

5 种叶面肥对大红袍花椒生长和生理特性的影响

纪道丹, Kuanysh Kassen, 惠文斌, 李孟楼*

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:为研究喷施不同叶面肥对大红袍花椒的影响,以1年生大红袍花椒幼苗为试验材料,采用盆栽方法,选择5种叶面肥: $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 、 MnSO_4 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 H_3BO_3 、花椒复合叶面肥,设置3个喷肥水平(0.4%、0.2%、0.1%)。测定花椒的株高、地径、叶片中可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、丙二醛(MDA)含量和超氧化物歧化酶(SOD)活性。结果表明,喷施适量的Mn肥、Mg肥、Mo肥和复合叶面肥对大红袍花椒的苗高和基径有显著促进作用,喷施B肥对花椒生长无明显促进,且高质量分数B肥抑制花椒生长。各叶面肥对花椒叶片的生理特性影响不同,适量Mo肥和花椒复合叶面肥能显著提高叶片可溶性糖含量,适量Mn肥能有效提高花椒叶片的光合作用和蛋白质合成水平,适量Mg肥可以增强叶片光合作用和可溶性糖含量,适量的B肥可提高叶片可溶性糖和可溶性蛋白含量。不同叶面肥处理,花椒叶片各生理指标间表现不同的促进和抑制作用。在大红袍花椒苗的生长过程中,适当喷施 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ (0.4%)、 MnSO_4 (0.1%)、 MgSO_4 (0.2%~0.4%)、花椒复合叶面肥(0.1%)对花椒苗生长发育和生理抗性有显著的促进作用。

关键词:大红袍花椒;叶面肥;生长特性;生理特性

中图分类号:S567

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2022)04-0135-08

Effects of Five Foliar Fertilizers on the Growth and Physiological Characteristics of Dahongpao Prickly Ash

Ji Dao-dan, Kuanysh Kassen, Hui Wen-bin, Li Meng-lou*

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

Abstract: In order to study the effects of spraying different fertilizers on the leaves of a prickly ash cultivar, “Dahongpao”, 1-year-old “Dahongpao” potted seedlings were used as the experimental materials. Five foliar fertilizers were $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, MnSO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 and prickly ash composite foliar fertilizer, and three spray fertilizer levels were set (0.4%, 0.2%, 0.1%). The seedling height, basal diameter, soluble sugar content, soluble protein content, malondialdehyde (MDA) content and superoxide dismutase (SOD) activity in “Dahongpao” leaves were determined. The results showed that spraying proper amount of Mn fertilizer, Mg fertilizer, Mo fertilizer and compound foliar fertilizer could significantly promote the growth of seedling height and basal diameter, while spraying boron fertilizer had no obvious effect on the growth. High concentration B fertilizer inhibited the growth. Different foliar fertilizers had different effects on physiological characteristics of the leaves. Appropriate Mo fertilizer and prickly ash compound foliar fertilizer could significantly increase soluble sugar content in the leaves, and appropriate amount of Mn fertilizer could effectively improve the photosynthesis and protein synthesis level of prickly ash leaves. Proper concentration of Mg fertilizer could enhance leaf photosynthesis and soluble sugar content, proper amount of B fertilizer could increase leaf soluble sugar and soluble protein content. Different foliar fertilizer treat-

收稿日期:2021-04-17 修回日期:2021-05-11

基金项目:陕西省科技厅科技统筹创新工程计划项目(2016KTTSNY03-02)。

作者简介:纪道丹。研究方向:森林虫害防治。E-mail:1448997039@qq.com

*通信作者:李孟楼,教授,博士生导师。研究方向:森林虫害防治、花椒培育。E-mail:limenglou@126.com

ments had different promotion and inhibition effects on physiological indexes of the leaves. It was concluded that during the growth and development of "Dahongpao" prickly ash seedlings, properly spraying $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ (0.4%), MnSO_4 (0.1%), MgSO_4 (0.2%–0.4%), and prickly ash composite foliar fertilizer (0.1%) could significantly promote the growth and development and physiological resistance of "Dahongpao" prickly ash seedlings.

Key words: "Dahongpao" prickly ash; foliar fertilizer; growth characteristics; physiological characteristics

花椒 (*Zanthoxylum bungeanum*) 为芸香科 (Rutaceae) 花椒属 (*Zanthoxylum*) 的落叶小乔木或灌木, 距今已经有 2 600 多年的种植历史^[1-2], 具有耐贫瘠、易栽培且经济价值高的特点^[3]。大红袍花椒又名狮子头、凤椒、大红椒、伏椒和疙瘩椒等, 在我国广泛种植, 但因椒园管理粗放, 施肥不当, 多数农户不施用中微量元素肥, 对施肥现状认识不足, 加之受全球气候变化的影响, 导致花椒减产或品质降低^[4-7]。

近年来, 对花椒的研究集中在其提取物, 如精油、花椒籽油、麻味素等^[8-10] 和低温、干旱、水涝等逆境胁迫下的抗氧化能力方面^[11-14], 关于花椒施肥研究较少。有研究发现^[15], 合理施肥可以提高花椒产量, 改善品质。王景燕等^[16] 发现不同的 NPK 肥水平和田间持水量对汉源花椒幼苗植株生长和抗逆性具有重要影响。而在其他作物, 如水稻、小麦、玉米、茄子和草莓等已有关于喷施叶面肥对其生长、生理、产量和品质的报告^[17-21]。因此, 探究喷施微量元素叶面肥对花椒生理特性的影响具有现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择西北农林科技大学苗圃花椒试验田中培育的长势相近的 1 年生大红袍花椒苗为试验材料。花椒苗平均株高 15 cm, 平均地径 2.78 mm, 2020 年 5 月 6 日, 将大红袍花椒苗移植于栽培盆中, 栽培后地上部分平均株高 4.7 cm, 每株花椒苗保留 4 片复叶。试验在西北农林科技大学苗圃花椒试验田内进行, 该地区位于 34°20'N, 108°24'E, 海拔 520 m, 年均气温 12.8℃, 年均降雨量 632 mm, 属暖温带季风半湿润气候区。

1.2 试验方法

取试验田耕作层 (0~20 cm) 土壤作为盆栽基土, 清除植物残体及碎石, 过筛。所用栽培盆上口直径与下口直径均为 25 cm, 高为 30 cm, 盆内土壤厚度 25 cm, 每盆栽苗 3 株, 间隔 2 d 浇清水 500 mL。花椒苗在盆中培养 50 d 后, 自 2020 年 6 月 24 日开始喷施叶面肥, 设计 5 因素 3 水平喷肥处理, 分别选择 Mo 肥 ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)、Mn 肥 (MnSO_4)、Mg

肥 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、B 肥 (H_3BO_3) 及复合叶面肥 (由西北农林科技大学李孟楼实验室花椒项目组研制, 主要成分含腐植酸、氮、钼、锰、镁、铁、硫、硼等) 5 因素。每个因素设置 0.4%、0.2%、0.1% 3 个喷肥水平, 设置 1 个对照组, 共 16 个处理组, 每处理栽植 2 盆、重复 6 株。每 8 d 喷肥 1 次, 对照处理喷施清水, 共喷肥 4 次, 每次喷至花椒叶片正反面均湿润, 肥液将要滴落为止。本试验不控制温度和湿度。

1.3 指标测定

用卷尺测量花椒苗基部至顶端的高度即为花椒的苗高; 用游标卡尺测量花椒苗基部直径即为花椒苗的基径; 喷肥后第 67 天, 选择每株花椒苗上相同方向叶片 (从顶部向下第 3~4 片发育成熟的复叶) 进行生理指标测定; 采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[22]; 考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量^[23]; 采用硫代巴比妥酸法测定 MDA 含量^[24]; 四唑氮蓝法测定 SOD 含量^[25]。

1.4 数据处理

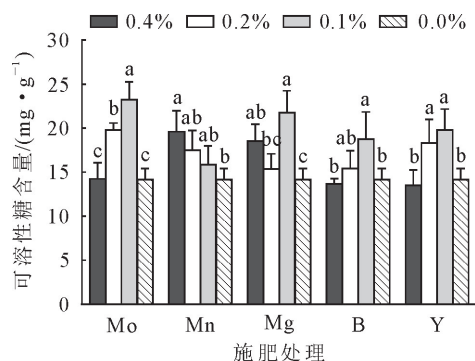
运用 IBM SPSS Statistics 26 进行单因素 ANOVA 检验, Duncan 多重比较 ($P < 0.05$) 和相关性分析。采用 GraphPad Prism 8 作图。

2 结果与分析

2.1 叶面肥对大红袍花椒叶片渗透调节物质含量的影响

喷施 5 种叶面肥 67 d 后, 花椒叶片可溶性糖含量变化规律不同 (图 1)。0.1% Mo、0.1% Mg、0.2% Mo、0.1% Y、0.4% Mn、0.1% B、0.4% Mg、0.2% Y 处理, 可溶性糖含量较对照分别提高 63.8%、53.6%、39.6%、39.5%、38.5%、32.4%、30.9%、29.1%, 均与对照差异显著; 0.4% Y 处理可溶性糖含量最低、比对照减少 4.7%, 与对照差异不显著, 但显著低于其他 2 组喷肥处理。此外, 随喷施 Mo 肥、B 肥和复合叶面肥质量分数升高可溶性糖含量降低, 随喷施 Mn 肥质量分数升高可溶性糖含量升高。0.2% Mg 处理叶片可溶性糖含量明显低于其他两组 Mg 肥处理。因此, 喷施 0.1%~0.2% Mo 肥、0.4% Mn 肥、0.1% 与 0.4% Mg 肥、0.1% B 肥、0.1%~0.2% 复合叶面肥能够显著提升花椒叶

中可溶性糖含量,高质量分数的 Mo 肥、B 肥和复合叶面肥对花椒叶片可溶性糖含量无显著影响。



注:Mo 为 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$; Mn 为 MnSO_4 ; Mg 为 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; B 为 H_3BO_3 ; Y 为花椒复合叶面肥。下同。字母代表同一叶面肥的处理在 0.05 水平的显著性差异。下同。

图1 大红袍花椒叶片可溶性糖含量

Fig. 1 Soluble sugar content in the leaves of Dahongpao prickly ash

喷施不同叶面肥后,花椒叶片可溶性蛋白含量区别较大(图2)。由图2可知,随着喷施 Mn 肥、Mg 肥、复合叶面肥质量分数升高,可溶性蛋白含量减少;喷施 B 肥质量分数越高,可溶性蛋白含量越高。0.1% Mn、0.4% B 和 0.2% B 处理,可溶性蛋白含量比对照高 63.0%、44.8% 和 40.9%,均差异显著。喷施 Mg 肥与复合叶面肥的各喷肥处理间可溶性蛋白含量差异不显著且均显著小于对照处理,0.4%、0.2%、0.1% 的 Mg 和 Y 处理的可溶性蛋白含量,分别比对照低 45.4%、45.2%、31.5% 和 40.6%、34.0%、32.9%。喷施 Mo 肥的各处理可溶性蛋白含量与对照无显著差异,但 0.4% Mo 处理可溶性蛋白含量显著大于 0.2% 和 0.1% Mo 处理。表明喷施 0.1% Mn 肥、0.2% 和 0.4% B 肥能够显著提高花椒叶中可溶性蛋白含量,而喷施 Mg 肥、复合叶面肥、低质量分数的 Mo 肥及高质量分数的 Mn 肥则降低可溶性蛋白含量。

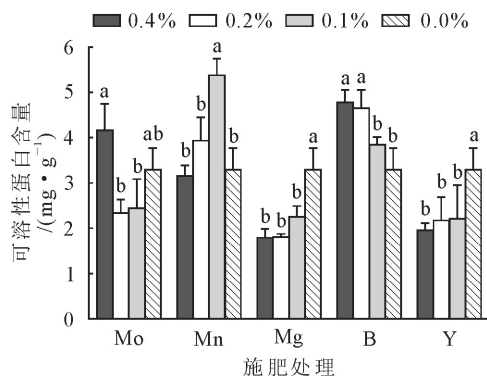


图2 大红袍花椒叶片可溶性蛋白含量

Fig. 2 Soluble protein content in the leaves of Dahongpao prickly ash

2.2 叶面肥对大红袍花椒叶片丙二醛含量的影响

图3为喷施不同叶面肥 67 d 后,大红袍花椒叶片丙二醛含量。由图3可知,0.4% B 处理 MDA 含量最高,比对照组高 55.5%。0.1% Mg、0.2% B、0.4% Y、0.2% Y、0.1% B、0.1% Y 处理的 MDA 含量分别比对照高出 53.3%、42.0%、39.6%、37.3%、36.0%、24.0%,差异显著。MDA 含量最低为 0.2% Mo 处理,比对照低 1.72%,差异不显著。随着 Mn 肥、B 肥和复合叶面肥喷施质量分数升高,MDA 含量增加,但喷施 Mn 肥的处理与对照差异不显著,而喷施 B 肥和复合叶面肥的处理 MDA 含量均显著高于对照。喷施 Mg 肥的质量分数越高,MDA 的含量越低。因此,喷施 B 肥、复合叶面肥和 0.1% Mg 肥会显著提高花椒叶片的 MDA 含量,而喷施 Mo 肥和 Mn 肥则对花椒叶片 MDA 含量无显著影响。

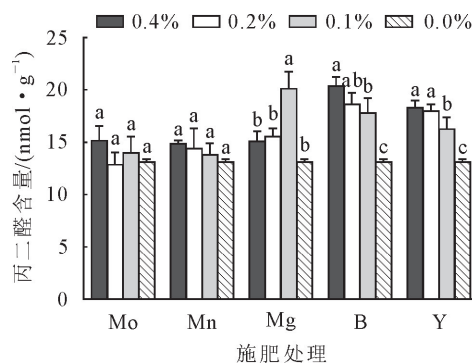


图3 大红袍花椒叶片丙二醛含量

Fig. 3 MDA content in the leaves of Dahongpao prickly ash

2.3 叶面肥对大红袍花椒叶片 SOD 活性的影响

由图4可知,各喷肥处理的 SOD 活性差异较大。SOD 活性最高为 0.4% B 处理,较对照处理高 67.9%,0.2% 和 0.4% Mg 处理,SOD 活性分别比对照高 57.4% 和 50.4%,差异显著。SOD 活性最低的为 0.1% Mn 处理,较对照低 47.4%,0.4% Mn 和 0.1% Mo 处理,SOD 活性分别比对照低 42.0% 和 30.3%,差异均显著。其他喷肥处理与对照之间 SOD 活性无显著差异。SOD 活性随 Mo 肥和 B 肥喷肥质量分数的升高而升高;随喷施 Mn 肥、Mg 肥、复合叶面肥质量分数的升高,SOD 活性呈先升高后降低的变化趋势。因此,喷施高质量分数的 B 肥和 Mg 肥能使叶片 SOD 活性显著提高,喷施 Mo 肥、Mn 肥和复合叶面肥不会导致 SOD 活性显著升高。

2.4 大红袍花椒叶片生理指标间的相关性分析

由表1可知,Mo 肥处理下,可溶性糖含量与可溶性蛋白含量、SOD 活性分别呈显著与极显著的负相关,相关系数为 -0.619 和 -0.711。Mg 肥处理下,可溶性糖含量与 MDA 含量呈极显著正相关,相关系数为 0.845。B 肥处理下,MDA 含量与可溶性

蛋白含量、SOD 活性分别呈极显著和显著的正相关,相关系数分别为 0.845 和 0.605。喷施花椒复合叶面肥,可溶性糖含量与 SOD 活性呈极显著正相关,相关系数为 0.757;可溶性蛋白含量与 MDA 含量呈显著负相关,相关系数为-0.643。其余处理各指标间无显著的相关性。花椒叶片可溶性糖含量与 SOD 活性在喷施 Mo 肥和复合叶面肥时分别表现反向抑制和正向促进的不同效果;可溶性蛋白含量与 MDA 含量在喷施 B 肥和花椒复合叶面肥时分别表现促进和抑制效果。表明不同叶面肥处理下,花椒叶片各生理指标间表现不同的促进或抑制作用,特别是花椒叶片的渗透调节物质含量变化会促进或抑制其他物质的含量和活性。

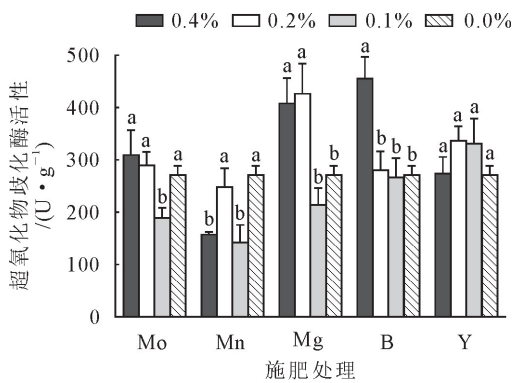


图 4 大红袍花椒叶片的超氧化物歧化酶活性

Fig. 4 SOD activity of Dahongpao prickly ash leaves

表 1 大红袍花椒叶片生理指标相关性

Table 1 Correlation of physiological indexes of Dahongpao prickly ash leaves

处理	指标	SS	SP	MDA	SOD
Mo	SS	1			
	SP	-0.619 *	1		
	MDA	-0.035	0.614	1	
	SOD	-0.711 **	0.362	-0.087	1
Mn	SS	1			
	SP	-0.269	1		
	MDA	0.540	-0.171	1	
	SOD	-0.360	-0.445	-0.385	1
Mg	SS	1			
	SP	-0.287	1		
	MDA	0.845 **	-0.258	1	
	SOD	-0.375	-0.572	-0.462	1
B	SS	1			
	SP	-0.173	1		
	MDA	0.104	0.845 **	1	
	SOD	-0.328	0.534	0.605 *	1
Y	SS	1			
	SP	-0.114	1		
	MDA	0.218	-0.643 *	1	
	SOD	0.757 **	-0.069	0.377	1

注:SS 为可溶性糖;SP 为可溶性蛋白质;MDA 为丙二醛;SOD 为超氧化物歧化酶。*、** 分别表示指标之间相关性达 0.05、0.01,显著水平。

2.5 叶面肥对大红袍花椒苗高的影响

由图 5 可知,苗高增长最快为 0.1% Mn 处理,比对照组高 67.4%。喷施 Mg 肥的处理苗高增量均大于对照,且随着喷肥质量分数升高,苗高增量越大。0.4%、0.2%、0.1% Mg 肥处理苗高分别比对照多 40.0%、10.4%、3.3%。0.4%和 0.2% Mg 肥处理与对照差异显著。喷施 B 肥、Mn 肥、复合叶面肥的处理苗高增量均随着喷肥质量分数升高而减小,其中 0.1% Y 处理苗高增量比对照多 16.2%,差异显著;0.4% B、0.2% B、0.4% Y、0.1% B、0.2% Y、0.4% Mn、0.2% Mn 处理苗高增量分别比对照小 94.6%、41.6%、32.9%、23.3%、18.6%、9.1%、6.3%,差异均显著。0.4% Mo 处理苗高增量较对照多 22.4%,0.2% Mo 肥处理苗高增量较对照减少 28.6%,差异均显著。0.1% Mo 处理苗高增量与对照无显著差异。

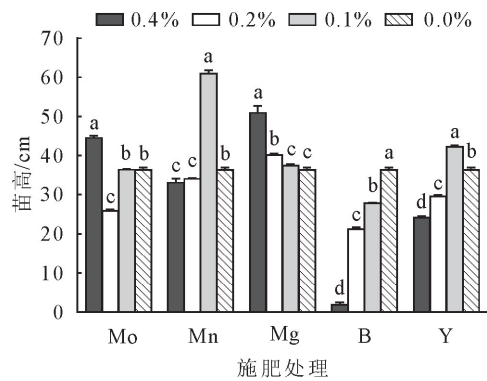


图 5 大红袍花椒苗高增量

Fig. 5 Increment of sapling height of Dahongpao prickly ash

2.6 叶面肥对大红袍花椒基径的影响

由图 6 可知,随着喷施 Mn 肥、B 肥、复合叶面肥质量分数升高,基径增量减少。其中 0.1% Mn、0.2% Mn 肥和 0.1% Y 处理基径增量显著大于对照,分别比对照高 55.9%、15.9%、26.5%。0.4% B、0.2% B 肥和 0.4% Y 处理基径增量显著小于对照,分别比对照小 48.0%、12.6%、19.2%。喷施 Mg 肥的处理,基径增量均大于对照,随着镁肥质量分数升高,基径增量增加,质量分数由高到低分别比对照大 52.9%、23.8%、10.6%。0.1% Mg 肥处理与对照差异不显著。0.4%和 0.1% Mo 处理基径增量显著大于对照,分别较对照多 31.1%和 28.5%,0.2% Mo 处理与对照无显著差异。

3 结论与讨论

3.1 结论

叶面喷施适量的 Mn 肥、Mg 肥、Mo 肥、复合叶面肥对大红袍花椒的苗高和基径有显著促进作用,

且对苗高的促进作用 $0.1\% \text{Mn} > 0.4\% \text{Mg} > 0.4\% \text{Mo} > 0.1\% \text{Y} > 0.2\% \text{Mg}$; 对基径的促进作用 $0.1\% \text{Mn} > 0.4\% \text{Mg} > 0.4\% \text{Mo} > 0.1\% \text{Mo} > 0.1\% \text{Y} > 0.2\% \text{Mg} > 0.2\% \text{Mn}$ 。喷施 B 肥对花椒的苗高和基径增长无显著促进作用, 且高质量分数的 B 肥会抑制花椒的生长。

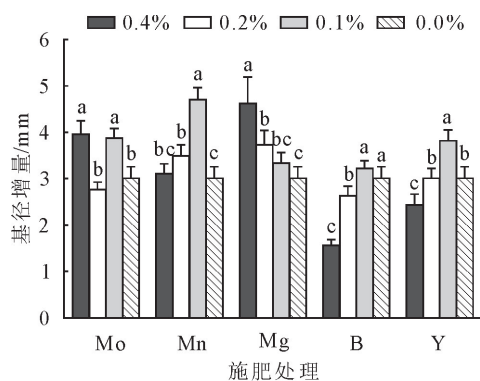


图6 大红袍花椒基径增量

Fig. 6 Base diameter increment of Dahongpao prickly ash

单独喷施各叶面肥对花椒叶片的生理特性影响不同, 适量的 Mo 肥可增强花椒叶中的氮代谢水平且不影响糖代谢; 适量的 Mn 肥可以促进花椒叶光合作用、蛋白质合成水平; 适量的 Mg 肥可以提高可溶性糖含量和酶活性, 增强花椒的生理抗性; 适量喷施 B 肥可促进可溶性蛋白的合成; 喷施花椒复合叶面肥可以显著促进碳水化合物的合成。不同的叶面肥处理, 花椒叶片各生理指标间表现不同的促进和抑制作用。因此, 在大红袍花椒生长过程中, 喷施一定浓度的 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ (0.4%)、 MnSO_4 (0.1%)、 MgSO_4 (0.2%~0.4%)、复合叶面肥 (0.1%) 可以为花椒提供生长所需养分, 促进花椒的生长, 调节生理活动, 提高抗性。

3.2 讨论

研究证实, 施用适宜的 N、P、K 肥对汉源花椒、汉源葡萄青椒、竹叶花椒的苗高、地径等生物学特性和可溶性糖含量、可溶性蛋白含量等生理指标均有显著的促进作用^[26-28]。本研究中, 喷施适量的 Mn 肥、Mg 肥、Mo 肥和复合叶面肥对大红袍花椒的苗高和基径也有显著促进作用。随着喷施 Mn 肥和复合叶面肥质量分数升高, 苗高与基径生长减缓, 喷施 Mg 肥则相反。0.1% Mn、0.4% Mg、0.4% Mo 处理较对照及同种肥的其他质量分数, 苗高与基径增长均较快。B 肥对大红袍花椒苗高与基径有一定的抑制作用, 质量分数越高, 抑制越强。0.4% B 处理苗高增长趋于停滞。

Mo 元素参与植物体内氮代谢、是硝酸还原酶的组成成分^[29]。喷施 Mo 肥可以显著提高水涝胁

迫玉米子粒的蛋白质含量^[30]。本研究表明, 喷施 Mo 肥对花椒叶片可溶性蛋白含量、MDA 含量无显著影响, 所以喷施 Mo 肥不会使花椒叶片细胞膜受到伤害。0.1% Mo 和 0.2% Mo 处理的花椒叶片可溶性糖含量显著高于对照, 可溶性蛋白含量降低, 0.1% Mo 处理的 SOD 活性降低。可溶性糖含量与可溶性蛋白含量、SOD 活性分别呈显著与极显著的负相关, 因此喷施适量的 Mo 肥可以增强花椒叶片的氮代谢水平而不影响糖代谢。

Mn 离子是细胞中许多酶的活化剂, 缺 Mn 会抑制植物的光合作用等生理生化过程, Mn 过量则破坏叶绿体结构^[31]。有研究发现, 喷施一定质量分数的 Mn 叶面肥能使番茄果实可溶性糖含量提高^[32], 0.1% MnSO_4 处理可以显著提高马铃薯块茎可溶性蛋白含量^[33]。本研究中, 随喷施 Mn 肥质量分数升高花椒叶片可溶性糖含量增高; 0.1% Mn 处理的花椒叶片可溶性蛋白含量显著增加。说明高质量分数的 Mn 叶面肥可以促进花椒叶片可溶性糖含量增加, 低质量分数的 Mn 肥可以促进可溶性蛋白含量增加。Mn 胁迫^[34]和高质量分数的 MnSO_4 处理会降低番茄和马铃薯块茎 SOD 活性。0.2% Mn 处理大红袍花椒叶片的 SOD 活性与对照无显著差异, MDA 含量均与对照无显著差异。因此喷施适宜质量分数的 Mn 肥能够促进花椒叶片的光合作用和提高蛋白质合成水平。

Mg 元素是植物叶绿素的组分、也是多种酶的活化剂、参与植物的多种生物合成过程、对提高植物产量和品质有重要作用^[35]。施用 174 mg/kg 的 Mg 肥能使猴樟苗高、地径、高径比显著增加, 并显著提高猴樟叶片中叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白的含量, 提高光合效率^[36], 葡萄叶面喷施 Mg 肥可以提高可溶性糖含量, 且浓度高时更显著^[37]。本研究中, 喷施 Mg 肥对花椒的苗高和地径生长有促进效果, 且可溶性糖含量均高于对照, 可溶性蛋白含量均低于对照, 可溶性糖含量与 MDA 含量呈极显著正相关。0.1% Mg 处理叶片 MDA 含量显著高于对照, 0.4% Mg、0.2% Mg 处理 SOD 活性显著高于对照, 可能是因为: 随着喷施镁肥浓度升高, 花椒叶片 SOD 活性增强, 大量清除细胞组织积累的自由基和过氧化物, 导致 MDA 含量降低, 与施用 Mg 肥使得厚皮甜瓜^[38]和花生^[39]叶片 SOD 活性增强; 喷施 0.4% 硫酸镁的葡萄叶片 MDA 含量低于 0.2% 硫酸镁处理^[40]的结果相近。因此花椒叶面喷施 Mg 肥有助于强化光合作用、提高可溶性糖的生成, 并有利于清除细胞组织积累中的自由基和过氧化物。

B 参与植物体内物质运输及多种生理代谢活

动,调节和影响植物的开花、结实和产量^[41]。缺 B 或 B 过多都会破坏植物细胞膜的完整性,加强脂质过氧化作用^[42]。研究证实,叶面喷施 B 肥可以促进九叶青花椒开花结果,增加座果率、提高产量和品质^[43],在本研究中,喷施 B 肥花椒的株高和基径均受到不同程度的抑制,各处理 MDA 含量均显著高于对照,且 0.4% B 处理 SOD 活性也显著高于对照,MDA 含量与可溶性蛋白含量、SOD 活性分别呈极显著和显著的正相关,表示花椒在大量清除细胞内的自由基和过氧化物后,膜脂过氧化程度依然高,所以喷施 0.4% B 肥质量分数太高,会损伤花椒叶片,影响花椒的正常生理活动。对荞麦^[44]、花生^[45]、猕猴桃^[46]叶面喷施 B 肥,可以提高其果实中的蛋白质含量,本研究中喷施 B 肥使花椒叶片的可溶性蛋白含量也均有所提高。花椒叶片可溶性糖含量随着喷施 B 肥质量分数的升高而降低,与喷施 B 肥质量分数为 0.1%~0.4% 时,苜蓿叶可溶性糖含量变化一致^[47]。因此喷施 0.1% B 肥可增加可溶性糖含量,增强细胞的渗透调节能力。

研究证实,配方施肥可以有效促进如红锥、望天树、白桦、刨花润楠等多种植物的生长,促进株高、地径增长及生理活性^[48-51],合理的配方施肥对植物有重要意义。不同元素间的相互作用有所不同。B 和 Mo 有明显的互作效应,已存在的一种元素能促进另一种元素的作用或者缓冲缺乏其造成的负面效应^[52]。适当 B、Mo 配施可提高 SOD 等细胞保护酶活性,缓解膜脂过氧化,降低 MDA 含量^[53]。研究证实,叶面喷施 B 和 Mo 叶面肥能促进甜菜根的生长,提高甜菜叶和根的 N、P、K、Ca、Mg 的含量和甜菜的糖产量^[54]。施用 Mo 肥、Mg 肥等多种微量元素肥料可以增加油菜的次级分枝数量,达到增产的效果,而 Mg 含量是最显著的影响因素^[55]。花椒复合叶面肥含腐植酸、N、Mo、Mn、Mg、Fe、S、B 等元素,本研究表明,一定质量分数的复合叶面肥能促进花椒的生长,增加花椒叶片中的可溶性糖含量和 MDA 含量、降低可溶性蛋白含量。可溶性糖含量与 SOD 活性呈极显著正相关,可溶性蛋白含量与 MDA 含量呈显著负相关。本项目组其他研究证实,花椒复合叶面肥明显增大花椒果径、鲜重和干重。因此,花椒复合叶面肥对碳水化合物的合成有促进作用,但其他作用还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李建红,张水华,孔令会.花椒研究进展[J].中国调味品,2009,34(2):28-31,35.
- [2] 姚佳,蒲彪.青花椒的研究进展[J].中国调味品,2010,35(6):35-39.
- [3] 黄圣霖.花椒栽培管理技术[J].云南农业,2014(8):26-27.
- [4] MANG Q C,LIU S M,SUN B Y. The effect of balanced fertilization on yield of *Zanthoxylum bungeanum* [J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(3):105-108.
- [5] 杨林生,杨敏,彭清,等.重庆市九叶青花椒施肥现状评价[J].西南大学学报:自然科学版,2020,42(3):61-68.
- [6] 石志刚,喻德昌.花椒园实现化肥零增长的有效途径探索[J].南方农机,2017,48(4):160-162.
- [7] 张奇,任利明,梁宏喆,等.气象条件对不同品种花椒果实生长发育的影响[J].西北林学院学报,2018,33(5):111-115.
- [8] 周杰,刘璐,邱盛敏,等.不同产地花椒精油的化学成分分析及花椒精油固体制剂的抗真菌作用考察[J].中国实验方剂学杂志,2021,27(2):153-160.
- [9] 孙睿,张永涵,刘婧玮,等.响应面法优化超临界萃取花椒籽油及 α -亚麻酸的工艺研究[J].中国调味品,2021,46(1):51-56.
- [10] 赵强,徐未芳,王桂林,等.花椒树脂提取工艺及其生物活性研究进展[J].粮食与油脂,2021,34(1):4-6,15.
- [11] 张志浩,刘秀梅,王倩,等.水涝胁迫下 5 个花椒品种抗氧化能力的比较[J].经济林研究,2019,37(4):179-187.
- [12] 王纪辉,侯娜,梁美.水分胁迫下竹叶花椒的生理响应[J].江苏农业学报,2019,35(3):676-681.
- [13] 吕小军,杨途熙,何小红,等.冬季低温对花椒抗寒性生理指标

Chinese prickly ash[J]. China Condiment,2009,34(2):28-31,35. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

YAO J,PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc[J]. China Condiment,2010,35(6):35-39. (in Chinese)

- 的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(7): 143-148.
- LV X J, YANG T X, HE X H, *et al.* Influence of low temperature stress on the cold-resistance physiological indexes of *Zanthoxylum armatum* in winter[J]. Acta Agricultural Boreali-occidentalis Sinica, 2013, 22(7): 143-148. (in Chinese)
- [14] 陈红林, 林强, 张群, 等. 不同品系花椒幼苗抗旱性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(6): 8-15.
- CHEN H L, LIN Q, ZHANG Q, *et al.* A study on drought resistance of seedlings of different *Zanthoxylum bungeanum* strains[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(6): 8-15. (in Chinese)
- [15] 陈政, 龚霞, 李佩洪, 等. 配方施肥对花椒树势和结实性状的影响[J]. 现代农业科技, 2021(1): 65-67.
- [16] 王景燕, 龚伟, 李伦刚, 等. 水肥对汉源花椒幼苗抗逆生理的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 36(3): 530-539.
- WANG J Y, GONG W, LI L G, *et al.* Effects of water and fertilizer on physiological characteristics of stress resistance of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim 'Hanyuan' seedling[J]. Acta Botanica Sinica, 2015, 35(3): 530-539. (in Chinese)
- [17] YE Y X, WEN Z R, YANG H, *et al.* Effects of post-silking water deficit on the leaf photosynthesis and senescence of waxy maize[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(9): 2216-2228.
- [18] 曾建国, 李廷亮, 文涛, 等. 叶面喷施锰对春小麦生长及锰吸收转移的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(9): 25-29.
- [19] 吴海勇, 李明德, 谷雨, 等. 硼肥不同施用方法及用量对水稻生长的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(7): 5-8.
- WU H Y, LI M D, GU Y, *et al.* Different boron fertilizer application methods and amounts affecting rice growth[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(7): 5-8. (in Chinese)
- [20] 张舒玄, 聂欣, 杜鹃, 等. 不同微量元素叶面肥对草莓育苗生长的影响[J]. 土壤, 2017, 49(2): 261-267.
- [21] 鲁荣海, 王波, 吴永枚, 等. 镁、钙、硼、钼肥对茄子幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2019(6): 49-53.
- [22] 李合生. 植物生理生化试验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 195-197.
- [23] 邓丽莉, 潘晓倩, 生吉萍, 等. 考马斯亮蓝法测定苹果组织微量可溶性蛋白含量的条件优化[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 185-189.
- DENG L L, PAN X Q, SHENG J P, *et al.* Optimization of experimental conditions for the determination of water soluble protein in apple pulp using coomassie brilliant blue method[J]. Food Science, 2012, 33(24): 185-189. (in Chinese)
- [24] HEATHRL, PACKERL. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetic and stoichiometry of fatty acid peroxidation[J]. Arch Biochem Biophys, 1986, 125(1): 189-198.
- [25] BEAUCHAMP C, FRIDOVICH I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry, 1971, 44: 276-287.
- [26] 王景燕, 唐海龙, 龚伟, 等. 水肥耦合对汉源花椒幼苗生长、养分吸收和肥料利用的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2016, 40(3): 33-40.
- WANG J Y, TANG H L, GONG W, *et al.* Effects of water and fertilizer coupling on growth, nutrients absorption and fertilizer use of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim 'Hanyuan' seedling [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2016, 40(3): 33-40. (in Chinese)
- [27] 唐海龙, 龚伟, 王景燕, 等. 水肥处理对竹叶花椒土壤养分和微生物的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(2): 318-325.
- TANG H L, GONG W, WANG J Y, *et al.* Nutrients and microbes in soils of *Zanthoxylum armatum* with water and fertilizer treatments [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2019, 36(2): 318-325. (in Chinese)
- [28] ZHOU C B, CAI Y, YANG Z A, *et al.* Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization promotes *Zanthoxylum armatum* 'hanyuan putao qingjiao' flower bud differentiation in Sichuan [J]. China Horticulture, Environment and Biotechnology, 2020, 61(4): 651-661.
- [29] 刘利, 张蕊, 杨超, 等. 叶面喷施钼肥对草莓幼苗氮代谢关键酶活性与¹⁵N吸收、分配及利用的影响[J]. 植物生理学报, 2016, 52(7): 1035-1044.
- [30] 李文, 李伶俐, 王志强, 等. 喷施锌钼肥对渍涝胁迫玉米生长发育及产量和品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2016, 50(5): 593-597.
- LI W, LI L L, WANG Z Q, *et al.* Effect of spraying Zn and Mo fertilizers on corn growth and development, and yield & quality under waterlogging stresses[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2016, 50(5): 593-597. (in Chinese)
- [31] 许文博, 邵新庆, 王宇通, 等. 锰对植物的生理作用及锰中毒的研究进展[J]. 草原与草坪, 2011, 31(3): 5-14.
- [32] 李军, 刘凤军, 张国芹, 等. 叶面喷施锰肥对番茄果实品质的影响[J]. 江苏农科学, 2011, 39(6): 273-274.
- [33] 焦淑娟, 董强, 卢婷婷, 等. 叶面喷施 MnSO₄ 对马铃薯植株叶片生理特性和块茎品质的影响[J/OL]. 分子植物育种, 2021, 19(4): 1304-1311.
- JIAO S J, DONG Q, LU T T, *et al.* Effect of spraying MnSO₄ on potato leaves and tubers physiological characteristics of quality[J]. Molecular Plant Breeding, 2021, 19(4): 1304-1311. (in Chinese)
- [34] HOU L P, WU J H, LI Y X. The effects of lacking and over plus of manganese on the yield and the flavor quality of the fruit in the tomato[J]. Journal of Nuclear Agriculture Sciences, 2010, 24(1): 83-87.
- [35] 李泽, 谭晓风, 卢锐, 等. 供镁水平对油桐幼苗生长及光合特性的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(9): 2440-2447.
- LI Z, TAN X F, LU K, *et al.* Effects of magnesium levels on seedling growth and photosynthetic characteristics of tung tree[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(9): 2440-2447. (in Chinese)
- [36] 刘娜, 魏英, 柯云芳, 等. 施镁对南方优良行道树种猴樟生长影响研究[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(1): 106-115.
- LIU S, WEI Y, KE Y F, *et al.* Effects of magnesium application on the growth of *Cinnamomum bodinieri*, a fine street tree species in south china[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2021, 43(1): 106-115. (in Chinese)
- [37] 马晓丽, 刘雪峰, 杨梅, 等. 镁肥对葡萄叶片糖、淀粉和蛋白质及果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(4): 114-120.
- [38] 朱立保, 刘海河, 张彦萍, 等. 镁对厚皮甜瓜坐果节间叶片叶绿素荧光特性和活性氧清除系统的影响[J]. 植物营养与肥料科学

- 报, 2015, 21(5): 1279-1285.
- ZHU L B, LIU H H, ZHANG Y P, *et al.* Effects of magnesium on chlorophyll fluorescence and active oxygen scavenging system of fruiting-node leaves of muskmelon [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(5): 1279-1285. (in Chinese)
- [39] 彭云, 韩晓日, 杨劲峰, 等. 镁肥不同用量对花生叶片抗氧化代谢的影响[J]. 花生学报, 2014, 43(2): 7-11.
- PENG Y, HAN X R, YANG J F, *et al.* Effects of different Mg application amount on antioxidant enzymes activities of peanut [J]. Journal of Peanut Science, 2014, 43(2): 7-11. (in Chinese)
- [40] 马晓丽, 颜秋阳, 刘雪峰, 等. 镁肥对缺镁葡萄叶片活性氧含量和保护酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(6): 154-160.
- [41] 祖艳群, 林克惠. 硼在植物体中的作用及对作物产量和品质的影响[J]. 云南农业大学学报, 2000, 15(4): 359-363.
- [42] CAPITANI F, ALTAMURA M M. Exogenous calcium enhances the formation of vegetative buds, flowers and roots in tobacco pith explants cultured in the absence of exogenous hormones[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2004, 77(1): 1-10.
- [43] 刘正良, 董永熊. 硼肥和绿肥对花椒产量的影响[J]. 南方农业, 2017, 11(21): 5-6.
- [44] 曹昌林, 吕慧卿, 郝志萍, 等. 叶面喷施锌、硼肥对晋荞麦(苦)5号产量和品质的影响[J]. 作物杂志, 2020(4): 135-142.
- [45] 石彦召, 曹辉, 杨海棠, 等. 花生叶面喷施微肥对产量和品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2014(5): 75-77.
- [46] 龙友华, 张承, 吴小毛, 等. 叶面喷施硼肥对猕猴桃产量及品质的影响[J]. 北方园艺, 2015(5): 9-12.
- [47] 宗毓铮, 王雯玥, 韩清芳, 等. 喷施硼肥对紫花苜蓿光合作用及可溶性糖源库间运转的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(4): 665-672.
- ZONG Y Z, WANG W Y, HAN Q F, *et al.* Effects of different levels of boron fertilizer on alfalfa photosynthesis and source-sink translocation of soluble carbohydrate in alfalfa [J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(4): 665-672. (in Chinese)
- [48] 魏国余, 亢亚超, 廖曦, 等. 配方施肥对红锥幼林生理及叶片养分含量的影响[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(4): 32-36, 83.
- WEI G Y, KANG Y C, LIAO X, *et al.* Effects of formula fertilization on physiology characteristics and leaf nutrition contents of young *Castanopsis hystrix* stands [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(4): 32-36, 83. (in Chinese)
- [49] 李婷, 刘莉, 武志伟, 等. 氮磷钾钙配施对望天树幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(6): 110-115, 175.
- LI T, LIU L, WU Z W, *et al.* Effects of combined application of nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium on the growth and physiological characteristics of *Parashorea chinensis* seedlings [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(6): 110-115, 175. (in Chinese)
- [50] 刘福妹, 姜静, 刘桂丰. 施肥对白桦树生长及开花结实的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(2): 116-120, 195.
- LIU F M, JIANG J, LIU G F. Effects of fertilization on the growth and flowering of *Betula platyphylla* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(2): 116-120, 195. (in Chinese)
- [51] 胡厚臻, 侯文娟, 潘启龙, 等. 配方施肥对刨花润楠幼苗生长和光合生理的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 39-45.
- HU H Z, HOU W J, PAN Q L, *et al.* Effects of formulated fertilization on the growth and photosynthetic physiological properties of *Machilus pauhoi* Seedlings [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 39-45. (in Chinese)
- [52] 刘鹏, 杨玉爱. 硼钼胁迫对大豆叶片硝酸还原酶与硝态氮的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2000, 26(2): 151-154.
- [53] 杨暹, 陈晓燕. 硼钼营养对青花菜花球产量及活性氧代谢的影响[J]. 园艺学报, 2000, 27(2): 112-116.
- [54] ZEWAİL R, EL-GMAL I, KHAITOV B, *et al.* Micronutrients through foliar application enhance growth, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) [J]. Journal of Plant Nutrition, 2020, 43(15): 2275-2285.
- [55] GRZEBISZ W, LUKOWIAK R, BIBER M, *et al.* Effect of multi-micronutrient fertilizers applied to foliage on nutritional status of winter oilseed rape and development of yield forming elements [J]. Journal of Elementology, 2010, 15(3): 477-491.

(上接第 99 页)

- [37] SUGGITT A J, WILSON R J, ISAAC N, *et al.* Extinction risk from climate change is reduced by microclimatic buffering [J]. Nature Climate Change, 2018, 8(8): 713-717.
- [38] TANG C Q, MATSUI T, OHASHI H, *et al.* Identifying long-term stable refugia for relict plant species in East Asia [J]. Nature Communications, 2018, 9(4488): 1-14.
- [39] 李新周, 刘晓东. 未来全球气候变暖情景下华东地区极端降水变化的数值模拟研究[J]. 热带气象学报, 2012, 28(3): 379-391.
- LI X Z, LIU X D. Numerical simulations of extreme precipitation in eastern china under A1B scenario [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2012, 28(3): 379-391. (in Chinese)
- [40] YIN Q Y, CHEN S F, GUO W, *et al.* Pronounced genetic differentiation in *Fokienia hodginsii* revealed by simple sequence repeat markers [J]. Ecology and Evolution, 2018, 8: 22.
- [41] DOUGLAS J. Evolution [M]. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 2013.
- [42] NIU Y L, BHATT A, PENG Y S, *et al.* Genetic diversity and population structure analysis of *Emmenopteryx henryi* Oliv. an endangered relic species endemic to China [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2020(9): 1-14.