

# 叶面喷施中微肥对文冠果的影响

麻周德<sup>1</sup>, 张焕朝<sup>1\*</sup>, 曹福亮<sup>1</sup>, 乔禹凡<sup>1</sup>, 李守科<sup>2</sup>, 赵祥树<sup>2</sup>

(1.南京林业大学林学院, 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037;  
2.山东沃奇农业开发有限公司, 山东 潍坊 262100)

**摘要:**【目的】研究叶面喷施中量和微量元素肥料对文冠果生长、产量和品质的影响,以筛选最适文冠果的中微量元素肥料。【方法】利用大田试验,以4年生文冠果为试验材料,在土壤施肥的基础上叶面喷施中微量元素肥料,设置硼(B)、铁(Fe)、锌(Zn)、钼(Mo)和硅(Si)等5种施肥处理,喷施质量浓度分别为150、65、300、10、210 mg/L,以叶面喷施清水为对照(CK),共6个处理,叶面喷施共进行3次。测定叶面肥施用前后文冠果的树高、地径、冠幅、叶绿素含量等生长和生理指标,果实成熟后测定果径、单株结果数、单果籽粒数、千粒质量、种子出仁率、百叶干质量等产量和品质指标。基于测定的各项指标,使用主成分分析法对施肥效果进行评价,进而分析不同中微肥对文冠果的影响。【结果】中微量元素对文冠果的生长主要体现在:对树体生长、百叶干质量和叶绿素含量、果实产量和品质的影响,且不同元素具有不同的影响。在树体生长方面,Zn肥显著提高了文冠果的树高和冠幅,增长量分别为25.53、22.33 cm,是CK处理的1.40和1.46倍,Si肥显著提高了树高、地径和冠幅,分别增长了22.60 cm、7.66 mm、21.17 cm,是CK处理的1.24、1.36和1.38倍( $P < 0.05$ );在百叶干质量和叶绿素含量方面,Mo肥提高了文冠果的百叶干质量,Mo肥和B肥增加了叶绿素含量;在产量和品质方面,Zn肥显著增大了文冠果的果径,显著提高了单株结果数、单果籽粒数、千粒质量和种子出仁率( $P < 0.05$ ),分别为CK处理的1.33、1.19、1.22、1.29和1.16倍。其他中微量元素对文冠果生长、产量和品质也表现出一定的促进和提升效果。各施肥处理的主成分得分表明,Zn肥的效果最好,其次分别为Si、Fe、B、Mo肥及CK处理。【结论】适宜的中微量元素能有效促进文冠果的树体生长,增强其叶片生理功能,提升种子的产量与品质。

**关键词:**文冠果;中微肥;产量;品质;叶面喷施

中图分类号:S718

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2006(2023)02-0095-06



## Effects of foliar spraying of medium and trace element fertilizers on *Xanthoceras sorbifolium*

MA Zhoude<sup>1</sup>, ZHANG Huanchao<sup>1\*</sup>, CAO Fuliang<sup>1</sup>, QIAO Yufan<sup>1</sup>, LI Shouke<sup>2</sup>, ZHAO Xiangshu<sup>2</sup>

(1.Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2.Worth Agricultural Development Co. Ltd., Weifang 262100, China)

**Abstract:** 【Objective】The effects of foliar spraying of medium and trace element fertilizers on the growth, fruit yield and quality of *Xanthoceras sorbifolium* were studied in order to screen the most suitable medium and trace element fertilizers for *X. sorbifolium*. 【Method】Based on the field experiment and the 4-year-old *X. sorbifolium* as the experimental material, the foliar surface was sprayed with medium and trace element fertilizer on the basis of soil fertilization and five fertilization treatments, including boron (B), iron (Fe), zinc (Zn), molybdenum (Mo) and silicon (Si) were set; the spraying mass concentrations were 150, 65, 300, 10 and 210 mg/L, respectively. With foliar spraying of the same amount of clear water as the control (CK), there were six treatments in total. Foliar spraying was carried out three times. Growth and physiological indices such as tree height growth, ground diameter growth, crown width growth and chlorophyll content of *X. sorbifolium* before and after leaf fertilizer application were measured. After the fruit matured,

收稿日期 Received: 2022-01-12

修回日期 Accepted: 2022-05-06

基金项目: 山东沃奇科技项目。

第一作者: 麻周德(mazhoude@foxmail.com)。\*通信作者: 张焕朝(hezhang@njfu.edu.cn), 教授。

引文格式: 麻周德, 张焕朝, 曹福亮, 等. 叶面喷施中微肥对文冠果的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(2): 95-100. MA Z D, ZHANG H C, CAO F L, et al. Effects of foliar spraying of medium and trace element fertilizers on *Xanthoceras sorbifolium*[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, 47(2): 95-100. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202201021.

fruit yield and quality indices such as fruit diameter, number of fruits per plant, number of seeds per fruit, 1 000 seeds mass, seed kernel yield and 100 leaves dry matter mass were measured. Based on the measured indices, the fertilization effect was evaluated by a principal component analysis, and then the effects of different medium and trace element fertilizers on *X. sorbifolium* were analyzed. 【Result】The effects of medium and trace elements on the growth of *X. sorbifolium* are mainly reflected in the following aspects: tree growth, 100 leaves dry matter mass, chlorophyll content, fruit yield, and quality; different elements have different effects. In terms of tree growth, Zn fertilizer significantly increased the tree height and crown width growth of *X. sorbifolium*, with an increases of 25.53 and 22.33 cm, respectively (1.40 and 1.46 times that of CK treatment); Si fertilizer significantly increased the tree height, ground diameter and crown width growth, with increases of 22.60 cm, 7.66 mm and 21.17 cm, respectively (1.24, 1.36 and 1.38 times that of CK treatment;  $P<0.05$ ). Mo fertilizer increased 100 leaves dry matter mass of *X. sorbifolium*, while Mo fertilizer and B fertilizer increased the chlorophyll content. Zn fertilizer significantly increased the fruit diameter of *X. sorbifolium*, the fruit yield per plant, the number of seeds per fruit, 1 000 seeds mass, and seed kernel yield, which were 1.33, 1.19, 1.22, 1.29 and 1.16 times higher than those of CK treatment, respectively. Other medium and trace elements also showed certain promotional and improvement effects on tree growth, fruit yield and quality of *X. sorbifolium*. The principal component score of each fertilization treatment showed that the effect of Zn fertilizer was the best, followed by Si, Fe, B, Mo fertilizer and CK treatment. 【Conclusion】Appropriate medium and trace element fertilizers can effectively promote the tree growth of *X. sorbifolium*, enhance its physiological function on leaves, and improve the yield and quality of seeds.

**Keywords:** *Xanthoceras sorbifolium*; medium and trace element fertilizers; yield; quality; foliar spray

文冠果 (*Xanthoceras sorbifolium*) 分布于我国北部和东北部地区<sup>[1]</sup>, 为无患子科文冠果属落叶灌木或小乔木, 其果壳活性炭具有吸附重金属的能力<sup>[2]</sup>, 种子含油丰富, 不但是健康食用油的原料<sup>[3]</sup>, 还可制备生物柴油<sup>[4]</sup>, 是我国北方很有发展前途的木本油料植物。近年来已大量栽培, 但因其产量较低限制了产业化发展。

中量元素硅(Si)、微量元素锌(Zn)、硼(B)、钼(Mo)、铁(Fe)是植物正常生长所必需的营养物质, 虽然需求量较少, 但每一种中微量元素都有其重要的生物学功能<sup>[5-6]</sup>。与传统的土壤施肥方式相比, 在塔罗科血橙(*Citrus sinensis*)、太子参(*Pseudostellaria heterophylla*)和黄瓜(*Cucumis sativus*)的研究中发现<sup>[7-9]</sup>, 合理施用中微量元素叶面肥可以促进作物生长, 增强作物抗逆性和抗病虫害能力, 提高产量和品质等。目前, 许多植物的叶面肥施用技术研究已有相关报道, 但是文冠果叶面肥的研究仍然较少。因此, 本研究选择多年生文冠果, 在土壤施肥基础上喷施不同中微量元素叶面肥, 探讨中微肥对文冠果树体生长、果实产量与品质的影响, 为文冠果的产业发展及文冠果专用肥的研制提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验地位于山东省中部潍坊市安丘民大文冠果产业研究中心(119°19'48"E, 36°23'04"N), 属于

温带季风型半湿润性气候, 春季雨水较少, 风大, 易发生春旱; 年均气温 12.3 ℃, 年均降水量 650 mm。表层(0~20 cm)土壤 pH 为 6.54, 土壤有机质含量为 22.25 g/kg, 全氮含量为 1.06 g/kg, 有效磷含量为 62.65 mg/kg, 速效钾含量为 81.83 mg/kg; 表下层(≥20~40 cm)耕层土壤 pH 为 6.43, 土壤有机质含量为 17.98 g/kg, 全氮含量为 0.75 g/kg, 有效磷含量为 47.49 mg/kg, 速效钾含量为 67.55 mg/kg。在土壤微量元素含量方面, 土壤有效锌含量为 0.79 mg/kg, 有效硼含量为 0.62 mg/kg, 有效铁含量为 15.42 mg/kg, 有效钼含量为 0.86 mg/kg, 土壤呈现轻微的缺锌、缺硼、缺钼现象。

### 1.2 试验材料

供试材料为山东沃奇乡村振兴产业发展有限公司培育的品种‘冠硕’4年实生苗, 苗圃株行距为 1.5 m×1.5 m。该试验地采取常规育苗方式经营管理, 且近 2 年内未施入任何肥料。

中微量元素叶面肥分别为硼(B)、铁(Fe)、锌(Zn)、钼(Mo)、硅(Si)肥, 均为单一元素水溶肥料, 由山东神农氏生物技术有限公司生产。根据水溶肥料使用说明将 B、Fe、Zn、Mo、Si 肥原液稀释 1 000 倍后的喷施质量浓度分别为 150、65、300、10、210 mg/L。供试用基肥为三元复合肥(有效成分 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的质量分数分别为 17%、17%、17%)和尿素(有效成分 H<sub>2</sub>NCONH<sub>2</sub>, 含 N 质量分数 46%)。复合肥为白色颗粒状, 由湖北诺维尔化肥有限公司生产; 尿素为白色颗粒状, 由安阳化学工

业集团有限责任公司生产。

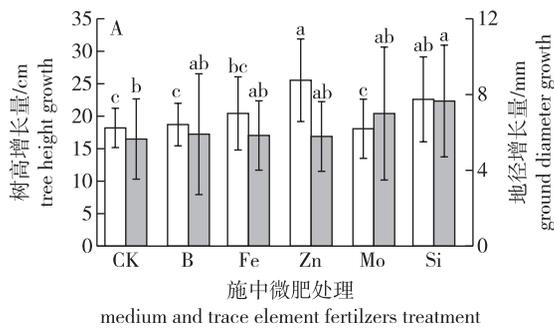
### 1.3 试验方法

于2021年3月在苗圃选定品种相同、长势良好的4年生文冠果,共6行,每行设3个小区,每个小区设6株文冠果,各小区之间设置保护行。采用单因素对照试验,共计1个对照组(CK,叶面喷施清水)和5个实验组,分别为B、Fe、Zn、Mo、Si肥处理。采用完全随机区组设计,对照组和实验组重复3次。

施肥试验于3月12日进行土壤施肥,对照组和实验组的文冠果,均施入三元复合肥235.3 g/株和尿素32.6 g/株,即每株文冠果施N 55 g、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 40 g、K<sub>2</sub>O 40 g,为前人研究的文冠果最佳土壤施肥量的50%<sup>[10]</sup>。叶面喷施环节分3次进行,分别为5月12日、5月27日、6月12日,使用1.2节中配置的肥液,实验组每次喷施量为每株500 mL,整株所有叶片正反面均匀喷施至叶片湿润且有水滴滴下,对照组每次喷施等量清水。

### 1.4 指标测定

分别于5月10日、7月18日对文冠果的树



□ 树高 tree height; ■ 地径 ground diameter; ▨ 冠幅 crown width; ▩ 叶绿素值 chlorophyll value.

不同小写字母表示不同处理间各指标增长量差异显著( $P < 0.05$ )。Different lowercase letters indicate that there is a significant difference in the growth of different indices among different treatments ( $P < 0.05$ ).

图1 中微肥对文冠果生长和叶绿素值的影响

Fig.1 Effects of medium and trace element fertilizers on the growth and chlorophyll value of *Xanthoceras sorbifolium*

1)对文冠果树高的影响。叶面喷施中微肥有助于促进文冠果树高的生长。由图1A可知,在5月叶面喷施中微量元素肥料后,不同的处理其树高增长量表现出一定的差异,其中施Zn肥处理的树高增长效果最好,达到25.53 cm,是CK处理的1.40倍,达到显著差异;其次为Si肥处理,树高增长22.60 cm,是CK处理的1.24倍,达到显著差异。施Fe和B肥树高分别增长20.43、18.71 cm,分别为CK处理的1.12和1.03倍。

2)对文冠果地径的影响。叶面喷施中微肥有助于促进文冠果地径生长。由图1A可知,施Si肥

高、地径、冠幅进行测量,树高为地表部分的垂直高度,地径为自地面往上5 cm处的树干直径,冠幅为树冠南北和东西方向宽度的平均值。分别于5月10日、7月15日对文冠果叶片的叶绿素含量进行测量。叶绿素含量使用便携式叶绿素仪(型号SPAD-502Plus, Konica Minolta公司)进行测定,测定结果用叶绿素值表示。每株文冠果选择上下两层的东、南、西、北4个方位共计8个点的健康叶片进行测定。于7月20日进行果实与叶片的采收与统计,叶片洗净后在105℃烘箱烘干15 min,随后在65℃烘箱烘干至质量恒定。

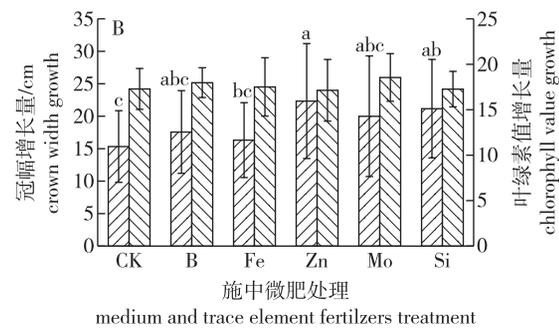
### 1.5 数据分析

使用Excel 2016和SPSS 22.0软件分析数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶面喷施中微肥对文冠果生长和叶绿素含量的影响

叶面喷施中微肥对文冠果生长和叶绿素含量的影响见图1。



处理的地径增加效果最好,达到7.66 mm,是CK处理的1.36倍,差异显著;其次为Mo肥处理,其地径增长量达7.00 mm,是CK处理的1.24倍。施B、Fe和Zn肥处理的地径增长量分别为5.91、5.84和5.79 mm,分别是CK处理的1.05、1.03和1.02倍。

3)对文冠果冠幅的影响。叶面喷施中微肥有助于促进文冠果冠幅的生长。由图1B可知,施Zn肥的冠幅增长量最大,达到22.33 cm,是CK处理的1.46倍;其次为Si肥,其冠幅增长量为21.17 cm,是CK处理的1.38倍,施Zn肥和Si肥的增长

量与CK处理达到显著差异。叶面喷施Mo、B和Fe肥后的冠幅增长量分别为20.00、17.57和16.32 cm,分别为CK处理的1.30、1.15和1.06倍,表现出一定的促进效果。

4)对文冠果叶绿素含量的影响。叶绿素值是衡量叶绿素相对含量的一个参数。由图1B可知,喷施叶面中微肥后叶绿素值增长量从大到小分别为Mo肥、B肥、Fe肥、CK处理、Si肥、Zn肥处理,虽然各处理间未达到显著性差异,但是Mo肥和B肥处理的生长量分别为CK处理的1.07和1.04倍,说明叶面喷施Mo肥和B肥可以从一定程度上增加文冠果叶片的叶绿素含量。

## 2.2 叶面喷施中微肥对文冠果产量与品质的影响

文冠果主要经济产品为文冠果油,文冠果油不仅可以作为一种健康的食用油,还可以作为生物柴油的原料。文冠果油从果实种子中的种仁提取,成熟种仁的脂肪含量可达种仁干质量的60%~70%,种子质量越大,其脂肪含量往往也越高<sup>[11]</sup>。因此果实的种子含量、千粒质量、种子出仁率在一定程度上反映果实品质。叶面喷施中微肥对文冠果产量与品质的影响见表1。

1)果实直径。喷施中微肥的各处理果实直径(果径)均大于CK处理,Zn肥处理的果径为68.81 mm,是CK的1.33倍,其余处理果径从大到小排列分别为Fe、Si、B和Mo肥处理,分别为CK处理的1.09、1.09、1.07和1.03倍。除Mo肥处理外,

其他中微量元素处理均与CK处理达到显著差异。这说明中微量元素增大了文冠果果实直径。

2)单株文冠果结果数。文冠果的坐果率偏低,成熟的果实较少。除了种质因素以外,营养状况也是影响文冠果坐果率的重要因素<sup>[12]</sup>。因此要提高文冠果的坐果率,就要提供充足的营养条件。从试验结果来看,Zn肥处理的结果数为6.13个;其次为Mo肥处理,为5.20个,均提高了文冠果的单株结果数。

3)单果籽粒数。单果籽粒数与果径呈现正相关的规律,果径越大,则果实内的籽粒数也越多。Zn肥和B肥的单果籽粒数分别为CK处理的1.22、1.13倍,显著大于CK处理的单果籽粒数。

4)百叶干质量。文冠果除了产油,其叶片可以用来制作文冠果茶,是文冠果重要的林副产品之一。从试验结果来看,文冠果叶片的百叶干质量最大为5.84 g,为Mo处理结果,是CK处理的1.07倍。

5)千粒质量和种子出仁率。在本试验中,Zn肥处理的文冠果种子千粒质量是CK处理的1.29倍,这表明Zn肥具有良好的促进种子内含物积累的效果。在种子出仁率方面,Zn肥和Si肥处理的种子出仁率分别是CK处理的1.16和1.07倍,这表明中微量元素肥料具有一定的提高文冠果种子出仁率的效果。

表1 文冠果产量与品质指标

Table 1 The yield and quality index of *Xanthoceras sorbifolium*

施肥处理 fertilizers treatment	果径/mm fruit diameter	单株结果数/个 fruit yield per plant	单果籽粒数/个 number of seeds per fruit	百叶干质量/g 100 leaves dry matter mass	千粒质量/g 1 000 seeds mass	种子出仁率/% seed kernel yield
CK	51.70±1.78 c	5.13±2.97 ab	12.00±1.93 c	5.45±0.02 b	1 506.04±5.79 d	41.74 f
B	55.42±1.64 b	4.50±2.53 ab	13.53±2.42 ab	4.71±0.02 e	1 289.53±16.09 f	44.03 d
Fe	56.50±2.90 b	5.07±3.34 ab	13.07±2.05 bc	5.06±0.02 d	1 569.78±3.54 b	44.33 c
Zn	68.81±7.78 a	6.13±3.31 a	14.67±1.63 a	5.28±0.02 c	1 936.84±7.53 a	48.49 a
Mo	53.01±4.05 bc	5.20±2.62 ab	12.60±1.72 bc	5.84±0.01 a	1 368.89±5.12 e	41.97 e
Si	56.42±2.62 b	3.53±2.26 b	12.67±2.06 bc	3.80±0.02 f	1 532.42±4.50 c	44.82 b

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。Different lowercase letters in the same column indicate the significant differences among different treatments at the same index ( $P<0.05$ ).

## 2.3 生长、产量、品质的主成分分析和综合评价

### 2.3.1 生长、产量和品质指标主成分分析

对文冠果的各项指标进行测定,测定值标准化后进行主成分分析结果见表2。由表2可知,前3

个主成分特征值大于1,且累计贡献率达到69.309%,表明前3个主成分起主导作用,且能较全面地反映中微量元素施肥效果。

表 2 文冠果生长、产量和品质主成分载荷矩阵、特征值和方差贡献率

Table 2 Principal component load matrixes, eigenvalue and variance contribution rates of growth, yield and quality indexes of *X. sorbifolium*

指标 index	各主成分载荷值 load value of each principal component		
	1	2	3
$X_5$ 果径 fruit diameter	0.979	-0.117	0.004
$X_{10}$ 种子出仁率 seed kernel yield	0.971	-0.033	-0.154
$X_6$ 单果籽粒数 number of seeds per fruit	0.888	-0.136	0.029
$X_7$ 千粒质量 1 000 seeds weight	0.855	-0.162	0.038
$X_2$ 树高增长量 tree height growth	0.591	0.448	0.081
$X_1$ 地径增长量 ground diameter growth	-0.022	0.756	0.067
$X_3$ 冠幅增长量 crown width growth	0.347	0.612	0.380
$X_4$ 单株结果数 fruit yield per plant	0.141	-0.530	0.487
$X_8$ 百叶干质量 100 leaves dry matter weight	-0.145	-0.390	0.676
$X_9$ 叶绿素值增长量 chlorophyll value growth	-0.104	0.354	0.588
特征值 eigenvalue	3.942	1.766	1.223
贡献率/%contribution rate	39.422	17.661	12.226
累计贡献率/%cumulative contribution rate	39.422	57.083	69.309

### 2.3.2 主成分得分及综合评价

根据各因子载荷值除以各自因子特征值的算术平方根算出各主成分的函数表达式( $Z$ 、 $Y$ 分别为主成分分析的  $Z$ -score 标准化参数及终得分值):

$$Y_1 = -0.011 Z X_1 + 0.298 Z X_2 + 0.175 Z X_3 + 0.071 Z X_4 + 0.493 Z X_5 + 0.447 Z X_6 + 0.431 Z X_7 - 0.073 Z X_8 - 0.052 Z X_9 + 0.489 Z X_{10};$$

$$Y_2 = 0.569 Z X_1 + 0.337 Z X_2 + 0.461 Z X_3 - 0.399 Z X_4 - 0.088 Z X_5 - 0.102 Z X_6 - 0.122 Z X_7 - 0.293 Z X_8 + 0.266 Z X_9 - 0.025 Z X_{10};$$

$$Y_3 = 0.061 Z X_1 + 0.073 Z X_2 + 0.344 Z X_3 + 0.440 Z X_4 + 0.004 Z X_5 + 0.026 Z X_6 + 0.034 Z X_7 + 0.611 Z X_8 + 0.532 Z X_9 - 0.139 Z X_{10}.$$

主成分分析综合得分:  $Y = 0.569 Y_1 + 0.255 Y_2 + 0.176 Y_3$ 。

根据以上公式计算出各施肥处理的主成分得分(表 3),分值越高说明施肥效果越好。在本试验中,Zn、Si、Fe 和 B 肥处理的施肥效果均比较好,其中 Zn 肥处理的  $Y_1$  得分为最高,这是因为 Zn 肥不仅提高了文冠果的果径和单果籽粒数,而且提高了文冠果的单株结果数、千粒质量和出仁率,通过综合的促进效果从而达到最佳的增产效果;Si 肥处理的  $Y_2$  得分为最高,叶面喷施 Si 肥可以促进文冠果的树体生长;Fe 处理则是比较均衡,既可以促进文冠果的树体生长,又可以提高文冠果的产量。Mo 肥处理的主成分得分虽然排名第 5,但是其  $Y_3$

得分为所有处理中最高,说明 Mo 肥在单株结果数、叶绿素含量和百叶干质量方面的提升效果最佳。

表 3 各施肥处理的主成分得分

Table 3 Principal component scores of each fertilization treatment

施肥处理 fertilizers treatment	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y$	排名 ranking
CK	-1.851	-0.494	0.264	-1.133	6
B	-0.577	0.089	-0.403	-0.377	4
Fe	-0.024	-0.317	-0.102	-0.112	3
Zn	3.952	-0.591	0.391	2.167	1
Mo	-1.657	-0.002	1.123	-0.745	5
Si	0.116	1.296	-1.306	0.167	2

## 3 讨论

供植物生长的中微量元素有很多,根据土壤自身营养状况以及植物需要程度的不同,发挥的效果各不相同<sup>[13-14]</sup>。本研究中,土壤呈现轻微的缺 Zn、B、Mo 现象,Zn 肥具有良好的肥效,可能是因为叶面喷施 Zn 肥满足了果实生长发育对 Zn 肥的需要。谢若瀚<sup>[15]</sup>研究发现,果树在生殖发育期的高代谢活性和快速发育导致对 Zn 养分的需求很大,容易发生短暂的缺 Zn 现象,而且果实优先从邻近的叶片获取 Zn 养分,本研究中叶面喷施 Zn 肥提高了文冠果的产量、改善了果实品质。本试验中 Si 肥对文冠果的树高、地径、冠幅的增长有明显的促进作用。有研究发现,施用 Si 肥有利于植物的干物质积累,同样促进了小麦(*Triticum aestivum*)<sup>[16]</sup>、水稻(*Oryza sativa*)<sup>[17]</sup>和玉米(*Zea mays*)<sup>[18]</sup>等作物的生长。从提高文冠果百叶干质量的角度来看,Mo 肥的效果更好,这是由于 Mo 肥是固氮酶和硝酸还原酶的组成元素,有利于蛋白质的合成,这与银杏(*Ginkgo biloba*)叶面喷施 Mo 肥的研究结果相一致<sup>[19]</sup>。研究表明,叶干质量与植物对养分的保持能力密切相关,较高的叶干质量因其养分储存效率较高而使植物抵抗环境胁迫的能力增强<sup>[20]</sup>,因此 Mo 肥可能在一定程度上增强文冠果的抗逆性。

将中微量元素肥料的施肥效果进行主成分分析可知,第 1 主成分上荷载量较大的因子较为集中地反映了文冠果的产量与品质。因此,在文冠果专用肥的研发过程中,可以将平均果径、种子出仁率、平均籽粒数和千粒质量作为重要的选优指标。本研究仅探讨了单一浓度下单一中微肥的效果,今后不仅需要增加不同的喷施浓度,还要进行多种元素

配施的试验,从而得出中微肥与文冠果产量、品质等指标的实际规律。

#### 参考文献(reference):

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志 第三十七卷 [M].北京:科学出版社,1985:72. Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae Edita. Flora reipublicae popularis sinicae-Volume 37 [M]. Beijing: Science Press, 1985:72.
- [2] ZHANG X T, HAO Y N, WANG X M, et al. Adsorption of iron (III), cobalt(II), and nickel(II) on activated carbon derived from *Xanthoceras sorbifolia* Bunge hull; mechanisms, kinetics and influencing parameters [J]. Water Sci Technol, 2017, 75(7/8): 1849-1861. DOI: 10.2166/wst.2017.067.
- [3] RONG W W, HAN K F, ZHAO Z H, et al. The protective effect of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge husks on cognitive disorder based on metabolomics and gut microbiota analysis [J]. J Ethnopharmacol, 2021, 279: 113094. DOI: 10.1016/j.jep.2020.113094.
- [4] SHEN Z, ZHANG K Q, AO Y, et al. Evaluation of biodiesel from *Xanthoceras sorbifolia* Bunge seed kernel oil from 13 areas in China [J]. J For Res, 2019, 30(3): 869-877. DOI: 10.1007/s11676-018-0683-9.
- [5] 张舒玄, 聂欣, 杜鹏, 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. ZHANG S X, NIE X, DU J, et al. Effects of different trace element fertilizers on strawberry seedling growth [J]. Soils, 2017, 49(2): 261-267. DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2017.02.008.
- [6] 樊保宁, 游建华, 陈引芝. 中量元素肥料在甘蔗上的肥效研究综述 [J]. 现代农业科技, 2008(11): 253-254. FAN B N, YOU J H, CHEN Y Z. Review on the effect of medium element fertilizer on sugarcane [J]. Mod Agric Sci Technol, 2008(11): 253-254. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5739.2008.11.166.
- [7] 王武, 尹旭敏, 胡佳羽, 等. 喷施叶面肥对塔罗科血橙果实内在品质的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012, 34(12): 27-33. WANG W, YIN X M, HU J Y, et al. Effects of foliar fertilizer application on the interior quality of tarocco blood orange [J]. J Southwest Univ (Nat Sci Ed), 2012, 34(12): 27-33. DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2012.12.025.
- [8] 袁婷婷, 路远峰, 谢寅峰, 等. 硼铜微肥配施对太子参光合特性的影响 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2021, 45(4): 130-136. YUAN T T, LU Y F, XIE Y F, et al. Effects of combined application of boron-molybdenum-copper microfertilizers on photosynthetic characteristics of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 2021, 45(4): 130-136. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202003024.
- [9] 王苗苗, 卞兰春, 徐瑞深, 等. 黄瓜叶面喷施硅肥对果实糖分和维生素C积累及相关酶的影响 [J]. 园艺学报, 2018, 45(2): 351-358. WANG M M, NIE L C, XU R S, et al. Effects of foliar application of silicon on accumulation of sugar and vitamin C and related enzymes in cucumber fruits [J]. Acta Horti Sin, 2018, 45(2): 351-358. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2017-0395.
- [10] 魏典典, 张刚, 刘淑明. 配方施肥对文冠果光合作用的影响 [J]. 西北林学院学报, 2014, 29(3): 27-31. WEI D D, ZHANG G, LIU S M. Effect of fertilization with formula on photosynthesis of *Xanthoceras sorbifolia* [J]. J Northwest For Univ, 2014, 29(3): 27-31. DOI: 0.3969/j.issn.1001-7461.2014.03.05.
- [11] ZHANG D Y, YAO X H, LUO M, et al. Optimization of negative pressure cavitation-microwave assisted extraction of yellow horn seed oil and its application on the biodiesel production [J]. Fuel, 2016, 166: 67-72. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.10.022.
- [12] 杨越, 孟宪武, 梅秀艳. 外源激素与配比施肥对文冠果坐果率的影响 [J]. 浙江林业科技, 2016, 36(6): 47-51. YANG Y, MENG X W, MEI X Y. Effect of exogenous hormones and different fertilizations on fruit-setting rate of *Xanthoceras sorbifolia* [J]. J Zhejiang For Sci & Tech, 2016, 36(6): 47-51. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3776.2016.06.008.
- [13] 王莉, 叶小梅, 杜静, 等. 江苏省苏翠1号梨叶养分标准值初探 [J]. 江苏农业学报, 2021, 37(5): 1278-1284. WANG L, YE X M, DU J, et al. Preliminary study on the standard value of pear leaf nutrient of Sucui No.1 pear in Jiangsu Province [J]. Jiangsu J Agr Sci, 2021, 37(5): 1278-1284. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.05.024.
- [14] 张巧凤, 周冬冬, 付必胜, 等. 播期、播种量及施氮量对宁麦资518生长发育及产量和籽粒品质的影响 [J]. 江苏农业学报, 2022, 38(5): 1220-1226. ZHANG Q F, ZHOU D D, FU B S, et al. Effects of sowing date, sowing rate and nitrogen application rate on growth and development, yield and grain quality of Ningmaizi 518 [J]. Jiangsu J Agr Sci, 2022, 38(5): 1220-1226. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.05.008.
- [15] 谢若瀚. 果树地上部锌营养的利用特征与稳态机制研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2020. XIE R H. Homeostasis and utilization strategy of zinc in the shoot of fruit trees [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020. DOI: 10.27461/d.cnki.gzjdx.2020.004052.
- [16] 丁燕芳, 梁永超, 朱佳, 等. 硅对干旱胁迫下小麦幼苗生长及光合参数的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 471-478. DING Y F, LIANG Y C, ZHU J, et al. Effects of silicon on plant growth, photosynthetic parameters and soluble sugar content in leaves of wheat under drought stress [J]. Plant Nutr Fertil Sci, 2007, 13(3): 471-478. DOI: 10.11674/zwyf.2007.0319.
- [17] 徐奕, 李剑睿, 黄青青, 等. 坡缕石钝化与喷施叶面硅肥联合对水稻吸收累积镉效应影响研究 [J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(9): 1633-1641. XU Y, LI J R, HUANG Q Q, et al. Effect of palygorskite immobilization combined with foliar silicon fertilizer application on Cd accumulation in rice [J]. J Agro Environ Sci, 2016, 35(9): 1633-1641. DOI: 10.11654/jaes.2016-0838.
- [18] 张嘉莉, 朱从桦, 豆攀, 等. 硅、磷配施对玉米苗期生长及氮磷钾积累的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(5): 677-688. ZHANG J L, ZHU C H, DOU P, et al. Effect of phosphorus and silicon application on the uptake and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium by maize seedlings [J]. Chin J Eco-Agric, 2017, 25(5): 677-688. DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170222.
- [19] 郁万文, 曹福亮, 吴广亮. 镁、锌、钼配施对银杏苗木生物量和药用品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 981-989. YU W W, CAO F L, WU G L. Effects of combining application of Mg, Zn and Mo fertilizers on leaf biomass and medicinal quality of *Ginkgo* seedlings [J]. Plant Nutr Fertil Sci, 2012, 18(4): 981-989. DOI: 10.11674/zwyf.2012.11385.
- [20] 杜晋城, 李欣欣, 邓小兵, 等. 9个油橄榄品种叶片功能性状特征比较 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2021, 45(2): 159-164. DU J C, LI X X, DENG X B, et al. Comparisons of leaf functional characteristics of nine olive varieties [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 2021, 45(2): 159-164. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202006011.

(责任编辑 王国栋)