

# 马铃薯花色苷研究进展

卢其能<sup>1,2</sup>, 杨清<sup>2</sup>

(1. 江西宜春学院 生命科学与资源环境学院 江西 宜春 336001; 2. 南京农业大学 生命科学学院生化与分子生物学系, 南京 210095)

**摘要:** 综述了马铃薯花色苷的分布、种类、结构、提取纯化方法、生理功能和应用等方面的研究进展, 并介绍了块茎在发育和储藏期间花色苷的变化及光、温等外界因素对马铃薯块茎颜色的影响。

**关键词:** 花色苷; 马铃薯; 块茎颜色; 天然色素

**中图分类号:** S 532.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2007)09-0054-04

马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 是唯一的粮菜兼用型作物, 我国是世界上马铃薯生产第一大国, 约于 17 世纪初(明末)传入我国, 至今已有 400 多年的历史。马铃薯传入我国后产生了许多变种、变型和适合当地种植的地方品种, 尤其是块茎的皮色和肉色出现了红色、紫色品种, 如安徽的红皮品种界首红、云南的紫色肉品种 ZHXW 和 XWYY<sup>[1]</sup>; 我国近年来育成推广的约 72 个品种中有 5 个为红皮品种, 它们分别是陕西的安农 5 号、内蒙的乌盟 684、青海的青薯 168、宁夏的宁薯 1 号和宁薯 3 号<sup>[2]</sup>。国外有英国的紫黑色皮肉的品种 Congo 和 Negresse, 红皮突变体 King Edward<sup>[3]</sup>; 美国的 Red Norland 和 Dark Red Norland 等品种<sup>[4]</sup>。

对于马铃薯花色苷的研究最早始于 Chmielewska 的研究, 后来又有 Dodds、Long 和 Harborne 等<sup>[3]</sup> 人进行过研究。

世界各国对发展天然食用色素都很感兴趣<sup>[5,6]</sup>。由于花色苷具有鲜亮的吸引人的色泽、水溶性的特点使其容易进入含水的食物中并对健康有益<sup>[7]</sup>。红色薯肉或紫色薯肉的马铃薯由于其吸引人的颜色、特别的口味和绵软的特点, 在美国很受欢迎, 自 1993 年以来, 红色品种 Dark Red Norland 种植面积在所有栽培品种中一直处于前 10 位<sup>[8,9]</sup>, 许多消费者喜欢用彩色的马铃薯制作沙拉和松脆的土豆片<sup>[10]</sup>。红色马铃薯也被认为是潜在的天然红色素的来源<sup>[11]</sup>。对植物自身而言花色苷具有吸引昆虫授粉和动物采食果实特点, 有利于撒播种子, 叶片中的花色苷有利于保护叶片抵抗紫外线的伤害<sup>[7]</sup>, 但马铃薯地下块茎中的花色苷的功能仍不十分清楚<sup>[12]</sup>。有关马铃薯花色苷方面研究在我国几乎是空白, 这必将严

重影响对马铃薯色素作为天然色素资源的开发和应用与我国作为世界上马铃薯生产第一大国是不相称的, 因此必须加强相关方面的研究, 为进一步开发和利用马铃薯色素提供依据。

## 1 马铃薯花色苷的分布和种类

马铃薯块茎的皮色有白色、黄色、粉红色、红色和紫色。块茎的肉色一般为白色、浅黄色和黄色, 少数呈红色和紫色。马铃薯块茎的皮色是由于在周皮和皮层外围存在花色苷, 花色苷也存在于马铃薯薯肉、根、地下地上茎、叶片和花中<sup>[13]</sup>。早在 1936 年 Chmielewska 较详细地研究了存在紫黑四倍体马铃薯栽培种 Negresse (Congo) 的皮和肉中的色素为花色苷, 分别为锦葵糖苷(被 P-香豆酰化的锦葵素-3-鼠李糖基葡萄糖苷)和碧冬茄糖苷(碧冬茄素-3-葡萄糖苷)。在二倍体马铃薯的块茎中的色素种类多数为 2 种, 其中红色品种以天葵素苷为主, 其次是芍药素苷; 而紫色品种以碧冬茄素苷为主, 其次是芍药素苷。锦葵素苷仅在四倍体品种中发现; 酰化芍药苷在红色和蓝色四倍体中很少或消失; 碧冬茄糖苷广泛存在于茄科的紫色组织中。在马铃薯紫花中出现碧冬茄素苷和飞燕草素苷及杨梅黄酮; 红花中有矢车菊素苷及栎皮酮; 黄酮醇的糖苷广泛存在于花中, 所带糖常为葡萄糖和鼠李糖。20 世纪 60 年代初在马铃薯栽培种的块茎和花中共发现了 10 种花色苷。黄酮醇类中的槲皮醇、杨梅酮和栎皮酮都在同一植株中发现<sup>[3]</sup>。

20 世纪 70 年代之前对有色马铃薯 (*Solanum andigena*, *S. phureja* 和 *S. tuberosum* 及其杂种) 中花色苷的研究中已发现天竺葵素、矢车菊素、芍药花素、飞燕草素、碧冬茄素和锦葵素的 3-P-香豆酰芦丁糖苷-5-葡萄糖苷、3-芦丁糖苷-5-葡萄糖苷和 3-芦丁糖苷; 同时发现, 四倍体 *S. tuberosum* ssp. tubers 的不同栽培种含有不同的单一的花青苷, 而二倍体含有多种混合的花色苷<sup>[14]</sup>。

## 2 马铃薯花色苷的一般提取、纯化方法

Harborne 最早用甲醇:盐酸(97:3, v/v)在室温条件下进行抽提马铃薯花色苷, 然后离心和过滤, 在 50~

第一作者简介: 卢其能(1968-), 男, 江西宜春人, 副教授, 博士, 主要从事植物组织与遗传工程研究。

基金项目: 江西省教育厅科技资助项目(2007-313); 江苏省国际合作项目(BZ2003041)。

收稿日期: 2007-04-23

60℃条件下浓缩后再过滤, 浓缩液用 Whatman No. 3 滤纸吸收后晾干, 在正丁醇 : 2N HCl (1 : 1, v/v) 的浓液中平衡 24 h, 在相同的展层液中展层分离, 从干燥的层析纸上剪下含花色苷的条带用水 : 甲醇 : 乙酸 (25 : 75 : 5, v/v) 溶液洗脱, 再点在 Whatman No. 3 滤纸上, 用正丁醇 : 乙酸 : 水 (4 : 1 : 5, v/v) 的溶液平衡, 在水 : 乙酸 (85 : 15, v/v) 溶液中展层而与其它多酚类分离; 以上分离物加在 Whatman No. 1 滤纸上用乙酸 : 盐酸 : 水 (30 : 3 : 10, v/v) 溶液或乙酸 : 盐酸 : 水 (5 : 2 : 3, v/v) 溶液中进行纸层析纯化, 还可以把样品加在 Whatman No. 3 滤纸上用正丁醇 : 乙酸 : 水 (4 : 1 : 5, v/v) 或正丁醇 : 2N HCl (1 : 1, v/v) 或乙酸 : 水 : 盐酸 (15 : 82 : 3) 或盐酸 : 水 (3 : 97) 进行纸层析纯化; 纯化的花色苷用水 : 甲醇 : 乙酸 (25 : 75 : 5, v/v) 溶液洗脱后于 50℃ 条件下真空干燥<sup>[5]</sup>。

Rodriguez-Saona 等则用丙酮和氯仿提取马铃薯花色苷, 即先把新鲜材料在遮光的条件下于 100℃ 下加热 10 min 后, 加入丙酮混合过滤, 滤渣再用水 : 丙酮 (30 : 70, v/v) 溶液冲洗到洗出液无色为止; 合并洗出液用氯仿 : 丙酮 (2 : 1, v/v) 过夜萃取, 收集水相, 在 40℃ 下使残余的丙酮蒸发, 从而分离到所需花色苷; 用 C-18 微型柱子纯化, 0.01% 的甲醇洗柱子, 收集的含有花色苷的溶液于 40℃ 的旋转蒸发仪中干燥<sup>[11]</sup>。

Hung 等用 0.1% (v/v) 的盐酸甲醇溶液在黑暗 4℃ 条件下浸提马铃薯切片, 24 h 后过滤用于光谱测定或是在高压液相色谱仪上进一步纯化和分析<sup>[2]</sup>。Andersen 等也用与 Hung 基本相似的方法从马铃薯薯皮中提取花色苷用于光谱测定<sup>[4]</sup>。

Lewis 等用 15% (v/v) 的乙酸甲醇溶液提取马铃薯花色苷后直接用于光谱测定或是在高压液相色谱仪上分析<sup>[16]</sup>。

Yanovsky 等用 1% (v/v) 的盐酸甲醇溶液在 4℃ 黑暗条件下浸提含花色苷的马铃薯叶柄, 提取液用于光谱测定<sup>[17]</sup>。Jung 等也用与之基本相似的方法从马铃薯薯皮中提取花色苷用于薄层层析 (TLC) 分析<sup>[18]</sup>。

### 3 马铃薯花色苷的结构研究

1973 年 Sasche 检测到 Urgenta 和 Desire 马铃薯中含有天竺葵素-3-(P-香豆酰-鼠李糖基葡萄糖苷)-5-葡萄糖苷和芍药素-阿魏酰-3-鼠李糖基葡萄糖苷-5-葡萄糖苷<sup>[19]</sup>。1991 年利用二维磁共振技术在含蓝色色素的 *S. tuberosum* 的块茎中鉴定了碧冬茄素-3-O-[6-O-4-O-E-P-香豆酰- $\alpha$ -L-6'-鼠李糖吡喃苷- $\beta$ -D-葡糖吡喃苷]-5-O-[ $\beta$ -D-葡糖吡喃苷]<sup>[20]</sup>。1996 年 Lewis 从红肉栽培种中鉴定到色素主要为天竺葵素-3-(P-香豆酰-芦丁苷)-5-葡萄糖苷和芍药素-3-(P-香豆酰-芦丁苷)-5-葡萄糖苷<sup>[16]</sup>。1998 年在 33 个红肉栽培种中利用酸解、碱解、光谱、HPLC、MS 和 ESMS 技术手段分离并鉴定到天竺葵素-3-芦丁苷-5-葡萄糖苷、天竺葵素-3-芦丁苷、被 P-香豆酰

酰化的天竺葵素-3-芦丁苷-5-葡萄糖苷、被 P-阿魏酰酰化的天竺葵素-3-芦丁苷-5-葡萄糖苷、被 P-香豆酰酰化的天竺葵素-3-芦丁苷, 其中被 P-香豆酰酰化的天竺葵素-3-芦丁苷-5-葡萄糖苷为主要花青苷, 约占总量的 70%, 而芍药苷仅为痕量, 不同品种间主要是糖基化和酰基化差异<sup>[11]</sup>。

1998 年利用 HPLC、TLC、FAB-MS、NMR 和 DIF-NOE 技术从四倍体红色马铃薯 (*S. tuberosum* × *S. andigena* 的杂交后代) 薯肉中分离到两种酰化的天竺葵素糖苷, 主要是天竺葵素-3-O-[4'-O-(反式-P-香豆酰)- $\alpha$ -L-6'-鼠李糖吡喃苷- $\beta$ -D-葡糖吡喃苷]-5-O-[ $\beta$ -D-葡糖吡喃苷], 另一含量少的为天竺葵素-3-O-[4'-O-(反式-P-阿魏酰)- $\alpha$ -L-6'-鼠李糖吡喃苷- $\beta$ -D-葡糖吡喃苷]-5-O-[ $\beta$ -D-葡糖吡喃苷], 后一种为新发现的花青苷<sup>[21]</sup>。

Lewis 对 26 个带不同颜色的栽培种 (*Solanum tuberosum* L) 的块茎 (皮和肉)、花和叶用 TLC、HPLC、UV 和 MS 进行了分析; 红色块茎主要为天竺葵素-3-(P-香豆酰-芦丁苷)-5-葡萄糖苷 (200~2000  $\mu$ g/g FW) 和少量的芍药素-3-(P-香豆酰-芦丁苷)-5-葡萄糖苷 (20~400  $\mu$ g/g FW); 淡紫色和中等紫色的块茎含碧冬茄素-3-(P-香豆酰-芦丁苷)-5-(1000~2000  $\mu$ g/g FW) 和少量的锦葵素-3-(P-香豆酰-芦丁苷)-5-葡萄糖苷 (20~200  $\mu$ g/g FW); 黑紫色和黑色块茎含碧冬茄素-3-(P-香豆酰-芦丁苷)-5-葡萄糖苷 (1000~2000  $\mu$ g/g FW) 和含量高得多的锦葵素-3-(P-香豆酰-芦丁苷)-5-葡萄糖苷 (2000~5000  $\mu$ g/g FW); 薯肉也含有绿源酸 (30~900  $\mu$ g/g FW) 和其它酚酸及较低浓度的类黄酮 (0~30  $\mu$ g/g FW), 而薯皮中绿源酸的含量要高得多 (1000~4000  $\mu$ g/g FW); 花中的主要花色苷为天竺葵素、碧冬茄素和锦葵素的芦丁苷和其它糖苷, 矢车菊素和飞燕草素糖苷也被发现, 含有许多与块茎相同的酚酸; 最常见的类黄酮包括芦丁、槲皮素-3-芦丁糖苷和两种槲皮素-鼠李糖基-葡萄糖苷; 花和叶含有更高含量的类黄酮, 有的含槲皮素-3-糖苷较高, 有的含量较低<sup>[10]</sup>。

### 4 影响马铃薯颜色因素

红紫色马铃薯约占美国马铃薯种植面积的 10%, 块茎颜色的变化将会严重影响它的市场价格<sup>[4]</sup>。马铃薯块茎颜色除了主要受遗传因素制约外, 还受到其它内外因素的影响。

#### 4.1 马铃薯块茎在发育和储藏期间花色苷的变化

Norland 品种的块茎颜色深度和花色苷的浓度随块茎生长而降低, 颜色的深度在发育初期减少很快, 块茎长到 5g 后变化开始减慢, 而色素在发育的全过程变化不显著; 周皮单位面积花青苷的含量 (513 nm 下的吸收值) 随块茎增大而降低; HPLC 分析表明天竺葵素糖苷和芍药素糖苷占总花色苷的 90% 以上, 两者的比值为 4.5~6 : 1; 周皮细胞随块茎发育而增大, 层数增加<sup>[2]</sup>。又有人发现马铃薯块茎花色苷的积累随发育程度和成

熟度的提高而更多地积累<sup>[1]</sup>。在很小的发育中的块茎上花色苷首先出现在茎的末端而顶芽端仍保持白色,随着发育的进行花青苷分布到整个块茎上,但总是茎的末端高于芽端,到成熟时两端含量基本相同;但冷藏后,花色苷在芽端的含量高于块茎的末端; Desiree 和 Arran Victory 两品种(为粉红和紫色皮品种)的块茎储藏在 4℃条件下时周皮中的花色苷浓度增加,但储存在 10℃或更高温度下时周皮中的花色苷减少,推测是由于冷藏期间糖的浓度增加从而导致花色苷合成增加<sup>[9]</sup>。而又有报道 Norland 红皮品种的块茎冷藏 1 个月后颜色和花色苷就开始减少,冷藏 5 个月后花色苷显著减少,贮藏块茎比刚收获的新鲜块茎的周皮中含有更高的总酚类,周皮中酚类的增加和花色苷含量的减少可能导致贮存块茎颜色的加深<sup>[4]</sup>。红肉品种储藏在 4℃条件下 1 个月后被 P-香豆酸酰化的天竺葵素-3-芦丁苷-5-葡萄糖苷减少 10%,而被 P-阿魏酸酰化的天竺葵素-3-芦丁苷-5-葡萄糖苷增加 2.4%,绿原酸增加 15%,花青苷总含量没有明显的变化;当在 -20℃条件下冷冻 3 个月后花色苷含量下 26%以上,皮中花色苷含量约占总量的 9%,组成与块茎相同,而酚酸皮中含量较肉中高<sup>[11]</sup>。

在植物组织中,花色苷能被糖苷酶(花色苷酶)、多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶降解,PPO 能氧化邻-苯二酚为邻-苯醌而形成棕色多聚物<sup>[23]</sup>。PPO 还能与酚酸和花色苷直接反应,或 PPO 先氧化酚酸再与花色苷发生反应<sup>[23,24]</sup>;酚类提取物在体外能强烈地使花色苷氧化,发生花色苷-PPO-酚反应,形成棕色物质<sup>[25]</sup>。由于在贮藏过程中组织不断衰老,细胞更易攻击,花色苷在 PPO 和酚类的相互作用下更易降解<sup>[26]</sup>。糖苷酶能切下糖基而形成不稳定的花色素,很快降解为无色的衍生物。在用丙酮/氯仿提取块茎中的花色苷时,先用 100℃的水或蒸汽处理 2 cm 的块茎片约 10 min 可防止色素的降解,在用丙酮处理后的酶促降解表明存在一个阻止变性的酶系统或具有快速复性的能力<sup>[11]</sup>。有人报道用 1%的乙酸甲醇从番薯提取花色苷时发现酶促降解<sup>[27]</sup>。

在 33 个红肉栽培种中花色苷的含量为 2.4~40.3 mg/100 g FW<sup>[11]</sup>。而在紫色马铃薯栽培种中色素的含量要高得多,如 Urenika 品种的肉和皮中平均含量分别为 183.6 和 507.8 mg/100 g FW<sup>[10]</sup>。而已商业化的红萝卜为 30 mg/100g FW、红卷心菜为 25 mg/100g FW、草莓为 15~30 mg/100g FW、红悬钩子为 30~40 mg/100g FW、葡萄和其它浆果为 60~400 mg/100g FW<sup>[11]</sup>。

#### 4.2 光、温对马铃薯花色苷生物合成的影响

除了块茎的发育程度,光照也是影响马铃薯花色苷积累的重要因素<sup>[28]</sup>。有实验证明,隐花素 CRY1 与光敏色素 PHYB 可共同作用调控花色苷的积累,这种作用以依赖 PHYA 的方式存在,紫外 B 区光受体,已知与其它光受体相互作用,调控 CHS 基因的表达。此外,还有证

明蓝光和紫外光一起作用或由紫外光单独作用的效应是在转录水平上起作用的。不像大多数花卉和水果,一些马铃薯栽培种能不被光照的条件下产生含花色苷块茎,有人用离体培养植株产生的微型薯为材料研究光对花青苷和黄酮类在块茎中生物合成调控的影响,发现虽然一些马铃薯栽培种在黑暗中产生花色苷,但光照能增加花色苷、黄酮类和酚酸的产生;在至少 8 h 光照后, Desiree 的微型薯明显增加花色苷,10 d 后达到最大值,其它黄酮类和酚酸也平行增加,在这些代谢途径中的酶的活性与这些酚类物质的积累相关;光照叶片能启动铝铂包裹的 Desiree 块茎花色苷和黄酮类的产生,但与直接照射块茎时相比产生的量更低;花色苷首先在微型薯末端产生,然后到达顶芽,因而表明曝露于光中的叶片产生一种“板动”化合物运输到块茎中;在带有不同色素块茎的植株相互嫁接试验表明砧木决定花色苷合成能力<sup>[29]</sup>。对马铃薯的转基因植株的研究中发现转入正义光敏色素 A 基因的植株能超量表达光敏色素 A,而转入反义光敏色素 A 基因的植株则受到抑制,正常光照条件下,超量表达光敏色素 A 的植株的叶柄和茎中的花色苷的含量明显高于野生型,而野生型稍高于反义抑制型<sup>[17]</sup>。

#### 4.3 其它影响因素

除以上光、温影响外,其它因素如水分、矿物质、糖类、激素等对马铃薯花色苷积累和合成的影响很少报道。最近 Korobczak 等<sup>[3]</sup>通过对马铃薯花色苷糖基转移酶(anthocyanidin glucosyltransferase, GT)的启动子功能研究时发现,它除了能被紫外线(UV)、光和低温激活表达外,还能被盐胁迫、脱落酸激活,蔗糖却抑制其表达。

#### 5 结束语

在发明合成色素之前,人类一直使用天然色素。由于合成色素色泽鲜艳、着色力强、稳定性高、价格低等特点,很快取代了天然色素的地位。但自 20 世纪 50 年代以来,随着对合成色素安全性的深入研究,发现许多合成色素有毒,有的在体内可形成致癌物质,许多国家大幅度减少甚至完全禁止用于食品、药品和化妆品等领域<sup>[34]</sup>。因而在全世界范围内天然色素的需求量不断增长,花色苷具有色泽鲜亮、水溶性好和对健康有益,被认为是禁用人工色素的替代者<sup>[7]</sup>。

花色苷是植物次生代谢过程中产生的黄酮类物质,对植物自身而言具有吸引昆虫传粉、抗 UV-B、提高抗冻能力、提高光保护能力、抗旱能力和抗氧化能力,还具有抗菌能力<sup>[31]</sup>。对人类而言花色苷具有抗氧化活性、抗衰老、防止血管硬化,还是一种潜在的抗癌化合物<sup>[32]</sup>,可作为食品、药品和化妆品的天然色素。

花色苷分子的酰化能提高它在加工和储藏过程中的稳定性,因而促使人们开始致力于以酰化花青苷为基础的食用色素研究<sup>[33]</sup>,而马铃薯花青苷主要以酰化花青苷为主,很值得研究和开发<sup>[11]</sup>。

## 参考文献

- [1] 杨万林, 吴毅歆, 李先平等. 马铃薯品种块茎性状的遗传分析[J]. 中国马铃薯, 2004, 18(1): 19-26.
- [2] 孙慧生. 马铃薯育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 1.
- [3] Harborne J B. Plant polyphenols. I. Anthocyanin production in the cultivated potato[J]. Biochemical J., 1960, 74: 262-269.
- [4] Andersen A W, Tong C B S, Krueger D E. Comparison of periderm color and anthocyanins of four red potato varieties[J]. Amer. J. Potato Res., 2002, 79(4): 249-253.
- [5] Francis F J. Lesser-known food colorants[J]. Food Technol., 1987, 41: 62-68.
- [6] Lauro G J. A primer on natural colors[J]. Am. Assoc. Cereal Chemists, 1991, 36(11): 949-953.
- [7] Mazza G, Miniati E. Introduction. Hh. 1 in Anthocyanins in fruits, vegetables and grain[M]. CRC Press: Boca Raton, FL, 1993.
- [8] Johnson C A. 1995-1996 seed acres reflect more varieties, market shifts[J]. Valley potato Grower., 1995, 61: 13-16.
- [9] Sorensen E J. Speciality potatoes[J]. American Vegetable Grower, 1992(1): 36-39.
- [10] Lewis C E, Walker J R L, Lancaster J E, Sutton K H. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. I. Coloured cultivars of *Solanum tuberosum* L [J]. J. Sci. Food Agric., 1998, 77: 45-57.
- [11] Rodriguez-Saona L E, Giusti M M, Wrolstad R E. Anthocyanin pigment composition of red-fleshed potatoes[J]. J. Food Sci., 1998, 63(3): 458-465.
- [12] Hung C Y, Murray J R, Ohmann S O, Tong C B S. Anthocyanin accumulation during potato tuber development[J]. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1997, 122(1): 20-23.
- [13] Burton W G. The potato[M]. Wiley, New York, 1989: 328-329.
- [14] Howard H W, Kukimura H, Whitmore E T. Genetics of the potato *Solanum tuberosum* L [J]. Research Potato, 1970, 13: 142-145.
- [15] Harborne J B. Spectral methods of characterizing anthocyanins[J]. Biochemical J., 1958(70): 22-28.
- [16] Lewis C E, Walker J R L, Lancaster J E. Changes in anthocyanin, flavonoid and phenolic acid concentrations during development and storage of coloured potato (*Solanum tuberosum* L) tubers[J]. J. Sci. Food Agric., 1999, 79: 311-316.
- [17] Yanovsky M J, Alconada-Magliano T M, Mazzella M A, Gatz G, Tomas B, Casal J J. Phytohormone A affects stem growth, anthocyanin synthesis, sucrose-phosphate-synthase activity and neighbour detection in sunlight-grown potato[J]. Planta, 1998, 205: 235-241.
- [18] Jung C S, Griffiths H M, De Jong D M, Cheng S, De Jong W S. The potato plocus codes for flavonoid 3', 5'-hydroxylase[J]. Theor. Appl. Genet., 2005, 110: 269-275.
- [19] Sasche J. Anthocyanin in den kartoffelsorten Urgenta und Désiree. Z. Lebensf. J. Unters. Forsch., 1973, 153: 294-300.
- [20] Andersen O M, Oheim S, Aksnes D W, et al. Structure of petanin acylated anthocyanin isolated from *Solanum tuberosum*, using homo- and hetero-nuclear two-dimensional nuclear magnetic resonance techniques[J]. Phytochem. Anal., 1991, 2: 230-236.
- [21] Naito K, Umemura Y, Mori M, et al. Acylated pelargonidin glycosides from a red potato[J]. phytochemistry, 1998, 47(1): 109-112.
- [22] Francis F J. Food colorants: anthocyanins[J]. Cru. Rev. Food Sci. Xut., 1989, 28(4): 273-311.
- [23] Peng C Y, Markakis P. Effect of phenolase on anthocyanins[J]. Nature, 1963, 199: 579.
- [24] Sakamura S, Watanabe S, Obata Y. Anthocyanase and anthocyanin occurring in eggplant; Part III. Oxidative decoloration of the anthocyanin by polyphenol oxidase[J]. Agr. Biol. Chem., 1965, 29(3): 181-190.
- [25] Jang Y. Role of anthocyanins, polyphenol oxidase and phenols in lychee pericarp browning[J]. J. Sci. Food Agric., 2000, 80: 305-310.
- [26] Mayer A M, Harel E. Polyphenol oxidases in plants[J]. Phytochemistry, 1979, 18: 193-215.
- [27] Shi Z, Bassia I A, Gabriel S L, et al. Anthocyanin pigments of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L) s. J. Food Sci., 1992, 57: 755-757.
- [28] Venma S C, Purohit L K, Sharda R T, et al. Anthocyanin in dark and light-grown sprouts of potato[J]. Potato Res., 1972, 15: 166-169.
- [29] Lewis C E, Walker J R L, Lancaster J E, et al. Light regulation of anthocyanin, flavonoid and phenolic acid biosynthesis in potato minitubers in vitro[J]. Australian J. Plant Physiol., 2004, 25(8): 915-922.
- [30] Korobczak A, Aksamit A, Lukaszewicz M, et al. The potato glucosyl-transferase gene promoter is environmentally regulated[J]. Plant Science, 2005, 168: 339-348.
- [31] 孙明露, 王宝增, 范海, 等. 叶片的花色素苷及其对植物适应环境的意义[J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(6): 688-694.
- [32] Springob K, Nakajima J, Yamazaki M, et al. Recent advances in the biosynthesis and accumulation of anthocyanins[J]. Nat. Prod. Rep., 2003, 20: 288-303.
- [33] Mura K, Wilkins D. Natural red color derived from red cabbage[J]. Food Technol., 1990, 44: 131.

## Advances in Anthocyanins of Potatoes

LU Qi-neng<sup>1,2</sup>, YANG Qing<sup>2</sup>

(1. School of Life Sciences Resources and Environment Sciences Yichun University, Jiangxi 336000, China; 2. Department of Biochemistry and Molecular Biology, College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Potato (*Solanum tuberosum*) is the important crop in the world. There are different colors, e.g., white, red and purple in potato tubers. Anthocyanins are key factors that determine tuber color. As natural pigments, they have been used in foods, pharmaceuticals and cosmetics. This paper describes advances of anthocyanins of potatoes in the distribution, category, chemical composition, chemical structure, methods of isolate and identify, chemical and physical character, physiological function and application. The effect of light, temperature and other external factors on anthocyanin synthesis in potatoes are summarized. The changes of anthocyanin in potatoes are introduced during development and storage of colored potato tubers.

**Key words:** Anthocyanin; Potato (*Solanum tuberosum*); Tuber color; Natural pigments