

应用RGB分形技术无损检测异叶茴芹、芹菜和香芹的药用成分及抗氧化活性

俞敏娜, 朱文煜, 王 阳, 吕洪飞*

浙江理工大学生命科学与医药学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2022年4月11日; 录用日期: 2022年5月20日; 发布日期: 2022年5月31日

摘 要

目的: 比较异叶茴芹、芹菜和香芹三种伞形科植物茎、叶的药用成分及抗氧化活性, 并应用RGB分形技术和数学建模无损检测其药用成分和抗氧化活性, 为筛选药用成分含量高和抗氧化活性强的药用植物和药用部位提供理论依据。方法: 用分光光度法测定异叶茴芹、芹菜和香芹茎、叶的总酚、总类黄酮、总可溶性糖、总香豆素、芹菜素的含量及DPPH自由基、ABTS自由基的清除活力; 运用SPSS 20.0软件对结果进行相关性分析, 并得到各药用部位、各药用成分的线性方程。结果: 异叶茴芹茎、叶中各药用成分含量及抗氧化活性均显著高于其余两种伞形科植物; 异叶茴芹叶的各药用成分及抗氧化活性显著高于茎; 三种伞形科植物叶的R值、G值、B值均与其药用成分含量和抗氧化活性呈极显著负相关($P < 0.01$)。结论: RGB分形技术可无损检测药用植物的药用成分及抗氧化活性; 三种植物中, 异叶茴芹的各药用成分及抗氧化活性最高, 其叶的保健、药用价值更高, 可广泛开发利用。

关键词

异叶茴芹, 芹菜, 香芹, RGB分形, 无损检测, 抗氧化活性, 芹菜素, 总香豆素

Nondestructive Evaluation of the Medicinal Components and Antioxidant Activities in the *Pimpinella diversifolia*, *Apium graveolens* and *Petroselinum crispum* by RGB Fractal Analysis

Minna Yu, Wenyu Zhu, Yang Wang, Hongfei Lv*

College of Life Sciences and Medicine, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

*通讯作者。

文章引用: 俞敏娜, 朱文煜, 王阳, 吕洪飞. 应用 RGB 分形技术无损检测异叶茴芹、芹菜和香芹的药用成分及抗氧化活性[J]. 植物学研究, 2022, 11(3): 389-398. DOI: 10.12677/br.2022.113046

Abstract

Objective: Comparing the medicinal components and antioxidant activities in the stems and leaves of the *Pimpinella diversifolia*, *Apium graveolens* and *Petroselinum crispum*, and using RGB fractal analysis and mathematical modeling to noninvasively evaluate the medicinal components and antioxidant activities, which provide a basis for screening the medicinal plants and medicinal parts with highly medicinal components and strongly antioxidant activities. **Methods:** The content of total phenol, total flavonoids, total soluble sugars, total coumarin and the scavenging activities of DPPH radical and ABTS radical in the stems and leaves of the *Pimpinella diversifolia*, *A. graveolens* and *Petroselinum crispum* were measured by spectrophotometry. SPSS 20.0 software was used to analyze the correlation of the results, and the linear equation of the medicinal components and medicinal parts was established. **Results:** The results showed that the content of medicinal components and antioxidant activities in the stems and leaves of *Pimpinella diversifolia* were significantly higher than those of the other two Umbelliferae plants, and the medicinal components and antioxidant activities of *Pimpinella diversifolia*'s leaves were significantly higher than its stems, and the RGB intensity values of the three Umbelliferae plants were significantly negatively correlated with the contents of medicinal components and antioxidant activities ($P < 0.01$), respectively. **Conclusion:** RGB fractal analysis can be applied to nondestructively detect the medicinal components and antioxidant activities of medicinal plants. Among the three plants, *Pimpinella diversifolia* has the highest medicinal components and antioxidant activities. Its leaves have higher health care and medicinal value than its stems, and may be widely exploited and utilized.

Keywords

Pimpinella diversifolia, *Apium graveolens*, *Petroselinum crispum*, RGB Fractal, NDT, Antioxidant Activity, Apigenin, Total Coumarin

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

植物一直是各种天然活性产物的重要来源,因此植物药用价值的研究对于植物的利用具有重要的意义。而草药可被用作化学药物的替代品,主要原因是与化学药物相比,草药伴随着更少的不良影响。异叶茴芹作为药食皆可的民间草药,在传统医学上早有记载,但关于其药用成分和作用功效的研究相对较少。

异叶茴芹 *Pimpinella diversifolia* 为伞形科茴芹属的多年生草本植物,别名八月白、苦爹菜、山当归,主要分布于长江以南各省[1]。异叶茴芹作为一种传统民用草药,全草入药[2],具有活血祛瘀、排毒消肿等功效。1994年,董立莎等[1]对异叶茴芹进行生药鉴定。异叶茴芹含有香豆素类化合物,具有抗病毒、抗炎缓痛、抗肿瘤等多种药用功效[3][4]。它所含的芹菜素也是一种抗肿瘤成分[5]。芹菜 *Apium graveolens* 与香芹 *Petroselinum crispum* 同为伞形科植物,也含有一定量的香豆素和芹菜素,为常见蔬菜。

植物品质的好坏是衡量该植物是否具有较好利用价值的标准之一。但应用传统技术评价植物的内在品质,往往会对植物本身造成损伤且存在耗时长、费用大等问题。此外,同种植物、不同植株间的药用

成分及抗氧化活性存在差异,在明确优质植物资源后,仍需进一步判断不同植株间的品质差异。目前关于药用植物及其药用部位的筛选研究已有较多报道,但利用无损检测技术快速评价植物内在品质的报道甚少。

本研究通过测定异叶茴芹、芹菜、香芹等三种伞形科植物茎、叶中的药用成分含量及抗氧化活性,进一步明确了异叶茴芹高效的药用及保健功效;同时,提供一种基于 RGB 强度值的颜色分形技术,建立数学模型,为无损预测植物的药用成分含量及抗氧化活性提供参考。

2. 仪器与材料

2.1. 仪器

九阳 JYL-C16V 搅拌机(九阳股份有限公司)、XM-5200UVF 智能超声波清洗机(小美超声仪器(昆山)有限公司)、恒温(鼓风)干燥箱(宁波扬辉仪器有限公司)、752 型紫外可见分光光度计(上海舜宇恒平科学仪器有限公司)、Eppendorf AG 离心机(德国 Eppendorf 公司)、Eppendorf3120 系列移液器(德国 Eppendorf 公司)。

2.2. 材料

2.2.1. 材料采集

实验材料为异叶茴芹(*Pimpinella diversifolia*)、芹菜(*Apium graveolens*)与香芹(*Petroselinum crispum*)。异叶茴芹采集于浙江某苗圃,芹菜与香芹由杭州市江干区菜农提供。样品均经浙江理工大学生命科学与医药学院吕洪飞教授鉴定,且符合实验要求。

2.2.2. 材料处理

选取新鲜的异叶茴芹、芹菜和香芹,分别将其茎、叶分离,在流动的清水下洗涤其茎和叶,最后用蒸馏水冲洗干净。分别将相同部位的茎和叶剪碎后,以液固比 30:1,加超纯水高速搅拌制得混合液。后将混合液置于 50℃ 温度下超声提取 60 min,制得粗提取液。并将粗提取液转移至离心管中,在 4℃、12,000 转/min 的条件下进行高速离心。10 min 后取上层澄清液作为提取液原液备用,所有的提取液均保存在 4℃ 冰箱中。(图 1)

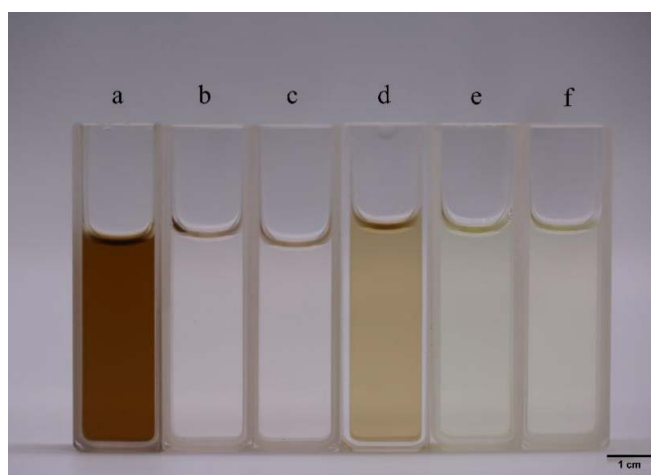


Figure 1. Extract from the stems and leaves of *Pimpinella diversifolia*, *A. graveolens* and *Petroselinum crispum*. (a) *Pimpinella diversifolia* leaf extract; (b) *Petroselinum crispum* leaf extract; (c) *A. graveolens* leaf extract; (d) *Pimpinella diversifolia* stem extract; (e) *Petroselinum crispum* stem extract; (f) *A. graveolens* stem extract

图 1. 异叶茴芹、芹菜和香芹的茎、叶的提取液。(a) 异叶茴芹叶提取液; (b) 香芹叶提取液; (c) 芹菜叶提取液; (d) 异叶茴芹茎提取液; (e) 香芹茎提取液; (f) 芹菜茎提取液

3. 方法

3.1. 药用成分含量测定

3.1.1. 总酚含量测定

1) 线性关系考察: 使用没食子酸作为标准品, 并测定不同浓度梯度的没食子酸溶液的吸光度。以没食子酸含量为横坐标(x), 吸光度为纵坐标(y)绘制标准曲线, 所得回归方程见表 1。

2) 测定方法: 异叶茴芹、芹菜和香芹的茎、叶中总酚(TP)含量测定参考 Folin-Ciocalteu 比色法[6]。

Table 1. Linear relationship of seven chemical components

表 1.7 种化学成分的线性关系

化学成分	回归方程	R ²
TP	$y = 6.4771x + 0.0029$	0.9997
TF	$y = 0.5293x - 0.0011$	0.9991
SS	$y = 6.1021x + 0.0163$	0.9988
芹菜素	$y = 0.087x + 0.0014$	0.9993
总香豆素	$y = 0.0689x - 0.0099$	0.999
DPPH	$y = 2.5117x - 0.001$	0.9991
ABTS	$y = 5.174x + 0.0071$	0.9991

3.1.2. 总类黄酮含量测定

1) 线性关系考察: 使用芦丁作为标准品, 并测定不同浓度梯度的芦丁溶液的吸光度。以芦丁含量为横坐标(x), 吸光度为纵坐标(y)绘制标准曲线, 所得回归方程见表 1。

2) 测定方法: 异叶茴芹、芹菜和香芹的茎、叶中总类黄酮(TF)含量的测定参考 AlCl_3 分光光度比色法[7]。

3.1.3. 总可溶性糖含量测定

1) 线性关系考察: 使用葡萄糖作为标准品, 并测定不同浓度梯度的葡萄糖溶液的吸光度。以葡萄糖含量为横坐标(x), 以吸光度为纵坐标(y)绘制标准曲线, 所得回归方程见表 1。

2) 测定方法: 参考马琴国等[8]的实验方法, 略微修改后测定异叶茴芹、芹菜和香芹的茎、叶中总可溶性糖(SS)的含量。具体操作为: 用移液枪精密吸取 1.0 mL 提取液于试管中, 加入 5.0 mL 硫酸 - 蒽酮试剂(每 1.0 L 80%硫酸溶液加入 1.0 g 蒽酮, 80%硫酸溶液冷却至室温后再加入蒽酮)后马上置于沸水中反应 10 min 后自然冷却到室温, 反应液使用分光光度计在 620 nm 波长处测量吸光度值, 以水为空白对照。所有实验重复进行三次。

3.1.4. 芹菜素含量测定

1) 线性关系考察: 使用芹菜素作为标准品, 并测定不同浓度梯度的芹菜素溶液的吸光度。以芹菜素含量为横坐标(x), 吸光度为纵坐标(y)绘制标准曲线, 所得回归方程见表 1。

2) 测定方法: 参考黄圣等[9]的测定方法, 略微修改后测定异叶茴芹、芹菜和香芹茎、叶中芹菜素含量。具体操作为: 用移液枪精密吸取 800 μL 提取液于试管中, 随后加入 5.2 mL 80%乙醇, 充分混合后使用分光光度计在 335 nm 波长处测量吸光度值。所有实验重复进行三次。

3.1.5. 总香豆素含量测定

1) 线性关系考察: 使用蛇床子素作为标准品, 并测定不同浓度梯度的蛇床子素溶液的吸光度。以蛇

床子素含量为横坐标(x), 吸光度为纵坐标(y)绘制标准曲线, 所得回归方程见表 1。

2) 测定方法: 参考张恭孝等[10]的测定方法, 略微修改后测定异叶茴芹、芹菜和香芹茎、叶中总香豆素含量。具体操作为: 用移液枪精密吸取 300 μL 提取液于试管中, 随后加入 5.7 mL 甲醇, 充分混合后使用分光光度计在 322 nm 波长处测量吸光度值。所有实验重复进行三次。

3.2. 抗氧化活性检测

3.2.1. DPPH 自由基清除活性测定[11]

1) 线性关系考察: 使用抗坏血酸作为标准品, 并测定不同浓度梯度的抗坏血酸溶液的吸光度。以抗坏血酸含量为横坐标(x), 清除率为纵坐标(y)绘制标准曲线, 所得回归方程见表 1。

2) 测定方法: 用移液枪精密吸取 0.1 mL 提取液加入到 4.9 mL DPPH 乙醇溶液(精密称量 0.0075 g DPPH 用乙醇定容至 250 mL)中。将溶液充分混合并置于黑暗环境中反应 30 min, 使用分光光度计在 517 nm 波长处测量吸光度 A_x , 用 0.1 mL 提取液加入 4.9 mL 乙醇调零。DPPH 乙醇溶液为空白吸光度 A_0 。根据以下公式[12]计算 DPPH 自由基清除率:

$$\text{清除率}(\%) = (1 - A_x/A_0) \times 100\% \quad (1)$$

所有实验重复进行三次。

3.2.2. ABTS 自由基清除活性测定[13]

1) 线性关系考察: 参照“2.2.1”下的线性关系考察方法。

2) 测定方法: 用移液枪精密吸取 0.1 mL 提取液加入到 4.9 mL 新鲜的 ABTS 溶液(量取 7 mM 的 ABTS 溶液 10 mL, 加入 140 mM 的过硫酸钾溶液 178 μL , 充分混合后避光保存 12~16 h, 使用前加水使其稀释到合适浓度, 保证其在 30 $^\circ\text{C}$ 、734 nm 波长下的吸光度为 0.7 ± 0.02)中。将溶液充分混合并置于黑暗环境中反应 6 min, 使用分光光度计在 734 nm 波长处测量吸光度 A_y , 用 0.1 mL 提取液加入 4.9 mL 水调零。ABTS 溶液为空白吸光度 A_1 。根据以下公式[14]计算 ABTS 自由基清除率:

$$\text{清除率}(\%) = (1 - A_y/A_1) \times 100\% \quad (2)$$

所有实验重复进行三次。

3.3. RGB 值提取

对异叶茴芹、香芹与芹菜的茎、叶提取液进行拍摄, 以记录图像信息。图像的 R 值、G 值、B 值提取使用 PS 软件, 每个处理重复三次。

4. 结果与分析

4.1. 药用成分含量

将“2.1”项下所得的各类吸光度值带入相应回归方程中, 计算后得总酚、总类黄酮、总可溶性糖、芹菜素、总香豆素的含量, 结果见表 2。需特别说明, 在本研究中, 分光光度计的精度无法测量到芹菜和香芹中总香豆素的含量。结果表明, 总酚、总类黄酮、芹菜素、总香豆素均在异叶茴芹叶内表现出最高的含量, 分别高达 7.28 mg GAE/g、38.98 mg GAE/g、0.89 mg AE/g、0.47 mg OE/g。而总可溶性糖则在异叶茴芹的茎中含量最高, 为 51.57 mg DE/g。

4.2. 抗氧化活性

4.2.1. DPPH 自由基清除活性

将 DPPH 自由基清除率代入回归方程, DPPH 自由基清除活性以每克提取物的抗坏血酸当量(ascorbic

acid equivalent, AAE)毫克数, 即以 mg AAE/g 表示。具体结果见表 2。

据表中 DPPH 自由基清除活性的测定结果显示, 异叶茴芹的叶中表现出最高的 DPPH 自由基清除活性, 而其茎中的 DPPH 自由基清除活性与芹菜、香芹相比, 差异并不显著。

Table 2. Total phenol, total flavonoids, total soluble sugar, apigenin, total coumarin and antioxidant activities in the stems and leaves of *Pimpinella diversifolia*, *A. graveolens* and *Petroselinum crispum*

表 2. 异叶茴芹、芹菜和香芹的茎、叶中总酚、总类黄酮、总可溶性糖、芹菜素、总香豆素含量及抗氧化活性

实验材料	部位	TP (mg GAE/g)	TF (mg RE/g)	SS (mg DE/g)	芹菜素 (mg AE/g)	总香豆素 (mg OE/g)	DPPH (mg AAE/g)	ABTS (mg AAE/g)
异叶茴芹	叶	7.28 ± 0.33a	38.98 ± 3.98a	25.16 ± 0.62b	0.89 ± 0.025a	0.47 ± 0.012a	4.22 ± 0.67a	3.30 ± 0.02a
	茎	0.98 ± 0.07b	6.77 ± 0.75b	51.57 ± 1.25a	0.11 ± 0.010c	0.05 ± 0.004b	0.62 ± 0.06bc	0.57 ± 0.05b
香芹	叶	1.01 ± 0.05b	4.66 ± 0.45bc	7.86 ± 0.20d	0.14 ± 0.004b	0.05 ± 0.004b	0.53 ± 0.07bc	0.24 ± 0.08c
	茎	0.19 ± 0.02c	2.18 ± 0.18cd	2.97 ± 0.15e	0.03 ± 0.002d	—	0.78 ± 0.28b	0.14 ± 0.07d
芹菜	叶	1.00 ± 0.04b	4.66 ± 0.93bc	10.82 ± 0.22c	0.16 ± 0.006b	0.05 ± 0.003b	0.51 ± 0.07bc	0.27 ± 0.08c
	茎	0.13 ± 0.01c	1.37 ± 0.26d	1.61 ± 0.09f	0.03 ± 0.002d	—	0.34 ± 0.22c	0.13 ± 0.08d

“—”表示在未检出; 同列标有不同字母者表示组间差异显著($P < 0.05$); 同列标有相同字母者表示组间差异不显著($P > 0.05$)。

4.2.2. ABTS 自由基清除活性

将 ABTS 自由基清除率代入回归方程, ABTS 自由基清除活性以每克提取物的抗坏血酸当量(ascorbic acid equivalent, AAE)毫克数, 即以 mg AAE/g 表示。具体结果见表 2。

据表中 ABTS 自由基清除活性的测定结果显示, 异叶茴芹叶中 ABTS 自由基清除活性为 3.30 ± 0.02 mg AAE/g, 显著高于其他实验组。

4.3. 相关性分析

异叶茴芹、芹菜与香芹叶中 RGB 值与其药用成分及抗氧化活性的相关性分析

采用 SPSS 20.0 软件分别对异叶茴芹、芹菜与香芹的茎叶中 RGB 值与各组分进行相关性分析, 具体结果见表 3、表 4。结果显示, R 值、G 值、B 值均与其叶中的药用成分及抗氧化活性呈极显著负相关($P < 0.01$)。植株颜色越深, 则说明具有更高含量的药用成分和更强的抗氧化活性。此外, 茎中的 RGB 强度值也与药用成分含量及抗氧化活性呈一定的负相关性。但叶中两者的相关关系更为显著。

Table 3. Correlation analysis of RGB intensity values in the leaves of *Pimpinella diversifolia*, *A. graveolens* and *Petroselinum crispum* with their medicinal constituents and antioxidant activities

表 3. 异叶茴芹、芹菜与香芹的叶中 RGB 值与其药用成分及抗氧化活性的相关性分析

	G	B	TP	TF	SS	芹菜素	总香豆素	DPPH	ABTS
R	0.999**	0.999**	-0.994**	-0.988**	-0.983**	-0.996**	-0.997**	-0.988**	-0.996**
G		1.000**	-0.996**	-0.988**	-0.984**	-0.997**	-0.997**	-0.987**	-0.996**
B			-0.997**	-0.989**	-0.986**	-0.998**	-0.998**	-0.987**	-0.997**
TP				0.988**	0.986**	0.998**	0.997**	0.979**	0.996**
TF					0.975**	0.990**	0.995**	0.974**	0.996**

Continued

SS	0.989**	0.986**	0.972**	0.986**
芹菜素		0.999**	0.989**	0.998**
总香豆素			0.986**	1.000**
DPPH				0.985**

**P < 0.01。

Table 4. Correlation analysis of RGB intensity values in the stems of *Pimpinella diversifolia*, *A. graveolens* and *Petroselinum crispum* with their medicinal constituents and antioxidant activities**表 4.** 异叶茴芹、芹菜与香芹的茎中 RGB 值与其药用成分及抗氧化活性的相关性分析

	G	B	TP	TF	SS	芹菜素	总香豆素	DPPH	ABTS
R	0.938**	0.847**	-0.777*	-0.706*	-0.740*	-0.747*	-0.702*	-0.121	-0.756*
G		0.976**	-0.941**	-0.891**	-0.925**	-0.926**	-0.904**	-0.104	-0.932**
B			-0.989**	-0.963**	-0.983**	-0.980**	-0.971**	-0.16	-0.984**
TP				0.977**	0.995**	0.989**	0.987**	0.147	0.997**
TF					0.977**	0.955**	0.979**	0.194	0.969**
SS						0.995**	0.997**	0.138	0.997**
芹菜素							0.988**	0.146	0.995**
总香豆素								0.114	0.991**
DPPH									0.141

**P < 0.01; *P < 0.05。

实验结果还发现, 各植株叶中的 DPPH 自由基清除活性与总酚、总类黄酮、总可溶性糖、芹菜素、总香豆素呈 $r = 0.979$ 、 0.974 、 0.972 、 0.989 、 0.986 ($p < 0.01$) 的极显著正相关, ABTS 自由基清除活性与总酚、总类黄酮、总可溶性糖、芹菜素、总香豆素呈 $r = 0.996$ 、 0.996 、 0.986 、 0.998 、 1.000 ($p < 0.01$) 的极显著正相关; 植株茎中的 ABTS 自由基清除活性同样与各药用成分呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 但植株茎中的 DPPH 自由基清除活性与各药用成分间的相关性并不显著。

4.4. 数学模型建立

应用 SPSS 20.0 软件对三种伞形科植物茎、叶的 RGB 值与总酚、总类黄酮、总可溶性糖、芹菜素、总香豆素、DPPH 和 ABTS 自由基清除能力进行多元线性关系拟合。所得线性拟合方程如表 5、表 6 所示。在多元线性回归模型中, R 值、G 值、B 值可较准确地预测叶中药用成分含量及抗氧化活性, 具有极显著相关性, R^2 为 0.997 、 0.979 、 0.980 、 0.996 、 0.996 、 0.978 、 0.995 。在表 6 所示的数学模型中, 总酚、总类黄酮、总可溶性糖、芹菜素、总香豆素、ABTS 自由基清除活性与回归直线的拟合程度较高; 但 RGB 值对预测茎中的 DPPH 自由基清除活性效果较差, R^2 为 0.561 。

Table 5. Mathematical model of medicinal components and antioxidant activity of leaves of three umbelliferae plants**表 5.** 三种伞形科植物叶中药用成分及抗氧化活性的数学模型

化学参数	R^2	变量	线性拟合方程
TP	0.997	R, G, B	$y = -0.576 + 0.127x_1 - 0.051x_2 - 0.069x_3$
TF	0.979	R, G, B	$y = 36.220 - 0.145x_1 + 0.402x_2 - 0.431x_3$

Continued

SS	0.980	R, G, B	$y = 1.103 + 0.104x_1 + 0.457x_2 - 0.492x_3$
芹菜素	0.996	R, G, B	$y = 0.498 + 0.006x_1 - 0.001x_2 - 0.007x_3$
总香豆素	0.996	R, G, B	$y = 0.301 + 0.001x_1 + 0.003x_2 - 0.005x_3$
DPPH	0.978	R, G, B	$y = 9.919 - 0.078x_1 + 0.010x_2 + 0.012x_3$
ABTS	0.995	R, G, B	$y = 1.470 + 0.016x_1 + 0.018x_2 - 0.041x_3$

Table 6. Mathematical model of medicinal components and antioxidant activity of stems of three umbelliferae plants
表 6. 三种伞形科植物茎中药用成分及抗氧化活性的数学模型

化学参数	R ²	变量	方程式
TP	0.991	R, G, B	$y = 1.219 + 0.009x_1 + 0.003x_2 - 0.019x_3$
TF	0.975	R, G, B	$y = 1.015 - 0.029x_1 + 0.232x_2 - 0.200x_3$
SS	0.998	R, G, B	$y = 24.611 + 1.662x_1 - 1.045x_2 - 0.828x_3$
芹菜素	0.985	R, G, B	$y = 0.090 + 0.003x_1 - 0.002x_2 - 0.001x_3$
总香豆素	1.000	R, G, B	$y = -0.015 + 0.003x_1 - 0.002x_2 - 0.001x_3$
DPPH	0.561	R, G, B	$y = 0.248 + 0.141x_1 - 0.220x_2 - 0.074x_3$
ABTS	0.990	R, G, B	$y = 0.521 + 0.013x_1 - 0.009x_2 - 0.007x_3$

5. 结论

实验结果表明, 异叶茴芹内的药用成分含量均高于香芹和芹菜, 且三种实验植物的叶中药用成分含量均高于其茎中含量, 因此异叶茴芹是三种伞形科植物中药用成分含量最高的物种, 而叶是最佳的药用部位。此外, 在三种植物的叶与茎中, 芹菜素与总酚、总类黄酮、总可溶性糖、总香豆素、ABTS 之间都存在极显著正相关($P < 0.01$); 总香豆素与总酚、总类黄酮、总可溶性糖、ABTS 之间都呈极显著正相关($P < 0.01$)。R 值、G 值、B 值可较准确地预测叶中药用成分含量及抗氧化活性, 具有极显著相关性。

6. 讨论

6.1. 异叶茴芹的抗氧化活性

现今, 随着物质水平的提高, 养生保健理念流行。大众对进一步开发低毒性药用及保健资源的需求逐步提升。异叶茴芹, 富含多种药用成分并表现出较强的抗氧化活性, 兼具药用及保健功能。本研究结果显示, 异叶茴芹内的各类药用成分含量均高于香芹和芹菜, 可作为优质的药用植物。同时, 异叶茴芹的叶中除总可溶性糖外的药用成分含量均显著高于茎中, 说明其叶为最佳的药用部位。

据本研究“3.1”项下的实验数据显示, 异叶茴芹内总酚类含量、总类黄酮含量均显著高于其他药用成分。酚类物质是普遍存在于植物中的次级代谢物。多酚结构中的酚羟基在快速捕捉活性氧等自由基的同时, 可与环境中的氧结合, 并被氧化为醌类结构[15]。这使得酚类化合物表现出很强的抗氧化能力。同时, 黄酮类化合物也作为一类抗氧化物质[16], 广泛存在于异叶茴芹内。异叶茴芹可有效提供抗氧化活性物质, 并有助于维持细胞内的氧化平衡, 可作为医药及保健食品的优质资源。除此之外, 针对各药用成分间的相关性分析, 研究发现, 异叶茴芹的抗氧化活性与其所含的各类药用成分密切相关, 药用成分含量越高, 则表现出越强的抗氧化活性。本研究为探索异叶茴芹的药用价值提供研究基础, 也为合理开发

利用优质植物资源提供理论依据。

6.2. 基于 RGB 分形的无损检测技术

植物品质的好坏是衡量该植物是否具有较好利用价值的标准之一。因而，如何精准、迅速、无损的预测植物品质并筛选最佳药用部位已成为一个日益重要的研究问题。RGB 分形技术作为一种非破坏性品质评价方法，已得到广泛应用。Zheng 等[17]基于分形分析和 RGB 强度值预测杨梅汁在贮藏过程中各成分含量变化，优选出高品质杨梅汁。Lou 等[18]应用叶绿素荧光和 RGB 强度值对桑果发育过程中的抗氧化成分进行无损评价。此外，曾有研究报道，植物因具有不同的药用成分含量及抗氧化能力而显示出颜色差异。叶玲旭等[19]研究指出，不同颜色糙米内的酚含量不同；酚含量越高、抗氧化活性越强，糙米的颜色则越深。这些研究表明利用 RGB 分形技术无损筛选药用植物种类及最佳药用部位是可能的。

本研究探究了三种伞形科植物茎、叶中 RGB 值与药用成分含量、抗氧化活性等之间的相关关系。结果显示，通过分析其 RGB 强度的差异，能定性预测最佳药用植物种类，并判断其最佳药用部位。通过数学模型和 RGB 分形技术可无损预测异叶茴芹、芹菜、香芹茎、叶的药用成分含量及抗氧化活性，高效优选植物种类的同时，筛选其最佳药用部位。基于 RGB 分形的无损检测技术具有快速、简单、高效、精确等特点，可为工业化筛选优质植物资源提供参考，具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] 董立莎, 赵志华. 民药异叶茴芹的生药鉴定[J]. 贵阳中医学院学报, 1991(3): 62-64.
- [2] 余顺慧, 邓洪平. 三峡库区伞形科野生药用植物资源及利用现状[J]. 中草药, 2009, 40(S1): 51-54.
- [3] 代英宏, 赵艳敏, 张美媛, 等. 香豆素类化合物生理药理活性的研究[J]. 山东化工, 2021, 50(4): 30-31.
- [4] 雷雨恬, 黄婷, 陈文莉, 等. 不同等级川白芷有效成分含量及抗炎镇痛作用对比研究[J]. 中药药理与临床, 2021, 37(1): 105-110.
- [5] Javed, Z., Sadia, H., Iqbal, M.J., et al. (2021) Apigenin Role as Cell-Signaling Pathways Modulator: Implications in Cancer Prevention and Treatment. *Cancer Cell International*, **21**, Article No. 189. <https://doi.org/10.1186/s12935-021-01888-x>
- [6] 曹艳萍, 代宏哲, 曹炜, 等. Folin-Ciocalteu 比色法测定红枣总酚[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1299.
- [7] 陈丛瑾, 黄克瀛, 李德良, 等. AlCl₃ 显色分光光度法测定香椿叶中总黄酮[J]. 分析试验室, 2006, 25(12): 91-94.
- [8] 马琴国, 王引权, 赵勇. 蒽酮 - 硫酸比色法测定党参中可溶性糖含量的研究[J]. 甘肃中医学院学报, 2009, 26(6): 46-48.
- [9] 黄圣, 程惠, 白月荣. 山芹和西芹中芹菜素含量的比较[J]. 山东化工, 2017, 46(22): 69-71.
- [10] 张恭孝, 李聚仓, 王德才. 独活中总香豆素组分的含量测定[J]. 中华中医药学刊, 2010, 28(12): 2647-2648.
- [11] Tuberoso, C.I.G., Kowalczyk, A., Sarritzu, E., et al. (2007) Determination of Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity in Commercial Oilseeds for Food Use. *Food Chemistry*, **103**, 1494-1501. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.014>
- [12] 王敏, 侯银臣, 张明丹, 等. 枯草芽孢杆菌发酵脱脂麦胚自由基清除率研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(8): 39-43.
- [13] Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., et al. (1999) Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. *Free Radical Biology & Medicine*, **26**, 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- [14] 范集壮, 程依婷, 高玉婷, 等. 一株从云南西部土壤中分离的蕈状芽孢杆菌(*Bacillus mycoides*)的抗氧化活性研究[J]. 当代化工研究, 2021(16): 150-153.
- [15] 韩文凤, 郭红英, 贾娟, 等. 果蔬多酚及其抗氧化性研究进展[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(4): 191-194.
- [16] Ku, Y.S., Ng, M.S., Cheng, S.S., et al. (2020) Understanding the Composition, Biosynthesis, Accumulation and Transport of Flavonoids in Crops for the Promotion of Crops as Healthy Sources of Flavonoids for Human Consumption. *Nutrients*, **12**, 1717. <https://doi.org/10.3390/nu12061717>
- [17] Zheng, H., Jiang, L., Lou, H., et al. (2011) Application of Artificial Neural Network (ANN) and Partial Least-Squares

- Regression (PLSR) to Predict the Changes of Anthocyanins, Ascorbic Acid, Total Phenols, Flavonoids, and Antioxidant Activity during Storage of Red Bayberry Juice Based on Fractal Analysis and Red, Green, and Blue (RGB) Intensity Values. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **59**, 592-600. <https://doi.org/10.1021/jf1032476>
- [18] Lou, H., Hu, Y., Zhang, L., *et al.* (2012) Nondestructive Evaluation of the Changes of Total Flavonoid, Total Phenols, ABTS and DPPH Radical Scavenging Activities, and Sugars during Mulberry (*Morus alba* L.) Fruits Development by Chlorophyll Fluorescence and RGB Intensity Values. *LWT—Food Science and Technology*, **47**, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.008>
- [19] 叶玲旭, 刘兴训, 周素梅, 等. 不同颜色糙米的酚类物质组成及抗氧化活性分析[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(9): 75-80.