

不同遮阴处理对鱼腥草生长、生理特性及类黄酮成分积累的影响

王吉文^{1,2}, 何文秀^{1,2}, 胡倩倩^{1,2}, 杨联林^{1,2}, 唐初红³, 马宏亮^{1,2*}

1. 中山市中智药业集团有限公司, 广东 中山 528437
2. 国家企业技术中心, 广东 中山 528437
3. 灵川县灵兴鱼腥草种植专业合作社, 广西 桂林 541200

摘要: 鱼腥草属于阴生药用植物, 光是影响其生长及品质的关键因素之一, 本文研究遮阴对鱼腥草生长、生理特性及品质的影响, 为鱼腥草生态种植提供依据。本研究设置对照组(0%遮阴率)和4个处理组(20%遮阴率、40%遮阴率、60%遮阴率、80%遮阴率)开展栽培试验, 分析比较不同遮阴处理下鱼腥草地上部分的生长指标(叶长、叶宽、株高、生物量等)、生理生化指标(过氧化物酶、丙二醛)以及品质相关指标(总黄酮、总花青素)等差异。研究表明, 在生长指标方面, 鱼腥草性状质量随遮阴率增加而提高, 依次是80%遮阴率>60%遮阴率>40%遮阴率>20%遮阴率>全光照; 生理生化方面, 鱼腥草POD酶活性随着光照强度增加而降低, MDA含量上升; 其次, 总黄酮含量在20%遮阴率时达到最大, 总花青素含量随光照强度增大逐渐下降。综上, 适度遮阴有利于鱼腥草生长旺盛及体内类黄酮类次生代谢产物的积累, 建议在鱼腥草种植期内采用与玉米、薏苡仁等高秆作物间作或林下套种的生态种植模式, 以提高其品质与经济效益。

关键词: 鱼腥草; 遮阴; 生长特性; 生理生化指标; 总黄酮

中图法分类号: S567.239

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2026)01-0077-07

Effect of Different Shading Treatment on Growth, Physiological Characteristics and Flavonoid Accumulation in *Houttuynia cordata* Thunb.

WANG Ji-wen^{1,2}, HE Wen-xiu^{1,2}, HU Qian-qian^{1,2}, YANG Lian-lin^{1,2},
TANG Chu-hong³, MA Hong-liang^{1,2*}

1. Zhongzhi Pharmaceutial Company, Zhongshan 528437, China

2. National Enterprise Technology Center, Zhongshan 528437, China

3. Lingxing Houttuynia Cordata Planting Professional Cooperative of Lingchuan County, Guilin 541200, China

Abstract: *Houttuynia cordata* Thunb.(HC) is a shade-tolerant medicinal plant, and light is one of the key factors affecting its growth and quality. This study investigates the effects of shading on the growth, physiological characteristics and quality of HC, providing a basis for its ecological cultivation. This study conducts a cultivation experiment with a control group (0% shading rate) and four treatment groups (20%, 40%, 60%, and 80% shading rate), and analyzes and compares the differences in growth indicators (leaf length, leaf width, plant height, biomass, etc.), physiological and biochemical indicators (peroxidase, malondialdehyde), and quality-related indicators (total flavonoids, total anthocyanins) of the aboveground parts of HC under different shading treatments. The results show that in terms of growth indicators, the trait quality of HC improves with increasing shading rates, in the order of 80% shading rate > 60% shading rate > 40% shading rate > 20% shading rate > full sunlight expose; In terms of physiological and biochemical indicators, the POD activity of HC decreases with increasing light intensity, while the MDA content rises; Additionally, the total flavonoid content reaches its maximum at 20% shading rate, whereas the total anthocyanin content gradually decreases with increasing light intensity. In conclusion, moderate shading is beneficial for the vigorous growth of HC and the accumulation of flavonoid secondary metabolites in HC. It is recommended to adopt an ecological planting mode, such as intercropping with tall crops like *Zea mays* (corn) and *Coix lacryma-jobi* (Job's tears) or understory interplanting, to enhance both the quality and economic value of HC.

Keywords: *Houttuynia cordata* Thunb.; Shading; Growth characteristics; Physiological and biochemical indicators; Total flavonoids

收稿日期: 2025-03-06

修回日期: 2025-12-26

基金项目: 中国博士后科学基金资助(2019M663357)

第1作者简介: 王吉文(1989-), 男, 硕士, 主管中药师, 研究方向: 中药资源评价与开发。Email: wangjiwenlj@163.com

*通讯作者: Author for correspondence. E-mail: mhl008@126.com

鱼腥草(*Houttuynia cordata* Thunb.)为三白草科蕺菜属多年生草本植物,因其营养物质丰富,同时具有清热解毒、散瘀消肿、利尿通淋及显著的抗菌、抗炎、抗病毒等功效,被称为植物抗生素^[1]。鱼腥草是国家卫健委批准的第一批药食同源的中药品种,随着其价值的不断深入挖掘,越来越多的相关药品、食品、兽药、饲料等产品^[2,3]被开发上市,消耗量逐年增大,其野生资源早已满足不了市场需求,人工种植鱼腥草已取代野生资源成为市场主流来源。目前,鱼腥草人工种植模仿作物农业,盲目追求产量,大肥大水以及大量使用农药,不但造成中药材质量和安全无法保障,也对产地生态环境可持续利用带来极大挑战。研究鱼腥草生物学特性,通过模拟其原生境的生态种植技术不仅利于提升药材产量,更利于提升栽培鱼腥草药用品质。

鱼腥草属于阴生植物,光是影响其生长及品质的关键自然条件之一^[4],彭春华^[5]对比了遮阴(透光率为20%)与不遮阴条件下鱼腥草产量、有效成分含量、营养成分含量,结果表明,遮阴更有利于鱼腥草产量、甲基正壬酮含量,蛋白质和维生素C含量的提高。鱼腥草作药用多采用干燥地上部分,除了以甲基正壬酮为代表的挥发性成分外,类黄酮成分是鱼腥草另一大类重要活性物质,鱼腥草中类黄酮类化合物不仅具有了抗氧化、抗肿瘤、抗炎、抑菌、抗过敏等活性^[6],其在植物生长、发育、抵御非生物胁迫中也发挥重要作用^[7]。此外,植物体内过氧化物酶活性与丙二醛含量也是反映其抗逆性,影响生长发育的重要生理指标。因此,本研究拟通过分析比较不同遮阴条件下鱼腥草生长、过氧化物酶活性及类黄酮成分积累的变化差异,以期优化鱼腥草生态种植技术,提高药材品质提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料与处理方法

选取中智鱼腥草生态种植基地生长健壮、无病虫害、直径基本一致的鱼腥草地下茎作为种植材料。试验地点位于中山市中智药业集团有限公司,北纬25.080 4,东经110.349 0。本试验盆栽箱为600×400×175 mm的打孔塑料箱,每箱统一装25 kg营养土。随即规则作畦(畦长0.5 m,

畦宽5.0~8.0 cm),放入长度一致的鱼腥草地下茎(8~10 cm),用营养土进行覆盖。每箱4行种植,每行种植6株,统一管理。2023年2月,待生长出附有2~3片子叶鱼腥草幼苗时,挑选长势一致的幼苗移入相应对照组和处理组内。隔周对箱体进行移位,消除不同位置对试验结果的影响。

本研究设置1个对照组(0%遮阴率)和4个处理组(20%遮阴率、40%遮阴率、60%遮阴率、80%遮阴率),每个实验组3次重复(即3个箱体)。实验设置为:0%遮阴率-无遮阴网有遮雨布;20%遮阴率-遮阴率20%的遮阴网、遮雨布;40%遮阴率-遮阴率40%的遮阴网、遮雨布;60%遮阴率-遮阴率60%的遮阴网、遮雨布;80%遮阴率-遮阴率80%的遮阴网、遮雨布。

1.2 样品处理

2023年7月采收5组实验组鱼腥草地上部分,迅速洗净擦干,并对其农艺指标进行测定。发黄叶片不作废弃处理(长期全光照所导致),随后将样本采用液氮研磨成粉,置-80℃保存,用于含量测定。

1.3 仪器与试剂

仪器:GT10-1型高速台式离心机(北京时代北利离心机有限公司),UV-2600型紫外分光光度仪(日本岛津公司),DW-YL270型-80度冰箱(海尔有限公司),HH-4双列四孔型数显恒温水浴锅(博讯仪器有限公司)。

试剂:槲皮素标准品(批号:100081-201610,中国食品药品检定研究院);亚硝酸钠(上海源叶生物科技有限公司);硝酸铝(分析级,上海源叶生物科技有限公司);氢氧化钠(分析级,上海麦克林生化科技股份有限公司);POD试剂盒(上海抚生实业有限公司);三氯乙酸(分析级,上海麦克林生化科技股份有限公司);硫代巴比妥酸(分析级,广东广试试剂科技有限公司);冰醋酸(分析级,西陇科学股份有限公司);乙醇(分析级,广东广试试剂科技有限公司)。

2 试验方法

2.1 表型性状

拍照观察对比叶片颜色;使用直尺和游标卡尺对不同处理组鱼腥草的叶长(mm,不包括叶

柄)、叶宽(mm)、株高(cm)、地上茎直径(mm)、地上茎长度(cm)、地上分枝数、叶片数、鲜重生物量(采收地上部分的重量)等指标进行测量和记录。

2.2 生理指标测定

2.2.1 过氧化物酶(POD)测定 按照POD试剂盒说明进行过氧化物酶活性测定。即称取不同光照处理组鱼腥草粉末各0.1 g,加入1 mL提取液进行冰浴匀浆。8 000 r/min

4 °C离心10 min,取上清液置冰上,在470 nm下测定其吸光度。计算公式如下:

$$POD\text{活性}(U/g\text{FW}) = (\Delta A_{470} \times V_t) / (\Delta t \times W \times V_s \times 0.01)$$

注:ΔA₄₇₀:反应时间内吸光度的变化值;V_t:提取液总体积(mL);Δt:反应时间(min);W:样品称样量(g);V_s:测定时使用的提取液体积(mL);0.01:吸光系数的换算常数。

Note: ΔA₄₇₀:change value of absorbance within the reaction time; V_t:total volume of the extract solution (mL); Δt: reaction time (min); W: sample weighing mass (g); V_s: volume of the extract solution used for determination (mL); 0.01: conversion constant of the absorbance coefficient.

2.2.2 丙二醛(MDA)测定 在Chen等^[8]的检测方法上进行条件优化。称取不同光照处理组鱼腥草样品1.0 g,加入5 mL 10%三氯乙酸(TCA)研磨至匀浆,再加5 mL TCA进一步研磨,匀浆转移于10 mL离心管离心10 min (4 000 r/min),留上清液待用。吸取2 mL上清液,以蒸馏水为对照,分别加入2 mL 0.6%硫代巴比妥酸(TBA)溶液。该混合物于沸水浴中反应15 min,迅速冷却再次以相同转速离心,测定其在532 nm和450 nm下波长的吸光度,按以下式子进行相关计算:

$$\text{混合液中MDA的浓度: } C(\mu\text{mol/L}) = 6.45 \cdot A_{532} - 0.56 \cdot A_{450}$$

每克样品中MDA的含量:

$$\frac{\text{浓度 } C(\mu\text{mol/L}) \times \text{提取液体积 } V(\text{mL})}{\text{样品重量 } W(\text{g}) \times 1000}$$

2.3 类黄酮含量测定

2.3.1 总黄酮含量测定 参照黄明才等^[9]的测定方法。取1 mL鱼腥草提取液和1.0 mg/mL槲皮素对照品溶液(0.2 mL、0.4 mL、0.6 mL、0.8 mL、1.0 mL、1.2 mL)于10 mL试管中,加入0.3 mL 1%亚硝酸钠,摇匀,静置6 min;加入0.3 mL 10%硝酸铝,再次静置6 min,后加入4 mL 1mol/L氢氧化钠溶液,用无水乙醇定容到10 mL,室温下

反应10 min后,于510 nm波长处测定吸光度值。根据槲皮素的浓度与吸光度值制作标准曲线。计算公式如下:

$$\text{总黄酮含量}(\%) = \frac{C \times V}{W \times 1000} \times 100\%$$

注:C:由标准曲线得出样品测定液中槲皮素的浓度(mg/mL);V:稀释倍数;W:样品称样量(g)。

Note: C:concentration of quercetin in the sample test solution derived from the standard curve (mg/mL); V:dilution factor; W:sample weighing mass (g).

2.3.2 总花青素含量测定 在Alyssa等方法^[10]测定基础上进行溶液固液比、过滤方式、酸化乙醇浓度、提取时间和提取温度等条件优化。最终试验条件为:精密称取鱼腥草样品1.0 g,加入5 mL 20%酸化乙醇,50 °C水浴加热30 min,每5 min间隔摇晃1次,冷却,过滤。取上清液2 mL于10 mL容量瓶加以定容,于535 nm处测定其吸光度,根据下式计算样品中花青素含量。

$$\text{花青素含量}(mg/kg) = \frac{A}{25\,965} \times \frac{V}{1\,000} \times 499 \times \frac{1}{M} \times 106$$

注:A:样品于535 nm测定的吸光度;V:样品稀释倍数;M:样品称样量(g)。

Note: A:absorbance of the sample measured at 535 nm; V:dilution factor of the sample; M:sample weighing mass (g).

2.4 数据处理

运用软件SPSS Statistics 26.0对不同遮阴处理组下鱼腥草的表型性状、酶活性指标、类黄酮含量等数据进行统计与分析。

3 结果与分析

3.1 不同遮阴处理对鱼腥草表型性状的影响

鱼腥草作为药材地上部位应在夏季茎叶茂盛时采收^[11],本实验种植过程模拟鱼腥草实际生产开展,2月份定植直至7月份采收。研究表明^[12],鱼腥草适宜生长的环境要素为年均降雨量1 241.8~4 735.4 mm,年平均气温在17.30~25.40 °C,我国沿海及中部地区,台湾、福建、广东、江西、湖南、广西、浙江等几乎全境都适宜鱼腥草的生长。实验地位于广东省中山市,2023年年均降雨量为2 202 mm,年均气温20 °C~28 °C,年平均日照1 775 h,为鱼腥草生长适宜区。

不同遮阴处理组鱼腥草外观性状如图1所



图 1 不同遮阴条件下鱼腥草生长状况

Fig. 1 Growth conditions of *Houttuynia cordata* under different shading conditions

示,相比遮阴环境下,长期全光照时光辐射量过多,这可能是导致鱼腥草生长缓慢且叶片黄化的原因,反之随着光照强度降低,叶色深绿,生长较为旺盛。

表 1 结果表明,不同遮阴处理对鱼腥草的生长发育影响差异较大。相同栽培条件下,随着遮阴率增大,鱼腥草的叶片形态(叶长、叶宽)、株高、地上茎直径、地上茎长度和鲜重生物量呈现增加趋势,地上分枝数和叶片数无明显差异。多因素分析显示,叶长在 5 个遮阴处

理组中存在统计学差异($P<0.05$);叶宽在 20% 遮阴率和 40% 遮阴率组间不存在统计学差异($P>0.05$),在其他 3 个遮阴组中存在差异;株高和鲜重在全光照组和 20% 遮阴组间、40% 遮阴率和 60% 遮阴率组中不存在差异,但这两个表型特征在较大跨度遮阴处理组中表现出明显的统计学差异。综上所述,各遮阴处理组下鱼腥草表型性状品质表现从低到高依次为全光照<遮阴率 20%<遮阴率 40%<遮阴率 60%<遮阴率 80%。

表 1 梯度遮阴对鱼腥草形态指标的影响($n=3$)

Table 1 Gradient shading on morphological indicator of *Houttuynia cordata* ($n=3$)

处理组 Treatment group	叶长/mm Leaf length	叶宽/mm Leaf width	株高/cm Plant height	地上茎直径/ mm Aboveground stem diameter	地上茎长度/ cm Aboveground stem length	地上茎分枝	叶色 Leaf color	叶片数/片 Number of leaves	鲜重生物量/g Fresh weight biomass
						数/个 Number of aboveground stem branches			
0%	45.27±7.07a	41.09±6.70a	50.10± 2.08a	4.00±0.92a	18.10±4.42a	3.33±1.22a	黄绿色	3.89±0.78a	1.52±0.58a
20%	54.00±6.84b	42.57±6.64b	51.00± 9.85a	4.19±0.53a	18.40±6.70a	3.33±1.41a	浅绿色	4.44±1.13a	1.48±2.76a
40%	57.29±7.52b	45.09±3.75b	60.44± 7.69b	4.26±0.63a	19.50±5.58b	3.55±2.85a	深绿色	4.26±0.89a	1.91±1.21b
60%	60.45±2.35c	49.64±5.93c	65.48± 9.67b	4.31±1.19b	20.84±2.36b	3.89±1.05a	深绿色	4.22±1.20a	2.01±0.56b
80%	67.58±9.98d	61.08±8.34d	88.63± 5.42c	4.58±1.22a	26.42±3.16c	3.78±0.97a	深绿色	3.78±0.97a	3.47±1.10c

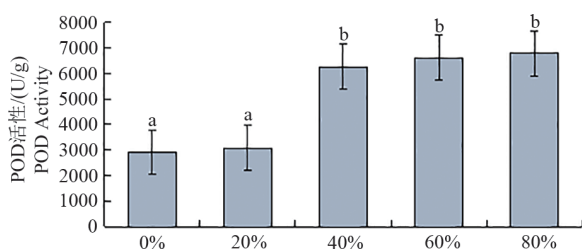
注:表中数据为平均值±标准差格式,同列数据不同字母表示有统计学差异($P<0.05$),相同字母表示无统计学差异($P>0.05$)。

Note: The data in the table are presented as means ± standard deviations. Within the same column, different letters indicate statistically significant differences ($P<0.05$), while the same letters indicate no significant differences ($P>0.05$).

3.2 不同遮阴处理对鱼腥草过氧化物酶(POD)活性的影响

过氧化物酶是生物防御体系的关键酶,其主要作用是清除植物体内过量的活性氧,使植物细胞免遭氧化胁迫的损伤^[13]。图 2 多重比较分析结果显示,全光照、20% 遮阴率与 40% 遮阴率、60% 遮阴率与 80% 遮阴率下,鱼腥草地上部分 POD 活性差异显著($P<0.05$)。与全光照组相比,4 个遮

阴处理组的 POD 活性均有不同程度的提高,在 80% 遮阴时达到最大值,比全光照组显著提高了 132.10%。随着遮阴程度增加,POD 活性越强,可能是强光抑制了鱼腥草体内 POD 的活性。此外,龙国辉^[14]等研究结果表明,过氧化物酶在植物生长发育过程中能提高对外界环境的适应能力,通过调控木质素合成,增加植物细胞的次生壁厚度,对细胞起到保护作用。因此,本研究推测夏季鱼

图2 不同遮阴条件下的鱼腥草POD活性($n=3$)Fig. 2 POD Activity of *Houttuynia cordata* under different shading conditions ($n=3$)

注:图中不同小写字母表示处理间差异达显著水平($P<0.05$),相同字母表示无统计学差异($P>0.05$)。下同。

Note: The column charts with different lowercase letters indicate significant differences between treatments ($P<0.05$), while the same letters indicate no significant differences ($P>0.05$). The same as below.

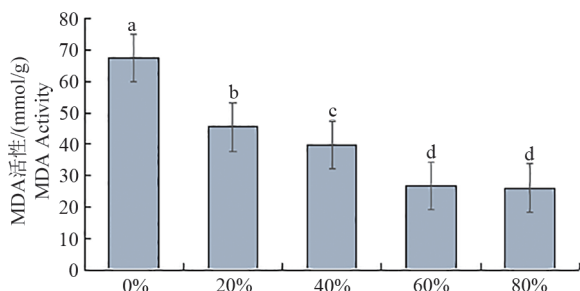
腥草栽培采用遮阴处理,鱼腥草体内POD活性增加利于植物抵御高温胁迫,以更好适应环境。

3.3 不同遮阴处理对鱼腥草丙二醛(MDA)含量的影响

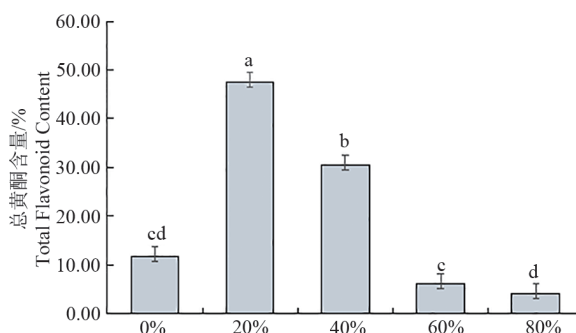
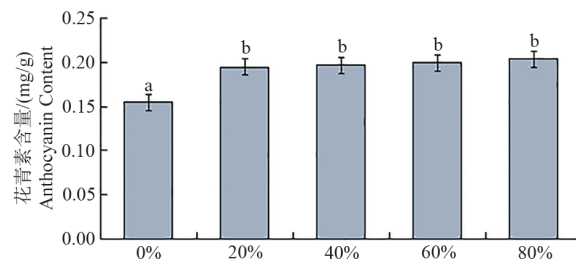
丙二醛作为细胞膜脂过氧化的最终产物,其含量高低反映了细胞受损程度,同时也体现了植物适应逆境的能力^[15]。图3结果表明,除60%遮阴率与80%遮阴率条件下鱼腥草地上部分MDA含量无显著性差异外,其他各不同遮阴率处理组间MDA含量均存在显著性差异($P<0.05$),随着光强度增加,MDA含量逐渐升高。全光照条件下,MDA含量达到最大值(67.63 mmol/g),相比80%遮阴率组(26.09 mmol/g)提升了159.21%。这一结果揭示了强光环境会产生大量活性氧(ROS)和膜脂过氧化产物MDA,进而加剧植物膜脂过表达,导致以酶类清除物质所构成的抗氧化酶保护系统受到破坏。

3.4 不同遮阴处理对鱼腥草类黄酮含量的影响

植物体内类黄酮化合物含量不仅受其合成

图3 不同遮阴条件下的鱼腥草MDA含量($n=3$)Fig. 3 MDA Content of *Houttuynia cordata* under different shading conditions ($n=3$)

途径基因表达量的调控,也受干旱、盐胁迫、紫外线B、冷害和重金属等非生物胁迫的影响,类黄酮化合物含量的变化在植物抵御非生物胁迫中发挥重要作用,以总黄酮和总花青素含量反映类黄酮积累较为常见^[7]。如图4所示,在不同遮阴条件下,鱼腥草地上部分的总黄酮含量随着遮阴率的增加整体呈现先升高后降低的趋势。当遮阴率为20%时,总黄酮含量达到最大值(47.42%),而遮阴率为80%时,其含量降至最低(4.11%),二者显著相差11倍。鱼腥草在形态上分为高秆和矮秆两种类型,其中矮秆型鱼腥草以槲皮苷为代表的黄酮类成分含量为主,并显著高于高秆型^[16]。本研究结果所示,随着光照强度增大,鱼腥草植株变矮,其体内的总黄酮含量升高,与前人的研究结果相吻合。如图5所示,随着遮阴率的增加,鱼腥草中总花青素含量呈现出上升趋势,全光照与其他各遮阴处理组总花青素含量差异显著($P<0.05$),在最大遮阴率为80%时其含量最高(0.203 7 mg/g),与全光照组(0.154 6 mg/g)相比增加了31.75%。反映了强光会抑制鱼腥草体内花青素的合成,而遮阴则能够促进其体内花青素的合成或延缓花青素的降解,使其含量逐渐积累。

图4 不同遮阴条件下鱼腥草总黄酮含量变化($n=3$)Fig. 4 Variations in total flavonoid content of *Houttuynia cordata* under different shading conditions ($n=3$)图5 不同遮阴条件下鱼腥草总花青素含量变化($n=3$)Fig. 5 Changes in total anthocyanin content of *Houttuynia cordata* under different shading conditions ($n=3$)

4 讨论

光作为环境信号,是对植物生长发育影响最大的重要物理环境因素之一。其中,光照强度不仅影响 CO_2 同化速率、植物色素含量、光合性能、叶肉细胞密度、气孔导度,以及激素含量和酶活性,还进而影响植物的营养品质、产量和植株的形态,其具体影响因植物需光特性、生长阶段及作用时间长短不同而异^[17,18]。曾至诚^[19]研究得出鱼腥草叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量均为遮光80%>遮光60%>全光照,随着光强度降低,鱼腥草植株高度、叶片宽度、长度等都有所增加。本研究在鱼腥草表型特征方面,随着光照强度降低,其叶片颜色由黄绿色转为深绿色,其叶长、叶宽、株高、地上茎直径、地上茎长度和鲜重均显著增加,与曾至诚研究相吻合。因此,适度遮阴对于保持鱼腥草良好生长,提高产量是有利的。

生理指标方面,随着光照强度的增加,鱼腥草体内POD活性降低,MDA含量上升。POD是植物体中典型的抗氧化酶之一,其活性变化能够反映植物对光强的氧化应激反应从而作为衡量生物是否健康生长的指标,同时与植物抗逆性密切相关^[20,21]。随着光照强度加大,鱼腥草POD活性逐渐减弱,20%遮阴率以下与40%遮阴率以上鱼腥草POD活性差异显著,表明强光在一定程度上抑制了抗氧化酶的活性,影响鱼腥草的正常生长发育,该结果推断与鱼腥草表型性状表现相符。随着遮阴率增加,鱼腥草中MDA含量显著降低,该结果表明,遮阴可以有效防止鱼腥草膜脂过氧化程度的增加,这与许多其他受光照胁迫的植物^[21,22]表现相一致。

光强对于不同植物黄酮类化合物的影响不同,随着光强的增大多数植物黄酮类化合物含量增加^[23]。马长才^[24]研究表明,随着光照增强,鱼腥草叶片中总黄酮含量显著提升,这与本研究结果趋势基本一致。然而,本研究中全光照组的总黄酮含量显著低于20%与40%遮阴率处理,可能是由于广东夏季全光照高温和强光的叠加作用,导致烧苗和叶片黄化,促使鱼腥草提前激活其体内的抗氧化系统,消耗总黄酮生物量以清除活性氧,从而导致了总黄酮含量降低。在植物中,花青素常通过糖苷键与糖基结合形成结构更

稳定的花青素苷。花青素苷是使植物的花、叶、果实和种子呈现出红橙色至蓝紫色的主要色素类物质^[25]。鱼腥草总花青素含量随着遮阴率增大有所增加,特别是20%以上遮阴率与全光照相比,其体内花青素含量增加显著,这也解释了鱼腥草随着遮阴率增大,其叶片由全光照处理下黄绿色变为深绿色的原因。

5 结论

鱼腥草生长期内,叶长、叶宽、株高、地上茎直径、地上茎长度、地上茎分枝数、鲜重生物量等表型性状质量均随着遮阴率增加而提升,过氧化物酶随着遮阴率增加活性逐渐增强,其活性在40%以上遮阴率与20%以下遮阴率处理组呈现显著性差异。同时,细胞膜脂过氧化的最终产物丙二醛随着遮阴率增加逐渐下降,鱼腥草中丙二醛含量在全光照条件下比80%遮阴率处理组高出了159.21%,结果充分表明,遮阴有利于鱼腥草提升产量,提高抗氧化酶活性,降低其膜脂过氧化程度,保证鱼腥草良好生长。不同遮阴条件下,鱼腥草地上部分的总黄酮含量随着遮阴率的增加整体呈现先升高后降低的趋势,20%、40%遮阴率下鱼腥草总黄酮含量显著高于全光照、60%、80%遮阴率处理组,总花青素含量表现为20%以上遮阴率处理组显著高于全光照处理组,说明适度遮阴有助于鱼腥草体内类黄酮类次生代谢产物的积累。间作、套种、拟境栽培等是中药材常用的生态种植模式^[26]。因此,鱼腥草生长期内,采用与玉米、薏苡仁等高秆作物适宜距离间作或林下套种等生态种植模式为其创造适度遮阴环境,以提高品质与经济效益完全可行。不同生态种植模式下应根据实际间作或套种作物的种类以及具体产量与质量要求,进一步研究作物之间栽培间距等参数。

参考文献

- [1] 吕艳春,肖通.鱼腥草系列食品开发及其接受度评价[J].保鲜与加工,2020,20(01):149-154.
- [2] 童文,李敏,孙佩,等.药食同源植物鱼腥草研究现状[J].辽宁中医药大学学报,2018,20(06):183-185.
- [3] 梁燕,张勇,伍昌华,等.鱼腥草作为饲料添加剂在家禽养殖中的作用研究进展[J].饲料研究,2024(02):158-161.
- [4] 杨佳,黎云祥,陈金珠,等.鱼腥草光合生理特性及

- 其光合曲线最适模型的研究[J]. 四川环境,2018,37(02):20-24.
- [5] 彭春华. 不同鱼腥草的质量与遮阴调控效果评价研究[D]. 福州:福建农林大学,2007:20-32.
- [6] 陈安利,马卓. 鱼腥草中黄酮类化合物的研究进展[J]. 中药与临床,2021,12(02):74-78.
- [7] 曾勇,刘慧敏. 黄酮类化合物介导的植物耐逆性分析[J]. 分子植物育种,2023-08-21.
- [8] Chen G,Xu C,Wang Z,et al.Effect of MDA-mediated oxidation on the protein structure and digestive properties of golden pomfret[J].Food Chemistry,2024,443:138563.
- [9] 黄明才,韦国兰,龙杰凤,等. 超声波辅助提取鱼腥草总黄酮的工艺研究[J]. 凯里学院学报,2021,39(03):29-33.
- [10] Francavilla A, Joye I J. Anthocyanin content of crackers and bread made with purple and blue wheat varieties[J]. Molecules,2022,27:7180.
- [11] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M] 北京:中国医药科技出版社,2020:244.
- [12] 齐帅,黄丹枫,杨再强,等. 基于 MaxEnt 模型预测鱼腥草在中国的潜在适生区[J]. 北方园艺,2022(15):148-155.
- [13] 李慧,吴依琳,张意,等. 干旱胁迫对槲蕨根茎生理特性的影响[J]. 时珍国医国药,2024,35(06):1469-1472.
- [14] 龙国辉,武鹏雨,付嘉智,等. 过氧化物酶调控木质素合成研究进展[J]. 现代农业科技,2021(23):47-49.
- [15] Moller I M, Jensenp E, Hansson A. Oxidative modifications to cellular components in plants[J]. Annual Review of Plant Biology,2007,58:459-481.
- [16] Wu L S,Si J P,Yuan X Q,et al.Quantitive variation of flavonoids in *Houttuynia cordata* from different geographic origins in China[J]. Chinese Journal of Natural Medicines,2009,07(1):40-45.
- [17] 赵静,石卫华. 光质和光强对植物生长的影响[J]. 现代园艺,2024(01):32-34.
- [18] 文军,刘金祥,赵玉红. 草本植物遮荫效应的研究进展[J]. 草业科学,2007,24(09):93-96.
- [19] 曾至诚. 光强对鱼腥草光合特性与化学成分的影响[D]. 长沙:湖南大学,2012:9-22.
- [20] 于洋洋,庄正,朱晨曦,等. 光强对雾培杉木幼苗生长及生理特征的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2019,50(03):382-387.
- [21] 陈泳伟,吴永兵,袁华恩,等. 光照强度对雪茄烟叶光合特性、抗氧化特性及品质的影响[J]. 西南农业学报,2023,36(10):2175-1281.
- [22] 陈雪梅,林玮,涂智金,等. 遮阴对南山茶与红皮糙果茶幼苗生长及生理特性的影响[J]. 亚热带植物科学,2023,52(02):101-107.
- [23] 潘俊倩,佟曦然,郭宝林. 光对植物黄酮类化合物的影响研究进展[J]. 中国中药杂志,2016,42(21):3897-3902.
- [24] 马长才,王晓鹏,刘武. 光照、水分和施肥对鱼腥草叶片营养成分的影响[J]. 安徽科技学院学报,2017,31(04):34-38.
- [25] 陈雪菲,张映雪,黄贤燕,等. 蕨类植物花青素和原花青素成分及含量分析[J]. 植物科学学报,2020,38(06):820-830.
- [26] 郭兰萍,康传志,周涛,等. 中药生态农业最新进展及展望[J]. 中国中药杂志,2021,46(08):1851-1857.