

遮光对五指毛桃植株生物量分配及营养成分组成特征的影响

袁淑娜, 潘 剑, 黄坚雄, 桂 青, 郑定华, 蔡海滨, 王秀全*

中国热带农业科学院橡胶研究所/农业农村部儋州热带作物科学观测试验站/中国热带农业科学院林下资源综合利用研究中心, 海南儋州 571737

摘 要: 通过搭建遮阴棚设置 5 个遮光率处理 (0、30%、50%、70%、90%), 分析不同光照强度下五指毛桃生物量指标的分配规律及各部分矿质元素组成特征、营养成分积累差异。结果表明: 五指毛桃生物量指标可塑性指数平均值为 0.81, 茎生物量占比受遮光影响较小, 果生物量及其占比受遮光影响较大, 90%遮光率处理一年生五指毛桃植株不结果; 50%遮光率处理五指毛桃植株果生物量占比最高; 遮光会增加五指毛桃植株常量元素中氮和钾的含量, 降低钙和磷的含量; 五指毛桃植株钙磷比变化范围为 1.65~6.32, 果实钙磷比较低, 叶片钙磷比较高; 微量元素中, 铁含量受遮光影响最大; 70%和 90%遮光率处理五指毛桃叶片、茎秆和果实中铁含量较对照降低 65%以上; 遮光处理五指毛桃叶片粗蛋白含量范围为 13.91%~16.82%, 果实粗蛋白含量范围为 12.22%~16.46%; 叶片和果实粗纤维平均含量分别为 13.73% 和 17.33%; 全光照种植五指毛桃果实中粗脂肪含量最高, 为 13.30%; 遮阴显著降低五指毛桃叶片、茎秆和果实中黄酮类化合物含量, 但五指毛桃叶片和果实中的多酚含量在 30%遮光率处理下达到最高。综上, 以采收种子进行种苗繁育为主的生产不适宜在荫蔽度较高的环境下进行, 可以用 50%遮光种植, 以提高结实率。同时遮阴会改变五指毛桃各部位养分积累和组成比例, 在用其叶片、茎秆和果实作饲料原料时应注意五指毛桃种植环境对其营养成分组成的影响, 合理进行各养分比例调整。而利用其叶片作为饮料原料时, 以种植在 30%遮光率环境中为宜。

关键词: 五指毛桃; 遮阴; 生物量分配; 营养成分

中图分类号: S567.19

文献标志码: A

Response Analysis of Plant Nutrient Composition Characteristics of *Ficus hirta* Vahl under Different Light Intensity

YUAN Shuna, PAN Jian, HUANG Jianxiong, GUI Qing, ZHENG Dinghua, CAI Haibin, WANG Xiuquan*

Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Danzhou Investigation & Experiment Station of Tropical Crops, Ministry of Agriculture & Rural Affairs / Research Center for Utilization of Under-forest Resources, Danzhou, Hainan 571737, China

Abstract: Five shading levels (0, 30%, 50%, 70% and 90%) were set up to analyze the biomass distribution patterns, the differences in mineral element composition characteristics and nutrient accumulation of *Ficus hirta* Vahl (FH). The average plasticity index of the biomass indicators of FH was 0.81. The proportion of stem biomass was less affected by shading, while fruit biomass and its proportion were significantly affected. 90% shading level inhibited fruit production, while the 50% shading level exhibited the highest fruit biomass proportion. Shading increased nitrogen and potassium content in FH, while decreasing calcium and phosphorus. The calcium-to-phosphorus ratio ranged from 1.65 to 6.32, with lower ratios in fruits and higher ratios in leaves. Among trace elements, iron content was most affected by shading. 70% and 90% shading levels led to a more than 65% reduction in iron content compared to the control. The iron content was most affected by shading. Under shading, the crude protein content in FH leaves and fruits ranged from 13.91% to 16.82% and 12.22% to 16.46%, respectively. The average content of crude fiber in leaves and fruits was 13.73% and 17.33%, respectively. The ether extract content in FH fruit planted in the full light was the highest, at 13.30%. Shading

收稿日期 2023-12-22; 修回日期 2024-01-08

基金项目 海南省重点研发计划项目 (No. ZDYF2023XDNY081); 海南省自然科学基金项目 (No. 320MS110)。

作者简介 袁淑娜 (1982—), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 林下资源收集与应用。*通信作者 (Corresponding author): 王秀全 (WANG Xiuquan), E-mail: wangxqjialiuxw@126.com。

significantly reduced the content of flavonoids in leaves, stems, and fruits of FH, but the polyphenol content in the leaves and fruits reached its highest under 30% shading rate. In conclusion, The production mainly based on seed harvesting for seedling breeding is not suitable for high shading cultivation. 50% shading level can be used to improve the fruiting rate. Shading altered the accumulation and composition ratio of nutrient in different plant parts. When used as feed material, environmental impact and nutrient ratio adjustments should be considered in FH cultivation. 30% shading rate is better for FH planting when using its leaves as materials for beverage production.

Keywords: *Ficus hirta* Vahl; shading; biomass distribution; nutritional components

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.08.013

五指毛桃为中药名,是桑科植物粗叶榕(*Ficus hirta* Vahl)的干燥根,因其植株叶片似人手有五裂而得名,又名南芪、五爪金龙、五指牛奶等,是华南地区传统药材及药食同源植物,富含多种人体必需氨基酸和药用氨基酸,最早记载于清代医药学家何谏的《生草药性备要》^[1-2]。现代药理学研究结果显示,五指毛桃根部提取物的主要化学成分为补骨脂素,具有抗菌、抗炎镇痛、增强免疫力、保肝、镇咳平喘、抗氧化损伤等药理活性,可作为一些中成药的原材料^[3-5]。五指毛桃除了根部的药用价值,关于其植株的应用也日渐增多,叶片可用以制作茶叶,提取黄酮类化合物,果实可以用来泡酒,制作果脯,叶、茎和果均可作为动物饲料的原材料等。但关于五指毛桃植株的应用研究较少,且缺乏相关的文献报道。

野生五指毛桃多生长于山地疏林或灌丛中,耐阴性较好,野生转栽培后,可种植于裸地或林地,以充分利用林下土地资源^[6-7]。不同林地光照条件差异较大,而光照强度不仅会影响植物的生物量积累和分配,亦会改变植株的养分组成^[8-9]。本课题组之前的研究发现五指毛桃叶片和果实中矿质营养含量丰富,且橡胶林下间作会改变其矿质营养比例^[10]。这种改变与林下光照条件的改变密切相关。为进一步分析光照强度对五指毛桃植株发育和养分积累的影响,本研究以五指毛桃种子苗为实验材料,通过搭建遮阴棚,设置 5 个遮光率处理,分析不同条件下五指毛桃植株地上部分生物量分配模式变化、矿质元素含量及组成差异,黄酮、多酚、粗蛋白、粗纤维、可溶性糖和淀粉等养分含量变化规律,为五指毛桃植株在不同种植环境下的高值化应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用植物材料为 2019 年底所繁育的五指毛桃种子苗,移栽时苗高 10~15 cm, 3~5 片叶。

五指毛桃为项目组野外采集的海南本地野生材料,经多年驯化选育而成。该材料多年生,种植一年后可结实。叶互生,叶形掌状五裂,根浅黄色,皮柔韧,有香气,繁殖方式为种子繁殖。

所用仪器: T6 新世纪紫外可见分光光度计; YN-LWY84B 消煮炉; FP6410 火焰光度计; GZX-9240MBE 烘箱; 岛津 AA-6650 原子吸收光谱仪; KXX-12-12 箱式电阻炉; Mettler ME204E 万分天平; SB-5200DT 双频超声波清洗机。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2020 年 3 月至 2021 年 5 月在中国热带农业科学院橡胶研究所 A 点苗圃(19°32'55"N、109°28'30"E)进行。遮光方式为采用 4 种不同透光率的黑色遮阴网搭建成东西走向,长×宽×高为 35 m×5 m×4 m 的遮阴棚,以全光照(遮光率为 0)为对照。通过 TES-1332A 照度计对各棚内的实际遮光率进行多点多次测量,得出 4 个棚的遮光率分别为 30%(轻度遮光), 50%(中度遮光), 70%(高度遮光)和 90%(重度遮光)。2020 年 3 月将五指毛桃种子苗移栽入 5 个遮阴棚,种植株行距均为 80 cm×80 cm。

1.2.2 项目测定 (1)生物量测定。于 2020 年 3 月在对照和 4 个遮阴棚内每个小区随机取五指毛桃植株 10 株,将每株按照叶片、茎秆和果实分别取样,装入纸袋,于烘箱内 105℃杀青 1 h, 85℃烘干至恒重,记录重量,所得数据分别为各部分的生物量。分别表示为:叶生物量(leaf biomass, LB, g/株)、茎生物量(stem biomass, SB, g/株)、果实生物量(fruit biomass, FB, g/株)、地上部分总生物量(aboveground biomass, AGB, g/株)。生物量占比计算公式如下:

叶生物量占比(LMR)=LB/AGB

茎生物量占比(SMR)=SB/AGB

果生物量占比(FMR)=FB/AGB

可塑性指数 (PI) =(某一指标在
几种处理中的 Max-Min)/Max
烘干后的五指毛桃叶片、茎秆和果实，粉碎，
装袋，用于植株营养成分含量测定。五指毛桃植
株样品由中国热带农业科学院橡胶研究所栽培学
科重点实验室完成测定。

(2) 矿质元素含量测定。氮含量采用凯氏定
氮法测定，磷含量采用以抗坏血酸为还原剂的钼
蓝比色法测定，钾含量采用火焰光度计法测定，
钙、镁、铁、锰、铜、锌含量采用原子吸收分光
光度计法测定，各元素待测液制备及测定方法同
袁淑娜等^[10]的方法。

(3) 多酚和黄酮含量测定。多酚采用福林酚
比色法测定^[11]；黄酮采用亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧
化钠显色法测定^[12]。

(4) 粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、可溶性糖和
淀粉含量测定。粗蛋白含量采用凯氏定氮法测定，
粗脂肪含量采用索氏浸提法测定，粗纤维含量采
用酸碱消煮法测定^[13]；可溶性糖和淀粉含量采用
蒽酮比色法测定^[14]。

1.3 数据处理

用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件进行数据处
理和统计分析，在 $P<0.05$ 统计水平上采用 LSD
法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 遮光对五指毛桃地上部分植株生物量分
配的影响

由表 1 可知，遮光对五指毛桃地上部分生物
量 (AGB)、叶生物量占比 (LMR)、茎生物量占
比 (SMR) 和果生物量占比 (FMR) 均有显著影
响。随着遮光率增加，AGB 和 SMR 显著降低，
LMR 则显著增加，FMR 在 50%遮光率处理下最
大。由 F 值可知，遮光对五指毛桃生物量性状影
响顺序为：AGB>FMR>LMR>SMR。

30%遮光率处理五指毛桃 AGB 为对照的
73.99%，50%、70%遮光率处理五指毛桃 AGB 分
别为对照的 51.13%和 43.55%，但 90%遮光率处
理 AGB 仅为对照的 3.85%。AGB 在 50%和 70%
遮光率间差异较小。30%、50%、70%和 90%遮
光率处理 LMR 较对照分别增加 38.27%、45.94%、
70.16%和 122.10%，差异显著 ($P<0.05$)。50%、
70%和 90%遮光率处理 SMR 较对照分别降低
16.39%、18.91%和 27.23%，差异显著 ($P<0.05$)。

SMR 在 30%~70%遮光率间差异较小。50%遮光率
处理五指毛桃 FMR 最大，较对照增加 61.01%，
30%遮光率处理 FMR 较对照降低 20.47%，差异
显著 ($P<0.05$)；90%遮光率处理一年生五指毛
桃植株无果实。

五指毛桃生物量指标对遮光的 PI 平均值为
0.81 (图 1)，FB 和 FMR 的 PI 为 1，AGB、LB、
SB 的 PI 均大于 0.90，LMR 和 SMR 的 PI 分别为
0.55 和 0.27。

表 1 不同遮光率处理五指毛桃地上部分生物量分配
Tab. 1 Aboveground biomasses allocation of *F. hirta* Vahl
under different shading conditions

遮光率 Shading rate/%	AGB /(g·plant ⁻¹)	LMR/%	FMR/%	SMR/%
0	563.78 ^a	20.51 ^d	4.67 ^b	74.83 ^a
30	417.12 ^b	28.36 ^c	3.71 ^c	67.94 ^{ab}
50	288.26 ^c	29.93 ^c	7.51 ^a	62.55 ^{bc}
70	245.52 ^c	34.90 ^b	4.42 ^b	60.68 ^{bc}
90	21.68 ^d	45.55 ^a	0.00 ^d	54.45 ^c
F	533.45	32.96	290.55	17.37
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters after the same column of data in-
dicate significant difference ($P<0.05$).

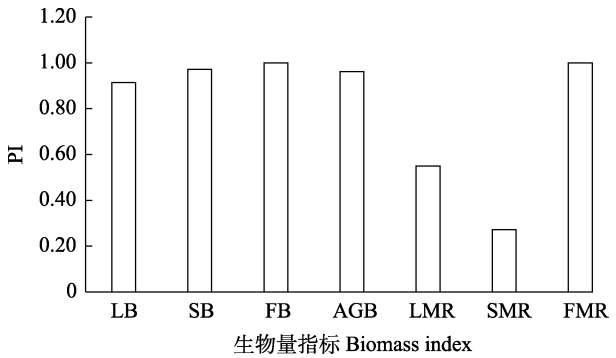
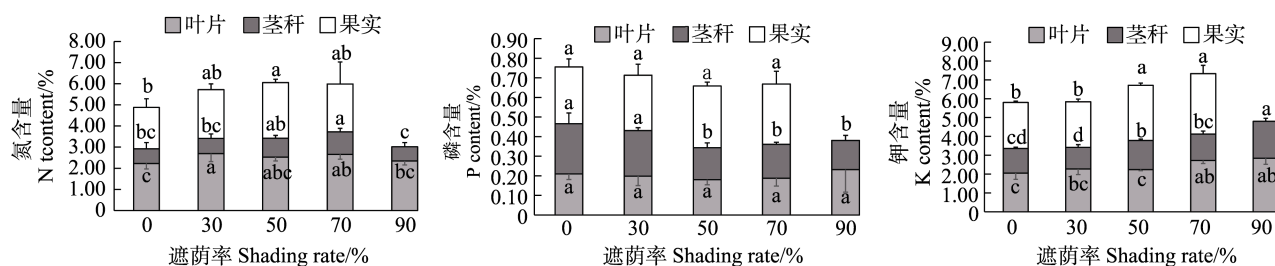


图 1 遮光处理下五指毛桃生物量指标可塑性指数
Fig. 1 Effects of shading treatments on plasticity index
of *F. hirta* Vahl

2.2 不同遮光率处理下五指毛桃植株矿质元
素含量

2.2.1 氮、磷、钾含量 适度遮光能提高五指毛
桃植株氮含量，但叶片、茎秆和果实中氮含量随
遮光率增加变化规律不同 (图 2)。30%和 70%遮
光率处理叶片氮含量较对照分别增加 20.96%和
19.41%，差异显著 ($P<0.05$)。70%遮光率处理茎
秆氮含量最高，较对照增加 52.79%，差异显著
($P<0.05$)。50%遮光率处理果实中氮含量最高，



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$).

图 2 不同遮光率处理五指毛桃不同部位氮、磷、钾含量

Fig. 2 N, P, K content in different parts of *F. hirta* Vahl under different shading conditions

较对照增加 34.68%，差异显著 ($P < 0.05$)。

4 个遮光处理茎秆磷含量均低于对照，50%、70%和 90%遮光率处理茎秆中磷含量较对照分别降低 36.18%、32.54%和 41.85%，差异显著 ($P < 0.05$)。叶片和果实中磷含量各处理间无显著差异。

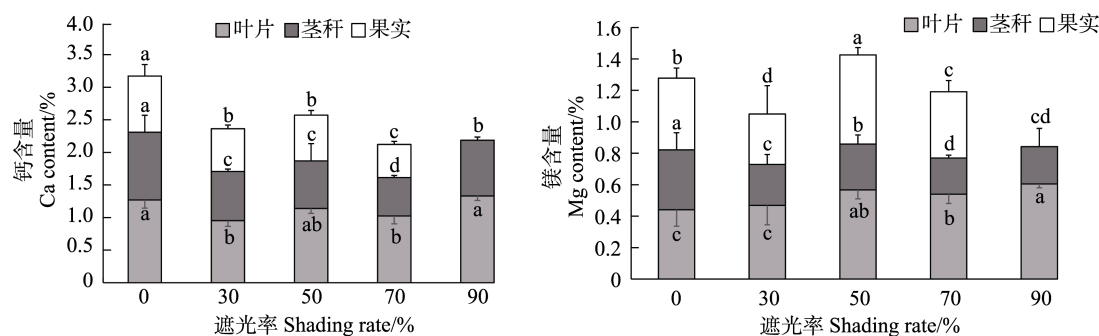
70%和 90%遮光率处理叶片钾含量较对照分别增加 32.56%和 38.45%，差异显著 ($P < 0.05$)。50%和 90%遮光率处理茎秆钾含量较对照分别增加 17.99%和 49.43%，差异显著 ($P < 0.05$)。50%和 70%遮光率处理果实中 K 含量较对照分别增加 19.94%和 31.72%，差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2.2 钙、镁含量 由图 3 可知，30%和 70%遮光率处理五指毛桃叶片钙含量较对照分别降低 25.08%和 19.42%，差异显著 ($P < 0.05$)。30%、50%、70%和 90%遮光率处理茎秆钙含量较对照分别降低 27.36%、29.57%、43.13%和 17.62%，差异显著 ($P < 0.05$)。30%、50%和 70%遮光率处理果实钙含量较对照分别降低 23.99%、18.75%和 41.22%，差异显著 ($P < 0.05$)。五指毛桃植株钙磷比如图 4 所示，其中叶片的钙磷比为 4.79~6.32，茎秆的钙磷比为 3.25~5.74，果实的钙

磷比为 1.65~2.97。

由图 3 可知，遮光处理五指毛桃叶片镁含量增加，茎秆镁含量降低。50%、70%和 90%遮光率处理叶片镁含量较对照分别增加 28.60%、22.29%和 37.05%，差异显著 ($P < 0.05$)。30%、50%、70%和 90%遮光率处理茎秆镁含量较对照分别降低 31.48%、23.47%、39.54%和 37.69%，差异显著 ($P < 0.05$)。果实镁含量以 50%遮光率最高，较对照显著增加 24.32% ($P < 0.05$)；30%和 70%遮光率处理果实镁含量较对照显著降低 29.50%和 7.53% ($P < 0.05$)。

2.2.3 铁、锰、铜、锌含量 由图 5 可知，五指毛桃叶片和果实中铁含量表现规律一致，中、高和重度遮光处理（50%、70%和 90%遮光率）叶片和果实中铁含量显著降低。50%、70%和 90%遮光率处理叶片中铁含量较对照分别降低 16.26%、70.98%和 74.98%，差异显著 ($P < 0.05$)。30%、50%、70%和 90%遮光率处理茎秆中铁含量较对照分别降低 47.3%、23.44%、65.35%和 68.69%，差异显著 ($P < 0.05$)。50%和 70%遮光率处理果实铁含量较对照分别降低 39.21%和 68.36%，差异显著 ($P < 0.05$)。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$).

图 3 不同遮光率处理五指毛桃不同部位钙、镁含量

Fig. 3 Ca, Mg content in different parts of *F. hirta* Vahl under different shading conditions

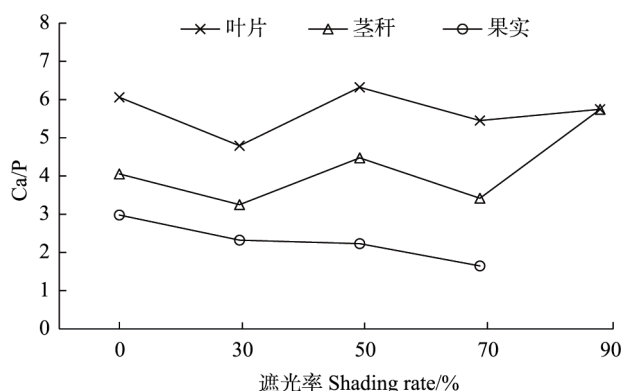


图 4 不同遮光率处理五指毛桃不同部位钙磷比表现

Fig. 4 Effects of shading treatments on calcium-to-phosphorus ratio of in different parts of *Ficus hirta* Vahl

遮光可提高五指毛桃叶片锰含量, 30%, 50% 和 90%遮光率处理叶片锰含量较对照分别增加 25.92%, 16.96%和 46.93%, 差异显著 ($P<0.05$)。90%遮光率处理茎秆锰含量较对照增加 20.51%, 差异显著 ($P<0.05$)。果实锰含量各处理间无显著差异。

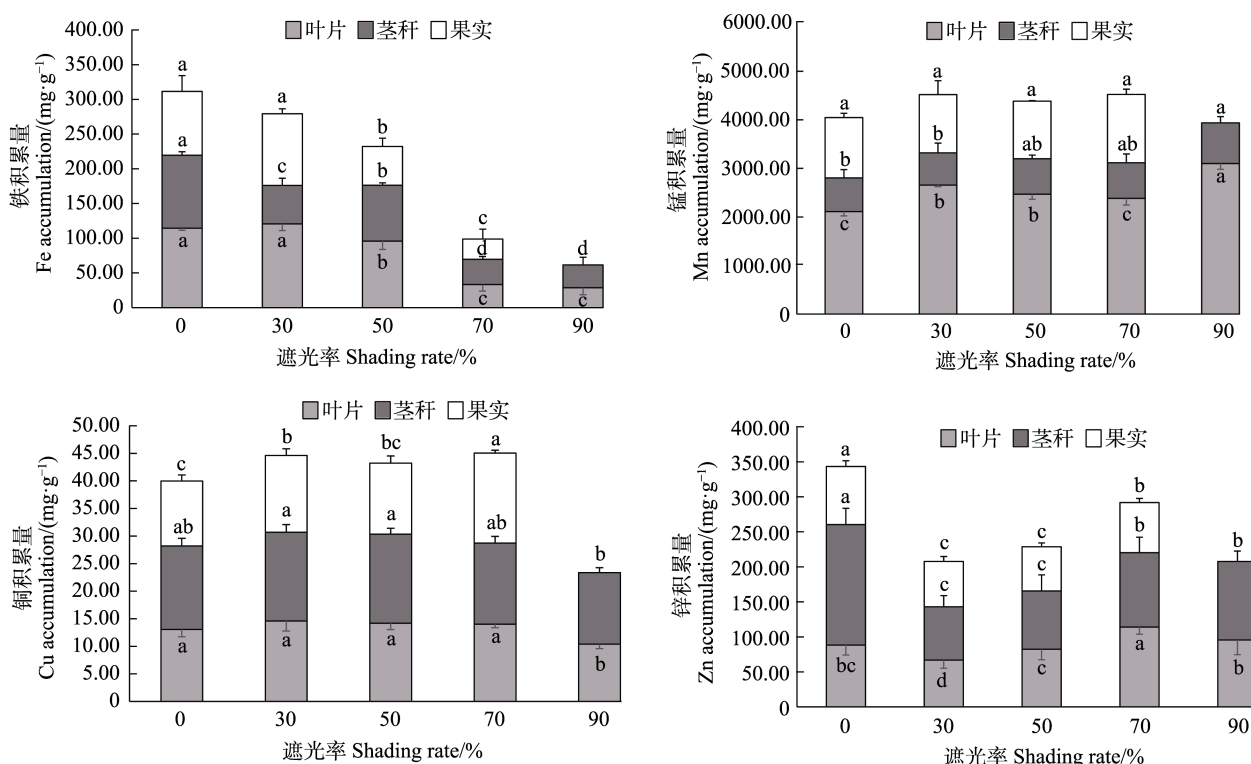
90%遮光率处理叶片铜含量较对照降低 20.41%, 差异显著 ($P<0.05$), 其余处理叶片铜含量与对照无显著差异。50%遮光率处理茎秆铜含

量最高, 90%遮光率处理茎秆铜含量最低, 与对照均无显著差异。30%和 70%遮光率处理果实铜含量较对照分别增加 18.34%和 38.75%, 差异显著 ($P<0.05$)。

70%遮光率处理叶片中 Zn 含量较全光照对照增加 29.01%, 30%遮光率处理叶片中 Zn 含量较对照降低 24.27%, 差异显著 ($P<0.05$)。遮阴处理茎秆和果实中锌含量均显著低于对照, 且随着遮光率增大呈先降低后增加的趋势。

2.3 不同遮光率处理下五指毛桃植株营养成分含量

2.3.1 多酚和黄酮含量 由图 6 可知, 在对照和遮光各处理中, 多酚和黄酮均主要集中在五指毛桃叶片部位, 叶片多酚含量 (各处理平均值) 分别是茎秆和果实的 4.13 倍和 2.95 倍。30%遮光率处理叶片多酚含量最高, 较对照增加 21.84%, 差异显著 ($P<0.05$)。70%和 90%遮光率处理叶片多酚含量较对照降低 32.56%和 32.98%。30%和 50%遮光率处理果实多酚含量较对照增加 36.61%和 17.05%, 70%遮光率处理果实多酚含量较对照降低 25.18%, 差异显著 ($P<0.05$)。各处理间茎秆

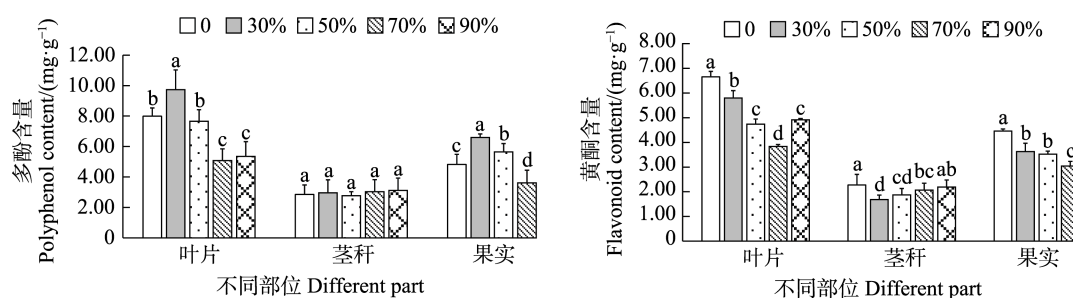


不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

图 5 不同遮光率处理五指毛桃不同部位铁、锰、铜、锌积累

Fig. 5 Fe, Mn, Cu and Zn accumulation in different parts of *F. hirta* Vahl under different shading conditions



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$).

图 6 不同遮光率处理五指毛桃不同部位多酚和黄酮含量

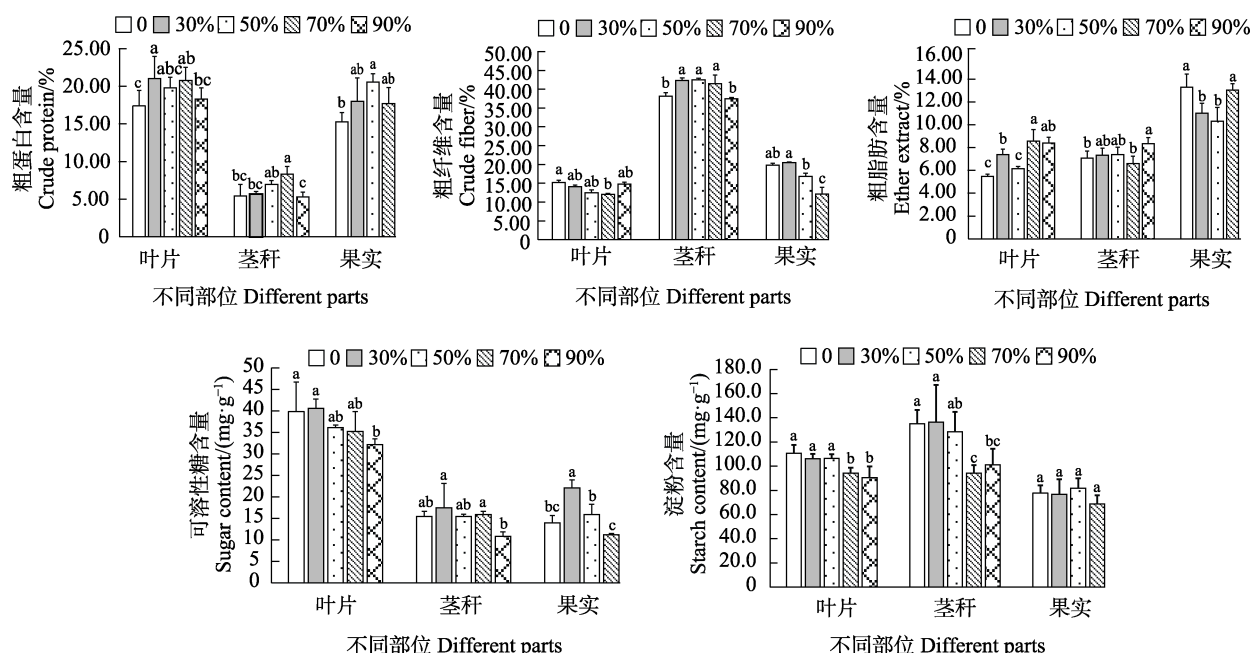
Fig. 6 Polyphenol and flavonoid content in different parts of *F. hirta* Vahl under different shading conditions

多酚含量差异不显著。五指毛桃叶片黄酮含量(各处理平均值)是茎秆和果实的 2.57 倍和 1.42 倍。遮光处理五指毛桃叶片和果实中黄酮含量均显著低于对照。30%、50%和 70%遮光率处理的茎秆中黄酮含量显著低于对照。

2.3.2 粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、淀粉和可溶性糖 由图 7 可知,五指毛桃叶片和果实粗蛋白含量较高,茎秆中粗蛋白含量较低。30%和 70%遮光率处理叶片,70%遮光率处理茎秆和 50%遮光率处理果实中的粗蛋白含量均显著高于对照 ($P < 0.05$)。70%遮光率处理五指毛桃叶片粗纤维较对照降低 21.07%,差异显著 ($P < 0.05$)。30%、50%和 70%遮光率处理下五指毛桃茎秆的粗纤维

含量较对照分别增加 10.89%, 1.32%和 8.63%,差异显著 ($P < 0.05$)。70%遮光率处理果实粗纤维含量较对照显著降低 38.69%。由图 7 可知,五指毛桃果实粗脂肪含量高于叶片和茎秆。30%、70%和 90%遮光率处理五指毛桃叶片粗脂肪较对照分别增加 34.38%、56.21%和 52.86%,差异显著 ($P < 0.05$)。90%遮光率处理茎秆中粗脂肪显著高于对照。30%和 50%遮光率处理果实中粗脂肪含量较对照分别降低 17.23%和 22.43%,差异显著 ($P < 0.05$)。

30%、50%和 70%遮光率处理对五指毛桃叶片可溶性糖含量无显著影响,90%遮光率处理叶片可溶性糖含量降低 19.32%,差异显著 ($P < 0.05$)。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$).

图 7 不同遮光率处理五指毛桃不同部位营养成分积累的变化

Fig. 7 Crude protein, crude fiber, ether extract, starch and sugar accumulation in different parts of *F. hirta* Vahl under different shading conditions

各遮光处理五指毛桃茎秆可溶性糖含量与对照均无显著差异。30%遮光率处理五指毛桃果实可溶性糖较对照增加 58.08%，差异显著 ($P<0.05$)。70%和 90%遮光率处理显著降低叶片和茎秆中的淀粉含量，果实中淀粉含量各处理间无显著差异。

3 讨论

生物量分配可塑性是植物通过调节各构件生物量分配，以应对环境变化，实现资源利用最大化的生存策略^[15-16]。本研究结果显示遮光处理下五指毛桃植株叶生物量占比增加，茎秆生物量占比降低。说明随着光照强度减弱，五指毛桃植株优先将生物量分配至叶片，增加叶面积，以保证有更多的光合产物维持自身的生长发育，与其他作物的研究结果一致^[17]。PI 的大小反映植物对环境变化适应能力的强弱。遮光处理下五指毛桃果实生物量及占比的 PI 高于其他形态指标，表明果实生物量对光环境适应调节能力较强，在重度遮阴（90%遮光率）条件下，一年生五指毛桃通过放弃结果来适应环境。在其他作物中亦有研究证实，随着光照强度减弱，植物会减少甚至放弃生殖分配，与本研究结果一致^[18]。但在 50%遮荫条件下，五指毛桃虽然生物量降低，但是果实占比增加明显，可达到 7.51%。而在林下种植时，一年生五指毛桃的果实生物量占比仅为 1.64%，和在阴棚种植数据差异较大^[10]。这种差异可能与橡胶园遮光率更大有关系，林下平均荫蔽度大于 60%，也可能与 2 个试验基地的土壤条件和管理水平存在差异有关。从林下和阴棚种植结果看，以采收种子进行种苗繁育为主的生产不适宜在林下进行，植株结实率较低，可以用 50%遮阴网种植，结实率较高。但遮阴对五指毛桃果实发育，种子发芽率是否有影响，还需进一步研究。

五指毛桃植株矿质元素含量丰富^[10]，本研究发现，遮阴会增加五指毛桃植株常量元素中氮和钾的含量，降低钙和磷的含量。五指毛桃叶片中钙含量随遮光率改变的范围为 0.95%~1.33%，均高于常规饲料原料玉米和大豆的钙含量^[19]，接近苜蓿，低于桑树和杂交构树等^[20]。但五指毛桃叶片，茎秆和果实的钙磷比在各个遮光率处理下均偏高，在用做饲料原料时应注意对其钙磷比的调整。微量元素中，铁含量受遮阴的影响最大。高度和重度遮阴（70%和 90%遮光率）处理下五指毛桃叶片、茎秆和果实中铁含量较对照降低 65%

以上。五指毛桃茎秆中锌含量显著高于叶片和果实，依据牧草中微量元素的分级和评价指标^[19]，全光照，70%和 90%遮光率处理五指毛桃茎秆和 70%遮光率处理五指毛桃叶片中的锌含量等级为很高，其余处理叶片、茎秆和果实中锌含量的等级均为高。因此，在生产上应用时，应考虑五指毛桃种植环境对其植株矿质元素含量的影响。

粗蛋白、粗纤维是饲用植物资源营养品质的重要指标，一般认为粗蛋白含量越高，粗纤维含量越低的饲用植物，营养价值越高^[20]。遮光处理下五指毛桃叶片的粗蛋白含量范围为 13.91%~16.82%；果实粗蛋白含量范围为 12.22%~16.46%，均高于常规饲料原料玉米^[19]，但低于苜蓿^[21]和杂交构树^[20]，与牛鞭草和甘薯蔓的蛋白质含量接近^[22]。五指毛桃叶片和果实的粗纤维含量分别为 13.73%和 17.33%，远低于常规饲料原料植物苜蓿，因此五指毛桃的叶片和果实均为饲用价值较高的优质蛋白饲料原料。五指毛桃茎秆的蛋白质含量较低，且粗纤维含量较高，饲用价值较低。粗脂肪是一种含高热值的营养成分，可以提高饲料的适口性^[23]。露地种植五指毛桃果实中粗脂肪含量最高，为 13.30%，中低度遮光条件下，粗脂肪含量略有下降。

多酚类化合物是植物中非常重要的次生代谢产物，被称为人类“第 7 类营养素”^[24]。黄酮是多酚的一种，五指毛桃多酚和黄酮积累的主要部位是叶片和果实，茎秆中含量较低。光照影响植物次生代谢物的合成与积累^[25]，而不同植物适应多酚类化合物积累的光照强度不同^[26]。70%的遮阴处理下三叶青块根和叶片中总黄酮含量最高，但灯盏花的总黄酮含量在全光照下最高^[27-28]。本研究中，遮光显著降低了五指毛桃叶片、茎秆和果实中黄酮类化合物含量。因此，在五指毛桃的栽培过程中，光照条件好的土地条件种植五指毛桃，其叶部和果实中黄酮含量更高。但五指毛桃叶片和果实中的多酚含量在 30%遮光率处理下达到最高。结果表明，遮光会改变五指毛桃叶片和果实中营养成分含量和组成比例，生产中用五指毛桃叶、果进行饮品制作等需要考虑种植地光照条件对品质相关化学成分的影响。

4 结论

遮光对一年生五指毛桃生殖生长影响较大，以采收种子进行种苗繁育为主的生产不适宜在荫蔽度较高的环境下进行，植株结实率较低，可以

用 50%遮阴网种植,以提高结实率。同时遮阴会改变五指毛桃各部位养分积累和组成比例,在用其叶片、果实作饲料原料时,应注意五指毛桃种植环境对其营养成分组成的影响,合理进行各养分比例调整。而利用其叶片作为饮料原料时,以种植在 30%遮光率环境中为宜。

参考文献

- [1] 曹利民, 龙春林, 徐华. 野生植物粗叶榕根的营养成分分析[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(20): 65-67.
CAO L M, LONG C L, XU H. Analysis of nutrient constituents in roots of *Ficus hirta* Vahl var. *hirta*[J]. Food Research And Development, 2013, 34(20): 65-67. (in Chinese)
- [2] 杨小催, 郭凯欣, 李燕芳, 唐慧, 张庆业, 潘海华, 郑丽思, 柯雪红. 基于指纹图谱结合化学计量学评价栽培与野生五指毛桃质量[J]. 中国药业, 2023, 32(19): 63-69.
YANG X C, GUO K X, LI Y F, TANG H, ZHANG Q Y, PAN H H, ZHENG L S, KE X H. Evaluation of cultivated fici simplicissimae radix and wild fici simplicissimae radix by fingerprints and chemometrics[J]. China Pharmaceuticals, 2023, 32(19): 63-69. (in Chinese)
- [3] 叶童, 石瑞娟, 吴易武, 吴燕红, 李苑新, 余邦伟. 五指毛桃的化学成分和药理活性研究进展[J]. 广东药科大学学报, 2019, 35(4): 591-596.
YE T, SHI R J, WU Y W, WU Y H, LI Y X, YU B W. Research progress of *Ficus hirta* Vahl on their chemical constituents and pharmacological activities[J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2019, 35(4): 591-596. (in Chinese)
- [4] YANG Y, ZHENG K, MEI W J, WANG Y D. Anti-inflammatory and proresolution activities of bergapten isolated from the roots of *Ficus hirta* in an *in vivo* zebra fish model[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2018, 496(2): 763-769.
- [5] YE X S, TIAN W J, WANG G H, ZHANG X, ZHOU M, ZENG D Q, LIU X Z, YAO X S, ZHANG Y W, CHEN H F. Phenolic glycosides from the roots of *Ficus hirta* Vahl. and their antineuroinflammatory activities[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(14): 4196-4204.
- [6] 李娟, 林位夫, 周立军. 打顶对橡胶树//五指毛桃间作系统中五指毛桃生理特性、产量及养分积累的影响[J]. 云南农业大学学报, 2016, 31(6): 1038-1044.
LI J, LIN W F, ZHOU L J. Effects of topping on physiological characteristics, yield and nutrient accumulation of Wuzhimaotao (*Ficus hirta* Vahl.) in the rubber tree//*F. hirta* intercropping system[J]. Journal of Yunnan Agriculture University (Natural Science), 2016, 31(6): 1038-1044. (in Chinese)
- [7] 林鸿生, 林秋虹, 陈伟锋, 卢泽彬, 余雪贵, 施晓璇, 陈耿, 蔡伟君. 五指毛桃引种栽培研究[J]. 林业与环境科学, 2022, 38(6): 173-178.
LIN H S, LIN Q H, CHEN W F, LU Z B, YU X G, SHI X X, CHEN G, CAI W J. Study on introduction and cultivation Techniques of *Ficus hirta*[J]. Forestry and Environmental Science, 2022, 38(6): 173-178. (in Chinese)
- [8] 邱明红, 连春枝, 刘盛波, 杜尚嘉, 吴挺佳, 吴海霞, 陈国德. 遮阴对黎药鳄嘴花生动态及生物量分配的影响研究[J]. 中国野生植物资源, 2018, 37(1): 11-17.
QIU M H, LIAN C Z, LIU S B, DU S J, WU T J, WU H X, CHEN G D. Effects of shading treatments on growing dynamic and biomass distribution of li medicine of *Clinacanthus nutans*[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2018, 37(1): 11-17. (in Chinese)
- [9] 陈乾, 黄霞, 江登辉, 任可, 荣俊冬, 陈礼光, 郑郁善. 遮荫对福建柏苗期生长及生物量的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2020, 49(6): 796-802.
CHEN Q, HUANG X, JIANG D H, REN K, RONG J D, CHEN L G, ZHENG Y S. Effect of shading on growth and biomass of *Fokienia hodginsii* seedlings[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2020, 49(6): 796-802. (in Chinese)
- [10] 袁淑娜, 涂寒奇, 潘剑, 黄坚雄, 王秀全. 种植方式和种植年限对五指毛桃植株生物量和矿质元素含量的影响[J]. 热带作物学报, 2023, 44(10): 2043-2050.
YUAN S N, TU H Q, PAN J, HUANG J X, WANG X Q. Effects of planting patterns and planting years on biomass and mineral element content of *Ficus hirta* Vahl[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2023, 44(10): 2043-2050. (in Chinese)
- [11] 范琼, 邓爱妮, 朱玉龙, 周聪, 赵敏, 叶海辉. 地胆头化学成分及其生理活性的研究[J]. 热带作物学报, 2017, 38(6): 1138-1142.
FAN Q, DENG A N, ZHU Y L, ZHOU C, ZHAO M, YE H H. Chemical constituents and bio-activities of *Elephantopus scaber*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(6): 1138-1142. (in Chinese)
- [12] 王丽丽, 林清霞, 宋振硕, 陈林. 分光光度法测定茶叶中总黄酮含量[J]. 茶叶学报, 2021, 62(1): 1-6.
WANG L L, LIN Q X, SONG Z S, CHEN L. Spectrophotometric determination of total flavonoids in tea[J]. Acta Tea Sinica, 2021, 62(1): 1-6. (in Chinese)
- [13] 罗彬彬, 刘洋, 韦仕君, 杨梨英, 姚红艳. 不同水肥处理对菊苣产量和品质的影响[J]. 草业科学, 2018, 35(5): 1161-1169.
LUO B B, LIU Y, WEI S J, YANG L Y, YAO H Y. Effect

- of different water and fertilizer treatments on the yield and quality of *Cichorium intybus*[J]. Pratacultural Science, 2018, 35(5): 1161-1169. (in Chinese)
- [14] 黄坚雄, 潘剑, 林位夫, 袁淑娜, 陈俊明, 郑定华, 李娟, 周立军. 全周期胶园间作对豆薯和大豆的产量、品质和土壤速效养分的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(2): 247-253.
HUANG J X, PAN J, LIN W F, YUAN S N, CHEN J M, ZHENG D H, LI J, ZHOU L J. Effect of intercropping in rubber plantation with paired row planting system on yield, quality and soil rapidly available nutrient of yam bean and soybean[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(2): 247-253. (in Chinese)
- [15] 孙娜, 秦雪龙, 梁锋娜, 靳城, 于乐, 侯晓龙, 蔡丽平. 不同干旱胁迫强度下的类芦生长权衡研究[J]. 草业科学, 2023, 40(6): 1582-1591.
SUN N, QIN X L, LIANG F N, JIN C, YU L, HOU X L, CAI L P. Growth trade-offs in *Neyraudia reynaudiana* in response to different levels of drought stress[J]. Pratacultural Science, 2023, 40(6): 1582-1591. (in Chinese)
- [16] 薛晴, 陈斌, 杨小梅, 杨宇佳, 李子葳, 薄杉, 何森. 不同光强下4种鸭跖草科植物的生物量分配、水分生理及光响应特征[J]. 草业学报, 2022, 31(1): 69-80.
XUE Q, CHEN B, YANG X M, YANG Y J, LI Z W, BO S, HE M. Biomass allocation, water use characteristics, and photosynthetic light response of four Commelinaceae plants under different light intensities[J]. Acta Pratacultural Sinica, 2022, 31(1): 69-80. (in Chinese)
- [17] 杨娟, 王志勇, 郭海林, 丁西朋, 杨虎彪, 吴杨, 廖丽. 光强对耐荫差异普通钝叶草(*Stenotaphrum helferi*) 种质的形态与生理差异分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(12): 2454-2461.
YANG J, WANG Z Y, GUO H L, DING X P, YANG H B, WU Y, LIAO L. Effects on different shading intensity on the morphology and physiology of *Stenotaphrum helferi* accessions with significant differences in shade tolerance[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(12): 2454-2461. (in Chinese)
- [18] 张小晶, 蔡捡, 刘金平, 李莹, 曾晓琳. 不同遮阴度对苳草构件性状和生物量分配影响的差异性分析[J]. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2720-2725.
ZHANG X J, CAI J, LIU J P, LI Y, ZENG X L. Analysis of component traits and biomass allocation of *Arthraxon hispidus* in different shading degree[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(6): 2720-2725. (in Chinese)
- [19] 熊本海, 罗清尧, 赵峰. 中国饲料成分及营养价值表(2016年第27版)制订说明[J]. 中国饲料, 2016(21): 33-43.
XIONG B H, LUO Q Y, ZHAO F. The feed composition and nutritional value table developed suggests (the 27th edition in 2016)[J]. China Feed, 2016(21): 33-43. (in Chinese)
- [20] 刘果, 尚秀华, 张沛健, 高丽琼, 彭彦. 卡亚和杂交构树的饲用营养价值及其比较分析[J]. 热带作物学报, 2023, 44(2): 419-428.
LIU G, SHANG X H, ZHANG P J, GAO L Q, PENG Y. Comparative analysis on feed nutritive value of *Cnidioscolus aconiti-folius* and hybrid *Broussonetia papyrifera*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2023, 44(2): 419-428. (in Chinese)
- [21] 李泽民, 张晨, 张崇玉, 张桂国. 不同品种苜蓿中营养成分相互关系及生物产量[J]. 中国农业科学, 2020, 53(6): 1269-1277.
LI Z M, ZHANG C, ZHANG C Y, ZHANG G G. The relationship between nutrients and biological yield of different varieties of alfalfa[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(6): 1269-1277. (in Chinese)
- [22] 陈艳, 王之盛, 张晓明, 吴发莉, 邹华围. 常用粗饲料营养成分和饲用价值分析[J]. 草业学报, 2015, 24(5): 117-125.
CHEN Y, WANG Z S, ZHANG X M, WU F L, ZOU H W. Analysis of the nutritional components and feeding values of commonly used roughages[J]. Acta Pratacultural Sinica, 2015, 24(5): 117-125. (in Chinese)
- [23] 刘进娣, 邓红山, 金杰, 罗会英, 李莲红, 刘昀, 韩学琴, 张美艳. 11个紫花苜蓿品种在干热河谷区的生产性能及营养价值评定[J]. 中国草食动物科学, 2023, 43(6): 23-28.
LIU J D, DENG H S, JIN J, LUO H Y, LI L H, LIU Y, HAN X Q, ZHANG M Y. Evaluation on the production performance and nutritioal value of 11 Alfalfa cultivars in dry-hot valley[J]. China Herbivore Science, 2023, 43(6): 23-28. (in Chinese)
- [24] 赵盈, 於天, 郑志刚, 陈位三, 弓思涵, 宋天宝, 李先宽, 於洪建. 多酚在植物中的分布及其生物活性研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(17): 5825-5832.
ZHAO Y, YU T, ZHENG Z G, CHEN W S, GONG S H, SONG T B, LI X K, YU H J. Research progress on distribution and bioactivity of polyphenols in plants[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(17): 5825-5832. (in Chinese)
- [25] 邱璐, 于邦友, 刘可可, 夏培兴, 邓波. 遮荫对青钱柳苗生长和黄酮类化合物积累的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2022, 49(3): 359-367.
QIU L, YU B Y, LIU K K, XIA P X, DENG B. Effects of shade on the growth and accumulation of flavonoids compounds in *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja seedlings[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2022, 49(3): 359-367. (in Chinese)

- [26] SHAO C Y, DENG Z Y, LIU J, LI Y F, ZHANG C Y, YAO S H, SHEN C W. Effects of preharvest shading on dynamic changes in metabolites, gene expression, and enzyme activity of three tea types during processing[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, 70(45): 14544-14558.
- [27] 胡晓甜, 刘守赞, 白岩, 徐琳煜, 丁恒, 吴学谦, 许海顺, 郑炳松. 遮阴对浙江三叶青生理生化及总黄酮的影响[J]. *广西植物*, 2019, 39(7): 925-932.
- HU X T, LIU S Z, BAI Y, XU L Y, DING H, WU X Q, XU H S, ZHENG B S. Effects of different shading treatments on physiology, biochemistry and total flavonoids of *Tetrastigma hemsleyanum* in Zhejiang Province[J]. *Guihaia*, 2019, 39(7): 925-932. (in Chinese)
- [28] 苏文华, 张光飞, 李秀华, 顾发祥, 石秉亮. 光强和光质对灯盏花生长与总黄酮量影响的研究[J]. *中草药*, 2006(8): 1244-1247.
- SU W H, ZHANG G F, LI X H, GU F X, SHI B L. Effect of light intensity and light quality on growth and total flavonoid accumulation of *Erigeron breviscapus*[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2006(8): 1244-1247. (in Chinese)