

食用木薯新品种桂木薯 9 号的选育及适应性研究

陆柳英¹, 严华兵¹, 曾文丹¹, 肖亮¹, 李恒锐², 郑刚辉³, 韦婉羚², 陈碧梅³,
曹升¹, 尚小红¹, 施平丽¹, 王颖^{1*}

1. 广西壮族自治区农业科学院, 广西南宁 530007; 2. 广西南亚热带农业科学研究所, 广西崇左 532415; 3. 合浦县农业科学研究所, 广西北海 536100

摘要: 食用木薯是世界上最重要的粮食作物之一, 也是我国华南地区的特色薯类杂粮作物, 选育高 β -胡萝卜素、综合品质优良的食用型新品种是木薯育种工作的重要方向之一。桂木薯 9 号 (*Manihot esculenta* Crantz cv. Gui 9) 是从新选 048 自交收获的未完全成熟果实中采用胚挽救技术获得再生苗选育的优良品种。该品种主要特征为株型直立、块根水平分布、薯形圆柱-圆锥型、块根外皮淡褐色或内皮粉红色、块根肉质橘黄色。鲜薯平均产量在区域试验和生产性试验中分别达到 $(45.12 \pm 7.04) \text{ t/hm}^2$ 、 $(40.84 \pm 3.88) \text{ t/hm}^2$; 经检测, 块根肉质淀粉含量为 26.3%, β -胡萝卜素含量为 454 $\mu\text{g}/100 \text{ g}$, 氢氰酸含量为 35.1 mg/kg , 总糖含量为 2.0 $\text{g}/100 \text{ g}$, 膳食纤维含量为 4.43 $\text{g}/100 \text{ g}$, 钾含量为 553 $\text{mg}/100 \text{ g}$ 。该品种富含 β -胡萝卜素、膳食纤维及矿物质元素, 且鲜食口感脆甜, 被誉为“胡萝卜木薯”, 其蒸煮食用及制作的木薯汁在色泽和口感上具有独特优势。该品种丰产性和适应性强, 中抗朱砂叶螨, 适宜密植和机械采收, 可在我国广西、广东、海南、江西等木薯产区推广种植。桂木薯 9 号新品种的选育, 为木薯食品化发展提供了品种支撑, 可对木薯产业提质增效和可持续发展起到促进作用。

关键词: 食用木薯; 桂木薯 9 号; β -胡萝卜素; 选育; 适应性

中图分类号: S533 文献标识码: A

Study on Reeding and Adaptability of a New Edible Cassava Cultivar (cv. Gui 9)

LU Liuying¹, YAN Huabing¹, ZENG Wendan¹, XIAO Liang¹, LI Hengrui², ZHENG Ganghui³, WEI Wanling², CHEN Bimei³, CAO Sheng¹, SHANG Xiaohong¹, SHI Pingli¹, WANG Ying^{1*}

1. Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007, China; 2. Guangxi South Subtropical Agricultural Science Research Institute, Chongzuo, Guangxi 532415, China; 3. Hepu County Agricultural Science Research Institute, Beihai, Guangxi 536100, China

Abstract: Edible cassava is an important food crop in the world and a characteristic potato crop in South China. New edible varieties with high β -carotene and excellent comprehensive quality are one of the important directions of cassava breeding. *Manihot esculenta* Crantz cv. Gui 9 was obtained from immature fruits, using embryo rescue technology, which were harvested from in-bred crossing population using XX048 as the female. The main characters of the variety were erect plant type, tubers distributed horizontally, cylindrical conical in shape, tubers of light brown skin, pink endothelium and orange flesh. The fresh tuber yield was $(45.12 \pm 7.04) \text{ t/hm}^2$ and $(40.84 \pm 3.88) \text{ t/hm}^2$ respectively in the regional test and production test. The starch content of fresh tuber detected was 26.3%, β -carotene content was 454 $\mu\text{g}/100 \text{ g}$, hydrocyanic acid content was 10–20 mg/kg , total sugar content was 2.0 $\text{g}/100 \text{ g}$, dietary fiber and potassium content was 4.43 $\text{g}/100 \text{ g}$ and 553 $\text{mg}/100 \text{ g}$ respectively. Gui 9 is an edible cassava variety in China with the

收稿日期 2022-11-28; 修回日期 2023-01-10

基金项目 国家重点研发计划项目 (No. 2019YFD1001100); 广西自然科学基金重点项目 (No. 2020GXNSFAA259085); 广西农业科学院科技发展基金项目 (桂农科 2021JM65)。

作者简介 陆柳英 (1982—), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 薯类作物遗传育种。*通信作者 (Corresponding author): 王颖 (WANG Ying), E-mail: 421032125@qq.com。

highest β -carotene content in tuber at present, rich in β -carotene, dietary fiber and minerals, fresh taste crisp and sweet, known as “carrot cassava”, with unique advantages in color and taste in cooking and making cassava juice. Gui 9 has high yield and strong adaptability with moderately resistance to cinnabar *Tetranychus mites*, and is suitable for dense planting and mechanical harvesting. It could be popularized in cassava producing areas such as Guangxi, Guangdong, Hainan and Jiangxi provinces. The breeding of Gui 9 would provide variety support for the development of cassava food, and promote the quality improvement, efficiency increase and sustainable development of cassava industry.

Keywords: edible cassava; Gui 9; β -carotene; breeding; adaptability

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.12.006

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 是大戟科木薯属植物, 世界三大薯类 (马铃薯、甘薯、木薯) 作物之一, 全球第六大粮食作物, 是世界近 10 亿人的主粮^[1]。木薯可食用、饲用和作为工业原料, 其食品化利用可为中国粮食安全问题提供有效补充^[2], 也是保障木薯产业可持续发展的重要举措。食用木薯具有较为丰富的营养成分, 作为特色薯类杂粮开发利用, 市场前景广阔, 产品附加值高, 对优化国民膳食结构、丰富饮食文化、提高木薯产值均起到了积极作用。然而, 目前国内高产优质的食用木薯品种较少, 急需培育一批优质的食用木薯品种或品系来支撑木薯的食用化发展^[3]。

自然界中木薯块根肉质颜色以白色为主, 长期以白肉木薯为主食易导致维生素 A 缺乏并引发视力下降、夜盲症、干眼症等疾病^[4-5], 而木薯块根中的类胡萝卜素不仅可帮助富集维生素 A 源, 提高蛋白质含量, 还可延缓采后生理衰变^[6]。因此, 选育高类胡萝卜素含量的木薯品种, 是育种学家关注的焦点^[7]。桂木薯 9 号是以高 β -胡萝卜素、综合品质优良的适宜鲜食加工的高产食用木薯为选育目的, 通过自交分离结合胚挽救^[8]、分子辅助育种等手段, 经系统选育获得的新品种, 2021 年 12 月通过热带作物品种审定 (编号热品审 2021003)。

1 材料与方法

1.1 材料

品种 (♀新选 048 × ♂新选 048) 亲本材料为新选 048, 是 2006 年广西大学从木薯种质资源 ZM93-16 的自然变异群体中选出优良单株, 经过系统选育和定向选择育成的木薯品种, 主要用于饲用和工业用^[9]。参试对照品种为南植 199, 是 1995 年中国科学院华南植物所从国外引进的组培苗中经无性系多代评选育成的木薯品种, 是目前广西区内种植面积最大的甜木薯品种。

1.2 方法

1.2.1 选育过程 2011 年对新选 048 进行环境严格控制 (育种基地周边 5 km 范围内无其他品种木薯种植) 的开放自交授粉, 对收获的未完全成熟果实进行胚挽救, 获得再生苗后继代、大棚炼苗移栽; 2012 年起, 通过田间观测结合分子标记筛选块根低氢氰酸材料、鉴定木薯薯肉颜色筛选块根高 β -胡萝卜素含量材料等, 获得优异株系; 2013—2015 年在广西农业科学院武鸣里建育种基地进行品种比较试验; 2016—2017 年在广西武鸣、广西合浦、广西龙州、海南乐东以及江西赣州进行区域性试验; 2018—2019 年开展生产性试验; 2020 年 12 月通过专家现场鉴评, 正式命名为桂木薯 9 号; 2021 年 12 月通过全国热带作物品种审定。

1.2.2 品种比较试验 品种比较试验在广西农业科学院武鸣里建育种基地开展。2013 年初级系比试验, 2014 年中级系比试验, 2015 年高级系比试验, 试验采用随机排列区组设计, 小区面积为 25.6 m² (4.0 m × 6.4 m), 重复 3 次, 株行距为 1.0 m × 0.8 m, 以南植 199 品种为对照。观测项目包括植物学性状、鲜薯产量、淀粉含量、氢氰酸含量、病虫害抗性等。其中淀粉含量参照 GB/T 5009.9—2016, 氢氰酸含量采用快速检测比色法, 其检测结果显示颜色区域分为 9 个区域, 对应 9 个等级 I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX, 分别代表其氢氰酸含量区间为 0~5、5~10、10~20、20~30、30~50、50~100、100~200、200~400、400~800 mg/kg^[10], 病虫害抗性参照木薯朱砂叶螨抗性鉴定方法^[11]。

1.2.3 品种区域试验 区域试验于 2016—2017 年分别在广西南宁市武鸣区锣圩镇、广西合浦县廉州镇、广西龙州县彬桥乡、海南乐东县九所镇、江西赣州市沙石镇开展。采用随机区组设计, 小区面积为 60 m², 重复 3 次, 株行距为 1.0 m × 0.8 m, 以南植 199 品种为对照。观测项目包括生物学性

状稳定性、鲜薯产量、氢氰酸含量、抗性。

1.2.4 品种生产试验 生产性试验于 2018—2019 年分别在广西南宁市武鸣县锣圩镇、广西合浦县廉州镇冲村、广西龙州县彬桥乡、海南乐东县九所镇、江西赣州市沙石镇开展，参试品种为新品种桂木薯 9 号 and 对照南植 199，各试验点总种植面积分别为 1.0、1.7、1.7、0.7、0.7 hm²。品种采用间排法排列，重复 3 次，株行距为 1.0 m × 0.8 m，观测项目包括产量、氢氰酸含量、食用品质等。

1.2.5 鲜薯品质指标的测定 根据抽样均匀性和具有代表性原则，通过五点取样法进行田间鲜薯块根采集和混样，取鲜薯块根 5 kg 作为样品送至农业农村部亚热带果品蔬菜质量监督检验测试中心进行鲜薯氢氰酸含量、总糖、蛋白质、β-胡萝卜素、淀粉、膳食纤维、水分、矿物质（钾、钙）含量检测。其中氢氰酸含量参照 GB/T 5009.5—2016、总糖含量参照 GB/T 5009.8—2016、蛋白质含量参照 GB/T 5009.5—2016、β-胡萝卜素含量参照 GB/T 5009.83—2016、淀粉含量参照 GB/T 5009.9—2016、膳食纤维含量参照 GB/T 5009.88—2014、水分含量参照 GB/T 5009.3—2016、钾含量参照 GB/T 5009.91—2017、钙含量参照 GB/T 5009.92—2016 完成。

1.2.6 指纹图谱鉴定 对桂木薯 9 号（P9）、新选 048（母本）等在内的 11 份种质进行微卫星 DNA（SSR）分子标记，可扩增唯一特征带的引物见表 1。利用 35 对微卫星标记引物，在 1.2% 的琼脂糖凝胶上以 120 V 电泳 30 min 进行扩增，通过等位基因对比获取目标品种唯一特征带，作为该品种的标记指纹。

表 1 SSR 引物序列
Tab. 1 SSR primer sequence

名称 Name	正向引物 (5'-3') Forward primer (5'-3')	反向引物 (5'-3') Reverse primer (5'-3')	连锁群 Linkage group	连锁群 位置 Location of linkage group
C24	GTCTGCGCTG AGCAGTCTC	GAGTGAGACG ACGAAACGTG	4	100.216
C58	CCAAGACTGC CAACGAAAGT	CGTTGAGGTTG TCTGAACGA	12	26.694

2 结果与分析

2.1 品种比较试验结果

由表 2 可知，3 年品种比较试验，桂木薯 9 号的鲜薯产量均显著高于对照南植 199，平均增产 14.7%；平均鲜薯淀粉含量为 23.1%，比对照降低了 6.8 个百分点；桂木薯 9 号氢氰酸含量为 20~30 mg/kg，比对照南植 199 品种低 1 个等级；对木薯朱砂叶螨表现为中抗（MR）。

表 2 桂木薯 9 号品种比较试验中鲜薯产量、淀粉含量、氢氰酸含量及抗性表现

Tab. 2 Yield, starch and hydrocyanic acid content, and resistance of cassava variety (Gui 9) in comparison test

项目 Item	品种 Variety	鲜薯产量 Fresh tuber yield/(t·hm ⁻²)	淀粉含量 Starch content/%	氢氰酸含量 Hydrocyanic acid content/(mg·kg ⁻¹)	朱砂叶螨抗性等级 Resistance level of <i>Tetranychus cinnabarinus</i>
2013 年初级评价试验	桂木薯 9 号	52.22±1.48*	24.9±0.30	20~30	MR
	南植 199	45.98±2.28	30.2±0.40*	30~50	MR
2014 年中级评价试验	桂木薯 9 号	50.50±4.54*	24.5±0.30	20~30	MR
	南植 199	44.81±4.17	30.1±0.90*	30~50	MR
2015 年高级评价试验	桂木薯 9 号	39.62±0.93*	19.9±0.40	20~30	MR
	南植 199	33.30±3.22	29.3±0.60*	30~50	MR
平均	桂木薯 9 号	47.45±6.83*	23.1±2.78	20~30	MR
	南植 199	41.36±7.01	29.9±0.49*	30~50	MR

注：*表示差异显著（ $P < 0.05$ ）。

Note: * indicates significant difference ($P < 0.05$).

2.2 品种区域试验

2016—2017 年品种区域试验结果见表 3，桂木薯 9 号平均鲜薯产量为 45.12 t/hm²，比对照南植 199 增产 15.84%，2 年间不同区域产量增幅

—5.85%~37.51%；块根氢氰酸含量范围值为 20~30 mg/kg，比对照南植 199 品种 30~50 mg/kg 低 1 个等级；对朱砂叶螨的抗性均表现为中抗。桂木薯 9 号品种在广西、海南和江西区试点表现适应

性较好, 可通过生产试验进一步验证。

2.3 品种生产试验

2018—2019 年生产试验结果见表 4, 桂木薯 9 号平均鲜薯产量为 40.84 t/hm², 比对照南植 199

增产 13.10%。2 年间不同区域产量增幅为-4.30%~33.32%; 块根氢氰酸含量范围值为 20~30 mg/kg, 表现稳定。由此可见, 在生产性试验中, 桂木薯 9 号同样具有良好的丰产性和稳定性。

表 3 桂木薯 9 号区域试验鲜薯产量、氢氰酸含量及朱砂叶螨抗性表现
Tab. 3 Yield, hydrocyanic acid content and resistance of cassava variety (Gui 9) in regional test

年度 Year	地点 Site	鲜薯产量 Fresh tuber yield/(t·hm ⁻²)		鲜薯产量增产 Fresh tuber yield/%	氢氰酸含量 Hydrocyanic acid content/(mg·kg ⁻¹)		朱砂叶螨抗性等级 Resistance level of <i>Tetranychus cinnabarinus</i>	
		桂木薯 9 号 Gui 9	南植 199 NZ199		桂木薯 9 号 Gui 9	南植 199 NZ199	桂木薯 9 号 Gui 9	南植 199 NZ199
2016	广西武鸣	48.10±1.14*	34.98±1.67	37.51±4.21	20~30	30~50	MR	MR
	广西合浦	42.72±1.84	41.40±1.38	3.19±3.01	20~30	50~100	MR	MR
	广西龙州	52.33±1.92*	45.85±1.98	28.57±5.42	20~30	30~50	MR	MR
	海南乐东	35.65±2.03	35.08±1.13	1.62±8.13	20~30	30~50	MR	MR
	江西赣州	40.92±0.87*	34.27±1.69	19.40±5.20	20~30	30~50	MR	MR
2017	广西武鸣	51.05±2.08*	40.29±1.85	26.71±4.50	20~30	30~50	MR	MR
	广西合浦	40.25±2.68	42.75±1.75	-5.85±3.79	20~30	30~50	MR	MR
	广西龙州	56.47±1.96*	43.18±2.10	30.78±2.44	20~30	50~100	MR	MR
	海南乐东	36.23±2.13	33.82±2.21	7.13±5.09	20~30	30~50	MR	MR
	江西赣州	47.50±2.11*	43.03±1.35	10.39±2.18	20~30	30~50	MR	MR
	平均	45.12±7.04*	38.95±4.48	15.84±14.62	20~30	30~50	MR	MR

注: *表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: * indicates significant difference ($P<0.05$).

表 4 桂木薯 9 号生产性试验鲜薯产量与氢氰酸含量表现
Tab. 4 The fresh tuber yield and hydrocyanic acid content of cassava variety (Gui 9) in production test

年度 Year	地点 Site	鲜薯产量 Fresh tuber yield/(t·hm ⁻²)		鲜薯产量增产 Fresh tuber yield/%	氢氰酸含量 Hydrocyanic acid content/(mg·kg ⁻¹)	
		桂木薯 9 号 Gui 9	南植 199 NZ199		桂木薯 9 号 Gui 9	南植 199 NZ199
2018	广西武鸣	41.13±2.03*	30.85±1.56	33.32±1.34	20~30	30~50
	广西合浦	37.64±1.32	38.42±1.15	-2.03±2.28	20~30	30~50
	广西龙州	43.32±1.16*	34.55±1.81	25.38±3.35	20~30	30~50
	海南乐东	35.85±0.91	37.46±1.25	-4.30±4.24	20~30	30~50
	江西赣州	38.92±1.25*	31.68±1.54	22.85±3.39	20~30	30~50
2019	广西武鸣	42.28±1.40*	35.10±0.93	20.46±4.10	20~30	30~50
	广西合浦	43.15±1.58	41.25±1.05	4.61±2.92	20~30	30~50
	广西龙州	48.65±2.14*	42.51±1.73	14.44±0.46	20~30	30~50
	海南乐东	36.17±0.86*	33.37±0.90	8.39±3.09	20~30	30~50
	江西赣州	41.26±1.17*	35.85±1.29	15.09±3.78	20~30	30~50
	平均	40.84±3.88*	36.11±3.84	13.10±10.97	20~30	30~50

注: *表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: * indicates significant difference ($P<0.05$).

2.4 现场鉴评结果

2020 年 12 月 23 日, 由农业农村部南亚热带作物中心组织相关专家, 在广西壮族自治区崇左

市龙州县彬桥乡南亚社区对桂木薯 9 号品种进行现场鉴评, 示范种植面积 3333.33 m², 植后 8 个月, 随机取样, 3 次重复, 测产小区面积为 8.00 m²,

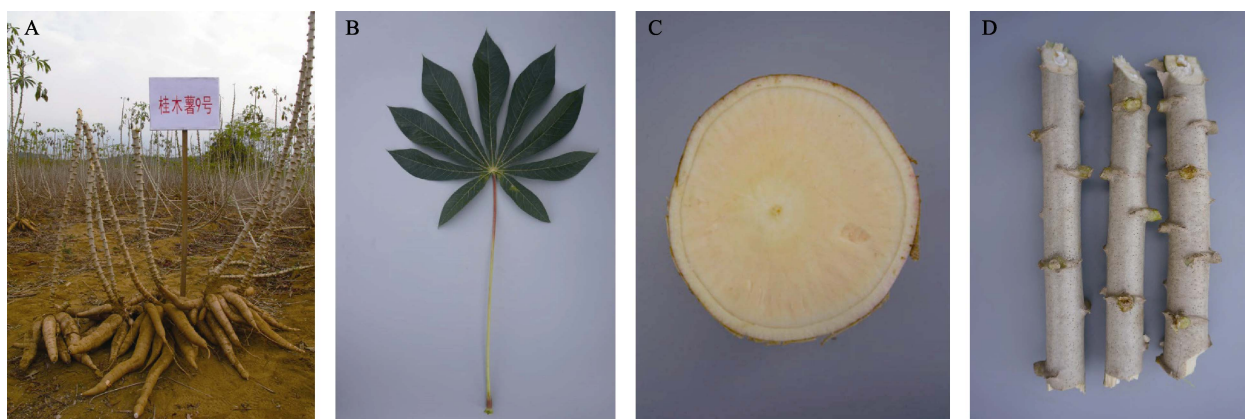
平均小区产量为 42.97 kg，折合鲜薯产量为 53.72 t/hm²，比对照南植 199 增产 56.0%。其结果与历年区域性试验和生产性试验结果一致，增产达到显著水平。现场采用块根氢氰酸含量快速检测方法，桂木薯 9 号鲜薯薯肉氢氰酸含量为 20~30 mg/kg，低于对照 1 个等级。

3 品种特征特性

3.1 生物学特征

桂木薯 9 号生育期 8~10 个月，为中熟品种，其植物学特征表现为株型直立，株高 2.5~4.0 m；

叶片绿色，掌状深裂，裂片 9 片，裂片披针形，中间裂叶长 19.0~22.0 cm，宽 4.0~5.0 cm，顶端嫩叶绿色，叶柄绿带红色，叶脉浅绿色，叶柄长 28.0~35.0 cm；成熟主茎茎粗 27.0~40.0 mm，中下部外皮灰白色，主茎内皮浅绿色；块根水平分布，薯形为圆柱-圆锥型，稍有缢痕，块根外皮淡褐色、内皮粉红色，块根肉质橘黄色；圆锥花序，花萼浅红色，子房紫绿色，蒴果椭圆状，长 1.4~1.8 cm，直径 1.2~1.6 cm，表面光滑，具 6 条狭纵翅，果皮绿色；成熟种子扁圆形，长约 1.0 cm，直径约 0.5 cm，种皮黑色硬壳质，具花纹（图 1）。



A: 块根分布; B: 叶片形态; C: 茎秆特征; D: 薯肉颜色。
A: Tubers distribution; B: Leaf morphology; C: Stem character; D: Flesh colour.

图 1 桂木薯 9 号品种表型特征特性

Fig. 1 Phenotypic characteristics of cassava variety (Gui 9)

3.2 食用品质特征

经农业农村部亚热带果品蔬菜质量监督检验测试中心检测，结果见表 5。桂木薯 9 号鲜薯薯肉氢氰酸含量为 35.1 mg/kg，总糖含量为 2.0 g/100 g， β -胡萝卜素含量为 454.00 μ g/100 g，膳食纤维含量为 4.43 g/100 g，钾含量为 553 mg/100 g，均高

于对照南植 199 和被誉为“蛋黄木薯”的华南 9 号^[12]，具有富含 β -胡萝卜素、膳食纤维及矿物质等特点，营养价值丰富；在食味方面，适宜蒸煮食用及制作木薯汁等，其在色泽和口感上有独特优势。由于桂木薯 9 号氢氰酸含量低，薯肉橘黄色，鲜食口感脆甜，也被誉为“胡萝卜木薯”。

表 5 桂木薯 9 号鲜薯营养品质表现

Tab. 5 Nutritional quality of fresh tuber of cassava variety (Gui 9)

品种 Variety	氢氰酸 Hydrocyanic acid/ (mg·kg ⁻¹)	总糖 Total sugar/ [g·(100 g) ⁻¹]	蛋白质 Protein/ [g·(100 g) ⁻¹]	β -胡萝卜素 Beta-carotene/ [μ g·(100 g) ⁻¹]	淀粉 Starch/ [g·(100 g) ⁻¹]	膳食纤维 Dietary fiber/ [g·(100 g) ⁻¹]	水分 Water content/ [g·(100 g) ⁻¹]	钾 potassium/ [mg·(100 g) ⁻¹]	钙 Calcium/ (mg·kg ⁻¹)
桂木薯 9 号	35.1	2.0	0.88	454.00	26.3	4.43	64.0	553	284
南植 199	43.0	1.2	1.56	9.80	26.6	2.80	59.9	482	363
华南 9 号	26.6	1.7	1.68	172.00	32.7	1.84	54.8	387	381

3.3 指纹图谱鉴定

对桂木薯 9 号、新选 048（母本）在内的 11 个木薯种质的 SSR 鉴定结果发现，桂木薯 9 号在

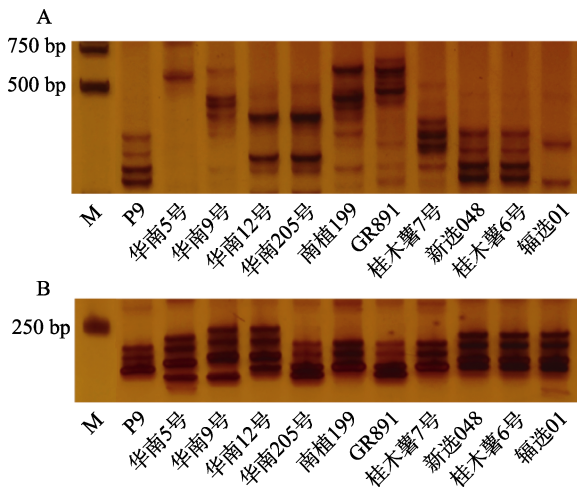
引物 C24、C58 上具有唯一的特征带 C24-hi/C58-b（表 6，图 2），因此，C24、C58 可作为该品种的标志指纹。

表 6 桂木薯 9 号分子指纹模式
Tab. 6 Molecular fingerprint pattern of cassava variety (Gui 9)

编号 No.	品种 Variety	引物 C24 Primer C24									引物 C58 Primer C58							
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h
1	桂木薯 9 号	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-
2	华南 5 号	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+
3	华南 9 号	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+
4	华南 12 号	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-
5	华南 205	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
6	南植 199	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-
7	GR891	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
8	桂木薯 7 号	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-
9	新选 048	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-
10	桂木薯 6 号	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-
11	辐选 01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-

注: +表示该位点有特征条带, -表示该位点无条带。

Note: + indicates that the site has characteristic bands, - indicates that the site has no bands.



A: 引物 C24 扩增指纹图谱; B: 引物 C58 扩增指纹图谱;
M: DL2000 marker
A: Primer C24 amplified fingerprint; B: Primer C58 amplified fingerprint; M: DL2000 marker.

图 2 桂木薯 9 号等 11 个木薯品种的扩增指纹图谱
Fig. 2 Amplified fingerprints of 11 cassava varieties include Gui 9

4 讨论与结论

桂木薯 9 号是通过严格控制周边环境进行开放自交,从自交 F₁ 代群体中选育出来的优良品种。自花授粉杂交是创制种质资源的方式之一,自交使基因快速纯合,且产生的加性效应使一些控制优异性状的基因对表型的贡献值叠加,产生极端表型的个体。CEBALLOS 等^[13]在自交系群体中发现了珍贵的“糯木薯”种质资源;KAWUKI 等^[14]以 6 个木薯的自交系群体为材料,筛选到了支链淀粉含量、收获指数和根干物质含量等农艺性状

高于对应亲本的种质资源;TADEO 等^[15]在 Tz/130 的第一代自交群体中筛选到抗褐条纹病毒病的木薯材料。本育种团队通过构建新选 048 自交系群体,结合胚挽救技术解决广西区内木薯结实成熟度不高、后期败育等问题,并采用 SNAP 分子标记鉴定块根氢氰酸含量基因型^[16]、CAPS 分子标记鉴定木薯薯肉颜色筛选高 β-胡萝卜素含量材料^[17]等手段,从近千份资源材料中筛选获得具有低 HCN、高类胡萝卜素含量等优良性状的株系。因此,通过自交系群体构建选育优良食用木薯品种是一种快速有效的育种方法^[18]。

2017—2018 年,广西合浦试验点出现较大程度的白蚁危害,桂木薯 9 号品种可能由于鲜薯甜度较大,遭受了相比对照品种明显的产量损失;2018 年在海南乐东试验点,桂木薯 9 号由于遭受台风影响,也造成了一定产量损失。其余年份及试验点均表现丰产性、稳产性较好。因此,该品种适宜在广西、广东、海南、江西等省(区)木薯种植区推广,在种植过程中应注意采取防虫防风措施。

桂木薯 9 号是目前国内选育品种中块根 β-胡萝卜素含量最高的木薯品种^[19-21],含量达到 454.00 μg/100 g。由于该品种块根薯肉呈橘黄色,鲜食口感脆甜,被誉为“胡萝卜木薯”。桂木薯 9 号品种营养价值丰富,蒸煮食用及制作木薯汁表现口感细腻、风味独特、色泽明亮,深受餐饮业好评^[22]。由于其丰产性和适应性强,病虫害较少,适宜密植和机械采收,易于打造成为天然健康的

绿色薯类杂粮，目前在广西南宁、合浦、玉林等地推广种植深受农户喜爱，按桂木薯 9 号产量为 40.0~45.0 t/hm²，单价为 1000 元/t 计，鲜薯产值可达 4.0 万~4.6 万元/hm²，经济效益显著。

参考文献

- [1] LYONS J B, BREDESON J V, MANSFELD B N, BAUCHET G J, BERRY J, BOYHER A, MUELLER L A, ROKHSAR D S, BART R S. Current status and impending progress for cassava structural genomics[J]. *Plant Molecular Biology*, 2022(3): 109.
- [2] 严华兵, 叶剑秋, 李开绵. 中国木薯育种研究进展[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(15): 63-70.
YAN H B, YE J Q, LI K M. Progress of cassava breeding in China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(15): 63-70. (in Chinese)
- [3] 卢诚, 陈新, 周新成, 夏志强, 孙玉芳, 王海燕, 邹枚伶, 李开绵, 李兆贵, 肖子盈, 周宾, 韩全辉, 张鹏, 王文泉. 木薯新品种‘华南 16 号’的选育[J]. *热带作物学报*, 2020, 41(9): 1756-1761.
LU C, CHEN X, ZHOU X C, XIA Z Q, SUN Y F, WANG H Y, ZOU M L, LI K M, LI Z G, XIAO Z Y, ZHOU B, HAN Q H, ZHANG P, WANG W Q. Breeding of a new cassava cultivar ‘South China No. 16’ [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2020, 41(9): 1756-1761. (in Chinese)
- [4] 朴朴森, 尚小红, 许丰收, 廖明馨, 王明, 严华兵, 陈新, 王文泉. 基于 *PSY2* 基因单碱基突变的木薯薯肉颜色分子标记开发与利用[J]. *核农学报*, 2022, 36(1): 34-41.
PHYU P T, SHANG X H, XU F S, LIAO M X, WANG M, YAN H B, CHEN X, WANG W Q. Development and utilization of cassava root color marker basing on a single nucleotide mutation in *PSY2* gene[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2022, 36(1): 34-41. (in Chinese)
- [5] CARVALHO L J C B, ANDERSON J V, DA SILVA J P, CHEN S, DE SOUZA C R B. Protein content in cassava storage root is associated with total abundance of carotenoids[J]. *International Research Journal of Plant Science*, 2019, 10(1): 1-10.
- [6] XIAO L, CAO S, SHANG X H, XIE X Y, ZENG W D, LU L Y, KONG Q S, YAN H B. Metabolomic and transcriptomic profiling reveals distinct nutritional properties of cassavas with different flesh colors[J]. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 2021, 2: 100016.
- [7] 刘丽娟, 黄洁, 魏云霞, 王娟, 何时雨, 吴健雄, 李伯松, 马旭东, 郑永清. 我国木薯的食用与休闲利用现状及其发展对策[J]. *江西农业学报*, 2020, 32(5): 145-150.
LIU L J, HUANG J, WEI Y X, WANG J, HE S Y, WU J X, LI B S, MA X D, ZHENG Y Q. Current situation and development countermeasures of edible cassava and its leisure utilization in China[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2020, 32(5): 145-150. (in Chinese)
- [8] 陆柳英, 谢向誉, 周慧文, 曾文丹, 严华兵. 广西木薯胚发育调查及幼胚离体培养[J]. *南方农业学报*, 2014, 45(9): 1539-1544.
LU L Y, XIE X Y, ZHOU H W, ZENG W D, YAN H B. Investigation on embryo development of cassava in Guangxi and *in vitro* culture of immature embryo[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2014, 45(9): 1539-1544. (in Chinese)
- [9] 罗兴录. 木薯新品种新选 048 选育与应用[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(24): 501-505.
LUO X L. Report on applying and breeding of new cassava cultivar Xinxuan 048[J]. *China Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(24): 501-505. (in Chinese)
- [10] 曾文丹, 严华兵, 曹升, 王颖, 谢向誉, 尚小红, 肖亮, 陆柳英. 一种木薯 HCN 含量简易快速准确的检测方法: CN201810212391.1[P]. 2018-09-04.
ZENG W D, YAN H B, CAO S, WANG Y, XIE X Y, SHANG X H, XIAO L, LU L Y. A simple, rapid and accurate method for detecting HCN content in cassava: CN201810212391.1[P]. 2018-09-04. (in Chinese)
- [11] 陆柳英, 谢向誉, 曾文丹, 严华兵. 47 份木薯资源对朱砂叶螨的抗性鉴定及其抗性机理的初步研究[J]. *热带作物学报*, 2016, 37(6): 1161-1167.
LU L Y, XIE X Y, ZENG W D, YAN H B. Resistance evaluation and preliminary studies on resistance mechanism of *tetranychus cinnabarinus* for 47 cassava germplasm[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2016, 37(6): 1161-1167. (in Chinese)
- [12] 黄洁, 单荣芝, 李开绵, 叶剑秋, 许瑞丽. 优质鲜食木薯新品种华南 9 号[J]. *中国热带农业*, 2006(5): 47.
HUANG J, SHAN R Z, LI K M, YE J Q, XU R L. High quality fresh cassava varieties SC9[J]. *China Tropical Agriculture*, 2006(5): 47. (in Chinese)
- [13] CEBALLOS H, FREGENE M, CARLOS J P, MORANTE N, CALLE F. Cassava genetic improvement[J]. *Breeding Major Food Staples*, 2012: 365-391.
- [14] KAWUKI R S. Segregation of selected agronomic traits in six S1 cassava families[J]. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2011, 3(8): 154-160.
- [15] TADEO K, VINCENT K, YONA B, ROBERT K, FERGUSON M. Inbreeding enhances field resistance to cassava brown streak viruses[J]. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2016, 88(8): 138-149.
- [16] 肖亮, 陈新, 尚小红, 严华兵, 曾文丹, 曹升, 陆柳英, 赖大欣. 用于鉴定木薯薯肉氢氰酸含量的 SNAP 引物组及应

- 用: CN202110912693.1[P]. 2023-12-05.
XIAO L, CHEN X, SHANG X H, YAN H B, ZENG W D, CAO S, LU L Y, LAI D X. SNAP primers for identification of hydrocyanic acid in cassava root and its application: CN202110912693.1[P]. 2023-12-05. (in Chinese)
- [17] 尚小红, 周慧文, 严华兵, 肖亮, 陈新. 木薯块根肉质颜色基因 CAPS 标记的开发与验证[J]. 分子植物育种, 2018, 16(3): 873-879.
SHANG X H, ZHOU H W, YAN H B, XIAO L, CHEN X. Development and verification of a CAPS marker for color gene in cassava tuber[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2018, 16(3): 873-879. (in Chinese)
- [18] 尚小红, 谢向誉, 曹升, 严华兵, 肖亮, 王颖, 曾文丹, 陆柳英, 陈会鲜. 木薯‘新选 048’自交系群体表型鉴定评价及遗传多样性分析[J]. 植物生理学报, 2019, 55(9): 1277-1290.
SHANG X H, XIE X Y, CAO S, YAN H B, XIAO L, WANG Y, ZENG W D, LU L Y, CHEN H X. Phenotypic identification and genetic diversity of cassava cultivar ‘Xinxuan 048’ inbred lines[J]. *Plant Physiology Journal*, 2019, 55(9): 1277-1290. (in Chinese)
- [19] 杨龙. 木薯块根 β -胡萝卜素积累的蛋白质组学研究[D]. 海口: 海南大学, 2015.
YANG L. Study on proteome of β -carotene accumulation in tuberous roots of cassava[D]. Haikou: Hainan University, 2015. (in Chinese)
- [20] 邓昌哲, 姚慧, 安飞飞, 李开绵, 陈松笔. 木薯品种(系)类胡萝卜素代谢相关基因和蛋白表达水平分析[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(3): 555-563.
DENG C Z, YAO H, AN F F, LI K M, CHEN S B. Analysis of genes and enzymes associated with carotenoid metabolism in cassava[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(3): 555-563. (in Chinese)
- [21] 周锴, 安飞飞, 李开绵, 陈松笔. 木薯块根不同发育期 β -胡萝卜素和蛋白质积累变化及其有色体蛋白质组学研究[J]. 热带作物学报, 2022, 43(5): 871-881.
ZHOU K, AN F F, LI K M, CHEN S B. The changes of β -carotene and protein accumulation and proteomic analysis of chromoplasts in different developmental stages of cassava tuberous roots[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2022, 43(5): 871-881. (in Chinese)
- [22] 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]. 热带作物学报, 2021, 42(6): 1725-1734.
LU L Y, WANG Y, CAO S, SHANG X H, CHEN Y H, XIAO L, YAN H B. Fresh tuber processing suitability of different edible cassava cultivars[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(6): 1725-1734. (in Chinese)