

椰林间作中纳米铁对鹧鸪茶叶片生长、光合及化学特征的综合影响

余若云¹, 杨伟波^{1*}, 冯元姣², 罗子飞², 陈思婷¹

1. 中国热带农业科学院椰子研究所/海南省热带油料作物生物学重点实验室, 海南文昌 571339; 2. 云南农业大学热带作物学院, 云南普洱 665099

摘 要: 林下间作鹧鸪茶可破解用地瓶颈制约, 应用绿色纳米技术提高其复合种植成效具有重要意义。为明确纳米铁在椰林间作鹧鸪茶中的调控作用, 以鹧鸪茶一年生苗为研究对象, 开展林下栽培试验, 探讨 5 个浓度的纳米铁处理(CK: 0 mg/L, T₁: 25 mg/L, T₂: 50 mg/L, T₃: 75 mg/L, T₄: 100 mg/L)对鹧鸪茶叶片生长、光合及化学特征的综合影响。结果表明: 第一次纳米铁处理后, 仅 T₃ 处理的鹧鸪茶叶片长、叶宽和叶干重显著高于 CK, 但所有处理叶片数均显著多于 CK。4 个浓度纳米铁处理的鹧鸪茶叶片叶绿素含量与 CK 相比显著增加 14.96%(T₁)、16.18%(T₂)、17.91%(T₃)、20.58%(T₄)。随纳米铁浓度提高, 鹧鸪茶叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、PS II 原初光能转化效率(F_v/F_m)、实际光化学效率(Φ_{PSII})和表观电子传递速率(ETR)均呈增加趋势。第二次纳米铁处理后, T₁、T₃、T₄ 处理的鹧鸪茶叶片长、叶宽、叶干重、叶片数均显著高于 CK。各处理的鹧鸪茶叶片叶绿素含量相比 CK 显著提升 10.28%(T₁)、7.53%(T₂)、11.13%(T₃)、11.41%(T₄)。随纳米铁浓度提高, 鹧鸪茶叶片 P_n 、 T_r 和 G_s 显著增加, 但浓度达到 T₃ 时, 以上 3 项指标显著降低。鹧鸪茶叶片 PS II 潜在活性(F_v/F_0)和 F_v/F_m 也在 T₃ 处理中显著降低。2 次处理后, 与 CK 相比, 鹧鸪茶叶片黄酮、脂肪和灰分含量在 T₁ 处理中显著增加, 其脂肪和灰分含量随纳米铁浓度提高有所下降。因此, 纳米铁对林下鹧鸪茶生长具有积极调控作用, 但浓度过高会抑制其光合生长, 使用浓度在 25~50 mg/L 为宜, 本研究可为椰林间作鹧鸪茶中纳米铁的应用提供理论参考。

关键词: 纳米铁; 椰林间作; 鹧鸪茶; 光合作用; 生长

中图分类号: S571.1 文献标志码: A

Combined Effects of Nano-iron on Leaf Growth, Photosynthetic and Chemical Characteristics of *Mallotus peltatus* under Coconut Forest

YU Ruoyun¹, YANG Weibo^{1*}, FENG Yuanjiao², LUO Zifei², CHEN Siting¹

1. Coconut Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Hainan Key Laboratory of Tropical Oil Crops Biology, Wenchang, Hainan 571339, China; 2. School of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er, Yunnan 665099, China

Abstract: The intercropping of *Mallotus peltatus* under the forest helps to break the bottleneck of land use. It is of great significance to apply green nanotechnology to improve the benefits of its compound planting. In order to clarify the regulatory role of nano-iron in the intercropping of *M. peltatus* under the coconut forest, the annual seedling of *M. peltatus* was taken as the research object to carry out the cultivation experiment. We investigated the comprehensive effects of five concentrations of nano-iron treatments (CK: 0 mg/L, T₁: 25 mg/L, T₂: 50 mg/L, T₃: 75 mg/L, T₄: 100 mg/L) on the leaf growth, photosynthetic and chemical characteristics of *M. peltatus*. After the first nano-iron treatment, the leaf length, width and dry weight of *M. peltatus* in T₃ treatment were significantly higher than those in CK, while the leaf

收稿日期 2023-01-28; 修回日期 2023-02-21

基金项目 海南省科技计划项目 (No. ZDYF2022XDNY206); 现代农业产业技术体系专项资金项目 (No. CARS-14-2-31)。

作者简介 余若云 (1991—), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 作物耕作与栽培。*通信作者 (Corresponding author): 杨伟波 (YANG Weibo), E-mail: yangweibo623@126.com。

number in each treatment was significantly more than that in CK. Compared with CK, the chlorophyll content of *M. peltatus* treated with four nano-iron concentrations increased significantly by 14.96% (T₁), 16.18% (T₂), 17.91% (T₃) and 20.58% (T₄). As the concentration of nano-iron increased, the leaf net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, efficiency of primary conversion of light energy of PS II, actual photochemical efficiency of PS II and electron transport rate of *M. peltatus* overall increased. After the second nano-iron treatment, leaf length, width, dry weight and number of *M. peltatus* treated with T₁, T₃ and T₄ were significantly higher than those of CK. Compared with CK, the chlorophyll content of *M. peltatus* in each treatment significantly increased by 10.28% (T₁), 7.53% (T₂), 11.13% (T₃) and 11.41% (T₄). With the increase of nano-iron concentration, the leaf net photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance of *M. peltatus* increased significantly, but decreased when the concentration reached T₃ treatment. The potential activity of PS II and efficiency of primary conversion of light energy of PS II of *M. peltatus* also decreased significantly in T₃ treatment. After two treatments, the contents of flavone, fat and ash of *M. peltatus* increased significantly in T₁ treatment compared with CK. The contents of fat and ash decreased with the increase of nano-iron concentration. To sum up, nano-iron has a positive regulatory effect on the growth of *M. peltatus* under the coconut forest, but high concentration will inhibit its photosynthesis and growth. We recommend that the appropriate concentration is 25–50 mg/L. This study could provide theoretical reference for the application of nano-iron in intercropping *M. peltatus* under the coconut forest.

Keywords: nano-iron; coconut intercropping; *Mallotus peltatus*; photosynthesis; growth

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.04.014

鹧鸪茶 (*Mallotus peltatus*) 又名山苦茶, 为大戟科 (Euphorbiaceae) 野桐属 (*Mallotus*) 灌木或小乔木, 普遍分布于南亚地区, 在我国主要产于海南^[1]。鹧鸪茶干叶可冲泡, 茶水清香, 具有解油腻、清热消暑和生津止渴的保健功效, 是海南最具文化特色和市场潜力的农产品之一, 深受当地百姓喜爱。当前鹧鸪茶的开发利用主要依靠野生资源, 随着鹧鸪茶市场需求迅速扩大, 野生资源已供不应求, 人工栽培鹧鸪茶不仅可以扩大鹧鸪茶的生长范围, 同时也是开展野生资源保护的重要措施^[2]。然而, 海南岛土地资源有限, 扩大单一作物的种植面积较为困难, 挖掘农林间作系统的生产潜力是促进农业可持续发展的突破口。椰子 (*Cocos nucifera*) 是热区重要的木本经济作物之一, 非生产期长, 植株高大, 林下空间广阔^[3]。在椰林间作其他作物, 不仅有利于提高土地利用效率, 且能够增加作物产出、促进农民增收, 如椰林间作可能显著提高二者的经济效益^[4]。鹧鸪茶喜阴, 多自然生长于沟谷密林或河谷两岸疏林下, 因此可作为林下种植的优选作物, 然而目前椰林间作鹧鸪茶的研究资料鲜见报道。

光合作用是作物最重要的生理过程之一, 在农林间作中, 由于上层林木对低矮的作物产生遮阴, 光照条件会直接影响林下作物的生长发育^[5]。研究表明, 鹧鸪茶幼苗在全光照条件下脱叶现象频繁, 约 50% 的遮阴有利于提高鹧鸪茶的净光合

速率和生物量, 25% 遮阴效果次之^[6]。幼龄椰树植株较矮, 树冠间空隙大, 尚未形成林下郁闭空间, 在生长前期无法满足林下鹧鸪茶苗的最佳遮阴需求。林下铺设聚乙烯遮阴网成本较高且不利于环保, 鹧鸪茶在苗期生长发育速度较快, 寻获适宜的栽培调控措施以提高林下鹧鸪茶的光合效率, 对促进鹧鸪茶苗健壮生长具有重要现实意义。纳米材料通常指尺寸为 1~100 nm 的结构材料, 由于其尺寸微小且具有较大的比表面积, 能够穿透植物细胞壁, 通过内吞作用被细胞吸收, 从而调节植物生长发育^[7]。近年来, 纳米材料作为一种新兴技术在作物基础研究中受到广泛关注, 纳米铁材料在农业生产中的应用范围也不断扩大^[8-9]。LI 等^[10]研究发现经纳米铁处理后, 玉米叶片净光合速率显著提高了 19.9%, 且生物量增加了 31.8%。KHALILI 等^[11]发现纳米铁对红花总不饱和脂肪酸含量具有提升作用。MANZOOR 等^[12]研究表明使用铁纳米材料能够缓解小麦镉胁迫, 促进小麦光合色素的形成和植株生长。大量研究已证实, 纳米铁可以提高植物光合能力^[13]、促进植物生长^[14-15], 并提高植物抗逆性^[16]。虽然纳米铁材料在农业领域中已有丰富成果, 但在农林复合种植研究中十分少见, 能否通过纳米铁材料调控林下作物生长尚不明确。

基于上述内容, 本研究以幼龄椰林间作中的鹧鸪茶苗为对象, 在田间试验条件下对鹧鸪茶叶

面喷施纳米铁悬液, 比较 5 个浓度 (0、25、50、75、100 mg/L) 纳米铁处理下, 鹧鸪茶叶片的生长性状、光合参数及化学成分等指标的变化差异, 系统分析纳米铁对鹧鸪茶生长发育的综合影响, 旨在回答 2 个关键科学问题: (1) 纳米铁对林下鹧鸪茶的生长调控作用如何? (2) 纳米铁促进林下鹧鸪茶生长的适宜浓度是多少? 本研究可为纳米铁在椰林间作鹧鸪茶模式中的科学应用提供理论依据, 对于促进鹧鸪茶生产、保护鹧鸪茶野生资源和提高椰林综合效益具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植株为鹧鸪茶无病虫害, 长势一致的一年生幼苗, 取自中国热带农业科学院香料饮料研究所栽培基地。试验使用的纳米铁材料由甘肃谷硕纳米农业科技有限责任公司提供, 平均粒径为 43 nm, 纯度>99.5%, 外观为黑色粉末状。将纳米铁粉溶于去离子水中, 分别制成 0、25、50、75、100 mg/L 的纳米铁悬液。试验地位于海南省文昌市中国热带农业科学院椰子研究所种植示范基地 (19°31'N, 110°45'E), 属于热带季风性气候, 水热条件良好, 全年无霜冻。种植区地势平坦, 土质为沙壤土, 较为贫瘠, 保水性差, 经测定土壤 pH 约为 5.2, 含水量约为 3%, 有效铁含量约为 63 mg/kg, 速效氮含量约为 27 mg/kg, 速效磷含量约为 30 mg/kg, 速效钾约为 22 mg/kg, 有机质含量约为 11 g/kg。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 鹧鸪茶苗定植时间为 2022 年 1 月, 在三年生椰树行间种植鹧鸪茶, 椰树采用宽窄行种植方式, 窄行 4 m 种椰子, 宽行 9 m 间作鹧鸪茶, 椰子种植密度为 4 m×6 m, 鹧鸪茶种植密度为 3 m×3 m, 使用便携式照度计测得椰林间作区遮阴度在 20%~25%。试验共设置 4 个浓度纳米铁处理 (T_1 : 25 mg/L, T_2 : 50 mg/L, T_3 : 75 mg/L, T_4 : 100 mg/L) 和 1 个对照 (CK: 0 mg/L), 各设 8 次重复, 共计 40 株鹧鸪茶苗用于试验观测。

1.2.2 田间处理 试验观测时间为 2022 年 4—6 月, 采用叶面喷施的方法, 于 4 月 26 日和 5 月 26 日对鹧鸪茶苗各施用 1 次纳米铁悬液。施用纳米铁材料时, 根据鹧鸪茶的叶片数量, 每次每株喷施 30~50 mL 悬液。将纳米铁悬液均匀喷施于叶片的正反面, 悬液滴落前停止。喷施纳米铁后

8 h 内用去离子水每小时喷雾 1 次, 保持叶面湿润且无水滴落, 以免纳米铁在叶表沉积。每次叶面施铁满 25 d 后, 采集鹧鸪茶生长良好的叶片, 测定相关试验指标。

1.2.3 取样 选择晴朗无风天气, 于 2022 年 5 月 24 日和 6 月 23 日, 每个处理随机选取 6 株长势一致的健康鹧鸪茶苗, 记录鹧鸪茶苗单株叶片数量, 每株鹧鸪茶随机选择 3 片成熟健康叶片 (自茎顶端下第 5~8 叶位) 测定叶生长、光合和叶绿素荧光指标, 同时取 10 片叶片混合为一个样品, 带回实验室进行化学成分指标测定。

1.2.4 指标测定 (1) 叶生长、光合和叶绿素荧光指标。测定叶生长指标包括叶片长、叶片宽、叶鲜重和叶干重。采用 SPAD-502 叶绿素仪 (日本 Konica Minolta 公司) 测定鹧鸪茶叶片的 SPAD 值, 代表作物叶片叶绿素含量。使用 LI-6800 便携式光合仪 (美国 LI-COR 公司), 在上午 9:00—11:00 测定鹧鸪茶叶片的光合指标, 包括净光合速率 [P_n , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]、蒸腾速率 [T_r , $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]、气孔导度 [G_s , $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$] 和胞间 CO_2 浓度 (C_i , $\mu\text{mol}/\text{mol}$)。采用 PAM-2500 便携式叶绿素荧光仪 (德国 WALZ 公司) 测定鹧鸪茶叶片的叶绿素荧光指标, 包括初始荧光 (F_0)、最大荧光 (F_m)、可变荧光 (F_v)、PS II 潜在活性 (F_v/F_0)、PS II 原初光能转化效率 (F_v/F_m)、实际光化学效率 (Φ_{PSII}) 和表观电子传递速率 (ETR)。

(2) 叶化学成分指标。测定指标包括黄酮含量、脂肪含量、灰分含量和水分含量。黄酮测定采用分光光度法, 脂肪测定采用索氏抽提法, 灰分测定参考《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》(GB 5009.4—2016) 的方法, 水分测定采用烘干法^[17-18]。

1.3 数据处理

使用 Microsoft Office Excel 2010 软件整理数据, 使用 IBM SPSS Statistics 21 软件进行单因素 ANOVA 分析, 检验不同处理间试验指标的差异显著性, 使用 R 语言 ggplot 包作图。

2 结果与分析

2.1 叶片生长

第一次喷施不同浓度纳米铁后, T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 处理的鹧鸪茶叶片长与 CK 相比均显著增长, 其中 T_3 处理增幅最大, 为 29.16% (表 1)。 T_3 处理的鹧鸪茶叶片宽和叶干重与 T_4 处理无显著差异,

但显著大于 T₁ 和 CK 处理。不同处理间鹧鸪茶叶鲜重无显著差异。随着纳米铁浓度增高, 鹧鸪茶叶片数量逐渐增多。第二次喷施不同浓度纳米铁后, 4 个不同浓度纳米铁处理的鹧鸪茶叶长和叶宽均显著大于 CK, 其中 T₃ 处理增长幅度最大, 分

别为 50.85%和 27.56% (表 2)。T₁、T₃、T₄ 处理的鹧鸪茶叶鲜重和叶干重显著高于 CK。随纳米铁浓度增高, 鹧鸪茶叶片数量逐渐增加, 其中 T₃ 处理的鹧鸪茶叶片数最多。上述结果表明, 叶施纳米铁对鹧鸪茶叶片生长发育具有明显促进作用。

表 1 第一次叶施不同浓度纳米铁对鹧鸪茶叶片生长的影响

Tab. 1 Effects of the different concentrations nano-iron in the first application on the growth of *M. peltatus*

处理 Treatment	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶鲜重 Leaf fresh weight/g	叶干重 Leaf dry weight/g	叶片数 Leaf number
CK	5.35±0.96 ^b	2.41±0.36 ^b	0.19±0.06 ^a	0.06±0.02 ^c	47.83±7.91 ^c
T ₁	6.29±0.79 ^a	2.53±0.29 ^b	0.22±0.05 ^a	0.07±0.02 ^{bc}	75.83±19.32 ^b
T ₂	6.00±0.65 ^a	2.63±0.32 ^{ab}	0.22±0.06 ^a	0.07±0.02 ^{bc}	86.17±29.86 ^b
T ₃	6.91±1.58 ^a	2.87±0.56 ^a	0.29±0.12 ^a	0.09±0.04 ^a	132.17±25.55 ^a
T ₄	6.53±1.23 ^a	2.65±0.37 ^{ab}	0.25±0.08 ^a	0.08±0.03 ^{ab}	121.00±13.74 ^a

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 indicate significant difference ($P<0.05$).

表 2 第二次叶施不同浓度纳米铁对鹧鸪茶叶片生长的影响

Tab. 2 Effects of the different concentrations nano-iron in the second application on the growth of *M. peltatus*

处理 Treatment	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶鲜重 Leaf fresh weight/g	叶干重 Leaf dry weight/g	叶片数 Leaf number
CK	6.45±0.87 ^b	2.83±0.53 ^b	0.23±0.08 ^b	0.07±0.03 ^b	99.83±15.37 ^c
T ₁	9.71±1.52 ^a	3.55±0.56 ^a	0.44±0.11 ^a	0.14±0.04 ^a	147.50±18.39 ^b
T ₂	8.47±2.13 ^a	3.37±0.73 ^a	0.35±0.16 ^{ab}	0.12±0.05 ^a	146.83±42.26 ^{bc}
T ₃	9.73±1.16 ^a	3.61±0.42 ^a	0.47±0.10 ^a	0.16±0.03 ^a	206.83±51.89 ^a
T ₄	9.51±2.28 ^a	3.55±0.73 ^a	0.47±0.21 ^a	0.15±0.06 ^a	188.17±52.66 ^{ab}

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 indicate significant difference ($P<0.05$).

2.2 叶片光合作用

第一次喷施不同浓度纳米铁后, 与 CK 相比, T₁、T₂、T₃、T₄ 处理的鹧鸪茶叶绿素含量分别显著提高 14.96%、16.18%、17.91%、20.58% (图 1A)。随着纳米铁浓度提高, 鹧鸪茶 P_n 、 T_r 和 G_s 总体呈增加趋势 (表 3)。T₄ 处理的鹧鸪茶 P_n 和 T_r 最高, CK 最低。T₃、T₂ 和 T₁ 处理的鹧鸪茶 T_r 和 C_i 无显著差异。第二次喷施不同浓度纳米铁后, 与 CK 相比, T₁、T₂、T₃、T₄ 处理的鹧鸪茶叶绿素含量分别显著提高 10.28%、7.53%、11.13%、11.41% (图 1B)。随着纳米铁浓度提高, 鹧鸪茶 P_n 、 T_r 和 G_s 总体呈先增后减趋势, C_i 呈现下降趋势 (表 4)。T₂ 处理的鹧鸪茶 P_n 、 T_r 和 G_s 最高, T₃ 处理开始降低, T₄ 处理和 CK 的鹧鸪茶 P_n 、 T_r 和 G_s 显著低于其他处理。上述结果表明, 叶施纳米铁能够显著提升鹧鸪茶的光合能力, 但是过高的铁处理反而会抑制其光合作用, 施用浓度

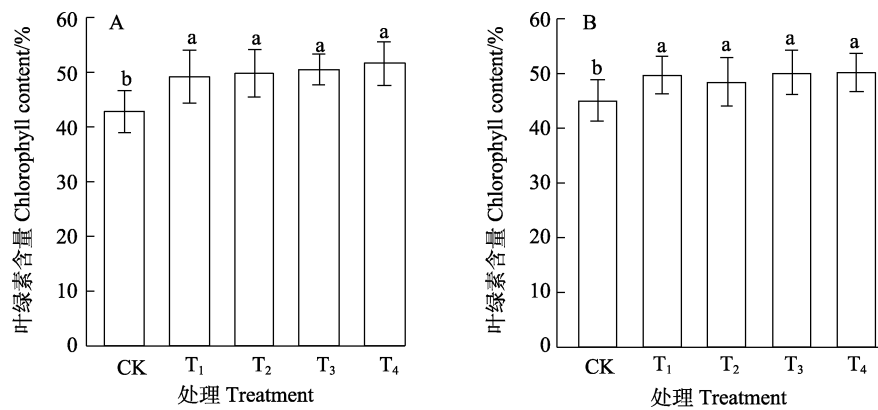
不宜超过 50 mg/L 处理。

2.3 叶片叶绿素荧光参数

第一次喷施不同浓度纳米铁后, 随着纳米铁浓度提高, 鹧鸪茶的 F_m 、 F_v 、 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 和 ETR 均呈现上升趋势, F_0 变化趋势则相反 (表 5)。T₄ 和 T₃ 处理的鹧鸪茶 F_m 、 F_v 、 Φ_{PSII} 和 ETR 显著高于 T₂ 处理和 CK。T₄ 和 T₃ 处理的鹧鸪茶 F_0 显著低于 T₂ 处理。第二次喷施不同浓度纳米铁后, 当纳米铁浓度提高至 T₃ 处理, 鹧鸪茶的 F_v/F_0 和 F_v/F_m 显著降低 (表 6)。当纳米铁浓度提高至 T₄ 处理, 鹧鸪茶的 Φ_{PSII} 和 ETR 显著降低。鹧鸪茶的 F_0 在各处理和 CK 无显著差异。上述结果表明, 适宜浓度的纳米铁处理能够促进鹧鸪茶光合作用, 浓度超过 T₂ 处理会产生不利影响。

2.4 叶片主要化学成分

经过 2 次叶施纳米铁处理后, 随着纳米铁浓度提高, 鹧鸪茶黄酮含量有所增加, T₁ 处理的鹧



A：第一次施铁处理；B：第二次施铁处理。不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
A: The first treatment of nano-iron application; B: The second treatment of nano-iron application. Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

图 1 叶施不同浓度纳米铁对鹧鸪茶叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of the nano-iron application on the chlorophyll content of *M. peltatus*

表 3 第一次叶施不同浓度纳米铁对鹧鸪茶叶片光合参数的影响

Tab. 3 Effects of the first nano-iron application on the photosynthetic parameters of *M. peltatus*

处理 Treatment	$P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$G_s/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$C_i/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$
CK	2.80 ± 0.72^d	0.56 ± 0.21^c	49.64 ± 19.09^c	303.71 ± 76.97^{ab}
T ₁	4.37 ± 1.45^b	0.80 ± 0.42^b	78.43 ± 57.29^a	297.49 ± 82.32^{ab}
T ₂	3.78 ± 0.84^c	0.78 ± 0.37^b	70.33 ± 54.03^a	300.69 ± 59.41^{ab}
T ₃	4.35 ± 1.15^b	0.82 ± 0.23^b	69.64 ± 23.63^{bc}	308.61 ± 35.40^a
T ₄	5.91 ± 1.28^a	1.00 ± 0.40^a	86.27 ± 42.66^a	285.69 ± 47.57^b

注：不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

表 4 第二次叶施不同浓度纳米铁对鹧鸪茶叶片光合参数的影响

Tab. 4 Effects of the second nano-iron application on the photosynthetic parameters of *M. peltatus*

处理 Treatment	$P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$G_s/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$C_i/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$
CK	3.86 ± 1.71^{cd}	0.86 ± 0.23^c	68.03 ± 19.97^c	276.23 ± 47.78^{ab}
T ₁	4.45 ± 1.22^c	1.15 ± 0.37^b	90.51 ± 31.30^b	286.45 ± 29.33^a
T ₂	6.58 ± 0.86^a	1.70 ± 0.49^a	141.31 ± 72.03^a	296.53 ± 39.92^a
T ₃	5.55 ± 0.96^b	1.23 ± 0.39^b	98.91 ± 40.51^b	267.28 ± 65.35^b
T ₄	3.82 ± 1.08^d	0.89 ± 0.30^c	59.56 ± 24.32^c	268.44 ± 26.52^b

注：不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

表 5 第一次叶施不同浓度纳米铁对鹧鸪茶叶片叶绿素荧光参数的影响

Tab. 5 Effects of the first nano-iron application on the fluorescence parameters of *M. peltatus*

处理 Treatment	F_o	F_m	F_v	F_v/F_o	F_v/F_m	Φ_{PSII}	ETR
CK	0.61 ± 0.18^{ab}	1.50 ± 0.13^b	0.89 ± 0.25^b	1.65 ± 0.72^{ab}	0.59 ± 0.14^{ab}	0.24 ± 0.08^c	24.59 ± 10.55^c
T ₁	0.57 ± 0.10^{ab}	1.56 ± 0.13^b	0.99 ± 0.18^{ab}	1.83 ± 0.57^{ab}	0.63 ± 0.07^{ab}	0.27 ± 0.07^{bc}	27.99 ± 17.06^{bc}
T ₂	0.64 ± 0.08^a	1.52 ± 0.14^b	0.88 ± 0.14^b	1.39 ± 0.34^b	0.57 ± 0.06^b	0.25 ± 0.07^c	27.58 ± 13.02^c
T ₃	0.54 ± 0.10^b	1.69 ± 0.14^a	1.15 ± 0.13^a	2.20 ± 0.50^a	0.68 ± 0.05^a	0.36 ± 0.04^a	47.01 ± 7.84^a
T ₄	0.55 ± 0.07^b	1.68 ± 0.13^a	1.13 ± 0.12^a	2.11 ± 0.37^a	0.67 ± 0.04^a	0.34 ± 0.06^{ab}	43.61 ± 12.40^{ab}

注：不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

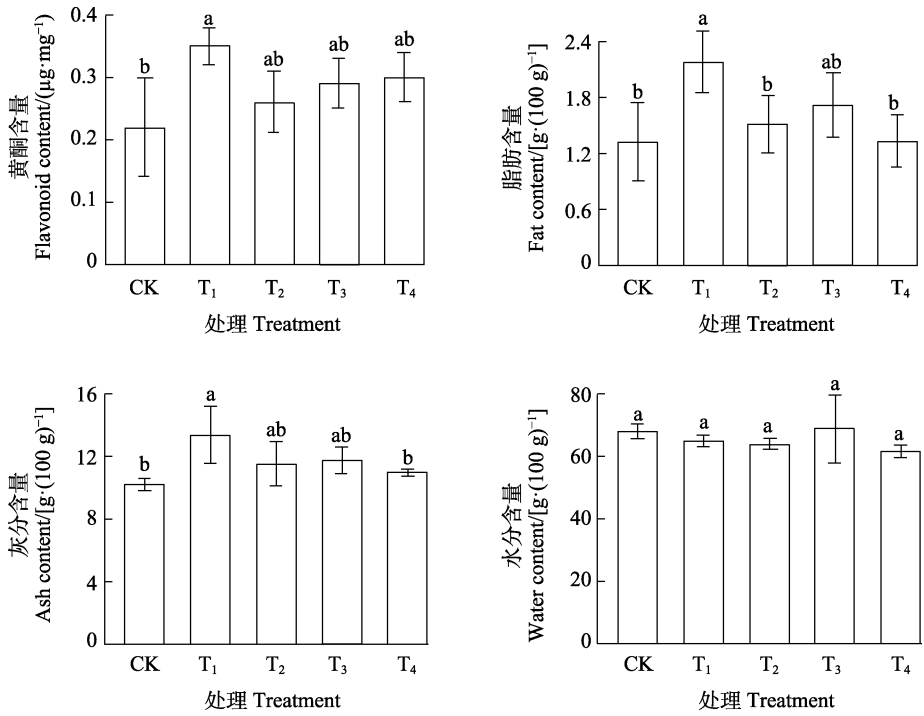
表 6 第二次叶施不同浓度纳米铁对鹧鸪茶叶片叶绿素荧光参数的影响
Tab. 6 Effects of the second nano-iron application on the fluorescence parameters of *M. peltatus*

处理 Treatment	F_o	F_m	F_v	F_v/F_o	F_v/F_m	Φ_{PSII}	ETR
CK	0.55±0.04 ^a	1.70±0.27 ^{ab}	1.15±0.29 ^{ab}	2.13±0.60 ^{ab}	0.67±0.07 ^{ab}	0.39±0.05 ^a	56.91±10.09 ^a
T ₁	0.53±0.06 ^a	1.79±0.13 ^a	1.26±0.13 ^a	2.38±0.36 ^a	0.70±0.04 ^{ab}	0.39±0.04 ^a	53.01±9.23 ^a
T ₂	0.51±0.06 ^a	1.73±0.19 ^{ab}	1.23±0.17 ^a	2.44±0.38 ^a	0.71±0.04 ^a	0.40±0.04 ^a	53.14±9.96 ^a
T ₃	0.57±0.08 ^a	1.64±0.13 ^b	1.07±0.14 ^b	1.94±0.42 ^b	0.65±0.05 ^b	0.37±0.05 ^a	50.68±9.24 ^a
T ₄	0.51±0.04 ^a	1.73±0.24 ^{ab}	1.23±0.21 ^a	2.42±0.37 ^a	0.70±0.04 ^{ab}	0.34±0.03 ^b	38.38±6.16 ^b

注：不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

鹧鸪茶黄酮含量相比 CK 增加 59.09%，T₂、T₃、T₄ 处理与 T₁ 处理无显著差异(图 2)。鹧鸪茶叶片脂肪含量随纳米铁浓度提高先增加后降低，T₁ 处理的鹧鸪茶脂肪含量显著高于 CK，增幅为 64.39%，T₂ 和 T₄ 处理的脂肪含量相比 T₁ 处理分别下降 30.41%、38.71%。T₁ 处理的鹧鸪茶叶片灰分含量

相比 CK 显著增加 30.85%，T₂、T₃ 处理与 T₁ 处理的灰分含量无显著差异，T₄ 处理则比 T₁ 处理下降 17.66%。不同处理间以及 CK 的鹧鸪茶水分含量均无显著差异。上述结果表明，叶施纳米铁能够提升鹧鸪茶的主要化学成分指标，浓度以 25 mg/L 处理为宜。



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 叶施不同浓度纳米铁对鹧鸪茶叶片主要化学成分的影响

Fig. 2 Effects of the nano-iron application on the main chemical components of *M. peltatus*

3 讨论

椰子林下空间开阔，长期单一种植会导致土地利用效率低下。鹧鸪茶为多年生灌木，通常自然分布于茂密的林荫下，生长喜阴，适宜林下间作^[1-2]。在充分掌握鹧鸪茶生长发育特性的基础上

开展椰林间作有利于提高土地综合产出，同时也对驯化栽培鹧鸪茶，保护野生资源具有重要意义。大量研究显示金属元素纳米材料在促进农业生产方面具有较大潜能^[19-20]。本研究发现椰林下的鹧鸪茶经纳米铁处理后，鹧鸪茶叶长、叶宽和叶干

重等生长指标显著大于不施铁对照组, 且叶片数量明显增多, 表明叶施纳米铁可以促进鹧鸪茶叶片生长, 提高鹧鸪茶生物量。AVESTAN 等^[21]研究表明使用纳米铁可以显著提高苹果叶面积、鲜重、干重和叶数等生长指标, 与本研究结果一致。ASKARY 等^[22]研究也证实, 纳米铁能促进长春花的叶生长。2 次处理后, 4 个浓度纳米铁处理间的鹧鸪茶叶长、叶宽、叶鲜重和叶干重基本无显著差异, 说明纳米铁对鹧鸪茶的促生作用在较低浓度条件下即可实现。RUI 等^[9]研究成果支持这一结论, 研究发现纳米铁低至 2 mg/kg 即可显著增加花生的生物量。然而一项关于柑橘的研究显示, 纳米铁对柑橘叶生长无显著影响, 这可能是因为柑橘叶革质, 叶片蜡质层厚, 阻截了铁元素的渗透和再转移^[23]。

农林间作对作物最直接的影响是改变了作物的光资源分配, 从而显著影响林下作物的光合效能^[24]。杨虎彪等^[6]研究表明鹧鸪茶苗在 50% 荫蔽度条件下长势最好。椰林间作鹧鸪茶可为鹧鸪茶提供荫蔽环境, 但椰林在生长前期难以满足鹧鸪茶的需荫要求, 因此可能会抑制鹧鸪茶的光合作用。本研究结果表明, 从提高鹧鸪茶的光合效能和绿色生产出发, 利用最低的成本进行纳米铁调控是可行的。4 个浓度纳米铁处理后与不施铁对照相比, 鹧鸪茶叶绿素含量均显著提高。叶绿体是作物进行光合作用的重要器官, 叶绿素含量的高低能够体现作物光合能力的强弱, 说明叶施纳米铁能够提升鹧鸪茶的光合能力, 这可能是因为纳米铁直接进入植物细胞, 激发了叶绿素的合成^[25]。LI 等^[10]研究表明, 叶施纳米铁提升了玉米 19.3% 的叶绿素含量, 与本研究结果相符。DELFANI 等^[26]也发现了叶面施用纳米铁后, 黑眼豌豆叶绿素含量比对照增加了 10%。

铁元素对调节作物光合作用有着重要影响^[27]。本研究发现第一次叶施纳米铁后, 鹧鸪茶叶片净光合速率、蒸腾速率和气孔导度随着纳米铁浓度提高而增加; 但第二次处理后, 净光合速率、蒸腾速率和气孔导度先增后减, 在浓度达到 75 mg/L 时降低, 且 100 mg/L 纳米铁处理的鹧鸪茶光合参数显著低于其他处理和对照。徐江兵等^[28]研究表明, 纳米铁处理后, 生菜的光合效率随铁浓度提高先上升后下降, 与本研究结果一致。AVESTAN 等^[21]研究也发现施用 200 mg/L 的高浓度纳米铁抑制了苹果光合作用。金属纳米材料在实际应用

中是一把双刃剑, 通常低浓度可以促进作物种子萌发、根系伸长、产量提高, 高浓度则表现为组织损伤和生长抑制等^[29]。鹧鸪茶光合速率的下降可能是在叶施 2 次较高浓度纳米铁后, 产生了毒害效应。研究表明由于纳米铁更容易进入作物细胞, 过量的铁积累会破坏作物光合系统, 此外纳米铁颗粒通过 Fenton 反应产生的活性氧也会伤害作物细胞^[30]。

鹧鸪茶叶绿素荧光参数与光合参数变化规律基本一致, 第一次叶施纳米铁后, 100 mg/L 和 75 mg/L 纳米铁处理的鹧鸪茶最大荧光、可变荧光、PS II 原初光能转化效率和表观电子传递速率显著高于 50 mg/L 纳米铁处理和对照; 然而第二次处理后, 75 mg/L 纳米铁处理的鹧鸪茶 PS II 潜在活性和 PS II 原初光能转化效率显著降低, 100 mg/L 纳米铁处理的鹧鸪茶实际光化学效率和表观电子传递速率显著降低。原初光能转化效率是反映作物光系统对光能吸收、传递的重要指标。本研究表明施加适量纳米铁可以促进光系统 II 的开放, 提高光系统 II 反应中心的光能转换效率, 纳米铁浓度过高则会破坏光系统从而导致原初光能转化效率下降^[31]。100 mg/L 纳米铁处理的鹧鸪茶表观电子传递速率显著降低, 说明高浓度纳米铁会抑制作物体内电子信号的传导, 产生光抑制, 导致鹧鸪茶光合能力减弱^[32]。综合上述结果, 当纳米铁浓度超过 50 mg/L 后会对鹧鸪茶光合作用产生不利影响。

叶施纳米铁后, 鹧鸪茶叶片的主要化学成分发生显著变化。黄酮是鹧鸪茶叶中重要的化学成分, 具有较强的抗氧化和清除自由基等效用^[33]。25 mg/L 纳米铁处理的鹧鸪茶叶片黄酮含量相比不施铁对照增加超过 50%, 但随着纳米铁浓度提升, 黄酮含量未继续增加, 这说明低浓度的纳米铁处理即可促进提高鹧鸪茶叶的黄酮含量, 增强其保健药理功效。YOUSSEFZADEH 等^[34]研究发现纳米铁可以增加香青兰的黄酮含量, 与本研究结果一致。鹧鸪茶叶脂肪和灰分含量在 25 mg/L 纳米铁处理中大幅增加, 与施铁对紫花苜蓿的灰分影响结果相符^[35]。值得注意的是, 鹧鸪茶叶脂肪和灰分含量在 100 mg/L 纳米铁处理中显著降低, 表明纳米铁施用量过多对化学成分的合成产生了抑制作用, 因此若从叶化学方面考虑, 适宜的纳米铁施用浓度为 25 mg/L。

4 结论

林下间作鹧鸪茶可破解用地瓶颈制约,有效扩大鹧鸪茶种植面积,但生产前期面临诸多困难。幼龄椰林郁闭度较低、光照条件好,无法满足林下茶苗优质高产所需的遮阴要求,应用低成本绿色纳米技术进行作物生长调控,提高鹧鸪茶的环境适应性,对促进鹧鸪茶生产、提高椰林综合效益具有重要现实意义。研究表明,与对照相比,叶施纳米铁对鹧鸪茶叶片生长、光合及主要化学特征影响极为显著。纳米铁处理提高了鹧鸪茶的叶长、叶宽、叶干重、叶片数量和叶绿素含量。鹧鸪茶叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度随纳米铁浓度升高先增后降,PS II 潜在活性和 PS II 原初光能转化效率也在较高浓度纳米铁处理中显著降低。鹧鸪茶叶片黄酮、脂肪和灰分含量在低浓度纳米铁处理中即可显著提高,但脂肪和灰分含量在高浓度处理中减少。因此纳米铁可有效促进林下鹧鸪茶生长,浓度过高则产生负面作用。综合考虑以上因素,建议椰林间作鹧鸪茶的纳米铁适宜用量为 25~50 mg/L。本研究将为纳米铁调控在椰-茶农林间作中的应用提供理论参考。

参考文献

- [1] 杨虎彪, 刘国道. 鹧鸪茶的生物学和生态学特性研究[J]. 热带作物学报, 2017, 38(9): 1583-1586.
YANG H B, LIU G D. The biological and ecological characteristics of *Mallotus peltatus*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(9): 1583-1586. (in Chinese)
- [2] 顾文亮, 庄辉发, 王辉, 张建禹, 覃永兰, 张翠玲, 秦晓威, 谭乐和. 海南野生鹧鸪茶资源调查与鉴定评价[J]. 热带作物学报, 2019, 40(11): 2264-2269.
GU W L, ZHUANG H F, WANG H, ZHANG J Y, QIN Y L, ZHANG C L, QIN X W, TAN L H. Resources investigation, conservation and evaluation of wild *Mallotus oblongifolius* in Hainan[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(11): 2264-2269. (in Chinese)
- [3] 卢丽兰, 刘蕊, 肖勇, 李静, 沈晓君, 李和帅, 范海阔. 椰子种质资源、栽培与利用研究进展[J]. 热带作物学报, 2021, 42(6): 1795-1803.
LU L L, LIU R, XIAO Y, LI J, SHEN X J, LI H S, FAN H K. Research progress on coconut germplasm resources, cultivation and utilization[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(6): 1795-1803. (in Chinese)
- [4] 赵溪竹, 刘立云, 王华, 朱自慧, 赖剑雄. 椰子可可间作下种植密度对作物产量及经济效益的影响[J]. 热带作物学报, 2015, 36(6): 1043-1047.
ZHAO X Z, LIU L Y, WANG H, ZHU Z H, LAI J X. Effect of planting density on economic benefits and yield of intercropping systems of cocoa and coconut[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(6): 1043-1047. (in Chinese)
- [5] BLASER W J, OPPONG J, HART S P, LANDOLT J, YEBOAH E, SIX J. Climate-smart sustainable agriculture in low-to-intermediate shade agroforests[J]. Nature Sustainability, 2018, 1(5): 234-239.
- [6] 杨虎彪, 刘国道. 不同光照强度对幼龄期鹧鸪茶生长的影响[J]. 热带作物学报, 2017, 38(11): 2056-2059.
YANG H B, LIU G D. Different light intensity effects to growth on juvenile stage *Mallotus peltatus*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(11): 2056-2059. (in Chinese)
- [7] 孟令煜, 杨涛, 王引权, 吴志国, 姚阳阳, 彭桐, 刘超群. 叶面喷施纳米铁对当归生理生化特性及药材产量、品质的影响[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(10): 2497-2501.
MENG L Y, YANG T, WANG Y Q, WU Z G, YAO Y Y, PENG T, LIU C Q. Effects of foliar spraying of nano-iron on the physiological and biochemical characteristics of *Angelica sinensis* and its yield and quality[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2022, 33(10): 2497-2501. (in Chinese)
- [8] 薛琴琴, 韩贝贝, 吴雪晴, 李沛, 李莹莹, 吴庆钰. 纳米材料在农作物领域的应用及展望[J]. 生物技术进展, 2020, 10(6): 655-660.
XUE Q Q, HAN B B, WU X Q, LI P, LI Y Y, WU Q Y. Application and prospective of nanomaterials in crop research[J]. Current Biotechnology, 2020, 10(6): 655-660. (in Chinese)
- [9] RUI M M, MA C X, HAO Y, GUO J, RUI Y K, TANG X L, ZHAO Q, FAN X, ZHANG Z T, HOU T Q, ZHU S Y. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*)[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 815.
- [10] LI P, WANG A D, DU W C, MAO L, WEI Z B, WANG S F, YUAN H Y, JI R, ZHAO L J. Insight into the interaction between Fe-based nanomaterials and maize (*Zea mays*) plants at metabolic level[J]. Science of the Total Environment, 2020, 738: 139795.
- [11] KHALILI P, TAJBAKHS M. Macronutrient accumulation and cytological and morphological response of safflower affected by the foliar application and harvest date[J]. Journal of Plant Nutrition, 2022, 45(10): 1480-1492.
- [12] MANZOOR N, AHMED T, NOMAN M, SHAHID M, NAZIR M M, ALI L, ALNUSAIRE T S, LI B, SCHULIN R, WANG G. Iron oxide nanoparticles ameliorated the cadmium and salinity stresses in wheat plants, facilitating pho-

- tosynthetic pigments and restricting cadmium uptake[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 769: 145221.
- [13] HU J, WU C, REN H X, WANG Y Q, LI J L, HUANG J. Comparative analysis of physiological impact of γ -Fe₂O₃ nanoparticles on dicotyledon and monocotyledon[J]. *Journal of Nanoscience & Nanotechnology*, 2018, 18(1): 743-752.
- [14] RANI N, KUMARI K, SANGWAN P, BARALA P, YADAV J, VIJETA, RAHUL, HOODA V. Nano-iron and nano-zinc induced growth and metabolic changes in *Vigna radiata*[J]. *Sustainability*, 2022, 14(14): 8251.
- [15] MAHMOUD A W M, AYAD A A, ABDEL-AZIZ H S M, WILLIAMS L L, EL-SHAZOLY R M, ABDEL-WAHAB A, ABDELDAYM E A. Foliar application of different iron sources improves morpho-physiological traits and nutritional quality of broad bean grown in sandy soil[J]. *Plants*, 2022, 11(19): 2599.
- [16] RAHMATIZADEH R, ARVIN S M J, JAMEI R, MOZAFFARI H, NEJHAD F R. Response of tomato plants to interaction effects of magnetic (Fe₃O₄) nanoparticles and cadmium stress[J]. *Journal of Plant Interactions*, 2019, 14(1): 474-481.
- [17] 周利兵, 史金萍. 5 种茶叶的多项指标分析研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(16): 6489-6497.
- ZHOU L B, SHI J P. Analytical research of multiple indexes of 5 kinds of tea[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2021, 12(16): 6489-6497. (in Chinese)
- [18] 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)
- [19] LOWRY G V, AVELLAN A, GILBERTSON L M. Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech revolution[J]. *Nature Nanotechnology*, 2019, 14: 517-522.
- [20] KHAN I, AWAN S A, RIZWAN M, HASSAN Z U, AKRAM M A, TARIQ R, BRESTIC M, XIE W G. Nanoparticle's uptake and translocation mechanisms in plants via seed priming, foliar treatment, and root exposure: a review[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(60): 89823-89833.
- [21] AVESTAN S, NASERI L, NAJAFZADEH R. Improvement of *in vitro* proliferation of apple (*Malus domestica* Borkh.) by enriched nano chelated iron fertilizer[J]. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 2018, 5(1): 43-51.
- [22] ASKARY M, AMIRJANI M R, SABERI T. Comparison of the effects of nano-iron fertilizer with iron-chelate on growth parameters and some biochemical properties of *Catharanthus roseus*[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2017, 40(7): 974-982.
- [23] HU J, GUO H Y, LI J L, WANG Y Q, XIAO L, XING B S. Interaction of γ -Fe₂O₃ nanoparticles with *Citrus maxima* leaves and the corresponding physiological effects via foliar application[J]. *Journal of Nanobiotechnology*, 2017, 15(1): 51.
- [24] PITCHERS B, DO F C, PRADAL C, DUFOUR L, LAURI P E. Apple tree adaptation to shade in agroforestry: an architectural approach[J]. *American Journal of Botany*, 2021, 108(5): 732-743.
- [25] LI J, CAO X M, JIA X C, LIU L Y, CAO H W, QIN W Q, LI M. Iron deficiency leads to chlorosis through impacting chlorophyll synthesis and nitrogen metabolism in *Areca catechu* L.[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 710093.
- [26] DELFANI M, FIROUZABADI M B, FARROKHI N, MAKARIAN H. Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2014, 45(4): 530-540.
- [27] THERBY-VALE R, LACOMBE B, RHEE S Y, NUSSAU-ME L, ROUACHED H. Mineral nutrient signaling controls photosynthesis: focus on iron deficiency-induced chlorosis[J]. *Trends in Plant Science*, 2022, 27(5): 502-509.
- [28] 徐江兵, 王艳玲, 罗小三, 冯有智. 纳米 Fe₃O₄ 对生菜生长及土壤细菌群落结构的影响[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(9): 3003-3010.
- XU J B, WANG Y L, LUO X S, FENG Y Z. Influence of Fe₃O₄ nanoparticles on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth and soil bacterial community structure[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(9): 3003-3010. (in Chinese)
- [29] 李冬霞, 陈红新, 朱焕焕, 刘艳鹏. 纳米科技如何影响农业, 又将推动农业走向何方?[J]. *蔬菜*, 2019(1): 1-12.
- LI D X, CHEN H X, ZHU H H, LIU Y P. How does nanotechnology affect agriculture, and where will it promote agriculture?[J]. *Vegetables*, 2019(1): 1-12.
- [30] JEONG J, CONNOLLY E L. Iron uptake mechanisms in plants: functions of the fro family of ferric reductases[J]. *Plant Science*, 2009, 176(6): 709-714.
- [31] 杨颖丽, 司廉邦, 李嘉敏, 蒋晓煜, 黎桂英, 徐玉玲. 铁胁迫对小麦幼苗叶绿素荧光与光合特性的影响[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2019, 55(6): 814-820.
- YANG Y L, SI L B, LI J M, JIANG X Y, LI G Y, XU Y L. Effects of iron stress on chlorophyll fluorescence and photosynthetic characteristics in wheat seedlings[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2019, 55(6): 814-820. (in Chinese)
- [32] 伍丽华, 代林利, 胡永颜, 费裕舫, 叶义全, 陈爱玲, 曹光

- 球. 供铁水平对杉木幼苗叶片叶绿素荧光参数和抗氧化酶活性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(5): 1087-1097.
- WU L H, DAI L L, HU Y Y, FEI Y C, YE Y Q, CHEN A L, CAO G Q. Effect of Fe supply on chlorophyll fluorescence parameters and antioxidant enzyme activities in leaves of *Cunninghamia lanceolate* seedlings[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2021, 43(5): 1087-1097. (in Chinese)
- [33] 胡燕. 雅安藏茶的主要活性成分及保健功能研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 316-321.
- HU Y. Research progress on main active constituents and healthcare function of Ya'an Tibetan tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(5): 316-321. (in Chinese)
- [34] YOUSEFZADEH S, SABAGHNIA N. Nano-iron fertilizer effects on some plant traits of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) under different sowing densities[J]. Acta Agriculturae Slovenica, 2016, 107: 429-437.
- [35] 刘世亮, 介晓磊, 张炳运, 刘芳, 化党领, 马闯, 胡华锋. 锌、铁、钼肥对紫花苜蓿草产量和品质的影响[J]. 草业科学, 2008(11): 40-44.
- LIU S L, JIE X L, ZHANG B Y, LIU F, HUA D L, MA C, HU H F. Effects of zinc, iron, molybdenum fertilizers on the yield and quality of alfalfa[J]. Pratacultural Science, 2008(11): 40-44. (in Chinese)