

冀南地区不同产量类型夏大豆根系性状的研究

刘莹¹,肖付明²,张孟臣³

(¹河北工程大学农学院,河北邯郸 056038;²邯郸市农业科学院大豆研究所,河北邯郸 056000;³河北省农林科学院粮油作物研究所,河北石家庄 050031)

摘要:为探讨大豆产量与根系性状之间的关系,以在冀中南地区夏播表现相对高产和低产的15个大豆品种为材料,采用盆栽方法,在出苗后20 d(苗期)、41 d(开花结荚期)、65 d(结荚鼓粒期)分别测定形态和生理性状。结果表明:根系鲜重、根总长、根体积和根系活力在不同取样时期两种产量类型间未达到显著差异,但两种产量类型间的根活形态指标及其增量在出苗后41 d和65 d均达到极显著差异,且与产量呈极显著正相关,特别是出苗后65 d的根活形态指标及增量与产量的相关系数更大,该期的相应根系指标可作为大豆高产育种在根系方面的参考。根活形态增量与产量具有极显著正相关,可用于生育期差异较大的材料之间的研究,进而对大豆产量相关根系性状的遗传研究提供了可行性指标。

关键词:夏大豆;产量类型;根系性状

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2009)04-0665-05

Root Traits of Different Seed Yield Summer Soybean in the South of Hebei Province

LIU Ying¹,XIAO Fu-ming²,ZHANG Meng-chen³

(¹College of Agronomy, Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei;² Soybean Institute, Agricultural Sciences Academy of Handan City, Handan 056000, Hebei;³Institute of Cereal and Oil Crop, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences; Shijiazhuang 050031, Hebei, China)

Abstract:For probing into the developing relation between reproductive yield and root trait in soybean, fifteen summer soybean varieties with relative higher and lower yields in mid-south of Hebei province were used for researching on root traits by pot experiment. At 20, 41, 65 days after emergence, the root morphological and physiological traits were determined. Results showed that root fresh weights, root total lengths, root volumes and root reductive activities were not significantly different between two yield types; while the root-active-morphological traits (RAMT), namely, the products of root reductive activities and root fresh weights, root total lengths, root volumes, respectively, were significant different at 41, 65 days after emergence between two yield types, and the same as the increments of the RAMT. The RAMT and their increment were significant positively correlated with yield at 41, 65 days after emergence, especially at 65 days after emergence. The RAMT and their increment could be used for the research among varieties which had much diversity of growth periods, and further could be used for genetic research on the soybean root trait correlated with yield.

Key words: Summer soybean; Yield type; Root trait

随着对根系认识的逐渐深化,围绕大豆产量的形成,相关的研究开展了很多^[1-5],傅金民等^[6]指出,大豆生育的中前期良好的根系生长对提高产量有积极作用。Pantalone^[7]、金剑^[8]等对各自生态地区的高产类型根系形态进行了研究,认为高产品种具有更为发达的根系,其根系形态指标均超过低产类型品种。但已有的不同产量类型大豆根系形态研究只是局限在某一个生育时期,而在大豆生长过程中根系形态以及生理性状的动态研究还少有报道。

以黄淮地区不同产量类型品种为材料,对其形态与生理性状的动态变化进行研究,旨在为探讨高产类型根系的形成特征提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验地位于河北邯郸农科院实验农场,选取在本地表现相对高产和相对低产的品种为材料。相对高产品种为:石豆411、冀豆12、邯豆4号、中黄4

收稿日期:2008-12-10

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(C2008000721)。

作者简介:刘莹(1966-),女,副教授,博士,研究方向为大豆遗传育种。

号、冀豆15、邯豆5号、齐黄28、沧豆4号、冀豆17；相对低产品种为：豫豆2号、冀豆7号、中黄18、鲁豆4号、早熟6号、胜利3号。

1.2 方法

采用盆播，供试土壤取自河北邯郸农科院实验农场，壤土，肥力中等，晒干过筛后，每盆装土7 kg并施入复混肥34 g。完全随机排列，每盆留苗2株，3次重复。分3次取样，取样时期分别为出苗后20、41、65 d。取样时将盆土用水充分浸透，倒出后以细水流小心冲洗根系，以子叶节为界把植株分为茎、根

两部分，取根部分进行性状测定。

1.3 测定项目

1.3.1 根系形态性状的测定 将冲洗干净的根系用扫描仪在200dpi像素扫描成像后，用DT-SCAN图像分析软件获得根系长度，排水法测得根系体积。

1.3.2 根系活力的测定 根系活力采用TTC法，用 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$ 表示。

其中根活质量(RRAW) = 根系活力 × 根鲜重

根活总长(RRAL) = 根系活力 × 根总长

根活体积(RRAV) = 根系活力 × 根体积

表1 不同产量类型大豆品种根系形态和根系活力动态变化

Table 1 Development of soybean root morphology and reductive activities with different yields

品种名称 Material name	出苗后20 d 20 days after emergence				出苗后41 d 41 days after emergence				出苗后65 d 65 days after emergence			
	根鲜重 Root fresh weight/g	根总长 Total root length/m	根体积 Root volum/cm ³	根系活力 Root reductive activity / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW · h ⁻¹	根鲜重 Root fresh weight/g	根总长 Total root length/m	根体积 Root volume /cm ³	根系活力 Root reductive activity / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW · h ⁻¹	根鲜重 Root fresh weight/g	根总长 Total root length/m	根体积 Root volume /cm ³	根系活力 Root reductive activity / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW · h ⁻¹
石豆411 Shidou 411	5.94	4.65	5.73	104.17	20.34	10.58	18.56	164.86	28.13	15.32	28.23	128.16
冀豆12 Jidou 12	5.82	4.32	5.54	105.95	18.78	9.71	17.16	173.21	26.64	14.41	26.91	130.67
邯豆4号 Handou No.4	6.17	4.84	5.78	102.15	19.26	10.13	17.71	170.61	28.12	15.34	28.17	126.36
中黄4号 Zhonghuang No.4	5.95	4.31	5.54	104.55	19.82	10.44	18.28	164.22	26.91	14.78	27.16	129.31
冀豆15 Jidou 15	6.24	5.24	5.93	102.63	20.02	10.61	18.56	163.62	27.53	15.22	27.81	128.04
邯豆5号 Handou No. 5	6.27	5.32	6.16	102.94	21.05	11.02	18.69	162.13	28.94	15.81	28.64	125.56
齐黄28 Qihuang 28	5.87	4.46	5.72	104.35	19.10	9.98	17.96	168.87	26.36	14.38	26.87	131.88
沧豆4号 Cangdou No.4	6.22	5.06	5.98	103.16	20.52	10.76	19.06	159.23	26.88	14.68	27.42	130.07
冀豆17 Jidou 17	6.15	4.53	5.71	102.85	20.08	10.18	18.28	163.25	27.15	14.54	27.06	128.40
平均 Average	6.07	4.75	5.79	103.64	19.76	10.38	18.25	165.56	27.41	14.94	27.59	128.72
豫豆2号 Yudou No.2	6.21	5.11	6.04	102.09	20.32	10.38	18.86	156.82	28.02	15.01	28.35	120.42
冀豆7号 Jidou No.7	6.12	4.54	5.89	102.25	19.82	10.02	18.26	159.62	26.25	14.11	26.62	126.34
中黄18 Zhonghuang 18	6.06	4.33	5.79	102.66	19.06	9.74	18.04	164.72	26.34	14.21	27.26	125.19
鲁豆4号 Ludou No.4	5.94	4.83	5.72	105.08	18.88	9.84	17.56	161.73	25.28	13.86	26.17	126.34
早熟6号 Zoushu No.6	6.12	4.87	5.74	103.28	18.74	10.03	17.84	163.96	25.45	14.34	26.71	125.81
胜利3号 Shengli No.3	5.93	4.21	5.51	102.35	19.18	9.68	17.36	162.82	26.14	13.96	26.34	124.38
平均 Average	6.06	4.65	5.78	102.95	19.33	9.95	17.99	161.61	26.25	14.25	26.91	124.75

2 结果与分析

2.1 不同产量类型根系性状的动态变化

由表 1 可见,高产类型根系形态和活性指标在 3 个时期的平均值均高于低产类型,根鲜重的变幅 (低产类型) 3 个时期分别为 5.82 ~ 6.27

(5.93 ~ 6.21)、18.78 ~ 21.05 (18.74 ~ 20.32)、26.36 ~ 28.94 (25.28 ~ 28.02); 根总长的变幅高产类型 (低产类型) 3 个时期分别为 4.31 ~ 5.32 (4.21 ~ 5.11)、9.71 ~ 11.02 (9.68 ~ 10.38)、14.38 ~ 15.81 (13.86 ~ 15.01); 根体积的变幅高产类型 (低产类型) 3 个时期分别为 5.54 ~ 6.16 (5.51 ~

表 2 不同产量类型大豆品种根活形态性状动态变化

Table 2 Development of soybean RRAM with different yield

品种名称 Material name	出苗后 20 d 20 days after seeding			出苗后 41 d 41 days after seeding			出苗后 65 d 65 days after seeding		
	根活质量	根活长	根活体积	根活质量	根活长	根活体积	根活质量	根活长	根活体积
	RRAW/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	RRAL/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$	RRAV/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	RRAW/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	RRAL/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$	RRAV/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	RRAW/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	RRAL/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$	RRAV/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$
	$\text{FW} \cdot \text{h}^{-1} \text{g}$	$\cdot \text{h}^{-1} \text{m}$	$\text{FW} \cdot \text{h}^{-1} \text{cm}^3$	$\text{FW} \cdot \text{h}^{-1} \text{g}$	$\cdot \text{h}^{-1} \text{m}$	$\text{FW} \cdot \text{h}^{-1} \text{cm}^3$	$\text{FW} \cdot \text{h}^{-1} \text{g}$	$\cdot \text{h}^{-1} \text{m}$	$\cdot \text{h}^{-1} \text{cm}^3$
石豆 411 Shidou 411	618.79	484.61	596.91	3353.25 (2734.46)	1744.22 (1259.60)	3059.80 (2462.89)	3605.14 (251.89)	1963.41 (219.19)	3617.96 (558.16)
冀豆 12 Jidou 12	616.65	457.21	586.98	3252.88 (2636.24)	1681.87 (1224.66)	2972.28 (2385.30)	3481.05 (228.16)	1882.95 (201.09)	3516.33 (544.05)
邯豆 4 号 Handou No. 4	630.24	494.39	590.41	3285.21 (2654.97)	1728.28 (1233.89)	3021.50 (2431.10)	3553.24 (268.03)	1938.36 (210.08)	3559.56 (538.06)
中黄 4 号 Zhonghuang No. 4	622.09	450.62	579.64	3254.84 (2632.75)	1714.46 (1263.83)	3001.94 (2422.30)	3479.73 (224.89)	1911.20 (196.75)	3512.06 (510.12)
冀豆 15 Jidou 15	640.43	538.21	608.62	3275.70 (2635.27)	1736.01 (1197.80)	3036.79 (2428.17)	3524.94 (249.24)	1948.77 (212.76)	3560.79 (524.01)
邯豆 5 号 Handou No. 5	645.43	547.64	634.11	3412.84 (2767.40)	1786.67 (1239.03)	3030.21 (2396.10)	3633.71 (220.87)	1985.10 (198.43)	3596.04 (565.83)
齐黄 28 Qihuang 28	612.55	465.52	596.90	3225.23 (2612.67)	1685.32 (1219.80)	3032.91 (2436.00)	3476.36 (251.13)	1896.43 (211.11)	3543.62 (510.71)
沧豆 4 号 Cangdou No. 4	641.66	521.99	616.90	3267.92 (2626.27)	1713.31 (1191.33)	3034.92 (2418.03)	3495.74 (227.81)	1909.41 (196.10)	3566.49 (531.57)
冀豆 17 Jidou 17	632.55	466.13	587.29	3278.06 (2645.51)	1661.89 (1195.75)	2984.21 (2396.92)	3485.96 (207.90)	1866.88 (205.00)	3474.40 (490.19)
平均 average	628.93	491.81	599.75	3289.55A (2660.62A)	1716.89A (1225.08A)	3019.40 A (2419.64A)	3526.21 A (236.66A)	1922.50A (208.73A)	3549.69A (532.13A)
豫豆 2 号 Yudou No. 2	634.00	521.70	616.64	3186.54 (2552.54)	1627.77 (1106.07)	2957.58 (2340.94)	3374.08 (187.54)	1807.46 (179.69)	3413.82 (456.23)
冀豆 7 号 Jidou No. 7	625.79	464.23	602.67	3163.67 (2537.88)	1599.39 (1135.16)	2914.66 (2311.99)	3316.43 (152.76)	1782.66 (183.27)	3363.17 (448.51)
中黄 18 Zhonghuang 18	622.12	444.89	594.40	3139.56 (2517.44)	1604.37 (1159.49)	2971.55 (2377.15)	3297.45 (157.88)	1778.92 (174.55)	3412.62 (441.07)
鲁豆 4 号 Ludou No. 4	624.18	507.54	601.06	3053.55 (2429.37)	1591.47 (1083.93)	2840.06 (2239.00)	3193.88 (140.33)	1751.07 (159.61)	3306.32 (466.26)
早熟 6 号 Zaoshu No. 6	632.07	502.97	592.83	3072.61 (2440.54)	1644.52 (1141.55)	2925.05 (2332.22)	3201.95 (129.34)	1804.16 (159.65)	3360.48 (435.43)
胜利 3 号 Shengli No. 3	606.92	430.88	563.93	3122.89 (2515.97)	1576.10 (1145.22)	2826.56 (2262.63)	3251.29 (128.41)	1736.34 (160.25)	3276.17 (449.61)
平均 average	624.18	478.70	595.26	3123.14B (2498.96B)	1607.27B (1128.57B)	2905.91B (2310.65B)	3272.51B (149.38B)	1776.77B (169.50B)	3355.43B (449.52B)

表中不同字母代表不同产量之间差异显著 ($P < 0.01$), 括号中数字为较前一时期的增量。

Values followed by a different capital letter are significantly different at the 0.01 probability level between different yield types. The values in parentheses were increment compared with that in former stage.

RRAW, RRAL, RRAV mean product of the root reductive activity and fresh weight, product of the root reductive activity and length, product of the root reductive activity and volume, respectively.

6.04)、17.16 ~ 19.06 (17.36 ~ 18.86)、26.87 ~ 28.64 (26.34 ~ 28.35)、根系活力的变幅高产类型(低产类型)3个时期分别为102.15 ~ 104.55 (102.09 ~ 105.08)、159.23 ~ 173.21 (156.82 ~ 164.72)、125.56 ~ 131.88 (120.42 ~ 126.34)。根系形态指标随生育进程而增加,但根系活力则呈现低-高-低的趋势,不同产量类型之间根系性状在3个时期均未达到显著差异。

2.2 不同产量类型大豆根活形态性状的动态变化

以根系形态性状与根系活力的乘积(根活形态

性状)为指标对两种产量类型进行比较发现(表2),在生长的前期,即出苗后20 d,两种产量类型间未表现出显著差异,但在生长的中后期,即出苗后41 d和65 d,相对高产的根活质量、根活长和根活体积及其各指标在生长中后期的增量均大于相对低产类型,经方差分析和多重比较,差异达到极显著。

表3为各根活形态性状及其增量的方差分析,从分析结果中可以进一步看出在出苗后41 d、65 d品种之间个性状均达到极显著差异,同时从误差一项所示其误差变异系数亦很小,表明试验的精确度较高。

表3 大豆品种不同时期根活性状的方差分析

Table 3 ANOVA of root morphology traits combined with reductive activity at different stage

变异来源 Variance/df	df	出苗后 20 d 20 days after emergence			出苗后 41 d 41 days after emergence			出苗后 65 d 65 days after emergence		
		根活质量 RRAW	根活长 RRAL	根活体积 RRAV	根活质量 RRAW	根活长 RRAL	根活体积 RRAV	根活质量 RRAW	根活长 RRAL	根活体积 RRAV
		区组 Block	2	1.91	1.84	1.73	1.11 (2.04)	1.26 (1.92)	1.77 (1.83)	1.58 (1.91)
品种 Variety	14	58.42	46.37	62.33	51.51** (48.63**)	43.01** (57.54**)	62.25** (58.48**)	42.84** (61.62**)	53.22** (51.03**)	49.69** (39.70**)
误差 Error/%	28	10.06	9.48	9.19	9.30 (11.66)	11.57 (9.17)	8.57 (10.02)	10.62 (11.25)	8.82 (11.72)	9.49 (9.22)
总变异 Total variance	44									

表示在0.01水平下显著。括弧内为各性状的增量,误差行的数据为误差变异系数。

** Meant significant at the 0.01 probability level. Increment of root trait were in parentheses respectively and data in the row of error indicated error cv.

2.3 不同时期根系性状与产量的相关

对不同时期根系性状与产量进行相关分析结果表明,根系形态和生理指标随出苗后天数的增加,其与产量的相关逐渐增强,但未达到显著,而在生长中

后期即出苗后41 d和65 d,根活形态性状及其增量与产量的相关均达到极显著水平,特别是出苗后65 d的各指标与产量的相关性更为明显(表4)。

表4 大豆品种不同时期根活性状与产量的相关

Table 4 Relationship of soybean root trait with yield at different stage

出苗后天数 Days after emergence/d	根鲜重 Root dry weight/g	根总长 Total root length/m	根体积 Root volume/cm ³	根系活力	根活质量 RRAW	根活长 RRAL	根活体积 RRAV	根活质量 增量 AIRRAW	根活长 增量 AIRRAL	根活体积 增量 AIRRAV
				Root reductive activity/ μg · g ⁻¹ FW · h ⁻¹						
20	0.047	0.182	0.093	0.432	0.149	0.233	0.189			
41	0.321	0.463	0.296	0.470	0.845**	0.845**	0.836**	0.62**	0.868**	0.867**
65	0.609	0.645	0.511	0.627	0.920**	0.896**	0.917**	0.933**	0.927**	0.919**

** 表示在0.01水平下显著。

** Meant significant at the 0.01 probability level.

3 讨论

强大的根系会促进地上部的光合作用和生长量,从而增加干物质积累,获得较高产量^[9-11]。研究中相对高产品种在大豆不同生育时期根系形态性状具有大于相对低产品种的趋势,该结果与已有的研究结果相同^[6-8],但各指标在两种产量类型间并

未达到显著差异,根活力亦表现相同,这可能缘于取材的不同。

本文首次提出根活形态性状即根系鲜重、根长、体积与根系活力的乘积这一概念,结果根活各性状代表了根系的综合性状,根系综合性状直接影响地上部的生长和产量的形成。大豆在产量形成的重要时期—结荚鼓粒期,冠层的密集导致中下部叶片受

光不良,若根系性状恶化,则加重叶片的早衰,从而导致营养运输障碍,直接影响粒重,因此中后期良好的根系性状对产量意义重大。田佩占研究表明^[12],大豆育种应注重培育后期根系发达、不早衰的新品种。研究结果显示,在生长中后期,代表根系综合性状的根活形态指标在两种产量类型间差异达到极显著,且与产量的相关性更高,这说明,根活形态指标更能体现根系性状与产量形成的关系,较根系形态和根系活力更加全面,生长中后期的根活形态可作为选育大豆品种考虑的根系方面的因素。

由于根系研究的困难,在实践中很少把根系的改良作为大豆育种的计划,但随着分子生物学特别是分子标记技术的发展,为在 DNA 水平上研究根系数量性状的遗传因子提供了有效手段^[13-17]。在水稻方面,Champoux 等^[15]利用重组自交系群体的 RFLP 标记连锁图对水稻根粗、根茎比、根质量、根体积、根长等性状进行连锁分析,分别检测出多个标记位点与这些性状相关联。由于大豆品种之间生育期的差异较大,取样时期往往与品种之间生育进程不一致,造成品种间性状比较的困难,若以前后取样时期性状的差值即相当于性状的生长率为指标,则能消除这种差异。研究发现,结荚鼓粒期的根活形态增量与产量具有极显著相关,可用于生育期差异较大的材料之间的研究,这为进一步对大豆产量相关根系性状遗传的研究提供了可行性指标。

参考文献

- [1] 张含彬,任万军,杨文钰,等. 不同施氮量对套作大豆根系形态与生理特性的影响[J]. 作物学报,2007,33(1):107-112. (Zhang H B, Ren W J, Yang W Y, et al. Effects of different nitrogen levels on morphological and physiological characteristics of relay planting soybean root[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(1):107-112.)
- [2] Gahoonia T S, Nielsen N E. Variation in root hairs of soybean cultivars doubled soil phosphorus uptake[J]. Euphytica, 1997, 98:177-182.
- [3] 杜天庆,闫心柏,苗果园. 不同微肥处理对大豆根系及地上部相关性的影响[J]. 山西农业大学学报,2006(2):159-163. (Du T Q, Run X B, Miao G Y. Effects of microelement fertilizers on the correlation between soybean root system and aerial parts[J]. Journal of Shanxi Agriculture University, 2006(2):159-163.)
- [4] Bhattarai S P, Midmore D J, Pendergast L. Yield, water-use efficiencies and root distribution of soybean, chickpea and pumpkin under different subsurface drip irrigation depths and oxygenation treatments in vertisols [J]. Irrigation Science, 2008, 26(5):439-450.
- [5] 杨秀红,吴宗璞,张国栋. 不同年代大豆品种根系性状演化的研究[J]. 中国农业科学,2001,34(3):60-63. (Yang X H, Wu Z P, Zhang G D. Evolution of root characters of soybean varieties of different ages [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(3):60-63.)
- [6] 傅金民,董钻. 大豆根系生长与产量的关系[J]. 大豆科学,1987,6(4):261-279. (Fu J M, Dong Z. The relation of root growth and yield in soybean [J]. Soybean Science, 1987, 6(4):261-279.)
- [7] Pantalone V R, Rebetzke G J, Burton W, et al. Phenotypic evaluation of root traits in soybean and applicability to plant breeding [J]. Crop Science, 1996, 36:456-459.
- [8] 金剑,王光华,刘晓冰. 东北黑土区高产大豆 R5 期根系分布特征[J]. 中国油料作物学报,2007,29(3):266-271. (Jin J, Wang G H, Liu X B. Characteristics of root distribution at R5 stage in high yielding soybean in black soil [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2007, 29(3):266-271.)
- [9] Koutroubas S D, Papakosta D K, Gagianas A A. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield [J]. Europe Journal of Agronomy, 1998, 9(1):1210-1218.
- [10] Specht J E, Hume D J, Kumudini S V. Soybean yield potential- a genetic and physiological perspective [J]. Crop Science, 1999, 39:1560-1570.
- [11] 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.
- [12] 田佩占. 大豆品种根系的生态类型研究[J]. 作物学报,1984,10(3):173-177. (Tian P Z. The research on root ecology type in soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 1984, 10(3):173-177.)
- [13] Ekanayake I J, Toole J C O, Garrity D P, et al. Inheritance of root characters and their relations to drought resistance in rice [J]. Crop Science, 1985, 25:927-933.
- [14] Price A H, Tomos A D. Genetic dissection of root growth in rice (*Oryza sativa* L): II. Mapping quantitative trait loci using molecular markers [J]. Theory Applied Genetics, 1997, 95:143-152.
- [15] Champoux M C, Wang G L, Sakarung S, et al. Locating genes associated with root morphology and drought avoidance via linkage to molecular markers [J]. Theory Applied Genetics, 1995, 90:969-981.
- [16] Ray J D, Yu L, McCouch S R, et al. Mapping quantitative trait loci associated with root penetration ability in rice (*Oryza sativa* L) [J]. Theory and Applied Genetics, 1996, 92:627-636.
- [17] 刘莹,盖钧镒,吕慧能. 大豆耐旱种质鉴定和相关根系性状的遗传与 QTL 定位 [J]. 遗传学报,2005,32(8):855-863. (Liu Y, Gai J Y, Lu H N. Identification of drought tolerant germplasm and inheritance and QTL mapping of related root traits in soybean (*Glycine max* (L) Merr.) [J]. Acta Genetica Sinica, 2005, 32(8):855-863.)