

超高产大豆砧木对不同年代育成品种农艺性状的影响

滕菲¹, 李盛有¹, 饶德民¹, 姚兴东¹, 张惠君¹, 王海英¹, Steven St. Martin², 谢甫缙¹

(1. 沈阳农业大学 大豆研究所, 辽宁 沈阳 110161; 2. 俄亥俄州立大学 园艺与作物科学系, 俄亥俄 43210 美国)

摘要: 以超高产大豆品种为砧木嫁接不同年代育成品种, 旨在明确超高产品种砧木对农艺性状的影响, 从而揭示根系改良在大豆育种中的重要作用。以来自相同的祖先亲本(Williams 和 Amsoy)且地理纬度相同的美国俄亥俄州和中国辽宁省不同年代育成的代表性大豆品种为接穗, 分别与超高产大豆品种辽豆 14 和中黄 35 进行嫁接, 成熟期测定植株农艺性状。结果表明: 嫁接处理对大豆品种的农艺性状存在显著影响。自身嫁接的植株与不嫁接植株相比, 其农艺性状没有显著变化。与品种自身作砧木的植株相比, 嫁接到超高产品种辽豆 14 或中黄 35 砧木上时, 不同年代育成品种的株高、主茎节数、分枝数等性状没有显著变化, 但单株荚数、百粒重、粒茎比和单株粒重会显著提高。其中, 与品种自身作砧木的植株相比, 嫁接到超高产品种砧木上, 共同亲本、俄亥俄中期、辽宁中期、俄亥俄当代、辽宁当代的大豆品种单株产量分别提高了 4.5%、6.9%、9.4%、15.7%、19.9%。由此说明, 根系改良会带来大豆品种产量的大幅度提高。

关键词: 大豆; 嫁接; 农艺性状; 超高产品种; 产量; 遗传改良

中图分类号: S565.1 文献标识码: A DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2016.03.0418

Effects of Super-High-Yield Soybean Cultivars as Rootstocks on Agronomic Traits of Cultivars Released in Different Decades

TENG Fei¹, LI Sheng-you¹, RAO De-min¹, YAO Xing-dong¹, ZHANG Hui-jun¹, WANG Hai-ying¹, STEVEN St. Martin², XIE Fu-ti¹

(1. Soybean Research Institute of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. Horticulture and Crop Science Department of The Ohio State University, OH 43210, USA)

Abstract: The purpose of this study was to determine the effects of super-high-yield soybean cultivars as rootstocks on agronomic traits of cultivars released in different decades, thus to reveal the important role of root improvement in soybean breeding. The cultivars, released in different decades by Liaoning, China and Ohio, USA, having the common ancestors Amsoy and Williams, were used to graft onto the rootstocks of super-high-yield cultivars Liaodou 14 and Zhonghuang 35, respectively. After harvest, the agronomic traits were determined. The results showed that there was significant effect of grafting treatment on agronomic traits. And there was no significant change of agronomic traits between the self-grafting and non-grafting treatments. Compared with self-grafting treatment, grafting cultivars onto the rootstocks super-high-yield cultivars Liaodou 14 or Zhonghuang 35 had no significant change of plant height, stem node or branches number, but showed increased pods per plant, 100-seed weight, seed-stem ratio and seeds weight per plant. Compared with the self-grafted rootstocks, grafting cultivars onto the rootstocks super-high-yield cultivars, the seed weight per plant of common parent, Ohio middle, Liaoning middle, Ohio current and Liaoning current cultivars were improved by 4.47%, 6.89%, 9.35%, 15.65% and 19.85%, respectively. These indicated that the improvement of root system could lead to a significantly increased of soybean yield.

Keywords: Soybean; Grafting; Agronomic traits; Super-high-yield cultivars; Yield; Genetic improvement

目前,已有部分学者利用嫁接技术对根系的特性和功能进行了研究^[1-3]。其中, Pantalone 等^[1]通过嫁接试验表明,抗旱种质 PI416937 的根系由于具有较多的根毛和较强的固氮活性,能够提高地上部籽粒产量。但由于大豆的根系生长在地下,其形态特征和生理特性观测难度较大,因此育种家往往会忽视对根系性状的选择和相关研究。而大豆根系又是作物吸收水分和养分的重要器官,与地上部生长发育和养分的吸收利用关系密切^[4-5],对地上部

分生物量、产量和品质形成具有重要影响^[6]。因此,明确根系改良对地上部农艺性状的影响具有重要意义。本课题组在前期工作中发现,超高产大豆品种辽豆 14 和中黄 35 (在生产实践中创造过 >4 875 kg·hm⁻² 超高产纪录,被大豆专业委员会认定为超高产品种)相比于普通品种,在生育后期能够维持较强的根系生理活性^[7]。

本研究采用来自相同祖先亲本(均来自 Williams 和 Amsoy)且地理纬度相同的美国俄亥俄州

收稿日期: 2016-01-17

基金项目: 国家自然科学基金(31171570)。

第一作者简介: 滕菲(1990-),女,硕士,主要从事大豆产量遗传改良研究。E-mail: tfly1122@163.com。

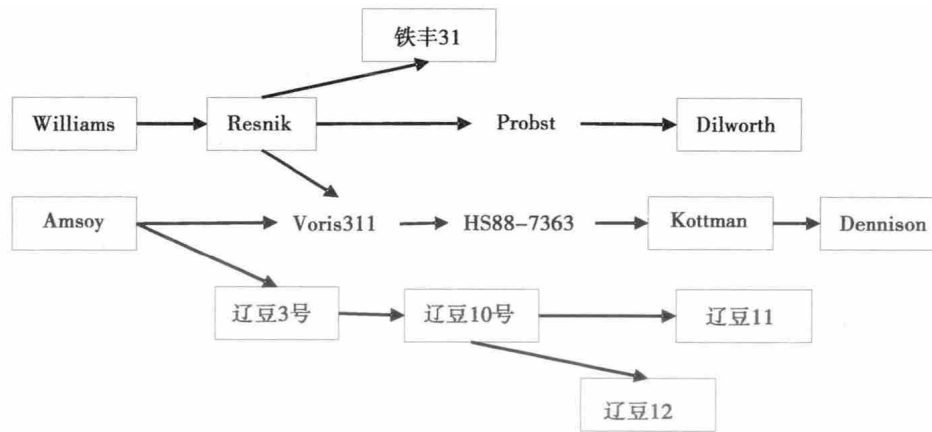
通讯作者: 谢甫缙(1966-),男,博士,教授,主要从事大豆产量生理与遗传改良研究。E-mail: snssoybean@sohu.com。

和中国辽宁省不同年代育成的代表性大豆品种作为试材(接穗),分别与超高产大豆品种的砧木进行嫁接。所选的不同年代育成品种因源自共同的祖先亲本,彼此之间具有血缘关系,可以消除遗传背景差异带来的影响。且本课题组研究发现,俄亥俄和辽宁当代品种的产量和农艺性状相比于共同亲本均得到了较大的遗传改良^[8],因此可以探究当代品种是否具有更高的产量潜力;而以超高产大豆品种的根系作为砧木,可以在保证地上部分基因型不变的条件下提高根系的生理机能。因此,本项研究试图明确超高产大豆砧木对不同年代育成大豆品种农艺性状的影响,从而揭示根系改良在大豆育种中的重要作用。

1 材料与方法

1.1 材料

试验采用具有相同祖先亲本(Williams 和 Amsoy)的美国俄亥俄州和中国辽宁省不同年代育成的大豆品种(图1)为试材,按照品种的育成年代和来源将该11个品种划分为5组(表1):共同亲本(Common Parent,CP)、俄亥俄中期(Ohio Middle,OM)、辽宁中期(Liaoning Middle,LM)、俄亥俄当代(Ohio Current,OC)、辽宁当代(Liaoning Current,LC)。另外,选用辽豆14(L14)和中黄35(Z35)为超高产代表品种。所有试验品种的熟期均为Ⅲ熟期组。



方框内为美国俄亥俄州和中国辽宁省不同年代育成的大豆品种。

Cultivars in the box were released in different decades from Liaoning, China and Ohio, USA.

图1 供试大豆品种的亲缘关系

Fig. 1 Genetic relationship of soybean cultivars tested in this study

表1 供试品种分组情况

Table 1 Group of selected cultivars

分组 Group	品种 Cultivar	育成年代 Year of release
共同亲本	Amsoy	1966
CP	Williams	1971
俄亥俄中期	Resnik	1987
OM	Kottman	1991
辽宁中期	辽豆3号 Liaodou 3	1983
LM	辽豆10号 Liaodou 10	1991
俄亥俄当代	Dilworth	2002
OC	Dennison	2006
辽宁当代	辽豆11 Liaodou 11	1996
LC	辽豆12 Liaodou 12	2001
	铁丰31 Tiefeng 31	2001
超高产大豆	辽豆14 Liaodou 14	2003
H	中黄35 Zhonghuang 35	2006

1.2 试验设计

试验于2014年在沈阳农业大学试验基地进行。将挑选的优良种子播种于盛满土的营养钵(12 cm × 12 cm × 12 cm)中,于VC期采用劈接法对幼苗进行嫁接,具体嫁接方法参照Pantalone等^[1]。设计4个嫁接处理:(1)不嫁接;(2)D/D,11个不同年代育成的品种进行自身嫁接;(3)D/L14,11个不同年代育成的品种分别嫁接于L14砧木;(4)D/Z35,11个不同年代育成的品种分别嫁接于Z35砧木。嫁接植株和不嫁接植株均放置于温室大棚(遮光率为85%,温度为23~28℃,相对湿度为90%)中进行缓苗。待V2期嫁接植株成活后,将嫁接植株和不嫁接植株统一移栽至室外盆栽(25 cm × 20 cm × 30 cm,12.5 kg)土中,每盆定苗2株。每盆作为每个处理的一次重复,采用随机排列,3次重复。每日采用滴灌浇水,浇水量以满足植株各个生育时期需水量为准。

1.3 测定项目与方法

成熟收获后取样考种,测定株高、主茎节数、分枝数、单株荚数、每荚粒数、单株粒数、百粒重、单株产量和粒茎比。粒茎比 = 籽粒重量 / (茎秆重量 + 荚皮重量)。

1.4 数据分析

采用 SPSS 17 软件(Chicago, IL) 中一般线性模型(GLM)对嫁接处理、品种及其两者交互效应进行分析。多重比较采用 LSD 方法, P 值小于 0.05 为显著性差异。

2 结果与分析

2.1 超高产大豆砧木对不同年代育成品种形态性状的影响

由表 2 可知,自身嫁接植株与不嫁接植株相比,其农艺性状无显著变化。与品种自身作砧木的植株相比,嫁接到超高产大豆品种辽豆 14 或中黄 35 砧木上时,株高、主茎节数和分枝数也均无显著变化。说明嫁接对植株的形态性状几乎没有影响。

表 2 超高产大豆砧木对不同年代育成品种形态性状的影响

Table 2 Effects of super-high-yield soybean as rootstock on morphological traits of cultivars released in different decades

性状 Trait	分组 Group	嫁接处理 Treatment				平均 Average	F 值		
		不嫁接 Non-graft	自身嫁接 Self-graft	D/L14	D/Z35		分组 Group	嫁接处理 Treatment	分组 × 处理 G × T
株高 Plant height /cm	共同亲本 CP	96.5	102.3	102.7	98.0	99.9 a	21.7**	0.7	1.8*
	俄亥俄中期 OM	86.8	86.0	85.2	84.3	85.6 c			
	辽宁中期 LM	94.7	89.8	98.8	96.0	94.8 b			
	俄亥俄当代 OC	90.0	85.0	92.2	79.5	86.7 c			
	辽宁当代 LC	101.9	99.2	95.6	104.6	100.3 a			
	平均 Average	94.0 a	92.5 a	94.9 a	92.5 a	93.5			
主茎节数 Nodes	共同亲本 CP	19.5	21.8	21.3	21.0	20.9 a	0.5	1.2	1.6
	俄亥俄中期 OM	19.7	19.0	22.2	20.2	20.3 a			
	辽宁中期 LM	19.8	19.3	22.2	21.2	20.6 a			
	俄亥俄当代 OC	21.5	21.0	21.3	18.7	20.6 a			
	辽宁当代 LC	20.0	19.9	19.0	21.3	20.1 a			
	平均 Average	20.1 a	20.2 a	21.2 a	20.5 a	20.5			
分枝数 Branches	共同亲本 CP	4.5	4.5	4.5	4.8	4.6 ab	2.6*	1.7	1.1
	俄亥俄中期 OM	5.0	4.8	5.5	4.8	5.0 a			
	辽宁中期 LM	3.5	5.0	4.8	3.5	4.2 b			
	俄亥俄当代 OC	6.0	6.0	5.3	4.0	5.3 a			
	辽宁当代 LC	4.6	4.9	4.4	4.6	4.6 ab			
	平均 Average	4.7 a	5.0 a	4.9 a	4.3 a	4.8			

*: 0.05 水平差异显著; **: 0.01 水平差异显著; 同一行中的小写字母分别表示不同嫁接处理间 0.05 水平显著差异; 同一列中的小写字母分别表示不同年代品种间 0.05 水平显著差异。下同。

*: Significant at the 0.05 level; **: Significant at the 0.01 level. Values followed by lowercase letters within a row or column indicate significantly different at 5% level among different grafting treatment or different varieties released in different decades. The same below.

2.2 超高产大豆砧木对不同年代育成品种单株荚数和粒数的影响

由表 3 可知,自身嫁接植株与不嫁接植株相比,其单株荚数、每荚粒数和单株粒数无显著变化。与品种自身作砧木的植株相比,嫁接到超高产品种辽豆 14 砧木(D/L14)上时,其单株荚数平均提高了 14.0%,每荚粒数平均降低了 4.0%,单株粒数平均提高了 10.1%;嫁接到超高产大豆品种中黄 35 砧木(D/Z35)上时,单株荚数平均提高了 10.0%,每荚粒数平均降低了 12.6%,单株粒数平均降低了 3.7%。虽然单株荚数、每荚粒数和单株粒数在嫁接处理与品种间的交互效应并不显著,但仍可看出,俄亥俄当代品种在嫁接到超高产品种辽豆 14 砧木

上时,其具有较高的单株荚数和单株粒数。

2.3 超高产大豆砧木对不同年代育成品种粒重的影响

由表 4 可知,自身嫁接植株与不嫁接植株相比,其百粒重、粒茎比和单株粒重无显著变化。与品种自身作砧木的植株相比,嫁接到超高产大豆品种辽豆 14 和中黄 35 砧木上时,百粒重分别平均提高了 9.9% 和 9.6%,粒茎比分别平均提高了 21.2% 和 14.5%,单株粒重分别平均提高了 17.5% 和 6.3%,差异均达显著水平。

由于百粒重和单株粒重在嫁接处理与分组品种间的交互效应达极显著水平,需分别进一步比较嫁接处理对不同年代育成品种的影响。其中,与品种自身

作砧木的植株相比, 嫁接到超高产品种砧木上时使共同亲本的百粒重降低了 6.0%, 俄亥俄中期、辽宁中期、俄亥俄当代和辽宁当代品种分别提高了 9.6%、7.9%、14.6%、20.3%。在单株粒重方面, 与品种自身作砧木的植株相比, 嫁接到超高产品种砧木上, 共

同亲本、俄亥俄中期、辽宁中期、俄亥俄当代、辽宁当代分别提高了 4.5%、6.9%、9.4%、15.7%、19.9%。由此看出, 嫁接到超高产大豆品种砧木上后能够使大豆产量得到进一步提高, 其中, 当代品种百粒重和单株粒重的增幅大于中期品种和共同亲本。

表 3 超高产大豆砧木对不同年代育成品种荚数和粒数的影响

Table 3 Effects of super-high-yield soybean as rootstock on pods and seeds number of cultivars released in different decades

性状 Trait	分组 Group	嫁接处理 Treatment				平均 Average	F 值		
		不嫁接 Non-graft	自身嫁接 Self-graft	D/L14	D/Z35		分组 Group	嫁接处理 Treatment	分组 × 处理 G × T
单株荚数 Pods per plant	共同亲本 CP	69.2	67.0	72.2	68.5	69.2 d	9.6**	5.6**	1.2
	俄亥俄中期 OM	74.8	74.3	81.7	87.7	79.6 bc			
	辽宁中期 LM	69.5	70.8	72.7	78.3	72.8 cd			
	俄亥俄当代 OC	78.8	82.7	111.8	91.2	91.1 a			
	辽宁当代 LC	75.6	77.4	86.2	83.8	80.8 b			
	平均 Average	73.6 b	74.5 b	84.9 a	81.9 a	78.7			
每荚粒数 Seeds per pod	共同亲本 CP	2.1	2.1	2.3	2.1	2.1 ab	3.7**	5.3**	1.3
	俄亥俄中期 OM	2.4	2.4	2.1	1.8	2.2 a			
	辽宁中期 LM	2.1	2.1	2.2	1.8	2.0 ab			
	俄亥俄当代 OC	2.6	2.4	2.1	2.0	2.3 a			
	辽宁当代 LC	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9 b			
	平均 Average	2.2 a	2.2 a	2.1 a	1.9 b	2.1			
单株粒数 Seeds per plant	共同亲本 CP	144.0	140.5	162.3	143.0	147.5 c	33.9**	9.7**	1.0
	俄亥俄中期 OM	167.3	164.5	172.7	152.2	164.2 b			
	辽宁中期 LM	144.3	148.3	160.3	139.3	148.1 c			
	俄亥俄当代 OC	198.7	194.5	227.0	177.3	199.4 a			
	辽宁当代 LC	151.7	153.0	162.8	155.2	155.7 ab			
	平均 Average	160.3 b	159.5 b	175.7 a	153.6 b	162.3			

表 4 超高产大豆砧木对不同年代育成品种粒重的影响

Table 4 Effects of super-high-yield soybean as rootstock on seeds weight of cultivars released in different decades

性状 Trait	分组 Group	嫁接处理 Treatment				平均 Average	F 值		
		不嫁接 Non-graft	自身嫁接 Self-graft	D/L14	D/Z35		分组 Group	嫁接处理 Treatment	分组 × 处理 G × T
百粒重 100-seed weight/g	共同亲本 CP	14.3	14.6	13.8	13.7	14.1 d	75.5**	8.9**	2.6**
	俄亥俄中期 OM	14.4	14.2	15.5	15.5	14.9 cd			
	辽宁中期 LM	16.3	16.3	17.3	18.0	16.9 b			
	俄亥俄当代 OC	14.5	14.2	16.0	16.6	15.3 c			
	辽宁当代 LC	18.8	18.4	22.8	21.4	20.4 a			
	平均 Average	15.7 b	15.5 b	17.1 a	17.0 a	16.3			
粒茎比 Seed-stem ratio	共同亲本 CP	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7d	34.3**	18.3**	1.2
	俄亥俄中期 OM	0.8	0.8	1.0	1.0	0.9 c			
	辽宁中期 LM	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9 c			
	俄亥俄当代 OC	1.0	1.0	1.3	1.2	1.1 a			
	辽宁当代 LC	0.9	0.9	1.1	1.1	1.0 b			
	平均 Average	0.8 b	0.9 b	1.0 a	1.0 a	0.9			
单株粒重 Seed weight per plant/g	共同亲本 CP	20.8	20.3	22.5	19.9	20.9 c	161.7**	39.2**	3.2**
	俄亥俄中期 OM	24.3	23.7	26.5	24.1	24.7 b			
	辽宁中期 LM	24.1	23.6	26.7	24.8	24.8 b			
	俄亥俄当代 OC	28.6	28.1	34.4	30.6	30.4 a			
	辽宁当代 LC	28.5	27.9	35.0	31.9	30.8 a			
	平均 Average	25.3 c	24.7 c	29.0 a	26.3 b	26.3			

3 结论与讨论

作物正常的生长发育需要依靠地上部的光合作用和地下部根群吸收水分和养分^[9]。因此,大豆产量与根系性状密切相关,强大的根系是获得高产的重要保证^[10]。但在以往大豆品种选育过程中,育种家主要针对地上部的产量、农艺性状、品质和抗性进行决选,往往忽视对根系性状的选择。而根系机能可能是限制大豆品种产量进一步提高的关键因素。马兆惠等^[11]、杨光等^[12]研究发现,大豆根系形态性状、根系活力与籽粒产量呈显著或极显著正相关。在根系形态方面,普通大豆品种各个生育时期的性状平均值较超高产品种具有更大的根系总长度、根系表面积、根系体积,但从始花期开始至鼓粒末期,超高产品种的根系直径、根系干重、根尖数量均显著大于普通品种^[13]。在根系活力等方面,超高产品种辽豆 14 和中黄 35 在各生育时期伤流量均高于普通品种辽豆 11,超高产品种根系活力在生育前期无明显优势,甚至低于普通品种,但在 R4 和 R6 期,超高产品种根系伤流量、根系活力、根瘤重、固氮量、固氮活性均显著高于普通品种^[7]。本研究通过不同嫁接处理证明,与不嫁接植株相比,自身嫁接植株的农艺性状均无显著变化。与自身嫁接植株相比,嫁接到超高产品种辽豆 14 或中黄 35 砧木上时,不同年代品种的株高、主茎节数、分枝数等形态性状无显著变化,而单株荚数、百粒重、粒茎比和单株粒重等产量性状会得到显著提高。由此说明,嫁接于超高产品种砧木后,不同年代育成品种的产量会得到显著增加,特别是当代品种产量增幅最大。可能是由于超高产品种的根系特性在生育前期无明显优势,而使不同年代育成品种嫁接到超高产品种砧木后其形态性状无显著变化;又因超高产品种在生育后期具有较好的根系性状指标,在结荚鼓粒期仍然能够保持一定的根系活力和生理活性,能够延长对地上部分提供水分和养分的时间,积累更多的干物质,促进籽粒的形成,使产量增加,从而使不同年代育成品种嫁接到超高产品种砧木后其产量性状得到明显的改良;由于俄亥俄和辽宁当代品种的产量性状相比于共同亲本得到了较大的遗传改良,因此嫁接到超高产品种砧木后当代品种的产量增加幅度最大。由此说明,根系得到改良会带来大豆品种产量和产量性状的提高。因此,为了进一步提高大豆品种的产量潜力,育种家应该重视根系性状的遗传改良。

参考文献

- [1] Pantalone V R, Rebetzke G J, Burton J W, et al. Soybean PI416937 root system contributes to biomass accumulation in reciprocal grafts[J]. *Agronomy Journal*, 1999, 91: 840-844.
- [2] Cardwell, V B, Polson D E. Response of 'Chippewa 64' soybean scions to roots of different genotypes[J]. *Crop Science*, 1972, 12: 217-219.
- [3] Ookawa T, Nishiyama M, Takahiro J, et al. Analysis of the factors causing differences in the leaf-senescence pattern between two soybean cultivars, Enrei and Tachinagaha[J]. *Plant Production Science*, 2001, 4: 3-8.
- [4] 王金陵, 杨庆凯, 吴宗璞. 中国东北大豆[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学出版社, 1999: 54. (Wang J L, Yang Q K, Wu Z P. North-east Soybean in China[M]. Harbin: Heilongjiang Science Press, 1999: 54.)
- [5] Morita S. Root system distribution and its possible relation to yield in rice[M]// Korean Society of Crop Science. Low-input sustainable crop production systems in Asia. Seoul: KSCS, 1993: 371-377.
- [6] Dorlodot S, Forster B, Loïc Pagès, et al. Root system architecture: Opportunities and constraints for genetic importment of crops[J]. *Trends in Plant Science*, 2007, 12(10): 474-481.
- [7] 张晓霞, 张惠君, 宋书宏, 等. 超高产大豆根系活力和根瘤特性的比较研究[J]. *大豆科学*, 2013, 32(4): 495-500. (Zhang X X, Zhang H J, Song S H, et al. Comparison on root activity and nodulation characteristics of super-high-yielding soybeans[J]. *Soybean Science*, 2013, 32(4): 495-500.)
- [8] 郭小红, 王兴才, 孟田, 等. 中国辽宁省和美国俄亥俄州育成大豆品种形态、产量和品质性状的比较研究[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(21): 4240-4253. (Guo X H, Wang X C, Meng T, et al. Comparison on morphological, yield, and quality traits of soybean cultivars developed in different years from Liaoning and Ohio[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(21): 4240-4253.)
- [9] Yamaguchi J, Tanaka A. Minimum space for root development without mechanical stress for obtaining a high yield of rice[J]. *Soil Sciences and Plant Nutrition*, 1990, 36(3): 515-518.
- [10] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 20-25. (Dong Z. Soybean yield physiology[M]. Beijing: Agricultural Press, 2000: 20-25.)
- [11] 马兆惠, 车仁君, 王海英, 等. 种植密度和种植方式对超高产大豆根系形态和活力的影响[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(6): 1084-1094. (Ma Z H, Che R J, Wang H Y, et al. Effect of different seeding rates and planting patterns on root morphological traits and root vigor of super-high-yield soybean cultivars[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(6): 1084-1094.)
- [12] 杨光, 张惠君, 宋书宏, 等. 超高产大豆根系相关性状的比较研究[J]. *大豆科学*, 2013, 32(2): 176-181. (Yang G, Zhang H J, Song S H, et al. Comparison on some root related traits of super-high-yielding soybean[J]. *Soybean Science*, 2013, 32(2): 176-181.)
- [13] 杨光, 谢甫缙, 丁国华, 等. 磷酸二铵对超高产和普通大豆品种根系形态影响[J]. *大豆科学*, 2015, 34(2): 243-248. (Yang G, Xie F T, Ding G H, et al. Effect of different diammonium phosphate levels on root morphology and yield of super-high yield soybean[J]. *Soybean Science*, 2015, 34(2): 243-248.)