

晋北地区引进马铃薯品种表型性状遗传多样性分析

卢瑶, 毛向红, 沈日敏, 范向斌, 白小东

(山西农业大学高寒区作物研究所·马铃薯遗传改良与种质创新山西省重点实验室 山西大同 037008)

摘要:为筛选适宜晋北地区种植的优异马铃薯品种,对引进的42个马铃薯品种的12个质量性状和6个数量性状进行表型性状遗传多样性分析、相关性分析、主成分分析和系统聚类分析。结果表明,引进的品种表型多样性丰富,质量性状中的熟性、花繁茂性、薯形、薯皮类型、肉色和芽眼深度,遗传多样性指数分别达到了1.24、1.23、1.59、1.08、1.09和1.05。6个数量性状的遗传多样性指数均在1.5左右,变异系数范围在17.65%~61.00%,其中主茎数和分枝数的变异系数较大。相关性分析结果表明,株高与茎粗、分枝数呈极显著正相关,与主茎数呈显著正相关,商品薯率与主茎数呈极显著负相关,与产量呈极显著正相关。主成分分析法确定7个主成分的累积贡献率为78.23%。系统聚类分析将42个马铃薯品种分为5类,其中第I类群和第IV类群不适宜常规大田管理;第III类群是适宜在晋北地区种植的品种;第V类群的品种可以作为育种的亲本材料。研究结果对晋北地区马铃薯品种筛选和育种亲本材料选择具有重要的指导意义。

关键词:马铃薯;质量性状;数量性状;遗传多样性

中图分类号:S532

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)01-081-08

Analysis of genetic diversity of phenotypic traits of introduced potato varieties in northern Shanxi province

LU Yao, MAO Xianghong, SHEN Rimin, FAN Xiangbin, BAI Xiaodong

(High Latitude Crops Institute, Shanxi Agricultural University/Shanxi Provincial Key Laboratory of Potato Genetic Improvement and Germplasm Innovation, Datong 037008, Shanxi, China)

Abstract: In order to identify suitable potato varieties for planting in northern Shanxi province, 12 qualitative and 6 quantitative traits of 42 potato varieties were analyzed for genetic diversity of phenotypic traits, correlation analysis, principal component analysis and systematic clustering analysis. The results showed that the introduced varieties were rich in phenotypic diversity, and the genetic diversity indices of the quality traits, such as ripeness, flower profusion, potato shape, potato skin type, flesh color and bud eye depth, reached 1.24, 1.23, 1.59, 1.08, 1.09 and 1.05, respectively. The genetic diversity indices of the six quantitative traits were around 1.5, with the coefficients of variation ranging from 17.65%-61.00%, with higher coefficients of variation for number of main stems and number of branches. The results of correlation analysis showed that plant height was highly significant positively correlated with stem thickness and number of branches, and significantly positively correlated with number of main stems. Commercial potato yield was negatively correlated with the number of main stems and positively correlated with yield. Principal component analysis determined that the cumulative contribution of the seven principal components was 78.23%. Systematic cluster analysis classified the 42 potato varieties into five groups, group I and group IV were unsuitable for conventional field management and with low resource quality; group III were suitable for planting in northern Shanxi province; and varieties in group V could be used as breeding parental materials. The results of the study are of great significance in guiding the selection of potato varieties and breeding parental materials in the northern region of Shanxi province.

Key words: Potato; Qualitative trait; Quantitative trait; Genetic diversity

收稿日期:2024-02-20;修回日期:2024-07-23

基金项目:山西省高等学校科技创新项目(2023L038);山西农业大学高寒区作物研究所级项目(GHS202402)

作者简介:卢瑶,女,助理研究员,研究方向为马铃薯遗传育种与种质资源评价。E-mail:yao.lu0418@outlook.com

通信作者:白小东,男,研究员,研究方向为马铃薯育种与栽培技术。E-mail:bx5561@126.com

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)属茄科茄属自花授粉植物^[1],原产南美洲安第斯山脉高原地区,目前分布于全世界约160个国家和地区,是全球粮食安全系统的重要组成部分^[2-3],也是山西省重要的粮菜并用作物,近年来马铃薯种植面积一直稳定在16.7万hm²左右,鲜薯产量约17.14 t·hm⁻²^[4]。山西省位于黄土高原,属于旱半干旱地区,传统种植面积最大的马铃薯品种为晋薯16号,耐旱,但芽眼深^[5],不能满足加工企业的需求。随着山西省马铃薯产业发展和浅芽眼品种的需求增加,选育适宜在山西省种植的耐旱且具有优良营养品质和适宜加工的马铃薯新品种,对推动山西省马铃薯产业高质量发展具有重要意义。

种质资源是品种基因改良的重要物质基础^[6],对种质资源的收集、优良种质资源挖掘以及遗传多样性评价是育种工作的关键^[7],表型性状评价是种质资源鉴定和保护的重要步骤,也是遗传多样性评价的重要手段^[3,8]。王艳平等^[9]依据表型性状将315个玉米品种划分为普通型等3种类型;张嘉楠等^[10]对北方冬麦区136份小麦的10个表型性状进行评价,筛选出适宜干旱条件下种植的小麦品种;颀瑞霞等^[11]对国内外172份马铃薯资源的主要品质性状进行了测定并进行主成分分析和聚类分析,筛选出高干物质和高维生素C含量的群体;何文等^[12]对22份崇左龙州引进的马铃薯种质资源进行了表型鉴定,筛选出7份适宜当地推广的优异种质。在马铃薯的69个形态、生物学和品质特征性状中,育种者重点关注薯形、植株茎叶形态、花冠色及繁茂性等多个质量性状,产量、商品薯率、干物质含量、淀粉含量等数量性状^[13]。笔者对2022年种植的42个马铃薯品种的12个质量性状和6个数量性状进行鉴定和遗传多样性评价,并进行相关性分析、主成分分析和聚类分析,以期筛选适宜晋北干旱半干旱地区种植的优异种质,为山西省马铃薯新品种选育提供优良的亲本材料。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料分别由山西农业大学高寒区作物研究所、甘肃省农业科学院马铃薯研究所等提供,种薯级别为原种,42个马铃薯品种名称及来源详见表1。

1.2 试验地概况及试验设计

试验于2022年5—10月在山西省朔州市怀仁市毛皂马铃薯种植基地进行,地理位置为东经113°

15'14"、北纬39°55'16",海拔1 003.55 m。年平均气温7.3℃,年平均降水量387 mm,全年无霜期150 d左右。试验小区采用随机排列,不设重复,种植方式为大垄双行,垄宽1.2 m,垄长50 m,株距25 cm,小区面积120 m²,每小区种植2垄共4行,常规大田管理。

1.3 调查性状及方法

1.3.1 性状记录 42个马铃薯品种表型性状的调查参照《马铃薯种质资源描述规范和数据标准》^[14]和《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 马铃薯》^[15]。在马铃薯现蕾期至盛花期用卷尺测量株高,游标卡尺(十字法)测量茎粗,每个材料随机选取10株计算主茎数和分枝数,目测法记录株型、茎色、叶色、花色和花繁茂性;在收获期用目测法记录薯形、皮色、肉色、薯皮类型、芽眼深浅、芽眼色等性状;收获时在中间2行随机选取3个点进行测产,每点面积12 m²,并根据商品薯数量计算商品薯率,根据出苗日期和成熟日期计算马铃薯生育期,参照《马铃薯种质资源描述规范和数据标准》^[14]统计熟期。数量性状取平均值,质量性状以多数植株表现出的性状为准。

1.3.2 表型性状的赋值及统计分析 (1)对42个品种的6个数量性状进行分析,计算各数量性状的平均值、最大值、最小值、标准差、变异系数及遗传多样性指数(H')。在分析Shannon-Wiener's多样性指数时,对其进行5级分类。其中,5级为大于 $X+\lambda$,中间每级间隔为0.5 λ ,1级为小于 $X-\lambda$, X 为42个品种的6个数量性状的平均值, λ 为42个品种的6个数量性状的标准差,然后进行数据分析。 H' 的计算公式如下: $H' = -\sum P_i \ln P_i$ 。式中 $P_i = N_i/N$, P_i 为样本中属于第 i 个样本的比例,如样本总个数为 N ,第 i 种样本的个数为 N_i ,即 $P_i = N_i/N$ 。

(2)12个质量性状的赋值参照《马铃薯种质资源描述规范和数据标准》^[14](表2),随后统计各描述性状在各群体的分布数量及分布频率,各质量性状的遗传多样性指数也采用Shannon-Wiener's(H')进行评价。

采用Excel 2016将42个品种的12个质量性状换算成数字,并计算遗传多样性指数(H');采用SPSS 27.0软件将12个质量性状与6个数量性状的数值进行标准化处理,然后进行主成分分析;使用Origin 2021软件检测6个数量性状的皮尔逊相关系数并绘出相关性分析热图,最后对18个表型性状进行系统聚类分析。

表 1 供试马铃薯品种名称及来源
Table 1 Names and sources of test potato varieties

编号 No.	品种名称 Variety name	选育单位 Breeding institution	编号 No.	品种名称 Variety name	选育单位 Breeding institution
1	晋薯 16 号 Jinshu No. 16	山西农业大学高寒区作物研究所 High Latitude Crops Institute, Shanxi Agricultural University	22	东农 310 Dongnong 310	东北农业大学 Northeast Agricultural University
2	大同里外黄 Datong Liwaihuang		23	东农 312 Dongnong 312	
3	同薯 32 号 Tongshu No. 32		24	东农 321 Dongnong 321	
4	同薯 31 号 Tongshu No. 31		25	东农 322 Dongnong 322	黑龙江省农业科学院克山分院 Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences
5	晋薯 15 号 Jinshu No. 15		26	克新 27 号 Kexin No. 27	
6	晋薯 24 号 Jinshu No. 24		27	克新 30 号 Kexin No. 30	
7	陇薯 7 号 Longshu No. 7	甘肃省农业科学院马铃薯研究所 Institute of potatoes, Gansu Academy of Agricultural Sciences	28	克新 33 号 Kexin No. 33	甘肃省天水市农业科学研究所 Tianshui Institute of Agricultural Sciences
8	陇薯 9 号 Longshu No. 9		29	天薯 11 号 Tianshu No. 11	
9	陇薯 10 号 Longshu No. 10		30	天薯 12 号 Tianshu No. 12	
10	陇薯 11 号 Longshu No. 11		31	京张 1 号 Jingzhang No. 1	张家口市农业科学院 Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences
11	陇薯 12 号 Longshu No. 12		32	京张 2 号 Jingzhang No. 2	
12	陇薯 14 号 Longshu No. 14		33	京张 3 号 Jingzhang No. 3	
13	陇薯 15 号 Longshu No. 15		34	中加 2 号 Zhongjia No. 2	内蒙古中加农业生物科技有限公司 Inner Mongolia Zhongjia Agricultural Technology Co., Ltd
14	陇薯 16 号 Longshu No. 16		35	中加 7 号 Zhongjia No. 7	
15	陇薯 17 号 Longshu No. 17		36	华颂 7 号 Huasong No. 7	内蒙古华颂农业科技有限公司 Inner Mongolia Huasong Agricultural Technology Co., Ltd
16	中薯 17 号 Zhongshu No. 17	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences	37	华颂 34 号 Huasong No. 34	
17	中薯 18 号 Zhongshu No. 18		38	华晟 7 号 Huasheng No. 7	呼伦贝尔市农牧科学研究所 Hulunbeier Agricultural and Animal Husbandry Scientific Research Institute
18	中薯 19 号 Zhongshu No. 19		39	维拉斯 Vilas	
19	北方 001 North 001	河北北方学院 Hebei North University	40	凯薯 1 号 Kaishu No. 1	甘肃凯凯农业科技发展股份有限公司 Gansu Kaikai Agricultural Science and Technology Development Co., Ltd
20	北方 002 North 002		41	凯薯 2 号 Kaishu No. 2	
21	北方 007 North 007		42	冀张薯 8 号 Jizhangshu No. 8	张家口市农业科学院 Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences

2 结果与分析

2.1 马铃薯品种表型性状遗传多样性分析

2.1.1 数量性状遗传多样性分析 在 42 个马铃薯品种的 6 个数量性状中,各个性状的分布频率为 7.14%~38.10%(表 3)。由表 4 可知,数量性状各指标间存在不同程度的差异,变异系数介于 17.65%~

61.00%,其中分枝数的变异系数最大,茎粗的变异系数最小;遗传多样性指数在 1.46~1.59,株高的遗传多样性指数最大,主茎数的遗传多样性指数最小。

2.1.2 质量性状遗传多样性分析 在 42 个马铃薯品种的 12 个质量性状中共检测到 42 个变异类型(表 5),平均每个性状的变异类型为 3.5 个,各个质量性状的变异类型的分布频率为 2.38%~92.86%,

表 2 质量性状调查描述
Table 2 Survey description of qualitative traits

性状	性状记载赋值标准
Trait	Evaluation standard of character record
熟性	极早熟=1,早熟=2,中熟=3,中晚熟=4,晚熟=5
Maturity	Extremely early-maturing=1, Early maturing=2, Medium maturing=3, Medium-late maturing=4, Late maturing=5
株型	直立=1,半直立=2
Stock type	Vertical=1, Semi vertical=2
叶色	绿=1,深绿=2,淡绿=3
Leaf color	Green=1, Dark green=2, Light green=3
茎色	绿=1,绿带紫=2,局部有色=3,紫=4
Stem color	Green=1, Green belt purple =2, Partial pigmentation =3, Purple =4
花冠颜色	白=1,紫=2,淡紫=3,深紫=4
Corolla color	White=1, Purple=2, Mauve=3, Modena=4
花繁茂性	多=1,中=2,少=3,无=4
Flower luxuriance	More=1, Medium=2, Less=3, None=4
薯形	圆=1,扁圆=2,椭圆=3,扁椭圆=4,长椭圆=5,卵圆=6
Tuber shape	Circle=1, Oblate=2, Oval=3, Oblate oval=4, Oblong=5, Ovoid=6
皮色	淡黄=1,黄=2,褐色=3,粉=4
Tuber skin color	Pale yellow=1, Yellow=2, Brown=3, Pink=4
薯皮类型	光滑=1,略麻=2,麻皮=3
Tuber skin type	Smoothness=1, Slightly numb=2, Numb=3
肉色	淡黄=1,黄=2,白=3,乳白=4
Tuber pulp color	Pale yellow=1, Yellow =2, White=3, Milky white=4
芽眼深度	浅=1,中=2,深=3
Tuber eye depth	Shallow=1, Medium=2, Deep=3
芽眼色	无色=1,有色=2
Tuber eye color	None color=1, Color=2

表 3 数量性状分级及频率分布
Table 3 Quantitative trait classification and frequency distribution

性状	级数 Rank				
Trait	1	2	3	4	5
株高	<60.20	60.20~71.77	71.78~83.34	83.35~94.91	>94.91
Plant height/cm	6 (14.28)	8 (19.05)	10 (23.81)	7 (16.66)	11 (26.19)
茎粗	<11.38	11.38~12.60	12.61~13.82	13.83~15.04	>15.04
Stem thickness/cm	9 (21.43)	6 (14.29)	5 (11.90)	7 (16.66)	15 (35.72)
主茎数	<1.18	1.18~1.60	1.61~2.03	2.04~2.45	>2.45
Number of main stems	3 (7.14)	16 (38.10)	6 (14.29)	6 (14.29)	11 (26.19)
分枝数	<3.40	3.40~6.06	6.07~8.72	8.73~11.38	>11.38
Branching number	5 (11.90)	10 (23.81)	5 (11.90)	12 (28.56)	10 (23.81)
商品薯率	<39.19	39.19~49.40	49.41~59.61	59.62~69.82	>69.82
Commercial potato rate/%	6 (14.29)	6 (14.29)	6 (14.29)	9 (21.42)	15 (35.71)
产量 Yield/(kg·667 m ²)	<1 092.09	1 092.09~1 286.15	1 286.16~1 480.21	1 480.22~1 674.26	>1 674.26
	8 (19.05)	6 (14.29)	8 (19.05)	7 (16.66)	13 (30.95)

注:括号前数字表示品种个数,括号中数据表示分布频率(%)。
Note: Number before parentheses indicate the number of varieties, and data in parentheses indicate the frequency of distribution(%).

遗传多样性指数为 0.26~1.59。

熟性的遗传多样性指数为 1.24,以中晚熟为主,分布频率为 47.62%;株型的遗传多样性指数为 0.36,以直立为主,分布频率为 88.10%;叶色的遗传多样性指数为 0.79,以绿色为主,分布频率为

69.05%;茎色的遗传多样性指数为 0.86,以绿色为主,分布频率为 66.67%。花冠颜色的遗传多样性指数为 0.79,以白色为主,分布频率为 50.00%,淡紫色次之,分布频率为 47.62%;花繁茂性的遗传多样性指数为 1.23,以中等为主,分布频率为 45.24%。

表 4 数量性状遗传多样性分析

Table 4 Analysis of genetic diversity of quantitative traits

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient/%	遗传多样性指数 Genetic diversity index
株高 Plant height/cm	141.00	45.50	83.34	23.14	27.77	1.59
茎粗 Stem thickness/cm	18.77	9.67	13.82	2.44	17.65	1.53
主茎数 Number of main stems	4.40	1.00	2.03	0.84	41.69	1.46
分枝数 Branching number	27.60	1.60	8.72	5.32	61.00	1.55
商品薯率 Commercial potato rate/%	93.06	11.75	59.61	20.42	26.22	1.53
产量 Yield/(kg·667 m ²)	2 655.61	888.17	1 480.21	388.11	34.26	1.57

表 5 质量性状频率分布及遗传多样性分析

Table 5 Frequency distribution and analysis of genetic diversity of qualitative traits

%

性状 Trait	级数 Rank						遗传多样性指数 Genetic diversity index
	1	2	3	4	5	6	
熟性 Maturity		11.90	14.29	47.62	26.19		1.24
株型 Stock type	88.10	11.90					0.36
叶色 Leaf color	69.05	23.81	7.14				0.79
茎色 Stem color	66.67	26.19	2.38	4.76			0.86
花冠颜色 Corolla color	50.00		47.62	2.38			0.79
花繁茂性 Flower luxuriance	26.19	45.24	21.43	7.14			1.23
薯形 Tuber shape	28.57	14.29	7.14	4.76	11.90	33.34	1.59
皮色 Tuber skin color	23.81	71.43	2.38	2.38			0.76
薯皮类型 Tuber skin type	30.95	42.86	26.19				1.08
肉色 Tuber pulp color	35.72	50.00	7.14	7.14			1.09
芽眼深度 Tuber eye depth	28.57	47.62	23.81				1.05
芽眼色 Tuber eye color	92.86	7.14					0.26

薯形的遗传多样性指数最大,为 1.59,共检测到 6 种薯形,以卵圆为主,分布频率为 33.34%,圆形次之,分布频率为 28.57%;皮色的遗传多样性指数为 0.76,共检测到 4 种类型,以黄皮为主,分布频率为 71.43%;薯皮类型的遗传多样性指数为 1.08,共有 3 种类型,以略麻皮为主,分布频率为 42.86%;肉色的遗传多样性指数为 1.09,以黄肉为主,淡黄肉次之,分布频率分别为 50.00%和 35.72%;芽眼深度的遗传多样性指数为 1.05,以中等为主,分布频率为 47.62%;芽眼色的遗传多样性指数为 0.26,以无色为主,分布频率为 92.86%。

对 42 个马铃薯品种的表型性状分析发现,遗传多样性较丰富。其中遗传多样性指数高于 1.00 的性状为熟性、花繁茂性、薯形、薯皮类型、块茎肉色和芽眼深度,推测是人为长期的针对性选择导致的。

2.2 马铃薯数量性状的相关性分析

对 42 个马铃薯品种的 6 个数量性状进行相关性分析(表 6),结果表明,株高与茎粗、分枝数呈极显著正相关,相关系数分别为 0.601 和 0.674,与主茎数呈显著正相关,相关系数为 0.331;茎粗与分枝数呈极显著正相关,相关系数为 0.458;主茎数与分枝数呈极显著正相关,相关系数为 0.402,与商品薯率呈极显著负相关,相关系数为-0.590;产量与商品薯率呈极显著正相关,相关系数为 0.397。综上,植株表型中株高越高,茎粗、分枝数、主茎数越大;而与产量相关的表型中,商品薯率越高,产量越高,主茎数越少。

2.3 马铃薯表型性状的主成分分析

对 42 个马铃薯的 18 个表型性状进行主成分分析,结果如表 7 所示。7 个主成分累积贡献率达 78.23%,其中,第 1 主成分特征值为 3.849,贡献率

表 6 马铃薯数量性状相关性分析
Table 6 Correlation analysis of quantitative traits of potato

性状 Trait	株高 Plant height	茎粗 Stem thickness	主茎数 Number of main stems	分枝数 Branching number	产量 Yield	商品薯率 Commercial potato rate
株高 Plant height	1					
茎粗 Stem thickness	0.601**	1				
主茎数 Number of main stems	0.331*	-0.092	1			
分枝数 Branching number	0.674**	0.458**	0.402**	1		
产量 Yield	-0.185	-0.087	-0.235	-0.184	1	
商品薯率 Commercial potato rate	-0.218	0.137	-0.590**	-0.299	0.397**	1

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: * represents significant correlation at $p<0.05$, ** represents extremely significant correlation at $p<0.01$.

表 7 马铃薯 18 个表型性状的主成分分析
Table 7 Principal component analysis of 18 phenotypic traits of potato

指标 Index	主成分 Principal component						
	1	2	3	4	5	6	7
株高 Plant height	0.869	0.090	-0.074	-0.094	-0.154	0.146	-0.075
分枝数 Branching number	0.788	0.254	-0.264	0.239	-0.163	0.118	0.004
花冠颜色 Corolla color	-0.636	0.299	-0.099	-0.110	0.185	0.431	-0.321
茎粗 Stem thickness	0.632	0.011	0.424	-0.111	-0.421	0.285	0.001
熟性 Maturity	0.622	0.582	0.320	0.078	-0.112	0.064	0.006
主茎数 Number of main stems	0.514	0.188	-0.492	-0.131	0.390	0.083	0.121
芽眼色 Tuber eye color	-0.120	0.783	-0.240	-0.328	0.040	0.002	0.069
叶色 Leaf color	-0.165	0.547	0.410	0.056	0.279	-0.464	0.002
产量 Yield	-0.265	0.440	0.501	0.362	0.224	0.184	-0.126
商品薯率 Commercial potato rate	-0.437	-0.044	0.487	0.073	-0.482	0.135	-0.298
皮色 Tuber skin color	0.355	-0.421	0.464	-0.019	0.246	-0.352	-0.063
花繁茂性 Flower luxuriance	0.375	0.161	0.418	-0.187	0.066	-0.286	0.214
芽眼深度 Tuber eye depth	0.216	-0.167	0.377	-0.792	-0.144	0.147	-0.147
薯形 Tuber shape	0.029	-0.184	-0.078	0.733	-0.469	0.024	0.219
株型 Stock type	0.402	0.205	0.119	0.539	0.332	0.101	-0.345
薯皮类型 Tuber skin type	0.369	-0.455	0.025	-0.092	0.571	0.251	-0.182
肉色 Tuber pulp color	0.056	-0.286	0.371	0.279	0.500	0.279	0.269
茎色 Stem color	-0.313	0.125	0.310	-0.124	0.077	0.401	0.656
特征值 Characteristic value	3.849	2.255	2.111	1.951	1.786	1.121	1.008
贡献率 Contribution rate/%	21.38	12.53	11.73	10.84	9.92	6.23	5.60
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	21.38	33.91	45.64	56.48	66.41	72.64	78.23

为 21.38%，其中株高、分枝数、茎粗、花色、熟性的特征向量（绝对值）较大，分别为 0.869、0.788、0.632、-0.636、0.622，是第 1 主成分的主要指标，主要与植株形态、生育期和花色相关；第 2 主成分特征值为 2.255，贡献率为 12.53%，主要由熟性、芽眼色、叶色决定；第 3 主成分特征值为 2.111，贡献率为 11.73%，产量是其主要指标，特征向量为 0.501；第 4

主成分特征值为 1.951，贡献率为 10.84%，芽眼深浅和薯形是主要指标，这类性状与薯块特征有关；第 5 主成分特征值为 1.786，贡献率为 9.92%，主要由薯皮类型和肉色决定，也与薯块特征相关；第 6 主成分特征值为 1.121，贡献率为 6.23%，主要反映的是植株类型；第 7 主成分特征值为 1.008，贡献率为 5.60%，主要由茎色决定，特征向量为 0.656。

2.4 聚类分析

为明确晋北地区引进的马铃薯品种在表型性状的差异,为种质资源利用和育种亲本选择提供依据,基于调查到的 18 个表型性状对 42 个马铃薯品种进行系统聚类分析,结果表明,42 个马铃薯品种可分为 5 个聚群(图 1)。每个类群的品种数量不同,其中,品种数量最多的是第 IV 类群,包括 16 个品种,最少的是第 II 类群,仅含 2 个品种,其他 3 个

类群包含 7~9 个品种。

绝大多数类群包含来自 1~3 个育种单位的品种,其中晋薯系列、中薯系列分布在第 I 和第 IV 类群,东农系列、陇薯系列分布在第 IV 和第 V 类群,克新系列分布在第 I、II 和第 III 类群,天薯系列分布在第 V 类群,京张系列分布在第 IV 类群,北方系列分布在第 III 类群。聚类结果反映出 5 个类群的马铃薯品种间存在遗传差异,且并未严格按照栽培地

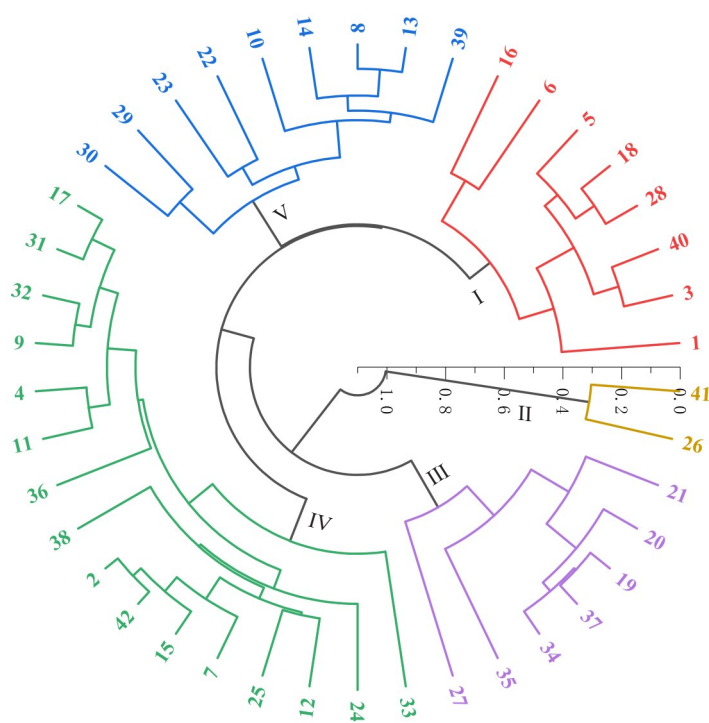


图 1 基于表型性状的马铃薯系统聚类

Fig. 1 Systematic clustering based on phenotypic traits of potato

进行划分。

对各个类群品种的性状进一步分析,结果表明,第 I 类群属于中晚熟品种,商品薯率高但芽眼深,产量中等,是需要加强田间管理和薯形改良的品种;第 II 类群的品种早熟且商品薯率低,其他各项指标均偏低,表明这类品种在晋北地区常规大田管理条件下产量及田间表现差,是需要加强田间管理的品种;第 III 类群的品种以中熟和早熟为主,株型直立,薯形卵圆,肉色以浅黄和黄肉为主,芽眼浅,商品薯率高且产量较高,是适宜在晋北地区种植的品种;第 IV 类群的品种薯形一致,以卵圆为主,芽眼浅,但产量低,需要加强田间管理;第 V 类群的品种遗传多样性丰富,可以作为育种的亲本材料。

3 讨论与结论

晋北地区地处干旱半干旱区域,此地种植的马铃薯品种需要满足抗旱高产的要求,山西省自主选育的品种兼具以上特性,但芽眼深,不能满足当前的市场需求,因此需引进省外优良品种,以便寻找适应性好的品种做育种亲本材料,拓宽山西马铃薯品种遗传基础,或进行推广以满足当前市场需求。表型性状鉴定是种质资源鉴定和保护的重要步骤,可以直接反映植物遗传多样性,对明确种质资源适应性、综合农艺性状潜力和育种价值起关键作用^[6]。段绍光等^[16]对叶片、花冠、块茎、块茎品质和成熟期的 16 个性状进行遗传多样性分析和聚类分析,区分了生态类型不同和遗传差异明显的亲本,

结果较准确地揭示了材料间的形态差异。

笔者对北方一作区主栽的42个马铃薯品种的表型性状进行遗传多样性分析,结果表明,引进的品种表型多样性丰富,质量性状中的熟性、花繁茂性、薯形、薯皮类型、肉色和芽眼深度,遗传多样性指数均在1.0以上,同叶玉珍^[17]、杨春等^[18]的研究结果基本一致。本研究所选的6个数量性状的遗传多样性指数均在1.5左右,变异系数范围在17.65%~61.00%,与张旭^[19]研究的马铃薯种质资源数量性状的变异系数范围基本相同,其中主茎数和分枝数的变异系数较大,与叶玉珍^[17]的研究结果略有不同,可能是试验地的气候和田间管理不同造成的。对42个马铃薯品种的数量性状进行相关性分析,结果表明,株高与茎粗、分枝数呈极显著正相关,与主茎数呈显著正相关,商品薯率与主茎数呈极显著负相关,与产量呈极显著正相关,其中株高与茎粗的相关性、商品薯率与产量的相关性,与韩志刚等^[20]的研究结果一致。笔者利用主成分分析法确定7个主成分的总方差累积贡献率为78.23%,低于李爽^[21]的研究结果,推测可能是马铃薯性状受基因和环境调控,多基因控制的性状在不同环境影响下表现型不同,造成了结果的不一致。

综上所述,晋北地区引进的马铃薯品种表型性状多样性丰富,6个质量性状和6个数量性状的遗传多样性指数大于1,涉及薯形、肉色、株高和产量等。相关性分析表明,株高与茎粗、分枝数呈极显著正相关,与主茎数呈显著正相关,商品薯率与产量呈极显著正相关。系统聚类分析确定了第Ⅲ类群是适宜在晋北地区种植的品种。尽管表型性状直观、调查方便,但易受环境、观测者主观意向、测量工具等因素的影响,且本研究的马铃薯性状评价是基于一年一点的试验数据,具有一定的局限性。因此,下一步工作计划增加分子标记指标、块茎品质指标和花粉育性指标,以期形成更加完整的评价体系,为进一步选择合适的育种亲本和品种推广奠定基础。

参考文献

- [1] BRADSHAW J E. Potato genetics: Avoiding or embracing tetrasomic inheritance[J]. Potato Breeding: Theory and Practice, 2021, 9: 53-121.
- [2] DEVAUX A, KROMANN P, ORTIZ O. Potatoes for sustainable global food security[J]. Potato Research, 2014, 57 (3/4): 185-199.
- [3] 程永芳,张明慧,巩楠,等.马铃薯种质资源遗传多样性分析及杂交子代SRAP鉴定[J].分子植物育种,2015,13(8):1757-1765.
- [4] 山西省农业农村厅,山西省统计局.山西省2022农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2023.
- [5] 山西省农业农村厅.山西省农业农村厅关于印发山西省“十四五”马铃薯产业发展规划的通知[EB/OL].(2022-10-28)[2023-04-14]. http://nynct.shanxi.gov.cn/sxnytwgk/sxsnync-txxgk/nynct/gknr/auto1235/zyglc/202301/t20230116_7810589.shtml.
- [6] 王永康,吴国良,赵爱玲,等.枣种质资源的表型遗传多样性[J].林业科学,2014,50(10):33-41.
- [7] SPANOGHE M, MARIQUE T, NIRSHA A, et al. Genetic diversity trends in the cultivated potato: A spatiotemporal overview[J]. Biology, 2022, 11(4): 604.
- [8] 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.
- [9] 王艳平,潘红,吴燕,等.基于表型性状和KASP标记的玉米DUS测试品种的聚类分析[J].江苏农业学报,2022,38(5):1171-1178.
- [10] 张嘉楠,吕小平,郝晨阳,等.北方冬麦区小麦抗旱种质资源遗传多样性分析[J].植物遗传资源学报,2010,11(3):253-259.
- [11] 颜瑞霞,张小川,吴林科,等.马铃薯种质资源主要品质性状分析与评价[J].分子植物育种,2020,18(20):6828-6836.
- [12] 何文,张秀芬,郭素云,等.基于主成分分析和聚类分析对22份马铃薯种质的综合评价[J].种子,2021,40(3):80-86.
- [13] 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.
- [14] 刘喜才.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.
- [15] 中华人民共和国农业农村部.植物品种特异性、一致性和稳定性测试指南:GB/T 19557.28—2018[S].北京:中国农业出版社,2018.
- [16] 段绍光,金黎平,李广存,等.马铃薯品种遗传多样性分析[J].作物学报,2017,43(5):718-729.
- [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.
- [18] 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].农学报,2020,10(1):13-21.
- [19] 张旭.基于表型性状及SRAP标记的马铃薯遗传多样性评价[D].太原:山西农业大学,2019.
- [20] 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.
- [21] 李爽,王雅平,牟彬,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.