

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.01.004

洋葱花青素提取物的 HPLC 特征图谱构建及谱—效关系

Elementary study on the construction of HPLC characteristic chromatogram and spectral-effect relationship of anthocyanin extract in onion

肖瑞希^{1,2,3} 王馨悦^{1,2,3} 陈华国^{1,2,3} 周欣^{1,2,3}

XIAO Rui-xi^{1,2,3} WANG Xin-yue^{1,2,3} CHEN Hua-guo^{1,2,3} ZHOU Xin^{1,2,3}

(1. 贵州师范大学贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室, 贵州 贵阳 550001;
2. 贵州师范大学贵州省药物质量控制及评价技术工程实验室, 贵州 贵阳 550001;
3. 贵州师范大学天然药物质量控制中心, 贵州 贵阳 550001)

(1. Key Laboratory for Information System of Mountainous Areas and Protection of Ecological Environment, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China; 2. Guizhou Engineering Laboratory for Quality Control & Evaluation Technology of Medicine, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China; 3. Research Center for Quality Control of Natural Medicine, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

摘要:采用 HPLC 方法,检测 10 个不同地区的洋葱总花青素的指纹图谱,确定其共有峰;并通过 Pearson 相关分析(PCA)及灰色关联度(GRA)分析探索谱—效关系,即共有峰与含量及其抗氧化活性(清除 DPPH、ABTS 自由基的能力)、乙酰胆碱酯酶(AChE)抑制活性的相关性。试验结果表明:根据不同批次的洋葱花青素提取物的 HPLC 特征图谱及相对保留时间的特点,建立了洋葱花青素提取物的特征图谱,10 个不同地区的洋葱花青素提取物指纹图谱与对照指纹图谱的相似度为 0.986~0.997,均>0.9;确定了 6 个共有峰为特征吸收峰,其中 1 号峰为花青素(矢车菊素-3-O-葡萄糖苷),PCA、GRA 分别显示 6 个共有峰都与含量、抗氧化活性、AChE 抑制活性有良好的相关性和较强的关联性,均协同作用于生物活性。

关键词:洋葱;花青素提取物;HPLC 特征图谱;谱—效关系

Abstract: A high performance liquid chromatographic (HPLC)

method was used to detect anthocyanin extract from onion in 10 regions and the common peaks were identified. The Pearson Correlation Analysis and Grey Relation Analysis were used to analyze the correlation between its common peaks, content, antioxidant activity (the ability to scavenge DPPH, ABTS free radicals) and AChE inhibitory activity. Result: According to the characteristics of HPLC and relative retention time of different batches of onion anthocyanins, and the characteristic chromatograms of onion anthocyanins were established. The chromatograms of anthocyanin extract from onion in 10 different regions were similar to the control fingerprints, the similarities were 0.986 to 0.997, greater than 0.9. Six common peaks were identified as characteristic absorption peaks, and the first peak was anthocyanin (Cyanidin-3-O-glucoside). PCA and GRA showed that the six common peaks had a good correlation with the content, antioxidant and AChE inhibitory activities, and they acted synergistically on biological activity.

Keywords: onion; anthocyanin extract; HPLC fingerprint; spectral-effect relationship

基金项目:贵州省高层次创新人才培养项目(编号:黔科合人才(2015)4033号);贵州省科技计划项目(编号:黔科合平台人才[2017]5625,黔科合支撑[2018]2826);贵州省普通高等学校科技拔尖人才项目(编号:黔教合 KY 字[2017]065)

作者简介:肖瑞希,女,贵州师范大学在读硕士研究生。

通信作者:周欣(1962—),女,贵州师范大学教授,博士。

E-mail: alicex9800@sina.com

收稿日期:2018-09-06

洋葱(*Allium cepa* L.)为百合科草本植物,又名玉葱、球葱等,富含花色苷,具有很强的抗氧化活性、抗菌、预防心血管疾病、降血糖、降胆固醇等作用^[1-3]。花青素(又称花色素)是广泛存在于植物中的一类可溶于水的天然色素,具有抗氧化、抗癌、抗衰老、降血糖、改善视力^[4-6]等多种药理作用,成为众学者研究的热点。目前,

对洋葱花青素提取物主要集中在提取、含量测定及活性的研究^[7-8],但是其花青素提取物及其含量及部分生物活性的相关性研究较缺乏,本试验通过高效液相色谱方法,检测 10 个不同地区的洋葱花青素提取物的指纹图谱,确定共有峰,建立特征图谱;并通过 Pearson 相关分析及灰色关联度分析共有峰与其抗氧化活性及 AChE 抑制活性的相关性,探究谱-效关系,可较系统、整体地评价洋葱花青素提取物质量。结果显示不同地区洋葱花青素提取物共有峰的峰面积与含量、抗氧化能力、AChE 抑制活性都有较好的相关性,可为洋葱花青素提取物的进一步开发利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

洋葱:分别购于广东(惠州)、山东(济南)、新疆(乌鲁木齐)、重庆、浙江(杭州)、福建(福州)、四川(成都)、山西(太原)、湖北(武汉)、江西(南昌)、贵州(贵阳);

高效液相色谱仪:Agilent 1260 型,安捷伦科技有限公司;

Hypersil GOLD C₁₈ 柱:250 mm × 4.6 mm,美国 Thermo Scientific 公司;

微量移液器:Eppendorf research plus 型,德国 Eppendorf 公司;

酶标仪:Spectra Max Plus 384 型,美国 Molecular Device 公司;

冷冻干燥机:FD-80 型,北京博医康实验仪器有限公司;

明澈纯水/超纯水系统:Millipore Milli-QA10 型,法国 Millipore 公司;

万分之一天平:AL 204 型,梅特勒-托利多仪器上海有限公司;

微波炉:EM-202MS1 型,合肥荣事达三洋电器有限公司;

无水乙醇:分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;

甲醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

盐酸:优级纯,国药集团化学试剂有限公司;

矢车菊-3-O-葡萄糖苷:纯度 ≥ 99%,贵州迪大有限公司;

乙腈:色谱纯,美国 Tedia 公司;

冰乙酸:分析纯,天津市致远化学试剂有限公司;

甲酸:分析纯,重庆茂业化学试剂有限公司;

ABTS:纯度 ≥ 98%,美国 Sigma 公司;

AChE:纯度 ≥ 99%,大连美仑生物技术有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 花青素提取制备

(1) 花青素的提取:根据参考文献^[9]修改如下,将洋葱粉碎匀浆后,以 1:10 (g/mL) 的料液比加入 52% 的乙

醇溶液,微波提取 4 min(功率 469 W),3 500 r/min 离心 5 min,取上清液,减压浓缩,冷冻干燥后得洋葱花青素粗提物置于干燥罐中存放,备用。

(2) 花青素的纯化:将洋葱花青素粗提取物加水稀释至浓度为 0.75 mg/mL, HCl 调节 pH=1。将稀释后的提取物以 5 BV/h 的速度上聚酰胺树脂柱(60~100 目) 5 BV, 3 BV 纯水洗脱,再用 pH=3 的 80% 乙醇以 5 BV/h 的速度洗脱 3.5 BV, 洗脱液经减压浓缩后真空冷冻干燥得到洋葱花青素提取物样品,置于棕色瓶中保存。

1.2.2 供试品溶液制备 精确称取纯化后各样品,加适量水复溶,配制成浓度为 60 mg/mL 的储备液,存于 -20 °C 中。准确量取各样品储备液,加入适量纯净水,稀释后冷却至室温,0.45 μm 的水相微孔滤过,即得。

1.2.3 对照品溶液的制备 准确称取矢车菊素-3-O-葡萄糖苷标准品 4.46 mg,加入适量纯净水溶解,冷却至室温,定容至 5 mL,0.45 μm 的水相微孔滤过,即得。

1.2.4 花青素含量测定 取 1 mL 各样品溶液(以溶剂为空白)至 10 mL 比色管中,加入 1% 盐酸甲醇溶液 5 mL 显色,震荡摇匀,50 °C 水浴 10 min,冷却至室温,于 530 nm 处测定其吸光度值。以矢车菊-3-O-葡萄糖苷为对照品,按上述条件,测定对照品 530 nm 处吸光值(A_c)。根据式(1)计算样品中的花青素含量。

$$C_s = \frac{A_s}{A_c} \times C_c, \quad (1)$$

式中:

A_c——对照品的吸光度值;

A_s——样品的吸光度值;

C_c——对照品物质的量浓度,mg/mL;

C_s——样品物质的量浓度,mg/mL。

1.2.5 色谱条件 Hypersil GOLD C₁₈ 柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm),流动相:1% 的甲酸水溶液(A)—乙腈(B);0~10 min,92%~88% A;10~20 min,88%~86.5% A;20~25 min,86.5%~86.0% A;25~30 min,86.0%~83.5% A;30~60 min,83.5%~83.0% A;60~70 min,83%~60% A;70~80 min,60%~20% A;80~82 min,20%~92% A;进样量 20.0 μL,柱温 35 °C,检测波长 530 nm。

1.2.6 方法学考察

(1) 精密性考察:取适量贵州样品,按 1.2.2 所述方法制备供试品溶液,按 1.2.5 的色谱条件连续进样 5 次,检测得到液相色谱图,计算主要色谱峰的相对保留时间和相对峰面积 RSD(%)值。

(2) 稳定性考察:取适量贵州样品,按 1.2.2 所述方法制备供试品溶液,按 1.2.5 的色谱条件分别在 0, 3, 6, 12, 24 h 进样,检测得到液相色谱图,计算主要色谱峰的相对保留时间和相对峰面积的 RSD(%)值。

(3) 重复性考察:准确称取适量贵州样品 5 份,按 1.2.2 所述方法制备供试品溶液,按 1.2.5 的色谱条件,分别制成供试品溶液进行分析,检测得到液相色谱图,计算主要色谱峰的相对保留时间和相对峰面积的 RSD (%) 值。

1.2.7 样品指纹图谱测定 按 1.2.2 所述方法制备供试品,采用 1.2.5 的色谱条件对不同地区的洋葱花青素提取物进行测定,记录色谱图。

1.2.8 清除 DPPH 自由基活性 根据文献[10]修改如下:称取 9.86 mg DPPH 溶于无水乙醇溶液中,定容至 100 mL,现配现用。取 40 μ L 不同批次的相同浓度样品溶液加至酶标板中,复孔 3 次,再加入 DPPH 溶液 160 μ L,于 37 $^{\circ}$ C 避光反应 30 min,以乙醇作对照,空白溶液以相同体积纯净水代替,在波长 517 nm 处测定吸光度,计算样品 DPPH 自由基清除率。

1.2.9 清除 ABTS 自由基活性 根据文献[11]ABTS 自由基溶液由 14 mmol/L ABTS 溶液和 5 mmol/L $K_2S_2O_8$ 水溶液以 1:1 的体积比混合后避光反应 12~16 h,稀释 20 倍。样品溶液的制备,分别取 50 μ L 不同地区的同浓度样品溶液加至酶标板,复孔 3 次,再加入 200 μ L ABTS 自由基溶液混合均匀,室温避光反应 6 min,于 734 nm 处测定吸光度值(A_i)。分别以 200 μ L 水和相同体积的水代替 ABTS 溶液和样品溶液作为对照(A_j)及空白(A_o),测吸光度。根据式(2) 计算样品 ABTS 自由基清除率。

$$B = (A_o - A_i - A_j) \div A_o \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

B ——ABTS 自由基清除率, %;

A_o ——空白吸光度值;

A_j ——对照吸光度值;

A_i ——734 nm 处测定吸光度值。

1.2.10 AChE 抑制活性 采用分光光度法对不同地区洋葱花青素提取物进行 AChE 活性抑制研究,根据文献[12] 修改如下:在酶标板中各加入样液 20 μ L、0.1 mol/L PBS (pH 7.2) 140 μ L、0.64 μ g/mL AChE 20 μ L 和 75 mmol/L ATCI 溶液 10 μ L,37 $^{\circ}$ C 保温 30 min 后加入 DTNB 溶液 10 μ L,室温下避光放置 20 min 后,立即在波长 405 nm 处测量吸光度值(AU_s)。52% 乙醇代替样品溶液测空白值(AU_b);PBS 代替酶溶液的空白溶液吸光度值(AU_o),PBS 代替酶溶液测定样品溶液的吸光度值(AU'_o),以氢溴酸加兰他敏为阳性对照,重复 3 次,求平均值。AChE 活性抑制率按式(3)计算:

$$C = \frac{(AU_b - AU_o) - (AU_s - AU'_o)}{AU_b - AU_o} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

C ——AChE 活性抑制率, %;

AU_b ——空白吸光度值;

AU_o ——空白组不加酶的吸光度值;

AU_s ——样品吸光度值;

AU'_o ——样品组不加酶的吸光度值。

1.3 数据处理

采用 Excel 2016、OriginLab OriginPro 8.5、IBM SPSS Statistics 21、DPS V15.10 和 SIMCA 14.1 对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 含量测定

如图 1 所示,除贵州洋葱外其他 10 批次洋葱花青素提取物含量较为接近,其范围为 0.3~1.2 mg/g,由于贵州地区的洋葱挑选的颜色较深,花青素含量相对较高,可达 5.00 mg/g,而湖北地区洋葱花青素含量相对较低,不同地区样品中花青素含量存在差异,其洋葱花青素提取物含量大小依次为:贵州>山东>山西>广东>四川 \approx 浙江 \approx 重庆>福建>湖北>新疆>江西。

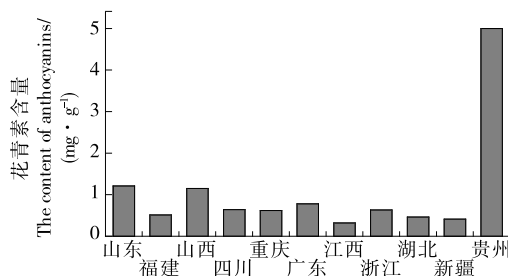


图 1 不同地区洋葱花青素的含量

Figure 1 The content of anthocyanins extract in onion from different areas

2.2 方法学考察

2.2.1 精密度 共有峰相对保留时间及相对峰面积 RSD 值分别为:0.14%~0.31%,1.12%~2.62%(均<3.0%);符合指纹图谱的要求,仪器精密度良好。

2.2.2 稳定性 共有峰相对保留时间及相对峰面积 RSD 值分别为:0.21%~0.31%,0.83%~3.28%;符合指纹图谱的要求,该供试品溶液在 24 h 内其化学性质稳定。

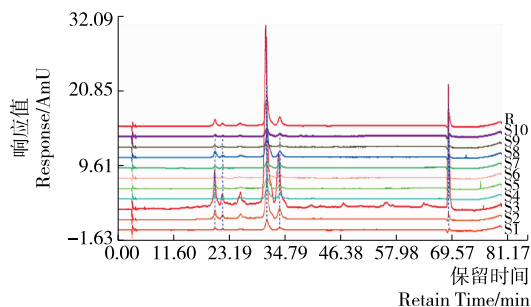
2.2.3 重复性 共有峰相对保留时间及相对峰面积 RSD 值分别为:0.12%~0.18%,0.52%~1.78%;符合指纹图谱的要求,该方法重现性较好。

2.3 样品指纹图谱测定

采用“中药色谱指纹图谱相似度系统 A(2004 版)”以 S4(贵州洋葱)为参照图谱,按照平均值生成对照图谱并设置时间窗为 0.3 进行自动匹配后生成指纹图谱,得到 10 个地区洋葱花青素提取物的 HPLC 指纹图谱,见图 2。

2.4 特征图谱的构建

根据不同地区洋葱花青素提取物的指纹图谱及相对保留时间的特点,选择其共有峰且响应值较高的峰作为



S1~S10 分别代表福建、广东、贵州、江西、山东、山西、四川、新疆、浙江、重庆

图 2 不同地区洋葱花青素提取物的 HPLC 指纹图谱
Figure 2 HPLC fingerprint chromatogram of anthocyanin extract in onion from 10 areas

特征指纹峰, 最终有 1、2、3、5、6、12 号峰可作为洋葱花青素提取物的特征峰, 可初步认定这 6 个峰代表物质为洋葱中共有的花青素, 其中 1 号峰为矢车菊-3-O-葡萄糖苷, 特征图谱如图 3 所示, 峰面积见表 1。

2.5 相似度评价

不同地区洋葱花青素提取物指纹图谱与对照指纹图谱的相似度为 0.986~0.997, 均 > 0.9, 符合指纹图谱的要求, 结果见表 2。

表 1 不同地区洋葱花青素提取物的 HPLC 指纹图谱 6 共有峰峰面积[†]

Table 1 Six common peaks of HPLC fingerprint chromatogram of anthocyanins extract from onion in 10 areas

编号	保留时间/min	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
1	20.230	8.526	37.677	174.333	15.570	24.725	8.729	10.814	28.426	7.331	9.979
2	21.808	5.398	13.414	42.995	6.751	3.500	8.941	7.886	9.757	3.386	3.843
3	25.518	7.811	20.379	50.731	9.866	6.933	11.569	3.355	17.219	2.203	3.487
5	31.013	74.463	261.876	1237.107	109.304	87.672	97.548	50.552	182.003	36.730	55.752
6	33.708	21.792	79.608	391.841	32.525	25.770	33.105	22.016	50.273	14.442	17.222
12	68.839	12.968	25.787	405.359	16.262	17.752	13.195	13.541	19.183	15.480	18.516

[†] S1~S10 分别代表福建、广东、贵州、江西、山东、山西、四川、新疆、浙江、重庆。

表 2 洋葱花青素提取物指纹图谱相似度[†]

Table 2 Similarity of fingerprints chromatogram of anthocyanins extract in onion

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S
0.995	0.989	0.998	0.995	0.991	0.990	0.989	0.989	0.986	0.997	1.000

[†] S1~S10 分别代表福建、广东、贵州、江西、山东、山西、四川、新疆、浙江、重庆; S 为对照图谱。

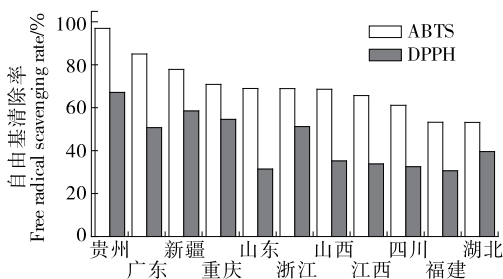


图 4 洋葱花青素提取物抗氧化活性比较
Figure 4 Comparison of antioxidant activities in anthocyanins extract from onion

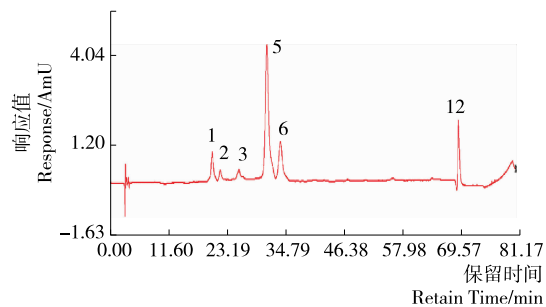


图 3 洋葱花青素提取物的特征指纹图谱

Figure 3 The characteristic fingerprint chromatogram of anthocyanins extract in onion

2.6 生物活性的研究

2.6.1 抗氧化活性 由图 4 可知, 11 批洋葱花青素提取物(浓度 10 mg/mL)的 ABTS 自由基清除率皆在 50% 以上, ABTS、DPPH 2 种评价方法的趋势基本一致, 其中广东和山东地区洋葱的差异较大, 可能是不同地区洋葱中不同的花青素物质造成的, 贵州、广东、新疆、重庆地区洋葱花青素提取物的 ABTS 自由基清除率较高, 分别为 96.98%, 85.03%, 77.88%, 70.88%, 皆在 70% 以上。山东、山西、江西等 7 个地区的洋葱的 ABTS 自由基清除率在 50%~70%。

2.6.2 AChE 制活性 如图 5 所示, 11 批洋葱花青素提取物(浓度 10 mg/mL)的 AChE 抑制率大多在 10%~20%, 贵州地区的 AChE 抑制率最高为 20%。湖北地区的最低为 4.5%; 其 AChE 活性抑制的大小顺序为: 贵州 > 四川 > 江西 > 山西 > 广东 > 福建 > 山东 > 浙江 > 新疆 > 重庆 > 湖北。

同时从洋葱花青素含量及其生物活性研究可发现这 11 个地区中贵州地区洋葱颜色较深, 其花青素含量、抗氧化活性及 AChE 制活性最高, 颜色较浅的湖北地区洋葱花青素含量偏低, ABTS 自由基清除率及 AChE 制活性也

相对较低,说明样品的颜色深浅程度可能会影响花青素含量及其部分活性,这与已有研究^[13]报道的结果相一致。

2.7 谱一效关系分析

2.7.1 Pearson 相关性分析(PCA) 通过 PCA 建立 10 个不同地区洋葱花青素提取物特征图谱的共有峰峰面积、含量、DPPH 自由基清除率和 ABTS 自由基清除率、AChE 抑制率 5 个变量之间的关系,结果用 Pearson 系数来表示,见表 3。

由表 3 可知,ABTS 和 DPPH 2 种评价抗氧化活性的结果在 0.05 水平(双侧)上显著相关,且相关系数为 0.793,说明 2 种方法评价抗氧化能力结果一致;含量与 6

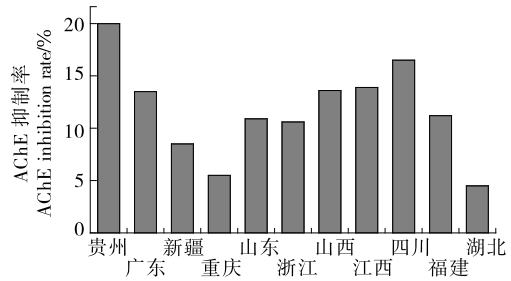


图 5 洋葱花青素提取物抑制 AChE 活性比较

Figure 5 Comparison of AChE inhibitory activities in anthocyanins extract from onion

表 3 洋葱相关性分析[†]

Table 3 Correlation analysis of onion

项目	峰 1	峰 2	峰 3	峰 5	峰 6	峰 12	ABTS	DPPH	含量	AChE
峰 1	1.000									
峰 2	0.978 **	1.000								
峰 3	0.954 **	0.969 **	1.000							
峰 5	0.996 **	0.989 **	0.964 **	1.000						
峰 6	0.995 **	0.990 **	0.958 **	0.999 **	1.000					
峰 12	0.985 **	0.967 **	0.911 **	0.987 **	0.989 **	1.000				
ABTS	0.813 **	0.799 **	0.838 **	0.806 **	0.798 **	0.738 *	1.000			
DPPH	0.636 *	0.617	0.620	0.639 *	0.631	0.608	0.793 **	1.000		
含量	0.952 **	0.974 **	0.901 **	0.964 **	0.971 **	0.976 **	0.693 *	0.560	1.000	
AChE	0.724 *	0.710 *	0.727 *	0.701 *	0.696 *	0.661 *	0.729 *	0.516	0.635 *	1.000

† ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

个色谱峰峰面积都有较好的相关性,且都在 0.05 水平(双侧)上显著相关,说明这 6 种物质是洋葱中的花青素主要物质;6 个色谱峰的峰面积以及总花青素含量都与抗氧化能力呈显著正相关,与 AChE 抑制活性也有良好的相关性,说明这 6 种物质可能对抗氧化能力及 AChE 的抑制活性起主要作用。

2.7.2 灰色关联度分析(GRA) 采用 GRA 分析洋葱花青素提取物特征图谱中各共有峰与其抗氧化活性、抑制 AChE 活性作用的关联度,探索洋葱花青素提取物特征图谱与其生物活性的联系。

由表 4 可知,DPPH、ABTS、洋葱花青素提取物含量、AChE 抑制活性与其 6 个共有特征峰的峰面积的关联顺序分别为: X2>X3>X1>X5>X4>X6, X2>X3>X1>X4>X5>X6, X2>X5>X4>X1>X6>X3, X2>X3>X1>X5>X4>X6; 4 个因变量都与共有峰峰面积的关联系数都>0.77,说明 6 个共有峰峰面积对洋葱花青素提取物的生物活性有较强的关联性,生物活性均具有协同作用,2 号、3 号峰代表的洋葱花青素提取物对其活性起主要作用,其中 2 号峰代表的洋葱花青素提取物与花青素含量的关联性最强。

表 4 洋葱花青素提取物共有峰峰面积与生物活性关联度[†]

Table 4 The correlation between the area of onion common peak and biological activity

项目	X1	X2	X3	X4	X5	X6
DPPH	0.829 4	0.867 6	0.862 5	0.820 0	0.820 5	0.772 2
ABTS	0.828 9	0.868 3	0.849 7	0.819 0	0.817 2	0.770 0
含量	0.783 4	0.871 7	0.777 8	0.797 1	0.807 6	0.782 1
AChE	0.826 6	0.856 2	0.844 3	0.814 1	0.816 2	0.773 3

† X1~X6 分别表示峰 1、2、3、5、6、12。

3 结论

本研究采用 HPLC 色谱方法,建立 10 个地区的洋葱花青素提取物的指纹特征图谱,其指纹图谱与对照指纹图谱的相似度为 0.986~0.997,均>0.9;确定了 6 个共有峰为特征吸收峰,可初步认定洋葱中含有 6 种共有的花青素提取物。体外活性试验检测洋葱花青素的抗氧化性及 AChE 抑制活性,每个地区的洋葱花青素提取物均有一定的抗氧化活性及 AChE 抑制活性;同时通过 PCA 和

(下转第 135 页)

维提取刀片将普通 L 型刀片的纤维提取率从平均 14.50% 提升到了 16.03% 左右;纤维含杂率由原来的 14.21% 降低至 9.85% 左右。说明改进刀片相比原普通 L 型平刃刀片在提升纤维提取率和降低纤维含杂率方面效果更显著,有效提高了移动式全喂入香蕉茎秆纤维提取机的工作效率。

双层渐近式香蕉茎秆纤维提取刀片的设计实现了香蕉纤维提取机的高效纤维提取,其刀片设计原理对纤维提取类机械刀具的后续研究与优化提供了借鉴与技术支持,有利于香蕉茎秆纤维提机后续研究与优化。

本刀片改进方案未涉及刮杂转速对纤维提取率和含杂率的影响,要解决刮刀转速对试验效果的影响,可能需要着重对梳刮齿间距进行参数优化以得出最优结构参数。

参考文献

- [1] 柯佑鹏, 过建春, 夏勇开, 等. 2013—2014 年中国香蕉产销形式分析与预测[J]. 广东农业科学, 2014(15): 184-188.
- [2] 徐树英, 谭蔚, 张玉苍. 香蕉茎秆纤维化学脱胶工艺及脱胶纤维性能[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 301-308.
- [3] 盛占武, 高锦合, 王培, 等. 香蕉纤维化学脱胶工艺优化[J]. 热带作物学报, 2012, 33(2): 359-363.
- [4] 张喜瑞, 梁栋, 李粤, 等. 移动式全喂入香蕉茎秆纤维提取机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 22-30.
- [5] 曾成, 梁栋, 张喜瑞, 等. 基于螳螂前足的香蕉茎秆纤维提取刀片仿生设计[J]. 农机化研究, 2018(3): 79-83.
- [6] 李成斌, 梁栋, 张喜瑞, 等. 滚刀刮拉式香蕉茎秆纤维提取机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2015, 37(6): 127-135.
- [7] 王俊霖, 张喜瑞, 李粤, 等. 组合圆盘式香蕉茎秆切碎机的研究[J]. 农机化研究, 2013, 35(3): 154-163.
- [8] 郑侃. 一次喂入反向式香蕉茎秆纤维提取机关键部件研究[D]. 海口: 海南大学, 2014: 30-32.
- [9] 张喜瑞, 王自强, 李粤, 等. 滑切防缠式香蕉秸秆还田机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(3): 26-34.
- [10] 盛占武, 郑丽丽, 高锦合, 等. 香蕉纤维酶解脱胶工艺及脱胶纤维性能[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 277-284.
- [11] 董西军. 基于 SolidWorks 的参数化设计[J]. 机械制造与自动化, 2007(2): 26-27, 30.
- [12] 张喜瑞, 郑侃, 梁栋, 等. 滚扎甩碎组合式香蕉茎秆纤维提取机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 24-31.
- [13] 刘磊, 梁栋, 李粤, 等. 基于响应面分析法的香蕉茎秆纤维刮杂装置优化设计[J]. 农机化研究, 2017, 3(3): 98-104.
- [14] 熊月林. 香蕉纤维的制取及其结构理化性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2007: 13-15.
- [15] 陈敏. 香蕉纤维与亚麻、苎麻纤维的特征差异[J]. 宁波大学学报, 2010, 23(3): 109-112.
- [16] 王创. 统计假设检验中显著性水平 α 的选择[D]. 兰州: 兰州商学院, 2013: 20-22.
- [17] 姚菊香, 王盘兴, 鲍学俊, 等. 相关系数显著性检验的几何意义[J]. 南京气象学院学报, 2007(4): 566-570.

(上接第 19 页)

GRA 初步探索洋葱花青素谱—效关系,发现洋葱花青素提取物共有峰的峰面积与含量、抗氧化能力、AChE 抑制活性都有较好的相关性,可为洋葱花青素的利用及研究提供新参考。洋葱中含有的 6 中共有花青素,其他 5 种花青素物质及其洋葱花青素在体内的活性等还有待研究。

参考文献

- [1] 陈亦辉, 王卫东, 孙月娥. 洋葱中活性物质及生理药理作用研究进展[J]. 中国调味品, 2015, 40(4): 129-132, 140.
- [2] 廖春龙, 阮征, 印遇龙, 等. 洋葱化学成分、生理保健功能和我国洋葱加工现状与发展趋势[J]. 食品工业科技, 2010, 31(8): 409-412, 416.
- [3] 景志行, 吕留庄, 许剑锋, 等. 野生蓝莓总花青素生物活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 132-135, 192.
- [4] 付辉战, 胡腾根, 邹宇晓, 等. 花色苷的功能活性及提取方法概述[J]. 农产品加工, 2017(15): 48-54.
- [5] 徐颖, 樊凡, 阴鹏涛, 等. 紫薯花青素超声波辅助酶法提取工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 150-154.
- [6] 钟兰兰, 屠迪, 杨亚, 等. 花青素生理功能研究进展及其应用前景[J]. 生物技术进展, 2013, 3(5): 346-352.
- [7] OUYANG Hui, HOU Kun, PENG Wan-xi, et al. Antioxidant and xanthine oxidase inhibitory activities of total polyphenols from onion[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2018, 25(7): 1 509-1 513.
- [8] EUN J L, BHIMANAGOUDA S P, KIL S Y. Antioxidants of 15 onions with white, yellow, and red colors and their relationship with pungency, anthocyanin, and quercetin[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(1): 108-114.
- [9] 陈华国, 周洁, 周欣. 响应面法优化红布林中花青素提取工艺研究[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2018, 36(3): 23-28.
- [10] KIM D O, JEONG S W, CHANG Y L. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums[J]. Food Chemistry, 2003, 81(3): 321-326.
- [11] QIU Fan, LUO Jian-guang, YAO Shun, et al. Preparative isolation and purification of anthocyanins from purple sweet potato by high-speed counter-current chromatography[J]. Journal of Separation Science, 2009, 32(12): 2 146-2 151.
- [12] ELLMAN G L, COURTNEY K D, JR V A, et al. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity[J]. Biochemical Pharmacology, 1961, 7(2): 88-95.
- [13] ZHANG Shi-lin, DENG Peng, XU Yu-chao, et al. Quantification and analysis of anthocyanin and flavonoids compositions, and antioxidant activities in onions with three different colors [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(9): 2 175-2 181.