

金银花色泽变化及其调控机制的研究进展

苏明艳^{1,2,3}, 王 晓^{1,2,3*}, 李 涛^{1,2}, 卢 恒^{1,2}, 耿岩玲^{1,2}, 李恩霞^{1,2}, 韩鹏杰^{1,2*}

1. 齐鲁工业大学(山东省科学院)山东省分析测试中心, 天然产物分离提取共性技术创新与应用山东省工程研究中心, 山东 济南 250014
2. 齐鲁工业大学(山东省科学院)药学院, 山东省高等学校天然药物活性成分研究重点实验室, 山东 济南 250014
3. 山东中医药大学药学院, 山东 济南 250014

摘 要: 金银花 *Lonicerae Japonicae Flos* 作为大宗常用中药材之一, 具有清热解毒、疏散风热的功效, 亦具有药食两用的特性。金银花因其较高的药用、食用和经济价值而被广泛用于临床、食品健康及化妆品等方面, 使得金银花市场需求旺盛。然而金银花在加工、贮藏过程中易发生褐变, 褐变不仅使金银花外观呈现黄褐色, 影响消费者感官, 还使其有效成分含量下降, 影响其活性。因此, 研究金银花的色变机制及控制技术, 对保持金银花原有色泽和活性成分、选择合适的加工方式、延长贮藏时间及提高消费者满意度等具有重要意义。通过对金银花生长发育、加工及贮藏过程中颜色变化的物质变化规律、控制技术进行综述, 为金银花色泽变化机制及控制技术的深入研究和应用发展提供参考。

关键词: 金银花; 褐变; 物质变化; 色变机制; 酶促褐变; 控制技术

中图分类号: R28 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2025)16-6039-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.16.031

Research progress on mechanism of *Lonicerae Japonicae Flos* color change and control

SU Mingyan^{1,2,3}, WANG Xiao^{1,2,3}, LI Tao^{1,2}, LU Heng^{1,2}, GENG Yanling^{1,2}, LI Enxia^{1,2}, HAN Pengjie^{1,2}

1. Shandong Engineering Research Center for Innovation and Application of General Technology for Separation of Natural Products, Shandong Analysis and Test Center, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250014, China
2. Key Laboratory for Natural Active Pharmaceutical Constituents Research in Universities of Shandong Province, School of Pharmaceutical Sciences, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250014, China
3. School of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250014, China

Abstract: Jinyinhua (*Lonicerae Japonicae Flos*), as a commonly used traditional Chinese medicine, has significant pharmacological properties including heat-clearing, detoxification, and wind-heat dispersion effects. It also has the characteristic of being both medicinal and edible. Its substantial medicinal potential, nutritional value, and commercial viability have facilitated extensive utilization across clinical therapeutics, functional food production, and cosmetic formulations. This has led to a strong demand for *Lonicerae Japonicae Flos* in the market. However, *Lonicerae Japonicae Flos* is prone to browning during postharvest processing and storage, which not only results in undesirable yellow-brown discoloration, diminishing consumer appeal, but also reduces bioactive compounds, thereby compromising therapeutic efficacy. Therefore, investigating the color change mechanism and control technology of *Lonicerae Japonicae Flos* is of great significance for maintaining its original color and bioactive compounds, selecting appropriate processing methods, extending storage time, and improving consumer satisfaction. Secondary metabolites change, the mechanism of color change and control technology during the growth and development, processing and storage on *Lonicerae Japonicae Flos* were reviewed in this paper, aiming to providing insights

收稿日期: 2025-03-21

基金项目: 十四五重点研发项目“中药材生态产品品质保障及价值实现”(2023YFC3503805); 泰山学者工程(tsqnz20231230); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-21)

作者简介: 苏明艳, 硕士研究生, 研究方向为中药质量控制。E-mail: Sumingyan111@163.com

***通信作者:** 韩鹏杰, 助理研究员, 硕士生导师, 从事中药资源评价及分子生药学研究。E-mail: hanpengjie2023@126.com

王 晓, 研究员, 博士生导师, 从事中药质量控制研究。E-mail: wangx@sdas.org

for the research and application of color change mechanisms and control technology of *Lonicerae Japonicae Flos*.

Key words: *Lonicerae Japonicae Flos*; browning; substance changes; color change mechanism; enzymatic browning; control technology

金银花为忍冬科植物忍冬 *Lonicera japonica* Thunb. 的干燥花蕾或带初开的花, 是临床常用中药材之一, 具有抗病毒、抗菌、抗炎、抗氧化、降血糖、调血脂及调节免疫力等功效^[1-2], 广泛用于清热解毒、抗炎、抗菌及抗病毒等。其应用历史可追溯至东汉《神农本草经》, 明代李时珍在《本草纲目》中记载金银花对一切痈肿疮疖均有显著疗效。中医临床处方中, 金银花的使用频率相当高, 如银翘散为古代经典名方制剂, 用于温病初起, 后被改良为银翘散颗粒, 研究表明银翘散汤剂与银翘颗粒均具有抗炎、抗菌及镇痛的作用^[3]。此外, 不乏以金银花为主要成分的中成药, 如连花清瘟颗粒、银翘片、双黄连口服液和热毒宁注射液等。此外, 金银花也被用于食品保健等方面, 如金银花茶^[4]、金银花酒^[5]、金银花野菊花牙膏^[6]及各种化妆品等。由此可知, 金银花具有极高的药用价值和经济价值, 并且其需求量逐年递增。

金银花在生长发育、加工及贮藏过程中会呈现不同的色泽, 其有效成分含量也不同。金银花的色泽不仅是品质的直观指标, 更是经济价值的关键决定因素。金银花的有效成分包括酚酸类、黄酮类、环烯醚萜苷类及挥发油类^[7-9]。黄绿色的金银花品质较优, 含有的有效成分总酚酸及黄酮类成分相对较高, 且抗氧化活性较强, 所以黄绿色金银花市场价值较高^[10], 这与金银花素有的“表面绿色、香气浓者为佳”的说法一致。金银花发生褐变后, 颜色变成黄褐色, 有效成分含量急剧下降, 尤其是绿原酸等酚酸类成分含量降低, 达不到《中国药典》2020年版标准, 会被降级或被市场淘汰^[10]。然而, 长期以来, 褐变问题影响着金银花的产后加工方式、储藏条件、品质及商业价值^[11-12]。因此在金银花加工、贮藏过程中保持原有色泽极为重要。本文通过对金银花生长发育、加工及贮藏过程中的颜色变化及其色泽演变的物质基础进行综述, 对现有的金银花色变机制和防控技术及发展方向进行探讨和展望, 为金银花色变机制及控制技术的进一步研究和应用发展提供参考。

1 金银花色泽变化过程中的物质变化规律

金银花药材颜色的变化与其化学成分的动态

变化密切相关, 尤其是酚酸类物质及色素。金银花中的色素主要是叶绿素、类胡萝卜素及花青素, 叶绿素是金银花中主要的绿色色素, 其降解则会导致金银花颜色变黄^[13-15]。

金银花中含有大量的酚酸类物质, 目前已分离出 40 多种, 其中一多半为咖啡酸衍生物, 而绿原酸和异绿原酸是其主要的活性成分; 从金银花中分离出 60 多种黄酮类成分, 包括山柰酚、槲皮素、异鼠李素、木犀草素、芹菜素等及其糖苷类衍生物; 环烯醚萜苷类化合物是金银花中结构多变且较为丰富的一类化合物, 已分离出 80 多种, 包括闭环环烯醚萜苷、开环环烯醚萜苷及含 N 环烯醚萜苷 3 类, 马钱子苷、断氧化马钱子苷、断马钱子苷半缩醛内酯是其代表性成分; 挥发油也是金银花的有效成分之一, 是芳香气味的主要来源, 已分离鉴定出 300 多种成分, 包括醇、醛、酮、酯、烷、烯、炔、萜等成分, 3-甲基丁醛、2-庚烯醛、2-己烯-1-醇是其代表性成分^[16]; 金银花中还含有少量三萜皂苷类成分, 目前已鉴定出 30 多种。值得注意的是, 金银花中的化合物还会因产地、品种、花期及提取方法的不同而存在差异^[17-19]。

研究表明金银花色泽变化与其酚酸类物质成分的含量变化有着极显著的相关性, 并且与绿原酸、总酚酸的含量存在显著的相关性^[20]; 绿原酸的含量与金银花色度测量值 (L^*) 呈负相关^[21], 颜色不仅是外观品质的体现, 也反映了加工工艺的合理性和活性成分的保留程度。因此依据金银花的颜色可以初步判断金银花的品质。

1.1 生长成熟过程中颜色与物质变化规律

金银花从花蕾发育到花凋谢的过程分为米蕾期、三青期、二白期、大白期、银花期、金花期、凋谢期 7 个时期^[22], 不同时期颜色各有不同, 米蕾期为绿色, 三青期为青绿色, 二白期、大白期、银花期为白色, 金花期为黄色。影响金银花生长发育时期颜色变化的物质主要为酚酸类物质和花色色素, 这些成分在金银花生长发育不同阶段会发生变化, 进而导致金银花颜色变化。

对金银花发育各时期中酚酸类成分检测, 发现绿原酸在金银花发育各时期中含量最高, 占总酚酸

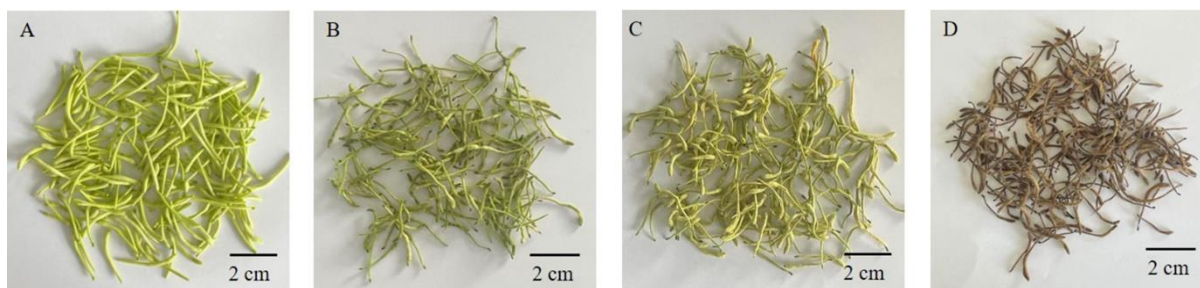
质量分数的 62%以上, 其次是异绿原酸 A、异绿原酸 C, 三者占酚酸类成分质量分数的 90%以上, 说明金银花中的主要酚酸类成分为绿原酸, 在金银花的生长发育过程中, 绿原酸的含量与总酚酸含量的变化趋势一致, 先升高后降低, 绿原酸含量随发育阶段升高后逐渐降低, 至金花期达最低^[23], 木犀草苷在二白期和大白期的含量高于其他时期, 在金银花发育的各时期中, 与绿原酸含量变化基本一致^[24], 基于此得出二白期是能兼顾有效成分含量和产量的最佳采收时期。

金银花中的花色色素主要是叶绿素、类胡萝卜素及花青素, 叶绿素使金银花呈现绿色, 类胡萝卜素使金银花呈现黄色, 花青素使金银花呈现红色^[13]。3 个生长时期 (绿花、白花和金花期) 的金银花中含有 13 种类胡萝卜素和 10 种花色苷类的色素成分, 其中类胡萝卜素成分紫黄质、新黄质和玉米黄质含量从绿花、白花到金花期是呈现先下降后急剧升高的变化趋势, 且大多数类胡萝卜素含量在黄花期都显著上调; 花色苷类成分天竺葵素和矢车菊素含量在金花期高于其他时期^[25]。付林江^[26]研究表明金银

花从米蕾期到金花期的叶绿素和黄酮类成分的含量均逐渐下降, 金银花的米蕾期是酚酸含量富集的重要阶段, 二白期是绿原酸含量最高的时期^[27], 而类胡萝卜素的含量从米蕾期到银花期逐步下降, 但到了金花期其含量则急剧增加, 达到金银花生长发育时期的峰值。由此可知, 金银花花蕾期叶绿素含量高, 呈现绿色, 随着花朵的开放, 叶绿素降解, 类胡萝卜素积累, 颜色变黄。花青素具有抗氧化性的作用, 并且花青素的含量随着金银花花期的延长而下降^[28-29]。此外, 在花蕾期, 叶绿素合成活跃, 细胞结构完整, 多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 活性低, 颜色保持绿色, 随着花朵开放, 细胞结构破坏, 酶活性增加, 颜色变深, 同时叶绿素减少, 类胡萝卜素显现, 使金银花由白色转变为黄色^[30]。

1.2 加工过程中颜色与物质变化规律

新鲜的金银花呈现黄白色或淡绿色, 色泽鲜亮 (图 1-A), 经过不同的加工方式颜色逐渐加深为黄绿色或黄白色 (图 1-B、C), 加工不当的干燥品可能呈现黄褐色或深褐色 (图 1-D)。金银花的干燥方式有晒干、阴干、烘干、杀青、真空冷冻干燥等。



A-鲜品; B-杀青烘干; C-低温烘干; D-高温烘干。

A-fresh; B-kill-enzyme torrefaction; C-low-temperature drying; D-high-temperature drying.

图 1 金银花加工过程中的色泽

Fig. 1 Color of *Lonicerae Japonicae Flos* during processing

金银花的干燥方式不同, 干品金银花所含的绿原酸和木犀草苷含量也会存在较大差异, 同时也会影响金银花的色泽 (表 1)^[31-34]。在热风干燥过程中, 酶促褐变是金银花颜色变化、品质下降的主要因素, 绿原酸含量在干燥过程中显著下降^[35]。烘干金银花所得的干品中绿原酸含量相差较大, 这是由于金银花的烘干温度不同导致的, 低温烘干的金银花干品中绿原酸含量约是高温烘干的 5 倍, 表明高温烘干会致使金银花中的绿原酸成分大量流失, 使得金银花色泽变差^[31]。晒干与阴干受自然条件影响较大, 可控性差, 所得干品色泽差, 且干品容易皱

表 1 不同干燥方式金银花的绿原酸及木犀草苷含量

Table 1 Chlorogenic acid and luteolin content of *Lonicerae Japonicae Flos* with different drying methods

干燥方式	绿原酸/%	木犀草苷/%	干品色泽
晒干	1.170~3.690	0.031~0.069	浅黄色
阴干	1.360~2.880	0.049~0.062	黄色与浅褐色
烘干	0.760~3.660	0.050~0.069	黄绿色、深褐色
杀青烘干	2.850~3.670	0.053~0.066	黄绿色

缩^[33]。不同杀青烘干条件所得金银花干品的绿原酸含量相差较小。杀青烘干后金银花中绿原酸含量相较于其他干燥方式较高, 这是因为杀青对金银花酶

活影响较大。杀青时温度迅速升高破坏 PPO 的活性,抑制褐变反应的发生,保留较好的色泽^[33,36]。杀青技术联用热泵远红外、真空冷冻和气调热泵等现代干燥技术可以更好地保存金银花中芦丁、绿原酸、木犀草素和异绿原酸 C 等成分,并且性状外观更符合金银花原本特征^[37]。金银花在干燥过程中发生的褐变程度与加工工艺相关,选择合适的加工工艺可以抑制金银花的褐变现象,保留金银花原有色泽。

陈燕文等^[38]研究了不同干燥方式对金银花多糖类成分的影响,发现杀青干燥的金银花多糖质量分数最高,为 14.57%,冷冻干燥品金银花多糖质量分数次之,为 13.31%,硅胶阴干品金银花多糖质量分数最低,仅为 11.29%,最高质量分数约是最低质量分数的 1.3 倍,表明以多糖含量为指标,杀青后干燥也是金银花的主要干燥方式。

1.3 贮藏过程中颜色与物质变化规律

在包装贮藏过程中,金银花中绿原酸和木犀草苷含量逐渐下降,发生褐变现象,使得金银花的颜色从黄绿色逐渐变为黄褐色、浅褐色至深褐色^[39-40]。王玲娜等^[41]发现金银花在贮藏过程中,随着时间延长,温度升高,会发生美拉德反应,并且温度每升高 10 ℃,褐变反应加快 3~5 倍,因此金银花不适合在高温条件下贮存。

刘震营等^[42-43]研究了贮藏过程中光照、温度及湿度对金银花色泽变化的影响,结果表明金银花在光照条件下贮藏会使其酚类物质质量分数下降 28.08%,褐变度增加,且金银花中叶绿素和类胡萝卜素受光照的影响分解;在高温高湿条件下贮藏,总酚质量分数下降高达 67.3%,总黄酮质量分数下降 3.96%,而有效成分绿原酸质量分数下降高达 90.95%,木犀草苷质量分数下降高达 50%,在常温常湿和低温低湿条件下总黄酮、总酚及绿原酸含量几乎不变,木犀草苷含量有所降低,但仍满足相关限量标准。综上表明金银花要在常温及低温避光条件下储藏,以减少褐变的发生。

1.4 花色变化的分子调控机制研究

金银花的花色从绿色到白色再到黄色,这是其典型的生物学特征,这一过程涉及复杂的分子调控,近年来对金银花花色变化的研究主要聚焦于色素合成、关键基因及植物激素调节。调控金银花花色的基因众多,其中多数参与色素的合成与降解过程,影响花色呈现的主要色素包括类黄酮(如花青

素)、类胡萝卜素及叶绿素。在金银花中,花青素与类胡萝卜素的积累有助于其由银色花转变为金色花,而叶绿素积累的减少则会使金银花绿色花色消失^[25]。金银花开花过程中 Hbr-miR482d 可通过调控转录因子 *MYB1* 和二氢黄酮醇-4-还原酶基因的结合来诱导花青素的积累^[44], *LjPSY1*、*LjPDS1*、*LjLCYE* 和 *LjCCD4* 基因均参与类胡萝卜素的合成和降解, *LjMADS36* 可通过与番茄红素-β-环化酶启动子结合促进类胡萝卜素的积累^[45], *LjCab* 基因的表达量与叶绿素的积累有关^[46],这些基因均通过调控色素积累来影响金银花颜色变化。金银花中的内源性激素有吲哚乙酸、脱落酸和赤霉素等,在金银花生长发育过程中吲哚乙酸质量浓度先升高后降低,最后趋于稳定。吲哚乙酸含量的下调有利于类胡萝卜素的合成,而油菜素甾醇和茉莉酸信号通路主要基因表达的上调,正向调控类胡萝卜素的积累,乙烯和脱落酸信号通路的基因的上调会加速叶绿素的降解和类胡萝卜素的积累,脱落酸和赤霉素质量浓度在银花期至金花期的过程中迅速上升,这与金银花颜色变化规律一致^[25,47]。综上,金银花花色变化的分子调控机制的研究多集中于金银花生长发育时期的颜色变化,且主要是研究与 3 大色素的积累与降解相关的基因,对于加工、贮藏过程中的金银花色变的相关研究较少。

2 褐变机制研究

褐变是金银花在加工和贮藏过程中常见的现象,分为酶促褐变和非酶促褐变,而酶促褐变是金银花发生褐变的主要机制^[48]。

2.1 酶促褐变

酶促褐变指在酶的参与下,多酚类物质进行氧化聚合反应,生成醌类化合物,进而导致褐变现象的发生^[49]。发生酶促褐变的基本条件是酚类底物、酶、氧气同时存在^[49-51]。酚类物质是金银花发生褐变的基础,也是发生酶促褐变反应的底物。金银花中许多酚类物质都可以导致褐变,绿原酸是最常见的一种,其氧化产物会使金银花色泽变深。参与金银花酶促褐变的酶类主要有 PPO、过氧化物酶(peroxidase, POD)及苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)。

PPO 是参与金银花酶促褐变的主要酶类,通过催化金银花中绿原酸等酚类物质氧化,导致褐变^[52]。金银花中的绿原酸存在于细胞液泡中,PPO 存在于类囊体内腔(包括叶绿体、有色体等)中^[53],二者

相互隔开,并且无法直接与氧气接触,正常情况下,酚类底物、酶与氧气不能接触,所以不能发生褐变,当膜的结构被破坏或膜的通透性被改变时,液泡中的酚类物质泄漏,氧气进入细胞内部,酚类物质被 PPO 氧化成醌类物质,醌类物质进一步聚合成褐色物质^[54]。熊建华等^[55]从金银花叶中提取 PPO,系统考察了影响其活性的多种因素,并建立了金银花酶促褐变动力学方程。Luo 等^[56]通过高效液相色谱-质谱法研究金银花中绿原酸的氧化途径,研究表明金银花中的 PPO 可以催化绿原酸发生氧化反应,从而产生褐变现象。

结合态的 POD 具有减缓金银花褐变的作用,而游离态的 POD 可加速其褐变。刘娜娜^[57]采用硫酸铵分级沉淀、二乙氨基纤维素-52 离子交换柱分离纯化金银花中 PPO 和 POD,并研究了 2 种酶的相对分子质量及特性。罗磊等^[58]基于三相分离法优化了金银花 POD 的提取工艺,最优条件下纯化倍数达 5.849 倍,回收率为 87.64%。酶学性质分析表明,Ca²⁺、Cu²⁺、Zn²⁺对金银花 POD 有激活作用,抑制剂柠檬酸、抗坏血酸、L-半胱氨酸、亚硫酸钠、偏重亚硫酸钠对金银花 POD 有不同程度的抑制作用。

PAL 是酚类物质的合成的关键酶,当其活性受到限制,酚类不能合成或合成缓慢,从而延缓褐变^[52,59]。基于与其他物种绿原酸合成相关基因编码蛋白的氨基酸序列比对分析,李凤梅等^[60]从金银花蛋白质组数据库中筛选出 5 个调控绿原酸合成的候选基因。序列分析表明,这些基因均编码 PAL。该研究进一步支持了 PAL 在金银花绿原酸代谢途径中的作用。而绿原酸又是金银花发生酶促褐变的主要底物,由此可知 PAL 可以间接影响金银花的褐变。

金银花生长发育过程中 PPO 和 POD 酶的活性整体呈下降趋势,在金银花的幼蕾期时活性最高。金银花中 PAL 的活性也是逐渐降低的趋势,在银花期时活性下降到最低^[61]。研究表明褐变程度与 PPO、POD、PAL 的活性变化呈正相关,且引起褐变的关键酶依次为 PPO>POD>PAL^[62]。

2.2 非酶促褐变

不涉及氧化酶参与的褐变反应被称为非酶促褐变,按照其反应机制的不同又可以分为美拉德反应、焦糖化反应、酚类物质氧化缩合和抗坏血酸氧化反应^[63]。美拉德反应是中药的干燥加工、贮藏过程中

普遍存在的一类较为重要的化学反应,也是影响金银花色泽变化的重要因素。金银花中的还原糖与氨基酸化合物在特定温度下发生反应,生成的 5-羟甲基糠醛经进一步缩合、聚合形成复杂高分子色素而发生褐变,生成的色素主要为类黑素类物质^[41,64]。随着贮藏时间的延长和温度的升高,金银花中的氨基酸和还原糖含量显著减少,生成类黑素,使得金银花颜色加深,褐变程度增加^[65]。

3 控制技术

在金银花加工贮藏过程中,容易发生褐变,从而影响金银花的品质和色泽。通过抑制褐变发生的条件从而阻止褐变的发生,抑制 PPO 活性的最常用方法有物理、化学和生物方法,其中物理方法包括温度控制、气调养护、高压、超声波等。高温会迅速使 PPO 失活,从而减轻酶促褐变现象,但也会对金银花的外观品质和有效成分产生负面的影响;气调在果蔬的加工干燥中应用广泛,通过增加 CO₂ 的含量降低 O₂ 浓度,在一定程度上减轻褐变^[66];高压能够有效抑制鲜金银花的呼吸强度,减轻氧化程度,保留有效成分^[67];超声能够抑制 PPO 的活性,激发 PAL 活性,提高抗氧化性,延缓褐变的发生^[68-69]。

化学方法是通过添加化学品并利用还原、螯合和酸化来抑制 PPO 的活性来减轻褐变,常用的抗氧化剂还原剂为抗坏血酸、N-乙酰半胱氨酸、己基间苯二酚、异抗坏血酸、盐酸半胱氨酸和谷胱甘肽,抗氧化剂与氧气反应从而抑制褐变的发生,某些抗氧化剂还能与中间产物反应,抑制黑色素的形成^[70]。螯合物质含巯基化合物(L-半胱氨酸)直接与含铜的 PPO 活性位点反应或与其底物反应阻止聚合,从而抑制酶促褐变^[71]。酸化常用的有亚硫酸氢钠、抗坏血酸和柠檬酸等,对 PPO 的抑制效果为亚硫酸氢钠>抗坏血酸>柠檬酸^[48]。还可以通过反转录 RNA 技术抑制 PPO 基因表达的生物方法来抑制酶促褐变^[72-73]。目前防止金银花色变的技术总结见表 2。

4 色变对金银花的影响

4.1 色变与金银花药效成分含量的关系

由于金银花加工方法、贮藏条件和其他因素的影响,金银花会呈现不同的颜色,药效成分也会发生变化。加工后呈现绿白色则绿原酸含量较高,绿原酸质量分数最高可达 3.7%,此时的 PPO 活性较低,减少了酚类物质的氧化降解,木犀草苷含量几乎不变,但总黄酮类成分含量较高。加工后呈现黄

表 2 金银花色变控制技术

Table 2 *Lonicerae Japonicae Flos* discoloration control technology

方法类型	处理方法	结果	文献
物理	微波杀青后恒温烘干	可有效减少有效成分的酶促分解, 使金银花保留较好色泽, 还能保持较高的活性成分含量	31
	聚乙烯塑料薄膜袋	隔绝氧气, 减轻褐变	74
	热泵远红外联合	降低金银花的褐变程度, 有效维持金银花色泽与品质	75
	双向交替热风干燥系统	高温下的快速干燥, 金银花的水分含量降低到 60% 时, 褐变反应将得到有效抑制	76
	微波预处理后旋转微波真空干燥	温度升高, 真空度升高, 转速增加, 干燥速率逐渐增加, 增强了有效成分的保留, 并有效改善了褐变	77
	气调热泵干燥	绿原酸含量、甙苷含量和 <i>L</i> 值 (褐变度) 随温度、金银花装载量和氧浓度的升高而降低	78
化学	喷淋柠檬酸或抗坏血酸或亚硫酸氢钠	抑制 PPO 活性, 抑制金银花褐变	48
	介孔二氧化硅	PPO 与纳米材料的结合降低了其与底物相互作用的能力	79
生物	金银花多酚	抑制绿原酸进入细胞核, 从而阻止褐变的发生	80

白色则富含木犀草苷, 木犀草苷质量分数可达 0.07%, 随着颜色的变暗或变浅, 药效成分含量降低。当其呈现黄褐色时, 品质质量严重下降, 不可食用或药用^[10,81]。金银花的色泽变化直接反映了其内部的有效成分动态变化, 通过金银花的颜色变化可以快速评估金银花的有效成分, 为优化采收、加工及质量控制提供科学依据。

4.2 色变对金银花品质评价和市场价值的影响

符合国家标准的一等品金银花颜色为绿白色, 绿原酸含量高, 总黄酮类成分丰富, 具有显著的抗氧化和抗炎功效^[82]。金银花褐变过程中, 绿原酸因 PPO 的催化作用而显著降解, 不仅使金银花的颜色发生了变化, 还严重影响金银花的药效^[10]。优质的金银花颜色呈绿白色, 色泽鲜亮, 有效成分含量高, 市场价值高, 而褐变后的花体颜色呈黄棕色, 色泽暗淡, 影响消费者感官, 且有效成分含量低, 市场价值低。因此, 在加工贮藏过程中应该关注金银花的颜色变化, 降低褐变的发生, 保持好的色泽。

5 结语与展望

当前研究已明确金银花发生色泽变化的主要原因是 PPO 和酚类底物发生酶促褐变, 其次非酶促褐变也会导致绿原酸含量下降, 使金银花颜色变为黄褐色。此外, 金银花中的色素也会影响金银花的颜色变化, 但主要影响金银花生长发育时期的颜色。防止金银花色变的控制技术有很多, 主要集中于物理和化学防控, 还需深入研究生物防控技术, 可进一步结合代谢组学、基因工程等技术更为深入的研究金银花的色变机制。通过对金银花色变机制

解析及防控技术创新, 延缓金银花褐变速率, 降低加工损耗。只有深入研究和了解其色变机制, 才能更有效的采取控制措施, 研发出更为有效的色变防控技术, 从而实现金银花色泽与活性的双重稳定性, 提升金银花的市场品质。

本文系统综述了金银花生长发育、加工及贮藏阶段色泽变化机制的物质变化规律, 梳理了现有物理、化学干预等防控技术的应用效果, 并基于当前研究瓶颈与产业需求, 对未来相关的研究方向进行展望, 为金银花色泽变化机制与控制技术的研究和发展应用提供参考。在维持金银花品质与色泽稳定性、增强市场竞争力、提高消费者满意度及推动产业提质增效等方面具有重要的意义。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 马涵玉, 钱琪, 牛丽颖. 基于文献计量学的金银花研究现状与热点分析 [J]. 药物评价研究, 2022, 45(7): 1426-1434.

[2] 郝梦超, 姚甜, 刘二奴, 等. 忍冬中的活性成分及其药理活性研究现状 [J]. 药物分析杂志, 2024, 44(2): 195-213.

[3] 郭卓琳, 张智恒, 郭新邓, 等. 银翘散配方颗粒与传统汤剂在抗炎、抗菌及镇痛药效的差异比较 [J]. 南方医科大学学报, 2025, 45(5): 1003-1012.

[4] 李脉泉, 董云霞, 张灿, 等. 常见花茶的功能成分与生物活性研究进展 [J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 361-373.

[5] 马宇, 黄永光, 唐东亚, 等. 金银花纯花固态发酵酒风味特征及活性功能成分分析 [J]. 食品科学, 2018,

- 39(24): 249-255.
- [6] 方智健, 潘婷婷, 梁旭华, 等. 金银花野菊花牙膏的制备及抗炎作用评价 [J]. 广州化工, 2025, 53(7): 47-50.
- [7] Li Y K, Li W, Fu C M, *et al.* *Lonicerae japonicae Flos* and *Lonicerae flos*: A systematic review of ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology [J]. *Phytochem Rev*, 2020, 19(1): 1-61.
- [8] Shang X F, Pan H, Li M X, *et al.* *Lonicera japonica* Thunb.: Ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of an important traditional Chinese medicine [J]. *J Ethnopharmacol*, 2011, 138(1): 1-21.
- [9] 边丽华, 周洁, 刘伟, 等. 不同品系金银花果实挥发性成分气相色谱-质谱联用分析 [J]. 中华中医药杂志, 2017, 32(9): 4177-4180.
- [10] 刘艳萍, 王云, 贾哲, 等. 基于颜色-特征成分关联分析及网络药理学的金银花质量标志物 (Q-Marker) 研究 [J]. 中草药, 2024, 55(14): 4882-4896.
- [11] Liu Z Y, Cheng Y X, Chao Z M. A comprehensive quality analysis of different colors of medicinal and edible honeysuckle [J]. *Foods*, 2023, 12(16): 3126.
- [12] 周冰谦, 卢恒, 刘峰, 等. 不同温度胁迫对金银花细胞膜透性、活性氧代谢及其有效物质积累的影响 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(18): 3935-3941.
- [13] Zhang X D, Li C X, Hao Z C. Metabolome and transcriptome analyses reveal the colouring mechanism of red honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) [J]. *Not Bot Horti Agrobo*, 2023, 51(3): 13150.
- [14] Jakienė E, Kaušė E, Vaitkevičienė N. Impact of picking time on leaf quality parameters of three varieties of honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) [J]. *Agriculture*, 2025, 15(3): 257.
- [15] Wu X L, Zhang S Z, Li X, *et al.* Postharvest UV-B radiation increases enzyme activity, polysaccharide and secondary metabolites in honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) [J]. *Ind Crops Prod*, 2021, 171: 113907.
- [16] 王燕, 卢恒, 张敏敏, 等. 基于气相-离子迁移谱的不同干燥方式下金银花挥发性成分分析 [J]. 中草药, 2022, 53(12): 3801-3810.
- [17] Gu L F, Xie X Q, Wang B, *et al.* Discrimination of *Lonicerae Japonicae Flos* according to species, growth mode, processing method, and geographical origin with ultra-high performance liquid chromatography analysis and chemical pattern recognition [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2022, 219: 114924.
- [18] Wang Y, Li L L, Ji W H, *et al.* Metabolomics analysis of different tissues of *Lonicera japonica* thunb. based on liquid chromatography with mass spectrometry [J]. *Metabolites*, 2023, 13(2): 186.
- [19] 王淑, 张翠翠, 郭凤丹, 等. 基于 UPLC 多指标含量测定和指纹图谱的不同种质金银花药材质量评价研究 [J]. 中草药, 2024, 55(3): 947-955.
- [20] 熊乐文, 金莹, 黄玮慕, 等. 金银花色泽与酚酸类成分含量相关性研究 [J]. 中成药, 2022, 44(8): 2736-2739.
- [21] 杨晓芸. 金银花颜色气味与化学成分的相关性研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2013.
- [22] 王玲娜, 孙希芳, 张芳, 等. 不同发育时期金银花颜色与活性成分的相关性分析 [J]. 中草药, 2017, 48(15): 3182-3188.
- [23] 王爱媛, 范李想, 张紫瑄, 等. 不同发育时期忍冬花酚酸类成分含量变化 [J]. 药学研究, 2024, 43(6): 549-553.
- [24] 李建军, 贾国伦, 李静云, 等. 金银花不同花期花蕾质量及指标成分含量比较分析 [J]. 河南农业科学, 2013, 42(10): 110-114.
- [25] Xia Y, Chen W W, Xiang W B, *et al.* Integrated metabolic profiling and transcriptome analysis of pigment accumulation in *Lonicera japonica* flower petals during colour-transition [J]. *BMC Plant Biol*, 2021, 21(1): 98.
- [26] 付林江. 金银花花色变化的原因及其药材品质分析 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [27] 寇雁南. 山东道地药材金银花不同发育阶段代谢产物研究及金银花有效成分含量 NIR 快速检测方法建立 [D]. 石家庄: 河北医科大学, 2024.
- [28] 吕蕊, 徐文. 金银花不同花期有机酸、木犀草苷、花青素与抗氧化活性关系 [J]. 分子植物育种, 2021, 19(22): 7579-7587.
- [29] Li J J, Lian X Y, Ye C L, *et al.* Analysis of flower color variations at different developmental stages in two honeysuckle (*Lonicera japonica* thunb.) cultivars [J]. *HortScience*, 54(5): 779-782.
- [30] Pu X D, Li Z, Tian Y, *et al.* The honeysuckle genome provides insight into the molecular mechanism of carotenoid metabolism underlying dynamic flower coloration [J]. *New Phytol*, 2020, 227(3): 930-943.
- [31] 熊乐文, 黄文静, 张龙霏, 等. 干燥方式对金银花酚酸类和黄酮类成分的影响 [J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(5): 2444-2450.
- [32] 王永香, 罗勇, 沈娟, 等. 不同产地加工方法对江苏省东海县种植基地金银花质量影响的研究 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(14): 2665-2669.
- [33] 时玉昌, 沈申, 陈亚运, 等. 不同干燥方法对金银花多元功效成分和感官品质的影响 [J]. 生物加工过程, 2021, 19(1): 66-73.
- [34] 刘天亮, 董诚明, 齐大明, 等. 不同产地及加工方式金银花的质量评价 [J]. 中药材, 2020, 43(3): 582-586.
- [35] 娄正, 刘清, 徐恒, 等. 金银花热风干燥品质变化及工

- 艺优化 [J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2018, 38(1): 61-68.
- [36] 尚庆文, 于盱, 梁呈元, 等. 加工方法对金银花质量的影响 [J]. 中国现代中药, 2019, 21(1): 76-81.
- [37] 罗莲, 叶萌, 林静, 等. 金银花成分及加工 [J]. 食品与机械, 2022, 38(4): 228-233.
- [38] 陈燕文, 王玲娜, 梁从莲, 等. 干燥方法对金银花多糖含量的影响 [J]. 中国现代中药, 2017, 19(1): 88-91.
- [39] 李梦焕. 金银花的包装与贮藏研究 [D]. 开封: 河南大学, 2019.
- [40] 兰华, 申鸿, 高丹, 等. 金银花不同贮藏时期有效成分与抗氧化力的研究 [J]. 中国食品学报, 2008, 8(6): 43-47.
- [41] 王玲娜, 孙希芳, 张芳, 等. 金银花贮藏过程中的美拉德反应 [J]. 山东农业科学, 2017, 49(9): 82-87.
- [42] 刘震营. 不同色泽金银花药材的品质比较及其在贮藏过程中的动态变化研究 [D]. 北京: 中国中医科学院, 2024.
- [43] Liu Z Y, Cheng Y X, Chao Z M. Effects of light on the quality of honeysuckle during storage based on physico-chemical indicators and chemical composition [J]. *Arab J Chem*, 2024, 17(2): 105595.
- [44] 李梦欣. 金银花 microRNA 测序及其调控花期花青素合成的功能预测研究 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2023.
- [45] Wang X T, Kong L Z, Cheng H C, *et al.* Characterization and expression analysis of the *MADS*-box gene family in *Lonicera japonica* reveals the role of LjMADS36 in flower coloration [J]. *Ind Crops Prod*, 2024, 219: 119122.
- [46] 蒋向辉, 苑静. 金银花叶绿素 a/b 结合蛋白基因 *LjCab* 克隆与表达特性分析 [J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2016, 50(3): 409-414.
- [47] 亓希武, 林沂, 陈泽群, 等. 金银花花发育过程中内源激素含量变化规律研究 [J]. 江苏林业科技, 2022, 49(6): 1-6.
- [48] 侯爽爽. 金银花热风干燥过程中颜色劣变机理及抑制研究 [D]. 洛阳: 河南科技大学, 2011.
- [49] 杨旭风, 贾晓东, 许梦洋, 等. 褐变机理及其防治技术研究进展 [J]. 中国农学通报, 2023, 39(13): 137-145.
- [50] Tilley A, McHenry M P, McHenry J A, *et al.* Enzymatic browning: The role of substrates in polyphenol oxidase mediated browning [J]. *Curr Res Food Sci*, 2023, 7: 100623.
- [51] Murata M. Food chemistry study on enzymatic browning and the Maillard reaction [J]. *Journal Japanese Society For Food Science And Technology*, 2020, 67(1): 1-12.
- [52] 屈政. 引发金银花褐变的酶类和金银花中多酚氧化酶提取纯化的研究 [D]. 洛阳: 河南科技大学, 2015.
- [53] 闫星羽, 陈存坤, 薛文通. 绿豆芽防褐变技术的研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2021, 42(14): 185-192.
- [54] 杨莉萍, 郭旭东, 姬捷, 等. 百合色泽变化机制及控制的研究进展 [J]. 中草药, 2023, 54(6): 1978-1985.
- [55] 熊建华, 李世传, 罗秋水, 等. 金银花叶多酚氧化酶的酶学特性 [J]. 中国食品学报, 2012, 12(11): 59-63.
- [56] Luo L, Hao Y C, Jia L, *et al.* Analysis of chlorogenic acid oxidation pathway in simulated enzymatic honeysuckle browning system by high performance liquid chromatography and mass spectrometry [J]. *Trop J Pharm Res*, 2016, 15(2): 405.
- [57] 刘娜娜. 金银花中多酚氧化酶和过氧化物酶的分离纯化及特性研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
- [58] 罗磊, 董金龙, 朱文学, 等. 金银花过氧化物酶的三相分离纯化及酶学性质 [J]. 食品科学, 2017, 38(24): 20-27.
- [59] Esmacili S, Sharifi M, Ghanati F, *et al.* Exogenous melatonin induces phenolic compounds production in *Linum album* cells by altering nitric oxide and salicylic acid [J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 4158.
- [60] 李凤梅, 陈林鑫, 李建军, 等. 金银花绿原酸基因的发掘及生物信息学分析 [J]. 分子植物育种, 2024, 22(22): 7389-7399.
- [61] 仇劲. 金银花生长发育和加工过程中的成分变化研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [62] 赵喜亭, 王会珍, 赵月丽, 等. 铁棍山药褐变特性研究 [J]. 河南农业科学, 2009, 38(7): 94-97.
- [63] 杨毅. 浓缩砀山酥梨汁非酶促褐变机理及其控制技术研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [64] 段静瑶, 王禹, 王志龙, 等. 美拉德反应在水产制品中的应用 [J]. 中国调味品, 2024, 49(2): 199-202.
- [65] 张金阳, 张锐, 金强, 等. 果蔬褐变机理及防治技术研究进展 [J]. 绿色科技, 2024, 26(9): 106-111.
- [66] Ali S, Khan A S, Ullah Malik A, *et al.* Modified atmosphere packaging delays enzymatic browning and maintains quality of harvested *Litchi* fruit during low temperature storage [J]. *Sci Hortic*, 2019, 254: 14-20.
- [67] 张娇. 高压二氧化碳技术对鲜切茭白木质化及褐变的抑制的机理研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [68] 潘艳芳, 陈晓彤, 杨维巧, 等. 超声处理控制鲜切甘薯褐变的生理机制 [J]. 包装工程, 2019, 40(9): 1-5.
- [69] 杨明冠, 朱传合. 超声处理抑制鲜切马铃薯酶促褐变的机理研究 [J]. 农产品加工, 2016(6): 1-5.
- [70] Moon K M, Kwon E B, Lee B, *et al.* Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products [J]. *Molecules*, 2020, 25(12): 2754.
- [71] R S, Rasane P, Singh J, *et al.* Strategic advances in the management of browning in fruits and vegetables [J]. *Food*

- Bioprocess Technol*, 2024, 17(2): 325-350.
- [72] Chi M, Bhagwat B, David Lane W, *et al.* Reduced polyphenol oxidase gene expression and enzymatic browning in potato (*Solanum tuberosum* L.) with artificial microRNAs [J]. *BMC Plant Biol*, 2014, 14: 62.
- [73] Zhang S. Recent advances of polyphenol oxidases in plants [J]. *Molecules*, 2023, 28(5): 2158.
- [74] 郭淑, 邓鹏, 王维婷, 等. 不同包装材料对金银花贮藏质量的影响 [J]. 山东农业科学, 2014, 46(11): 61-62.
- [75] 罗磊, 康新艳, 朱文学, 等. 热泵远红外联合干燥金银花的工艺优化及品质控制 [J]. 食品科学, 2016, 37(18): 6-12.
- [76] Liang Z Y, Tong L G, Yin S W, *et al.* Bidirectional hot air drying: An effective inhibitor of the browning of biomass similar to thick-layered honeysuckle [J]. *Dry Technol*, 2022, 40(1): 116-126.
- [77] Yang X P, Ma Z Y, Wan F X, *et al.* Different pretreatment methods to strengthen the microwave vacuum drying of *Honeysuckle*: Effects on the moisture migration and physicochemical quality [J]. *Foods*, 2024, 13(22): 3712.
- [78] Lei L, Bin Y, Zhu W X, *et al.* Degradation kinetics of functional components of honeysuckle flowers during controlled-atmosphere heat pump drying [J]. *Int J Agr Biol Eng*, 2016, 9(4): 159-168.
- [79] Sui X, Meng Z, Dong T T, *et al.* Enzymatic browning and polyphenol oxidase control strategies [J]. *Curr Opin Biotechnol*, 2023, 81: 102921.
- [80] Zheng S L, Wang Y M, Chi C F, *et al.* Chemical characterization of honeysuckle polyphenols and their alleviating function on ultraviolet B-damaged HaCaT cells by modulating the Nrf2/NF- κ B signaling pathways [J]. *Antioxidants*, 2024, 13(3): 294.
- [81] 唐志强, 程雪梅, 刘谦, 等. 金银花外观性状与主要有效成分含量的相关性研究 [J]. 山东农业科学, 2023, 55(11): 115-121.
- [82] 周凤琴, 李栓, 郭庆梅, 等. 以绿原酸含量评价市售金银花商品质量 [A] // 第三届中国中药商品学术年会暨首届中药葛根国际产业发展研讨会论文集 [C]. 长沙: 第三届中国中药商品学术年会暨首届中药葛根国际产业发展研讨会, 2012: 69-74.

[责任编辑 赵慧亮]