

紫心甘薯育种现状及展望

谢一芝, 郭小丁, 贾赵东, 马佩勇, 边小峰

(江苏省农业科学院粮食作物研究所, 南京 210014)

摘要:紫心甘薯中富含花青素等多种营养成分, 具有抗氧化、抗突变、抗菌、保护肝脏、预防心血管疾病等多种生理功能, 目前国内外以紫心甘薯为原料已开发出一系列加工产品, 紫心甘薯的开发利用已引起广泛的关注, 紫心甘薯品种的选育也越来越受到重视。本文就紫心甘薯的种质创新、性状的遗传、相关性研究和国内外紫心甘薯品种选育现状进行了概述, 并对我国今后的紫心甘薯育种提出了展望。

关键词:紫心甘薯; 花青素; 生理功能; 品种; 育种

Progresses and Prospects on Purple-fleshed Sweetpotato Breeding

XIE Yi-zhi, GUO Xiao-ding, JIA Zhao-dong, MA Pei-yong, BIAN Xiao-feng

(Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014)

Abstract: Purple-fleshed sweetpotato is rich in anthocyanins and other functional components which are endowed with multiple physiological functions including antioxidation, antimutation, antibacterial activities, hepato-protection, and preventing and curing angiocardopathy. A series of by-products have been developed from purple-fleshed sweetpotatoes. Breeding and utilization of purple-fleshed sweetpotato are paid extensive attention. In this paper, the research progresses on germplasm enhancement, genetic characteristics, and breeding of purple-fleshed sweetpotatoes in recent years are reviewed and the prospects of purple-fleshed sweetpotatoes breeding are discussed.

Key words: Purple-fleshed sweetpotato; Anthocyanins; Physiological function; Variety; Breeding

甘薯富含多种人体必需的营养物质, 可预防多种疾病的发生, 具有保健延寿作用^[1-2]。紫心甘薯除含有普通甘薯所具有的营养物质外, 还含有较多的花青素, 从而显示出一些独特的生理活性和生理功能^[3-4]。研究表明, 紫心甘薯中的花青素具有较强的抗氧化作用, 能去除体内的自由基, 是自然界最有效的抗氧化物质^[5-6]。紫心甘薯中的花青素能保护肝脏、降低血清中的转氨酶和改善肝功能^[7-9]; 抗突变、抗菌、抗疲劳, 具有抑制诱癌物质的产生、增强视力和消除眼睛疲劳的作用^[6, 10-13]; 对高血压和动脉硬化等心血管疾病有很好的预防作用。动物试验表明, 紫心甘薯中的花青素可改善糖尿病大鼠血糖、血脂异常, 促进糖代谢和脂代谢的良性循环^[14-16]。紫心甘薯中的花青素由于主要含酰基化的矢车菊色素和芍药色素, 与其他同类色素相比具有极强的耐热性、耐光性和稳定性^[17-22]。

近年来, 随着人们生活方式的变化, 尤其是膳食结构的改变, 高血脂、冠心病、动脉粥样硬化等各种现代慢性疾病的发病率不断攀高, 处于亚健康状态的人群比例越来越大, 人们对食品功能性和安全性的要求也越来越高。紫心甘薯因具有独特的营养保健功效及诱人的色泽深受人们的青睐。利用紫心甘薯可加工成薯片、薯条、薯酱等多种产品, 也可用紫心甘薯为原料提取天然色素作为食品添加剂或制成饮料等, 在食品和医药等方面具有很好的应用前景^[23-26]。因此, 紫心甘薯新品种的选育和开发利用, 对提高人们的健康水平, 促进食品和医药行业的发展都具有重要意义。

1 紫心甘薯种质的引进与利用

我国的紫心甘薯品种选育工作始于 20 世纪 90 年代, 与日本等国相比, 起步相对较迟。因此, 在紫

收稿日期: 2011-10-11 修回日期: 2011-12-15

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金 (CX(10)134); 江苏省科技支撑计划项目 (BE2011301); 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-11-C-03)

作者简介: 谢一芝, 研究员, 主要从事甘薯遗传育种研究。E-mail: xyz@jaas.ac.cn

心甘薯品种选育初期引进了一批紫心甘薯资源,最初引进的紫心甘薯品种有日本农家种山川紫(Yamakawamurasaki)、育成品种凌紫(Ayamurasaki),美国引进种夏引1号等,并对这些紫心甘薯品种进行了产量和适应性等试验^[27-30]。山川紫是日本的一个农家种,该品种先后在我国多个省份进行了针对产量、品质和适应性鉴定的引种试验。试验结果表明,该品种的产量较低、适应性较差,不能直接在生产上利用,但可作为育种亲本加以利用;夏引1号的适应性和产量潜力一般,也只能在育种上利用;而日本育成品种凌紫由于产量较高、适应性较广、花青素含量高,有些地区引进后直接在生产上利用,同时有关科研单位引进后作为育种亲本利用。

紫心甘薯种质的引进对我国紫心甘薯品种选育起到极其重要的作用。我国育种单位先后利用引进的紫心甘薯品种为亲本育成了一系列的紫心甘薯新品种,如福建省农科院作物所利用夏引1号为母本,通过放任授粉集团杂交育成了紫心甘薯品种福薯9号;徐州甘薯研究中心在凌紫×徐薯18的杂交组合后代中选育出了紫心甘薯新品种徐紫薯3号;广东省普宁市农科所在广紫薯1号×山川紫的组合后代中育成了紫心甘薯新品种新普紫;江苏省农科院粮作所在凌紫×川薯69的杂交后代中选育出了紫心甘薯新品种宁紫薯2号^[31-32]。其中凌紫的引进对我国的紫心甘薯育种及生产起到了很好的促进作用,凌紫的产量和色素含量较高,我国山东省的一些企业以凌紫为原料加工成紫甘薯粉及其他加工半成品出口日本、韩国等地,对当地甘薯产业的发展起到了积极的作用。

2 紫心甘薯的种质创新

种质资源是育种的基础,我国紫心甘薯新品种选育初期主要是利用国外引进的紫心甘薯资源直接作为杂交亲本配制杂交组合,但近年来我国有关单位利用引进的紫心甘薯为亲本通过定向杂交和计划集团杂交等方法先后创新出了一批紫心甘薯新种质及育种中间材料,并利用这些创新的育种材料为亲本配制杂交组合,育成了一批通过省及国家级鉴定的紫心甘薯新品种。如烟台市农科院利用创新出的紫心甘薯新种质烟紫薯80为母本,通过放任授粉育成了紫心甘薯品种烟紫薯1号;江苏省农科院粮作所以创新的紫心甘薯新品系宁97-23为母本经放任授粉育成了紫心甘薯品种宁紫薯1号。重庆市甘薯研究中心与江苏省农科院粮作所合作以创新的紫心

甘薯品系宁97-P-4为母本,宁97-P-1为父本杂交,从其后代中选育出了紫心甘薯新品种渝苏紫43;紫心甘薯品种赣薯1号是以创新的紫心甘薯品系宁98-P-8为母本,与苏薯9号杂交育成的一个紫心甘薯品种。此外,利用育成的紫心甘薯品种为亲本也育成了一些紫心甘薯新品种,如新普紫是以广东省农科院作物所育成的紫心甘薯品种广紫薯1号为母本与山川紫杂交选育而成;浙紫薯1号是以江苏省农科院粮作所育成的紫心甘薯品种宁紫薯1号为父本,以浙薯13为母本配组杂交选育而成^[33-35]。

日本紫心甘薯品种选育成功也与新种质的创新密不可分,其中紫心甘薯品种凌紫就是成功利用创新中间材料九州109为亲本选育而成,九州109是一个紫心甘薯品系,系山川紫×Shiranmurasaki的杂交后代,凌紫的花青素含量是九州109的2倍,是山川紫的4倍^[36-37]。日本九州冲绳地区农业研究中心于2005年育成的高色素型紫心甘薯品种Akemurasaki(农林62)是凌紫×Kyukei-174的杂交后代,也是系利用创新的紫心甘薯品系Kyukei-174为亲本育成的一个紫心甘薯品种^[38]。

3 紫心甘薯性状的遗传与相关性研究

梅村芳树^[30]通过配组杂交研究表明,紫心甘薯肉色的表现受主基因(A1和A2)控制,甘薯紫色薯肉颜色越深,花青素含量越高,并出现超亲现象,认为通过常规的杂交育种手段选育高花青素的甘薯品种是可行的。

甘薯的品质可分为营养品质和熟食品质,紫心甘薯薯块的紫色越深,花青素含量越高,其内在的营养品质越好。而花青素含量过高后因有涩嘴感,口感较差,熟食品质不佳。傅玉凡等^[39]通过对薯块的风味、质地、甜味、纤维含量、水分等指标进行综合考量后对紫心甘薯的食用品质进行综合评价,结果表明紫心甘薯的食用品质与紫心甘薯的花青素含量呈极显著负相关,与薯块干物质含量呈极显著正相关,而紫心甘薯的食用品质与鲜薯产量、薯块可溶性糖含量无显著相关性。黄洁等^[40]对花青素含量与食味品质的相关性研究则表明,当薯块的花青素含量较高时花青素含量与食味品质呈负相关,因花青素含量过高有苦涩味,而导致食味品质下降;但在花青素含量一般的情况下,花青素含量与食味品质没有一定的相关性。

唐忠厚等^[41]认为紫心甘薯的花青素含量与其他性状相关性一般,但与可溶性糖呈极显著负相关,

与还原糖也具一定显著负相关,并认为含糖量高在一定程度上抑制花青素合成代谢,花青素合成代谢强弱主要受基因控制。甘学德^[42]的研究结果也表明花青素含量与可溶性糖含量呈负相关,但与粗蛋白质含量呈正相关。

甘薯花青素包括 12 种色素,其中主要是由两种色素构成,即芍药花色素(Peonidin)和矢车菊素(Cyanidin)。日本九州农业试验场对 50 个紫心甘薯材料研究表明,甘薯花青素含量与芍药花色素(Peonidin)/矢车菊素(Cyanidin)相比存在很大分离,色素含量与两种色素的比例间没有发现有很大的关系,相关系数 $r=0.28$,相关不显著^[36]。

4 紫心甘薯品种选育

4.1 日本的紫心甘薯育种

日本是世界上最早开展紫心甘薯遗传育种的国家和地区之一。20 世纪 90 年代初,首先在品种资源中筛选出花青素含量较高的紫心甘薯品种山川紫,并对该品种进行了花青素的提取和利用,但因其鲜薯产量低而限制了甘薯花青素进一步的商业开发利用。因此,在此后的甘薯育种中,日本把高花青素紫色甘薯育种列为甘薯育种的主要目标之一^[36]。日本九州农业试验场于 1995 年在九州 109 × Satsumahikar (农林 40) 的杂交组合后代中选育出了花青素含量是山川紫 2 倍的紫色甘薯品种凌紫,该品种的干物率为 35.1%,色价 8.9,稍抗根结线虫病和根疣线虫病,适合用于食品加工或色素提取^[27]。2001 年日本九州农业试验场在凌紫 × Shiroyutaka (农林 38) 的杂交组合后代中选育成了花青素含量较高的紫色甘薯品种 Murasakimasari (农林 54),该品种的干物率为 38.1%,鲜薯产量比凌紫高 10% 左右,花青素含量略低于凌紫,其色价为 6.6,抗根结线虫病和根疣线虫病,薯块光滑,适合用于食品加工或色素提取^[37]。2005 年九州冲绳地区农业研究中心在凌紫 × Kyukei-174 的杂交后代中育成高花青素型甘薯品种 Akemurasaki (农林 62),该品种薯块长纺锤形,抗根结线虫病和根疣线虫病,鲜薯产量与凌紫相当,其色价为 10,适合作提取色素原料^[38]。

4.2 韩国的紫心甘薯育种

韩国已先后育成了花青素含量较高的紫色甘薯品种 Zami、Borami、Sinjami、Yeonjami 等^[43-46]。其中 Zami 是韩国木浦试验站于 1998 年在 Gunmi × 山川紫的杂交组合中选育而成的第 1 个紫心甘薯品种,该品种薯皮紫红色,薯肉紫色,在韩国的区域试验中

3 年平均鲜薯产量为 $21.4 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$,比日本品种山川紫增产 77%,花青素含量比山川紫高 11.8%,淀粉含量为 18.8%,低于山川紫的 22.8%,适合作为色素提取及食品加工原料^[43]。2000 年育成了 Borami,该品种系韩国木浦试验站从山川紫 × Shinmi 的组合中选出,在 1998-2000 年的区域试验中鲜薯产量为 $24.5 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$,比紫心甘薯对照品种 Zami 增产 36%,淀粉含量为 17.3%。该品种薯皮紫红色,薯肉浅紫色,花青素含量低于 Zami,适合鲜食^[44]。Sinjami 是由韩国木浦试验站于 2001 年在山川紫 × Shinmi 的杂交组合中选育而成,为高花青素型品种,该品种的薯皮紫红色,薯肉深紫色,薯形纺锤形,鲜薯产量比紫心甘薯对照品种 Zami 高 23%,色价为 6.9,高于对照品种 Zami (色价为 5.8),由于该品种的鲜薯产量和色素含量较高,目前在韩国已成为加工紫心甘薯饮料的主要原料^[45]。Yeonjami 是由韩国作物研究所生物质能源作物研究中心(原木浦试验站)以凌紫为母本经多系混合授粉,于 2008 年育成的一个优质食用型紫心甘薯品种,该品种薯形为长纺锤形,紫红皮,薯肉浅紫色,抗根结线虫病和茎腐病^[46]。

4.3 我国的紫心甘薯育种

我国紫心甘薯品种的选育工作始于 20 世纪 90 年代,与日本、韩国等国家相比起步相对较晚,但近年来紫心甘薯品种的选育已引起了广泛的重视,我国各育种单位都先后将紫心甘薯品种的选育作为甘薯育种的主要目标之一,国家农业技术推广中心也组织了全国紫心甘薯品种的区域试验,并制定了紫心甘薯品种的鉴定标准。近年来我国的紫心甘薯品种选育取得了很大的进展,先后育成了宁紫薯 1 号、徐紫薯 1 号、渝紫 263、济薯 18、广紫薯 1 号、广紫薯 2 号、烟紫薯 1 号、烟紫薯 2 号、徐紫薯 2 号、徐紫薯 3 号、南紫薯 008、福薯 9 号、新普紫、渝苏紫 43、赣薯 1 号、万紫 56、浙紫薯 1 号、宁紫薯 2 号、南紫薯 65 等紫心甘薯新品种。其中有的品种花青素含量较高,适合作色素提取用,有的品种鲜薯产量较高、品质较优,适合食用,大部分育成的紫心甘薯品种在生产上都得到了大面积的推广应用,紫心甘薯品种的育成和推广应用对促进农业增效和农民增收起到了积极的作用,同时也对我国甘薯产业的发展起到了明显的推动作用。

4.4 山川紫和凌紫在育种上的利用

山川紫是各国开展紫心甘薯品种选育的重要亲本,日本、韩国和中国早期育成的紫心甘薯品种均含

有山川紫的血缘,如日本品种凌紫是从九州 109 × Satsumahikar 组合中选育而成,而九州 109 是从山川紫 × Shiranmurasaki 的杂交后代中选出。韩国育成的紫心甘薯品种 Zami、Borami 和 Sinjami 均是以山川紫为杂交亲本之一选育而成。我国直接以山川紫为杂交亲本之一育成的品种有新普紫等。

自日本九州农业试验场育成产量和花青素含量更高的紫心甘薯品种凌紫以后,各国都纷纷引进并在育种上利用,日本自凌紫以后再次育成的紫心甘薯品种 Murasakimasari(农林 54)和 Akemurasaki(农林 62)均是以凌紫为杂交亲本选育而成。韩国育成的紫心甘薯品种 Yeonjami 是以凌紫为母本进行放任授粉选育而育成。我国育成的徐紫薯 3 号是从凌紫 × 徐薯 18 的组合后代中选出,宁紫薯 2 号是从凌紫 × 川 69 的组合后代中选出。从各国育成的紫心甘薯品种的系谱分析,早期育成的紫心甘薯品种均含有山川紫血缘,近年来育成的紫心甘薯品种大部分含有凌紫的血缘,因此山川紫和凌紫是紫心甘薯育种的重要核心亲本。

5 紫心甘薯的利用

目前食品工业上所用的色素大部分为合成色素,长期使用会危害人体的健康,特别是近年来随着人们生活水平的提高,合成食用色素的应用受到越来越多的限制,天然色素作为安全的色素则日益受到消费者的青睐。与其他天然色素相比,甘薯花青素具有原料来源方便、廉价、低成本、无污染等特点,且稳定性好,抗光氧化性较强。紫心甘薯因具有一些独特的营养成分和生理功效,其开发利用已引起了人们的广泛关注。

利用紫心甘薯色泽鲜艳、保健功能强的特点,国内外对紫心甘薯品种进行了全方位的开发。在食品工业中,诱人的色泽是食品的主要感官指标,紫心甘薯可直接制成薯片、薯条、薯酱等加工产品,也可用紫心甘薯加工成紫心甘薯全粉,并将其加入到面粉中制成紫色蛋糕、面包、面条等各种加工产品。特别是日本的紫心甘薯的全粉加工和利用较为成熟,市场上到处可见以紫心甘薯为原料加工成的各种糕点等。紫甘薯花青素因其耐热性好,且具有醇溶性及水溶性的特点,可广泛应用于水基类食品如冰淇淋、果汁饮料、果冻、谷物食品等,或用紫心甘薯发酵制成紫色酒等;同时还可利用紫心甘薯制成紫色食品添加剂,广泛用于食品加工业。甘薯花青素不仅色彩鲜艳、自然、独具魅力,而且还具有多种保健功能,

因此甘薯花青素有望取代化学合成色素而广泛应用于口红、胭脂等化妆品行业。

目前国内紫心甘薯主要是直接食用,食用方法有蒸煮、烘烤等,也有部分作为加工原料,加工成多种产品,或以紫心甘薯为原料提取色素,然后广泛应用于食品工业。由于用紫心甘薯为原料提取红色素的成本较高,与工业合成色素相比没有价格优势,在目前合成色素没有被限用的环境下,企业为追求利润的最大化,甘薯红色素在国内食品加工业上的应用受到了一定的限制,但随着经济的发展和人们健康意识的进一步提高,紫心甘薯的开发利用将具有更加广阔的发展前景。

6 紫心甘薯育种展望

6.1 根据用途确定育种目标

紫心甘薯主要用于食用、食品加工和提取色素,紫心甘薯品种因用途不同而对其花青素含量的要求也不一致,目前我国紫心甘薯的利用主要是以鲜食为主,而日本等发达国家的紫心甘薯则主要是以加工为主。一般而言,作为提取色素用的紫心甘薯品种要求其花青素的含量高,但对于食用型紫心甘薯则要求其花青素含量不宜过高,因花青素含量过高其适口性较差。因此,紫心甘薯品种的选育目标应根据用途而确定。

6.2 重视核心种质的利用

核心种质的利用对甘薯育种能起到事半功倍的效果,我国甘薯育种的经验也充分说明核心亲本对育种的重要性,最早引进的美国品种南瑞苕和日本品种胜利百号对我国的甘薯育种起到了极其重要的作用,我国以这两个品种为核心亲本先后育成了一系列的甘薯品种。自 20 世纪 90 年代我国开展紫心甘薯品种选育以来,日本紫心甘薯品种山川紫和凌紫在我国紫心甘薯品种选育中起了关键性的作用。特别是后来引进的优良紫心甘薯品种凌紫不仅可在生产上直接利用,而且还是一个紫心甘薯育种的优良亲本。因此,在以后的紫心甘薯品种选育过程中应注重核心亲本的筛选和利用。

6.3 加强紫心甘薯种质创新

由于紫心甘薯品种的遗传改良工作起步较迟,遗传资源较为缺乏,目前各国育成的紫心甘薯品种主要来源于山川紫,为了使紫心甘薯育种上一新台阶,必须加强紫心甘薯种质的创新,特别应重视外源基因的导入,拓展遗传基础。随着分子生物学、功能基因组学和生物信息学研究的不断深入,通过聚合

杂交和基因工程等手段,将高花青素含量基因转入到综合性状优良的甘薯品种中,创新出花青素含量高、综合性状优良的紫心甘薯种质,以满足高花青素甘薯育种和生产的需求。

参考文献

- [1] Kays S J, Kays S E. Sweetpotato chemistry in relation to health [C]// LaBonte D R, Yamashita M, Mochida H (Eds). International Workshop on Sweetpotato Production System toward the 21st Century. Miyakonojo, Japan, 1997: 231-272
- [2] Yoshinaga M. Sweetpotato as a multifunctional food [C]// LaBonte D R, Yamashita M, Mochida H (Eds). International Workshop on Sweetpotato Production System toward the 21st Century. Miyakonojo, Japan, 1997: 273-283
- [3] Yoshimoto M, Yamakawa O, Suda I. Physiological function of purple colored flesh sweetpotato [J]. Food Process, 1998, 33(8): 15-17
- [4] Suda I, Oki T, Masuda M, et al. Physiological functionality of purple-fleshed sweet potatoes containing anthocyanins and their utilization in foods [J]. Japan Agric Res Quarterly, 2003, 37(3): 167-173
- [5] Kano M, Takayanagi T, Harada K, et al. Antioxidative activity of anthocyanins from purple sweet potato, *Ipomoea batatas* cultivar Ayamurasaki [J]. Bios Biotechnol Biochem, 2005, 69(5): 979-988
- [6] 王关林, 岳静, 苏冬霞, 等. 甘薯花青素的抗氧化性及抑制肿瘤作用研究 [J]. 营养学报, 2006, 28(1): 71-74
- [7] Suda I, Furuta S, Nishiba Y, et al. Hepato-protective activity of purple-colored sweetpotato juice [J]. Sweetpotato Res Front, 1997, 4: 3
- [8] Suda I, Furuta S, Nishiba Y, et al. Reduction of liver injury induced by carbon tetrachloride in rats administered purple-colored sweetpotato juice [J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 1997, 44(4): 315-318
- [9] Suda I, Yamakawa O, Matsugano K, et al. Changes of serum *r*-GTP, GOT and GPT levels in hepatic function-weaking subjects by ingestion of high anthocyanin sweetpotato juice [J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 1998, 45(10): 611-617
- [10] Yoshimoto M, Okuno S, Yoshinaga M, et al. Antimutagenicity of sweetpotato (*Ipomoea batatas*) roots [J]. Bios, Biotechnol Biochem, 1999, 63: 537-541
- [11] 王关林, 岳静, 李洪艳, 等. 甘薯花青素的提取及其抑菌效果分析 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(11): 2321-2326
- [12] 韩永斌, 朱洪梅, 顾振新, 等. 紫甘薯花色苷色素的抑菌作用研究 [J]. 微生物学通报, 2008, 35(6): 913-917
- [13] 李靖文, 叶小利. 紫色甘薯水提液对小鼠抗疲劳的研究 [J]. 西南大学学报, 2006, 28(4): 656-658
- [14] 蔡花真, 王霞. 紫甘薯花色苷组分抑制小鼠肝、肾、心、脾脂质过氧化的研究 [J]. 食品工业, 2009(4): 6-8
- [15] 孙晓侠. 紫甘薯花色苷结构鉴定及抗氧化、降血糖功能的研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2006
- [16] 马淑青, 吕晓玲, 范辉. 紫甘薯花色苷对糖尿病大鼠血糖和血脂的影响 [J]. 营养学报, 2010, 32(1): 88-90
- [17] Cevallos-Casals B A, Cisneros-Zevallos L. Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of *Andean purple* corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants [J]. Food Chem, 2004, 86(1): 69-77
- [18] Bassa I A, Francis F J. Stability of anthocyanins from sweetpotato in a model beverage [J]. J Food Sci, 1987, 52(6): 1753-1754
- [19] Otake K. Characteristics of food color pigments derived from Ayamurasaki [C]// LaBonte D R, Yamashita M, Mochida H (Eds). International Workshop on Sweetpotato Production System toward the 21st Century. Miyakonojo, Japan, 1997: 303-309
- [20] 陆国权, 李秀玲. 紫甘薯红色素与其他同类色素的稳定性比较 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学, 2001, 27(6): 635-638
- [21] 尹晴红, 陈明, 李荣林, 等. 紫甘薯块根花色苷的比较研究 [J]. 南京农专学报, 2003, 19(2): 17-20
- [22] 尹晴红, 刘邮洲, 谢一芝, 等. 紫甘薯花色苷的稳定性分析 [J]. 江苏农业学报, 2004, 20(2): 111-115
- [23] 彭强, 高彦祥, 袁芳. 紫薯及其花色苷的研究与开发进展 [J]. 食品科学, 2010, 31(23): 401-405
- [24] 谢一芝, 尹晴红, 邱瑞镰. 高花青素甘薯的研究及利用 [J]. 杂粮作物, 2004, 24(1): 23-25
- [25] 傅玉凡, 陈敏, 叶小利. 紫肉甘薯研究与利用进展及对策 [M]// 马代夫, 刘庆昌. 中国甘薯育种及产业化, 北京: 中国农业大学出版社, 2005: 234-240
- [26] Saigusa N, Ohba R. Healthy alcoholic "Pa-Puru" from purple-fleshed sweetpotato [J]. Sweetpotato Res Front, 2006, 20: 2
- [27] Yoshinaga M. New cultivar "Ayamurasaki" for colorant production [J]. Sweetpotato Res Front, 1995, 1: 2
- [28] 陈玉树, 洪来水, 李本金. 紫色甘薯夏引 1 号的引进及主要特征特性鉴定 [J]. 福建农业学报, 2001, 16(3): 9-12
- [29] 余华, 蔡南通, 邱永祥. 紫色甘薯品种主要性状及产量稳定性研究 [J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(5): 701-705
- [30] 梅村芳树. 甘薯适于加工品种的培育及其利用 [J]. 中国甘薯, 1993(5-6): 188-191
- [31] 邱永祥, 胡蓉, 林武, 等. 紫肉色甘薯新品种福薯 9 号的选育和栽培要点 [J]. 福建农业学报, 2009, 24(6): 500-503
- [32] 吴卓生, 冯顺洪, 方始昭. 紫色甘薯新品种新普紫的选育 [J]. 广东农业科学, 2009(8): 40-41
- [33] 林祖军, 辛国胜, 韩俊杰, 等. 甘薯新品种烟紫薯 1 号的选育及产业化开发 [J]. 山东农业科学, 2006(4): 75-76
- [34] 谢一芝, 郭小丁, 尹晴红. 紫心甘薯新品种宁紫薯 1 号的选育及栽培技术 [J]. 江苏农业科学, 2006(2): 43-44
- [35] 谢一芝, 郭小丁, 贾赵东, 等. 紫心甘薯品种选育及利用 [J]. 金陵科技学院学报, 2009, 25(4): 48-51
- [36] Yoshinaga M. Breeding of purple fleshed sweetpotato [C]// LaBonte D R, Yamashita M, Mochida H (Eds). International Workshop on Sweetpotato Production System toward the 21st Century. Miyakonojo, Japan, 1997: 193-199
- [37] Kumagai T, Yamakawa O, Kai Y, et al. Murasakimasari: New sweetpotato cultivar for processing [J]. Sweetpotato Res Front, 2002, 13: 3
- [38] Tetsufumi S, Kai Y, Katayama K, et al. New sweetpotato cultivar "Akemurasaki" with high anthocyanin content [J]. Sweetpotato Res Front, 2009, 22: 2
- [39] 傅玉凡, 陈敏, 叶小利, 等. 紫肉甘薯花色苷含量的变化规律及其与主要经济性状的相关性 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2185-2192
- [40] 黄洁, 甘学德, 许瑞丽, 等. 21 份紫甘薯种质资源的营养品质及其产量评价 [J]. 福建农业学报, 2011, 26(2): 215-222
- [41] 唐忠厚, 李强, 李洪民, 等. 紫甘薯主要品质性状基因型与环境效应研究 [J]. 中国粮油学报, 2010, 25(9): 32-35
- [42] 甘学德. 49 份甘薯种质资源在海南的试验评价 [D]. 海南: 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 2010
- [43] Jeong B C, Ahn Y S, Chung M N, et al. A new purple colored sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) cultivar "Zami" for processing [J]. Korean J Breed Sci, 2000, 32(1): 91-92
- [44] Ahn Y S, Jeong B C, Chung M N, et al. A new sweetpotato cultivar, "Borami" with light purple flesh suitable for fresh food and processing [J]. Korean J Breed Sci, 2002, 34(2): 132-133
- [45] Ahn Y S, Jeong B C, Chung M N, et al. A new purple-flesh and high anthocyanin sweetpotato variety, "Sinjami" [J]. Korean J Breed Sci, 2002, 34(4): 379-380
- [46] Lee J S, Ahn Y S, Chung M N, et al. A new purple sweetpotato cultivar for table use "Yeonjami" [J]. Korean J Breed Sci, 2010, 42(6): 679-683