花4号地上部和地下部干物质重均较合丰25高,但与绥农14差异不大;在母本绥农8号系列中,各品种无显著差异。说明在系统选育过程中,苗期干物质积累量并未发生较大变异(图4)。

进入生殖生长期后,根系干重在R5和R6期达到最大,绥农14根重较高,平均每株干重在3.9~4.2 g,而且父本合丰25系列中最早的世代亲本元宝金和紫花4号根干重均低于合丰25和绥农14,在母本绥农8号系列中,Amsoy和绥农4号的根干重高于绥农8号,与绥农14相差不大。到R8期,除绥农14外,系谱中其它的品种根干重均较R5、R6期较大幅度的下降(图4),说明绥农14根系衰老的速度较慢,利于生育后期养分、水分的吸收,促进地

上部干物质积累。在系谱中,2 个国外血缘品种十胜长叶和 Amsoy,以及绥农 4 号在 R5 和 R6 期的根

干重相对其它品种较高,其对绥农 14 较发达的根系贡献可能较大。

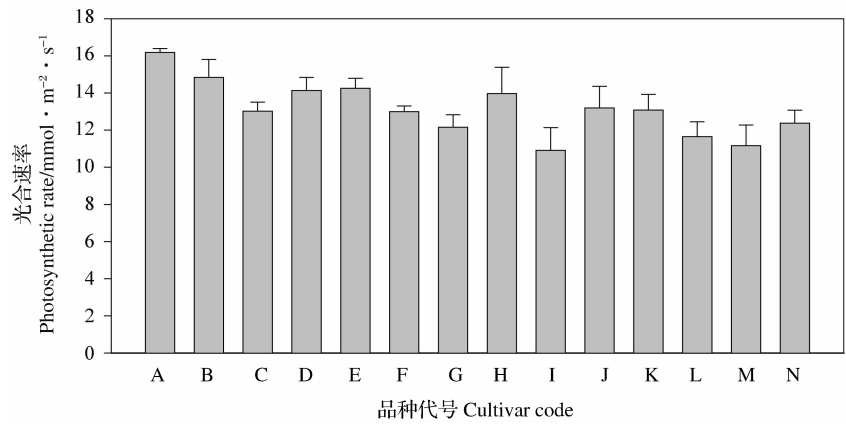


图 3 绥农 14 系谱 R5 期光合速率

Fig. 3 Photosynthetic rate at the R5 stage in pedigree of Suinong 14

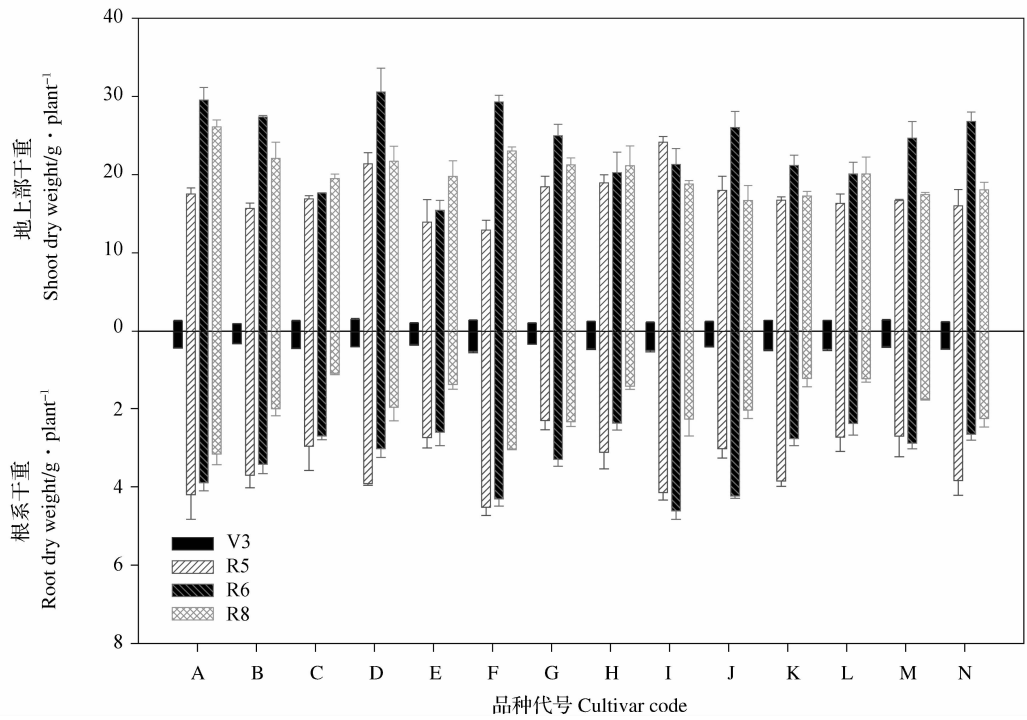


图 4 绥农 14 系谱生育期内地上部及根系干重的变化

Fig. 4 Dynamics of shoot and root across growth stages in pedigree of Suinong 14

绥农 14 系谱品种的地上部干重在不同生殖生长期差异不同。在 R5 期,绥农 14 的地上部干重高于元宝金和紫花 4 号 9.4% 和 5.1%,但绥农 14 父本合丰 25 的地上部干重却低于元宝金和紫花 4 号,其母本绥农 8 号也低于 Amsoy。然而,到 R6 和 R8 期,绥农 14 的父母本地上部干重显著高于其各自较早世代的品种,在 R8 期绥农 14 的干物质重也在系谱品种中达到了最高(图 4)。这说明,通过系统的品种选育过程,绥农 14 在 R5 后的干物质积累

及转运能力得以增强,有利于其产量形成。

2.3 根长、根表面积及根直径

与根系生物量相比,根长是反映根系吸收能力更好的量化指标。从绥农 14 系谱的根长差异可见(图 5),绥农 14 在 V3 期根长与其它品种相比差异不明显;而在 R5 期,除合丰 23 和丰收 6 号,绥农 14 的根长表现出明显的优势;到 R8 期,绥农 14 的根长也较高。说明绥农 14 的根系衰老较慢,利于生育后期养分的吸收。在系谱中,合丰 23 根

系变化与绥农 14 较为相似,丰收 6 号虽然在 R5 期根长较高,但到 R8 期根长降至很低的水平。通过不断的系统选育和改良,绥农 14 父母本系列的根长均表现出逐代增加的趋势,但根系功能的变

化还有待于进一步深入研究。根表面积的变化与根长相似,绥农 14 在 R5 期后也表现出较高的根表面积,晚世代的亲本要较早世代的亲本根表面积高(图 6)。

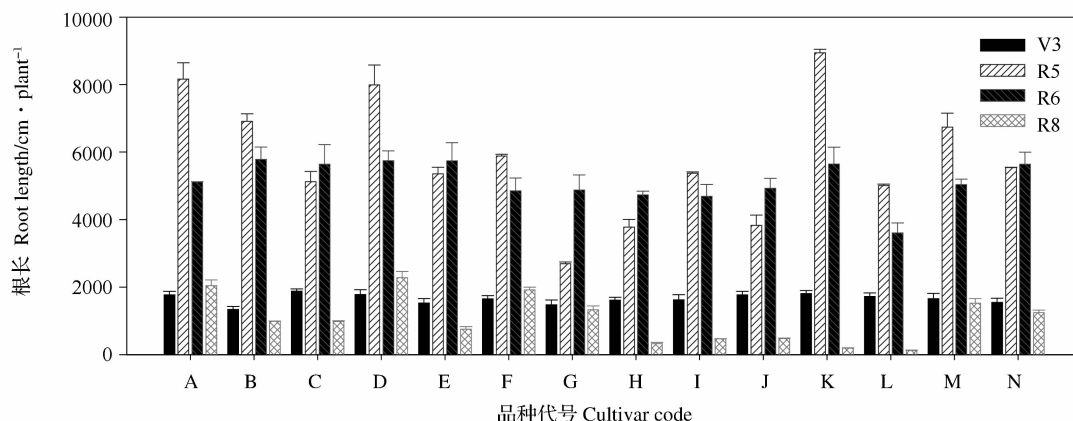


图 5 绥农 14 系谱生育期内根长动态变化

Fig. 5 Root length dynamics across growth stages in pedigree of Suinong 14

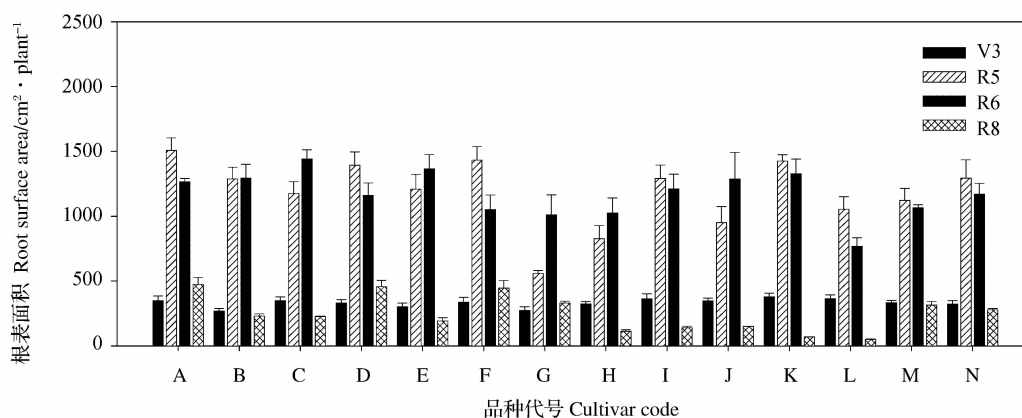


图 6 绥农 14 系谱生育期内根表面积动态变化

Fig. 6 Root surface area dynamics across growth stages in pedigree of Suinong 14

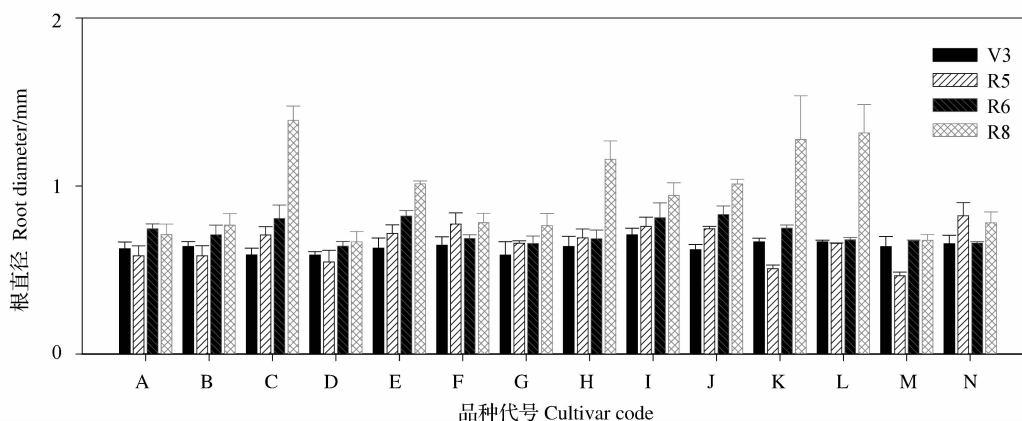


图 7 绥农 14 系谱生育期内平均根直径变化

Fig. 7 Average root diameter change across growth stages in pedigree of Suinong 14

图 7 为绥农 14 系谱平均根直径,根直径在生育后期逐渐升高,在 R8 期达到最大,这是后期大量细根衰亡的结果。在 V3 ~ R6 期,绥农 14 根直径与系谱其它品种相比并未表现出明显的差异,在 R8 期,除合丰 23 外,绥农 14 的根直径低于其早世代亲本品种,说明其细根比例较大,这也与其较大的根长及根表面积相关。

2.4 根瘤数

由图 8 可知,绥农 14 系谱在 R5 期根瘤数差异较大,在每株 57-559 个之间。丰收 6 号、元宝金和

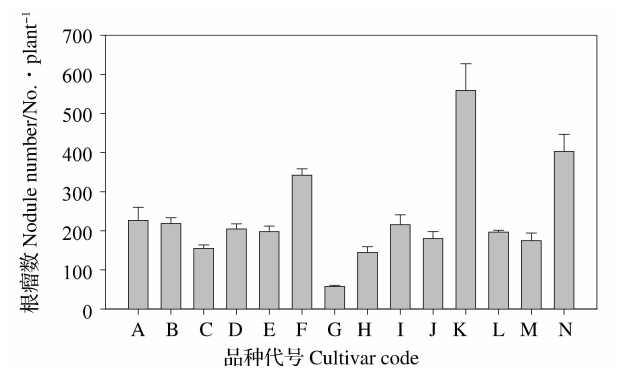


图 8 绥农 14 系谱 R5 期根瘤数
Fig. 8 Nodule number at the R5 stage in pedigree of Suinong 14

绥农 4 的根瘤数明显高于绥农 14,然而除这 3 个品种外,绥农 14 的根瘤数较其它 10 个品种高 4.2%~297%。绥农 14 较多的结瘤特性可能与上述 3 个品种有关,但绥农 14 结瘤特性的生态适应性还有待于在不同的土壤环境条件下进行分析。

2.5 抗倒伏性及籽粒抗病虫害性

在绥农 14 的系谱中,从早世代亲本到晚世代亲本,抗性也逐渐增强。在绥农 14 父母本的亲缘系列中,倒伏级别明显降低,即从元宝金和紫花 4 号的 4.00 和 3.33 降到合丰 25 的 1.00,从 Amsoy 的 2.67 降至绥农 8 的 1.00,绥农 14 的倒伏级别也为 1.00 (表 1),说明通过系统选育,绥农 14 已获得较强的抗倒伏能力。病粒率也由 5.3% 降低至 0,虫粒率也明显降低,元宝金和紫花 4 号虫粒率均超过 20%,而绥农 14 的虫粒率仅为 6.78。值得提出的是,在绥农 14 的系谱中十胜长叶、小粒豆 9 号和绥农 4 号的虫粒率很低,在 2.57~4.56 之间,具有较强的抗虫能力,这些血缘的融入对绥农 14 的抗性提高有密切关系(表 1)。株高在绥农 14 父母本的亲缘系列中均表现逐渐降低的趋势,但绥农 14 的株高却比其父母本合丰 25 和绥农 8 号有所提高,这可能与基因的加性效应有关,而且适当的株高有利于保证较大的产量形成空间。

表 1 绥农 14 系谱株高、倒伏性状及籽粒病虫害率

Table 1 Plant height, lodging rate and percentage of disease and pest seed in pedigree of Suinong 14

品种 Cultivar	株高 Plant height/cm	倒伏等级 lodging rate(1~5)	病粒率 Disease seed percentage/%	虫粒率 Pest seed percentage/%
绥农 14 Suinong14	90.0 + 1.74	1.00 + 0	0 + 0	6.78 + 0.75
(V) 合丰 25 Hefeng 25 (♂)	79.1 + 2.33	1.00 + 0	0 + 0	8.20 + 1.94
(V) 绥农 8 号 Suinong 8 (♀)	73.3 + 2.10	1.00 + 0	0 + 0	17.9 + 3.35
(IV) 合丰 23 Hefeng 23	89.5 + 0.22	1.00 + 0	0 + 0	17.7 + 1.71
(IV) 克 4430-20 Ke 4430-20	74.6 + 1.23	1.00 + 0	0 + 0	15.6 + 2.98
(IV) 绥农 4 号 Suinong 4	75.8 + 2.28	1.00 + 0	0 + 0	4.56 + 0.90
(III) 小粒豆 9 号 Xiaolidou 9	107.0 + 2.80	1.00 + 0	0 + 0	2.77 + 1.52
(III) 丰收 10 Fengshou 10	90.6 + 3.97	1.00 + 0	1.00 + 0.18	20.2 + 3.18
(III) 十胜长叶 Shishengchangye	72.8 + 1.49	1.00 + 0	0 + 0	2.57 + 0.12
(III) Amsoy	129.0 + 0.82	2.67 + 0.27	0 + 0	8.39 + 0.61
(II) 丰收 6 号 Fengshou 6	71.7 + 0.42	1.00 + 0	0 + 0	20.0 + 2.34
(II) 克山四粒莢 Keshangsilijia	88.3 + 2.71	3.33 + 0.27	3.90 + 0.08	7.81 + 0.29
(I) 紫花 4 号 Zihua 4	95.3 + 3.85	3.33 + 0.27	1.05 + 0.02	20.1 + 3.39
(I) 元宝金 Yuanbaojin	98.5 + 0.90	4.00 + 0.47	5.30 + 3.21	25.3 + 0.59

2.6 产量及其产量性状

由表 2 可见,绥农 14 的亲缘亲本可上溯 5 代至元宝金和紫花 4 号,在绥农 14 的父本合丰 25 系列中,荚数、粒数和产量均呈现出逐代增加的趋势,合

丰 25 的荚数、粒数和产量分别比元宝金高 12.5%、18.0% 和 11.9%,比紫花 4 号高 17.1%、52.6% 和 19.6%,比日本品种十胜长叶高 54.4%、103.0% 和 117.9%;在绥农 14 的母本绥农 8 的系列中,荚数、

粒数和产量也得到明显的改善,绥农 8 的荚数、粒数和产量分别较 Amsoy 高 51.6%、49.5% 和 64.3%。绥农 14 系谱逐世代增强的产量潜力对绥农 14 的高产形成有重要作用,虽然克 4430-20 和丰收 10 产量略高于绥农 14,但并无显著差异。在百粒重上,绥

农 14 的父本系列没有表现出明显的规律性变化,而父本绥农 8 系列中,则表现一定的增加趋势,从 15.6 g 增至 18.0 g,增加幅度为 15.4%。收获指数在绥农 14 的父母本中系列中均表现增加的趋势,分别从 0.308 增至 0.472,及 0.296 至 0.470(表 2)。

表 2 绥农 14 系谱产量及产量性状组成

Table 2 Yield and yield components in pedigree of Suinong 14

品种 Cultivar	株荚数 Pod No. per plant	株粒数 Sedd No. per plant	百粒重 100- seed weight/g	株粒重 Seed weight per plant/g	收获指数 Harvest index	产量 Yield/g · m ⁻²
绥农 14 Suinong 14	31.6 ± 2.24	61.1 ± 5.76	16.5 ± 0.137	9.73 ± 0.677	0.462 ± 0.013	248 ± 9.50
(V) 合丰 25 Hefeng 25 (♂)	31.5 ± 1.58	61.5 ± 3.97	15.9 ± 0.091	9.42 ± 0.798	0.472 ± 0.012	244 ± 17.3
(V) 绥农 8 号 Suinong 8 (♀)	29.1 ± 0.41	51.1 ± 4.57	18.0 ± 0.084	9.15 ± 0.577	0.470 ± 0.019	235 ± 11.1
(IV) 合丰 23 Hefeng 23	29.6 ± 2.63	58.5 ± 7.56	16.4 ± 0.136	9.33 ± 1.250	0.471 ± 0.005	237 ± 5.70
(IV) 克 4430-20 Ke4430-20	36.9 ± 2.76	70.9 ± 6.10	13.8 ± 0.196	10.4 ± 1.020	0.477 ± 0.009	266 ± 15.1
(IV) 绥农 4 号 Suinong 4	25.1 ± 1.15	48.9 ± 3.48	17.7 ± 0.066	8.72 ± 0.592	0.485 ± 0.006	224 ± 9.12
(III) 小粒豆 9 号 Xiaolidou 9	22.1 ± 1.90	36.6 ± 3.68	16.2 ± 0.050	6.28 ± 0.582	0.308 ± 0.017	165 ± 13.4
(III) 丰收 10 Fengshou 10	25.2 ± 0.87	58.4 ± 3.96	16.2 ± 0.124	9.52 ± 0.741	0.483 ± 0.013	249 ± 3.75
(III) 十胜长叶 Shishengchangye	20.4 ± 1.47	30.3 ± 1.74	14.3 ± 0.157	4.67 ± 2.090	0.351 ± 0.062	112 ± 8.06
(III) Amsoy	19.2 ± 3.67	34.2 ± 7.64	15.6 ± 0.267	5.54 ± 1.010	0.296 ± 0.028	143 ± 2.72
(II) 丰收 6 号 Fengshou 6	27.8 ± 2.69	50.1 ± 4.21	16.8 ± 0.207	8.93 ± 0.766	0.507 ± 0.002	229 ± 10.6
(II) 克山四粒荚 Keshangsilijia	25.1 ± 4.25	47.0 ± 6.59	17.0 ± 0.111	8.40 ± 1.300	0.432 ± 0.013	215 ± 9.22
(I) 紫花 4 号 Zihua 4	26.9 ± 4.43	40.3 ± 7.60	19.2 ± 0.235	7.73 ± 1.510	0.432 ± 0.012	204 ± 5.40
(I) 元宝金 Yuanbaojin	28.0 ± 0.08	52.1 ± 2.74	16.2 ± 0.211	8.50 ± 0.427	0.434 ± 0.008	218 ± 8.01

3 讨论

对作物基因型进行遗传改良是提高作物产量的重要途径^[12]。研究者致力于通过适当增加 LAI 和光合速率来增加产量,Board 等^[13]发现,R5 期的叶面积指数与产量呈正相关,但本研究对绥农 14 系谱 R5 期 LAI 的测定,发现其并没有规律性的变化,而光合速率与产量存在着显著的相关性,证明通过多世代的定向选择导致绥农 14 系谱光合效率的提高,利于生殖生长期的干物质积累和光能利用率的提高。绥农 14 较高的生物量也证明了这一点。这与 Morrison 等^[14]和 Ashley 等^[15]的研究结果一致。Kumudini 等^[16]指出,大豆生殖生长期叶面积持续期对产量的形成更为重要,这是因为,R5 期后,较长绿叶面积持续期有利于干物质的积累,从而有效提高产量^[17]。所以,绥农 14 系谱生育后期 LAI 动态差异还有待于进一步研究。

根系生长与地上部关系密切。王庆仁等^[18]指出,通过改变根系的形态或生理特性可提高植物吸收养分及水分能力,促进地上部的光合作用,从而增

加干物质积累^[19]。通过系统选育,绥农 14 系谱逐世代的根重、根长、根表面积及根瘤数均有不同程度的提高,尤其至生殖生长后期,即 R6 ~ R8 期,根系衰老缓慢是绥农 14 通过遗传演化获得的重要特性,这也为其产量形成中养分需求及物质转运提供了可靠保障。

在抗性变化方面,许多研究指出大豆品种的改良体现在茎秆增强、倒伏级别下降^[3,20]。在绥农 14 系谱中,与早世代相比,绥农 14 的株高表现一定程度的下降、抗倒伏特性明显提高。另外,籽粒病虫害性状也明显改善,其与株高、倒伏级别表现一致的趋势,群体植株秆强、抗倒伏、抗病虫性增强可能是大豆产量提高的重要原因之一。

表型及生理性状的遗传改良最终表现为产量的增加,研究发现,绥农 14 系谱干物质重和收获指数均随其亲本世代的增加而显著提高,说明绥农 14 碳同化和转运的效率明显高于早世代亲本,而且许多研究也表明,提高收获指数可显著提高大豆产量^[14,21]。在产量组成方面,荚数和粒数的不断提高是产量贡献的主要方面,与百粒重关系不大。

参考文献

- [1] Voldeng H D, Cober E R, Hume D J, et al. Fifty-eight years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada [J]. *Crop Science*, 1997, 37: 428-431.
- [2] Specht J E, Hume D J, Kumudini S V. Soybean yield potential- a genetic and physiological perspective [J]. *Crop Science*, 1999, 39: 1560-1570.
- [3] 王金陵, 杨庆凯, 吴宗璞. 中国东北大豆 [M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1999: 263-266. (Wang J L, Yang Q K, Wu Z P. Soybean in Northeast of China [M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1999: 263-266.)
- [4] 王连铮, 王金陵. 大豆遗传育种学 [M]. 北京: 科学出版社, 1992: 340-341. (Wang L J, Wang J L. Soybean genetics and breeding [M]. Beijing: Science Press, 1992: 340-341.)
- [5] 孙志强. 东北地区大豆品种血缘组成分析 [J]. 大豆科学, 1990, 9(2): 112-120. (Sun Z Q. Analysis of the parentage compositions among soybean cultivars developed in the North East of China [J]. *Soybean Science*, 1990, 9(2): 112-120.)
- [6] 崔章林, 盖钧镒, Thomase E, 等. 中国大豆育成品种及其系谱分析 (1923-1995) [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 23-39. (Cui Z L, Gai J Y, Thomase E, et al. The released Chinese soybean cultivars and their pedigree analysis (1923-1995) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998: 23-39.)
- [7] 盖钧镒, 赵团结, 崔章林, 等. 我国 1923~1995 年育成的 651 个大豆品种的遗传基础 [J]. 中国农业科学, 1998, 31(5): 35-43. (Gai J Y, Zhao T J, Yang Z L, et al. Nuclear and cytoplasmic contributions of germplasm from distinct areas to soybean cultivars released during 1923-1995 in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1998, 31(5): 35-43.)
- [8] 胡国华. 以加拿大大豆系谱分析谈大豆产量育种 [J]. 大豆科学, 1990, 9(2): 168-176. (Hu G H. Analysis of pedigree of Canada soybean for high yield breeding [J]. *Soybean Science*, 1990, 9(2): 168-176.)
- [9] 盖钧镒, 崔章林. 中国大豆育成品种的亲本分析 [J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(3): 19-23. (Gai J Y, Cui Z L. Ancestral analysis of soybean cultivars released in China [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1994, 17(3): 19-23.)
- [10] 秦君, 姜成喜, 刘章雄, 等. 绥农 14 及其系谱亲本的遗传多样性及重组分析 [J]. 遗传, 2006, 28(11): 1421-1427. (Qin J, Jiang C X, Liu Z X, et al. Genetic diversity and recombination of soybean cultivar Suinong 14 and its pedigree [J]. *Hereditas*, 2006, 28(11): 1421-1427.)
- [11] 胡喜平. 合丰号大豆品种系谱分析 [J]. 大豆科学, 2002, 2(21): 131-134. (Hu X P. Analysis of family tree of Hefeng series of soybean varieties [J]. *Soybean Science*, 2002, 2(21): 131-134.)
- [12] 金剑, 刘晓冰, 王光华, 等. 美国大豆品种改良过程中生理特性变化的研究进展 [J]. 大豆科学, 2003, 22(2): 137-141. (Jin J, Liu X B, Wang G H, et al. Research advance on the changes of physiological traits of soybean during genetic improvement in USA [J]. *Soybean Science*, 2003, 22(2): 137-141.)
- [13] Board J E, Zhang W, Harville B G. Yield rankings for soybean cultivars grown in narrow and wide rows with late planting dates [J]. *Agronomy Journal*, 1996, 88: 240-245.
- [14] Morrison M J, Voldeng H D, Cober E R. Physiological changes from fifty-eight years of genetic improvement of short-season cultivars in Canada [J]. *Agronomy Journal*, 1999, 91: 685-689.
- [15] Ashley D A, Boerma H R. Canopy photosynthesis and its association with seed yield in advanced generations of a soybean cross [J]. *Crop Science*, 1989, 29: 1042-1045.
- [16] Kumudini S, Hume D J, Chu G. Genetic improvement in short season soybeans: II. Nitrogen accumulation, remobilization and partitioning [J]. *Crop Science*, 2002, 42: 141-145.
- [17] Hayati R, Egli D B, Crafts-Brandner S J. Carbon and nitrogen supply during seed filling and leaf senescence in soybean [J]. *Crop Science*, 1995, 35: 1063-1069.
- [18] 王庆仁, 李继云, 李振声. 高效利用土壤磷素的植物营养学研究 [J]. 生态学报, 1999, 19(3): 417-421. (Wang Q R, Li J Y, Li Z S. Study on plant nutrition of efficient utility for soil phosphorus [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(3): 417-421.)
- [19] Liu X B, Jin J, Herbert S J, et al. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China [J]. *Field Crop Research*, 2005, 93: 85-93.
- [20] 金剑, 王光华, 刘晓冰, 等. 1950~2006 年间黑龙江省大豆品种农艺性状的演变 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2008, 34(3): 296-302. (Jin J, Wang G H, Liu X B, et al. Agronomic changes of soybean cultivars released during 1950 to 2006 in Heilongjiang province [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Science)*, 2008, 34(3): 296-302.)
- [21] Shiraiwa T, Hashikawa U. Accumulation and partitioning of nitrogen during seed filling old and modern soybean cultivars in relation to seed production [J]. *Japanese Journal of Crop Science*, 1995, 64: 754-759.