

晚抽薹普通白菜优良株系农艺性状的综合评选

盛露 谭舒婷 宋世霞 刘丹 艾辛^{通信作者}

湖南农业大学园艺学院，湖南长沙，410128；

摘要：将本课题组选育出的36个晚抽薹特性稳定的普通白菜品种作为试验材料，并在正常收获期调查其田间生长情况。将记录的数据进行差异性、相关性、主成分和聚类分析综合评价发现E-79株系在田间表现最好，单株产量最高，平均单颗鲜重可以达到450g。本研究选取指标只包含了农艺性状，能够有效分析出产量较高的优良株系，但是产量性状不单单和优良株系有关系，还和种植时间、当地气候、土壤条件、水肥管理、抗逆性有一定的关联。所以后续工作还需结合品质性状、营养价值含量等相关性状进行综合评价分析。

关键词：普通白菜；农艺学性状；聚类分析；主成分分析

DOI:10.69979/3041-0673.25.05.099

在普通白菜耐抽薹品种选育工作中，筛选优良株系最常用的方法是将耐抽薹性状、产量性状以及相关性状进行分析评价，主要应用的分析方法有相关分析、变异性分析、聚类分析、主成分分析、通径分析和灰色关联度分析等^[1-2]。近年来，已有许多关于分析评价白菜类蔬菜田间鉴定农艺性状的研究，例如韩睿^[3]等人研究了47份大白菜在青海地区种植的适应性及多样性分析。范伟强^[4]等人对在天津地区种植的33个大白菜品种表型多样性分析。胡海娇等人^[5]为了分析了不结球白菜种质资源的遗传多样性，一共收集了48份材料在浙江省进行

田间表型鉴定。本试验为了更好地比较与评价本课题组选育出来的晚抽薹普通白菜资源，以不同株系的36个株系作为试验材料，调查其田间生长情况，并对主要农艺性状进行差异性、相关性、主成分和聚类分析并进行综合评价。

1 材料与方法

1.1 供试材料

经初选后的多代繁育的1102、1604、1002、0117晚抽薹原始株系中的36个优良株系，由湖南农业大学园艺学院蔬菜课题组提供（表1）。

表1 试验材料名称及来源地

Table 1 Names of test materials and places of origin

株系编号	材料	类型	来源地	株系编号	材料	类型	来源地
E-01	1102 株系	自交系	湖南	E-63	1121 株系	自交系	湖南
E-05	1103 株系	自交系	湖南	E-70	1122 株系	自交系	湖南
E-12	1104 株系	自交系	湖南	E-76	1123 株系	自交系	湖南
E-20	1105 株系	自交系	湖南	E-78	1124 株系	自交系	湖南
E-24	1106 株系	自交系	湖南	E-83	1125 株系	自交系	湖南
E-25	1107 株系	自交系	湖南	E-96	1126 株系	自交系	湖南
E-27	1108 株系	自交系	湖南	E-118	1127 株系	自交系	湖南
E-32	1109 株系	自交系	湖南	E-43	1604 株系	自交系	湖南
E-34	1110 株系	自交系	湖南	E-44	1605 株系	自交系	湖南
E-37	1111 株系	自交系	湖南	E-72	1606 株系	自交系	湖南
E-39	1112 株系	自交系	湖南	E-74	1607 株系	自交系	湖南
E-45	1113 株系	自交系	湖南	E-79	1608 株系	自交系	湖南
E-46	1114 株系	自交系	湖南	E-90	1609 株系	自交系	湖南
E-47	1115 株系	自交系	湖南	E-19	0117 株系	自交系	湖南
E-48	1116 株系	自交系	湖南	E-67	0118 株系	自交系	湖南
E-50	1117 株系	自交系	湖南	E-120	1002 株系	自交系	湖南

株系编号	材料	类型	来源地	株系编号	材料	类型	来源地
E-51	1118 株系	自交系	湖南	E-61	1003 株系	自交系	湖南
E-54	1119 株系	自交系	湖南	A-17	五月慢	常规种	湖南
E-59	1120 株系	自交系	湖南	A-18	湘潭矮脚白	地方品种	湖南

1.2 试验地点

试验地点位于湖南省长沙市诺贝尔摇篮幼稚园。

1.3 试验设计

试验于 2022 年 11 月 30 日在湖南农业大学金山温室进行催芽育苗处理，当植株长到 3~4 片真叶时移栽到整理好的田地里，种植密度为 25cm×30cm；随机区组排

列，每小区 15 株，3 次重复，正常水肥管理。并当商品达到采收期时开始调查各材料的农艺性状，每份种质随机选取 9 株测量表 2 中各性状。

1.4 测量方法

农艺学性状测量参考李锡香(2008)等人编著的《不结球白菜种质资源描述规范和数据标准》，记录时期为正常收获期。

表 2 不结球白菜定量性状鉴定项目和测定标准

Table 2 Quantitative Trait Identification Items and Determination Criteria for Non-ball Cabbage

观测性状	记载标准
(A1) 鲜重/g	去除其老叶和根后的单株重量。
(A2) 叶片重量/g	去除其老叶后叶长 5cm 以上的莲座叶的单株重量。
(A3) 莲座重/g	单株植株去除莲座叶后的重量。
(A4) 株高/cm	植株最高处距地面的垂直高度。
(A5) 株幅/cm	植株叶开展至最大水平距离。
(A6) 菜头粗/cm	植株基部最粗处的横径。
(A7) 腰粗/cm	植株束腰处的横径。
(A8) 莲座叶数	植株展开的叶长 5cm 以上的莲座叶片数。单位为片。
(A9) 叶长/cm	植株最大莲座叶叶柄基部至叶片先端的长度。
(A10) 叶宽/cm	植株最大莲座叶叶片最宽处的宽度。
(A11) 叶柄长/cm	最大叶片基部至叶柄基部的长度。
(A12) 叶柄宽/cm	最大叶片柄最宽处的宽度。
(A13) 叶片厚度/mm	植株最大莲座叶叶片中部横切面的厚度。
(A14) 叶柄厚度/mm	最大叶片柄最厚处的厚度。

1.5 数据分析

应用 SPSS 中的主成分分析程序，从样本相关矩阵出发，对原始数据作标准化处理后计算各性状的特征值和方差贡献率，以性状特征值大于 1 为依据，确定主成分的个数，再根据各性状的特征向量，列出主成分的函数表达式，然后计算各优良单株的综合得分，选择出优良单株。

2 结果分析

2.1 晚抽薹优良株系普通白菜农艺性状的多样性分析

通过表 3 可知，35 个株系的 14 个农艺性状指标的变异系数跨度都比较大，说明晚抽薹普通白菜农艺性状的差异性比较大，变异程度大，可以进行人工选择的潜力也大。

表 3 14 个农艺学性状的多样性分析

Table 3 Analysis of variability for 14 agronomic traits

农艺学数量性状	平均值	标准差	最小值	最大值	变异系数/%
鲜重/g	190.95	76.45	85	545	40.04
叶片重量/g	171.04	70.84	68.5	495.66	41.41
莲座重/g	19.91	9.94	4.72	50.03	49.95

农艺学数量性状	平均值	标准差	最小值	最大值	变异系数/%
株高/cm	17.65	2.37	11.7	26.4	13.45
株幅/cm	23.02	3.81	12.4	33.4	16.57
菜头粗/cm	5.13	0.88	2.02	7.58	17.17
腰粗/cm	5.56	1.08	3.35	8.85	19.46
莲座叶数	21.65	3.97	13	34	18.32
叶长/cm	16.52	2.31	11.3	25.3	13.96
叶宽/c.	10.08	2.17	5.7	17.1	21.54
叶柄长/cm	5.34	1.13	2.7	9.2	21.2
叶柄宽/cm	3.4	0.76	2.1	5.7	22.26
叶片厚度/mm	0.46	0.17	0.21	1.01	36.19
叶柄厚度/mm	5.24	1.1	2.65	8.51	20.95

2.2 晚抽薹优良株系普通白菜农艺性状的相关分析

选育晚抽薹优良株系需兼顾耐抽薹性与产量。表 4 显示，14 个农艺性状间都存在一定的显著相关性。

表 4 晚抽薹普通白菜 14 个农艺学性状相关分析

Table 4 Correlation analysis of 14 agronomic traits of late drawing common cabbage

项目	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
A1	1													
A2	.996**	1												
A3	.738**	.672**	1											
A4	.838**	.831**	.638**	1										
A5	.755**	.734**	.681**	.880**	1									
A6	.769**	.744**	.725**	.792**	.816**	1								
A7	.772**	.746**	.735**	.735**	.797**	.889**	1							
A8	.537**	.495**	.686**	.381*	0.295	.447**	.348*	1						
A9	.781**	.782**	.543**	.824**	.811**	.768**	.777**	0.221	1					
A10	.793**	.792**	.565**	.805**	.837**	.754**	.709**	0.299	.859**	1				
A11	0.283	0.262	.358*	.366*	.385*	0.277	.390*	0.188	.404*	0.174	1			
A12	.792**	.784**	.613**	.703**	.689**	.692**	.642**	0.278	.694**	.846**	0.011	1		
A13	.363*	0.325	.530**	0.256	0.287	0.319	.463**	0.048	0.295	0.213	.461**	.330*	1	
A14	.594**	.579**	.526**	.724**	.684**	.765**	.781**	0.155	.724**	.678**	0.203	.672**	.401*	1

注：*表示显著相关($P<0.05$)，**表示极显著相关($P<0.01$)。

2.3 晚抽薹优良株系主要农艺学性状的主成分分析

由表 4 可知，由于材料间的主要农艺性状之间具有显著相关，可将 14 个农艺性状转化为 8 个主成分，提取出 3 个特征值大于 1 的主成分，3 个主成分的累积方差贡献率为 82.084 %，因此可将这 3 个主成分代表 14 个农艺性状指标综合评价晚抽薹普通白菜优良株系并得到表 5。其中第 1 主成分的特征值为 8.949，贡献率为 63.921 %；第 2 主成分的特征值为 1.354，贡献率为

9.673 %；第 3 主成分的特征值为 1.189，贡献率为 8.49 %。由初始因子载荷矩阵及各主成分的特征值可计算得出晚抽薹普通白菜农艺性品质相关阵的特征向量，将得到的特征向量与标准化后的数据相乘，即可得到 3 个主成分函数表达式 (1) (2) (3)，ZX 表示标准化后的数据：

$$\begin{aligned}
 F1 &= 0.308ZX1 + 0.303ZX2 + 0.302ZX3 + 0.301 \\
 ZX4 &+ 0.300ZX5 + 0.299ZX6 + 0.295ZX7 + 0.294ZX8 \\
 &+ 0.275ZX9 + 0.268ZX10 + 0.263ZX11 + 0.127ZX12 \\
 &+ 0.146ZX13 + 0.156 ZX14 \quad (1)
 \end{aligned}$$

$F2 = -0.049ZX1 - 0.085ZX2 - 0.033ZX3 - 0.090ZX4 + 0.104ZX5 - 0.048ZX6 - 0.083ZX7 - 0.266ZX8 - 0.268ZX9 + 0.265ZX10 - 0.071ZX11 + 0.640ZX12 + 0.561ZX13 + 0.140ZX14$ (2)

$F3 = 0.180ZX1 - 0.033ZX2 + 0.012ZX3 + 0.154ZX4 - 0.101ZX5 - 0.113ZX6 - 0.217ZX7 - 0.085ZX8 - 0.031ZX9 + 0.316ZX10 - 0.310ZX11 - 0.145ZX12 - 0.256ZX13 + 0.763ZX14$ (3)

由表6可知，在第1主成F1中，X1鲜重、X2株高、

表5 晚抽薹普通白菜农艺学性状主成分的方差贡献率

Table 5 Variance contribution of principal components of agronomic traits of late drawing common cabbage

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	8.949	63.921	63.921
2	1.354	9.673	73.594
3	1.189	8.490	82.084

表6 晚抽薹普通白菜农艺学性状相关阵的特征向量

Table 6 Eigenvectors of correlation arrays for agronomic traits of late-drawing common cabbage

农艺性状	主成分1	主成分2	主成分3
X1 鲜重	0.308	-0.049	0.180
X2 株高	0.303	-0.085	-0.033
X3 菜头粗	0.302	-0.033	0.012
X4 叶片重量	0.301	-0.090	0.154
X5 腰粗	0.300	0.104	-0.101
X6 株幅	0.299	-0.048	-0.113
X7 叶长	0.295	-0.083	-0.217
X8 叶宽	0.294	-0.266	-0.085
X9 叶柄宽	0.275	-0.268	-0.031
X10 莲座重	0.268	0.265	0.316
X11 叶柄厚度	0.263	-0.071	-0.310
X12 叶柄长	0.127	0.640	-0.145
X13 叶片厚度	0.146	0.561	-0.256
X14 莲座叶数	0.156	0.140	0.763

以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重，即可计算得到主成分综合得分模型： $F = 0.779F1 + 0.118F2 + 0.134F3$ 。其中F1、F2、F3为各晚抽薹材料优良株主成分得分值。由表7可知，在36个晚抽薹优良株系中农艺性状综合得分排在前5的分别是E-79、E-118、E-120、E-01、E-90。

表7 晚抽薹优良单株的主成分综合得分及排名

Table 7 Composite principal component scores and rankings of good late-sprouting single plants

编号	主成分			综合得分 F	排名
	F1	F2	F3		
E-79	9.33	0.15	1.15	7.4	1
E-118	4.45	0.18	1.81	3.67	2
E-120	4.64	-1.11	-0.15	3.47	3

编号	主成分			综合得分 F	排名
	F1	F2	F3		
E-01	3.79	3.54	-1.36	3.23	4
E-90	3.23	-0.97	1.1	2.52	5
E-61	3.05	-1.13	0.29	2.27	6
E-37	2.04	0.93	-1.73	1.52	7
E-74	2.01	-0.3	-0.32	1.5	8
E-24	1.48	1.69	1.36	1.49	9
E-67	1.87	-0.01	-1.25	1.32	10
E-54	1.87	-1.77	-0.49	1.2	11
E-78	1.51	-1.7	0.59	1.04	12
E-43	1.35	-0.11	-0.75	0.96	13
E-96	0.76	0.98	-0.27	0.68	14
E-19	1.41	-2.05	-2.79	0.57	15
E-05	0.55	-0.93	-0.21	0.3	16
E-59	-0.47	2.49	-0.89	-0.16	17
E-83	-0.45	1.68	-0.37	-0.19	18
E-46	-0.61	0.7	1.27	-0.26	19
E-34	-0.36	-0.94	-0.01	-0.39	20
E-76	-1.06	0.58	1.84	-0.57	21
E-32	-0.77	-0.57	0.45	-0.62	22
E-12	-1.3	-0.53	-0.33	-1.11	23
E-51	-1.61	0.24	-0.79	-1.3	24
E-27	-2.08	0.01	1.18	-1.49	25
E-70	-2.37	0.04	1.03	-1.73	26
E-63	-2.51	0.67	0.85	-1.79	27
E-50	-2.23	-0.96	-0.06	-1.85	28
E-44	-2.38	0.79	-2	-1.97	29
E-20	-2.91	-0.66	0.14	-2.33	30
E-72	-3	-0.61	-0.28	-2.44	31
E-47	-3.24	0.18	-0.78	-2.58	32
E-45	-3.44	-0.52	0.49	-2.69	33
E-25	-3.87	0.05	-0.15	-3.03	34
E-39	-4.51	0.7	1.76	-3.25	35
E-48	-4.16	-0.71	-0.36	-3.36	36

2.4 晚抽薹优良株系主要农艺学性状的聚类分析

将36个晚抽薹优良株系的14个农艺性状作系统聚类,结果见图1。在欧氏距离为6时可以将36个晚抽薹优良株系划分为4大类群,第I类群只有一个株系E-79,第II类群包括3个晚抽薹优良株系分别为E-90、E

-118、E-120,第III类群包括8个晚抽薹优良株系分别为E-01、E-37、E-51、E-54、E-61、E-74、E-78、E-96,其他的24个晚抽薹株系属于第IV类群。表现为第I类群>第II类群>第III类群>第IV类群,其中第I类群的材料相对于其他3个类群株系产量更大,经济效益更好。

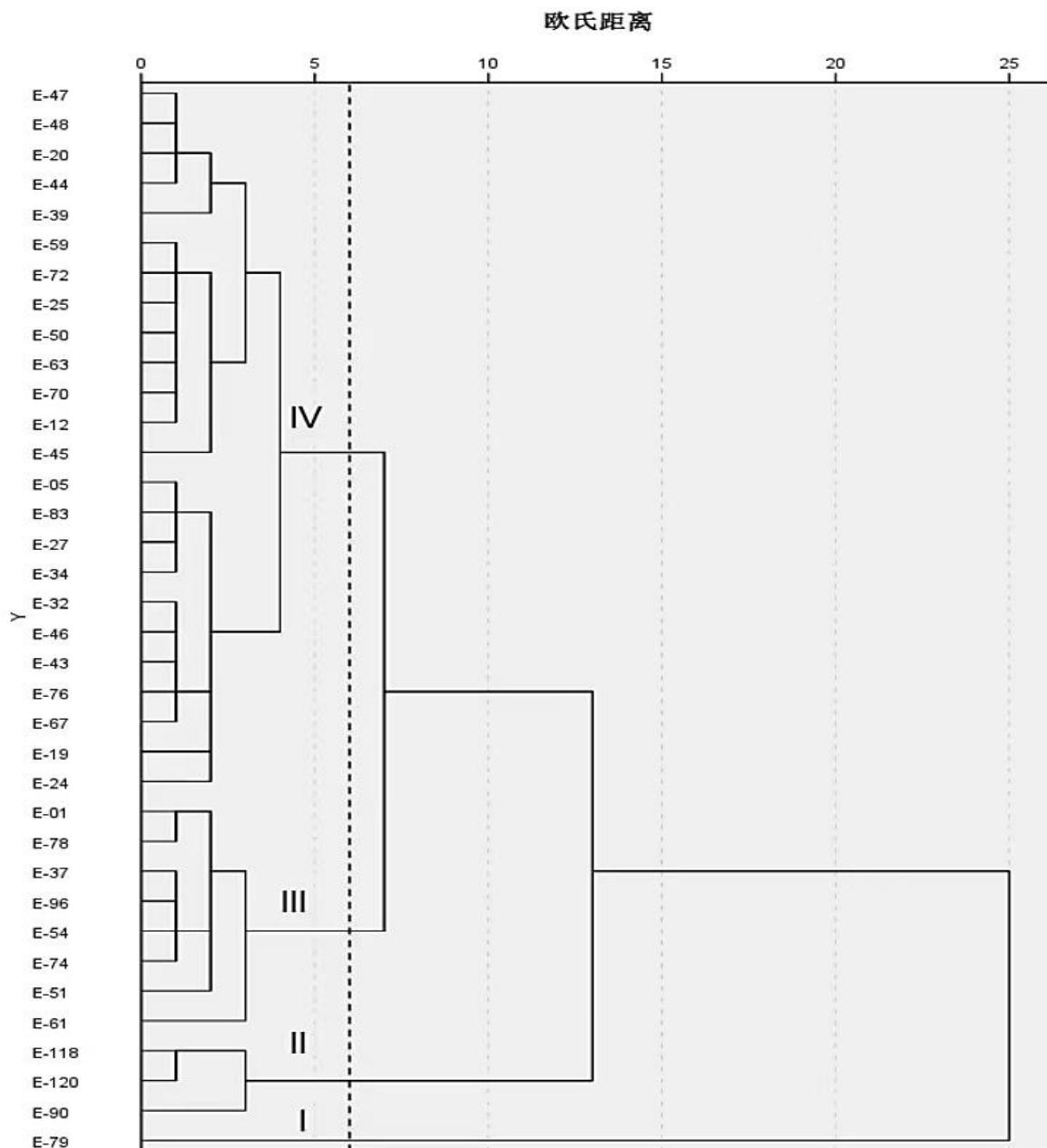


图1 不同品种的农艺学性状聚类分析

Figure 1 Cluster analysis of agronomic traits of different varieties

3 讨论与总结

目前在优良特性的选育过程中可采用的方法有许多种，包括相关分析、变异性分析、聚类分析、主成分分析、通径分析和灰色关联度分析等，并在白菜^[6]、辣椒^[7]、胡麻^[8]、谷子^[9]、玉米^[10]等多种作物上广泛应用。通过对农艺学数量性状的测量结合差异性分析可以比较变异数的大小来确定某一性状的变异程度^[11]。本课题组的优良晚抽薹普通白菜经过多代繁育在耐抽薹特性方面已经基本稳定，而在农艺性状方面的评价较少。

通过变异性分析发现参试晚抽薹普通白菜性状遗传差异较大，变异数为13.45%~49.95%，可以看出选育出的优良晚抽薹普通白菜资源种群内个体表现差异较大。相关性分析显示，14个性状间均为正相关，其中鲜重与叶片重量、莲座重等11个性状呈极显著正相关。为选育耐抽薹、产量高的优良株系。而通过主成分分析可知，鲜重、叶柄长、莲座叶数这3个主成分，能代表晚抽薹普通白菜农艺性状82.08%的信息。因此可进行进一步的主成分分析，得到排名前10的优良株系分别

是 E-79、E-118、E-120、E-01、E-90、E-61、E-37、E-74、E-24、E-67，这 10 个株系的单株产量较高。

为保证数据的严谨性，同时还采用聚类分析法，将 14 个农艺性状进行聚类分析，结果表明第 I 类群仅有株系 E-79；第 II 类群含 E-90、E-118、E-120 这 3 个晚抽薹优良株系；第 III 类群有 E-01 等 8 个晚抽薹优良株系，聚类结果与综合评分基本相符。

因此结合以上二种分析方法可知，E-79 株系、E-18 株系、E-120 株系、E-01 株系、E-90 株系材料单株产量较高，农艺学性状表现较好。本研究选取指标只包含了农艺性状，能够有效分析出产量较高的优良株系，但是产量性状不单单和优良株系的农艺性状有关系，还和种植时间、当地气候、土壤条件、水肥管理、抗逆性有一定的关联。所以后续工作还需结合品质性状、营养价值含量等相关性状进行综合评价分析。

参考文献

- [1] 肖艳, 张倩倩, 原让花等. 基于主成分分析和聚类分析的大白菜耐抽薹种质资源评价 [J]. 中国瓜菜, 2023, 36(05): 37-43..
- [2] 李杨, 孙立朋. 25 份白菜型油菜种质资源主要农艺性状分析与评价 [J]. 西藏农业科技, 2023, 45(01): 37-40.
- [3] 韩睿, 赵孟良, 孙世英等. 47 份大白菜品种的遗传多样性研究 [J]. 西北农业学报, 2021, 30(05): 707-716.
- [4] 范伟强, 尹婧, 王超楠. 33 个大白菜品种表型遗传多样性评价 [J]. 中国瓜菜, 2021, 34(10): 32-38.
- [5] 胡海娇, 汪精磊, 胡天华等. 浙江省不结球白菜种质资源表型多样性分析 [J]. 分子植物育种, 2020, 18(18): 6187-6196.
- [6] 赖佳, 黄玲, 韦树谷, 等. 不结球白菜单株产量与主要农艺性状的灰色关联度分析 [J]. 中国农学通报, 2019, 35(32): 36-41.
- [7] 李晴, 韩玉珠, 张广臣. 辣椒品种主要农艺性状的相关性和主成分分析 [J]. 长江蔬菜, 2010(6): 29-33.
- [8] 杨治伟, 钱爱萍, 张炜. 不同胡麻品种(系)农艺性状与产量性状的差异分析 [J]. 农业科技通讯, 2021(11): 187-191.
- [9] 孟庆立, 关周博, 冯佰利. 谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析 [J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2667-2675.
- [10] 殷冬梅, 李拴柱, 崔党群. 花生主要农艺性状的相关性及聚类分析 [J]. 中国油料学报, 2010, 32(2): 212-221.
- [11] GEISERDM, AOKI T, BACON C W, et al. One fungus, one name: defining the genus *Fusarium* in a scientifically robust way that preserves longstanding use [J]. Phytopathology, 2013, 103(5): 400-408.