

木薯品种引种及加工性能评价

柳子妍, 杨 闯, 刘澳湘, 卢 英

湖南农业大学园艺学院, 湖南 长沙
Email: 1725199924@qq.com

收稿日期: 2021年7月5日; 录用日期: 2021年8月3日; 发布日期: 2021年8月11日

摘 要

为促进北移地区木薯食用化的推广应用, 扩大木薯利用范围, 筛选适合湖南种植的食用和加工专用木薯品种是关键。本研究以“SC9”、“NZ199”、“Q19”等10个木薯品种(系)在湖南地区进行引种试验, 比较其产量、品质, 并对其蒸煮加工性能进行评价, 以期筛选出加工性能优良的木薯品种。结果表明: 1) 对10个供试品种(系)从生长势、产量干物质率、可溶性糖、蛋白质、维生素C、纤维素方面进行综合评价, 其中Q150生长势最佳, Q47的经济产量最高, SC8的生物产量最高, Q47产量次之, Q49在淀粉含量、可溶性糖含量、纤维素含量、维生素C含量均表现最佳。此外, 南植199、SC9综合表现也较好。Q47、Q49、Q150、SC8、SC9、南植199为适宜于湖南地区推广引进的木薯品种。供试品种薯肉的氢氰酸含量均低于标准氢氰酸含量的临界值, 薯皮中氢氰酸含量均超过食用限量, 因此在加工食用时, 一定要进行脱皮处理, 以免食物中毒。2) 通过对10个品种(系)的蒸木薯进行感官评价、主成分分析、成分评分和综合评价得出: SC9、Q227、Q150、Q165四个品种制作蒸木薯较好, 加工性能好; 3) SC9和Q150在生长势、产量、品质方面均表现良好, 且具有很好的鲜食加工性能, 综合评价得出SC9和Q150既适宜在湖南推广种植, 又适合用于鲜食蒸煮。

关键词

木薯, 引种, 产量, 品质, 加工, 评价

Introduction and Process Ability Evaluation of Cassava Varieties

Ziyan Liu, Chuang Yang, Aoxiang Liu, Ying Lu

College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan
Email: 1725199924@qq.com

Received: Jul. 5th, 2021; accepted: Aug. 3rd, 2021; published: Aug. 11th, 2021

Abstract

In order to promote the popularization and application of cassava in the northbound regions and

expand the utilization range of cassava, it is crucial to select cassava varieties suitable for cultivation in Hunan for food and processing. In this study, 10 cassava varieties (lines) such as “SC9”, “NZ199” and “Q19” were introduced in Hunan to compare their yield and quality, and evaluate their cooking and processing performance, so as to screen out cassava varieties with good processing performance. The results showed that: 1) The 10 tested varieties (lines) were comprehensively evaluated in terms of growth potential, yield, dry matter rate, soluble sugar, protein, vitamin C and cellulose. Among them, Q150 had the best growth potential, Q47 had the highest economic yield, SC8 had the highest biological yield, and Q47 had the second highest yield. Q49 showed the best performance in starch content, soluble sugar content, cellulose content and vitamin C content. In addition, the comprehensive performance of Nanzhi 199 and SC9 is also good. Q47, Q49, Q150, SC8, SC9 and Nanzhi 199 are suitable cassava varieties for popularization and introduction in Hunan. The content of hydrocyanic acid in the test varieties of cassava starch meat was lower than the critical value of the standard hydrocyanic acid content, and the content of hydrocyanic acid in the cassava starch skin exceeded the edible limit. Therefore, when processing and eating, it must be peeled to avoid food poisoning. 2) Through sensory evaluation, principal component analysis, component score and comprehensive evaluation of 10 varieties (lines) of steamed cassava, it was concluded that SC9, Q227, Q150 and Q165 were better in producing steamed cassava and had better processing performance; 3) SC9, Q150 showed good growth potential, yield and quality, and had good fresh food processing performance. The comprehensive evaluation showed that SC9 and Q150 were suitable for both popularization and cultivation in Hunan Province and cooking for fresh food.

Keywords

Cassava, Introduction, Production, Quality, Processing, Evaluation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

木薯(*Manihot esculenta* Crantz)又名树薯、木番薯, 属大戟科(Euphorbiaceae)木薯属(*Manihot* P. Mill.)植物, 有“地下粮仓”、“淀粉之王”、“特用作物”之誉称[1]。木薯的单位面积食物能量超过水稻、小麦、高粱和玉米, 是人类主要的食物资源之一, 迄今已有 4000 年的栽培历史[2]。木薯是仅次于甘蔗、玉米、水稻、小麦和马铃薯的世界上第六大作物, 也是世界三大薯类(木薯、甘薯、马铃薯)之一。木薯块根中干物质含量高, 多用于饲料生产加工中的原料; 块根全部产量的 65%用于人类食用, 有近 7 亿人将其当作主粮[3]。目前优势区域土地资源非常有限, 鲜薯供不应求, 我国自 2001 年开始成为全球木薯产品最大进口国。面对巨大的市场缺口, 客观上要求我国扩大种植面积。木薯北移是实现这一目标的最有效选择。与此同时, 由于“温室效应”, 导致全球气候变暖, 气候变暖将给木薯北移带来更多的发展机遇[4]。木薯块根中除了淀粉含量高之外, 其膳食纤维含量也相当丰富, 钾、钙含量较高, 食用之后有的饱腹感比较强[5], 这就为木薯食品行业的健康发展奠定了有效的基础。

目前, 木薯产业已成为我国华南地区农业经济的一个重要组成部分。但由于木薯的开发程度低、产业结构较为单一、产业链短, 并且深加工滞后, 导致我国的木薯产业整体还处于价值链最底层。为了保障木薯原料供应“十二五”期间, 农业部制定了木薯北移种植的战略部署, 将湖南、江西、贵州等地作为木薯北移种植的重点发展区域。与我国木薯主要种植区域相比, 湖南由于气候多变、低温寡照、降

雨多、湿度大，且受低温和霜冻的影响，导致木薯有效生长期短且不利于种茎越冬贮藏[6]。为此本文从木薯北移湖南发展的角度出发，围绕湖南地区木薯品种引种筛选、加工性能评价进行研究，加快木薯在全国可种植范围的推广，加速木薯的多样化和良种化[7]，延长木薯产业链，提高木薯价值，增加当地农民的收入，对促进和大力推广湖南木薯产业发展具有重要意义。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

参试材料为中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所引进的 10 个新品种，其中以南植 199 作为对照组。

2.2. 试验设计

采用随机区组设计，3 次重复，每个品种(系)每次重复种植一个小区。小区长 20 米，宽 1 米，小区面积为 20 m²，按行距 1 米，株距 1 米种植，即每个小区种植 20 株。试验周围设有保护区。种植时将木薯种茎砍成 14~18 cm 长的茎段，选取健康、没有破损、大小较为均匀的种茎，采用斜插的方式种植，将剩余种茎种植在小区的两头，以备补苗，保证试验的顺利进行。试验区周边设置保护行。

2.3. 试验时间与地点

引种试验于 2020 年 3 月 30 日至 11 月 30 日在湖南省株洲市醴陵市泗汾镇木薯合作社基地以及湖南农业大学第十一教学楼木薯品质分析与加工实验室进行。加工性能评价部分试验于 2020 年 12 月至 2021 年 2 月在湖南农业大学第 11 教学楼木薯品质分析与加工实验室与湖南农业大学第 14 教学楼食品学院质构分析实验室进行。

2.4. 试验方法

2.4.1. 植株植物学性状观测

生育期内定期定点观测每个小区木薯品种的生长发育状况，取 5 株木薯，3 次重复，观察记载不同木薯品种(系)的植物学性状。

2.4.2. 产量的测定

在木薯收获时，以随机小区产量平均值折合亩产。

2.4.3. 品质指标的测定

按照苏州科铭生物技术有限公司的试剂盒说明书的测定步骤，分别测定不同品种木薯的可溶性糖、蛋白质、淀粉、直链淀粉、支链淀粉、纤维素、维生素 C 的含量；采用异烟酸 - 巴比妥酸光谱法测定氢氰酸含量；采用烘干法测得干物质含量

2.4.4. 鲜薯蒸煮性能评价

选取块根粗细程度大致相同的新鲜的木薯去皮后洗净，切块成 5~8 cm 的长条，分别把鲜薯放入提前烧开水的蒸锅中，大火蒸 35 min 后取出。

感官评价采用 10 人评价小组在出锅后 10 min 后进行感官评价，参考感官评价指标(表 1)。

仪器评价：利用质构仪测定硬度、内聚性、弹性、和胶着性。蒸木薯质构测定操作参数：利用压缩模式，测前速率 5.0 mm/sec，测试速度 2.00 mm/sec，测后速度 5 mm/sec，形变量 50%，触发力 0.5 g [8] [9] [10]。

Table 1. Sensory evaluation index and scoring standard of steamed cassava
表 1. 清蒸木薯感官评价指标及评分标准

| 香味 | 甜味 | 苦味 | 口感 | 黏稠 | 评分 |
|----|----|----|----|----|--------|
| 香 | 甜 | 不苦 | 面 | 黏 | 80~100 |
| 较香 | 较甜 | 微苦 | 较面 | 较黏 | 60~80 |
| 清香 | 中等 | 中等 | 中等 | 中等 | 40~60 |
| 淡香 | 微甜 | 较苦 | 微面 | 微黏 | 20~40 |
| 不香 | 不甜 | 苦 | 不面 | 不黏 | 0~20 |

2.5. 数据处理与分析

采用 Microsoft Excle 2016 软件进行数据处理及 SPSS 23.0 进行数据分析。

3. 结果与分析

3.1. 不同品种(系)木薯植物学性状观测

3.1.1. 不同木薯品种(系)部分植物学性状比较

在木薯成熟期对供试 10 个木薯品种(系)11 项植物学性状进行了调查记载(见表 2)。

株型主要分为直立和伞形两种, 其中 Q165、Q163、Q47、SC8 为直立型; Q227、Q150、Q49、Q19、SC9、南植 199 为伞形。

Q165、163、Q47、SC8 属于分枝较少型; Q227、Q49、南植 199 属于分枝少型; Q19、SC9 属于分枝多型; Q150 属于分枝较多型。

除 Q47、Q163、Q227 三个品种的结薯分布分散, 其他品种结薯均比较集中, Q 系列的木薯块根形状多偏向于长圆锥 - 圆柱形状, SC8、SC9、NZ199 为长圆锥 - 圆柱形状; SC9 的薯肉颜色为黄色, 故其有“蛋黄木薯”之称, NZ199 的薯肉为乳黄色, Q227 的薯肉为乳白色, 其他品种木薯薯肉均呈现白色。

Table 2. Comparison of some botanical characteristics of different cassava varieties (lines)
表 2. 不同木薯品种(系)部分植物学特性比较

| 品种 | 株型 | 主茎外皮颜色 | 茎内皮颜色 | 未展开叶颜色 | 第一片完全展开叶颜色 | 分枝性 | 叶柄色 | 叶柄色 | 块根形状 | 结薯分布 | 薯肉色 |
|-------|----|--------|-------|--------|------------|-----|-----|-----|----------|------|-----|
| SC8 | 直立 | 灰绿 | 绿 | 深绿 | 绿 | 较少 | 红带绿 | 红带绿 | 长圆锥 - 圆柱 | 集中 | 白 |
| SC9 | 伞形 | 灰绿 | 绿 | 紫 | 绿 | 多 | 紫红 | 紫红 | 长圆锥 - 圆柱 | 集中 | 黄 |
| NZ199 | 伞形 | 灰绿 | 浅绿 | 紫 | 绿 | 少 | 紫红 | 紫红 | 长圆锥 - 圆柱 | 集中 | 乳黄 |
| Q19 | 伞形 | 灰绿 | 浅绿 | 淡绿 | 绿 | 多 | 绿带紫 | 绿带紫 | 短圆锥 - 圆柱 | 集中 | 白 |
| Q47 | 直立 | 灰绿 | 深绿 | 淡绿 | 绿 | 较少 | 紫红 | 紫红 | 短圆锥 - 圆柱 | 分散 | 白 |
| Q49 | 伞形 | 灰绿 | 深绿 | 绿带紫 | 绿 | 少 | 紫红 | 紫红 | 长圆锥 - 圆柱 | 集中 | 白 |
| Q150 | 伞形 | 灰绿 | 浅绿 | 淡绿 | 绿 | 较多 | 淡绿 | 淡绿 | 短圆锥 - 圆柱 | 集中 | 白 |
| Q163 | 直立 | 灰绿 | 绿 | 淡绿 | 深绿 | 较少 | 淡绿 | 淡绿 | 长圆锥 - 圆柱 | 分散 | 白 |
| Q165 | 直立 | 灰绿 | 绿 | 紫绿 | 紫绿 | 较少 | 红带绿 | 红带绿 | 短圆锥 - 圆柱 | 集中 | 白 |
| Q227 | 伞形 | 灰绿 | 绿 | 淡绿 | 绿 | 少 | 淡绿 | 淡绿 | 短圆锥 - 圆柱 | 分散 | 乳白 |

3.1.2. 不同木薯品种(系)生长势比较

在木薯收获前半个月对供试品种(系)株高、茎粗连续 5 株进行观测记载, 取平均值(见表 3)。10 个品种平均株高在 227~298.8 cm 之间, 平均株高的变异系数为 8.22%, 其中最高的为 Q150——298.8 cm, 最低的为 Q49 的 227 cm, 株高的极差为 71.8 cm; 茎粗在 26.28~36.38 mm 之间, 变异系数为 10.00%, 其中最粗的为 Q150 的 36.38 mm, 最细的为 Q165 的 26.28 mm。供试品种全部生长健壮, 无病虫害。

Table 3. Comparison of growth potential of different cassava varieties (lines)

表 3. 不同木薯品种(系)生长势比较

| 品种 | 平均株高(cm) | 茎粗(mm) | 生长健壮度 | 病虫害危害情况 |
|------------|----------|--------|-------|---------|
| SC8 | 282.8 | 33.52 | 优 | 无 |
| SC9 | 250.8 | 28.04 | 优 | 无 |
| NZ199 (CK) | 250.6 | 28.17 | 优 | 无 |
| Q19 | 248.6 | 28.32 | 优 | 无 |
| Q47 | 278.0 | 29.33 | 优 | 无 |
| Q49 | 227.0 | 28.27 | 优 | 无 |
| Q150 | 298.8 | 36.38 | 优 | 无 |
| Q163 | 239.8 | 28.27 | 优 | 无 |
| Q165 | 240.4 | 26.28 | 优 | 无 |
| Q227 | 262.2 | 27.40 | 优 | 无 |

3.2. 不同木薯品种(系)产量的比较

在供试 10 个品种(系)中, 不同品种间的产量差异很大, 经济产量最高为 Q47, 生物产量最高为 SC8。

经济产量比较中, 仅 Q47 高于对照南植 199, 生物产量比较中, SC8、Q47、Q150 的产量均高于对照南植 199 (见图 1)。

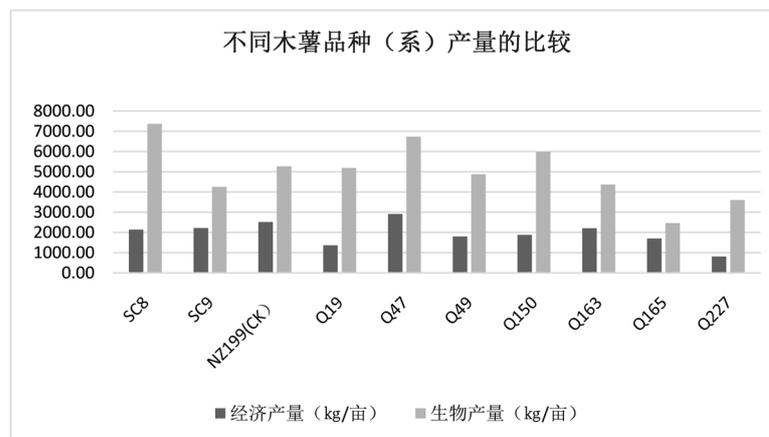


Figure 1. Comparison of yield of different cassava varieties (lines)

图 1. 不同木薯品种(系)产量的比较

3.3. 不同木薯品种(系)品质性状的比较

3.3.1. 不同木薯品种(系)干物质率比较

在供试的 10 个品种中, 干物质率在 27.6%~41.4 mg·(100 g)⁻¹, 变异系数 7.86%, “SC8” 的干物质率最高, “Q163” 的干物质率最低, 仅有 SC8 一个木薯品种的干物质率高于对照南植 199 (见图 2)。

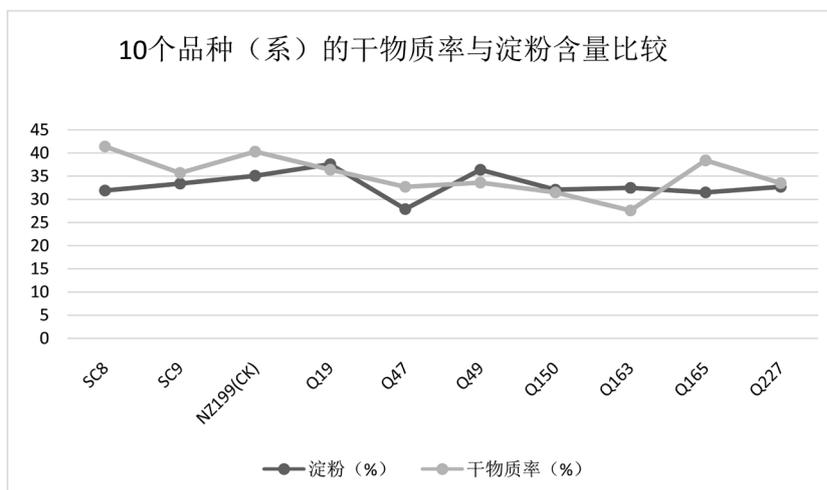


Figure 2. Comparison of dry matter percentage and starch content of different cassava varieties (lines)
图 2. 不同木薯品种(系)的干物质率与淀粉含量的比较

3.3.2. 不同木薯品种(系)淀粉含量比较

在供试的 10 个品种中, 淀粉的含量在 $27.95\% \sim 36.4 \text{ mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$, 变异系数为 11.37%, 其中以“Q49”的淀粉含量位居首位, 适于用来进行淀粉的加工, “Q47”的淀粉含量最低, 不适于用来进行淀粉的加工, 仅有 Q47 的淀粉含量低于对照南植 199, 其他品种均高于对照(见图 2)。

3.3.3. 不同木薯品种(系)氢氰酸含量的测定

见表 4, 排名越靠前其氢氰酸的含量越低, 薯肉含量在 $11 \sim 30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 均符合小于我国《食品安全国家标准粮食》中规定的甜木薯标准氢氰酸含量 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (以鲜重计), 达到食用标准, 其中以“Q49”的薯肉氢氰酸的含量最低, “Q165”的薯肉中氢氰酸含量最高—— $30.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 低于标准氢氰酸含量的临界值; 而薯皮含量在 $59 \sim 80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 均超过食用限量, 因此在加工食用时, 一定要进行脱皮处理, 以免食物中毒[11] [12] [13]。

Table 4. Determination of hydrocyanic acid content of different cassava varieties (lines)

表 4. 不同木薯品种(系)氢氰酸含量的测定

| 品种 | 薯肉($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 排名 | 品种 | 薯皮($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 排名 |
|--------|--|----|--------|--|----|
| Q49 | 11.18 | 1 | Q47 | 59.28 | 1 |
| Q47 | 11.87 | 2 | SC9 | 61.78 | 2 |
| SC9 | 13.57 | 3 | SC8 | 63.54 | 3 |
| Q150 | 13.65 | 4 | Q49 | 63.96 | 4 |
| SC8 | 17.69 | 5 | Q150 | 64.35 | 5 |
| Q19 | 19.37 | 6 | Q19 | 69.86 | 6 |
| Q227 | 23.15 | 7 | Q163 | 76.61 | 7 |
| Q163 | 25.31 | 8 | Q227 | 78.16 | 8 |
| 南植 199 | 29.53 | 9 | 南植 199 | 79.88 | 9 |
| Q165 | 30.37 | 10 | Q165 | 80.16 | 10 |

3.3.4. 不同木薯品种(系)其他品质性状比较

由表 5 可知, 以上供试的 10 个品种中, 可溶性糖含量在 $15.00\% \sim 21.00\%$, 变异系数为 14.18%, 可

溶性糖含量最高为“Q49”，“Q227”的可溶性糖的含量最低，“Q49”、“Q227”与其他品种均存在显著性差异，“NZ199”、“Q165”、“SC9”、“Q19”、“Q163”之间无显著性差异；

蛋白质含量在 13.35~26.50 mg·kg⁻¹，变异系数为 20.00%，蛋白质含量位居首位的是 Q150，与其他品种均存在显著性差异，Q19 的蛋白质含量最低，与 Q227、Q49、NZ199 无显著性差异；

直链淀粉含量在 12.96~15.99%，变异系数为 7.00%，直链淀粉含量最高的为 Q165，与 Q49、NZ199、Q163 无显著性差异，直链淀粉含量最低的为 Q47，与 SC8、Q227 无显著性差异；

支链淀粉的变异系数较小，为 1.21%，支链淀粉含量最高为 Q47，支链淀粉含量最低为 Q165；纤维素含量的变异系数为 21.18%；

纤维素含量最高为 Q49，与 NZ199、Q47、Q165 无显著差异，Q150、Q227 的纤维素含量最低；

维生素 C 含量的变异系数偏高，为 27.74%，维生素 C 含量最高的为 Q49，其与 Q19、Q165、SC9、NZ199 无显著性差异，最低为 Q163，与其他品种均存在显著性差异，其次为 Q150、Q47，木薯中淀粉的含量较丰富，淀粉可以保护木薯中的维生素 C，Q49 的淀粉含量最高，其维生素 C 的含量也就最高，Q150、Q47 的淀粉含量低，其维生素 C 的含量也相对较低。

Table 5. Comparison of other quality traits of different cassava varieties (lines)

表 5. 不同木薯品种(系)其他品质性状比较

| 品种 | 可溶性糖(mg·kg ⁻¹) | 蛋白质(mg·kg ⁻¹) | 直链淀粉(%) | 支链淀粉(%) | 纤维素(mg·kg ⁻¹) | 维生素 C (mg·kg ⁻¹) |
|-------|----------------------------|---------------------------|---------|---------|---------------------------|------------------------------|
| SC8 | 15.00 | 21.75 | 13.27 | 86.73 | 41.23 | 256.80 |
| SC9 | 16.50 | 17.85 | 14.85 | 85.15 | 42.81 | 294.87 |
| NZ199 | 15.73 | 15.73 | 15.54 | 84.46 | 52.50 | 291.47 |
| Q19 | 16.79 | 13.35 | 14.10 | 85.90 | 42.31 | 366.46 |
| Q47 | 18.37 | 17.60 | 12.96 | 87.04 | 50.25 | 247.15 |
| Q49 | 21.00 | 15.35 | 15.70 | 84.30 | 53.32 | 375.55 |
| Q150 | 19.40 | 26.50 | 14.96 | 85.04 | 27.21 | 211.92 |
| Q163 | 17.19 | 17.80 | 15.41 | 84.59 | 36.08 | 99.43 |
| Q165 | 16.00 | 21.30 | 15.99 | 84.01 | 47.65 | 314.71 |
| Q227 | 11.85 | 15.10 | 13.56 | 86.44 | 27.77 | 258.51 |

3.4. 不同木薯品种(系)鲜食加工性能评价

3.4.1. 蒸木薯质构分析

由表 6 可知，相同处理条件下不同品种间的质构差异较大，蒸木薯硬度在 4440.15~13,233.20 之间，其中 SC8 的硬度最高——13,233.20，它与其他品种(系)均达到了差异显著；Q163 硬度最低——4440.15，它与 Q150 没有达到差异显著，但与其他品种(系)均达到了差异显著。蒸木薯弹性在 0.27~0.70 之间。其中 Q49 的弹性最高——0.70，Q47 的弹性最低——0.27，它与其他品种(系)均达到了差异显著。蒸木薯内聚性在 0.03~0.12 之间。其中 Q150 内聚性最高——0.12，Q19 的内聚性最低——0.03，与其他品种(系)均未达到差异显著。蒸木薯胶着性在 293.41~2979.91 之间。其中 SC9 胶着性最高——2979.91，Q47 胶着性最低——293.41。

3.4.2. 蒸木薯的感官评价

由表 7 可以看出，对比 10 个蒸木薯品种(系)的感官评价[14]，可以得到以下结论：从香度来看，SC9、Q165、Q227 食用时香味较丰富；SC9、Q165、Q227 口感较甜；SC8 苦度分值最低说明该品种口感上最

苦; SC9、Q47、Q165、Q227 口感表现较好; 黏度值最高为 Q47; 感官评价综合评分较高的为 SC9、Q165、Q227, 综合评分分值分别为 79.5、78.7、78.3。

Table 6. Texture characteristics of different varieties (lines) of steamed cassava
表 6. 不同品种(系)蒸木薯质构特性表

| 品种 | 硬度/g | 弹性 | 内聚性 | 胶着性 |
|--------|--------------------|-------------|-------------|------------------|
| SC8 | 13,233.20 ± 768.92 | 0.52 ± 0.04 | 0.11 ± 0.02 | 1059.71 ± 184.93 |
| SC9 | 8647.47 ± 197.24 | 0.63 ± 0.05 | 0.09 ± 0.02 | 2476.91 ± 410.99 |
| 南植 199 | 11,014.20 ± 896.80 | 0.57 ± 0.02 | 0.11 ± 0.01 | 2390.96 ± 208.13 |
| Q19 | 8678.58 ± 543.85 | 0.63 ± 0.16 | 0.03 ± 0.02 | 1387.21 ± 192.93 |
| Q47 | 5348.08 ± 191.80 | 0.27 ± 0.13 | 0.06 ± 0.02 | 293.41 ± 46.75 |
| Q49 | 8253.16 ± 117.91 | 0.70 ± 0.20 | 0.09 ± 0.00 | 790.25 ± 94.54 |
| Q150 | 5113.19 ± 80.52 | 0.64 ± 0.14 | 0.12 ± 0.01 | 2029.58 ± 243.16 |
| Q163 | 4440.15 ± 298.99 | 0.56 ± 0.07 | 0.08 ± 0.02 | 1274.88 ± 208.96 |
| Q165 | 9930.26 ± 281.91 | 0.64 ± 0.06 | 0.08 ± 0.02 | 392.51 ± 79.36 |
| Q227 | 6451.85 ± 513.14 | 0.61 ± 0.02 | 0.10 ± 0.01 | 541.38 ± 43.36 |

Table 7. Sensory evaluation of steamed cassava
表 7. 蒸木薯感官评价表

| 品种 | 香度 | 甜度 | 苦度 | 口感 | 黏度 | 综合评分 |
|--------|------|----|------|------|------|------|
| SC8 | 71.5 | 77 | 67.5 | 68 | 53 | 67.4 |
| SC9 | 85 | 88 | 85 | 83 | 56.5 | 79.5 |
| 南植 199 | 78 | 75 | 81.5 | 75 | 51.5 | 72.2 |
| Q19 | 73 | 76 | 76 | 77.5 | 53 | 71.1 |
| Q47 | 73.5 | 70 | 79.5 | 80.5 | 68.5 | 74.4 |
| Q49 | 74.5 | 69 | 78 | 76 | 56 | 70.7 |
| Q150 | 78.5 | 81 | 81.5 | 79.5 | 57 | 75.5 |
| Q163 | 77 | 72 | 77.5 | 77 | 55 | 71.7 |
| Q165 | 82 | 88 | 84 | 81 | 58.5 | 78.7 |
| Q227 | 82 | 87 | 84 | 80 | 58.5 | 78.3 |

3.4.3. 蒸木薯与鲜薯色差分析

由表 8 可见, 鲜木薯 b* 以值为主色调, 蒸木薯以 L 值为主色调, 且色泽上表现比鲜薯更突出, 品种(系)间差异更鲜明。b* 值越大, 黄色占比越大; L 值越大, 木薯的亮度越大[15]。相比于其它鲜薯, SC9 与 Q227 的 b* 值均与其它品种 b* 值均达到差异显著, 其中 SC9 与 Q227 也达到了差异显著, 虽然 2 个品种均表现为黄色, 但 SC9 的黄色部分大于 Q227 [16]。全部品种(系)鲜薯与蒸木薯颜色如图 3 所列。

Table 8. Color difference values of fresh cassava and steamed cassava of different varieties (strains)
表 8. 不同品种(系)鲜木薯、蒸木薯色差值表

| 品种 | 鲜木薯 L* 值 | 鲜木薯 b* 值 | 蒸木薯 L* 值 | 蒸木薯 b* 值 |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SC8 | 83.48 ± 2.54 | 14.74 ± 0.54 | 58.53 ± 2.11 | 11.63 ± 1.25 |
| SC9 | 85.34 ± 0.53 | 35.31 ± 0.25 | 55.26 ± 4.93 | 40.27 ± 5.72 |

Continued

| | | | | |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 南植 199 | 86.86 ± 0.20 | 14.50 ± 0.53 | 47.91 ± 1.80 | 11.47 ± 0.92 |
| Q19 | 89.12 ± 0.67 | 14.60 ± 0.46 | 53.57 ± 0.90 | 16.22 ± 0.99 |
| Q47 | 83.43 ± 0.24 | 18.08 ± 1.61 | 55.24 ± 1.11 | 14.30 ± 1.62 |
| Q49 | 78.59 ± 1.21 | 17.57 ± 0.63 | 54.77 ± 1.95 | 12.96 ± 0.78 |
| Q150 | 81.02 ± 0.88 | 18.92 ± 0.63 | 45.45 ± 1.82 | 9.06 ± 0.63 |
| Q163 | 84.25 ± 2.59 | 16.88 ± 2.00 | 46.12 ± 2.14 | 9.97 ± 0.61 |
| Q165 | 67.38 ± 2.38 | 14.86 ± 0.92 | 47.29 ± 5.01 | 10.02 ± 3.36 |
| Q227 | 77.79 ± 4.48 | 27.47 ± 1.40 | 44.42 ± 6.27 | 22.10 ± 1.09 |



Figure 3. Fresh and steamed cassava of different cassava varieties (lines)
图 3. 不同木薯品种(系)鲜薯与蒸木薯

3.4.4. 不同蒸木薯品种(系)性状主成分分析

对 10 个木薯品种(系)蒸木薯在主成分分析中以 11 个优良指标(香味、甜味、苦味、口感、黏度、L 值、b*值、硬度、弹性、内聚性、胶着性)为评判指标,采用分析-降维-因子方法,按照特征值大于 1,提取 4 个公因子,累计方差贡献率为 85.438% (见表 9)。其中成分 1 贡献率为 42.493%,主要包括感官评价的香味、甜味、苦味、口感及 b*值;成分 2 贡献率为 20.633%,主要为质构分析中的内聚性;成分 3 贡献率为 12.451%,主要为色差中的弹性(产生负面影响);成分 4 的贡献率为 9.862%,主要为质构分析中 L 值;由此可以得出,蒸木薯感官评价的香味、甜味、苦味、口感,质构分析中的弹性、内聚性,色差值中的 L 值可作为蒸木薯的品质鉴定主要评价指标(见表 10)。

计算各个木薯品种(系)主成分的得分: $F_i = w_{i1}x_1 + w_{i2}x_2 + \dots + w_{in}x_n$

其中 $w_{ij} = \frac{\theta_j}{\sqrt{\lambda_i}}$ 表示主成分中各个变量的权重, θ_j 为成分矩阵中每个变量对应的系数,而 $\sqrt{\lambda_i}$ 表示为第 i

个主成分对应的特征值的开根值:

$$F_1 = 0.4355 * X_1 + 0.3508 * X_2 + 0.3874 * X_3 + 0.3302 * X_4 - 0.2961 * X_5 - 0.1910 * X_6 + 0.3424 * X_7 - 0.2574 * X_8 + 0.2755 * X_9 + 0.0927 * X_{10} + 0.1899 * X_{11};$$

$$F_2 = -0.0118 * X_1 + 0.0933 * X_2 - 0.2791 * X_3 - 0.4120 * X_4 - 0.3756 * X_5 + 0.2888 * X_6 + 0.1685 * X_7 + 0.2909 * X_8 + 0.2822 * X_9 + 0.4951 * X_{10} + 0.2847 * X_{11};$$

$$F_3 = 0.2322 * X_1 + 0.1991 * X_2 + 0.1695 * X_3 + 0.1322 * X_4 + 0.3716 * X_5 + 0.0967 * X_6 + 0.2440 * X_7 ; \\ + 0.4679 * X_8 - 0.5659 * X_9 + 0.3331 * X_{10} + 0.0532 * X_{11}$$

$$F_4 = 0.0408 * X_1 + 0.2695 * X_2 - 0.1234 * X_3 + 0.0983 * X_4 - 0.0834 * X_5 + 0.7118 * X_6 + 0.2405 * X_7 ; \\ - 0.2154 * X_8 - 0.0474 * X_9 - 0.1527 * X_{10} - 0.5072 * X_{11}$$

计算综合得分： $F = \alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \dots + \alpha_n F_n$ ， α_i 表示第*i*个主成分的方差百分比

$$F = 0.42493 * F_1 + 0.20633 * F_2 + 0.12451 * F_3 + 0.09862 * F_4。$$

根据方程计算出10个品种(系)的各个主成分得分以及综合得分表,从表11可以看出,SC9得分最高,Q227、Q150、Q165次之,因此SC9、Q227、Q150、Q165加工成蒸木薯的加工性能要优于其他品种。

Table 9. Total variance of main components analysis of steamed cassava

表 9. 蒸木薯主成分分析总方差表

| 成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | |
|----|------------|------------|---------|---------|--------|--------|
| | 总计 | 方差百分比 | 累积% | 总计 | 方差百分比 | 累积% |
| 1 | 4.674 | 42.493 | 42.493 | 4.674 | 42.493 | 42.493 |
| 2 | 2.270 | 20.633 | 63.126 | 2.270 | 20.633 | 63.126 |
| 3 | 1.370 | 12.451 | 75.577 | 1.370 | 12.451 | 75.577 |
| 4 | 1.085 | 9.862 | 85.438 | 1.085 | 9.862 | 85.438 |
| 5 | 0.863 | 7.842 | 93.280 | | | |
| 6 | 0.431 | 3.920 | 97.201 | | | |
| 7 | 0.192 | 1.744 | 98.944 | | | |
| 8 | 0.104 | 0.949 | 99.894 | | | |
| 9 | 0.012 | 0.106 | 100.000 | | | |
| 10 | 3.008E-16 | 2.734E-15 | 100.000 | | | |
| 11 | -2.930E-16 | -2.663E-15 | 100.000 | | | |

Table 10. Steamed cassava composition matrix table

表 10. 蒸木薯成分矩阵表

| | 成分 | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 香味 | 0.941 | -0.018 | 0.272 | 0.043 |
| 甜味 | 0.758 | 0.141 | 0.233 | 0.281 |
| 苦味 | 0.838 | -0.42 | 0.198 | -0.129 |
| 口感 | 0.714 | -0.621 | 0.155 | 0.102 |
| 黏度 | -0.64 | -0.566 | 0.435 | -0.087 |
| L 值 | -0.413 | 0.435 | 0.113 | 0.741 |
| b*值 | 0.74 | 0.254 | 0.286 | 0.25 |
| 硬度 | -0.557 | 0.438 | 0.548 | -0.224 |
| 弹性 | 0.596 | 0.425 | -0.662 | -0.049 |
| 内聚性 | 0.2 | 0.746 | 0.39 | -0.159 |
| 胶着性 | 0.411 | 0.429 | 0.062 | -0.528 |

Table 11. Comprehensive evaluation of steamed cassava varieties
表 11. 蒸木薯品种综合评价表

| 品种 | F1 | F2 | F3 | F4 | F | 排名 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| SC8 | -3.27 | 2.59 | 0.91 | 0.79 | -0.66 | 8 |
| SC9 | 3.07 | 0.67 | 1.71 | 0.93 | 1.75 | 1 |
| 南植 199 | -0.34 | 0.98 | 1.35 | -1.03 | 0.12 | 5 |
| Q19 | -1.27 | -0.72 | -0.90 | 0.59 | -0.74 | 9 |
| Q47 | -2.73 | -2.26 | 2.23 | 0.96 | -1.25 | 10 |
| Q49 | -0.93 | 0.67 | -0.80 | 0.73 | -0.29 | 7 |
| Q150 | 0.76 | 1.42 | 1.17 | -0.09 | 0.75 | 3 |
| Q163 | -0.98 | 0.47 | 0.67 | 0.15 | -0.22 | 6 |
| Q165 | 1.25 | -0.46 | 0.94 | 1.23 | 0.68 | 4 |
| Q227 | 1.10 | 0.13 | 1.32 | 1.39 | 0.80 | 2 |

4. 结论

上述 10 个木薯品种(系)中, 就生长势而言, Q150 的生长情况最好; 就产量而言, Q47 的经济产量最高, SC8 的生物产量最高; 品质方面, Q49 的淀粉含量、可溶性糖含量、纤维素含量以及维生素 C 含量均位居首位, SC8 的干物质率高, Q150 的蛋白质含量最高。此外, SC9、南植 199 从干物质率、产量、淀粉含量等方面进行综合评价较好。Q49、Q47、Q150、SC8、SC9、南植 199 可进行生产试验, 进而推广引进为湖南木薯栽培提供科学依据。

加工性能方面, 结合感官评价以及质构分析仪器评价, 综合二者而进行主成分分析, 对 10 个品种(系)的香味、甜味、苦味等 11 个品质指标分析, 得出 7 个主要影响指标——香味、甜味、苦味、口感、弹性、内聚性、b*值、L 值, 得出加工性能综合评价: SC9 硬度适中, 弹性较好, 有很好的胶着性, 淀粉含量较高, 且支链淀粉占比高, 有香甜味、口感好, 颜色佳, 适于鲜食加工; Q227 纤维素的含量低, 有香甜口味, 颜色佳, 黏度较适中, 可用于鲜食加工; Q150 的蛋白质含量高, 硬度适中, 内聚性好, 口感较好, 可用于鲜食加工; Q165 的甜度高, 苦味少, 黏度适宜, 口感佳, 也较适于鲜食加工。

通过对 10 个品种(系)的蒸木薯进行感官评价、主成分分析、成分评分和综合评价得出: SC9、Q227、Q150、Q165 四个品种制作蒸木薯较好, 加工性能好。

综合来看, SC9 和 Q150 在生长势、产量、品质方面均表现良好, 且具有很好的鲜食加工性能, 综合评价得出 SC9 和 Q150 既适宜在湖南推广种植, 又适合用于鲜食蒸煮。

基金项目

2020 年度湖南省大学生创新创业训练计划项目(No. 2406); 湖南农业大学 2020 年度大学生创新训练计划项目(s202010537047)资助。

参考文献

- [1] 张伟涛, 叶元土, 尹晓静, 邱燕, 高艳玲, 张俊, 张宝彤. 五种发酵木薯渣在罗非鱼饲料中应用的养殖性能比较[J]. 饲料工业, 2008, 4(8): 28-32.
- [2] 李开绵, 林雄, 黄洁. 国内外木薯科研发展概况[J]. 热带农业科学, 2001(1): 56-59.
- [3] 姜太玲, 刘光华, 周迎春, 熊贤坤, 刘超, 段春芳, 宋记明, 刘倩, 李月仙, 沈绍斌, 严炜, 易怀锋, 卢诚, 张林辉. 不同品种木薯的主要品质特征与综合评价[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 251-255, 261.

- [4] 王丹. 气候变化对中国粮食安全的影响与对策研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [5] 易拓, 黄娟, 雷雅杰, 宋勇. 木薯食品研究进展[J]. 美食研究, 2019, 36(2): 23-27.
- [6] 林萱. 木薯北移栽培关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
- [7] 叶剑秋, 黄洁, 陈松笔, 王明, 肖鑫辉, 李开绵. 木薯新品种华南 12 号的选育[J]. 热带作物学报, 2014, 35(11): 2121-2128.
- [8] 李晓, 陈科冰, 韩明, 梁淼, 马雨佳, 纪晓楠. 基于质构仪穿刺模式的烟叶脆性定量评价方法[J]. 烟草科技, 2021, 54(6): 83-91.
- [9] 高爽, 焦文雅, 焦英帅, 王福成, 王向红. 发芽糙米饼干质构与感官品质研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(23): 99-105.
- [10] Einfalt, D., Meissner, K., Kurz, L., Intani, K. and Müller, J. (2020) Fruit Spirit Production from Coffee Cherries—Process Analysis and Sensory Evaluation. *Beverages*, **6**, 57. <https://doi.org/10.3390/beverages6030057>
- [11] El-Sharkawy, M.A. (2004) Cassava Biology and Physiology. *Plant Molecular Biology*, **56**, 481-501. <https://doi.org/10.1007/s11103-005-2270-7>
- [12] 濮文辉. 世界木薯业发展与研究[J]. 世界热带农业信息, 2007(10): 1-5.
- [13] 刘亚伟. 木薯淀粉的加工[J]. 农产品加工, 2011(1): 34-35.
- [14] 董振礼, 郑宝海, 軫桂芬. 测色及电子计算机配色[M]. 北京: 中国纺织出版社, 1996.
- [15] Charles, S. (2018) Background Colour & Its Impact on Food Perception & Behaviour. *Food Quality and Preference*, **68**, 156-166.
- [16] 陆柳英, 王颖, 曹升, 尚小红, 陈颖慧, 肖亮, 严华兵. 不同食用木薯品种(系)鲜食加工适宜性研究[J/OL]. 热带作物学报, 2021: 1-15. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20201007.1904.002.html>