

耐低氮小麦基因型筛选指标的研究

裴雪霞, 王姣爱, 党建友, 张定一

(山西省农业科学院小麦研究所, 山西临汾 041000)

摘要: 以 12 个小麦基因型为研究对象, 采用溶液培养与田间试验的方法, 设低氮胁迫和正常供氮 2 个水平, 对耐低氮小麦基因型的筛选指标进行了探讨, 为氮高效基因型小麦育种提供理论依据。结果表明, 小麦植株干重在低氮胁迫和正常供氮条件下都有较大的基因型变异(变异系数 CV 分别为 29.03% 和 18.21%); 在所有调查性状的相对值中, 相对植株干重(低氮胁迫/正常供氮)基因型变异较大(CV 为 22.76%)。相关性分析表明, 相对植株干重与相对株高、相对植株吸氮量和相对氮利用效率间呈极显著正相关($P < 0.01$), 且溶液培养试验中相对植株干重和田间试验中相对子粒产量(不施氮/施氮)间呈极显著正相关($r = 0.77^{**}$, $n = 12$)。因此, 以小麦苗期相对植株干重作为筛选指标, 然后进行田间验证, 是筛选耐低氮小麦基因型行之有效的途径。

关键词: 小麦基因型; 耐低氮; 筛选指标; 评价指标

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X (2007)01-0093-06

An approach to the screening index for low nitrogen tolerant wheat genotype

PEI Xue-xia, WANG Jiao-ai, DANG Jian-you, ZHANG Ding-yi

(Wheat Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural sciences, Linfen 041000, China)

Abstract: Screening and breeding low nitrogen (N) tolerant wheat genotype is one of the effective alternatives to alleviate pollution of environment, and increase the utilization efficiency of N fertilizer. A simple and scientific screening index plays an important role in the screening and breeding program. In this study, a hydroponic experiment and a field trial were carried out to screen the index for low N tolerant wheat genotypes under N stress and normal N supply condition, respectively. Results showed that total dry weight showed a significant genotypic variation at both normal and low N supply (the CV was 18.21% and 29.03%, respectively). Relative dry weight (low N supply/normal N supply) also showed a significant genotypic variation (CV was 22.73%). Correlation analysis showed that relative dry weight was highly significantly correlated to relative plant height, relative total N uptake, and relative N utilization efficiency ($P < 0.01$). The relative total dry weight of wheat in solution culture system was significantly correlated to the relative grain yield (minus - N/plus - N) in field trial ($r = 0.77^{**}$, $n = 12$). Therefore, relative total dry weight at seedling stage would probably be an effective screening index for screening wheat genotype which tolerant to low N.

Key words: winter wheat; low N tolerance; genotype; screening index; evaluation index

农业生产中大量施用化肥特别是氮肥所引起的养分利用效率下降及生产成本提高、环境污染等问题已引起了人们的普遍关注。挖掘和利用作物自身的潜力是提高养分利用效率的理想途径。水稻、玉米氮效率的基因型变异已有大量报道^[1-5], 小麦方

面也有不少研究^[6-8], 但对耐低氮小麦基因型没有统一的筛选指标。本试验以近年晋南大面积推广的小麦品种和优良亲本为材料, 研究不同基因型小麦对氮素吸收利用的变异, 确定耐低氮小麦基因型的早期筛选指标, 为氮高效基因型小麦育种提供理论

收稿日期: 2005-09-19

修改稿收到日期: 2006-01-24

基金项目: 山西省科技厅攻关项目(031008); 山西省农科院青年基金(YQN0303)资助。

作者简介: 裴雪霞(1973—), 女, 山西襄汾人, 硕士, 助理研究员, 从事小麦栽培生理和遗传研究。

Tel: 0357-2882370, E-mail: peixuexia@163.com

依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与 设计

溶液培养试验于 2003 年 2 月在小麦研究所植物营养网室进行。供试小麦由山西省农业科学院小麦研究所提供。营养液配置方法参照参考文献[1], 种子用 0.1% H_2O_2 浸泡 3 h, 用清水冲洗干净, 30℃ 培养箱中催芽, 露白后播种到经饱和 $CaSO_4$ 浸泡的石英砂中, 两叶一心时, 精选出苗整齐的幼苗, 去胚乳移入直径 35 cm、高 16 cm 配好营养液的培养盆中, 用脱脂棉固定, 每盆装 8 L 培养液, 每盆设 3 个孔, 每孔移苗 8 株。试验设: 低氮(0.4 mmol/L)和正常供氮(2.0 mmol/L)2 个供氮水平, 以 NH_4NO_3 形态供应, 3 次重复, 用电动气泵连续通气, 每周换一次营养液, 每天用 0.1 mol/L 的 HCl 和 NaOH 调 pH 至 5.50, 病、虫害按常规方法管理, 5 周后收获。

田间试验于 2003 年在小麦研究所试验田进行。供试土壤为石灰性褐土, pH 7.40, 有机质 1.46 mg/kg, 碱解氮 46.43 mg/kg, 速效磷(P)13.11 mg/kg, 速效钾(K)95.00 mg/kg。采用裂区设计, 主区为肥料处理, 设不施氮肥, 施磷、钾肥(T1)和施氮、磷、钾肥(T2)2 个处理, 副区为 12 个小麦品种, 3 次重复。肥料用量(kg/hm²)为 N 180 (尿素)、 P_2O_5 120 (过磷酸钙)、 K_2O 150 (氯化钾), 其中 60% 氮肥和全部磷、钾肥基施, 40% 氮肥拔节期追施。10 月 8 日播种, 小区面积 5 m², 6 月 9 日收获。

1.2 样品处理和测定方法

溶液培养试验的小麦收获后, 先用自来水冲洗干净, 再用去离子水冲洗, 测定株高和根长(以最长根长表示), 然后分成地上和地下部分。田间试验样品分为子粒和茎叶两部分。鲜样在 105℃ 下杀青 30 min, 70℃ 下烘至恒重, 测定干物质质量, 磨细过 0.25 mm 筛。植株全氮用浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮, 凯氏法测定。苗期氮利用效率为小麦吸收单位氮量所获得的植株干重, 收获期氮利用效率为地上部积累单位氮所获得的产量。

有关数据应用 DPS(Data Processing System) 分析软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同供氮水平下小麦相关性状指标的基因型差异

2.1.1 植株各性状间的基因型差异 低氮胁迫和

正常营养液培养下, 小麦性状调查及方差分析结果见表 1 和表 2。小麦所有调查性状都存在基因型差异, 差异均达到显著水平, 变异系数分别为 13.19%~34.35% 和 9.09%~22.52%。2 种供氮水平下差异最大的分别是植株干重和根冠比, 植株吸氮量次之, 株高差异最小。低氮胁迫下各性状变异系数大于正常供氮, 说明小麦品种间耐低氮胁迫的能力存在较大差异。

田间试验表明, 缺氮和正常供氮条件下, 地上部吸氮量相对值、氮利用效率相对值及子粒产量相对值基因型间差异均达到显著水平(表 3)。缺氮和正常供氮条件下变异系数分别为 6.91%~15.61% 和 6.80%~10.66%。溶液培养和田间试验条件下; 低氮胁迫和正常供氮处理, 氮吸收量、氮利用效率、干物重及子粒产量都存在显著差异。低氮胁迫使 12 个小麦基因型的吸氮量显著降低, 分别为对照的 41.19%~85.38% 和 61.72%~93.32%; 低氮胁迫显著提高了小麦氮利用率, 溶液培养试验为对照的 85.58%~119.90%, 田间试验为对照的 104.50%~132.10%; 溶液培养试验相对植株干重为 0.45~0.95(变异系数 22.76%), 田间试验相对产量 0.70~1.00(变异系数 11.18%), 说明不同小麦基因型在苗期对低氮胁迫反应敏感程度差异较大, 收获期差异缩小。

2.1.2 植株相对性状间的基因型差异 用植株某性状的相对值(低氮胁迫/正常供氮)来表征该性状对养分胁迫的敏感程度, 根据表 1 和表 2 算出植株相对性状值, 其变异系数如图 1。小麦各性状对低氮胁迫的敏感性表现一定程度的基因型差异: 相对根干重 > 相对植株干重 > 相对植株吸氮量 > 相对根冠比 > 相对地上干重 > 相对株高 > 相对氮利用效率 > 相对植株全氮。植株干重变异系数较大, 说明植株干重受基因型影响较大。

2.2 小麦植株各相对性状相关性分析

溶液培养试验各相对性状间的相关性分析(表 4)表明, 小麦相对植株干重与相对株高、相对植株吸氮量和相对氮利用效率呈极显著正相关, 这与李永夫^[7]的研究结果一致; 相对氮利用效率与相对株高和相对植株吸氮量呈显著或极显著正相关, 与相对植株全氮呈显著负相关; 相对根冠比与各指标间相关性均不显著。田间试验相对于子粒产量与相对氮素积累量间呈极显著正相关($r = 0.88^{**}$, $n = 12$), 与相对氮素利用率间无显著相关, 后者呈显著负相关($r = -0.57^*$)。

表 1 低氮胁迫下小麦植株性状的基因型差异(溶液培养试验)

Table 1 Genotypic difference of wheat traits at low N level in solution culture experiment

品种 Varieties	株高 Plant height (cm)	根冠比 Root - Shoot ratio	地上干重 Shoot dry weight (g/plant)	根干重 Root dry weight (g/plant)	植株干重 Total dry weight (g/plant)	植株吸 N 量 Total N uptake (mg/plant)	N 利用效率 NUE (%)
晋麦 31 Jinmai 31	16.20 b	1.00 ab	0.08 bc	0.07 b	0.15 b	3.06 c	4.83 de
晋麦 54 Jinmai 54	17.00 b	0.94 b	0.09 b	0.06 bc	0.15 b	2.92 cd	5.00 cd
晋麦 60 Jinmai 60	17.00 b	0.82 c	0.06 d	0.04 cd	0.11 c	2.46 e	4.31 e
晋麦 71 Jinmai 71	21.00 a	0.81 c	0.10 ab	0.09 a	0.19 ab	4.13 a	4.51 e
晋麦 72 Jinmai 72	16.00 b	1.06 a	0.06 d	0.04 cd	0.11 c	2.36 e	4.53 e
临汾 5064 Linfen 5064	16.00 b	0.88 bc	0.07 c	0.04 cd	0.11 c	2.25 e	4.93 cd
济南 17 Jinan 17	17.00 b	0.88 bc	0.07 c	0.05 c	0.12 c	2.37e	4.90 cd
临选 2039 Linxuan 2039	15.00 c	1.07 a	0.05 d	0.03 d	0.08 d	1.36 f	5.95 b
临选 2098 Linxuan 2098	18.00 ab	1.00 ab	0.09 b	0.10 a	0.19 ab	2.60 de	7.35 a
临汾 138 Linfen 138	23.00 a	0.87 bc	0.15 a	0.08 ab	0.22 a	3.76 b	5.95 b
临丰 615 Linfeng 615	20.00 a	0.65 d	0.11 a	0.07 b	0.18 ab	4.12 a	4.35 e
陕 225 Shanyou 225	18.00 ab	0.72 cd	0.08 bc	0.06 bc	0.14 bc	2.65 de	5.21 c
平均值 Average	17.85	0.89	0.08	0.06	0.14	2.80	5.15
变异系数 CV(%)	13.19	14.60	30.62	34.35	29.03	28.96	17.10

注:表中数据为 3 次重复的平均值,不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同。

Note: The data were average of 3 replicates, different letters within a column mean significant at 5%, same as follows.

表 2 正常氮供应下小麦植株性状的基因型差异(溶液培养试验)

Table 2 Genotype variations between wheat traits of normal N level in solution culture experiment

品种 Varieties	株高 Plant height (cm)	根冠比 Root - Shoot ratio	地上干重 Shoot dry weight (g/plant)	根干重 Root dry weight (g/plant)	植株干重 Total dry weight (g/plant)	相对值 Relative value	植株吸 N 量 N uptake (mg/plant)	N 利用效率 NUE (%)
晋麦 31 Jinmai 31	20.40 b	0.98 ab	0.13 b	0.09 ab	0.22 bc	0.682 bc	4.69 c	4.72 bc
晋麦 54 Jinmai 54	23.00 a	0.78 bc	0.13 b	0.09 ab	0.22 bc	0.682 bc	4.55 cd	4.90 bc
晋麦 60 Jinmai 60	19.00 bc	0.89 b	0.12 bc	0.08 b	0.20 c	0.550 de	4.20 de	4.79 bc
晋麦 71 Jinmai 71	20.00 b	1.25 a	0.11 bc	0.10 ab	0.21 c	0.905 a	4.84 c	4.42 c
晋麦 72 Jinmai 72	22.00 b	1.14 a	0.13 b	0.09 ab	0.22 bc	0.500 de	4.91 c	4.44 c
临汾 5064 Linfen 5064	21.00 b	0.67 c	0.11 bc	0.08 b	0.19 cd	0.579 cd	4.11 e	4.69 bc
济南 17 Jinan 17	22.00 b	0.77 bc	0.12 bc	0.09 ab	0.21 c	0.571cd	4.24 de	4.93 bc
临选 2039 Linxuan 2039	21.00 b	0.81 b	0.09 c	0.08 b	0.17 d	0.471 de	3.30 f	5.24 b
临选 2098 Linxuan 2098	18.00 c	1.06 ab	0.13 b	0.07 b	0.20 c	0.950 a	3.29 f	6.14 a
临汾 138 Linfen 138	25.00 a	0.64 c	0.19 a	0.11 a	0.30 a	0.733 b	5.99 a	4.97 bc
临丰 615 Linfeng 615	23.00 a	0.65 c	0.15 a	0.11 a	0.26 b	0.692 b	5.38 b	4.85 bc
陕 225 Shanyou 225	20.00 b	1.00 ab	0.18 a	0.13 a	0.31 a	0.452 e	5.94 a	5.18 b
平均值 Average	21.20	0.89	0.13	0.09	0.23	0.647	4.60	4.94
变异系数 CV(%)	9.09	22.52	18.54	18.26	18.21	22.76	18.93	9.11

注:相对值 = 低氮胁迫下植株干重/正常供氮植株干重。

Note: Relative value = total dry weight under low N supply/total dry weight under normal N supply.

表3 田间试验供试小麦基因型子粒产量和氮效率的基因型差异

Table 3 Genotypic difference in grain yield and N efficiency of 12 genotypes in field trail at different N supply

品种 Cultivar	地上部 N 积累量 N accum. in shoot (kg/hm ²)		相对值 Relative value	N 利用效率 NUE (%)		相对值 Relative value	子粒产量 Grain yield (kg/hm ²)		相对值 Relative value
	T1	T2		T1	T2		T1	T2	
晋麦 31 Jinmai 31	94.80	153.60	0.617 d	33.23	29.45	1.128 b	3150.30	4523.50	0.696 d
晋麦 54 Jinmai 54	135.26	175.25	0.772 b	37.54	33.98	1.105 b	5078.10	5955.80	0.853 ab
晋麦 60 Jinmai 60	130.21	170.21	0.765 b	37.36	34.41	1.086 bc	4865.00	5857.80	0.831 bc
晋麦 71 Jinmai 71	131.90	178.37	0.739 bc	35.55	31.75	1.120 b	4689.30	5663.40	0.828 bc
晋麦 72 Jinmai 72	110.58	165.85	0.667 bc	37.92	32.27	1.175 b	4192.80	5351.30	0.784 c
临汾 5064 Linfen 5064	111.88	150.23	0.745 bc	31.49	29.45	1.069 c	3523.20	4423.70	0.796 c
济南 17 Jinan 17	124.16	163.21	0.761 b	33.06	31.64	1.045 c	4104.70	5164.50	0.795 c
临选 2039 Linxuan 2039	132.18	206.30	0.641 cd	32.45	27.34	1.187 b	4289.90	5639.90	0.761 c
临选 2098 Linxuan 2098	153.83	164.85	0.933 a	35.60	33.30	1.069 c	5476.10	5488.60	0.998 a
临汾 138 Linfen 138	148.32	157.65	0.941 a	33.00	31.66	1.042 c	4894.20	4990.70	0.981 a
临丰 615 Linfeng 615	138.97	204.40	0.680 bc	38.70	29.30	1.321 a	5378.20	5989.80	0.898 ab
陕 225 Shanyou 225	125.26	189.62	0.661 bc	35.72	32.56	1.097 bc	4474.20	6173.90	0.725 d
平均值 Average	128.11	173.30	0.743	35.14	31.43	1.120	4509.67	5435.24	0.83
变异系数 CV(%)	12.84	10.66	14.04	6.91	6.80	6.95	15.61	10.43	11.18

注: 相对值 = 缺氮(T1)条件下性状值/正常供氮(T2)条件下性状值。

Note: Relative value = trait value under minus N(T1)/trait value under plus N(T2).

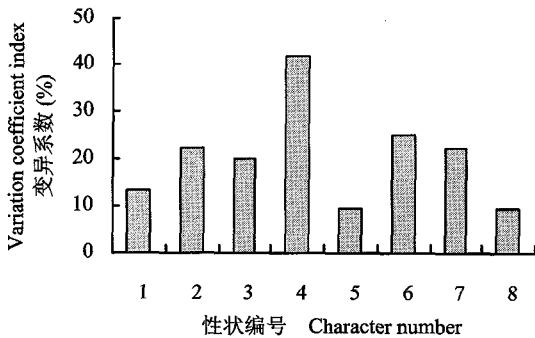


图1 小麦性状相对值(低氮供应/正常供氮)的基因型差异

Fig. 1 Genotypic difference in relative value (low N supply/ normal N supply) of wheat traits

- [1]株高 Plant height; 2)根冠比 Shoot - Root ratio; 3)地上干重, Shoot DW; 4)根干重 Root DW; 5)植株全 N Plant N content; 6)植株干重 Total DW; 7)植株吸 N 量 Total N uptake; 8) N 利用效率 NUE]

2.3 溶液培养试验和田间试验小麦对低 N 胁迫反应的比较

溶液培养试验小麦苗期对低氮胁迫反应和田间

试验小麦收获期对低氮胁迫反应存在一定的基因型差异,晋麦 31 在溶液培养中对低氮胁迫具有较强的抗性(相对植株干重为 0.670),而在田间试验中抗性较弱(相对产量为 0.696);晋麦 60 在溶液培养试验中对低氮胁迫的抗性较弱,而在田间试验中却具有较高的耐低氮能力;临选 2098、临丰 615 和临汾 138 在两种试验条件下均有较强的耐低氮能力;陕 225、临选 2039 和晋麦 72 在两种试验条件下对低氮胁迫的抗性均较弱。

为了确定选择耐低氮小麦品种的早期指标,将溶液培养试验与田间试验对应指标做相关性分析,结果(图 2)表明,溶液培养试验中小麦相对植株干重与田间试验中小麦相对子粒产量呈极显著的正相关($r=0.77^{**}$, $n=12$),而溶液培养试验中氮积累量及氮利用效率与田间试验中氮积累量及氮利用效率间均没有显著相关性。这充分说明,可以将小麦苗期相对植株干重作为耐低氮品种的早期筛选指标,然后进行田间试验验证。

表 4 小麦各性状相对值间相关性分析
Table 4 Correlation analysis between the relative values of wheat traits

性状相对值 Relative value of trait	相对株高 Relative plant height	相对根冠比 Relative shoot-root ratio	相对植株全氮 Relative N concen.	相对植株干重 Relative total DW	相对植株吸氮量 Relative N uptake
相对根冠比 Relative shoot-root ratio	-0.593 *				
相对植株全氮 Relative N concen.	-0.080	-0.405			
相对植株干重 Relative total DW	0.708 **	-0.166	-0.357		
相对植株吸氮量 Relative N uptake	0.698 *	-0.337	0.0558	0.909 **	
相对氮利用效率 Relative NUE	0.642 *	-0.0186	-0.612 *	0.953 **	0.741 **

注(Notes): * 和 ** 分别表示差异达 5% 和 1% 显著水平,下同 * and ** Mean significant at 5% and 1% level, respectively, same as follows.

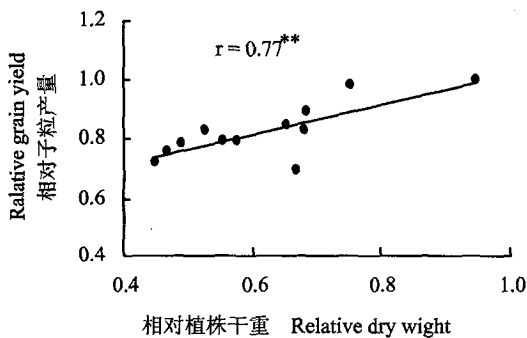


图 2 溶液培养小麦相对植株干重与田间试验小麦相对子粒产量的关系

Fig 2 Correlation between relative total dry weight of wheat grown in solution culture experiment and relative grain yield of wheat grown in field trail

3 讨论

筛选和培育耐低氮小麦基因型是减少氮肥投入、降低环境污染的有效途径之一。而简单、可靠和有效的方法与指标的选择是准确快速筛选和培育耐低氮小麦基因型的前提。在研究植物的营养特性时,比较常用的试验方法有溶液培养、盆栽和田间试验^[7-11]。土壤是植物生长的基本介质,通过盆栽和田间试验研究出来的结果比较客观可靠,特别是田间试验的结果更接近实际情况。然而,土壤在空间和时间上的变异性,盆栽和田间试验很难像溶液培养试验那样准确有效地控制其它条件。溶液培养试验可就某些形态或生理上的指标对大批量基因型进行快速筛选,并且培养条件可以准确无误地进行重复。因此,溶液培养方法往往是许多研究学者对大

批量基因型进行前期筛选的首选方法。

尽管有不少研究者采用溶液培养方法进行作物苗期耐低营养基因型的筛选,然而对耐低营养能力的筛选评价指标并没有形成一致看法。郭玉春等^[6]认为,筛选水稻苗期磷高效基因型最好的单一筛选指标应是相对地上部干重或相对总生物量;李继云等^[5]认为,筛选小麦苗期氮高效基因型最好的单一筛选指标应是施氮处理的地上部干重和相对地上部干物重。本试验结果表明,在正常供氮和低氮胁迫下,小麦植株干重都具有较大的基因型变异(CV 分别为 18.21% 和 29.03%)。在所有相对值中,相对植株干重也有较大的基因型间变异(CV 为 22.76%);相关性分析表明,小麦相对植株干重与相对株高、相对植株吸氮量和相对氮利用效率呈极显著的正相关($P < 0.01$)。因此,小麦相对植株干重可以作为小麦苗期耐低氮能力的一个重要筛选与评价指标。溶液培养和田间试验各指标相关性分析表明,溶液培养试验中小麦相对植株干重与田间试验中小麦相对子粒产量呈极显著正相关。因此,以低氮营养液培养与正常供氮营养液培养下小麦苗期植株干重的相对值作为早期筛选指标,然后进行田间验证,是一条筛选耐低氮小麦基因型的有效途径。

参考文献:

- [1] 山东农学院. 植物生理学实验指导[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1982.
Shandong Agricultural College. Experimental of plant physiology [M]. Jinan: Shandong Press of Scientific Technology, 1982.
- [2] 曹黎明, 潘晓华. 水稻不同耐低磷基因型的评价指标分析[J].

- 上海农业学报, 2000, 6(4): 31-34.
- Cao L M, Pan X H. Analysis of some indexes used for evaluating tolerance of different rice genotypes to low phosphorus treatment in sand culture [J]. *Acta Agric. Shanghai*, 2000, 6(4): 31-34.
- [3] 王艳, 孙杰, 王荣萍, 等. 玉米自交系吸收利用磷素的差异及其相关性[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(5): 479-481.
- Wang Y, Sun J, Wang R P *et al.* Differences in uptake and utilization efficiency for phosphorus and correlation in maize inbred lines [J]. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 2003, 9(5): 479-481.
- [4] 段英华, 张亚丽, 沈其荣, 等. 增硝营养对不同基因型水稻苗期氮素吸收同化的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(2): 160-165.
- Duan Y H, Zhang Y L, Shen Q R *et al.* Effect of partial replacement of NH_4^+ by NO_3^- on nitrogen uptake and utilization by different genotypes of rice at the seedling stage [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(2): 160-165.
- [5] 李继云, 刘秀娣, 周伟, 等. 作物有效利用土壤营养元素的育种新方法研究[J]. *中国科学(B辑)*, 1995, 25(1): 41-48.
- Li J Y, Liu X D, Zhou W *et al.* Study on the crop breeding new techniques to utilize soil nutrient elements efficiently [J]. *Sci. Chin. (Series B)*, 1995, 25 (1): 41-48.
- [6] 郭玉春, 林文雄, 石秋梅, 等. 水稻苗期磷高效基因型筛选研究 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(12): 1587-1591.
- Guo Y C, Lin W X, Shi Q M *et al.* Screening methodology for rice genotypes with high phosphorus use efficiency at their seedling stage [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, 13(12): 1587-1591.
- [7] 李永夫, 罗安程, 王为木, 等. 耐低磷水稻基因型筛选指标的研究 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(1): 119-124.
- Li Y F, Luo A C, Wang W M *et al.* An approach to the screening index for low phosphorous tolerant rice genotype [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(1): 119-124.
- [8] 孙传范, 戴廷波, 荆奇, 等. 小麦品种氮利用效率的评价指标及其氮营养特性研究 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15(6): 983-987.
- Sun C F, Dai T B, Jing Q *et al.* Nitrogen use efficiency and its relationship with nitrogen nutrition characteristics of wheat variety [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2004, 15(6): 983-987.
- [9] 董依平, 李继云, 李振声, 等. 不同小麦品种吸收利用氮素效率的差异及有关机理研究 I. 吸收和利用效率对产量的影响 [J]. *西北植物学报*, 1999, 19(2): 270-278.
- Tong Y P, Li J Y, Jing Q *et al.* Genotypic variations for nitrogen use efficiency in winter wheat I. Effects of N uptake and utilization efficiency on grain yields [J]. *Acta Bot. Boreali-Occident. Sin.*, 1999, 19(2): 270-278.
- [10] 刘建祥, 杨肖娥, 杨玉爱, 吴良欢. 低钾胁迫下水稻钾高效基因型若干生长特性和营养特性的研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(2): 190-195.
- Liu J X, Yang X E, Yang Y A, WU L H. Some agronomic and nutritional characteristics for potassium efficient rice genotypes under low potassium stress [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2003, 9(2): 190-195.
- [11] 邹春琴, 李振声, 李继云. 钾利用效率不同的小麦品种各生育期钾营养特点 [J]. *中国农业科学*, 2002, 35(3): 340-344.
- Zou C Q, Li Z S, Li J Y. Characteristics of potassium nutrition of six wheat cultivars at different growth stages [J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2002, 35(3): 340-344.