

基于指纹图谱与主成分分析评价 不同采收期红薯叶的质量

韩忠耀¹,张智程¹,余爽爽¹,刘帮琴¹,李燕¹,李江^{1,2},张林甦¹

(1.黔南民族医学高等专科学校 贵州都匀 558000; 2.贵阳康养职业大学 贵阳 550081)

摘要:建立不同采收期红薯叶的高效液相色谱指纹图谱,并对其开展主成分分析,为不同采收期红薯叶的质量控制及品质评价提供参考。以10批不同采收期红薯叶为研究样本,探索不同采收期红薯叶HPLC指纹图谱分离条件并对样本进行分析检测,建立不同采收期红薯叶指纹图谱并进行相似度评价,对不同采收期红薯叶进行主成分分析。结果表明,建立的不同采收期红薯叶HPLC指纹图谱的方法稳定、可靠,不同采收期红薯叶指纹图谱中有10个共有峰,经对照品指认,确认峰3为绿原酸吸收峰。6—7月采收的红薯叶质量波动较大,与8月后样本相比,质量存在较大差异,8月及后期采收的红薯叶样本质量趋于稳定。10批不同采收期红薯叶的相似度为0.720~0.988。不同采收期红薯叶主成分分析共得到2个主成分,累计方差贡献率达到86.849%。本研究结果为不同采收期红薯叶质量控制及其开发的相关农产品的品质评价奠定了基础。

关键词:红薯叶;高效液相色谱法;指纹图谱;相似度;主成分分析;绿原酸

中图分类号:S531

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)02-182-08

Quality evaluation of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons based on HPLC fingerprint and principal component analysis

HAN Zhongyao¹, ZHANG Zhicheng¹, YU Shuangshuang¹, LIU Bangqin¹, LI Yan¹, LI Jiang^{1,2}, ZHANG Linsu¹

(1. Qiannan Medical College for Nationalities, Duyun 558000, Guizhou, China; 2. Guiyang Healthcare Vocational University, Guiyang 550081, Guizhou, China)

Abstract: The high performance liquid chromatography fingerprint of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons was established, and the principal component analysis was carried out to provide reference for the quality control and quality evaluation of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons. Taking 10 batches of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons as research samples, the separation conditions of HPLC fingerprints of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons were explored and the samples were analyzed and detected. The fingerprints of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons were established and the similarity was evaluated, and the principal component analysis of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons was carried out. The results showed that the established HPLC fingerprint method of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons was stable and reliable. There were 10 common peaks in the fingerprint of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons. After identification with reference substances, peak 3 was confirmed as chlorogenic acid absorption peak. The quality of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons from June to July fluctuated greatly, and there was a big difference in quality compared with the samples collected after August. The quality of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons collected in August and later period tended to be stable. The similarity of 10 batches of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons was 0.720-0.988. Two principal components were obtained by principal component analysis of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons. And the cumula-

收稿日期:2025-04-07;修回日期:2025-07-25

基金项目:贵州省自然科学基金(黔科合基础(2020)1Y390号);贵州省中医药管理局中医药、民族医药科学技术研究基金(QZYY-2025-085,QZYY-2026-090);黔南州科技计划项目(黔南科合社字(2024)5号);黔南民族医学高等专科学校科研创新团队培育项目(No.Qnyz2024002);黔南民族医学高等专科学校科研基金项目(Qnyz2023004)

作者简介:韩忠耀,男,教授,研究方向为保健功能食品及中药(民族药)质量控制。E-mail:317230913@qq.com

通信作者:张林甦,女,教授,主要从事药用植物功能基因组学研究。E-mail:linsuzhang009@163.com

tive contribution rate of the two principal components reached 86.849%. The results of this study laid a foundation for the quality control of *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons and the quality evaluation of related agricultural products developed.

Key words: *Ipomoer batatas* Poir leaves; HPLC; Fingerprint; Similarity; Principal component analysis; Chlorogenic acid

红薯叶为旋花科一年生草本植物红薯(*Ipomoer batatas* Poir)生长过程中茎上的叶片,别名番薯叶、番芋叶等,具有抑菌、抗氧化、降血糖、提高免疫力等功能,因营养价值丰富、口感好且种植范围广,民间常作为食品广泛食用^[1-2]。红薯叶草本植物体因物美价廉且易于种植,在全国各地3—5月期间广泛种植,生长周期通常约6个月。

向仁德等^[3]、刘法锦等^[4]、Islam等^[5]利用现代分析技术对红薯叶化学成分开展相关研究发现,红薯叶主要含有有机酸类、黄酮类、苯丙素类等化学成分,次生代谢产物代表性成分如绿原酸、3,4-反式-咖啡酰奎尼酸、槲皮苷、槲皮素、7,3',4'-三甲氧基槲皮素等化学成分。Ishida等^[6]、黎盛蓉等^[7]、张彧等^[8]研究表明,红薯叶含有氨基酸、蛋白质、膳食纤维、维生素、矿物质等营养成分。有关红薯叶的相关研究,除集中在化学成分相关领域外^[9-10],孟爱丽等^[11]主要聚焦红薯茎叶的保健功能价值,围绕红薯茎叶的产品开发及其功能成分进行了系统总结。杨志刚等^[12]围绕红薯淀粉深加工,黎怡等^[13]围绕清香型红薯叶茶的加工,张娜等^[14]围绕红薯叶戚风蛋糕的综合开发利用,对红薯叶生产加工与产业化进行了相关研究。为综合开发利用红薯叶,其工艺优化日益成为研究人员关注的热点方向之一。刘莉等^[15]采用响应面法优化红薯叶中水溶性膳食纤维提取工艺,高雪丽等^[16]采用响应面法优化红薯叶凉粉的配方及工艺,亓伟华等^[17]对红薯叶中糖蛋白的提取工艺开展了研究,侯敏娜等^[18]采用响应面法优化红薯叶多酚超声辅助提取工艺并对其抗氧化活性开展研究,任美燕等^[19]采用响应面法优化红薯叶低糖饼干配方,李松昂等^[20]结合超声辅助酶法提取红薯叶多糖及其抗氧化研究,刘伟等^[21]对红薯叶茎中黄酮的提取工艺进行了系统化研究。同时,红薯叶可以开发成酸菜等农产品,刘锡铭等^[22]研究发现,贮藏条件对红薯叶酸菜品质会造成一定的影响;宋文华等^[23]研究发现,不同乳杆菌对发酵红薯叶及其酸菜品质有不同程度的影响。有关红薯叶的相关研究多集中在化学成分、保健功能、生产加工与产业化、工艺优化、品质评价等诸多方面,而有关不同采收期红薯叶指纹图谱及采用化学模式识别方法对其进行质量评价的相关研究均未见报道。

指纹图谱技术基于农产品、中药(民族药)、保健功能产品的“整体性”化学成分对农产品、中药(民族药)、保健功能产品进行质量控制及品质评价,与通过一个或几个化学成分进行评价的传统方法相比,更具科学性^[24]。当前,指纹图谱在农产品领域有巨大的应用潜力^[25],可用于农产品产地溯源^[26]、挥发性气味分析^[27]、品质评价^[28]、大豆脂肪酸含量测定^[29]、指纹图谱数据平台建设^[30]等。通过指纹图谱技术结合化学模式识别分析方法,可评价不同采收期农产品品质,对农产品最佳采收期的确定等具有重要意义。

鉴于此,笔者以不同采收期的红薯叶为研究样本,采用高效液相色谱法,建立其HPLC指纹图谱,对其指纹图谱部分共有峰进行指认,采用相似度软件对不同采收期红薯叶的HPLC指纹图谱开展相似度评价,同时应用SPSS 18.0统计学软件对不同采收期红薯叶进行主成分分析,以期为不同采收期红薯叶质量控制、品质评价及质量标准制定提供参考与借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料

供试样本均来自黔南民族医学高等专科学校民族药及保健食品指纹图谱技术应用与示范团队,选用适宜于贵州山区种植的紫云红芯红薯品种为秧苗母本,该品种外形呈长纺锤形,表皮淡黄色,肉质淡粉色,鲜食脆甜,蒸熟后晶莹绵软且带有独特的板栗香味。2023年3月下旬于学校劳动教育基地向阳大棚内,对土壤深耕25~30 cm,选用中型薯块,平铺于疏松沙壤土中,进行正常的水肥管理,启动育苗。待地温稳定不低于17 °C时,于5月选择晴天下午栽插,种植于黔南民族医学高等专科学校劳动教育基地。

根据2023年红薯栽植时间,待红薯藤蔓生根发芽、生长到适宜阶段且开始驮蔓时采摘,根据标准化采样方法,采用“节位编号法”,以主茎顶端第1片展开叶为起点(Y1),向下依次标记Y2~Y15,避免混杂不同发育阶段叶片,移栽后30~50 d营养生长期,为嫩叶主导期,主要采集Y3~Y6叶片;移栽后60~80 d为块根膨大期,主要采集Y6~Y12叶

片。每处理组至少采集 10 株,共 30 片叶,每个批次样本采集 3 个处理组,同时取叶时避开虫蛀、病害及机械损伤区域。叶片采集时间分别为 2023-06-10、2023-06-20、2023-07-10、2023-07-20、2023-08-10、2023-08-20、2023-09-10、2023-09-20、2023-10-10、2023-10-20,编号分别为 S1~S10。当年 10 月下旬,红薯成熟采摘前,采集最后一批样本。

1.2 方法

1.2.1 色谱条件 色谱柱为 Agela Promosil C₁₈ (250 mm×4.6 mm, 5 μm);检测波长:290 nm;进样量:5 μL;柱温:35 °C;流速:0.60 mL·min⁻¹;流动相为 0.2%甲酸水溶液(A)-色谱甲醇(B),洗脱方式为梯度洗脱(0~18 min, 78%→74% A; 18~30 min, 74%→60% A; 30~45 min, 60%→45% A; 45~50 min, 45% A; 50~55 min, 45%→78% A; 55~60 min, 78% A;分析时间:60 min)。

1.2.2 溶液的制备 绿原酸标准品溶液的制备:取绿原酸标准品适量,精密称量,置于量瓶中,加入适量甲醇,超声溶解后,再加入甲醇定容至量瓶刻度,摇匀,绿原酸标准品溶液的质量浓度为 0.169 5 g·L⁻¹^[31]。

供试品溶液的制备:红薯叶样品,烘箱 60 °C 恒温烘干,粉碎,过孔径为(250±9.9)μm 四号筛。取红薯叶粉末约 1 g,精密称量,置具塞锥形瓶中,精密加入分析纯甲醇 50 mL,称质量,水浴加热回流 60 min,取出,室温条件下放冷,再称质量,用甲醇补足减失的质量,摇匀过滤后,用 0.45 μm 有机滤头过滤,取滤液^[31-32]。

1.2.3 方法学考察 精密度试验:取编号为 S9 的红薯叶样品,参照 1.2.2 供试品溶液的制备方法,得供试品溶液,按 1.2.1 的检测方法,连续注入液相检测 6 针,以峰 3 绿原酸吸收峰作为参比峰,分别记录各色谱峰的保留时间和峰面积,计算红薯叶样品各色谱峰相对保留时间和相对峰面积,并考察各色谱峰相对保留时间和相对峰面积的相对标准偏差(RSD)。

重复性试验:取编号为 S9 的红薯叶样品,共取 6 份,参照 1.2.2 供试品溶液的制备方法,分别制备供试品溶液,按 1.2.1 的检测方法分别注入液相检测,以峰 3 绿原酸吸收峰作为参比峰,分别记录各色谱峰的保留时间和峰面积,计算红薯叶样品各色谱峰相对保留时间和相对峰面积,并考察红薯叶各色谱峰相对保留时间和相对峰面积的 RSD。

稳定性试验:取编号为 S9 的红薯叶样品 1 份,参照 1.2.2 供试品溶液的制备方法,制备供试品溶

液,分别室温放置 0、4、6、8、12、24 h,按 1.2.1 的检测方法注入液相检测,以峰 3 绿原酸吸收峰作为参比峰,分别记录红薯叶稳定性试验样品各色谱峰的保留时间和峰面积,计算红薯叶样品各色谱峰相对保留时间和相对峰面积,并考察各色谱峰相对保留时间和相对峰面积的 RSD。

1.2.4 指纹图谱的建立 分别取编号 S1~S10 各批次不同采收期的红薯叶试验样本,制备 S1~S10 各批次不同采收期红薯叶供试品溶液。S1~S10 不同采收期红薯叶各供试品溶液、绿原酸标准品溶液,按 1.2.1 的色谱条件,分别进样检测。记录色谱图,将色谱图导入到“中药指纹图谱相似度评价系统(2004 A 版)”,以样品编号为 S6 样品色谱图为参照,采用中位数法生成对照图谱,时间窗宽度为 0.1 min,生成 10 批次不同采收期红薯叶和对照图谱、绿原酸标准品溶液图谱。

1.3 数据处理

指纹图谱叠加图谱及相似度评价,采用国家药典委员会指纹图谱相似度评价系统(2004 A 版);采用 SPSS 18.0 统计学软件进行主成分分析;采用 WPS Office 软件对相对保留时间与相对峰面积进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 方法学考察

2.1.1 精密度试验 精密度试验结果见表 1,除参比峰 3 号绿原酸吸收峰外,不同采收期红薯叶样品 10 个共有峰的相对保留时间 RSD 为 0.01%~0.04% (n=6),相对峰面积的 RSD 为 0.11%~1.92% (n=6),表明仪器精密度较高。

2.1.2 重复性试验 重复性试验结果见表 1,除参比峰 3 号绿原酸吸收峰外,重复性试验计算得到红薯叶样品 10 个共有峰的相对保留时间 RSD 为 0.01%~0.08% (n=6),相对峰面积的 RSD 为 1.27%~2.96% (n=6),表明试验建立的方法重复性较好。

2.1.3 稳定性试验 稳定性试验结果见表 1,除参比峰 3 号绿原酸吸收峰外,稳定性试验计算得到红薯叶样品 10 个共有峰的相对保留时间 RSD 为 0.01%~0.07% (n=6),相对峰面积 RSD 为 2.18%~2.98% (n=6),表明红薯叶供试品溶液在室温放置 24 h 内稳定性较好。

2.2 指纹图谱的建立

筛选不同采收期红薯叶 HPLC 指纹图谱共有峰时(图 1),发现 9 个批次红薯叶样本的峰 a 面积

表1 方法学考察结果

Table 1 Methodological investigation results

试验 名称 Test name	共有峰 Common peak	相对保留时间 Relative retention time		相对峰面积 Relative peak area	
		平均值 Mean	相对标 准偏差 RSD/%	平均值 Mean	相对标 准偏差 RSD/%
精密度 Precision	1	0.572 5	0.02	0.249 5	0.43
	2	0.711 9	0.02	0.221 9	0.23
	3(S)	1.000 0	0.00	1.000 0	0.00
	4	1.057 3	0.01	0.167 2	0.71
	5	2.502 4	0.03	1.961 1	0.11
	6	2.564 8	0.04	2.389 3	0.07
	7	2.732 4	0.04	0.351 0	0.30
	8	2.850 9	0.04	0.863 7	0.22
	9	3.047 6	0.04	0.051 8	1.92
	10	3.345 6	0.04	0.122 4	1.52
重复性 Repeatability	1	0.572 6	0.08	0.238 4	2.67
	2	0.711 9	0.04	0.204 4	1.27
	3(S)	1.000 0	0.00	1.000 0	0.00
	4	1.057 2	0.01	0.143 0	2.96
	5	2.503 0	0.07	1.814 2	2.74
	6	2.565 4	0.06	2.370 2	2.49
	7	2.733 0	0.05	0.336 4	2.76
	8	2.851 6	0.06	0.865 8	2.37
	9	3.048 3	0.06	0.048 1	2.54
	10	3.346 4	0.07	0.118 0	2.40
稳定性 Stability	1	0.572 8	0.03	0.236 7	2.67
	2	0.712 0	0.02	0.203 9	2.40
	3(S)	1.000 0	0.00	1.000 0	0.00
	4	1.057 2	0.01	0.145 0	2.18
	5	2.503 9	0.06	1.996 7	2.79
	6	2.566 2	0.06	2.483 2	2.46
	7	2.733 8	0.06	0.335 2	2.60
	8	2.852 6	0.07	0.860 2	2.47
	9	3.049 1	0.06	0.046 4	2.98
	10	3.347 9	0.06	0.114 1	2.59

均较大,而 S4 批次红薯叶样本未检测到该吸收峰;而峰 b,除 S7、S9、S10 三批次红薯叶样本未检测到相应吸收峰外,其他批次均检测到该色谱峰吸收峰;峰 c,除 S4、S9、S10 三批次红薯叶样本未检测到相应吸收峰外,其他批次均检测到该色谱峰吸收峰;峰 d,除 S8 一个批次红薯叶样本未检测到相应吸收峰外,其他批次均检测到该色谱峰吸收峰,因此,未将峰 a、峰 b、峰 c 与峰 d 这 4 个色谱峰作为共有峰,10 批不同采收期的红薯叶共确定了 10 个共有峰。

据文献报道红薯叶所含相关化学成分,可知红薯叶可能含有绿原酸、槲皮苷、槲皮素、7,3',4'-三

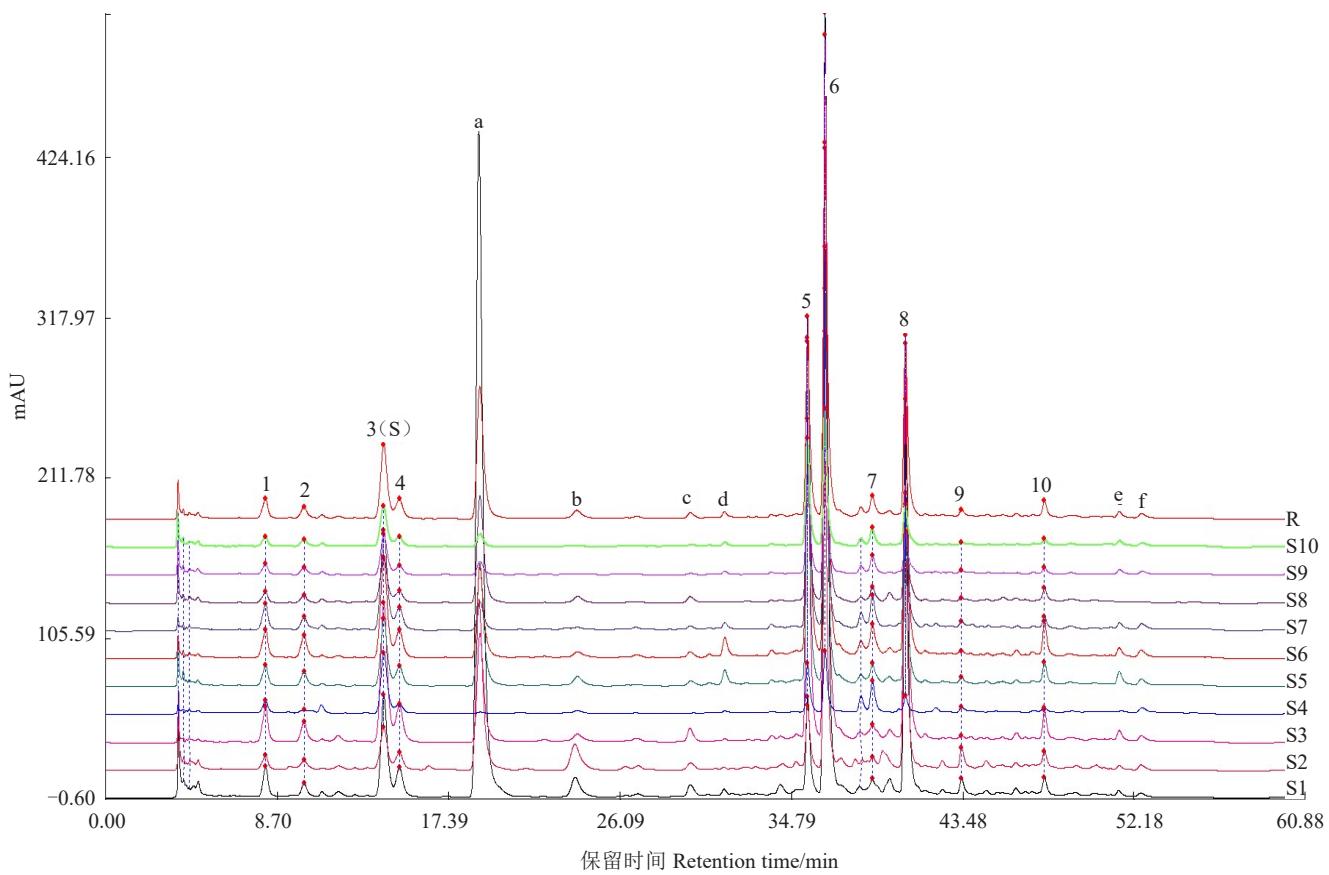
甲氧基槲皮素、3,4-二-反式-咖啡酰奎尼酸、氨基酸、蛋白质、脂肪、膳食纤维、维生素、矿物质等化学成分^[3-8],通过对照品比对法,将绿原酸、槲皮苷、槲皮素等作为对照,指认共有峰,发现槲皮苷吸收峰吸收信号普遍较小且部分批次未检测到,与槲皮苷吸收峰的峰面积相比,虽然槲皮素吸收峰面积相对较大,但由于部分批次未检测到,仅成功指认峰 3 为绿原酸吸收峰(图 2),相关研究有待进一步深入。以峰 3 为参比峰,分别计算不同采收期红薯叶 10 个共有峰的相对保留时间与相对峰面积,结果见表 2~3。结果显示,除参比峰 3 号绿原酸吸收峰外,10 批次不同采收期红薯叶 10 个共有峰的相对保留时间 RSD 为 0.05%~1.82%,说明仪器分析稳定性较高;而 10 批次不同采收期红薯叶 10 个共有峰的相对峰面积 RSD 为 16.28%~135.00%,从侧面反馈了不同采收期红薯叶在不同发育期,由于受温度、湿度、光照、水分等诸多因素的影响,不同采收期红薯叶共有峰差异性较大,相对峰面积 RSD 呈现较大的波动性。

2.3 相似度评价

利用中药色谱指纹图谱相似度评价系统(2004 A 版),对指纹图谱进行相似度评价,结果见表 4,10 批不同采收期红薯叶与对照图谱的相似度为 0.720~0.988,相似度评价结果表明,不同采收期红薯叶不同批次间差异性较大,其中,S1、S2、S4 三个批次样本的相似度均<0.90,表明红薯叶在藤蔓发育前期,可能受次生代谢产物累计差异性较大的影响,与红薯叶发育期 8 月及 8 月后期样本相比,6—7 月质量波动较大,存在较大的差异性,8—10 月生长期内红薯叶样本质量趋于稳定。

2.4 主成分分析

将 10 批不同采收期红薯叶样本 HPLC 指纹图谱 10 个共有峰的峰面积作为变量,导入 SPSS 18.0 软件,进行 PCA 分析。参照相关文献,以 PCA 特征值>1 为提取标准^[33-37],结果见图 3。共得到两个主成分,其中,第一、二主成分的特征值分别为 6.666、2.019,方差贡献率分别为 66.659%、20.190%,10 批不同采收期红薯叶样本两个主成分的累计贡献率达到 86.849%(表 5),表明这两个主成分可代表不同采收期红薯叶样本共有峰的大部分化学成分信息。不同采收期红薯叶 PCA 因子载荷矩阵结果见表 5,峰 1~峰 6、峰 8、峰 10,8 个峰在主成分 1 上载荷绝对值较大;峰 7 和峰 9 这 2 个共有峰在主成分 2 上载荷绝对值较大。



注:3(S)为绿原酸吸收峰。下同。

Note: 3(S) is the absorption peak of chlorogenic acid. The same below

图1 10批不同采收期红薯叶HPLC叠加指纹图谱

Fig. 1 HPLC superimposed fingerprint of 10 batches of the *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons

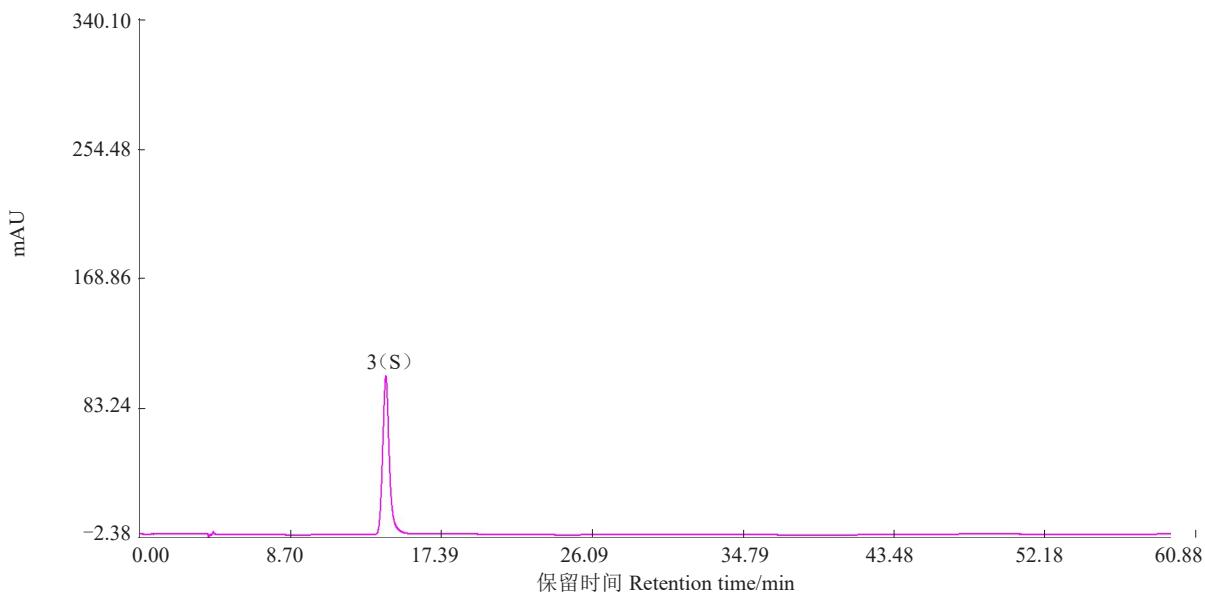


图2 标准品溶液的HPLC图谱

Fig. 2 HPLC chromatogram of standard solution

表2 不同采收期红薯叶共有峰的相对保留时间

Table 2 Relative retention time of common peaks of the *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons

编号 Number	1	2	3(S)	4	5	6	7	8	9	10
S1	0.575 6	0.712 9	1.000 0	1.055 5	2.533 5	2.596 0	2.764 0	2.887 1	3.093 2	3.390 0
S2	0.576 0	0.713 2	1.000 0	1.055 3	2.534 1	2.597 1	2.764 1	2.888 4	3.095 1	3.391 5
S3	0.575 0	0.712 8	1.000 0	1.056 0	2.522 2	2.584 8	2.752 7	2.873 1	3.077 9	3.373 9
S4	0.574 7	0.714 7	1.000 0	1.054 9	2.520 1	2.582 6	2.750 8	2.870 8	3.067 3	3.366 5
S5	0.574 8	0.712 8	1.000 0	1.056 4	2.521 1	2.583 8	2.752 0	2.872 3	3.077 1	3.371 7
S6	0.575 1	0.754 3	1.000 0	1.056 4	2.521 4	2.584 0	2.752 6	2.872 9	3.075 9	3.373 0
S7	0.574 9	0.713 2	1.000 0	1.055 9	2.521 3	2.584 2	2.752 1	2.872 0	3.069 3	3.371 3
S8	0.574 9	0.712 7	1.000 0	1.055 9	2.520 8	2.583 6	2.751 9	2.872 2	3.076 7	3.370 7
S9	0.574 8	0.713 1	1.000 0	1.056 2	2.519 5	2.582 2	2.750 8	2.870 7	3.068 4	3.369 7
S10	0.574 6	0.712 9	1.000 0	1.056 1	2.518 4	2.581 2	2.749 8	2.869 8	3.066 7	3.367 5
平均值 Mean value	0.575 0	0.717 3	1.000 0	1.055 9	2.523 2	2.585 9	2.754 1	2.874 9	3.076 8	3.374 6
相对标准偏差 RSD/%	0.07	1.82	0.00	0.05	0.23	0.22	0.19	0.24	0.33	0.26

表3 不同采收期红薯叶共有峰的相对峰面积

Table 3 Relative peak area of common peaks of the *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons

编号 Number	1	2	3(S)	4	5	6	7	8	9	10
S1	0.235 9	0.110 0	1.000 0	0.327 5	0.593 4	4.981 2	0.159 7	2.533 6	0.107 7	0.109 8
S2	0.280 0	0.185 3	1.000 0	0.453 0	0.926 5	4.560 2	0.046 4	3.275 6	0.316 0	0.337 5
S3	0.200 3	0.125 4	1.000 0	0.305 0	1.423 9	3.237 4	0.102 4	1.839 7	0.011 9	0.129 5
S4	0.152 0	0.030 6	1.000 0	0.145 6	0.498 1	0.609 8	0.374 7	0.194 4	0.054 3	0.045 0
S5	0.247 4	0.187 1	1.000 0	0.337 0	2.228 3	3.679 3	0.229 8	1.433 6	0.053 2	0.190 3
S6	0.227 7	0.193 4	1.000 0	0.323 5	2.092 8	3.205 3	0.238 7	1.583 1	0.019 6	0.202 4
S7	0.206 0	0.112 3	1.000 0	0.267 4	1.793 9	1.866 5	0.234 2	0.783 1	0.026 2	0.068 8
S8	0.196 4	0.135 4	1.000 0	0.295 0	1.701 5	4.758 1	0.208 3	1.476 6	0.024 4	0.183 6
S9	0.200 5	0.161 9	1.000 0	0.262 1	1.606 2	2.007 5	0.267 0	0.710 4	0.032 0	0.093 7
S10	0.198 3	0.160 2	1.000 0	0.268 6	1.596 9	1.995 0	0.264 6	0.706 3	0.031 9	0.094 2
平均值 Mean value	0.214 4	0.140 2	1.000 0	0.298 5	1.446 2	3.090 0	0.212 6	1.453 6	0.067 7	0.145 5
相对标准偏差 RSD/%	16.28	35.18	0.00	25.82	40.98	46.92	43.22	64.04	135.00	59.03

表4 10批不同采收期红薯叶指纹图谱相似度评价

Table 4 Similarity evaluation of 10 batches of the *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons

编号 Number	相似度 Similarity	编号 Number	相似度 Similarity
S1	0.797	S6	0.980
S2	0.893	S7	0.917
S3	0.988	S8	0.985
S4	0.720	S9	0.937
S5	0.981	S10	0.940

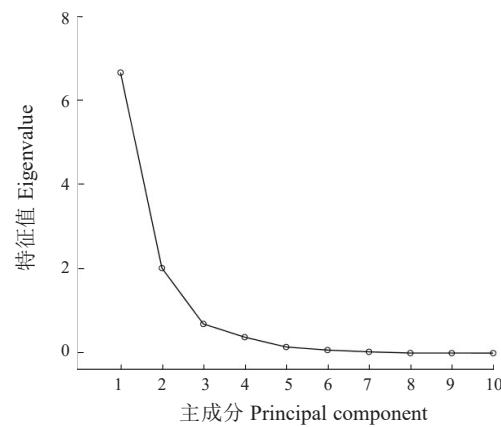


图3 碎石图

Fig. 3 Macadam figure

表5 不同采收期红薯叶 PCA 因子载荷矩阵
Table 5 PCA factor load matrix of the *Ipomoer batatas* Poir leaves in different collecting seasons

峰号 Peak number	主成分 Principal component	
	1	2
峰 1 Peak 1	0.980	-0.027
峰 2 Peak 2	0.931	0.125
峰 3 Peak 3	0.922	-0.195
峰 4 Peak 4	0.990	0.077
峰 5 Peak 5	0.801	-0.494
峰 6 Peak 6	0.883	0.329
峰 7 Peak 7	0.351	-0.754
峰 8 Peak 8	0.871	0.451
峰 9 Peak 9	0.035	0.884
峰 10 Peak 10	0.841	0.228
贡献率 Contribution rate/%	66.659	20.190
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	66.659	86.849

3 讨论与结论

红薯叶原产于美洲,在明朝万历年间(1573—1620年)由福建华侨陈振龙传入中国,先在福建栽种后逐渐推广至各地,目前为我国第四大经济作物,深受老百姓青睐,成为家喻户晓的农产品及保健功能食品^[38]。在特定的条件下,红薯叶不同生长期在酶、基因等作用下,其所含的一些重要的次级代谢产物,通过氨基酸途径、乙酸-丙二酸途径、桂皮酸途径、甲戊二羟酸途径、复合途径等生物合成途径,进一步代谢生成有机酸、生物碱、黄酮、萜类、皂苷等次级代谢产物。由于生长期的不同,次级代谢产物的种类、含量等可能呈现出一定的差异性,通过指纹图谱相似度评价系统(2004 A 版)开展相似度评价,不同采收期红薯叶相似度具有一定程度的波动性,次生代谢产物随季节波动因素可能是不同采收期红薯叶质量差异的原因。本研究结果表明,不同采收期红薯叶 6—7 月质量波动较大,与红薯叶发育期 8 月后样本相比,质量存在较大差异,8 月及后期的红薯叶样本质量趋于稳定。不同采收期内红薯叶次生代谢产物是否呈现随生长季节不同的经时变化规律^[39],相关研究有待进一步深入探讨。

红薯在我国栽培历史悠久,红薯叶作为其附带产品,由于在民间广泛食用,被开发成红薯叶戚风蛋糕^[14]、红薯叶凉粉^[16]、红薯叶低糖饼干^[19]、酸菜^[21-22]、红薯叶黄豆馒头^[40]、红薯叶糯米饼^[41]等保健食品或农产品。作为附加值高的农产品,红薯叶所含化学成分^[3-5]、营养成分^[6-8]较为复杂,开发并挖掘一种基于红薯叶整体化学成分的质量控制及品质

评价方法,保证其系列保健食品或农产品原材料红薯叶质量稳定、可控,在推进红薯叶食品工业及其深加工农产品过程中具有一定的意义与参考价值。

红薯叶高效液相色谱指纹图谱技术的挖掘与开发,一方面可为红薯片品质分析新方法的开发利用提供技术支持,另一方面可为红薯叶系列保健食品或农产品质量控制与品质评价提供方法借鉴。笔者利用 HPLC 法,通过色谱条件摸索与检测分析条件优化,以种植红薯叶为研究样本,建立了红薯叶 HPLC 指纹图谱品质评价方法。这与徐小雷等^[42]对红薯不同部位几种重金属含量的分布研究、王秋亚等^[43]红薯叶有效成分含量测定方法及吴春艳^[44]红薯及红薯叶复配营养米的研制及其品质特性分析方法,即通过一个或几个指标性化学成分或方法对其进行质量控制不同,该方法基于红薯叶整体化学成分,对红薯叶开展质量控制及品质评价更具有科学性,应用前景更广阔^[45]。

综上所述,通过高效液相色谱技术,构建了 10 批次不同采收期红薯叶的指纹图谱,发现不同采收期红薯叶指纹图谱中有 10 个共有峰,经对照品指认,确认峰 3 为绿原酸吸收峰;并对其开展了相似度评价,相似度为 0.720~0.988。同时,采用指纹图谱与主成分分析方法,对不同采收期红薯叶质量进行了质量评价,共得到 2 个主成分,累计方差贡献率达到 86.849%。本研究结果对后续红薯叶的品质评价及优化红薯叶食品工业和深加工系列农产品整体性品质评价方法等具有重要的参考价值。

参 考 文 献

- [1] 江玉洁,李美凤,陈艳,等.红薯叶中黄酮类化合物的研究进展[J].轻工科技,2018,34(1):8-9.
- [2] 王世宽,吴平,许艳丽,等.甘薯叶的营养成分与应用前景[J].四川理工学院学报(自然科学版),2009,22(6):57-59.
- [3] 向仁德,丁键辛,韩英,等.引种的巴西甘薯叶化学成分研究[J].中草药,1994,25(4):179-181.
- [4] 刘法锦,金幼兰,彭源青,等.番薯藤化学成分的研究[J].中国中药杂志,1991(9):551-552.
- [5] ISLAM M, SHAHIDUL M, YOSHIMOT O, et al. Distribution and physiological functions of caffeoylequinic acid derivatives in leaves of sweet potato genotypes[J]. Journal of Food Science, 2003,68(1):111-116.
- [6] ISHIDA H, SUZUNO H, SUGIYAMA N, et al. Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* Poir) [J]. Food Chemistry, 1999,68(3):359-367.
- [7] 黎盛蓉,唐果成,齐振华,等.西蒙 1 号治疗血小板减少症 50 例近期疗效观察[J].临床血液学杂志,1992,5(1):8-10.
- [8] 张彧,吴袆南,陈莉,等.红薯茎叶化学组成的研究进展[J].食

- 品科学,2006,27(3):252-256.
- [9] 周劭桓,梁川,唐阳,等.超高效液相色谱-串联质谱法测定红薯叶中15种功效成分[J].色谱,2018,36(5):425-430.
- [10] 刘贵阁,陈冰洁,王晓,等.红薯叶的营养成分及其保健功能[J].上海农业学报,2023,39(6):118-122.
- [11] 孟爱丽,刘晓博,司辉清.红薯茎叶的产品开发及其功能成分研究进展[J].食品工业,2012,33(10):133-136.
- [12] 杨志刚,杨忠仙,舒兴香.红薯及红薯叶综合利用及深加工技术[J].农村实用技术,2023(6):97-98.
- [13] 黎怡,李美善,谭泽灵,等.清香型红薯叶茶的加工[J].农村新技术,2023(2):65.
- [14] 张娜,郭楠楠,万炎炎.红薯叶戚风蛋糕的研制[J].粮食与油脂,2018,31(6):37-40.
- [15] 刘莉,王燕,黄华,等.响应面法优化红薯叶中水溶性膳食纤维提取工艺[J].粮食与油脂,2023,36(4):122-125.
- [16] 高雪丽,顾欠欠,李光辉,等.响应面法优化红薯叶凉粉的配方及工艺[J].食品工业科技,2023,44(18):276-282.
- [17] 亓伟华,胡楠楠,琚心心,等.红薯叶中糖蛋白的提取工艺研究[J].粮食与油脂,2023,36(1):135-138.
- [18] 侯敏娜,侯少平,王泽坤,等.响应面法优化红薯叶多酚超声辅助提取工艺及其抗氧化活性研究[J].化学与生物工程,2022,39(4):33-39.
- [19] 任美燕,张晓雯,杨倩,等.响应面法优化红薯叶低糖饼干配方[J].粮食科技与经济,2022,47(1):103-106.
- [20] 李松昂,吴章毅,陈红,等.超声辅助酶法提取红薯叶多糖、结构及抗氧化研究[J].粮食与油脂,2021,34(11):83-89.
- [21] 刘伟,侯海超,呙茗婕,等.红薯叶茎中黄酮的提取工艺研究[J].广州化工,2020,48(8):68-69.
- [22] 刘锡铭,何佳,芮蓬.贮藏条件对红薯叶酸菜品质的影响[J].食品与机械,2022,38(2):173-179.
- [23] 宋文华,何佳,袁江月,等.不同乳杆菌强化发酵红薯叶及其酸菜品质的研究[J].食品与机械,2020,36(2):193-198.
- [24] 韩忠耀,张德庆,魏啸宇,等.宣肺败毒方高效液相色谱指纹图谱的建立[J].理化检验-化学分册,2025,61(4):443-447.
- [25] 曾荣,陈伟强,何殊妍,等.拉曼光谱技术在农产品中的应用[J].农产品加工,2024(7):108-111.
- [26] 鹿保鑫,张东杰.基于矿物元素指纹图谱的黑龙江黄豆产地溯源[J].农业工程学报,2017,33(21):216-221.
- [27] 谢晶,佟懿.气味指纹图谱技术在食品挥发性气味分析中的应用[J].食品工业科技,2011,32(1):309-312.
- [28] 庞雪莉,孙钰清,孔凡玉,等.农产品挥发性风味品质研究现状与展望[J].中国农业科学,2019,52(18):3192-3198.
- [29] 刘雪娇.黑龙江省主栽大豆脂肪酸指纹图谱的构建研究[D].黑龙江大庆:黑龙江八一农垦大学,2017.
- [30] 苏宏.基于分类算法的企业大米指纹图谱数据平台的设计与实现[D].长春:吉林农业大学,2019.
- [31] 韩忠耀,余跃生,魏学军,等.苗药水冬瓜根皮药材高效液相色谱指纹图谱研究[J].中国医院药学杂志,2017,37(2):126-129.
- [32] 刘声音,王静,张振秋,等.射干中多种异黄酮类化合物HPLC检测含量研究方法的建立[J].辽宁中医药大学学报,2012,14(6):217-219.
- [33] 文朝旭,赵昌涵,谢星腾,等.清肺排毒汤高效液相色谱指纹图谱的建立及主成分分析研究[J].理化检验-化学分册,2023,59(7):806-811.
- [34] 韩忠耀,张涛,黄春丽,等.不同采收期水冬瓜叶的主成分分析及抗炎镇痛谱效关系研究[J].化学试剂,2022,44(3):442-449.
- [35] 徐玉平,宋伟,张德庆,等.高效液相色谱指纹图谱结合化学计量学方法分析不同产地侗药四块瓦药材质量[J].理化检验-化学分册,2024,60(9):872-877.
- [36] 张秋瑾,王志华,韩忠耀,等.大接骨丹叶醇提物高效液相色谱指纹图谱研究[J].中国药业,2023,32(11):39-43.
- [37] 肖玉珍,张瑞青,张跃星,等.甜瓜KASP标记开发及指纹图谱构建[J].中国瓜菜,2024,37(9):9-17.
- [38] 郑军伟,郭宁,张鹏飞,等.最好吃的红薯-花园口红薯:煜阳农业倾心打造[J].长江蔬菜,2017(24):25-27.
- [39] 徐柯,曾凡坤,袁美,等.红薯叶、紫薯块根及不同时期紫薯叶中主要活性成分含量比较[J].食品与机械,2018,34(6):30-34.
- [40] 杜航,孙小童,马思文,等.红薯叶黄豆馒头的研制[J].现代食品,2019(13):37-39.
- [41] 刘颖,李妍琳,徐冬颖,等.优化红薯叶糯米饼的配方研究[J].辽宁农业职业技术学院学报,2014,16(6):4-5.
- [42] 徐小雷,朱林,叶骏,等.红薯不同部位几种重金属含量的分布研究[J].广东化工,2024,51(18):177-179.
- [43] 王秋亚,薛航.红薯叶有效成分的提取及开发利用研究进展[J].食品工业,2018,39(7):260-263.
- [44] 吴春艳.红薯及红薯叶复配营养米的研制及其品质特性分析[D].山东淄博:山东理工大学,2019.
- [45] 韩忠耀,张德庆,滕乐,等.苗药四季草颗粒HPLC指纹图谱的建立及4种成分含量测定[J].化学研究与应用,2025,37(10):2991-3000.