



## 走马胎灰分对光的响应特征及其与生长指标的相关性

周泽建, 冯金朝

引用本文:

周泽建,冯金朝. 走马胎灰分对光的响应特征及其与生长指标的相关性[J]. *热带亚热带植物学报*, 2024, 32(1): 111–117.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4738>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 不同光环境对海南龙血树幼苗表型可塑性及生存策略的影响

Effects of Light Intensity on Phenotypic Plasticity and Survival Strategy of *Dracaena cambodiana* Seedlings

*热带亚热带植物学报*. 2018, 26(2): 150–156 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3782>

#### 不同光照强度对假紫万年青生长和叶绿素荧光参数的影响

Effect of Light Intensity on Growth and Chlorophyll Fluorescence Parameters of *Belosynapsis ciliata*

*热带亚热带植物学报*. 2018, 26(3): 255–261 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3816>

#### 盐度、温度和光照强度对针叶蕨藻的生长及光合活性的影响

Effects of Salinity, Temperature and Light Intensity on Growth and Photo-synthetic Activity of *Caulerpa sertularioides*

*热带亚热带植物学报*. 2021, 29(6): 626–633 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4378>

#### 二年生三七农艺和质量性状对环境光强的响应特征

Agronomic and Quality Traits of Two-year-old *Panax notoginseng* Response to Environmental Light Intensity

*热带亚热带植物学报*. 2018, 26(4): 375–382 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3844>

#### 遮荫处理对梅叶冬青叶片形态、光合特性和生长的影响

*热带亚热带植物学报*. 2020, 28(1): 25–34 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4077>

向下翻页，浏览PDF全文

# 走马胎灰分对光的响应特征及其与生长指标的相关性

周泽建<sup>1</sup>, 冯金朝<sup>2\*</sup>

(1. 广西生态工程职业技术学院, 广西 柳州 545004; 2. 中央民族大学生命科学与环境学院, 北京 10081)

**摘要:**为探究光照强度和光质对走马胎(*Ardisia giantifolia*)灰分积累的影响,利用遮阳网和薄膜设定4个光照梯度(100%、60%、40%、20%全光照)和4种光质(绿、白、蓝、红),分析了基径、株高以及生物量的响应特征,以及灰分与生长指标的关系。结果表明,走马胎灰分含量在绿光下随着光照强度的减弱而呈减少的趋势,在白光下随着光照强度的减弱呈现“低-高-低-高”的波动变化,在蓝光或红光下没有显著变化;在100%光照强度下,白光的灰分含量最低,与其余光照强度存在显著差异;在60%、40%、20%光照强度下,光质对走马胎灰分含量的影响不显著。走马胎灰分含量与株高、基径和生物量间不存在明显的相关性;随着光照强度的减弱,走马胎的株高、基径以及生物量均呈现增加的趋势,且在白光下达到最大。因此,光照对走马胎灰分的积累和生长指标均有影响,种植走马胎时要选择适当遮荫强度或郁闭度较高的林型。

**关键词:** 走马胎; 灰分; 光照强度; 光质; 生长指标

doi: 10.11926/jtsb.4738

## Light Response Characteristics of Ash in *Ardisia giantifolia* and Its Correlation with Growth Indexes

ZHOU Zejian<sup>1</sup>, FENG Jinchao<sup>2\*</sup>

(1. Guangxi Eco-engineering Vocational and Technical College, Liuzhou 545004, Guangxi, China; 2. College of Life and Environmental Science, Minzu University of China, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In order to understand the effect of light on ash accumulation of *Ardisia giantifolia*, four light intensities (100%, 60%, 40% and 20% natural light intensity) and four light qualities (green, white, blue and red light) were set by using sunshade net and film, the response characteristics of height, basal diameter and biomass of *A. giantifolia* under different treatment conditions was analyzed, and the relationship between ash content and growth indexes was studied. The results showed that with the weakening of light intensity, the ash content of *A. giantifolia* decreased under green light with the decrease of light intensity, showing a “low-high-low-high” change trend under white light. Moreover, there was no significant change under blue light or red light. The ash content of *A. giantifolia* was the lowest under white light and 100% light intensity, showing significantly differences with that of the rest light intensity. At 60%, 40% and 20% natural light intensity, light quality had no significant effect on ash content of *A. giantifolia*. The ash content had no significant correlation with plant height, basal diameter and biomass of *A. giantifolia*. With the decrease of light intensity, the plant height, basal diameter and biomass of

收稿日期: 2022-10-20 接受日期: 2023-03-03

基金项目: 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2021KY1226); 广西林业科技推广示范项目([2021]15); 广西林业科技项目([2022ZC]49); 广西生态工程职业技术学院项目(2020KY07)资助

This work was supported by the Project for Basic Scientific Research Ability Improvement of Young and Middle-aged Teachers in Guangxi Universities (Grant No. 2021KY1226), the Project for Forestry Science and Technology Promotion Demonstration in Guangxi (Grant No. [2021]15), the Project for Forestry Science and Technology in Guangxi (Grant No. [2022ZC]49), and the Project of Guangxi Eco-engineering Vocational and Technical College (Grant No. 2020KY07).

作者简介: 周泽建(1978年生),男,博士,副教授,主要从事民族药用植物学、自然资源管理等方面的研究。E-mail: zhouzejianks@163.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 398192533@qq.com

*A. giantifolia* increase, and reach maximum under white light. Therefore, it was suggested that light had effect on ash accumulation and growth index of *A. giantifolia*, and it was necessary to choose the forest type with proper shade intensity or canopy density when planting.

**Key words:** *Ardisia giantifolia*; Ash; Light intensity; Light quality; Growth index

走马胎(*Ardisia giantifolia*)是一种小灌木,为紫金牛科(Myrsinaceae)紫金牛属植物,富含皂苷、多糖、生物碱等,对壮筋活络、生肌化毒、活血止痛等方面有特效,是壮族、瑶族、侗族习用药材<sup>[1]</sup>。走马胎是一种耐荫植物,比较适合林药复合种植。在林药复合种植过程中,影响其生长的主要控制因子是光照条件。研究表明,光照强度显著影响走马胎的生长<sup>[2]</sup>,随着光照强度的减弱,走马胎的株高、基径以及生物量呈现增加的趋势<sup>[1]</sup>。同时,光质也显著影响走马胎幼苗的生长和有效成分的积累,其中红蓝光(4:1)最有利于其生长和活性成分积累<sup>[3]</sup>。

光是植物生长的重要生态因子,显著影响植物的生物量<sup>[4-5]</sup>,继而影响植物对矿物质元素和重金属的吸收,影响中药材的灰分,从而影响药材质量。灰分是中药材质量评价的重要指标之一<sup>[6]</sup>,其含量能体现药用植物在生长过程中吸收重金属和矿物元素的量,受光照、水分、热量、土质等生长环境因子的影响<sup>[7]</sup>。研究显示,不同植物灰分对光的反应不同,光质的补光显著影响薄荷(*Mentha haplocalyx*)的灰分<sup>[8]</sup>,遮光对地胆草(*Elephantopus scaber*)根系灰分含量的影响相对较小<sup>[9]</sup>,适当的弱光显著增加甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)的灰分<sup>[10]</sup>。与空旷地比较,林下光条件发生显著变化,光照强度显著减少,光质发生变化<sup>[11]</sup>。在此条件下种植走马胎,发展林下经济、助力乡村振兴需要解决的是走马胎的生长、活性成分积累以及灰分对光条件变化的反应特征,以便提高产量和质量。因此,本研究以走马胎为研究对象,开展光对走马胎生长与灰分积累的影响研究,探索生长指标与灰分积累的关系,以期找出高质高产的最佳光照条件,指导林农进行科学林药复合种植。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

广西生态工程职业技术学院林业工程学院中草药栽培基地作为本研究的试验地,位于广西壮族

自治区柳州市沙塘镇,年平均温度 18.1 °C~19.4 °C,年日照时数 1 250~1 570 h,年降雨量 1 345~1 940 mm,属于南亚热带季风气候。

### 1.2 材料

本试验所用的走马胎幼苗均是 1 a 生实生苗,来自广西金秀瑶族自治县,株高和基径分别为(8.68±0.24)和(0.47±0.03) cm。菜园土取自附近农地,经过太阳暴晒 1 d 后,装袋备用,土壤 pH 6.8、孔隙度 56%、速效钾 443 mg/kg、速效磷 15 mg/kg、水解氮 108 mg/kg、有机质 27g/kg。

### 1.3 试验设计

在基地内选择一块光照条件相似、平坦的地块作为试验地,在试验地内,采用盆栽的方法,运用双因素随机区组设计,设计光质、光照强度 2 个因素,每个因素 4 个水平。光质运用不同颜色的薄膜覆盖,设置红光、蓝光、绿光、白光(自然光, CK)共 4 个处理;光照强度采用遮阳网,设置自然光照(100%, L1, CK)、高光照(60%全光照, L2)、中光照(40%全光照, L3)、低光照(20%全光照, L4)共 4 个处理。累计 16 个处理,每处理 4 次重复,每次重复 10 株。

选择大小一致、高度相似的走马胎幼苗于 2017 年 3 月移栽到花盆内。花盆规格为 30 cm×22 cm(上口×外径),内装 2 kg 菜园土和 0.5 kg 有机肥。返青后,根据实际情况,进行浇水与除草。经过 250 d 培育后,于 11 月 23 日收获。

用精度为 1 mm 的钢卷尺(沃尔龙牌)测定株高,精度为 0.1 mm 游标卡尺(双菱牌)测定基径;采用精度为 0.001 g 电子天平(岛津 UW220H)称鲜质量和干质量,测定生物量。灰分的测定按照药典方法<sup>[6]</sup>测定。

### 1.4 数据处理与统计分析

原始数据采用 Excel 2021 进行预处理,数据统计分析运用统计软件 SPSS 20.0 进行分析。利用 General Linear Model ANOVA 和 LSD 法对走马胎的株高、基径以及生物量进行方差分析和差异性分析,运用 Pearson 相关性分析法分析各指标间的相关关系。

## 2 结果和分析

### 2.1 光对灰分含量的影响

在绿光下, 走马胎灰分含量随着光照强度的减弱而呈减少的趋势, 在 L1 时达到最大值, 为 1.88%, 与 L2、L3 不存在显著差异, 但与 L4 存在显著差异 ( $P<0.05$ )。在白光条件下, 随着光照强度的减弱, 灰分含量出现“低-高-低-高”的波动性变化, 在 L2 时最大值是 1.88%, 与 L4 不存在显著差异, 但均与 L1、L3 存在显著差异 ( $P<0.05$ ); 灰分含量在 L1、L3、L4 之间不存在显著差异。在蓝光或红光下, 灰分含量随着光照强度的减弱变化不大, 差异均没有达显

著水平(图 1)。

在 L1 下, 灰分含量为绿光>蓝光>红光>白光, 绿光的灰分含量与蓝光、红光间不存在显著差异, 但与白光存在显著差异 ( $P<0.05$ )。绿、蓝、红光的灰分含量依次为 1.88%、1.68%、1.64%, 分别比白光增加了 20.51%、7.69%、5.13%。在 L2 下, 白光下的走马胎灰分含量最大(1.88%), 分别比红光、绿光、蓝光多 0.2%、0.2%、0.28%, 均没达显著差异。在 L3 下, 灰分含量为绿光=蓝光>红光>白光, 均不存在显著差异。在 L4 下, 光质对灰分含量影响不大, 没有达显著差异, 为白光>绿光=蓝光=红光, 白光的灰分含量为 1.68%, 比绿光、蓝光、红光增加了 0.16%。

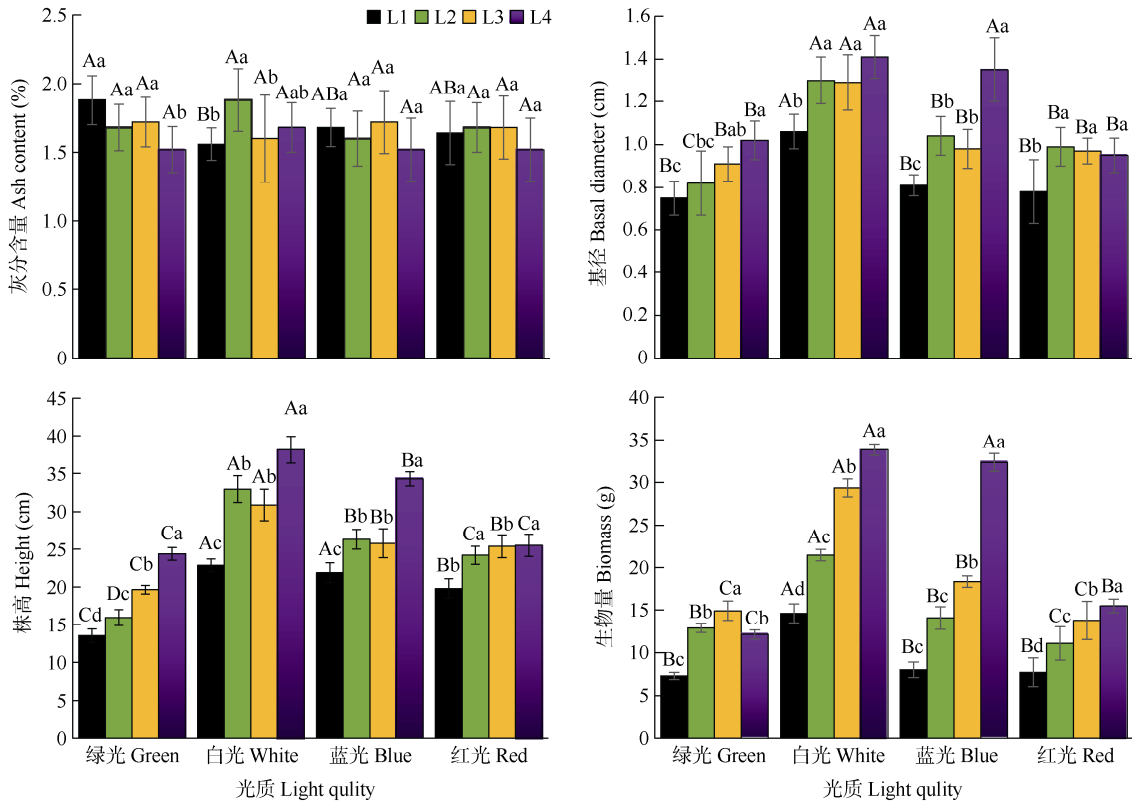


图 1 光对走马胎灰分和生长的影响。柱上不同大、小写字母分别表示同一光照强度不同光质、同一光质不同光照强度间差异显著 ( $P<0.05$ )。L1、L2、L3、L4 分别表示 100%、60%、40%、20% 光照强度。

Fig.1 Effect of light on ash content and growth of *Ardisia giantifolia*. Different capital and small letters indicate significant differences among different light qualities under the same light intensities, and among different light intensities under the same light quality at 0.05 level, respectively. L1, L2, L3 and L4 were 100%, 60%, 40% and 20% nature light intensity, respectively.

### 2.2 光对生长的影响

#### 2.2.1 对基径的影响

绿光下, 走马胎基径随光照强度减少呈增大趋势, L1 与 L2 间不存在显著差异, 但与 L3、L4 存在显著差异 ( $P<0.05$ ); L2 显著小于 L4 ( $P<0.05$ )。白

光或蓝光下, 基径为 L4>L2>L3>L1, 白光下, L4、L2 和 L3 间不存在显著差异, 但均与 L1 存在显著差异 ( $P<0.05$ )。蓝光下, L4 显著大于 L2 ( $P<0.05$ ), 而 L2 与 L3 不存在显著差异, L3 明显大于 L1 ( $P<0.05$ )。红光下, 随着光照强度的增加, 基径呈现先

缓慢增加而后显著下降的变化趋势, L2 的基径最大, 为 0.99 cm, 与 L3、L4 间不存在显著差异, 而显著大于 L1 ( $P<0.05$ ) (图 1)。

同一光照强度下, 白光的基径最大, 除在低光照下与蓝光不存在显著差异外, 均显著大于其余光质 ( $P<0.05$ )。在 L1、L3 条件下, 白光的基径显著大于绿、蓝、红光 ( $P<0.05$ ), 而绿、蓝、红光间不存在显著差异。在 L2 下, 蓝光与红光间不存在显著差异, 但均显著大于绿光和显著小于白光 ( $P<0.05$ )。在 L4 下, 基径为白光>蓝光>绿光>红光, 白光与蓝光、绿光与红光间不存在显著差异, 但蓝光与绿光间存在显著差异 ( $P<0.05$ )。

### 2.2.2 对株高的影响

绿光下, 株高随着光照强度的增加呈降低的趋势, 且各处理间存在显著差异 ( $P<0.05$ )。白光或蓝光下随光照强度的减弱, 株高先显著增加 ( $P<0.05$ ) 再稍微下降, 然后再显著增加 ( $P<0.05$ ) 的“N”型变化。白光下, L4 的株高最高, 为 38.16 cm, 比 L1 高了 66.93%。蓝光下, 低光照强度的株高最高, 为 34.29 cm, 比 L1 高了 56.72%。红光下, 随光照强度的减弱株高呈增加的趋势, L4 的株高最高 (25.53 cm), 比 L1 高了 28.94%, 达显著差异 ( $P<0.05$ ), 但与 L2、L3 不存在差异显著 (图 1)。

无论在何种光照强度下, 走马胎均在白光下长得最高, 绿光下最矮。在 L1 下, 绿光长势最差, 株高为 13.51 cm, 与其余处理间存在显著差异 ( $P<0.05$ ); 白光长势最好, 株高为 22.86 cm, 与红光存在显著差异 ( $P<0.05$ ), 但与蓝光不存在显著差异。在 L2 下, 株高为白光>蓝光>红光>绿光, 且各处理间存在显著差异 ( $P<0.05$ )。在 L3 下, 白光的长势最好, 株高是 30.86 cm, 均显著大于其余处理 ( $P<0.05$ ), 蓝光与红光不存在显著差异, 但均与白光、绿光存在显著差异 ( $P<0.05$ ); 绿光最矮, 均显著小于其余处理 ( $P<$

0.05)。在 L4 下, 白光株高为 38.16 cm, 明显大于其余光质 ( $P<0.05$ ); 绿光最矮, 显著小于蓝光 ( $P<0.05$ ), 但与红光不存在显著差异。

### 2.2.3 对生物量的影响

除绿光外, 随光照强度的减弱, 生长在同一光质下的走马胎生物量呈现显著增加 ( $P<0.05$ )。绿光下, 生物量随着光照强度的减弱呈“低-高-高-低”的变化趋势, 在 L3 下的长势最好, 生物量为 14.92 g, 显著大于 L2 ( $P<0.05$ ); L2 与 L4 不存在显著差异, 但均显著大于 L1 ( $P<0.05$ )。白光、蓝光、红光下, 均是 L4 的生物量最大, 分别为 33.83、32.32 和 15.49 g, 分别比 L1 增加了 131.71%、303.50% 和 100.91% (图 1)。

任何光照强度下, 走马胎的生长均以白光下的长势最好, 生物量最大。除 L4 下白光和蓝光不存在显著差异外, 白光均显著大于其余光质 ( $P<0.05$ )。在 L1 下, 白光显著大于红光、蓝光和绿光 ( $P<0.05$ ), 但红光、蓝光、绿光间不存在显著差异。在 L2 下, 生物量为白光>蓝光>绿光>红光, 白光与蓝、绿、红光存在显著差异 ( $P<0.05$ ); 蓝光与绿光间不存在差异显著, 但与红光存在显著差异 ( $P<0.05$ )。在 L3 下, 白光显著大于蓝光 ( $P<0.05$ ), 蓝光显著大于绿光和红光 ( $P<0.05$ ), 但绿、红光间不存在显著差异。在 L4 下, 生物量为白光>蓝光>红光>绿光, 白光与蓝光间不存在显著差异, 但与红光存在显著差异 ( $P<0.05$ )。此外, 红光与绿光间存在显著差异 ( $P<0.05$ )。

## 2.3 双因素方差分析

从表 1 可见, 光照强度、光质及其交互作用均对走马胎灰分含量没有显著影响, 而对株高、基径、生物量具有极显著影响 ( $P<0.01$ )。

### 2.4 相关性分析

走马胎灰分含量与株高、基径、生物量不存在显著相关性 (表 2)。生物量与株高、基径存在极显著相关 ( $P<0.01$ ), 基径与株高间的相关性极显著 ( $P<0.01$ )。

表 1 走马胎生长指标及灰分的双因素方差分析

Table 1 Two-ANOVA variance analysis of growth indexes and ash content of *Ardisia giantifolia*

| 生长指标 Growth index | F                        |                      |         |
|-------------------|--------------------------|----------------------|---------|
|                   | 光照强度 Light intensity (A) | 光质 Light quality (B) | A×B     |
| 基径 Basal diameter | 55.95**                  | 34.31**              | 3.30**  |
| 株高 Height         | 218.48**                 | 314.00**             | 13.42** |
| 生物量 Biomass       | 525.22**                 | 556.01**             | 70.21** |
| 灰分 Ash            | 0.53                     | 1.94                 | 1.31    |

\*\* :  $P<0.01$ 。下同

\*\* :  $P<0.01$ . The same below

表 2 走马胎灰分与生长指标的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between the ash content and growth index of

*Ardisia giantifolia*

| 生长指标<br>Growth index | 灰分<br>Ash | 株高<br>Height | 基径<br>Basal diameter |
|----------------------|-----------|--------------|----------------------|
| 株高 Height            | -0.073    |              |                      |
| 基径 Basal diameter    | 0.006     | 0.896**      |                      |
| 生物量 Biomass          | -0.079    | 0.861**      | 0.864**              |

### 3 结论和讨论

灰分含量反映了植物对矿质元素吸收与积累的量<sup>[12]</sup>,其含量高低由多种因素决定,比如土壤条件、环境条件、生殖对策等<sup>[13]</sup>。当光环境变化时,植物可以通过调整矿质元素吸收量来适应,致使植物灰分含量产生变化<sup>[14]</sup>。本研究表明,绿光下走马胎灰分随着光照强度的增强呈增加的趋势,究其原因,一是走马胎是耐荫植物,喜欢生长在潮湿、荫暗的环境,受到光胁迫后,净光合速率下降,光合产物的积累减少,生长受到抑制,植株干物质显著下降,致使单位质量干物质中矿质元素含量发生变化,引起大部分中、微量金属元素浓度增加,产生浓缩效应<sup>[15]</sup>;二是走马胎有一定的抗逆能力,遇到逆境时,通过吸收矿质元素来减轻自身的伤害<sup>[16-18]</sup>,导致其灰分发生显著的变化;三是酶含量影响走马胎中矿质元素含量变化。大部分中、微量金属元素以受体的身份参与电子传递、与底物合成酶、以酶表达等形式参与调节光合作用<sup>[15]</sup>。走马胎可能通过控制 RuBP 羧化酶活性来缓解净光合速率的下降<sup>[19]</sup>,RuBP 羧化酶含量升高促使光合系统中间产物酶系增加,提升了摄取 CO<sub>2</sub> 和传递电子的能力,增加中、微量金属元素的需求,导致走马胎中矿质元素含量增加。本研究发现,在白光条件下走马胎灰分含量随光照强度的减弱而出现“低-高-低-高”的波动性变化,这可能是在白光条件下遮荫促进了走马胎吸收矿质元素,导致在 60%光强时走马胎灰分显著增加。但是这种促进作用有一定的限制,即到达一定程度后会逐渐减弱,直至消失,从而导致了走马胎灰分在 40%光照时显著下降后波动不大。研究还表明,在蓝光或红光条件下走马胎灰分随着光照强度的增加变化不大,没有达到显著水平,这与前人<sup>[20-21]</sup>的研究结果类似,可能是红光能促进可溶性糖和淀粉在植物体内的积累,蓝光有利于叶绿素的合成<sup>[22]</sup>,两者均促进了走马胎的生长,促使单位

重量干物质增加,对走马胎中中、微量金属元素含量起到稀释作用,且这种稀释作用与逆境促进走马胎吸收矿质元素作用相当,从而导致走马胎矿质元素含量没有显著性变化。本研究表明,光质对走马胎灰分的影响不大,这与张惠颖等<sup>[23]</sup>对刺芹侧耳(*Pleurotus eryngii*)、陈岗等<sup>[24]</sup>对银耳(*Tremella fuciformis*)的研究结果一致,走马胎是耐荫植物,在 60%~20%光照下能正常生长,受光胁迫程度较小。因此,光质的改变不能增加走马胎对中、微量元素、重金属的吸收量,从而导致走马胎灰分无显著变化。

光是植物生长所必需的生态因子,对植物光合作用和生物量分配具有显著影响<sup>[25-27]</sup>。有研究表明,光质对药用植物株高、基径、生物量有显著性影响<sup>[28]</sup>。本研究表明,走马胎在白光下长势最好,这与蓝梅(*Vaccinium australe*)<sup>[29]</sup>在蓝光下、三叶崖爬藤(*Tetrastigma hemsleyanum*)<sup>[30]</sup>在红光下的生物量最大的结果不同,而与刘洋等<sup>[27]</sup>对青钱柳(*Cyclocarya paliurus*)的研究结果一致,可能是不同类型的药用植物对光质响应不同,同时,白光是复合光,具有 12%远红光(波长 700~800 nm),能促进植物茎的伸长和干物质的积累<sup>[22]</sup>。此外,研究还表明光照强度也显著影响药用植物的生长与发育<sup>[31]</sup>,这与本研究结果一致。随着光照强度的减弱,走马胎株高、基径以及生物量出现增加的现象,与白三叶(*Trifolium repens*)的生物量呈减少的趋势<sup>[32]</sup>、三七(*Panax notoginseng*)呈先增加后减少<sup>[33]</sup>等相异,这可能是走马胎属于强耐荫植物,适合弱光下生长,弱光促进其净光合速率上升,促使光合产物增多,导致生物量的积累增加。

综上,光对走马胎灰分有影响,种植走马胎时要选择适宜遮荫强度,以 20%~40%光照为宜。光对走马胎生长具有显著性影响,走马胎的株高、基径以及生物量随着光照强度的减弱呈现增加的趋势,且在白光条件下达到最大值。因此,自然条件下种植走马胎时,建议选择郁闭度较高的林型进行林下种植,以林下 20%光照为宜。

### 参考文献

- [1] ZHOU Z J. Growth and ecophysiological characteristics of *Ardisia giantifolia* under the compound planting of forest and medicine [D]. Beijing: Minzu University of China, 2020. [周泽建. 林药复合种植走马胎植物生长与生理生态特性 [D]. 北京: 中央民族大学, 2020.]
- [2] WEI R. The influence of environmental factors on contents of biomass

- and saponins of *Ardisia gigantifolia* [D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2017. [魏蓉. 环境因子对走马胎生物量及皂苷含量的影响 [D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2017.]
- [3] LI K, MIAO C, LIU J, et al. Effects of LED light quality on growth, physiology and active component contents of *Ardisia gigantifolia* [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2022, 42(5): 819–828. [李坤, 毛纯, 刘军, 等. LED 光质对走马胎生长和生理及活性成分含量的影响 [J]. 西北植物学报, 2022, 42(5): 819–828. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2022.05.0819.]
- [4] LI Z, XIE S Q, XU W G, et al. Steady-state and dynamic photosynthetic performance in the shade-demanding plant *Amorphophallus xiei* under different levels of growth irradiance [J]. Guihaia, 2016, 36(5): 529–538. [李珍, 谢世清, 徐文果, 等. 不同光照条件下喜阴植物谢君魔芋对稳态和动态光源的响应特征 [J]. 广西植物, 2016, 36(5): 529–538. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201412012.]
- [5] ZHAO B, FU N F, XIANG Y C, et al. Effects of light intensity and planting substrates on the growth of *Begonia ningmingensis* ‘Ningming Silver’, a new begonia cultivar [J]. Guihaia, 2017, 37(9): 1153–1160. [赵斌, 付乃峰, 向言词, 等. 光照强度及栽培基质对秋海棠新品种‘宁明银’生长的影响 [J]. 广西植物, 2017, 37(9): 1153–1160. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201610033.]
- [6] State Pharmacopoeia Committee of China. Pharmacopoeia of the People’s Republic of China, Volume II [M]. Beijing: Chinese Medicine Publishing House, 2015: 200–300. [国家药典委员会. 中华人民共和国药典, 二部 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 200–300.]
- [7] LI Y. The quality performance of *Gentiana crassicaulis* Duthie ex Burk. in Lijiang City and the correlation with rhizosphere soil research [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2015. [李瑶. 丽江秦艽主要质量指标及其与根际土壤养分特性的相关性研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2015.]
- [8] LIU X X. Research on the effects of different light quality supplemental light on the growth, quality and volatile components of peppermint based on the fish-flower closed-loop symbiosis system [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2021. [柳璇璇. 基于渔-花闭环共生系统中不同光质补光对薄荷生长、品质及挥发性组分的影响研究 [D]. 银川: 宁夏大学, 2021.]
- [9] ZHENG D H, YUAN S N, CHEN J M, et al. Effects of different shading treatments on the extractives, total flavonoids and ashes of root in *Elephantopus scaber* Linn. [J]. Chin J Trop Crops, 2016, 37(1): 15–19. [郑定华, 袁淑娜, 陈俊明, 等. 遮光对地胆草根系浸出物及黄酮和灰分含量影响研究初报 [J]. 热带作物学报, 2016, 37(1): 15–19. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2016.01.003.]
- [10] HOU J L. Study on the effect of weak light stress on the quality of *Glycyrrhiza uralensis* [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2010. [侯俊玲. 弱光胁迫对甘草质量影响的研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2010.]
- [11] MAO F F. Forest Environment [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006: 24–39. [毛芳芳. 森林环境 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 24–39.]
- [12] ZHU Y L, ZHOU G, ZHANG H F, et al. Study on calorific value and ash content of *Populus tremula* [J]. For Environ Sci, 2022, 38(2): 79–87. [朱雅丽, 周钢, 张绘芳, 等. 欧洲山杨热值及灰分含量研究 [J]. 林业与环境科学, 2022, 38(2): 79–87. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2022.02.010.]
- [13] HAO C Y, LIU P. The caloric value of the dominant plant species of a *Heptacodium miconioides* forest at Bei Mountain, Zhejiang Province, China [J]. Acta Ecol Sin, 2006, 26(6): 1709–1717. [郝朝运, 刘鹏. 浙江北山七子花群落主要植物叶热值 [J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1709–1717. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2006.06.010.]
- [14] WANG G, LUO J X, PU S R, et al. Effects of shading on the active component 10-DAB and mineral nutrient accumulation of *Taxus madia* × *T. Yunnanensis* Yunman [J]. Biotechnol Bull, 2022, 38(11): 175–184. [王刚, 罗建勋, 蒲尚饶, 等. 遮荫对云曼红豆杉活性成分 10-DAB 及矿物质营养累积的影响 [J]. 生物技术通报, 2022, 38(11): 175–184. doi: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2022-0353.]
- [15] FANG X K, CHEN Z W, CHENG Z K, et al. Effects of reduced solar radiation on photosynthetic physiological characteristics and accumulation of secondary and micro elements in paddy rice [J]. Chin J Appl Ecol, 2021, 32(4): 1345–1351. [方笑堃, 陈志炜, 程兆康, 等. 太阳辐射减弱对水稻光合生理特性和中微量元素积累的影响 [J]. 应用生态学报, 2021, 32(4): 1345–1351. doi: 10.13287/j.1001-9332.202104.030.]
- [16] ZHANG J L, LI H R, GUO S Y, et al. Research advances in higher plant adaptation to salt stress [J]. Acta Pratacult Sin, 2015, 24(12): 220–236. [张金林, 李惠茹, 郭姝媛, 等. 高等植物适应盐逆境研究进展 [J]. 草业学报, 2015, 24(12): 220–236. doi: 10.11686/cyxb2015233.]
- [17] ZHU J, FAN Y, OUYANG Y Y, et al. Effects of aluminum stress on the absorption and transportation of microelement in the roots and leaves of *Aleurites montana* [J]. J For Environ, 2021, 41(3): 234–241. [朱静, 樊月, 欧阳玉莹, 等. 铝胁迫对千年桐吸收和运输微量元素的影响 [J]. 森林与环境学报, 2021, 41(3): 234–241. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2021.03.002.]
- [18] HUI C Y, SHI S, FENG J C, et al. Analysis on the content and stoichiometry of 15 nutrient elements of zonal *Stipa* plants in Inner Mongolia [J]. J Yunnan Univ (Nat Sci), 2019, 41(2): 380–389. [惠岑桦, 石莎, 冯金朝, 等. 内蒙古地带性针茅植物 15 种营养元素含量及化学计量特征分析 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2019, 41(2): 380–



389. doi: 10.7540/j.ynu.20180077.]
- [19] WANG M, JIANG W J, YU H J. Effect of low light stress on plant physiology and its control measures [J]. *J Inner Mongolia Agric Univ*, 2007, 28(3): 198–203. [王明, 蒋卫杰, 余宏军. 弱光逆境对植株生理特性的影响及其调控措施 [J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, 28(3): 198–203. doi: 10.3969/j.issn.1009-3575.2007.03.046.]
- [20] LIN J, LIANG Z Y, ZHAO Z, et al. Effects of different light transmittance and growth regulator concentrations on *Panax notoginseng* [J]. *J Henan Agric Sci*, 2021, 50(1): 60–67. [林洁, 梁增艳, 赵致, 等. 不同透光率和生长调节剂浓度对三七的影响 [J]. 河南农业科学, 2021, 50(1): 60–67. doi: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2021.01.008.]
- [21] ZHU Z X, BAO W Y, JIANG L B, et al. Effects of *Pinellia ternate*-corn intercropping on growth and medicinal quality of *Pinellia ternata* [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2020, 39(5): 85–92. [朱振兴, 包婉玉, 江林波, 等. 半夏间作玉米对半夏生长及药材质量的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(5): 85–92. doi: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.05.012.]
- [22] ZHOU C B, LIU W K, SHAO M J, et al. Effects of white vs. red/blue LED light of different intensity on the growth and nutrient element content of *Hydroponic Lettuce* [J]. *J Agric Sci Technol*, 2021, 23(12): 76–83. [周成波, 刘文科, 邵明杰, 等. 不同光强的 LED 白光与红蓝光对生菜生长及营养元素含量的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(12): 76–83. doi: 10.13304/j.nykjdb.2020.0842.]
- [23] ZHANG H Y, HU Q X, ZOU Y J, et al. Effects of light on growth and nutritional quality of *Pleurotus eryngii* fruit body [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2019, 26(3): 65–72. [张惠颖, 胡清秀, 邹亚杰, 等. 光质对刺芹侧耳子实体生长发育及营养品质的影响 [J]. 食用菌学报, 2019, 26(3): 65–72. doi: 10.16488/j.cnki.1005-9873.2019.03.008.]
- [24] CHEN G, ZHAN Y, LUO Y, et al. Effect of different LED light qualities on growth and development of *Tremella fuciformis* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(23): 156–160. [陈岗, 詹永, 罗杨, 等. 不同 LED 光质对银耳生长发育的影响 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(23): 156–160. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.23.021.]
- [25] HUA J S, DAI H Y, XIA M Z. Effects of different light intensity on photosynthetic characteristic and yield characters of kidney bean [J]. *Acta Agric Boreali-occid Sin*, 2009, 18(2): 136–140. [华劲松, 戴红燕, 夏明忠. 不同光照强度对芸豆光合特性及产量性状的影响 [J]. 西北农业学报, 2009, 18(2): 136–140. doi: 10.3969/j.issn.1004-1389.2009.02.030.]
- [26] XUE Q, CHEN B, YANG X M, et al. Biomass allocation, water use characteristics, and photosynthetic light response of four Commelinaceae plants under different light intensities [J]. *Acta Pratacul Sin*, 2022, 31(1): 69–80. [薛晴, 陈斌, 杨小梅, 等. 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. doi: 10.11686/cyxb2021250.]
- [27] LIU Y, CHEN P, ZHOU M M, et al. Effects of light quality on biomass and triterpenoid accumulation in leaves of *Cyclocarya paliurus* from different families [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2020, 37(6): 1097–1104. [刘洋, 陈培, 周明明, 等. 光质对不同家系青钱柳生物量和叶三萜类化合物积累的影响 [J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(6): 1097–1104. doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.20200117.]
- [28] WANG T T, ZHAN Z, MA J, et al. Effects of different light qualities on growth and photosynthetic characteristics of *Bletilla striata* seedlings *in vitro* [J]. *Guihaia*, 2021, 41(4): 584–590. [王婷婷, 占卓, 马健, 等. 不同光质对白及组培苗生长及光合特性的影响 [J]. 广西植物, 2021, 41(4): 584–590. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201906031.]
- [29] SHI J, YANG H Y, WU W L, et al. Effects of different light quality on the growth and physiological characteristics of blueberry [J]. *N Hort*, 2022(6): 15–23. [施杰, 杨海燕, 吴文龙, 等. 不同光质对蓝莓生长发育及生理特性的影响 [J]. 北方园艺, 2022(6): 15–23. doi: 10.11937/bfy.20213160.]
- [30] CHENG X Y, YANG Z L, YANG X, et al. Effects of light quality on the growth and content of active ingredients of *Tetrastigma hemsleyanum* [J]. *For Res*, 2018, 31(5): 98–103. [程小燕, 杨志玲, 杨旭, 等. 不同光质对三叶崖爬藤生长及有效成分含量的影响 [J]. 林业科学研究, 2018, 31(5): 98–103. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2018.05.013.]
- [31] XIONG J, WANG C, XING W L, et al. Morphological and physiological responses of *Ardisia crenata* seedlings under different light intensities [J]. *Plant Sci J*, 2018, 36(5): 736–744. [熊静, 王臣, 邢文黎, 等. 朱砂根幼苗在不同光照强度下的形态和生理响应 [J]. 植物科学学报, 2018, 36(5): 736–744. doi: 10.11913/PSJ.2095-0837.2018.50736.]
- [32] WANG G F, ZHANG W P, ZHANG Q, et al. Comparison of growth characteristics of two varieties of white clover under different light and water conditions [J]. *Acta Agric Sin*, 2020, 28(5): 1301–1310. [王国芳, 张吴平, 张茜, 等. 不同光照与水分条件下 2 种白三叶生长特性比较 [J]. 草地学报, 2020, 28(5): 1301–1310. doi: 10.11733/j.issn.1007-0435.2020.05.015.]
- [33] SHUANG S P, ZHANG J Y, CUN Z, et al. Ecophysiological characteristics of a typically shade-tolerant species *Panax notoginseng* in response to different light intensities [J]. *Acta Ecol Sin*, 2022, 42(9): 3596–3612. [双升普, 张金燕, 寸竹, 等. 光照强度驱动典型阴生植物三七的生理生态响应特征 [J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3596–3612. doi: 10.5846/stxb202104090918]