

桂木薯 11 号食用木薯新品种的选育

施平丽¹, 陆柳英¹, 严华兵¹, 曾文丹¹, 李恒锐², 陈碧梅³, 肖 亮¹, 尚小红¹,
龙紫媛¹, 王 颖¹, 程 冬¹, 曹 升^{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: 木薯被誉为“地下粮仓”, 是世界超过 10 亿人的口粮, 也是我国华南地区特色优势作物。近年来, 全球粮食安全形势加剧, 木薯在我国作为薯类杂粮的开发利用越来越多, 食用木薯新品种选育具有重要意义。本研究以自交分离群体为材料, 结合 SNAP 分子标记辅助技术, 选育出桂木薯 11 号食用木薯新品种, 该品种株型紧凑, 块根肉质浅黄色, 鲜薯薯肉氰化物含量为 12.30 mg/kg, 鲜薯产量为 43.35 t/hm², 比当前主栽食用木薯品种华南 9 号增产 24.64%; 鲜薯干物质含量为 38.40%、淀粉含量为 28.20%、可溶性糖含量为 4.71%、粗纤维含量为 1.80%; 中抗朱砂叶螨。桂木薯 11 号的选育, 是基于自交分离群体利用分子标记技术辅助选育木薯新品种的又一成功案例, 为推动木薯产业转型升级提供技术支撑和品种支撑。

关键词: 食用木薯; 桂木薯 11 号; 自交; 分子标记; 氢氰酸

中图分类号: S533 文献标志码: A

Breeding Report of a New Sweet Cassava Variety (cv. Gui 11)

SHI Pingli¹, LU Liuying¹, YAN Huabing¹, ZENG Wendan¹, LI Hengrui², CHEN Bimei³, XIAO Liang¹,
SHANG Xiaohong¹, LONG Ziyuan¹, WANG Ying¹, CHENG Dong¹, CAO Sheng^{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: Cassava, commonly known as the “underground granary”, serves as the food staple for more than one billion people globally. Additionally, it is a prevalent and advantageous crop in southern China. Recently, the food security situation has intensified, leading to an increased emphasis on the utilization of cassava in China. Therefore, the breeding of new sweet cassava variety holds immense importance. In this study, using a self-crossing segregating populations and SNAP molecular marker assisted technology, a new sweet cassava variety, Gui 11 was bred. This variety exhibits a compact plant shape, with light yellow fleshy roots. The hydrogen cyanide content in its fresh tuberous root is 12.30 mg/kg, and it yield is 43.35 t/hm², presenting 24.64% higher than the current main sweet cassava variety 'South China 9'. Additionally, the fresh tuberous root of Gui 11 contains 38.40% dry matter, 28.20% starch, 4.71% soluble sugar, and 1.80% crude fiber, and it displays moderate resistance to *Tetranychus cinnabarinus*. The successful breeding of Gui 11 exemplifies the effective utilization of molecular marker technology to assist in the selection of new cassava varieties through self-crossing segregating populations. This advancement offers technical and variety support for promoting the transformation and enhancement of the cassava industry.

Keywords: sweet cassava; cassava variety (cv. Gui 11); self-crossing; molecular marker; hydrogen cyanide

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.12.015

收稿日期 2024-05-10; 修回日期 2024-08-01

基金项目 国家重点研发计划项目 (No. 2023YFD1600601); 广西自然科学基金项目 (No. 2024GXNSFBA010407); 广西农业科学院科技发展基金项目 (桂农科 2022ZX09)。

作者简介 施平丽 (1991—), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 薯类作物品种选育及栽培技术。*通信作者 (Corresponding author): 曹 升 (CAO Sheng), E-mail: caoshengyp@163.com。

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 为全球第六大粮食作物, 广泛种植于非洲、亚洲和南美洲热带地区, 是世界超过 10 亿人的口粮, 也是我国华南地区优势特色作物, 全程不使用农药即可获得高产, 具有低糖、低脂、富含膳食纤维的特点, 被誉为“淀粉之王”“地下粮仓”。近年来, 世界粮食安全形势日益严峻^[1-4], 《2022 年全球粮食危机报告》显示, 2021 年全球约 1.93 亿人口面临粮食危机, 较 2020 年人数增加 26%^[5]。据联合国粮农组织 (FAO) 统计, 世界木薯的产量呈持续平稳增长趋势, 近年总产量 3 亿 t 左右。我国是世界上最大的木薯进口国, 其中广西种植面积和产量均占全国 60% 以上, 但自 2008 年以来全国木薯种植面积和产量逐年下滑, 贸易逆差持续扩大^[6-8], 究其原因主要是木薯种植效益偏低导致。随着人们对“大食物观”及大健康产业的关注、木薯羹等加工产品火爆网络, 木薯作为天然绿色的健康薯类杂粮开发利用, 市场前景广阔。因此, 食用木薯新品种选育工作重要性日益突显。

木薯遗传背景复杂、基因组高度杂合, 唯一栽培种的自然杂交群体中优异资源稀有, 重要性状关键基因资源挖掘也严重滞后^[9-11]。通过自交, 一些控制重要性状的基因的位点得以纯合并产生加性效应, 优异表型性状基因得以叠加表达, 为木薯品种选育和关键基因挖掘提供了重要途径, 国际上糯木薯、小颗粒木薯、各种抗性木薯等优异资源都是在自交分离群体中筛选出来的^[12-15], 尚小红等^[16]对木薯自交群体也做了表型鉴定评价及分析, 并从中选育出高类胡萝卜素含量的木薯品种桂木薯 9 号^[17]。同时, 氢氰酸含量、薯肉颜色是评价木薯品质的重要指标, 分子标记辅助育种是品种选育的重要手段, 通过与传统选育种相结合, 可有效提高木薯育种效率^[18-20]。但是, 目前国内外对通过木薯自交群体选育优新品种的研究较少, 对分子标记辅助育种的研究也主要集中在分子标记开发方面, 对其实际成功应用的案例鲜有报道。

本研究以小芝麻木薯自交分离群体为材料,

辅助高鉴定准确率的 SNAP 分子标记技术, 选育出食用木薯新品种桂木薯 11 号。桂木薯 11 号的选育, 是基于自交分离群体利用分子标记技术辅助选育木薯新品种的又一成功案例, 为今后品种选育和推动产业转型升级提供技术支撑和品种支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究选育的木薯品种, 以国外引进的小芝麻木薯品种为亲本, 以当前我国主栽食用木薯品种华南 9 号为对照 (CK)。以广西农业科学院南宁武鸣基地种植の木薯品种新选 048 及其自交所得的 45 份木薯种质, 以及 6 个木薯品种的叶片为 SNAP 分子标记材料。

1.2 方法

1.2.1 自交分离群体构建与优良株系筛选 2011 年, 在广西农业科学院南宁武鸣木薯育种基地对小芝麻木薯进行自交授粉, 辅助胚挽救技术获得自交株系实生种。2012—2013 年通过田间性状测定辅助 SNAP 分子标记^[21-22]技术进行单株评价, 选择株型好、结薯性好、收获指数高、鲜薯氢氰酸含量低、薯肉浅黄色的优良株系, 筛选出该种质, 田间编号 NK-10。

1.2.2 品种比较试验 2014—2016 年, 在广西农业科学院南宁武鸣木薯育种基地进行品种比较试验, 其中 2014 年进行初级系比试验, 2015 年进行中级系比试验, 2016 年进行高级系比试验, 试验采用随机区组设计, 每个小区面积为 6.4 m×4.0 m=25.6 m², 株行距为 1.0 m×0.8 m, 重复 3 次。测定性状包括植物学特性、生物学特性、丰产性、氢氰酸含量、抗性。其中, 氢氰酸含量采用曾文丹等^[23]的快速检测比色法, 显示颜色分为 10 个区域, 对应 10 个等级, I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X 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、>800 mg/kg; 抗性采用陆柳英等^[24]的木薯朱砂叶螨抗性鉴定方法, 评价标准见表 1。

表 1 田间木薯对朱砂叶螨的抗性鉴定评价标准
Tab. 1 Resistance evaluation standard of *Tetranychus cinnabarinus* in field

抗性等级 Resistance level	免疫 Immunity	高抗 High resistance	抗 Resistance	中抗 Moderate resistance	感 Susceptibility	高感 High susceptibility
螨害指数/%	0	0.1~12.5	12.6~37.5	37.6~62.5	62.6~87.5	>87.5
代表符号	IM	HR	R	MR	S	HS

1.2.3 品种区域性试验 2017—2018 年，分别在广西南宁市武鸣区、广西北海市合浦县、广西崇左市龙州县、海南乐东黎族自治县、江西赣州市赣县区进行品种区域性试验，采用随机区组设计，每个小区面积为 60 m²，株行距为 1.0 m×0.8 m，重复 3 次。测定性状包括适应性、丰产性、氢氰酸含量、抗性。

1.2.4 品种生产性试验 2019—2020 年，分别在广西南宁市武鸣区、广西北海市合浦县、广西崇

左市龙州县、海南乐东黎族自治县、江西赣州市赣县区进行品种生产性试验，参试品种采用间排法排列，重复 3 次，每个试验点木薯总种植面积分别为 1.00、1.33、2.00、0.67、0.67 hm²。测定性状包括适应性、丰产稳产性、氢氰酸含量、食用品质。其中食用品质评价方法采用 8 人评分小组对各品种蒸木薯的苦度、香度、甜度、黏度、面度、纤维度共 6 个指标进行评分，评分后按最终得分的平均分进行质量分级（表 2）。

表 2 蒸木薯食味评价
Tab. 2 Taste evaluation table for steamed cassava

分值 Score	苦度 Bitterness	香度 Fragrance	甜度 Sweetness	黏度 Viscosity	粉度 Powderyness	纤维度 Fibrousness	评价等级 Rating scale
0~2.0	苦	不香	不甜	不黏	不面	多	差
2.1~4.0	较苦	较香	较甜	中黏	中等	中等	良
4.1~6.0	不苦	香	甜	黏	面	无	优

注：根据最终得分确定该种质蒸木薯质量等级，最终得分=（苦度+香度+甜度+黏度+粉度+纤维度）/6。
Note: Determine the quality level of the steamed cassava germplasm based on the final score, the final score is (bitterness+fragrance+sweetness+viscosity+texture+fibrousness)/6.

1.2.5 营养品质测定 采用五点取样法对桂木薯 11 号木薯鲜薯进行取样，均匀混样后随机取 5 kg 鲜薯样品，委托广西益谱检测技术有限公司对鲜薯可溶性糖含量、粗纤维含量、最小干物质含量、淀粉占干物质比例、直链淀粉占干物质比例、蛋白质含量进行测定；委托广西壮族自治区分析测试中心对鲜薯氢氰酸含量、淀粉含量进行测定。

1.2.6 指纹图谱鉴定 采用陆柳英等^[17]的方法利用 34 对微卫星标记引物通过 13 份木薯品种（种质）进行引物筛选并扩增获得等位基因，通过等位基因对比获取桂木薯 11 号唯一特征带作为其标记指纹。

表 3 桂木薯 11 号品种比较试验鲜薯产量、氢氰酸含量及抗性表现
Tab. 3 Yield, hydrogen cyanide content and resistance of cassava variety (cv. Gui 11) in comparison test

年份 Year	品种 Variety	鲜薯产量 Average fresh tuber yield (t·hm ⁻²)	氢氰酸含量 Hydrogen cyanide con- tent/(mg·kg ⁻¹)	朱砂叶螨 抗性等级 Resistance level of <i>T.</i> <i>cinnabarinus</i>
2014	桂木薯 11 号	40.96±1.52*	10~20	MR
	CK	34.84±0.73	20~30	R
2015	桂木薯 11 号	41.12±2.22*	10~20	MR
	CK	32.98±1.10	20~30	R
2016	桂木薯 11 号	43.56±0.79*	10~20	MR
	CK	34.13±2.62	20~30	R

注：*表示显著相关（P<0.05）。
Note: * indicates significant correlation (P<0.05).

2 结果与分析

2.1 品种比较试验结果

如表 3 所示，桂木薯 11 号 3 年平均鲜薯产量为 41.88 t/hm²，较 CK 品种平均增产 23.29%；氢氰酸含量为 10~20 mg/kg，比 CK 品种氢氰酸含量（20~30 mg/kg）低一个等级；中抗朱砂叶螨。

2.2 品种区域性试验结果

如表 4 所示，桂木薯 11 号在广西、海南、江西品种表现稳定，平均鲜薯产量为 45.15 t/hm²，显著高于 CK，平均增产 30.33%；氢氰酸含量为 10~20 mg/kg，比 CK 低一个等级；中抗朱砂叶螨。

2.3 品种生产性试验结果

如表 5 所示，桂木薯 11 号在广西、海南、江西品种表现稳定，平均鲜薯产量为 44.80 t/hm²，显著高于对照，平均增产 24.07%；蒸木薯食用品质评价等级均为优，但桂木薯 11 号优于华南 9 号。

2.4 营养品质测定结果

2019 年 12 月取样木薯鲜薯送至广西益谱检测技术有限公司检测，2021 年 12 月取样木薯鲜薯送至广西壮族自治区分析测试中心检测。检测结果如表 6 所示，桂木薯 11 号比 CK 鲜薯可溶

表 4 桂木薯 11 号区域性试验鲜薯产量、氢氰酸含量及抗性表现
Tab. 4 Yield, hydrogen cyanide content and resistance of cassava variety (cv. Gui 11) in regional test

年份 Year	地点 Site	鲜薯产量 Average fresh tuber yield/(t·hm ⁻²)		比 CK 增加 Increase compared with CK/%	氢氰酸含量 Hydrogen cyanide con- tent/(mg·kg ⁻¹)		朱砂叶螨抗性等级 Resistance level of <i>T. cinnabarinus</i>	
		桂木薯 11 号 Gui 11	CK		桂木薯 11 号 Gui 11	CK	桂木薯 11 号 Gui 11	CK
2017	广西武鸣	43.38±1.40*	35.71±2.28	21.48	10~20	20~30	MR	R
	广西合浦	44.39±0.96*	32.82±2.41	35.25	10~20	20~30	MR	R
	广西龙州	46.23±0.85*	37.11±1.22	24.58	10~20	20~30	MR	R
	海南乐东	40.84±1.11*	32.26±1.71	26.60	10~20	20~30	MR	R
	江西赣州	45.18±1.50*	33.40±2.08	35.27	10~20	20~30	MR	R
2018	广西武鸣	46.40±0.85*	34.57±1.19	34.22	10~20	20~30	MR	R
	广西合浦	44.73±1.32*	34.64±1.80	29.13	10~20	20~30	MR	R
	广西龙州	47.59±1.44*	38.77±2.53	22.75	10~20	20~30	MR	R
	海南乐东	46.59±0.80*	34.00±2.00	37.03	10~20	20~30	MR	R
	江西赣州	46.14±0.67*	37.78±1.24	22.13	10~20	20~30	MR	R

注：*表示显著相关（ $P<0.05$ ）。
Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$).

表 5 桂木薯 11 号生产性试验鲜薯产量、氢氰酸含量及食用品质鉴定
Tab. 5 Yield, hydrogen cyanide content and taste evaluation of cassava variety (cv. Gui 11) in production test

年份 Year	地点 Site	鲜薯产量 Average fresh tuber yield/(t·hm ⁻²)		比 CK 增加 Increase compared with CK/%	氢氰酸含量 Hydrogen cyanide content/(mg·kg ⁻¹)		食用品质等级 Taste evaluation	
		桂木薯 11 号 Gui 11	CK		桂木薯 11 号 Gui 11	CK	桂木薯 11 号 Gui 11	CK
2019	广西武鸣	47.88±1.10	35.21±2.33	35.98	10~20	20~30	优	优
	广西合浦	47.39±1.12	37.07±1.69	27.85	10~20	20~30	优	优
	广西龙州	48.93±1.61	39.96±1.30	22.45	10~20	20~30	优	优
	海南乐东	38.07±0.97	31.56±2.34	20.65	10~20	20~30	优	优
	江西赣州	41.73±1.00	34.96±0.75	19.36	10~20	20~30	优	优
2020	广西武鸣	43.75±1.10	34.20±2.03	27.92	10~20	20~30	优	优
	广西合浦	41.17±1.71	33.20±2.75	24.01	10~20	20~30	优	优
	广西龙州	43.41±10.59	36.04±1.14	20.45	10~20	20~30	优	优
	海南乐东	38.25±1.59	30.92±1.05	23.71	10~20	20~30	优	优
	江西赣州	42.86±2.01	34.78±0.71	23.23	10~20	20~30	优	优

表 6 木薯鲜薯营养品质测定结果
Tab. 6 Determination results of nutritional quality
of fresh cassava

年份 Year	指标 Index	品种 Variety	
		桂木薯 11 号 Gui 11	CK
2019	可溶性糖含量/%	4.71	2.68
	粗纤维含量/%	1.80	1.70
	最小干物质含量/%	38.40	41.10
	淀粉占干物质比例/%	82.60	83.70
	直链淀粉占干物质比例/%	6.68	8.52
	蛋白质含量/%	1.59	2.43
2021	淀粉含量/[g·(100·g) ⁻¹]	34.50	38.00
	氢氰酸含量/(mg·kg ⁻¹)	12.30	30.20

性糖含量增加 2.79%，粗纤维含量增加 0.10%，淀粉含量降低 2.10%，直链淀粉占干物质比例降低 1.84%，蛋白质含量降低 0.84%。

2.5 品种生物学特性

如图 1 所示，桂木薯 11 号成熟期 9~10 个月，株型紧凑，株高 2.0~3.5 m；叶片绿色，掌状深裂，裂片 7 片，裂片披针形，中间裂片长 12.0~20.0 cm，中间裂片宽 3.5~6.0 cm，顶端嫩叶浅绿色，叶柄黄绿色，叶柄长 20.0~30.0 cm，叶脉和嫩茎浅绿色；成熟主茎茎粗 2.5~4.0 cm，中下部外皮灰白色或灰褐色，内皮深绿色；结薯集中，掌状平伸，薯形圆柱~圆锥形，块根外皮褐色，内皮乳黄色，薯肉淡黄色。圆锥花序，花萼淡黄色，子房绿色，



图 1 桂木薯 11 号品种表型特征特性

Fig. 1 Phenotypic characteristics of cassava variety (cv. Gui 11)

蒴果椭圆状，果皮深绿色，成熟种子扁圆形，种皮黑色硬壳质，具花纹。

2.6 品种指纹图谱

通过指纹图谱鉴定，筛选出 1 对扩增条带清晰且多态性好的引物 C107，其中，正向引物为 5'-GAGCAACTAAGGAAGCCACA-3'，反向引物为 5'-AACTAGCGGCACTCAAATCAAT-3'，连锁群为 8 个，连锁群位置为 43.238。扩增后可以获得 5 个等位基因（表 7、图 2），桂木薯 11 号具有唯一的特征带 C107-e。C107 可作为桂木薯 11 号的标记指纹。

表 7 桂木薯 11 号分子指纹模式

Tab. 7 Molecular fingerprint pattern of cassava variet - y (cv. Gui 11)

编号 No.	品种 Variety	C107				
		a	b	c	d	e
1	南植 199	-	+	+	+	-
2	华南 205	-	-	-	+	-
3	华南 9 号	-	-	-	+	-
4	华南 5 号	-	-	-	+	-
5	华南 12 号	+	-	+	+	-
6	新选 048	-	+	+	+	-
7	辐选 01	-	+	+	+	-
8	辐选 04	-	+	+	+	-
9	GR891	-	-	-	+	-
10	KU50	-	-	-	+	-
11	COL22	+	+	+	+	-
12	桂木薯 6 号	-	+	+	+	-
13	桂木薯 11 号	-	-	+	+	+

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.

3 讨论

桂木薯 11 号食用木薯新品种株型紧凑，块根肉质浅黄色，鲜薯薯肉氰化物含量为 12.30 mg/kg，

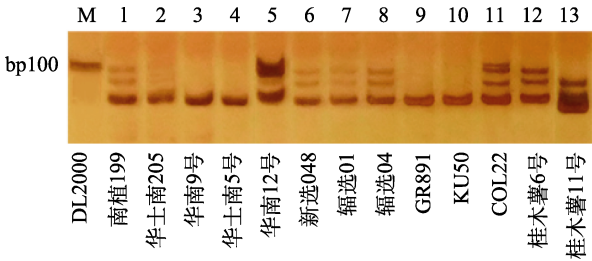


图 2 桂木薯 11 号等 13 个木薯品种的 C107 扩增指纹图谱

Fig. 2 Amplified fingerprints of thirteen cassava varieties including Gui 11

干物质含量为 38.40%，平均淀粉含量为 28.20%，可溶性糖含量为 4.71%，粗纤维含量为 1.80%；鲜薯产量为 43.35 t/hm²，中抗朱砂叶螨；鲜薯蒸煮食用口感香、软、粉、糯，被誉为“香芋木薯”。同时，采用相关性分析和主成分分析对桂木薯 11 号鲜薯加工适宜性进行研究，结果表明其加工适宜性良好，可作为木薯羹、木薯汁、木薯薯片等加工原料^[25-26]。2022 年，桂木薯 11 号荣获第三届中国（广西）-东盟现代种业发展大会“好种好品”金奖，并签订了 125.00 万元的以桂木薯 11 号作为主要推广品种的成果转化合同。当前，随着人们对“大食物观”及大健康产业的关注、木薯羹等加工产品火爆网络，木薯作为天然绿色的健康薯类杂粮开发利用，市场前景广阔^[27]。

桂木薯 11 号的选育，是基于自交分离群体利用分子标记技术辅助选育木薯新品种的又一成功案例，证明以自交分离群体为材料选育木薯优良新品种具有极大可行性。自交可使得一些重要性状基因位点纯合并产生加性效应，使一些控制优异性状的基因对表型的贡献值叠加^[28]。KAWUKI 等^[29]、ROJAS 等^[30]、FREITAS 等^[31]以木薯自交系群体为材料，均筛选到了农艺性状显著高于对应亲本的木薯品种（种质）。尚小红等^[16]研究发现新选 048 木薯自交分离群体出现了广泛的性状

分离。陆柳英等^[17]以新选 048 自交群体为材料, 选育出薯肉深黄色、 β -胡萝卜素含量 454 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 的桂木薯 9 号食用木薯品种。肖亮等^[32]通过对国内外木薯重要性状基因研究进展进行分析, 提出构建自交分离群体和多组学联合分析是挖掘木薯关键基因的重要手段。

但是, 通过自交选育木薯优新品种也有一定的局限性。首先, 生产中优异木薯品种通常不开花或不容易开花, 因此很难获得自交材料; 其次, 木薯是基因组高度杂合的二倍体, 自交出现衰退现象, 获得超亲材料的概率比较低^[9]。

4 结论

2021 年 12 月, 桂木薯 11 号食用木薯新品种通过由农业农村部南亚热带作物中心组织的现场鉴评, 结果与历年区域性试验和生产性试验结果相一致。2023 年 3 月, 桂木薯 11 号获得热带作物品种审定证书, 其外观品质和食用品质优良, 种植经济效益高, 加工适宜性好, 适宜在广西、广东、海南、江西等木薯产区推广。桂木薯 11 号的选育, 是基于自交分离群体利用分子标记技术辅助选育木薯新品种的又一成功案例, 为推动木薯产业转型升级提供技术支撑和品种支撑。

参考文献

- [1] 陈志钢, 詹悦, 张玉梅, 樊胜根. 新冠肺炎疫情对全球食物安全的影响及对策[J]. 中国农村经济, 2020, 5(2): 2-12. CHEN Z G, ZHAN Y, ZHANG Y M, FAN S G. Impact of COVID-19 on global food security and countermeasures[J]. Chinese Rural Economy, 2020, 5(2): 2-12. (in Chinese)
- [2] 李丛希, 杨世龙, 谭砚文. 印度应对粮食危机的政策演变与启示[J]. 世界农业, 2022(10): 46-56. LI C X, YANG S L, TAN Y W. The policy evolution and inspiration of India's response to the food crisis[J]. World Agriculture, 2022(10): 46-56. (in Chinese)
- [3] 李董林, 李春顶, 蔡礼辉. 俄乌冲突局势下中东和非洲的粮食安全问题: 特征, 影响和治理路径[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(12): 15-27. LI D L, LI C D, CAI L H. Food security in the middle east and africa under the context of the russia-ukraine conflict: characteristics, implications and governance paths[J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(12): 15-27. (in Chinese)
- [4] 赵玉菡, 李先德. 乌克兰危机对全球粮食安全的影响与中国应对策略[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2022, 21(6): 91-103. ZHAO Y H, LI X D. The impact of the Ukrainian crisis on global food security and China's response strategies[J]. Journal of South China Agricultural University (Socail Science Editin), 2022, 21(6): 91-103. (in Chinese)
- [5] 徐宇佳, 徐锦玲, 李丛希, 谭砚文. 世界木薯产业政策新动向及对中国的启示[J]. 中国热带农业, 2023(6): 5-11. XU Y J, XU J J, LI C X, TAN Y W. New trends of cassava industry policy in the world and its enlightenment to China[J]. China Tropical Agriculture, 2023(6): 5-11. (in Chinese)
- [6] 梁海波, 黄洁, 安飞飞, 魏云霞. 中国木薯产业现状分析[J]. 江西农业学报, 2016(6): 22-26. LIANG H B, HUANG J, AN F F, WEI Y X. Analysis of present situation of cassava industry in China[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2016(6): 22-26. (in Chinese)
- [7] 谭砚文, 李丛希, 曾华盛. 中国木薯生产和贸易发展分析[J]. 世界农业, 2018, 40(10): 163-168. TAN Y W, LI C X, ZENG H S. Analysis of cassava production and trade development in China[J]. World Agriculture, 2018, 40(10): 163-168. (in Chinese)
- [8] 曹升, 陈江枫, 黄富宇, 严华兵, 韦朝念, 李富山, 陆柳英, 覃夏燕, 陈会鲜, 李恒锐. 广西木薯产业现状分析及其发展建议[J]. 南方农业学报, 2021, 52(6): 1468-1476. CAO S, CHEN J F, HUANG F Y, YAN H B, WEI C N, LI F S, LU L Y, QIN X Y, CHEN H X, LI H R. Development status and countermeasures of cassava industry in Guangxi [J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(6): 1468-1476. (in Chinese)
- [9] CEBALLOS H, KAWUKI R S, GRACEN V E, YENCHO G C, HERSHEY C H. Conventional breeding, marker-assisted selection, genomic selection and inbreeding in clonally propagated crops: a case study for cassava[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2015, 128: 1647-1667.
- [10] CEBALLOS H, ROJANARIDPICHE C, PHUMICHA C, BECERRA L A, KITTIPADAKUL P, IGLESIAS C, GRACEN V E. Excellence in cassava breeding: perspectives for the Future[J]. Crop Breeding Genetics Genomics, 2020, 2: e200008.
- [11] OTUN S, ESCRICH A, ACHILONU I, RAUWANE M, LERMA-ESCALERA J A, MORONES-RAMÍREZ J R, RIOS-SOLIS L. The future of cassava in the era of biotechnology in southern Africa[J]. Critical Reviews in Biotechnology, 2023, 43: 594-612.
- [12] CEBALLOS H, FREGENE M, CARLOS J P, MORANTE N, CALLE F. Cassava genetic improvement//KANG M S, PRIYADARSHAN P M. Breeding major foodstaples[C]. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2007: 365-392.

- [13] CEBALLOS H, SÁNCHEZ T, DENYER K, TOFIÑO A P, ROSERO E A, DUFOUR D, SMITH A, MORANTE N, PÉREZ L C, FAHY B. Induction and identification of a small-granule, high-amylose mutant in cassava (*Manihot esculenta* Crantz)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(16): 7215-7222.
- [14] KAWESI T, KYALIGONZA V, MORAG F. Inbreeding enhances field resistance to cassava brown streak viruses[J]. Journal of Plant Breeding and Crop Science, 2016, 88(8): 138-149.
- [15] FREITAS J P X, DINIZ RA P, OLIVEIRA S A S, SANTOS V S, OLIVEIRA E J. Inbreeding depression for severity caused by leaf diseases in cassava[J]. Euphytica, 2017, 213: 205.
- [16] 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 analysis of cassava ‘Xinxuan 048’ inbred population[J]. Plant Physiology Journal, 2019, 55(9): 1277-1290. (in Chinese)
- [17] 陆柳英, 严华兵, 曾文丹, 肖亮, 李恒锐, 郑刚辉, 韦婉玲, 陈碧梅, 曹升, 尚小红, 施平丽, 王颖. 食用木薯新品种“桂木薯 9 号”的选育及适应性研究[J]. 热带作物学报, 2023, 44(12): 2409-2416.
- LU L Y, YAN H B, ZENG W D, XIAO L, LI H R, ZHENG G H, WEI W L, CHEN B M, CAO S, SHANG X H, SHI P L, WANG Y. Study on breeding and adaptability of a new edible cassava cultivar (cv. Gui 9)[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2023, 44(12): 2409-2416. (in Chinese)
- [18] SAELIM L, PHANSIRI S, SUKSANGPANOMRUNG M, NETRPHAN S, NARANGAJAVANA J. Evaluation of a morphological marker selection and excision system to generate marker-free transgenic cassava plants[J]. Plant Cell Reports, 2009, 28: 445-455.
- [19] 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)
- [20] 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.
- PU P S, SHANG X H, XU F S, LIAO M X, WANG M, YAN H B, CHEN X, WANG W Q. Development and utilization of molecular markers for cassava flesh color based on PSY2 gene single base mutation[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2022, 36(1): 34-41. (in Chinese)
- [21] 肖亮, 陈新, 尚小红, 严华兵, 曾文丹, 曹升, 陆柳英. 用于鉴定木薯薯肉氢氰酸含量的 SNAP 引物组及应用: ZL202110912693.1[P]. 2021-11-02.
- XIAO L, CHEN X, SHANG X H, YAN H B, ZENG W D, CAO S, LU L Y. SNAP primer set for identifying the hydrogen cyanide content in cassava flesh and its application: ZL202110912693.1[P]. 2021-11-02. (in Chinese)
- [22] 尚小红, 严华兵, 陈新, 肖亮, 朴朴森, 曹升, 谢向誉, 王颖, 曾文丹, 陆柳英, 赖大欣. 一种鉴定木薯薯肉颜色的 SNAP 分子标记方法: ZL201911201895.4[P]. 2020-11-13.
- SHANG X H, YAN H B, CHEN X, XIAO L, PU P S, CAO S, XIE X Y, WANG Y, ZENG W D, LU L Y, LAI D X. A SNAP molecular marker method for identifying the color of cassava flesh: ZL201911201895.4[P]. 2020-11-13. (in Chinese)
- [23] 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, fast, and accurate detection method for cassava HCN content: CN201810212391.1[P]. 2018-09-04. (in Chinese)
- [24] 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 germplasms[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(6): 1161-1167. (in Chinese)
- [25] 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)
- [26] 王颖, 陆柳英, 曹升, 尚小红, 陈颖慧, 肖亮, 严华兵. 不同食用木薯品种(系)薯片加工适宜性研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(1): 15-20.
- WANG Y, LU L Y, CAO S, SHANG X H, CHEN Y H, XIAO L, YAN H B. Study on the suitability of different edible cassava cultivars for chips[J]. Food Research and Development, 2021, 42(1): 15-20. (in Chinese)
- [27] 唐杰, 李明娟, 张雅媛, 洪雁, 张彦军, 王颖, 游向荣, 周

- 葵, 卫萍. 食用木薯的加工现状及发展前景[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 469-476.
- TANG J, LI M J, ZHANG Y Y, HONG Y, ZHANG Y J, WANG Y, YOU X R, ZHOU K, WEI P. Processing utilization and development prospect of edible cassava[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(2): 469-476. (in Chinese)
- [28] 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)
- [29] KAWUKI R S, NUWAMANYA E, LABUSCHAGNE M T, HERSELMAN L, FERGUSON M E. Segregation of selected agronomic traits in six S1 cassava families[J]. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2011, 3(8): 154-160.
- [30] ROJAS M C, PÉREZ J C, CEBALLOS H, BAENA D, MORANTE N, CALLE F. Analysis of inbreeding depression in eight S1 cassava families[J]. *Crop Science*, 2009, 49(2): 543-548.
- [31] FREITAS J P X, SILVA SANTOS V, OLIVEIRA E J. Inbreeding depression in cassava for productive traits[J]. *Euphytica*, 2016, 209(1): 137-145.
- [32] 肖亮, 吴正丹, 陆柳英, 施平丽, 尚小红, 曹升, 曾文丹, 严华兵. 木薯重要性状基因的研究进展[J]. 生物技术通报, 2023, 39(6): 31-48.
- XIAO L, WU Z D, LU L Y, SHI P L, SHANG X H, CAO S, ZENG W D, YAN H B. Research progress of important traits genes in cassava[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2023, 39(6): 31-48. (in Chinese)