中国农业大学学报 2026,31(11):151-162
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

马利雯,丁宁,王树林,李建武,贾小霞,王蕊蕊,齐恩芳,孙超.255份马铃薯种质资源的营养品质评价[J].中国农业大学学报,2026,31(11):151-162.
MA Liwen, DING Ning, WANG Shulin, LI Jianwu , JIA Xiaoxia, WANG Ruirui, QI Enfang, SUN Chao. Evaluation of nutritional quality in 255 potato germplasm resources[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(11): 151-162.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.11.11

255份马铃薯种质资源的营养品质评价

马利雯[1,2] 丁 宁[2,3] 王树林[2,3] 李建武[2,3] 贾小霞[2,3] 王蕊蕊[1,2]
齐恩芳[1,2,3*] 孙 超[4*]

(1.甘肃农业大学 农学院,兰州 730070;
2.甘肃省农业科学院 马铃薯研究所/甘肃省马铃薯种质资源创新工程实验室,兰州 730070;
3.国家种质资源渭源观测实验站,甘肃 渭源 748201;
4.甘肃农业大学 干旱生境作物学国家重点实验室,兰州 730070)

摘 要 为筛选适宜甘肃高寒阴湿区种植的专用型马铃薯种质资源,选用255份马铃薯种质为参试材料,采用近红外光谱分析技术测定马铃薯块茎的干物质、淀粉、蛋白质、还原糖、维生素C和粗纤维的含量,结合主成分分析与隶属函数法开展核心营养品质指标的综合评价。结果表明:参试种质的各营养品质指标存在显著遗传变异,其中还原糖含量的变异系数(CV)最大,为48.39%,蛋白质含量的CV最小,为4.35%。主成分分析表明,参试材料的营养品质可以干物质、维生素C和蛋白质含量为代表性指标的3个主成分来反映,其累积贡献率达82.14%。基于隶属函数法分析,营养品质综合评价值(D)排名前3的依次为'CIP304349.8'、'CIP302534.17'和'CIP800923'。此外,$D\geqslant0.60$的种质有20份,约占参试材料的7.8%。再结合营养品质指标阈值筛选出适宜不同用途的优异种质材料:适合油炸型种质13份,分别为'CIP304349.8''CIP800923''CIP312735.105''CIP312507.311''云薯603''CIP399085.30''Зоряный''CIP309064.76''CIP304379.11''CIP312751.021''CIP703330''CIP309062.77''Заводский';适合鲜食型种质3份,分别为'CIP309062.77''CIP397039.51''CIP309043.123';适合淀粉加工型种质10份,分别为'CIP304349.8''CIP302534.17''CIP309103.85''CIP312735.105''CIP309062.77''CIP389447.5''CIP312507.311''云薯603''CIP399085.30''云薯701'。综上,通过主成分分析与隶属函数法综合分析,成功筛选出适配甘肃高寒阴湿区的专用型马铃薯优异种质,其中适宜油炸型13份、鲜食型3份、淀粉加工型10份,为该区域马铃薯品种改良、专用化栽培及产业升级提供了科学依据与优质种质资源支撑。

关键词 马铃薯;种质资源;营养品质;主成分分析;隶属函数法;甘肃寒旱区
中图分类号 S532 **文章编号** 1007-4333(2026)11-0151-12 **文献标志码** A

Evaluation of nutritional quality in 255 potato germplasm resources

MA Liwen[1,2], DING Ning[2,3], WANG Shulin[2,3], LI Jianwu [2,3], JIA Xiaoxia[2,3],
WANG Ruirui[1,2], QI Enfang[1,2,3*], SUN Chao[4*]

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;
2. Potato Research Institute/Gansu Engineering Laboratory of Potato Germplasm Resources Innovation, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;
3. National Germplasm Resources Agricultural Experimental Station, Weiyuan 748201, China;
4. State Key Laboratory of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

收稿日期:2025-12-12;接受日期:2026-03-21
基金项目:国家自然科学基金(32260480);兰州市科技计划科技支撑专项(2024-8-38);甘肃省农业科学院科研结余资金项目(2024MLS03)
第一作者:马利雯(ORCID:0009-0001-0887-2095),硕士研究生,E-mail:1832392705@qq.com
通讯作者:齐恩芳(ORCID:0000-0001-8767-4996),研究员,主要从事马铃薯种质资源与遗传育种研究,E-mail:qefang@126.com
孙超(ORCID:0009-0007-8719-9970),副教授,主要从事马铃薯遗传育种研究,E-mail:sunc@gsau.edu.cn

Abstract To screen specialized potato germplasm resources suitable for cultivation in the cold and humid high-altitude areas of Gansu Province, 255 potato germplasms were used as test materials. The contents of dry matter, starch, protein, reducing sugar, vitamin C, and crude fiber in potato tubers were determined using near-infrared spectroscopy (NIRS). A comprehensive evaluation of the core nutritional quality indicators was then conducted by combining principal component analysis (PCA) with the membership function method. The results indicated that significant genetic variation existed in all nutritional quality traits of the tested germplasms. Among these traits, the coefficient of variation (CV) for reducing sugar content was the largest (48.39%), while that for protein content was the smallest (4.35%). Principal component analysis (PCA) revealed that the nutritional quality of the tested materials could be represented by three principal components, with dry matter, vitamin C, and protein contents serving as representative indicators, which together accounted for a cumulative contribution rate of 82.14%. Based on the membership function method, the top three accessions with the highest comprehensive nutritional quality evaluation values (D) were 'CIP304349.8', 'CIP302534.17', and 'CIP800923'. In addition, 20 germplasms had $D \geqslant 0.60$, accounting for approximately 7.8% of the tested materials. Combined with the threshold values of nutritional quality traits, elite germplasms suitable for different end-uses were further selected. Specifically, 13 germplasms were identified as suitable for frying, including 'CIP304349.8', 'CIP800923', 'CIP312735.105', 'CIP312507.311', 'Yunshu 603', 'CIP399085.30', 'Зоряный', 'CIP309064.76', 'CIP304379.11', 'CIP312751.021', 'CIP703330', 'CIP309062.77', and 'Заводский'. Three germplasms were suitable for fresh consumption, namely 'CIP309062.77', 'CIP397039.51', and 'CIP309043.123'. For starch processing, 10 germplasms were selected, i.e., 'CIP304349.8', 'CIP302534.17', 'CIP309103.85', 'CIP312735.105', 'CIP309062.77', 'CIP389447.5', 'CIP312507.311', 'Yunshu 603', 'CIP399085.30', and 'Yunshu 701'. In summary, through a comprehensive analysis combining principal component analysis and the membership function method, elite potato germplasms specially adapted to the alpine humid areas of Gansu Province were successfully screened. Among these, 13 accessions were identified as suitable for frying, 3 for fresh consumption, and 10 for starch processing. This study provides a scientific basis and high-quality germplasm resources to support variety improvement, specialized cultivation, and industrial upgrading of potato production in this region.

Keywords potato; germplasm resources; nutritional quality; principal component analysis; membership function method; cold and arid regions of Gansu Province

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是全球四大粮食作物,在保障国家粮食安全方面发挥着重要的作用[1]。然而,我国马铃薯产业面临突出的结构性发展难题[2],品种结构失衡是制约产业高质量发展的首要问题,加工专用型品种占比不足10%[3]。甘肃高寒阴湿生态区是我国重要的马铃薯生产基地,但适应当地高寒阴湿生态环境的加工专用种质资源稀缺,从其他国家和地区引进的优质马铃薯品种普遍存在适应性差、病虫害加剧和产量稳定性差等问题[4]。严重制约了区域马铃薯加工产业的发展。因此,筛选适配区域生态条件的专用型优异种质,对于推动该区域马铃薯产业提质增效具有重要的意义。

马铃薯块茎中干物质、淀粉、蛋白质、维生素C和还原糖含量等指标是评价马铃薯品质的核心依据[5]。不同用途的马铃薯对营养品质指标有特定要求,鲜食型马铃薯要求还原糖含量较低[6],蛋白质含量>2.0 g/100 g,维生素C含量>15.0 mg/100 g,并需要适中的淀粉含量[7],油炸型马铃薯需遵循"高干物质、适中偏高的淀粉含量、低还原糖含量"的品质标准,还原糖含量应≤0.3 g/100 g[8];较高的淀粉含量可赋予产品酥脆的口感,适宜的蛋白质含量则能保障营养品质和产品风味。而淀粉加工型马铃薯的关键品质指标为淀粉含量≥18.0 g/100 g[9]。上述差异化品质标准对专用马铃薯品种选育和区域适配栽培提出了客观要求,优质加工专用种质是实现各类加工品质指标的核心载体。从区域生产现状来看,甘肃主栽马铃薯品种,如'陇薯3号''陇薯7号''陇薯10号''青薯9号''庄薯3号''克新1号''费乌瑞它''陇薯6号''大西洋'和'冀张薯12号'等,均为鲜食或粮菜兼用型品种[10],尚缺乏大面积推广的加工专用型品种。尽管该区域气候与土

壤条件适宜马铃薯生长发育和块茎膨大，具备发展马铃薯产业的天然区位优势，但现有品种难以满足加工产业对品质的特定要求，因此，建立适配区域生态条件的专用型种质营养品质评价体系，是精选优异种质资源的关键环节。

围绕马铃薯营养品质评价，已有学者从不同角度开展很多相关的研究。刘喜平等[11]比较了不同生态条件下马铃薯还原糖、蛋白质和干物质含量的差异，发现还原糖含量受地理环境和品种的双重影响，而蛋白质和干物质含量主要受品种因素控制，生态条件的影响相对较小。肖国举等[12]通过田间增温模拟试验，揭示了气候变暖对西北半干旱区马铃薯干物质、淀粉及还原糖含量的影响。李芳弟等[13]针对加工型种质资源开展了系统评价，筛选到一批高淀粉、低还原糖的优异种质材料。但上述研究多集中于西北半干旱区，兼顾淀粉加工与油炸多用途需求、基于多指标综合评价的专用型种质筛选在甘肃高寒阴湿生态区鲜见报道。本研究以255份马铃薯种质为参试材料，采用近红外光谱分析技术测定马铃薯块茎干物质、淀粉、蛋白质、维生素C、还原糖和粗纤维等营养品质指标，结合主成分分析与隶属函数法进行核心营养品质指标的综合评价，旨在筛选适配甘肃高寒阴湿区生态条件的专用型马铃薯优异种质，以期为该区域专用马铃薯种质资源创新提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验材料

参试材料包含甘肃省农业科学院马铃薯研究所选育品种（系）和国内外收集种质共255份。其中，该所选育品种（系）32份，占种质总数的12.5%；国外引进种质159份，占比62.4%，分别为国际马铃薯中心（International Potato Center）153份、俄罗斯4份、秘鲁2份；国内收集种质64份，占比25.1%，包括国家马铃薯种质资源试管苗库6份、中国农业科学院3份、云南省农业科学院25份，以及甘肃省其他单位、河北、黑龙江、内蒙古、山西、宁夏、吉林、湖北、青海、贵州、山东等省份共30份。参试马铃薯种质均由甘肃省农业科学院马铃薯研究所提供。

1.2　试验地概况

试验于甘肃省农业科学院马铃薯研究所渭源县会川镇的育种基地（35°06′ N，103°58′ E，海拔2 240 m）进行。该区域属于典型高寒阴湿区，年均气温约5.7 ℃，7月均温16 ℃，1月均温－8 ℃，年均降雨量550 mm，无霜期130 d左右，前茬作物为马铃薯。供试土壤类型为黑麻土，基本理化性质为pH 7.8，有机质含量23.35 g/kg，全氮（N）含量1.37 g/kg，磷（P）含量1.05 g/kg，钾（K）含量24.2 g/kg。

1.3　试验设计

采用随机区组试验设计，每份材料种植1垄，每垄10株。株距33 cm，行长330 cm，行距60 cm，试验地四周设置2行保护行，并覆盖黑色地膜。试验占地680 m^2。地块肥力中上等，播前施农家肥2 000 kg/667 m^2，磷酸二铵15 kg/667 m^2，尿素7.5 kg/667 m^2，硫酸钾10 kg/667 m^2；培土时追施尿素5 kg/667 m^2[14]。种薯采用常规原种。试验为旱作栽培，田间水分管理依托自然降水。出苗后定期防治蚜虫，7月中下旬防治马铃薯晚疫病。

1.4　测定指标及方法

收获后，从每份材料中随机选取5株具有代表性的植株，每株采集1个大小均匀、无病虫害、无机械损伤的中等成熟块茎，共5个块茎混合作为该材料的原始样本。测定前，将块茎置于室温，用流水冲洗去除表面泥土和杂质，用洁净纱布拭干。保留薯皮，将每个块茎横切成厚度均匀（5 mm）的薄片[15]。采用近红外光谱检测方法[16-18]，使用丹麦FOSS公司近红外光谱分析仪（NIRS DS 2500）测定马铃薯块茎干物质含量、淀粉含量、蛋白质含量、还原糖含量、维生素C含量、粗纤维含量等核心营养品质指标，从每份材料的5个块茎中随机选取3个块茎进行测定。每个块茎的薄片在近红外光谱分析仪上各测定2次，即每份材料共6次测定值（3个块茎×2次），取平均值。

1.5　评价方法

块茎营养品质综合评价采用模糊数学隶属函数法[19]，营养品质综合评分计算公式如下：

$$\mu_{正向}(X_i)=\frac{X_i-X_{min}}{X_{max}-X_{min}}\quad i=1,2,3\cdots\cdots,n \quad (1)$$

$$\mu_{负向}(X_i)=1-\frac{X_i-X_{min}}{X_{max}-X_{min}}\quad i=1,2,3\cdots\cdots,n \quad (2)$$

式中：$\mu(X_i)$为第i个指标的隶属函数值，X_i为第i个指标测定值，X_{max}为第i个指标的最大值，X_{min}为第i个指标的最小值[20]。

$$W_j=\frac{P_j}{\sum_{j=1}^{n}P_j}\ j=1,2,3\cdots\cdots,n \quad (3)$$

式中：W_j为第j个综合指标在所有综合指标中的重要程度及权重；P_j为第j个综合指标的贡献率[21]。

$$D=\sum_{i=1}^{m}\left[\mu(X_i)\times W_i\right]i=1,2,3\cdots\cdots,n \quad (4)$$

式中：D为不同品种营养品质的综合评价值[22]。

1.6 数据处理

采用WPS Excel对原始数据进行整理和预处理并完成可视化制图。通过SPSS 27.0对数据进行统计分析，使用Origin 2021绘制相关分析图。

2 结果与分析

2.1 马铃薯块茎营养品质的指标

由表1可知，国内外收集种质（n=223）和甘肃省农科院马铃薯研究所选育品种（系）（n=32）在干物质、淀粉、还原糖及VC含量上的差异均达极显著水平（P<0.001），其中国内、外收集种质的干物质、淀粉和VC含量的均值极显著高于甘肃省农科院马铃薯研究所选育品种（系），而还原糖含量均值极显著低于选育品种（系）；两者在蛋白质和粗纤维含量上差异不显著（P>0.05）。上述结果表明，不同来源的种质资源在部分营养品质性状上存在分化。

表1 255份马铃薯种质资源营养品质指标的方差分析结果

Table 1 Analysis of variance results for nutritional quality indexes of 255 potato germplasm resources

指标 Index	国内、外收集种质（n=223） Collection of domestic and international germplasm resources	甘肃省农科院选育品种（系）（n=32） Bred varieties (lines) by Gansu Academy of Agricultural Sciences	F	P
干物质/(g/100 g) Dry matter	21.36±1.29	20.37±1.02	17.346	<0.001
淀粉/(g/100 g) Starch	16.90±1.44	15.49±1.27	27.485	<0.001
蛋白质/(g/100 g) Protein	2.07±0.09	2.06±0.08	1.282	0.259
还原糖/(g/100 g) Reducing sugar	0.57±0.28	0.93±0.22	48.375	<0.001
维生素C/(mg/100 g) VC	12.17±1.32	10.61±1.23	39.881	<0.001
粗纤维/(g/100 g) Crude fiber	0.61±0.05	0.60±0.04	0.049	0.825

注：P<0.001表示差异极显著。

Note: P<0.001 indicates that the difference is highly significant.

2.2 马铃薯块茎营养品质指标的变异分析

由表2可知，255份马铃薯种质资源各营养品质指标变异程度存在差异。干物质含量的均值为21.23 g/100 g，变幅为17.09～25.94 g/100 g，其中‘CIP302534.17’含量最高，为25.94 g/100 g，‘京张1号’含量最低，为17.09 g/100 g。淀粉含量均值为16.72 g/100 g，‘CIP302534.17’含量最高，为20.75 g/100 g，‘沃土5号’含量最低，为12.68 g/100 g。蛋白质含量均值为2.07 g/100 g，变异系数（CV）最小，为4.35%；‘CIP304349.8’含量最高，为2.41 g/100 g，而‘CIP781789’和‘中薯24号’并列最低，为1.86 g/100 g。还原糖含量均值为0.62 g/100 g，CV最大，为48.39%；‘陇薯29号’含量最高，为1.45 g/100 g，‘CIP703330’、‘CIP312507.311’和‘CIP397039.51’含量相等，均为0.04 g/100 g，低于其他品种。VC含量均值为11.98 mg/100 g；‘CIP309062.77’含量最高，为15.57 mg/100 g，‘陇薯4号’含量最低，为7.68 mg/100 g。粗纤维含量均值为0.61 g/100 g，‘CIP800923’含量最高，为0.76 g/100 g，‘CIP380011.12’含量最低，为0.48 g/100 g。

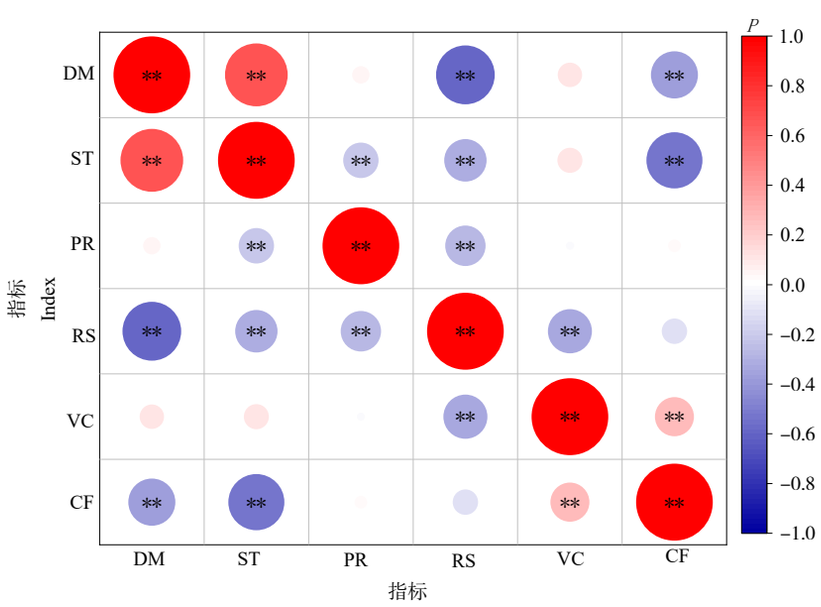
表 2　255份马铃薯块茎营养品质指标的变异分析

Table 2　Variation analysis of nutritional quality indexes of 255 potato tubers

指标 Index	最大值 Max	最小值 Min	极差 Range	均值 Mean	标准差 SD	变异系数/% CV
干物质/(g/100 g) Dry matter	25.94	17.09	8.85	21.23	1.30	6.12
淀粉/(g/100 g) Starch	20.75	12.68	8.07	16.72	1.49	8.91
蛋白质/(g/100 g) Protein	2.41	1.86	0.55	2.07	0.09	4.35
还原糖/(g/100 g) Reducing sugar	1.45	0.04	1.41	0.62	0.30	48.39
维生素 C/(mg/100 g) VC	15.57	7.68	7.89	11.98	1.40	11.69
粗纤维/(g/100 g) Crude fiber	0.76	0.48	0.28	0.61	0.05	8.20

2.3　马铃薯块茎营养品质指标的相关性分析

由图 1 可知，255 份马铃薯种质资源中，块茎的干物质与淀粉含量间均呈极显著正相关；VC 与粗纤维含量亦呈极显著正相关，干物质与还原糖、粗纤维之间呈极显著负相关；淀粉与蛋白质、还原糖、粗纤维均呈极显著负相关；此外，蛋白质与还原糖、还原糖与 VC 均呈极显著负相关。其余指标间均未达显著相关。



DM，干物质；ST，淀粉；PR，蛋白质；RS，还原糖；VC，维生素 C；CF，粗纤维。*表示显著相关（$P<0.05$）；**表示极显著相关（$P<0.01$）。
DM, dry matter; ST, starch; PR, protein; RS, reducing sugar; VC, vitamin C; CF, crude fiber. * indicates a significant correlation ($P<0.05$), and ** indicates a highly significant correlation ($P<0.01$).

图 1　255份马铃薯种质资源营养品质指标相关性分析

Fig. 1　Correlation analysis of nutrient quality indexes of 255 potato germplasm resources

2.4　马铃薯块茎营养品质指标的综合评价

2.4.1　主成分分析

由表 3 可知，为消除 6 个品质指标间的量纲差异，采用 Z-score 标准化方法对原始数据进行预处理，随后进行主成分分析。根据特征值＞1 的原则，提取前 3 个主成分，其贡献率分别为 38.15%

表 3 255份马铃薯种质资源营养品质指标主成分分析

Table 3 Principal component analysis of nutrient quality indexes of 255 potato germplasm resources

成分 Component	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
PC_1	2.29	38.15	38.15
PC_2	1.55	25.86	64.01
PC_3	1.09	18.13	82.14
PC_4	0.59	9.77	91.91
PC_5	0.25	4.11	96.02
PC_6	0.24	3.99	100.00

(PC_1)、25.86%(PC_2)和18.13%(PC_3),累计贡献率达到82.14%,能够代表6个原始指标的大部分信息。

由表4可知,第一主成分(PC_1)中干物质(0.91)和淀粉(0.88)具有较高的正向载荷,还原糖(−0.57)和粗纤维(−0.57)为负向载荷;第二主成分(PC_2)中VC(0.67)和粗纤维(0.63)载荷值较高,还原糖(−0.69)为高负向载荷;第三主成分(PC_3)中蛋白质(−0.84)为高负向载荷,维生素C(0.51)为主要正向载荷。各主成分中载荷绝对值最大的指标分别为干物质、维生素C和蛋白质,可作为相应主成分的代表性因子。

表 4 255份马铃薯种质资源营养品质指标主成分因子载荷矩阵

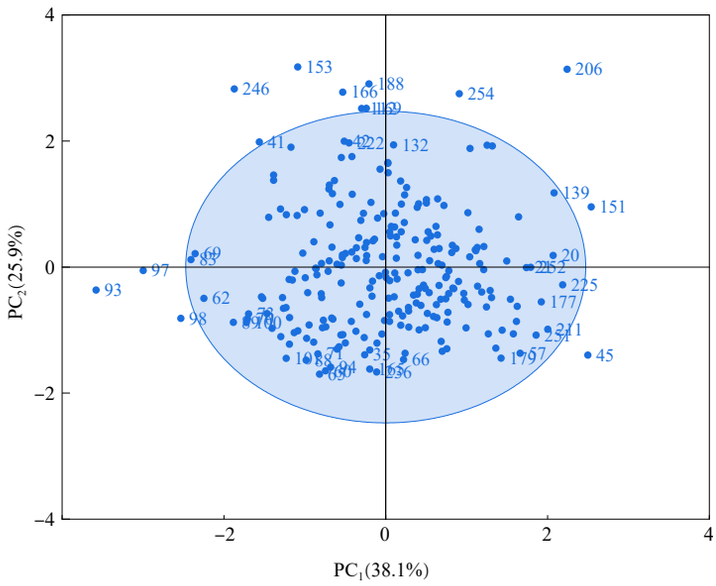
Table 4 Principal component loading matrix of nutritional quality indexes for 255 potato germplasm resources

营养品质指标 Nutritional quality trait	主成分因子 Comprehensive factor		
	PC_1	PC_2	PC_3
干物质/(g/100 g) Dry matter	0.91	0.05	−0.05
淀粉/(g/100 g) Starch	0.88	−0.20	0.17
蛋白质/(g/100 g) Protein	−0.04	0.44	−0.84
还原糖/(g/100 g) Reducing sugar	−0.57	−0.69	0.14
维生素C/(mg/100 g) VC	0.18	0.67	0.51
粗纤维/(g/100 g) Crude fiber	−0.57	0.63	0.26

对255份马铃薯种质材料的6个营养品质指标进行主成分分析,提取到3个主成分,累计贡献率达82.14%。其中,第一主成分(Y_1)中干物质和淀粉具有较大的正载荷,主要反映块茎的碳水化合物的积累与淀粉加工适性,设定为干物质-淀粉因子,贡献率为38.15%;第二主成分(Y_2)中VC和粗纤维具有较大的正载荷,主要反映块茎维生素营养及膳食纤维相关品质,设定为VC-粗纤维因子,贡献率为25.86%;第三主成分(Y_3)中蛋白质具有较大的负载荷,主要反映蛋白质的营养品质,设定为蛋白质因子,贡献率为18.13%。以各主成分贡献率占累计贡献率的比例确定权重,计算得到Y_1、Y_2和Y_3的权重分别为0.464、0.315和0.221。根据主成分分析绘制出得分图(图2)。对筛选得到的3个主成分,由式(1)和式(2)分别计算各种质营养品质指标的隶属函数值(μ),再由式(3)确定权重、式(4)计算综合评价值(D)。

2.4.2 隶属函数值和综合评价

由表5可知,‘CIP304349.8’的D最高,为0.92,其次为‘CIP302534.17’(0.82),‘CIP800923’(0.76)排名第3。根据D可将参试材料划分为3个等级。营养品质优良($D\geqslant0.60$)的种质共20份,约占参试材料的7.8%;营养品质中等($0.40\leqslant D<0.60$)的种质177份,约占69.4%;营养品质较差($D<0.40$)的种质58份,约占22.7%。



数字为参试种质编号。

The numbers are the codes of the tested germplasms.

图 2　255份马铃薯种质资源营养品质主成分得分

Fig. 2　Principal component score maps of nutrient quality of 255 potato germplasm resources

表 5　代表性马铃薯种质资源的综合排名

Table 5　Comprehensive rankings of representative 255 potato germplasm resources

品种 Variety	F_1	F_2	F_3	μ_1	μ_2	μ_3	D	排名 Ranking
CIP304349.8	2.24	3.14	−1.87	0.95	0.99	0.73	0.92	1
CIP302534.17	2.54	0.95	−2.44	1.00	0.54	0.83	0.82	2
CIP800923	0.91	2.75	−0.97	0.73	0.91	0.58	0.76	3
CIP309103.85	1.25	1.93	−0.83	0.79	0.75	0.56	0.72	4
CIP312735.105	2.08	1.18	−0.13	0.92	0.59	0.44	0.71	5
CIP309062.77	1.32	1.92	0.45	0.80	0.74	0.35	0.68	6
CIP389447.5	1.04	1.88	0.20	0.76	0.73	0.39	0.67	7
CIP312507.311	1.64	0.80	0.02	0.85	0.51	0.42	0.65	8
云薯 603	2.07	0.19	0.02	0.92	0.39	0.42	0.64	9
甘引 9 号	−2.53	−0.81	1.41	0.17	0.18	0.19	0.18	255

3　讨　论

3.1　马铃薯种质营养品质变异特征及遗传背景分析

甘肃省是我国马铃薯核心主产区，种植规模和产量均居全国前列，当地生态条件适宜马铃薯规模化生产[23-24]。随着马铃薯产业发展及居民消费结构的变化，市场对鲜食、加工专用马铃薯的品质要求逐步提升，块茎营养组分含量已成为品种选育的核心指标[25]。马铃薯块茎的淀粉、蛋白质、维生素C等营养物质含量[6]，不仅是品质育种的核心选择目标，相关监测结果也可为栽培技术优化提供依据[26]。由于鲜食、淀粉加工、油炸加工等利用方向不同，产业对品质性状的要求存显著差异[27-28]。本研究以255份马铃薯种质为试验材料，系统测定多项营养品质指标，通过主成分分析和隶属函数法综合评价，筛选出适宜不同用途的优异种质20份，可用于甘肃马铃薯优质专用新品种选育和亲本选配。

变异系数是衡量数据离散程度，分析品质性状的遗传变异情况[3]。本研究表明，参试种质在干物质、淀粉、蛋白质、还原糖、维生素C和粗纤维等含量上均表现出丰富的性状分离，其中还原糖含量的变异系数较大，这与白磊等[29]对130个马铃薯品种（系）的块茎营养品质评价以及闫海峰等[30]对广西冬作区不同马铃薯品种品质综合评价的研究结果存在一定差异。究其原因，一方面是不同地区土壤、气候等环境条件对马铃薯块茎的营养品质具有显著影响，体现出基因型与环境互作效应对块茎营养品质形成的综合调控作用[11]；另一方面也说明本试验参试种质遗传背景差异较大，品质性状具备较大的遗传改良潜力。试验材料来源广泛，遗传背景的多样性直接影响块茎淀粉合成、蛋白质积累和糖代谢途径中关键酶的活性。部分CIP材料在低还原糖含量上表现稳定，可能与其独特的遗传背景密切相关，为马铃薯品质改良提供了优异基因来源[31]。已有研究表明，CIP收集和保存的安第斯地区原始栽培种及野生种质普遍具有较强的抗旱性和高海拔适应性[32]，同时在不同生态条件下表现出良好的块茎产量潜力[33]。本研究中，干物质、淀粉两大核心加工性状虽整体变异幅度适中，但不同种质间仍存在显著分化；结合蛋白质、维生素C等指标的变异特征可进一步证实，遗传背景差异是马铃薯品质性状分化的主导因素，环境条件起调控作用。整体而言，255份参试种质性状变异类型丰富，可满足不同育种目标的材料选择需求。

3.2 营养品质指标相关性及专用种质筛选分析

马铃薯块茎各项营养品质指标存在内在关联，本质是块茎体内多条代谢通路协同调控的外在表现[34]。本研究中，干物质与淀粉呈极显著正相关。VC与粗纤维亦呈极显著正相关，推测二者协同参与细胞壁代谢过程，VC可调控细胞壁多糖的合成和交联过程，而粗纤维是细胞壁主要结构组分，因此两类物质在细胞壁建成阶段呈现同步积累的特征[35]。干物质、淀粉均与还原糖、粗纤维存在显著负相关，反映出碳代谢存在物质资源分配权衡。其中淀粉与还原糖的负相关是淀粉-糖代谢转化的典型特征，淀粉合成积累增加时，还原糖含量随之下降[36-37]。性状相关性对马铃薯育种工作具备重要参考价值[38]，干物质与淀粉的正向关联，说明选育干物质含量高的种质可同步提升淀粉含量，可有效改善马铃薯加工特性。而多性状间的负相关也表明在开展多目标品质协同改良时，需充分考虑性状间的拮抗效应，例如淀粉含量提升通常伴随蛋白质含量下降，可借助分子标记辅助育种技术，实现种质营养品质的均衡改良[39]；还原糖与干物质、淀粉含量均呈负相关，也可为马铃薯田间采收、采后储藏方案的优化提供思路，可通过优化采后储藏温度抑制还原糖积累，从而有效缓解加工过程中的褐变问题[40]。此外，VC与粗纤维呈显著正相关，意味着可通过生长调控同步增强块茎抗氧化能力和细胞壁结构的稳定性[41]。

本试验255份马铃薯种质块茎的干物质含量为17.09～25.94 g/100 g、淀粉含量为12.68～20.75 g/100 g、蛋白质含量1.86～2.41 g/100 g、还原糖含量0.04～1.45 g/100 g、VC含量7.68～15.57 mg/100 g、粗纤维含量0.48～0.76 g/100 g，各指标之间呈显著或极显著的相关，与文国宏等[14]、颉瑞霞等[42]、潘峰等[43]的研究结果基本一致。干物质含量与还原糖含量呈极显著负相关（$P<0.01$），依据西北地区油炸加工型马铃薯筛选标准，以干物质含量≥22 g/100 g、还原糖含量≤0.3 g/100 g[8]为筛选条件，供试材料中干物质达标的种质共71份，还原糖达标的种质共35份，2项指标同时满足要求的种质19份，分别为‘云薯104’‘云薯304’‘云薯603’‘天薯20’‘Зоряный’‘Заводский’‘CIP304379.1’‘CIP309069.43’‘CIP309118.5’‘CIP312751.021’‘CIP312735.105’‘CIP309064.76’‘CIP703330’‘CIP312507.311’‘CIP392617.54’‘CIP304349.8’‘CIP394223.19’‘CIP399085.30’‘CIP800923’。结合淀粉加工型马铃薯筛选标准（淀粉含量≥18 g/100 g）[9]，本试验中符合该要求的种质有56份，部分种质的淀粉含量未达到加工阈值，除种质自身遗传特性外，也可能受收获后的储藏条件影响，低温贮藏会促进块茎淀粉降解，造成还原糖含量上升，进而干扰淀粉含量测定结果[44]。本研究中‘天薯13号’、‘庄薯3号’、‘陇薯10号’、‘陇薯11号’、‘陇薯14号’、‘L0109-4’、‘青薯9号’和‘定薯3号’的淀粉含量均＜18 g/100 g，与李守强等[45]研究结论不一致，推测是本试验收获后储藏温度较低，导致淀粉含量检测结果偏低，后续可针对性开展重复验证，进一步明确其淀粉加工适配性。就环境效应而言，甘肃不同生态区的温

度、光照和土壤条件可能通过调控块茎发育阶段的碳代谢方向，进而影响营养组分的最终积累。低温贮藏作为诱导还原糖升高的重要采后因素，其生理机制在于激活淀粉降解途径及相关糖代谢酶的活性[46]，导致块茎中蔗糖和还原糖含量上升，进而影响油炸色泽和加工品质[47]。本试验筛选出部分低温条件下仍可维持低还原糖水平的种质，包括‘CIP703330’、‘CIP312507.311’、‘CIP304349.8’、‘云薯603’和‘CIP800923’，这类材料具备优异的耐低温糖化遗传特性，是选育抗低温糖化品种的优质资源。对于鲜食型马铃薯而言，生产上更侧重蛋白质和维生素C含量均较高的种质，依据本试验测定结果，以蛋白质含量＞2 g/100 g[7]为筛选标准，符合该标准的品种有205份，且VC含量＞15 mg/100 g的种质有‘CIP309062.77’‘CIP309043.123’‘CIP397039.51’‘CIP398208.29’，可作为鲜食品种选育的基础材料。蛋白质含量在不同种质间变异幅度较大，既体现了参试材料丰富的遗传多样性，也与植株氮素吸收利用效率及块茎发育期的氮代谢调控密切相关[48]。综上，马铃薯育种需重点关注基因型与环境的互作效应，通过多年多点鉴定，筛选品质稳定性强、适配不同区域的优质种质。在温度相对较低的条件下，马铃薯中的淀粉会被降解，导致还原糖含量上升，引发块茎低温糖化现象[49]。

3.3　马铃薯种质营养品质综合评价

采用隶属函数法对不同马铃薯种质资源的营养品质进行综合评价，是基于多指标对某一特性进行综合评价的常用方法[50]，可避免单一指标的片面性。目前，许多学者采用隶属函数值的方法对马铃薯[51]、甘薯[21]、山药[52]等作物的不同品种进行评价，为优异种质筛选提供技术支撑。本研究对255份马铃薯种质的6个营养品质指标进行了主成分分析，根据特征值＞1的原则，提取到3个主成分，累计贡献率达82.14%，可代表马铃薯块茎营养品质指标的大部分变异。第一主成分（PC_1）中干物质和淀粉为主要正向载荷，还原糖和粗纤维为主要负载荷，表明干物质和淀粉的积累往往伴随还原糖和粗纤维含量的下降。第二主成分（PC_2）维生素C与粗纤维呈正相关，而与还原糖呈显著负相关，反映VC和粗纤维含量升高的同时还原糖含量降低。第三主成分（PC_3）以蛋白质为显著负向载荷，VC为主要正向载荷，说明VC与蛋白质含量之间存在此消彼长的关系。根据各主成分得分值计算出营养品质的平均隶属函数值，得分排名前3的马铃薯种质材料依次为‘CIP304349.8’、‘CIP302534.17’和‘CIP800923’，表明上述种质在本试验条件下综合营养品质表现相对突出。马铃薯块茎品质不仅受遗传因素控制，还受温度、光照、土壤等环境因子以及储藏条件的影响[53]。因此，本研究在甘肃高寒阴湿区筛选出的优异种质，在甘肃干旱区、半干旱区、灌溉农业区及冬播区的生态适应性与品质稳定性仍有待进一步验证。

4　结　论

基于隶属函数值分级结果对255份马铃薯种质资源的营养品质指标检测数据和综合评价，平均隶属函数值（D）≥0.60的优良种质共20份；按照加工、鲜食分类标准筛选，符合油炸加工要求（干物质≥22 g/100 g、还原糖≤0.3 g/100 g）的种质13份，分别为‘CIP304349.8’、‘CIP800923’、‘CIP312735.105’、‘CIP312507.311’、‘云薯603’、‘CIP399085.30’、‘Зоряный’、‘CIP309064.76’、‘CIP304379.11’、‘CIP312751.021’、‘CIP703330’、‘CIP309062.77’和‘Заводский’；符合鲜食菜用要求（蛋白质＞2 g/100 g、VC＞15 mg/100 g）的种质3份，分别为‘CIP309062.77’、‘CIP397039.51’和‘CIP309043.123’符合淀粉加工要求（淀粉≥18 g/100 g）的种质10份，分别为‘CIP304349.8’、‘CIP302534.17’、‘CIP309103.85’、‘CIP312735.105’、‘CIP309062.77’、‘CIP389447.5’、‘CIP312507.311’、‘云薯603’、‘CIP399085.30’和‘云薯701’。营养品质指标分析表明，‘云薯603’、‘CIP312735.105’、‘CIP312507.311’、‘CIP304349.8’、‘CIP399085.30’等5份种质同时符合淀粉加工要求，‘CIP309062.77’兼具鲜食和淀粉加工特性，为多用途兼用型优异种质，上述20份优异种质遗传背景多样、用途广泛，可作为甘肃高寒阴湿区专用型马铃薯品种选育的核心亲本材料。

参考文献　References

[1] 张帆，李源，陈梦茹，邢英英，王秀康. 20个马铃薯品种品质比较与综合评价[J]. 河南农业科学，2022，51(8)：28-36
Zhang F，Li Y，Chen M R，Xing Y Y，Wang X K. Comparison and comprehensive evaluation of quality of 20 potato varieties[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*，2022，51(8)：28-36 (in Chinese)

[2] 赵记军，吴正强，董博. 甘肃马铃薯产业现状与发展对策[J]. 甘肃农业科技，

2021,52(4): 77-82
Zhao J J, Wu Z Q, Dong B. Present situation and development prospect of potato industry in Gansu[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2021,52(4): 77-82 (in Chinese)

[3] 吴琪澄, 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 Journal*, 2021, 35(6): 489-499 (in Chinese)

[4] 孙莉莉, 陈海生. 甘肃省马铃薯产业高质量发展研究[J]. 中国马铃薯, 2022, 36(6): 565-572
Sun L L, Chen H S. Study on potato industry high quality development in Gansu Province[J]. *Chinese Potato Journal*, 2022, 36(6): 565-572 (in Chinese)

[5] 仇菊, 朱宏, 朱大洲, 孙君茂. 不同加工用途马铃薯品质特性分析[J]. 中国马铃薯, 2019, 33(6): 372-378
Qiu J, Zhu H, Zhu D Z, Sun J M. Quality characteristics analyses of potatoes for different processing purposes[J]. *Chinese Potato Journal*, 2019, 33(6): 372-378 (in Chinese)

[6] Sanchez P D C, Hashim N, Shamsudin R, Mohd Nor M Z. Applications of imaging and spectroscopy techniques for non-destructive quality evaluation of potatoes and sweet potatoes: A review[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2020, 96: 208-221

[7] 叶夕苗. 马铃薯品种(系)基因型与环境互作及品质稳定性分析[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019
Ye X M. Analysis of genotype-environment interaction and quality stability of potato varieties (lines)[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019 (in Chinese)

[8] Quan W, Wu Z L, Jiao Y, Liu G P, Wang Z J, He Z Y, Tao G J, Qin F, Zeng M M, Chen J. Exploring the relationship between potato components and Maillard reaction derivative harmful products using multivariate statistical analysis [J/OL]. *Food Chemistry*, (2021-12-28). DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127853

[9] 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, Sui 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)

[10] 刘悦善, 第红君, 王华, 张宇, 胡丹, 师祎. 甘肃中部旱作区专用型马铃薯品种筛选与评价[J]. 种子, 2023, 42(2): 133-140
Liu Y S, Di H J, Wang H, Zhang Y, Hu D, Shi Y. Screening and evaluation of special potato varieties in the arid region of central Gansu[J]. *Seed*, 2023, 42(2): 133-140 (in Chinese)

[11] 刘喜平, 陈彦云, 任晓月,丁红瑾, 刘亚武, 韩刚. 不同生态条件下不同品种马铃薯还原糖、蛋白质、干物质含量研究[J]. 河南农业科学, 2011, 40(11): 100-103
Liu X P, Chen Y Y, Ren X Y, Ding H J, Liu Y W, Han G. Research of the content of reducing sugar, protein and dry matter of four potato varieties under different ecological environment[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2011, 40(11): 100-103 (in Chinese)

[12] 肖国举, 仇正跻, 张峰举, 马飞, 姚玉璧, 张强, 王润元. 增温对西北半干旱区马铃薯产量和品质的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(3): 830-836
Xiao G J, Qiu Z J, Zhang F J, Ma F, Yao Y B, Zhang Q, Wang R Y. Influence of increased temperature on the potato yield and quality in a semiarid district of Northwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(3): 830-836 (in Chinese)

[13] 李芳弟, 王鹏, 颉炜清,杨晨,赵尚文,吕汰. 加工型马铃薯种质资源的评价与筛选[J]. 中国马铃薯, 2023, 37(2): 97-109
Li F D, Wang P, Xie W Q, Yang C, Zhao S W, Lu T. Evaluation and screening of processing potato germplasm resources for processing[J]. *Chinese Potato Journal*, 2023, 37(2): 97-109 (in Chinese)

[14] 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)

[15] 张怀礼, 韩佩芬. 脱水红薯片的加工方法[J]. 河北农业科技, 1999(6): 26
Zhang H L, Han P F. Processing technology of dehydrated sweet potato chips [J]. *Hebei Agricultural Science and Technology*, 1999(6):26 (in Chinese)

[16] 谢雪莹, 石瑛. 不同马铃薯品种品质特性综合评价[J]. 中国粮油学报, 2025, 40(7): 69-79
Xie X Y, Shi Y. Comprehensive evaluation of quality characteristics of different potato varieties [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2025, 40(7): 69-79 (in Chinese)

[17] 胡雄亮, 赵雪蕊, 焦淑娟, 张茹艳, 王勇, 王星星, 张卫娜, 康益晨, 刘玉汇, 秦舒浩. 氮素形态及配比对马铃薯生理特性、产量及品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(7): 1280-1288
Hu X L, Zhao X R, Jiao S J, Zhang R Y, Wang Y, Wang X X, Zhang W N, Kang Y C, Liu Y H, Qin S H. Effects of nitrogen forms and ratios on physiological characteristics, yield, and quality of potato[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2025, 41(7): 1280-1288 (in Chinese)

[18] 罗添铭, 康益晨, 张卫娜, 刘玉汇, 秦舒浩. 水-磷互作对干旱区马铃薯水肥利用率、农艺性状、产量及品质的影响[J]. 中国马铃薯, 2024, 38(4): 304-312
Luo T M, Kang Y C, Zhang W N, Liu Y H, Qin S H. Effects of water-phosphorus interaction on water and fertilizer utilization, agronomic traits, yield and quality of potato in arid region[J]. *Chinese Potato Journal*, 2024, 38(4): 304-312 (in Chinese)

[19] 徐舒, 李玲, 张思梦, 曹如霞, 陈玲玲, 崔鹏, 吕尊富, 吴列洪, 陆国权. 基于隶属函数分析的甘薯薯苗耐冷性基因型差异研究[J]. 中国农业科学, 2019, 52(17): 2929-2938
Xu S, Li L, Zhang S M, Cao R X, Chen L L, Cui P,Lyu Z F, Wu L H, Lu G Q. Evaluation of genotype differences of cold tolerance of sweet potato seedlings by subordinate function value analysis[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(17): 2929-2938 (in Chinese)

[20] 方治国, 朱杰, 温海霞, 宿秀丽, 张杰, 吴山, 芮荣涛, 张艳. 不同马铃薯新品种适应性鉴定及综合评价[J]. 中南农业科技, 2024, 45(2): 22-26, 34
Fang Z G, Zhu J, Wen H X, Su X L, Zhang J, Wu S, Rui R T, Zhang Y. Adaptability identification and comprehensive evaluation of different new potato varieties[J]. *South-Central Agricultural Science and Technology*, 2024, 45(2): 22-26, 34 (in Chinese)

[21] 陈天龙, 李正鹏, 严清彪, 郭冉冉, 韩梅. 复合盐胁迫对不同品种毛叶苕子萌发期的影响[J]. 种子, 2024, 43(7): 27-35, 44
Chen T L, Li Z P, Yan Q B, Guo R R, Han M. Effects of compound salt stress on germination periods of different varieties of Vicia villosa Roth[J]. *Seed*, 2024, 43(7): 27-35, 44 (in Chinese)

[22] 张莹, 李成举, 刘寅笃, 张春利, 张锋, 蒲转芳, 孙超, 姚攀锋, 刘玉汇, 刘震, 毕真真, 白江平. 80份国际马铃薯中心引进的马铃薯种质资源抗旱性鉴定及评价指标的筛选[J]. 江西农业大学学报, 2024, 46(5): 1124-1137
Zhang Y, Li C J, Liu Y D, Zhang C L, Zhang F, Pu Z F, Sun C, Yao P F, Liu Y H, Liu Z, Bi Z Z, Bai J P. Identification of drought resistance identification and screening of evaluation indexes of 80 potato germplasm resources introduced by CIP [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2024, 46(5): 1124-1137 (in Chinese)

[23] 张志伟, 冯坤蓉, 梁宏杰, 李海娇, 徐国平, 张武. 甘肃省旱作区马铃薯品种

（系）品质分析与评价[J]. 中国瓜菜，2025，38(9)：75-83
Zhang Z W，Feng K R，Liang H J，Li H J，Xu G P，Zhang W. Quality analysis and evaluation of potato varieties (lines) in dry farming areas of Gansu Province[J]. *China Cucurbits and Vegetables*，2025，38(9)：75-83 (in Chinese)

[24] 胡丹，师祎，刘悦善，张宇，崔凯东，赵玉红，水建兵，刘喜霞，马旭凤，郑淑娴，第红君. 甘肃省不同生态区域马铃薯专用品种的引种筛选与评价[J]. 寒旱农业科学，2025，4(11)：1011-1018
Hu D，Shi Y，Liu Y S，Zhang Y，Cui K D，Zhao Y H，Shui J B，Liu X X，Ma X F，Zheng S X，Di H J. Introduction，selection，and evaluation of specialized potato varieties in different ecological region of Gansu Province [J]. *Journal of Cold-Arid Agricultural Sciences*，2025，4(11)：1011-1018 (in Chinese)

[25] 何文，张秀芬，郭素云，阳景阳，李恒锐，刘连军. 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
He W，Zhang X F，Guo S Y，Yang J Y，Li H R，Liu L J. Comprehensive evaluation of 22 potato germplasms based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Seed*，2021，40(3)：80-86 (in Chinese)

[26] 王新伟，洪乃武，杨国利，崔国良. 不同来源马铃薯品种淀粉含量的差异[J]. 中国马铃薯，1997(3)：21-24
Wang X W，Hong N W，Yang G L，Cui G L. Analysis on the starch content of potato germplasm in China[J]. *Chinese Potato Journal*，1997，11(3)：148-151 (in Chinese)

[27] 张凤军，张永成，田丰. 不同生态环境马铃薯维生素C含量分析[J]. 种子，2006，25(12)：24-27
Zhang F J，Zhang Y C，Tian F. Analysis for vitamin C content of potato in different ecological environment[J]. *Seed*，2006，25(12)：24-27 (in Chinese)

[28] 刘娟. 马铃薯种质资源加工性状评价及品种筛选[D]. 兰州：甘肃农业大学，2018
Liu J. Evaluation of processing traits and variety screening of potato germplasm resources[D]. Lanzhou：Gansu Agricultural University，2018 (in Chinese)

[29] 白磊，肖继坪，郭华春. 130个马铃薯品种（系）的块茎营养品质评价[J]. 中国食物与营养，2017，23(2)：70-74
Bai L，Xiao J P，Guo H C. Nutritional quality assessment on 130 potato cultivars[J]. *Food and Nutrition in China*，2017，23(2)：70-74 (in Chinese)

[30] 闫海锋，许娟，李韦柳，熊军，邓英毅，韦民政，唐秀桦，覃维治，郑虚. 广西冬作区不同马铃薯品种（系）品质比较与综合评价[J]. 南方农业学报，2017，48(2)：246-251
Yan H F，Xu J，Li W L，Xiong J，Deng Y Y，Wei M Z，Tang X H，Qin W Z，Zheng X. Quality comparison and comprehensive evaluation on potatoes of different varieties (lines) in winter cropping areas of Guangxi[J]. *Journal of Southern Agriculture*，2017，48(2)：246-251 (in Chinese)

[31] Schreiber L，Nader-Nieto A C，Schönhals E M，Walkemeier B，Gebhardt C. SNPs in genes functional in starch-sugar interconversion associate with natural variation of tuber starch and sugar content of potato (*Solanum tuberosum* L)[J]. *G3：Genes|Genomes|Genetics*，2014，4(10)：1797-1811

[32] Monneveux P，Ramírez D A，Pino M T. Drought tolerance in potato (*S tuberosum* L)：Can we learn from drought tolerance research in cereals?[J]. *Plant Science*，2013，205-206：76-86

[33] Kwambai T K，Struik P C，Gorman M，Nyongesa M，Rop W，Kemboi E，Griffin D. Understanding genotype × environment interactions in potato production to guide variety adoption and future breeding strategies[J]. *Potato Research*，2024，67(2)：663-694

[34] 李思梦，李凯峰，李茂兴，郭华春，王琼. 冬作马铃薯新品种（系）块茎营养品质综合评价[J]. 中国农学通报，2021，37(22)：22-27
Li S M，Li K F，Li M X，Guo H C，Wang Q. Integrated assessment of the tuber nutritional quality of new winter potato varieties [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*，2021，37(22)：22-27 (in Chinese)

[35] Smirnoff N，Wheeler G L. Ascorbic acid in plants：Biosynthesis and function [J]. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*，2000，35(4)：291-314

[36] Sonnewald U，Fernie A R. Next-generation strategies for understanding and influencing source - sink relations in crop plants[J]. *Current Opinion in Plant Biology*，2018，43：63-70

[37] Nunes-Nesi A，Fernie A R，Stitt M. Metabolic and signaling aspects underpinning the regulation of plant carbon nitrogen interactions [J]. *Molecular Plant*，2010，3(6)：973-996

[38] 徐晓，杨梦颖，满全财，李伟，苏润东，王莉莉，张振清，崔江慧. 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)：1710-1719
Xu X，Yang M Y，Man Q C，Li W，Su R D，Wang L L，Zhang Z Q，Cui J H. Comprehensive evaluation on phenotypic traits of 195 potato (*Solanum tuberosum* L) germplasms[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*，2023，37(9)：1710-1719 (in Chinese)

[39] Gebhardt C，Ballvora A，Walkemeier B，Oberhagemann P，Schüler K. Assessing genetic potential in germplasm collections of crop plants by marker-trait association：A case study for potatoes with quantitative variation of resistance to late blight and maturity type[J]. *Molecular Breeding*，2004，13(1)：93-102

[40] 张勇，高海宁，王恩军，王兴德，李红，李彩霞. 山体库贮藏马铃薯淀粉、还原糖含量及淀粉酶活性的变化[J]. 中国农学通报，2011，27(12)：106-111
Zhang Y，Gao H N，Wang E J，Wang X D，Li H，Li C X. Change of starch，reducing sugar and amylase activity of potato during storage in the caves warehouse[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*，2011，27(12)：106-111 (in Chinese)

[41] 韩克，张正茂，邢沁浈，闫巧珍，侯传丽. 不同品种马铃薯膳食纤维化学组成及理化性质分析[J]. 食品科学，2017，38(17)：158-163
Han K，Zhang Z M，Xing Q H，Yan Q Z，Hou C L. Compositions and physicochemical properties of dietary fiber extracted from different potato varieties[J]. *Food Science*，2017，38(17)：158-163 (in Chinese)

[42] 颉瑞霞，张小川，吴林科，郭志乾，张国辉，余帮强. 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
Xie R X，Zhang X C，Wu L K，Guo Z Q，Zhang G H，Yu B Q. Main quality traits analysis and evaluation of potato germplasms[J]. *Molecular Plant Breeding*，2020，18(20)：6828-6836 (in Chinese)

[43] 潘峰. 马铃薯种质资源品质性状及利用价值的评价[D]. 哈尔滨：东北农业大学，2019
Pan F. Evaluation of quality characters and utilization value of potato germplasm resources[D]. Harbin：Northeast Agricultural University，2019 (in Chinese)

[44] 余斌，刘娟，李茂宏，段惠敏，王鹏飞，袁剑龙，叶夕苗. 引进马铃薯种质资源块茎及全粉色泽品质性状的评价研究[J]. 甘肃农业大学学报，2019，54(4)：37-47
Yu B，Liu J，Li M H，Duan H M，Wang P F，Yuan J L，Ye X M. Evaluation on the color characters of tuber and flour of introduced potato germplasm resources[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*，2019，54(4)：37-47 (in Chinese)

[45] 李守强，田世龙，李梅，葛霞，田甲春，程建新. 主成分分析和隶属函数法综合评价15种（系）马铃薯的营养品质[J]. 食品工业科技，2020，41(6)：272-276，291
Li S Q，Tian S L，Li M，Ge X，Tian J C，Cheng J X. Comprehensive evaluation of the nutrition quality of 15 varieties of potatoes by principal component analysis and subordinate function method [J]. *Science and Technology of Food Industry*，2020，41(6)：272-276，291 (in Chinese)

[46] Sowokinos J R. Biochemical and molecular control of cold-induced sweetening in potatoes[J]. *American Journal of Potato Research*，2001，78(3)：221-236

[47] 吴超，方小婷，石鑫鑫，周鑫，罗超，达娃卓嘎，郑顺林. 马铃薯块茎低温糖

化研究进展及展望[J]. 中国马铃薯, 2024, 38(2): 168-175
Wu C, Fang X T, Shi X X, Zhou X, Luo C, Dawazhuoga, Zheng S L. Research progress and prospects on cold-induced sweetening in potato tubers [J]. *Chinese Potato Journal*, 2024, 38(2): 168-175 (in Chinese)

[48] 潘念, 苏旺, 周云, 王舰. 土壤水分胁迫对马铃薯块茎淀粉合成关键酶基因表达及酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2023, 41(2): 78-85
Pan N, Su W, Zhou Y, Wang J. Effects of soil water stress on gene expression and activity of starch synthesis key enzymes in potato tuber[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2023, 41(2): 78-85 (in Chinese)

[49] 赵青霞, 林必博, 张鑫, 李辉军, 刘悦善, 徐刚, 程李香, 王玉萍, 张俊莲, 王蒂, 张峰. 马铃薯抗低温糖化渐渗系培育和炸片品系筛选[J]. 中国农业科学, 2013, 46(20): 4210-4221
Zhao Q X, Lin B B, Zhang X, Li H J, Liu Y S, Xu G, Cheng L X, Wang Y P, Zhang J L, Wang D, Zhang F. Breeding introgression potato lines with resistance to cold-induced sweetening and screening for chip processing lines [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(20): 4210-4221 (in Chinese)

[50] 李雪, 田新会, 杜文华. 小黑麦品系成株期抗旱性研究[J]. 核农学报, 2018, 32(2): 377-388
Li X, Tian X H, Du W H. Study on drought resistance of *Triticale* lines at the adult plant stage[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, 32(2): 377-388 (in Chinese)

[51] 马丽, 郭学良, 范融, 齐红志, 陈亚伟, Francois Serneels, Berengere Delbecq, 陶亚含, 李欣. 30个马铃薯品种(系)块茎品质综合评价与形态特征分析[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(17): 90-96
Ma L, Guo X L, Fan R, Qi H Z, Chen Y W, Serneels F, Delbecq B, Tao Y H, Li X. Comprehensive evaluation of tuber quality and morphological characteristics analysis of 30 potato varieties (lines)[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2025, 53(17): 90-96 (in Chinese)

[52] 罗海玲, 龚明霞, 周芸伊, 马俊, 何龙飞. 利用隶属函数法对山药种质资源品质和产量进行综合评价[J]. 西南农业学报, 2018, 31(5): 911-916
Luo H L, Gong M X, Zhou Y Y, Ma J, He L F. Comprehensive analysis on quality and yield of yam germplasm resources by membership function method [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 31(5): 911-916 (in Chinese)

[53] Fang G N, Yang S W, Ruan B P, Ye G J, He M M, Su W, Zhou Y, Wang J, Yang S L. Research progress on physiological, biochemical, and molecular mechanisms of potato in response to drought and high temperature[J/OL]. *Horticulturae*, (2024-08-04). DOI:doi.org/10.3390/horticulturae10080827

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 马利雯,甘肃农业大学农学院农艺与种业专业硕士研究生,2024—2025和2025—2026年连续获得甘肃农业大学硕士三等学业奖学金。



通讯作者简介: 齐恩芳,甘肃省农业科学院马铃薯研究所研究员,硕士生导师,甘肃省领军人才,甘肃省现代寒旱特色农业薯产业技术体系岗位专家。主要从事马铃薯种质资源收集保存与评价、遗传育种与品种改良及脱毒组培快繁等研究工作。兼任中国作物学会马铃薯专业委员会委员、甘肃省女科技工作者协会理事、甘肃省女大学生就业创业导师、甘肃省巾帼科技智库专家。作为主要完成人参加完成21个马铃薯新品种选育工作,先后主持3项国家自然科学基金;主持和参与国家重点研发计划、甘肃省科技计划重大专项、国家自然科学基金等项目20余个,取得科研成果31项,其中甘肃省科技进步奖一等奖2项、二等奖6项、三等奖1项、农业农村部中华神农科技奖三等奖2项、甘肃省专利奖二等奖1项,国际发明专利1项,国家发明专利3项、国家实用新型专利6项,软件著作权5项,地方标准4项。发表论文30余篇。获2019年度"全国三八红旗手"、第十七届甘肃五四青年奖章提名奖等荣誉称号。



通讯作者简介: 孙超,博士,甘肃农业大学农学院副教授,硕士生导师。主要从事马铃薯遗传育种研究工作,先后主持国家自然科学基金、甘肃省自然科学基金重点项目、干旱生境作物学国家重点实验室开放基金、甘肃农业大学伏羲青年英才基金等科研项目。发表学术论文40余篇,授权专利10余项。