

# 耐低钾冬小麦基因型筛选方法的研究\*

杨振明<sup>1)</sup> 李秋梅<sup>2)</sup> 王 波<sup>3)</sup> 鲍士旦 史瑞和

(南京农业大学自然资源与环境科学学院, 南京 210095)

**摘 要** 通过液培实验及低钾土壤上的田间实验, 比较、讨论了耐低钾冬小麦基因型的筛选指标、时期及钾浓度。结果表明: 液培筛选的评价指标, 吸钾量优于钾利用指数。筛选的适宜时期为拔节期, 钾浓度以  $1.0\text{mmol/L K}^+$  为宜。低钾土壤上 7 种基因型的经济产量与植株地上部吸钾量间存在极显著正相关 ( $r = 0.945^{**}$ ,  $n = 21$ )。冬小麦吸收的钾主要来自于  $1\text{mol/L}$  热  $\text{HNO}_3$  不能提取的非交换性钾。吸钾量亦可作为田间筛选的评价指标。

**关键词** 冬小麦, 耐低钾基因型, 吸钾量, 钾利用指数

**中图分类号** S147.2

我国钾矿资源贫乏, 化肥生产及使用中的 N、P、K 比例严重失调, 而我国耕地约有  $1/4 - 1/3$  的土壤普遍缺钾或严重缺钾, 尤其是长江以南的稻麦轮作区, 这一问题更为严重<sup>[1]</sup>。解决这一供需矛盾的较好方法就是利用植物对环境的遗传多样性, 筛选耐低钾植物基因型作为种质资源, 再通过现代遗传育种技术培育出耐低钾的优良品种, 也即是采用植物适应环境的新对策<sup>[2]</sup>。因此, 近年来对筛选耐低钾作物品种的研究日益受到重视。这方面工作国外进行的较早, 国内起步则较晚<sup>[2]</sup>, 且主要集中在对水稻的研究上<sup>[3-6]</sup>, 而对冬小麦的研究报道尚少。本研究以低钾土壤上的田间实验结果为标准, 对液培法进行了比较研究, 以图确定液培法筛选的指标、时间及钾浓度, 并据此建立一个快速、简便、高效的筛选耐低钾冬小麦基因型的方法, 为今后大量筛选工作奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

选取冬小麦基因型 7 份, 其名称及来源见表 1。

### 1.2 液培实验

种子先经 0.1% 的甲醛消毒 10—15 分钟后, 用去离子水冲洗 4 次, 于  $25^\circ\text{C}$  恒温箱催芽, 露白后, 播于装有约 5cm 厚石英砂的周转箱内育苗。两叶后于各基因型中挑选长势一致的麦苗移栽于  $35 \times 25 \times 8\text{cm}$

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 39470408)。

1) 现通讯地址: 解放军农牧大学农学系土壤与植物营养教研室, 长春, 130062。

2) 为本院土壤农化专业96届毕业生。

3) 现通讯地址: 苏州大学生物技术学院, 苏州, 215151。

收稿日期: 1997-01-06; 收到修改稿日期: 1997-11-04

的周转箱内培养。每箱 30 株, 营养液成份为:  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  0.3mmol / L,  $NH_4NO_3$  0.8mmol / L,  $(NH_4)_2HPO_4$  0.28mmol / L,  $NH_4H_2PO_4$  0.64mmol / L,  $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  0.6mmol / L,  $CaCl_2$  2.6mmol / L, 适量阿农营养液及柠檬酸铁。其中钾浓度设三个水平, 即  $K_1$  (0.1mmol / L),  $K_2$  (0.4mmol / L K),  $K_3$  (1.0mmol / L K)。重复两次, 随机区组排列。定期更换营养液, 24 小时保持通气。分别于 3 叶 (移栽后 38 天)、5 叶 (移栽后 58 天)、拔节 (移栽后 93 天) 期采样, 每次 10 株, 同时更换营养液。将植株样烘干称重, 并测定含钾量。

表1 供试冬小麦基因型及其来源

Table 1 The winter wheat genotypes used for the experiment and their sources

序号 No.	基因型 Genotype	来源 Souce	序号 No.	基因型 Genotype	来源 Souce
1	中麦9号	中国农科院	5	CA8686	河南农科院
2	冬丰1号	中国农科院	6	北京8694	中国农业大学
3	H88-65	安徽农业大学	7	西安8号	西北农业大学
4	豫麦28	河南农科院			

### 1.3 田间实验

实验地点为江苏省溧水县傅家边村。土壤类型为黄红壤, 耕层 (0—20cm) pH 为 5.85, 有机质含量 16.0g / kg, 全氮 0.96g / kg, 全磷 ( $P_2O_5$ ) 0.72g / kg, 交换性钾 53.4mg / kg, 非交换性钾 432.1mg / kg, 全钾 2.41%。实验采用随机区组排列, 每小区面积为  $3m^2$ , 3 次重复, 共 21 个小区。不施钾肥。氮、磷肥用量按 188kg N / ha、60kg  $P_2O_5$  / ha 施用。田间管理与大田相同。成熟后每小区收割  $1m^2$  计产, 同时测定植株、籽粒及土壤中的钾含量。

### 1.4 钾含量的测定及分析

植株、籽粒中的钾含量及土壤交换性钾均采用 1mol / L  $NH_4OAc$  浸提, 火焰光度计测定; 土壤酸溶性钾采用 1mol / L  $HNO_3$  煮沸 10 分钟, 火焰光度计测定。计算吸钾量、钾经济效率比、钾利用指数及土壤非交换性钾含量。

吸钾量 (AKA): 单位株数吸收的钾量 (mgK / 10 株)。

钾利用指数 (KUI): 株体组织内每单位钾浓度所形成的生物量 ( $g^2 \cdot Dw / mmol K$ )<sup>[7]</sup>。

即: [生物量 (g) / 钾浓度 (K, g / kg)]  $\times$  39。式中 39 为单位换算系数。

钾经济效率比 (EKER): 地上部株体中每克钾所形成的籽粒的克数。

土壤非交换性钾 = 土壤酸溶性钾 - 土壤交换性钾

## 2 结果与分析

### 2.1 液培实验不同冬小麦基因型的吸钾量

表 2 给出了 7 种冬小麦基因型在不同生育期及不同钾浓度下的吸钾量。由表 2 可以看出, 在同一生育期, 植株的吸钾随着钾浓度的提高而增加, 7 个基因型的表现规律一致。尤其在拔节期, 吸钾量增加幅度更大, 增加最快的中麦 9 号,  $K_3$  浓度是  $K_1$  浓度的 5.5 倍, 相差 62.56mg K / 10 株, 增加幅度最小的西安 8 号 (6.00—22.48mg K / 10 株), 相差也达 3.8 倍。此外, 同一钾浓度不同生育期的吸钾量, 各基因型都是在三叶、五叶期较少, 至拔节期

则明显提高,这在  $K_3$  浓度下表现更为明显。各基因型  $K_3$  浓度下拔节期的吸钾量是五叶期的 2—4 倍,三叶期的 2—5 倍。这与冬小麦的吸钾特性有关。据鲍士旦报道<sup>[8]</sup>,冬小麦在拔节至齐穗是需钾最多的时期,其吸钾量和吸钾速率均达最高峰,拔节至齐穗的吸钾量是拔节前平均吸钾量的 10.5—11.5 倍。本实验虽未能培育到齐穗期,但反映的趋势与之完全相同。

表2 不同基因型在三个生育期、三个钾浓度下的吸钾量(mgK/10株)

Table 2 Amounts of K absorbed by different genotypes at 3 growth stages and 3 K levels (mgK/10 plant)

基因型 Genotype	三叶期 Three-leaf stage			五叶期 Five-leaf stage			拔节期 Jointing stage				
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_1$	$K_2$	$K_3$		
	中麦9号	4.18 ±0.70	7.97 ±0.30	9.80 ±1.25	5.99 ±0.61	14.27 ±1.43	23.90 ±2.40	(a A)	13.88 ±0.65	44.95 ±0.49	76.44 ±1.82
冬丰1号	2.62 ±0.17	3.42 ±0.18	4.44 ±0.02	3.86 ±0.27	5.77 ±0.24	7.75 ±0.21	(c B)	8.48 ±0.13	13.68 ±1.88	52.32 ±3.15	(b B)
H88-65	2.50 ±0.14	5.39 ±0.41	6.12 ±0.12	4.43 ±0.22	7.12 ±0.45	8.90 ±1.85	(bcB)	12.38 ±1.24	25.60 ±2.57	45.11 ±3.34	(bcB)
豫麦28	4.07 ±0.01	4.63 ±0.13	5.23 ±0.13	6.10 ±0.98	10.08 ±1.35	9.77 ±0.27	(bcB)	12.90 ±1.29	24.48 ±5.48	41.99 ±7.13	(c B)
CA8686	2.74 ±0.02	2.80 ±0.04	3.80 ±0.28	3.36 ±0.08	4.75 ±0.64	9.82 ±0.01	(bcB)	9.76 ±1.52	17.22 ±2.62	33.20 ±0.75	(cdC)
北京8694	2.72 ±0.27	3.35 ±0.42	4.96 ±0.02	3.43 ±0.04	6.17 ±0.49	11.23 ±0.46	(b B)	9.67 ±0.45	23.12 ±4.38	32.49 ±3.40	(d C)
西安8号	2.20 ±0.76	3.05 ±0.62	2.56 ±0.73	2.28 ±0.98	5.40 ±0.01	4.74 ±1.02	(d C)	6.00 ±1.91	15.03 ±1.70	22.84 ±3.18	(e C)
均值	3.00	4.37	5.27	4.21	7.65	10.87		10.44	23.44	43.48	
标准差	0.79	1.84	2.29	1.41	3.40	6.10		2.78	10.59	17.43	
变异系数	26.3	42.1	43.5	33.5	44.4	56.1		26.6	45.2	40.1	

注:表中字母为采用新复极差测验的多重比较结果。其中大、小写字母分别为0.01和0.05水平上的显著性。相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著。(下同)

统计分析结果表明,基因型与生育期、基因型与钾浓度、生育期与钾浓度间存在极显著的交互作用。表3给出了吸钾量、钾利用指数的生育期与钾浓度交互作用统计结果。由表3可见,生育期、钾浓度对吸钾量的影响都很明显,但钾浓度的影响更大。 $K_3$ 浓度与各个生育期的交互效果都较好,尤以拔节 $\times K_3$ 为最好。除拔节 $\times K_2$ 的吸钾量较高外, $K_2$ 、 $K_1$ 浓度与各生育期的交互效果都不如 $K_3$ 浓度,尤以 $K_1$ 浓度最差。既使是在吸钾量较大的拔节期,由于 $K_1$ 浓度过低(0.1mmol/L·K),其吸钾量也较低。

将液培实验与田间实验结果相比较发现,拔节 $\times K_3$ 的吸钾量与田间经济产量间存在显著正相关( $r = 0.8467^*$ ,  $n = 14$ ),各基因型的排序也与田间经济产量的排序吻合。上述结果充分说明吸钾量可以做为液培筛选耐低钾冬小麦基因型的指标。 $K_3$ 浓度为最佳浓度,拔节期则是最佳筛选时期。

表3 吸钾量、钾利用指数的生育期与钾浓度的交互作用

Table 3 The Interaction between K level and growth stage of AKA and KUI

吸钾量 (AKA)				钾利用指数 (KUI)			
时期×浓度	n	均值	显著性	时期×浓度	n	均值	显著性
Stage×Content		Mean	Significance	Stage×Content		Mean	Significance
拔节×K <sub>3</sub>	14	46.75	a A	拔节×K <sub>3</sub>	14	11.97	a A
拔节×K <sub>2</sub>	14	25.20	b B	拔节×K <sub>2</sub>	14	10.87	b B
五叶×K <sub>3</sub>	14	18.75	c C	拔节×K <sub>1</sub>	14	7.49	c C
三叶×K <sub>3</sub>	14	13.86	d D	五叶×K <sub>2</sub>	14	4.98	d C
五叶×K <sub>2</sub>	14	13.19	d D	三叶×K <sub>2</sub>	14	4.88	d C
三叶×K <sub>2</sub>	14	11.50	e E	三叶×K <sub>3</sub>	14	4.82	d C
拔节×K <sub>1</sub>	14	11.22	e E	三叶×K <sub>1</sub>	14	4.77	d C
三叶×K <sub>1</sub>	14	7.90	f F	五叶×K <sub>1</sub>	14	4.76	d C
五叶×K <sub>1</sub>	14	7.25	f F	五叶×K <sub>3</sub>	14	4.61	d C

表4 不同基因型在三个生育时期、三个钾浓度下的钾利用指数 (KUI) (g<sup>2</sup>·DW/mmol K)

Table 4 Potassium utilization index of different genotypes at 3 growth stages and 3 K levels

基因型	三叶期			五叶期			拔节期			
	Three-leaf stage			Five-leaf stage			Jointion stage			
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	
中麦9号	5.92	4.89	5.18	5.28	6.83	5.51	7.92	22.14	22.67	
	±0.16	±0.23	±0.49	±0.96	±0.66	±0.17	(aAB)	±1.10	±1.78 (a A)	±1.63 (a A)
冬丰1号	5.10	6.94	7.41	5.31	5.63	6.96	6.92	6.71	9.76	
	±0.28	±0.39	±1.52	±0.35	±1.68	±1.38	(a A)	±0.52	±0.42 (cdC)	±0.71 (c B)
H88-65	4.97	5.50	5.00	5.64	6.28	4.68	10.39	14.03	11.91	
	±0.35	±0.61	±0.17	±0.27	±0.45	±0.07	(bcAB)	±0.01	±0.75 (b B)	±0.93 (bcB)
豫麦28	4.44	3.69	4.09	3.40	2.88	3.89	6.38	11.23	10.93	
	±0.37	±0.66	±0.06	±0.47	±0.01	±0.61	(bcB)	±0.27	±0.83 (bcBC)	±1.74 (c B)
CA8686	4.54	4.61	4.21	4.11	4.39	3.40	5.47	6.68	5.56	
	±0.08	±0.05	±0.07	±0.58	±0.08	±0.16	(c B)	±0.87	±0.43 (cdC)	±0.70 (c B)
北京8694	5.17	5.33	5.12	6.75	5.68	5.29	10.49	9.79	17.16	
	±0.71	±0.34	±1.02	±0.18	±0.88	±0.56	(bAB)	±1.56	±1.72 (c BC)	±1.38 (bA)
西安8号	3.24	3.21	2.71	2.84	3.15	2.54	4.83	5.50	5.79	
	±0.49	±0.25	±0.32	±0.25	±0.14	±0.55	(c B)	±0.66	±0.71 (d C)	±0.26 (cB)
均值	4.77	4.88	4.82	4.76	4.98	4.61	7.49	10.87	11.97	
标准差	0.83	1.23	1.43	1.37	1.54	1.48	2.25	5.80	6.15	
变异系数	17.4	25.2	29.7	28.8	30.9	32.1	30.0	53.4	51.4	

## 2.2 液培实验不同冬小麦基因型的钾利用指数 (KUI)

7种冬小麦基因型在三个生育期、三个钾浓度下的 KUI 见表 4。由表 4 可以看出, 除中麦 9 号在拔节 × K<sub>2</sub> 和拔节 × K<sub>3</sub> 下的 KUI 较前期有较大幅度提高外, 其余各基因型的变化

都不大,而且变化规律也不明显。即使是变异系数最大的拔节  $\times K_2$  和拔节  $\times K_3$  组合,各基因型无论在 0.01 还是在 0.05 显著水平上差异都不大。统计分析还表明,除拔节期的三个钾浓度组合有差异外,其余两个时期、三个钾浓度组合都不存在差异(见表 3)。这说明在液培条件下评价耐低钾冬小麦基因型时,以 KUI 作为指标不合适。因为它不能很好地将各基因型的遗传差异体现出来。

### 2.3 不同冬小麦基因型在低钾土壤中的产量及吸钾量

结果见表 5。由表 5 可以看出,不同冬小麦基因型在低钾土壤中的经济产量及吸钾量差异显著,7 个基因型经济产量的变幅为 28.8—177.9g/m<sup>2</sup>,冬丰 1 号是西安 8 号的 6.2 倍。总吸钾量的变幅为 0.25—1.86g/m<sup>2</sup>,极差达 7 倍。相关分析表明,地上部吸钾量与经济产量间存在高度正相关( $r = 0.945^{**}$ ,  $n = 21$ ),这说明经济产量、植株吸钾量均可做为田间筛选的指标。吸钾量的差异主要是由茎秆内钾浓度的不同所致,7 个基因型的变幅为 5.80—9.06(K, g/kg);而籽粒中钾浓度各基因型变化较小,为 2.24—2.80(K, g/kg),对这一差异的贡献则少,这与鲍土旦的研究结果一致<sup>[8]</sup>。

表5 不同冬小麦基因型在低钾土壤中的生物产量及吸钾量

Table 5 The biomass and the amounts of K absorbed by different genotypes of winter wheat on low K soil

基因型 Genotype	干物重 (g/m <sup>2</sup> ) Dry weight		吸钾量 (g/m <sup>2</sup> ) Amount of potassium			钾经济效率比 EKER
	茎秆 Straw	籽粒 Grain	茎秆 Straw	籽粒 Grain	总吸钾量 Total	
中麦9号	136.7±1.9	170.8±2.4 (aA)	1.24±0.01	0.42±0.01	1.66 (bA)	103.5 (cC)
冬丰1号	152.9±9.9	177.9±5.7 (aA)	1.37±0.08	0.49±0.02	1.86 (aA)	95.7 (cC)
H88-65	133.1±7.1	141.4±9.0 (bB)	1.03±0.06	0.40±0.03	1.43 (cB)	98.8 (cC)
豫麦28	135.1±0.8	129.5±6.2 (cB)	1.06±0.01	0.29±0.01	1.35 (cB)	96.3 (cC)
CA8686	88.2±6.0	106.2±2.0 (dC)	0.51±0.04	0.28±0.01	0.79 (eD)	134.6 (aA)
北京8694	110.6±8.5	92.1±1.8 (eC)	0.99±0.02	0.21±0.01	1.20 (dC)	76.5 (dD)
西安8号	29.6±3.0	28.8±1.4 (fD)	0.18±0.02	0.07±0.01	0.25 (fE)	117.8 (bB)

从表 5 还可看出, EKER 在本实验中各基因型差异并不十分明显。采用 EKER 来评价冬小麦对低钾的反应, 容易产生这样的结果: 即低吸钾能力同时低产的基因型, 其 EKER 很高(如 CA8686, 西安 8 号); 而具有较强吸收能力并高产的基因型, EKER 却很低(如冬丰 1 号)。据 EKER 值的大小对各基因型的排序, 也与经济产量、吸钾量的排序不符。因此, 采用 EKER 值做为田间直接筛选耐低钾冬小麦基因型的指标并不合适。

### 2.4 不同冬小麦基因型对土壤钾素的吸收

土壤分析表明, 种植前后, 实验区土壤交换性钾、非交换性钾含量几乎没有变化, 种植前交换性钾含量为 53.4(K, mg/kg), 非交换性钾为 432.1(k, mg/kg); 收获后分别为 55.8(K, mg/kg) 和 433.8(K, mg/kg), 这说明该土壤的交换性钾、非交换性钾都已达“最低值”。该土壤上植株所吸收的钾主要来自于 1mol/L 热  $\text{NH}_4\text{OH}$  不能提取的非交换性钾, 冬小麦不同基因型在低钾土壤中所表现出的生物产量、经济产量的差异, 主要是由于各基因型对该部分钾的吸收能力不同所致。我们认为冬小麦对 1mol/L 热  $\text{HNO}_3$  不能提取的

非交换性钾的吸收能力也可做为田间筛选耐低钾冬小麦基因型的重要指标。

上述液培和田间实验的结果分析表明,液培筛选耐低钾冬小麦基因型是可行的。以吸钾量作为评价指标优于钾利用指数,适宜筛选时期为拔节期,钾浓度为 1.0mmol/L。

## 3 讨论

### 3.1 耐低钾冬小麦基因型的筛选指标

在低钾土壤上直接筛选耐低钾作物基因型是最直接、客观的方法,其评价指标是经济产量<sup>[6,8]</sup>。亦有采用钾经济效率比(EKER)及钾收获指数(KHI)的<sup>[8-10]</sup>。本实验低钾土壤上各基因型的吸钾量与经济产量间存在极显著的正相关( $r = 0.945^{**}$ ,  $n = 21$ )说明,除经济产量外,作物吸钾量也可做为田间直接筛选的评价指标,而钾经济效率比(EKER)则不适合。

田间直接筛选法的不足之处是该法需时长,工作量大,不能满足大批量快速、高效筛选的要求。因此,近年来,人们在探索用液培的方法进行筛选<sup>[5,6,8]</sup>。常用的液培筛选指标有:钾利用效率(KUE)又称钾效率比(KER)<sup>[11,12]</sup>、钾利用指数(KUI)<sup>[13]</sup>及钾吸收速率(KIR)<sup>[5,6]</sup>。KUE(KER)在评价作物钾利用效率时存在一个缺点,即随着钾水平的提高,效率比却降低,反之亦然<sup>[14]</sup>。Siddiqi 和 Glass(1981)将其改进后提出了钾利用指数(KUI)的概念。由于该定义考虑了形成生物量数量的差异,因此在一定程度上克服了KER的缺点<sup>[8]</sup>。但从本实验看,KUI在评价冬小麦耐低钾能力上不如钾吸收速率(KIR)规律性明显。这也许是因为KUI还不能完全消除KER的缺点所致。用钾吸收速率与吸钾量得出的结论完全一致,但后者在计算上更趋简单,故建议液培法的筛选指标以吸钾量为好。

### 3.2 液培筛选的适宜时期

筛选时期的长与短,直接影响着筛选效率。三叶期虽然培育的时间短,但此期由于冬小麦刚刚从种子营养转向根系营养,根系从外界吸收的钾量很少,各基因型的遗传差异不能充分体现。本实验的结果也表明(表3),该期三种钾浓度下无论吸钾量的交互作用还是钾利用指数的交互作用,都不如拔节期和五叶期。因此,该期不宜作为筛选的最佳时期。

五叶期从主观上看是较好的筛选时期。但从本实验结果看,五叶期 $\times K_3$ 的吸钾量虽与拔节 $\times K_3$ 的吸钾量间存在显著的正相关( $r = 0.836^*$ ,  $n = 14$ ),但与田间经济产量、吸钾量间则不存在相关(相关系数分别为 $r = 0.528$ 和 $r = 0.478$ ,  $n = 14$ ),且各基因型间的变异较小(表2),因此五叶期也不是合适的筛选时期。

本实验各种结果分析表明,耐低钾冬小麦基因型的筛选时期以拔节期为最优,这也与冬小麦的吸钾特性相符合。但从液培的管理及筛选效率看,此期不十分理想。因为冬小麦拔节是在越冬以后,培育时间较长,管理较困难。如何更好地解决客观筛选与高效筛选的矛盾,还有待进一步研究。

### 3.3 液培筛选的适宜钾浓度

适宜的钾浓度对筛选工作非常重要。因为如果钾浓度过低,各基因型的差异就会太小。相反,浓度太高则各基因型的遗传优势又不能得到充分发挥,田间直接筛选比较困难,除了费时外,另一个主要原因就是适宜的低钾土壤不易找到。根据本实验结果, $K_3$ 浓

度即 1.0mmol/L 为适宜的筛选钾浓度。

## 4 结论

1. 液培筛选耐低钾冬小麦基因型是可行的,液培冬小麦吸钾量与田间经济产量、吸钾量间存在显著正相关。吸钾量作为评价指标较钾利用指数更能反映各基因型的耐低钾能力。吸钾量可作为液培筛选的指标。

2. 低钾土壤上冬小麦的吸钾量与经济产量间存在极显著的正相关。吸收的钾主要来自于 1mol/L 热  $\text{HNO}_3$  不能提取的非交换性钾。吸钾量可作为田间筛选耐低钾冬小麦的指标。

3. 液培筛选的适宜时期为拔节期,钾浓度为 1.0mmol/L。

4. 经筛选初步认为中麦 9 号、冬丰 1 号为耐低钾冬小麦基因型。

## 参 考 文 献

1. 农业部科学技术司主编. 中国南方农业中的钾. 北京: 农业出版社, 1991, 19—20
2. 刘国栋, 刘更另. 论缓解我国钾源短缺问题的新对策. 中国农业科学, 1995, 28(1): 25—32
3. 倪晋山, 安林升. 三系杂交水稻幼苗  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$  吸收动力学分析. 植物生理学报, 1984, 10(4): 381—390
4. 刘享官, 刘振兴, 刘放新. 水稻耐低钾品种(系)鉴定筛选及其吸钾特性的研究. 福建农科院学报, 1987, 2(2): 10—17
5. 林咸永, 孙羲. 不同水稻品种对钾的吸收及其对钾肥的反应. 土壤学报, 1995, 32(1): 77—83
6. 刘国栋, 刘更另. 水稻耐低钾基因型筛选方法的研究. 土壤学报, 1996, 33(2): 113—120
7. Woodend J J, Glass A D M. Genotype-environment interaction and correlation between vegetative and grain production measures of potassium use-efficiency in wheat (*T. aestivum* L.) grown under potassium stress. Plant and Soil. 1993, 151: 39—44
8. 鲍士旦. 稻麦钾素营养诊断和钾肥施用. 土壤, 1990, 22(4): 184—189
9. 汪自强, 董明远. 不同钾水平下春大豆品种的钾利用效率研究. 大豆科学, 1996, 15(3): 202—207
10. 张国平, 张光恒. 小麦钾素利用效率的基因型变异和相关分析. 浙江农业大学学报, 1996, 22(3): 279—283
11. Gerloff G C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus, and potassium. In Wright M J. ed. Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils Beltsville Maryland 1976. 161—173
12. Pettersson S, Jensen P. Variation among species and varieties in uptake and utilization of potassium. Plant and Soil. 1983, 72: 231—237
13. Siddiqi M Y, Glass A D M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. J. Plant Nutr. 1981, 4: 289—302
14. Mengel K. Experimental approaches of  $\text{K}^+$  efficiency in different crop species. In "Methods of K-research in plants" (IPI) Bern, Switzerland: 1989. 67—76

## STUDY ON METHOD FOR SCREENING WINTER WHEAT GENOTYPES TOLERANT TO LOW POTASSIUM LEVEL

Yang Zhen-ming Li Qiu-mei Wang Bo Bao Shi-dan Shi Rui-he

(College of Natural Resources and Environment Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

### Summary

Methods for screening winter wheat genotypes tolerant to low potassium level were studied by water culture and field experiments on a soil of low potassium fertility. It was observed that the amount of K absorbed was better than potassium utilization index when used as the screening index. The 1.0 mmol / L K concentration of the medium was found to be the suitable index at jointing stage of the plant. There was a significantly positive correlation between grain yield and the K content of shoot for 7 genotypes of winter wheat on the low-potassium soil ( $r = 0.945^{**}$ ,  $n = 21$ ). The amount of K absorbed by winter wheat was most from the non-exchangeable K of the soil that can not be extracted with 1mol / L hot  $\text{HNO}_3$ , was the largest. The amount of K absorbed by winter wheat could also be used as a field screening index.

**Key words** Winter wheat, Genotypes tolerant to low potassium, Amount of potassium absorbed, Potassium utilization index