DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260119001
引用格式: 倪倩, 熊菲, 周娟娟, 等. 高效液相色谱法检测乌梅中非法添加剂焦糖色素[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(11): 193–198.
NI Q, XIONG F, ZHOU JJ, *et al*. Determination of illegal additive caramel in *Mume fructus* by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(11): 193–198. (in Chinese with English abstract).

高效液相色谱法检测乌梅中非法添加剂焦糖色素

倪 倩[1], 熊 菲[2], 周娟娟[1], 孙彦敏[1], 庞庆林[1*]
(1. 江苏省药品监督检验研究院, 南京 210009; 2. 中国药科大学药学院, 南京 210019)

摘 要: 目的 建立高效液相色谱法测定乌梅中非法添加的焦糖色素。**方法** 样品用水提取后, 加入乙醇沉淀, 弃去上清, 用水复溶滤过后, 选用 Luna SCX 100 Å 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm), 以 10 mmol/L 磷酸二氢钠为流动相等度洗脱, 二极管阵列检测器检测。**结果** 焦糖色素在 0.0243~2.4300 mg/mL 范围内与峰面积呈现良好线性关系(r=0.9999); 检出限为 0.10 mg/kg; 定量限为 0.19 mg/kg; 平均回收率为 90.1%, 相对标准偏差为 1.8% (n=6)。**结论** 该方法灵敏度好、回收率高, 适用于乌梅中非法添加剂焦糖色素的检测。

关键词: 高效液相色谱法; 乌梅; 非法添加剂; 焦糖色素

Determination of illegal additive caramel in *Mume fructus* by high performance liquid chromatography

NI Qian[1], XIONG Fei[2], ZHOU Juan-Juan[1], SUN Yan-Min[1], PANG Qing-Lin[1*]
(1. *Jiangsu Institute for Drug Control*, *Nanjing* 210009, *China*;
2. *School of Pharmacy*, *China Pharmaceutical University*, *Nanjing* 210019, *China*)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of illegal additive caramel in *Mume fructus* by high performance liquid chromatography. **Methods** After the sample was extracted with water, ethanol was added for precipitation, the supernatant was discarded, and the sample was reconstituted with water and filtered. Luna SCX 100 Å (250 mm×4.6 mm, 5 μm) chromatography column was selected. The 10 mmol/L sodium dihydrogen phosphate was used as the mobile phase for isocratic elution and detected by a diode array detector. **Results** Caramel exhibited a good linear relationship with peak area within the range of 0.0243–2.4300 mg/mL (r=0.9999); the limit of detection was 0.10 mg/kg; the limit of quantitation was 0.19 mg/kg; the average recovery rate was 90.1%, and the relative standard deviation was 1.8% (n=6). **Conclusion** This method has good sensitivity and high recovery rate, and is suitable for the detection of illegal additive caramel in *Mume fructus*.

KEY WORDS: high performance liquid chromatography; *Mume fructus*; illegal additives; caramel

收稿日期: 2026-01-19
基金项目: 国家中药材质量监测计划项目(国药监药管〔2025〕3 号)
第一作者: 倪倩(1987—), 女, 硕士, 副主任药师, 主要研究方向为中药质量控制与研究。E-mail: 1003698670@qq.com
***通信作者:** 庞庆林(1980—), 女, 硕士, 主任药师, 主要研究方向为药物分析。E-mail: 616966032@qq.com

0 引 言

乌梅为蔷薇科植物梅[*Prunus mume* (Sieb.) Sieb.et Zucc.]的干燥近成熟果实，夏季果实近成熟时采收，低温烘干后闷至色变黑。乌梅富含有机酸(如柠檬酸、苹果酸)和维生素等成分[1–3]，有生津止渴、助消化和抗氧化的养生功效[4–6]。凭借其“酸涩交织、回甘绵长”风味，被广泛应用于酸梅汤类饮品、果脯蜜饯及复合调味品等高附加值食品的加工[7–8]。2002 年，原卫生部印发了《关于进一步规范保健食品原料管理的通知》(卫法监发〔2002〕51 号)，规定了既是食品又是药品的物品名单，乌梅被列入该批名单中。2021 年 11 月，由国家卫生健康委员会和国家市场监管总局联合印发实施《按照传统既是食品又是中药材的物质目录管理规定》，明确指出药食同源物质为传统作为食品，且列入《中国药典》的物质。乌梅作为药品使用需符合《中国药典》的相关标准，作为食品使用则需符合 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》。

乌梅的品质评价中，以个大，肉厚，核小，外皮乌黑，不破裂，味极酸者质佳[9–11]。为了让乌梅达到“外皮乌黑”的视觉效果，市场上滋生了给乌梅添加着色剂的乱象。监管部门曾多次在监督抽检中发现乌梅中存在非法着色剂亮蓝、苋菜红和日落黄[12–13]。近些年又出现了使用其他非法着色剂给乌梅染色的新情况，焦糖色素便是其中之一[14]。上述着色剂均不符合 GB 2760 食品安全国家标准，也不符合《中国药典》要求。

焦糖色素是食品工业中使用最广泛的添加剂之一[15–17]，是一种由糖类物质(如蔗糖、葡萄糖、麦芽糖浆等)在高温(通常 160 ℃以上)下经脱水、分解和聚合形成的复杂红褐色或黑褐色混合物[18]，其易溶于水[19]，有特殊香气和焦苦味，可乐和酱油中的棕褐色均来自于焦糖色素。乌梅中含有蔗糖、葡萄糖和果糖等单双糖[20–22]，如果干燥温度较高，理论上也有可能产生微量的焦糖色素[23–25]，这使得乌梅中焦糖色素的限度值制定成为难题。因此收集未添加焦糖色素的乌梅样品并检测焦糖色素含量后，可统计分析出乌梅中焦糖色素的本底值范围，根据本底值范围制定出乌梅中的焦糖色素限度值。

目前，焦糖色素的测定方法主要有紫外分光光度法、荧光光谱法和高效液相色谱法等[26–30]。本研究采用高效液相色谱法，对乌梅中非法添加焦糖色素的测定进行了研究，建立了色谱条件和前处理方法，重点研究了前处理中的提取方式和乌梅取样部位的选择，旨在建立一种高效准确的焦糖色素检测方法，为乌梅的安全监管提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

乌梅样品来自于市场、生产企业原料库和乌梅生产基地，具体信息见表 1。

表 1 乌梅样品信息

Table 1 Sample information of *Mume fructus*

编号	来源	编号	来源
S01	生产企业原料库	S16	市场
S02	生产企业原料库	S17	市场
S03	生产企业原料库	S18	市场
S04	生产企业原料库	S19	市场
S05	市场	S20	市场
S06	生产企业原料库	S21	生产基地自主采集
S07	生产企业原料库	S22	生产基地自主采集
S08	生产企业原料库	S23	生产基地自主采集
S09	生产企业原料库	S24	生产基地自主采集
S10	生产企业原料库	S25	生产基地自主采集
S11	生产企业原料库	S26	生产基地自主采集
S12	市场	S27	生产基地自主采集
S13	市场	S28	生产基地自主采集
S14	市场	S29	生产基地自主采集
S15	市场	S30	生产基地自主采集

焦糖色素(纯度 95.541%，上海麦克林生化科技股份有限公司)；无水乙醇(分析纯，上海沪试实验室器材股份有限公司)；磷酸二氢钠(分析纯，国药集团化学试剂有限公司)；实验中使用的水均为超纯水。

1.2 仪器与设备

Luna SCX 100 Å 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)(广州菲罗门科技有限公司)；1260 infinity II 型高效液相色谱仪(美国安捷伦公司)；Milli-Q 去离子水发生器(美国 Millipore 公司)；CPA224S 电子天平(精度 0.1 mg，德国赛多利斯公司)；UA22 超声仪(德国维根思公司)；Tube Mill 100 control 研磨机(德国艾卡公司)；ST1R PLUS 离心机(美国赛默飞世尔科技公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 标准溶液配制

标准贮备液配制(2.43 mg/mL)：取焦糖色素标准品约 0.5 g，精密称定，置 20 mL 量瓶中，加水溶解并稀释至刻度，摇匀；从容量瓶中精密量取 2 mL 至 50 mL 离心管中，加入无水乙醇 8 mL，混匀；离心(5000 r/min) 5 min，弃去上清液，残渣精密加水 20 mL 使溶解，摇匀，离心(12000 r/min) 4 min，取上清液，即得标准贮备溶液，于–20 ℃避光保存(7 d 内使用)。

标准工作曲线的配制：精密量取焦糖色素标准贮备溶液 0.10、0.40、1.00、2.00、4.00 和 8.00 mL，用水定容至 10 mL，配制成质量浓度分别为 0.0243、0.0973、0.2430、0.4860、0.9730 和 1.9500 mg/mL 的标准系列工作溶液。

加标用标准溶液(1.22 mg/mL)：取焦糖色素对照品约

0.25 g, 精密称定, 置 20 mL 量瓶中, 加水溶解并稀释至刻度, 摇匀; 从容量瓶中精密量取 2 mL 至 50 mL 离心管中, 加入无水乙醇 8 mL, 混匀, 离心(5000 r/min) 5 min, 弃去上清液, 残渣精密加水 20 mL 使溶解, 摇匀, 离心(12000 r/min) 4 min, 取上清液, 即得加标用标准溶液, 于–20 ℃避光保存(7 d 内使用)。

1.3.2　样品处理

取乌梅样品, 剥取适量乌梅肉置研磨机中粉碎。取乌梅肉粉末约 0.5 g, 精密称定, 置 50 mL 具塞离心管中, 精密加入 20 mL 水, 超声提取 20 min, 精密量取 2 mL 至 15 mL 具塞离心管中, 加入 8 mL 无水乙醇, 混匀, 离心(5000 r/min), 弃去上清液, 残渣精密加水 2 mL 使溶解后, 离心(12000 r/min) 4 min, 取上清液, 待测。

1.3.3　液相色谱条件

色谱柱: Luna SCX 100 Å (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 10 mmol/L 磷酸二氢钠溶液; 流速: 1.0 mL/min; 检测波长: 610 nm; 柱温: 30 ℃; 进样量: 5 μL。

1.3.4　进样精密度、重复性及稳定性

取焦糖色素对照品溶液, 照 1.3.3 项色谱条件连续进样 6 次, 记录焦糖色素峰面积, 计算出相对标准偏差(relative standard deviation, RSDs)。取含有焦糖色素的乌梅肉样品粉末, 照 1.3.2 项方法平行制备 6 份样品溶液, 照 1.3.3 项色谱条件, 分别进样测定。取其中 1 份样品溶液, 室温放置, 于 0、6、12、24 h, 按照 1.3.3 项色谱条件进样测定。

1.3.5　加标回收率

取已知焦糖色素含量的乌梅肉样品粉末约 0.5 g, 置 50 mL 具塞离心管中, 精密加入 1.3.1 项下质量浓度为 1.22 mg/mL 的加标用标准溶液 20 mL, 超声提取 20 min, 精密量取 2 mL 至 15 mL 具塞离心管中, 加入 8 mL 无水乙醇, 混匀, 离心(5000 r/min), 弃去上清液, 残渣精密加水 2 mL 使溶解后, 离心(12000 r/min) 4 min, 取上清液, 即得添加水平为 50 mg/g 的加标回收样品溶液, 平行制备 6 份, 照 1.3.3 项色谱条件进样。

1.4　数据处理

通过 OpenLAB 版本 3.5(3.5.3)色谱工作站系统进行数据采集及定性、定量分析, 再利用 Origin 2021 和 Excel 2007 软件进行数据分析。

2　结果与分析

2.1　色谱条件优化

2.1.1　色谱柱的选择

本研究比较了焦糖色素在 C_{18} 色谱柱和强阳离子交换 Luna SCX 100 Å 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)上的色谱行为。焦糖色素在 C_{18} 柱上表现为多个峰形不佳的色谱峰, 无法实现准确定量, 但在 Luna SCX 100 Å 色谱柱上显示为一个对称度较高的色谱峰, 理论板数可达 8000 以上, 因此选用 Luna SCX 100 Å 柱作为焦糖色素定量测定的色谱柱。

2.1.2　检测波长的选择

对焦糖色素进行了 190~800 nm 全波长扫描, 如图 1 所示, 焦糖色素在 200 nm 和 275 nm 处有最大吸收, 但在这两个波长下, 乌梅肉中的其他成分会对其检测产生干扰(图 2), 无法准确定量。参考相关文献[26–27], 选择 610 nm 作为检测波长, 可避免其他成分的干扰。

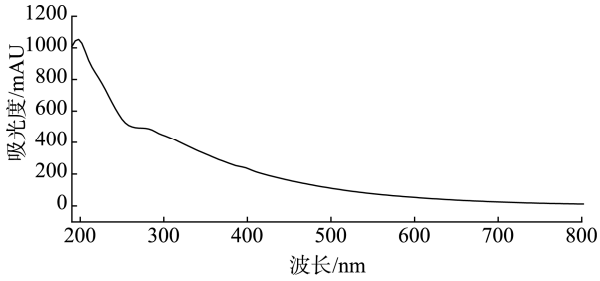


图 1　焦糖色素全波长扫描图

Fig.1　Full-wavelength scanning image of caramel

2.2　前处理条件的优化

2.2.1　提取方式的优化

焦糖色素易溶于水、稀乙醇和稀甲醇溶液, 不溶于油脂。本研究考察了水、10%甲醇、50%甲醇、80%甲醇对焦糖色素的提取效率, 结果表明水的提取效率最高, 因此选择水为提取溶剂。考察了均质和超声两种不同提取方式, 结果表明提取时间相同(20 min)时, 二者提取效率无显著差异, 考虑到超声提取较均质提取更为简便, 因此选择超声提取的方式。另外还对提取时间(10、20、30 min)进行了考察, 发现超声 20 min 以上提取效率无显著差异, 因此选择超声时间为 20 min。

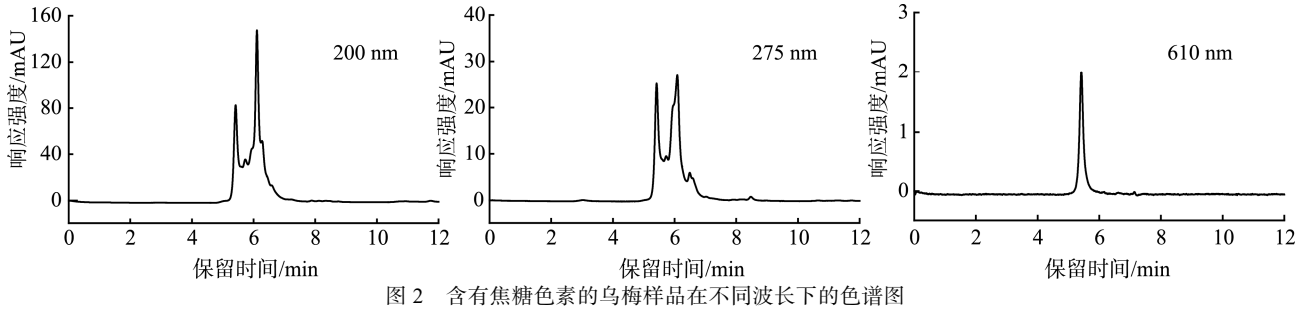


图 2　含有焦糖色素的乌梅样品在不同波长下的色谱图

Fig.2　Chromatograms of *Mume fructus* containing caramel at different wavelengths

2.2.2 乌梅取样部位的选择

乌梅中的糖类物质主要存在于乌梅肉中，因此基于加工工艺产生的微量焦糖色素只存在乌梅肉中，非法添加的焦糖色素也基本存在于乌梅表层果肉中。乌梅核中的种仁含有较多油脂成分，会对焦糖色素的提取产生影响。因此设计实验，取整粒乌梅粉碎和剥取乌梅肉粉碎后的粉末，比较二者焦糖色素的提取效率，结果表明，乌梅肉粉末中的焦糖色素提取效率远高于整粒乌梅粉末。最终确定剥取乌梅肉测定焦糖色素含量。

2.2.3 净化方式的选择

对待测的样品溶液考察了不同的净化方式，包括使用不同材质的滤头(尼龙、聚醚砜、亲水聚四氟乙烯)和离心取上清液的方式，在使用滤头过滤的方式中，均弃去了 0.5 mL 的初滤液。结果表明，3 种材质的滤头对焦糖色素均有较低程度的吸附，因此最终选择离心取上清液的方式进行净化。

2.3 方法学验证结果

2.3.1 线性关系关系考察和检出限、定量限测定

将 1.3.1 项下方法配制一系列的焦糖色素标准溶液(0.0243~2.4300 mg/mL)，在优化色谱条件下进行分析，以峰面积(Y)对其质量浓度(X，mg/mL)进行线性回归方程，得到线性方程为 Y=666.0415X–5.8309 (r=0.9999)，表明在该质量浓度范围内线性关系良好，焦糖色素标准品色谱图见图 3。

采用空白基质加标法测定方法灵敏度，当信噪比(S/N)达到 3 时，测得焦糖色素的检出限为 0.10 mg/g，当信噪比(S/N)为 10 时，定量限为 0.19 mg/g，说明本法灵敏度较高。

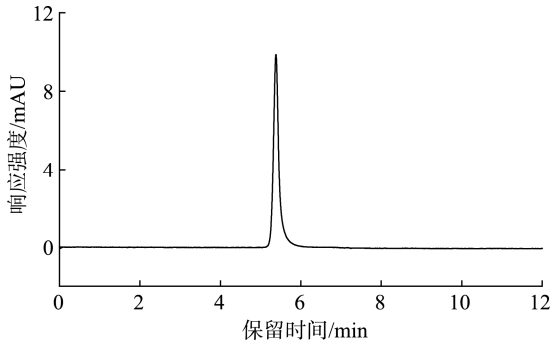


图 3 焦糖色素对照品色谱图

Fig3 Chromatogram of caramel reference substance

2.3.2 进样精密度、重复性及稳定性

连续 6 针焦糖色素对照品中峰面积的 RSDs 为 0.24%；6 份样品中的焦糖色素平均含量为 38.9 mg/g，RSDs 为 0.91%；24 h 内焦糖色素峰面积的 RSDs 为 0.50%。结果表明，本法进样精密度、重复性及稳定性良好。

2.3.3 加标回收率

焦糖色素 6 份平均回收率为 90.1%，RSDs 为 1.8%，说明本研究方法回收率较好。

2.4 乌梅样品测定

采用本研究建立的方法对收集到的乌梅样品进样检测，根据焦糖色素的色谱行为(保留时间)与光谱特征(紫外)进行定性分析，结合峰面积进行定量分析。结果表明，30 批乌梅中焦糖色素的检出量为 0~43.3 mg/g，具体结果见表 2。

表 2 乌梅中焦糖色素检测结果

Table 2 Caramel detection results in *Mume fructus*

编号	检测结果/(mg/g)	编号	检测结果/(mg/g)
S01	0.8	S16	0.5
S02	24.4	S17	6.9
S03	1.6	S18	12.4
S04	28.4	S19	0.1
S05	43.3	S20	0.9
S06	1.5	S21	1.8
S07	8.3	S22	11.9
S08	1.4	S23	0.7
S09	38.9	S24	0
S10	3.7	S25	0.1
S11	0.5	S26	0.2
S12	0.6	S27	0.1
S13	0.3	S28	0.1
S14	1.7	S29	1.0
S15	1.2	S30	2.7

其中 10 批来自生产基地符合规范生产工艺的乌梅样品中焦糖色素检出量为 0~2.7 mg/g，该数据代表了正常生产过程中焦糖色素的“本底水平”分布，未包含任何人为添加剂。鉴于样本量较小(n=10)，且呈非正态分布特征，本研究采用非参数百分位数法进行限度估算，该方法不依赖于数据的特定分布假设，适用于小样本的本底值分析。将 10 批数据导入 Origin 2021 软件进行统计分析。对数据列执行升序排序，确定最大值(Max)及各分位点位置。结果显示，第 10 批数据为当前样本集中的最大本底值。同时，绘制箱线图以可视化数据分布并识别潜在离群值，箱线图基于四分位距(interquartile range，IQR)构建“须”的上限(Q3+1.5×IQR)，该上限被用作判断异常值的统计学边界，见图 4。以排序后第 10 批数据(即最大值)为基础，采用安全系数法进行外推。为确保限度具有足够的区分度，将最终限度设定为 Max×1.5。此设定意味着，只有当样品中焦糖色素含量超过正常工艺最大本底值的 1.5 倍时，才被判定为疑似非法添加，从而有效降低假阳性风险。结合箱线图分析，该限度高于“上须”值，进一步验证了其作为“异常

值”判别线的合理性, 说明限度设定覆盖了正常工艺的潜在波动范围。

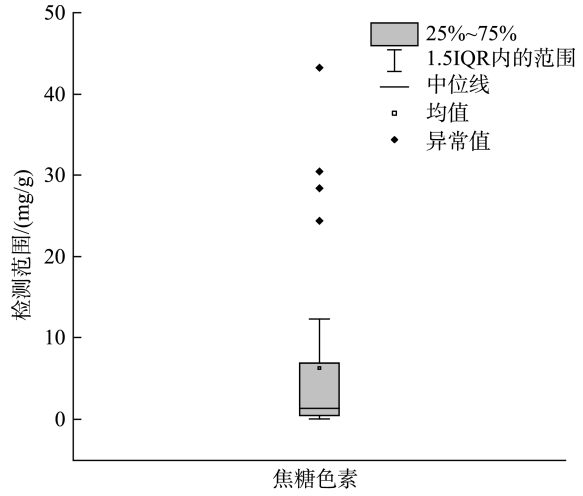


图 4　焦糖色素检测结果箱线图
Fig.4　Box plot of caramel detection results

基于上述统计分析过程, 最终确定乌梅中焦糖色素的限度值为 4.0 mg/g。30 批乌梅中有 8 批焦糖色素的含量超出该限度值, 超标率为 26.7%, 说明乌梅非法添加焦糖色素的现象较为普遍, 需引起监管重视。

3　结论与讨论

本研究建立了一种高效液相色谱法, 用于测定乌梅中非法添加的焦糖色素。检测结果表明, 符合规范生产工艺的乌梅样品中焦糖色素含量均较低, 说明规范的生产工艺下并不会产生过量焦糖色素。而部分来自市场和生产企业的乌梅样品中检出了较高含量的焦糖色素, 远超出自然工艺下生成的焦糖色素量, 提示其为非规范工艺生产, 非法添加了焦糖色素。30 批样品中有 8 批非法添加了焦糖色素, 添加率为 26.7%, 说明乌梅中添加焦糖色素的现象较为普遍。值得注意的是, 现行针对乌梅非法添加物的补充检验方法仅涵盖亮蓝、苋菜红和日落黄等合成色素, 尚未将焦糖色素纳入检测范围, 存在明显的监管空白。在样品前处理方面, 研究发现乌梅核对焦糖色素的提取具有显著干扰作用。为确保定量准确性, 本研究采用剥取果肉并粉碎的前处理策略, 有效消除了基质干扰, 使焦糖色素的加标回收率达到 90%以上, 方法重现性良好。

更为重要的是, 为科学区分乌梅加工过程中因工艺自然产生的焦糖色素本底与人为非法添加行为, 本研究融合实测数据、统计学建模与食品安全风险管理理念, 首次提出了适用于乌梅中焦糖色素的限量判定阈值。该限值既充分尊重传统加工工艺所产生的合理本底水平, 又为监管部门识别和打击非法添加行为提供了可量化、可操作的科学依据, 兼具技术可行性与实践监管价值。

参考文献

[1] GONG XP, TANG Y, SONG YY, *et al*. Comprehensive review of phytochemical constituents, pharmacological properties, and clinical applications of *Prunus mume* [J]. Frontiers in Pharmacology, 2021(12): 1222–1243.

[2] 马嫄, 罗鸣, 殷晓翠, 等. 果梅的化学成分及应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 6.
MA Y, LUO M, YIN XC, *et al*. Research progress on the chemical components and applications of *Prunus mume* [J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(4): 6.

[3] 李美红, 张文军, 朱婷, 等. 高效液相色谱法测定天然烟用香料乌梅粉体中柠檬酸[J]. 食品工业, 2024, 45(9): 307–310.
LI MH, ZHANG WJ, ZHU T, *et al*. Determination of citric acid in natural tobacco flavoring powder of *Prunus mume* by high performance liquid chromatography [J]. Food Industry, 2024, 45(9): 307–310.

[4] 曹田欣, 闫小娟, 张海悦. 乌梅多糖提取工艺、理化性质及其体外功能活性[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(24): 101–110.
CAO TX, YAN XJ, ZHANG HY. Extraction technology, physicochemical properties and *in vitro* functional activities of dark plum polysaccharides [J]. Food Research and Development, 2024, 45(24): 101–110.

[5] 林炎娟, 方智振, 周丹蓉, 等. 基于网络药理学和分子对接技术研究乌梅改善消化不良的作用机制[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(7): 2113–2121.
LIN YJ, FANG ZZ, ZHOU DR, *et al*. Study on the mechanism of dark plum in improving dyspepsia based on network pharmacology and molecular docking technology [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(7): 2113–2121.

[6] 贾丽娜, 马倩, 王新月, 等. 基于体外发酵模型分析植物多糖对 T2DM 患者肠道菌群及代谢的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(2): 248–261.
JIA LN, MA Q, WANG XY, *et al*. Analysis of the effects of plant polysaccharides on gut microbiota and metabolism in T2DM patients based on an *in vitro* fermentation model [J]. Food Science. 2023, 44(2): 248–261.

[7] 张恒, 郑俏然, 何靖柳, 等. 藏茶玫瑰乌梅无糖复合饮料研制及功能性成分分析与抗氧化研究[J]. 食品科技, 2021, 46(1): 46–53, 61.
ZHANG H, DENG QR, HE JL, *et al*. Development of sugar-free compound beverage with tibetan tea, rose and dark plum and analysis of functional components as well as antioxidant activity research [J]. Food Science, 2021, 46(1): 46–53, 61.

[8] 林奇, 李维强, 温利春. 风味雪茶饮料加工的工艺研究[J]. 食品工业, 2005(2): 12–14.
LIN Q, LI WQ, WEN LC. Study on processing technology of flavored snow tea beverage [J]. Food Industry, 2005(2): 12–14.

[9] 金世元. 金世元中药材传统经验鉴别[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2010.
JIN SY. Traditional experience in identifying Chinese herbal medicines by Jin Shiyuan [M]. Beijing: China Traditional Chinese Medicine Press, 2010.

[10] 张贵君. 现代中药材商品通鉴[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2001.

ZHANG GJ. Modern Chinese medicinal materials commodity compendium [M]. Beijing: China Traditional Chinese Medicine Press, 2001.

[11] 谢宗万. 中药品种理论与应用[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
XIE ZW. Theory and application of traditional Chinese medicine varieties [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008.

[12] 上海市食品药品监督管理局公告. 2016 年第 1 期药品监督抽验质量公告(2016 年 2 月 29 日)[EB/OL]. (2016-02-29) [2026-01-06]. https://yjj.sh.gov.cn/ypypbzclzlcyxxgg/20191212/0003-15863.html
Announcement of the Shanghai Food and Drug Administration. Quality Announcement of Drug Supervision and Random Inspection (Issue 1, 2016) (February 29, 2016) [EB/OL]. (2016-02-29) [2026-01-06]. https://yjj.sh.gov.cn/ypypbzclzlcyxxgg/20191212/0003-15863.html

[13] 福建省食品药品监督管理局公告. 福建省药品质量公告(2019 年第 3 期, 总第 77 期)[EB/OL]. (2019-11-28) [2026-01-06]. https://yjj.scjgj.fujian.gov.cn/zwgk/gstg/jdcy/ypcyxx/201911/t20191128_5140881.htm
Announcement of the Fujian Provincial Food and Drug Administration. Fujian Provincial Drug Quality Announcement (2019, Issue 3, Total Issue 77) [EB/OL]. (2019-11-28) [2026-01-06]. https://yjj.scjgj.fujian.gov.cn/zwgk/gstg/jdcy/ypcyxx/201911/t20191128_5140881.htmL

[14] 胡青, 林媛, 张燄, 等. 超高效液相色谱-三重串联四级杆质谱法测定乌梅中 19 种深色染色色素[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(7): 2663–2670.
HU Q, LIN Y, ZHANG G, *et al*. Determination of 19 kinds of dark coloring pigments in *Mume fructus* by ultra-high performance liquid chromatography coupled with triple quadrupole tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016, 7(7): 2663–2670.

[15] 王树清, 高崇, 朱石生. 高色率焦糖色素的合成新工艺[J]. 中国调味品, 2005(3): 4.
WANG SQ, GAO C, ZHU SS. New synthesis process of high color yield caramel pigment [J]. China Condiment, 2005(3): 4.

[16] CLARK AV, MYERS DV, HATCH VI. Process for seperating caramel colors: USA, US4416700 [P]. 1983-11-22.

[17] WOLF PA, RAMASWAMY SR. Process for seperating caramel colors: USA, US5114492 [P]. 1992-5-19.

[18] 张颖, 屈琼, 赵小梅, 等. 乌梅肉的药用沿革及现代研究进展[J]. 中国中药杂, 2023, 48(14): 3753–3764.
ZHANG Y, QU Q, ZHAO XM, *et al*. The medicinal history and modern research progress of *Fructus mume* [J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Materia Medica, 2023, 48(14): 3753–3764.

[19] 李江含. 乌梅质量评价及加工温度研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2019.
LI JH. Study on quality evaluation and processing temperature of black plum [D]. Chengdu: Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, 2019.

[20] YONG-DOO K, MYUNG-HWA J, I-RAN K, *et al*. Chemical composition of *Prunus mume* flower varieties and drying method [J]. Food Science and Preservation, 2006, 13(2): 186–191.

[21] ZHI-YI C, YAO-SHENG L, XUE-MING L, *et al*. Chemical composition and antioxidant activities of five samples of *Prunus mume* Umezu from different factories in South and East China [J]. Journal of Food Quality, 2017(2017): 1–7.

[22] PARK G, JANG H, KIM K, *et al*. Effect of storage temperature and pressure plate treatment on chemical composition in *Prunus mume* sugar extracts [J]. Food Engineering Progress, 2020, 24(4): 309–316.

[23] BUERA MDP, CHIRIFE J, RESNIK SL, *et al*. Nonenzymatic browning in liquid model systems of high water activity: Kinetics of color changes due to caramelization of various single sugars [J]. Journal of Food Science, 2010, 52(4): 1059–1062.

[24] KOCADAL T, GKMEN V. Caramelization in foods: A food quality and safety perspective [M]. Encyclopedia of Food Chemistry, 2019.

[25] ELEN A, SUAREZ-PEREIRA, ENRIQU E, *et al*. Di-*D*-fructose dianhydride-enriched products by acid ion-exchange resin-promoted caramelization of *D*-fructose: Chemical analyses [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(3): 1777–1787.

[26] 叶佳明, 钟世欢, 苏敏, 等. 食品中焦糖色与 4-甲基咪唑的测定[J]. 食品科技, 2024, 49(5): 321–327.
YE JM, ZHONG SH, SU M, *et al*. Determination of caramel color and 4-methylimidazole in food [J]. Food Science and Technology, 2024, 49(5): 321–327.

[27] 陈意光. 高效液相色谱法测定食品中焦糖色素的含量[J]. 广东化工, 2014(21): 208–210.
CHEN YG. Determination of caramel content in food by high performance liquid chromatography [J]. Guangdong Chemical Industry, 2014(21): 208–210

[28] 吴小盼, 胡家勇, 肖甚圣, 等. 食品中甲基咪唑类物质形成机制、安全评价及分析方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(17): 11–21.
WU XP, HU JY, XIAO SS, *et al*. Research progress on the formation mechanism, safety evaluation and analytical methods of methylimidazoles in food [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(17): 11–21.

[29] BOSCOLO M, ANDRADE-SOBRINHO LG, LIMA-NETO BS, *et al*. Spectrophotometric determination of caramel content in spirits aged in oak casks [C]. Web Science: Aoac International, 2002.

[30] GROVER DW. The measurement and character of caramel colour [J]. International Journal of Food Science & Technology, 1968, 3(4): 311–323.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)