

马铃薯高代品系产量稳定性和加工适宜性评价

周 帅¹, 张 睿², 王 辉¹, 叶夕苗¹, 何学佳¹, 何天久¹

(1. 贵州省生物技术研究所以贵州省农业生物技术重点实验室 贵阳 550006;

2. 威宁县果蔬产业发展中心 贵州威宁 553100)

摘 要:为筛选适宜贵州种植的薯片加工型马铃薯品种,选择 21 个高代品系,以 Atlantic 为对照,在 5 个生态点进行多点试验,并进行加工品质分析评价。结果表明,S17-106-23、S17-123-40、S17-160-8、S17-106-28、DT-2 表现为高产稳产型,产量较对照 Atlantic 显著提高了 173.08%~209.19%,变异系数介于 5.15%~9.93%,稳定值在 16.89~24.81 之间。加工品质及感官分析显示,S17-123-40、S17-160-8、DT-2 干物质含量较高,还原糖含量较低,炸片色泽浅,脆度好,加工品质接近对照品种 Atlantic。相关性分析发现,鲜薯高干物质含量、低还原糖含量的理化特性有利于获得色泽浅、褐变轻且质构良好的油炸薯片,可为加工型马铃薯材料的早期筛选提供重要参考。综上,本研究筛选出的 S17-160-8、S17-123-40 和 DT-2 高代马铃薯品系具有高产稳产特点,且薯片加工品质协调,可以进一步在贵州及相似生态区推广种植。

关键词:马铃薯;高代品系;AMMI 模型;油炸薯片;加工适宜性

中图分类号:S532

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)07-093-12

Evaluation of yield stability and processing suitability in high-generation potato lines

Zhou Shuai¹, Zhang Rui², Wang Hui¹, Ye Ximiao¹, He Xuejia¹, He Tianjiu¹

(1. Guizhou Biological Technology Institute/Key Laboratory of Agricultural Biotechnology, Guizhou Province, Guiyang 550006, Guizhou, China; 2. Weining County Fruit and Vegetable Industry Development Center, Weining 553100, Guizhou, China)

Abstract: To identify potato cultivars suitable for chip processing in Guizhou province, China, this study evaluated 21 advanced breeding lines using Atlantic as the control in multi-location trials across five ecological sites, followed by analyses of processing quality. The results indicated that S17-106-23, S17-123-40, S17-160-8, S17-106-28, and DT-2 were characterized by high and stable yield, showing yield increases of 173.08% to 209.19% compared with Atlantic. Their coefficients of variation ranged from 5.15% to 9.93%, and stability value ranged from 16.89 to 24.81. Processing-quality assessment and sensory evaluation further showed that S17-123-40, S17-160-8, and DT-2 had relatively high dry matter content and low reducing sugar content, producing chips with a lighter color and desirable crispness; overall processing performance was comparable to that of Atlantic. Correlation analysis revealed that the physicochemical traits of high dry matter and low reducing sugar in fresh tubers were conducive to producing fried chips with a lighter color, reduced browning, and favorable texture. These findings provide an important reference for early-stage screening of potato materials for chip processing. This study identified S17-160-8, S17-123-40, and DT-2 as having high and stable yield, with well-balanced quality traits for potato chip processing. They can be further promoted and applied in Guizhou and similar ecological regions.

Key words: Potato; High-generation line; AMMI model; Fried crisps; Processing suitability

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是全球第四大粮食作物,具有高产、营养丰富和适应性强等特性,能够兼做粮食、蔬菜、饲料及化工原料^[1],在保障粮食安全与促进农业产业结构优化中具有重要作

用。近年来,随着我国“马铃薯主粮化战略”的推进,马铃薯产业正由传统鲜食型向多元加工型转变^[2]。薯片因口感酥脆、携带方便、消费群体广,是马铃薯深加工中增长较快的产品类型之一,但其对

收稿日期:2025-11-25;修回日期:2026-01-19

基金项目:贵州省科学技术厅项目(黔科合支撑(2022)重点 030);贵州省农业科学院项目(黔农科科技创新(2023)04 号)

作者简介:周 帅,男,助理研究员,主要从事马铃薯遗传育种研究。E-mail:379925105@qq.com

通信作者:何天久,男,研究员,主要从事马铃薯遗传育种研究。E-mail:hetianjiu1983@163.com

加工原料的品质和供应稳定性要求较高^[3]。

优质薯片加工原料不仅需要产量优势,还需在块茎干物质、还原糖、淀粉含量以及油炸后的色泽、质构和感官品质等方面满足加工企业要求^[4-5]。研究表明,色泽是衡量油炸薯片品质的首要指标,而还原糖含量是影响薯片色泽及褐变程度的关键因素^[6]。炸片颜色过深会伴随丙烯酰胺等潜在有害物质的生成,从而降低产品安全性与感官品质^[7-9]。此外,薯片品质还受块茎干物质及淀粉含量的综合影响^[10]。多项研究显示,干物质含量越高,薯片越脆且油吸附率越低^[11-13]。

国际上广泛应用的薯片、薯条加工型品种,如 Russet Burbank、Atlantic、Shepody 等在干物质、还原糖含量及色泽稳定性方面表现优异,但在我国栽培适应性有限^[14]。2025 年非主要农作物登记系统中,马铃薯共登记品种 162 个,兼炸片炸条加工类型的品种仅 15 个,无专用品种。根据国家统计局数据,贵州马铃薯产量、规模常年位居全国前三。贵州现有 30 余个马铃薯品种,均以鲜食兼用型为主,加工适配性不足。炸片加工是提升马铃薯附加值的重要方向之一。因此,筛选并培育适宜炸片加工的地方专用型品种,对推动贵州马铃薯产业提质增效与可持续发展具有重要意义。

笔者以 21 个马铃薯高代品系为材料,以 Atlantic 为对照品种,在贵州不同生态点开展多点品比试验,从块茎产量及其稳定性、理化品质、炸片色泽与质构特性以及感官评价等方面对加工适宜性进行系统比较^[15],旨在筛选出适宜贵州油炸薯片加工的专用品种,并为加工型马铃薯育种与区域化布局提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为近年来育成的产量和抗性较好、具有加工潜力的马铃薯新品系,以薯片加工优质品种 Atlantic 为对照,共 22 份。所有参试材料由贵州省农业科学院生物技术研究所在育种合作单位提供。具体来源见表 1。

1.2 试验地点与设计

试验于 2023 年 4—10 月在贵州省毕节市朱昌镇、遵义市团泽镇、盘州市乌蒙镇、贵阳市金筑街道和威宁县双龙镇 5 个点开展,海拔 800~2200 m,年均气温 10~15 °C,土壤以黄壤和黄棕壤为主。各试验点栽培管理按当地高产栽培模式统一进行。试

验采用随机区组设计,3 次重复,每小区 10 行,行长 4 m,小区面积 24 m²,行距 60 cm,株距 31 cm,密度约 3613 株·667 m²。四周设保护行。按品种(系)单收单记,分别统计商品薯和非商品薯产量,折算 667 m²产量和商品薯率。

1.3 农艺性状和理化指标测定

参照《马铃薯种质资源描述规范》^[16]调查株高、生育期、主茎数、块茎形状、皮色、肉色、芽眼深浅等农艺性状。单薯质量≥75 g 记为商品薯,计算商品薯率和平均 667 m²产量。块茎理化品质指标测定按照国家标准进行:参考 GB 5009.3—2016 测定干物质含量^[17];参考 GB 5009.7—2016 测定还原糖含量^[18];参考 GB 5009.5—2016 测定蛋白质含量^[19];参考 GB 5009.9—2023 测定淀粉含量^[20];参考 GB 5009.86—2016 测定维生素 C 含量^[21]。各指标每个品种(系)设 3 次生物学重复。

1.4 薯片加工、色泽、质构及感官评价

油炸薯片加工参照企业常规工艺并结合文献适当调整。选取无机械损伤、大小适中的块茎,去皮、清洗后用切片机切片,厚度约 1.5 mm;在 180 °C 棕榈油中油炸 3 min,捞出沥油、冷却备用^[17]。

色泽采用便携式色差计测定,记录炸前鲜薯和炸后薯片的 L^* 、 a^* 、 b^* 值,每样本随机取片测定 8 次,求平均值,并计算色差 ΔE 。 $\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$,其中 L_2^* 、 a_2^* 、 b_2^* 是鲜薯颜色的 L^* 、 a^* 、 b^* 值; a_1^* 、 L_1^* 、 b_1^* 是炸后薯片的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。

质构特性在室温(约 25 °C)下测定,采用质构仪配三点弯曲夹具,以炸片为试样,测定硬度、黏附性、内聚性、弹性和咀嚼性等指标,每处理 3 次重复。感官评价参考马铃薯油炸薯片相关标准 QB/T 2686—2005^[22],结合本地区和研究产品的实际制定了马铃薯油炸薯片的感官得分评价标准(表 2)。选取 10 名从事马铃薯育种或加工研究的相关人员,开展 1 个品系评价前用清水漱口,按表 2 的标准对各个品系打分(保留 1 位小数),取平均值作为各项指标的最终结果,各项指标之和即为感官综合得分。

1.5 数据处理与分析

采用 WPS 软件对原始数据进行整理与计算。利用 Genstat 2024 软件对产量等指标进行方差分析和 AMMI 模型分析,评价品种主效应、环境主效应及品种×环境互作效应,并计算 AMMI 稳定值等参数。采用 OriginPro 2024 进行相关性分析和作图,显著性检验水平设为 $P < 0.05$ 。

表 1 参试马铃薯品系及来源
Table 1 Potato line and source used in the study

序号 Serial number	品系 Line	来源 Source
1	17N01-27	南亚热带作物研究所 Institute of South Subtropical Crop Research
2	18N10-02	南亚热带作物研究所 Institute of South Subtropical Crop Research
3	19N25-03	南亚热带作物研究所 Institute of South Subtropical Crop Research
4	19N32-15	南亚热带作物研究所 Institute of South Subtropical Crop Research
5	2016-12-114	河北北方学院 Hebei North University
6	2016-12-162	河北北方学院 Hebei North University
7	2016-2-111	河北北方学院 Hebei North University
8	2016-2-74	河北北方学院 Hebei North University
9	WB	地方品种憨包洋芋 Local potato variety known as Hanbao
10	BF1821-002	河北北方学院 Hebei North University
11	BF1891-001	河北北方学院 Hebei North University
12	DT-2	定西马铃薯研究所 Dingxi Potato Research Institute
13	DT-7	定西马铃薯研究所 Dingxi Potato Research Institute
14	OB-108-22	贵州省生物技术研究so Guizhou Biological Technology Institute
15	S11-993	云南省农业科学院经济作物研究所 Economic Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences
16	S13-533	云南省农业科学院经济作物研究所 Economic Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences
17	S17-106-23	云南省农业科学院经济作物研究所 Economic Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences
18	S17-106-28	云南省农业科学院经济作物研究所 Economic Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences
19	S17-123-40	云南省农业科学院经济作物研究所 Economic Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences
20	S17-160-8	云南省农业科学院经济作物研究所 Economic Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences
21	S17-173-109	云南省农业科学院经济作物研究所 Economic Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences
22	Atlantic(CK)	贵州省生物技术研究so Guizhou Biological Technology Institute

表 2 马铃薯油炸薯片感官得分评价标准
Table 2 Sensory evaluation criteria for potato chips

指标 Indicator	得分 Score			
	1~2	2~3	3~4	4~5
外形 Appearance	表面断裂、碎片率高 Surface severely broken with a high proportion of fragments	表面略有破碎或大泡较多 Slight surface breakage or numerous large blisters	表面完整,有个别大泡 Mostly intact surface with occasional large blisters	表面完整,无大泡或个别大泡 Intact surface with no blisters or only a few small blisters
色泽 Color	有较多焦糊色 Obvious burnt or darkened color	有少许焦糊色 Slight burnt coloration	白色或淡黄色基本均匀 White or light yellow, relatively uniform	白色或淡黄色且均匀一致 Uniform white or light yellow
口感 Texture	口感油腻 Greasy mouthfeel	含油量高 High oil content	含油量适中 Moderate oil content	口感无油腻 Non-greasy mouthfeel
脆度 Crispness	绵软或较硬 Soft or excessively hard	一般 Moderate	比较酥脆 Crispy	非常酥脆 Very crispy
食味 Taste	有杂味如焦糊味、苦味或涩味 Off-flavors such as burnt, bitter or astringent taste	无杂味,薯香味一般 No off-flavor, moderate potato flavor	无杂味,薯香味比较浓 No off-flavor, strong potato flavor	无杂味,薯香味非常浓 No off-flavor, very strong potato flavor

2 结果与分析

2.1 不同品系农艺性状与商品性表现

不同马铃薯品系在主要农艺性状和商品性状上差异明显(表 3)。供试材料株型由紧凑到半直立不等,株高变幅较大,主茎数以 3~4 个为主。12 个

表 3 不同品系农艺性状

Table 3 Agronomic traits of different lines

品系 Line	商品薯率 Commercial potato rate/%	主茎数 Number of main stems	株高 Plant height/ cm	生育期 Growth period/d	叶色 Leaf color	花繁茂性 Flowering vigor	花冠色 Corolla color	结实性 Seed production capacity	薯形 Tuber-shaped	皮色 Tuber skin color	肉色 Potato flesh color	芽眼深度 Bud eye depth	薯皮类型 Potato skin type
17N01-27	81.40	4.10	63.70	80~90	绿色 Green	繁茂 Abundant	白色 White	中 Medium	扁圆形 Flattened round	黄色 Yellow	黄色 Yellow	浅 Shallow	光滑 Smooth
18N10-02	76.00	2.30	43.50	65~80	绿色 Green	繁茂 Abundant	红色 Red	中 Medium	扁圆形 Flattened round	黄色 Yellow	乳白 Cream	中 Medium	粗糙 Rough
19N25-03	89.60	4.00	62.30	85~95	深绿 Dark green	繁茂 Abundant	紫色 Purple	中 Medium	卵圆形 Oval	花紫 Purple	深黄 Deep yellow	深 Deep	粗糙 Rough
19N32-15	76.21	3.60	83.10	90~100	浅绿 Light green	少花 Sparse	浅紫色 Light purple	无 None	长卵圆形 Long oval	黄色 Yellow	黄色 Yellow	中 Medium	粗糙 Rough
2016-12-114	92.30	3.50	46.50	80~90	绿色 Green	繁茂 Abundant	白色 White	中 Medium	卵圆形 Oval	黄色 Yellow	黄色 Yellow	浅 Shallow	略麻 Slightly russeted
2016-12-162	76.20	3.00	68.30	70~85	深绿 Dark green	繁茂 Abundant	红色 Red	中 Medium	圆形 Round	白色 White	白色 White	深 Deep	略麻 Slightly russeted
2016-2-111	89.40	1.80	42.80	70~85	深绿 Dark green	繁茂 Abundant	红色 Red	中 Medium	圆形 Round	白色 White	白色 White	浅 Shallow	光滑 Smooth
2016-2-74	91.20	3.70	74.30	90~100	绿色 Green	繁茂 Abundant	白色 White	多 High	圆形 Round	白色 White	浅黄 Light yellow	浅 Shallow	光滑 Smooth
BF1821-002	90.70	2.60	63.50	85~95	浅绿 Light green	繁茂 Abundant	淡红色 Light red	中 Medium	卵圆形 Oval	白色 White	浅黄 Light yellow	浅 Shallow	光滑 Smooth
BF1891-001	78.10	4.00	89.70	100~115	绿色 Green	繁茂 Abundant	蓝色 Blue	少 Low	卵圆形 Oval	黄色 Yellow	白色 White	浅 Shallow	中等 Medium
DT-2	89.00	1.70	50.70	85~95	绿色 Green	落蕾 Bud drop	无 None	无 None	卵圆形 Oval	黄色 Yellow	浅黄 Light yellow	极浅 Very shallow	光滑 Smooth
DT-7	71.40	2.20	64.20	75~85	绿色 Green	中等 Moderate	白色 White	中 Medium	圆形 Round	黄色 Yellow	黄色 Yellow	浅 Shallow	光滑 Smooth
OB-108-22	83.10	3.40	94.90	100~115	绿色 Green	繁茂 Abundant	白色 White	少 Low	卵圆形 Oval	黄色 Yellow	浅黄 Light yellow	中 Medium	光滑 Smooth
S11-993	92.20	2.30	62.10	90~100	深绿 Dark green	繁茂 Abundant	白色 White	多 High	卵圆形 Oval	黄色 Yellow	黄色 Yellow	浅 Shallow	光滑 Smooth
S13-533	77.80	3.00	70.30	85~95	深绿 Dark green	繁茂 Abundant	深红色 Dark red	多 High	卵圆形 Oval	黄色 Yellow	黄色 Yellow	浅 Shallow	光滑 Smooth
S17-106-23	73.98	3.20	85.60	100~110	绿色 Green	繁茂 Abundant	白色 White	无 None	长卵圆形 Long oval	黄色 Yellow	黄色 Yellow	浅 Shallow	粗糙 Rough
S17-106-28	86.76	3.60	72.10	100~110	绿色 Green	繁茂 Abundant	白色 White	无 None	长卵圆形 Long oval	黄色 Yellow	黄色 Yellow	浅 Shallow	光滑 Smooth
S17-123-40	74.35	3.40	77.00	100~110	绿色 Green	繁茂 Abundant	浅蓝 Light blue	少 Low	卵圆形 Oval	浅黄 Light yellow	白色 White	浅 Shallow	粗糙 Rough
S17-160-8	81.57	2.60	67.30	100~110	绿色 Green	繁茂 Abundant	白色 White	无 None	卵圆形 Oval	黄色 Yellow	白色 White	中 Medium	光滑 Smooth
S17-173-109	70.30	3.30	62.50	90~100	绿色 Green	繁茂 Abundant	白色 White	多 High	圆形 Round	乳白 Cream	乳白 Cream	浅 Shallow	光滑 Smooth
WB	79.79	3.60	89.00	100~115	绿色 Green	繁茂 Abundant	蓝色 Blue	无 None	卵圆形 Oval	黄色 Yellow	白色 White	浅 Shallow	粗糙 Rough
Atlantic	75.50	3.70	72.50	85~95	绿色 Green	中等 Moderate	浅紫色 Light purple	无 None	卵圆形 Oval	浅黄 Light yellow	白色 White	浅 Shallow	光滑 Smooth

品种(系)块茎形状呈卵圆形,5个为圆形,其余是长卵圆形或扁圆形;黄皮色和白皮色品种(系)有18个,皮色呈浅黄色、花紫色及乳白色的共有4个。肉色呈黄色8个、浅黄色4个、乳白色2个、白色7个、深黄色1个。商品薯率范围为70.30%~92.30%,2016-2-111、2016-2-74、S11-993、DT-2、S17-106-28兼具高商品薯率($\geq 85\%$)、块茎表皮光滑、芽眼浅等特点,适合作为加工原料,而2016-12-162、19N25-03芽眼较深,会影响削皮效率和加工出成率。

2.2 不同品系产量表现及稳定性分析

22个马铃薯品种(系)在5个生态点的产量差异明显(表4)。品种(系)间的稳产性存在显著差异。为明确分类依据,笔者以 667 m^2 平均产量表征产量水平,以变异系数(CV)与AMMI稳定值(ASV)共同表征稳定性,并据此划分为四类:以大于 $2900\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 为高产阈值, $1000\sim 2900\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 为中产,少于 $1000\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 为低

产;其中高产稳产型需同时满足 $CV\leq 10\%$ 且 $ASV\leq 30$ 。结果表明,S17-160-8、S17-123-40、DT-2、S17-106-23和S17-106-28均大于 $2900\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$,且 $CV\leq 10\%$ 、 $ASV\leq 30$,为典型的高产稳产型材料,适宜在多生态区推广应用;19N32-15、WB、OB-108-22、BF1891-001的产量均大于 $2900\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$,但 $CV>10\%$ 和/或 $ASV>30$,属于高产特定适应型,适合作为优势生态区的主栽或育种亲本;18N10-02、17N01-27、S13-533产量为 $1068.5\sim 1368.6\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$,且 $ASV\leq 30$ 、 $CV\leq 45\%$,为中产稳产型;19N25-03、2016-12-114、2016-12-162、2016-2-111、2016-2-74、BF1821-002、DT-7、S11-993、S17-173-109和Atlantic产量偏低(部分低于 $1000\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$)且/或 $CV>45\%$ 或 $ASV>30$,表现为低产或对环境敏感,稳定性较差,归为低产不稳型,仅宜在特定生态区进一步筛选验证或作为参考材料使用。

产量性状联合方差分析结果(表5)显示,品种主效应极显著($df=21$, $F=649.32$, $P<0.001$),品种平

表4 马铃薯高代品系田间产量性状分析

Table 4 Analysis of field yield traits in high-generation potato lines

品系 Line	产量 Yield/($\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$)					平均产量 Average yield/ ($\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$)	标准差 Standard deviation	变异 系数 CV/%	AMMI 稳定值 AMMI stability value
	毕节 Bijie	遵义 Zunyi	盘州 Panzhou	贵阳 Guiyang	威宁 Weining				
17N01-27	1 374.3 c	707.8 q	1 435.1 de	900.4 e	1 674.9 f	1 264.2 c	456.47	36.11	11.08
18N10-02	1 759.2 c	1 497.0 j	1 117.7 f	982.0 e	1 497.3 g	1 368.6 c	305.32	22.31	25.30
19N25-03	453.0 e	1 041.3 l	1 447.2 de	307.6 h	996.8 h	848.7 c	436.10	51.38	17.32
19N32-15	3 151.9 ab	2 358.3 i	3 384.3 ab	3 052.6 b	3 212.7 bc	3 038.8 a	405.14	13.33	9.91
2016-12-114	373.8 e	849.5 o	1 368.4 e	644.8 f	2 839.4 d	1 217.6 c	908.45	74.61	65.53
2016-12-162	273.8 f	181.6 v	566.1 g	777.2 f	1 643.4 f	691.6 c	540.67	78.17	28.44
2016-2-111	628.1 de	554.9 r	1 265.3 e	738.3 f	1 257.1 g	890.7 c	329.03	36.94	6.50
2016-2-74	266.8 f	789.3 p	1 564.1 d	1 316.4 d	1 040.3 h	997.0 c	487.58	48.90	20.33
BF1821-002	1 307.6 c	972.7 n	1 504.4 de	1 486.9 d	3 483.2 ab	1 791.9 bc	918.74	51.27	61.97
BF1891-001	3 466.7 a	2 585.6 g	3 282.6 b	3 076.8 b	3 365.4 ab	3 150.6 a	347.79	11.04	15.52
DT-2	2 950.7 b	3 030.7 c	2 924.1 cd	3 009.4 bc	3 106.6 bc	2 999.3 ab	154.55	5.15	16.89
DT-7	728.1 d	999.6 m	483.1 g	285.3 h	884.7 h	676.5 c	272.14	40.23	16.90
OB-108-22	3 700.6 a	2 835.9 e	3 356.3 ab	2 924.0 bc	3 127.7 bc	3 189.0 a	339.11	10.63	30.81
S11-993	398.8 e	470.6 s	2 073.8 d	743.9 f	2 466.1 e	1 234.7 c	902.08	73.06	55.67
S13-533	918.5 d	1 104.3 k	806.3 f	727.2 f	1 810.2 f	1 068.5 c	429.79	40.22	10.92
S17-106-23	3 380.2 a	2 670.8 f	3 118.5 c	2 691.4 c	2 885.6 cd	2 949.3 ab	292.73	9.93	29.46
S17-106-28	2 880.4 b	2 915.6 d	3 409.9 ab	3 236.3 ab	3 011.2 cd	3 121.2 a	306.81	9.83	22.67
S17-123-40	3 209.0 a	3 268.3 a	3 352.3 ab	3 053.4 b	3 258.4 bc	3 228.3 a	187.22	5.80	20.08
S17-160-8	3 332.7 a	3 080.4 b	3 657.4 a	3 437.4 a	3 188.9 bc	3 339.3 a	252.58	7.56	24.81
S17-173-109	1 007.5 d	406.7 t	1 370.4 e	604.0 g	1 728.6 f	1 022.7 c	520.65	50.91	15.52
WB	3 556.3 a	2 486.1 h	3 091.4 c	3 385.6 a	3 605.6 a	3 225.0 a	446.48	13.84	14.56
Atlantic	1 834.3 c	301.1 u	1 291.6 e	540.1 g	1 437.8 g	1 080.5 c	602.65	55.77	23.47

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著。

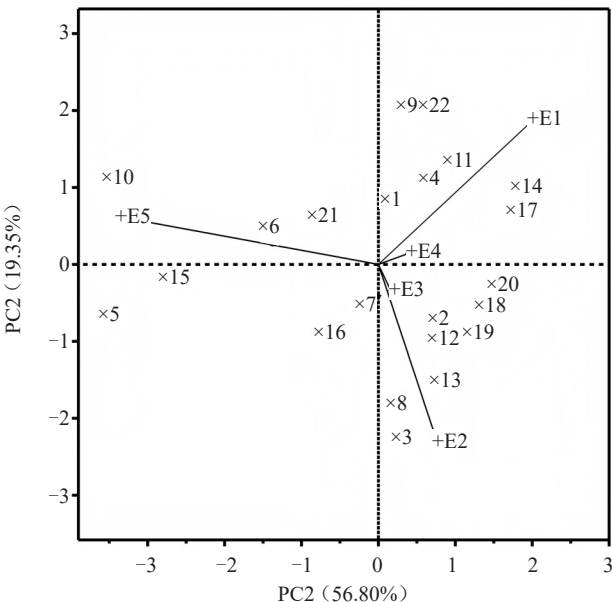
Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

表 5 产量性状联合方差分析
Table 5 Analysis of variance for yield traits

变异来源 Source of variation	df	SS ^a	m.s.	F	P
品系 Line	21	3.53×10 ⁸	1.68×10 ⁷	649.32	<0.001
地点 Location	4	2.30×10 ⁷	5.74×10 ⁶	221.72	<0.001
品系×地点 Line×Location	84	4.70×10 ⁷	5.60×10 ⁵	21.64	<0.001
试验误差 Residual	220	5.70×10 ⁶	2.59×10 ⁴		
总误差 Total error	329	4.29×10 ⁸			

方和约 3.53×10⁸, 占总变异的 82%, 为产量差异的主要来源, 说明遗传差异较大, 品种选择潜力较大。地点平方和约 2.30×10⁷, 表明生态点间差异对产量也有一定的影响。品系×地点互作效应显著, 提示不同品系对环境的响应存在差异, 需要结合稳定性指标综合评价。

AMMI 模型将基因型主效应、环境主效应与 G×E 互作分离, 并对互作项进行主成分分解。双标图分析表明(图 1), 前两个主成分(PC1 和 PC2)共解释约 76.15% 的总变异, 模型能较好地反映各品系在不同生态条件下的响应模式。由图 1 可知, 环境向量显示毕节、遵义与威宁向量较长, 说明其对品系差异的鉴别力较强, 互作效应更明显; 盘州与贵阳靠近原点, 代表性较好, 互作相对较弱。



注: E1 代表毕节; E2 代表遵义; E3 代表盘州; E4 代表贵阳; E5 代表威宁。

Note: E1 represents Bijie; E2 represents Zunyi; E3 represents Panzhou; E4 represents Guiyang; E5 represents Weining.

图 1 产量 AMMI 模型分析
Fig. 1 AMMI model analysis of yield

2.3 块茎理化品质差异

由表 6 可知, 22 个品种(系)在干物质、还原糖、蛋白质、淀粉和维生素 C 含量等块茎品质性状上均表现出显著差异。干物质含量在不同品种(系)间范围为 16.40~22.81 g·100 g⁻¹, 其中 BF1891-001 和 19N32-15 干物质含量较高, 分别为 22.81 g·100 g⁻¹ 和 22.80 g·100 g⁻¹, 均处于最高水平; WB 干物质含量为 22.35 g·100 g⁻¹, 也表现出较强的干物质积累能力。2016-12-162、S17-106-23、Atlantic 和 S17-173-109 的干物质含量均超过 20.00 g·100 g⁻¹, 处于相对较高水平。多数材料干物质含量集中在 18.00~20.00 g·100 g⁻¹ 之间, 表现为中等水平。相比之下, 2016-12-114 和 18N10-02 干物质含量较低, 分别为 16.40 g·100 g⁻¹ 和 17.08 g·100 g⁻¹, 其中 2016-12-114 最低。总体来看, 不同品种(系)间干物质积累能力差异明显。还原糖含量范围为 0.14~1.32 g·100 g⁻¹, 品系间差异显著, 其中 WB 的还原糖含量显著高于其他所有材料, 其余品系还原糖含量均低于 0.60 g·100 g⁻¹, 其中 Atlantic、17N01-27、DT-2、19N32-15、2016-2-111、S17-123-40 和 2016-2-74 均低于 0.20 g·100 g⁻¹。参试品种(系)蛋白质含量在 1.11~3.01 g·100 g⁻¹ 之间, 其中 BF1821-002 (3.01 g·100 g⁻¹) 和 2016-12-162 (2.97 g·100 g⁻¹) 蛋白质含量较高, 显著高于其他参试品系, 显示出一定的营养品质优势。淀粉含量范围为 12.08~18.97 g·100 g⁻¹, 其中 BF1891-001 最高, 其次为 19N32-15、Atlantic、WB 和 2016-12-162, 而 18N10-02 (12.08 g·100 g⁻¹)、S17-106-28 (14.02 g·100 g⁻¹) 和 BF1821-002 (14.06 g·100 g⁻¹) 的淀粉含量相对偏低。维生素 C 含量在品种间差异较大, 范围为 12.93~24.31 mg·100 g⁻¹, 其中 S17-160-8 (24.31 mg·100 g⁻¹) 和 2016-12-114 (23.12 mg·100 g⁻¹) 显著高于除 OB-108-22 外的其他品系, 表现出较大的营养品质潜力。

2.4 油炸薯片色泽特征及类型划分

从鲜薯与油炸薯片的亨特指数变化可以看出(表 7), 油炸处理普遍导致各品种(系)炸片 L* 值下降, a* 和 b* 值升高, 表明高温油炸使薯片亮度降低, 红度和黄度增强, 整体色泽由浅黄色向金黄色甚至褐黄色转变。结合图 2 中不同品种(系)油炸薯片的真实形态可以发现, 油炸后色泽测定结果在总体趋势上与薯片实际褐变表现基本一致, 但个别材料在数值变化幅度与肉眼感知之间存在一定差异, 需要综合判读。根据油炸后 L*、a*、b* 和 ΔE 的变化特征, 并以油炸薯片图片中褐变程度和色泽均匀性为

表 6 不同马铃薯品系品质测定结果
Table 6 Quality assessment results for different potato lines

品种 Line	w(干物质) Dry matter content/ (g·100 g ⁻¹)	w(还原糖) Reducing sugar content/ (g·100 g ⁻¹)	w(蛋白质) Protein content/ (g·100 g ⁻¹)	w(淀粉) Starch content/ (g·100 g ⁻¹)	w(维生素 C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹)
17N01-27	19.98±0.83 abcde	0.16±0.03 ef	1.67±0.10 gh	15.62±0.86 abcde	18.98±0.80 bc
18N10-02	17.08±0.70 de	0.34±0.06 bcdef	1.90±0.03 efgh	12.08±0.42 f	17.16±0.84 cd
19N25-03	19.41±0.52 abcde	0.25±0.04 cdef	2.19±0.08 bcde	16.64±0.73 abcde	15.14±0.55 cde
19N32-15	22.80±1.89 a	0.18±0.06 ef	1.73±0.09 fgh	18.34±1.11 ab	15.45±0.42 cde
2016-12-114	16.40±0.62 e	0.37±0.03 bcdef	2.03±0.03 defg	14.16±0.71 ef	23.12±0.56 a
2016-12-162	21.97±2.47 abc	0.45±0.05 bcdef	2.97±0.03 a	17.70±0.61 abcd	16.49±0.90 cde
2016-2-111	18.81±0.34 bcde	0.18±0.03 ef	1.68±0.10 gh	15.56±0.70 abcde	15.98±0.63 cde
2016-2-74	18.15±0.80 de	0.18±0.07 ef	1.80±0.07 fgh	16.33±0.54 abcde	18.53±0.49 bc
BF1821-002	18.65±0.57 cde	0.58±0.09 bc	3.01±0.05 a	14.06±0.24 ef	18.69±0.98 bc
BF1891-001	22.81±2.15 a	0.23±0.08 def	2.07±0.07 cdef	18.97±0.66 a	15.46±0.63 cde
DT-2	18.26±1.10 de	0.17±0.03 ef	1.77±0.06 fgh	14.44±0.99 def	18.42±0.59 bcd
DT-7	18.72±0.28 bcde	0.59±0.08 b	2.47±0.07 b	15.84±0.44 abcde	18.28±0.51 bcd
OB-108-22	18.61±0.52 cde	0.49±0.14 bcde	1.94±0.05 efgh	15.82±0.45 abcde	21.26±0.95 ab
S11-993	18.54±0.30 cde	0.21±0.04 ef	2.36±0.05 bcd	15.35±0.32 bcdef	16.75±0.61 cde
S13-533	18.72±0.60 bcde	0.37±0.05 bcdef	2.43±0.06 bc	15.41±0.63 bcdef	15.80±0.83 cde
S17-106-23	20.52±0.17 abcd	0.54±0.04 bcd	1.64±0.01 h	16.69±0.50 abcde	14.43±1.06 de
S17-106-28	18.10±0.58 de	0.41±0.06 bcdef	1.94±0.08 efgh	14.02±0.90 ef	15.86±0.55 cde
S17-123-40	18.37±0.21 cde	0.19±0.06 ef	1.87±0.07 efgh	14.73±0.53 cdef	18.19±0.72 bcd
S17-160-8	19.23±0.50 abcde	0.21±0.06 ef	1.74±0.03 fgh	16.50±0.49 abcde	24.31±0.70 a
S17-173-109	20.26±2.82 abcd	0.31±0.00 bcdef	1.11±0.05 i	17.10±0.37 abcde	18.57±0.50 bc
WB	22.35±1.30 ab	1.32±0.08 a	2.07±0.06 cdef	18.08±0.64 abc	12.93±0.79 e
Atlantic(CK)	20.42±0.68 abcd	0.14±0.01 f	2.38±0.14 bcd	18.30±0.42 ab	16.15±1.15 cde

主要依据,可将供试材料划分为 3 类:I. 低褐变型,包括 BF-1821-002、2016-12-114、2016-2-111、DT-2、S13-533、S17-123-40、19N25-03、2016-2-74 和 Atlantic。这些品系油炸后薯片整体呈白色或黄色,表面颜色一致,几乎不出现明显褐斑。从色泽参数看,这一类材料油炸后 L^* 值下降幅度相对较小, a^* 值保持在较低水平, ΔE 相对较低或处于中等偏低区间,说明其在油炸过程中褐变反应较弱,色泽稳定性较好。其中 BF-1821-002 炸片色泽最为均匀,与其油炸后 a^* 值较低、黄度变化适中的测定结果一致。II. 中等褐变型,包括 S17-160-8、S17-106-28、BF-1891-001、S17-173-109、18N10-02、S11-933 和 19N32-15。这些材料油炸后薯片颜色较前一类略深,部分薯片整体色调加深,但褐变分布相对均匀,未形成明显焦斑。色泽测定结果显示,这些品系油炸后 L^* 值有一定幅度下降, b^* 值明显升高, ΔE 处于中等水平,表现为典型的薯片黄色或偏深黄色,褐变程度总体可被接受。III. 明显褐变型,包括 WB、DT-7、S17-106-23、OB-108-22、17N01-27 和 2016-12-162。图 2 显示,这些品系油炸后薯片普遍

出现明显褐黄色或暗褐色区域,局部褐斑或焦斑清晰,色泽不均一。相应地,其油炸后 L^* 值下降幅度较大, a^* 值明显升高, ΔE 较高,表明褐变反应强烈。其中 WB、OB-108-22 的褐变最为明显,不适宜作为薯片加工原料。

2.5 薯片质构特性及代表材料

22 份材料薯片的质构特性差异较大,各指标呈现宽幅分布(表 8)。黏附性范围为 0.10~8.67 mJ,多数材料黏附性较低,口感干爽、易于咀嚼;S17-173-109 黏附性最高,为明显高值离群材料,其表面黏附感较强,认为与片体含水率偏高或组织结构松散有关。硬度在 51.43~97.94 N 之间,其中 19N32-15、Atlantic 的硬度分别达到 97.94 和 94.95 N;相比之下,2016-12-114 (51.43 N) 和 18N10-02 (58.20 N) 硬度较低。内聚性变幅为 0.09~8.50,集中在 0.2~0.6 范围的共有 12 份材料,结构相对疏松;仅 S17-173-109 的内聚性高达 8.50,反映其片体结构较紧密,咀嚼过程中不易碎裂。弹性在 0.09~4.41 mm,其中 18N10-02 和 S17-160-8 的弹性较高,表现为受力后可恢复性较好;2016-2-111、

表 7 不同马铃薯品系色泽测定结果
Table 7 Color measurement results for different potato lines

品种 Line	鲜薯 Fresh tuber			油炸薯片 Fried chip			ΔE
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
17N01-27	86.78±0.81 bcde	0.40±0.19 abc	15.19±0.28 bc	59.83±1.49 h	8.55±0.65 b	19.93±0.04 def	86.78±0.81 bcde
18N10-02	90.36±0.66 abcd	-0.19±0.29 bc	7.74±1.09 defg	71.09±0.46 def	4.03±0.19 de	22.23±0.69 abcd	90.36±0.66 abcd
19N25-03	83.17±1.15 e	0.75±0.31 abc	11.47±0.19 cd	77.69±1.07 ab	4.18±0.67 de	19.10±0.39 ef	83.17±1.15 e
19N32-15	83.80±0.38 de	1.20±0.23 abc	16.32±0.86 ab	69.63±1.27 ef	5.23±0.71 de	22.51±0.22 abcd	83.80±0.38 de
2016-12-114	81.99±0.94 e	2.38±0.50 a	20.37±0.72 a	62.92±0.63 gh	8.13±0.47 bc	19.16±0.80 ef	81.99±0.94 e
2016-12-162	88.05±0.66 bcde	-0.02±0.31 bc	7.92±0.46 defg	50.08±1.67 i	12.48±0.41 a	18.47±0.33 f	88.05±0.66 bcde
2016-2-111	86.96±0.71 bcde	0.86±0.34 abc	9.88±0.57 de	44.55±0.91 j	13.06±0.51 a	15.61±0.36 g	86.96±0.71 bcde
2016-2-74	88.04±1.38 bcde	1.43±0.29 ab	15.71±0.95 b	76.10±1.28 abc	3.82±0.35 de	23.11±0.80 abc	88.04±1.38 bcde
BF-1821-002	84.57±0.80 cde	0.68±0.24 abc	9.56±0.15 de	73.32±0.91 bcde	4.95±0.31 de	24.10±0.28 ab	84.57±0.80 cde
BF-1891-001	84.16±0.80 de	-0.92±0.42 c	6.92±0.38 efgh	77.38±0.96 ab	4.29±0.40 de	24.44±0.38 a	84.16±0.80 de
DT-2	84.35±1.32 de	0.22±0.76 abc	4.71±0.07 fgh	77.83±0.47 ab	3.05±0.10 e	22.32±0.35 abcd	84.35±1.32 de
DT-7	84.95±0.28 cde	-0.48±0.76 bc	5.04±0.98 fgh	78.73±0.69 a	3.15±0.56 e	22.12±1.12 abc	84.95±0.28 cde
OB-108-22	84.94±1.38 cde	-0.19±0.28 bc	6.49±0.43 efgh	74.88±1.05 abcd	4.00±0.33 de	22.59±0.48 abc	84.94±1.38 cde
S11-933	92.10±1.74 ab	-0.04±0.13 bc	8.13±0.89 def	67.90±0.24 fg	7.96±0.57 bc	21.36±0.60 cde	92.10±1.74 ab
S13-533	84.93±0.94 cde	1.18±0.16 abc	15.54±1.18 bc	64.20±0.92 gh	8.54±1.05 b	21.96±0.34 bcd	84.93±0.94 cde
S17-106-23	91.93±1.83 ab	0.42±0.26 abc	3.81±0.79 gh	78.70±0.75 a	3.75±0.27 de	23.41±0.95 ab	91.93±1.83 ab
S17-106-28	92.74±1.91 ab	0.05±0.33 bc	5.40±0.09 fgh	75.29±0.34 abcd	4.01±0.17 de	23.63±0.34 ab	92.74±1.91 ab
S17-123-40	90.33±1.81 abcd	-0.98±0.39 c	7.03±1.12 efgh	76.19±0.14 abc	3.85±0.59 de	23.98±0.77 ab	90.33±1.81 abcd
S17-160-8	95.19±0.60 a	1.63±0.90 ab	3.50±0.94 h	75.08±0.68 abcd	4.18±0.53 de	22.27±0.55 abcd	95.19±0.60 a
S17-173-109	91.72±1.20 ab	0.35±0.11 abc	4.41±0.73 fgh	69.29±1.33 ef	5.86±0.24 cd	21.74±0.51 bcd	91.72±1.20 ab
WB	91.13±2.14 abc	0.73±0.20 abc	4.27±0.40 fgh	79.47±0.25 a	3.22±0.35 e	22.92±0.30 abc	91.13±2.14 abc
Atlantic	82.27±0.74 e	1.54±0.31 ab	17.04±1.42 ab	71.89±0.75 cdef	5.20±0.12 de	22.62±0.53 abc	82.27±0.74 e

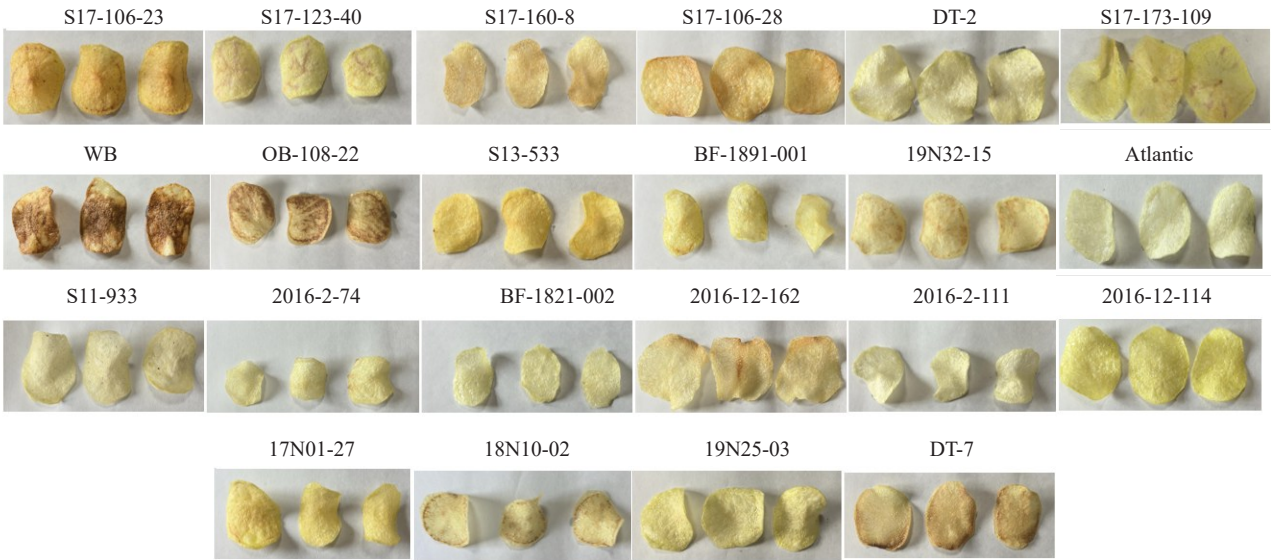


图 2 不同品系油炸薯片形态
Fig. 2 Morphology of fried potato chips from different lines

S17-173-109 和 2016-12-162 的弹性偏低(≤ 0.30 mm), 结构支撑能力较弱。胶黏性在 0.33~129.30 N, 其中 DT-7 和 18N10-02 明显高于其他材料。咀嚼性变幅为 15.36~96.10 mJ, 其中 S17-173-109、19N32-15、S17-106-23、WB 和 BF1891-001 等表现出明显的咀

嚼强度, 而 S17-106-28、18N10-02 和 2016-12-114 的咀嚼性较低。综合硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等指标可见, 不同品种(系)在质构上呈现多样化特征: 19N32-15、BF1891-001、WB、S17-106-23 和 Atlantic 表现为高硬度、高咀嚼性的脆硬型;

表 8 不同品系油炸薯片质构测定结果
Table 8 Texture measurement results for fried crisps from different lines

品系 Line	黏附性 Adhesion/mJ	硬度 Hardness/N	内聚性 Cohesiveness	弹性 Elasticity/mm	胶黏性 Adhesiveness/N	咀嚼性 Chewiness/mJ
17N01-27	0.27±0.03 bcd	87.36±2.56 abcd	0.29±0.03 de	3.50±0.22 abc	2.91±0.28 b	74.92±1.59 bcdefg
18N10-02	0.65±0.16 abcd	58.20±2.64 ef	1.12±0.06 cd	3.71±0.05 ab	89.83±9.96 ab	33.25±8.78 ij
19N25-03	0.36±0.11 bcd	86.30±1.01 abcd	1.63±0.29 c	3.09±0.12 bcd	43.26±2.27 ab	76.67±0.87 abcdef
19N32-15	0.38±0.12 abcd	97.94±13.10 a	0.28±0.09 de	1.02±0.48 ijklm	19.08±2.46 b	94.41±5.04 ab
2016-12-114	0.28±0.09 bcd	51.43±5.90 f	0.35±0.09 de	3.00±0.08 bcd	5.93±0.54 b	15.36±5.24 j
2016-12-162	0.81±0.03 abcd	76.85±7.10 abcdef	0.09±0.02 e	0.30±0.02 lm	1.14±0.13 b	80.26±4.78 abcde
2016-2-111	0.17±0.08 cd	69.13±10.10 cdef	0.09±0.04 e	0.09±0.02 m	0.33±0.10 b	70.03±10.37 cdefg
2016-2-74	0.77±0.16 abcd	82.36±21.49 abcde	0.84±0.09 cd	2.84±0.28 bcdef	13.38±0.49 b	55.92±12.18 gh
BF1821-002	0.10±0.04 d	70.79±6.12 bcdef	0.52±0.07 de	0.91±0.09 jklm	18.15±0.44 b	66.70±4.23 defgh
BF1891-001	0.44±0.07 abcd	88.05±8.77 abcd	0.80±0.04 cd	2.90±0.47 bcde	17.01±0.03 b	96.10±2.97 a
DT-2	0.23±0.09 bcd	76.09±6.04 abcdef	0.22±0.08 de	2.13±0.08 defgh	3.20±0.07 b	56.19±3.45 gh
DT-7	0.17±0.10 cd	69.72±7.43 bcdef	1.16±0.09 cd	1.91±0.08 fghi	129.30±6.00 a	68.19±2.31 defgh
OB-108-22	0.26±0.08 bcd	80.07±10.04 abcde	0.37±0.10 de	1.70±0.09 ghij	4.13±0.06 b	65.77±7.61 defgh
S11-993	0.79±0.03 abcd	70.79±8.00 bcdef	0.29±0.06 de	1.38±0.06 hijk	2.14±0.15 b	62.66±2.84 efgh
S13-533	1.09±0.15 abc	75.46±5.23 abcdef	0.22±0.05 de	0.56±0.05 klm	4.74±0.59 b	63.25±5.21 efgh
S17-106-23	0.38±0.08 abcd	89.67±10.31 abc	0.59±0.17 de	1.98±0.10 efghi	18.19±0.46 b	85.55±11.11 abcd
S17-106-28	0.47±0.08 abcd	62.92±4.17 def	0.42±0.09 de	1.12±0.27 ijkl	44.17±1.98 ab	49.74±3.99 hi
S17-123-40	0.23±0.04 bcd	70.34±0.13 bcdef	0.76±0.16 cd	1.62±0.07 hij	66.18±6.88 ab	56.09±9.09 gh
S17-160-8	0.20±0.06 bcd	94.29±8.68 abc	2.92±0.38 b	4.41±0.56 a	18.07±0.55 b	58.79±4.65 fgh
S17-173-109	8.67±0.33 a	92.93±4.34 abc	8.50±0.13 a	0.27±0.06 lm	0.71±0.24 b	80.28±7.21 abcde
WB	0.23±0.02 bcd	92.01±3.58 abc	0.37±0.10 de	2.65±0.10 cdefg	44.97±1.47 ab	90.04±9.00 abc
Atlantic	1.16±0.07 ab	94.95±2.67 ab	0.26±0.06 de	1.74±0.10 ghij	1.85±0.13 b	82.74±1.68 abcde

17N01-27、19N25-03、2016-2-74、DT-2、OB-108-22、S11-993、BF1821-002 和 S13-533 等则在硬度、弹性和咀嚼性之间较为协调,可归为平衡型;2016-12-114、18N10-02 和 S17-106-28 在硬度或咀嚼性方面明显偏低,片体结构稳定性较差。S17-173-109 的弹性和胶黏性均处于较低水平,黏附性和内聚性指标表现出明显的异常,应归类为极端质构型材料。

2.6 口感综合评价

根据表 2 所示评分标准对 22 个品种(系)油炸薯片进行感官评价(图 3)。总体来看,色泽浅黄且分布均匀、脆度适中、油腻感较低的材料综合得分较高。对照品种 Atlantic 在外形(4.8)、色泽(5.0)、口感(4.6)、脆度(4.7)和食味(4.5)等指标上均处于较高水平,综合感官表现最优。S11-993 在外形、色泽、口感和食味方面得分均较高;BF1821-002、2016-2-74 和 2016-12-114 在色泽、口感和脆度上表现突出,炸片外观完整、质构酥脆;S17-123-40 和 S17-106-28 具有较高的脆度;S17-160-8、DT-2、19N32-15 和 19N25-03 在各单项指标上表现较为均衡,综合感官水平处于中等偏上;18N10-02、

17N01-27、2016-12-162、BF1891-001 和 S13-533 在外形或口感方面具有一定优势,但色泽或食味存在不同程度不足。相反,OB-108-22、WB 和 DT-7 色泽评分明显偏低,炸片颜色偏深且均匀性较差,伴随脆度和食味下降,综合感官得分处于较低水平。S17-173-109 和 2016-2-111 虽在口感或脆度上得分较高,但外观和食味受限,整体感官接受度一般。总体而言,感官评价结果与理化指标及色泽测定结果基本一致,进一步表明以干物质、还原糖含量和油炸后色泽为核心的理化特征能够较好地预测薯片的感官品质。

2.7 鲜薯理化指标与薯片品质的相关性

相关性分析结果表明,鲜薯理化属性与油炸薯片的色泽、质构和感官品质之间存在较为明确的相关关系(图 4)。干物质含量与淀粉含量、硬度和咀嚼性均呈极显著正相关。还原糖含量与 L^* 值和感官中的外形、色泽、口感、脆度和食味呈显著或极显著负相关,说明还原糖含量偏高易导致炸片颜色加深、褐变加剧并影响风味。维生素 C 含量与干物质、淀粉含量呈一定程度的负相关,表明在加工型选育中难以同时获得极高干物质含量和极高维生

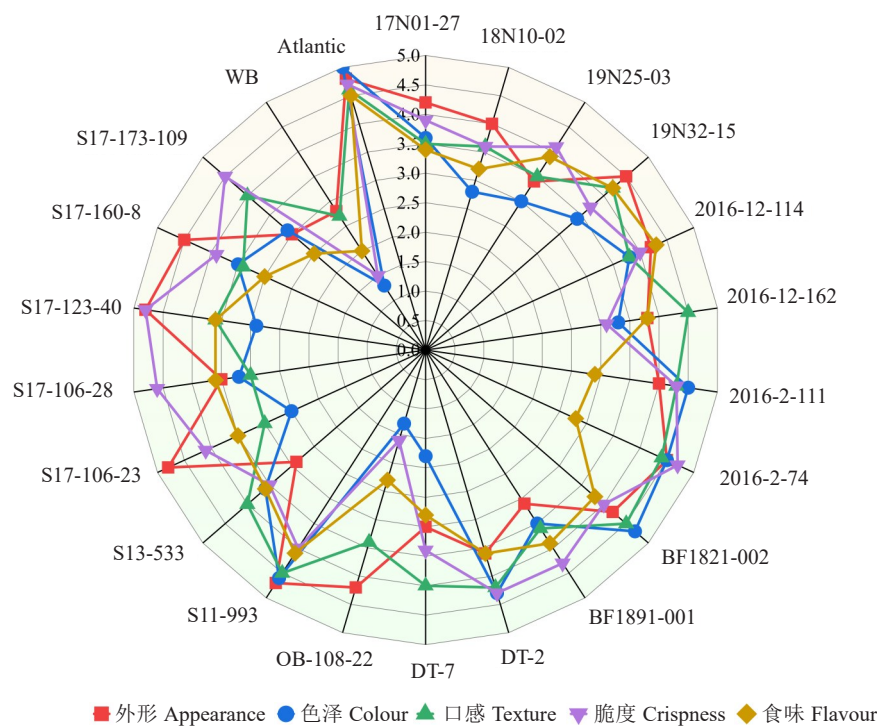
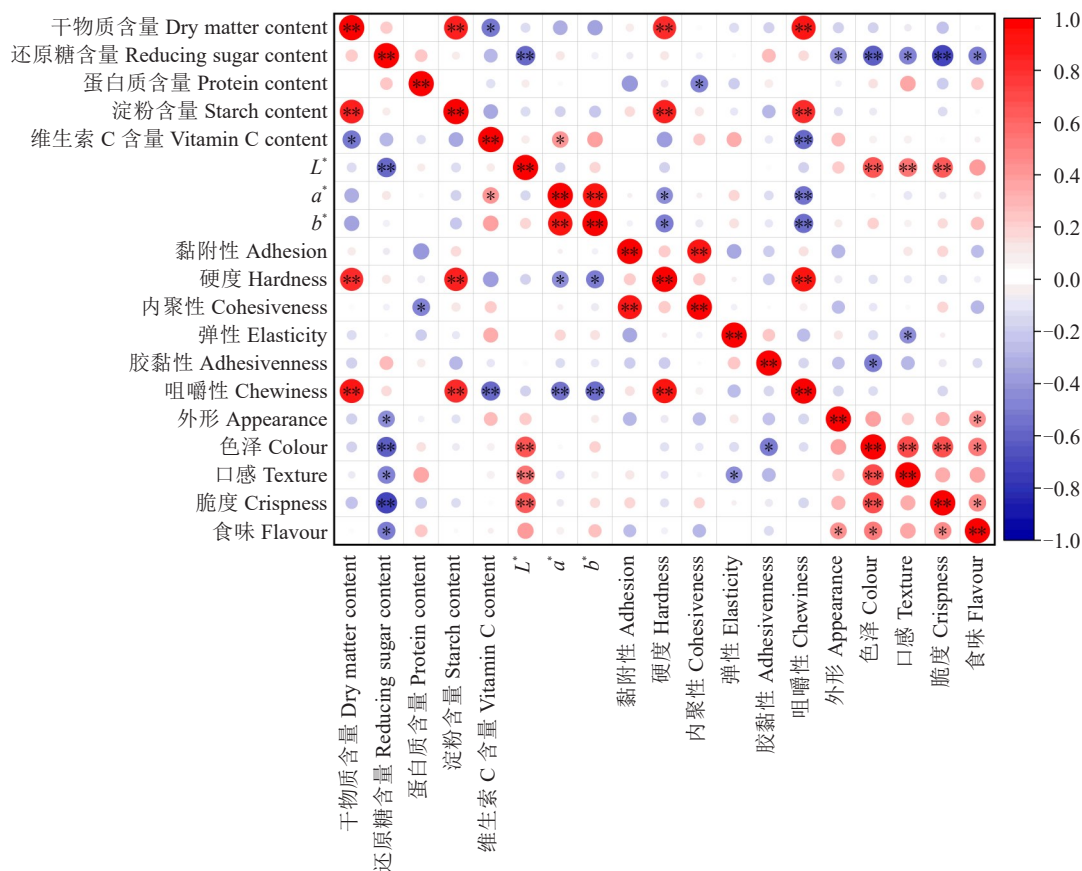


图 3 不同品系油炸薯片的感官评价
Fig. 3 Sensory evaluation of fried crisps in different potato lines



注：*和**分别代表在 0.05 和 0.01 水平显著相关。
Note: * and ** indicates significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively.

图 4 不同品系品质性状和薯片指标相关性分析
Fig. 4 Correlation analysis of quality traits and fried crisps indicators of different lines

素 C 含量,需要在营养品质与加工适宜性之间作适度权衡。维生素 C 含量与弹性、内聚性和胶黏性相关性较弱,对质构的直接影响有限。在质构特性之间,硬度与咀嚼性呈极显著正相关,胶黏性与弹性、内聚性也具有一定的正相关性,表明薯片的物理特征具有一定协调性,即硬度较大的样品往往在咀嚼性和结构完整性方面表现较好。高干物质含量、低还原糖含量的组合不仅有利于获得色泽浅、褐变轻的薯片,也有助于改善质构和感官表现,可作为加工型马铃薯材料早期筛选的重要指标。

3 讨论与结论

丰产性和适应性是评价马铃薯品种的重要指标。AMMI 模型能够有效分解基因型主效应和基因型×环境互作效应,其中 AMMI 稳定值(ASV)作为综合反映基因型稳定性的指标,被广泛用于多环境条件下的品种稳定性比较。Purchase^[23]最早提出 ASV 的计算方法,用于量化基因型对环境变化的响应程度, ASV 值越小,表明基因型稳定性越高。Farshadfar 等^[24]进一步指出,将 ASV 与平均产量相结合,可实现对高产与稳产品种的同步筛选,该方法已广泛应用于小麦、马铃薯等多种作物的多点试验中。在马铃薯研究中,Alemu 等^[25]和 Cadessa 等^[26]分别采用 AMMI 和 GGE 双标图方法,对不同环境下马铃薯基因型的产量表现和稳定性进行评价,结果表明,平均产量较高且 ASV 较低的基因型通常表现出较好的广适性,适宜在多个生态区推广;而平均产量较高但稳定性参数较大的基因型则表现出明显的特定环境适应性,更适合在优势生态区种植或作为育种亲本使用。本研究基于平均产量、变异系数和 AMMI 稳定值对参试马铃薯品系进行综合分析,并据此将其划分为高产稳产型、高产特定适应型、中产稳产型和低产不稳型 4 类。该评价思路与多环境试验中广泛采用的 AMMI 稳定性分析方法一致。其中, S17-160-8、S17-123-40、DT-2、S17-106-23 和 S17-106-28 在多个试验点均表现出产量超 $2900\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^{-2}$,同时 $CV\leq 10\%$ 、 $ASV\leq 30$,表明其对环境变化响应较差,属于典型的高产稳产型材料,具有良好的广适性,适宜在多个生态区推广种植。

本研究中 22 个品种(系)块茎理化性状差异显著,其中干物质含量为 $16.40\sim 22.81\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$,处于加工型材料常见波动区间,且与全粉加工型材料的 $17.14\%\sim 25.58\%$ 相近^[27]。适宜油炸薯片的原料通常

要求干物质含量较高、还原糖含量低,以获得较高出品率并降低褐变风险^[28]。如果从这两个指标来看,BF1891-001、19N32-15 还原糖含量均低于 $0.40\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ 、干物质含量大于 $22\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$,符合薯片加工型品种的指标要求;淀粉是决定马铃薯品质的重要成分,其含量高低可以直接衡量马铃薯品质的优劣^[29]。本研究中,BF1891-001、19N32-15、WB 的淀粉含量分别为 18.97 、 18.34 、 $18.08\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$,在贵州多雨寡日照的整体气候条件下并不常见,可在马铃薯北方一作区进一步评价,将来作为全粉方向的重点材料。据前人报道,马铃薯块茎蛋白质含量范围在 $2.00\sim 3.00\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ^[30]。本研究中,BF1821-002、2016-12-162 的蛋白质含量分别达到 3.01 、 $2.97\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$,说明这两个品系具有较大的营养优势。

块茎理化特性与炸片色泽、质构及感官表现之间呈现出明确的关联规律。高干物质含量、低还原糖含量的材料在油炸过程中更有利于抑制非酶褐变反应,从而保持较高的亮度和较小的色差,这一规律与前人的研究结论一致^[31-32]。本研究中,S17-123-40 的 L^* 值略有下降,但 a^* 值和 ΔE 处于中等水平,炸片色泽均匀,未出现明显焦斑;DT-2 的 L^* 值保持较好, ΔE 较小,炸片呈浅黄或金黄色,色泽稳定性较好。这与国外关于加工型马铃薯的评价结果一致^[33]。S13-533 和 BF1821-002 的色泽同样稳定。相反,OB-108-22 和 WB 的鲜薯色泽和 ΔE 测定值在参试品系中处于中位,但油炸后薯片褐变明显,说明加工适宜性不仅受单一指标控制,而且是多性状综合作用的结果。因此,在加工型品种筛选中,需将色泽实测数据与炸片外观表型相结合,避免仅依据数值指标判断造成的误差。

综上所述,基于多生态点产量、理化品质、色泽、质构和感官等指标的综合评价,S17-160-8、S17-123-40 和 DT-2 可作为兼具高产稳产和优良薯片加工品质的代表材料,适宜在贵州及相似生态区作为薯片专用型品种推广应用。未来,将结合代谢组学和分子标记技术,构建以高干物质含量、低还原糖含量和优质质构为核心的加工型马铃薯选育体系,为贵州薯片产业高质量发展提供材料基础和理论支撑。

参考文献

- [1] Devaux A, Kromann P, Ortiz O. Potatoes for sustainable global food security[J]. Potato Research, 2014, 57(3/4): 185-199.
- [2] 李芳弟,王鹏,顾炜清,等.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.
- [3] Arslan M, Zou X B, Shi J Y, et al. Oil uptake by potato chips or French fries: A review[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2018, 120(10): 1800058.
- [4] 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.
- [5] 杨芳. 不同品种(系)马铃薯炸片感官分析与加工品质评价[J]. *中国果菜*, 2022, 42(10): 17-21.
- [6] 刘喜平, 陈彦云, 任晓月, 等. 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.
- [7] De Wilde T, De Meulenaer B, Mestdagh F, et al. Influence of storage practices on acrylamide formation during potato frying[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(16): 6550-6557.
- [8] Vinci R M, Mestdagh F, De Meulenaer B. Acrylamide formation in fried potato products: Present and future: A critical review on mitigation strategies[J]. *Food Chemistry*, 2012, 133(4): 1138-1154.
- [9] 尹旺, 邓仁菊, 陈明俊, 等. 耐低温糖化马铃薯资源筛选与评价[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(1): 104-110.
- [10] Sharma V, Kaushik S K, Singh B, et al. Variation in biochemical parameters in different parts of potato tubers for processing purposes[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(4): 2040-2046.
- [11] Gould W A. Potato production, processing and technology[M]. Cambridge: Woodhead Publishing, 1999: 65-70.
- [12] 张长生. 中国优质专用薯类生产与加工[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [13] 陈明俊, 舒启琼, 徐建飞, 等. 抗褐变马铃薯品种(系)鉴定与筛选[J]. *作物学报*, 2020, 46(8): 1208-1216.
- [14] 王唯俊. 荷兰马铃薯高世代无性系产量及品质分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.
- [15] 李文丽, 袁剑龙, 段惠敏, 等. 马铃薯块茎质地品质的综合评价[J]. *中国农业科学*, 2022, 55(12): 2278-2321.
- [16] NY/T 2940—2016 马铃薯种质资源描述规范[S].
- [17] GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- [18] GB 5009.7—2016 食品安全国家标准 食品中还原糖的测定[S].
- [19] GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
- [20] GB 5009.9—2023 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定[S].
- [21] GB 5009.86—2016 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定[S].
- [22] QB/T 2686—2005 马铃薯片[S].
- [23] Purchase J L. AMMI model and stability measures[D]. Bloemfontein: University of the Free State, 1997.
- [24] Farshadfar E, Mahmodi N, Yaghotipoor A, et al. AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2011, 5(13): 1837-1844.
- [25] Alemu W, Gadif A, Berhun M, et al. Performance and yield stability analysis of potato genotypes in ethiopia[J]. *Advanced Crop Science Technology*, 2018, 6: 336.
- [26] Cadersa Y, Santchurn D, Soulangue J G, et al. Genotype by environment interaction for marketable tuber yield in advanced potato clones using AMMI and GGE methods[J]. *African Crop Science Journal*, 2022, 30(3): 331-346.
- [27] 赵甜甜, 袁剑龙, 卓峰琦, 等. 马铃薯全粉品质综合评价及品种筛选[J]. *中国农业科学*, 2025, 58(13): 2522-2537.
- [28] 石瑛, 秦昕, 卢翠华, 等. 不同马铃薯品种贮藏期间还原糖及干物质的变化[J]. *中国马铃薯*, 2002(1): 16-18.
- [29] 翟玲侠, 宋继玲, 杨梦平, 等. 马铃薯淀粉研究进展[J]. *中国瓜菜*, 2024, 37(5): 12-17.
- [30] Leiner I E. Nutritional aspects of soy protein products[J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1977, 54(6): 454-472.
- [31] Rachappanavar V, Kumar M, Kumar V, et al. Evaluation of processing quality attributes of potato (*Solanum* spp.) genotypes grown in mid-hills of himachal pradesh[J]. *Potato Research*, 2024, 67: 901-929.
- [32] Das S, Mitra B, Saha A, et al. Evaluation of quality parameters of seven processing type potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in the eastern sub-himalayan plains[J]. *Foods*, 2021, 10(5): 1138.
- [33] Mamo T. Nutritional and sensory property of chips made from potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. *Advances in Research on Teaching*, 2018, 14(5): 1-8.