

郭美玲, 王文品, 黄璐晗, 等. 不同生长年限巫山庙党质量评价 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(4): 279–290. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024030075

GUO Meiling, WANG Wenpin, HUANG Luhan, et al. Quality Evaluation of Wushan *Codonopsis pilosula* with Different Growth Years[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(4): 279–290. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024030075

· 分析检测 ·

不同生长年限巫山庙党质量评价

郭美玲^{1,2,3}, 王文品⁴, 黄璐晗^{1,2,3}, 杨丽莉^{1,2,3}, 岳宇森^{1,2,3}, 邱思博^{1,2,3}, 阚建全^{1,2,3}, 杜木英^{1,2,3,*}

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715;

2.中匈食品科学合作研究中心, 重庆 400715;

3.川渝共建特色食品重庆市重点实验室, 重庆 400715;

4.重庆市蚕业科学技术研究院, 重庆 400700)

摘要: 为比较不同生长年限巫山庙党的质量, 采集 1~5 年生巫山庙党为研究对象, 采用高效液相色谱和气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 技术, 分析其营养成分、有机酸、水解氨基酸、活性成分和挥发性组分的差异。结果表明: 4 年生巫山庙党多糖和醇溶性浸出物含量最高, 分别为 20.97% 和 69.74%, 5 年生多糖含量最低, 为 8.38%; 党参炔苷含量在第 4 年最高, 为 16.20 $\mu\text{g/g}$, 2~3 年为快速生长期。5 个年限巫山庙党中共鉴定出 116 种挥发性化合物, 主要为醇类、醛类和酯类, 其中有 47 种关键风味化合物气味活度值 (odor activity value, OAV) 大于 1, 从中筛选出 15 种差异关键风味化合物, 癸醇和 2,4-癸二烯醛是生长过程风味贡献最大的化合物, 表现出刺激性脂肪味的庚醛是第 5 年的特征风味物质。综合分析认为 4 年生巫山庙党食用和保健品质最佳。本研究对不同生长年限巫山庙党的质量进行动态分析, 以期对党参资源的精深加工和综合利用提供一定的理论指导。

关键词: 巫山庙党, 生长年限, 质量, 挥发性成分, 动态变化

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)04-0279-12

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024030075



本文网刊:

Quality Evaluation of Wushan *Codonopsis pilosula* with Different Growth Years

GUO Meiling^{1,2,3}, WANG Wenpin⁴, HUANG Luhan^{1,2,3}, YANG Lili^{1,2,3}, YUE Yusen^{1,2,3}, QIU Sibo^{1,2,3},

KAN Jianquan^{1,2,3}, DU Muying^{1,2,3,*}

(1.College of Food Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2.Chinese-Hungarian Cooperative Research Centre for Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3.Chongqing Key Laboratory of Speciality Food Co-Built by Sichuan and Chongqing, Chongqing 400715, China;

4.Chongqing Sericulture Science and Technology Research Institute, Chongqing 400700, China)

Abstract: In order to compare the quality of Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years, 1~5 year old Wushan *Codonopsis pilosula* was collected. High performance liquid chromatography and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to analyse for differences in nutrients, organic acids, hydrolysed amino acids, active ingredients and volatile components. The results showed that the polysaccharide and alcohol-soluble extract contents of Wushan *Codonopsis pilosula* were the highest at 20.97% and 69.74% for 4 years, and the polysaccharide content was the lowest at 8.38% for 5 years. The content of lobetyolin was highest in the 4 years at 16.20 $\mu\text{g/g}$, with 2 to 3 years being its rapid growth period. A total of 116 volatile compounds, mainly alcohols, aldehydes and esters, were identified in the Wushan *Codonopsis pilosula* over 5 years, of which 47 key flavour compounds had an odour activity value (OAV) greater than 1. In

收稿日期: 2024-03-06

基金项目: 重庆市科技兴林基金 (2021-5)。

作者简介: 郭美玲 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品化学与营养学, E-mail: meilingguo0327@163.com。

* 通信作者: 杜木英 (1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品微生物与发酵, E-mail: muyingdu@swu.edu.cn。

addition, 15 differential key flavour compounds were distinguished. 1-Decanol and 2,4-Decadienal were identified as the compounds contributing most to the flavour of the growing process, with heptanal exhibiting a piquant fatty flavour, being the characteristic flavour compound in 5 years period. In a comprehensive analysis, the 4 years Wushan *Codonopsis pilosula* was considered to have the best edible and health qualities. This study provided a dynamic analysis of the quality of Wushan *Codonopsis pilosula* at 5 growth years, with a view to providing some theoretical guidance for the deep processing and comprehensive utilization of the Wushan *Codonopsis pilosula* resources.

Key words: Wushan *Codonopsis pilosula*; growth years; quality; volatile components; dynamic changes

党参是我国特有的草本植物, 归属桔梗科党参属, 是植物党参 (*Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf.)、素花党参 (*Codonopsis pilosula*) 和川党参 (*Codonopsis pilosula* subsp. *Tangshen*. (Oliver) D. Y. Hong) 的干燥根, 至今已有数百年的食用和种植历史, 于 2019 年被纳入药食同源试点名单。党参含有多种活性成分, 如炔类化合物、黄酮类化合物、生物碱和多糖等, 具有增强免疫力、抗肿瘤、降血糖等多种功效^[1]。巫山庙党属于川党参, 生长在海拔 1500 m 的高山之上, 主要分布在重庆市巫山县红椿乡和庙宇镇等地, 为当地特色食品, 并在 2010 年成功注册为巫山县地理标志产品^[2], 热销于华南以及东南亚地区。相关文件记载: “党参味甘平、功能是补中气不足, 润肺之和, 尤以巫山庙党最佳”^[3]。

草本植物的生长年限对食用和药用价值影响显著。例如, 李艳等^[4]研究发现 6 年生兰州百合多糖和氨基酸含量最高, 3 年生最低, 生长 7 年后兰州百合营养价值降低。自古以来, 气味都是中药品质鉴定和消费者购买的标准之一, 常被用来鉴定中药的真伪和优劣, 具有抑菌、抗炎、调节中枢神经系统和呼吸系统等多种功效^[5]。王赞等^[6]对 2~6 年滇黄精的挥发性成分进行比较分析, 发现 2 年生滇黄精青草香较突出, 3、4、5 年生脂肪味较突出, 而 6 年生果香和花香更强烈。薄荷醇、柠檬醛和百里香酚等挥发性物质可从口鼻、皮肤、经络穴位等部位吸收, 能干预和改善新型冠状病毒肺炎, 同时有助提高患者生活质量^[7]。知母中含量较高的挥发性成分正己醛和 β -石竹烯具有强大的抗炎和抑菌作用^[8]。巫山庙党栽培年份一般为 3~5 年, 理化成分及其含量随着采收期的不同而波动, 从而影响食用和药用价值。近年来, 巫山庙党种植规模逐年增加, 但目前的研究主要集中在育种^[9]、种植^[10]和药理作用^[11]等方面, 对巫山庙党适宜采收年限的研究不够全面, 且未有研究对不同生长年限巫山庙党的挥发性成分进行比较分析。

为探究生长年限对巫山庙党品质的影响并为消费者提供参考, 本研究以 1~5 年巫山庙党为原料, 通过分析营养成分、水解氨基酸、有机酸、活性成分和挥发性成分的动态变化, 为不同生长年限巫山庙党的质量评价提供理论依据, 对巫山庙党的食用、加工及产品的开发具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

巫山庙党 1~5 年样品均采自巫山县红椿乡友

冬专业种植合作社, 地理位置(海拔 1242 m)、环境、阳光相似(2022 年 9 月至 10 月), 洗净后放置在 -20 ℃ 冰箱备用; 有机酸标准品 纯度>98%, 索莱宝生物科技有限公司; 党参炔苷和苍术内酯Ⅲ标准品 纯度>98%, 上海源叶生物技术有限公司。

L-8800 型全自动氨基酸分析仪 日本日立公司; Agilent 1260 高效液相色谱仪 美国安捷伦公司; 100 μ m PDMS 型固相微萃取装置 美国 Supelco 公司; GCMS-2010 型气相色谱质谱联用仪 日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 水分、粗脂肪、粗蛋白和总灰分含量测定 水分、粗脂肪和总灰分含量分别参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[12]、GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[13]、GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[14]和 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》^[15]。

1.2.2 溶性浸出物含量测定 参考段桂媛等^[16]的方法: 称取新鲜巫山庙党 2.000 g 置于 250 mL 锥形瓶中, 加入 45% 乙醇 100 mL, 密塞后精密称定重量, 静置 1 h 后连接回流冷凝管, 加热至沸腾后保持微沸 1 h。将锥形瓶取下后用 45% 乙醇补足减失的重量, 摇匀, 精密量取滤液 25 mL 置干燥恒重的蒸发皿中, 95 ℃ 水浴蒸干后于烘箱中 105 ℃ 干燥 3 h, 取出置于干燥器中冷却 30 min 至室温, 迅速精密称定重量, 结果以干重计。

1.2.3 糖含量测定 参考张静等^[17]的方法, 采用苯酚-硫酸法测定。称取 0.500 g 新鲜巫山庙党样品于 50 mL 离心管中, 加入 5 mL 纯水和 20 mL 无水乙醇, 使用涡旋振荡器混匀样品, 将样品置于超声波提取机中超声提取 30 min(240 W), 提取结束后 8000 r/min 离心 10 min 弃去上清液。不溶物用 10 mL 质量分数 80% 乙醇洗涤并离心, 弃去上清液, 残渣中加入 50 mL 纯水, 超声提取 30 min(240 W), 冷却至室温并过滤。将滤液用纯水定容至 250 mL, 得待测溶液。分别取 5、10、20、40、60、80 和 100 mg/L 葡萄糖溶液制备标准曲线, 吸光度(y)与葡萄糖浓度(x)的关系如下: $y=4.7109x+0.1041$ ($R^2=0.9951$)。

1.2.4 有机酸含量测定

1.2.4.1 样品制备 称取巫山庙党 1.000 g 于离心管

中,加入 10 mL 纯水,50 ℃ 水浴提取 30 min,取上清液经 0.22 μm 水系滤膜过滤后待进样。草酸、丙酮酸、甲酸、丙二酸、柠檬酸、琥珀酸标准品配置成系列浓度梯度的有机酸标准溶液,经 0.22 μm 水系滤膜过滤待进样。

1.2.4.2 色谱条件 采用 Agilent ZORBAX SB-Aq (4.6×250 mm, 5 μm) 色谱柱,流动相为甲醇和 (NH₄)₂HPO₄ (0.01 mol/L),体积比为 2:98(v:v),用磷酸调 pH 为 2.5,流速 0.4 mL/min,进样量 10 μL,柱温 28 ℃,检测波长 210 nm。检测得到有机酸标准品峰面积(y)与浓度(x)的关系如表 1 所示。

表 1 有机酸标准曲线
Table 1 Standard curve for organic acids

有机酸种类	线性方程	R ²	线性范围(mg/mL)
草酸	y=6214x-1.0030	0.9989	0.01~0.8
丙酮酸	y=4189.5-11458	0.9995	0.01~0.8
甲酸	y=1143.5x-2982.1	0.9982	0.01~0.4
丙二酸	y=106.87x-1533.6	0.9915	0.01~0.8
柠檬酸	y=735.04x-1595.4	0.9988	0.01~1.5
琥珀酸	y=702.03x-5907.3	0.9988	0.01~1.5

1.2.5 水解氨基酸含量测定 称取巫山庙党 1.000 g 置于氨基酸水解管中,加入 10 mL 6 mol/L 的 HCl,摇匀,加入 3 滴 1% 苯酚溶液后-20 ℃ 冷冻 5 min,快速通入氮气封口。将水解管放置在 110 ℃ 烘箱中 22 h,水解完成后将滤液用纯水定容至 250 mL,吸取上述溶液 1 mL 于离心管中,烘干后残留物用 1 mL 纯水复溶,再烘干。将残渣用 0.02 mol/L HCl 溶解,溶液用 0.22 μm 水系滤膜过滤得待测液,上机检测。

1.2.6 活性成分含量测定

1.2.6.1 样品制备 参考 Yang 等^[18]的方法并稍作修改:称取巫山庙党 2.000 g 置于 50 mL 离心管中,加入 70% 甲醇 30 mL,精密称定重量,超声处理 30 min(240 W),放冷后用 70% 甲醇补足损失的重量,取滤液旋蒸定容至 10 mL,经 0.22 μm 有机系滤膜过滤后待进样。党参炔苷和苍术内酯Ⅲ标准品配置成系列浓度梯度的标准溶液,经 0.22 μm 有机系滤膜过滤后待进样。

1.2.6.2 色谱条件 采用 ThermoFisher-C₁₈ (4.6×250 mm, 5 μm) 色谱柱,流动相为乙腈和水,流速 1 mL/min;柱温 30 ℃;进样量 20 μL;检测波长:

表 2 洗脱程序

Table 2 Elution procedure

时间(min)	φ(乙腈)(%)	φ(水)(%)
0~3	3.5	96.5
3~20	3.5~14	96.5~86
20~35	14~23	86~77
35~60	23~72	77~28
60~74	72~95	28~5

220 nm。洗脱程序见表 2。检测得到标准品峰面积(y)与活性成分浓度(x)的关系为:党参炔苷: y=37.739x-5.3707(R²=0.9998, 浓度范围 0~100 mg/L);苍术内酯Ⅲ: y=56.258x+11.351(R²=0.999, 浓度范围 0~100 mg/L)。

1.2.7 挥发性成分测定

1.2.7.1 样品处理 参考王先桂等^[19]的方法并稍作修改:称取巫山庙党 5.000 g 于 20 mL 顶空瓶中,加入 5 mL 质量分数 0.1 g/mL 的 NaCl 和 10 μL 质量分数 100 mg/L 的 2-辛醇并密封,80 ℃ 平衡 30 min,萃取 30 min。萃取完成后,将手动进样器插入气相色谱仪进样口,推出萃取头,解析 5 min 后采集数据。

1.2.7.2 GC 条件 DB-5MS 毛细管柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm);进样口温度:250 ℃;载气:氦气;流速:1 mL/min;分流比:5:1;升温程序:40 ℃ 保持 8 min,以 8 ℃/min 升温到 125 ℃,保持 10 min,再以 10 ℃/min 升温到 150 ℃,保持 5 min,最后以 20 ℃/min 升温到 250 ℃,保持 10 min。

1.2.7.3 MS 条件 离子源温度 230 ℃,四级杆温度 150 ℃,电子能量 70 eV,转接口温度 280 ℃,质量扫描范围:30~400 m/z。

通过 NIST17 Library 谱库检索挥发性成分,选取相似度大于 80% 的挥发性化合物,以保留指数定性,香气物质的 RI 值与保留指数网站 (<https://webbook.nist.gov/chemistry>) 上的 RI 值对照定性,以 2-辛醇为内标物定量。香气物质含量计算公式如下:

$$C_i = \frac{A_i \times v}{A_s \times m} \times C_s \quad \text{式 (1)}$$

式中: C_i 为挥发性成分的质量分数, μg/kg; C_s 为内标物(2-辛醇)质量浓度, mg/L; A_i 为待测物的峰面积; A_s 表示内标物的峰面积; v 表示加入的内标物(2-辛醇)体积, μL; m 表示待测样品的质量, g。

1.2.8 气味活度值分析 采用气味活度值(odor activity value, OAV)对巫山庙党挥发性成分的风味贡献进行表征,计算公式如下:

$$OAV = \frac{C_i}{T_i} \quad \text{式 (2)}$$

式中: C_i 为挥发性成分的质量分数, μg/kg; T_i 为挥发性成分的阈值, μg/kg。

1.3 数据处理

以平均值±标准偏差(Mean±SD)表示的数值基于每个实验的三次重复计算,使用邓肯检验的单因素方差分析(P<0.05)比较数据(IBM SPSS 22.0)。采用 Origin 2018 绘制柱状图,采用 SMICA 14.1 软件绘制正交偏最小二乘法-判别分析(Orthogonal Projections to Latent Structures Discriminant Analysis, OPLS-DA)图。

2 结果与分析

2.1 生长年限对巫山庙党营养成分的影响

5 个生长年限巫山庙党的营养成分含量如表 3 所示。除多糖外,其它营养成分含量差异显著($P<0.05$)。在前 4 年中,多糖含量无显著差异,但从数值上看第 4 年多糖含量最高,为 20.73%。然而,在第 5 年,多糖含量出现了急剧下降,减少了 60.04%。这说明采摘年限对巫山庙党营养成分影响较大。党参多糖通常被认为是一种活性成分,具有调节免疫^[20]、抗肿瘤^[21]、降血糖^[22]和神经保护^[23]等多种功效,同时也是巫山庙党关键的营养成分。因此,采收年限较晚的巫山庙党,其潜在品质和功效可能大大降低。此外,发现采收年限偏晚的巫山庙党(4~5 年),其总灰分含量超过相关规定要求的 5.0%^[24],进一步说明,并不是越“老”品质就越高。1~5 年采收的庙党,其醇溶性浸出物含量在 60.41%~69.74%,符合不低于 55.0%的规定^[24]。随着生长年限的增加,粗蛋白的含量先减少后趋于稳定,这符合植物细胞在生长发育阶段衰老规律^[25]。此外,不同生长年限巫山庙党中水分和粗脂肪含量范围分别 75.18%~85.35% 和 1.28%~3.35%。综上,第 3 年和 4 年生巫山庙党品质相对较好。

2.2 生长年限对巫山庙党有机酸含量的影响

有机酸是衡量巫山庙党风味和内在品质的重要指标,也可作为中间或最终产物参与植物新陈代谢和分解代谢的各种基本途径^[26]。由表 4 可知,5 个生长年限的巫山庙党中共检出 6 种有机酸,各生长年限有机酸含量差异显著($P<0.05$),有机酸总含量随着生长年限的延长整体呈下降趋势。5 个生长年限中非挥发性有机酸丙二酸含量最高,分别占总有机酸含量的 73.08%、41.89%、49.70%、42.75% 和 40.18%;丙酮酸含量最低,其中 1 年和 5 年巫山庙党未有丙酮

酸检出。甲酸表现出刺鼻的酸味,随着生长年限的延长,甲酸含量逐渐降低,在第 4 年时含量最低,赋予巫山庙党较好的风味。

2.3 生长年限对巫山庙党水解氨基酸含量的影响

由表 5 可知,5 个生长年限的巫山庙党中共检出 16 种氨基酸,包括 6 种必需氨基酸和 10 种非必需氨基酸,各年限氨基酸含量差异显著($P<0.05$)。其中 1 年生巫山庙党样品中必需氨基酸所占比例最高,为 29.38%,2 年生所占比例最低,为 23.37%。虽然 5 个生长年限必需氨基酸比例低于 WHO/FAO 提出的理想蛋白模式($EAA/TAA=0.40$),但作为植物蛋白来源,巫山庙党仍具有较好的营养价值。在检出的 16 种氨基酸中,具有特殊生理功能的精氨酸、谷氨酸和天冬氨酸含量排名前三,这与宋平等^[27]的研究结果一致。精氨酸是巫山庙党的主要氨基酸,在 2 年生样品中含量最高,为 15.03 mg/kg,其次是 4 年生,为 11.73 mg/kg。作为必需氨基酸,精氨酸在肿瘤的发生、生长和转移过程中发挥重要作用,免疫抑制肿瘤微环境的形成^[28]。5 个生长年限巫山庙党的氨基酸含量呈现先减少后增加的趋势,而氨基酸的积累与生长速度和呈正相关^[29],因此巫山庙党在前 3 年生长速度逐渐增加,4~5 年生生长减慢。

2.4 生长年限对巫山庙党活性成分含量的影响

不同生长年限巫山庙党活性成分和标准品色谱图见图 1,5 个生长年限巫山庙党 2 种活性成分含量如表 6 所示。党参炔苷是一种聚乙炔苷,是巫山庙党的次生代谢产物,其含量与生长年限密切相关。已有研究表明党参炔苷具有抑制黄嘌呤氧化酶活性^[30]、促进神经元发育^[31]和抗肿瘤^[32]等作用。巫山庙党中党参炔苷含量在 1~4 年呈显著上升趋势($P<0.05$),第 5 年含量下降。与第 1 年相比,党参炔

表 3 不同生长年限巫山庙党的营养成分含量(%)

Table 3 Nutrient content of Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years (%)

生长年限(年)	水分	粗脂肪	粗蛋白	总灰分	醇溶性浸出物	多糖
1	80.94±0.14 ^b	1.28±0.47 ^c	3.64±0.05 ^a	4.63±0.09 ^c	64.21±0.24 ^b	19.94±0.84 ^a
2	76.37±0.18 ^c	1.65±0.13 ^c	2.20±0.10 ^b	4.51±0.08 ^c	60.41±1.21 ^d	19.42±1.35 ^a
3	75.18±1.59 ^c	3.35±0.11 ^a	1.17±0.03 ^c	3.29±0.07 ^d	61.74±1.56 ^{bc}	20.73±0.57 ^a
4	81.80±1.71 ^b	2.54±0.02 ^b	1.53±0.01 ^d	6.66±0.20 ^a	69.74±0.91 ^a	20.97±0.41 ^a
5	85.35±0.33 ^a	2.98±0.28 ^{ab}	1.82±0.05 ^c	5.83±0.03 ^b	61.45±2.12 ^c	8.38±1.00 ^b

注:不同字母表示样品间同一指标有显著性差异($P<0.05$);除水分外,所有指标按干物质中的质量比例计算,表4~表7同。

表 4 不同生长年限巫山庙党有机酸含量

Table 4 Organic acids content of Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years

生长年限(年)	有机酸(mg/g)						合计
	甲酸	草酸	丙酮酸	丙二酸	柠檬酸	琥珀酸	
1	4.24±0.14 ^a	3.58±0.26 ^c	ND	57.32±1.33 ^a	8.16±0.18 ^c	5.14±0.28 ^d	78.43±1.68 ^a
2	1.58±0.12 ^b	4.44±0.65 ^b	0.54±0.02 ^a	23.38±1.17 ^b	15.56±0.63 ^a	10.31±0.94 ^a	55.81±0.85 ^b
3	0.79±0.05 ^c	2.33±0.03 ^d	0.44±0.01 ^b	19.88±1.11 ^c	9.59±0.18 ^b	6.98±0.44 ^c	40.00±1.00 ^c
4	0.40±0.02 ^d	4.24±0.17 ^{bc}	0.34±0.00 ^c	14.76±0.86 ^d	6.66±0.39 ^d	8.12±0.24 ^b	34.53±0.63 ^d
5	0.64±0.04 ^c	5.46±0.37 ^a	ND	15.39±1.48 ^d	7.88±0.58 ^c	8.93±0.23 ^b	38.30±1.91 ^c

注:ND表示未检出,表5同。

表 5 不同生长年限巫山庙党的水解氨基酸含量
Table 5 Hydrolyzed amino acids content of Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years

氨基酸(mg/kg)		生长年限(年)				
		1	2	3	4	5
苦味氨基酸	组氨酸	1.19±0.06 ^b	1.24±0.14 ^b	0.69±0.04 ^c	1.17±0.05 ^b	1.84±0.01 ^a
	精氨酸	11.60±0.24 ^b	15.03±0.06 ^a	6.24±0.25 ^d	11.73±0.12 ^b	10.25±0.37 ^c
	缬氨酸	2.61±0.09 ^a	1.98±0.05 ^c	1.36±0.07 ^d	1.93±0.05 ^c	2.43±0.11 ^b
	亮氨酸	2.87±0.10 ^a	2.06±0.18 ^b	1.40±0.11 ^c	1.84±0.07 ^b	2.67±0.17 ^a
	异亮氨酸	1.62±0.05 ^a	1.42±0.17 ^b	0.86±0.05 ^c	1.24±0.03 ^b	1.64±0.10 ^a
总计		19.88±0.35 ^b	21.74±0.51 ^a	10.56±0.51 ^d	17.90±0.02 ^c	18.83±0.54 ^c
芳香族氨基酸	酪氨酸	1.03±0.03 ^b	0.91±0.01 ^{bc}	0.56±0.01 ^d	0.87±0.04 ^c	1.32±0.15 ^a
	苯丙氨酸	2.12±0.06 ^{ab}	1.95±0.46 ^b	1.35±0.03 ^c	1.78±0.04 ^b	2.40±0.12 ^a
	丝氨酸	2.28±0.08 ^a	1.84±0.09 ^b	1.18±0.08 ^c	1.71±0.03 ^b	2.34±0.12 ^a
	苏氨酸	2.05±0.07 ^a	1.72±0.12 ^b	1.07±0.07 ^d	1.52±0.02 ^c	2.12±0.10 ^a
总计		7.48±0.21 ^b	6.42±0.66 ^c	4.17±0.18 ^d	5.88±0.11 ^c	8.19±0.07 ^a
甜味氨基酸	甘氨酸	2.38±0.06 ^a	1.64±0.07 ^b	1.08±0.06 ^d	1.49±0.06 ^c	2.26±0.08 ^a
	丙氨酸	3.28±0.08 ^a	2.54±0.32 ^b	1.57±0.07 ^d	2.09±0.04 ^c	3.32±0.06 ^a
总计		5.67±0.14 ^a	4.18±0.39 ^b	2.66±0.13 ^d	3.59±0.10 ^c	5.58±0.13 ^a
鲜味氨基酸	谷氨酸	7.23±0.19 ^c	8.91±0.02 ^b	4.40±0.33 ^d	7.12±0.03 ^c	10.89±0.55 ^a
	天冬氨酸	4.39±0.16 ^b	4.27±0.10 ^{bc}	2.45±0.26 ^d	4.02±0.03 ^c	5.25±0.17 ^a
	赖氨酸	4.34±0.13 ^a	2.88±0.04 ^b	2.30±0.10 ^c	3.08±0.04 ^b	4.42±0.41 ^a
	脯氨酸	3.87±0.07 ^b	2.99±0.11 ^d	2.60±0.13 ^c	3.54±0.03 ^c	4.93±0.07 ^a
总计		19.83±0.47 ^b	19.04±0.26 ^b	11.76±0.81 ^d	17.75±0.09 ^c	25.48±1.04 ^a
无味氨基酸	半胱氨酸	0.28±0.01 ^b	ND	ND	ND	0.33±0.01 ^a
必需氨基酸		15.61±0.33 ^a	12.01±0.98 ^b	8.34±0.42 ^c	11.39±0.24 ^b	15.69±0.79 ^a
总氨基酸含量		53.14±1.13 ^b	51.38±1.75 ^b	29.14±1.60 ^d	45.13±0.27 ^c	58.42±1.77 ^a

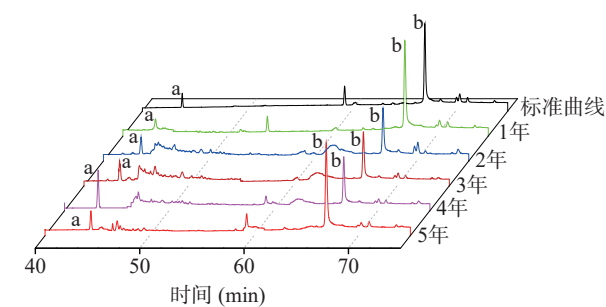


图 1 不同生长年限巫山庙党活性成分总离子流(TIC)图
Fig.1 Total ion current (TIC) diagram of active ingredients with Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years
注: a 为党参炔苷特征峰, b 为苍术内酯Ⅲ特征峰。

表 6 不同生长年限巫山庙党活性成分含量
Table 6 Active ingredients content of Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years

生长年限 (年)	1	2	3	4	5
党参炔苷 (μg/g)	3.01±0.17 ^d	8.24±0.32 ^c	10.47±0.44 ^b	16.20±1.53 ^a	8.24±0.36 ^c
苍术内酯Ⅲ (μg/g)	3.10±0.07 ^d	13.62±0.96 ^c	13.63±0.99 ^c	23.78±0.85 ^b	57.26±0.67 ^a

苷的含量在第 2 年增长了 173.75%,第 3 年增长了 247.84%,第 4 年增长了 438.21%,但第 5 年含量较第 4 年下降了 49.14%。巫山庙党生长过程中苍术内酯Ⅲ含量在 2~3 年无显著差异($P>0.05$),研究发现植物根部处于快速生长期时不会大量积累苍术内酯Ⅲ^[33],因此 2~3 年为巫山庙党快速生长期。总的

来说,巫山庙党生长年限为第 3 年和第 4 年时质量较好,这与文献中提到的川党参需要 3~4 年才可收获的说法一致^[34]。

2.5 生长年限对巫山庙党挥发性风味物质的影响

2.5.1 挥发性成分组成及含量分析 挥发性成分是反映不同生长年限巫山庙党风味品质变化的重要组成部分,也是消费者的参考指标之一。采用气相色谱-质谱联用(GC-MS)对不同生长年限巫山庙党中挥发性化合物进行分析,结果见图 2。在 5 个年限的巫山庙党中共鉴定出 116 种挥发性化合物,其中包括 33 种醇类化合物,25 种醛类化合物,26 种酯类化合物,8 种酸类化合物,8 种酮类化合物,12 种烯类化合物,3 种吡嗪类化合物,1 种呋喃类化合物,共有成分 21 种,如表 7 所示。巫山庙党生长过程中挥发性化合物的总含量如图 3A 所示,挥发性化合物的含量范围在 10.21~22.28 mg/kg 内,与第 1 年相比,第 2 年挥发性物质总含量减少了 46.91%,从第 2 年开始,随着年份的增加挥发性物质的总含量呈上升趋势,到第 5 年含量增加了 116.45%。从表 7 中可知,甲酸己酯在第 1 年和第 5 年含量分别 11773.32 μg/kg 和 13326.58 μg/kg,而在 2~3 年的巫山庙党中,甲酸己酯未被检出,4 年生巫山庙党中含量为 6.01 μg/kg,这导致了 1 年和 5 年生巫山庙党挥发性成分显著高于 2~4 年。不同生长年限巫山庙党化合物数量和相对含量如图 3B 和图 3C。5 个年份中主要挥发性组分为醇类、醛类和酯类,3 类化合物占总含量的

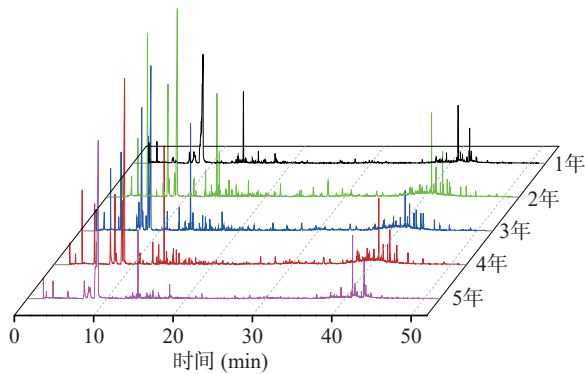


图 2 不同生长年限巫山庙党挥发成分总离子流(TIC)图

Fig.2 Total ion current (TIC) diagram of volatile compositions with Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years

91.69%~94.45%。

由图 3C 可知,醇类化合物在 2~4 年巫山庙党中最为丰富,相对含量分别为 53.29%、43.42% 和 60.67%。醇类化合物是多不饱和脂肪酸在一系列酶的作用下氧化分解的产物,其阈值较高,当含量足够高时才可对风味起贡献作用。研究发现巫山庙党中含量较高的醇类化合物有苯甲醇、正辛醇、和反式-2-己烯-1-醇,表现出强烈的花香和青草香气。5 个年限中共有的醇类挥发性化合物有 4 种,包括正辛醇、癸醇、蘑菇醇和芳樟醇,表现出花香和蘑菇香。

醛类化合物阈值低,对风味有较大的贡献,微量的醛类对风味有积极影响,过量则会形成不愉快的气

表 7 不同生长年限巫山庙党挥发性成分

Table 7 Volatile compositions of Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years

化合物(μg/kg)	生长年限(年)				
	1	2	3	4	5
醇类					
苯甲醇	176.01±1.49 ^a	—	—	—	54.27±2.64 ^b
正辛醇	224.89±29.28 ^a	69.80±2.34 ^d	114.96±10.42 ^c	110.81±4.39 ^c	146.14±0.63 ^b
癸醇	24.47±2.70 ^c	21.61±2.67 ^c	47.79±4.36 ^b	85.12±3.39 ^a	23.97±1.67 ^c
月桂醇	47.45±3.48 ^b	—	18.41±0.59 ^c	59.74±0.91 ^a	—
2,7-二甲基-4-辛醇	—	—	5.23±0.05	—	—
异戊醇	19.03±2.71	—	—	—	—
3-甲基-1-己醇	29.23±5.38	—	—	—	—
2-甲基-1-丁醇	38.62±0.91	—	—	—	—
1-壬醇	59.23±2.41 ^b	—	—	—	63.64±2.33 ^a
(±)-6-甲基-5-庚烯基-2-醇	25.06±2.77 ^a	—	—	—	12.71±1.54 ^b
反式-2-辛烯-1-醇	20.90±0.71 ^c	—	—	29.24±1.52 ^b	45.69±4.20 ^a
6-甲基-3-庚醇	96.58±3.49	—	—	—	—
(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇	—	45.36±1.31 ^a	19.01±2.35 ^b	—	—
(S)-(+)-4-甲基-1-己醇	3.08±0.06	—	—	—	—
反式-2-壬烯-1-醇	20.90±0.71 ^b	25.37±0.60 ^b	—	—	110.69±6.92 ^a
蘑菇醇	168.64±8.27 ^b	97.12±2.53 ^d	59.59±1.14 ^c	185.97±0.88 ^a	119.68±4.87 ^c
鲸蜡醇	—	—	51.75±5.15 ^b	103.01±3.84 ^a	—
反式-橙花叔醇	10.67±0.82	—	—	—	—
4-己烯-1-醇	—	—	29.34±0.47	—	—
顺-2-己烯-1-醇	—	—	545.1±25.04 ^b	2286.37±202.53 ^a	—
反-3-己烯醇	—	—	252.08±6.76	—	—
2-壬烯-1-醇	—	142.16±19.43	—	—	—
4-甲基-1-戊醇	—	4702.95±55.45 ^c	3660.37±47.86 ^b	5880.62±569.33 ^a	—
叶醇	—	295.10±16.87 ^b	—	—	663.03±24.79 ^a
4-乙基环己醇	10.08±0.20	—	—	—	—
苯乙醇	72.41±4.42 ^a	—	25.79±2.58 ^c	46.39±2.90 ^b	26.52±1.62 ^c
芳樟醇	40.16±7.30 ^{bc}	26.80±3.39 ^d	33.47±1.28 ^{cd}	46.77±4.26 ^b	147.51±2.94 ^a
正戊醇	6.10±0.64 ^c	—	9.49±1.10 ^b	—	19.10±0.92 ^a
反式-2-己烯-1-醇	1537.09±46.35 ^a	—	—	—	19.10±0.75 ^b
3-苯丙醇	—	—	—	65.83±2.60	—
2-丙基-1-戊醇	—	—	—	38.52±1.49	—
2-环戊基乙醇	—	—	—	14.24±0.87	—
(+)-α-松油醇	—	—	—	—	22.77±2.16
醛类					
苯甲醛	38.57±5.25 ^d	290.83±113.33 ^b	254.81±17.87 ^c	374.56±12.72 ^a	37.23±2.86 ^d
(Z)-柠檬醛	—	5.61±0.25	—	—	—
庚醛	24.47±4.39 ^a	24.32±0.06 ^a	17.57±1.47 ^b	19.16±0.86 ^b	23.78±1.56 ^a

续表 7

化合物(μg/kg)	生长年限(年)				
	1	2	3	4	5
癸醛	37.77±6.02 ^{ab}	21.61±2.67 ^c	19.15±2.15 ^c	35.49±0.27 ^b	43.09±2.22 ^a
月桂醛	13.18±2.46 ^c	16.16±1.21 ^c	25.33±2.41 ^b	23.82±1.24 ^b	41.53±3.60 ^a
苯乙醛	77.89±3.54 ^b	77.16±3.82 ^b	73.50±3.60 ^b	—	128.02±3.64 ^a
壬醛	84.54±2.11 ^a	35.68±4.33 ^d	36.42±3.20 ^d	57.07±2.87 ^c	74.25±4.78 ^b
肉豆蔻醛	33.22±4.65 ^a	—	10.61±1.12 ^b	—	34.20±2.44 ^a
2,4-癸二烯醛	100.70±3.94 ^b	121.19±7.40 ^a	71.77±2.63 ^c	75.56±2.99 ^c	—
反式-2,4-癸二烯醛	38.25±1.52 ^d	46.55±3.67 ^c	48.06±4.50 ^c	60.31±0.35 ^b	178.24±0.96 ^a
反-2-辛烯醛	43.72±4.79 ^d	106.29±12.08 ^b	87.36±1.49 ^c	124.32±10.85 ^a	90.09±2.08 ^c
2-己烯醛	449.89±33.06 ^d	47.20±5.28 ^c	2410.31±56.40 ^a	929.16±19.94 ^b	646.07±3.33 ^c
己醛	175.86±13.41 ^d	1817.81±45.75 ^a	1010.79±5.05 ^b	432.63±15.80 ^c	451.22±19.76 ^c
(E,E)-2,4-己二烯醛	—	—	87.81±4.27 ^b	127.44±5.68 ^a	76.95±1.99 ^c
反式-2-戊烯醛	—	18.95±0.73 ^a	11.10±0.28 ^b	—	—
正十五碳醛	—	75.49±12.33 ^b	72.73±7.05 ^b	145.79±1.27 ^a	—
(2E,4E)-2,4-辛二烯醛	—	27.32±3.52	—	—	—
反式-2-癸烯醛	—	32.45±1.17 ^b	26.07±0.66 ^c	53.68±3.58 ^a	—
反式-2,4-庚二烯醛	—	102.69±6.93 ^b	145.85±2.20 ^a	104.61±3.65 ^b	—
异戊醛	—	6.58±0.65 ^a	3.23±0.29 ^c	4.44±0.33 ^b	—
反,反-2,4-壬二烯醛	—	36.92±2.99 ^a	36.63±3.23 ^a	36.76±2.39 ^a	—
2-十一烯醛	—	—	4.63±0.34 ^b	12.67±1.86 ^a	13.77±0.29 ^a
反,顺-2,6-壬二烯醛	—	—	15.00±0.14	—	—
(E,E)-2,4-庚二烯醛	—	—	—	—	353.54±7.39
金合欢基乙醛	—	61.33±3.33 ^a	33.22±2.50 ^b	—	—
酯类					
肉豆蔻酸异丙酯	52.15±097 ^a	—	—	—	35.25±2.05 ^b
棕榈酸甲酯	1016.82±69.07 ^b	444.53±10.25 ^d	260.20±3.39 ^c	755.78±29.22 ^c	1259.00±10.57 ^a
硬脂酸甲酯	273.18±40.86 ^b	—	—	—	318.54±33.68 ^a
肉豆蔻酸甲酯	118.86±6.91 ^b	81.37±2.12 ^c	—	—	147.76±11.42 ^a
对苯二甲酸二异辛酯	6.67±0.96	—	—	—	—
棕榈酸异丙酯	135.40±9.89 ^a	—	—	—	121.68±5.76 ^b
乙酸己酯	340.71±30.74 ^a	—	107.89±1.07 ^b	97.74±5.04 ^b	—
棕榈酸己酯	19.00±1.25 ^d	55.06±4.08 ^b	31.00±1.47 ^c	104.55±2.90 ^a	12.90±1.33 ^c
棕榈酸乙酯	174.93±2.87 ^d	223.99±6.52 ^b	183.35±6.34 ^{cd}	433.36±16.05 ^a	199.01±4.66 ^c
甲酸己酯	11773.32±171.72 ^b	—	—	6.01±0.81 ^c	13326.58±29.41 ^a
油酸乙酯	34.60±3.24	—	—	—	—
邻苯二甲酸二异丁酯	90.79±4.89 ^c	72.79±3.25 ^d	85.39±1.88 ^c	142.39±6.76 ^a	127.08±6.50 ^b
2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	30.43±3.68 ^d	99.12±8.32 ^b	88.17±7.23 ^b	212.31±9.64 ^a	45.05±3.09 ^c
辛酸乙酯	—	24.18±1.44 ^b	23.79±2.01 ^b	55.86±3.60 ^a	—
己酸甲酯	—	52.99±2.24	—	—	—
庚酸甲酯	—	13.56±1.27 ^a	—	15.82±1.27 ^a	—
辛酸甲酯	—	24.18±1.44 ^b	23.79±2.01 ^b	55.86±3.60 ^a	—
9-氧代壬酸甲酯	—	27.12±1.87 ^a	7.92±0.62 ^b	26.19±3.16 ^a	—
正己酸乙酯	—	41.00±2.51	—	—	—
己酸己酯	—	73.17±3.89 ^a	19.08±1.29 ^c	34.43±3.25 ^b	—
辛酸己酯	—	—	26.14±0.74	—	—
乳酸异戊酯	—	—	5.23±0.82	—	—
3-甲基-戊酸甲酯	—	—	14.22±0.87 ^b	33.30±1.20 ^a	—
丁酸己酯	—	—	18.49±0.69	—	—
油酸甲酯	—	—	—	—	1054.76±37.43
邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯	—	—	—	—	127.08±5.31
酸类					
十五酸	176.01±1.49	—	—	—	—
乙酸	406.32±14.06 ^a	—	147.55±1.57 ^c	123.17±2.68 ^d	183.09±3.37 ^b
反式-2-己烯基己酸	—	9.72±0.30 ^b	5.84±0.30 ^c	12.51±1.72 ^a	—

续表 7

化合物(μg/kg)	生长年限(年)				
	1	2	3	4	5
辛酸	—	—	82.51±4.32	—	—
肉豆蔻酸	—	—	134.70±1.23	—	—
甲酸	—	—	8.36±0.19	—	—
异辛酸	—	—	—	—	19.35±1.14
十八碳酸	—	—	—	—	308.39±9.66
酮类					
3-羟基-2-丁酮	28.04±2.21	—	—	—	—
2-庚酮	—	4.41±0.21 ^b	3.14±0.23 ^c	8.21±0.31 ^a	—
甲基庚烯酮	—	66.37±2.97 ^a	50.06±0.76 ^c	36.48±1.27 ^d	59.05±5.16 ^b
对甲基苯乙酮	—	19.79±0.96 ^b	19.67±0.32 ^b	43.23±2.59 ^a	—
3-辛烯-2-酮	—	5.38±0.60	—	—	—
苍术酮	—	—	34.95±1.45	—	—
苯乙酮	—	—	2.68±0.08	—	—
紫罗兰酮	—	—	—	—	33.72±1.96
烯类					
氧化石竹烯	45.93±2.80 ^a	—	14.42±1.24 ^b	—	—
(-)-β-花柏烯	110.68±6.31 ^{ab}	106.08±3.69 ^b	63.04±6.46 ^c	119.08±5.04 ^a	101.28±3.22 ^b
双环[4.1.0]-1,3,5-庚三烯	335.88±3.69 ^c	234.46±23.32 ^d	263.49±15.49 ^d	671.07±25.60 ^b	874.30±11.70 ^a
罗汉柏烯	34.37±1.74 ^a	—	17.59±1.60 ^c	30.01±2.47 ^b	30.44±0.71 ^b
β-榄香烯	20.89±1.71 ^a	8.86±1.31 ^b	—	—	19.68±1.77 ^a
4-乙氧基苯乙烯	85.43±9.92	—	—	—	—
环辛四烯	13.81±1.29 ^b	9.80±0.93 ^c	—	—	31.02±1.47 ^a
红没药烯	—	11.87±1.20	—	—	—
B-柏木烯	—	7.44±0.71 ^b	14.88±0.99 ^a	—	—
大根香叶烯B	—	—	13.55±0.69	—	—
莰术烯	—	—	23.79±1.88	—	—
2,5,5-三甲基-2-己烯	—	—	—	100.95±6.15	—
吡嗪类					
3-甲氧基-25-二甲基吡嗪	30.47±1.03 ^b	30.47±1.03 ^c	8.04±0.57 ^c	30.47±1.03 ^d	30.47±1.03 ^a
2-甲氧基-3-异丁基吡嗪	26.07±1.10 ^b	23.25±2.40 ^b	—	—	30.47±1.03 ^a
2-异丙基-3-甲氧基吡嗪	—	10.34±0.57 ^c	10.62±0.58 ^c	18.27±2.24 ^b	23.15±0.80 ^a
其他					
2-戊基呋喃	—	39.91±3.80 ^c	25.00±0.64 ^d	47.77±1.60 ^b	74.94±0.35 ^a

注:—表示未检出。

味^[35]。3年生巫山庙党醛类化合物含量最高, 占总含量的 40.12%, 呈现青草香和脂肪香。呈强烈和不愉快脂肪气味的庚醛在第 2 年和第 5 年含量较高。

酯类化合物通常呈现出典型的果香味和轻微脂香味, 其在 1 年和 5 年生巫山庙党中含量最高, 分别占总含量的 73.20% 和 75.30%。甲酸己酯是巫山庙党中含量最多的酯类物质, 在 1、4 和 5 年生巫山庙党中均有检出, 该化合物既是合成维生素 B1 的中间体, 也可作为食用香料^[36] 棕榈酸甲酯和棕榈酸乙酯在 5 个年份中均有检出, 赋予巫山庙党脂肪味和清甜味。

酸类化合物在 2 年生巫山庙党中含量最低, 呈现出奶酪味的辛酸和肉豆蔻酸只在 3 年生巫山庙党中被检出。除呈现甜香的甲基庚烯酮外, 5 个生长年限巫山庙党中检出的酮类物质阈值都较高, 对气味影响不大。烯类和吡嗪类化合物在 4 年生巫山庙党中

含量最高, (-)-β-花柏烯和罗汉柏烯是 5 个生长年限共有的香气物质, 表现出草香、辛香和果香。2-戊基呋喃在 5 年生巫山庙党中含量最高, 赋予其芳香味。

从挥发性化合物的种类、相对含量以及各类挥发性成分的分布情况来看, 2~4 年生青草味和果香味的化合物较为丰富, 而 1 年和 5 年生脂肪气味的化合物较为丰富。

2.5.2 气味活度值分析及正交偏最小二乘法-判别分析 为进一步探究挥发性组分对不同生长年限巫山庙党风味感官的影响, 采用气味活度值(OAV)来描述各种挥发性化合物的对巫山庙党风味的贡献程度。通常, OAV>1 的挥发性化合物被认为是风味主要贡献者, OAV>10 的物质是其重要的香气物质^[37]。5 个采收年限的巫山庙党中共检出 47 种 OAV>1 的关键风味化合物, 结果如表 8 所示。在生长过程中, 癸醇和 2,4-癸二烯醛 OAV 值较高, 这说明这两种化

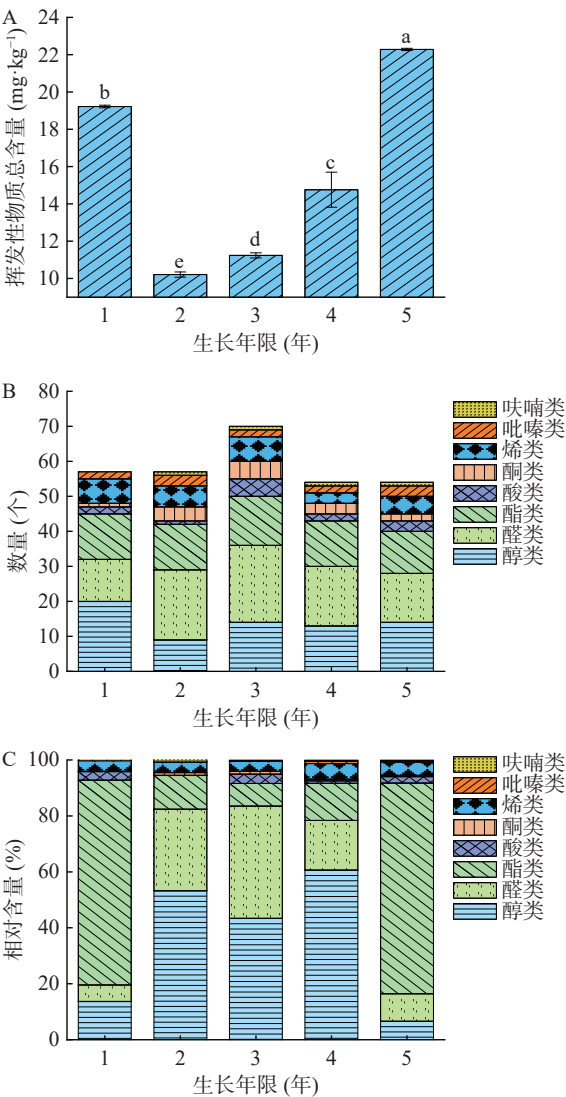


图3 不同采收期巫山庙党风味化合物的变化趋势

Fig.3 Variation trend of volatile compounds in Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years

注: A: 不同生长年限挥发性物质总含量; B: 不同生长年限挥发性物质数量; C: 不同生长年限挥发性物质相对含量; 不同字母表示样品间有显著性差异($P<0.05$)。

合物是巫山庙党生长过程中风味贡献最大的化合物。此外,正辛醇、蘑菇醇、叶醇、苯乙醇、癸醛、月桂醛、反式-2,4-癸二烯醛、反,反-2,4-壬二烯醛、甲基庚烯酮和 2-甲氧基-3-异丁基吡嗪的 OAV 值远大于 1,表明这些挥发性化合物对风味也有较大的贡献。

采用正交偏最小二乘法(OPLS-DA)可视化呈现巫山庙党 1~5 年生生长过程中挥发性物质的动态变化,模型中累计解释能力参数 R^2 为 0.956,预测能力参数 Q^2 为 0.874,均大于 0.5,表明该模型具有较好的预测能力,如图 4 所示。此外,通过变量重要性投影(variable importance in the projection, VIP)分析得到生长过程中共有 15 种差异特征化合物的 VIP>1,见图 5。5 个采收期巫山庙党可分为 3 大类,第一类为 1 年生,第 2 类为 2~4 年生,第三类为 5 年生。1 年生巫山庙党与苯甲醇、正辛醇、反式-2-己烯-1-醇和氧化石竹烯位于左下象限,表现出花香、草香和果香。2~4 年巫山庙党与反式-2,4-庚二烯醛、苯甲醛、异戊醛、反式-2-癸烯醛、癸醇和庚酸甲酯位于右下象限,表现出果味和脂肪味。5 年生巫山庙党与肉豆蔻醛、壬醛、肉豆蔻酸甲酯、2-甲氧基-3-异丁基吡

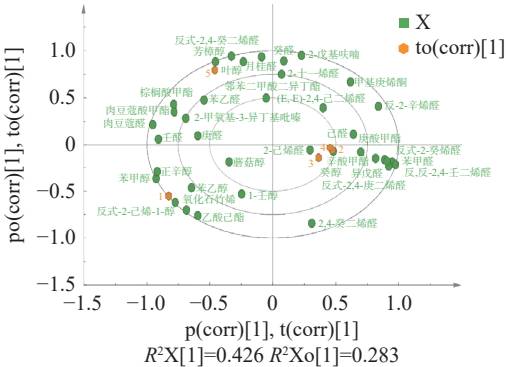


图4 不同生长年限巫山庙党关键挥发性化合物的 OPLS-DA 图

Fig.4 OPLS-DA diagram of key volatile compounds in Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years

表 8 不同生长年限巫山庙党关键挥发性化合物的 OAV

Table 8 OAV of key volatile compounds in Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years

化合物	阈值(μg/kg) ^[37]	OAV					气味特征 ^[37]
		1	2	3	4	5	
苯甲醇	5.5	32.00	0	0	0	9.87	花香,令人愉快的水果香气
正辛醇	0.7	321.27	99.71	164.23	158.30	208.77	玫瑰和橙皮香味
癸醇	0.023	1 063.91	46 257.09	2 077.83	3 700.87	1 042.17	特殊香味
异戊醇	4	4.76	0	0	0	0	苹果、梨味
2-甲基-1-丁醇	15.9	2.43	0	0	0	0	燃料味、麦芽味
1-壬醇	50	1.18	0	0	1.27		蔷薇香
蘑菇醇	1	168.64	97.12	59.59	185.97	119.68	蘑菇香、青草、蔬菜香
反-3-己烯醇	70	0	0	3.60	0	0	强烈新鲜叶草香气
叶醇	0.2	0	1 475.50	0	0	3 315.15	强烈青草香
苯乙醇	0.35	206.89	0	73.69	132.54	75.77	玫瑰花香
芳樟醇	6	6.69	4.47	5.58	7.80	24.59	花香、薰衣草香
反式-2-己烯-1-醇	100	15.37	0	0	0	0.19	草木香,青菜味
苯甲醛	350	0.11	0.83	0.73	1.07	0.11	杏仁、果味、坚果、苦味

续表 8

化合物	阈值(μg/kg) ^[37]	OAV					气味特征 ^[37]
		1	2	3	4	5	
庚醛	3	6.16	8.11	5.86	6.39	7.93	呈强烈和不愉快脂肪气味
癸醛	0.06	219.67	360.17	319.17	591.50	718.17	花果香
月桂醛	0.06	219.67	269.33	422.17	397.00	692.17	花果香
苯乙醛	4	19.47	19.29	18.38	0	32.00	具有类似风信子的香气
壬醛	1	84.54	35.68	36.42	57.07	74.25	呈强烈脂肪气息
肉豆蔻醛	10	3.32	0	1.06	0	3.42	奶酪味、椰子味
2,4-癸二烯醛	0.07	1 438.57	1 731.29	1 025.29	1 079.43	0	甜橙脂肪香、甜香、新鲜的柑橘味
反式-2,4-癸二烯醛	0.07	546.43	665.00	686.57	861.57	2 546.29	柑橘味和鸡肉香味
反-2-辛烯醛	3	14.57	35.43	29.12	41.44	30.03	呈脂肪和肉类香气,并有黄瓜和鸡肉香味
2-己烯醛	17	26.46	2.78	141.78	54.66	38.00	青草香
己醛	4.5	39.08	403.96	224.62	96.14	143.57	香草香、脂肪香
(E,E)-2,4-己二烯醛	1.8	0	0	48.78	70.80	42.75	甜香、青香、蜡质
反式-2-癸烯醛	0.3	0	108.17	86.90	178.93	0	水果味
反式-2,4-庚二烯醛	10	0	10.27	14.59	10.46	0	油脂味、鱼腥味、青草香
异戊醛	0.2	0	32.90	16.15	22.20	0	果香
反,反-2,4-壬二烯醛	0.09	0	410.22	407.00	408.44	0	脂肪香、鸡汤香味
2-十一烯醛	12.5	0	0	0.37	1.01	1.10	蜡香,清香
反,顺-2,6-壬二烯醛	0.01	0	0	1 500.00	0	0	甜瓜、黄瓜清香
(E,E)-2,4-庚二烯醛	15.4	0	0	0	0	22.96	脂肪味
棕榈酸甲酯	4	254.21	111.13	65.05	188.95	314.75	脂肪味
肉豆蔻酸甲酯	2	59.43	40.69	0	0	73.88	酒香、蜂蜜味道
乙酸己酯	115	2.96	0	0.94	0.85	0	果香
邻苯二甲酸二异丁酯	5	18.16	14.56	17.08	28.48	25.42	芳香气
辛酸乙酯	0.58	0	0	45.07	0	0	呈甜香、蜡香、牛奶、醛香
庚酸甲酯	4	0	3.39	0	3.96	0	/
辛酸甲酯	19.3	0	1.25	1.23	2.89	0	杏香、清新的、花香
正己酸乙酯	5	0	8.20	0	0	0	水果味
辛酸己酯	0.58	0	0	45.07	0	0	呈甜香、蜡香、牛奶、醛香
辛酸	3	0	0	27.50	0	0	干酪味
肉豆蔻酸	10	0	0	13.47	0	0	奶酪味、椰子味
甲基庚烯酮	0.16	0	414.81	312.88	228.00	369.06	甜香、柑橘果香,带有青草气
氧化石竹烯	40	1.15	0	0.36	0	0	清甜香气
2-甲氧基-3-异丁基吡嗪	0.038	686.05	611.84	0	0	801.84	发芽味、豌豆味、青草味、甜椒味、煮马铃薯味
2-戊基呋喃	6	0	6.65	4.17	7.96	12.49	植物芳香味、坚果味

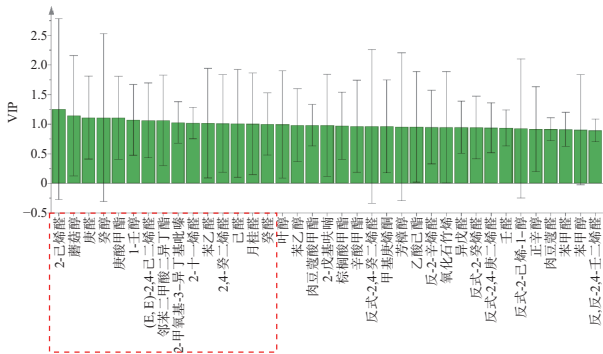


图5 不同生长年限巫山庙党关键挥发性化合物的VIP得分值图

Fig.5 VIP scores of key volatile compounds in Wushan *Codonopsis pilosula* at different growth years

嗪和棕榈酸甲酯位于左上象限,赋予巫山庙党青草味和脂肪味,但庚醛也位于左上象限,赋予5年生巫山庙党强烈和不愉快的脂肪气味。由此可知,巫山庙党

在5年生长过程中,风味化合物的不断变化导致了不同采收年限的气味差异,随着采收期的延长,花香和果香逐渐减弱,脂肪味增强,到第5年时脂肪味较为突出。

3 结论

本研究系统分析了不同生长年限巫山庙党的理化指标和风味组成。结果表明除多糖外,不同营养成分含量差异显著($P<0.05$)。5个生长年限巫山庙党中共检出16种氨基酸,具有抗肿瘤功效的精氨酸是主要氨基酸,其在2年和4年生中含量较高,分别为15.03 mg/kg和11.73 mg/kg。4年生巫山庙党多糖、醇溶性浸出物和党参炔苷含量最高,生长年限的延长对巫山庙党多糖和党参炔苷含量均产生显著的负面影响。此外,5个采收年限的巫山庙党中共鉴定出116种挥发性化合物,5个生长年限中有15种差异关键风味化合物VIP>1,生长过程中花香和果香逐

渐减弱,脂肪味增强。综合分析认为,随着生长年限的延长,巫山庙党的质量发生较大的变化,4年生巫山庙党在食用价值和保健功能方面表现优异,风味较为突出。与已报道的研究相比,本文更为全面的研究了不同生长年限巫山庙党的营养成分、保健价值和风味组成,并且风味特征分析有助于消费者辨别党参生长年限。实验结果可为今后标准化党参干燥工艺制定、新鲜党参产品开发提供研究基础,但巫山庙党生长过程中香气成分间的相互作用仍需进一步解析。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 苏圆锦, 奚佳玉, 史奇, 等. 药食同源中药党参的研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(8): 2607–2617. [SU Y J, XI J Y, SHI Q, et al. Research progress on *Codonopsis radix* as medicinal and edible traditional Chinese medicine[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(8): 2607–2617.]
- [2] 杨军宣, 郭振宇, 张毅, 等. 不同生长年限重庆庙党 3 种成分的动态变化[J]. 中国现代应用药学, 2018, 35(1): 98–102. [YANG J X, GUO Z Y, ZHANG Y, et al. Study on dynamic changes of three components of miaoyu *Codonopsis pilosula* at different growth stages[J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2018, 35(1): 98–102.]
- [3] 杨鲜, 祝慧凤, 王涛, 等. 重庆巫山等多地党参氨基酸及营养价值比较与分析[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 251–257. [YANG X, ZHU H F, WANG T, et al. Comparative analysis of amino acid composition and nutritional value of roots of *Codonopsis pilosula* from Wushan and other growing regions in China[J]. Food Science, 2014, 35(15): 251–257.]
- [4] 李艳, 晋小军, 张迎芳, 等. 不同生长年限兰州百合质量比较分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(14): 257–262. [LI Y, JIN X J, ZHANG Y F, et al. Comparative analysis on quality of Lanzhou lily with different growth years[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(14): 257–262.]
- [5] 张三妹, 吴梅, 吴飞, 等. 中药气味的化学成分检测及物质基础研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2023, 35(2): 332–341. [ZHANG S M, WU M, WU F, et al. Research progress on chemical composition detection and substance basis of odor of traditional Chinese medicine[J]. Natural Product Research and Development, 2023, 35(2): 332–341.]
- [6] 王赞, 武波晓, 鲁斌, 等. 不同生长年限滇黄精挥发性成分及香气特征分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(7): 255–267. [WANG B, WU B X, LU B, et al. Analysis of volatile compounds and aroma characteristics of *Polygonatum kingianum* in different growth ages[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(7): 255–267.]
- [7] 陈春宇, 董汉玉, 纪瑞峰, 等. 基于中医药理论的芳香类中药防治新型冠状病毒肺炎(COVID-19)的作用探讨[J]. 中草药, 2020, 51(11): 3051–3061. [CHEN C Y, DONG H Y, JI R F, et al. Discussion on role of aromatic Chinese herbs in prevention and treatment of COVID-19 based on theory of traditional Chinese medicine[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2020, 51(11): 3051–3061.]
- [8] 刘天琪, 江汉美, 田宇, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 和 PCA 分析知母及其制品的挥发性成分[J]. 现代食品科技, 2022, 38(8): 266–272, 296. [LIU T Q, JIANG H M, TIAN Y, et al. Analysis of volatile components in *Anemarrhena asphodeloides* and its processed products based on HS-SPME-GC-MS and PCA[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(8): 266–272, 296.]
- [9] 吴发明, 赵文吉, 王道清, 等. 生长年限对党参种子产量、质量及其育苗特性的影响[J]. 北方园艺, 2017, 398(23): 194–198. [WU F M, ZHAO W J, WANG D Q, et al. Effects of growing year on yield, quality and cultivation seeding characteristics of *Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf. Seeds[J]. Northern Horticulture, 2017, 398(23): 194–198.]
- [10] 杨阳, 李海亮, 马凯丽, 等. 连作对党参根际土壤理化性质、微生物活性及群落特征的影响[J]. 环境科学, 2023, 44(11): 6387–6398. [YANG Y, LI H L, MA K L, et al. Effect of continuous cropping on the physicochemical properties, microbial activity, and community characteristics of the rhizosphere soil of *Codonopsis pilosula*[J]. Environmental Science, 2023, 44(11): 6387–6398.]
- [11] LI Y F, LI W, HU J N, et al. Oral hydrogel microspheres were used for highly specific delivery of steamed *Codonopsis lanceolata* to exert the protective effects on cisplatin-induced acute kidney injury in mice[J]. Journal of Functional Foods, 2023, 102.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2016 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.3-2016 Determination of moisture in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.6-2016 Determination of fats in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.5-2016 Determination of proteins in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.4-2016 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.4-2016 Determination of ash in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [16] 段桂媛, 张曼, 唐鑫静, 等. 乌红杂交天麻质量评价研究[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(5): 157–167. [DUAN G Y, ZHANG M, TANG X J, et al. Study on quality evaluation of hybrid *Gastrodia*[J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(5): 157–167.]
- [17] 张静, 冯潮, 王胜威, 等. 龙眼多糖的结构表征及其激活巨噬细胞的作用[J]. 食品科学, 2013, 44(5): 103–111. [ZHANG J, FENG C, WANG S W, et al. Structural characterization of longan polysaccharide and its activating effect on macrophages[J]. Food Science, 2013, 44(5): 103–111.]
- [18] YANG D D, CHEN Y, GUO F X, et al. Comparative analysis of chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of leaves, leaf tea and root from *Codonopsis pilosula*[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 142: 111844.
- [19] 王先桂, 姚玉霖, 许华杰, 等. 洛党参萃取物-葡萄复合发酵酒工艺优化及其品质研究[J]. 中国酿造, 2022, 41(11): 193–198. [WANG X G, YAO Y L, XU H J, et al. Process optimization and quality research of Luolong *Codonopsis pilosula* extracts-grape compound fermented wine[J]. China Brewing, 2022, 41(11): 193–

- 198.]
- [20] LI G X, JU Y H, WEN Y W, et al. Screening of *Codonopsis radix* polysaccharides with different molecular weights and evaluation of their immunomodulatory activity *in vitro* and *in vivo*[J]. *Molecules*, 2022, 27(17): 5454.
- [21] LIU H X, AMAKYE W K, REN J Y. *Codonopsis pilosula* polysaccharide in synergy with dacarbazine inhibits mouse melanoma by repolarizing M2-like tumor-associated macrophages into M1-like tumor-associated macrophages[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2021, 142: 112016.
- [22] LIU W, LV X, HUANG W H, et al. Characterization and hypoglycemic effect of a neutral polysaccharide extracted from the residue of *Codonopsis Pilosula*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 197: 215–226.
- [23] WAN L, ZHANG Q, LUO H B, et al. *Codonopsis pilosula* polysaccharide attenuates A β toxicity and cognitive defects in APP/PS1 mice[J]. *Aging*, 2020, 12(13): 13422–13436.
- [24] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(2020年版)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 293. [National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (2020 edition)[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 293.]
- [25] 蔡沁玥, 付本宁, 徐丹萍, 等. 不同采收期对竹叶花椒籽品质的影响[J]. *中国油脂*, 2019, 44(2): 81–85. [CAI Q Y, FU B N, XU D P, et al. Effect of different harvest time on quality of *Zanthoxylum armatum* seeds[J]. *China Oils and Fats*, 2019, 44(2): 81–85.]
- [26] PEREIRA C, BARROS L, CARVALHO A, et al. Use of UFLC-PDA for the analysis of organic acids in thirty-five species of food and medicinal plants[J]. *Food Analytical Methods*, 2013, 6(5): 1337–1344.
- [27] 宋平平, 崔方, 张亚杰, 等. 白条党参芦头、主根、参尾功能因子分析[J]. *食品科学*, 2022, 43(14): 242–248. [SONG P P, CUI F, ZHANG Y J, et al. Analysis of the functional components of the root head, taproot and tail root of *Codonopsis pilosula*[J]. *Food Science*, 2022, 43(14): 242–248.]
- [28] STEGGERDA S, BENNETT M, CHEN J, et al. Inhibition of arginase by CB-1158 blocks myeloid cell-mediated immune suppression in the tumor microenvironment[J]. *Journal for Immunotherapy of Cancer*, 2017, 5(1): 101.
- [29] 王秋, 刘莉, 何慧楠, 等. 不同生长年限西洋参不同部位氨基酸含量比较研究[J]. *中华中医药杂志*, 2017, 32(8): 3692–3695. [WANG Q, LIU L, HE H N, et al. Comparative study on the content of amino acid in different parts of *Radix Panacis quinquefolii* in different growing years[J]. *China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 2017, 32(8): 3692–3695.]
- [30] YOON I, CHO S. Effects of lobetyolin on xanthine oxidase activity *in vitro* and *in vivo*: Weak and mixed inhibition[J]. *Natural Product research*, 2021, 35(10): 1667–1670.
- [31] WANG C N, HUI J, ZHU X H, et al. Lobetyolin efficiently promotes angiogenesis and neuronal development in transgenic zebrafish[J]. *Natural Product Communications*, 2020, 15(8).
- [32] CHRISTIAN B. Anticancer properties of lobetyolin, an essential component of *Radix codonopsis* (Dangshen)[J]. *Natural Products and Bioprospecting*, 2021, 11(2): 143–153.
- [33] 杨芙蓉, 冉家栋, 张丽萍, 等. 甘肃地产党参区域性品质差异及气候响应特征分析[J]. *植物科学学报*, 2021, 39(2): 132–141. [YANG F R, RAN J D, ZHANG L P, et al. Regional quality differences and climatic response characteristics of *Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf. in Gansu Province[J]. *Plant Science Journal*, 2021, 39(2): 132–141.]
- [34] 黄璐琦, 腾训辉, 刘根喜. 党参生产加工适宜技术[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2017: 98. [HUANG L Q, TENG X H, LIU G X. Appropriate technology for the production and processing of *Radix codonopsis*[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2017: 98.]
- [35] 李佳霖, 杨焱, 李文, 等. 大球盖菇干制过程香气变化规律及与关键酶促反应的关联性[J]. *食品科学技术学报*, 2023, 41(1): 30–42. [LI J L, YANG Y, LI W, et al. Aroma change and its relationship with key enzymatic reactions in drying process of *Stropharia rugoso-annulata*[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2023, 41(1): 30–42.]
- [36] 颜宇鸽, 段桂媛, 唐鑫静, 等. 不同品种辣椒制作的辣椒酱品质对比分析[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(11): 225–232. [YAN Y G, DUAN G Y, TANG X J, et al. Comparative analysis of the quality of chili sauce made from different varieties of peppers[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(11): 225–232.]
- [37] 范海默特里奥. 化合物香味阈值汇编(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2015. [VAN G L J. Compilations of flavour threshold values in water and other media (2th ed)[M]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd, 2015.]