

68 份紫肉甘薯品种资源花青苷组分分析与评价

赵凌霄¹, 邓逸桐^{1,2}, 衡曦彤³, 程娟³, 袁博², 赵冬兰¹, 戴习彬¹, 周志林¹, 曹清河^{1,2}

(¹ 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 徐州 221131; ² 江苏师范大学生命科学学院, 徐州 221116;

³ 中国矿业大学化工学院, 徐州 221116)

摘要: 为了解紫肉甘薯中花青苷的组分构成及多样性分布, 以来自国内外多家培育单位的 68 份紫肉甘薯品种资源为试验材料, 利用液质联用技术测定了 6 类共计 68 种花青苷的含量。结果表明, 6 类花青苷中, 矢车菊类和芍药类花青苷的含量较高, 分布范围较广, 天竺葵类花青苷的含量整体最低, 分布范围最狭窄。相关性分析结果表明, 检测到花青苷的总含量和矢车菊类、芍药类及矮牵牛类花青苷的含量均呈极显著正相关。系统聚类分析结果表明, 68 份紫肉甘薯品种资源被聚为 6 个类群, 其中第 II 类群 6 类花青苷的含量均较高, 第 IV 类群各类花青苷的含量均较低。68 种花青苷在 68 份紫肉甘薯品种中的检出情况表明, 有 7 种花青苷能够在全部的紫肉甘薯品种中检出, 10 种只能在少于 50 份的材料中检出。68 种花青苷含量的相关性分析结果表明, 每类花青苷中均有几种花青苷的含量相等或呈极显著正相关。本研究通过对紫肉甘薯品种资源花青苷组分构成及多样性的分析与评价, 筛选出 6 类花青苷含量较高的紫肉甘薯品种 3 份, 单类花青苷含量较高的品种 7 份, 为优质甘薯的推广和后续优质品种的选育提供了材料基础。

关键词: 紫肉甘薯; 花青苷; 保健价值; 矢车菊素; 芍药素; 天竺葵素

Analysis and Evaluation of Anthocyanin Components of 68 Purple-Fleshed Sweetpotato Accessions

ZHAO Ling-xiao¹, DENG Yi-tong^{1,2}, HENG Xi-tong³, CHENG Juan³, YUAN Bo²,

ZHAO Dong-lan¹, DAI Xi-bin¹, ZHOU Zhi-lin¹, CAO Qing-he^{1,2}

(¹ Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in Xuhuai Region of Jiangsu, Xuzhou 221131;

² School of Life Sciences, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116; ³ School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116)

Abstract: To understand the composition and diversity distribution of anthocyanins in purple-fleshed sweetpotato, 68 domestic and exotic purple-fleshed sweetpotato accessions were subjected for analyzing the content of 68 anthocyanins in 6 categories using LC-MS. The results showed that in six categories of anthocyanins, cyanidin and peonidin had higher content and wider distribution ranges, while pelargonidin had the lowest content and the narrowest overall distribution range. The significant positive correlation was detected between the total content of anthocyanins with the content of cyanidin, peonidin and petunidin, respectively. Systematic cluster analysis showed that the 68 purple-fleshed sweetpotato accessions were clustered into 6 groups, among which the content of all 6 categories of anthocyanins were higher in group II and lower in group IV. Seven

收稿日期: 2021-02-22 修回日期: 2021-03-21 网络出版日期: 2021-04-14

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210222002>

第一作者研究方向为甘薯品质分析, E-mail: Zhaolxiao2019@163.com

通信作者: 曹清河, 研究方向为甘薯种质创新与基因组学, E-mail: caoqinghe@jaas.ac.cn

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD1000705, 2018YFD1000700); 现代农业产业技术体系专项资金资助 (CARS-10-B1); 江苏省根茎类作物种质资源库 (JSGB2018-03); 新疆维吾尔自治区优秀青年科技人才培养项目 (2018Q41); 徐州市科技项目 (KC19243)

Foundation projects: National Key Research and Development Program of China (2018YFD1000705, 2018YFD1000700), Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-10-B1), Jiangsu Root & Tuber Crop Germplasm Resource Genebank Fund (JSGB2018-03), Excellent Young Scientific and Technological Talents Training Project of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2018Q41), Xuzhou Science and Technology Project (KC19243)

anthocyanins were detected in all purple-fleshed sweetpotato varieties, whereas ten were detected in less than 50 varieties, respectively. Correlation analysis of the 68 anthocyanins showed that several anthocyanins in each category had equal content or showed highly significant positive correlation. Collectively, this study evaluated the composition and diversity distribution of anthocyanins composition of purple-fleshed sweetpotato accessions, and identified three purple-fleshed sweetpotato varieties with high content of 6 categories of anthocyanins and 7 varieties with high content of single type of anthocyanin. These materials are valuable for the promotion of high-quality sweetpotato and the subsequent selection and breeding of high-quality varieties.

Key words: purple-fleshed sweetpotato; anthocyanins; health care value; cyanidin; peonidin; pelargonidin

紫肉甘薯 (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) 的花青素不仅具有良好的抗氧化效果, 还兼具降血糖、抑制肥胖、抗肿瘤、保护神经和护肝等多种保健作用, 因此在人类食品和健康领域有着巨大的发展潜力^[1]。花青素属于黄酮类化合物, 广泛地分布在植物体的多种器官中, 自然状态下通常通过糖苷键与糖形成花青苷, 还可以通过酯键结合芳香酸或脂肪酸以酰基化的形式存在, 酰基化能够避免花青素母核阳离子受到水的影响而失色, 因此稳定性较高, 便于提取和利用^[2-3]。目前自然界中已知的花青苷超过 550 种, 主要包括矢车菊类、天竺葵类、飞燕草类、芍药类、矮牵牛类和锦葵类花青苷等 6 大类, 其中矢车菊类花青苷的分布最为广泛, 天竺葵类花青苷最少^[4-5]。据研究报道, 不同种类花青苷对人体具有一定的保健效果。Hou 等^[6]研究了花青素的抗肿瘤作用, 结果表明飞燕草类、矮牵牛类和矢车菊类花青苷能够有效抑制小鼠肿瘤细胞转移, 而另外 3 种花青苷抑制肿瘤细胞转移的效果不明显。Fronc 等^[7]研究了紫肉甘薯花青苷的抗氧化活性, 认为芍药素-3-咖啡酰对羟基苯甲酰槐糖苷-5-O-葡萄糖苷是其抗氧化活性较高的原因。但是方仕等^[8]和 Pratheeshkumar 等^[9]的研究却表明, 矢车菊类花青苷在动物体内的抗氧化作用同样显著, 因此能够看出不同种类花青苷均具有显著的抗氧化活性。Jang 等^[10]纯化了紫肉甘薯的 12 种花青苷, 并分析了它们的生理功能, 提出矢车菊素-3-咖啡酸-对羟基苯甲酰槐糖苷-5-葡萄糖苷能够抑制肝糖分泌和降血糖。综上, 紫肉甘薯中花青苷的种类和含量影响着紫肉甘薯的保健效果, 因此了解紫肉甘薯中不同种类花青苷的含量与多样性分布对于紫肉甘薯品种资源的评价和利用具有重要意义。

闫会等^[11]和黄静玮等^[12]研究了单一品种紫肉甘薯中花青苷的总含量, 发现生育期和肥料都能够影响花青苷在块根中的积累量。毛建霏等^[13]借助高效液相色谱仪建立了一种花青素的定量检测方

法, 实现了紫肉甘薯中矢车菊类和芍药类花青苷的定量检测。Oliveira 等^[14]和张毅等^[15]利用液质联用技术解析了一种或多种紫肉甘薯内花青素的组分, 均鉴定出了 11 种芍药类和矢车菊类花青苷, 但是其他种类花青苷未能检测到。综上所述, 关于紫肉甘薯花青苷的研究已经得到足够的重视, 但是已有的报道主要研究紫肉甘薯花青苷的总含量或者某类花青苷组分的含量, 且选择的试验材料通常较少, 因此不能较全面地阐明紫肉甘薯中花青苷的种类及其含量。本研究选择了来源于中国和国外多个培育单位的 68 份紫肉甘薯品种资源作为试验材料, 借助液质联用仪测定了块根中 6 类共 68 种花青苷的含量, 并进行了含量分布和相关性等分析, 以期对紫肉甘薯的推广和优质新品种的选育提供理论依据和材料支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择多个培育单位的 68 份紫肉甘薯品种为试验材料 (表 1), 按照田间常规栽培管理措施于 2018 年在海南省文昌市栽插, 种植 4 个月后收获。

1.2 甘薯鲜样中 68 种花青苷含量的测定

甘薯鲜样中花青苷组分和含量的测定借助液相-高分辨质谱, 参考宋亚等^[16]和 Wang 等^[17]的方法进行。取 3 个新鲜薯块, 去皮后均匀切丝并混匀, 称取约 6 g, 准确记录重量, 置于约 35 mL 提取液 (100 mL 丙酮+300 mL 甲醇+4 mL 甲酸) 中, 在家用型破壁机 (中国美的公司, 型号 MJ-WBL25B36) 中以最大档位打磨约 5 s, 重复 3 次, 确保充分搅碎。借助 100 mL 小烧杯全部转移至 50 mL 离心管中, 再加 3 滴甲酸, 常温超声 15 min。在 6000 r/min, 4 °C 条件下离心 20 min, 将上清全部转移至 500 mL 旋转瓶中, 在旋转蒸发仪 (日本东京理化公司, 型号 N-1300D-WB) 上进行浓缩, 水浴锅温度设置为 40 °C, 直至色素-提取液混合液浓缩至 2 mL, 转移 800 μ L 至棕色上样瓶中上机检测。

表 1 68 份紫肉甘薯种质资源培育地点

Table 1 Breeding units of 68 purple-fleshed sweetpotato accessions

样品编号 Sample code	样品名称 Sample name	来源地 Origin	样品编号 Sample code	样品名称 Sample name	来源地 Origin
1	阜紫薯 1 号	中国安徽	35	徐紫薯 5 号	中国江苏
2	皖 YW-36-1	中国安徽	36	徐紫薯 6 号	中国江苏
3	福宁紫 3 号	中国福建	37	徐紫薯 8 号	中国江苏
4	福宁紫 4 号	中国福建	38	济 10216	中国山东
5	福薯 24 号	中国福建	39	济 10270	中国山东
6	福薯 404	中国福建	40	济黑 2 号	中国山东
7	龙津薯 3 号	中国福建	41	济农 290	中国山东
8	龙紫薯 6 号	中国福建	42	济农 51	中国山东
9	莆紫薯 3 号	中国福建	43	济紫 1 号	中国山东
10	泉紫薯 96	中国福建	44	泰中 11 号	中国山东
11	广紫薯 10 号	中国广东	45	烟紫薯 2 号	中国山东
12	广紫薯 11 号	中国广东	46	烟紫薯 3 号	中国山东
13	广紫薯 1 号	中国广东	47	秦紫薯 2 号	中国陕西
14	广紫薯 2 号	中国广东	48	秦紫薯 3 号	中国陕西
15	广紫薯 8 号	中国广东	49	川紫薯 2 号	中国四川
16	广紫薯 9 号	中国广东	50	川紫薯 4 号	中国四川
17	防薯 9 号	中国广西	51	南紫 018	中国四川
18	桂经薯 6 号	中国广西	52	南紫 08	中国四川
19	桂经薯 8 号	中国广西	53	南紫薯 014	中国四川
20	桂经薯 9 号	中国广西	54	南紫薯 015	中国四川
21	桂紫薯 3 号	中国广西	55	内渝紫 2 号	中国四川
22	贵阳紫薯	中国贵州	56	衢紫薯 57 号	中国浙江
23	儋州紫	中国海南	57	浙紫薯 1 号	中国浙江
24	临高半紫	中国海南	58	渝紫薯 7 号	中国重庆
25	三亚 3 号	中国海南	59	渝紫香 10 号	中国重庆
26	冀紫薯 1 号	中国河北	60	渝苏紫 43 号	中国重庆
27	冀紫薯 2 号	中国河北	61	渝紫薯 3 号	中国重庆
28	漯紫薯 1 号	中国河南	62	渝紫薯 6 号	中国重庆
29	商徐紫 1 号	中国河南	63	安哥拉 1 号	安哥拉
30	鄂紫薯 13 号	中国湖北	64	赤几紫	赤道几内亚
31	汝城小紫	中国湖南	65	韩紫	韩国
32	宁紫薯 5 号	中国江苏	66	绫紫	日本
33	徐紫薯 2 号	中国江苏	67	日本黑	日本
34	徐紫薯 3 号	中国江苏	68	紫罗兰	日本

液相 - 高分辨质谱: (1) 液相部分: HPLC 1260 system (美国安捷伦公司), 流动相为: 甲醇 / 乙腈 (1 : 1, A) - 水 (B) 梯度洗脱, 程序为: 0~10 min, B 体积比保持 50%, 10~15 min, B 体积比由 50% 升至 80%, 15~24 min, B 体积比由 80% 升至 100%, 24~30 min, B 体积比保持 100%, 31 min, B 体积比

降至 50%; 色谱柱为: Altantis T3, 2.1 × 150 mm, 3 μm (美国沃特斯公司)。(2) 质谱部分: AB SCIEX 4600 Triple MS (美国 AB 公司), TSI 离子源正离子模式, 离子源电压为 5500 V, 温度为 600 °C, 碰撞电压为 30 eV, 扫描离子范围为 50~1500 m/z, 以矢车菊素单体为内标, 共测得 68 种花青苷 (表 2)。

本研究中测定花青苷含量时以甘薯鲜样为样品。由于本研究所涉及分析样品的体积较大,为保证测试结果的准确性,分析时将重复样本进行了混合,同时样品平行测定了 3 次,取平均值,且误差不超过 5% 用作最后数据。

本研究中的标准曲线方程为:

$$Y=4218.124X-1877.159, R^2=0.9997$$

其中, Y 为强度值, X 为样品浓度(单位为 $\mu\text{g/mL}$)。

1.3 数据处理

液相 - 高分辨质谱部分数据使用 AB PEAKVIEW

表 2 测定的 68 种花青苷

Table 2 68 types of anthocyanins measured in this study

编号 Code	花青苷名称 Anthocyanin name	分子式 Formula	编号 Code	花青苷名称 Anthocyanin name	分子式 Formula
1	矢车菊类花青素单体	$\text{C}_{15}\text{H}_{11}\text{O}_6$	35	锦葵类花青素 3-O-(6"-乙酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{23}\text{H}_{27}\text{O}_{13}$
2	矢车菊类花青素 3, 5-O-二葡萄糖苷	$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_{16}$	36	锦葵类花青素 3-O-(6"-咖啡酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{32}\text{H}_{31}\text{O}_{15}$
3	矢车菊类花青素 3-O-(6"-乙酰半乳糖苷)	$\text{C}_{23}\text{H}_{23}\text{O}_{12}$	37	锦葵类花青素 3-O-(6"-香豆酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{32}\text{H}_{31}\text{O}_{14}$
4	矢车菊类花青素 3-O-(6"-乙酰葡萄糖苷)	$\text{C}_{23}\text{H}_{23}\text{O}_{12}$	38	锦葵类花青素 3-O-阿拉伯糖苷	$\text{C}_{22}\text{H}_{23}\text{O}_{11}$
5	矢车菊类花青素 3-O-(6"-咖啡酰葡萄糖苷)	$\text{C}_{30}\text{H}_{27}\text{O}_{14}$	39	氯化锦葵类花青素 3-O-半乳糖苷	$\text{C}_{23}\text{H}_{25}\text{ClO}_{12}$
6	矢车菊类花青素 3-O-(6"-二草酰葡萄糖苷)	$\text{C}_{25}\text{H}_{20}\text{O}_{17}$	40	锦葵类花青素 3-O-葡萄糖苷	$\text{C}_{23}\text{H}_{25}\text{O}_{12}$
7	矢车菊类花青素 3-O-(6"-丙二酰-3"-葡萄糖苷)	$\text{C}_{30}\text{H}_{33}\text{O}_{19}$	41	天竺葵类花青素单体	$\text{C}_{15}\text{H}_{11}\text{O}_5$
8	矢车菊类花青素 3-O-(6"-丙二酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{24}\text{H}_{23}\text{O}_{14}$	42	氯化天竺葵类花青素 3, 5-O-二葡萄糖苷	$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{ClO}_{15}$
9	矢车菊类花青素 3-O-(6"-香豆酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{30}\text{H}_{27}\text{O}_{13}$	43	天竺葵类花青素 3-O-(6"-丙二酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{24}\text{H}_{23}\text{O}_{13}$
10	矢车菊类花青素 3-O-(6"-丁二酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{25}\text{H}_{25}\text{O}_{14}$	44	天竺葵类花青素 3-O-(6"-丁二酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{25}\text{H}_{25}\text{O}_{13}$
11	矢车菊类花青素 3-O-阿拉伯糖苷	$\text{C}_{20}\text{H}_{19}\text{O}_{10}$	45	天竺葵类花青素 3-O-阿拉伯糖苷	$\text{C}_{20}\text{H}_{19}\text{O}_9$
12	矢车菊类花青素 3-O-半乳糖苷	$\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_{11}$	46	天竺葵类花青素 3-O-半乳糖苷	$\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_{10}$
13	矢车菊类花青素 3-O-葡萄糖苷	$\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_{11}$	47	天竺葵类花青素 3-O-葡萄糖苷	$\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_{10}$
14	矢车菊类花青素 3-O-葡萄糖-芸香糖苷	$\text{C}_{33}\text{H}_{41}\text{O}_{20}$	48	天竺葵类花青素 3-O-葡萄糖-芸香糖苷	$\text{C}_{33}\text{H}_{41}\text{O}_{19}$
15	矢车菊类花青素 3-O-芸香糖苷	$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_{15}$	49	天竺葵类花青素 3-O-芸香糖苷	$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_{14}$
16	氯化矢车菊类花青素 3-O-桑布双糖苷	$\text{C}_{26}\text{H}_{29}\text{ClO}_{15}$	50	天竺葵类花青素 3-O-桑布双糖苷	$\text{C}_{26}\text{H}_{29}\text{O}_{14}$
17	矢车菊类花青素 3-O-桑布双糖苷 5-O-葡萄糖苷	$\text{C}_{32}\text{H}_{39}\text{O}_{20}$	51	天竺葵类花青素 3-O-槐糖苷	$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_{15}$
18	矢车菊类花青素 3-O-槐糖苷	$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_{16}$	52	芍药类花青素单体	$\text{C}_{16}\text{H}_{13}\text{O}_6$
19	矢车菊类花青素 3-O-木糖苷	$\text{C}_{20}\text{H}_{19}\text{O}_{10}$	53	芍药类花青素 3-O-(6"-乙酰-半乳糖苷)	$\text{C}_{24}\text{H}_{25}\text{O}_{12}$
20	矢车菊类花青素 3-O-木糖-芸香糖苷	$\text{C}_{32}\text{H}_{39}\text{O}_{19}$	54	芍药类花青素 3-O-(6"-乙酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{24}\text{H}_{25}\text{O}_{12}$
21	飞燕草类花青素 3, 5-O-二葡萄糖苷	$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_{17}$	55	芍药类花青素 3-O-(6"-香豆酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{31}\text{H}_{29}\text{O}_{13}$
22	飞燕草类花青素 3-O-(6"-乙酰-半乳糖苷)	$\text{C}_{23}\text{H}_{23}\text{O}_{13}$	56	芍药类花青素 3-O-阿拉伯糖苷	$\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_{11}$
23	飞燕草类花青素 3-O-(6"-乙酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{23}\text{H}_{23}\text{O}_{13}$	57	芍药类花青素 3-O-半乳糖苷	$\text{C}_{22}\text{H}_{23}\text{O}_{11}$
24	飞燕草类花青素 3-O-(6"-香豆酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{30}\text{H}_{27}\text{O}_{14}$	58	芍药类花青素 3-O-葡萄糖苷	$\text{C}_{22}\text{H}_{23}\text{O}_{11}$
25	飞燕草类花青素 3-O-阿拉伯糖苷	$\text{C}_{20}\text{H}_{19}\text{O}_{11}$	59	芍药类花青素 3-O-芸香糖苷	$\text{C}_{28}\text{H}_{33}\text{O}_{15}$
26	飞燕草类花青素 3-O-阿魏酰-葡萄糖苷	$\text{C}_{31}\text{H}_{29}\text{O}_{15}$	60	矮牵牛类花青素 3, 5-O-二葡萄糖苷	$\text{C}_{28}\text{H}_{33}\text{O}_{17}$
27	飞燕草类花青素 3-O-半乳糖苷	$\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_{12}$	61	矮牵牛类花青素 3-O-(6"-乙酰-半乳糖苷)	$\text{C}_{24}\text{H}_{25}\text{O}_{13}$
28	飞燕草类花青素 3-O-葡萄糖苷	$\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_{12}$	62	矮牵牛类花青素 3-O-(6"-乙酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{24}\text{H}_{25}\text{O}_{13}$
29	飞燕草类花青素 3-O-葡萄糖-葡萄糖苷	$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_{17}$	63	矮牵牛类花青素 3-O-(6"-香豆酰-葡萄糖苷)	$\text{C}_{31}\text{H}_{29}\text{O}_{14}$
30	飞燕草类花青素 3-O-芸香糖苷	$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_{16}$	64	矮牵牛类花青素 3-O-阿拉伯糖苷	$\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_{11}$
31	飞燕草类花青素 3-O-桑布双糖苷	$\text{C}_{26}\text{H}_{29}\text{O}_{16}$	65	矮牵牛类花青素 3-O-半乳糖苷	$\text{C}_{22}\text{H}_{25}\text{O}_{12}$
32	飞燕草类花青素 3-O-木糖苷	$\text{C}_{20}\text{H}_{19}\text{O}_{11}$	66	矮牵牛类花青素 3-O-葡萄糖苷	$\text{C}_{22}\text{H}_{23}\text{O}_{12}$
33	锦葵类花青素 3, 5-O-二葡萄糖苷	$\text{C}_{29}\text{H}_{35}\text{O}_{17}$	67	矮牵牛类花青素 3-O-鼠李糖苷	$\text{C}_{22}\text{H}_{23}\text{O}_{10}$
34	锦葵类花青素 3-O-(6"-乙酰-半乳糖苷)	$\text{C}_{25}\text{H}_{27}\text{O}_{13}$	68	矮牵牛类花青素 3-O-芸香糖苷	$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_{15}$

软件(美国 AB 公司)进行处理分析,使用 Microsoft Excel 2019 软件(美国微软公司)进行数据录入、整理和初步分析,IBM SPSS Statistics 19 软件(美国 IBM 公司)对数据进行相关性和聚类分析,OriginPro 9.0(美国 OriginLab 公司)和 Photoshop CS6(美国 Adobe 公司)软件进行图片处理。

2 结果与分析

2.1 68 份紫肉甘薯资源中 6 类花青苷总含量的分布

利用液质联用技术在 68 份紫肉甘薯种质材料中检测到 6 类共计 68 种花青苷,计算得到 6 类花青苷分别的总含量(表 3)。结果表明,6 类花青苷的总含量在 68 份紫肉甘薯材料中的分布规律存在差异(图 1)。

表 3 68 份紫肉甘薯种质资源中每类花青苷的总含量

Table 3 Total content of each category of anthocyanins in 68 purple-fleshed sweetpotato accessions (mg/100g)

编号 Code	矢车 菊类 Cy	芍药类 Pn	天竺 葵类 Pg	飞燕 草类 Dp	锦葵类 Mv	矮牵 牛类 Pt	编号 Code	矢车 菊类 Cy	芍药类 Pn	天竺 葵类 Pg	飞燕 草类 Dp	锦葵类 Mv	矮牵 牛类 Pt
1	0.26	0.15	0.21	0.21	0.73	0.16	35	0.69	1.45	0.21	0.17	0.61	0.26
2	0.69	0.46	0.17	0.21	0.18	0.28	36	0.36	0.15	0.20	0.22	0.76	0.09
3	0.31	0.30	0.21	0.20	0.37	0.16	37	0.32	0.42	0.17	0.16	0.40	0.13
4	0.31	0.19	0.17	0.16	0.31	0.15	38	0.49	0.90	0.19	0.20	0.61	0.19
5	0.36	0.21	0.19	0.20	0.37	0.09	39	0.43	0.45	0.20	0.23	0.63	0.21
6	0.37	0.15	0.21	0.21	0.67	0.15	40	2.13	2.57	0.23	0.22	0.83	0.81
7	0.83	1.24	0.14	0.18	0.47	0.33	41	0.56	0.38	0.18	0.19	0.36	0.20
8	0.44	0.43	0.21	0.20	0.37	0.20	42	0.39	0.46	0.21	0.15	0.44	0.17
9	0.36	0.17	0.19	0.20	0.31	0.13	43	0.50	0.49	0.22	0.37	0.55	0.26
10	0.43	0.22	0.15	0.16	0.38	0.17	44	0.40	0.23	0.19	0.27	0.40	0.14
11	0.30	0.09	0.20	0.64	0.42	0.10	45	0.27	0.28	0.20	0.20	0.41	0.16
12	0.36	0.34	0.23	0.16	0.49	0.18	46	0.33	0.21	0.17	0.24	0.49	0.13
13	0.33	0.22	0.17	0.21	0.78	0.13	47	0.37	0.51	0.27	0.20	0.43	0.18
14	1.23	2.42	0.25	0.35	1.04	0.43	48	0.32	0.29	0.19	0.19	0.35	0.15
15	0.48	0.46	0.23	0.22	0.43	0.16	49	0.34	0.29	0.17	0.19	0.32	0.15
16	0.33	0.25	0.20	0.21	0.59	0.09	50	0.46	0.53	0.23	0.27	0.53	0.19
17	0.40	0.43	0.19	0.20	0.49	0.12	51	0.47	0.59	0.14	0.19	0.71	0.20
18	2.24	2.41	0.20	0.25	0.79	0.69	52	0.43	0.28	0.19	0.23	0.42	0.17
19	1.53	1.00	0.23	0.43	0.26	0.42	53	0.61	0.80	0.25	0.15	0.56	0.21
20	0.29	0.21	0.11	0.19	0.39	0.14	54	0.48	0.61	0.21	0.19	0.59	0.16
21	0.33	0.16	0.16	0.19	0.42	0.12	55	0.81	1.67	0.23	0.20	0.65	0.32
22	0.31	0.15	0.12	0.26	0.24	0.11	56	0.28	0.25	0.16	0.20	0.67	0.13
23	0.45	0.15	0.21	0.18	0.26	0.16	57	0.33	0.21	0.16	0.16	0.24	0.15
24	0.41	0.28	0.22	0.18	0.17	0.17	58	1.22	0.70	0.18	0.23	0.21	0.49
25	0.52	0.23	0.16	0.22	0.22	0.19	59	0.34	0.20	0.14	0.21	0.39	0.16
26	0.72	0.30	0.25	0.27	0.32	0.28	60	0.34	0.31	0.16	0.21	0.43	0.20
27	0.43	0.62	0.15	0.24	0.65	0.22	61	0.37	0.19	0.14	0.18	0.83	0.17
28	0.35	0.36	0.25	0.22	0.45	0.20	62	0.73	0.29	0.38	0.27	0.49	0.38
29	0.34	0.32	0.15	0.20	0.56	0.18	63	0.41	0.49	0.17	0.18	0.32	0.20
30	0.41	0.42	0.16	0.17	0.42	0.16	64	0.38	0.68	0.21	0.15	0.57	0.14
31	0.48	0.52	0.22	0.13	0.36	0.18	65	0.30	0.22	0.12	0.22	0.24	0.15
32	0.32	0.52	0.17	0.19	0.26	0.09	66	0.44	0.78	0.21	0.16	0.61	0.23
33	0.38	0.51	0.21	0.18	0.46	0.15	67	0.26	0.11	0.12	0.48	0.10	0.13
34	0.50	0.52	0.16	0.24	0.26	0.19	68	0.29	0.22	0.15	0.21	0.53	0.10

Cy: Cyanidin, Pn: Peonidin, Pg: Pelargonidin, Dp: Delphinidin, Mv: Malvidin, Pt: Petunidin, the same as below

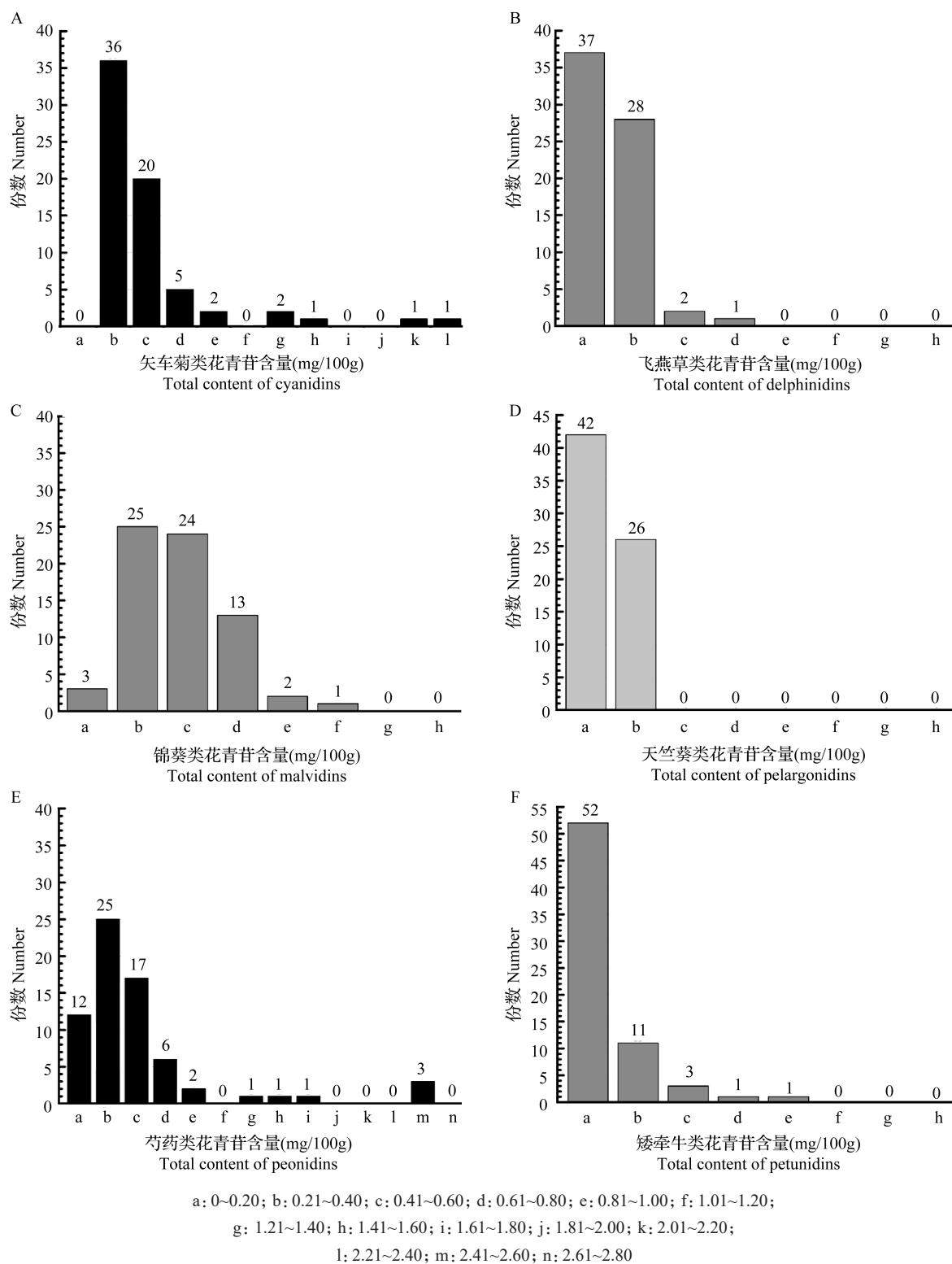


图1 68份紫肉甘薯种质资源中6类花青苷的总含量分布
Fig.1 Total content distribution of 6 categories of anthocyanins
in purple-fleshed sweetpotato accessions

矢车菊类和芍药类花青苷含量均较高, 含量分布范围也较广, 分别为 0.26~2.24 mg/100 g 和 0.09~2.57 mg/100 g (图 1A、E)。其中, 70% 以上紫肉甘薯品种二者的含量均集中在 0.20~0.80 mg/100 g 范围内, 桂经薯 6 号和济黑 2 号的矢车菊类和芍药类花青苷含量均在 2 mg/100 g 以上, 广紫薯 2 号的芍药类花青苷含量也在 2 mg/100 g 以上。天竺葵类花青苷的含量整体最低, 分布范围最狭窄 (0.11~0.38 mg/100 g), 在 0.11~0.20 mg/100 g 和 0.20~0.38 mg/100 g 范围内的紫肉甘薯种数占比类似 (图 1D), 其中渝紫薯 6 号的天竺葵类花青苷含量最高。飞燕草类花青苷的含量同样较低, 约 95% 的紫肉甘薯品种该花青苷含量集中在 0.13~0.37 mg/100 g 内 (图 1B), 其中广紫薯 10 号的飞燕草类花青苷含量最高。锦葵类花青苷的含量在 0.10~1.04 mg/100 g 范围内, 约 91% 的紫肉甘薯含有 0.21~0.79 mg/100 g 的锦葵类花青苷 (图 1C), 其中渝紫薯 3 号、广紫薯 2 号和济黑 2 号的含量均在 0.8 mg/100 g 以上。矮牵牛类花青苷含量为

0.09~0.81 mg/100 g, 约 76% 紫肉甘薯的矮牵牛类花青苷含量等于或低于 0.20 mg/100 g (图 1F), 其中桂经薯 6 号和济黑 2 号的矮牵牛类花青苷含量均在 0.5 mg/100 g 以上。

另外, 结合含量数据 (表 3), 广紫薯 2 号、桂经薯 6 号及济黑 2 号 6 类花青苷的含量均较高; 桂经薯 8 号、秦紫薯 2 号、日本黑、渝紫薯 3 号、渝紫薯 6 号、渝紫薯 7 号和广紫薯 10 号的单类花青苷含量同样较高 (各含量在所选 68 份紫肉甘薯品种的前 3 位)。

2.2 68 份紫肉甘薯资源中 6 类花青苷含量的相关性

相关性分析结果 (表 4) 表明, 测得花青苷的总含量与矢车菊类、芍药类、矮牵牛类和锦葵类花青苷分别的总含量呈极显著正相关。另外, 矢车菊类和芍药类、矮牵牛类花青苷的含量之间呈极显著正相关, 芍药类和锦葵类、矮牵牛类花青苷含量之间呈显著或极显著正相关。这表明本研究所选的试验材料中, 这 4 类花青苷的含量之间具有一定的关联, 且花青苷总含量的高低由这 4 类花青苷同时决定。

表 4 68 份紫肉甘薯种质资源 6 类花青苷含量的相关性分析
Table 4 Correlation analysis of content of 6 categories of anthocyanins in 68 purple-fleshed sweetpotato accessions

变量 Variable	花青苷总含量 AC	矢车菊类 Cy	芍药类 Pn	天竺葵类 Pg	飞燕草类 Dp	锦葵类 Mv
矢车菊类 Cy	0.873**					
芍药类 Pn	0.939**	0.845**				
天竺葵类 Pg	0.256*	0.284*	0.266*			
飞燕草类 Dp	0.162	0.176	0.043	0.078		
锦葵类 Mv	0.543**	0.288*	0.503**	0.225	-0.051	
矮牵牛类 Pt	0.850**	0.956**	0.828**	0.327**	0.133	0.301*

* 表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著, ** 表示在 $P<0.01$ 水平上差异显著
* indicated that the difference was significant at 0.05 level, ** indicated that the difference was significant at 0.01 level, AC: Anthocyanin content

2.3 紫肉甘薯品种资源聚类分析及综合评价

基于 6 类花青苷检测到的含量和种数, 计算了各品种间的遗传距离 (欧氏距离), 利用类平均法 (UPGMA, unweighted pair-group method with arithmetic means) 在遗传距离为 16.57 处将 68 份紫肉甘薯聚为 6 个类群 (图 2)。第 I 类群包含 32 份种质材料, 其中, 来自中国安徽、中国陕西、安哥拉和赤道几内亚的紫肉甘薯品种全部分布在该类群中; 该类群的特点是天竺葵类和飞燕草类花青苷的含量整体偏高, 其余 4 类花青苷含量整体偏低; 主

要包含川紫薯 4 号、广紫薯 1 号、广紫薯 10 号和渝紫薯 6 号等典型品种。第 II 类群包含 2 份材料, 分别是广紫薯 2 号和济黑 2 号; 该类群材料 6 类花青苷的含量均较高, 其中芍药类和锦葵类花青苷的含量最高。第 III 类群包含 28 份材料, 其中来自中国湖北和中国湖南的材料全部分布在该类群中; 该类群材料的特点是 6 类花青苷的含量均中等, 主要包括福薯 24 号、莆紫薯 3 号、冀紫薯 2 号和渝紫香 10 号等。第 IV 类群包含 3 份材料, 分别是桂经薯 9 号、贵阳紫薯和韩紫, 该类群的特点是各类花

青苷的含量均较低。第 V 类群包含 1 份材料,为桂经薯 6 号,该品种的矢车菊和芍药类花青苷含量最高,其余 4 类含量也较高。第 VI 类群包含龙津薯 3 号和冀紫薯 1 号,二者的矢车菊类花青苷含量在所选材料中中等偏上,而其余 5 类花青苷的含量均较低。

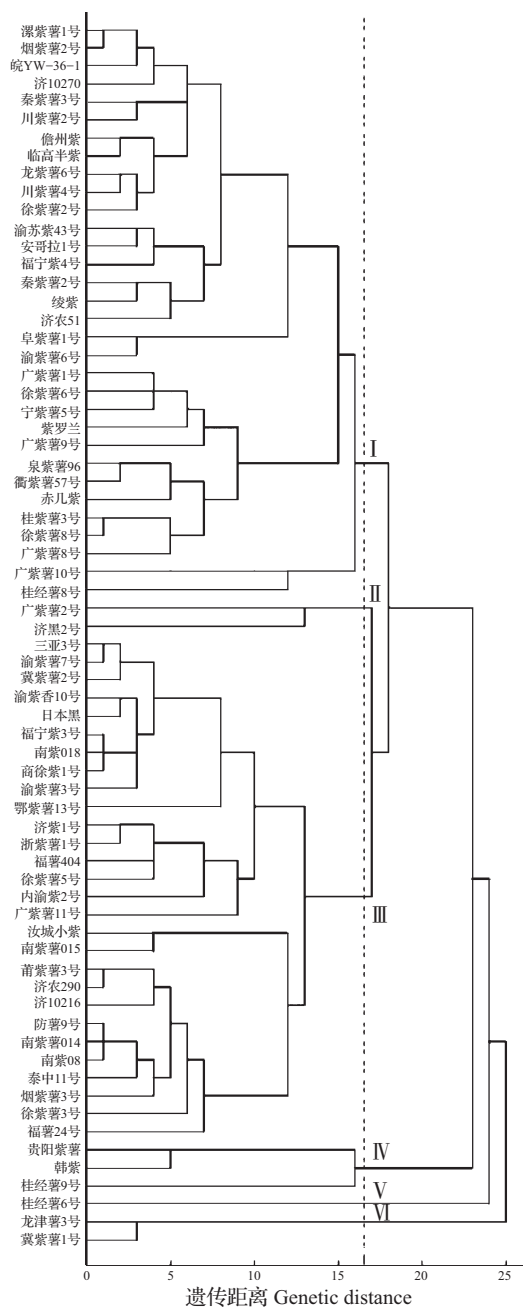


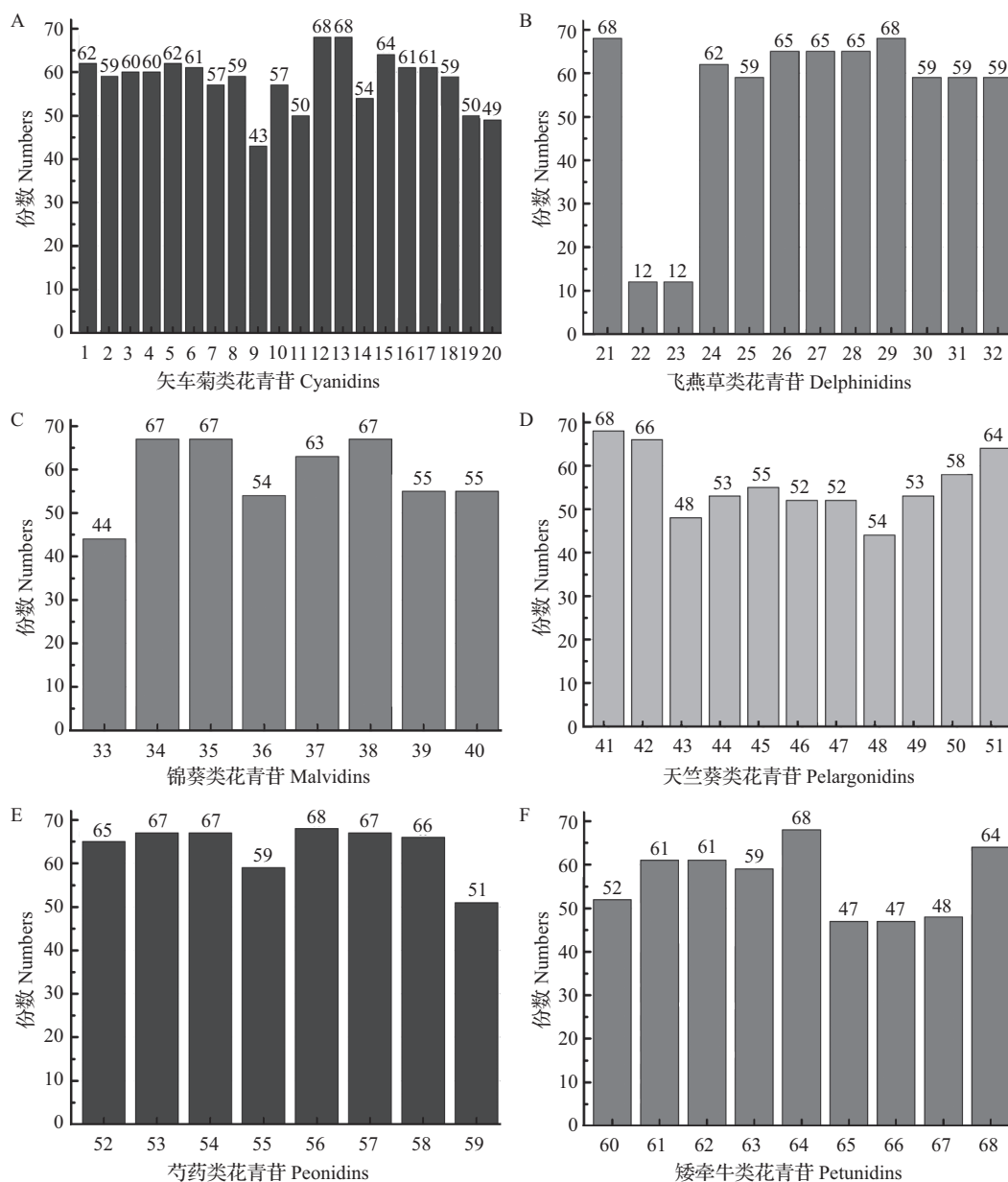
图2 68份紫肉甘薯种质资源基于6类花青苷含量的聚类分析

Fig.2 Cluster dendrogram of 68 purple-fleshed sweetpotato accessions based on 6 categories of anthocyanins

2.4 紫肉甘薯品种资源中 68 种花青苷的分布和含量的相关性

在 68 份紫肉甘薯品种块根中检测到 6 大类共计 68 种花青苷,其中矢车菊类花青苷 20 种,飞燕草类花青苷 12 种,锦葵类花青苷 8 种,天竺葵类花青苷 11 种,芍药类花青苷 8 种,矮牵牛类花青苷 9 种(表 2)。不同紫肉甘薯品种中检测到的花青苷种类存在差异(图 3)。其中,2 种矢车菊类花青苷(表 2, 12 和 13 号)、2 种飞燕草类花青苷(21 和 29 号)、1 种天竺葵类花青苷(41 号)、1 种芍药类花青苷(56 号)和 1 种矮牵牛类花青苷(64 号)能够在全部的紫肉甘薯品种中检测到。另外,还有 2 种矢车菊类花青苷(9 和 20 号)、2 种飞燕草类花青苷(22 和 23 号)、1 种锦葵类花青苷(33 号)、2 种天竺葵类花青苷(43 和 48 号)和 3 种矮牵牛类花青苷(65、66 和 67 号)均只能在少于 50 份材料中检测到。其中,22 号和 23 号 2 种飞燕草类花青苷的分布最狭窄,只能在 12 份材料中检测到。由上述试验结果分析表明,不同甘薯品种资源所含有的花青苷种类差异明显,说明基因型对紫肉甘薯花青素的影响较为显著。

根据 68 份紫肉甘薯品种 68 种花青苷的含量(详见 <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jjpr.20210222002>, 附表 1~6, 编号见表 2),进一步研究了花青苷含量之间的关系,结果表明,多种花青苷含量之间存在一定的相关性。其中,矢车菊类花青苷中,2 和 18 号、3 和 4 号、11 和 19 号、12 和 13 号花青苷的含量相同,1 号和 12、13 号花青苷含量间呈极显著正相关(相关系数均为: $r=0.928$, $P<0.01$)。飞燕草类花青苷中,21 和 29 号、22 和 23 号、25 和 32 号、27 和 28 号花青苷的含量相同。锦葵类花青苷中,34 和 35 号的含量相同。天竺葵类花青苷中,除广紫薯 11 号外,其余种质的 46 和 47 号的含量相同。芍药类花青苷中,除广紫薯 11 号外,另外 67 份紫肉甘薯种质的 53 和 54 号花青苷含量相同,52 号和 57、58 号花青苷含量间呈极显著正相关(相关系数分别为: $r=0.857$, $P<0.01$; $r=0.860$, $P<0.01$)。矮牵牛类花青苷中,61 和 62 号、65 和 66 号花青苷的含量相同。



1~68: 花青苷编号, 参照表 2

1-68: codes of anthocyanins according to Table 2

图 3 68 种花青苷在 68 份紫肉甘薯种质资源中的检出情况

Fig.3 The detection of 68 kinds of anthocyanins in 68 purple-fleshed sweetpotato accessions

3 讨论

虽然目前中国紫肉甘薯的种植面积较大,但是品种单一,且深加工技术滞后,导致市场价格偏低,制约着甘薯产业的发展^[17]。为解决上述问题,亟需对紫肉甘薯的营养保健价值进行全面分析,筛选出优质的种质资源进行推广及品种改良。紫肉甘薯的营养保健价值主要通过花青苷的种类和含量来体现,筛选出营养保健价值较高的甘薯品种作为育种亲本一直都是育种学家和消费者首要的关注内

容^[18-19]。虽然花青素会影响紫肉甘薯的甜度和风味,但是其保健功能不可或缺,因此花青素含量同样是紫肉甘薯重要的食用品质指标^[20]。为快速且准确地采集到甘薯样品的质谱信息,本研究选择液质联用仪(HPLC 1260 System+AB SCIEX TripleTOF 4600)作为检测平台,其中, TripleTOF 系统可以同时进行定性和定量分析,具有高分辨力、高灵敏度和高扫描速度等优势;再根据已经建立的数据库,实现对紫肉甘薯中 68 种花青苷的全面鉴定和含量分析,与已有的相关研究相比,所检测花青苷的种类更

加丰富^[21-22]。其次,为更多地发掘和利用优质甘薯种质资源,本研究选择了多家育种单位培育的 68 份紫肉甘薯品种资源,包括中国多个地区和热带、亚热带地区的其他国家,因此材料来源较广泛,保证了试验数据的准确性和客观性。

对 68 份紫肉甘薯品种资源 6 类花青苷含量的分析表明,与其他 4 类花青苷相比,矢车菊类和芍药类花青苷含量均较高,含量分布范围也较广。根据郭灵安等^[23]和张毅等^[15]的研究报道,矢车菊类和芍药类花青苷在紫肉甘薯中的含量较高,检测过程中最容易被检测到,因此与本研究结论相吻合。参照季蕾蕾等^[24]和沈升法等^[25]基于甘薯品质性状对甘薯种质资源进行系统聚类的手段,本研究基于 6 类花青苷的含量将所选 68 份紫肉甘薯品种资源聚为 6 个类群,并根据各类群材料中花青苷的种类和含量分析其营养保健效果。其中第 I 类群甘薯品种的天竺葵类和飞燕草类花青苷的含量较高,因此能够用于抑制癌症病人肿瘤细胞的转移^[6];第 II 类群材料的 6 类花青苷含量均较高,抑制肿瘤细胞转移和抗氧化效果均较为突出^[6-7];第 III 类群材料的 6 类花青苷含量均中等,同样具有一定的营养保健效果;第 IV 类群的特点是各类花青苷的含量均较低,因此认为其营养保健价值较低;第 V 类群 6 类花青苷含量均较高,因此多种保健效果显著^[7-9];第 VI 类群的矢车菊类花青苷含量较高,因此具有突出的降血糖和抗氧化效用^[8-10]。结合聚类分析,筛选出 6 类花青苷含量或单类花青苷含量较高的优质紫肉甘薯品种 10 份,能够用作选育总花青苷或某类花青苷含量较高紫肉甘薯新品种的亲本材料,为优质品种的推广和优良品种的选育提供了材料支撑。结合紫肉甘薯深加工和成分提取技术的改进,有望进一步助力甘薯产业的发展。

参考文献

- [1] 靳艳玲,丁凡,刘国强,赵海. 紫甘薯花青素的成分特点及产品研发. 粮食与饲料工业, 2020(4): 38-43
Jin Y L, Ding F, Liu G Q, Zhao H. Composition characteristics and product development of anthocyanin of purple sweet potato. Cereal & Feed Industry, 2020(4): 38-43
- [2] 毛建霏,付成平,郭灵安,仲伶俐,雷绍荣. 可见分光光度法测定紫甘薯总花青素含量. 食品与发酵科技, 2010, 46(2): 101-104
Mao J F, Fu C P, Guo L A, Zhong L L, Lei S R. Determination of total anthocyanidins in purple sweet potato by vis spectrophotometry. Food and Fermentation Technology, 2010, 46(2): 101-104
- [3] Bolivar A C, Luis C. Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. Food Chemistry, 2004, 86(1): 69-77
- [4] 彭祖茂,邓梦雅,严虞虞,朱丽,张协光. 植物中花青素含量测定及种类分布研究. 食品研究与开发, 2018, 39(17): 100-104
Peng Z M, Deng M Y, Yan Y Y, Zhu L, Zhang X G. Study on the determination of anthocyanin content and its species distribution in plants. Food Research and Development, 2018, 39(17): 100-104
- [5] 刘迪,张浩,张寒雪,冯宪敏. 花青素和矢车菊素的生物活性及抗氧化功能研究进展. 吉林医药学院学报, 2021, 42(1): 58-60
Liu D, Zhang H, Zhang H X, Feng X M. Research progress on the biological activity and antioxidant function of anthocyanin and cyanidin. Journal of Jilin Medical University, 2021, 42(1): 58-60
- [6] Hou D X, Kai K, Li J J, Lin S G, Terahara N, Wakamatsu M, Fujii M, Young M R, Colburn N. Anthocyanidins inhibit activator protein 1 activity and cell transformation: structure-activity relationship and molecular mechanisms. Carcinogenesis, 2004, 25(1): 29-36
- [7] Frond A D, Iuhas C I, Stirbu I, Leopold L, Socaci S, Andreea S, Ayvaz H, Andreea S, Mihai S, Diaconeasa Z, Carmen S. Phytochemical characterization of five edible purple-reddish vegetables: anthocyanins, flavonoids, and phenolic acid derivatives. Molecules, 2019, 24(8): 1536.
- [8] 方仕,罗小琴,吴晓滨,麦海妍,彭俊生,卢味,卓淑雨,叶艳彬. 矢车菊素-3-葡萄糖苷通过降低 STAT3 活化抑制 TNF- α 诱导的小鼠血管平滑肌细胞增殖. 中山大学学报: 医学科学版, 2012, 33(6): 716-722
Fang S, Luo X Q, Wu X B, Mai H Y, Peng J S, Lu W, Zhuo S Y, Ye Y B. Cyanidin-3-glucoside inhibits TNF- α -induced mouse vascular smooth muscle cells proliferation through suppression of STAT3 activation. Journal of Sun Yat-Sen University: Medical Sciences Edition, 2012, 33(6): 716-722
- [9] Pratheeshkumar P, Son Y O, Wang X, Divya S P, Joseph B, Hitron J A, Wang L, Kim D, Yin Y Q, Roy R V, Lu J, Zhang Z, Wang Y T, Shi X L. Cyanidin-3-Glucoside inhibits UVB-induced oxidative damage and inflammation by regulating MAP kinase and NF- κ B signalling pathways in SKH-1 hairless mice skin. Toxicology and Applied Pharmacology, 2014, 280(1): 127-137
- [10] Jang H H, Kim H W, Kim S Y, Kim S M, Kim J B, Lee Y M. *In vitro* and *in vivo* hypoglycemic effects of cyanidin 3-caffeoyl-p-hydroxybenzoylsophoroside-5-glucoside, an anthocyanin isolated from purple-fleshed sweet potato. Food Chemistry, 2019, 272: 688-693
- [11] 闫会,张允刚,刘亚菊,王欣,后猛,唐维,马代夫,李强. 生育期对徐紫薯 8 号品质及结薯性的影响. 江苏农业学报, 2019, 35(1): 9-14
Yan H, Zhang Y G, Liu Y J, Wang X, Kou M, Tang W, Ma D F, Li Q. Effects of growth stage on quality and tuber traits of new sweet potato cultivar Xuzishu8. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2019, 35(1): 9-14
- [12] 黄静玮,屈会娟,沈学善,李明,冯俊彦,谭文芳. 不同形态钾肥对川紫薯 2 号花青素合成及其关键酶活性的影响. 江苏

- 农业学报, 2020, 36(6): 1382-1388
- Huang J W, Qu H J, Shen X S, Li M, Feng J Y, Tan W F. Effects of different forms of potassium on the anthocyanin synthesis and the key enzymes activities of Chuanzishu 2. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2020, 36(6): 1382-1388
- [13] 毛建霏, 周虹, 雷绍荣, 郭灵安, 欧阳华学, 代晓航. 高效液相色谱法测定紫甘薯花青素含量. 西南农业学报, 2012, 25(1): 123-127
- Mao J F, Zhou H, Lei S R, Guo L A, Ouyang H X, Dai X H. Detection of anthocyanins content in purple sweet potato by high performance liquid chromatographic. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2012, 25(1): 123-127
- [14] Oliveira H, Perez-Gregório R, de Freitas V, Mateus N, Fernandes I. Comparison of the *in vitro* gastrointestinal bioavailability of acylated and non-acylated anthocyanins: Purple-fleshed sweet potato vs red wine. Food Chemistry, 2019, 276: 410-418
- [15] 张毅, 孔秀林, 王洪云, 孙健, 朱红, 岳瑞雪, 张文婷, 钮福祥. 不同品种紫甘薯花色苷含量与组分分析. 江苏师范大学学报: 自然科学版, 2019, 37(2): 26-30
- Zhang Y, Kong X L, Wang H Y, Sun J, Zhu H, Yue R X, Zhang W T, Niu F X. Content and composition analysis of anthocyanins in different purple sweetpotatoes cultivars. Journal of Jiangsu Normal University: Natural Science Edition, 2019, 37(2): 26-30
- [16] 宋亚, 方佳宁, 朱祝军, 杨静. 鲜切红菜薹中有机酸和花青苷在货架贮藏过程中的变化. 食品工业科技, 2016, 37(20): 300-305
- Song Y, Fang J N, Zhu Z J, Yang J. Changes in organic acids and anthocyanins contents during shelf storage of fresh-cut Purple Caitai (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* L. var. *purpurea* Bailey). Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(20): 300-305
- [17] Wang A M, Li R S, Ren L, Gao X L, Zhang Y G, Ma Z M, Ma D F, Luo Y H. A comparative metabolomics study of flavonoids in sweet potato with different flesh colors (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Food Chemistry, 2018, 260: 124-134
- [18] 谢一芝, 郭小丁, 贾赵东, 马佩勇, 边小峰. 紫心甘薯育种现状及展望. 植物遗传资源学报, 2012, 13(5): 709-713
- Xie Y Z, Guo X D, Jia Z D, Ma P Y, Bian X F. Progresses and prospects on purple-fleshed sweetpotato breeding. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(5): 709-713
- [19] 张道微, 董芳, 黄艳岚, 周虹, 张亚, 张超凡. 甘薯种质资源花青素积累的遗传多态性分析. 植物遗传资源学报, 2019, 20(2): 347-358
- Zhang D W, Dong F, Huang Y L, Zhou H, Zhang Y, Zhang C F. Genetic diversity analysis of anthocyanin accumulation in sweetpotato accessions. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(2): 347-358
- [20] 沈升法, 吴列洪, 李兵. 紫肉甘薯部分营养成分与食味的关联分析. 中国农业科学, 2015, 48(3): 555-564
- Shen S F, Wu L H, Li B. Association analysis between part nutritional compositions and taste of purple-fleshed sweetpotato. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(3): 555-564
- [21] 邹波, 曾丹, 吴继军, 余元善, 肖更生, 徐玉娟. 不同品种紫肉甘薯抗氧化能力及花色苷成分分析. 食品科学, 2018, 39(2): 38-44
- Zou B, Zeng D, Wu J J, Yu Y S, Xiao G S, Xu Y J. Antioxidant capacity and anthocyanins of purple-fleshed sweet potato cultivars. Food Science, 2018, 39(2): 38-44
- [22] 黄彪, 韦航, 李国良, 何明燕, 吴建鸿, 林香信. 不同品种紫薯抗氧化物质及体外抗氧化活性比较. 食品工业科技, 2020, 41(24): 226-231
- Huang B, Wei H, Li G L, He M Y, Wu J H, Lin X X. Comparative analysis of antioxidant compounds and antioxidant activities *in vitro* of different purple sweet potato varieties. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(24): 226-231
- [23] 郭灵安, 毛建霏, 雷绍荣, 游米沙. 紫甘薯花色苷水解条件研究. 食品与发酵科技, 2012, 48(3): 81-85
- Guo L A, Mao J F, Lei S R, You M S. Hydrolyzing study of anthocyanins from purple sweet potato. Food and Fermentation Technology, 2012, 48(3): 81-85
- [24] 季蕾蕾, 孙红男, 木泰华. 12 种甘薯淀粉产品的理化和卫生指标分析. 食品科技, 2019, 44(3): 245-255
- Ji L L, Sun H N, Mu T H. Analysis of physicochemical and hygienic indexes of 12 different kinds of sweet potato starch products. Food Science and Technology, 2019, 44(3): 245-255
- [25] 沈升法, 项超, 吴列洪, 李兵, 罗志高. 浙江省甘薯种质资源的品质鉴定与聚类分析. 植物遗传资源学报, 2021, 22(1): 247-259
- Shen S F, Xiang C, Wu L H, Li B, Luo Z G. Quantification and cluster analysis of quality-related traits in sweetpotato accessions in Zhejiang province. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(1): 247-259

附表 1 68 份紫肉甘薯品种 20 种矢车菊类花青苷的含量

Attached List 1 Contents of 20 kinds of cyanidins in 68 purple-fleshed sweetpotato accessions

样品 品种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00
2	0.16	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.00	0.14	0.14	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02
3	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
4	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
5	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
6	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
7	0.10	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.17	0.17	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01
8	0.04	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.08	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
9	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.00	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
10	0.05	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.07	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00
11	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.04	0.00	0.02	0.02	0.02
12	0.00	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
13	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
14	0.18	0.00	0.06	0.06	0.16	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.24	0.24	0.02	0.08	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02
15	0.00	0.04	0.02	0.02	0.06	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.03	0.02	0.06	0.06	0.02	0.04	0.00	0.00
16	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
17	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
18	0.71	0.03	0.07	0.07	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.56	0.02	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02	0.00
19	0.32	0.15	0.02	0.02	0.08	0.02	0.02	0.04	0.02	0.00	0.00	0.32	0.32	0.03	0.02	0.00	0.02	0.15	0.00	0.00
20	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01
21	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
22	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00
23	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.04	0.04	0.02	0.02	0.11	0.02	0.02	0.00	0.02
24	0.07	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.06	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02
25	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.12	0.02	0.02	0.02	0.02
26	0.04	0.08	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.03	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.14	0.05	0.02	0.08	0.02	0.02
27	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
28	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
29	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00
30	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.05	0.02	0.00	0.02	0.02
31	0.04	0.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
32	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02
33	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.04	0.04	0.02	0.02	0.08	0.02	0.02	0.00	0.02
34	0.07	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00
35	0.15	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.11	0.11	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.00	0.01
36	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.00	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
37	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
38	0.03	0.02	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.00	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00
39	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.06	0.06	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00
40	0.37	0.03	0.11	0.11	0.07	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.59	0.59	0.00	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01
41	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.07	0.07	0.00	0.03	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02
42	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
43	0.05	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00
44	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
45	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02
46	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
47	0.04	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
48	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
49	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02
50	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.10	0.00	0.02	0.02	0.00
51	0.03	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.00	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02
52	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
53	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.09	0.09	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02
54	0.05	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
55	0.10	0.02	0.06	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.16	0.16	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00
56	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01
57	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00
58	0.22	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.34	0.34	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
59	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.00	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
60	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.05	0.05	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
61	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
62	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.03	0.17	0.02	0.02	0.02	0.00	0.18	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02
63	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.05	0.05	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02
64	0.04	0.02	0.04	0.04	0.00	0.02	0.02													

59	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
60	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
61	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
62	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.02	0.05	0.02	0.02
63	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
64	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02
65	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
66	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02
67	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.18	0.18	0.01	0.02	0.00	0.01
68	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02

附表 3 68 份紫肉甘薯品种 8 种锦葵类花青苷的含量

Attached List 3 Contents of 8 kinds of malvidins in 68 purple-fleshed sweetpotato accessions

样品	花青苷	33	34	35	36	37	38	39	40
1		0.00	0.32	0.32	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
2		0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.08	0.02	0.02
3		0.01	0.12	0.12	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02
4		0.00	0.12	0.12	0.02	0.00	0.04	0.00	0.02
5		0.00	0.15	0.15	0.02	0.02	0.04	0.00	0.00
6		0.02	0.29	0.29	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02
7		0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.37	0.00	0.02
8		0.02	0.10	0.10	0.00	0.02	0.11	0.02	0.02
9		0.00	0.13	0.13	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02
10		0.00	0.15	0.15	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00
11		0.01	0.18	0.18	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00
12		0.02	0.14	0.14	0.02	0.02	0.13	0.02	0.02
13		0.02	0.32	0.32	0.02	0.02	0.05	0.03	0.02
14		0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.89	0.02	0.02
15		0.02	0.10	0.10	0.02	0.02	0.14	0.02	0.02
16		0.02	0.22	0.22	0.00	0.02	0.07	0.02	0.02
17		0.00	0.14	0.14	0.02	0.02	0.14	0.02	0.02
18		0.00	0.03	0.03	0.00	0.02	0.69	0.00	0.02
19		0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.17	0.02	0.02
20		0.02	0.13	0.13	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02
21		0.00	0.17	0.17	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
22		0.02	0.08	0.08	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02
23		0.02	0.09	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
24		0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02
25		0.02	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.00
26		0.02	0.10	0.10	0.02	0.02	0.05	0.00	0.02
27		0.02	0.18	0.18	0.02	0.02	0.21	0.02	0.02
28		0.00	0.13	0.13	0.02	0.02	0.10	0.02	0.02
29		0.02	0.19	0.19	0.02	0.02	0.10	0.02	0.02
30		0.02	0.10	0.10	0.02	0.02	0.13	0.02	0.02
31		0.02	0.07	0.07	0.02	0.02	0.15	0.00	0.02
32		0.00	0.07	0.07	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02
33		0.00	0.10	0.10	0.02	0.02	0.18	0.02	0.02
34		0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.15	0.02	0.02
35		0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.48	0.02	0.00
36		0.02	0.32	0.32	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
37		0.00	0.10	0.10	0.02	0.02	0.13	0.02	0.02
38		0.02	0.11	0.11	0.00	0.03	0.31	0.02	0.02
39		0.02	0.21	0.21	0.02	0.02	0.13	0.02	0.00
40		0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.69	0.02	0.02
41		0.00	0.11	0.11	0.00	0.02	0.10	0.02	0.02
42		0.02	0.13	0.13	0.00	0.02	0.14	0.00	0.02
43		0.02	0.15	0.15	0.02	0.03	0.12	0.03	0.02
44		0.02	0.15	0.15	0.02	0.00	0.03	0.02	0.02
45		0.02	0.13	0.13	0.02	0.02	0.08	0.02	0.00
46		0.02	0.19	0.19	0.00	0.02	0.05	0.02	0.02
47		0.00	0.11	0.11	0.02	0.00	0.16	0.02	0.02
48		0.02	0.10	0.10	0.02	0.02	0.08	0.02	0.02
49		0.02	0.08	0.08	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02
50		0.00	0.15	0.15	0.02	0.00	0.18	0.02	0.02
51		0.02	0.21	0.21	0.02	0.02	0.20	0.02	0.02

52	0.00	0.15	0.15	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02		
53	0.02	0.10	0.10	0.02	0.02	0.27	0.02	0.02		
54	0.02	0.16	0.16	0.02	0.02	0.20	0.02	0.00		
55	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.52	0.03	0.02		
56	0.02	0.28	0.28	0.00	0.02	0.06	0.02	0.00		
57	0.02	0.05	0.05	0.01	0.02	0.06	0.02	0.02		
58	0.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.11	0.02	0.00		
59	0.02	0.14	0.14	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02		
60	0.00	0.15	0.15	0.02	0.02	0.08	0.02	0.00		
61	0.00	0.37	0.37	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02		
62	0.00	0.18	0.18	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02		
63	0.00	0.06	0.06	0.00	0.02	0.15	0.02	0.02		
64	0.02	0.13	0.13	0.00	0.02	0.25	0.02	0.00		
65	0.02	0.06	0.06	0.00	0.02	0.05	0.02	0.02		
66	0.02	0.14	0.14	0.00	0.03	0.26	0.00	0.02		
67	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01		
68	0.00	0.21	0.21	0.02	0.02	0.05	0.00	0.02		

附表 4 68 份紫肉甘薯品种 11 种天竺葵类花青苷的含量

Attached List 4 Contents of 11 kinds of pelargonidins in 68 purple-fleshed sweetpotato accessions

花青苷 样品	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
1	0.06	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
3	0.11	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02
4	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02
5	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
6	0.05	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
7	0.04	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
8	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
9	0.05	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
10	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
11	0.04	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
12	0.04	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	0.06
13	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
14	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.08
15	0.04	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.06
16	0.04	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
17	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
18	0.03	0.02	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02
19	0.04	0.02	0.02	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
20	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02
21	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00
22	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02
23	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
24	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
25	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
26	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.14
27	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.03
28	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
29	0.03	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02
30	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
31	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03
32	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
33	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
34	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02
35	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02
36	0.05	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.03
37	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00
38	0.04	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02
39	0.04	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
40	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
41	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.03
42	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
43	0.05	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
44	0.04	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02

45	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
46	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02
47	0.09	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
48	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
49	0.03	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02
50	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
51	0.03	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02
52	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
53	0.10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
54	0.09	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
55	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
56	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02
57	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02
58	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02
59	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02
60	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02
61	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
62	0.08	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02	0.18
63	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
64	0.06	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
65	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00
66	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
67	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01
68	0.04	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02

附表 5 68 份紫肉甘薯品种 8 种芍药类花青苷的含量

Attached List 5 Contents of 8 kinds of peonidins in 68 purple-fleshed sweetpotato accessions

花青苷 样品	52	53	54	55	56	57	58	59
1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
2	0.09	0.02	0.02	0.02	0.14	0.08	0.08	0.02
3	0.09	0.02	0.02	0.03	0.02	0.06	0.06	0.00
4	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.00
5	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02
6	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
7	0.26	0.02	0.02	0.02	0.17	0.37	0.37	0.02
8	0.05	0.02	0.02	0.02	0.08	0.11	0.11	0.02
9	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
10	0.03	0.02	0.02	0.02	0.07	0.03	0.03	0.02
11	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02
12	0.02	0.02	0.02	0.02	0.13	0.13	0.00	0.00
13	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.05	0.05	0.00
14	0.37	0.02	0.02	0.00	0.24	0.89	0.89	0.00
15	0.07	0.02	0.02	0.02	0.03	0.14	0.14	0.02
16	0.05	0.00	0.00	0.02	0.03	0.07	0.07	0.02
17	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03	0.14	0.14	0.02
18	0.43	0.02	0.02	0.01	0.56	0.69	0.69	0.00
19	0.27	0.02	0.02	0.02	0.32	0.17	0.17	0.02
20	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.02
21	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
22	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
23	0.00	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02
24	0.05	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.06	0.00
25	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.02
26	0.03	0.05	0.05	0.02	0.03	0.05	0.05	0.02
27	0.09	0.02	0.02	0.02	0.04	0.21	0.21	0.02
28	0.05	0.02	0.02	0.02	0.04	0.10	0.10	0.02
29	0.04	0.02	0.02	0.00	0.03	0.10	0.10	0.02
30	0.06	0.02	0.02	0.00	0.04	0.13	0.13	0.02
31	0.10	0.02	0.02	0.00	0.06	0.15	0.15	0.02
32	0.33	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.02
33	0.07	0.02	0.02	0.02	0.04	0.18	0.18	0.00
34	0.11	0.02	0.02	0.00	0.06	0.15	0.15	0.02
35	0.31	0.02	0.02	0.02	0.11	0.48	0.48	0.02
36	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
37	0.05	0.02	0.02	0.02	0.04	0.13	0.13	0.02

38	0.15	0.02	0.02	0.02	0.05	0.31	0.31	0.02
39	0.06	0.02	0.02	0.02	0.06	0.13	0.13	0.02
40	0.53	0.02	0.02	0.02	0.59	0.69	0.69	0.02
41	0.04	0.02	0.02	0.02	0.07	0.10	0.10	0.02
42	0.07	0.02	0.02	0.02	0.03	0.14	0.14	0.02
43	0.15	0.02	0.02	0.03	0.04	0.12	0.12	0.00
44	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
45	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.08	0.02
46	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.00
47	0.06	0.02	0.02	0.02	0.05	0.16	0.16	0.02
48	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.08	0.02
49	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.07	0.07	0.02
50	0.08	0.02	0.02	0.00	0.04	0.18	0.18	0.02
51	0.09	0.02	0.02	0.02	0.04	0.20	0.20	0.00
52	0.06	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.05	0.02
53	0.11	0.02	0.02	0.00	0.09	0.27	0.27	0.02
54	0.08	0.02	0.02	0.02	0.06	0.20	0.20	0.02
55	0.43	0.02	0.02	0.02	0.16	0.52	0.52	0.00
56	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.02
57	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.06	0.06	0.02
58	0.06	0.02	0.02	0.02	0.34	0.11	0.11	0.02
59	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
60	0.04	0.02	0.02	0.00	0.05	0.08	0.08	0.02
61	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
62	0.04	0.06	0.06	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02
63	0.07	0.02	0.02	0.02	0.05	0.15	0.15	0.00
64	0.09	0.02	0.02	0.02	0.03	0.25	0.25	0.00
65	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.02
66	0.13	0.02	0.02	0.02	0.05	0.26	0.26	0.02
67	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
68	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.00

附表 6 68 份紫肉甘薯品种 9 种矮牵牛类花青苷的含量

Attached List 6 Contents of 9 kinds of petunidins in 68 purple-fleshed sweetpotato accessions

<div>花青苷</div> <div>样品</div>	60	61	62	63	64	65	66	67	68
1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.14	0.02	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
4	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02
5	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
6	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
7	0.00	0.02	0.02	0.06	0.17	0.02	0.02	0.02	0.02
8	0.02	0.00	0.00	0.03	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02
9	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02
10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.07	0.00	0.00	0.02	0.02
11	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02
12	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
13	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
14	0.02	0.02	0.02	0.03	0.24	0.00	0.00	0.02	0.08
15	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.06
16	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02
17	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02
18	0.00	0.02	0.02	0.03	0.56	0.02	0.02	0.02	0.02
19	0.00	0.02	0.02	0.00	0.32	0.02	0.02	0.00	0.02
20	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02
21	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00
22	0.02	0.02	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02
23	0.02	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
24	0.02	0.02	0.02	0.00	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02
25	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02
26	0.02	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02	0.02	0.02	0.14
27	0.02	0.02	0.02	0.05	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03
28	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
29	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02

30	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.00	0.02	0.02
31	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.00	0.00	0.00	0.03
32	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02
33	0.00	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.00	0.02
34	0.00	0.02	0.02	0.05	0.06	0.02	0.02	0.00	0.02
35	0.02	0.02	0.02	0.03	0.11	0.02	0.02	0.02	0.02
36	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03
37	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00
38	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.00	0.00	0.02	0.02
39	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02
40	0.00	0.02	0.02	0.11	0.59	0.02	0.02	0.02	0.02
41	0.02	0.00	0.00	0.03	0.07	0.02	0.02	0.02	0.03
42	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02
43	0.02	0.02	0.02	0.07	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
44	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02
45	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
46	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
47	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.00	0.02
48	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
49	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02
50	0.00	0.02	0.02	0.05	0.04	0.02	0.02	0.00	0.02
51	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
52	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02
53	0.02	0.00	0.00	0.04	0.09	0.02	0.02	0.00	0.02
54	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02
55	0.00	0.02	0.02	0.06	0.16	0.02	0.02	0.02	0.02
56	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02
57	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
58	0.02	0.02	0.02	0.03	0.34	0.02	0.02	0.02	0.02
59	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
60	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
61	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
62	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.18
63	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
64	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02
65	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
66	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
67	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
68	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02