

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.202423.0820

马铃薯褐化种质资源表型性状综合评价

王海艳, 田国奎, 王立春, 李凤云, 潘 阳, 庞 泽, 丁凯鑫, 郝智勇

(农业农村部马铃薯生物学与遗传育种重点实验室·黑龙江省马铃薯种质资源与遗传改良工程技术中心·
黑龙江省农业科学院克山分院 黑龙江齐齐哈尔 161005)

摘要:通过遗传多样性分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析对马铃薯褐化群体中 60 份种质资源表型性状进行综合评价,为选育抗褐变马铃薯新品种及生产利用提供理论依据。结果表明,14 个描述性指标的遗传多样性指数在 0.085~1.157,茎色的遗传多样性指数最大,8 个数值型指标变异系数在 9.46%~69.22%,褐化指数、褐化强度变化值变异系数较大。相关性分析表明,单株产量与生育期、单株块茎数呈极显著正相关,与主茎数呈显著正相关,褐化指数与褐化强度、褐化强度变化值呈极显著正相关,与煮后变褐值呈极显著负相关。采用主成分分析确定了 8 个主成分因子,累积贡献率为 69.785%。聚类分析将 60 份种质资源划分为 5 大类,其中第 I、第 II 类属于高抗、抗褐变种质,可以用于抗褐变材料选育的亲本材料;第 IV、第 V 类属于易褐变、严重褐变种质,可以作为褐变机制的研究材料。研究结果可为马铃薯抗褐变新品种选育和遗传改良提供一定参考。

关键词:马铃薯;褐化种质;表型性状;综合评价

中图分类号:S532

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2024)09-066-08

Comprehensive evaluation of phenotypic traits of potato browning germplasm resources

WANG Haiyan, TIAN Guokui, WANG Lichun, LI Fengyun, PAN Yang, PANG Ze, DING Kaixin, HAO Zhiyong

(Potato Biology and Genetics Key Laboratory of Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China/ Heilongjiang Potato Germplasm Resources and Genetic Improvement Engineering Technology Center/Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161005, Heilongjiang, China)

Abstract: A comprehensive evaluation of phenotypic traits of 60 potato germplasm resources in browning population was conducted through genetic diversity analysis, correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis, providing theoretical basis for the breeding and production utilization of new potato varieties resistant to browning. The results showed that the genetic diversity index of 14 descriptive indicators ranged from 0.085 to 1.157, with stem color having the highest genetic diversity index. The coefficient of variation of the 8 numerical indicators ranged from 9.46% to 69.22%, and the variation coefficients of browning index and browning intensity were relatively large. Correlation analysis showed that the mass of individual tubers was highly significantly positively correlated with the growth period and number of tubers per plant, and significantly positively correlated with the number of main stems. The browning index was highly significantly positively correlated with the browning intensity and the change in browning intensity at 4 °C for 24 hours, and significantly negatively correlated with the browning value after cooking. Principal component analysis identified 8 principal component factors with a cumulative contribution rate of 69.785%. Cluster analysis divided the 60 germplasm resources into 5 major categories. The I and II categories belonged to high resistance and browning resistant germplasm, which could be used as parental materials for breeding anti browning materials. Class IV and V belonged to germplasm that was prone to browning and severely browning, and could be used as research materials for browning mechanisms. The research results of this experiment could provide some reference for the breeding and genetic improve-

收稿日期:2023-12-31;修回日期:2024-02-20

基金项目:黑龙江省农业科学院应用研发项目(2020YYF004);国家马铃薯产业技术体系齐齐哈尔综合试验站(CARS-09-ES37);黑龙江省“揭榜挂帅”科技攻关项目(2022ZXJ06B02-02a, 2022ZXJ06B01-03);黑龙江省农业科技创新跨越工程项目(CX23GG02);黑龙江省农业科技创新跨越工程农业科技基础创新优秀项目(CX22YQ30)

作者简介:王海艳,女,助理研究员,研究方向为马铃薯遗传育种及加工马铃薯品质调控。E-mail:shuangyu_1986@126.com

通信作者:王立春,男,研究员,研究方向为马铃薯遗传育种。E-mail:potato2008@126.com

ment of new potato varieties with resistance to browning.

Key words: Potato; Browning germplasm; Phenotypic Traits; Comprehensive evaluation

马铃薯作为我国第四大粮食作物,营养非常全面^[1],而且产量高、适应性强,在保障人类营养健康方面起到了重要作用^[2]。马铃薯在加工及贮藏过程中极易发生褐变现象,褐变包括酶促褐变和非酶促褐变,褐变现象的发生使得商品的营养价值降低、风味改变、外观品质下降,褐变产生的黑色物质人体难以消化^[3]。马铃薯种质资源丰富,可以从中筛选出抗褐变的马铃薯资源^[4]。目前,解决马铃薯褐变问题最主要的途径是通过遗传育种选育新品种。马铃薯遗传育种是在双亲优良性状的基础上产生变异群体,通过对群体进行资源筛选获得优良马铃薯品系的过程^[5]。一般要求双亲的性状是互补的。

利用表型数据进行遗传多样性分析可以使马铃薯种质资源得到更高效利用^[6],此方法在多种作物上都有应用,如大豆^[7]、玉米^[8]、小麦^[9]、高粱^[10]等。在外界环境压力选择的过程中,植物表型性状会发生不可逆变化,所产生的新基因型是稳定遗传的,因此利用这种表型的变异进行资源筛选是可靠的,而且表型性状直观、容易获取、数据可靠^[11-12]。马铃薯品种改良和育种工作需要性状表现好、能稳定遗传的种质资源作为物质基础。近年来,利用表型性状对马铃薯种质资源多样性的研究报道较多,但是对于褐化种质资源的遗传多样性研究未见报道。徐晓等^[13]对冀西北地区的195份马铃薯种质资源进行了遗传多样性分析和综合评价,将其划分为4个类群,从中筛选出9份优异种质,可以作为鲜食马铃薯杂交育种亲本或者中间材料。韩志刚等^[14]对30份马铃薯种质资源进行遗传多样性评价,结果表明,产量、还原糖含量、主茎数的变异程度较大,地上部植株的性状决定着块茎产量,30份马铃薯种质资源可以划分为三大类,变异丰富。叶玉珍^[15]对24份南方冬种区马铃薯种质资源表型性状进行分析,通过聚类将其划分为4类,分别为高产高株型、中产中株型、低产中株型、低产低株型,其中2份高产高株型材料可以作为南方冬种区马铃薯新品种选育的亲本材料。以抗褐变资源CIP395109.29为母本,以易褐变材料克新23号为父本配置杂交组合,对后代60份种质资源进行了表型性状的统计和遗传多样性分析,探讨了马铃薯表型性状遗传关系,筛选出表现优异的资源,以为抗褐化马铃薯品种

的选育和改良提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验材料为黑龙江省农业科学院克山分院自育品种(系),母本为CIP395109.29,父本为克新23号,F₁代材料共计60份,以1~60进行编号统计。

1.2 试验设计

2019年配置杂交组合,2020进行实生苗培育选择试验,从F₁代中选择具有代表性的材料60份。2021年进行试验材料的繁种工作,以满足试验需求的种子数量,2022—2023年5月将其分别种植于克山分院试验地。采用随机区组排列,3次重复,单行种植,每行5株,株距20 cm,行距0.8 m,田间管理与常规栽培方法相同。

1.3 各指标的测定方法

1.3.1 描述性指标 依据《马铃薯种质资源描述规范和数据标准》^[16],采用直接观察法记录马铃薯生长期及收获后的各描述性指标,各指标性状表达标准和赋值标准^[11]见表1。

1.3.2 数值型指标 生育期:从出苗到成熟期的天数,单位为d。

单株结薯数:收获后,每个植株上形成的所有块茎数,单位为个。

单株产量:收获后,每个植株上形成的所有块茎的质量,单位为kg。

主茎数:现蕾期,从种薯芽眼中直接长出地面形成的茎的数量,单位为个。

褐化指数、褐化强度、煮后变褐值测定方法参照王海艳等^[17]的报道,文中褐化指数是指切片7 h的褐化指数,褐化强度是指4℃放置24 h后的褐化强度,煮后变褐值是指蒸煮过的块茎在自然条件下放置24 h后的评价结果。材料的抗褐化能力越强,其褐化指数越小;4℃24 h褐化强度以及褐化强度的变化值越小,煮后变褐值越大。

1.4 数据处理

取2022和2023年数据的平均值,采用Excel 2016对群体材料的表型数据进行统计分析。采用Shannon-Weaver's多样性指数(H')来评价遗传多样性。

Shannon-Weaver's多样性指数(H'):

表1 马铃薯种质资源描述性指标赋值标准
Table 1 Assignment standards for descriptive indicators of potato germplasm resources

描述性指标 Descriptive indicator	特征 Characteristic
株型 Plant type	1. 直立;2. 半直立;3. 开展 1. Erect; 2. Semi-erect; 3. Spreading
分枝多少 Branching number	1. 无;2. 少;3. 多 1. Nil; 2. Few; 3. Many
茎翼形状 Stem wing shape	1. 直形;2. 微波形;3. 波形 1. Straight; 2. Slightly waved; 3. Waved
茎色 Stem color	1. 绿色;2. 褐色;3. 紫色;4. 深紫色;5. 局部有色 1. Green; 2. Brown; 3. Purple; 4. Dark purple; 5. Partial-colour
叶色 Leaf color	1. 浅绿色;2. 绿色;3. 深绿色 1. Light green; 2. Green; 3. Dark green
叶缘 Leaf margin	1. 波状;2. 微波状;3. 平展 1. Waved; 2. Slightly waved; 3. Smooth
小叶着生密集度 Leaflet type	1. 疏;2. 中;3. 密 1. Scattered; 2. Medium; 3. Closed
顶小叶宽度 Top leaflet width	1. 窄;2. 中;3. 宽 1. Narrow; 2. Medium; 3. Wide
顶小叶形状 Top leaflet shape	1. 仄形;2. 宽形;3. 椭圆形;4. 卵形;5. 倒卵形;6. 常春藤式 1. Narrow; 2. Wide; 3. Oval; 4. Ovate; 5. Obovate; 6. Chinese ivy
花冠颜色 Corolla color	1. 白;2. 浅红;3. 红;4. 红紫;5. 紫;6. 蓝紫;7. 蓝;8. 黄 1. White; 2. Reddish; 3. Red; 4. Red purple; 5. Purple; 6. Blue purple; 7. Blue; 8. Yellow
薯形 Potato shape	1. 扁圆;2. 圆形;3. 卵形;4. 倒卵;5. 扁椭圆;6. 椭圆 1. Flat round; 2. Round; 3. Ovate; 4. Obovate; 5. Flat elliptic; 6. Elliptic
皮色 Skin color	1. 乳白;2. 浅黄;3. 黄;4. 褐;5. 浅红;6. 红;7. 深红;8. 紫;9. 深紫 1. Milky white; 2. Light yellow; 3. Yellow; 4. Brown; 5. Reddish; 6. Red; 7. Dark Red; 8. Purple; 9. Dark purple
肉色 Flesh color	1. 白;2. 乳白;3. 浅黄;4. 黄;5. 深黄;6. 橙;7. 红;8. 浅紫;9. 紫 1. White; 2. Milky white; 3. Light yellow; 4. Yellow; 5. Dark yellow; 6. Orange; 7. Red; 8. Light purple; 9. Purple
芽眼深浅 Depth of bud eye	1. 浅;2. 中;3. 深 1. Shallow; 2. Medium; 3. Deep

$$H' = - \sum P_i \times \ln P_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

式中, P_i 为分析某性状第 i 级的品种个数占总品种数的百分比。

采用 SPSS 26.0 软件对数据进行整理, 计算各性状的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数, 并进行主成分分析和聚类分析(欧氏距离、离差平方和法)。

2 结果与分析

2.1 马铃薯褐化后代群体材料描述性指标遗传多样性分析

从表 2 中可知, 60 份褐化后代材料大多数具有紫色花冠、半直立株型、较少的分枝、直形茎翼、深绿叶色、平展叶缘、稀疏小叶着生密集度、中等宽度顶小叶、圆形块茎、红色薯皮、黄色薯肉、浅芽眼等形态特征。14 个描述性指标的遗传多样性指

数在 0.085~1.157, 茎色的遗传多样性指数最大, 为 1.157; 花冠颜色、株型、分枝多少、茎翼形状、叶色、叶缘、顶小叶形状、薯形、皮色、芽眼深浅的遗传多样性指数居中, 为 0.451~0.866; 小叶着生密集度、顶小叶宽度、肉色遗传多样性指数较小, 为 0.085。

2.2 马铃薯褐化后代群体材料数值型指标遗传多样性分析

对马铃薯褐化后代群体材料 8 个数值型指标进行统计分析, 结果见表 3。8 个数值型指标变异系数在 9.46%~69.22%。褐化指数、褐化强度变化值的变异系数较大, 分别为 69.22%、66.23%, 说明 60 份后代材料这两个指标变异程度较大; 单株结薯数、主茎数、单株产量、褐化强度的变异系数次之, 分别为 42.28%、34.97%、41.52%、41.74%; 生育期和煮后变褐值变异较小, 变异系数分别为

表2 描述型指标频率分布及遗传多样性
Table 2 Frequency distribution and genetic diversity of descriptive indicators

描述型指标 Descriptive indicator	多样性指数 Diversity index	频率分布 Frequency distribution/%					
		1	2	3	4	5	6
花冠颜色 Corolla color	0.647	35.00				65.00	
株型 Plant type	0.673	40.00	60.00				
分枝多少 Branching number	0.637	33.33	66.67				
茎翼形状 Stem wing shape	0.613	80.00	15.00	5.00			
茎色 Stem color	1.157	31.67		28.33	1.67	38.33	
叶色 Leaf color	0.693		48.33	51.67			
叶缘 Leaf margin	0.703	1.67	31.67	66.67			
小叶着生密集度 Leaflet type	0.085	98.33	1.67				
顶小叶宽度 Top leaflet width	0.085	1.67	98.33				
顶小叶形状 Top leaflet shape	0.475	1.67		85.00	13.33		
薯形 Potato shape	0.451		83.33				16.67
皮色 Skin color	0.816			46.67		3.33	50.00
肉色 Flesh color	0.085			1.67	98.33		
芽眼深浅 Depth of bud eye	0.866	61.67	30.00	8.33			

表3 数值型指标变异情况
Table 3 Variation of numerical indicators

数值型指标 Numerical indicators	生育期 Growth period/ d	单株 结薯数 Number of tubers per plant	主茎数 Number of main stems	单株产量 Yield per plant/ kg	褐化指数 Browning index/ %	褐化强度 Browning strength	褐化强度 变化值 Browning intensity change value	煮后变褐值 Browning after cooking
最大值 Max	108.00	16.00	6.00	1.88	100.00	0.95	0.44	8.50
最小值 Min	77.00	1.33	1.00	0.22	0.00	0.20	0.03	5.33
变异幅度 Variation amplitude	31.00	14.67	5.00	1.67	100.00	0.75	0.41	3.17
平均值 Mean	97.50	7.65	3.16	0.82	56.15	0.40	0.16	6.99
标准差 Standard deviation	9.22	3.23	1.11	0.34	38.87	0.17	0.10	0.75
变异系数 Coefficient of variation/%	9.46	42.28	34.97	41.52	69.22	41.74	66.23	10.68

9.46%、10.68%，说明这两个性状相对比较稳定。

2.3 数值型指标的相关性分析

对8个数值型指标进行相关性分析,结果见表4。生育期与单株结薯数、单株产量呈极显著正相关,与褐化指数呈显著正相关,与煮后变褐值呈极显著负相关;单株结薯数与主茎数、单株产量呈极显著正相关;主茎数与单株产量呈显著正相关;褐化指数与褐化强度、褐化强度变化值呈极显著正相关,与煮后变褐值呈极显著负相关;褐化强

度与褐化强度变化值呈极显著正相关,与煮后变褐值呈极显著负相关;褐化强度变化值与煮后变褐值呈极显著负相关。褐化指数低的材料,其的褐化强度以及褐化强度变化值也低,蒸煮后的褐化程度也轻,颜色较好,因此用这3个指标去评价群体后代材料的抗褐化能力是全面的、有说服力的。

2.4 主成分分析

利用主成分分析法对群体后代材料进行综合评价,共提取出特征值大于1的主成分8个,累

表4 数值型指标相关性分析结果

Table 4 Correlation analysis results of numerical indicators

数值型指标 Numerical indicator	生育期 Growth period	单株结薯数 Number of tubers per plant	主茎数 Number of main stems	单株产量 Yield per plant/kg	褐化指数 Browning index	褐化强度 Browning strength	褐化强度变化值 Browning intensity change value	煮后变褐值 Browning value after cooking
生育期 Growth period	1.000							
单株结薯数 Number of tubers per plant	0.393**	1.000						
主茎数 Number of main stems	-0.135	0.378**	1.000					
单株产量 Yield per plant	0.431**	0.682**	0.290*	1.000				
褐化指数 Browning index	0.323*	0.088	-0.143	-0.056	1.000			
褐化强度 Browning strength	0.247	-0.071	-0.167	-0.169	0.773**	1.000		
褐化强度变化值 Browning intensity change value	0.165	-0.043	-0.175	-0.127	0.767**	0.921**	1.000	
煮后变褐值 Browning value after cooking	-0.528**	-0.056	0.116	0.039	-0.506**	-0.574**	-0.485**	1.000

注:*表示在 0.05 水平显著相关;**表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: * indicate significant correlation at 0.05 level; ** indicate extremely significant correlation at 0.01 level.

积贡献率 69.785%，可以较好地反映 22 个表型性状的大部分信息。第一主成分的特征值为 3.950，贡献率为 17.956%，褐化指数、褐化强度以及褐化强度变化值是其 主要指标；第二主成分的特征值是 2.581，贡献率为 11.731%，生育期、单株结薯数、单株产量是其 主要指标；第三主成分的特征值是 2.205，贡献率为 9.205%，茎色、顶小叶宽度、顶小叶形状是其 主要指标；第四主成分的特征值是 1.656，贡献率为 7.527%，煮后变褐值是其 主要指标；第五主成分的特征值是 1.510，贡献率为 6.864%，花冠颜色、株型、皮色是其 主要指标；第六主成分的特征值是 1.449，贡献率为 6.588%，顶小叶宽度、肉色、主茎数是其 主要指标；第七主成分的特征值是 1.149，贡献率为 5.224%，茎翼形状是其 主要指标；第八主成分的特征值是 1.032，贡献率为 4.690%，茎翼形状、叶色是其 主要指标（表 5）。

2.5 聚类分析

对抗褐化马铃薯群体后代材料的 8 个数值型性状进行聚类分析，结果如图 1 和表 6 所示。在欧式遗传距离为 1.55 时，将这 60 份材料，划分为五大

类。第 I 类属于高抗褐变材料，有 11 份材料，生育期在 86 d 左右，单株结薯数 5.33 个，单株产量 0.61 kg，褐化指数 6.63%，褐化强度 0.251，褐化强度变化值 0.068，煮后变褐值 7.70；第 II 类属于抗褐变材料，有 14 份材料，生育期在 104 d 左右，单株结薯数 9.57 个，单株产量 1.12 kg，褐化指数 21.33%，褐化强度 0.293，褐化强度变化值 0.086，煮后变褐值 6.98；第 III 类为耐褐变材料，有 5 份材料，生育期在 79 d 左右，单株结薯数 6.40 个，单株产量 0.70 kg，褐化指数 41.53%，褐化强度 0.241，褐化强度变化值 0.066，煮后变褐值 7.60；第 IV 类为易褐变材料，有 10 份材料，生育期在 90 d 左右，单株结薯数 7.33 个，单株产量 0.68 kg，褐化指数 89.54%，褐化强度 0.519，褐化强度变化值 0.256，煮后变褐值 7.01；第 V 类为严重褐变材料，有 20 份材料，生育期在 105 d 左右，单株结薯数 8.05 个，单株产量 0.84 kg，褐化指数 94.72%，褐化强度 0.529，褐化强度变化值 0.232，煮后变褐值 6.45。

3 讨论与结论

种质资源的表型鉴定可以将具有生产利用价值但目前尚未挖掘或未被充分利用的特异性种质

表5 群体种质资源 22 个表型性状的主成分分析
Table 5 Principal component analysis of 22 phenotypic traits in population germplasm resources

性状 Trait	主成分 Principal component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
花冠颜色 Corolla color	0.524	0.231	0.335	0.312	0.457	-0.129	0.089	-0.048
株型 Plant type	0.047	0.154	-0.289	0.306	0.503	0.012	0.242	0.032
分枝多少 Branching number	0.246	0.327	0.176	0.303	-0.343	-0.390	0.143	-0.486
茎翼形状 Stem wing shape	0.246	-0.337	-0.349	0.176	0.033	-0.113	0.521	0.334
茎色 Stem color	-0.167	0.152	0.399	-0.299	0.193	-0.001	0.305	-0.200
叶色 Leaf color	0.382	0.192	0.165	0.216	-0.226	-0.466	-0.231	0.320
叶缘 Leaf margin	-0.375	0.471	0.011	0.158	0.021	-0.032	-0.384	-0.262
小叶着生密集度 Leaflet type	-0.016	-0.130	0.154	-0.725	-0.022	-0.239	-0.108	0.293
顶小叶宽度 Top leaflet width	-0.039	-0.080	0.759	0.087	0.044	0.450	0.106	0.191
顶小叶形状 Top leaflet shape	-0.026	-0.031	0.737	0.245	-0.315	0.292	-0.087	0.154
薯形 Potato shape	0.239	0.068	0.078	0.017	0.319	0.233	-0.104	0.012
皮色 Skin color	0.405	0.086	0.381	-0.072	0.479	-0.329	0.047	-0.062
肉色 Flesh color	0.126	0.167	-0.121	-0.169	-0.417	0.392	0.416	-0.296
芽眼深浅 Depth of bud eye	0.064	0.249	0.183	-0.392	0.133	-0.008	0.300	-0.117
生育期 Growth period	0.452	0.539	0.027	-0.374	-0.197	-0.152	0.093	0.193
单株结薯数 Number of tubers per plant	0.065	0.846	-0.107	0.118	-0.009	0.115	0.031	0.255
主茎数 Number of main stems	-0.321	0.409	-0.257	-0.219	0.371	0.378	-0.279	-0.029
单株产量 Yield per plant	-0.096	0.799	-0.138	0.090	-0.159	0.135	0.165	0.270
褐化指数 Browning index	0.851	0.008	-0.180	0.056	-0.120	0.139	-0.203	-0.018
褐化强度 Browning strength	0.890	-0.123	-0.087	-0.022	0.008	0.219	-0.090	-0.112
褐化强度变化值 Browning intensity change value	0.847	-0.186	-0.099	0.064	-0.001	0.353	-0.074	0.033
煮后变褐值 Browning value after cooking	-0.662	-0.119	0.023	0.426	0.006	0.015	0.142	0.168
特征值 Eigenvalues	3.950	2.581	2.025	1.656	1.510	1.449	1.149	1.032
贡献率 Contribution rate/%	17.956	11.731	9.205	7.527	6.864	6.588	5.224	4.690
累积贡献率 Rate of cumulative variances/%	17.956	29.687	38.892	46.419	53.283	59.871	65.095	69.785

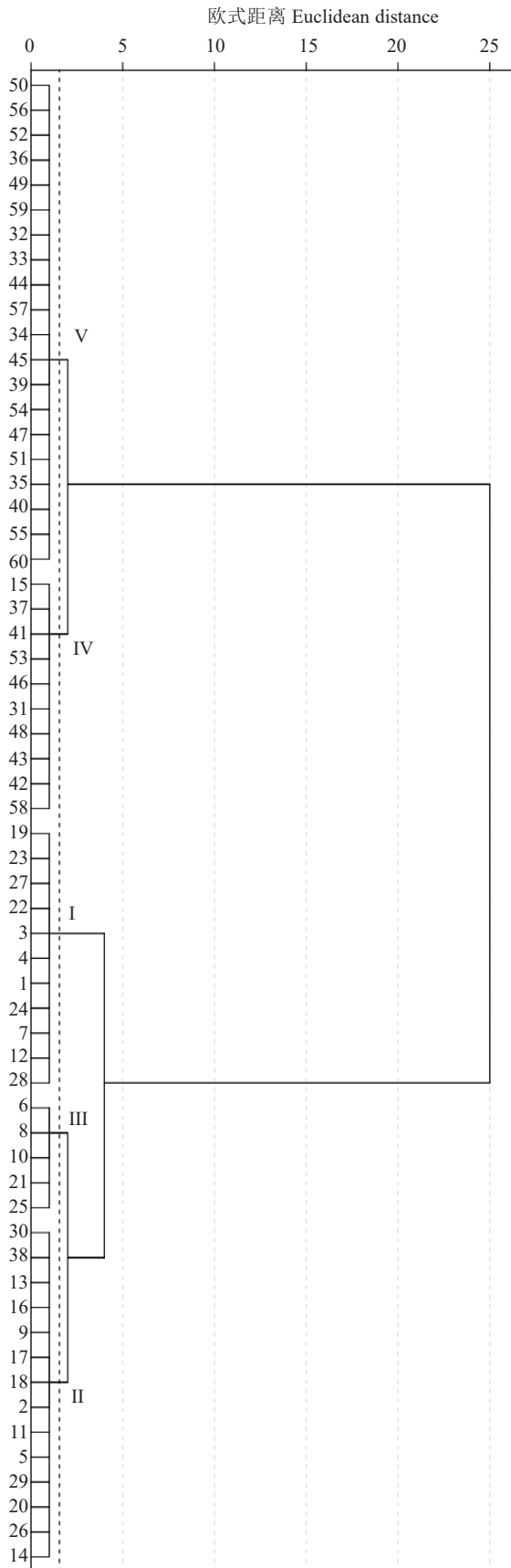


图1 抗褐化群体后代材料聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of offspring materials from anti-browning populations

及其基因从丰富多样的种质资源群体中发掘出来^[18]。表型性状是长期自然选择和人工选择的结果,是植物生长最直观的表现。表型性状分析是作物种质资源分类及评价、育种后代选择及遗传多样性分析最基础的研究方法^[19]。掌握种质资源的表型数据可以进一步明确种质资源农艺性状方面的潜力、品种适应性和育种价值,这对种质资源的创新有重要意义^[20]。笔者对60份褐化群体后代种质资源进行了表型性状分析,结果表明,该群体的表型遗传多样性丰富,14个描述性指标的遗传多样性指数在0.085~1.157,茎色的遗传多样性指数最大,为1.157;花冠颜色、株型、分枝多少、茎翼形状、叶色、叶缘、顶小叶形状、薯形、皮色、芽眼深浅的遗传多样性指数居中,为0.451~0.866;小叶着生密集度、顶小叶宽度、肉色遗传多样性指数较小,是可以稳定遗传的。8个数值型指标变异系数在9.46%~69.22%,除生育期和煮后变褐值外,其余6个指标变异系数均超过30%,种质间变异明显,离散程度较高,试验用种质具有相同的亲缘关系,却出现不同的性状分离,说明这6个指标的遗传不仅受遗传因素的影响,还会受环境因素的影响,生育期的变异最小,这与张楷露^[21]的研究结果一致,说明生育期是不随外界环境条件的改变而发生变化的。

植株性状的相关性分析可以研究各性状之间的密切程度,马铃薯地上部植株的性状与地下块茎产量以及块茎抗褐化能力均有一定的关系。相关性分析表明,单株产量与生育期、单株结薯数呈极显著正相关,与主茎数呈显著正相关,这与杨春等^[12]的研究结果相一致。褐化指数与褐化强度、褐化强度变化值呈极显著正相关,与煮后变褐值呈极显著负相关,这说明抗褐化能力强的种质资源,其切片7h后颜色不发生明显的变化,4℃放置24h后马铃薯匀浆的颜色为白色或者浅黄棕色^[22],蒸煮24h后颜色不变黑。褐化指数、煮后变褐值还会受到生育期的影响。在选育产量性状时可以参照地上部植株的特征,生育期延长,单株结薯数增多、主茎数增多,产量就会增加,但是生育期长的种质资源褐化指标值偏高,无法选育抗褐化的种质,因此要根据实际的选育目标进行选择。主成分分析将60份马铃薯种质资源的22个表型性状简化成了8个主成分,累积贡献率69.785%,可以较好地反映22个表型性状的大部分信息。第一、第四主成分为褐化相关指标,第二主成分为生育期及产量性状,其他主成分为地上植株性状及块茎皮色、肉色。

表6 抗褐化群体种质资源聚类分析分类结果

Table 6 Cluster analysis and classification results of germplasm resources for anti-browning populations

数值型指标 Numerical indicator	材料类型 Material type				
	I	II	III	IV	V
生育期 Growth period	86.64±4.41	103.79±5.81	78.80±2.59	90.00±4.37	105.25±2.31
单株结薯数 Number of tubers per plant	5.33±0.98	9.57±0.92	6.40±0.52	7.33±0.58	8.05±0.86
主茎数 Number of main stems	3.09±0.50	3.52±0.60	3.53±0.70	3.50±0.43	2.68±0.45
单株产量 Yield per plant	0.61±0.27	1.12±0.41	0.70±0.23	0.68±0.19	0.84±0.28
褐化指数 Browning index	6.63±0.64	21.33±0.44	41.53±0.42	89.54±1.72	94.72±2.25
褐化强度 Browning strength	0.251±0.044	0.293±0.071	0.241±0.012	0.519±0.032	0.529±0.041
褐化强度变化值 Browning intensity change value	0.068±0.021	0.086±0.036	0.066±0.029	0.256±0.098	0.232±0.082
煮后变褐值 Browning value after cooking	7.70±0.30	6.98±0.50	7.60±0.50	7.01±0.45	6.45±0.44

采用离差平方和的方法对 60 份种质资源进行聚类分析,划分了 5 个类型,同类群的种质遗传相似度较高,这与前人^[23-25]的研究结果较为一致。第 I、第 II 类属于高抗、抗褐变种质,生育期分别为 86、104 d,块茎仅出现轻微褐化现象,颜色变化不明显,可以用于抗褐变材料选育的亲本材料;第 IV、第 V 类属于易褐变、严重褐变种质,生育期分别为 90、105 d,块茎褐化现象严重,变色现象明显,可以作为褐变机制的研究材料。本试验的聚类分析结果可以为马铃薯抗褐变新品种选育和遗传改良提供一定的参考。

笔者在本试验中主要围绕褐化群体后代种质表型性状进行了分析,对 60 份马铃薯的遗传多样性及育种潜力进行了阐述,下一步可以对这些种质的品质性状、抗病性等进行鉴定,同时可以进行基因型检测,筛选出优异的抗褐变基因,为抗褐变种质资源创新和抗褐变新品种的选育提供材料。

参考文献

- 刘美琴. 马铃薯保鲜及加工技术研究进展[J]. 种子科技, 2023, 41(18): 51-54.
- 李明泽, 李国锋, 黄玉龙, 等. 马铃薯主食及休闲食品研究进展[J]. 农产品加工, 2023(19): 78-80.
- 杨旭风, 贾晓东, 许梦洋, 等. 褐变机理及其防治技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2023, 39(13): 137-145.
- 王丽, 王万兴, 索海翠, 等. 马铃薯块茎酶促褐变及与相关生理指标的关系[J]. 园艺学报, 2019, 46(8): 1519-1530.
- 徐建飞, 金黎平. 马铃薯遗传育种研究: 现状与展望[J]. 中国农业科学, 2017, 50(6): 990-1015.
- 祁驰恒, 曾钰婷, 许娟妮, 等. 马铃薯种质资源遗传多样性研究进展[J]. 现代农业科技, 2020(12): 83.
- 孟珊, 徐婷婷, 朱小品, 等. 江苏大豆地方种质资源表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(2): 419-436.
- 郭欢乐, 汤彬, 李涵, 等. 湖南省玉米地方品种表型性状综合评价及类群划分[J]. 作物杂志, 2022(6): 33-41.
- 郭鹏燕, 任杰成, 赵吉平, 等. 冬小麦种质资源丰产抗旱性表型鉴定及分析[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(21): 20-23.
- 张一中, 张晓娟, 梁笃, 等. 基于表型性状的高粱育种材料遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2023, 56(15): 2837-2857.
- 李爽, 李爽, 王雅平, 等. 马铃薯种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42(3): 269-279.
- 杨春, 齐海英. 马铃薯种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 农学学报, 2020, 10(1): 13-21.
- 徐晓, 杨梦颖, 满全财, 等. 195 份马铃薯种质资源表型性状综合评价[J]. 核农学报, 2023, 37(9): 1710-1722.
- 韩志刚, 谢锐, 金晓蕾, 等. 基于表型性状的马铃薯种质资源遗传多样性分析[J]. 北方农业学报, 2021, 49(5): 9-17.
- 叶玉珍. 不同马铃薯种质资源的遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2017, 48(11): 1930-1936.
- 刘喜才, 张丽娟. 马铃薯种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- 王海艳, 王立春, 李风云, 等. 马铃薯抗褐变种质资源的鉴定与筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(2): 263-270.
- 王晓鸣, 邱丽娟, 景蕊莲, 等. 作物种质资源表型性状鉴定评价: 现状与趋势[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 12-20.
- 沈升法, 项超, 李兵, 等. 浙江省马铃薯种质资源的表型鉴定与多样性分析[J]. 浙江农业学报, 2022, 34(11): 2319-2328.
- 黎裕, 李英慧, 杨庆文, 等. 基于基因组学的作物种质资源研究: 现状与展望[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3333-3353.
- 张楷露. 引进马铃薯种质资源材料的综合分析评价[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- 李山云, 隋启君, 白建明, 等. 抗机械损伤褐变马铃薯品种(系)的筛选[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(4): 193-196.
- 吴承金, 陈火云, 宋威武. 国内育成马铃薯品种资源的表型及品质性状综合评价[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(7): 43-49.
- 魏书洞, 孙晓雪, 孟川, 等. 引进大白菜种质资源表型多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(11): 40-49.
- 王磊. 198 份 CIP 马铃薯种质资源的表型性状和晚疫病抗性的遗传多样性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2021.