

网络出版时间:2024-07-31 09:49 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2025.02.015
网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1390.S.20240730.1238.007

五味子适宜采收期的多指标综合评判

许楠, 李佳静, 范思媛, 于前前, 赵萌, 刘景玲, 董娟娥

(西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要 【目的】通过五味子果实颜色及内在成分含量变化确定其适宜采收期,为以果实色泽变化程度指导适宜采收时期提供理论依据。【方法】从五味子果实转色起,依序采收5批次不同颜色的果实,测定各批次样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 、叶绿素、花色苷、多酚、黄酮、多糖含量及五味子醇甲、醇乙、酯甲、酯乙、甲素、乙素、丙素含量;观测果实体积、干质量、鲜质量等基础指标及可滴定酸、可溶性糖等糖酸物质含量,分析上述指标的相关性,确定适宜采收期的评判指标。【结果】随着五味子果实由绿变红, a^* 由负到正不断增大, L^* 和 b^* 值不断减小,叶绿素含量下降,花色苷含量上升;果实横径、纵径、体积、鲜质量、干质量均不断增大;可溶性糖、可滴定酸、可溶性固形物含量不断增多;关键药效成分醇甲及总木脂素含量持续显著下降;其他药效成分黄酮、多酚含量降低,多糖含量升高。相关性分析结果表明,五味子转色期间,红绿色度 a^* 与横径、纵径、体积、鲜质量、干质量呈显著正相关,与次生代谢产物五味子醇甲、醇乙、乙素、总木脂素含量呈显著负相关,与可溶性糖、可滴定酸、可溶性固形物、多糖含量呈显著正相关。【结论】红绿色度 a^* 与大多数指标显著相关,可作为关键指标指导五味子适宜采收期的判定。以五味子木脂素含量和果实质量为首要因素,兼顾外观性状、果实成熟度和多酚、黄酮含量,确定果实外观呈白绿或斑驳粉色是五味子的适宜采收期。

关键词 五味子;果实颜色;木脂素;适宜采收期

中图分类号 R282.4;S567.1

文献标志码 A

文章编号 1671-9387(2025)02-0139-09

Multi-index comprehensive evaluation of suitable harvest time of *Schisandra chinensis*

XU Nan, LI Jiajing, FAN Siyuan, YU Qianqian, ZHAO Meng,
LIU Jingling, DONG Juan'e

(College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The suitable harvest time of *Schisandra chinensis* was determined by the color change of fruit, which provided a theoretical basis for guiding the suitable harvest time based on the color change degree of fruit. 【Method】Five batches of fruits with different colors were collected in sequence starting from the color change of *Schisandra chinensis* fruits, and the L^* , a^* , b^* of *Schisandra chinensis* fruits was quantitatively analyzed. The contents of chlorophyll, anthocyanin, polyphenols, flavonoids and polysaccharides, schisandrol A, schisandrol B, schisantherin A, schisantherin B, schisandrin A, schisandrin B and schisandrin C were determined. The basic indexes such as fruit volume, dry weight and fresh weight, and the contents of sugar and acid substances such as titratable acid and soluble sugar were determined. The correlation analysis of the above indexes was carried out to determine the evaluation index of suitable

〔收稿日期〕 2023-11-14

〔基金项目〕 国家重点研发计划项目“林下中药材优质生产关键技术与集成示范”(2021YFD1000203)

〔作者简介〕 许楠(1998—),女,山东莱芜人,在读硕士,主要从事药用植物栽培加工研究。E-mail: xnxunan@nwafu.edu.cn

〔通信作者〕 董娟娥(1968—),女,陕西蒲城人,教授,博士,博士生导师,主要从事药用植物次生代谢调控研究。

E-mail: dzsys@nwsuaf.edu.cn

刘景玲(1979—),女,内蒙古包头人,高级实验师,博士,主要从事药用植物规范化栽培和加工研究。

E-mail: 376961495@qq.com

harvest time. 【Result】 As the fruit of *Schisandra chinensis* changed from green to red, a^* increased from negative to positive, L^* and b^* values decreased, total chlorophyll content decreased and anthocyanin content increased. The transverse diameter, longitudinal diameter, volume, fresh weight and dry weight of fruit were increasing. Soluble sugar, titratable acid and soluble solids were increasing. The total amount of schisandrol A and lignans, continued to decrease significantly. The content of flavonoids and polyphenols in other medicinal components decreased, while the content of polysaccharides increased. Correlation analysis showed that the red-green chromaticity a^* was significantly positively correlated with transverse diameter, longitudinal diameter, volume, fresh weight and dry weight during the color change of *Schisandra chinensis*. It was significantly negatively correlated with secondary metabolites such as *Schisandra chinensis* schisandrol A, schisandrol B, schisandrin B and total lignans. It was significantly positively correlated with the contents of soluble sugar, titratable acid, soluble solid and polysaccharide. 【Conclusion】 Red-green chromaticity a^* was significantly related to most indicators, which can be used as a key indicator to determine the suitable harvest time. Taking the content of lignans and fruit weight of *Schisandra chinensis* as the primary factors, taking into account the appearance characteristics, fruit maturity, polyphenols and flavonoids content, it was determined that the white-green or mottled pink period was the suitable harvest period of *Schisandra chinensis*.

Key words: *Schisandra chinensis*; fruit color; lignans; suitable harvest period

五味子(*Schisandra chinensis*)为木兰科(Magnoliaceae)五味子属(*Schisandra*)药用植物,其药用部位为干燥果实,俗称“北五味子”。五味子含多种药效成分,其中木脂素是主要活性物质,五味子醇甲是药典规定的指标性成分,此外还含有多糖、黄酮、多酚、有机酸、挥发油等物质^[1]。现代药理学研究表明,五味子具有保肝、保护神经、降血糖、抗氧化、抗癌、抗炎等作用^[2]。除了药用价值,民间还有将五味子加工成果汁、果酱、凉茶、果酒等食用的传统^[3]。

中药材质量与采收环节密切相关,适时采收是中药产业实现质量标准化的重要前提^[4-5]。五味子药材质量很大程度上受采收时间的影响^[6-7],而当前关于五味子适宜采收期的研究及生产实践均存在一些问题。首先,在以往的五味子采收期研究中,通常将一种或几种五味子的木脂素含量作为采收期判断标准,而忽略了五味子外观特征及其他内在成分含量等因素,这导致无法全面、真实地反映五味子成熟状况及药材质量。其次,五味子种植范围日益广泛,加之全球气候变化剧烈,这加大了五味子在不同产区和不同年份适宜采收期的差异^[5],使得以限定月份采收的传统方式不再适用于实际生产。因此,亟待建立一种便于药农判别,具有实际应用价值且能科学客观判断五味子适宜采收期的方法。

色差理论已被中药领域广泛应用,这为以中药材外观颜色指示药材成熟程度提供了扎实的理论支撑^[8-10],同时也为中药材适宜采收期的确定提供了

新思路。如现有研究表明,覆盆子果实未变黄时采收最佳^[11],大黄、黄柏呈黄褐色或黄棕色时采收最佳,丹参表面呈棕红色或暗棕红色时采收为宜^[4]。为了确立可以全面反映五味子成熟状况和药材质量的适宜采收期,本研究立足于五味子转色过程中果实颜色变化,探究五味子果实颜色与内在成分含量的关系,以此确定五味子适宜采收期,以期五味子药材质量保障和提升提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

1.1.1 主要仪器 CS 580 色差仪,杭州彩谱科技有限公司;UV-1700 紫外分光光度计,日本岛津公司;ALC-210 型分析天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;XMTD-8222 型恒温水浴锅、DHG-9240 A 电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;SB 25-12 DTD 超声波清洗机,宁波新芝生物科技股份有限公司;5430 R 高速冷冻离心机,德国艾本德公司;TSU 600 V 超低温冰箱,赛默飞世尔科技公司;AR 4 阿贝折射仪,北京莱比信科技发展有限公司;1525 二元泵高效液相色谱仪,美国 Waters 科技有限公司。

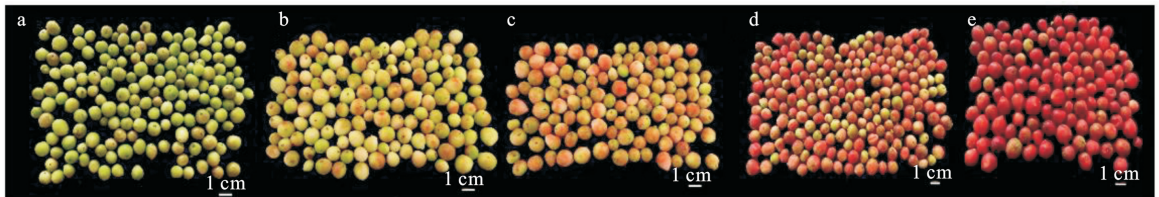
1.1.2 主要试剂 五味子醇甲(批号:S117969),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;五味子丙素(批号:DSTDW001401),成都德斯特生物技术有限公司;五味子醇乙(批号:SS8190)、五味子酯甲(批号:

SS8200)、福林酚(批号:410J033),均购自北京索莱宝生物科技有限公司;五味子酯乙(批号:B21326)、五味子甲素(批号:B21326)、五味子乙素(批号:B21327)、没食子酸(批号:Y19M8C36143)、芦丁(批号:Y225653719),均购自上海源叶生物科技有限公司;甲醇、丙酮(色谱纯),安徽天地高纯溶剂有限公司;蒸馏水,杭州娃哈哈集团有限公司。

1.2 试验材料及处理

试验地点位于陕西省商洛市柞水县试验田(N 33°79'32", E 109°34'28")。试验材料经鉴定为木兰科五味子属五味子(*Schisandra chinensis*)。随机选

取生长势良好的 18 株五味子植株作为试验树并挂牌标记,从果实开始变色到变为深红色的整个转色期,依五味子果实颜色变化程度采样,确保样品果实的颜色能代表该时期果实颜色特点。采样时,每株试验树随机选取 1~2 穗果实,采后立即送回实验室。测完果实色度及体积、鲜质量等指标后,一部分储存于 -80 °C 冰箱,用于鲜果指标测定;其余部分在 50 °C 下烘干,研成粉末,用于测定果实干质量及次生代谢物含量。整个转色期共采样 5 次,各样品外观特征见图 1。



a. 青绿色; b. 白绿色; c. 斑驳粉色; d. 浅红色; e. 深红色。图 2 同。

a. Turquoise; b. White green; c. Mottled pink; d. Light red; e. Dark red. The same for Fig. 2.

图 1 转色期间各阶段五味子鲜果的外观特征

Fig. 1 Appearance characteristics of *Schisandra chinensis* fruits at different stages during color change

1.3 测定指标及方法

1.3.1 色度值 色差仪测定条件:光源 D65,标准观察角 10°,照明口径 8 mm,使用前用黑白比色板校准。将五味子鲜果果粒取下,对准色差仪测量口测定;将五味子药材粉末置于粉末测试盒压制平整后测定。读取并记录 L^* 、 a^* 、 b^* 数值,计算总色差值 E_{ab}^* [12]。

1.3.2 叶绿素含量 称取 1 g 五味子鲜果,加入体积分数 80% 的丙酮溶液 10 mL,避光放置 12 h 后过滤,重复 1 次,将 2 次滤液合并,定容至 20 mL 待测。以丙酮溶液为对照,测定 663 和 645 nm 处吸光度,参照赵文华等 [13] 的方法计算叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素 a+b 的含量。

1.3.3 花色苷含量 称取 1 g 五味子鲜果,加入体积分数 0.1% 的盐酸-甲醇溶液 10 mL,600 W 超声浸提 30 min,重复 1 次,将 2 次滤液合并,定容至 20 mL 待测。取两份 1 mL 待测液,一份加入 5 mL 氯化钾缓冲液(0.025 mol/L, pH 1.0)稀释,另一份加入 5 mL 醋酸钠缓冲液(0.4 mol/L, pH 4.5)稀释,混合均匀后分别于 520 和 700 nm 处测定吸光度,计算花色苷含量 [14]。

1.3.4 果实基础指标 随机取各生长期的五味子鲜果 50 粒,用游标卡尺测定横径、纵径;用量筒排水

法测定 50 粒五味子果实体积;用电子天平称取 50 粒五味子鲜果质量;于 50 °C 下烘干果实,测定 50 粒果实烘干后的质量;计算果形指数及折干率。

果形指数 = 果实纵径 / 果实横径。

折干率 = (50 粒烘干果实质量 / 50 粒新鲜果实质量) × 100%。

1.3.5 糖酸含量 (1) 可溶性糖含量。称取 1 g 五味子鲜果,加入 25 mL 蒸馏水,于沸水中提取 2 次,每次 30 min,提取液过滤至 50 mL 容量瓶中待测。参照苯酚-硫酸法 [15] 测定并计算可溶性糖含量。

(2) 可滴定酸含量。称取 3 g 五味子鲜果,加入 30 mL 蒸馏水,于 80 °C 恒温水浴中浸提 30 min,提取液过滤至 50 mL 容量瓶中待测。参照酸碱滴定法 [16] 测定并计算可滴定酸含量。

(3) 可溶性固形物含量。用阿贝折射仪测定果实中可溶性固形物含量,将果肉挤压获得果汁,搅拌均匀后滴于感应区读数。

1.3.6 次生代谢物含量 (1) 黄酮含量。称取 0.25 g 五味子干样,加入体积分数 70% 乙醇 10 mL,600 W 超声提取 30 min,取出放冷,补足减失量,10 000 r/min 离心 5 min,参照 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$ 比色法 [17] 测定并计算黄酮含量。

(2) 多酚含量。称取 0.15 g 五味子干样,加入

体积分数 70% 乙醇 10 mL, 600 W 超声提取 30 min, 取出放冷, 补足减失量, 10 000 r/min 离心 5 min, 参照福林酚法^[17]测定并计算多酚含量。

(3) 多糖含量。称取 0.5 g 五味子干样, 置于 100 mL 烧瓶中, 加入 40 mL 蒸馏水, 称质量。沸水浴中回流提取 2 h, 放冷, 补足减失量, 精密量取 2.0 mL 上清液置于离心管中, 并加入 10.0 mL 无水乙醇, 摇匀, 静置 24 h 后 10 000 r/min 离心 10 min, 弃上清, 用适量蒸馏水充分溶解沉淀并定容至 50 mL 的容量瓶中, 参照苯酚-硫酸法^[18]测算多糖含量。

(4) 木脂素含量。参考丁佐等^[19]的高效液相色谱方法, 测定五味子醇甲、五味子醇乙、五味子酯甲、

五味子酯乙、五味子甲素、五味子乙素、五味子丙素含量, 计算总木脂素含量。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2021 进行数据整理, 用 SPSS 23.0 进行单因素方差分析, 并用 LSD 法进行显著性检验。采用 Spearman 法进行相关性分析, 用 Origin 2022 绘图。

2 结果与分析

2.1 转色期五味子鲜果颜色及色素含量变化

转色期间各阶段五味子鲜果色度及其色素含量见表 1。

表 1 转色期间各阶段五味子鲜果色度及其色素含量

Table 1 Chromaticity and pigment content of *Schisandra chinensis* fruit at different stages during color change

颜色 Color	L^*	a^*	b^*	E_{ab}^*	花色苷/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Anthocyanin	叶绿素 a/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Chlorophyll a	叶绿素 b/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Chlorophyll b _μ	叶绿素 a+b/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Chlorophyll a+b
青绿 Turquoise	65.87±4.42 a	-6.58±4.67 e	41.29±4.00 a	78.19±5.37 a	5.01±0.39 e	24.21±0.55 a	10.93±0.68 a	35.14±0.24 a
白绿 White green	66.92±6.33 a	1.14±6.12 d	37.32±3.74 b	76.94±6.40 a	15.55±0.71 d	11.78±0.22 b	5.79±0.08 b	17.57±0.14 b
斑驳粉 Mottled pink	61.92±5.30 b	10.22±7.39 c	32.77±4.27 c	71.27±5.46 b	46.13±2.81 c	11.20±0.28 b	4.67±0.50 bc	15.88±0.77 c
浅红 Light red	54.04±5.80 c	26.55±10.42 b	26.01±4.55 d	66.53±5.79 c	110.41±7.98 b	5.96±0.08 c	3.34±0.46 cd	9.30±0.54 d
深红 Dark red	45.14±4.63 d	40.00±3.49 a	21.39±2.89 e	64.10±5.21 c	230.13±9.46 a	4.80±0.06 d	2.94±0.25 d	7.74±0.29 e

注: 同列数据后标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$). The same below.

由表 1 可以看出, 五味子转色期 L^* 和 b^* 总体呈下降趋势, 即果实亮度、黄蓝色度不断下降。除果实青绿和白绿阶段 L^* 变化不明显外, 其余各阶段 L^* 和 b^* 均有显著变化 ($P < 0.05$)。五味子转色过程中, a^* 由负到正持续增大, 且各阶段均达到差异显著水平 ($P < 0.05$)。 E_{ab}^* 代表总色差, 可表征不同取样阶段五味子果实果皮颜色整体差异。由表 1 可见, E_{ab}^* 变化较大的 2 个阶段为白绿转斑驳粉与斑驳粉转浅红阶段, 差值分别达到 5.67 和 4.74。由表 1 可见, 五味子转色过程中花色苷持续积累, 各阶段含量均达到差异显著水平 ($P < 0.05$), 在白绿阶

段后积累速度加快。总叶绿素含量持续降低, 大幅降低阶段为果实由青绿转为白绿阶段。叶绿素 a 和叶绿素 b 含量与总叶绿素含量变化趋势一致。

2.2 转色期五味子药材粉末的外观变化

转色期间各阶段五味子药材粉末的外观特征见图 2, 其色度测定值见表 2。由表 2 可见, 不同阶段五味子药材粉末色度值 E_{ab}^* 不断降低。各阶段药材粉末色度存在明显差异, 亮度 L^* 呈现先升高后降低变化趋势, a^* 持续显著升高, b^* 则持续显著降低 ($P < 0.05$)。

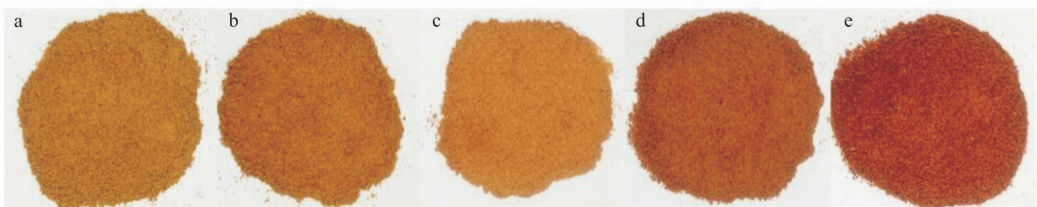


图 2 转色期间各阶段五味子药材粉末的外观特征

Fig. 2 Appearance characteristics of *Schisandra chinensis* herb powder at different stages during color change

表 2 转色期间各阶段五味子药材粉末的色度

Table 2 Chromaticity of *Schisandra chinensis* herb powder at different stages during color change

颜色 Color	L^*	a^*	b^*	E_{ab}^*
青绿 Turquoise	49.46±0.62 c	10.33±0.30 e	31.20±0.83 a	31.20±0.83 a
白绿 White green	51.93±0.94 b	11.70±0.17 d	30.97±0.44 a	30.97±0.44 a
斑驳粉 Mottled pink	54.51±0.70 a	14.65±0.17 c	28.80±0.28 b	28.80±0.28 b
浅红 Light red	46.36±0.86 d	16.10±0.68 b	25.19±1.48 c	25.19±1.48 c
深红 Dark red	40.94±1.12 e	18.09±0.04 a	22.53±0.35 d	22.53±0.35 d

2.3 转色期五味子果实的形态变化

由表 3 可见,转色期间五味子果实横径与纵径变化趋势一致,均随转色过程推进而增大;果实横、纵径在青绿阶段显著小于其他 4 个阶段($P < 0.05$),从白绿阶段起变化不显著($P > 0.05$);果形

指数在各阶段未见显著变化($P > 0.05$)。50 粒果实体积、鲜质量和干质量持续增加,在深红和浅红阶段达到最大,且果实青绿阶段显著低于其余 4 个阶段($P < 0.05$)。随着果实变红,折干率提高,果实浅红、深红阶段显著高于其余 3 个阶段($P < 0.05$)。

表 3 转色期间各阶段五味子果实的形态指标

Table 3 Morphological indexes of *Schisandra chinensis* fruits at different stages during color change

颜色 Color	横径/mm Transversal diameter	纵径/mm Longitudinal diameter	50 粒体积/cm ³ 50 grains volume	50 粒鲜质量/g 50 grains fresh weight	50 粒干质量/g 50 grains dry weight	折干率/% Dry rate	果形指数 Fruit shape index
青绿 Turquoise	7.46±0.88 b	8.34±1.07 b	14.67±0.58 c	14.98±0.24 b	2.87±0.06 c	19.15±0.19 b	1.12±0.08 a
白绿 White green	8.36±0.97 a	9.36±1.39 a	21.50±0.50 b	22.26±0.36 a	4.25±0.02 b	19.08±0.23 b	1.12±0.09 a
斑驳粉 Mottled pink	8.17±1.03 a	9.18±1.04 a	22.00±1.73 ab	22.18±1.62 a	4.39±0.26 b	19.80±0.28 b	1.13±0.09 a
浅红 Light red	8.47±1.22 a	9.60±1.32 a	23.67±1.16 a	23.09±2.40 a	5.18±0.66 a	22.40±0.60 a	1.14±0.05 a
深红 Dark red	8.55±0.85 a	9.70±1.07 a	23.67±0.58 a	23.36±1.89 a	5.10±0.43 a	21.81±0.75 a	1.13±0.07 a

2.4 转色期五味子果实的糖酸物质含量变化

表 4 显示,转色期间五味子果实可溶性糖、可滴定酸及可溶性固形物均不断积累。果实青绿阶段可溶性糖含量显著低于其他阶段($P < 0.05$)。可滴定

酸含量在各阶段均有显著差异($P < 0.05$),在果实白绿阶段后积累速度加快。可溶性固形物含量在果实由斑驳粉转为浅红阶段迅速积累,使得浅红、深红阶段的可溶性固形物含量显著增加($P < 0.05$)。

表 4 转色期间各阶段五味子果实的糖酸物质含量

Table 4 Contents of sugar and acid substances in *Schisandra chinensis* fruits at different stages during color change

颜色 Color	可溶性糖/(mg·g ⁻¹) Soluble sugar	可滴定酸/(mg·g ⁻¹) Titrable acid	可溶性固形物/% Soluble solids
青绿 Turquoise	30.97±1.57 d	19.78±0.24 e	4.47±0.45 d
白绿 White green	41.42±3.08 c	21.05±0.28 d	5.00±0.25 c
斑驳粉 Mottled pink	45.59±2.76 bc	27.84±0.30 c	6.08±0.14 b
浅红 Light red	50.70±3.00 ab	35.13±0.27 b	10.33±0.29 a
深红 Dark red	56.19±1.49 a	40.10±1.14 a	10.33±0.14 a

2.5 转色期五味子果实的次生代谢物含量变化

2.5.1 黄酮、多酚、多糖含量 转色期间各阶段五味子黄酮、多酚、多糖含量见表 5。由表 5 可见,五味子果实转色期间,黄酮含量整体呈下降趋势,果实斑驳粉、浅红阶段黄酮含量显著低于青绿、白绿阶段($P < 0.05$)。多酚含量在五味子果实青绿阶段最高,浅红阶段最低。随着五味子转色,五味子果实中的多糖含量呈上升趋势,深红阶段显著高于其他阶段($P < 0.05$)。

2.5.2 木脂素含量 由表 6 可知,五味子总木脂素

含量随果实成熟进程推进持续下降,在白绿转斑驳粉阶段降幅最大;最高值出现在青绿阶段,白绿和斑驳粉阶段次之。转色期 5 批次样品中五味子醇甲含量为 7.07~9.93 mg/g,明显高于 2020 版《中国药典》^[20] 规定(0.4%,4.0 mg/g);随转色进程的推进,醇甲含量呈现显著下降趋势($P < 0.05$),最大值出现在青绿阶段,白绿和斑驳粉阶段次之。7 种木脂素中,醇甲含量最高,其次为乙素、甲素、醇乙、酯甲、酯乙,丙素含量最低;醇乙、酯乙、甲素、乙素含量均在青绿阶段最高,白绿或斑驳粉阶段次之;酯甲含量

在白绿阶段最高,斑驳粉阶段最低;丙素含量在斑驳粉阶段最高,青绿阶段次之。

表 5 转色期间各阶段五味子果实的黄酮、多酚、多糖含量

Table 5 Content of polyphenols and flavonoids and polysaccharides in *Schisandra chinensis*

		fruits at different stages during color change			mg/g
颜色 Color	黄酮 Flavone	多酚 Polyphenol	多糖 Polysaccharide		
青绿 Turquoise	9.61±1.14 a	9.14±0.60 a	70.94±3.13 d		
白绿 White green	8.93±1.08 ab	8.16±0.41 ab	76.15±2.10 cd		
斑驳粉 Mottled pink	6.80±0.88 c	8.15±0.26 ab	75.26±3.64 bc		
浅红 Light red	6.83±0.72 c	7.99±0.26 b	80.26±0.60 b		
深红 Dark red	7.55±0.99 bc	8.79±0.90 ab	86.80±1.32 a		

表 6 转色期间各阶段五味子果实的木脂素含量

Table 6 Lignans content of *Schisandra chinensis* at different stages during color change

		Lignans content of <i>Schisandra chinensis</i> at different stages during color change							mg/g
颜色 Color	醇甲 Schisandrol A	醇乙 Schisandrol B	酯甲 Schisantherin A	酯乙 Schisantherin B	甲素 Schisandrin A	乙素 Schisandrin B	丙素 Schisandrin C	总木脂素 Total lignan	
青绿 Turquoise	9.93±0.16 a	2.92±0.04 a	1.24±0.03 bc	1.47±0.02 a	3.38±0.01 a	4.34±0.04 a	0.40±0.01 a	23.69±0.28 a	
白绿 White green	9.06±0.04 b	2.59±0.01 bc	1.53±0.02 a	1.17±0.01 c	3.43±0.07 a	4.30±0.01 a	0.23±0.05 b	22.31±0.07 b	
斑驳粉 Mottled pink	8.15±0.10 c	2.64±0.02 b	0.95±0.01 d	1.28±0.01 b	1.99±0.03 c	3.09±0.16 b	0.45±0.06 a	18.55±0.37 c	
浅红 Light red	7.47±0.05 d	2.45±0.02 c	1.15±0.02 c	0.75±0.02 e	1.89±0.01 c	2.93±0.02 bc	0.14±0.00 bc	16.78±0.03 d	
深红 Dark red	7.07±0.19 d	2.27±0.07 d	1.35±0.07 b	0.91±0.05 d	2.55±0.10 b	2.73±0.11 c	0.04±0.01 c	16.92±0.58 d	

2.6 转色期五味子果实各指标的相关性分析

由图 3 可知,五味子果实横径、纵径、体积、鲜质量、干质量等各指标间均呈正相关关系,这些指标与可溶性糖、可滴定酸含量均呈显著正相关关系,与次生代谢产物醇甲、醇乙、酯乙、甲素、乙素、丙素、总木脂素、黄酮、多酚含量呈负相关,其中横径、纵径、50 粒鲜质量与醇甲、醇乙、酯乙、乙素、丙素含量均呈显著负相关。

a^* 代表五味子果实的红绿程度,在五味子转色期的色度量中最具代表意义。相关性分析结果(图 3)表明, a^* 与大多数指标高度相关,其与花色苷含量呈显著正相关;与叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素 a+b 含量呈显著负相关;与横径、纵径、体积、鲜质量、干质量呈显著正相关;与醇甲、醇乙、酯乙、甲素、乙素、丙素、总木脂素、黄酮、多酚含量呈负相关,其中与醇甲、醇乙、乙素及总木脂素含量呈显著负相关;与可溶性糖、可滴定酸、可溶性固形物、多糖含量呈显著正相关。

3 讨论

本研究对五味子转色期间各阶段的样品分析发现,五味子鲜果及药材粉末颜色均表现为 L^* 和 b^* 持续下降, a^* 不断升高;叶绿素含量急剧下降,花色苷大量积累,这表明五味子果实颜色的变化可能是由叶绿素和花色苷含量变化综合引起的^[21]。五味

子的横径、纵径、体积、鲜质量、干质量等均随果实变红而不断增大。其中青绿阶段果实大小、质量均显著低于其他 4 个阶段,白绿阶段后果实增大趋势减缓,这可能是因为果实褪绿后,生长进程由快速生长期转入成熟期^[22]。

可溶性糖、可滴定酸、可溶性固形物常用于表征果实糖酸性质及成熟度^[23]。本研究发现,五味子果实的可溶性糖、可滴定酸、可溶性固形物在转色期间均不断积累。次生代谢物含量是衡量药材品质的关键。在本研究中,随着五味子果实变红,药材中黄酮含量整体呈下降趋势,青绿阶段药材中黄酮含量显著高于除白绿阶段外的其他阶段;多酚含量也在青绿阶段最高,这与 LEE 等^[24]的研究结果一致。本研究发现,随成熟度增大,五味子多糖含量呈上升趋势。木脂素是五味子药材中的关键成分,在本研究中,五味子药材中醇甲含量和 7 种木脂素总量均随着果实颜色转红而降低,在五味子青绿阶段采收,药材中的总木脂素含量最高。木脂素含量的降低可能与成熟期五味子果肉和种子的生长速度有关,果肉中木脂素含量显著低于种子,果肉质量占比加大会导致果实中木脂素含量降低^[22]。另有研究指出,五味子成熟过程中,木脂素合成前体物质苯丙氨酸和酪氨酸含量的降低也会影响木脂素的合成^[24]。此外,木脂素含量的变化也受基因调控的影响,如五味子苷的积累与 PLR、CAD 和 DIR 的表达呈正相关^[22]。

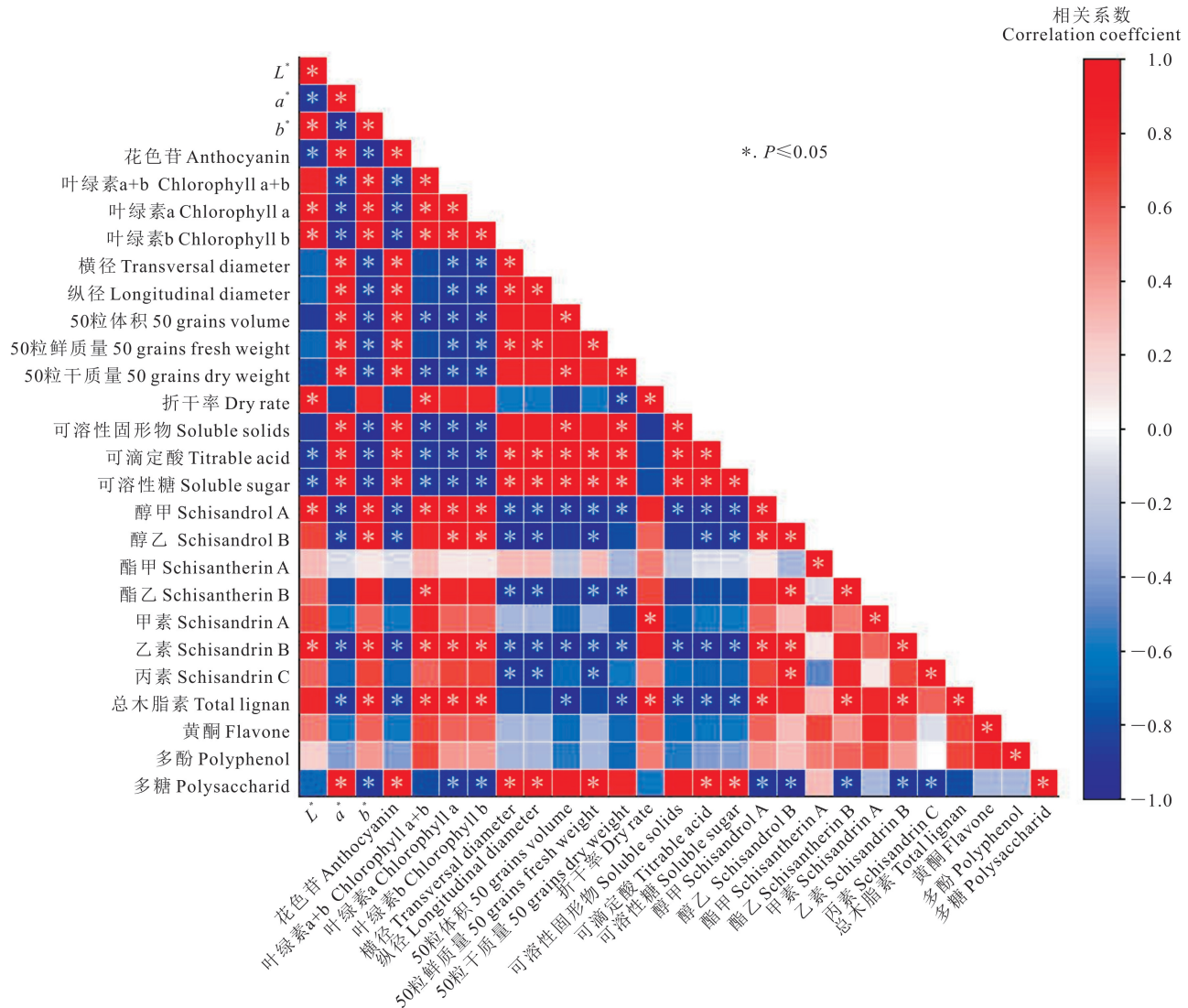


图 3 转色期五味子果实各指标的相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis of various indexes of *Schisandra chinensis* fruits during color change stages

本研究表明,五味子红绿色度 a^* 可反映五味子果实成熟情况及果实大小变化趋势, a^* 越大,五味子果实成熟度越高,且此时果实大、单果质量高; a^* 也可反映内在成分积累情况,五味子开始转色后,随着 a^* 上升,五味子醇甲及总木脂素含量呈下降趋势,黄酮含量也呈下降趋势,多糖含量呈上升趋势。这表明,五味子果实的 a^* 可在一定程度反映果实整体情况,这也为“辨色论质”指导五味子药材采收提供了理论支持,未来也可将 a^* 指标应用于智能采收系统的研发,以实现五味子的机械化采收。

2020 版《中国药典》^[20] 对于五味子采收期的指导意见为“秋季果实成熟时采摘”。然而在生产中发现,成熟后进入深红阶段的五味子虽然果实大、单果质量高,但落果、破损现象严重,会影响产量。同时,本研究也发现,五味子醇甲等木脂素含量在果实完

全成熟时显著低于半熟阶段^[25-27],而木脂素含量最高的青绿阶段果实小、色泽不佳。因此综合分析认为,白绿阶段和斑驳粉阶段采收的五味子药效成分、果实质量和折干率均较高,此时果实色泽明显、易于辨识,且此阶段成熟度中等,不易破损,利于后续采摘加工,可作为适宜采收期。深红阶段五味子果实中可溶性糖、可滴定酸、可溶性固形物含量达到最高值,多糖含量也最高,此阶段果实适宜民间生产五味子果酒、果醋等。

4 结 论

本研究综合考察了转色期间五味子木脂素、黄酮、多酚、多糖、可溶性糖、可滴定酸、可溶性固形物含量的变化以及果实颜色、体积、质量的变化。筛选出与大多数指标显著相关的红绿色度 a^* ,认为可将

a^* 应用于采收期判定及智能采收机械的研发,并提出可将色泽特征明显、肉眼可识别的果实白绿阶段和斑驳粉阶段作为五味子适宜的采收期,未来可在生产实践中进行推广应用。

[参考文献]

- [1] CHEN C Y, LIU S Y, YAN Y, et al. Candidate genes involved in the biosynthesis of lignan in *Schisandra chinensis* fruit based on transcriptome and metabolomes analysis [J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2020, 18(9): 684-695.
- [2] YANG K, QIU J, HUANG Z C, et al. A comprehensive review of ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacology, and pharmacokinetics of *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. and *Schisandra sphenanthera* Rehd. et Wils. [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2022, 284: 114759.
- [3] MA B H, ZHAO X H, DAI B, et al. Changes in phytochemical compositions and antioxidant activity of *Schisandra sphenanthera* fruit during ripening [J]. Industrial Crops and Products, 2023, 199: 116773.
- [4] 刘锦芮, 赖长江生, 梁嫌, 等. 中药采收期的机理与控制方法的研究进展 [J]. 中药材, 2022, 45(8): 2019-2025.
- LIU J R, LAI C J S, LIANG X, et al. Research progress on the mechanism and control methods of the harvest period of traditional Chinese medicine [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2022, 45(8): 2019-2025.
- [5] 齐红, 王云, 郭庆梅, 等. 不同采收期皱皮木瓜质量动态分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(2): 19-22.
- QI H, WANG Y, GUO Q M, et al. Dynamic quality analysis of *Chaenomelis Fructus* during different harvesting periods [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2017, 23(2): 19-22.
- [6] 葛会奇, 徐月. 不同产地及不同采收期五味子中木脂素含量比较 [J]. 中国医药科学, 2016, 6(11): 38-40, 58.
- GE H Q, XU Y. Comparison of lignanoid content in *Schisandra chinensis* Baill from different origin areas and harvest periods [J]. China Medicine and Pharmacy, 2016, 6(11): 38-40, 58.
- [7] 李旭, 李玲, 张天静, 等. 不同采收期和加工方式对五味子成分的影响 [J]. 中药材, 2020, 43(9): 2108-2111.
- LI X, LI L, ZHANG T J, et al. Effects of different harvest periods and processing methods on the composition of *Schisandra chinensis* Baill [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2020, 43(9): 2108-2111.
- [8] 段浩瀚, 贾豪, 雷敬卫, 等. 基于颜色-成分关联分析比较不同产地牛膝炮制过程中质量变化的规律 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(5): 1-8.
- DUAN H H, JIA H, LEI J W, et al. Comparison of quality change rule during the processing of *Achyranthis bidentatae* Radix from different origins based on color-component correlation analysis [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2024, 30(5): 1-8.
- [9] 甄臻, 李慧芬, 刘静, 等. 基于粉末和显微特征颜色数字化的生

地黄与熟地黄判别 [J]. 中草药, 2021, 52(24): 7438-7446.

ZHEN Z, LI H F, LIU J, et al. Identification of *Rehmanniae Radix* and *Rehmanniae Radix Praeparata* based on color digitization of powder and microscopic characteristics [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2021, 52(24): 7438-7446.

- [10] BAO Z H, LI W F, CHEN J, et al. Predicting and visualizing citrus color transformation using a deep mask-guided generative network [J]. Plant Phenomics, 2023, 5: 57.
- [11] 孙乙铭, 许寿增, 俞春英, 等. 覆盆子成熟过程颜色表征及其与品质指标消长的相关性研究 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(6): 1379-1385.
- SUN Y M, XU S Z, YU C Y, et al. Color characterization and its correlation with quality index during ripening of *Rubus chingii* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2021, 46(6): 1379-1385.
- [12] CECILIA R B, ALICIA G L, ALEJANDRO R, et al. Effect of age and diet on carcass and meat quality in ewes [J]. Heliyon, 2023, 9(11): e22350.
- [13] 赵文华, 杨光梅, 刘雨芳. 褐飞虱成虫不同密度和取食时长胁迫下水稻植株的生理生化响应 [J]. 昆虫学报, 2023, 66(2): 150-107.
- ZHAO W H, YANG G M, LIU Y F. Physiological and biochemical responses of rice plants to the stress imposed by different densities of the adult brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) for different time [J]. Acta Entomologica Sinica, 2023, 66(2): 150-157.
- [14] 黄春辉, 葛翠莲, 张晓慧, 等. ‘红阳’猕猴桃突变体果实花青苷合成相关结构基因的表达分析 [J]. 果树学报, 2014, 31(2): 169-174.
- HUANG C H, GE C L, ZHANG X H, et al. Expression analysis of structural genes related to anthocyanin synthesis in a mutant of ‘Hongyang’ kiwifruit [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(2): 169-174.
- [15] 张媛媛, 张彬. 苯酚-硫酸法与蒽酮-硫酸法测定绿茶茶多糖的比较研究 [J]. 食品科学, 2016, 37(4): 158-163.
- ZHANG Y Y, ZHANG B. Comparison of phenol-sulfuric acid and anthrone-sulfuric methods for determination of polysaccharide in green tea [J]. Food Science, 2016, 37(4): 158-163.
- [16] AINALIDOU A, KARAMANOLI K, URANIA M S, et al. CP-PU treatment and pollination: their combined effect on kiwifruit growth and quality [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 193: 147-154.
- [17] 李铂, 唐志书, 许洪波, 等. 不同成熟期北五味子质量初步评价 [J]. 中成药, 2020, 42(11): 3084-3087.
- LI B, TANG Z S, XU H B, et al. Preliminary evaluation of the quality of *Schisandra chinensis* Baill at different maturity stages [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2020, 42(11): 3084-3087.
- [18] 顾宇, 杨雪, 徐晨希, 等. 以总多糖、粗脂肪及蛋白质为指标的黑龙省不同产区五味子品质评价 [J]. 中国中医药科技, 2022, 29(3): 383-387.
- GU Y, YANG X, XU C X, et al. Quality evaluation of

- Schisandra chinensis* Baill from different producing areas in Heilongjiang Province with total polysaccharide, crude fat and protein as indicators [J]. *China Journal of Traditional Medical Science and Technology*, 2022, 29(3): 383-387.
- [19] 丁佐,鲁巍巍,李宏博,等. HPLC 同时测定北五味子中 5 种木脂素的含量 [J]. *中国中药杂志*, 2010, 35(13): 1728-1730.
DING Z, LU W W, LI H B, et al. Simultaneous determination of five lignans in *Schisandra chinensis* Baill by HPLC [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2010, 35(13): 1728-1730.
- [20] 中华人民共和国药典委员会. 中国药典:一部 [M]. 北京:中国医药科技出版社, 2020:68.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Chinese pharmacopoeia: A [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020:68.
- [21] MOCAN A, SCHAFBERG M, CRISAN G, et al. Determination of lignans and phenolic components of *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. using HPLC-ESI-ToF-MS and HPLC-online TEAC: contribution of individual components to overall antioxidant activity and comparison with traditional antioxidant assays [J]. *Journal of Functional Foods*, 2016, 24: 579-594.
- [22] SHI G L, ZHU B H, AI J, et al. Changes in lignans compounds and expression of genes in lignans biosynthetic pathways during the maturation of *Schisandra chinensis* fruit [J]. *Industrial Crops and Products*, 2023, 194: 116327.
- [23] WANG L Z, ZHOU W K, LIU C Y, et al. Study on the accumulation pattern of anthocyanins, sugars and organic acids in medicinal *Vitis vinifera* 'Suosuo' during ripening [J]. *Food Chemistry*, 2024, 433: 13729.
- [24] LEE D H, PARK Y, JANG J H, et al. The growth characteristics and lignans contents of *Schisandra chinensis* fruits from different cultivation regions [J]. *Applied Biological Chemistry*, 2022, 65: 1-8.
- [25] 赵玥,王冰. HPLC 测定不同生长期五味子中的 5 种木脂素成分 [J]. *华西药理学杂志*, 2011, 26(2): 172-174.
ZHAO Y, WANG B. Determination of five lignans in *Schisandra chinensis* Baill at different growth stages by HPLC [J]. *West China Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2011, 26(2): 172-174.
- [26] 李先宽,王冰,何华,等. 辽宁省五味子木脂素含量动态变化研究 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2012, 18(1): 107-112.
LI X K, WANG B, HE H, et al. Research on dynamic change of lignanoid content of fructus schisandrae in Liaoning province [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2012, 18(1): 107-112.
- [27] 安开龙,李德坤,周大铮,等. 五味子果实生长发育及化学成分动态变化研究 [J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(1): 234-239.
AN K L, LI D K, ZHOU D Z, et al. Study on the growth and development of *Schisandra chinensis* Baill fruit and the dynamic changes of chemical components [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43(1): 234-239.

(责任编辑:霍振响)

(上接第 138 页)

- [35] AMADOR C I, CANOSA I, GOVANTES F, et al. Lack of CbrB in *Pseudomonas putida* affects not only amino acids metabolism but also different stress responses and biofilm development [J]. *Environmental Microbiology*, 2010, 12(6): 1748-1761.
- [36] MERRICK M J. Nitrogen control of the *nif* regulon in *Klebsiella pneumoniae*: involvement of the *ntrA* gene and analogies between *ntrC* and *nifA* [J]. *The EMBO Journal*, 1983, 2(1): 39-44.
- [37] IANNINO F, UGALDE R A, INÓN DE IANNINO N. Characterization of *Brucella abortus* sigma factor σ^{54} (*rpoN*): genetic complementation of *Sinorhizobium meliloti ntrA* mutant [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2008, 45: 394-402.
- [38] DEMTRÖDER L, PFÄNDER Y, SCHÄKERMANN S, et al. NifA is the master regulator of both nitrogenase systems in *Rhodobacter capsulatus* [J]. *Microbiology Open*, 2019, 8(12): e921.
- [39] FRANCK W L, QIU J, LEE H, et al. DNA microarray-based identification of genes regulated by NtrC in *Bradyrhizobium japonicum* [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2015, 81(16): 5299-5308.
- [40] MITRA A, FAY P A, MORGAN J K, et al. Sigma factor N, Liaison to an *ntrC* and *rpoS* dependent regulatory pathway controlling acid resistance and the LEE in enterohemorrhagic *Escherichia coli* [J]. *PLoS One*, 2012, 7(9): e46288.

(责任编辑:霍振响)