

赵凌霄, 邓逸桐, 衡曦彤, 等. 106 份特色甘薯品种资源品质性状评价与分析[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 839-847.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.004

106 份特色甘薯品种资源品质性状评价与分析

赵凌霄¹, 邓逸桐^{1,2}, 衡曦彤³, 程娟³, 袁博⁴, 赵冬兰¹, 戴习彬¹, 曹清河^{1,2}

(1. 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 江苏 徐州 221131; 2. 江苏师范大学生命科学学院, 江苏 徐州 221116; 3. 中国矿业大学化工学院, 江苏 徐州 221116; 4. 江苏师范大学江苏省药用植物生物技术重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘要: 以来自不同育种单位的 54 份橘肉甘薯和 52 份紫肉甘薯品种资源为材料, 测定块根中淀粉、可溶性糖、还原糖、粗蛋白、 β -胡萝卜素和花青苷的含量。结果表明, 橘肉甘薯的可溶性糖和还原糖含量通常高于紫肉甘薯, 淀粉含量低于紫肉甘薯, 粗蛋白含量与紫肉甘薯类似; 橘肉甘薯的 β -胡萝卜素含量为 0.4~280.7 $\mu\text{g/g}$, 紫肉甘薯的 β -胡萝卜素含量最高为 31.8 $\mu\text{g/g}$, 花青苷含量为 15.0~20.0 $\mu\text{g/g}$ 。相关性分析结果表明, 淀粉含量和可溶性糖含量、还原糖含量呈极显著负相关。基于 6 种营养物质的含量, 分别将橘肉甘薯和紫肉甘薯品种资源聚为 5 个和 4 个类群; 其中, 二者均为第 II 类群种质资源综合品质较好。本研究结果为这些甘薯品种资源的加工利用及品种改良提供理论参考和材料基础。

关键词: 甘薯; 营养品质; 糖类; 粗蛋白; β -胡萝卜素; 花青苷

中图分类号: S531 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)04-0839-09

Evaluation and analysis of quality characters of 106 special sweetpotato variety resources

ZHAO Ling-xiao¹, DENG Yi-tong^{1,2}, HENG Xi-tong³, CHENG Juan³, YUAN Bo⁴, ZHAO Dong-lan¹,
DAI Xi-bin¹, CAO Qing-he^{1,2}

(1. Jiangsu Xuhuai Regional Xuzhou Institute of Agricultural Sciences, Xuzhou 221131, China; 2. School of Life Sciences, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China; 3. College of Chemical Engineering, China University of Mining and Technology, 221116, China; 4. Key Laboratory of Biotechnology for Medicinal Plant of Jiangsu Province, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In this study, 54 orange-fleshed and 52 purple-fleshed sweetpotato germplasm resources from different breeding units were selected as experimental materials. The contents of starch, soluble sugar, reducing sugar, crude protein, β -carotene and anthocyanins were determined. The

results showed that the contents of soluble sugar and reducing sugar in orange-fleshed sweetpotatoes were higher than those in purple-fleshed sweetpotatoes, but starch content was lower than that in purple-fleshed sweetpotatoes and crude protein content was similar to that in purple-fleshed sweetpotatoes. The β -carotene content of orange-fleshed sweetpotatoes ranged from 0.4 $\mu\text{g/g}$ to 280.7 $\mu\text{g/g}$, the highest β -carotene content of purple-fleshed sweetpotatoes was 31.8 $\mu\text{g/g}$, and the total anthocyanin content of purple-fleshed sweetpotatoes ranged from 15.0

收稿日期: 2021-01-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD1000705、2018YFD-1000700); 现代农业产业技术体系专项(CARS-10-B1); 农业农村部作物品种资源保护费项目(19200362); 江苏省根茎类作物种质资源库项目(JSGB2018-03); 徐州市政策引导类计划项目(KC18245)

作者简介: 赵凌霄(1989-), 男, 江苏徐州人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为甘薯品质分析。(Tel) 0516-82189232; (E-mail) Zhaolixiao2019@163.com

通讯作者: 曹清河, (Tel) 0516-82189205; (E-mail) caoqinghe@jaas.ac.cn

$\mu\text{g/g}$ to $20.0 \mu\text{g/g}$. Correlation analysis results showed extremely significant negative correlation between starch content and soluble sugar content or reducing sugar content. Based on the contents of six categories of nutrients, the varieties of orange-fleshed sweetpotatoes and purple-fleshed sweetpotatoes were divided into five and four groups, respectively. The comprehensive quality of group II in both groups was better. The results provided theoretical reference and material basis for the processing and utilization of these sweetpotato varieties and the subsequent improvement of high-quality varieties.

Key words: sweetpotato; nutritional quality; carbohydrates; crude protein; β -carotene; anthocyanins

甘薯 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] 属旋花科番薯属,起源于中南美洲,目前广泛种植于世界各地^[1]。甘薯的营养品质通常是指甘薯块根的营养物质,包括糖类、花青素、类胡萝卜素和蛋白质等的种类和含量^[2]。其中,甘薯淀粉能够用于加工粉条、糖果和面包等产品^[3];可溶性糖和还原糖的种类和含量影响着甘薯的甜度等口味^[4-5];甘薯蛋白质在人体内具有清除自由基、抑制血糖升高和清除胆固醇等多重健康功效^[6-7];紫肉甘薯中含有的花青素能够有效降低人类心脑血管疾病、癌症及神经衰退等多种疾病的患病风险;橘肉甘薯中的 β -胡萝卜素能够有效改善人类维生素 A 缺乏症^[8-9]。不同的用途对甘薯品质的要求也不同,淀粉型甘薯品种要求淀粉产量高,用于鲜食的甘薯品种要求糖类含量高,而用于营养品开发的甘薯品种要求花青素含量高^[10-11]。因此,甘薯品种资源的品质评价和综合分析越来越受到育种学家的关注。

近年来国内推广的甘薯品种较多,来源于国内外多家培育单位^[12]。甘薯种质资源的丰富性是品种改良的基础,科学有效地评价和分析甘薯的品质性状是品种改良的关键^[13]。因此,本研究选择了来源于国内和国外不同育种单位的 54 份橘肉甘薯和 52 份紫肉甘薯品种,借助化学测定、近红外光谱仪以及液质联用仪等测定了块根中淀粉、可溶性糖、还原糖、粗蛋白、 β -胡萝卜素及紫肉甘薯中花青素的含量,以期为这些甘薯品种资源的加工利用及品种改良提供理论参考和材料基础,进一步推进甘薯产业的发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究选择了培育地点不同的 106 份特色甘薯种质资源材料(表 1),其中 54 份橘肉甘薯资源材料来源于国内 13 省(直辖市或自治区)的 24 个市(区)以及刚果(布)和日本,52 份紫肉甘薯资源材料来源于国内 12 省(直辖市或自治区)的 25 个市(区)以及日本,这些材料均保存于国家种质徐州甘

薯试管苗库。试验材料按照常规栽培管理措施进行栽插,生育期为 120 d。

1.2 甘薯干基淀粉、还原糖、可溶性糖和粗蛋白含量的测定

将收获的鲜薯块切成细条,混匀后取 50 g 置于 80 °C 烘箱中烘至恒质量,在家用型破壁机(中国美的公司产品,型号 MJ-WBL25B36)中充分磨碎后过 100 目铜网,收集干粉用于后续测定。

甘薯干基淀粉和可溶性糖含量的测定采用 D-Glucose 试剂盒(爱尔兰 Megazyme 公司产品)进行。甘薯干基还原糖和粗蛋白含量的测定参考唐忠厚等^[14]的方法进行。

1.3 甘薯鲜样中 β -胡萝卜素和花青苷含量的测定

利用液质联用技术(HPLC-MS)测定块根中 β -胡萝卜素和花青苷含量。取 6 g 甘薯块根,加入 40 ml 提取液(丙酮:甲醇:甲酸=25:75:1,体积比),充分打磨后离心 20 min(6 000 r/min,4 °C),取上清液浓缩至 2 ml,上机检测。以矢车菊素为内标。根据标准曲线方程 $Y=4\,218.124x-1\,877.159$ (Y 为强度值, x 为样品浓度)计算物质含量。

1.4 数据处理

本研究使用 Microsoft Excel 2019 软件(美国微软公司产品)进行数据分析,使用 IBM SPSS Statistics 19 软件(美国 IBM 公司产品)对数据进行相关性分析和聚类分析(类平均法,UPGMA),使用 Photoshop CS6(美国 Adobe 公司产品)软件进行图片处理。

2 结果与分析

2.1 甘薯品种资源材料 6 种营养成分含量的分布规律

本研究测定了所选 106 份特色甘薯品种资源 6 大主要营养成分的含量,结果(表 2)表明,橘肉甘薯和紫肉甘薯的干基淀粉、可溶性糖、还原糖、粗蛋白、 β -胡萝卜素和花青苷的含量分布存在多样性(图 1)。

表 1 106 份甘薯种质资源的名称与来源

Table 1 Name and source of 106 sweetpotato germplasm resources

编号	样品名称	培育地点	编号	样品名称	培育地点	编号	样品名称	培育地点
1	湛江橙	广东湛江	37	黔薯 5 号	贵州贵阳	73	泰中 11 号	山东泰安
2	商丘 52-7	河南商丘	38	龙薯 1 号	福建龙岩	74	龙津薯 3 号	福建龙岩
3	心香	浙江杭州	39	泰薯 14 号	山东泰安	75	福宁紫 4 号	福建宁德
4	徐薯 32 号	江苏徐州	40	龙薯 3 号	福建龙岩	76	桂经薯 9 号	广西南宁
5	岩薯 5 号	福建龙岩	41	川薯 294	四川成都	77	秦紫薯 2 号	陕西宝鸡
6	徐薯 33 号	江苏徐州	42	万薯 7 号	重庆万州	78	广紫薯 9 号	广东广州
7	济薯 26 号	山东济南	43	龙薯 15 号	福建龙岩	79	南紫薯 015	四川南充
8	浙薯 33 号	浙江杭州	44	广薯 87 号	广东广州	80	泉紫薯 96	福建泉州
9	湛薯 12 号	广东湛江	45	南薯 99 号	四川南充	81	漯紫薯 1 号	河南漯河
10	刚果布 2 号	刚果(布)	46	渝苏 153	重庆北碚	82	渝紫薯 6 号	重庆北碚
11	秦薯 9 号	陕西宝鸡	47	南薯 012	四川南充	83	龙紫薯 6 号	福建龙岩
12	桂粉 3 号	广西南宁	48	苏薯 16 号	江苏南京	84	福宁紫 3 号	福建宁德
13	广薯 79 号	广东广州	49	广薯 72 号	广东广州	85	烟紫薯 3 号	山东烟台
14	渝薯 17 号	重庆北碚	50	浙薯 255	浙江杭州	86	商徐紫 1 号	河南商丘
15	宜宾红心薯	四川宜宾	51	渝苏 162	重庆北碚	87	浙紫薯 1 号	浙江杭州
16	渝薯 99 号	重庆北碚	52	泉薯 830	福建泉州	88	秦紫薯 3 号	陕西宝鸡
17	川薯 220 号	四川成都	53	徐薯 34 号	江苏徐州	89	徐紫薯 8 号	江苏徐州
18	普薯 32 号	广东普宁	54	安纳	日本	90	衢紫薯 57 号	浙江衢州
19	西农 431 号	陕西咸阳	55	防薯 9 号	广西防城港	91	川紫薯 2 号	四川成都
20	秦薯 8 号	陕西咸阳	56	渝紫香 10 号	重庆北碚	92	宁紫薯 5 号	江苏南京
21	秦薯 7 号	陕西宝鸡	57	渝紫 7 号	重庆北碚	93	桂紫薯 3 号	广西南宁
22	栗子香	江苏宿迁	58	南紫薯 014	四川南充	94	烟紫薯 2 号	山东烟台
23	龙薯 515	福建龙岩	59	渝苏紫 43 号	重庆北碚	95	济农 51	山东济宁
24	湛薯 407	广东湛江	60	广紫薯 10 号	广东广州	96	川紫薯 4 号	四川成都
25	龙薯 710	福建龙岩	61	桂经薯 8 号	广西南宁	97	广紫薯 8 号	广东广州
26	苏薯 8 号	江苏南京	62	徐紫薯 3 号	江苏徐州	98	广紫薯 11 号	广东广州
27	广薯 98 号	广东广州	63	南紫 08	四川南充	99	济农 290	山东济宁
28	冀薯 98 号	河北石家庄	64	徐紫薯 5 号	江苏徐州	100	福薯 24 号	福建福州
29	烟薯 25 号	山东烟台	65	渝紫 3 号	重庆北碚	101	济 10216	山东济南
30	龙薯 2 号	福建龙岩	66	徐紫薯 6 号	江苏徐州	102	冀紫薯 2 号	河北石家庄
31	苏薯 22 号	江苏南京	67	阜紫薯 1 号	安徽阜阳	103	济 10270	山东济南
32	渝薯 12 号	重庆北碚	68	福薯 404 号	福建福州	104	南紫 018	四川南充
33	万薯 10 号	重庆万州	69	莆紫薯 3 号	福建莆田	105	徐紫薯 2 号	江苏徐州
34	湛薯 271 号	广东湛江	70	广紫薯 1 号	广东广州	106	绫紫	日本
35	红香蕉	北京	71	冀紫薯 1 号	河北石家庄			
36	二郎苕	-	72	内渝紫 2 号	四川内江			

“-”表示该信息缺失。

表 2 106 份甘薯种质资源的干基淀粉、可溶性糖、还原糖、粗蛋白和鲜样 β -胡萝卜素含量以及紫肉甘薯的鲜样花青苷含量Table 2 The contents of starch, soluble sugar, reducing sugar, crude protein on dry basis and β -carotene on wet basis in 106 sweetpotato germplasm resources, and the content of anthocyanins on wet basis in purple-fleshed sweetpotato germplasm resources

编号	干基淀粉 (%)	可溶性糖 (%)	还原糖 (%)	粗蛋白 (%)	β -胡萝卜素 ($\mu\text{g/g}$)	编号	干基淀粉 (%)	可溶性糖 (%)	还原糖 (%)	粗蛋白 (%)	β -胡萝卜素 ($\mu\text{g/g}$)	花青苷 ($\mu\text{g/g}$)
1	62.54	11.47	1.91	8.69	103.8	54	64.96	12.19	4.64	7.98	61.6	NA
2	67.35	9.21	5.57	6.84	79.5	55	63.95	10.99	3.77	8.02	2.2	18.4
3	62.18	9.30	1.60	9.87	21.8	56	55.78	14.37	6.74	7.94	0.1	25.5
4	63.44	11.20	4.41	8.79	20.5	57	66.25	12.51	4.90	5.25	0	18.8
5	61.78	14.42	5.42	6.45	81.2	58	64.94	8.67	2.09	8.95	3.0	17.3
6	57.33	17.13	7.28	6.74	21.3	59	63.14	9.50	2.39	8.22	0	30.4
7	59.98	12.95	4.49	8.40	161.4	60	67.69	8.33	5.81	4.89	4.4	17.5
8	69.49	6.06	3.54	7.43	149.2	61	55.80	13.14	5.20	8.82	1.8	38.7
9	72.85	6.27	2.80	5.87	0.4	62	64.92	10.59	4.91	5.79	1.7	18.7
10	67.00	10.34	2.47	7.35	280.7	63	46.11	24.04	13.59	6.49	0.7	22.4
11	66.69	9.93	5.54	7.24	22.0	64	63.69	10.89	4.27	6.87	21.1	33.9
12	58.80	15.44	6.79	7.53	78.6	65	57.44	16.55	10.56	6.21	1.6	14.4
13	71.69	7.49	2.66	5.17	112.7	66	64.19	13.37	5.16	5.08	3.2	17.7
14	69.84	7.66	1.24	6.57	17.6	67	58.30	16.31	8.32	4.78	0.2	17.3
15	59.08	16.55	9.93	6.11	58.8	68	59.78	15.84	8.89	6.65	0.8	17.6
16	64.90	8.60	2.31	8.08	15.8	69	57.39	16.72	10.84	5.84	8.7	13.5
17	65.04	8.30	2.44	7.23	22.5	70	61.13	8.36	3.77	9.95	22.6	18.4
18	60.60	13.82	3.24	8.53	100.0	71	59.66	12.16	5.03	8.83	7.4	21.4
19	62.47	12.14	6.15	7.43	72.1	72	60.43	12.48	4.09	8.44	0.3	38.8
20	58.91	16.52	7.91	7.80	72.2	73	61.60	7.86	3.95	8.88	0.7	16.3
21	65.55	10.59	4.10	6.34	21.6	74	56.53	12.54	3.94	10.73	20.9	31.9
22	69.34	6.25	2.66	7.39	9.1	75	49.49	15.56	11.45	9.12	7.4	12.8
23	55.13	18.18	14.73	5.37	62.3	76	59.91	9.74	3.70	7.83	7.4	13.2
24	52.12	19.27	16.51	5.87	7.5	77	67.08	5.57	4.27	3.87	1.6	19.6
25	64.61	8.34	3.20	7.79	6.1	78	66.74	6.44	1.59	6.17	0.2	16.6
26	48.87	21.83	14.87	8.32	15.7	79	65.64	6.64	4.84	3.88	0.4	25.7
27	44.16	24.79	13.84	8.67	77.0	80	57.46	12.68	5.58	7.28	0.1	15.2
28	64.83	8.93	6.33	5.31	1.8	81	61.81	9.62	6.28	6.52	0.3	18.3
29	54.92	16.64	10.06	7.01	31.0	82	55.96	14.17	7.52	6.07	0.7	16.6
30	52.08	19.37	10.55	7.54	73.8	83	56.33	11.51	8.23	8.88	2.2	18.5
31	42.47	26.94	18.12	4.52	32.0	84	57.27	11.42	8.04	7.18	0.2	15.5
32	68.72	4.86	2.03	6.46	22.4	85	62.68	8.95	4.08	7.52	3.5	15.7
33	54.16	13.13	4.58	7.92	16.8	86	65.69	8.44	2.46	8.44	0.7	17.5
34	61.88	10.30	9.55	7.84	4.5	87	67.65	4.80	3.12	8.90	0.7	12.5
35	54.44	14.89	5.84	10.23	8.7	88	65.38	10.13	6.47	7.24	2.2	14.9
36	62.73	10.07	3.89	5.75	26.8	89	66.55	7.15	6.89	4.99	7.7	15.9
37	52.02	14.03	10.21	8.00	22.5	90	66.02	5.66	4.22	8.94	4.6	16.9
38	50.18	17.05	8.48	10.05	9.4	91	60.13	9.03	6.01	9.44	0.2	14.5
39	40.70	23.09	16.02	9.95	219.4	92	62.30	7.94	5.13	8.32	3.2	15.5
40	64.74	10.36	4.37	8.32	6.7	93	67.71	7.59	3.17	8.20	0	13.7
41	53.89	16.35	10.35	8.47	21.5	94	61.69	10.41	8.05	6.46	0.1	15.1
42	59.40	14.75	10.95	4.95	75.9	95	66.74	8.03	3.41	7.17	3.1	18.2
43	44.06	21.15	13.60	9.54	37.9	96	73.07	4.81	2.75	6.84	3.2	22.2
44	74.68	6.64	3.06	4.50	48.2	97	66.42	6.48	3.38	7.07	3.2	19.8
45	70.08	8.00	3.81	7.44	128.0	98	65.58	7.68	3.23	8.41	3.1	17.6
46	68.43	6.09	3.37	8.11	30.6	99	65.29	6.42	2.81	7.96	18.2	18.8
47	72.06	4.81	0.99	8.41	23.2	100	63.70	7.83	1.75	10.15	0.3	14.0
48	63.32	9.95	5.42	6.02	76.5	101	62.71	9.74	5.26	9.13	3.2	25.7
49	68.22	10.05	3.23	5.84	10.5	102	64.89	10.02	4.79	5.61	2.2	23.1
50	62.24	11.03	2.25	6.82	22.2	103	58.77	11.79	5.60	8.73	31.8	21.5
51	66.36	8.29	2.81	10.45	32.1	104	65.48	8.01	5.73	6.34	11.9	23.1
52	56.51	16.19	10.17	5.15	77.2	105	59.63	12.06	4.95	7.57	3.1	18.9
53	50.88	19.97	6.33	10.45	36.6	106	62.62	9.38	5.12	9.23	0.2	24.3

品种编号 1~106 见表 1。

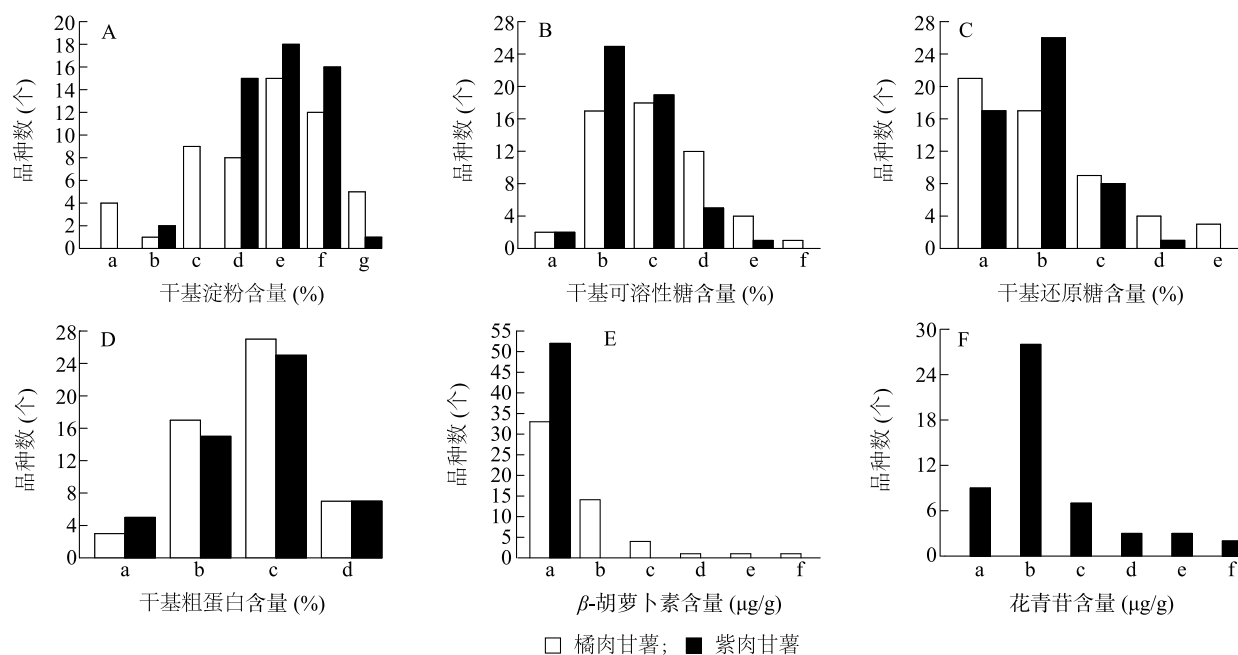


图 1A 中, a: 40.00%~44.99%; b: 45.00%~49.99%; c: 50.00%~54.99%; d: 55.00%~59.99%; e: 60.00%~64.99%; f: 65.00%~69.99%; g: 70.00%~74.99%。图 1B 中, a: 0~4.99%; b: 5.00%~9.99%; c: 10.00%~14.99%; d: 15.00%~19.99%; e: 20.00%~24.99%; f: 25.00%~29.99%。图 1C 中, a: 0~3.99%; b: 4.00%~7.99%; c: 8.00%~11.99%; d: 12.00%~15.99%; e: 16.00%~19.99%。图 1D 中, a: 3.00%~4.99%; b: 5.00%~6.99%; c: 7.00%~8.99%; d: 9.00%~10.99%。图 1E 中, a: 0~49.9 $\mu\text{g/g}$; b: 50.0~99.9 $\mu\text{g/g}$; c: 100.0~149.9 $\mu\text{g/g}$; d: 150.0~199.9 $\mu\text{g/g}$; e: 200.0~249.9 $\mu\text{g/g}$; f: 250.0~299.9 $\mu\text{g/g}$ 。图 1F 中, a: 10.0~14.9 $\mu\text{g/g}$; b: 15.0~19.9 $\mu\text{g/g}$; c: 20.0~24.9 $\mu\text{g/g}$; d: 25.0~29.9 $\mu\text{g/g}$; e: 30.0~34.9 $\mu\text{g/g}$; f: 35.0~39.9 $\mu\text{g/g}$ 。

图 1 106 份甘薯种质资源的干基淀粉、可溶性糖、还原糖、粗蛋白、鲜样 β -胡萝卜素含量分布以及紫肉甘薯中鲜样花青苷含量分布

Fig.1 The content distribution of starch, soluble sugar, reducing sugar and crude protein on dry basis and β -carotene on wet basis of 106 sweetpotato germplasm resources, and content distribution of anthocyanins on wet basis of purple-fleshed sweetpotato germplasm resources

54 份橘肉甘薯种质的干基淀粉含量为 40.70%~74.68%, 52 份紫肉甘薯种质的干基淀粉含量为 46.11%~73.07% (表 2, 图 1A)。其中, 分别有 2 份紫肉甘薯 (南紫 08 和福宁紫 4 号) 和 14 份橘肉甘薯的干基淀粉含量低于 55.00%。Guo 等^[15]的研究结果表明, 橘肉甘薯的淀粉含量低于紫肉甘薯, 与本研究结果相似。另外, 有 4 份橘肉甘薯和 1 份紫肉甘薯 (川紫薯 4 号) 干基淀粉含量超过 70.00%, 这可能是由于品种的特殊性或者种植区域土壤肥力差异导致的^[15]。橘肉甘薯的可溶性糖含量分布在 4.81%~26.94%, 紫肉甘薯的可溶性糖含量分布在 4.80%~24.04% (表 2, 图 1B)。有 37 份橘肉甘薯和 46 份紫肉甘薯的可溶性糖含量低于 15.00%, 17 份橘肉甘薯和 6 份紫肉甘薯高于 15.00%, 其中有 5 份橘肉甘薯和 1 份紫肉甘薯 (南紫 08) 的可溶性糖含量在 20.00% 以上。因此橘肉甘薯的可溶性糖含量普遍更高, 这也与 Guo 等^[15]的研究结果一致。橘肉甘薯的

还原糖含量为 0.99%~18.12%, 紫肉甘薯的还原糖含量为 1.59%~13.59% (表 2)。其中, 还原糖含量除 4.00%~8.00% 的含量范围中紫肉甘薯种质的数量多于橘肉甘薯外, 其他含量范围 (0~4.00% 及 8.00%~20.00%) 内紫肉甘薯种质的数量均少于橘肉甘薯 (图 1C)。橘肉甘薯和紫肉甘薯的干基粗蛋白含量分布规律基本类似 (表 2), 在含量低于 5.00% 的范围, 紫肉甘薯种质的数量 (5 份) 略多于橘肉甘薯 (3 份), 在 5.00%~9.00% 的含量范围, 橘肉甘薯种质的数量多于紫肉甘薯, 在高于 9% 的范围, 二者均有 7 份 (图 1D)。紫肉甘薯的 β -胡萝卜素含量分布在 0~31.8 $\mu\text{g/g}$, 橘肉甘薯的 β -胡萝卜素含量分布在 0.4~280.7 $\mu\text{g/g}$, 其中 33 份含量低于 31.8 $\mu\text{g/g}$ (表 2); 说明橘肉甘薯中同样存在 β -胡萝卜素含量较低的材料, 而紫肉甘薯 β -胡萝卜素含量均较低 (图 1E)。紫肉甘薯测得花青苷的含量在 12.5~38.8 mg/g , 其中有 28 份集中在 15.0~20.0 mg/g (表 2, 图 1F)。

2.2 甘薯种质资源材料 6 种营养成分含量的相关性分析

本研究进一步对 106 份特色甘薯种质资源的 6 种营养物质的含量进行了相关性分析。结果(表 3)表明,在全部的橘肉甘薯中,可溶性糖含量、还原糖含量和淀粉含量呈极显著负相关(相关系数分别为: $-0.943, P<0.01$; $-0.841, P<0.01$),可溶性糖和还原糖含量呈极显著正相关(相关系数为: 0.874 ,

$P<0.01$)。在紫肉甘薯中,淀粉含量与可溶性糖含量、还原糖含量同样呈极显著负相关(相关系数分别为: $-0.836, P<0.01$; $-0.726, P<0.01$),可溶性糖含量和还原糖含量呈极显著正相关(相关系数分别为: $0.787, P<0.01$)。橘肉甘薯中淀粉含量与粗蛋白含量呈显著负相关,紫肉甘薯中还原糖含量与粗蛋白含量呈显著负相关。

表 3 106 份甘薯种质资源的干基淀粉、可溶性糖、还原糖、粗蛋白、鲜样 β -胡萝卜素以及紫肉甘薯中鲜样花青苷含量间相关性分析

Table 3 Correlation analysis of starch, soluble sugar, reducing sugar and crude protein contents on dry basis and β -carotene content on wet basis in 106 sweetpotato germplasm resources, and anthocyanins content on wet basis of purple-fleshed sweetpotato germplasm resources

	橘肉甘薯				紫肉甘薯				
	淀粉含量	可溶性糖含量	还原糖含量	粗蛋白含量	淀粉含量	可溶性糖含量	还原糖含量	粗蛋白含量	β -胡萝卜素含量
可溶性糖含量	-0.943^{**}				-0.836^{**}				
还原糖含量	-0.841^{**}	0.874^{**}			-0.726^{**}	0.787^{**}			
粗蛋白含量	-0.304^{*}	0.144	-0.070		-0.215	0.105	-0.274^{*}		
β -胡萝卜素含量	-0.041	0.109	0.035	0.039	-0.073	-0.029	-0.073	0.248	
花青素含量	-	-	-	-	-0.098	0.117	-0.162	0.118	0.197

* 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上显著相关。- 表示橘肉甘薯不含花青素。

2.3 甘薯种质资源 6 种营养成分含量的聚类分析

近年来,基于品质性状相关指标对种质资源进行聚类分析和评价逐渐成为常用的研究手段^[16-17]。本研究基于淀粉、可溶性糖、还原糖、粗蛋白及 β -胡萝卜素等 5 种营养成分的含量数据,计算各品种间的遗传距离(欧氏距离),利用类平均法将 54 份橘肉甘薯聚为 5 个类群(图 2)。第 I 类群有 31 份种质材料,其中,来自河南、浙江、河北和日本的橘肉甘薯种质全部被分到该类群;该类群种质材料具有淀粉含量高和 β -胡萝卜素含量覆盖面较广等特点,多为淀粉含量高、肉色较浅的甘薯品种,例如心香、栗子香和日本甘薯品种安纳等。第 II 类群有 15 份材料,其中来自广西、北京和贵州的材料全部被分到该类群,5 大类营养成分含量均较高,因此综合品质较好,其中包括徐薯 34 号和烟薯 25 号等。第 III 类群有 5 份材料,分别是湛薯 407 号、苏薯 8 号、广薯 98 号、苏薯 22 号和龙薯 15 号,该类群材料的特点是糖含量较高, β -胡萝卜素含量偏低。第 IV 类群包括 2 份材料,济薯 26 号和刚果(布)2 号,该类群材料的 β -胡萝卜素含量最高。第 V 类群只有 1 份材料(泰

薯 14 号),其淀粉含量最低,可溶性糖、还原糖和 β -胡萝卜素含量均较高。另外,来自广东、陕西、重庆和四川的橘肉甘薯种质全部分到第 I 类群和第 II 类群中,同时粗蛋白含量与橘肉甘薯的品种或培育地点的关联度不高。

本研究基于紫肉甘薯的淀粉、可溶性糖、还原糖、粗蛋白、 β -胡萝卜素及花青苷等 6 种品质性状的含量数据,采用类平均法,将 52 份紫肉甘薯资源聚为 4 个类群(图 3)。第 I 类群中有 34 份材料,其中来自广东、河南、陕西、浙江和日本的紫肉甘薯种质全部分布在该类群中,该类群具有淀粉含量较高的特点,包括广紫薯 1 号、宁紫薯 5 号和绫紫等。第 II 类群包含 15 份材料,其中来自内蒙古和安徽的紫肉甘薯种质全部被分到该类群中,该类群具有糖含量较高的特点,综合品质较好,包括渝紫香 10 号和泉紫薯 96 等。第 III 类群只包含 1 份种质材料,为川紫薯 4 号,该材料淀粉含量最高,糖含量最低。第 IV 类群包含 2 份材料,南紫 08 和福宁紫 4 号,其淀粉含量最低,糖含量最高。另外,紫肉甘薯种质的粗蛋白和花青苷含量在品种或分类间差距不大。

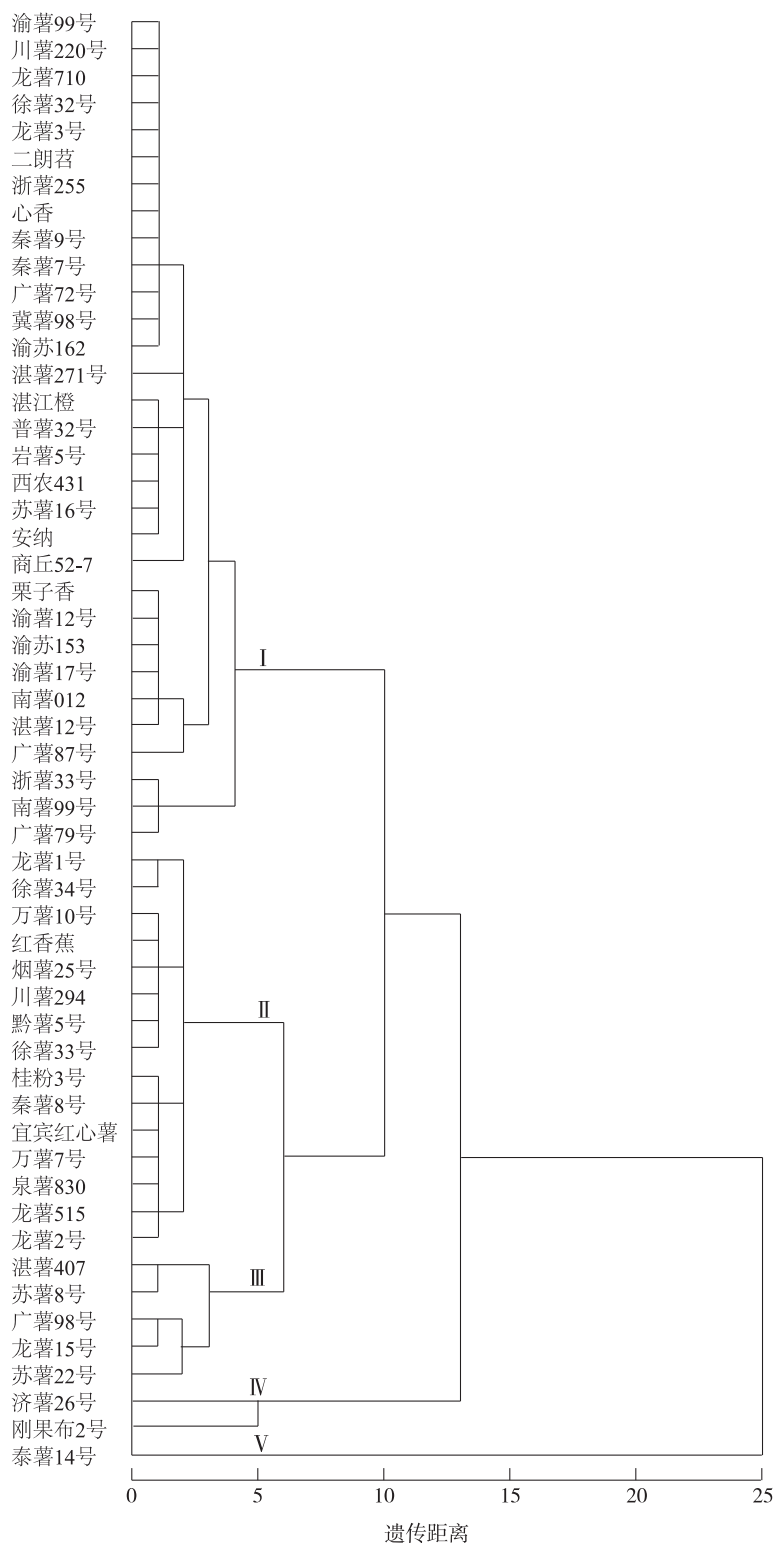


图 2 54 份橘肉甘薯种质资源基于 5 种品质性状的聚类分析
Fig.2 Cluster analysis of 54 orange-fleshed sweetpotato germplasm resources based on five quality characters

3 讨论

甘薯品种资源品质性状的评价与分析对甘薯优质

品种的选育及甘薯产业的健康持续发展至关重要。不同甘薯品种的品质特征存在差异,徐娟等^[18]测定了 28 份国内优质食用型甘薯种质的营养成分,发现块根中

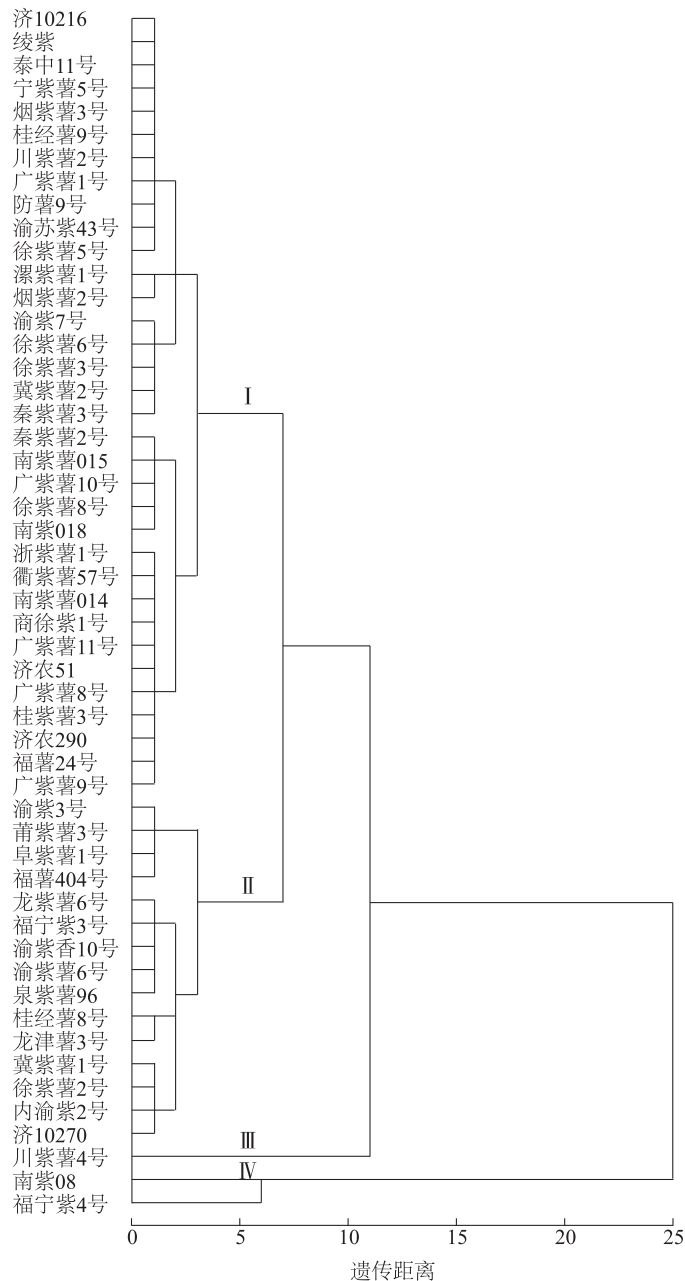


图3 52份紫肉甘薯种质资源基于6种品质性状的聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of 52 purple-fleshed sweetpotato germplasm resources based on six quality characters

维生素C和蛋白质等营养物质之间存在相关性。胡玲等^[19]分析了中国20份甘薯育成品种和20份地方品种的品质性状,发现地方品种和育成品种在薯块可溶性糖含量、粗蛋白含量及淀粉含量上存在差异。沈升法等^[20]研究了浙江地区广泛种植的62份甘薯品种的品质,发现浙江省甘薯以淀粉型和粮饲兼用型为主,在甘薯深加工领域具有较高的潜力。赵冬兰等^[21]研究了176份甘薯地方种的品质性状,根据农艺性状进行聚类分析,筛选出优质品种若干份。唐君等^[13]分析了从国

际马铃薯研究中心引进的76份特用型甘薯品种的产量、抗病性和品质性状,筛选出具有高干物率和高胡萝卜素含量的材料多份,为拓宽中国甘薯遗传基础提供了材料储备。赵冬兰等^[22]评价了从国际马铃薯研究中心引进的32份种质资源的品质性状,阐明了其中优质品种的营养成分。虽然近年来对甘薯资源品质性状评价与分析的研究已经成为热点^[23-25],但是上述研究在全面阐明甘薯种质资源的品质性状时均存在一定的局限性。例如,单个研究中所选用的甘薯品种来源地较

为集中, 阐明的品质性状较少或所采用的研究手段较为单一。本研究首先从国内不同育种单位和不同国家引进了 106 份特色甘薯品种资源, 极大地增强了试验材料来源的丰富性, 提高了试验结果的客观性; 采用了包括试剂盒测定、近红外仪和液质联用仪等多种研究手段或设备, 实现对甘薯块根中全部营养成分进行专一地测定, 增加了试验结果的准确性; 最后, 本研究在阐明了甘薯块根中 6 种营养物质含量的基础上, 分析了不同营养物质在所选甘薯材料中的含量分布及相关性, 借助聚类分析进一步筛选出综合品质较好的甘薯品种。本研究结果为甘薯种质资源的深度评价和利用提供参考, 筛选出的甘薯优异种质为优质甘薯新品种的选育提供了材料支撑。

参考文献:

- [1] 马代夫, 李 强, 曹清河, 等. 中国甘薯产业及产业技术的发展与展望[J]. 江苏农业学报, 2012, 28 (5): 969-973.
- [2] 陆国权. 甘薯重要品质性状的基因型差异及其环境效应研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [3] CHO S A, YOO B. Comparison of the effect of sugars on the viscoelastic properties of sweet potato starch pastes [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45 (2): 410-414.
- [4] KAYS S J, WANG Y. Thermally induced flavor compounds [J]. Hort Science, 2000, 35(6): 1002-1012.
- [5] 刘 明, 张爱君, 陈晓光, 等. 秸秆还田配施化肥对土壤肥力及鲜食甘薯产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31 (10): 3445-3452.
- [6] 木泰华, 孙艳丽, 刘鲁林, 等. 甘薯可溶性蛋白的分离提取及特性研究[J]. 食品研究与开发, 2005, 26 (5): 16-20.
- [7] 张靖杰, 国 鸽, 李鹏高. 薯类蛋白对人体健康的影响及作用机制研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8 (7): 2575-2580.
- [8] 张道微, 董 芳, 黄艳岚, 等. 甘薯种质资源花青素积累的遗传多态性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20 (2): 347-358.
- [9] 唐忠厚, 李洪民, 马代夫. 不同肉色甘薯抗氧化特性的基因型差异及其相关性研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24 (5): 47-52.
- [10] 邱永祥, 邱思鑫, 许泳清, 等. 优质甘薯种质福薯 1 号鉴定及利用研究[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14 (1): 184-188.
- [11] 后 猛, 张允刚, 刘亚菊, 等. 优质鲜食及加工型甘薯新品种徐紫肉甘薯 8 号生产力及特性鉴定[J]. 西南农业学报, 2020, 33 (1): 21-25.
- [12] 张道微, 张超凡, 董 芳, 等. 中国甘薯育成品种遗传系谱分析[J]. 湖南农业科学, 2015(11): 1-6.
- [13] 唐 君, 周志林, 赵冬兰, 等. 76 份特用甘薯种质资源的鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13 (2): 195-200.
- [14] 唐忠厚, 李洪民, 李 强, 等. 基于近红外光谱技术预测甘薯块根淀粉与糖类物质含量[J]. 江苏农业学报, 2013, 29 (6): 1260-1265.
- [15] GUO K, LIU T, XU A, et al. Structural and functional properties of starches from root tubers of white, yellow, and purple sweet potatoes [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 89: 829-836.
- [16] 崔 翠, 孙建蓉, 赵愉风, 等. 豌豆嫩尖几个营养品质性状的遗传多样性分析及其综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20 (4): 932-948.
- [17] 杨 航, 于二汝, 魏忠芬, 等. 贵州地方芝麻种质资源品质性状的分析与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21 (2): 369-376.
- [18] 徐 娟, 黄 洁, 许瑞丽, 等. 28 份甘薯种质的产量和营养及食味评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38 (1): 8-15.
- [19] 胡 玲, 李 强, 王 欣, 等. 甘薯地方品种和育成品种的遗传多样性[J]. 江苏农业学报, 2010, 26 (5): 925-935.
- [20] 沈升法, 项 超, 吴列洪, 等. 浙江省甘薯种质资源的品质鉴定与聚类分析[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22 (1): 247-259.
- [21] 赵冬兰, 唐 君, 曹清河, 等. 中国甘薯地方种质资源遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16 (5): 994-1003.
- [22] 赵冬兰, 唐 君, 曹清河, 等. 引进甘薯种质资源主要品质性状鉴定评价[J]. 江西农业学报, 2013, 25 (10): 10-12.
- [23] 周志林, 唐 君, 曹清河, 等. 淀粉专用型甘薯品质形成规律及其与主要农艺性状的相关性[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(2): 277-283.
- [24] 密 扬, 陈剑秋, 王瑞霞, 等. 不同施钾量对淀粉型甘薯光合特性、淀粉含量及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(12): 68-74.
- [25] 刘中华, 林志坚, 李华伟, 等. 甘薯种质资源遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(11): 2392-2400.

(责任编辑: 陈海霞)