姚丽丽, 吴俊琴, 周炬龙, 等. 党参和黄芪对炖鸡肉品质、活性成分和风味特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(17): 426−435. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025110124
YAO Lili, WU Junqin, ZHOU Julong, et al. Effects of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* on the Quality, Active Ingredient, and Flavor Composition of Stewed Chicken[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(17): 426−435. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025110124

· 分析检测 ·

党参和黄芪对炖鸡肉品质、活性成分和风味特性的影响

姚丽丽, 吴俊琴, 周炬龙, 杜雪蓉, 董玉珊, 李晨龙, 罗玉龙*
（宁夏大学食品科学与工程学院, 宁夏银川 750021）

摘　要: 为了揭示党参和黄芪对炖鸡肉品质的影响，以鸡腿肉为原料，探究添加不同比例的党参和黄芪对炖鸡肉品质、感官评价、活性成分、滋味物质和挥发性香气成分的影响。结果表明，党参和黄芪添加组鸡肉的 L^* 值较 CON 组均降低；DSHQ-1 组剪切力显著低于 CON 组（$P<0.05$），但随着党参添加比例增加，剪切力反而增大；添加组的水分含量、黄酮、多糖含量和感官评分均高于对照组，说明党参和黄芪有利于鸡肉中活性成分的保留，具有较高的食用品质以及感官接受度。对于滋味和挥发性香气成分，DSHQ-5 组的总氨基酸含量显著高于 CON 组（$P<0.05$），表现出良好的增味效果；GC-MS 分析共鉴定出 45 种挥发性香气成分，包括 10 种醛类、5 种酯类、2 种酸类、8 种醇类、9 种烃类、5 种酮类、3 种萜烯类及 3 种其他类，总体上，DSHQ-2、DSHQ-3、DSHQ-4 和 DSHQ-5 组炖鸡肉的香气物质含量高于 CON 组。党参和黄芪的加入丰富了炖鸡肉中萜烯类物质的含量，有效提升了鸡肉的风味丰度。进一步通过气味活度值（Odor Activity Value，OAV）鉴定出 12 种 OAV>1 的特征挥发性香气成分，其中己醛、桉叶油素和 1-辛烯-3-醇的 OAV 较高，呈现油脂香、青草味和蘑菇味等香味。综上，党参和黄芪能改善炖鸡肉的品质，增强风味特性，二者协同对鸡肉制品的加工具有实用价值。

关键词: 鸡肉, 党参, 黄芪, 肉品质, 活性成分, 风味
中图分类号: S831　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)17−0426−10
DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025110124
本文网刊:

Effects of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* on the Quality, Active Ingredient, and Flavor Composition of Stewed Chicken

YAO Lili, WU Junqin, ZHOU Julong, DU Xuerong, DONG Yushan, LI Chenlong, LUO Yulong*
（College of Food Science and Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China）

Abstract: To investigate the effects of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* on the quality of stewed chicken, the chicken leg meat was used as the raw material, and the impact of different addition ratios of these two herbal ingredients on the physicochemical properties, sensory attributes, active ingredient, taste compounds, and volatile aroma profiles was systematically examined. The results demonstrated that the L^* values in the *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* treatment groups were lower than those in the control (CON) group. The shear force in the DSHQ-1 group was significantly reduced compared to the CON group ($P<0.05$), suggesting improved tenderness; however, further increasing the proportion of *Codonopsis pilosula* led to an increase in shear force. Notably, the moisture content, flavonoid and polysaccharide levels, as well as sensory evaluation scores, were all higher in the treatment groups than in the control, indicating that the incorporation of these herbs promoted the retention of functional components and enhanced both palatability and overall sensory quality. With regard to flavor characteristics, the total amino acid content in the DSHQ-5 group

收稿日期: 2025−11−13
基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目（32202135）; 国家自然科学基金地区科学基金项目（32460612）; 宁夏自治区重点研发计划（2024BBF02023）; 宁夏自然科学基金（青 B）项目（2025AAC050011）。
作者简介: 姚丽丽（2001−）, 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品质量与安全控制, E-mail: y304300051@126.com。
*** 通信作者:** 罗玉龙（1988−）, 男, 博士, 副教授, 研究方向: 肉品质量与安全控制, E-mail: 18247120609@163.com。

was significantly higher than that in the CON group (P<0.05), reflecting a pronounced flavor-enhancing effect. A total of 45 volatile aroma compounds were identified by GC-MS analysis, comprising 10 aldehydes, 5 esters, 2 acids, 8 alcohols, 9 hydrocarbons, 5 ketones, 3 terpenes, and 3 other compounds. Overall, the concentration of aromatic substances in the stewed chicken from the DSHQ-2, DSHQ-3, DSHQ-4, and DSHQ-5 groups was higher than that in the CON group. The addition of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* enriched the terpene content in the stewed chicken, thereby effectively enhancing its flavor complexity. Furthermore, 12 characteristic volatile aroma compounds with OAV>1 were identified through odor activity value (OAV) analysis. Among these, hexanal, eucalyptol, and 1-octen-3-ol exhibited the highest OAVs, contributing oily, herbal, and mushroom-like aromas, respectively. In conclusion, *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* improve the overall quality of stewed chicken and enhance its flavor profile. Their combined use demonstrates practical potential for application in chicken-based food processing.

Key words: chicken; *Codonopsis pilosula*; *Astragalus membranaceus*; meat quality; active ingredient; flavor

鸡肉富含蛋白质，营养丰富、烹饪灵活，具有增强体力、强身壮体的作用，已成为健康饮食的主要组成部分之一。炖鸡肉是重要的传统肉类产品之一，通常使用鸡肉、香料和调味料煮制而成，其高营养价值和独特的风味，深受消费者的青睐。目前研究多集中于传统香辛料和炖煮方式对炖鸡肉的工艺优化、风味改良及肉品质的影响。刘欣等[1]发现添加桂皮炖煮的鸡肉香气成分种类增加，肉桂醛、甲氧基肉桂醛和香叶基丙酮等 9 种挥发性香气成分均由桂皮引入。Cheng 等[2]探究了低温真空炖煮对鸡肉品质的影响，发现低温真空炖煮能提高鸡肉的水分含量，改善色泽和嫩度。随着公众健康理念的提升及食品风味多元化的发展趋势，消费者对药食同源食品需求持续增长，传统香辛料已难以满足个性化、健康化的消费需求，开发兼具风味和功能特性的新型食材，能为推动炖鸡肉加工产业升级提供方向。

党参与黄芪作为典型的药食同源物质，富含黄酮、皂苷和多糖等活性成分，可以发挥抗氧化、保肝、抗衰老、抗肿瘤等多种药理作用[3−4]。党参具有独特甘甜味，挥发性香气成分主要由醛类、醇类和萜烯类等物质组成，黄芪则略带豆香和微甜味，主要包含醇类、醛类和烃类等香气成分[5−6]。二者在与鸡肉炖煮的过程中，不仅能有效掩盖肉中的不良气味，还能与脂质降解和美拉德反应产生的挥发性香气相互作用，丰富制品的风味层次，产生诸多积极影响[7]。蒲慧娟等[8]研究发现党参和黄芪的添加量分别为 0.6% 和 0.8% 时，药材味能与肉香味融合协调，使炖羊肉的口感、滋味达到最佳。Tian 等[9]研究发现党参能增加鸡肉调味料的醛类、酮类和烯烃含量，并延长了产品的保质期。除了增强肉制品风味外，党参和黄芪中含有的活性成分能够通过清除自由基、提高抗氧化酶的活性、抑制脂质过氧化以及螯合金属离子等发挥抗氧化功效[10]。有研究发现党参和黄芪协同使用可以提升米酒的抗氧化能力，二者复合后的产品对 DPPH 自由基和 $ABTS^+$自由基的清除率分别达到 89.8% 和 83.7%[11]。因此，将党参和黄芪与鸡肉结合炖煮，能更好地发挥它们之间相互作用，赋予产品独特风味与功能特性。

本研究以党参、黄芪和鸡肉为原料，探讨二者协同使用对炖煮鸡肉的品质（色泽、水分含量和剪切力）、感官特性、活性成分（黄酮、多糖）、滋味化合物（游离氨基酸、核苷酸）和风味特性的影响，并通过气味活度值（Odor Activity Value，OAV）鉴定关键挥发性风味物质，明确党参、黄芪在鸡肉炖煮过程中的活性成分变化和风味贡献，探索其作为药食同源物质在功能性肉制品中应用的可行性，为传统肉制品的功能化升级提供参考。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

党参（潞党参）、黄芪（膜荚黄芪）　产地甘肃；鸡腿肉（农家青脚麻鸡，150 d，2.00±0.2 kg）、生姜、食盐、葱、枸杞　均为市售；1,1-二苯基-2-三硝基苯肼、2,2'-联氮-双（3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸）、2-甲基-3-庚酮　上海麦克林生化科技股份有限公司；芦丁标准品　南京源植生物科技有限公司；磷酸二氢钾　天津博华通化工产品销售中心；5-磺基水杨酸　天津天力化学试剂有限公司。

L-8900 全自动氨基酸分析仪（配有 BioBasicSCX 柱（4.6 mm×60 mm，5 μm））、高效液相色谱仪（配有 ValueLab 5LC C_{18}-HD 柱（250 mm×4.6 mm））　日立高新技术公司；TQ8040 GC-MS 气相色谱-质谱联用仪　配有 DB-WAX 毛细色谱柱，日本岛津公司；C-LM3B 数显式肌肉嫩度仪　北京天翔飞域科技有限公司；DS-600 色差仪　浙江彩谱科技有限公司。

1.2　实验方法

1.2.1　样品制作　将鸡腿肉剔去鸡骨、鸡皮，切成 3 cm×3 cm×2 cm 的块状，洗涤并沥干。将干燥的党参和黄芪清洗干净并沥干以备后续使用。具体操作如下：将 1000 g 鸡块加入砂锅中，鸡腿肉、水、盐、葱、生姜和枸杞的质量比为 200∶400∶2∶12∶2∶1。以鸡腿肉的质量为基准，党参和黄芪的添加量为 4%。实验共设 6 组，分别为不添加党参和黄芪的对照组（CON）；DSHQ-1 组：党参和黄芪 1∶3；DSHQ-2 组：党参和黄芪 1∶2；DSHQ-3 组：党参和黄芪 1∶1；DSHQ-4 组：党参和黄芪 2∶1；DSHQ-5 组：党参和黄芪 3∶1。采用电磁炉进行加热，先以 1200 W 功率加热至沸腾，撇去表面浮沫后，加入相应组别的党参与黄芪；随后

将电磁炉功率调整为 800 W, 加盖持续炖煮 1 h[12]。炖煮结束后, 鸡汤用纱布过滤, 鸡肉样品置于−80 ℃条件下保存, 以备后续指标测定使用。

1.2.2 色泽测定 用校准后的色差仪测定炖鸡肉色泽, 将鸡肉打碎混匀平整扣于色差仪镜口前, 测定 L^*(亮度值)、a^*(红度值)和 b^*(黄度值), 每次测定后旋转 120°, 测定 3 次取平均值[13]。

1.2.3 水分含量 取洁净坩埚, 置于 105 ℃ 干燥箱中加热 1 h, 取出置于干燥器内冷却 0.5 h, 称其重量, 并重复干燥至前后两次质量差不超过 0.001 g 即为恒重。称取 5~10 g 鸡肉放入坩埚内, 称重后将坩埚放入温度为 105 ℃ 的干燥箱内, 烘干时间为 4 h, 将坩埚取出后放入干燥器内冷却 0.5 h 后称重, 再重复以上步骤至前后两次质量差不超过 0.001 g。计算公式如下:

$$C(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \times 100$$

式中: C 表示水分含量, %; m_1 表示烘干前坩埚和样品总重量, g; m_2 表示烘干后坩埚和样品总重量, g; m_3 表示坩埚重量, g。

1.2.4 剪切力 将鸡肉沿肌肉纤维方向切成立方体(1.5 cm×1 cm×0.5 cm), 使用肌肉嫩度仪测定, 记录剪切力值, 平行三次。

1.2.5 感官评价 使用 7 点喜好标度法来评估鸡肉的色泽、质地、滋味、香气、口感和整体接受性等感官方面[14]。按以下顺序排列 1="强烈不喜欢"; 2="中度不喜欢"; 3="略微不喜欢"; 4="无动于衷"; 5="略微喜欢"; 6="中等喜欢"; 7="非常喜欢"。参与者了解整个研究并自愿同意参加, 品尝的产品可以安全食用。感官评价小组由 10 名成员(五男五女, 年龄范围 22~25 岁)组成, 所有参与者均有一年以上感官评价经验。样品均在测试当天制备, 并置于 60 °C 恒温放置。每组鸡肉均被放置于白色一次性盘子中, 并采用六位随机数字编号。在品尝完一个样品之后, 需食用无味饼干并用饮用水清洁口腔, 然后再品尝下一个样品。

1.2.6 黄酮含量测定 通过氯化铝比色法测定总黄酮含量[15]。称取经混合均匀的鸡肉 1~2 g(精确至 1 mg)置于 100 mL 具塞三角瓶中, 加 70% 乙醇 20 mL, 50 ℃ 超声提取 50 min 后, 滤入 50 mL 容量瓶中, 再于三角瓶中加 20 mL 70% 乙醇溶液后 50 ℃ 超声提取 30 min 后过滤, 合并滤液, 用 70% 乙醇定容至刻度, 摇匀, 备用。取提取液 2 mL, 加 5% 亚硝酸钠 0.6 mL, 摇匀放置 6 min, 加 10% 硝酸铝溶液 0.6 mL, 摇匀放置 6 min, 加 4% 氢氧化钠溶液 5 mL, 用 70% 乙醇定容至 20 mL, 摇匀静置 20 min, 以空白为参照, 510 nm 测定吸光度值, 平行三次取平均。

1.2.7 多糖含量测定 通过苯酚硫酸法测定多糖的含量。以 D-葡萄糖为标准, 使用线性回归方程计算多糖含量(y=11.4963x+0.0002, R^2=0.99987), 以 mg/g 表示。

1.2.8 游离氨基酸含量测定 在 40 mL 2% 磺基水杨酸溶液中加入 10 g 鸡肉样品进行均质化, 然后将混合物分别以 3000×g 和 10000×g 各离心 10 min, 取上清液用 0.45 μm 滤膜过滤, 使用全自动氨基酸分析仪测定样品中游离氨基酸的含量。

1.2.9 核苷酸含量测定 将 2 g 鸡肉与 20 mL 6% 高氯酸混合后均质, 获得匀浆液进行离心并过滤。沉淀用 15 mL 6% 高氯酸匀浆并离心, 合并重复上清液。用 0.5 mol/L KOH 溶液将上清液 pH 调至 6.5 并进行 HPLC 分析[16]。梯度洗脱程序: 0~10 min(97.5% KH_2PO_4: 2.5% 甲醇)、10~17 min(85% KH_2PO_4: 15% 甲醇)和 17~20 min(97.5% KH_2PO_4: 2.5% 甲醇), 流速: 1 mL/min; 柱温: 25 ℃; 进样体积: 5 μL; 检测波长: 254 nm。

1.2.10 挥发性香气成分的测定 采用气相色谱-质谱仪(GC-MS)测定鸡肉中的挥发性香气成分, 称取 3 g 鸡肉, 加入 1 g NaCl 和 1 μL 2-甲基-3-庚酮(1.68 mg/mL)溶液置于 20 mL 顶空瓶中, 并在 50 ℃ 水浴中平衡 30 min。采用 SPME(50/30 μm DVB/CAR/PDMS)充分萃取顶空瓶中的挥发性化合物, 萃取时间 30 min, 在 250 ℃ 下解吸 5 min。DB-WAX 色谱柱(30 m×0.32 mm, 0.25 μm)程序设置如下: 初始柱温 40 ℃ 并保持 3 min, 然后以 5 ℃/min 升至 200 ℃, 最后以 10 ℃/min 升高至 230 ℃ 保持 3 min。质谱条件为: 离子源温度设定为 250 °C, 电子电离能为 70 eV, 扫描范围为 35~350 m/z。通过 NIST 20 谱库和化学结构式库进行比对, 筛选匹配度大于 80% 的风味物质, 并根据化合物及内标化合物峰面积比值计算各挥发性化合物的含量[17]。

$$C_i = \frac{A_i \times m_s}{A_s \times V_i} \times 1000$$

式中: C_i 表示挥发性香气成分的浓度, μg/kg; A_i 表示对应芳香化合物 i 的峰值面积; m_s 表示内部标准化合物的质量, μg; A_s 代表内部标准化合物 2-甲基-3-庚酮的峰值面积; V_i 表示鸡肉质量, g; 数字 1000 表示单位换算系数。

1.2.11 气味活性值(OAV)的计算 OAV 的计算公式如下:

$$OAV = \frac{C}{OT}$$

式中: C 表示被测挥发性化合物的质量浓度, μg/kg; OT 表示被测香气化合物在水中的气味阈值, μg/kg。

1.3 数据处理

每个实验重复 3 次, 测定结果使用 SPSS Statistics 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)进行单因素方差分析和 Duncan 检验, 显著性水平为 0.05, 结

果表示为平均值±标准差。使用 Origin 2021(OriginLab, Northampton, MA)进行可视化。

2　结果与分析

2.1　党参和黄芪添加对炖鸡肉品质的影响

2.1.1　色泽　色泽是评估鸡肉品质的重要指标，可直接影响消费者的感官接受度。肉的颜色通常用亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*)来表示，不同比例党参和黄芪炖鸡肉的色泽变化如表 1 所示，亮度(L^*)在 67.71~78.58 的范围内，其中 CON 组 L^*值最高，添加组鸡肉的 L^*值均低于 CON 组，可能是加热过程中党参和黄芪中含有的多糖物质加剧了美拉德反应，促进美拉德产物与蛋白质的交互，生成更多类黑精，导致鸡肉表面颜色变暗[18]。对于黄芪比例较高的鸡肉组(DSHQ-1、DSHQ-2)，其 L^*值高于党参比例较高的组(DSHQ-3、DSHQ-4)，这一现象的原因可能是黄芪中的黄酮类物质(淡黄色)在加热过程中更易吸附于鸡肉表面，其光反射率高于党参所含的酚酸色素(深棕色)，从而提升了鸡肉表面整体的明亮度。相比之下，党参的颜色较深，其内含的酚酸(深棕色)热稳定性较强，在炖煮过程中发生沉积，导致鸡肉 L^*值降低。红度值(a^*)在 8.60~12.11 的范围内，其取决于肉中肌红蛋白(Mb)的含量和状态，DSHQ-2、DSHQ-3、DSHQ-4、DSHQ-5 的 a^*均高于 CON 组，是因为党参和黄芪中有棕色物质，这些含色素的物质可以提高鸡肉的 a^*值，其中 DSHQ-5 组 a^*最高，这归因于党参和黄芪中的多糖、黄酮和多酚等活性物质抑制了肌红蛋白的氧化，避免高铁肌红蛋白的产生，从而维持较高的 a^*值，保持肉的红色[19]。黄度(b^*)在 16.68~22.97 的范围内，各处理组无显著差异(P>0.05)。

表 1　添加不同比例党参黄芪对鸡肉色泽的影响
Table 1　Influence of adding different proportions of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* on the color of chicken

处理组	L^*	a^*	b^*
CON	78.58±3.79^{a}	9.29±0.34^{bc}	21.33±1.90^{a}
DSHQ-1	77.90±3.38^{a}	8.60±2.12^{c}	18.26±8.91^{a}
DHHQ-2	76.40±5.43^{a}	10.93±1.98^{abc}	22.87±2.80^{a}
DSHQ-3	67.71±3.28^{b}	11.59±0.46^{ab}	16.68±0.74^{a}
DSHQ-4	74.19±1.46^{ab}	10.85±0.45^{abc}	22.97±0.44^{a}
DSHQ-5	75.86±4.05^{a}	12.11±1.66^{a}	18.71±2.40^{a}

注：同列小写字母不同表示组间差异显著(P<0.05)。

2.1.2　水分含量　水分含量会影响肉品的外观、质地和风味，并对多汁性产生重要影响。热处理会使蛋白质变性，引起水分的大量流失。不同比例党参和黄芪炖鸡肉的水分含量变化如图 1 所示，DSHQ-1、DSHQ-2、DSHQ-3、DSHQ-4 和 DSHQ-5 组鸡肉的水分含量为 51.20%、49.47%、55.22%、56.86% 和 57.63%，分别是 CON 组的 1.05 倍、1.02 倍、1.14 倍、1.17 倍和 1.19 倍，说明党参和黄芪的加入更有利于鸡肉中水分的保持，这是因为多糖能与肌原纤维蛋白发生相互作用(如形成氢键、二硫键和疏水相互作用)，并促进分子交联，这些作用共同促进致密的蛋白质-多糖凝胶网络结构的形成，该结构能有效固定水分，从而显著提升鸡肉的水分含量[20]。

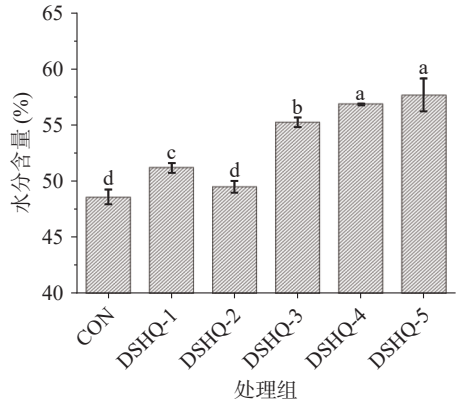


图 1　添加不同比例党参黄芪对鸡肉水分含量的影响
Fig.1　Influence of adding different proportions of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* on the moisture content of chicken

注：不同小写字母表示组间差异显著(P<0.05)，图 2、图 4、图 6 同。

2.1.3　剪切力　剪切力可以用来表征肉制品的嫩度。剪切力越小，鸡肉嫩度越好，这符合消费者的饮食需求。不同比例党参和黄芪炖鸡肉的剪切力变化如图 2 所示，DSHQ-1 组炖鸡肉剪切力值明显低于 CON 组，说明添加一定比例的党参和黄芪可以改善鸡肉的嫩度，这与多糖能提高鸡肉的持水性能有关。研究发现，党参中含有的多糖类物质(果胶等)具有良好的亲水性，能在烹饪过程中防止鸡肉变硬，显著提升炖鸡肉的“多汁感”和嫩度[21−22]。但随着党参添加比例增加，剪切力反而增大，这可能是多糖物质通过氢键和疏水作用与肌肉蛋白(如肌球蛋白)交联，使肌原纤维蛋白形成更致密的三维网络结构，从而导致剪切力增大[23]。

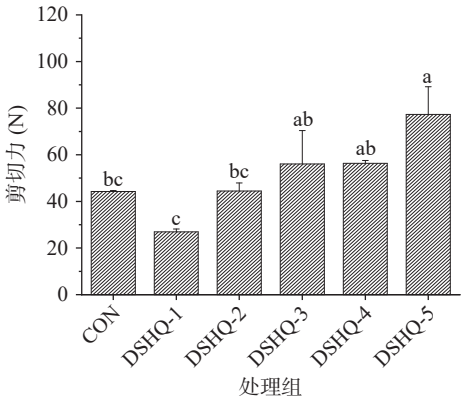


图 2　添加不同比例党参黄芪对鸡肉剪切力的影响
Fig.2　Influence of adding different proportions of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* on the shear force of chicken

2.2　党参和黄芪添加对炖鸡肉感官评价的影响

感官属性(包括滋味、质地、香气和色泽等)的客

观评价能反映消费者的接受度和偏好度。如图 3 所示，各添加组炖鸡肉的感官评分在所有评价维度均显著高于 CON 组（P<0.05），其中 DSHQ-5 组评分最高，感官品质最优，表现为色泽鲜亮、肉质鲜嫩多汁、口感醇厚，且整体接受度高，可能是党参和黄芪的微甜味能够掩盖鸡肉中的不良腥味。此外，党参中含有 60~100 种挥发性香气成分，黄芪中含有 80~100 种挥发性香气成分，这些挥发性香气成分能丰富炖鸡肉的风味层次，对整体感官评分带来积极影响[24−25]。CON 组鸡肉则颜色偏浅，香气的协调性和融合性不佳，滋味丰富度和浓郁度低，总体感官接受度低。

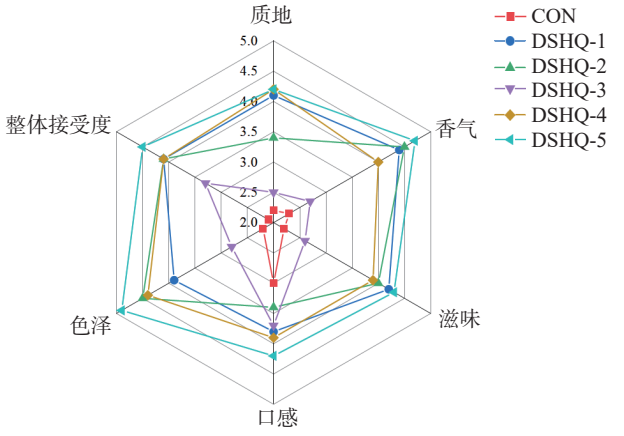


图 3　产品的感官评价

Fig.3　Sensory evaluation of the product

2.3　党参和黄芪添加对炖鸡肉活性成分的影响

黄酮和多糖类物质是良好的降血糖和降脂因子，有补气、抗氧化、抗菌、抗肿瘤、保肝和酶抑制性能[26−27]。不同比例党参和黄芪炖鸡肉的多糖和黄酮含量变化如图 4 所示，添加组炖鸡肉的黄酮含量在 1026.61~1676.03 μg/g 之间，均显著高于 CON 组（P<0.05），其中 DSHQ-5 组含量最高，是 CON 组的 1.79 倍。胡坤等[28] 研究结果表明，在陈醋中添加党参和黄芪后总黄酮含量高于山西老陈醋。黄酮类物质通过转移电子自由基、螯合金属催化剂、激活抗氧化

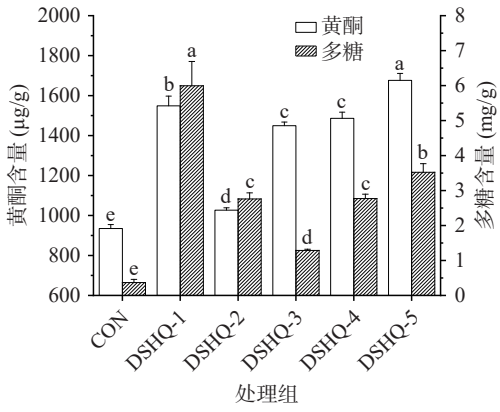


图 4　添加不同比例党参和黄芪对鸡肉黄酮和多糖含量的影响

Fig.4　Effect of adding different proportions of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* on the flavonoid and polysaccharide content of chicken

酶及抑制促氧化酶的活性来发挥抗氧化作用[29]。添加组多糖含量均显著高于 CON 组（P<0.05），其中 DSHQ-1 鸡肉中多糖含量达到 6.00 mg/g，是 CON 组含量的 16 倍，表现出巨大的抗氧化潜力。炖煮过程中党参和黄芪的细胞壁被破坏，释放黄酮和多糖等物质，其结构可在氢键、范德华力、静电作用和 π 键堆积等相互作用下发生重排，促使黄酮苷键和多糖链断裂并水解为活性苷元和分子量较小的活性片段，进而发挥生物活性功能[30−33]。

2.4　党参和黄芪添加对炖鸡肉滋味成分的影响

2.4.1　游离氨基酸　游离氨基酸是评价食品营养价值的指标之一，其不仅是滋味物质的组成成分，能直接作用于味觉受体，还是重要的香味前体。鸡肉中的游离氨基酸分为鲜味氨基酸（天冬氨酸、谷氨酸）、甜味氨基酸（苏氨酸和丝氨酸等）和苦味氨基酸（赖氨酸、缬氨酸和亮氨酸等）。不同比例党参和黄芪炖鸡肉中游离氨基酸组成和含量变化如图 5 所示，添加组炖鸡肉的总游离氨基酸含量在 117.59~129.62 mg/100 g 之间，均高于 CON 组，说明党参和黄芪可以增加鸡肉中游离氨基酸的含量，这是因为党参和黄芪中

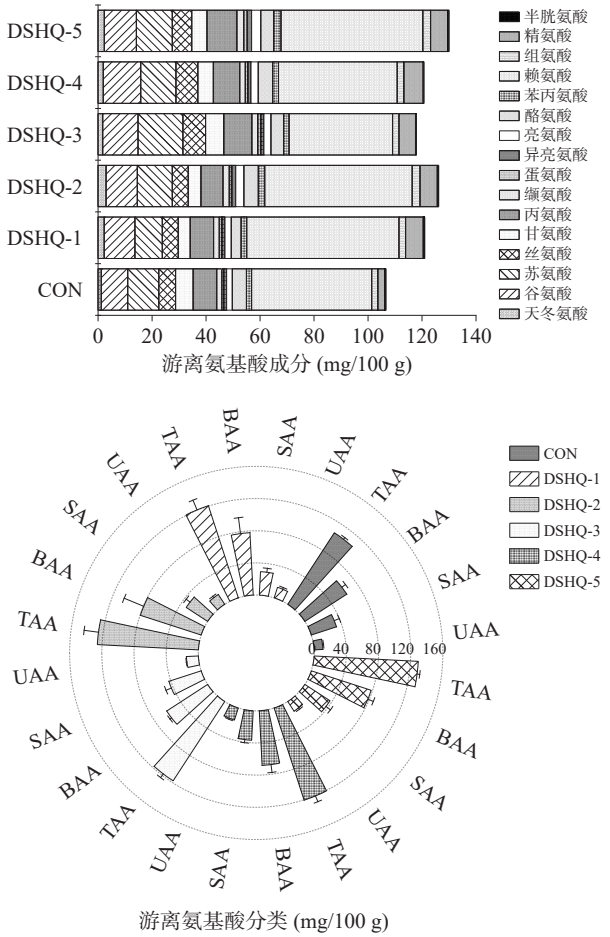


图 5　添加不同比例党参黄芪对鸡肉游离氨基酸的影响

Fig.5　Effect of adding different proportions of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* on free amino acids in chicken

注：TAA 表示总游离氨基酸；UAA 表示鲜味氨基酸；SAA 表示甜味氨基酸；BAA 表示苦味氨基酸。

含有的活性成分能抑制氨基酸降解，有利于鸡肉中氨基酸的累积。Wu 等[12] 证实向炖鸡肉中添加枸杞芽茶后，样品中总游离氨基酸含量较空白组明显上升，这可归因于枸杞芽茶所含的黄酮及多酚类活性成分的作用。研究发现多糖和蛋白质之间能形成共价键，这有助于蛋白质结构的展开并暴露内部基团，使其在蛋白酶的作用下分解为游离氨基酸[34−37]。本研究中 DSHQ-4 组的谷氨酸含量显著高于 CON 组（$P<0.05$）。谷氨酸是重要的鲜味氨基酸，有助于鸡肉醇厚味道的形成。甜味氨基酸可以和谷氨酸、5'-IMP 协同作用，使鲜味增强，炖鸡肉中甜味氨基酸总范围为 29.12~42.15 mg/100 g，其中 DSHQ-3、DSHQ-4、DSHQ-5 组甜味氨基酸含量高于 CON 组。甜味氨基酸不仅可以提供甜味，也能在一定程度上平衡苦味。Lioe 等[38] 发现苯丙氨酸和酪氨酸具有增强酱油鲜味的作用。DSHQ-2 和 DSHQ-5 组炖鸡肉中苯丙氨酸含量显著高于 CON 组（$P<0.05$），对鸡肉鲜味的增强起到辅助作用。

2.4.2　核苷酸　5'-AMP、5'-GMP 和 5'-IMP 是鸡肉中的主要滋味核苷酸，在增强肉的鲜味方面起着重要作用。不同比例党参和黄芪炖鸡肉的核苷酸变化如图 6 所示，DSHQ-1 组鸡肉中 5'-GMP 和 5'-AMP 含量显著高于 CON 组（$P<0.05$），5'-AMP 不仅能掩盖苦味和涩味等不良味道，还有较强的助鲜作用，在与呈味氨基酸的协同作用下可以大幅提高鲜度值。与 CON 组相比，添加组的 5'-IMP 含量有所增加，其中 DSHQ-1 组最高，是 CON 组的 3.44 倍（$P<0.05$），推测党参和黄芪中富含的多糖物质可以延缓 ATP、AMP 和 IMP 等核酸化合物的降解，减少 HxR 和 Hx 的累积，使鸡肉中 IMP 保持相对高的含量。Wu 等[39] 的研究也发现用鳞杯伞炖鸡汤时，可显著提升鸡汤中 5'-IMP、5'-AMP 和 5'-GMP 含量。

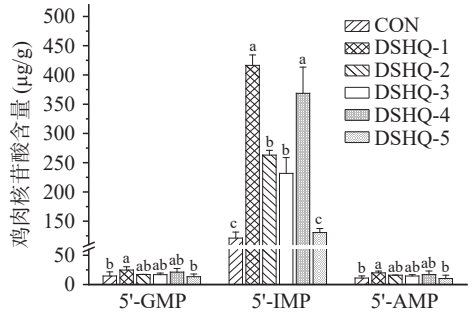


图 6　添加不同比例党参黄芪对鸡肉核苷酸的影响

Fig.6　Effect of adding different proportions of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus* on nucleotides in chicken

2.5　党参和黄芪添加对炖鸡肉挥发性香气成分的影响

环状聚类热图能可视化炖鸡肉中挥发性化合物的变化和分布模式（图 7）。如表 2 所示，炖鸡肉样品中共鉴定出 45 种香气物质，其中醛类 10 种、酯类 5 种、酸类 2 种、醇类 8 种、烃类 9 种、酮类 5 种、萜烯类 3 种及其他类 3 种。总体上，DSHQ-2、DSHQ-3、DSHQ-4 和 DSHQ-5 组炖鸡肉的香气物质含量高于 CON 组，这是因为党参和黄芪的添加丰富了炖鸡肉中挥发性香气成分。此外，党参和黄芪能增加游离氨基酸和核苷酸的含量，在炖煮过程中游离氨基酸和核苷酸能与其他风味前体物质发生脂质氧化、美拉德反应、维生素降解以及反应产物间的相互作用等，增加了挥发性风味化合物的种类和含量，并赋予鸡肉独特的香味[40−41]。

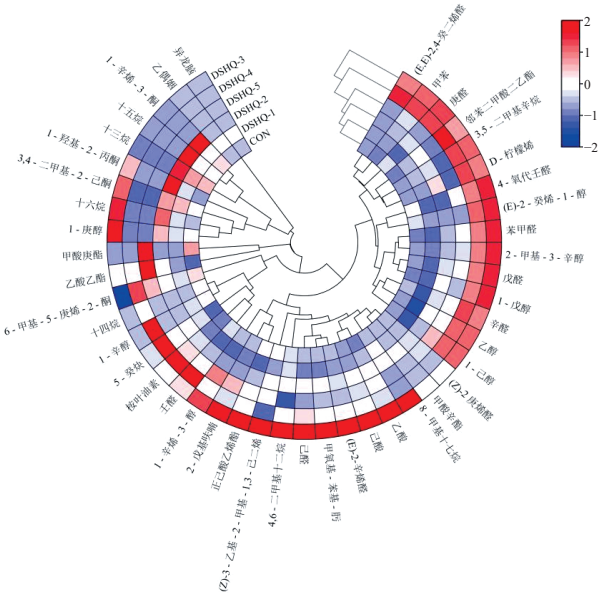


图 7　党参黄芪炖鸡肉中挥发性化合物的热图

Fig.7　Heat map of volatile compounds in chicken stewed with *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus*

醛类物质具有油脂香气，是肉制品中最主要的挥发性香气成分[42]。鸡肉样品中共检测出 10 种醛类化合物，其中 DSHQ-3 组含量显著高于 CON、DSHQ-1、DSHQ-2 组（$P<0.05$）。己醛、辛醛和壬醛是油酸的降解产物，具有青草香、柑橘香和油脂的香气[43]。DSHQ-3 组的己醛含量显著高于 CON 组（$P<0.05$），这可能与党参和黄芪的添加有关。有研究表明，己醛是党参香气的主要成分之一，其含量约占总挥发性香气成分的 42.42%~59.01%；黄芪的主要香气成分也是己醛，是构成黄芪豆腥味的重要成分[5−6]。戊醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛来源于亚油酸和亚麻酸，是脂质氧化的主要产物[44]。苯丙氨酸与还原糖发生美拉德反应，中间产物经过裂解、环化等反应最终生成苯甲醛[45]。炖鸡中 DSHQ-3 组苯甲醛含量显著高于 CON、DSHQ-1 和 DSHQ-2 组（$P<0.05$）。酯类物质具有花香和果味，对鸡肉的香味有着不可替代的作用[41]。醇类和羧酸发生的酯化反应以及微生物的作用都可以产生酯类物质[46]。本研究中检测到的酯类物质包括邻苯二甲酸二乙酯、乙酸乙酯、甲酸庚酯、甲酸辛酯和正己酸乙烯酯。酸类物质是由脂肪酸降解或醛酮氧化产生，其阈值较高，可能对风味的影响较小，仅起到修饰作用[47]。醇类物质主要通过脂质氧

表 2 不同比例党参和黄芪炖鸡肉中挥发性风味物质的含量

Table 2 Content of volatile flavor compounds in chicken stewed with different ratios of *Codonopsis pilosula* and *Astragalus membranaceus*

种类	成分	CAS号	含量（μg/kg）					
			CON	DSHQ-1	DSHQ-2	DSHQ-3	DSHQ-4	DSHQ-5
醛类(10)	(E,E)-2,4-癸二烯醛	25152-84-5	–	–	–	6.06±2.17^{a}	8.09±1.3^{a}	–
	(Z)-2庚烯醛	57266-86-1	3.76±0.58^{b}	3.22±0.89^{b}	5.89±0.99^{b}	30.16±6.02^{a}	4.13±0.33^{b}	4.38±2.82^{b}
	(E)-2-辛烯醛	2548-87-0	9.62±3.40^{b}	4.91±1.31^{b}	12.55±4.21^{b}	76.41±16.95^{a}	25.86±16.77^{b}	7.9±4.78^{b}
	4-氧代壬醛	74327-29-0	12.51±2.75^{a}	–	–	35.56±4.52^{a}	28.73±18.44^{a}	12.96±3.26^{a}
	苯甲醛	100-52-7	24.07±1.67^{bc}	22.29±7.84^{c}	35.07±1.60^{bc}	74.72±28.41^{a}	62.83±27.62^{ab}	45.87±15.40^{abc}
	庚醛	111-71-7	68.11±14.14^{b}	38.56±16.15^{b}	75.07±21.69^{b}	134.14±18.81^{a}	136.01±35.14^{a}	138.10±48.09^{a}
	己醛	66-25-1	1707.34±292.62^{b}	1356.70±327.79^{b}	2168.49±542.00^{b}	4179.52±1022.01^{a}	2676.32±680.42^{b}	1621±554.62^{b}
	壬醛	124-19-6	94.00±11.49^{b}	27.80±5.82^{b}	75.53±31.36^{b}	150.34±40.13^{b}	296.74±119.36^{a}	112.76±56.16^{b}
	辛醛	124-13-0	56.86±11.77^{bc}	25.94±7.13^{c}	68.58±24.23^{bc}	114.65±24.23^{ab}	134.05±43.68^{a}	76.98±32.98^{bc}
	戊醛	110-62-3	140.98±28.36^{c}	106.35±36.00^{c}	192.32±45.23^{bc}	356.54±68.57^{a}	288.1±76.94^{ab}	194.64±78.5^{bc}
酯类(5)	邻苯二甲酸二乙酯	84-66-2	103.03±16.39^{c}	122.81±23.43^{c}	156.91±14.68^{bc}	216.08±30.52^{b}	290.49±30.16^{a}	101.14±31.57^{c}
	乙酸乙酯	141-78-6	38.52±0.19^{b}	47.49±5.47^{b}	65.12±11.35^{b}	63.42±11.51^{b}	59.37±27.82^{b}	104.40±16.49^{a}
	甲酸辛酯	112-32-3	–	–	5.18±1.45^{b}	26.12±1.54^{a}	–	–
	正己酸乙烯酯	3050-69-9	437.68±88.78^{b}	160.72±35.30^{c}	309.61±26.78^{bc}	1077.46±145.35^{a}	433.83±85.06^{b}	506.97±154.64^{b}
	甲酸庚酯	112-23-2	13.18±2.13^{b}	–	–	–	–	21.60±2.34^{a}
酸类(2)	乙酸	64-19-7	–	1.70±0.27^{b}	4.37±0.43^{b}	17.11±2.39^{a}	3.56±0.61^{b}	5.28±2.49^{b}
	己酸	142-62-1	5.84±1.24^{d}	7.49±1.58^{cd}	13.28±2.03^{b}	37.93±4.45^{a}	13.06±1.36^{b}	11.18±4.27^{bc}
醇类(8)	1-庚醇	111-70-6	12.33±2.11^{c}	8.72±1.20^{c}	21.63±6.41^{b}	39.27±2.97^{a}	–	–
	1-己醇	111-27-3	10.68±1.90^{cd}	7.07±1.31^{d}	12.44±1.93^{c}	24.50±2.77^{a}	23.35±2.75^{a}	19.07±0.33^{b}
	1-辛烯-3-醇	3391-86-4	167.54±28.54^{d}	92.65±8.63^{e}	140.69±13.29^{d}	382.40±8.21^{a}	247.82±23.85^{c}	327.81±27.44^{b}
	1-戊醇	71-41-0	50.87±10.48^{c}	41.51±9.71^{c}	80.24±18.87^{bc}	141.68±26.52^{a}	113.14±33.69^{ab}	65.82±34.14^{bc}
	(E)-2-癸烯-1-醇	22104-80-9	2.59±0.27^{b}	–	–	11.15±2.66^{a}	8.92±0.40^{a}	–
	2-甲基-3-辛醇	26533-34-6	6.01±0.95^{de}	3.97±1.84^{e}	10.34±3.60^{d}	47.46±1.79^{a}	36.77±2.75^{b}	15.77±2.06^{c}
	乙醇	64-17-5	425.95±57.57^{c}	298.19±63.28^{d}	542.48±45.61^{b}	681.00±26.30^{a}	689.70±64.49^{a}	537.27±58.20^{b}
	1-辛醇	111-87-5	5.97±1.24^{b}	3.37±0.62^{b}	–	–	29.86±12.41^{a}	–
烃类(9)	4,6-二甲基十二烷	61141-72-8	2.74±0.80^{b}	3.22±0.30^{b}	4.23±0.80^{b}	9.82±0.70^{a}	3.54±0.89^{b}	–
	十三烷	629-50-5	8.39±3.03^{b}	9.66±2.19^{b}	15.64±0.26^{a}	–	–	–
	十四烷	629-59-4	3.14±1.54^{b}	–	–	–	24.35±0.83^{a}	–
	十五烷	629-62-9	3.65±0.76^{b}	3.52±0.66^{b}	15.48±2.44^{a}	–	–	–
	十六烷	544-76-3	2.25±0.75^{b}	2.86±0.60^{b}	11.49±2.37^{a}	13.88±3.84^{a}	–	–
	8-甲基十七烷	13287-23-5	0.63±0.20^{b}	1.48±0.32^{b}	1.37±0.39^{b}	6.64±2.29^{a}	–	–
	3,5-二甲基辛烷	15869-93-9	9.20±3.81^{b}	10.79±1.39^{b}	15.64±0.26^{b}	45.13±5.48^{a}	51.54±3.99^{a}	–
	(Z)-3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	61142-36-7	13.06±2.36^{b}	5.88±0.27^{b}	15.49±5.99^{b}	41.59±10.66^{a}	–	13.82±5.97^{b}
酮类(5)	5-癸炔	1942-46-7	–	10.72±0.35^{c}	16.61±2.08^{b}	11.28±0.27^{bc}	40.80±3.94^{a}	15.26±3.16^{bc}
	3,4-二甲基-2-己酮	19550-10-8	9.76±0.52^{a}	14.98±1.84^{a}	16.36±5.29^{a}	20.57±6.57^{a}	–	–
	1-羟基-2-丙酮	116-09-6	–	2.12±0.90^{c}	11.68±0.39^{a}	6.05±1.16^{b}	–	–
	1-辛烯-3-酮	4312-99-6	2.85±1.16^{b}	1.74±0.45^{b}	7.89±0.17^{a}	–	–	–
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	110-93-0	1.76±0.54^{a}	1.35±0.41^{a}	1.50±0.33^{a}	–	2.67±0.21^{a}	2.10±1.37^{a}
萜烯(3)	乙偶姻	513-86-0	–	1.6±0.51	–	–		
	桉叶油素	470-82-6	2.51±0.51^{c}	2.37±0.69^{c}	4.17±0.54^{bc}	5.33±0.93^{b}	9.52±0.76^{a}	6.04±1.71^{b}
	D-柠檬烯	7705-14-8	3.01±0.77^{c}	3.46±1.15^{c}	10.59±1.67^{b}	16.39±5.11^{ab}	19.78±5.56^{a}	–
	异龙脑	124-76-5	–	1.56±0.66	–	–	–	–
其他(3)	2-戊基呋喃	3777-69-3	20.08±0.26^{cd}	9.42±0.86^{d}	14.23±2.23^{cd}	62.90±5.57^{a}	23.79±3.75^{c}	38.58±13.33^{b}
	甲氧基-苯基-肟	3235-04-9	10.08±3.87^{bc}	7.52±1.35^{c}	12.85±0.93^{bc}	28.85±3.16^{a}	14.43±3.16^{b}	9.71±2.36^{bc}
	甲苯	108-88-3	3.08±1.37^{c}	4.50±1.49^{bc}	5.23±0.22^{bc}	12.53±1.37^{a}	13.65±0.26^{a}	6.01±0.62^{b}

注: “–”表示未检测到。

化反应或 Strecker 降解反应产生, 能够带来青草、花果和蘑菇等特有的香味[48]。炖鸡肉样品中检测出 8 种醇类物质, DSHQ-3、DSHQ-4 和 DSHQ-5 的总醇类含量显著高于 CON 组(P<0.05), 其中 1-辛烯-3-醇是由亚油酸氧化降解形成的产物, 具有类似蘑菇和青草的香气, DSHQ-3 组 1-辛烯-3-醇的含量显著高于 CON(P<0.05), 这增强了 DSHQ-3 组鸡肉的香味, 使风味更加浓郁[42]。

表 3　炖鸡肉中 OAV>1 的挥发性香气成分

Table 3　Volatile aroma components in chicken with an OAV greater than 1

成分	香气描述[55−57]	阈值（μg/kg）[51,58−59]	OAV					
			CON	DSHQ-1	DSHQ-2	DSHQ-3	DSHQ-4	DSHQ-5
(E)-2-辛烯醛	脂肪、水果、草、绿色、香料	3.21	1.64	4.18	25.47	8.62	2.63	3.21
苯甲醛	水果	3.5	6.88	6.37	10.02	21.35	17.95	13.11
庚醛	柑橘味、青瓜香	2.8	24.32	13.77	26.81	47.91	48.58	49.32
己醛	脂肪味	5	341.47	271.34	433.70	835.90	535.26	324.20
壬醛	花香、柠檬香	1.1	85.45	25.28	68.66	136.68	269.77	102.51
辛醛	柑橘香	0.7	81.23	37.06	97.97	163.79	191.51	109.98
戊醛	辛辣	100	1.41	1.06	1.92	3.57	2.88	1.95
1-辛烯-3-醇	蘑菇香、青草香	0.002	83770.00	46325.00	70345.00	191200.00	123910.00	163905.00
1-戊醇	香醋味	2.54	20.03	16.34	31.59	55.78	44.54	25.91
桉叶油素	草药味	0.021	119.52	112.86	198.57	253.81	453.33	287.62
D-柠檬烯	橙子香、柠檬香	0.06	50.17	57.67	176.50	273.17	329.67	-
2-戊基呋喃	黄油、花香、水果、绿豆	3.46	1.62	2.45	10.84	4.10	6.65	3.46

萜烯类物质主要来源于加工过程中所使用的香料，对鸡肉的香气组成具有重要作用[49]。本研究中，炖鸡肉鉴定出的萜烯类为桉叶油素、D-柠檬烯和异龙脑，分别赋予炖鸡肉独特的清凉香气、柑橘香气和樟脑香气，并略带薄荷和松木气息[50−51]。DSHQ-1、DSHQ-2、DSHQ-3、DSHQ-4 和 DSHQ-5 组炖鸡肉中的萜烯类含量分别较 CON 组高 1.34、2.67、3.93、5.31 和 1.09 倍，这是因为党参和黄芪的萜烯类物质含量丰富，长时间的炖煮使这些物质更好的迁移至鸡肉中，赋予产品新鲜感[50,52]。Qiang 等[45] 研究也得到相似的结论，发现丁香中的萜烯类化合物具有高气味活性值和风味稀释因子，能够为炖牛肉提供丁香、草本、茴香和花香，丰富和改善了炖牛肉的香气。呋喃类化合物具有果香和草药香等自然清香，主要通过美拉德反应以及氨基酸和硫胺素的热分解反应生成，是评估热加工食品香气特征的潜在指标，通常它们的含量低，但由于较低的阈值，会对风味产生显著影响[53]。2-戊基呋喃由亚油酸氧化裂解产生，所有组均检测到该物质，含量范围为 9.42~62.90 μg/kg。

当挥发性风味物质的 OAV>1 时，被认为该物质可以对样品的整体风味产生重要影响。由表 3 可知，鸡肉样品中共有 12 种挥发性香气成分的 OAV>1，包括 7 种醛类（(E)-2-辛烯醛、苯甲醛、庚醛、己醛、壬醛、辛醛、戊醛），2 种醇类（1-辛烯-3-醇、1-戊醇），2 种萜烯类（桉叶油素、D-柠檬烯）和 2-戊基呋喃，这些物质是党参和黄芪炖鸡肉的关键香气化合物。在这些成分中，己醛、桉叶油素和 1-辛烯-3-醇的 OAV 较高，表明对炖鸡肉的香气贡献较大，呈现脂肪味、青草味、蘑菇味等香味[54]。

3　结论

本研究探讨了不同添加量的党参和黄芪对炖鸡肉的品质、感官评价、活性成分、滋味物质和挥发性香气成分的影响。结果表明，党参和黄芪添加组鸡肉的 L^* 值较 CON 组降低；DSHQ-1 组核苷酸含量最高，嫩度最好；DSHQ-5 组水分含量、感官品质、黄酮和总游离氨基酸含量最高。本研究鉴定出 45 种挥发性香气成分，包括 10 种醛类、5 种酯类、2 种酸类、8 种醇类、9 种烃类、5 种酮类、3 种萜烯类及 3 种其他类，其中醛类、醇类和酯类是炖鸡肉中最主要的挥发性香气成分，党参和黄芪的添加能提高桉叶油素、D-柠檬烯和异龙脑等萜烯类物质的含量，赋予炖鸡肉独特的清凉香气、柑橘香气和樟脑香气，有效增强了鸡肉风味的层次感和丰富度。本研究进一步鉴定出 12 种 OAV>1 的特征挥发性香气成分，其中己醛、桉叶油素和 1-辛烯-3-醇的 OAV 较高，呈现油脂香、青草味和蘑菇味等香味。综上，本研究证明了党参和黄芪对炖鸡品质具有积极作用，可为鸡肉和药食同源物质深加工的应用提供研究参考。

© The Author(s) 2026. 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］ 刘欣，赵改名，柳艳霞，等. 肉桂块和肉桂粉对卤鸡腿肉挥发性风味成分影响的比较[J]. 食品科学，2013，34(14)：223−226. ［LIU Xin, ZHAO Gaiming, LIU Yanxia, et al. Effects of cinnamon pieces and powder on volatile flavor components of stewed chicken leg[J]. Food Science, 2013, 34(14): 223−226.］

［2］ CHENG Y Q, WANG D, ZHANG C J, et al. The impact of sous vide braising on the sensory characteristics and heterocyclic amines contents of braised chicken[J]. LWT, 2022, 172: 114176.

［3］ 张磊，曹佩，包汇慧，等. 我国食药物质的管理政策及产业应用概述[J]. 食品科学技术学报，2025，43(5)：26−33. ［ZHANG Lei, CAO Pei, BAO Huihui, et al. Overview of regulation policies and industrial applications of food and medicinal substances in China[J]. Journal of Food Science and Technolog, 2025, 43(5): 26−33.］

［4］ TENG H, XIAO H, LI X, et al. Recent advances in the anti-aging effects of natural polysaccharides: Sources, structural characterization, action mechanisms and structure-activity relationships[J]. Trends in Food Science and Technology, 2025: 160.

［5］ 郭琼琼. 党参挥发性成分分析及特殊香气研究[D]. 太原：山

西医科大学, 2016. [GUO Qiangqiang. Analysis of volatile components and special aroma in freshroots of *Codonopsises*[D]. Taiyuan: Shanxi Medical University, 2016.]
[6] 徐怀德, 周瑶, 雷霆. 鲜黄芪和干黄芪挥发性化学成分比较分析[J]. 食品科学, 2011, 32(10): 171−174. [XU Huaide, ZHOU Yao, LEI Ting. Volatile analysis in fresh and dried Astragali Radix[J]. Food Science, 2011, 32(10): 171−174.]
[7] SOHAIL A, AL-DALALI S, WANG J, et al. Aroma compounds identified in cooked meat: A review[J]. Food Research International, 2022, 157: 111385.
[8] 蒲慧娟, 张玉斌, 赵江平. 清汤药膳羊肉工艺优化及杀菌后品质控制[J]. 美食研究, 2024, 41(1): 45−52. [PU Huijuan, ZHANG Yubing, ZHAO Jiangping. Formulation optimization and quality control after sterilization of mutton in clear soup and medicinal die[J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture, 2024, 41(1): 45−52.]
[9] TIAN H X, ZHANG Y J, CHEN C, et al. Effects of natural ingredients on the shelf life of chicken seasoning[J]. Food Chemistry, 2019, 293: 120−126.
[10] YUAN S, XU C, XIA J, et al. Extraction of polysaccharides from *Codonopsis pilosula* by fermentation with response surface methodology[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(12): 6660−6669.
[11] 朱玲, 游新侠, 胡航伟. 模糊数学评价结合响应面法优化黄芪党参保健米酒发酵工艺及抗氧化性[J]. 中国酿造, 2024, 43(4): 224−230. [ZHU Ling, YOU, Xinxia, HU Hangwei. Optimization of fermentation technology andantioxidant activity of *Astragalus memeranaceus* and *Codonopsis pilosula* health rice wine by fuzzymathematics evaluation and response surface method[J]. China Brewing, 2024, 43(4): 224−230.]
[12] WU J, ZHOU J, YAO L, et al. Effects of goji bud tea on bioactive compounds, myofibrillar protein characteristics, and flavor quality in stewed chicken[J]. LWT, 2025, 233: 118523.
[13] MENG X, WANG J Q, WANG F, et al. Moisture content of tea dhool for the scenting process affects the aroma quality and volatile compounds of osmanthus black tea[J]. Food Chemistry, 2024, 438: 138051.
[14] LI Y, YU H, ZHAO Z, et al. Gel properties of sheep's hoof gelatin-dietary polysaccharide interpenetrating polymer network complex gels with application in low fat lamb patties[J]. Food Chemistry, 2025, 468: 142427.
[15] LIU X M, LIU Y, SHAN C H, et al. Effects of five extraction methods on total content, composition, and stability of flavonoids in jujube[J]. Food Chemistry: X, 2022, 14: 100287.
[16] YIN M, MATSUOKA R, YANAGISAWA T, et al. Effect of different drying methods on free amino acid and flavor nucleotides of scallop (patinopecten yessoensis) adductor muscle[J]. Food Chemistry, 2022, 396: 133620.
[17] FU C, WENG J, LUO F, et al. Elucidating cooking-driven flavor dynamics of paddy field carp (*Cyprinus carpio*) using a combination of E-nose, E-tongue, GC-MS and GC-IMS[J]. Food Chemistry, 2025, 494: 146207.
[18] KAN X, CHEN G, ZHOU W, et al. Application of protein-polysaccharide Maillard conjugates as emulsifiers: Source, preparation and functional properties[J]. Food Research International, 2021, 150: 110740.
[19] WU H, BAK K H, GORAN G V, et al. Inhibitory mechanisms of polyphenols on heme protein-mediated lipid oxidation in muscle food: New insights and advances[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2024, 64(15): 4921−4939.
[20] ZHANG Z, MIAO J, WANG L, et al. Assessing the effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on the formation of heat-induced myofibrillar protein gels[J]. Food Chemistry Advances, 2025, 7: 100950.
[21] ZOU Y F, ZHANG Y Y, PAULSEN B S, et al. Prospects of *Codonopsis pilosula* polysaccharides: structural features and bioactivities diversity[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 103: 1−11.
[22] EINHORN-STOLL U. Pectin-water interactions in foods-From powder to gel[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 78: 109−119.
[23] LI K, REN Y, LI Y, et al. Gel properties and interaction mechanism of heat-induced lentinan-chicken myofibrillar protein [J]. Foods, 2025, 14(9): 1614.
[24] 郭琼琼, 李晶, 孙海峰, 等. 党参挥发性成分分析及其特殊香气研究[J]. 中药材, 2016, 39(9): 2005−2012. [GUO Qiongqiong, LI, Jin, SUN Haifeng, et al. Analysis of volatile components and special aroma in fresh roots of Codonopsis Radix[J]. Journal of Chinese medicinal maerials, 2016, 39(9): 2005−2012.]
[25] 李燕敏, 杨克玉, 孙洁雯, 等. SPME-GC-MS 分析不同产地干黄芪中挥发性风味成分[J]. 中国酿造, 2016, 35(5): 175−181. [LI Yanmin, YANG Keyu, SUN Jiewen, et al. Volatile compounds analysis of dried Astragali Radix from different areas by SPME-GC-MS[J]. China Brewing, 2016, 35(5): 175−181.]
[26] ZHANG N, LI J, HU Y, et al. Effects of astragalus polysaccharide on the immune response to foot-and-mouth disease vaccine in mice[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 82(3): 680−686.
[27] LIU Y X, SONG X M, DAN L W, et al. Astragali Radix: comprehensive review of its botany, phytochemistry, pharmacology and clinical application[J]. Archives of Pharmacal Research, 2024, 47(3): 165−218.
[28] 胡坤, 梁楷, 郎繁繁, 等. 保健食醋陈酿过程中功能成分、有机酸和抗氧化活性变化及其相关性分析[J]. 中国酿造, 2024, 43(12): 71−77. [HU Kun, LIANG Kai, LANG Fanfan, et al. Changes offunctional components, organic acid, antioxidant activity ofheathy vinegar during theaging and its correlation analysis[J]. China Brewing, 2024, 43(12): 71−77.]
[29] EGHBALIFERIZ S, IRANSHAHI M. Prooxidant activity of polyphenols, flavonoids, anthocyanins and carotenoids: Updated review of mechanisms and catalyzing metals[J]. Phytotherapy Research, 2016, 30(9): 1379−1391.
[30] GAO Y, DONG Y, GUO Q, et al. Study on supramolecules in traditional Chinese medicine decoction[J]. Molecules, 2022, 27(10): 3268.
[31] PANAKKAL E J, TANTAYOTAI P, ADEDIRAN A A, et al. Chemical profiles of herbal compress and their persistence affected by steaming and storage time[J]. Journal of Chemistry, 2021(1): 2743855.
[32] CHEN S K, WANG X, GUO Y Q, et al. Exploring the partial degradation of polysaccharides: Structure, mechanism, bioactivities, and perspectives[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2023, 22(6): 4831−4870.
[33] DING Y, CHENG R, LI Y, et al. Effects of stir-frying on chemical profile, sensory quality and antioxidant activity of Chrysanthemi Flos: A metabolomics and sensory study[J]. Food Research International, 2025, 200: 115391.
[34] WANG M, LI Y, LIU Q, et al. Ameliorating the stability of native/thermally denatured chicken-derived myofibrillar proteins particles in an aqueous system: The synergistic effect of acidifica-

tion combined with inulin and inulin/sodium alginate[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253: 127383.
[35] CHAI J, XU X, ZHAO X. Effects of polysaccharides on the solubilization of myofibrillar protein in aqueous solution: A comparative study[J]. Food Hydrocolloids, 2025, 164: 111193.
[36] BABU A, SHAMS R, DASH K K, et al. Protein-polysaccharide complexes and conjugates: Structural modifications and interactions under diverse treatments[J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2024, 18: 101510.
[37] KE C, LI L. Influence mechanism of polysaccharides induced Maillard reaction on plant proteins structure and functional properties: A review[J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 302: 120430.
[38] LIOE H N, APRIYANTONO A, TAKARA K, et al. Umami taste enhancement of MSG/NaCl mixtures by subthreshold L-*α*-aromatic amino acids[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(7): s401−s405.
[39] WU S, MENG Z, YUE Z, et al. Effects of addition of *Clitocybe* squamulose on nutrients and formation of micro-nanoparticles in Chinese three-yellow chicken soup[J]. LWT, 2024, 191: 115593.
[40] XIA C, HE Y, CHENG S, et al. Free fatty acids responsible for characteristic aroma in various sauced-ducks[J]. Food Chemistry, 2021, 343: 128493.
[41] XU X, GAO F, YANG X, et al. Improvement in texture and flavor of prepared meat patties with natural marination ingredients [J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2025, 40: 101181.
[42] WANG L, ZHAO B, CHENG X, et al. Exploration on the stability changes and flavor profiles of duck soup during cooking [J]. LWT, 2024, 211: 116905.
[43] AL-DALALI S, LI C, XU B. Insight into the effect of frozen storage on the changes in volatile aldehydes and alcohols of marinated roasted beef meat: Potential mechanisms of their formation [J]. Food Chemistry, 2022, 385: 132629.
[44] HUSSAIN S, REHMAN R, MUSHTAQ A, et al. Clove: A review of a precious species with multiple uses[J]. International Journal of Chemical and Biochemical Sciences, 2017, 11: 129−133.
[45] QIANG Y, WANG J, JIANG W, et al. Insights into the flavor endowment of aroma-active compounds in cloves (*Syzygium aromaticum*) to stewed beef[J]. Food Chemistry, 2025, 462: 140704.
[46] ZHAO C C, EUN J B. Shotgun metagenomics approach reveals the bacterial community and metabolic pathways in commercial hongeo product, a traditional Korean fermented skate product [J]. Food Research International, 2020, 131: 109030.
[47] ZHAO J, WANG M, XIE J, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig[J]. Food Chemistry, 2017, 226: 51−60.
[48] ZHANG M, CHEN X, HAYAT K, et al. Characterization of odor-active compounds of chicken broth and improved flavor by thermal modulation in electrical stewpots[J]. Food Research International, 2018, 109: 72−81.
[49] SUN X, YU Y, SALEH A S M, et al. Characterization of aroma profiles of chinese four most famous traditional red-cooked chickens using GC-MS, GC-IMS, and E-nose[J]. Food Research International, 2023, 173: 113335.
[50] HUANG L, HO C T, WANG Y. Biosynthetic pathways and metabolic engineering of spice flavors[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 61(12): 2047−2060.
[51] 王秋婷, 李泽林, 桂海佳, 等. 虎掌菌的酶解工艺优化及酶解前后风味成分的对比分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 308−320. [WANG Qiuting, LI Zelin, GUI Haijia, et al. Optimization of enzymolysis of sarcodon aspratus and comparative analysis of its flavor components before and after enzymatic hydrolysis[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 308−320.]
[52] ZHU N, CUI X, LENG F, et al. Volatile organic compounds from medicinal plant Codonopsis Radix: unraveling rhizoplane microbiome interactions for accumulation of active components[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2025, 222: 109688.
[53] MERLO T C, LORENZO J M, SALDAÑA E, et al. Relationship between volatile organic compounds, free amino acids, and sensory profile of smoked bacon[J]. Meat Science, 2021, 181: 108596.
[54] LEI W, CUI Z, HU W, et al. Characterization and comparison of flavor compounds in different specialty chicken meat after stewing[J]. Food Chemistry: X, 2025, 28: 102589.
[55] 那治国, 安宇桐, 于博洋, 等. 基于 GC-IMS 和 GC-MS 的发酵玉米粉挥发性风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(24): 343−354. [NA Zhiguo, AN Yutong, YU Boyang, et al. GC-IMS and GC-MS analysis of volatile flavor components of fermented corn flour[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(24): 343−354.]
[56] 林阳, 张馨月, 李晓磊, 等. 基于电子鼻和离子迁移谱分析三种烤鱼片挥发性风味化合物[J]. 食品工业科技, 2025, 46(24): 291−301. [LIN Yang, ZHANG Xinyue, LI Xiaolei, et al. Analysis of volatile flavor compounds in three types of baked fish fillets using an electronic nose combined with GC-IMS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(24): 291−301.]
[57] 樊美琪, 杨芳, 贾洪锋, 等. 基于 GC-MS 探究郫县豆瓣和豆豉对盐煎肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 274−283. [PAN Meiqi, YANG Fang, JIA Hongfeng, et al. Effects of Pixian Douban and Douchi on the volatile flavor compounds of fried pork with salted pepper based on GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 274−283.]
[58] PAN Q, SHAO X, XIAO Q, et al. Revealing the flavor changes of spiced beef under different thermal treatment temperatures: a complementary approach with GC-IMS and GC-O-MS[J]. Food Chemistry, 2025, 473: 143074.
[59] 范霖澳, 陈婷茹, 陈继承, 等. 嫩芽海带在冻干汤块加工过程中挥发性风味物质变化[J]. 食品工业科技, 2026, 47(4): 324−336. [FAN Linao, CHEN Tingru, CHEN Jicheng, et al. Changes in volatile flavor compounds of tender kelp during the processing of freeze-dried soup cubes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(4): 324−336.]