

甘蓝型油菜苗期磷高效基因型的 TOPSIS 法筛选*

卢坤^{1,2} 钟巍然^{1,2} 张凯^{1,2} 王瑞^{1,2} 郑钦玉¹ 李加纳^{1,2**}

(1. 西南大学农学与生物科技学院 重庆 400716; 2. 重庆市油菜工程技术研究中心 重庆 400716)

摘要 本研究以 8 个经田间初步筛选的不同磷营养效率代表品系为材料, 在缺磷和施磷条件下进行营养液培养试验, 通过测定苗期与磷营养效率相关程度较高的根长、冠部和根部鲜重、单株干重、根冠比、磷含量、冠部和根部酸性磷酸酶活性 8 个指标, 引入 TOPSIS 法进行综合排序, 以筛选出真正的磷高效甘蓝型油菜品系。结果表明: 缺磷和施磷条件下, 甘蓝型油菜品系 W17(第 1)和 W39(第 8)的 TOPSIS 排名相同, 与田间试验结果一致; 缺磷处理的 W23 及施磷处理的 W11 和 W31 的 TOPSIS 排名与田间试验结果一致; 缺磷处理的 W31 和 W290 及施磷处理的其他 4 个品系的 TOPSIS 排名与田间试验结果相差 1 位; 缺磷处理的 W11、W27 和 W288 的 TOPSIS 排名与田间试验结果相差 2~4 位。可以看出, TOPSIS 法准确地筛选出了磷高效基因型甘蓝型油菜 W17 和磷低效基因型甘蓝型油菜 W39; 其他品系排序结果也与田间试验比较吻合, 表明 TOPSIS 法可增加材料筛选的准确性, 尤其适用于极端品系的筛选。

关键词 甘蓝型油菜 磷高效 TOPSIS 法 筛选

中图分类号: S565.4; Q945.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)01-0120-05

Screening phosphorus-efficient genotypes of rapeseed (*Brassica napus*) at seedling stage by TOPSIS

LU Kun^{1,2}, ZHONG Wei-Ran^{1,2}, ZHANG Kai^{1,2}, WANG Rui^{1,2}, ZHENG Qin-Yu¹, LI Jia-Na^{1,2}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Chongqing Rapeseed Technology Research Center, Chongqing 400716, China)

Abstract Based on preliminary screening on the field, eight rapeseed varieties with different phosphorus efficiencies were adopted in the study. Under phosphate (Pi) deficient and sufficient solution culture conditions, eight indices (root length, shoot fresh weight, root fresh weight, single plant dry weight, root to shoot ratio, phosphorus content, shoot APase activity and root APase activity) that are significantly related to phosphorus efficiency in rapeseed seedling were analyzed. The indices were then ranked using TOPSIS method to precisely screen out real phosphorus-efficient rapeseed genotype. The results show that under Pi deficient and sufficient conditions, rapeseed variety, W17 ranks first and W39 ranks last under TOPSIS ranking, which tallies with filed observation. The rankings for W23 under Pi deficient conditions, and W11 and W31 under Pi sufficient conditions also agree with filed observations. But the ranks for W31 and W290 under Pi deficient conditions and the other 4 varieties under Pi sufficient conditions have an order of difference. More significantly, the ranks for W11, W27 and W288 under Pi deficient conditions exhibit 2~4 orders of difference with filed observations. It then implies that TOPSIS accurately screens out phosphorus-efficient rapeseed genotype W17 and phosphorus-inefficient rapeseed genotype W39. For the other varieties, TOPSIS ranking has a certain degree of coherence with field observations. This indicates that TOPSIS can improve material screening veracity and is especially suitable for screening extreme varieties.

Key words Rapeseed, Phosphorus-efficient, TOPSIS method, Screening

(Received Nov. 9, 2007; accepted May 29, 2008)

磷是植物生长发育所需的大量营养元素之一, 对植物的生长发育、产量和品质性状有重要影响^[1]。目前, 土壤中有效磷缺乏, 多数土壤中仅有 2

$\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 成为世界作物产量的重要限制因子之一^[2]。为获得作物高产, 生产上通常采取持续增施磷肥来解决有效磷缺乏的问题^[3]。但施用的磷肥极易被土

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA10A113 和 2006AA100106)资助

** 通讯作者: 李加纳(1957~), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事油菜遗传育种研究。E-mail: ljn1950@swu.edu.cn

卢坤(1980~), 男, 博士研究生, 主要从事油菜营养生理和分子生物学研究。E-mail: drlukun@126.com

收稿日期: 2007-11-09 接受日期: 2008-05-29

壤中的金属离子所固定,使土壤中全磷含量达到有效磷的 200~500 倍^[4]。目前,我国农田磷素盈余已高达 56.55 g·m⁻²。以前,多采用改土和施肥等措施提高土壤有效磷含量;但后来研究发现,作物的磷营养性状具有基因型差异,不同作物或同一作物的不同品种,对低磷土壤的适应能力存在差异,少数作物和品种吸收和利用磷素的能力较强^[5]。因此,土壤中磷素的缺乏实际上是遗传学上的缺乏,并不完全是土壤学上的缺乏^[6,7]。利用作物自身对磷营养元素吸收和利用的遗传差异,筛选磷高效基因种质资源,培育磷高效基因型品种,提高作物对土壤中储备态磷的利用效率,对于节约磷矿资源、提高生产效率和保护农业生态环境具有重要意义。

油菜是世界上仅次于大豆的第二大油料作物,也是我国五大油料作物之首。长江流域是我国油菜的主产区,也是世界上最大的油菜生产带,其油菜种植面积和总产量均占全国的 80%以上,菜籽产量占世界菜籽总量的 25%^[8]。但该地区土壤偏酸,有效磷缺乏和储备态磷富集比较严重。因此,建立科学的评价方法,准确筛选出磷高效基因型材料,提高油菜对磷的利用效率成为解决这一问题的关键。前人研究常利用单一指标作为评价指标,容易使筛选结果出现偏差^[9]。本研究引入 TOPSIS 综合分析方法,对苗期与磷营养相关的 8 个形态和生理指标进行了综合排序分析,筛选出了磷高效和磷低效基因型甘蓝型油菜品系,证实该方法在材料筛选上的有效性和可靠性。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与指标测定

在缺磷条件下,通过比较 33 份甘蓝油菜品系全生育期的生物产量和经济产量,结合生长表现和缺磷症状初步筛选出 8 个典型材料 W11、W17、W23、W27、W31、W39、W288 和 W290,代表不同磷效率的甘蓝型油菜基因型。

营养液培养试验在人工气候室中进行,光周期和温周期(白天/夜晚)分别为 16 h/8 h 和 25 /18 。营养液采用改进的华南农业大学叶菜类配方 B,以 KH₂PO₄ 为磷源,设施磷(0.01 mol·L⁻¹)和缺磷(5 μmol·L⁻¹)2 个处理,3 次重复^[10,11]。待幼苗长至 30 d 后,分别收获幼苗冠部和根部。收获样品冠部和根部分别称重得到冠部鲜重(Fresh weight of shoot, FWS)和根部鲜重(Fresh weight of root, FWR),经 105 杀青 30 min,70 烘干至恒重,称重即得冠部干重和根部干重,以此求得根冠比(Ratio of root to shoot, RRS)和整个植株的干物重(Dry weight of sin-

gle plant, DWSP)。主根长(Primary root length, PRL)用直线交叉截获法测定;植株磷含量(P content, PC)用磷钼兰比色法测定^[12];可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定;冠部酸性磷酸酶活性(APase activity of shoot, APAS)和根部酸性磷酸酶活性(APase activity of root, APAR)采用匀浆法测定,其活性以每分钟单位鲜重水解对硝基苯磷酸二钠生成对硝基苯酚量来表示^[13]。施磷和缺磷条件下的单株产量来自大田试验结果。

1.2 TOPSIS 分析法

TOPSIS 法的基本原理是借助多目标决策分析的理想解和负理想解来排序,以评价研究对象的优劣^[14]。理想解 Z^+ 在本研究中是指设想的最优品系,是本次筛选材料最优性状的集合,而负理想解 Z^- 则完全相反。将各品系的综合评价与理想解和负理想解进行比较,若某一品系最接近理想解,同时又远离负理想解,则该品系为磷高效基因型;反之,则为磷低效基因型。其基本步骤如下:

(1) 建立决策矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times m}$, 其中 a_{ij} 为第 i 个品种中第 j 个性状指标值。

(2) 性状指标值的归一化处理,构建标准化决策矩阵 $Z = (z_{ij})_{n \times m}$, 其中:

$$z_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2}} \text{ 或 } z_{ij} = \frac{1/a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (1/a_{ij})^2}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

(3) 确定理想解 Z^+ 和负理想解 Z^- , 其中 $Z^+ = (z_{\max 1}, z_{\max 2}, \dots, z_{\max m})$, $Z^- = (z_{\min 1}, z_{\min 2}, \dots, z_{\min m})$

(4) 计算各品系与理想解 Z^+ 的距离 S_i^+ 及与负理想解 Z^- 间的距离 S_i^- :

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{\max j} - z_{ij})^2} \quad (2)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{\min j} - z_{ij})^2} \quad (3)$$

(5) 确定各品系综合评价:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (4)$$

(6) 根据 C_i 值由大到小对各品系进行排序。 C_i 值越大磷效率越高,反之则磷效率越低,且 C_i 值最大的品系为磷高效基因型, C_i 值最小的品系为磷低效基因型。

2 结果与分析

2.1 评价决策矩阵 A 的建立

为比较缺磷和施磷两种处理条件下不同磷效率

甘蓝型油菜品系的优劣, 根据幼苗根长、冠部和根部鲜重、单株干重、根冠比、磷含量、冠部和根部酸性磷酸酶活性 8 个指标, 分缺磷(表 1)和施磷(表 2)两种条件建立评价决策矩阵 A 和 A^+ , 矩阵内各性状的指标值为 3 次重复的平均值。

2.2 标准化决策矩阵 Z 及理想解 Z^+ 与负理想解 Z^-

在缺磷和施磷条件下, 根据各指标与单株产量的相关性, 将上述 8 个指标分为两类: (1)正相关指标, 即指标值与单株产量成正相关, 包括幼苗根长、冠部和根部鲜重、单株干重、根冠比和磷含量; (2)负相关指标, 包括冠部和根部酸性磷酸酶活性。为消

除指标计量单位对评价结果的影响, 对评价决策矩阵 A 和 A^+ 中的指标测定值进行归一化处理, 得到标准化决策矩阵 Z 。标准化决策矩阵 Z 的理想解 Z^+ 和负理想解 Z^- 即为矩阵各列的最大和最小值构成的最优和最劣向量, 如表 3 和表 4 所示。

2.3 TOPSIS 综合排序与单株产量排序比较

缺磷和施磷条件下, 各品系的综合评价值及其与理想解和负理想解间的距离 S_i^+ 和 S_i^- 根据 TOPSIS 法进行计算, 并根据各品系的评价值 C_i 的大小由高到低进行排序, 名次靠前者为磷效率较高的品系, 反之则为磷效率较低的品系。同时, 将综合指标

表 1 缺磷条件的评价决策矩阵 A^-

Tab.1 Evaluation decision matrix A^- under Pi deficient condition

品系 Variety	主根长 PRL (cm)	冠部鲜重 FWS (g·plant ⁻¹)	根部鲜重 FWR (g·plant ⁻¹)	单株干重 DWSP (g·plant ⁻¹)	根冠比 RRS (%)	磷含量 PC (%)	冠部酸性磷酸酶活性 APAS (mg·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	根部酸性磷酸酶活性 APAR (mg·g ⁻¹ ·min ⁻¹)
W11	21.425	0.580	0.121	0.120	20.300	0.050	149.597	454.479
W17	20.200	0.652	0.244	0.154	37.589	0.091	129.014	271.361
W23	21.650	0.472	0.165	0.111	34.217	0.046	133.541	284.925
W27	16.800	0.480	0.201	0.118	40.952	0.041	142.444	447.758
W31	18.475	0.491	0.138	0.110	28.023	0.055	150.855	379.338
W39	15.475	0.610	0.130	0.124	21.667	0.020	164.171	458.751
W288	16.300	0.430	0.118	0.101	28.846	0.050	158.458	363.283
W290	15.800	0.416	0.113	0.093	27.123	0.051	155.808	383.887

表 2 施磷条件的评价决策矩阵 A^+

Tab.2 Evaluation decision matrix A^+ under Pi sufficient condition

品系 Variety	主根长 PRL (cm)	冠部鲜重 FWS (g·plant ⁻¹)	根部鲜重 FWR (g·plant ⁻¹)	单株干重 DWSP (g·plant ⁻¹)	根冠比 RRS (%)	磷含量 PC (%)	冠部酸性磷酸酶活性 APAS (mg·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	根部酸性磷酸酶活性 APAR (mg·g ⁻¹ ·min ⁻¹)
W11	17.800	1.395	0.225	0.281	16.033	0.209	154.448	248.555
W17	23.625	1.969	0.360	0.407	17.486	0.236	119.239	255.582
W23	22.333	1.118	0.147	0.214	12.684	0.201	136.448	244.138
W27	11.300	0.674	0.084	0.157	10.211	0.167	123.011	197.396
W31	12.250	1.110	0.108	0.207	9.735	0.130	154.677	174.868
W39	11.800	0.829	0.084	0.153	10.144	0.038	112.334	195.860
W288	13.300	1.157	0.135	0.225	11.891	0.149	126.398	288.306
W290	15.600	1.034	0.132	0.201	12.235	0.108	125.410	314.761

表 3 缺磷条件标准化决策矩阵 Z 及理想解 Z^+ 与负理想解 Z^-

Tab.3 Standard decision matrix Z and ideal and anti-ideal points Z^+ and Z^- under Pi deficient condition

品系 Variety	主根长 PRL	冠部鲜重 FWS	根部鲜重 FWR	单株干重 DWSP	根冠比 RRS	磷含量 PC	冠部酸性磷酸酶活性 APAS	根部酸性磷酸酶活性 APAR
W11	0.411	0.392	0.268	0.361	0.234	0.329	0.346	0.280
W17	0.388	0.441	0.540	0.463	0.434	0.599	0.402	0.469
W23	0.416	0.319	0.365	0.334	0.395	0.303	0.388	0.446
W27	0.322	0.325	0.445	0.355	0.473	0.270	0.364	0.284
W31	0.355	0.332	0.305	0.331	0.324	0.362	0.344	0.335
W39	0.297	0.413	0.288	0.373	0.250	0.132	0.316	0.277
W288	0.313	0.291	0.261	0.304	0.333	0.329	0.327	0.350
W290	0.303	0.281	0.250	0.280	0.313	0.336	0.333	0.331
Z^+	0.416	0.441	0.540	0.463	0.473	0.599	0.402	0.469
Z^-	0.297	0.281	0.250	0.280	0.234	0.132	0.316	0.277

值排名与缺磷和施磷条件下田间栽培的单株产量排序进行比较, 进一步判断排序结果的可靠性(表 5 和表 6)。

2.4 结果分析

由表 5 和表 6 可知, 在缺磷和施磷两种处理水平下, 各甘蓝型油菜品系苗期营养液培养的 TOPSIS 综合排序结果基本吻合, 其中排名第 1 的

W17、第 7 的 W290 和第 8 的 W39 在两种处理水平下排名相同。而排名差异较大的 W11 和 W27 在两种处理水平下排名相差 3 位。在缺磷条件下, W17(第 1)、W23(第 2)和 W39(第 8)这 3 个品系的营养液培养综合排序和田间试验单株产量排序结果一致, 而排序结果差异最大的是 W27, 两种排序结果相差 4 个位次。在施磷条件下, 营养液培养综合排序和田

表 4 施磷条件标准化决策矩阵 Z 及理想解 Z⁺与负理想解 Z⁻

Tab.4 Standard decision matrix Z and ideal and anti-ideal points Z⁺ and Z⁻ under Pi sufficient condition

品系 Variety	主根长 PRL	冠部鲜重 FWS	根部鲜重 FWR	单株干重 DWSP	根冠比 RRS	磷含量 PC	冠部酸性磷酸酶活性 AAS	根部酸性磷酸酶活性 AAR
W11	0.379	0.405	0.439	0.409	0.442	0.446	0.296	0.323
W17	0.502	0.572	0.702	0.592	0.482	0.503	0.383	0.314
W23	0.475	0.325	0.287	0.311	0.350	0.429	0.335	0.329
W27	0.240	0.196	0.164	0.228	0.281	0.356	0.371	0.407
W31	0.261	0.322	0.210	0.301	0.268	0.277	0.295	0.460
W39	0.251	0.241	0.164	0.223	0.280	0.081	0.407	0.410
W288	0.283	0.336	0.263	0.327	0.328	0.318	0.361	0.279
W290	0.332	0.300	0.257	0.292	0.337	0.230	0.364	0.255
Z ⁺	0.502	0.572	0.702	0.592	0.482	0.503	0.407	0.460
Z ⁻	0.240	0.196	0.164	0.223	0.268	0.081	0.295	0.255

表 5 缺磷条件各品系综合排序与单株产量排序比较

Tab.5 Comparison of integrated rank and rank of per plant yield under Pi deficient condition

品系 Variety	营养液培养 Solution culture				田间试验 Field experiment	
	与理想解的距离 S _i ⁺ Distance to ideal point S _i ⁺	与负理想解的距离 S _i ⁻ Distance to anti-ideal point S _i ⁻	综合指标值 C _i Integrated index C _i	名次 Rank	单株产量 Per plant yield (g·plant ⁻¹)	名次 Rank
W11	0.505	0.269	0.347	5	21.840	3
W17	0.048	0.673	0.934	1	26.151	1
W23	0.396	0.347	0.468	2	22.581	2
W27	0.432	0.353	0.449	3	19.033	7
W31	0.433	0.277	0.390	4	20.918	5
W39	0.631	0.166	0.208	8	18.114	8
W288	0.498	0.235	0.320	6	21.321	4
W290	0.524	0.226	0.301	7	20.548	6

表 6 施磷条件各品系综合排序与单株产量排序比较

Tab.6 Comparison of integrated rank and rank of per plant yield under Pi sufficient condition

品系 Variety	营养液培养 Solution culture				田间试验 Field experiment	
	与理想解的距离 S _i ⁺ Distance to ideal point S _i ⁺	与负理想解的距离 S _i ⁻ Distance to anti-ideal point S _i ⁻	综合指标值 C _i Integrated index C _i	名次 Rank	单株产量 Per plant yield (g·plant ⁻¹)	名次 Rank
W11	0.426	0.584	0.578	2	26.886	2
W17	0.147	0.933	0.864	1	31.882	1
W23	0.599	0.479	0.444	3	23.831	4
W27	0.835	0.324	0.279	6	20.918	7
W31	0.746	0.324	0.303	5	23.455	5
W39	0.906	0.197	0.178	8	19.146	8
W288	0.678	0.327	0.325	4	24.888	3
W290	0.727	0.254	0.259	7	23.399	6

间试验单株产量排序结果一致的品系有 4 个: W11(第 2)、W17(第 1)、W31(第 5)和 W39(第 8), 剩下 4 个品系的两种排序结果均只相差 1 个位次。

根据上述分析, 在缺磷和施磷两种处理水平下, 营养液培养和田间试验单株产量排序结果完全一致的是排名第 1 的 W17 和排名最后 1 位的 W39, 表明 W17 是本次筛选中磷效率最高的品系, 而 W39 则为磷效率最低的品系。除上述两个品系外, W23、W31 和 W290 的排序结果也具有较高的可信程度。它们在上述 4 种排序中的位次比较固定, 相差不超过 2 个位次。其余 2 个品系 W11 和 W27 的缺磷营养液培养排序结果与另外 3 种排序结果差异较大, 存在一定的排序误差。故引入 TOPSIS 法在苗期可较准确筛选出磷高效甘蓝型油菜基因型, 尤其是对于极端材料的筛选比较准确, 但对于中间类型材料评价有一定的偏差。

3 讨论

甘蓝型油菜磷营养效率遗传改良的基础是准确地筛选出磷高效基因型的材料。由于磷营养效率本身受多种因素的影响, 是一个复杂的数量性状指标, 要准确、科学地筛选磷高效基因型油菜比较困难。因此, 简单、科学、有效的筛选方法成为筛选磷高效基因型油菜种质资源的关键。目前常用的筛选方法主要是单指标筛选, 通常根据前人研究结果, 选择与油菜磷营养效率相关程度最高的形态学和生理学参数作为筛选指标。这种筛选方法必须保证所选的每个指标与油菜磷营养效率显著相关, 对指标的选取要求很高, 而引入新的筛选分析方法可以解决这一难题。因此, 本研究选择了 8 个与磷营养效率相关程度较高的形态学和生理指标, 运用 TOPSIS 法进行综合分析, 得到的结果更加科学和准确。

TOPSIS 法本身是一种经典的多目标决策方法, 能真实地反映客观实情, 最大程度地利用原始信息并对其进行叠加和放大处理, 且通过简单的计算机编程便可以实现整个 TOPSIS 分析的自动化, 操作简便易行。本文利用 TOPSIS 法对缺磷和施磷条件下不同磷营养效率的油菜品系进行了综合分析, 结果认为, W17 为磷高效基因型油菜, 而 W39 为磷效率最低的品系, 结果与大田试验的结果完全一致, 避免了单指标判断磷效率可能造成的偏差。值得注意的是此方法在分析中间型磷效率品系时仍然存在一定的误差, 因此, TOPSIS 法可能更适于极端品系即磷效率最高和最低品系的筛选。

筛选时期对筛选结果的影响也相当大。本文通

过营养液培养试验比较研究了苗期不同磷营养效率油菜品系在缺磷和施磷条件的生长表现, 筛选出了磷高效和磷低效基因型甘蓝型油菜, 证实了苗期筛选的可能性和有效性。虽然通过苗期单指标分析不一定能准确地筛选出需要的材料, 但这一问题可以通过引入 TOPSIS 综合分析方法予以克服。当然, 要得到最可靠、最准确的筛选结果, 还需要长期的田间筛选, 但是其工作量大, 周期长, 易受环境因素的影响, 且不一定能完全反映油菜磷营养性状的遗传潜力^[15]。苗期营养液试验工作量较小, 周期短, 不受气候条件影响, 除了可以用于验证大田筛选结果的准确性外, 还可用于批量、连续和自动化的筛选, 既是大田试验有力的补充, 也是综合分析筛选结果时不可或缺的部分。

参考文献

- [1] 廖红, 严小龙. 高级植物营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 206-215
- [2] López-Bucio J., de la Vega O. M., Guevara-García A., *et al.* Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate[J]. *Nature Biotechnology*, 2000, 18: 450-453
- [3] Christiansen M. N., Lewis C. F. Breeding Plants for Less Favorable Environments[M]. New York: John Wiley & Sons, 1982: 137-141
- [4] 寇长林, 王秋杰, 任丽轩, 等. 小麦和花生利用磷形态差异的研究[J]. *土壤通报*, 1999, 30(4): 181-184
- [5] 张福锁. 植物营养生态生理学和遗传学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 3-58
- [6] Raghothama K. G. Phosphate acquisition[J]. *Annual Review of Plant Physiology & Plant Molecular Biology*, 1999, 50: 665-693
- [7] 严小龙, 张福锁. 植物营养遗传学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 7-12
- [8] Yang G. Z., Zhang Y., Wang R. Q., *et al.* Study on high-yielding cultivation model for *Brassica napus* L. [C]//Proceedings of the 12th International Rapeseed Congress. Wuhan, China, 2007: 18-21
- [9] 罗绍春, 董秋红, 张祥喜, 等. 耐低磷油菜品种的初步筛选[J]. *江西农业学报*, 1999, 11(4): 69-72
- [10] 刘士哲. 现代实用无土栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 124
- [11] 段海燕. 甘蓝型油菜磷高效的营养生理及遗传行为的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2003
- [12] 秦新福, 秦欣丽. 用分光光度法测定淀粉中磷的含量[J]. *山西食品工业*, 1998 (1): 38-41
- [13] 姚树江, 李振声, 李继云, 等. 低磷营养胁迫对小麦-长穗偃麦草附加系酸性磷酸酶同工酶的影响[J]. *中国农业科学*, 1998, 31(4): 26-31
- [14] Hwang C. L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State-of-the-Art Survey[M]. New York: Springer-Verlag, 1981
- [15] 廖星, 李志玉, 王江薇, 等. 甘蓝型油菜耐缺磷种质筛选指标的研究[J]. *中国农业科学*, 1999, 32(增刊): 107-111