

紫色甘薯色素分布的多样性^①

时晓东¹, 刘良勇¹, 李云萍¹, 傅玉凡², 高峰¹

1. 西南大学 生命科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市甘薯工程技术研究中心, 重庆 400715

摘要: 采用色价法对紫色甘薯和普通白心甘薯共 14 个品种(品系)的色素含量和分布进行了检测和比较. 结果表明: 在不同的紫色甘薯品种(品系)中, 色素的分布存在明显的差异; 同一品种不同器官的色素含量也不相同, 块根是紫色甘薯色素积累的主要器官; 色素在块根内呈不均匀分布, 表现为薯皮、初生形成层和木质部薄壁组织的色素含量不同, 木质部薄壁组织内存在白色斑点. 紫色甘薯色素在品种(品系)间分布的多样性为开展品种鉴定和遗传育种提供了丰富的种质资源, 在器官和组织上分布的多样性为探讨色素合成与调控的细胞和分子机制奠定了试材基础.

关键词: 紫色甘薯; 色素分布; 品系; 器官; 多样性

中图分类号: S531

文献标志码: A

甘薯[*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]又名红薯、白薯和地瓜等, 是旋花科甘薯属蔓生性草本植物, 为重要的粮食和经济作物. 近年来育成的紫色甘薯, 是集营养、保健和着色于一体的甘薯特殊类型, 其块根富含花青素而呈深紫色. 由紫色甘薯提取的色素无毒副作用, 具有很强的抗氧化和抗诱变作用, 能清除自由基, 对保护肝功能和降低血清转氨酶具有积极的作用^[1-3]. 我国自 20 世纪 90 年代从日本引种紫色甘薯品种“山川紫”以来, 有关紫色甘薯的研究工作已陆续开展^[4].

研究表明紫色甘薯块根中花青素含量的高低主要由品种的基因型所决定, 是品种固有的遗传性状之一^[5]. 采用形态标记和同工酶标记的研究结果也表明, 在紫色甘薯不同品种或者品系中存在丰富的遗传变异^[6-7]. 然而, 关于紫色甘薯整株中色素的分布情况以及品种(品系)间是否存在色素分布多样性, 目前的研究报道还很少. 本文对紫色甘薯和白心甘薯共 14 个品种(品系)不同部位的色素含量进行了测定和比较, 试图探究紫色甘薯色素分布的规律及多样性, 以期对紫色甘薯的品种鉴定、遗传育种和色素合成与调控机理提供基础数据.

1 材料和方法

1.1 实验材料

本实验选用的材料为紫色甘薯品种“山川紫”, 品系为 A1~A7, B1~B3 和 B7~B8, 白心甘薯品种“禺北白”. 其中 A1~A7, B1~B3 和 B7~B8 共计 12 个品系是西南大学甘薯研究中心李坤培研究员 1999 年从日本引入重庆, 2003 年由重庆引种至广东的品种; “禺北白”是由位于广东省农业科学院作物研究所的“国家种质资源圃广东甘薯圃”提供.

① 收稿日期: 2010-04-29

作者简介: 时晓东(1985-), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事植物分子生物学研究.

通信作者: 高峰, 教授, 博士生导师.

1.2 实验方法

1.2.1 色素分布的定性观测

根据《甘薯种质资源描述规范和数据标准》^[8],选择其中与色素有关的 12 项形态学指标进行观测,包括顶叶色、顶叶绿色、成熟叶色、叶脉色、叶柄主色、叶柄次色、茎主色、茎次色、薯皮(周皮和韧皮部薄壁组织)颜色、薯肉(木质部薄壁组织)主色、薯肉次色和薯肉次色分布等.种植 15 周后,在不同品系试材中随机各抽取 5 株,分别进行观测.具体观测标准如下:

顶叶色:主茎第一片展开叶的颜色;顶叶绿色:主茎第一片展开叶边缘的颜色;成熟叶色:主茎第一片展开叶下第六至第十片成熟叶正面的颜色;叶脉色:主茎第一片展开叶下第六至第十片成熟叶正面叶脉的颜色;叶柄主色:主茎第一片展开叶下第六至第十片成熟叶叶柄的主颜色;叶柄次色:主茎第一片展开叶下第六至第十片成熟叶叶柄的次要颜色;茎主色:主茎蔓的主要颜色;茎次色:茎的次要颜色;薯皮颜色:薯块横切面薯皮(周皮和韧皮部薄壁组织)的颜色;薯肉主色:薯块横切面薯肉(木质部薄壁组织)的主要颜色;薯肉次色:薯块横切面薯肉(木质部薄壁组织)的次要颜色.

1.2.2 色素分布的定量测定

实验材料采自华南师范大学生物园.甘薯种植 15 周后,选择生长健康、长势一致的甘薯植株,地上部分取甘薯主藤蔓,按其节结数平均分为 3 段,即分别为形态学上段、中段和下段,分别取上段、中段和下段中间位置的叶和茎段;地下部分别取块根的薯皮(周皮和韧皮部薄壁组织)、初生形成层和木质部薄壁组织.材料用自来水洗净后,蒸馏水冲洗 2 次,用吸水纸吸干表面水分,放入 -20 °C 冰箱保存,备用.

紫色甘薯色素属于花青素类,盐酸甲醇提取液的吸光度在 530 nm 处有吸收峰^[9].甘薯种植 15 周后,取鲜物质质量 1 g 的上述材料,切片后,按料液比为 1:10 加入 1% 盐酸甲醇(V/V)提取液,置摇床 200 r/min 室温振荡 24 h 后,12 000 r/min 离心 10 min,上清液即为花青素提取液.将上清液用上述盐酸甲醇提取液稀释 10 倍,测定其 OD₅₃₀ 值.

色素色价是确定色素质量的指标,表示物质中所含色素的颜色强度.我们用以下公式来计算色价^[10]:色价 = $A \times n / W$,式中 A 为 OD₅₃₀ 值, n 为稀释倍数, W 为样品质量.

每个样品设 3 个重复,平行操作,所得数据采用 Microsoft Excel 统计软件处理.

2 结果与分析

2.1 色素分布的定性观测

由表 1 可知,所有供试的甘薯品种或品系(包括白心甘薯)的顶叶均呈一定程度的紫色,而顶叶叶缘的颜色却存在一定差异,颜色为紫、浅紫或绿色.紫色甘薯成熟叶的颜色比较一致,除“山川紫”叶片呈紫色以及 A5 叶片呈浅绿色外,其它均为绿色.叶脉的颜色在不同品系中存在明显的差异,A1~A4、“山川紫”及“禺北白”为紫色,而其余为绿色或浅绿色.大部分紫色甘薯叶柄的颜色表现为绿底紫斑或者紫中带绿,总体上紫色甘薯的叶色表现为顶叶深于成熟叶.

大部分紫色甘薯茎的颜色均呈现绿色和紫色的相间分布,表现为绿底紫斑或者紫中带绿,“山川紫”表现为单一的紫色,白心甘薯“禺北白”的茎呈现单一的紫红色.

紫色甘薯薯皮和薯肉的颜色差异最为明显和丰富,且在薯肉部位有白色斑点状分布.块根的薯皮颜色有淡黄色(A3,A4 和 A6)、紫红(山川紫)、紫色(B8)和深紫(A1,A2,A5,A7,B1,B2,B3 和 B7).薯肉呈现紫红(A3,A4,A6 和山川紫)、紫(B2)或深紫色(其余品系).

2.2 色素分布的定量测定

2.2.1 甘薯不同位置叶的色素含量

测定结果(图 1)表明,无论着生的位置如何,14 个甘薯品种或品系的叶中均含有一定量的色素,说明不同发育时期的叶中均有色素的合成和积累.然而,不同位置叶中的色素含量是不相同的.其中形态学上段叶(顶叶)的色素含量高于形态学中段和下段(成熟叶),这与定性观测的结果相似(顶叶颜色深于成熟叶).

表 1 色素分布的定性观测

| | 顶叶色 | 顶叶 绿色 | 成熟 叶色 | 叶脉色 | 叶柄 主色 | 叶柄 次色 | 茎主色 | 茎次色 | 薯皮 颜色 | 薯肉 主色 | 薯肉 次色 | 薯肉次 色分布 |
|-----|-----|----------|----------|-----|----------|----------|-----|-----|----------|----------|----------|------------|
| A1 | 紫绿 | 浅紫 | 绿 | 紫 | 浅紫 | 绿 | 紫 | 绿 | 深紫 | 深紫 | 白 | 斑点 |
| A2 | 紫绿 | 绿 | 绿 | 紫 | 浅紫 | 绿 | 紫 | 绿 | 深紫 | 深紫 | 白 | 斑点 |
| A3 | 浅紫 | 绿 | 绿 | 紫 | 绿 | 紫斑 | 绿 | 浅紫 | 淡黄 | 紫红 | 白 | 斑点 |
| A4 | 紫绿 | 紫 | 绿 | 紫 | 绿 | 紫斑 | 浅绿 | 浅紫 | 淡黄 | 紫红 | 白 | 斑点 |
| A5 | 紫绿 | 浅紫 | 浅绿 | 浅绿 | 浅绿 | 紫斑 | 绿 | 紫斑 | 深紫 | 深紫 | 白 | 斑点 |
| A6 | 紫绿 | 浅紫 | 绿 | 浅绿 | 绿 | 紫条纹 | 绿 | 紫条纹 | 淡黄 | 紫红 | 白 | 斑点 |
| A7 | 紫绿 | 浅紫 | 绿 | 浅绿 | 绿 | 紫斑 | 浅绿 | 紫条纹 | 深紫 | 深紫 | 白 | 斑点 |
| B1 | 浅紫 | 紫 | 绿 | 浅绿 | 浅绿 | 浅紫 | 浅紫 | 绿 | 深紫 | 深紫 | 白 | 斑点 |
| B2 | 紫绿 | 绿 | 绿 | 浅绿 | 绿 | 无 | 绿 | 紫斑 | 深紫 | 紫 | 白 | 斑点 |
| B3 | 紫绿 | 绿 | 绿 | 浅绿 | 绿 | 无 | 绿 | 紫斑 | 深紫 | 深紫 | 白 | 斑点 |
| B7 | 紫绿 | 绿 | 绿 | 浅绿 | 绿 | 紫斑 | 绿 | 紫斑 | 深紫 | 深紫 | 白 | 斑点 |
| B8 | 紫绿 | 紫 | 绿 | 浅绿 | 绿 | 无 | 绿 | 紫斑 | 紫 | 深紫 | 白 | 斑点 |
| 山川紫 | 紫 | 绿 | 紫 | 紫 | 紫 | 绿斑 | 紫 | 无 | 紫红 | 紫红 | 白 | 斑点 |
| 禹北白 | 紫红 | 紫红 | 绿 | 紫 | 绿 | 紫斑 | 紫红 | 无 | 白 | 白 | 无 | 无 |

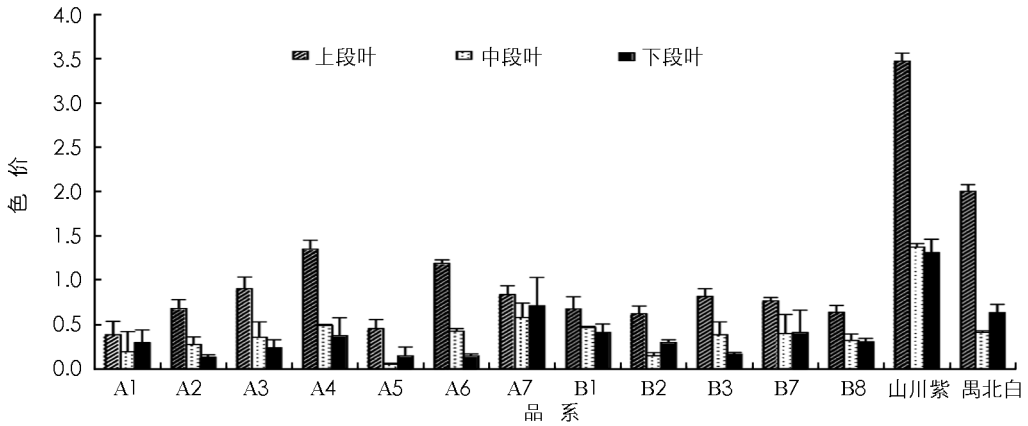


图 1 甘薯不同位置叶的色素含量

2.2.2 甘薯茎不同位置的色素含量

测定结果表明(图 2), 14 个甘薯基因型(品系)的茎中均含有色素, 但在茎不同位置中色素含量存在明显差异。根据这种差异的变化趋势, 可将其分为 2 种类型: 第一种类型中不同茎段色素含量从大到小依次为下段茎、上段茎、中段茎, 如 B8 下段茎的色价为 6.78, 上段茎和中段茎的色价分别为 1.51 和 0.27; A2 下段茎的色价为 2.4, 上段茎和中段茎的色价分别为 0.68 和 0.15; 而在基因型(品系)A3, A4, A5 和 A6 中, 茎中色素含量从大到小依次为上段茎、下段茎、中段茎, 即上段茎的色素含量要远高于下段茎和中段茎, 属于第二种类型。

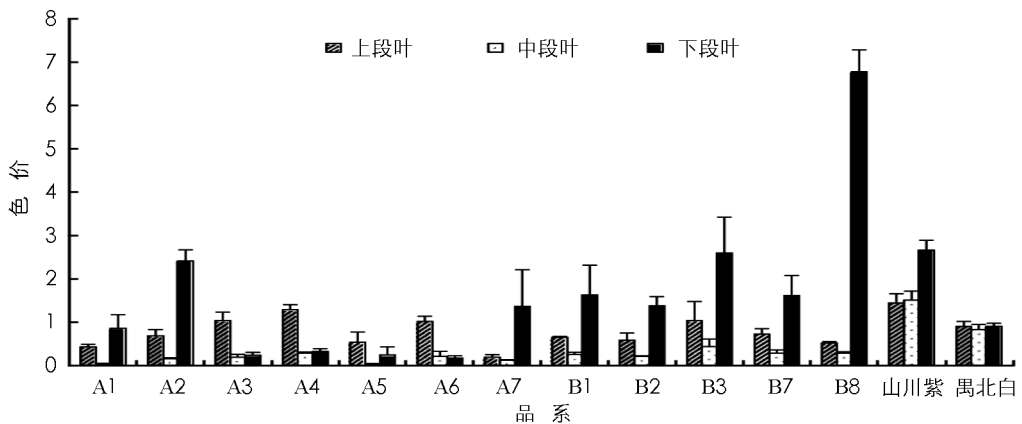


图 2 甘薯茎不同位置的色素含量

2.2.3 甘薯块根不同部位的色素含量

从紫色甘薯块根的横切面上看,可明显地将其分为 3 部分,即外层、中层和内层,在形态学上分别属于薯皮(周皮和韧皮部薄壁组织)、初生形成层和木质部薄壁组织.从图 3 可知,色素在块根内分布是不均匀的,大部分紫色甘薯品系薯皮和木质部薄壁组织中的色素含量高于初生形成层;而品系 B2 块根中色素含量从大到小依次则表现为薯皮、初生形成层、木质部薄壁组织;对于薯皮不含色素的 A3,A4 和 A6 等品系,则从大到小依次呈现为木质部薄壁组织、初生形成层、薯皮;白心甘薯品种“禺北白”块根未检测到色素.

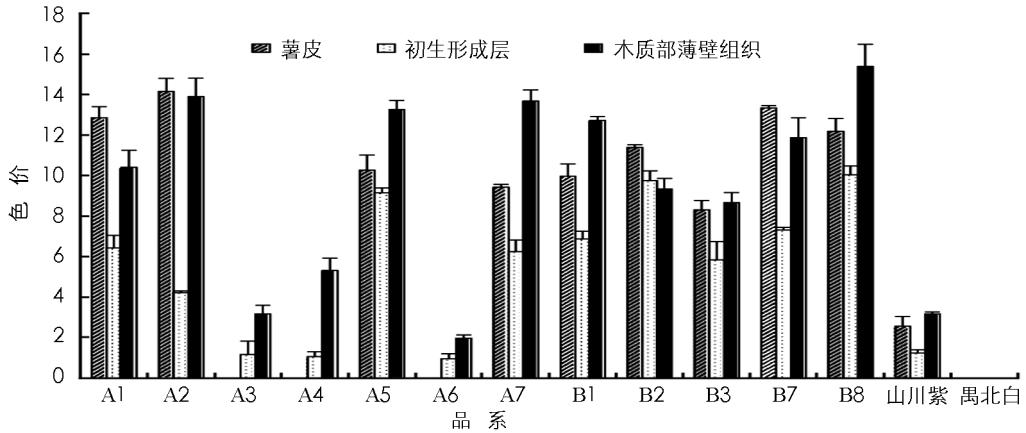


图 3 甘薯块根不同部位的色素含量

2.2.4 甘薯的叶、茎和块根色素含量的比较

将上述色素含量定量测定的结果合并为叶、茎和块根的色素含量(图 4),色素在各品种(品系)地上部分的叶和茎中均有分布,其中“山川紫”含量较高,其余品种(品系)含量相差不大.在地下部分块根中的色素含量以 B8 为最高,其次从大到小依次为 A1,A2,A7,A5,B1,B2,B3 和 B7;“山川紫”块根色素含量与 A3,A4 和 A6 接近.从图 4 可知,紫色甘薯的色素含量分布呈现为地下部分大于地上部分,但这种差异因品种(品系)的不同而不同,例如 A1 块根的色价接近 10,高出茎和叶(色价不到 1)约一个数量级,而“山川紫”块根、茎和叶的色素含量相差不大,色价均在 2 左右.在白心品种“禺北白”块根中未检测到色素.

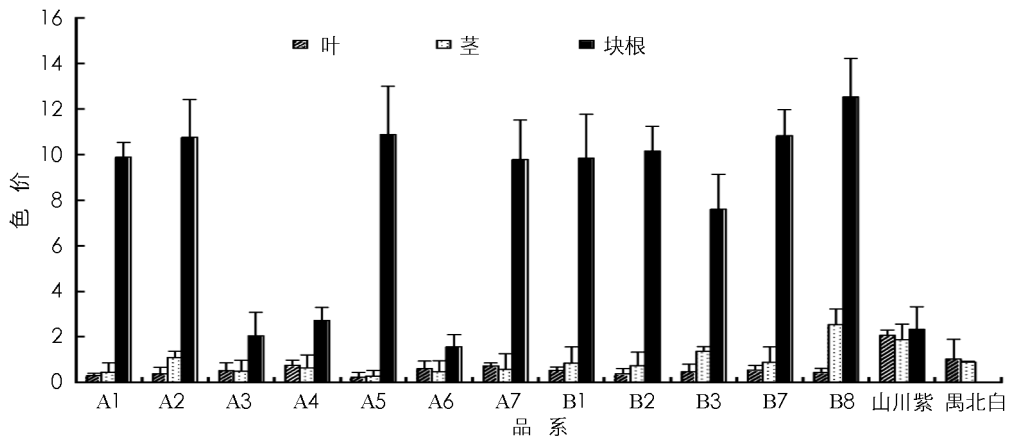


图 4 甘薯叶、茎和块根色素含量的比较

3 讨 论

遗传多样性研究是作物育种的重要环节,通过对品种间亲缘关系的研究可以有效地进行亲本选配,并且对特殊种质进行保护.20 世纪 50 年代以来,随着甘薯优良品种“南瑞苕”和“胜利百号”的引进,我国育成并大面积推广种植了一大批品种,但正是由于亲本的过分集中,少量亲本的大量使用,使得我国 20 世纪

90年代以前育成的甘薯品种94%具有“南瑞苕”和“胜利百号”的血缘,品种遗传基础比较狭窄^[11]。同时甘薯是一种以无性繁殖为主的作物,在种质资源保存过程中存在着由于品种名称不同导致多个副本被收集、保存的情况,不利于甘薯品种的持续改良^[12]。紫色甘薯为近年来才育成的甘薯新类型,对其价值发掘较晚,导致其资源短缺,遗传多样性水平更低于其它甘薯品种,极大地制约了紫色甘薯资源的生物学特性研究、品种选育及其相应的开发利用,形成了紫色甘薯种质资源匮乏、栽培品种单一、产量偏低、色素含量不高、产品开发缓慢等不利局面。因此,对紫色甘薯遗传多样性进行分析是很有必要开展的基础研究工作。

经定性观测和定量分析后发现,紫色甘薯色素含量在不同品种(品系)间具有明显差异,例如A1,A2和A5等品系块根色素含量大约是“山川紫”块根色素含量的5倍;而A3,A4和A6等品系则与“山川紫”色素含量差异不大。对紫色甘薯的形态学标记和同工酶分析结果表明,“山川紫”和新引进的日本紫色甘薯品系之间的亲缘关系较远,而A3,A4和A6等3个品系之间的亲缘关系较近^[6-7]。本文的研究结果与前人的相一致,说明色素含量可以作为进行甘薯品种鉴定和分类的可靠遗传性状。本文根据不同甘薯品种(品系)色素分布的特点,可将所测的13个紫色甘薯品种(品系)大致分为3种类型:紫藤紫皮紫心型(山川紫)、紫藤白皮紫心型(A3,A4和A6)和绿藤紫皮紫心型(其他品系)。色素在不同品系间含量及分布的差异,说明在紫色甘薯不同品种(品系)间存在丰富的遗传多样性,这为开展品种鉴定和遗传育种提供了丰富的种质资源。

定量分析结果表明,同一品系的紫色甘薯植株地下部分色素含量高于其地上部分,块根是紫色甘薯色素积累的主要部位。如A1块根中色素含量大约是茎和叶中含量的10倍,表现出明显的器官特异性。在相同器官中,色素的分布也不均匀,地上部分茎叶中,定性观测为紫色、绿色相间分布以及叶片、叶脉和叶柄之间颜色不同,定量测量为形态学上段的茎叶色素含量高于形态学下段。在块根中,一般表现为薯皮、初形成层和木质部薄壁组织之间色素含量明显不同,并且在木质部薄壁组织呈白色斑点分布。说明紫色甘薯各器官和组织中色素含量的差异具有明显的多样性,这为探讨色素合成与调控的细胞和分子机制奠定了宝贵的试材基础。

紫色甘薯色素分布的多样性,为满足不同需求提供了丰富的品种选择空间。块根作为色素积累的主要部位,也是主要食用部分,对于以食用以及提取色素为用途的紫色甘薯,其良种选育和繁殖应优先选择块根色素含量高的品种或品系;而茎叶部分色素含量高的品种或品系则可进一步开发为食用蔬菜或者观叶植物。另一方面,鉴于色素在紫色甘薯不同器官和组织中分布的非均一性,在对紫色甘薯进行色素含量测定和品种鉴定时,应当注意取样部位的一致性。

本文对紫色甘薯和白心甘薯色素分布的定性观测和定量测定结果表明,所观测的甘薯品种或品系在植株的不同部位均有色素分布,其地上部分色素分布差别不大,而紫色甘薯和白心甘薯在块根中的色素含量差异最为明显。例如:白心甘薯“禹北白”的整个块根均呈白色,而所有紫色甘薯块根内部均为紫色。可能基于此原因,有学者将紫色甘薯称为紫肉甘薯^[13]、紫心甘薯^[14]或紫甘薯^[15],导致了同物异名现象的出现。根据本文的研究结果,笔者认为紫色甘薯和紫甘薯的称谓比较含混,指向不够明确,为了更准确地突出品种(品系)的性状特点,并与其它的红心甘薯^[16]、白心甘薯^[17]、黄心甘薯^[18]等甘薯品种类型在称呼和书写上对应和统一,建议将这类甘薯的中文名统称为紫心甘薯,英文名为 purple-fleshed sweet potato。

参考文献:

- [1] SUDA I, FURUTA S, NISHIBA Y, et al. Hepato-Protective Activity of Purple-Colored Sweetpotato Juice [J]. Sweetpotato Research Front, 1997(4): 3.
- [2] YOSHINAGA M. Physiological Function of Purple Colored Flesh Sweetpotato [J]. Food Processing, 1998, 33(8): 15-17.
- [3] 叶小利,李学刚,李坤培,等.紫色甘薯花色苷色素色泽稳定性研究(英文)[J].西南师范大学学报:自然科学版,2003,28(5):725-729.
- [4] 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.

- [5] KOBAYASHI T, IKOMA H, MOCHIDA H, et al. Effect of Cultural Conditions on Anthocyanin Content of Purple Colored Sweet Potato [J]. Sweetpotato Research Front, 1998(6): 3.
- [6] 杨贤松, 魏琦超, 李坤培, 等. 日本引进的紫色甘薯品系的同工酶分析 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2005, 30(5): 920-924.
- [7] 杨贤松, 高峰. 日本紫色甘薯品系的形态标记聚类分析 [J]. 中国林副特产, 2009(1): 1-3.
- [8] 张允刚, 房伯平. 甘薯种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [9] TERAHARA N, SHIMIZU T, KATO Y, et al. Six Diacylated Anthocyanins From the Storage Roots of PSP, Ipomoea Batatas [J]. Bioscience-Biotechnology and Biochemistry, 1999, 63(1): 1420-1424.
- [10] 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.
- [11] 陆国权. 中国甘薯育成种系谱 [J]. 中国甘薯, 1990(4): 26-28.
- [12] 阳义健. 甘薯 ISSR 分子标记的建立与 IPI 基因的克隆及功能分析 [D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [13] 傅玉凡, 叶小利, 陈敏, 等. 紫肉甘薯与普通甘薯的产量与农艺性状特征差异研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(2): 61-65.
- [14] 李云萍, 郭晋雅, 高峰. 紫心甘薯花青素积累与 PAL 活性的关系 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2010, 32(2): 68-72.
- [15] 赵冬兰, 唐君, 张允刚, 等. 八种紫甘薯资源原花青素相对含量的比较 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(8): 156-157.
- [16] 严起前, 蔡力夫, 林洪, 等. 优质红心甘薯金山 72 及其高效栽培技术研究 [J]. 杂粮作物, 2002, 22(6): 347-349.
- [17] 陆国权, 郑遗凡. 不同生育期甘薯块根淀粉糊化特性的差异 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(3): 462-467.
- [18] 谢世清, 冯毅武. 云南黄心甘薯地方品种特性分析 [J]. 种子, 2000, 19(6): 15-17.

Diversity of Pigment Distribution in Purple Sweet Potato

SHI Xiao-dong¹, LIU Liang-yong¹,

LI Yun-ping¹, FU Yu-fan², GAO Feng¹

1. School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Sweetpotato Engineering & Technology Center, Chongqing 400715, China

Abstract: The distribution of the purple pigment in 14 strains between purple-fleshed and white-fleshed sweetpotato was investigated in this paper. The result showed that there were significant differences on pigment distribution in strains and organs. The storage root of purple-fleshed sweetpotato is the predominant organ accumulating pigment. The uneven distribution of pigment was detected in storage root, including the difference among the contents of pigment in peel, primary cambium layer and xylem parenchyma which appeared white spots. The difference of the contents of pigment also observed from morphology apex to morphology base in the trailing part of purple-fleshed sweet potato. The diversity of purple-fleshed sweet potato pigment distribution in different strains laid a technical foundation for carrying on the variety identification and genetic breeding. Moreover, the diversity of pigment distribution in different organs and tissues provided the materials for the investigation of pigment biosynthesis and the mechanism of manipulation.

Key words: purple-fleshed sweet potato; pigment distribution; strain; organ; diversity