

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2021.10.009

10 个叶菜型甘薯品种茎尖总黄酮质量分数及其稳定性的分析与评价^①

黄 雨, 王璐璐, 李佳欣, 冉海榕, 陈培涛, 李丰茂, 傅玉凡

西南大学 生命科学学院/重庆市甘薯工程技术研究中心, 重庆 400715

摘要: 测定了 10 个叶菜型甘薯品种在 2018—2019 两个年度 12 次采收期的茎尖及其叶片、叶柄和茎 3 个部位的总黄酮质量分数, 并运用 DPS 数据处理系统对 10 个品种的总黄酮质量分数及其稳定性进行分析与综合评价, 以期筛选出具有总黄酮质量分数高且稳定性好的品种. 结果表明: 10 个品种茎尖及其 3 个部位的总黄酮质量分数受采收期、品种两个因素的主导影响, 但二者影响的相对大小在不同年份有差异; 采收期对总黄酮质量分数既有提高的正向效应, 也有降低的负向效应. 叶片是决定茎尖总黄酮质量分数的主要器官. 广菜薯 7 号、海大 7798 和黔菜薯 2 号属于总黄酮质量分数高且稳定性好的优质叶菜型品种.

关键词: 叶菜型甘薯; 总黄酮; 稳定性; AMMI 模型

中图分类号: S531

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2021)10-0051-07

Analysis and Evaluation of Total Flavonoids and Their Stability in Shoot-Tips of Ten Leaf-Vegetable Sweet Potato Varieties

HUANG Yu, WANG Lulu, LI Jiabin,

RAN Hairong, CHEN Peitao, LI Fengmao, FU Yufan

*School of Life Science, Southwest University/Engineering and Technology Research Center
for Sweet Potato of Chongqing, Chongqing 400715, China*

Abstract: In the present paper, the contents of total flavonoids in shoot tips and its leaves, petioles, stems of ten leaf-vegetable sweet potato varieties from twelve topping times in 2018—2019 were determined. In order to screen out the varieties with high total flavonoids content and good stability, these total flavonoids and their stability were analyzed and comprehensively evaluated by DPS. The results show that the contents of total flavonoids in shoot tips and its three parts of ten leaf-vegetable sweet potato varieties were mainly influenced by the topping times and the varieties, but the relative influence of the topping time effects and the variety effects are differences in different years. The topping times had both positive effects of increase and negative effects of decrease on the contents of total flavonoids, and the leaves were the main

① 收稿日期: 2020-09-02

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-10-C20-2020), 重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(cstc2019jcxgksbX0100).

作者简介: 黄 雨, 硕士研究生, 主要从事甘薯遗传育种的研究.

通信作者: 傅玉凡, 博士, 研究员.

organ that determined the total flavonoids content of the shoot tips. According to the comprehensive evaluation, the Guangcaishu NO. 7, Haida 7798 and Qiancaishu NO. 2 belong to the high quality leaf-vegetable sweet potato varieties with high total flavonoids and good stability in this paper.

Key words: leaf-vegetable sweet potato; total flavonoids; stability; AMMI model

甘薯藤蔓不仅生物产量高,而且营养丰富和饲用价值高^[1],是重庆、四川等地生猪、山羊、奶牛等畜牧家禽的重要饲料来源^[2].然而,藤蔓顶端生长点及其以下长 10~15 cm 节段的叶片、叶柄与茎即茎尖^[3](重庆等地区又称苕尖)由于具有质地鲜嫩、无苦涩味和适口性好等特点,在中国、日本、朝鲜、韩国和东南亚地区用作蔬菜^[4].甘薯茎尖不仅蛋白质、膳食纤维、多种维生素以及矿物质等营养成分丰富,优于其他普通蔬菜^[5-7],而且还富含黄酮、绿原酸、多酚等一类具有抗氧化活性、抗肿瘤、降血糖、保持心血管健康等多种生理保障功能的活性物质^[6-10].因此,叶菜型甘薯新品种的选育及其推广成为甘薯产业化的重要方向之一^[11].

黄酮类化合物是一类以游离体或糖苷的形式广泛存在于植物中的最常见的色素物质,仅次于叶绿素和类胡萝卜素^[12].对于甘薯茎尖中总黄酮的研究近年来主要集中在提取工艺的优化^[13]、不同部位质量分数的测定^[14]、抗氧化活性能力^[15]等方面.关于不同品种的叶菜型甘薯茎尖及其叶片、叶柄和茎 3 个部位的总黄酮质量分数在采收期间的稳定性分析尚未见到报道.本文测定了 10 个叶菜型甘薯品种两个年度共 12 个采收期茎尖及其叶片、叶柄和茎 3 个部位的总黄酮质量分数,并分析和评价了其在品种间的差异与在采收期间的稳定性,为叶菜型品种的推广利用提供参考.

1 材料与方法

1.1 供试材料

本文供试材料来自 2018—2019 年全国叶菜型新品种联合鉴定重庆点,供试材料(品种)的编号、名称及其选育单位见表 1,其中福薯 7-6 为对照品种.

表 1 10 个叶菜型甘薯品种的名称及其选育单位

编号	品种名称	选育单位
Y1	EC15	湖北省农业科学院粮作所
Y2	广菜薯 7 号	广东省农业科学院作物研究所
Y3	桂薯菜 14-7	广西农业科学院玉米研究所
Y4	湘菜薯 3 号	湖南省农业科学院作物所
Y5	薯绿 2 号	中国农业科学院甘薯所
Y6	海大 7798	海南大学热带农林学院
Y7	阜菜 13-14	阜阳市农业科学院
Y8	黔菜薯 2 号	贵州省生物技术研究所 贵州省园艺研究所
Y9	福菜薯 25	福建省农业科学院作物所
Y10(CK)	福薯 7-6	福建省农业科学院作物所

1.2 田间试验设计及其概况

两年实验地点均设在西南大学合川实验农场基地,前茬均为空闲地,砂壤土.实验地翻耕后施用 N:P:K 为 17:9:23 的复合肥 750 kg/hm²,畦作.两年均采取完全随机区组排列,3 次重复.每小区面积 4.2 m²,种植 6 行,行距 30 cm,株距 20 cm,90 株/小区,折合密度 214 286 株/hm².2018 年、2019 年分别于 6 月 16 日、6 月 20 日栽插,7 月 15 日、7 月 20 日首次采收茎尖,其后每间隔 10 d 再次采收,于 9 月 3 日、9 月 8 日结束采收,每年均累积采收 6 次.

1.3 取样及其样品制备

每次采收并测定小区茎尖质量后,充分混匀采得的茎尖,随机取样 30 株,用剪刀将茎尖的叶片、叶柄和茎分离,分别称鲜质量,切细后分别装入纸袋,置于 60℃烘干至恒质量后称干质量,再将烘干的样品粉碎,过 100 目筛得到干样,密封低温保存,待测.所有采收期样品制备齐全后,统一集中测定.

1.4 芦丁标准曲线的绘制及样品总黄酮质量分数的测定

1.4.1 芦丁标准曲线的绘制

精密称取 120 ℃烘干至恒质量的芦丁标准品 10.00 mg,用 70%的乙醇溶解,定容于 50 mL 容量瓶中,摇匀,得到质量浓度为 0.2 mg/mL 的标准溶液. 精确吸取芦丁标准溶液 0,1.2,1.4,1.6,1.8,2.0,2.4,2.8 mL 于 10 mL 容量瓶中,加入 70%的乙醇溶液稀释至 5.0 mL,加入 5%的 NaNO₂ 溶液 0.4 mL,摇匀,静置 6 min后加入 10%的 Al(NO₃)₃ 溶液 0.4 mL,摇匀,静置 6 min,再加入 4.3%的 NaOH 溶液 4.0 mL,使用 70%的乙醇溶液定容至刻度线,摇匀,放置 15 min,以空白试剂为参比液,用紫外分光光度计在 502 nm 波长处测定吸光度(全波长扫描在 502 nm 波长处有最大吸收峰),以反应体系里芦丁质量浓度(X)为横坐标,吸光度(Y)为纵坐标,绘制标准曲线,得到线性回归方程为 $Y=13.197 X-0.0016$, $R^2=0.9998$.

1.4.2 总黄酮的提取与质量分数测定

参照郑丽等^[13]报道的总黄酮的提取工艺流程并进行正交优化实验,得到的提取条件:乙醇浓度为 70%,提取温度为 70 ℃,超声时间为 60 min,料液比为 1:50. 准确称取样品干粉 0.200 0 g 于 50 mL 离心管中,10 mL 石油醚脱脂 3 次,干燥挥发掉石油醚后,加入 10 mL 70%的乙醇提取液浸泡 18 h,70 ℃超声波提取 60 min,高速离心(5 000 r/min,10 min),吸取上清液于容量瓶中(叶片于 50 mL 容量瓶中,叶柄和茎于 25 mL容量瓶中),重复提取 2 次,合并上清液并用 70%的乙醇提取液定容至刻度线,得总黄酮提取待测液.

总黄酮质量分数测定参照《中国药典》中报道的硝酸铝显色法^[16-17]. 取 1.0 mL 待测液于 10 mL 的容量瓶中,加入 4.0 mL 70%的乙醇,其余步骤同标准曲线制作方法. 茎尖叶片、叶柄和茎 3 个部位的鲜基总黄酮质量分数(A)按照下列公式计算:

$$A=(C\times10\times V_1)/(V_2\times m)\times M$$

式中,C 为反应体系里总黄酮质量浓度(mg/mL),由标准曲线回归方程计算得出;10 为反应体系总体积;V₁ 为提取液定容体积(mL),本文中叶片的 V₁=50 mL,叶柄和茎的 V₁=25 mL;V₂ 为吸取待测液体积(mL),V₂=1.0 mL;m 为称取样品干样质量(g),m=0.200 0 g;M 为样品中干物质质量分数(%).

茎尖总黄酮质量分数为叶片、叶柄和茎各自的总黄酮质量分数与其占茎尖总鲜质量比例之和.

1.5 数据分析

本文在运用 Microsoft Excel 2016 软件对数据进行初步处理的基础上,把 10 个品种每年的 6 次“采收期(代表符号 P)”类比为品种区域实验中的“地点”,采用 DPS v 9.50(Data Processing System v9.50)软件中“有重复 AMMI 模型”菜单^[18-20]对 10 个品种 6 次采收期的总黄酮质量分数进行方差分析与采收期间的稳定性分析.

2 结果与分析

2.1 10 个品种总黄酮质量分数的方差分析和品种间的多重比较

2.1.1 总黄酮质量分数的方差分析

应用 AMMI 模型分别对 2018 年和 2019 年的品种、采收期二因素进行方差分析,结果表明(数据略):无论叶片、叶柄、茎还是茎尖整体,总黄酮质量分数在品种间与采收期间差异均有统计学意义. 品种与采收期的互作效应对 2018 年叶柄和 2019 年叶片和茎尖整体的总黄酮质量分数影响无统计学意义,其余情形下品种与采收期间的互作效应对总黄酮质量分数影响有统计学意义.

就品种间、采收期间以及品种与采收期间交互作用的平方和占处理总平方和的比例(表 2)而言,无论是 2018 年还是 2019 年,品种与采收期间交互作用的变异平方和占整个处理平方和的比例均较小,而品种间和采收期间两个因素的比例相对较大,2018 年品种的处理效应较大,2019 年采收期的处理效应较大.

表 2 品种、采收期及互作的变异平方和占处理总平方和的比例 /%

各处理	叶片		叶柄		茎		茎尖	
	2018 年	2019 年	2018 年	2019 年	2018 年	2019 年	2018 年	2019 年
品种	52.82	22.12	63.43	32.94	75.73	31.75	57.95	21.18
采收期	35.93	69.02	26.76	54.18	14.77	52.37	33.54	69.13
品种与采收期	11.26	8.86	9.81	12.88	9.50	15.89	8.51	9.68

应用 DPS 区域实验模块下的 3 因素方差分析方法得到的结果表明：两年实验在总体上，无论是茎尖整体，还是茎尖的叶片、叶柄和茎 3 个部位，对总黄酮质量分数影响的主效应大小依次为年份、采收期、品种，差异有统计学意义。二因素互作效应大小依次是年份与采收期、年份与品种、采收期与品种，差异有统计学意义。除开叶片的总黄酮质量分数以外，年份、采收期与品种的 3 因素互作效应对茎尖、叶柄和茎的总黄酮质量分数影响差异有统计学意义。

2.1.2 总黄酮质量分数在品种间的比较及茎尖各部位对茎尖总黄酮质量分数的贡献比例

对两年 12 个采收期的总黄酮质量分数平均值进行了品种间的 Duncan 多重比较，结果见表 3。福莱薯 25 (Y9)的叶片、茎和茎尖整体的总黄酮质量分数均极显著高于其余 9 个品种，其叶柄总黄酮质量分数除显著高于薯绿 2 号(Y5)以外，也均极显著高于其余 8 个品种。Y2,Y4,Y5,Y6 和 Y8 这 5 个品种各部位及茎尖整体的总黄酮质量分数在除福莱薯 25(Y9)以外的 9 个品种中相对较高，且这 5 个品种叶片和茎尖整体的总黄酮质量分数差异无统计学意义。Y5 叶柄的总黄酮质量分数显著高于 Y2,Y4,Y6 和 Y8，后 4 个品种叶柄的总黄酮质量分数之间差异无统计学意义。Y2 茎的总黄酮质量分数低于 Y4,Y5,Y6 和 Y8，后 4 个品种茎的总黄酮质量分数之间差异无统计学意义。Y1,Y3,Y7,Y10 这 4 个品种的茎尖以及各个部位总黄酮质量分数在 10 个品种中相对较低。变异系数表明，叶柄和茎的总黄酮质量分数在品种之间差异高于叶片，茎尖和叶片总黄酮质量分数在品种之间的变异系数较为一致。

10 个品种叶片对茎尖总黄酮质量分数贡献比例(表 3)的平均值为 81.15%，远高于叶柄(8.17%)和茎(10.68%)对茎尖总黄酮质量分数的贡献比例。

表 3 总黄酮质量分数及各部位对茎尖总黄酮质量分数贡献比例

品种	叶片		叶柄		茎		茎尖
	质量分数 /(g·kg ⁻¹)	比例 /%	质量分数 /(g·kg ⁻¹)	比例 /%	质量分数 /(g·kg ⁻¹)	比例 /%	质量分数 /(g·kg ⁻¹)
Y1	4.05deE	85.63	0.60deD	6.52	0.77dC	7.85	2.27cC
Y2	6.69bBC	82.49	1.15cBC	6.03	1.16cdBC	11.48	3.55bBC
Y3	4.75deDE	80.45	0.95cdCD	8.27	1.12cdBC	11.28	2.80bcBC
Y4	7.48bB	84.53	0.94cdCD	6.80	1.25bcBC	8.67	3.86bB
Y5	6.36bcBCD	75.14	1.55bAB	11.67	1.56bB	13.19	3.82bB
Y6	6.49bcBCD	83.40	1.14cBC	6.85	1.51bcB	9.75	3.89bB
Y7	5.26cdCDE	83.45	0.85cdCD	7.21	1.14cdBC	9.34	3.01bcBC
Y8	6.73bBC	81.05	0.92cdCD	9.94	1.30bcB	9.01	3.23bcBC
Y9	10.26aA	79.19	1.98aA	7.20	2.86aA	13.61	6.10aA
Y10	3.72eE	76.28	0.51eD	11.18	1.14cdBC	12.54	1.97cBC
平均值/(g·kg ⁻¹)	6.18	81.15	1.06	8.17	1.38	10.68	3.45
变异系数/%	30.74		41.51		40.29		30.77

注：同列数据小写字母不同表示 $p<0.05$ ，大写字母不同表示 $p<0.01$ ，差异有统计学意义。

2.2 10 个品种总黄酮质量分数的 AMMI 双标图分析

AMMI 双标图能直观地反应品种与采收期的交互作用，是分析基因与环境交互作用的有效工具^[21]。以 6 次采收期的总黄酮质量分数平均值为横坐标，以互作效应主成分分析 *IPCA1* 值为纵坐标分别对 2018 年、2019 年总黄酮质量分数采收期的平均值做 AMMI 双标图。图 1 和图 2 的水平方向上，品种或采收期的离散程度能够表明相应的主效应大小；垂直方向上，*IPCA1* 绝对值越小，表明品种与采收期互作效应越小，说明该品种越稳定。如果品种与采收期在 *IPCA1*=0 水平线为界的同一侧，表明品种与采收期为正交互作用，即采收期对总黄酮质量分数的提高有积极作用；不在同一侧则有负交互作用，即对总黄酮质量分数具有减少效应。根据各品种与不同采收期的正交互作用，可以确定其适宜的采收期。

图 1、图 2 的品种、采收期在水平方向上的离散程度表明：2018 年无论是叶片、叶柄、茎还是茎尖，品种分布范围比采收期大，变异来源更多来自基因型变化；而 2019 年无论是叶片、叶柄、茎还是茎尖，采收期分布范围比品种大，变异来源更多来自环境变化。在垂直方向上，无论是叶片、叶柄、茎还是茎尖整体，2018 年 Y3,Y6 和 Y10 的 *IPCA1* 绝对值相对较小，稳定性最好，Y2,Y7 和 Y8 的 *IPCA1* 绝对值中等，稳定性一般，Y1,Y4,Y5 和 Y9 的 *IPCA1* 绝对值相对较大，稳定性最差；2019 年 Y2,Y3,Y6 和 Y8 的 *IPCA1*

绝对值相对较小, 稳定性最好, 品种 Y4, Y7 和 Y10 的 *IPCA*1 绝对值中等, 稳定性一般, 而品种 Y1, Y5 和 Y9 的 *IPCA*1 绝对值相对较大, 稳定性最差. 两年总体而言, Y2, Y3, Y6 和 Y8 总黄酮质量分数的稳定性相对最好, Y1, Y9 和 Y10 的稳定性相对最差. 品种与采收期之间交互作用比较复杂, 因品种、部位和年份有差异, 既有正交互作用, 也有负交互作用.

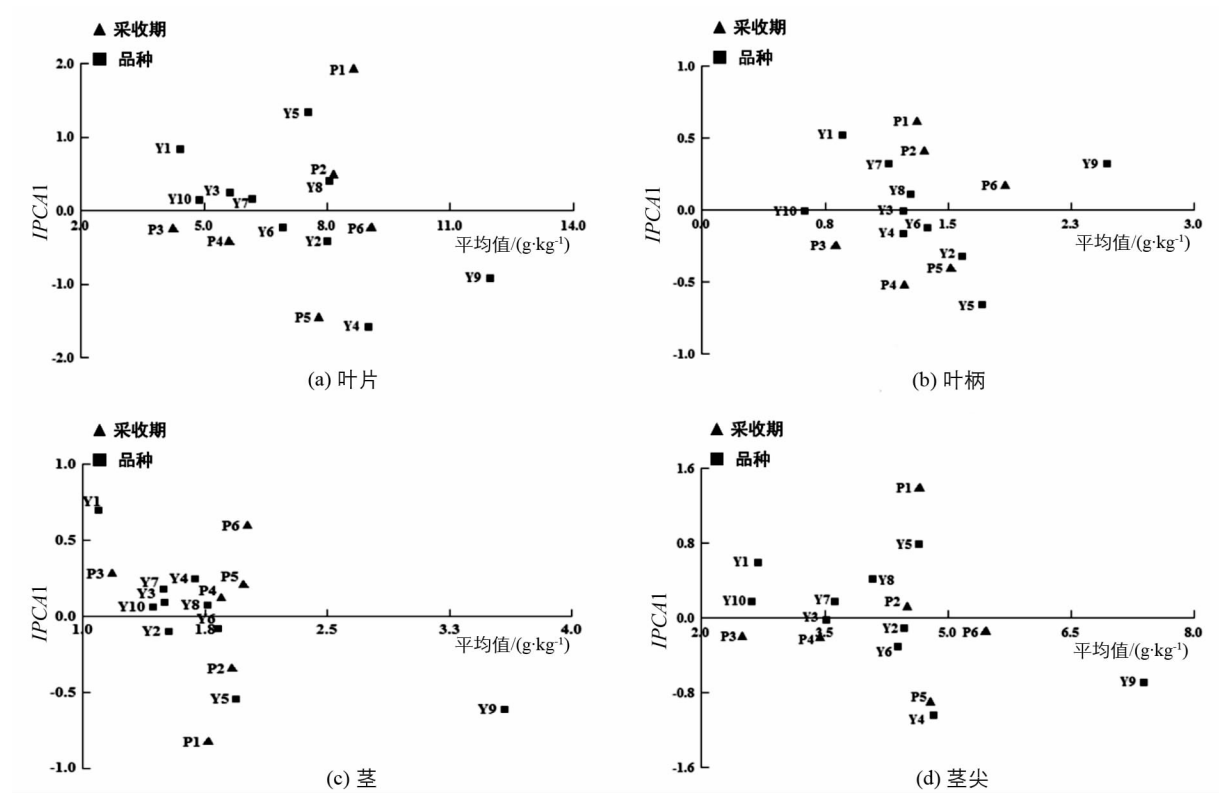


图 1 2018 年 10 个品种总黄酮质量分数采收期间平均值的 AMMI 双标图

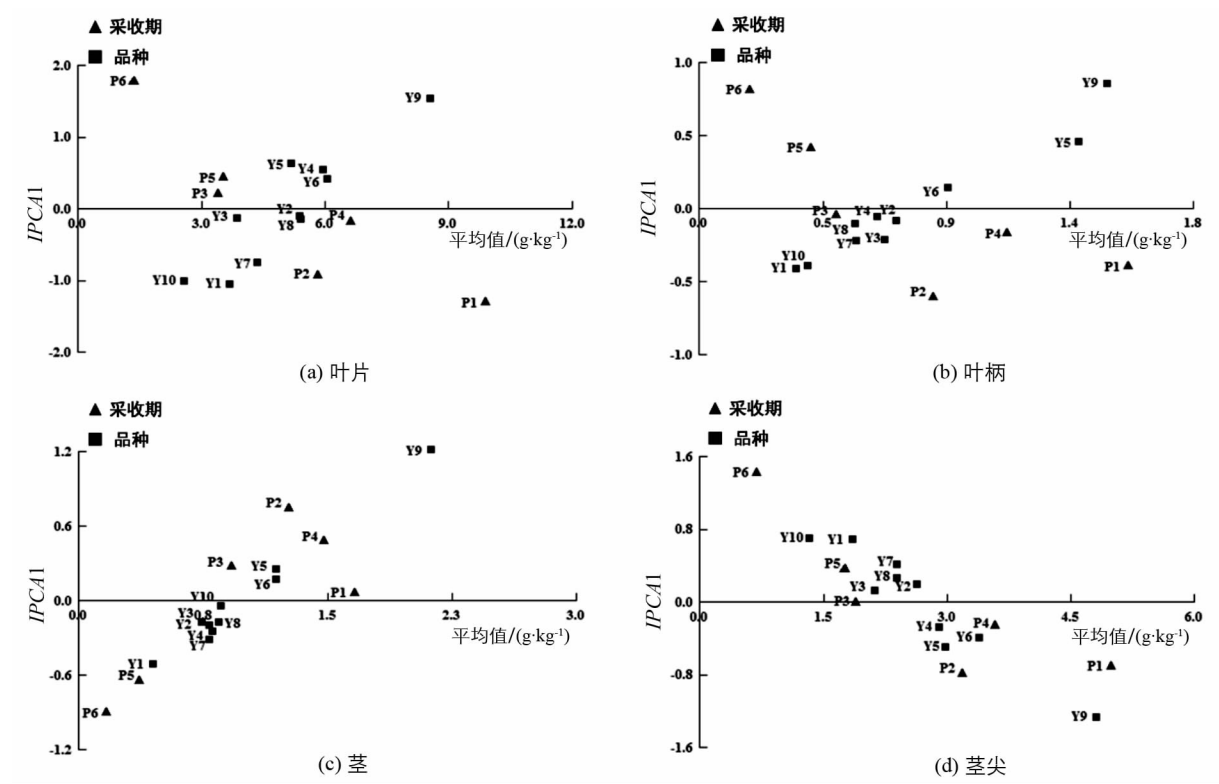


图 2 2019 年 10 个品种总黄酮质量分数采收期间平均值的 AMMI 双标图

2.3 10 个品种总黄酮质量分数的稳定性分析

利用 AMMI 模型的交互效应主成分轴计算出的各品种总黄酮质量分数稳定性参数(D_i)值,可以有效地描述总黄酮质量分数在采收期间的稳定性, D_i 值越小,稳定性越好,反之稳定性越差. 综合 10 个品种不同部位及其茎尖整体的总黄酮质量分数的稳定性参数 D_i 值及其排序,结果表明:总黄酮质量分数采收期稳定性相对较好的品种分别有 Y2,Y3,Y6,Y7 和 Y8,而 Y1,Y4,Y5,Y9 和 Y10 的稳定性参数 D_i 值较大,其稳定性相对较差(表 4).

表 4 2018 年和 2019 年不同品种各部位的稳定性参数(D_i)及其排序

部位	D_i	年份	品 种									
			Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
叶片	数值	2018 年	0.82	0.44	0.32	1.36	1.26	0.40	0.14	0.36	0.80	0.26
		2019 年	0.90	0.22	0.42	0.81	0.51	0.36	0.61	0.31	1.33	0.82
	排序	2018 年	8	6	3	10	9	5	1	4	7	2
		2019 年	9	1	4	7	5	3	6	2	10	8
叶柄	数值	2018 年	0.43	0.26	0.07	0.18	0.52	0.17	0.33	0.17	0.33	0.27
		2019 年	0.35	0.07	0.21	0.10	0.45	0.28	0.20	0.14	0.73	0.34
	排序	2018 年	7	4	1	3	8	2	6	2	6	5
		2019 年	8	1	5	2	9	6	4	3	10	7
茎	数值	2018 年	0.56	0.21	0.17	0.22	0.49	0.07	0.21	0.24	0.52	0.13
		2019 年	0.49	0.20	0.19	0.23	0.25	0.22	0.30	0.17	1.13	0.06
	排序	2018 年	9	4	3	5	7	1	4	6	8	2
		2019 年	9	4	3	6	7	5	8	2	10	1
茎尖	数值	2018 年	0.61	0.30	0.13	0.81	0.81	0.30	0.17	0.33	0.58	0.26
		2019 年	0.62	0.22	0.41	0.43	0.40	0.39	0.36	0.26	1.07	0.59
	排序	2018 年	7	4	1	8	8	4	2	5	6	3
		2019 年	9	1	6	7	5	4	3	2	10	8

注:同行 D_i 值由低到高排序.

3 讨论与结论

傅玉凡等^[14]研究了叶菜型甘薯茎尖总黄酮质量分数在不同品种、部位和采收期的变化,但是对于品种、采收期对总黄酮质量分数的具体影响和质量分数在采收期间的稳定性没有报道. 徐文燕等^[22]研究了环境因子对植物黄酮类化合物生物合成的影响,表明光照、降雨、土壤水分等环境因子对于黄酮类成分合成途径相关酶的活性有一定影响,从而影响其合成. 本文运用 AMMI 二因素方差分析表明:品种、采收期对茎尖总黄酮质量分数均有主效应,且因年份不同而有差异,表明虽然可以筛选出高黄酮质量分数的叶菜型品种,但是由于不同年份和不同采收期之间环境因素的不同而结果不同,因此要注意总黄酮质量分数在年份之间和采收期之间的稳定性问题.

与傅玉凡等^[14]、Zhao 等^[23]研究结果类似,本文 10 个品种的茎尖 3 个部位总黄酮质量分数和总黄酮占比由高到低排序均表现为叶片、茎、叶柄,叶片部位对茎尖总黄酮质量分数的贡献比例较高,平均值达到 81.15%,同时茎尖以及叶片总黄酮质量分数在品种间的变异系数接近一致,叶片黄酮质量分数和茎尖总黄酮质量分数的 AMMI 双标图的分布形态类似,茎尖及其叶片总黄酮质量分数相关系数分析差异有统计学意义($r=0.959$, $Sig.<0.0001$). 这些结果表明:叶片对茎尖总黄酮质量分数具有决定性作用,因此,在选育高黄酮叶菜型品种时应当关注叶片质量占比高和叶片黄酮质量分数占比高的品种.

选育出茎尖总黄酮质量分数高且在采收期间又比较稳定的品种有利于叶菜型甘薯品种的种植和开发利用. 本文借鉴 DPS 数据处理软件中基于 AMMI 模型对新品种区域实验产量丰产性、稳定性和适宜地区综合评价的方法,对 10 个品种茎尖及其各部位总黄酮质量分数的高低和稳定性进行了分析和综合评价,结果表明:广菜薯 7 号(Y2)、海大 7798(Y6)和黔菜薯 8 号(Y8)属于总黄酮质量分数高且稳定性好的品种.

参考文献:

[1] 陈 艳,王之盛,张晓明,等. 常用粗饲料营养成分和饲用价值分析 [J]. 草业学报, 2015, 24(5): 117-125.

[2] 付玉凡,张启堂,杨春贤,等. 甘薯新品种“渝薯 15”选育研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2005, 30(4): 707-710.

[3] 赵 樱,谢小焕,傅玉凡,等. 甘薯苗期茎尖多酚含量对其 DPPH · 清除反应的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(2): 39-45.

[4] 陆漱韵,刘庆昌,李惟基. 甘薯育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 1-4.

[5] WOOLF E J A. Sweetpotato, an Untapped Food Resource[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1992.

[6] 张立明,王庆美,王荫墀. 甘薯的主要营养成分和保健作用 [J]. 杂粮作物, 2003, 23(3): 162-166.

[7] LIM T K. Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants [M]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2016.

[8] ISLAM S. Sweetpotato (*Ipomoea Batatas* L.) Leaf: Its Potential Effect on Human Health and Nutrition [J]. Journal of Food Science, 2006, 71(2): 13-121.

[9] 傅玉凡,杨春贤,赵亚特,等. 不同叶菜型甘薯品种茎尖绿原酸含量及清除 DPPH · 能力 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(23): 4814-4822.

[10] 王 鹏,刘明秀,李晓林,等. 普通枇杷与野生枇杷总黄酮、总酚及抗氧化活性分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(12): 33-39.

[11] 张立明,汪宝卿. 甘薯高产高效栽培十大关键技术 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2015.

[12] 张 燕,陈 艳,姜 玮,等. 微波技术辅助提取蓝莓枝干黄酮工艺优化研究 [J]. 食品与发酵科技, 2019, 55(1): 5-10.

[13] 郑 丽,彭 雪,张 悦,等. 超声波法提取紫薯茎叶中总黄酮的工艺优化 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 189-194.

[14] 傅玉凡,曾令江,杨春贤,等. 叶菜型甘薯蔓尖黄酮类化合物含量在不同品种、部位和采收期的变化 [J]. 中国中药杂志, 2010, 35(9): 1104-1107.

[15] 靳艳玲,谭 力,杨 林,等. 不同品种甘薯不同部位的抗氧化活性研究 [J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 51-58.

[16] 唐红军. 中国药典 2000 年版一部检测芦丁含量方法的改进 [J]. 中国医院药学杂志, 2002, 22(1): 60.

[17] 颜仁梁,刘志刚. 中草药、中药制剂中总黄酮类化合物含量测定方法综述 [J]. 广州医药, 2005, 2(6): 6-10.

[18] 张 泽,鲁 成,向仲怀. 基于 AMMI 模型的品种稳定性分析 [J]. 作物学报, 1998, 24(3): 304-309.

[19] 吴为人. 对基于 AMMI 模型的品种稳定性分析方法的一点改进 [J]. 遗传, 2000, 22(1): 31-32.

[20] 唐启义. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析及数据挖掘 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2010: 552-560.

[21] 滕振宁,张玉烛,方宝华,等. 用 AMMI 双标图分析早稻稻米镉含量的基因型与环境互作效应 [J]. 生态环境学报, 2016, 25(4): 692-697.

[22] 徐文燕,高微微,何春年. 环境因子对植物黄酮类化合物生物合成的影响 [J]. 世界科学技术, 2006, 8(6): 68-72.

[23] ZHAO H Y, LI H, LIU Y, et al. Content Determination of Flavonoids and Chlorogenic Acid in Different Organs of Sweet Potatoes [J]. Medicinal Plant, 2013, 4(5): 62-64.

责任编辑 周仁惠