植物遗传资源学报
Journal of Plant Genetic Resources DOI：10.13430/j.cnki.jpgr.20220923004

马铃薯营养品质变异特征及优异品系发掘

罗文彬[1]，许国春[1]，李华伟[1]，林志坚[1]，兰毓芳[2]，许泳清[1]，纪荣昌[1]，邱思鑫[1]，汤 浩[1]

（[1]福建省农业科学院作物研究所/农业部南方薯类科学观测实验站，福州 350013；[2]周宁县农业农村局，福建周宁 355400）

摘要：选育营养品质优良的马铃薯品种有利于加工行业的发展和人们日常膳食营养的丰富，也有利于供给侧种植结构的调整。蛋白质、维生素 C 和钾是马铃薯的重要营养品质性状。本研究以 118 份马铃薯后代品系为材料，研究了马铃薯蛋白质、维生素 C 和钾含量的遗传变异特征，以及 3 个品质性状间的相关性，并综合应用聚类分析和二维象限法进行优质品系发掘。分析表明，蛋白质、维生素 C 和钾含量的变异系数分别为 16.34%、26.01%和 14.19%，遗传多样性指数分别为 1.9744、1.9952 和 2.0411，显示这 3 个品质性状具有较广泛的遗传基础。相关性分析发现，马铃薯块茎蛋白质含量和钾含量呈极显著正相关。经聚类分析，可将 118 份品系分为 4 个类群，第Ⅰ类为低蛋白低维生素 C 低钾群体，第Ⅱ类为高维生素 C 低蛋白群体，第Ⅲ类为高蛋白高钾群体，第Ⅳ类为高维生素 C 高钾群体。在此基础上，应用二维象限分析筛选出 20 份兼具多个较高营养品质的马铃薯品系。本研究筛选出营养品质性状优良且适宜在福建省种植的马铃薯品种，为马铃薯高营养品质品种选育和品质形成基础研究提供有用材料。

关键词：马铃薯；品系；营养品质；遗传变异；筛选

Features and Variations of Potato Nutritional Components and Identification of Elite High-Quality Lines

LUO Wen-bin[1], XU Guo-chun[1], LI Hua-wei[1], LIN Zhi-jian[1], LAN Yu-fang[2], XU Yong-qing[1], JI Rong-chang[1], QIU Si-xin[1], TANG Hao[1]

(*[1]The Crop Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Tuber and Root Crops in South China, Ministry of Agriculture, Fuzhou, Fujian, 350013; [2]Agriculture and rural Bureau of Zhouning County, Fujian Zhouning, 355400*)

Abstract: Apart from facilitating the development of the potato processing industry and enriching the diets of people, breeding of potato varieties with good nutritional qualities also contributes to the adjustment of the national-wide planting structure. Protein, vitamin C and potassium (K) are important quality traits in potato. In this study, the genetic variation of protein, vitamin C and K and their interaction relationship in 118 potato breeding lines were assessed by cluster analysis and the two-dimensional quadrant method. The variable coefficient of protein, vitamin C and K content were 16.34%, 26.01% and 14.19%, respectively, and the genetic diversity index were 1.9744, 1.9952 and 2.0411, respectively. These indicated a broad genetic basis for protein, vitamin C and K content in this collection. The protein content was extremely significantly positively correlated with the K content in potatoes. The cluster analysis enabled the classification of 118 potato lines into four groups. The lines in groups I and II had lower protein content; the lines in group II had high vitamin C content; the lines in group III had the highest contents of protein and K; the lines in group IV had the highest vitamin C content. Twenty lines showing multiple high nutritional qualities were identified by two-dimensional quadrant analysis. Gained from these results, it is possible to identify potato varieties with high nutrition and suitable for planting in Fujian Province of P.

收稿日期：2022-09-23 修回日期：2022-11-02 网络出版日期：
URL：
第一作者研究方向为薯类作物遗传育种与栽培技术研究，E-mail : lwb9630@163.com
通信作者：汤浩，研究方向为薯类作物遗传育种与栽培技术研究，E-mail : tanghao9403@163.com
基金项目：福建省省属公益类科研院所基本科研专项（2020R1031004）；福建省种业创新与产业化工程（zycxny2021005）；固原市科技研发类计划项目（2021GYKYF041）
Foundation project: Basic Scientific Research Projects of Fujian Provincial Public Welfare Research Institutes(2020R1031004)；Fujian Seed Industry Innovation and Industrialization Project(zycxny2021005)；Guyuan Science and Technology Research and Development Program(2021GYKYF041).

R. China. This study might provide useful materials breeding and deciphering the mechanism of elite potato varieties with high nutritional value.

Key words: potato; breeding line; nutritional quality; genetic variation; screening

随着城镇化不断推进、居民生活水平不断提高以及人口老龄化的加速到来，社会对食物的消费需求逐渐从吃饱型向健康膳食型、功能型等方向转变[1]。马铃薯是我国重要的粮菜兼用作物，其不仅产量高而且营养全面丰富[2,3]，在保障居民营养健康方面发挥着重要作用[4,5]。维生素 C 和钾是马铃薯块茎中富含的营养素，是人类饮食中维生素 C 和钾的重要来源[2]。前人研究表明，马铃薯维生素 C 含量是苹果的 6.8 倍[6]，而人类钾日推荐摄食量的 18%可由马铃薯提供[7]。维生素 C 参与人体免疫球蛋白合成，可提高人体免疫力，加快血液凝固[3]；钾在酸解调节和体液平衡中起基础作用，有助于防范低钾血症、骨质疏松、高血压等疾病[7]。马铃薯蛋白属优质蛋白，因为其必需氨基酸占比高，特别是富含其它谷类作物缺乏的赖氨酸[8,9]。研究表明，马铃薯蛋白在控制人体血糖浓度、预防和治疗血栓性疾病等方面具有重要的潜在应用价值[10-12]。因此，选育高蛋白、高维生素 C 和高钾含量的马铃薯，一方面可丰富马铃薯品种资源类型，另一方面也符合当前人们的消费需求。

我国马铃薯育种工作始于 20 世纪 30 年代，长期以来，高产抗病是多数育种单位主要追求的育种目标[13,14]，经过几十年的积累，选育出一系列高产抗病新品种，如川芋 4 号[15]、渝马铃薯 1 号[16]、克新 19 号[17]、西芋 3 号[18]等。随着经济社会发展，淀粉、炸条、炸片等加工专用品种的选育工作逐步推开[19]，如东北农业大学选育出淀粉加工型马铃薯新品种东农 308[20]；内蒙古农业大学以培育适宜全粉、高淀粉、炸条、炸片等加工专用品种为目标，筛选出 5 个加工专用型马铃薯优异新品系[21]。近年来，在健康营养消费需求的推动下，高营养品质马铃薯品种选育开始受到部分育种工作者的关注[22-24]。陈昱利等[25]分析了 2005 年以来 38 个国审马铃薯品种品质性状的演变规律，发现新选育的品种具有向高蛋白和高维生素 C 含量发展的趋势。这一结果说明，育种家在考虑产量、抗病性、适应性等传统性状的同时，营养品质也逐渐成为后代品系评价中的重要参考性状。然而，相比高产、抗病或加工型品种，对营养功能型马铃薯新品种选育工作的投入依然十分有限，可推广应用的新品种较为匮乏。

综上，针对福建省马铃薯生产中优良种质资源缺乏，品质育种水平滞后的问题，本研究以 118 份马铃薯优良稳定品系为材料，首先进行蛋白质、维生素 C 和钾含量测定和遗传变异、相关性分析，明确这 3 个营养品质性状的遗传变异特征，其次应用聚类分析法开展高蛋白、高维生素 C 和高钾品系筛选，最终为营养功能型马铃薯新品种选育提供材料基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料与地点

试验以国内外高蛋白、高维生素 C 或高钾亲本资源杂交育成的后代品系为材料。根据生长势、块茎表型、生育期、产量等性状，经前期多年多点鉴定，筛选出 118 份优良稳定品系作为本试验研究对象（表 1），这些品系来源于 62 个杂交组合，遗传基础较丰富。试验在福建省农业科学院作物研究所现代农业科教基地进行（25°83′N，119°31′E），试验地属亚热带海洋性季风气候，土壤类型为沙壤土。

1.2 试验方法

采用田间随机区组试验设计，以当地主栽品种费乌瑞它为对照，每份品系为一小区，小区内按单垄单行方式种植 10 株材料，株距 23 cm，设置 3 次重复。施肥、灌溉及病虫害防治等管理措施参照当地常规方法进行。于收获期取各品系新鲜块茎样品，分别采用凯氏定氮法、2,6-二氯靛酚滴定法和火焰原子吸收光谱法测定块茎蛋白质、维生素 C 和钾含量。

1.3 数据处理和分析

运用 Excel 软件对供试群体的蛋白质含量、维生素 C 含量和钾含量的极值、平均值（X）、标准差（σ）、变异系数（*CV*）等进行计算。在此基础上，参考李嘉伟等[26]的方法计算遗传多样性指数：首先对各品质性状分别做 10 级分类处理，第 1 级为[Xi＜(X-2σ)]，每 0.5σ 为 1 级，至第 10 级为[Xi＞(X+2σ)]，再计算各级别内的品系数量占总数的比率（Pi），最后根据公式 $H'=-\sum Pi\times\ln Pi$ 计算遗传多样性指数（*H'*）。利用 SPSS 19.0 软件进行相关性分析，利用 Origin Pro 2016 进行聚类分析和图表绘制。根据聚类分析结果，以高蛋白质、高维生素 C 和高钾类群的平均值为标准，采用二维象限法挖掘兼具多个高营养品质性状的材料。

表 1　118 份马铃薯杂交后代品系名称及其编号

Table 1　Names and codes of 118 potato breeding lines.

序号 Number	品系 Breeding line	品系来源 Source of breeding line	品系编号 Code of breeding line
1	09173007	Huckleberry ×Congo	C1-1
2	09173033		C1-2
3	09173074		C1-3
4	09175039	Shetland Blue ×Congo	C2-1
5	09175040		C2-2
6	09175041		C2-3
7	09175043		C2-4
8	09176001	Congo ×Adirondack Blue	C3-1
9	09177048	Adirondack Blue ×Congo	C4-1
10	09178005	Adirondack Blue × Shetland Blue	C5-1
11	09178055		C5-2
12	09178056		C5-3
13	09178058		C5-4
14	09178060		C5-5
15	09178066		C5-6
16	09178095		C5-7
17	09178263		C5-8
18	09178604		C5-9
19	09179006	Adirondack Blue × All Blue	C6-1
20	09179008		C6-2
21	09181083	Kelly Blue ×All Blue	C7-1
22	09181087		C7-2
23	09182175	Kelly Blue ×Shetland Blue	C8-1
24	09183067	Kelly Blue × Adirondack Blue	C9-1
25	09183070		C9-2
26	09183071		C9-3
27	09183072		C9-4
28	09183074		C9-5
29	09183098		C9-6
30	09183100		C9-7
31	09183103		C9-8
32	09183105		C9-9
33	09188103	C62 ×C60	C10-1
34	09301117	C29 × 中薯 4 号	C11-1
35	09312134	C71 ×Kohahbuki	C12-1
36	09312138		C12-2
37	09319320	C78 ×ND860-2	C13-1
38	09322340	C78 × 中薯 3 号	C14-1
39	09325217	C79 ×Sable	C15-1
40	09328145	Calwhite × 中薯 3 号	C16-1

序号 Number	品系 Breeding line	品系来源 Source of breeding line	品系编号 Code of breeding line
41	09328200	Calwhite × 中薯 3 号	C16-2
42	09328208		C16-3
43	09329222	Carlita × 中薯 3 号	C17-1
44	09330151	Chieftain × 郑薯 6 号	C18-1
45	09334161	Disco × 中薯 3 号	C19-1
46	09334204		C19-2
47	09348374	Frisia × 郑薯 6 号	C20-1
48	09363376	Red Beauty × 郑薯 6 号	C21-1
49	09363381		C21-2
50	09363416		C21-3
51	09364362	Red Beauty × 中薯 3 号	C22-1
52	09364411		C22-2
53	09365417	Rose Gold × 中薯 3 号	C23-1
54	09366368	Sable×郑薯 6 号	C24-1
55	09366406		C24-2
56	09366407		C24-3
57	09378245	转心乌 ×F93043	C25-1
58	09407078	Jupiter × 卡它丁	C26-1
59	09410188	中薯 5 号 × 转心乌	C27-1
60	09411190	转心乌 ×C51	C28-1
61	09412174	转心乌 ×Kondor	C29-1
62	09417096	Atlantic ×GD1	C30-1
63	09424039	富薯 1 号 ×11933-1	C31-1
64	09424071		C31-2
65	09424077		C31-3
66	09424083		C31-4
67	09424097		C31-5
68	09424300		C31-6
69	09218263	C66 ×C82	C32-1
70	2011-10-007	H45 ×H65	C33-1
71	2011-01-013	M15 ×H32	C34-1
72	2011-15-003	M42 ×H45	C35-1
73	2011-19-003	M43 ×M10	C36-1
74	2011-21-004	Ca16 ×M42	C37-1
75	2011-21-005		C37-2
76	2011-21-006		C37-3
77	2011-21-008		C37-4
78	2011-03-014	H72 ×M42	C38-1
79	2011-46-026	H2 ×M8	C39-1
80	2011-46-027		C39-2

序号 Number	品系 Breeding line	品系来源 Source of breeding line	品系编号 Code of breeding line
81	2011-46-111	H2 ×M8	C39-3
82	2011-47-054	M48 ×M37	C40-1
83	2011-54-003	H66 ×M55	C41-1
84	201201012	H66 ×M20	C42-1
85	201201033		C42-2
86	201202005	M42 ×M37	C43-1
87	201202019		C43-2
88	201205027	M60 ×M37	C44-1
89	201205032		C44-2
90	201205041		C44-3
91	201207004	M65 ×M20	C45-1
92	201207008		C45-2
93	201208012	M19 ×M20	C46-1
94	201208016		C46-2
95	201209017	H42 ×M26	C47-1
96	201209027		C47-2
97	201209028		C47-3
98	201210002	M42 ×M20	C48-1
99	201210010		C48-2
100	201211008	M60 ×M20	C49-1
101	201211018		C49-2
102	201212005	H7 ×M20	C50-1
103	201212017		C50-2
104	201212024		C50-3
105	201212029		C50-4
106	08030001	Chieftain ×Kondor	C51-1
107	08034002	Kondor × 金冠	C52-1
108	08043005	转心乌 × Redsen	C53-1
109	08047016	中薯 3 号 ×Redsen	C54-1
110	08048005	中薯 3 号 ×Adora	C55-1
111	08051001	Keswick ×River John Blue	C56-1
112	08056008	Lady Rosetta ×Kennebec	C57-1
113	08056010		C57-2
114	08061006	Desiree × 卡它丁	C58-1
115	08067001	Asterix ×Felsina	C59-1
116	08085008	金冠 ×389746.2	C60-1
117	08111080	Hertha × 金冠	C61-1
118	08109001	高原 4 号 ×387415.13	C62-1

注：品系编号以字母“C”开头，“-”前后数字分别表示组合号和品系号。

Note: The code of breeding line start with the letter “C”, the numbers before and after “-” represent the cross combination number and breeding line number, respectively.

2　结果分析

2.1　蛋白质、维生素 C 和钾含量的频数分布和遗传变异

由图 1 可知，118 份马铃薯后代品系的蛋白质含量大部分介于 9%～13%之间，共有 93 份，占所有品系的 78.8%；共有 91 份后代品系的维生素 C 含量介于 0.15～0.30 mg/g 之间，占所有品系的 77.1%；而 53.4%的后代品系的钾含量在 2.2%～2.6%之间。此外，蛋白质、维生素 C 和钾含量高于对照费乌瑞它的品系分别有 39 份、71 份和 41 份。变异分析结果表明，3 个品质性状的变异范围为 14.19%～26.01%，遗传多样性指数介于 1.9744～2.0411 之间，其中维生素 C 含量的变异系数最高，而钾含量的遗传多样性指数最高（表 2）。

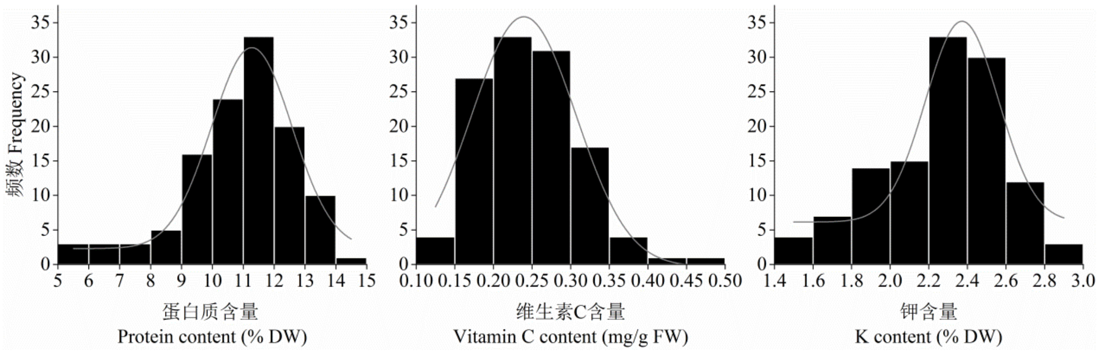

图 1　118 份后代品系蛋白质、维生素 C 和钾的频数分布

Fig.1　Frequency distribution of protein, vitamin C and K of 118 breeding lines.

表 2　118 份后代品系块茎蛋白质、维生素 C 和钾的遗传变异情况

Table 2　Variation of protein, vitamin C and K of 118 breeding lines.

品质性状 Quality trait	对照	后代品系					
		最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	标准差 *SD*	变异系数(%) *CV*	遗传多样性指数 H’
蛋白质 Protein	11.73	5.65	14.25	10.88	1.78	16.34	1.9744
维生素 C Vitamin C	0.23	0.13	0.46	0.25	0.06	26.01	1.9952
钾 K	2.42	1.44	2.98	2.27	0.32	14.19	2.0411

2.2　品质性状相关性分析

118 份马铃薯后代品系蛋白质、维生素 C 和钾含量两两之间的相关性分析结果如图 2 所示。从图中易知，蛋白质含量与钾含量之间存在极显著正相关关系，相关系数为 0.586；而其它品质性状两两之间的相关性均未达显著水平（图 2）。由此可知，马铃薯品种的蛋白质含量越高其钾含量相对越高，而维生素 C 含量与钾含量、蛋白质含量之间没有相关性，因此在维生素 C 含量育种改良过程中，不会造成马铃薯其它品质性状的大幅度变异。

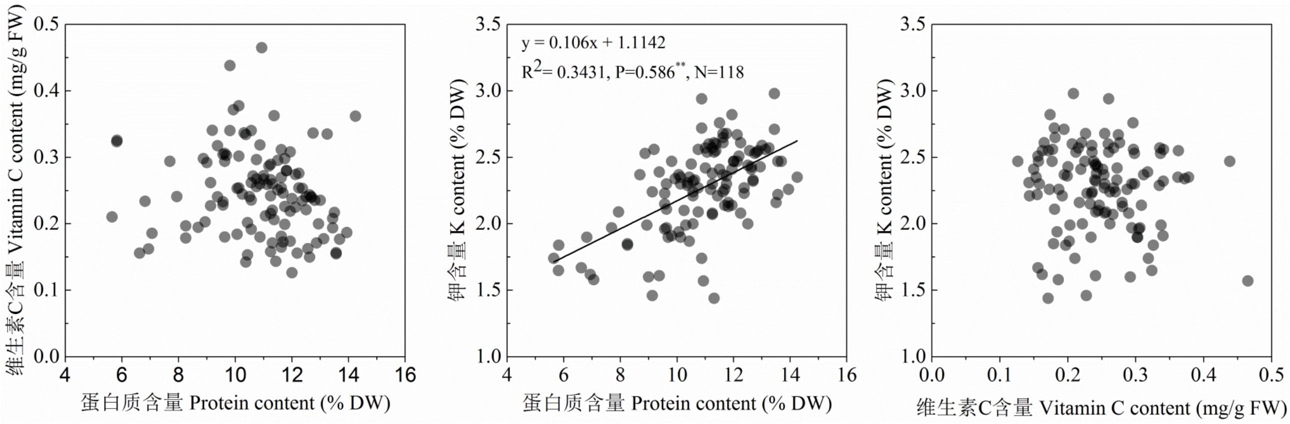

图 2　马铃薯块茎蛋白质、维生素 C 和钾含量之间的相关关系

Fig.2　The relationship among content of protein, vitamin C and K in potato.

2.3　品质性状聚类分析

对 118 份马铃薯后代品系的 3 个品质性状进行聚类分析，供试材料可划分为 4 个类群（图 3）。第Ⅰ类群包含 7 份品系，数量在 4 个类群中最少，该类群所含品系表现为蛋白质、维生素 C 和钾含量均在最低水平（图 4），因此该群体不适宜筛选高营养品质品系；第Ⅱ类群共有 13 份品系，主要特征为维生素 C 含量较高，蛋白质含量、钾含量较低（图 4）；第Ⅲ类群所含品系数量为 25 份，该类群具有最高的蛋白质含量和钾含量，平均值分别为 13.01%和 2.42%（图 4）；第Ⅳ类群的品系数量最多为 73 份，该类群具有最高的维生素 C 含量，平均值为 0.26 mg/g（图 4）。

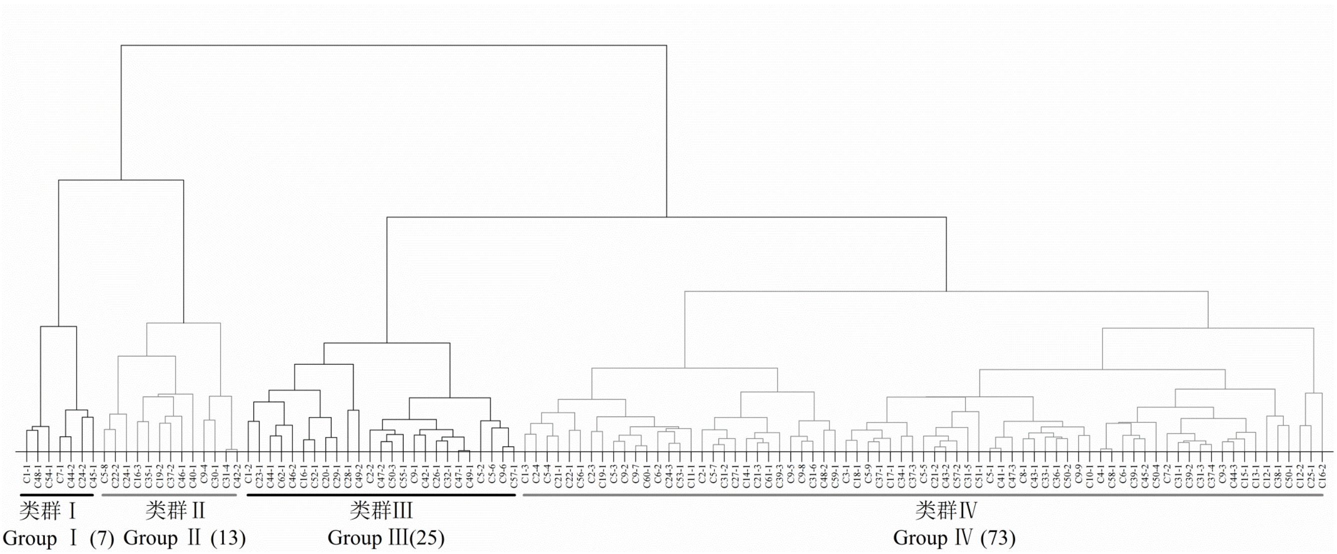

图 3　基于 118 份后代品系蛋白质含量、维生素 C 含量和钾含量的聚类分析结果

Fig. 3　Cluster analysis diagram of protein, vitamin C, K in 118 breeding lines.

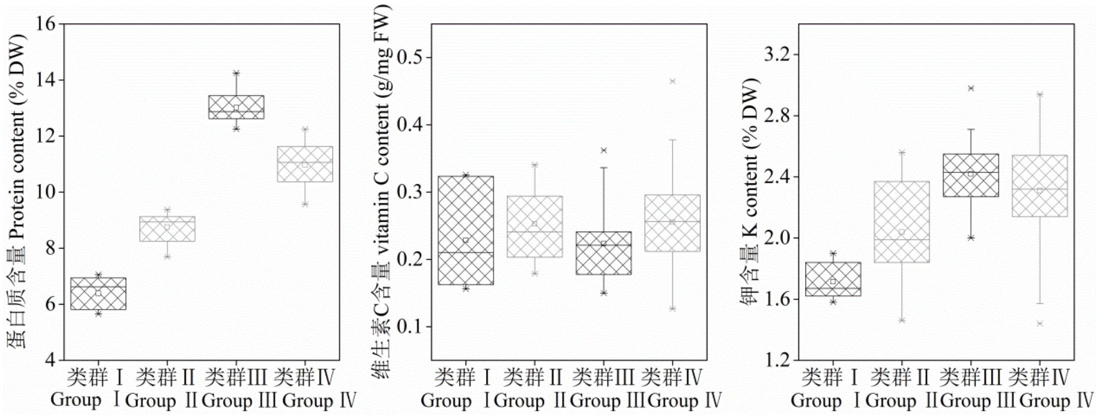

图 4　各类群蛋白质、维生素 C 和钾含量的平均表现

Fig.4　The average of protein, vitamin C and K in different group.

2.4　优质新品系发掘

根据 3 个品质性状测定结果排序，筛选获得 6 份在单个品质上表现特异的品系，分别为 1 份高蛋白（＞14%）、2 份高维生素 C（＞0.40 mg/g）和 3 份高钾（＞2.8%）品系（表 3）。由前述可知，高蛋白质、高维生素 C 和高钾类群的平均值分别为 13.01%、0.26 mg/g 和 2.42%，以此为标准利用二维象限法进一步筛选兼具多个较高品质性状的优质新品系。在 118 份后代品系中，筛选获得 1 份高蛋白、高维生素 C 和高钾品系 C46-2；1 份高蛋白、高维生素 C 品系 C29-1；5 份高蛋白、高钾品系，分别为 C1-2、C20-1、C23-1、C29-1 和 C44-1；13 份高钾、高维生素 C 品系，分别为 C2-2、C7-2、C9-3、C12-1、C13-1、C16-3、C19-2、C31-5、C34-1、C37-3、C39-2、C48-2 和 C50-1。各类品系的品质性状含量见表 3。

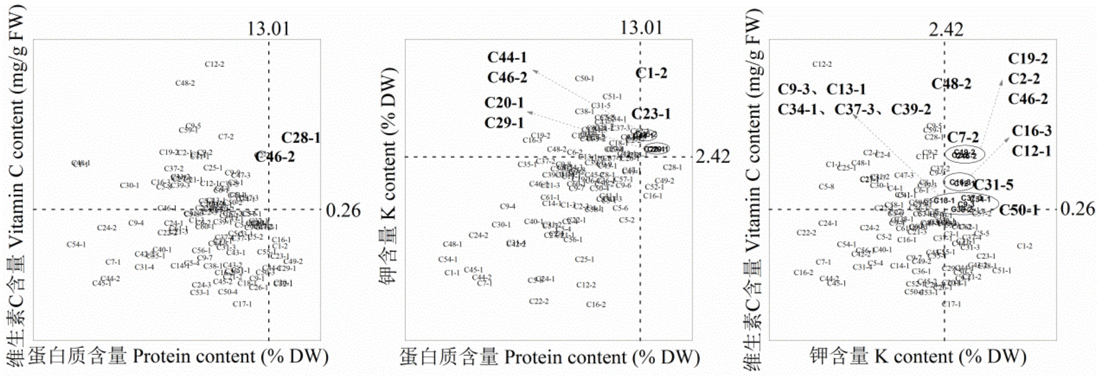

图 5　基于二维象限法的优质新品系发掘结果

Fig.5　The screening results of elite quality breeding lines based on two-dimensional quadrant method.

表 3　优质新品系及其相关品质成分的含量

Table 3　The elite quality lines and their related quality components content.

类型 Type	数量 Number	品系编号 Code of breeding line	蛋白质含量 Protein content (% DW)	维生素 C 含量 Vitamin C content (mg/g FW)	钾含量 K content (% DW)
高蛋白 High protein	1	C28-1	14.25	—	—
高维生素 C High vitamin C	2	C12-2	—	0.46	—
		C48-2	—	0.44	—
高钾	3	C1-2	—	—	2.98

High K		C50-1	—	—	2.94
		C51-1	—	—	2.82
高蛋白、高维生素 C、高钾 High protein, High vitamin C, High K	1	C46-2	13.25	0.34	2.57
高蛋白、高维生素 C High protein, High vitamin C	1	C28-1	14.25	0.36	—
高蛋白、高钾 High protein, High K	5	C1-2、C20-1、C23-1、C29-1、C44-1	13.13-13.69	—	2.47-2.98
高维生素 C、高钾 High vitamin C, High K	13	C2-2、C7-2、C9-3、C12-1、C13-1、C16-3、C19-2、C31-5、C34-1、C37-3、C39-2、C48-2、C50-1	—	0.26-0.44	2.42-2.94

3 讨论

蛋白质、维生素 C 和钾是马铃薯的重要品质性状，其中蛋白质营养价值高，拥有较丰富的赖氨酸，可弥补水稻、小麦等主粮赖氨酸含量低的不足；而马铃薯是人类饮食中维生素 C 和钾的主要来源之一[2,12]。众多理论研究和育种实践表明，为选育具有目标性状的新品种，明确该性状的遗传变异情况至关重要[14,23,27]。本研究利用变异系数和遗传多样性指数对马铃薯蛋白质、维生素 C 和钾含量的变异特征进行了分析，结果发现这 3 个品质性状的变异幅度和遗传多样性指数均较高，这与前人研究结果相似[22,28]。这一结果显示，本研究选取的 118 份后代品系在蛋白质、维生素 C 和钾含量方面类型多样，具备较广阔的遗传背景，改良潜力大，为发掘优质新品系提供了较大可能。另外，3 个品质性状之间的变异系数变化趋势与遗传多样性指数并不一致，如变异系数最低的性状钾含量遗传多样性指数却最高，在万述伟等[29]和陈红霖等[30]的研究中也有相同发现，表明这两个评价指标的变化趋势并不具备统一性。

品质的形成与作物协同有序的初生或次生代谢过程紧密相关，不同品质性状在形成过程中可能相互影响，阐明作物品质性状间的协同变化关系，可为优质品种的选育提供理论支持[1]。本研究利用相关性分析方法，分析了马铃薯蛋白质、维生素 C 和钾的相互关系，发现马铃薯蛋白质含量和钾含量存在极显著的正相关关系，暗示选育兼具高蛋白含量和高钾含量的马铃薯新品种可能性较大。虽然本研究筛选获得了数量最多的兼具高维生素 C 含量和高钾含量的马铃薯新品系，但是并未发现维生素 C 含量和钾含量存在明显关系。前人研究指出，马铃薯采收后块茎的维生素 C 降解较快，而且降解速率在不同品种之间表现出较大差异[31]，这个现象可能对马铃薯维生素 C 和钾的真实关系造成影响。

要从数量较大的群体中筛选携带目标性状的材料，聚类分析是一种行之有效的统计学方法，在很多作物中得以运用[32,33]。王自力等[34]应用聚类分析将 296 份大豆品系的蛋白质含量分为 6 个类别，基此筛选得到蛋白差异种质；陈红霖等[30]综合分析了 481 份绿豆种质的 9 个质量性状和 12 个数量性状，利用聚类分析将这些种质材料分为四大类群，由此获得优异亲本材料。本研究利用聚类分析方法，将 118 份马铃薯后代品系分为低蛋白低钾、高维生素 C、高蛋白高钾以及高维生素 C 高钾等 4 个类群，为筛选优质育种材料提供了参考。近年来，众多学者基于单个品质性状开展了优质马铃薯筛选工作，但是对马铃薯的综合营养性研究相对较少。育种时应根据育种目标，在具有突出育种特性的类群间进行选择，在类群内选择特定变异的同时，应适当加强多性状的综合选择。然而聚类分析在筛选多目标性状材料方面存在不足，两个性状可能无法聚合到相同类别中，在性状较少的情况下，二维象限法可较好的弥补这一缺陷。

本研究在聚类分析的基础上，根据单项指标排序和二维象限法分析结果，从 118 份后代品系中发掘出 6 份在单个品质上表现特异和 20 份兼具多个较高营养品质的优质新品系。参考前人对马铃薯品种资源蛋白质

含量（9.03% DW）[35]、维生素 C 含量（0.16 mg/g FW）[28]和钾含量（2.14% DW）[35]的测定结果，亦可知本研究筛选出的优质新品系在这 3 个品质性状上的表现较为优异。需要强调的是，作物品质是受遗传因素和环境条件共同调控的复杂性状[1]，为进一步验证本研究获得的优质新品系的品质表现，后期将以此为基础，结合形态学标记和分子标记进行多年多点试验鉴定，最终为营养功能型马铃薯新品种的选育提供有用材料。

参考文献：

[1] 邓祝云，曲乐庆，巫永睿，张劲松，王台. 作物品质研究现状与展望[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(10): 1405-1414.
Deng Z Y, Qu L Q, Wu Y R, Zhang J S, Wang T. Current progress and prospect of crop quality research [J]. Sci Sin Vitae, 2021, 51: 1405–1414.(in Chinese)

[2] Camire M E, Kubow S, Donnelly D J. Potatoes and human health [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2009, 49: 823-840.

[3] 曾凡逵，许丹，刘刚. 马铃薯营养综述[J]. 中国马铃薯, 2015, 29(04): 233-243.
Zeng F K, Liu D, Liu D. Potato nutrition: a critical review[J].Chinese Potato, 2015, 29(04): 233-243. (in Chinese)

[4] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2015, (03): 1-7.
Lu X P. Strategy of potato as staple food: significance, bottlenecks and policy suggestion[J].Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2015, (03): 1-7. (in Chinese)

[5] 陈萌山，王小虎. 中国马铃薯主食产业化发展与展望[J]. 农业经济问题, 2015, 36(12): 4-11.
Chen M S, Wang X H. Development and prospect of potato staple food industrialization in China[J].Issues in Agricultural Economy, 2015, 36(12): 4-11. (in Chinese)

[6] Kim Y, Kim H, Bae S, et al. Vitamin C is an essential factor on the anti-viral immune responses through the production of interferon-a/β at the initial stage of influenza a virus (H_3N_2) infection [J]. Immune Netw, 2013, 13(2): 70-74.

[7] Larsson S C, Virtanen M J, Mars M, et al. Magnesium, Calcium, Potassium, and Sodium Intakes and Risk of Stroke in Male Smokers [J]. Archives of Internal Medicine, 2008, 168(5): 459-465.

[8] Waglay A, Karboune S, Alli I. Potato protein isolates: Recovery and characterization of their properties [J]. Food Chemistry, 2014, 142: 373-382.

[9] 单洪波，史佳文，石 瑛. 四倍体马铃薯块茎蛋白含量分子标记的开发与验证[J]. 作物学报, 2018, 44(7): 1095-1102.
Shan H B, Shi J W, Shi Y. Development and validation of molecular marker for protein content in tetraploid potato tuber[J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(7): 1095-1102. (in Chinese)

[10] Blanco-Aparicio C, Molina M A, Fernandez-Salas E, et al. Potato carboxypeptidase inhibitor, a T-knot protein, is an epidermal growth factor antagonist that inhibits tumor cell growth [J]. Journal of Biological Chemistry, 1998, 273(20): 12370-12377.

[11] Pots A M, Gruppen H, Diependeek R, et al. The effect of storage of whole potatoes of three cultivars on the patatin and protease inhibitor content; a study using capillary electrophoresis and MALDI-TOF mass spectrometry [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79(12): 1557-1564.

[12] Hussain M, Qayum A, Zhang X X,, et al. Potato protein: An emerging source of high quality and allergy free protein, and its possible future based products [J]. Food Research International, 2021, 148: 110583.

[13] 汤浩，蔡南通，罗文彬，吴秋云，邱永祥，许泳清，李光星. 福建马铃薯育种研究现状与发展对策[J]. 中国农学通报, 2007, (08): 615-618.
Tang H, Cai N T, Luo W B, Wu Q Y, Qiu Y X, Xu Y Q, Li G X. Potato breeding and development in fujian province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, (08): 615-618. (in Chinese)

[14] 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.
Xu J F, Jin L P. Advances and perspectives in research of potato genetices and breeding[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(6): 990-1015. (in Chinese)

[15] 梁远发. 马铃薯抗病、高产新品种川芋 4 号的选育[J]. 中国马铃薯, 1999, (02): 124.
Liang Y F. Breeding of a new potato variety chuangyu 4 with disease resistance and high yield[J]. Chinese Potato, 1999, (02): 124. (in Chinese)

[16] 何清. 抗病高产新品种"渝马铃薯 1 号"的选育[J]. 中国马铃薯, 2002, (06): 381.
He Q. Breeding of a new disease resistant and high-yield variety 'Yu Potato No.1' [J]. Chinese Potato, 2002, (06): 381. (in Chinese)

[17] 盛万民，曹淑敏，李成军，牛志敏，李凤云，金光辉，于天峰，王立春. 高产抗病鲜食马铃薯品种克新 19 号[J]. 中国马铃薯, 2006, (05): 320.
Sheng W M, Cao S M, Li C J, Niu Z M, Li F Y, Jin G H, Yu T F, Wang L C. A high-yield and disease resistant fresh potato variety[J].Chinese Potato, 2006, (05): 320. (in Chinese)

[18] 李佩华，彭正松，夏明忠，蔡光泽，袁颖，方志荣，曲继鹏，清源. 高产、抗病、广适马铃薯新品种'西芋 3 号'[J]. 园艺学报，2021, 48(10): 2115-2116.
Li P H, Peng Z S, Xia M Z, Cai Z Z, Yuan Y, Fang Z R, Qu J P, Qing Y. Adaptable, high yield and disease resistant potato cultivar 'xiyu 3'[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2021, 48(10): 2115-2116. (in Chinese)

[19] 刘娟，梁延超，隋景航，余斌，王润润，张小微，程李香，王玉萍，张峰. 马铃薯块茎蒸煮品质、质构特性及加工型品系筛选[J].中国农业科学, 2016,49(21): 4074-4084.

Liu J, Liang Y C, Siu J H, Yu B, Wang R R,Zhang X W, Cheng L X, Wang Y P, Zhang F. Screening for cooking-processing potato lines according to potato tuber qualities and properties[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016,49(21): 4074-4084. (in Chinese)

[20] 石瑛，张丽莉，魏峭嵘，秦昕．淀粉加工型马铃薯新品种东农 308 的选育[J]．中国蔬菜, 2014, (02): 54-56.

Shi Y, Zhang L L, Wei Q R, Qin X.A new starch processing type potato variety-‘dongnong 308’ [J]. China Vegetables, 2014, (02): 54-56. (in Chinese)

[21] 王丹．专用型马铃薯优良新品系选育研究[D]．呼和浩特：内蒙古农业大学, 2016.

Wang D. Research on breeding excellent new strains of special potato[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University,2016. (in Chinese)

[22] 文国宏，李高峰，李建武，张荣，马胜，贾小霞．陇薯系列马铃薯品种营养品质评价及相关性分析[J]．核农学报, 2018, 32(11): 2162-2169.

Wen G H, Li G F, Li J W, Zhang R, Ma S, Jia X X. Nutrition quality evaluation and correlation analysis of longshu potato varieties named with series[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(11): 2162-2169. (in Chinese)

[23] 罗文彬，李华伟，许国春，许泳清，林志坚，纪荣昌，邱思鑫，汤浩．冬作马铃薯后代品系营养品质评价[J]．福建农业学报, 2021, 36(07): 742-749.

Luo W B, Li H W, Xu G C, Xu Y Q, Li Z J, Ji R C, Qiu S X, Tang H. Nutritional quality of winter-potato progenies[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2021, 36(07): 742-749. (in Chinese)

[24] Spear R.R, Novy R G. Whitworth J L, et al. Galena russet: a long dormancy, dual-purpose potato cultivar exhibiting low asparagine, cold-sweetening resistance, and enhanced protein content [J]. American Journal of Potato Research, 2021, 98: 51-63.

[25] 陈昱利，杨平，巩法江，毕海滨，高明慧．2005 年以来国家审定马铃薯品种主要农艺和品质性状演变规律研究[J]．农业科技通讯，2019，(04): 78-82.

Chen Y L, Yang P, Gong F J, Bi H B, Gao M H. Study on the evolution law of main agronomic and quality characters of potato cultivars approved by the state since 2005[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2019, (04): 78-82. (in Chinese)

[26] 李嘉伟，苏江硕，张飞，房伟民，管志勇，陈素梅，陈发棣．基于表型性状构建传统菊花核心种质[J]．中国农业科学, 2021, 54(16): 3514-3526.

Li J W, Su J S, Zhang F, Fang W M, Guan Z Y, Chen S M, Chen F D. Construction of core collection of traditional *Chrysanthemum morifolum* based on phenotypic traits[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(16): 3514-3526. (in Chinese)

[27] Ganguly D R, Hickey, L T, Crisp P A. Harnessing genetic variation at regulatory regions to fine-tune traits for climate-resilient crops [J]. Molecular Plant, 2022, 15(2): 222-224.

[28] 吴琪滢，李德明，郭志乾，何萍．西北地区不同马铃薯种质资源产量和营养品质综合分析与评价[J]．中国马铃薯, 2021, 35(6): 489-499.

Wu Q Y, Li D M, Guo Z Q, He P. Comprehensive analysis and evaluation of yield and nutritional quality of different potato germplasm resources in northwest china[J]. Chinese Potato, 2021, 35(6): 489-499. (in Chinese)

[29] 万述伟，宋凤景，郝俊杰，张晓艳，李红卫，邵阳，赵爱鸿．271 份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]．植物遗传资源学报，2017，18(1): 10-18.

Wan S W, Song F J, Hao J J, Zhang X Y, Li H W, Shao Y,Zhao A H. Genetic diversity of agronomic traits in 271 pea germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(1): 10-18. (in Chinese)

[30] 陈红霖，胡亮亮，杨勇，郝曦煜，李姝彤，王素华，王丽侠，程须珍. 481 份国内外绿豆种质农艺性状及豆象抗性鉴定评价及遗传多样性分析[J]．植物遗传资源学报, 2020, 21(3): 549-559.

Chen H L, Hu L L, Yang Y, Hao X Y, Li S T, Wang S H, Wang L X, Cheng X Z. Evaluation and genetic diversity analysis of agronomic traits and bruchid resistance using 481 worldwide mungbean germplasms[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(3): 549-559. (in Chinese)

[31] 巩慧玲，赵萍，杨俊峰．马铃薯块茎贮藏期间蛋白质和维生素 C 含量的变化[J]．西北农业学报, 2004, (01): 49-51.

Gong H L, Zhao P, Yang J F. Studies on the content changes of protein and vitamin C during potato storage[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica. 2004, (01): 49-51. (in Chinese)

[32] 郝曦煜，杨涛，梁杰，郭文云，肖焕玉，王英杰，马信飞，刘婷婷，宗绪晓. 160 份外引鹰嘴豆种质主要农艺性状的遗传多样性分析[J]．植物遗传资源学报, 2020, 21(4): 875-883.

Hao X Y, Yang T, Liang J, Guo W Y, Xiao H Y, Wang Y J, Ma X F, Liu T T, Zong X X. Genetic diversity analysis of major agronomic traits in 160 introduced chickpea(*Cicer arietinum L.*) germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(4): 875-883. (in Chinese)

[33] 许国春，罗文彬，李华伟，许泳清，纪荣昌，张鸿，邱思鑫，汤浩．马铃薯叶片光合效率遗传变异分析及高光效种质筛选[J]．园艺学报，2021, 48(11): 2239-2250.

Xu G C, Luo W B, Li H W, Xu Y Q, Ji R C, Zhang H, Qiu S X, Tang H. Screening for genetic variation in photosynthesis and high photosynthetic efficiency germplasm in potato[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2021, 48(11): 2239-2250. (in Chinese)

[34] 王自力，郭呈宇，张吉顺，孙峰峦，李忠洋，何小红，孔杰杰，盖钧镒，赵团结．江淮地区大豆籽粒高蛋白含量新品系的发掘与遗传关系分析[J]．中国油料作物学报, 2015, 37(6):780-788.

Wang Z L, Guo C Y, Zhang J S, Sun F L, Li Z Y, He X H, Kong J J, Gai J Y, Zhao T J. Identification and genetic relationship of elite soybean lines with high seed protein content in Yangtze-Huai River Valleys[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2015, 37(6): 780-788. (in Chinese)

[35] 罗文彬，李华伟，许泳清，林志坚，纪荣昌，邱思鑫，汤 浩．冬作区马铃薯种质资源的引进与评价[J].福建农业学报, 2017, 32(1): 36-41.

Luo W B, Li H W, Xu Y Q, Lin Z J, Ji R C, Qiu S X, Tang H. Introduction and evaluation of winter-potato germplasms [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2017, 32(1): 36-41.