

大豆苗期氮高效和氮敏感资源的筛选研究

郝青南^{1,2}, 王程¹, 陈水莲¹, 沙爱华¹, 单志慧¹, 陈海峰¹, 周蓉¹, 周新安¹

(1. 中国农业科学院油料作物研究所, 农业部油料作物生物学重点开放实验室, 湖北武汉430062; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京100081)

摘要:以147个大豆品种为材料, 采用温室苗期水培方法, 观察各品种在低氮和正常供氮环境下叶片黄化程度, 初步评价大豆品种苗期对低氮的反应。根据叶片黄化程度差异初步筛选出3个耐低氮品种(坡黄、铜山青大豆和徐豆8号), 3个氮敏感品种(84-70、中品03-5358和龙豆7号)。通过对这6个品种氮积累相关指标的变异系数进行比较并结合各指标相关性分析结果, 将干重、地上部分氮积累量、生物量增加值和氮吸收量作为判断耐低氮的指标, 最终筛选出耐低氮型品种坡黄和氮敏感型品种84-70。

关键词:大豆; 苗期; 氮营养; 筛选

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2011)06-0910-06

Screening of Soybean Varieties with Different Nitrogen Efficiency at Seedling Stage

HAO Qing-nan^{1,2}, WANG Cheng¹, CHEN Shui-lian¹, SHA Ai-hua¹, SHAN Zhi-hui¹, CHEN Hai-feng¹, ZHOU Rong¹, ZHOU Xin-an¹

(1. Institute of Oil Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, Hubei; 2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Soybean requires more nitrogen than other major crops for sustaining seed growth. The nitrogen use efficiency (NUE) of soybean is different among varieties. In order to obtain the different NUE soybean varieties, a total of 147 varieties were screened in this study. Soybean seeds were germinated and grown in 1/2 times of Hoagland solution. Two N levels including low and normal levels were set in this experiment, and each level had three repetitions. The dry plant weight, stem length, root length biomass, nitrogen content and the amount of nitrogen absorption were investigated for choosing the indexes associated with NUE, and analyzed the relationship among these indexes. Based on the results of the primary screening, three low-N-tolerant varieties (Pohuang, Tongshangqing and Xudou 8) and three low-N-sensitive varieties (84-70, zhongpin 03-5358 and longdou 7) were selected and grown in nutrition solution at two N levels. The coefficient of variation could reflect the tolerant ability to low N-stress. After analyzed the coefficient of variation and correlation among the indexes, shoot nitrogen accumulation, increase in biomass, dry weight and the amount of nitrogen absorption were chosen as the indexes for evaluating the NUE of soybean varieties. The results indicated that "Pohuang" and "84-70" had the highest and lowest relative value, respectively. So "Pohuang" was tolerant and "84-70" was sensitive to low N-stress, respectively.

Key words: Soybean; Seedling; Nitrogen nutrition; Screening

氮素是大豆生长必需的大量元素,也是限制植物生长和产量形成的首要因素^[1]。大豆一生需要大量的氮素营养,每生产100 kg大豆籽粒,约吸收氮7.2 kg,相当于一般禾谷类作物的2倍,淀粉类作物的3倍^[2]。大豆虽然是固氮植物,但其自身所固定的氮,不能满足大豆丰产对氮素营养的需求。大豆氮素营养有三个来源:一是来自土壤中所含的氮素;二是来自肥料中的氮素;三是来自根瘤菌的共生固氮。在苗期,大豆根瘤的数量少,植株尚不能

或很少利用根瘤菌共生固氮供给的氮素,因此在这个时期吸收土壤氮以及施用氮肥显得十分重要。传统上人们通过改良土壤和施用氮肥来改善作物的氮营养状况,但氮肥利用效率较低,可被植物利用的氮只有30%~40%左右,土壤中超过40%的氮通过挥发、淋失、脱氮以及微生物分解等途径而流失,这对环境造成极大污染,同时也造成巨大经济损失^[3]。

因此,选择培育氮高效品种是解决目前氮素营

收稿日期:2011-07-19

基金项目:国家转基因重大专项重大课题(2008ZX08004-005)。

第一作者简介:郝青南(1982-),女,在读博士,研究方向为大豆分子育种。E-mail:haoqingnan@126.com。

通讯作者:周新安(1963-),男,研究员,博士,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:xazhou@public.wh.hb.cn。

养利用率低的根本途径。充分利用我国丰富的大豆种质资源,筛选氮效率高的大豆基因型,通过常规育种和生物技术方法培育出氮高效的优良品种,在生产上具有重要意义。因此该研究通过评价不同大豆品种苗期耐低氮能力,筛选鉴定出氮高效和低氮敏感型品种,为大豆氮高效育种研究提供材料。同时,也为进一步开展氮高效遗传研究,改良大豆氮营养性状奠定理论和实践基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取不同原产地、具有代表性的大豆品种 147 个(表 1),由中国农业科学院作物科学研究所和中国农业科学院油料作物研究所提供。

1.2 试验方法

各品种均选择大小均匀一致的种子,用纸卷法发芽,首先将报纸剪成 15 cm 宽的条型,上面铺上吸水效果比较好的卷纸,用水浸湿,将选好的大豆种子均匀的放在纸的中上方,卷好,放在盛有水的盒子里培养。7 d 后当萌发的幼苗露出第一片真叶时,挑选长势一致的苗移栽到黑色水培槽(60 × 30 × 15 cm)中培育,上面覆盖有 8 × 10 孔的泡沫板(厚度 2 cm),每孔定植 1 株大豆苗,用海绵包茎以固定植株,去掉子叶。试验设正常氮(N⁺)和低氮(N⁻)2 个处理,移入时首先用 1/2 Hoagland 营养液缓苗 6 d,再分别进行正常和低氮处理。正常 Hoagland 营养液为 0.472 g·L⁻¹ Ca(NO₃)₂·4H₂O, 0.2525 g·L⁻¹ KNO₃, 0.04 g·L⁻¹ NH₄NO₃, 0.068 g·L⁻¹ KH₂PO₄, 0.2465 g·L⁻¹ Mg SO₄·7H₂O, 0.0046 g·L⁻¹ Fe-EDTA, 0.00083 g·L⁻¹ KI, 0.0062 g·L⁻¹ H₃BO₃, 0.019 g·L⁻¹ MnSO₄·H₂O, 0.0086 g·L⁻¹ ZnSO₄·7H₂O, 0.000024 g·L⁻¹ CuSO₄·5H₂O, 0.00024 g·L⁻¹ Na₂MO₄·2H₂O, 0.000027 g·L⁻¹ CoCl₂·6H₂O。各试剂均为国产分析纯,根据预试验结果,低氮营养液中含 0.0472 g·L⁻¹ Ca(NO₃)₂·4H₂O, 0.02525 g·L⁻¹ KNO₃, 0.004 g·L⁻¹ NH₄NO₃, 其它成分不变,缺少的 Ca²⁺ 和 K⁺ 分别用 CaCl₂·2H₂O 和 K₂SO₄ 补足。处理营养液均每 4 d 更换 1 次,每次每个水槽中加入 7.5 L。每个处理重复 3 次,连续处理 28 d。培养条件为 16 h 光照/8 h 黑暗、温度 25℃。初筛试验连续进行 2 次,均调查各品种在低氮条件下叶片黄化

程度,初步筛选出叶片黄化程度差异大的品种。进行再一次的精细筛选试验,处理方法与初筛相同。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 叶片黄化程度 在品种初筛试验中,苗期观察(每 7 d 观察 1 次)各品种缺氮症状,其中缺氮处理与正常处理间无明显变化的为极轻;下部叶片轻微变浅且叶片呈现黄色或淡绿色为轻;植株瘦弱矮小、分枝少且叶片小而薄,下部叶片开始变黄为中;植株矮小、上部叶片失绿、下部叶片逐渐变黄、枯干且脱落为重。分别以“-”、“+”、“++”和“+++”表示。

1.3.2 苗期性状 对初筛得到的 6 个品种在低氮和正常氮处理条件下植株高度等苗期性状等进行考查,从低氮处理开始,每 6 d 取样 1 次,随机选取 5 株测量其根长及株高,将整个植株分为地上部分和地下部分,120℃下杀青 30 min,80℃烘箱中烘至恒重,测定其干物重。

1.3.3 氮含量 测定并计算植株含氮量(%)及氮积累量(g),N 含量测定采用凯氏定 N 法^[4]。采用耐低氮胁迫指数来衡量不同基因型间的耐低氮能力差异。地上部分和地下部分含氮量为凯氏定氮法测定的植物地上部和地下部分 N 含量(%),其它各指标计算公式如下:

耐低氮胁迫指数 = 低氮水平下性状表型值/正常氮水平下性状表型值;

生物量增加值 = 植物低氮或正常氮处理后干重(g) - 植物低氮或正常氮处理前干重(g);

整株含氮量(%):通过凯氏定 N 法测定的整株植物 N 含量;

地上全氮(g) = 植物地上部分干重(g) × 地上部分含氮量(%);

地下全氮(g) = 植物地下部分干重(g) × 地下部分含氮量(%);

总氮量(g) = 植物低氮或正常氮处理后整株植物干重(g) × 植物低氮或正常氮处理后整株含氮量(%);

地上部分氮积累量(g) = 植物低氮或正常氮处理后地上部分干重(g) × 植物低氮或正常氮处理后地上部分含氮量(%) - 植物低氮或正常氮处理前地上部分干重(g) × 植物低氮或正常氮处理前地上部分含氮量(%);

地下部分氮积累量(g) = 植物低氮或正常氮处理后地下部分干重(g) × 植物低氮或正常氮处理后地下部分含氮量(%) - 植物低氮或正常氮处理前地下部分干重(g) × 植物低氮或正常氮处理前地下部分含氮量(%)；

氮吸收量(g) = 植物低氮或正常氮处理后从营养液中吸收的氮量。

1.4 数据分析

试验所得数据用 SPSS v17.0 及 Excel 2003 软件处理。

2 结果与分析

2.1 不同品种低氮条件下叶片黄化程度

从表1可知,在低氮条件下,不同品种植株长势与叶片黄化程度表现出很大的差异,徐豆8号、铜山青大豆、坡黄和油06-71这4个品种缺氮症状较轻,与正常氮处理植株长势与叶色相差不大;油96-5、洪湖六月爆、黑河48、东农50等品种表现出中度或者偏轻的缺氮症状;84-70、龙豆7号、05-4、六月黄等多数品种表现出重度缺氮症状。

表1 不同大豆品种低氮条件下的植株黄化程度

Table 1 Yellow symptoms of different soybean varieties in low nitrogen condition

品种 Varieties	黄化程度 Symptoms	品种 Varieties	黄化程度 Symptoms	品种 Varieties	黄化程度 Symptoms	品种 Varieties	黄化程度 Symptoms
中豆35	++	湘春豆18	++	洪湖六月爆	+	睢宁平顶黄	++
鄂豆4号	+++	湘春豆22	+	浙春2号	++	大黄豆-2	+++
油96-5	+	湘春豆23	++	湘春豆10号	+	郟县小黄豆	++
油春05-8	+	油春01-45	+	花色豆	++	二季早豆-2	++
油03-68	++	鄂豆7号	++	厦门藤仔豆	++	同安紫红豆	++
L73-1018	++	横峰乌豆	++	马带青豆-2	+++	资中六月早	+++
杂豆-6	+++	丰城早乌豆	+++	大黄豆-1	++	五月黄	+++
L69-4667	++	龙川黄牛毛	++	彭山黄壳子-3	++	皂角豆	++
油01-65	++	都昌乌豆	++	中品03-5367-2	+++	矮脚早	++
徐豆9号	+	马带黑豆-3	+++	L68-1864	++	浙春3号	++
酱黄豆	+++	L74U-6710	+++	犍为泉水豆	++	L69-4755	+++
中豆8号	++	L70-4313	++	桂春1号	+++	L62-1027	+
L71-1388	++	L68-1774	+++	仪征大粒黄豆	+++	L70-4422	++
L73-1034	++	L76-2100	+++	中品03-5364	+++	L73-1087	++
绿皮豆	++	贡豆13	++	L67-3479	++	L74-838	++
Camp	+++	L81-4651	++	桂春2号	+++	L75-6631	+++
龙豆7号	++	中品03-5359	++	徐豆8号	-	什邡螺丝豆	+++
油乌豆	+++	中品03-5361	+++	细黄豆-9	++	长寿十月黄	++
小黑豆	+++	T260H	+++	吴江五月牛毛黄	+++	华夏3号	++
L70-4629	++	74-424	+++	遂宁风台酱色	++	沙县乌豆	++
L63-2999	+++	L64-314	+++	邛崃西江黑豆	+++	L63-2346	+
L76-1113	+++	L67-1749	+++	吉头选黑豆	++	油02-33	+++
L63-1677	++	L70-4186	+++	泰兴黑豆	++	中品03-5355	-
L76-1149	++	柏枝豆	++	廉江坡黄豆	+++	铜山青大豆	++
L70-4049	++	L70-4558	++	泰兴矮脚红	+	L69-4662	+++
05-4	+++	泉豆253	++	邳县软条枝	++	中品03-5381	++
L77-2654	++	贡豆7号	++	扇子白黄豆	+++	大黄豆	++
泥豆	+++	铜山天鹅蛋	++	沛县小油豆	++	大粒黄	++
84-70	+++	黑河48	+	邳县拉秧黄	+++	L63-1792	+++
六月黄	+++	中品03-5366	+++	桂夏豆2号	++	茶黄代豆1	++
Perrin	+++	中品03-5412	+++	Shinpal dal kong 2	+++	L72-2004	++
8307-8-1	+	中品03-5413	+++	剑阁化林鸡窝	++	Suwon164	+++
莆豆51	++	中品03-5358	+++	上饶八月白	++	大白毛豆	-
中豆32	++	Suwon165	++	回茬小黄豆	++	坡黄	++
东农50	+	粤春03-3	++	L67-3124	++	Sharkey	+
代米豆	+++	七月黄-1	++	Lamar(VI)	++	华春2号	++
老鼠皮	+	小颍黄豆	++			油06-71	-

2.2 苗期耐低氮基因型及氮敏感基因型筛选指标

根据不同品种在低氮条件下苗期表现,从供试材料中选出 3 个黄化程度最低的品种(坡黄、铜山青大豆、徐豆 8 号)和 3 个黄化程度最高的品种(84-70、中品 03-5358、龙豆 7 号)进行耐低氮品种筛选指标的测定,进一步评价这些品种耐低氮能力。

从表 2 可以看出,在低氮胁迫下,大豆苗期株高、根长、总干重、生物量增加值、氮积累量等性状在品种间存在差异,为筛选氮高效品种提供了可能。

品种间指标的变异程度可作为筛选指标的重要依据。从表 2 可知,各指标间变异系数大小为:地上氮积累量 > 生物量增加值 > 地下部分氮积累量 > 总干重 > 氮吸收量 > 株高 > 根长 > 总含氮量,

变异系数越大,越能较好的反映不同大豆品种的耐低氮能力。为进一步筛选出评价大豆耐低氮能力的指标,对所测定的指标进行相关性分析,从表 3 可以看出,在低氮水平条件下,各指标间表现出明显的相关性,植株总干重与生物量增加值呈极显著正相关($r = 1.000$);地上氮积累量与生物量增加值呈极显著正相关($r = 0.984$);氮吸收量与生物量增加值呈显著正相关($r = 0.988$)。

结合以上分析,可以把总干重、生物量增加值、地上氮积累量以及氮吸收量作为苗期间接判定材料耐低氮能力的依据。这些指标不仅能直观的反映植物的生长状况,而且与大豆经济产量密切相关。

表 2 六个大豆品种低氮胁迫条件下苗期部分性状的差异

Table 2 Difference of traits between six varieties in seedling stage under low nitrogen condition

性状 Trait	变幅 Change	标准差 Standard deviation	均值 Mean value	变异系数 Coefficient of variation
株高 Plant height	23 - 75	17.65	41.14	0.429
根长 Root length	26.33 - 70.67	17.33	46.75	0.371
总干重 Dry weight	0.35 - 2.16	0.59	1.10	0.536
生物量增加值 Increase in biomass	0.20 - 1.92	0.593	0.94	0.631
总含氮量 Total nitrogen content	2.49 - 4.25	0.57	3.05	0.187
氮吸收量 Nitrogen absorption	0.2 - 1.92	0.55	1.0	0.550
地上部分氮积累量 Shoot nitrogen accumulation	0.19 - 2.87	0.91	1.44	0.632
地下部分氮积累量 Root nitrogen accumulation	0.22 - 1.11	0.37	0.64	0.578

2.3 氮高效及敏感性资源筛选鉴定

从图 1 可以看出,在正常氮和低氮水平下,总干重、生物量增加值、地上氮积累量以及氮吸收量 4 个指标随着大豆的生长总体呈现上升的趋势。在处理 6 和 12 d 时,各品种在正常供氮和低氮条件下无明显差异,但在处理 18 d 后,差异逐渐加大。徐豆 8 号、坡黄这 2 个品种的各指标均高于其它品种,坡黄在正常氮水平和低氮水平下趋势一致,变化较小,说明该品种受低氮压力的影响较小,而徐豆 8 号在 2 种氮水平下差异较大,说明该品种受低氮压力的影响较大;而 84-70 和中品 03-5358 各指标均低于其它品种,可能属于氮敏感型品种;铜山青大豆,龙豆 7 号可能属于中间型品种。

为了进一步筛选出最佳的耐低氮大豆品种用于后期的分子育种,选择处理后 24 d 作为临界期进行不同品种间的耐低氮差异分析,由于相对耐低氮指数是低氮水平下性状表型值与正常氮水平下性状表型值的比值,该值越接近 1,说明该品种该指标在低氮和正常供氮水平下的变化越小,也就说明该品种受氮胁迫影响较小。从表 4 可以看出,品种坡黄的相对耐低氮指数在植物总干重、生物量增加值、地上部分氮积累量以及氮吸收量等指标上相对其它品种较大,均接近 1,而品种 84-70 则较小,因此,结合其它各项评价指标综合评价,可以初步认为品种坡黄为大豆苗期耐低氮品种,84-70 为大豆苗期氮敏感型品种。

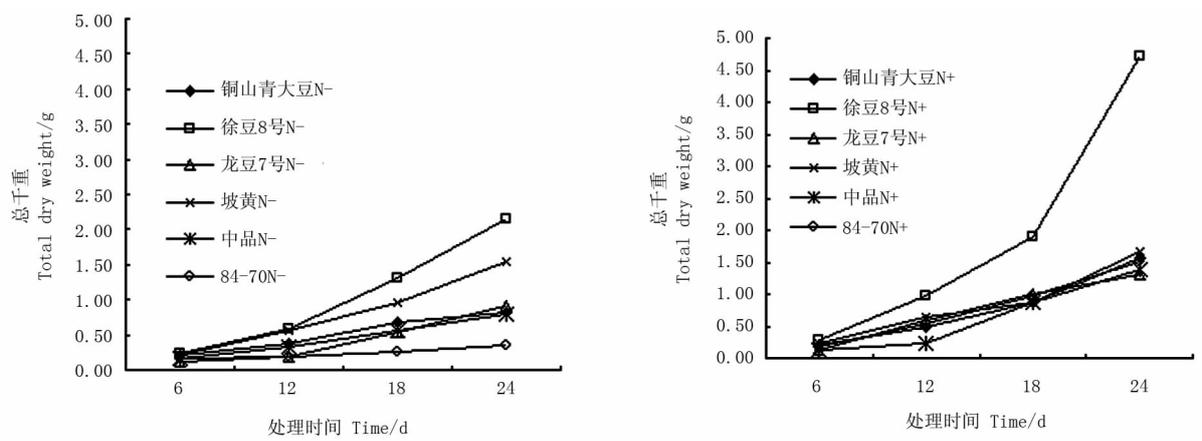


图1 不同氮处理条件下各品种筛选指标变化情况

Fig. 1 Changes of screening indexes among six soybean varieties under normal and low N conditions

表3 低N水平下六个大豆品种苗期部分性状的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of different traits in soybean seeding stage under low N condition

性状 Trait	地上干重 Shoot dry weight	地下干重 Root dry weight	总干重 Dry weight	生物量增加值 Increase in biomass	株高 Plant height	根长 Root length	地上部分含氮量 Shoot nitrogen content	地下部分含氮量 Root nitrogen content	整株含氮量 Nitrogen content	地上全氮 Shoot whole nitrogen	地下全氮 Root whole nitrogen	总氮量 Total nitrogen	地上部分氮积累量 Shoot nitrogen accumulation	地下部分氮积累量 Root nitrogen accumulation	氮吸收量 Amount of nitrogen absorption
地上干重 Shoot dry weight	1														
地下干重 Root dry weight	0.949 **	1													
总干重 Total dry weight	0.680	0.734 **	1												
生物量增加值 Increase in biomass	0.996 **	0.998 **	0.723	1											
株高 Plant height	0.005	-0.041	-0.156	-0.036	1										
根长 Root length	0.605	0.582	0.911 *	0.574	-0.050	1									
地上部分含氮量 Shoot nitrogen content	-0.653	-0.557	-0.247	-0.597	-0.236	-0.343	1								
地下部分含氮量 Root nitrogen content	-0.620	-0.607	-0.591	-0.602	-0.541	-0.739 *	0.549	1							
整株含氮量 Nitrogen content	-0.681	-0.596	-0.355	-0.630	-0.335	-0.482	0.978 **	0.708	1						
地上部分全氮 Shoot whole nitrogen	0.912 **	0.953 **	0.719 *	0.936 **	-0.104	0.509	-0.285	-0.504	-0.336	1					
地下部分全氮 Root whole nitrogen	0.973 **	0.989 **	0.693	0.985 **	-0.121	0.499	-0.472	-0.501	-0.495	0.974 **	1				
总氮量 Total nitrogen	0.956 **	0.982 **	0.725 *	0.972 **	-0.115	0.505	-0.404	-0.505	-0.437	0.990 **	0.996 **	1			
地上部分氮积累量 Shoot nitrogen accumulation	0.855 **	0.909 **	0.731 *	0.891 **	-0.232	0.4654	-0.177	-0.357	-0.210	0.982 **	0.948 **	0.967 **	1		
地下部分氮积累量 Root nitrogen accumulation	0.981 **	0.995 **	0.740 *	0.993 **	0.121	0.552	-0.508	-0.533	-0.535	0.964 **	0.997 **	0.991 **	0.936 **	1	
氮吸收量 Amount of nitrogen absorption	0.951 **	0.979 **	0.723 *	0.971 **	-0.162	0.528	-0.397	-0.478	-0.427	0.985 **	0.995 **	0.997 **	0.973 **	0.992 **	1

*, ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

Significance at 0.05 and 0.01 levels is marked with * and **, respectively.

表 4 不同大豆品种各指标耐低氮胁迫指数分析

Table 4 Analysis of resistance indexes of different soybean varieties under low nitrogen stress

品种	总干重	生物量增加值	地上部分氮积累量	地上干重	地下干重	株高	根长	地下部分氮积累量	氮吸收量
Varieties	Dry weight	Increase in biomass	Shoot nitrogen accumulation	Shoot dry weight	Root dry weight	Plant height	Root length	Rootnitrogen accumulation	Nitrogen absorption amount
铜山青大豆	0.53a	0.53a	0.29a	0.53a	0.50a	1.08a	0.98a	0.31a	0.30a
徐豆 8 号	0.46a	0.67a	0.50b	0.67a	0.21b	2.34b	0.96a	0.20a	0.35a
坡黄	0.92b	0.97b	0.77c	0.97b	0.73c	1.50a	0.59b	0.85b	0.79b
中品	0.57a	0.54a	0.40b	0.54a	0.78c	1.32a	1.90c	0.47c	0.42a
84-70	0.23c	0.21c	0.05d	0.21c	0.37b	0.87c	1.13a	0.16a	0.07c
龙豆 7 号	0.70b	0.68a	0.31a	0.69a	0.77c	0.88c	0.85a	0.40c	0.31a

同列数值后不同字母表示在 0.05 水平差异显著。

Values with a column followed by different letters are different at 0.05 probability level.

3 结论与讨论

早在 20 世纪 30 年代,对植物品种间的氮素营养差异就有所研究。到目前为止,在小麦、玉米、水稻、高粱、蚕豆、马铃薯、棉花、牧草、黑麦草、燕麦、大豆等作物上均有相关报道^[5-13]。说明氮效率基因型差异是普遍存在的现象。

一般植物耐低营养筛选的环境有土培、沙培、水培等。水培法的优点在于对培养基质进行准确的控制,能对大批量基因型进行快速的筛选,介质中的氮均为水溶性氮,虽然无法反映植物利用土壤氮及固氮的能力,但对于固氮能力很弱的大豆苗期进行筛选来讲,水培仍然是最佳选择。

在氮高效型品种筛选过程中,筛选指标的确定尤为重要。应尽量降低环境因素及养分和病虫害的影响。由于缺氮可以直接或间接的导致植物体一系列表型性状变化,因此选择与缺氮密切相关且容易检测的表型性状作为初级选择指标,可以显著提高氮素高效利用基因型的选择效率^[14]。因此该试验选择叶片黄化程度作为初步筛选的指标。

对大豆苗期耐低氮精细筛选指标的确定还没有相应的报道,建立科学、快速、高效的氮高效资源筛选方法和技术指标显得十分必要。水稻^[15]、玉米^[16]和大麦^[17]等作物上已经建立了苗期氮高效评价指标体系,该试验综合这些作物评价氮高效的指标以及大豆本身固有的特点,选取了一些指标进行测定,通过变异系数及相关性分析,最终将总干重、

生物量积累、地上氮积累量以及氮吸收量作为苗期耐低氮大豆资源的精细评价指标,并通过耐低氮指数(相对值)来修正环境因素的影响和不同品种自身生物性状背景的差异。根据这些指标综合评价,可初步确定坡黄为氮高效材料,84-70 为氮敏感性材料。

参考文献

- [1] Zhou X J, Liang Y, Chen H, et al. Effects of rhizobia inoculation and nitrogen fertilization on photosynthetic physiology of soybean [J]. *Photosynthetica*, 2006, 44(4): 530-535.
- [2] 侯国梅. 追施氮肥对大豆体内氮素运转与分配的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009: 1-10. (Hou G M. Effects of top-dressed N-fertilizer on translocation and distribution in soybean plants [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009: 1-10.)
- [3] Hodge A, Robinson D, Fitter A. Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen? [J]. *Trends in Plant Science*, 2000, 5: 304-308.
- [4] 戴宏林, 吴小骏. 用凯氏定氮法测定植物干样品中的氮含量 [J]. *江苏农业研究*, 1995(3): 70. (Dai H L, Wu X J. Determination of nitrogen content of dry plant samples by the Kieldahl method [J]. *Jiangsu Agricultural Research*, 1995(3): 70.)
- [5] 韩璐, 张薇. 棉花苗期氮营养高效品种筛选 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(1): 84-88. (Han L, Zhang W. Screening of cotton varieties with high nitrogen efficiency at seedling stage [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(1): 84-88.)
- [6] 汤翠凤, 徐福荣, 余腾琼, 等. 水稻耐低磷种质的初步筛选 [J]. *分子植物育种*, 2005, 3(5): 711-715. (Tang C F, Xu F R, Yu T Q, et al. Preliminary screening of rice germplasm for tolerance to low-phosphorous [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2005, 3(5): 711-715.)

(下转第 920 页)

- [2] 孟凡钢,富健,王新风,等.大豆高脂肪组合初世代脂肪含量相关性研究 I -F₂代高脂肪组合脂肪含量遗传与亲本相关性初探[J].大豆科学,2007,26(1):756-759. (Meng F G, Fu J, Wang X F, et al. Study on the heredity and parental correlation of the oil content of the beginning with the generation at high-oil content soybean I -Heredity and parental correlation of the oil content of F₂ generation[J]. Soybean Science, 2007, 26(1): 756-759.)
- [3] 王大秋,陈恒鹤.大豆蛋白质和脂肪含量选择效果研究[J].大豆科学,1998,17(1):72-78. (Wang D Q, Chen H H. Studies on selection effect of protein and oil content in soybeans[J]. Soybean Science, 1998, 17(1): 72-78.)
- [4] 陈恒鹤,尹丽华,王大秋,等.大豆蛋白质及脂肪含量的遗传和选择效果研究[J].大豆科学,1991,10(1):1-9. (Chen H H, Yin L H, Wang D Q, et al. Studies on inheritance and selection effect of protein and oil content in soybeans[J]. Soybean Science, 1991, 10(1): 1-9.)
- [5] 宋启建,盖钧镒,马育华.大豆品种蛋白质、油分含量在杂种后代的优势表现及分离变异[J].作物学报,1994,20(5):542-547. (Song Q J, Gai J Y, Ma Y H. Studies on heterosis and genetic variability of protein content and oil content in soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 1994, 20(5): 542-547.)
- [6] 彭玉华,邱丽娟,高凤兰,等.大豆不同组合 F₂代蛋白质含量的遗传变异分析[J].东北农学院学报,1988,19(4):348-353. (Peng Y H, Qiu L J, Gao F L, et al. Genetic study on soybean protein content[J]. Journal of Northeast Agricultural College, 1988, 19(4): 348-353.)
- [7] 刘显华.大豆杂种第二代种子蛋白质、脂肪及其组分的配合力与遗传力分析[J].作物学报,1988,14(4):303-309. (Liu X H. Analysis of the combining ability and heritability of protein, oil and their components in F₂ of soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 1988, 14(4): 303-309.)
- [8] 邱丽娟,王金陵,杨庆凯.大豆高蛋白育种的亲本选配和后代选择的研究[J].大豆科学,1990,9(4):271-276. (Qiu L J, Wang J L, Yang Q G. Studies on selection of parents and early generations of high-protein breeding in soybean[J]. Soybean Science, 1990, 9(4): 271-276.)
- [9] 彭宝,徐月玲,赵丽梅,等.关于大豆高油育种问题的探讨[J].大豆通报,2005(3):12-13. (Peng B, Xu Y L, Zhao L M, et al. Investigation about breeding problem of high oil soybean[J]. Soybean Bulletin, 2005(3): 12-13.)
- [10] 傅艳华.大豆蛋白质脂肪含量与其它农艺性状关系的遗传研究[J].吉林农业大学学报,1988,10(2):59-60. (Fu Y H. Genetic research for relation between protein, oil content and other agronomic characters[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jilinen-sis, 1988, 10(2): 59-60.)

(上接第 915 页)

- [7] 张俊英,许永利,赵同科,等.氮胁迫下高效玉米基因型的筛选研究[J].安徽农业科学,2007,35(22):6713-6715. (Zhang J Y, Xu Y L, Zhao T K, et al. Study on screening maize genotypes with high N efficiency under N stress[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(22): 6713-6715.)
- [8] 裴雪霞,王姣爱,党建友,等.耐低氮小麦基因型筛选指标的研究[J].小麦研究,2007,28(2):1-6. (Pei X X, Wang J A, Dang J Y, et al. An approach to the screening index for low nitrogen tolerant wheat genotype[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 28(2): 1-6.)
- [9] 洪娟.油菜氮高效种质的筛选及其生理机制的初步研究[D].武汉:华中农业大学,2007. (Hong J. Screening of nitrogen efficient germplasms and preliminary study on its physiological mechanism in rapeseed [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007.)
- [10] 汪自强,王美娥.春大豆氮利用效率的基因型变异和性状间的相关研究[J].生物数学学报,2002,17(2):221-228. (Wang Z Q, Wang M E. Study on genotypic variation in nitrogen utilization efficiency and correlation among traits of spring soybean [J]. 2002, 17(2): 221-228.)
- [11] Singh U, Ladha J K, Castillo E G, et al. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in medium and long-duration rice[J]. Field Crops Research, 1998, 58: 35-53.
- [12] Gouis J L, Beghinc D, Heumez E, et al. Genetic difference for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat [J]. European Journal of Agronomy, 2000, 12: 163-173.
- [13] Sinebo W, Gretzmacher R, Edelbauer A. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley [J]. Field Crops Research, 2004, 85: 43-60.
- [14] 汤继华,谢惠玲,黄绍敏,等.缺氮条件下玉米自交系叶绿素含量与光合效率的变化[J].华北农学报,2005,20(5):10-12. (Tang J H, Xie H L, Huang S M, et al. The changes of the content for chlorophyll and photosynthetic productivity in maize inbred lines under the low-nitrogen stress[J]. Acta Agriculturae Borealisinica, 2005, 20(5): 10-12.)
- [15] 黄农荣,钟旭华,郑海波.水稻氮高效基因型及其评价指标的筛选[J].中国农学通报,2006,22(6):29-34. (Huang N R, Zhong X H, Zheng H B. Selection of rice genotypes with high nitrogen utilization efficiency and its evaluation indices[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(6): 29-34.)
- [16] 刁锐琦,钱晓刚.利用水培筛选玉米氮高效种质资源的研究[J].种子,2008,27(4):28-30. (Diao R Q, Qian X G. Studies on high nitrogen use efficiency maize resources in hydroponic [J]. Seed, 2008, 27(4): 28-30.)
- [17] 陈志伟,何婷,陆瑞菊,等.不同基因型大麦苗期对低氮胁迫的生物学响应[J].上海农业学报,2010,26(1):28-32. (Chen Z W, He T, Lu R J, et al. Biological responses of different-genotype barleys to low nitrogen stress at seedling stage[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2010, 26(1): 28-32.)