崔瑞彤, 赵元寿, 魏文利, 等. 鲜黄芪采后低温贮藏中的品质变化规律 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(7): 377−385. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025040129

CUI Ruitong, ZHAO Yuanshou, WEI Wenli, et al. Quality Change Rule of Fresh *Radix Astragali* during Postharvest Storage at Low Temperature Condition[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(7): 377−385. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025040129

· 贮运保鲜 ·

鲜黄芪采后低温贮藏中的品质变化规律

崔瑞彤[1], 赵元寿[2], 魏文利[1], 李　倩[1], 王　千[1], 徐晓斌[1], 于　琦[3], 李永才[1], 毕　阳[1], 朱　艳[1,*]

（1.甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃兰州 730070;
2.兰州市工业研究院食品工业研究所, 甘肃兰州 730000;
3.甘肃农业大学信息科学技术学院, 甘肃兰州 730070）

摘　要: 目的：探讨鲜黄芪在 4 ℃ 低温避光条件下的贮藏特性及其品质变化规律。方法：测定鲜黄芪在 4 ℃ 低温贮藏期间的生理、品质、抗氧化和酸败指标，并结合感官评价及腐烂指标解析鲜黄芪的低温贮藏特性与品质变化规律。结果：鲜黄芪在 0~60 d 的低温贮藏过程中，水分含量逐渐降低，由 57.92% 下降至 48.19%；呼吸强度在 15 d 时达到峰值 15.17 CO_2 mg·kg^{-1}·h^{-1}，后续逐渐降低，呈现先升后降趋势；质量损失率逐渐增加，至贮后 60 d 约为 9.76%。低温贮藏 0~30 d 鲜黄芪品质维持稳定，贮藏 30~60 d 感官品质和 b^* 显著下降（P<0.05），表现为色泽褐变及质地软化，贮后 60 d 鲜黄芪切面的 b^* 较初始降低 33.07%。总黄酮含量在贮藏前 15 d 略有上升，达到峰值（0.56 mg/g），随后显著下降（P<0.05），至 60 d 降至 0.34 mg/g。毛蕊异黄酮含量持续下降，60 d 降至 0.0175 mg/g。DPPH、$ABTS^+$ 及羟自由基清除能力在 15 d 达到峰值，贮后 60 d 时分别降低了 54.81%、17.5% 和 23.40%。超氧阴离子含量显著上升（P<0.05），至 60 d 时升至 3.92 μmol/g，酸价和过氧化值随时间升高，至 60 d 分别达 39.36 mg/g 和 4.86%，后期氧化严重，品质显著劣变。随着低温贮藏时间的延长，鲜黄芪的腐烂率和病情指数呈显著上升趋势（P<0.05），30 d 后出现霉变，在贮后 45 d 及 60 d 时腐烂率分别达到 8.83% 和 12.57%，病情指数为 7.34% 和 10.59%。结论：鲜黄芪在 4 ℃ 低温避光条件下贮藏 30 d 内可较好地保持感官品质与生物活性，黄酮类成分、抗氧化能力及代谢状态相对稳定；贮藏超过 30 d 后，腐烂逐渐加重，品质快速劣变，产品的抗氧化能力降低。该研究结果为鲜黄芪采后贮藏保鲜和品质控制提供理论参考。

关键词: 鲜黄芪, 低温贮藏, 品质

中图分类号: TS205.7　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)07−0377−09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025040129

本文网刊:

Quality Change Rule of Fresh *Radix Astragali* during Postharvest Storage at Low Temperature Condition

CUI Ruitong[1], ZHAO Yuanshou[2], WEI Wenli[1], LI Qian[1], WANG Qian[1], XU Xiaobin[1], YU Qi[3], LI Yongcai[1], BI Yang[1], ZHU Yan[1,*]

（1.College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;
2.Institute of Food Industry, Lanzhou Institute of Industry, Lanzhou 730000, China;
3.College of Information Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China）

Abstract: Objective: To investigate the storage characteristics and quality evolution of fresh *Radix Astragali* under low-temperature of 4 ℃ and dark storage conditions. Methods: The storage characteristics and quality changes of fresh *Radix Astragali* at 4 ℃ were analyzed by monitoring its physiological parameters and storage quality during storage. Results: The moisture content of fresh *Radix Astragali* decreased from 57.92% to 48.19%, accompanied by a steady increase in weight loss, which reached 9.76% at 60 days. Respiration intensity showed a rise-then-fall trend, peaking at 15 days (15.17 CO_2

收稿日期: 2025−04−11

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目（23JRRA1464;24JRRA643）;兰州市科技计划项目（2023-3-107;2024-4-12）。

作者简介: 崔瑞彤（2000−）, 女, 硕士研究生, 研究方向: 采后生物学与技术, E-mail: cui_ruitong@163.com。

*** 通信作者:** 朱艳（1977−）, 女, 博士, 教授, 研究方向: 采后生物学与技术, E-mail: zhuy@gsau.edu.cn。

mg·kg^{-1}·h^{-1}), indicating active metabolism in the early storage stage. In the initial 30 days, overall quality remained stable; however, in the later period, sensory quality and b^* value declined significantly (P<0.05), with surface browning and texture softening. The b^* value of the cross-section decreased by 33.07% at 60 days compared to 0 day. Total flavonoid content slightly increased initially, peaking at 0.56 mg/g at 15 days, then declined markedly to 0.34 mg/g by 60 days (P<0.05). Calycosin content continuously decreased, reaching 0.0175 mg/g at 60 days. Antioxidant capacities (DPPH, ABTS$^+$, and hydroxyl radical scavenging) also peaked at 15 days, but dropped by 54.81%, 17.5%, and 23.40%, respectively, at 60 days. Superoxide anion content increased significantly (P<0.05), reaching 3.92 μmol/g by 60 days. Both acid value and peroxide value increased over time, reaching 39.36 mg/g and 4.86% at 60 days, reflecting severe oxidative deterioration. With prolonged storage, decay rate and disease index increased notably. Mold appeared after 30 days, with decay rates of 8.83% and 12.57%, and disease indices of 7.34% and 10.59% at 45 and 60 days, respectively. Conclusion: A storage duration of up to 30 days at 4 ℃ under dark conditions was found to effectively preserve the sensory quality and biological activity of fresh *Radix Astragali*, with flavonoid levels, antioxidant capacity, and metabolic status remaining relatively stable. Beyond this period, decay became progressively severe, accompanied by a rapid decline in overall quality and antioxidant function. This study provides a theoretical foundation for optimizing postharvest storage strategies and quality control of fresh *Radix Astragali*.

Key words: fresh *Radix Astragali*; low temperature storage; quality

黄芪(*Radix Astragali*)为豆科植物蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao 或膜荚黄芪 *A. membranaceus* (Fisch.) Bge.的干燥根[1],是传统中药材和药食同源食物的重要原料[2]。作为温带地区重要药用植物,黄芪广泛分布于欧洲、亚洲及北美洲[3]。在我国,甘肃省凭借其独特的地理环境和生态气候条件,成为黄芪的道地核心产区。黄芪富含多种生物活性营养成分,包括黄芪多糖、皂苷、黄酮类化合物及生物碱等,是重要的食品药品加工原料,黄芪及黄芪制品均具有抗氧化、抗炎、免疫调节和抗肿瘤等多种药理活性,在医药和食品领域具有广泛的应用价值[4−6]。

在生产中,黄芪的采收期集中在每年秋季[7],采收后的鲜黄芪含水量约为 60%~70%,鲜黄芪采后新陈代谢旺盛,极易出现生物活性成分转化或降解、氧化酸败、霉变腐烂等多种采后问题,不利于长期贮藏[8]。大量的鲜黄芪采收后主要通过干制、炒制和蜜炙等方法加工制备中药材[9],这些炮制过程导致鲜黄芪生物活性成分的转化和损失[10]。相比之下,鲜黄芪能更好地保留活性成分和生物利用度,是开发功能性食品和特医食品的优质原料[11]。焦广睿等[12] 发现新鲜黄芪在阴干过程中的毛蕊异黄酮、毛蕊异黄酮-7-O-β-葡萄糖苷、黄芪甲苷和黄芪皂苷Ⅱ及总酚含量均呈现出先升高后降低的变化趋势,自由基清除力和抑制脂质过氧化的能力在阴干初期均显著升高,后期缓慢降低。一般情况下,鲜黄芪适宜贮藏的条件是低温的环境,刘全亮等[13] 对黄芪在不同贮藏方式下的感官品质、水分含量、黄芪甲苷含量和毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量进行测定,发现低温贮藏更有利于保证黄芪品质和有效成分的含量。Deng 等[14] 发现低温下有利于黄芪根部活性成分积累,范国忠等[15] 的研究表明低温有利于维持鲜黄芪较好的硬度和色泽等品质特性,且 4~5 ℃ 可作为鲜黄芪采后贮藏的最佳温度。Zhang 等[16] 发现黄芪在采后贮藏期间易受到 *Fusarium solani*、*Botrytis cinerea* 以及 *Penicillium oxalicum* 等病原菌的侵染导致根腐病、灰霉病和青霉病,这些病害降低了原料的食用品质和加工安全性。然而,对鲜黄芪采后低温条件下的贮藏特性和品质变化规律还鲜有系统的研究。

因此,本文以新鲜黄芪为试材,研究其在低温避光贮藏条件下(4±0.5 ℃, RH 85%~95%)60 d 贮藏期内的生理指标、贮藏品质、活性成分、抗氧化能力等的变化规律,明确其低温贮藏特性,研究结果以期为鲜黄芪的低温贮藏保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜的黄芪 于 2024 年 12 月采自黄芪道地产地甘肃省陇西市岷县,样品于 3 d 内通过物流运至实验室,初始含水量为 55%~60%;无水乙醇 分析纯,天津市博华通化工产品销售有限公司;Tris-HCl 缓冲液、过硫酸钾、酚酞、氢氧化钾、碘化钾、硫代硫酸钠、磷酸盐缓冲液 分析纯,北京普西唐生物科技有限公司;标准品芦丁、抗坏血酸 色谱纯,北京普西唐生物科技有限公司;羟自由基清除能力测定试剂盒(YX-W-A505)、超氧阴离子含量检测试剂盒(YX-W-A407) 北京普西唐生物科技有限公司。

AWL-1002-M 去离子水发生器 美国艾科浦国际有限公司;AE224 分析天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;5PX-30085H-II 恒温培养箱 上海新苗医疗器械制造有限公司;SY-1055 呼吸测定仪 石家庄世亚科技有限公司;SB-5200DTD 超声波清洗机 宁波新芝生物科技股份有限公司;HSY-26 水浴锅 上海跃进医疗器械有限公司;CM-700d 色差仪 柯尼卡美能达上海有限公司;GS-YC001-G 切片机 广州狮牌电子科技有限公司;UV-6000 紫外分光光度计 上海元析有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 采后处理与贮藏 鲜黄芪剪除芦头及须根,清

水冲洗，去除根表泥土、杂质及其他潜在污染物，自然晾干表面水分后，使用切片机将其根均匀切割为厚度 10 cm 的长段，将样品随机分装于食品级 PP 塑料盒（17 cm×12 cm×4 cm）中，每盒 10 根，密封后置于 4 ℃ 恒温冷库贮藏待用（RH 85%~95%）。

1.2.2　水分含量　参照《中华人民共和国药典（2020 年版）》水分测定法（烘干法）[17]，每 15 d 测定一次黄芪的水分含量。

1.2.3　呼吸强度　参照马朝玲等[18] 的方法，每 15 d 测定黄芪样品的呼吸强度，采用体积为 1 L 的密闭容器，按下式计算呼吸强度：

$$\text{呼吸强度} = \frac{\Delta C \times V \times 1.96}{m \times t}$$

式中：ΔC，测定前后 CO_2 的浓度差值，mg/m^3；V，测量容器体积，m^3；m，样本质量，kg；t，测定时间，h。

1.2.4　质量损失率　每 15 d 称量黄芪质量，按下式计算质量损失率：

$$\text{质量损失率}(\%) = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100$$

式中：W_0 为贮藏初期样品质量，g；W_t 为贮藏至时间点 t 的样品质量，g。

1.2.5　黄芪品质的感官评价　参照马捷等[19] 的方法。由 10 名专业人员组成评价小组，每隔 15 d 随机选取 20 根鲜黄芪样品，参照表 1 标准对黄芪进行感官评价。每次评价前，评价小组成员独立对样品进行评分。为避免主观偏差，评价过程中采用盲样测试，样品编号随机排列。

1.2.6　黄芪 b^* 的测定　采用色差计定期测定样品 b^*。将鲜黄芪样品制备成 2.0±0.2 cm 均匀薄片，探头垂直紧贴黄芪切面，每个位点重复测定 3 次，取平均值作为结果。

1.2.7　黄芪总黄酮的提取及测定　参照岳慧英等[20] 的方法并略作修改，采用超声波辅助乙醇提取法提取黄芪总黄酮。

黄芪样品的制备：每 15 d 随机取 10 根黄芪样品，液氮速冻后研磨成粉（60 目），−80 ℃ 保存备用。

黄芪提取液的制备：称取 5.00 g 黄芪粉末，加入 100 mL 70% 乙醇溶液，混匀后在 60 ℃ 条件下，以 120 W 功率进行超声提取 40 min。抽滤后，将滤液于 45 ℃ 下减压浓缩至 10 mL，得到总黄酮粗提液。

以芦丁为标准品，建立标准曲线。称取芦丁标准品 0.01 g，用 70% 乙醇溶解并定容至 100 mL 棕色容量瓶，得到 0.1 mg/mL 的芦丁标准溶液。分别吸取 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 和 3.0 mL 芦丁标准溶液至 25 mL 容量瓶中，加 70% 乙醇定容至 5 mL，配制成 0.01~0.06 mg/mL 的系列标准溶液。分别取 1 mL 芦丁标准溶液，置于 20 mL 试管中，并加入 1 mL 5% $NaNO_2$ 溶液，静置 6 min 后，加入 1 mL 10% $AlCl_3$ 溶液，混合均匀后静置 6 min，加入 10 mL 4% NaOH 溶液，用蒸馏水定容至 25 mL，摇匀后避光静置 15 min。以质量浓度为横坐标，吸光度为纵坐标绘制标准曲线，测定其在 510 nm 的吸光度，得到标准曲线方程：y=0.2031x+0.0785，R^2=0.9995，结果表明吸光度与质量浓度线性关系良好。

取 1 mL 总黄酮提取液按前述方法测定溶液中总黄酮的浓度，按下式计算总黄酮含量：

$$\text{总黄酮含量} = \frac{C \times V}{m}$$

式中：C 为样品溶液中总黄酮的浓度，mg/mL；V 为提取液体积，mL；m 为样品质量，g。

1.2.8　黄芪毛蕊异黄酮含量测定　参照《中华人民共和国药典（2020 年版）》高效液相色谱法[17] 测定毛蕊异黄酮含量。

1.2.9　DPPH 自由基清除能力测定　参照袁菊丽等[21] 的方法并略作修改。

称取 0.1 g 的鲜黄芪样品，加入 0.025 mL 提取液，于 40 ℃ 水浴中浸提 30 min。室温下以 10000 r/min 离心 10 min，收集上清液。测定时，取 25 μL 上清液与 975 μL DPPH 工作液混合作为测定管，以 25 μL 上清液与 975 μL 无水乙醇混合作为对照管，以 25 μL 提取液与 975 μL DPPH 工作液混合作为空白管。所有反应体系于室温避光反应 30 min 后，在 515 nm 波长处测定吸光度，分别记录为 $A_{测定}$、$A_{对照}$ 和 $A_{空白}$。

以 Trolox 为标准品绘制标准曲线，将抗氧化能力量化为 Trolox 当量。样品清除 DPPH 自由基的能力以下列公式计算，最终结果以每克鲜重样品中所含的 Trolox 当量微摩尔数（μmol Trolox/g）表示。

$$\text{DPPH自由基清除能力}(\mu\text{mol Trolox/g}) = \frac{(A_{空白} - (A_{测定} - A_{对照})) + 0.0081}{0.7072} \times \frac{V_{总}}{V_{样}} \times \frac{1}{W} \times 1.414$$

表 1　感官评价标准

Table 1　Sensory evaluation criteria

评价标准	极好	好	中等	差	极差
外观	表皮完整，色泽金黄/淡棕，无病斑损伤	表皮基本完整，色泽正常，轻微表皮粗糙	局部轻微皱缩，少量斑点	明显病斑，褪色	严重霉变、腐烂
气味	浓郁豆腥味	明显豆腥味，无异味	气味清淡，略带土腥味	霉味或酸败味轻微可察觉	强烈霉味、腐臭
质地	脆嫩饱满，弯曲可回弹，不易折断	适度柔韧，弯曲有痕但不断	稍软或稍硬，弯曲易裂	松软或僵硬，轻压变形	软烂或干枯，无弹性
总体	无任何生理缺陷，适宜鲜用	样品基本无缺陷	样品质量可接受，有一定瑕疵	样品总体感觉差，存在明显的劣变	外观、气味、质地严重不佳，品质无法接受

式中: $A_{空白}$为空白管的吸光度; $A_{测定}$为测定管的吸光度; $A_{对照}$为对照管的吸光度; 0.0081 与 0.7072 分别为测定所用 Trolox 标准曲线的截距与斜率; $V_{总}$为样品提取液的总体积, mL; $V_{样}$为测定时所用的样品提取液体积, mL; W 为样品鲜重, g; 1.414 为测定所用 Trolox 标准曲线斜率的倒数。

1.2.10 ABTS$^+$自由基清除能力测定 参照孙宇等[22]的方法并略作修改。配制 ABTS 工作液: 将 7 mmol/L ABTS 溶液 20 mL 与 140 mmol/L $K_2S_2O_8$ 溶液 352 μL 混合, 室温避光静置过夜, 备用。取 50 μL 上清液(按 1.2.9 节方法制备)与 950 μL ABTS 工作液混合作为测定管, 取 50 μL 上清液与 950 μL 无水乙醇混合作为对照管, 取 50 μL 无水乙醇与 950 μL ABTS 工作液混合作为空白管。所有反应体系避光反应 6 min 后, 于 405 nm波长处测定吸光度, 分别记为 $A_{测定}$、$A_{对照}$和 $A_{空白}$。以Trolox 为标准品制作标准曲线, 方程为 y=0.4982x−0.3243, R^2=0.9981。样品清除 ABTS$^+$自由基的能力按下列公式计算, 最终结果以每克鲜重样品中 Trolox 的量表示, 即 μmol Trolox/g。

$$\text{ABTS}^+\text{自由基清除能力}(\mu\text{mol Trolox/g}) = \frac{(A_{空白}-(A_{测定}-A_{对照}))+0.3243}{0.4982}\times\frac{V_{总}}{V_{样}}\times\frac{1}{W}$$

1.2.11 羟自由基清除率测定 采用羟自由基清除能力测定试剂盒测定。

1.2.12 超氧阴离子水平的测定 采用超氧阴离子含量检测试剂盒测定。

1.2.13 酸价和过氧化值的测定 酸价和过氧化值的测定分别参照国家标准 GB 5009.229-2016[23] 和 GB 5009.227-2023[24]。

1.2.14 黄芪切段腐烂率和病情指数的测定 参照孙树杰等[25] 的方法, 每隔 15 d 观察其发病情况, 并计算病情指数和发病率, 按下式计算腐烂率和病情指数, 病情分级标准见表 2。

$$\text{腐烂率}(\%) = \frac{\text{腐烂黄芪数量}}{\text{总黄芪数量}}\times 100$$

$$\text{病情指数}(\%) = \frac{\sum(\text{各级病变黄芪}\times\text{该病级数})}{\text{总黄芪数}\times\text{最高病级数}}$$

表 2 病情分级标准

Table 2 Disease classification standard

病变分级	症状描述	程度
0	无病变	无病变
1	病变面积占黄芪总面积的1%~25%	轻度病变
2	病变面积占黄芪总面积的26%~50%	中度病变
3	病变面积占黄芪总面积的51%~75%	重度病变
4	病变面积占黄芪总面积的76%~100%	极重病变

1.3 数据处理

所有实验数据均重复测定 3 次, 采用单因素方差分析(P<0.05)和 Duncan 多重比较检验对数据进行统计分析。统计分析和数据处理使用 Excel 2020 和 SPSS 26 进行, 通过 Origin 2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 低温贮藏期间鲜黄芪的水分含量、呼吸强度和质量损失率的变化

鲜黄芪的水分含量在贮藏期间呈显著下降趋势(P<0.05)。0~45 d 内, 水分含量由 57.92% 逐渐降至 53.64%; 而 45~60 d 期间下降速率显著加快, 由 53.64% 快速降低至 48.19%, 较 0 d 时降幅达 16.80%(图 1A)。植物类中药材通过呼吸作用维持生命活动的基本代谢过程, 可能导致水分及内部活性成分的持续消耗。如图 1B 所示, 贮藏期间黄芪样品的呼吸强度呈现显著的先升高后降低趋势(P<0.05)。初始(0 d)呼吸强度为 11.36 CO_2 mg·kg^{-1}·h^{-1}, 至 15 d 时

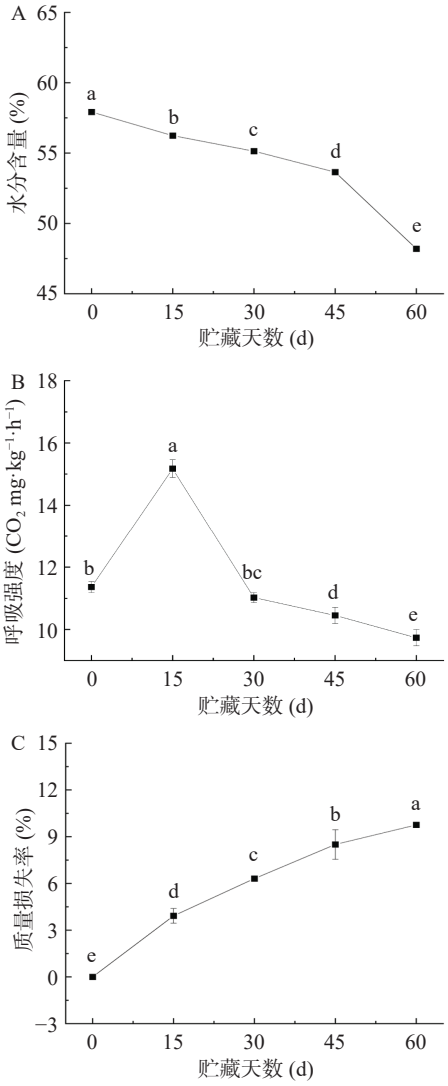


图 1 鲜黄芪采后低温贮藏过程中水分含量(A)、呼吸强度(B)和质量损失率(C)的变化

Fig.1 Changes of moisture content (A), respiration intensity (B) and weight loss rate (C) of fresh *Radix Astragali* during postharvest storage at low temperature condition

注: 误差线代表标准偏差, 不同小写字母代表数据间具有显著差异(P<0.05), 图 2~图 6 同。

显著升高至峰值 15.17 CO_2 mg·kg^{-1}·h^{-1}，随后持续下降，在 30、45 和 60 d 时分别降至 11.02、10.45 和 9.73 CO_2 mg·kg^{-1}·h^{-1}。在贮藏过程中，鲜黄芪的质量损失率逐渐显著增加（P<0.05），在低温贮藏的 0~15 d 期间显著上升至 3.92%，随着贮藏时间延长，质量损失持续加剧，贮藏 30、45 和 60 d 后分别达到 6.31%、8.50% 和 9.76%（图 1C）。鲜黄芪采后的质量损失主要由水分蒸腾与呼吸作用造成的干物质消耗共同作用。其中，水分含量的下降主要源于表皮气孔未完全关闭及持续蒸腾引起。贮藏初期，细胞壁多糖在水解酶的作用下分解生成可溶性糖类，为呼吸提供底物，促使呼吸速率上升，加快代谢进程并增强水分挥发，进而加剧质量损耗。随着可溶性糖逐步耗竭及低温对酶活性的抑制，呼吸强度随之下降[26]。

以上结果说明，贮藏前 30 d 鲜黄芪水分缓慢流失，质量损失平缓降低，呼吸强度变化幅度大，45 d 后水分快速流失，质量损失加剧，呼吸强度持续减弱，表明鲜黄芪在贮藏前期（0~30 d）尚能维持相对稳定的生理状态，而后期（45~60 d）组织代谢衰退，保水能力显著下降，导致品质加速劣变。

2.2　低温贮藏期间鲜黄芪的感官品质指标

感官品质可反映食品直观特征的关键指标，包括色泽、气味与质地等。鲜黄芪在贮藏初期（0~15 d）保持良好感官品质，表现为色泽鲜亮、气味纯正、质地致密（图 2A）。随着贮藏时间延长，其品质显著下降，30 d 时出现色泽变暗、轻微异味及质地疏松等现象；至贮藏后期（45~60 d），劣变程度加剧，表现为明显褐变、异味加重及质地软化。结果与 Kim 等[27] 报道的鲜人参贮藏品质变化规律一致，即初期品质稳定而后期劣变速率显著加快。b^*代表黄蓝度，是评价鲜黄芪品质的重要指标，直接影响其商品价值。b^*值越大，样品的颜色越黄。鲜黄芪切面的 b^*在贮藏期间呈显著下降的趋势（P<0.05），在贮藏第 0 d 时达到最大峰值 31.18，至 30 d 时显著降至 22.26（P<0.05），60 d 降至 20.87，较 0 d 降低了 33.07%（图 2B）。b^*的下降可能是由于黄芪中的色素物质（如黄酮类化合物）的氧化或降解导致，水分的流失、挥发性风味物质的变化是导致黄芪品质下降的主要因素。鲜黄芪在贮藏前 30 d 的感官品质相对稳定，表明该阶段的鲜黄芪仍具良好商品性，而 30 d 后色泽、风味和质地等方面进一步劣变。

2.3　低温贮藏期间鲜黄芪的黄酮类化合物含量

如图 3A 所示，在 0~15 d 期间总黄酮含量升高，达到最大峰值 0.56 mg/g，随着贮藏时间的延长，总黄酮含量呈下降趋势，60 d 时显著降至 0.34 mg/g（P<0.05），较 0 d 降低了 30.6%。鲜黄芪在 4 ℃ 贮藏期间，毛蕊异黄酮含量呈现逐渐下降的趋势。0 d 毛蕊异黄酮的含量为 0.0250 mg/g，随后在贮藏 15 d 进一步降至 0.0228 mg/g，在 60 d 降至 0.0175 mg/g（图 3B）。在贮藏初期，总黄酮含量的增加可能与植物的自我保护机制相关，如对储存环境中的氧化应激的响应。随着贮藏时间的延长，黄酮类化合物发生氧

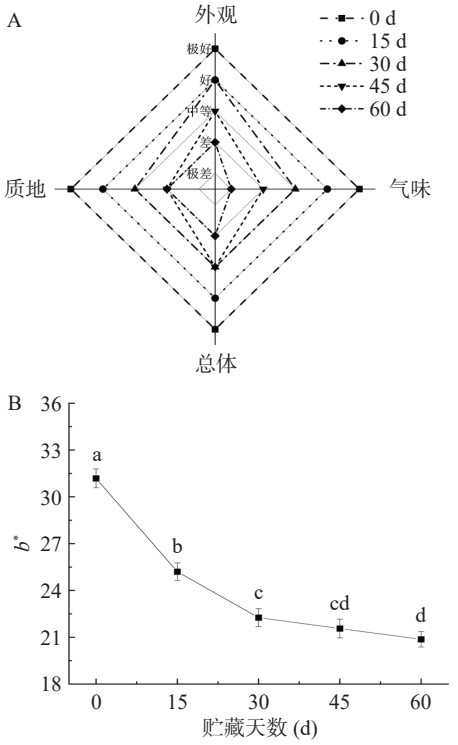


图 2　鲜黄芪采后低温贮藏过程中感官评价（A）和 b^*（B）的变化

Fig.2　Changes of sensory evaluation (A) and b^* value (B) of fresh *Radix Astragali* during postharvest storage at low temperature condition

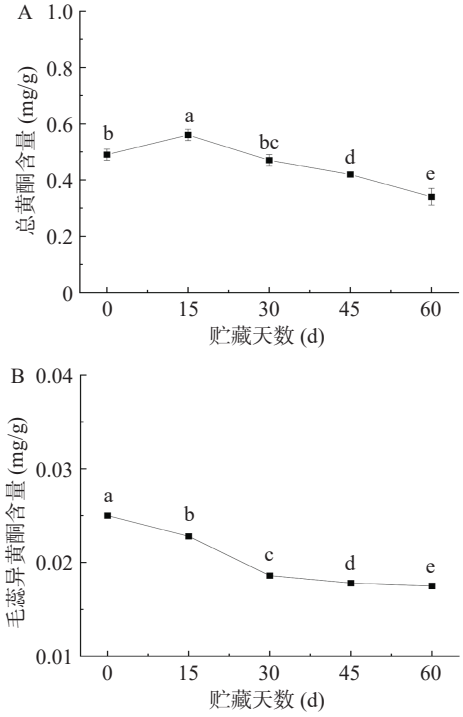


图 3　鲜黄芪采后低温贮藏过程中总黄酮含量（A）和毛蕊异黄酮含量（B）的变化

Fig.3　Changes of total flavonoid content (A) and calycosin content (B) of fresh *Radix Astragali* during postharvest storage at low temperature condition

化降解、酶促反应，转化为其他代谢产物，其含量逐渐减少[28]。黄酮类化合物在贮藏后期的显著降解不仅影响黄芪的活性成分，也进一步限制了贮藏周期。

2.4 低温贮藏期间鲜黄芪的抗氧化活性

DPPH 自由基清除能力越强表明抗氧化化合物提供电子或氢的能力越高，从而将自由基转化为更稳定的种类，$ABTS^+$自由基清除率可以反映抗氧化物质的总抗氧化能力，羟自由基是活性氧中反应性最强的一种自由基，能对生物大分子（如脂质、蛋白质、DNA）造成严重氧化损伤[29]。采用 DPPH、$ABTS^+$及羟自由基清除能力评价鲜黄芪的抗氧化活性，结果显示其变化趋势与总黄酮含量高度一致，均呈现先升高后降低的规律，其中，0 d 时 DPPH 自由基清除能力为 1.018 μmol Trolox/g，15 d 时升至峰值 1.06 μmol Trolox/g，随后逐渐下降，60 d 时降至 0.46 μmol Trolox/g，较 0 d 降低了 54.81%（图 4A）；$ABTS^+$自由基清除能力也在 15 d 时达到峰值 10.44 μmol Trolox/g，60 d 下降至 8.61 μmol Trolox/g，较 15 d 降低了 17.5%（图 4B）；0~15 d 羟自由基清除能力从 56.18% 升至 57.26%，贮藏 60 d 后时降至 43.04%，较 0 d 降幅为 23.40%（图 4C）。贮藏 0~15 d 可能鲜黄芪的抗氧化活性维持在较高水平，随着贮藏时间延长，酶促和非酶促氧化以及微生物作用可能导致黄芪中的抗氧化物质如黄酮类化合物等的降解和损失[30]，使产品的抗氧化能力显著下降。因此，鲜黄芪在采后低温贮藏 30 d 内，可维持较高水平的抗氧化生物活性功能。

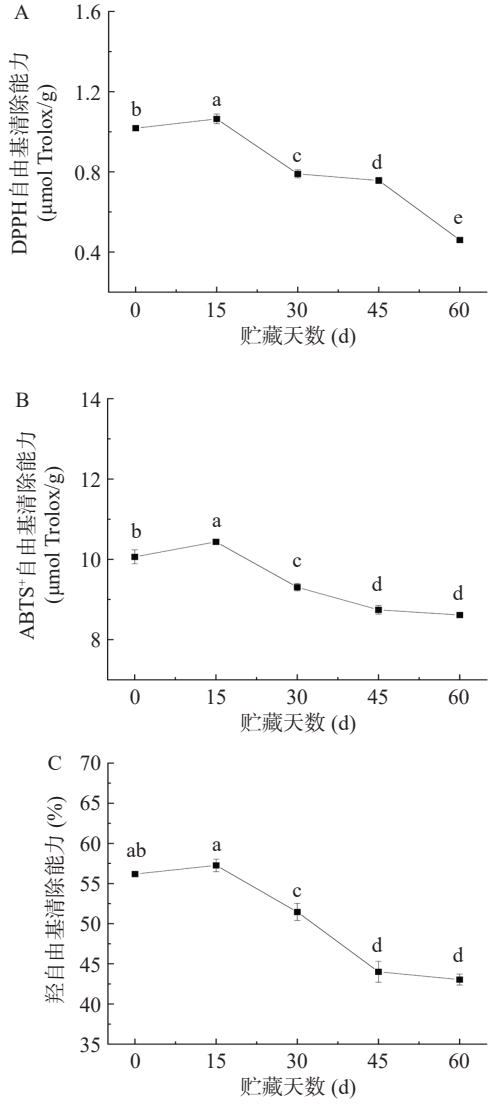


图 4 鲜黄芪采后低温贮藏过程中 DPPH 自由基清除能力（A）、$ABTS^+$自由基清除能力（B）和羟自由基清除能力（C）的变化

Fig.4 Changes of DPPH free radical scavenging ability (A), $ABTS^+$ free radical scavenging ability (B) and hydroxyl radical scavenging ability (C) of fresh *Radix Astragali* during postharvest storage at low temperature condition

2.5 低温贮藏期间鲜黄芪的超氧阴离子含量、酸价和过氧化值

超氧阴离子（$O_2^{-}\cdot$）是植物活性氧的重要组成，其含量变化可反映氧化胁迫程度及品质劣变进程。适量 $O_2^{-}\cdot$可作为信号因子，然而，过量则诱发膜脂过氧

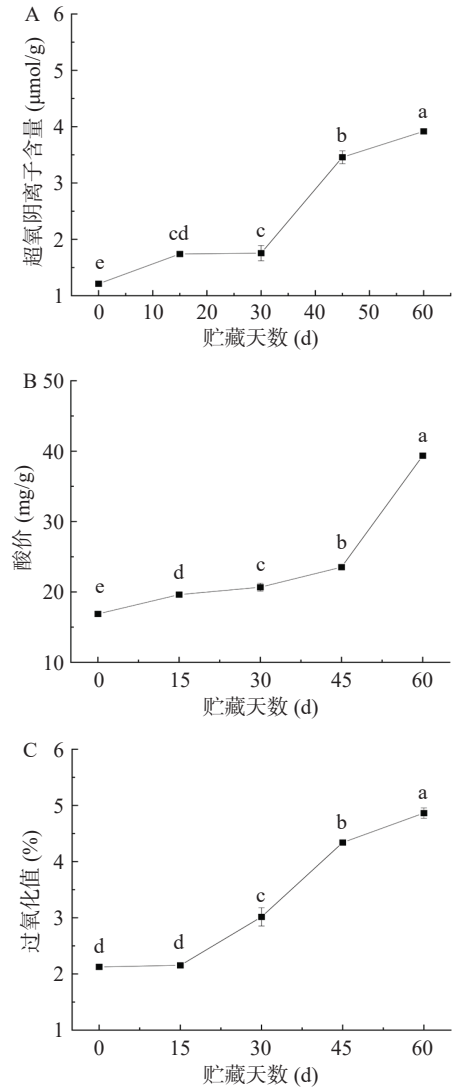


图 5 鲜黄芪采后低温贮藏过程中超氧阴离子含量（A）、酸价（B）和过氧化值（C）的变化

Fig.5 Changes of superoxide anion content (A), acid value (B) and peroxide value (C) of fresh *Radix Astragali* during postharvest storage at low temperature condition

化与组织的氧化损伤，加速产品的品质下降，故可作为评价贮藏期间黄芪氧化状态的重要指标。贮藏 0~30 d 期间，超氧阴离子含量缓慢上升，30 d 后增速显著加快（P<0.05），至 60 d 时达到 3.92 μmol/g，较 30 d 时上升了 41.2%（图 5A）。黄芪贮藏不当极易发生“走油”、虫蛀、发霉、气味散失等变质现象，严重影响其品质[31]。“走油”现象主要与脂质成分的氧化密切相关，酸价和过氧化值是衡量脂肪氧化程度的重要指标。在贮藏期间酸价和过氧化值呈现显著的上升趋势（P<0.05），0~45 d 时酸价从 16.88 mg/g 上升至 23.53 mg/g，60 d 快速上升至 39.36 mg/g（图 5B）；贮藏 0~15 d 过氧化值上升趋势缓慢，之后快速上升，至贮后第 60 d 上升至 4.86%（图 5C）。以上结果表明，鲜黄芪在贮藏 45 d 后可能发生酸败，可能导致脂质氧化，出现“走油”品质劣变的可能性增加[32]。

2.6　低温贮藏期间鲜黄芪的腐烂率与病情指数

鲜黄芪在贮藏过程中病情指数和腐烂率在 P<0.05 水平下呈现显著上升趋势。在贮藏初期（0~15 d）无腐烂现象，色泽鲜亮，在贮藏 30 d 时，根部表面可观察到霉状物，腐烂率和病情指数分别约为 4.55% 和 2.57%，之后呈显著上升趋势（P<0.05），至贮后 45 d 和 60 d，黄芪的腐烂率分别升高至 8.83% 和 12.57%（图 6A），病情指数分别升高至 7.34% 和 10.59%（图 6B），颜色加深，出现部分霉斑，贮藏后期部分黄芪发病严重。对霉变部位进行病原物的分离和纯化，对病原物进行形态学观察，均为青霉属（*Penicillium* spp.）病原物的污染（结果未报道），后续将通过 ITS 序列分析进行菌种的分子鉴定。在贮藏前 30 d 内，样品未出现腐烂现象，色泽良好，病情指数和腐烂率较低，维持在可接受范围。但自第 30 d 起，黄芪根部开始出现霉变迹象，腐烂率和病情指数呈显著上升（P<0.05），至第 45~60 d 腐烂现象明显加剧，品质迅速下降。研究结果表明，鲜黄芪在低温避光条件下的安全贮藏期为不超过 30 d。

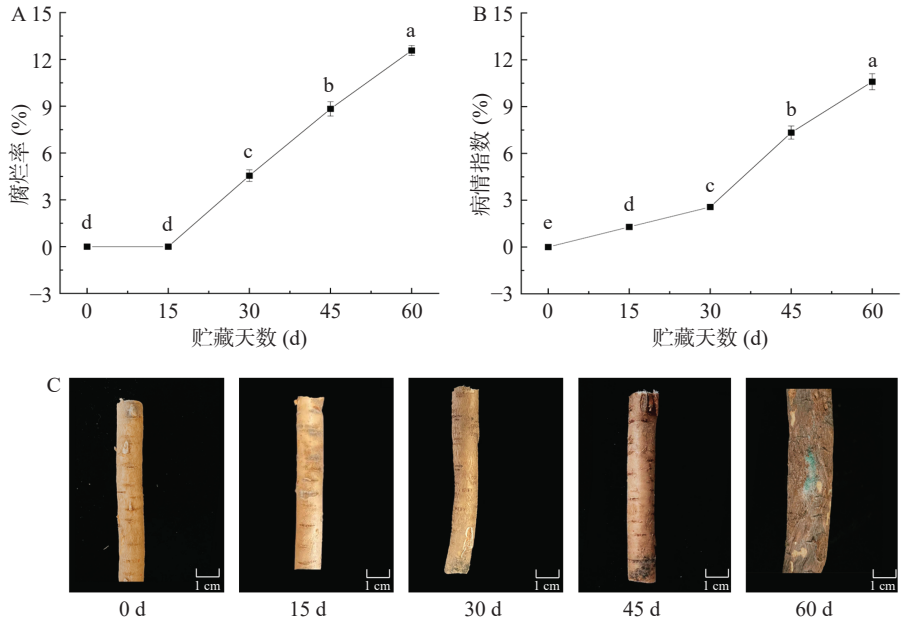


图 6　鲜黄芪采后低温贮藏过程中腐烂率（A）、病情指数（B）的变化及在不同贮藏时间（0、15、30、45、60 d）的外观（C）

Fig.6　Changes of decay rate (A), disease index (B) and the visual appearance (C) at different storage time (0, 15, 30, 45, 60 d) during postharvest low temperature storage of fresh *Radix Astragali*

3　讨论

黄芪作为药食同源的中药材，近年来受到广泛关注。相较于干制品，鲜黄芪能够更有效地保留其中的生物活性成分，如多糖、黄酮类及其他次生代谢物。然而，由于鲜黄芪水分含量高，在贮藏过程中易发生氧化褐变、组织软化及微生物侵染等现象，严重影响其贮藏品质与安全期。有研究表明，鲜黄芪在贮藏过程中易发生霉变和品质劣变，采后的货架期一般不超过 30 d[33]，在此后质量损耗、可溶性浸出物及多糖含量变化较大。本研究结果表明，在 4 ℃ 低温避光贮藏前 30 d，鲜黄芪在感官表现、b^*及活性成分等方面相对稳定。贮藏 30~60 d，色泽褐变、水分减少、组织软化，呼吸强度下降，同时黄酮类物质含量下降，自由基清除能力减弱，脂质氧化和腐烂加剧，表明鲜黄芪在贮藏过程中由稳定状态转向品质快速劣变阶段。

质量损失率、水分含量与呼吸强度的变化说明鲜黄芪贮藏过程中发生了品质劣变。贮藏 0~15 d，鲜黄芪的呼吸强度升高，导致干物质和水分消耗加快，质量损失显著增加；贮藏后期其呼吸强度下降，水分流失加剧，尤其在 45~60 d 时降幅显著，细胞膜结构可能已受损，失去正常的保水能力。感官品质的降低也与生理指标的下降密切相关。黄酮类物质是黄芪中重要的生物活性分子，主要有黄酮类、异黄酮类、黄酮醇类、查耳酮类，均已被证明在抗氧化方面表现出显著效果[34−35]，主要通过清除活性氧自由基和

螯合金属离子等机制发挥作用。毛蕊异黄酮是黄芪中代表性的异黄酮类成分，具有显著的抗氧化和抗炎活性，在贮藏过程中易受温湿度及氧气的影响发生降解或转化[36]。其苷类形式中酚羟基的存在，使其能够直接清除自由基，从而赋予其较强的抗氧化能力。已有研究表明，黄酮类物质在贮藏过程中易发生氧化降解，尤其是在高湿度或氧气暴露条件下，其降解速度加快，导致抗氧化能力减弱。鲜黄芪在贮藏初期（0~15 d）总黄酮含量升高，可能是黄芪应激激活苯丙烷代谢通路，短暂促进黄酮合成。这一现象与张娜等[37]对鲜人参的相关研究结果相符。贮藏后期由于氧化降解和酶促反应的增强，黄芪中的黄酮类化合物逐渐减少，抗氧化能力明显下降，说明抗氧化能力的显著衰退与黄酮类物质的降解密切相关。超氧阴离子（$O_2^{-}\cdot$）是脂质氧化的前期标志物，其含量的增加反映了氧化应激的增强。在 4 ℃ 低温贮藏条件下，鲜黄芪中 $O_2^{-}\cdot$ 含量呈显著上升趋势，表明氧化应激加剧，自由基积累导致脂质氧化反应增强[38]。酸价反映脂质水解过程中生成的游离脂肪酸，而过氧化值则表明脂质初级氧化产物（如过氧化物）的积累。在低温贮藏（4 ℃）条件下，鲜黄芪的 $O_2^{-}\cdot$ 含量、酸价和过氧化值均呈现显著上升趋势。贮藏过程中 $O_2^{-}\cdot$ 含量的增加是脂质氧化的前期表现，氧化应激导致自由基积累，从而引发脂质氧化和酸价、过氧化值的上升。研究表明，随着贮藏时间延长，抗氧化物质的减少会加速脂质过氧化[39]。黄芪抗氧化能力的下降，过氧化值和酸价升高，进一步加剧黄芪的品质劣变。贮藏初期，鲜黄芪未观察到明显腐烂现象，腐烂率和病情指数均较低，然而，随着贮藏时间延长，鲜黄芪含水量高，随着生理代谢的改变，营养物质消耗，抗菌等生物活性物质含量降低等原因，使其防御病原微生物的能力逐渐减弱，腐烂和霉变随之逐渐加重。至贮藏 45 d，样品表面出现明显霉变，经形态学的初步观察确定为青霉属（*Penicillium* spp.）病原菌的污染（结果未报道），青霉属的微生物是黄芪等药材中常见的霉菌，能在低温下生长，菌丝扩展，导致组织变质、腐烂和活性成分的降解[8]，使鲜黄芪品质快速劣变，贮藏性能下降。

4 结论

鲜黄芪在 4 ℃ 低温避光贮藏 30 d 内，鲜黄芪的感官品质保持较好，黄酮类活性成分和抗氧化能力相对稳定。30 d 后，质量损失和水分含量流失加剧，黄酮类化合物含量及抗氧化指标明显下降，超氧阴离子含量、酸价和过氧化值指标快速增加，品质劣变、腐烂率和病情指数显著上升，腐烂加剧。本研究为鲜黄芪采后的低温贮藏提供理论参考。

© 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] ZHENG Y J, REN W Y, ZHANG L N, et al. A review of the pharmacological action of *Astragalus* polysaccharide[J]. Frontiers in Pharmacology, 2020, 11: 349.

[2] 田雨, 丁艳平, 邵宝平, 等. 黄芪等药食同源类中药作为功能性食品与肠道菌群的相互作用[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(11): 2486−2492. [TIAN Y, DING Y P, SHAO B P, et al. Interaction between homologous functional food *Astragali Radix* and intestinal flora[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(11): 2486−2492.]

[3] SALEHI B, CARNEIRO J N P, ROCHA J E, et al. *Astragalus* species: Insights on its chemical composition toward pharmacological applications[J]. Phytotherapy Research, 2021, 35(5): 2445−2476.

[4] DONG M Y, LI J J, YANG D L, et al. Biosynthesis and pharmacological activities of flavonoids, triterpene saponins and polysaccharides derived from *Astragalus membranaceus*[J]. Molecules, 2023, 28(13): 5018.

[5] FU J, WANG Z H, HUANG L F, et al. Review of the botanical characteristics, phytochemistry, and pharmacology of *Astragalus membranaceus* (Huangqi)[J]. Phytotherapy Research, 2014, 28(9): 1275−1283.

[6] 袁红, 张淑芳, 贾绍辉, 等. 黄芪生物活性及其在保健食品中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 330−334. [YUAN H, ZHANG S F, JIA S H, et al. Progress in application and biological activity of *Radix Astragali* in health foods[J]. Food Science, 2014, 35(15): 330−334.]

[7] 柯英, 张守宗. 黄芪的栽培及采收加工技术[J]. 宁夏农林科技, 2009, 50(6): 186, 120. [KE Y, ZHANG S Z. Cultivation, harvesting and processing techniques of *Astragalus membranaceus*[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2009, 50(6): 186, 120.]

[8] 蒋坤豪, 席继慧, 王若星, 等. 新鲜黄芪采后贮藏期间典型根腐病病原菌的分离鉴定及其生物学特性分析[J/OL]. 甘肃农业大学学报, 1-19[2025-04-08]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.S.20250407.1051.004.html. [JIANG K H, XI J H, WANG R X, et al. Isolation, identification and biological characteristics analysis of root rot of fresh *Astragalus* during postharvest storage [J/OL]. Journal of Gansu Agricultural University, 1–19[2025-04-08]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.S.20250407.1051.004.html.]

[9] 邵长鑫, 林欢欢, 靳晓杰, 等. 黄芪的炮制历史沿革及现代研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(15): 5057−5074. [SHAO C X, LIN H H, JIN X J, et al. Historical evolution and modern research progress of *Astragali Radix* processing[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(15): 5057−5074.]

[10] 李春晓, 张兵, 李红艳. 炮制对药食同源植物功能成分和活性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(24): 7867−7874. [LI C X, ZHANG B, LI H Y. Effects of processing on functional components and activities of medicinal and edible homologous plants[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(24): 7867−7874.]

[11] 郑尧, 雷蕾, 艾娇, 等. 人参鲜药干制/复水过程水分状态与化学成分变化规律研究[J]. 中草药, 2019, 50(14): 3302−3312. [ZHENG Y, LEI L, AI J, et al. Change of moisture transformation and chemical constituents in drying/rehydration process of fresh Chinese medicines (ginseng)[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2019, 50(14): 3302−3312.]

[12] 焦广睿, 周国军, 李焱, 等. 阴干过程中黄芪活性成分和抗氧化能力的增长与下降趋势[J]. 安徽医药, 2013, 17(9): 1473−1477. [JIAO G R, ZHOU G J, LI Y, et al. Dynamic changes of chemical components and antioxidant activities during drying process in the shade[J]. Anhui Medical and Pharmaceutical Journal, 2013, 17(9): 1473−1477.]

[13] 刘全亮, 董力薇, 李珍妮, 等. 不同贮藏方式对黄芪品质及有效成分的影响[J]. 农业技术与装备, 2025(1): 145−147. [LIU Q L, DONG L W, LI Z N, et al. Effects of different storage methods on

the quality and effective components of *Astragalus membranaceus* [J]. Agricultural Technology & Equipment, 2025(1): 145−147.]
[14] DENG D Q, FAN J, CAO L, et al. Effect of low-temperature stress on secondary metabolism of *Astragalus membranaceus* Bge. var. *mongolicus* Hsiao[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2024, 71(4): 105.
[15] 范国忠, 师希雄, 冯毓琴, 等. 温度对新鲜黄芪抗氧化能力及贮藏品质的影响[J/OL]. 甘肃农业大学学报, 1−13[2025-01-19]. https://link.cnki.net/urlid/62.1055.S.20240428.1018.019. [FAN G Z, SHI X X, FENG Y Q, et al. Effect of temperature on antioxidant capacity and storage quality of fresh *Astragalus membranaceus* [J/OL]. Journal of Gansu Agricultural University, 1−13 [2025-01-19]. https://link.cnki.net/urlid/62.1055.S.20240428.1018.019.]
[16] ZHANG Y, NAN M N, XUE H L, et al. Isolating, identifying, and analyzing the biological characteristics of pathogens causing postharvest disease in fresh *Radix Astragali*[J]. Horticulturae, 2023, 9(9): 1019.
[17] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-三部: 2020 年版[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020. [National Pharmacopoeia Committee. People's Republic of China (PRC) pharmacopoeia-part III: 2020 edition[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020.]
[18] 马朝玲, 毕阳, 张忠, 等. '香水梨'和'嘉宝梨'后熟期间呼吸强度及品质指标的变化及其比较[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 299−303. [MA C L, BI Y, ZHANG Z, et al. Comparative changes in respiration rate and quality parameters of 'Xiangshui' and 'garber' pears during postharvest ripening[J]. Food Science, 2016, 37(16): 299−303.]
[19] 马捷, 胡慧敏, 孙琰, 等. 壳聚糖涂膜对鲜切哈密瓜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(24): 346−349,375. [MA J, HU H M, SUN Y, et al. Effect of chitosan coating on quality of fresh-cut Hami melons[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(24): 346−349,375.]
[20] 岳慧英, 秦亚莉, 李鹏, 等. 黄芪不同部位黄酮含量及抗氧化活性比较研究[J]. 中药材, 2020, 43(12): 2901−2904. [YUE H Y, QIN Y L, LI P, et al. Comparison of the flavonoids contents and antioxidant activities in different parts of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2020, 43(12): 2901−2904.]
[21] 袁菊丽, 刘东玲, 黄钰芳. 超声提取红芪总黄酮工艺及其抗氧化活性的研究[J]. 中兽医医药杂志, 2019, 38(2): 53−56. [YUAN J L, LIU D L, HUANG Y F. Study on ultrasonic extraction process of total flavonoids from *Radix Hedysari* and its antioxidant activity[J]. Journal of Traditional Chinese Veterinary Medicine, 2019, 38(2): 53−56.]
[22] 孙宇, 陈雪, 唐守祥, 等. 黄芪中主要成分含量测定及其抗氧化活性研究[J]. 化学试剂, 2023, 45(12): 90−97. [SUN Y, CHEN X, TANG S X, et al. Determination of the main components of *Astragalus membranaceus* and evaluation of their antioxidant activity[J]. Chemical Reagents, 2023, 45(12): 90−97.]
[23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中酸价的测定: GB 5009.229-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard determination of acid value in food: GB 5009.229-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.]
[24] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定: GB 5009.227-2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023. [National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard determination of peroxide value in foods: GB 5009.227-2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.]
[25] 孙树杰, 韩晓洁, 李文香, 等. 甘草、高良姜及其复合提取液对菠菜保鲜效果的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(5): 537−542. [SUN S J, HAN X J, LI W X, et al. Effects of licorice or hance ginger and its complex extract on the fresh-keeping of spinach[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2012, 31(5): 537−542.]
[26] HASAN M U, SINGH Z, SHAH H M S, et al. Water loss: A postharvest quality marker in apple storage[J]. Food and Bioprocess Technology, 2024, 17(8): 2155−2180.
[27] KIM H S, KIM G H, KIM D M. Effect of low storage temperature on quality of fresh ginseng[J]. Korean Journal of Food Preservation, 2011, 18(4): 459−466.
[28] SPEISKY H, SHAHIDI F, de CAMARGO A C, et al. Revisiting the oxidation of flavonoids: Loss, conservation or enhancement of their antioxidant properties[J]. Antioxidants, 2022, 11(1): 133.
[29] LIM S, CHOI A H, KWON M, et al. Evaluation of antioxidant activities of various solvent extract from *Sargassum serratifolium* and its major antioxidant components[J]. Food Chemistry, 2019, 278: 178−184.
[30] CHANPUT W, KRUEYOS N, RITTHIRUANGDEJ P. Antioxidative assays as markers for anti-inflammatory activity of flavonoids[J]. International Immunopharmacology, 2016, 40: 170−175.
[31] 程云霞, 刘伟, 王凯, 等. 中药材贮藏过程中"走油"变质的影响因素品质评价及其机制研究进展[J]. 中国现代中药, 2022, 24(6): 1134−1138. [CHENG Y X, LIU W, WANG K, et al. Research advances in influencing factors, quality evaluation, and mechanisms of rancidness of Chinese medicinal materials during storage[J]. Modern Chinese Medicine, 2022, 24(6): 1134−1138.]
[32] 杨磊, 朱青, 曹臣. 中药材储藏过程中的质量变化及其影响因素[J]. 湖南中医杂志, 2012, 28(6): 95−97. [YANG L, ZHU Q, CAO C. Quality changes of Chinese herbal medicines during storage and its influencing factors[J]. Hunan Journal of Traditional Chinese Medicine, 2012, 28(6): 95−97.]
[33] 王俊英, 郭凤霞, 陈垣, 等. 不同包装储藏法对黄芪品质和保质期的影响[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(16): 2031−2033. [WANG J Y, GUO F X, CHEN Y, et al. Effects of different packaging and storage on quality and shelf life of *Radix Astragali*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2009, 34(16): 2031−2033.]
[34] XIAO J B. Dietary flavonoid aglycones and their glycosides: Which show better biological significance?[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(9): 1874−1905.
[35] LI S B, TIAN Y F, JIANG P, et al. Recent advances in the application of metabolomics for food safety control and food quality analyses[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 61(9): 1448−1469.
[36] GONG G W, ZHENG Y Z, YANG Y, et al. Pharmaceutical values of calycosin: One type of flavonoid isolated from *Astragalus*[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2021, 2021(1): 9952578.
[37] 张娜, 黄鑫, 越皓, 等. 鲜人参贮藏时间对其加工炮制品皂苷类成分的影响[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(3): 592−596. [ZHANG N, HUANG X, YUE H, et al. Study on storage time effects of fresh ginseng on ginsenosides in its processed products[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2021, 32(3): 592−596.]
[38] LU X Q, QIN S, LI J D, et al. Radical scavenging capability and mechanism of three isoflavonoids extracted from *Radix Astragali*: A theoretical study[J]. Molecules, 2023, 28(13): 5039.
[39] 孙丽琴, 孙立君, 郑刚. 不同的存放条件对油脂酸价和过氧化值的影响[J]. 粮油仓储科技通讯, 2007, 23(2): 45−46. [SUN L Q, SUN L J, ZHENG G. Effects of different storage conditions on acid value and peroxide value of oils and fats[J]. Chemical Engineering Management, 2007, 23(2): 45−46.]