

于二汝,袁婷婷,杨航,等. 14 份紫叶紫苏叶片营养综合评价及精油型分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(24): 311-319. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030177

YU Erru, YUAN Tingting, YANG Hang, et al. Comprehensive Nutritional Evaluation and Essential Oil Type Analysis of 14 Purple *Perilla frutescens* Lines[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(24): 311-319. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030177

· 分析检测 ·

14 份紫叶紫苏叶片营养综合评价及 精油型分析

于二汝*,袁婷婷,杨航,向依,李慧琳,奉斌
(贵州省农业科学院,贵州省油料研究所,贵州贵阳 550006)

摘要:为筛选优质药食兼用型紫叶紫苏资源,本研究对源于贵州、湖南、山西和黑龙江的 14 个紫叶紫苏品系(编号 C01~C14)叶片的基本营养品质、主要活性成份和微量矿物质含量进行了测定,并利用因子分析和系统聚类分析对紫苏叶营养品质进行评价,同时分析了各紫苏叶片的精油型。结果显示,不同紫苏的粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、可溶性蛋白、总游离氨基酸和可溶性糖含量依次为 12.87~19.52、2.07~4.19、6.59~9.84 g/100 g、0.99~2.49、0.17~1.57、28.90~61.54 g/kg,黄酮、总酚和维生素 C 等活性物质含量分别为 13.28~24.35 g/kg、59.26~99.18 mg/kg、1.16~8.17 mg/100 g。Fe、Zn、Mn 和 Cu 四种矿物质含量依次为 13.96~27.86、5.60~8.94、4.63~19.74 和 0.52~2.61 mg/kg。因子分析显示,紫叶紫苏叶片营养成分可以提取出“糖和矿质元素”、“活性物质”、“蛋白质”和“脂肪”4 个公因子,综合品质表现最优的为 C05,其次为 C12、C11、C06 和 C10。利用系统聚类分析将 14 份紫苏划分为“高糖高矿物质组”、“高脂高蛋白高活性成分组”和“高纤维低营养组”,分别包含 8、3 和 3 份紫苏。精油含量检测和成份分析显示,14 份紫苏精油含量为 0.25%~1.09%,精油型分为富含 L-紫苏醛的 PA 型、富含肉豆蔻醚的 PP-m 型、主含香蒿酮的非典型 EK+型以及富含 1-(2-呋喃基)-1,4-戊二酮的 MP 型等 4 种类型,分别包含 7、1、2 和 4 份紫苏。综合评价后得出 C05 品质最佳,且为精油含量丰富的 PA 型紫苏,可作为药食兼用型紫苏加以利用。

关键词:紫苏,紫叶,品质评价,因子分析,聚类分析

中图分类号:TS255.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2022)24-0311-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030177



本文网刊:

Comprehensive Nutritional Evaluation and Essential Oil Type Analysis of 14 Purple *Perilla frutescens* Lines

YU Erru*, YUAN Tingting, YANG Hang, XIANG Yi, LI Huilin, FENG Bin

(Guizhou Institute of Oil Crops, Guizhou Academy of Agricultural Science, Guiyang 550006, China)

Abstract: In order to screen *Perilla* resources suitable for both medicine and food, basic nutritional quality, main active components and mineral content were determined in 14 purple *Perilla frutescens* lines (No.C01~C14), which were collected from Guizhou, Hunan, Shanxi and Heilongjiang provinces. The nutritional quality of *Perilla* leaves was evaluated by factor analysis and systematic cluster analysis. In addition, the essential oil types of the *Perilla* lines were also analyzed. The results showed that the content of crude protein, crude fat, crude fiber, soluble protein, total free amino acids and soluble sugar were 12.87~19.52, 2.07~4.19, 6.59~9.84 g/100 g, 0.99~2.49, 0.17~1.57 and 28.90~61.54 g/kg, respectively. The contents of flavonoids, total phenols and vitamin C were 13.28~24.35 g/kg, 59.26~99.18 mg/kg and 1.16~8.17 mg/100 g. The content of Fe, Zn, Mn and Cu was 13.96~27.86, 5.60~8.94, 4.63~19.74 and 0.52~2.61 mg/kg, respectively. Factor analysis showed that the four common factors of "sugar and mineral elements", "active substances", "protein" and "fat" could

收稿日期: 2022-03-15

基金项目: 贵州省省级科技计划项目(黔科合支撑[2020]1Y107号);国家自然科学基金(32160097);中央引导地方科技发展基金资金(黔科中引地[2020]4012号)。

作者简介/通信作者*: 于二汝(1985-),女,博士,副研究员,研究方向:特色油料资源鉴定与作物遗传育种,E-mail: yuerru@163.com。

be extracted from the multitudinous nutrient factors of *Perilla* leaves. The best comprehensive quality performance was C05, followed by C12, C11, C06 and C10. Cluster analysis indicated that 14 *Perilla* lines could be divided into three groups, they were "high-sugar and high-mineral group", "high-fat and high-protein and high-active ingredient group" and "high-fiber and low-nutrition group", including 8, 3 and 3 lines correspondingly. The essential oil detection and composition analysis showed that the content of essential oil ranged from 0.25% to 1.09% in 14 *Perilla* lines. The chemotype of essential oil of 14 *Perilla* lines could be divided into four types: PA type (rich in L-perillaldehyde), pp-m type (rich in 1,3-benzodioxole, 4-methoxy-6-(2-propenyl)-), atypical EK+type (mainly containing elsholtzia ketone) and MP type (rich in 1-(furan-2-yl)-4-methylpentan-1-one), including 7, 1, 2 and 4 *Perilla* lines respectively. After comprehensive evaluation, it was concluded that C05 was the best line in quality and was also rich in PA-type essential oil, which could be developed into both medicine and food.

Key words: *Perilla*; purple leaves; quality evaluation; factor analysis; cluster analysis

紫苏(*Perilla frutescens* (L.) Britt.), 唇形科紫苏属一年生草本植物的统称,是我国传统中药植物,具有发汗散寒,行气解毒的作用。紫苏也是著名的药食同源植物,我国汉代以来就多将紫苏嫩叶用来生食、做汤或用做调味的记载^[1]。紫苏叶片含有人体必需的多种氨基酸、矿物质等营养物质^[2],以及精油^[3]、酚类^[4]、黄酮^[5]、维生素 C(Vitamin C, V_C)^[6]等活性成分,具有抑菌^[7]、抗炎^[8]、抗过敏^[9]、抗肿瘤^[10]等功效,对消化系统、心血管系统、神经系统也有一定的积极作用^[11]。

紫叶紫苏是指叶片面绿背紫或双面紫色的紫苏^[12],古称“苏”,与之相对的是叶片颜色为绿色的紫苏,即“白苏”,古称“荏”。多项研究表明,紫叶紫苏在药用和营养价值方面均具有一定的优势。如洪涌等^[13]研究发现紫苏叶粗蛋白含量、粗纤维含量显著高于白苏,而粗脂肪含量显著低于白苏。王仙萍等^[2]研究显示药用紫苏叶片(“紫苏”)的钙、铁和硒等重要的营养元素均高于油用紫苏(白苏),并认为其作为食用菜蔬的营养价值更高。上官海燕等^[5]发现紫苏黄酮含量略高于白苏。与绿色紫苏叶相比,紫苏叶的重要营养代谢产物更丰富,具有更强的抗氧化活性^[14]。此外,紫苏叶具有独特的芳香气味,含有萜类、芳香类等挥发性物质^[15]。日本学者根据紫苏精油的主要成分将紫苏分为 PA 型(主含紫苏醛、柠檬烯)、PK 型(主含紫苏酮)、PL 型(主含紫苏烯)、EK 型(主含香薷酮)、C 型(主含反式柠檬醛)以及以芳香类化合物为主的 PP 型(细分为 3 种:主含肉豆蔻醚的 PP-m 型,主含蒈油脑、肉豆蔻醚的 PP-dm 型和主含榄香素、肉豆蔻醚的 PP-em 型)、PT 型(主含薄荷烯酮)等 7 种精油型^[16-17]。中国药典规定,药材紫苏叶的特征具有“两面紫色或上表面绿色,下表面紫色”^[18],即为紫叶紫苏;并明确紫苏叶挥发油的特征成分为紫苏醛^[18]。赵淑平等^[15]的研究发现双紫叶紫苏精油主要成分为紫苏醛,而白苏精油的主要成分多为紫苏酮。然而,目前国内紫苏的资源鉴定、品种选育和开发利用,多针对于油用型紫苏或白苏。如欧巧明等^[19]对 159 份油用紫苏 16 个农艺和品质性状进行鉴定和评价,筛选出了一批高产及种子品质优

异的紫苏种质。近年来,报道的紫苏新品系或品种龙紫苏 1 号^[20]、贵苏 1 号^[21]、贵苏 3 号^[22]等均为油用型紫苏。为了促进紫叶紫苏作为一种药食同源植物进行开发利用,本文对 14 份紫叶紫苏叶片的粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、矿物质等营养品质,以及可溶性蛋白、游离氨基酸、可溶性糖、黄酮、酚类、 V_C 等含量进行了检测,通过因子分析、系统聚类分析,建立了紫叶紫苏综合品质评价体系,并对其精油主要成份进行了分析,从而为优质紫叶紫苏的筛选和利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

14 份紫叶紫苏 材料编号依次为 C01~C14,其中 C01 收集自贵州省黔南州三都县,C02~C06 来自黑龙江省科学院,C09 和 C14 来源于贵州省黔东南州从江县,C08 和 C13 分别收集自山西省临汾市乡宁县和湖南省邵阳市新邵县,C07、C10、C12 由网上购买获得。14 份紫叶紫苏颜色分为背紫面绿(包含)、背紫面紫绿和双面紫色 3 种,其中 C06、C14 叶片背紫面绿,C01、C02、C08 和 C11 叶片背紫面紫绿,其余 8 份为双面紫色。C13 和 C14 叶片皱缩,为回回苏变种^[23]。所有材料均经过 3 代以上系统选育,为表型稳定一致的品系;正己烷 色谱纯,美国 Mreda 公司;一水合没食子酸 纯度 $\geq 98.5\%$,上海源叶生物科技有限公司;亮氨酸 纯度 $\geq 99.0\%$,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;牛血清蛋白 BSA 纯度 $\geq 97.0\%$,美国 Roche 公司;芦丁 纯度 $\geq 95\%$,北京沃凯生物科技有限公司;蔗糖(纯度 $\geq 98.5\%$)、抗坏血酸(纯度 $\geq 99.7\%$) 国药集团化学试剂有限公司;其余试剂 均为国产分析纯。

Evolution 220 紫外-可见分光光度计、iCAP 7200 HS Duo 电感耦合等离子体发射光谱仪 美国 Thermo Fisher 公司;KQ-800DE 超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;i-Pure Pro2 超纯水仪 杭州泽南科技有限公司;SZCL-2 型数显智能控温磁力搅拌器 巩义市予华仪器有限责任公司;Centrifuge 5430R 高速冷冻离心机 德国艾本德公司;B-260 恒温水浴锅 上海亚荣生化仪器厂;ATX224R 分析天平 日本岛

津公司; DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱、SXL-1008T 程控箱式电炉 上海精宏实验设备有限公司; R-100 旋转蒸发仪 瑞士 Buchi 公司; JK-CFD-6E 粗脂肪测定仪 上海精学科学仪器有限公司; F5800 纤维素分析仪、SPH120 消解仪、KN520 凯氏定氮仪 济南阿尔瓦仪器有限公司; Titrette 50 mL/4760161 数字瓶口滴定器 德国 Brand 公司; SpectraMax 190 全波长酶标仪 美国 Molecular Devices 公司; SM 精密恒温电热板 北京科伟永兴仪器有限公司; S433D 全自动氨基酸分析仪 德国 Sykam 公司; 7890B_5977A 色谱-质谱联用仪 美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 材料种植 14 份材料种植于贵阳市花溪区金竹镇贵州省农业科学院油料研究所试验地, 试验地土质为黄壤土, 肥力中等。试验时间为 2021 年 3 月至 10 月。紫苏采用育苗移栽方式进行种植, 播种时间为 3 月 30 日, 移栽时间为 5 月 3 日。移栽时以 2.5 m 开厢, 采用随机区组排列, 每材料种植 10 行, 安排 3 次重复。移栽时每 667 m² 施用复合肥 20 kg。紫苏生长季节管理按常规进行。

1.2.2 营养成分分析

1.2.2.1 基本营养成分分析 取成长旺期健康生长的完全叶鲜样进行各品质分析。粗蛋白含量: 采用硫酸-催化剂消解, 凯氏定氮法进行测定^[24]; 粗脂肪含量: 采用无水乙醚溶解, 索氏抽提法进行测定^[25]; 粗纤维含量: 采用范式洗涤法测定^[26]; 可溶性蛋白含量: 采用考马斯亮蓝比色法测定^[27], 以牛血清蛋白 BSA 为标准品, 测得的标准曲线为 $y=193.3970x-0.4605$ ($R^2=0.9998$), 式中, x 表示样品在 595 nm 下的吸光度值, y 表示可溶性蛋白含量, μg 。样品中蛋白质含量以牛血清蛋白 BSA 当量表示(g/kg); 游离氨基酸总量: 采用茚三酮显色法测定^[28], 以亮氨酸为标准品, 测得的标准曲线为 $y=73.7320x-0.1312$ ($R^2=0.9995$), 式中, x 表示样品在 580 nm 下的吸光度值, y 表示亮氨酸含量, μg 。样品中游离氨基酸总量以亮氨酸当量表示(g/kg); 可溶性总糖含量: 采用蒽酮法测定^[29], 以蔗糖为标准品, 测得蔗糖的标准曲线为 $y=223.5702x+1.8390$ ($R^2=0.9996$), 式中, x 表示样品在 630 nm 下的吸光度值, y 表示蔗糖含量, μg 。样品中可溶性糖含量以蔗糖当量表示(g/kg)。

1.2.2.2 总酚含量测定 采用福林-酚比色法测定^[30], 即称取 0.1 g 试样, 加入 20 mL 蒸馏水, 沸水浴 30 min, 提取总酚, 取出后冷却, 定容至 25 mL, 过滤备用; 同时制备 0、10、20、30、40、50 mg/L 浓度的一水合没食子酸。取 1 mL 滤液或一水合没食子酸标准溶液。分别加 1 mL 福林酚显色剂、3 mL 7.5% 碳酸钠溶液, 反应液体积定容至 25 mL, 混匀, 室温显色 30~60 min, 在 765 nm 处测定其吸光度值。测得一水合没食子酸的标准曲线为 $y=164.3607x+0.5815$

($R^2=0.9996$), 式中, x 表示吸光值, y 表示总酚含量, μg 。样品中总酚含量以一水合没食子酸当量表示(mg/kg)。

1.2.2.3 黄酮含量测定 采用分光光度法测定^[31], 即称取样品 0.2 g, 用 20 mL 60% 乙醇回流提取, 共 2 次, 合并滤液, 旋转蒸发, 再用 60% 乙醇定容至 25 mL。取样品溶液 3 mL 或 0.528 mg/mL 芦丁对照品溶液 0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.6 mL, 各加入 2.0 mL 60% 乙醇、0.5 mL NaNO₂, 放置 6 min 后再加入 0.5 mL 10% Al(NO₃)₃ 溶液, 摇匀, 放置 6 min 后加入 4 mL 4% NaOH, 用 60% 乙醇定容至 10 mL, 摇匀, 放置 15 min, 在 510 nm 处测定吸光度。测得芦丁的标准曲线为 $y=1636.4349x-5.1729$ ($R^2=0.9996$), 式中, x 表示吸光值, y 表示芦丁含量, μg 。样品中黄酮含量以芦丁当量表示(g/kg)。

1.2.2.4 维生素 C 含量测定 采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定^[32], 即首先利用 1 mL 1 mg/L 抗坏血酸标准溶液测定 2,6-二氯酚酚溶液(由 52 mg 碳酸氢钠、200 mL 蒸馏水、50 mg 2,6-二氯酚酚配制而成)的滴定度。然后取 20 g 样品, 加 20 mL 草酸研磨成浆, 定容至 100 mL, 摇匀过滤。吸取 10 mL 提取稀释液, 用标定过的 2,6-二氯酚酚溶液进行滴定, 并设置空白对照。维生素 C 含量计算:

$$\text{维生素C含量(mg/100 g)} = \frac{(V - V_0) \times T \times A}{m} \times 100$$

式中: V 表示试样滴定所需 2,6-二氯酚酚溶液的体积, mL; V_0 表示空白滴定所需 2,6-二氯酚酚溶液的体积, mL; T 表示滴定度, mg/mL; A 表示分取倍数; m 表示试样质量, g。

1.2.2.5 微量元素含量测定 用硝酸消解, 电感耦合等离子体发射光谱法测定^[33], 即称取 2.0 g 鲜样于聚四氟乙烯消解罐内, 加 5 mL 硝酸浸泡过夜, 盖好内外盖, 放入恒温箱, 依次经过 80 °C 1~2 h、120 °C 1~2 h、160 °C 4 h 进行加热, 冷却至室温后, 开盖继续加热, 将酸挥发干净, 然后将消化液用 1% 硝酸洗入 25 mL 容量瓶, 并定容至刻度线, 混匀备用。将样品消解液上机分析, 根据元素的特征谱线波长定性, 待测元素谱线信号强度与元素浓度成正比进行定量分析。

1.2.3 精油成分分析

1.2.3.1 精油提取 利用水蒸气蒸馏法提取紫苏挥发油, 将采集的紫苏叶阴干净选, 粉碎成末, 准确称取 50.000 g 于圆底烧瓶, 加入蒸馏水 500 mL, 连接挥发油提取器及回流装置提取 5 h, 用移液枪将挥发油小心收集于小棕色瓶。样品放置-4 °C 冰箱待用。检测前取 50 μL 精油溶于 950 μL 正己烷, 充分混匀, 准备上样。精油得率计算:

$$W(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

式中: W 表示精油得率, %; W_0 表示棕色瓶初始重量, g; W_1 表示棕色瓶和精油总重量, g。

1.2.3.2 成分检测 GC 色谱柱: 19091S-433(30 m×0.25 mm×0.10 μm); 载气: He; 流速: 1 mL/min; 分流比 1:20。程序升温: 进样口温度 200 °C, 起始温度 70 °C, 保持 3 min; 然后以 5 °C/min 升到 150 °C, 保留 2 min; 再以 10 °C/min 升到 220 °C, 保留 5 min^[34]。MS 电离能量: 70 eV; 离子源温度: 230 °C; 四极杆温度: 150 °C; 电子倍增电压 1000 V; 溶剂延迟 5 min; 质谱条件: 扫描范围 30~500 amu, 全扫描^[34]。采用峰面积归一化法确定组分的相对含量, 通过检索 NIST14 化学工作站标准质谱图库, 鉴定组分的化学结构。

1.3 数据处理

所有数据都通过 3 次试验重复获得。利用 G3336-60065_MassHunter Qualitative Analysis DA Software B.06.00 软件进行气相-质谱数据提取与统计分析; 利用 Excel 2010 进行数据处理; 利用 DPS 统计分析软件(v17.10)进行因子分析和系统聚类分析。

2 结果与分析

2.1 营养品质

如表 1 所示, 14 份紫叶紫苏的粗蛋白平均含量为 16.85 g/100 g, 介于 12.87~19.52 g/100 g 之间, 以 C12 含量最高, 而以 C02 含量最低。粗脂肪平均含量 2.83 g/100 g, 介于 2.07~4.19 g/100 g 之间, 以 C06 最高, 而以 C11 含量最低。粗纤维平均含量为 7.90 g/100 g, 介于 6.59~9.84 g/100 g 之间, 以 C13 最高, 而以 C11 含量最低。可溶性蛋白平均含量 1.56 g/kg, 介于 0.99~2.49 g/kg 之间, 以 C05 最高, 而以 C01 含量最低。总游离氨基酸平均含量 0.69 g/kg, 介于 0.17~1.57 g/kg 之间, 以 C06 最高, 是含量最低的 C13 的 9.3 倍。可溶性糖平均含量 52.35 g/kg, 介于

28.90~61.54 g/kg 之间, 以 C04 最高, 而以 C14 含量最低。黄酮平均含量 17.07 g/kg, 介于 13.28~24.35 g/kg 之间, 以 C05 最高, 而以 C01 含量最低。总酚平均含量 78.19 mg/kg, 介于 59.26~99.18 mg/kg 之间, 以 C11 最高, 而以 C14 含量最低。 V_C 平均含量为 2.91 mg/100 g, 介于 1.16~8.17 mg/100 g, 以 C06 最高, 是含量最低的 C03 的 7.1 倍。综上, C12 粗蛋白含量最高、黄酮和 V_C 中等偏高, 可做作为高蛋白药食产品开发原材料; C06 粗脂肪含量、总游离氨基酸和 V_C 含量最高; C05 可溶性蛋白和黄酮含量均最高; C04 可溶性糖最高; C11 总酚含量最高、粗纤维含量最低, 且可溶性糖、黄酮、 V_C 含量均中等偏高, 可作为提取酚类物质的原材料以及功能性食品开发; C13 粗纤维含量最高、总游离氨基酸最低, 营养品质稍差。

2.2 微量元素

铁(Fe)、锌(Zn)、锰(Mn)、铜(Cu)是紫苏叶片中主要的微量矿质营养元素^[4]。如表 2 显示, 14 份材料叶片 Fe、Zn、Mn 和 Cu 的平均含量依次为 21.64、7.37、10.72 和 1.96 mg/kg。其中 Fe 元素含量介于 13.96~27.86 mg/kg, 含量最高的为 C03, 是含量最低的 C12 的 2.0 倍; Zn 元素含量介于 5.60~8.94 mg/kg, 含量最高的为 C05, 是含量最低的 C14 的 1.6 倍; Mn 元素含量介于 4.63~19.74 mg/kg, 含量最高的为 C10, 是含量最低的 C14 的 4.3 倍; Cu 元素含量介于 0.52~2.61 mg/kg, 含量最高的为 C02, 是含量最低的 C14 的 5.0 倍。其中 C03 的 Fe 元素含量最高, 其他 3 种元素中等偏高; C05 的 Zn 元素含量最高, Mn 和 Cu 中等偏高; C10 的 Mn 元素含量最高, Zn 和 Cu 含量中等偏高; C02 的 Cu 元素含量最高, Fe 和 Zn 含量中等偏高; 而 C14 的 Zn、Mn 和 Cu 均为最低。可见, C02、C03、C05、C10 等紫苏叶中的微量矿质元素较为丰富, 而 C14 的矿质元素营养较为匮乏。

表 1 不同紫叶紫苏叶片基本营养成分和活性物质含量

Table 1 Contents of basic nutrients and active substances in different purple *Perilla frutescens* lines

材料编号	粗蛋白 (g/100 g)	粗脂肪 (g/100 g)	粗纤维 (g/100 g)	可溶性蛋白 (g/kg)	总游离氨基酸 (g/kg)	可溶性糖 (g/kg)	黄酮 (g/kg)	总酚 (mg/kg)	V_C (mg/100 g)
C01	13.10±0.04	2.70±0.01	8.10±0.04	0.99±0.04	0.38±0.02	61.47±0.53	13.28±0.68	74.13±0.57	1.35±0.13
C02	12.87±0.07	3.92±0.01	7.57±0.05	1.22±0.10	0.49±0.02	57.16±0.66	15.18±0.69	72.69±0.42	1.39±0.14
C03	15.72±0.04	2.76±0.01	6.84±0.06	1.39±0.04	0.53±0.01	55.25±0.91	16.05±0.58	75.10±0.48	1.16±0.19
C04	15.16±0.07	3.28±0.02	7.63±0.02	1.73±0.06	0.68±0.01	61.54±0.30	17.12±0.83	87.73±0.34	1.22±0.29
C05	18.02±0.01	3.54±0.02	7.47±0.02	2.49±0.15	1.14±0.03	53.31±0.43	24.35±0.79	91.84±0.15	2.34±0.17
C06	18.48±0.04	4.19±0.02	8.50±0.03	1.62±0.06	1.57±0.01	48.89±0.27	19.46±0.73	73.91±0.17	8.17±1.27
C07	17.29±0.04	3.01±0.03	7.90±0.01	1.32±0.04	0.57±0.01	54.21±0.42	13.47±0.39	74.96±0.34	1.32±0.17
C08	16.84±0.07	2.35±0.01	8.30±0.01	1.38±0.08	0.67±0.01	59.47±0.75	14.76±0.47	69.44±0.09	1.22±0.13
C09	17.59±0.04	2.28±0.02	8.09±0.01	1.59±0.04	1.10±0.03	58.60±0.74	14.98±0.56	72.77±0.36	5.43±0.48
C10	17.25±0.07	2.75±0.03	6.89±0.01	1.91±0.06	0.48±0.01	58.90±0.65	17.30±0.79	81.85±0.65	4.07±0.48
C11	18.90±0.04	2.07±0.01	6.59±0.01	2.15±0.03	1.39±0.01	53.32±0.41	23.08±0.71	99.18±0.60	6.42±1.72
C12	19.52±0.04	2.13±0.02	7.70±0.01	1.51±0.11	0.34±0.01	43.04±0.28	18.43±0.14	75.87±0.30	3.73±1.66
C13	16.10±0.07	2.18±0.01	9.84±0.01	1.24±0.04	0.17±0.01	38.86±0.19	16.53±0.56	85.87±0.14	1.19±0.08
C14	19.07±0.04	2.41±0.02	9.18±0.01	1.37±0.01	0.20±0.01	28.90±0.42	15.01±0.48	59.26±2.43	1.70±0.08

注: 数据以平均值±标准误差表示; 表2同。

表 2 不同紫叶紫苏品系矿物质含量(mg/kg)

Table 2 Mineral content in different purple *Perilla frutescens* lines (mg/kg)

材料编号	Fe	Zn	Mn	Cu
C01	27.64±0.98	8.19±0.07	11.99±0.09	2.00±0.07
C02	23.63±0.13	8.05±0.03	8.46±0.22	2.61±0.09
C03	27.86±0.48	7.70±0.07	12.13±0.33	2.05±0.06
C04	27.68±0.51	8.09±0.11	9.43±0.31	2.37±0.05
C05	20.84±0.07	8.94±0.13	13.00±0.30	2.56±0.06
C06	18.97±0.33	6.53±0.07	10.81±0.13	1.59±0.05
C07	16.51±0.19	6.87±0.13	8.64±0.02	2.14±0.02
C07	18.82±0.32	8.02±0.11	10.92±0.17	2.42±0.09
C08	21.41±0.39	6.74±0.06	8.91±0.26	2.12±0.06
C09	23.62±0.54	7.53±0.09	14.43±0.31	2.46±0.05
C10	21.22±0.36	8.17±0.08	19.74±0.13	2.03±0.08
C11	17.08±0.56	6.67±0.03	10.10±0.16	2.05±0.04
C12	13.96±0.23	6.86±0.02	7.60±0.19	1.11±0.04
C13	19.38±0.36	6.15±0.03	7.87±0.07	1.55±0.05
C14	20.80±0.55	5.60±0.03	4.63±0.10	0.52±0.01

2.3 紫苏品质因子分析

2.3.1 公因子提取 对紫苏叶片 9 种基本营养成分和活性物质以及 4 种矿物质进行因子分析,经 KMO 和 Bartlett 检验, KMO=0.4830, $P=0.004$ 。由表 3 可知,前 4 个因子的特征值大于 1,分别为 4.71、3.94、1.23 和 1.02,累计贡献率为 83.80%,保留了原始数据的大部分信息,故提取 4 个因子进行后续分析。因子 1 贡献率为 30.27%,主要代表粗纤维、可溶性糖、Fe、Zn、Mn、Cu 等指标,主要反映“糖和矿物质元素”等营养品质。因子 2 贡献率为 22.22%,主要代表可溶性蛋白、黄酮和总酚,主要反映“活性物质”等营养品质。因子 3 贡献率为 19.52%,主要代表粗蛋白、总游离氨基酸和 V_C ,主要反映“蛋白质”品质。因子 4 贡献率为 11.79%,主要代表粗脂肪,主要反映“脂肪”品质。

表 3 因子载荷矩阵
Table 3 Factor load matrix

指标	因子1	因子2	因子3	因子4
粗蛋白	-0.42	0.34	0.65	-0.40
粗纤维	-0.71	-0.39	-0.14	0.10
粗脂肪	0.14	0.03	0.09	0.92
总游离氨基酸	0.23	0.38	0.74	0.39
可溶性蛋白	0.20	0.84	0.38	0.00
可溶性糖	0.92	-0.02	-0.05	0.20
黄酮	-0.06	0.90	0.36	0.10
总酚	0.28	0.86	-0.01	-0.03
V_C	0.01	0.16	0.94	0.04
Fe	0.51	-0.34	-0.45	0.31
Zn	0.81	0.22	-0.27	0.27
Mn	0.82	0.06	0.29	-0.13
Cu	0.80	0.20	-0.15	0.36
特征值	4.71	3.94	1.23	1.02
方差贡献率(%)	30.27	22.22	19.52	11.79
累计贡献(%)	30.27	52.49	72.01	83.80

2.3.2 因子得分和排名 如表 4,在第一公因子中,

14 个品系因子得分介于-2.17~1.45,以 C10 最高,其次为 C09、C01 和 C03,得分依次为 0.98、0.83 和 0.75,明显大于其他品系,说明这些紫苏品系含有相对丰富的可溶性糖和 Fe、Zn、Mn、Cu 矿质元素,而含有较低的粗纤维。在第二因子中,C05 和 C11 得分分别为 2.27 和 1.80,明显大于其他品系(得分-1.15~0.60),说明这 2 个品系的可溶性蛋白以及黄酮和总酚等含量相对较高。在第三因子中,各品系因子得分介于-1.15~2.33,以 C06 最高,其次为 C09 和 C11(得分分别为 1.23 和 0.99),说明这些品系含有较高的粗蛋白、游离氨基酸和 V_C 。在第四因子中,C06 和 C02 得分最高,分别为 1.94 和 1.66,其次为 C05 和 C04,得分分别为 0.95 和 0.85,这 4 个品系因子得分明显高于其余品系(得分-1.34~0.08),表明其含有更丰富的粗脂肪。利用表 3 中每个因子的方差贡献率作为权重,计算各品系四个因子的综合得分,结果如表 4 显示,综合得分以 C05 最高,为 0.65,其次为 C12,得分为 0.52,得分较高的还有 C11、C06 和 C10,分值依次为 0.41、0.35 和 0.26,得分最低为 C14 和 C15,分别为-0.65 和-0.91。综上,C05 可溶性蛋白、粗脂肪、黄酮和总酚等含量丰富,综合品质最佳,C12 粗蛋白含量高,且富含黄酮和 V_C ,而 C11 总酚含量高,并含有较多的可溶性糖、黄酮和 V_C ,三者可作为菜用或功能性食品开发;C06 含有丰富的粗蛋白、粗脂肪、游离氨基酸和 V_C 含量,而 C10 含有丰富的可溶性糖和矿物质,两者均适合菜用。

表 4 不同紫苏品系因子得分及综合品质得分
Table 4 Factor scores and comprehensive quality scores of different purple *Perilla frutescens* lines

编号	因子1	因子2	因子3	因子4	综合得分
C05	0.27	2.27	-0.25	0.95	0.65
C12	0.09	1.80	0.99	-0.86	0.52
C11	1.45	0.01	0.59	-1.20	0.41
C06	-0.76	-0.48	2.33	1.94	0.35
C10	0.98	-0.97	1.23	-0.50	0.26
C04	0.46	0.60	-1.07	0.85	0.17
C03	0.75	-0.35	-0.58	-0.26	0.00
C02	0.22	-0.43	-0.95	1.66	-0.02
C08	0.28	-0.43	-0.24	-0.05	-0.06
C01	0.83	-1.15	-0.90	0.08	-0.17
C09	0.02	-0.69	-0.14	-0.37	-0.22
C13	-0.96	0.35	0.26	-1.34	-0.32
C14	-1.44	0.27	-1.15	-0.44	-0.65
C15	-2.17	-0.78	-0.11	-0.46	-0.91

2.4 精油成分分析

紫苏精油类型复杂,其生理活性也不尽相同^[35-38]。为此本文也对 14 份紫叶紫苏的精油成份进行了分析,如表 5,14 份紫苏精油的干物质含量介于 0.25%~1.09%,除了 C12 和 C14 外,其余品系挥发油含量均高于 0.40%,达到中国药典规定的标准^[18]。主要化学物质包括 1-(2-呋喃基)-1,4-戊二酮、L-紫苏醛、香薷

表 5 不同紫叶紫苏品系精油主要化学成分及含量(%)

Table 5 Chemical constituents and contents of essential oils from different purple *Perilla frutescens* lines (%)

主要成分	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14
D-柠檬烯	5.6	6.9	/	0.4	1.8	/	1.7	/	5.0	/	0.2	0.3	/	3.0
香薷酮	/	/	11.7	/	/	/	/	/	0.8	/	0.7	14.0	2.8	/
1-(2-呋喃基)-1,4-戊二酮	1.7	7.9	57.2	57.7	6.6	25.9	24.4	12.7	4.2	69.8	45.0	2.9	3.8	4.8
trans-Shisool	0.7	/	/	/	6.1	0.4	6.0	/	1.6	/	0.3	0.4	/	2.0
L-紫苏醛	37.4	42.5	1.4	0.7	27.1	3.2	29.9	1.2	42.4	0.4	2.4	2.2	49.8	33.1
β -去氢香薷酮	/	/	1.1	0.4	/	/	/	/	/	/	10.2	8.3	/	/
石竹烯	14.1	15.9	9.3	11.6	15.4	10.4	12.5	14.3	15.1	9.9	11.6	11.0	20.7	14.2
反式- α -香柑油烯	15.9	11.0	8.5	11.5	12.2	10.1	11.4	13.9	9.9	9.6	12.9	9.5	15.4	11.8
肉豆蔻醚	/	/	/	/	4.7	0.8	0.5	46.8	1.9	/	/	/	/	0.6
石竹烯氧化物	/	/	1.0	1.2	5.2	2.9	2.6	0.6	1.1	0.7	/	3.9	/	3.0
芹菜脑	/	/	/	/	/	14.1	/	/	/	/	/	/	/	1.1
2-烯丙基-6-甲基苯酚	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25.4	/	/
合计(%)	75.4	84.2	90.2	83.6	79.1	67.9	88.9	89.5	82.0	90.4	83.5	77.9	92.5	73.7
精油型	PA	PA	EK+	MP	PA	MP	PA	PP-m	PA	MP	MP	EK+	PA	PA
精油得率(%)	0.58	0.49	1.07	0.49	0.56	0.48	0.72	0.59	0.71	1.09	0.53	0.25	0.99	0.25

注: 数值为3次检测的平均值, 均以百分含量表示; “/”表示未检测到该物质。

酮、石竹烯、肉豆蔻醚等 12 种主要化合物(含量 >5%), 占检出总物质含量的 67.9%~92.5%。共同含有的化学物质为 1-(2-呋喃基)-1,4-戊二酮(1.7%~69.8%)、紫苏醛(0.4%~49.8%)、石竹烯(9.3%~20.7%)和反式- α -香柑油烯(8.5%~15.9%), 而含量在不同材料中差异较大。其中, 紫苏醛为中国药典规定的特征成分^[18]。

根据不同材料精油中的主要化学物质, 14 份材料可被分为富含 L-紫苏醛的 PA 型、富含肉豆蔻醚的 PP-m 型、主含香薷酮的非典型 EK(EK+型)以及富含 1-(2-呋喃基)-1,4-戊二酮(1-(Furan-2-yl)-4-methylpentan-1-one, MP)的 MP 型四种类型。其中, 1-(2-呋喃基)-1,4-戊二酮在国内紫苏精油成分分析中也有报道^[39], 但 MP 型尚未明确划分为紫苏的一种精油类型。紫苏精油的新类型在其他研究中也有报道, 如 Zhang 等^[40]曾报道紫苏含有 AL(apiol)和 DEK(dehydroelsholtzia ketone)等新的精油型, 郭佳琪等^[41]也第一次报道了以倍半萜成分为主 PS(S 为 sesquiterpene 简写)型。第一类 PA 型紫苏中包含了 C01、C02、C05、C07、C09 以及两个回回苏变种 C13 和 C14 等 7 个品系, 与前人报道的紫叶紫苏(尤其是叶片两面紫色)和回回苏以 PA 型为主的结果基本一致^[42]。7 个品系中 L-紫苏醛的含量为 27.1%~42.5%, 以 C13 含量最高, C05 含量最低。该类型紫苏精油中柠檬烯含量最高为 C02, 为 6.9%, 而国内报道的 PA 型紫苏中柠檬烯最高可达 28%^[43]。此外, C07 含有 24.4% 1-(2-呋喃基)-1,4-戊二酮; 第二类 PP-m 型包含 C08 一个品系, 其肉豆蔻醚含量为 46.8%, 此外还含有 12.7% 1-(2-呋喃基)-1,4-戊二酮、14.3% 石竹烯和 13.9% 反式- α -香柑油烯。第三类 EK+型, 包含 C03 和 C12 两个材料, 分别含有 11.7% 和 14.0% 的香薷酮。而 C03 含有 57.2% 的

1-(2-呋喃基)-1,4-戊二酮, 也可归为第四类 MP 型。C12 含有 25.4% 2-甲基-6-(2-丙烯基)-苯酚, 该物质在其余 13 种紫苏中均未检测到, 在以往紫苏精油成分的报道中也鲜有报道。第四类 MP 型, 包含 C04、C06、C10 和 C11 等材料, 主成分 1-(2-呋喃基)-1,4-戊二酮的含量依次为 57.7%、25.9%、69.8% 和 45.0%。此外, C06 中含有 14.1% 芹菜脑, 该物质另外只在 C14 中检测到(1.1%)。C11 中检测到 10.2% β -去氢香薷酮, 该物质在 C12 中也较为丰富, 而在其他材料中未检测到或含量极低(C03 和 C04 分别为 1.1% 和 0.4%)。通过上述分析, C01、C02、C05、C07、C09 和 C13 等 6 个品系精油类型和精油含量均达到中国药典规定的标准^[18], 可初步选用为药用型紫苏。

2.5 聚类分析

以 13 个营养指标进行聚类分析, 如图 1 所示, 当欧式距离为 5.4686 时, 14 份紫苏材料可分为 3 大类, 如图 1 所示, 第 I 类包含 8 个材料, 分别为 C01、C02、C03、C04、C07、C08、C09 和 C10, 该类可溶性糖平均含量 58.33 g/kg, Fe、Zn、Mn 和 Cu 平均含量依次 23.98、7.81 和 12.00 和 2.26 mg/kg, 均为 3 类中最高, 因此为“高糖、高矿物质组”。该组的精油型包含 PA 型(C01、C02、C07 和 C09)、EK+型(C03)、MP 型(C04、C10 和 C11)和 PP-m 型(C08); 第 II 类包含 3 个材料, 分别为 C05、C06 和 C11, 该类粗蛋白和粗脂肪平均含量分别为 18.47 和 3.27 g/100 g, 总游离氨基酸、可溶性蛋白、黄酮和总酚平均含量依次为 1.37、2.09、22.29 和 88.31 g/kg, V_C 平均含量 5.64 mg/100 g, 均为 3 类中最高, 可概括为“高脂、高蛋白、高活性成分组”。该组的精油型包含 PA 型(C05)和 MP 型(C06 和 C11); 第 III 类包含 3 个材料, 分别为 C12、C13 和 C14, 该类粗纤维平均含量最高, 为 8.90 g/100 g, 而粗脂肪(8.90 g/100 g)、

总游离氨基酸(0.24 g/kg)、可溶性蛋白(1.37 g/kg)、可溶性糖(36.93 g/kg)、总酚(73.67 g/kg)、Fe(18.05 mg/kg)、Zn(6.20 mg/kg)、Mn(6.70 mg/kg)和 Cu(1.06 mg/kg)等其他营养品质平均含量均为最低,可称为“高纤维、低营养组”。该组的精油型包含 PA 型(C13 和 C14)和 EK+型(C12)。因此,第 I 类中的 C01 等 8 份紫苏可作为高糖、高矿物质的菜用型紫苏加以利用;第 II 类中 C05、C06 和 C11 可作为高脂、高蛋白、高活性物质的菜用型紫苏进行利用;同时结合精油型可选择 C05 作为药食兼用型紫苏。

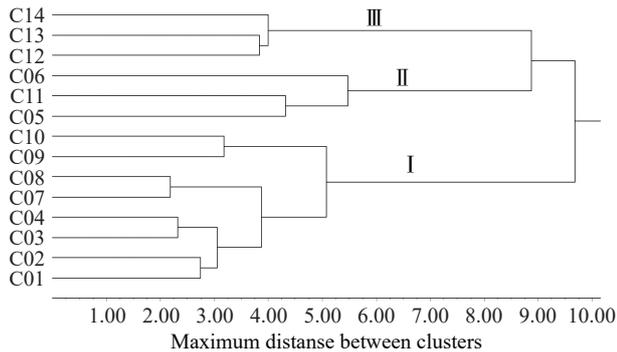


图 1 14 份紫叶紫苏品质的系统聚类分析

Fig.1 Systematic cluster analysis on the quality of 14 purple *Perilla frutescens* lines

3 结论

对 14 份紫叶紫苏的基本营养成分、活性物质、矿物质和精油成份等多个指标进行检测与分析,结果显示 C12 的粗蛋白含量最高,C06 的粗脂肪、总游离氨基酸和 V_C 含量最高,C05 的可溶性蛋白、黄酮和 Zn 含量最高,C04 的可溶性糖和 Fe 含量最高,C11 的总酚含量最高,C10 的 Mn 含量最高,C02 的 Cu 含量最高。通过因子分析得出,C05 综合品质最佳,C12、C11、C06 和 C10 综合品质优良。系统聚类分析可将 14 份紫苏分为“高糖高矿物质组”、“高脂高蛋白高活性成分组”和“高纤维低营养组”三类,与因子分析结果基本一致,综合因子得分前 5 位的 C05、C06 和 C11 属于“高脂高蛋白高活性成分组”,C10 属于“高糖高矿物质组”。精油成份分析显示,14 份紫苏的精油型有 PA 型、PP-m 型、EK+型和 MP 型 4 种,其中 PA 型紫苏有 7 份,且 C01、C02、C05、C07、C09 和 C13 精油含量达到药典规定标准,并以 C13 精油含量最高(0.99%)。综上,C05 叶片综合营养品质最佳,且为精油含量丰富的 PA 型紫苏,可作为药食兼用型紫苏加以开发;C12、C11 和 C06 和 C10 等营养品质突出,可作为菜用,其中 C11 总酚、黄酮等活性物质丰富,适合用于功能性食品开发。此外,还可以根据其他具体使用目的,选择高可溶性糖(C04)、高矿物质(C02 等)、高精油含量(C13)等相应品系进行利用。本研究筛选出了适合食用以及药食兼用的紫苏品系,后续将对各材料产量进行考察,并对其配套栽培技术加以研究。

参考文献

- [1] 宋宇. 历史时期紫苏的种植与利用研究[J]. 信阳农林学院学报, 2020, 30(4): 101-105. [SONG Y. Research on the planting and utilization of perilla in historical period[J]. Journal of Xinyang Agriculture and Forestry University, 2020, 30(4): 101-105.]
- [2] 王仙萍, 商志伟, 沈奇, 等. 两种紫苏叶主要营养及药用成分评价[J]. 植物生理学报, 2021, 57(7): 1419-1426. [WANG X P, SHANG Z W, SHENG Q, et al. The nutritional and medicinal component evaluation of two perilla (*Perilla frutescens*) leaves[J]. Plant Physiology Journal, 2021, 57(7): 1419-1426.]
- [3] 薛山. 紫苏精油的研究新趋势[J]. 中国食品添加剂, 2011, 1: 199-204. [XUE S. New trends of research on essential oil from *Perilla frutescens*[J]. China Food Additives, 2011, 1: 199-204.]
- [4] 苑佳佳. 紫苏主要营养成分及其功能特性[D]. 杭州: 浙江大学, 2017. [YUAN J J. Major nutrients and functional properties in *Perilla frutescens*[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.]
- [5] 上官海燕, 吴巧凤. 紫苏叶与白苏叶的总黄酮和微量元素的比较分析[J]. 广东微量元素科学, 2008(4): 29-32. [SHANG-GUAN H Y, WU Q F. Comparison of total flavones and trace elements between leaves of *Perilla frutescens* (L.) Britt. var. *arguta* (Benth.) Hand-Mazz. and leaves of *Perilla frutescens* (L.) Britt.[J]. Guangdong Trace Elements Science, 2008(4): 29-32.]
- [6] 隋利, 易家宁, 王康才, 等. 不同氮素形态及其配比对紫苏品质及矿质元素累积的影响[J]. 西北植物学报, 2018, 38(7): 1325-1331. [SUI L, YI J N, WANG K C, et al. Effect of different nitrogen forms and ratios on quality and the contents of trace elements of *Perilla frutescens* (L.) Britt.[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2018, 38(7): 1325-1331.]
- [7] ZHAO Y, LI H, ZHANG Z, et al. Extraction, preparative monomer separation and antibacterial activity of total polyphenols from *Perilla frutescens*[J]. Food & Function, 2022, 13: 880-890.
- [8] LEE Y, LEE J, JU J. *Perilla frutescens* Britton var. *frutescens* leaves attenuate dextran sulfate sodium-induced acute colitis in mice and lipopolysaccharide-stimulated angiogenic processes in human umbilical vein endothelial cells[J]. Food Science and Biotechnology, 2020, 29(1): 131-140.
- [9] 张世林. 紫苏抗过敏成分的研究与开发[D]. 太原: 中北大学, 2020. [ZHANG S L. Research and development of anti-allergic components in perilla[D]. Taiyuan: North University of China, 2020.]
- [10] KIM C L, SHIN Y S, CHOI S H, et al. Extracts of *Perilla frutescens* var. *acuta* (Odash.) Kudo leaves have antitumor effects on breast cancer cells by suppressing YAP activity[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2021, 2021(4): 1-13.
- [11] 唐飞, 冯五文, 敖慧. 紫苏叶药理作用研究进展[J]. 成都中医药大学学报, 2021, 44(4): 93-97, 112. [TANG F, FENG W W, AO H. Pharmacological research progress of perilla leaves[J]. Journal of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, 2021, 44(4): 93-97, 112.]
- [12] 韩碧群, 彭勇. “紫苏”和“白苏”的本草学研究[J]. 中药材, 2012, 35(5): 818-821. [HAN B Q, PENG Y. A pentaological research on *Perilla frutescens* (L.) Britt. var. *arguta* (Benth.) Hand-

- Mazz. and *Perilla frutescens* (L.) Britt.[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2012, 35(5): 818–821.]
- [13] 洪涌, 郑新宇, 郑梅琴, 等. 冷藏时间对两种化学生态型紫苏营养品质的影响[J]. *福建农业科技*, 2018(11): 49–53. [HONG Y, ZHENG X Y, ZHENG M Q, et al. Effects of refrigeration time on nutrient quality of two chemical-ecotypes of purple perilla[J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2018(11): 49–53.]
- [14] SAINI R K, KEUM Y S, RENGASAMY K R. Profiling of nutritionally important metabolites in green/red and green perilla (*Perilla frutescens* Britt.) cultivars: A comparative study[J]. *Industrial Crops and Products*, 2020, 151: 112441.
- [15] 赵淑平, 朱兆仪. 紫苏与白苏不同化学型挥发油成分的研究[J]. *天然产物研究与开发*, 1993, 5(3): 8–20. [ZHAO S P, ZHU Z Y. Studies on chemical components of essential oil of different chemical type from *Perilla frutescens* (L.) Britt. var. *arguta*. and *P. frutescens*[J]. *Natural Product Research and Development*, 1993, 5(3): 8–20.]
- [16] ITO M, TOYODA M, HONDA G. Chemical composition of the essential oil of *Perilla frutescens*[J]. *Natural Medicines*, 1999, 53(1): 32–36.
- [17] ITO M, TOYODA M, KAMAKURA S, et al. A new type of essential oil from perilla[J]. *Journal of Essential Oil Research*, 2002, 14: 416–419.
- [18] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 354. [National Pharmacopoeia Committee. The People's Republic of China pharmacopoeia[M]. Beijing: Chinese Medicine Science and Technology Press, 2020: 354.]
- [19] 欧巧明, 崔文娟, 叶春雷, 等. 油用紫苏种质主要农艺性状及品质特征鉴定与评价[J]. *核农学报*, 2018, 32(9): 1721–1739. [OU Q M, CUI W J, YE C L, et al. Identification and evaluation of agronomic and quality traits of oil *Perilla frutescens* germplasms[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, 32(9): 1721–1739.]
- [20] 魏国江, 郭梦桥, 崔海波, 等. 紫苏新品种龙紫苏1号的选育[J]. *种子*, 2019, 38(7): 155–157. [WEI G J, GUO M Q, CUI H B, et al. The breeding of a new perilla variety of Longzisu No.1[J]. *Seed*, 2019, 38(7): 155–157.]
- [21] 魏忠芬, 李慧琳, 杨胜先, 等. 优质早熟紫苏新品种贵苏1号的选育[J]. *贵州农业科学*, 2019, 38(7): 1–4. [WEI Z F, LI H L, YANG S X, et al. Breeding of Guisu 1, a new *Perilla frutescens* variety with high quality and early maturity[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2019, 38(7): 1–4.]
- [22] 魏忠芬, 李慧琳, 杨胜先, 等. 高产优质紫苏新品种贵苏3号的选育及稳定性分析[J]. *种子*, 2020, 39(10): 132–135. [WEI Z F, LI H L, YANG S X, et al. Breeding and stability analysis of a new perilla variety Guisu 3 with high yield and high quality[J]. *Seed*, 2020, 39(10): 132–135.]
- [23] 孙浩男, 田琳, 温春秀, 等. 28个中国紫苏属种质资源的染色体核型分析[J]. *草地学报*, 2021, 29(6): 1242–1248. [SUN H N, TIAN L, WEN C X, et al. Karyotype analysis of 28 Chinese germplasms in perilla[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(6): 1242–1248.]
- [24] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–6. [State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. GB 5009.5-2016 Determination of protein in foods[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 1–6.]
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1–9. [State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. GB 5009.6-2016 Determination of fat in foods[S]. Beijing: China Standards Press, 2017: 1–9.]
- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 69. [State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. GB/T 5009.10-2003 Determination of crude fiber in vegetable foods[S]. Beijing: China Standards Press, 2003: 69.]
- [27] 王学奎. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 190–192. [WANG X K. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 190–192.]
- [28] 王水平. 植物样品中游离氨基酸总量测定方法的改进[J]. *北京农学院学报*, 1998(3): 9–13. [WANG W P. Improving the method for determining the total dissociative amino acid in fresh plant tissue[J]. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 1998(3): 9–13.]
- [29] 王学奎. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 202–204. [WANG X K. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 202–204.]
- [30] 李静, 聂继云, 李海飞, 等. Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J]. *果树学报*, 2008(1): 126–131. [LI J, NIE J Y, LI H F, et al. On determination conditions for total polyphenols in fruits and its derived products by Folin-phenol methods[J]. *Journal of Fruit Science*, 2008(1): 126–131.]
- [31] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. SN/T 4592-2016 出口食品中总黄酮的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1–3. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. SN/T 4592-2016 Determination of total flavonoids in export food[S]. Beijing: China Standards Press, 2017: 1–3.]
- [32] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB/T 5009.86-2016 食品中抗坏血酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–9. [State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB/T 5009.86-2016 Determination of ascorbic acid in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 1–9.]
- [33] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.268-2016 食品中多元素的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–7. [State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. GB 5009.268-2016 Determination of multi-el-

- ements in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 1-7.]
- [34] 蔡乾蓉. 紫苏属植物主要农艺性状和化学成分研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2010. [CAI Q R. Studies on main agronomic characters and chemical constituents of perilla[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2010.]
- [35] ERHUNMWUNSEE F, PAN C, YANG K, et al. Recent development in biological activities and safety concerns of perillaldehyde from perilla plants: A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021(4): 1-13.
- [36] HONDA, KOEZUKA, TABATA. Isolation of dillapiol from a chemotype of *Perilla frutescens* as an active principle for prolonging hexobarbital-induced sleep[J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 1988, 36(8): 3153-3155.
- [37] KOEZUKA Y, HONDA G, TABATA M. An intestinal propulsion promoting substance from *Perilla frutescens* and its mechanism of action[J]. *Planta Medica*, 1985, 51(6): 480-482.
- [38] WILSON B, GARST J, LINNABARY R, et al. Perilla ketone: A potent lung toxin from the mint plant, *Perilla frutescens* Britton[J]. *Science*, 1977, 197(4303): 573-574.
- [39] 张敏, 周英, 骆静, 等. 黔产紫苏挥发油提取方法优化及化学成分分析[J]. *山地农业生物学报*, 2016, 35(5): 66-69, 88. [ZHANG M, ZHOU Y, LUO J, et al. Extraction and analysis of chemical composition of essential oil from *Perilla frutescens* in Guizhou[J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2016, 35(5): 66-69, 88.]
- [40] ZHANG X, WU W, ZHENG Y, et al. Essential oil variations in different *Perilla* L. lines: Chemotaxonomic implications[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 2009, 281(1-4): 1-10.
- [41] 郭佳琪, 李卫萍, 沈奇, 等. 62 份非 PK 型紫苏种质的挥发油 GC-MS 分析和新化学型发现[J]. *中国现代中药*, 2019, 21(8): 1068-1075. [GUO J Q, LI W P, SHEN Q, et al. GC-MS analysis of volatile oil from 62 non-PK perilla germplasms and discovery of new chemotypes[J]. *Modern Chinese Medicine*, 2019, 21(8): 1068-1075.]
- [42] 魏长玲, 郭宝林, 张琛武, 等. 中国紫苏资源调查和紫苏叶挥发油化学型研究[J]. *中国中药杂志*, 2016, 41(10): 1877-1888. [WEI C L, GUO B L, ZHANG C W, et al. Perilla resources of China and essential oil chemotypes of perilla leaves[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2016, 41(10): 1877-1888.]
- [43] 魏长玲. 中国紫苏种质资源调查及紫苏叶挥发油化学型研究 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2016. [WEI C L. Investigation on the *Perilla frutescens* resources in China and study on the essential oil chemotypes of *Perilla frutescens* leaves[D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2016.]