

## 铜、锰、锌对麦冬光合特性和矿质元素的影响

余史丹, 邱佳妹, 王康才\*, 李雨晴, 李柯妮, 李 丽

(南京农业大学园艺学院, 南京 210095)

**摘 要:** 研究不同浓度  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  处理对川麦冬光合特性的影响, 以及 Cu、Mn、Zn 各元素在川麦冬植株体内累积分布规律, 以期为麦冬营养调控提供技术依据。采用盆栽试验, 在改良 Hoagland 基本营养液的基础上, 设置不同浓度水平的  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  处理, 测定麦冬光合生理指标, 采用电感耦合等离子体发射光谱法测定各元素在麦冬地上部分及地下部分的分布情况。结果显示,  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  对麦冬光合特性和矿质元素在麦冬植株体内的分布有一定程度的影响。其中, 每盆  $\text{Cu}^{2+}$  0.25 mg、 $\text{Mn}^{2+}$  5 mg 和  $\text{Zn}^{2+}$  1 mg 的处理对麦冬光合色素含量及光合速率提高最显著;  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  处理能提高麦冬植株中铜和锌累积量, 而施  $\text{Zn}^{2+}$  时, 麦冬植株中锰和锌累积量大幅度增加, 这可能与植物体内铜锰锌互作效应有关。不同浓度  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  处理对麦冬叶片及地下根系的锌铜比有提高作用, 以每盆 1 mg  $\text{Cu}^{2+}$ 、10 mg  $\text{Mn}^{2+}$  和 1 mg  $\text{Zn}^{2+}$  处理为最好。

**关键词:** 麦冬; 微量元素; 光合特性; 矿质元素

中图分类号: S567.232

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)01-0143-05

### Effects of $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , and $\text{Zn}^{2+}$ on photosynthetic characteristics and mineral elements of *Ophiopogon japonicus*

YU Shidan, QIU Jiamei, WANG Kangcai, LI Yuqing, LI Keni, LI Li

(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

**Abstract:** In order to provide a theoretical basis for nutritional regulation, effects of copper ( $\text{Cu}^{2+}$ ), manganese ( $\text{Mn}^{2+}$ ), and zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ) on photosynthetic physiology and their distribution in *Ophiopogon japonicus* were investigated in this study. A pot culture experiment was set up in which different concentrations of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  in the improved Hoagland nutrient solution were applied. The photosynthetic indexes and the distribution of Cu, Mn and Zn in both aboveground and underground parts of *Ophiopogon japonicus* were determined using ICP-AES. The results showed that all treatments affected the photosynthetic characteristics and element distribution in *Ophiopogon japonicus*. The chlorophyll content and photosynthetic rate significantly increased in the treatment of 0.25 mg  $\text{Cu}^{2+}$ , 5 mg  $\text{Mn}^{2+}$  and 1 mg  $\text{Zn}^{2+}$ . The  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Mn}^{2+}$  treatments improved the accumulation of Cu and Zn in the plant, while  $\text{Zn}^{2+}$  treatment significantly increased the accumulation of Mn and Zn. This phenomenon may be caused by the interactive effect of Cu, Mn, and Zn in the plant. Treatments with different levels of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$  enhanced the ratio of Zn to Cu in both aboveground and underground parts of *Ophiopogon japonicus* and the treatment with 1 mg  $\text{Cu}^{2+}$ , 10 mg  $\text{Mn}^{2+}$ , and 1 mg  $\text{Zn}^{2+}$  were the best.

**Key words:** *Ophiopogon japonicus*; trace elements; photosynthetic characteristics; mineral element

麦冬(*Ophiopogon japonicus* (L.f.) Ker-Gawl) 为百合科沿阶草属多年生常绿草本植物, 又名沿阶草、书带草、麦门冬, 为传统大宗中药材品种之一, 以块根供药用, 具有养阴生津、润肺清心等功效, 主治肺燥干咳, 津伤口渴等症。麦冬在我国大部分

地区均有野生分布, 近年来亦常做园林绿化植物被使用。传统药用麦冬产区主要分布在浙江、江苏及四川等地。许多研究表明, 微量元素影响药用植物的生长和药材质量, 如锌、硼、钼肥的配施能明显提高白芨的产量和品质<sup>[1]</sup>; 罗意等<sup>[2]</sup>的研究表

收稿日期: 2014-06-23

基金项目: 江苏省镇江市农业项目 (R0201100292) 资助。

作者简介: 余史丹, 硕士研究生。E-mail: 14411215@njau.edu.cn

\* 通信作者: 王康才, 教授。E-mail: wangkc@njau.edu.cn

明, 锌、硼、铁、锰的配施使附子产量高、品质佳。但是, 根据我国土壤普查结果, 许多地区存在土壤微量元素缺乏现象, 如新疆土壤缺锌面积占 76.3%, 缺锰面积占 60.7%, 缺铁面积占 6.5%<sup>[3]</sup>, 北方省份如内蒙、河南和宁夏土壤有效铜缺乏严重, 而青海的土壤其有效锰含量低于临界值 66.5%<sup>[4]</sup>。近年来, 为了提高栽培麦冬的产量与品质, 麦冬主产区药农也逐渐重视微肥的施用, 但由于麦冬微量元素的研究主要集中在不同基源、产地麦冬中微量元素含量比较方面<sup>[5-8]</sup>, 而微量元素对麦冬品质影响的研究未见报道, 缺乏一定研究基础, 微肥施用存在盲目性。为此, 本研究以麦冬为材料, 探讨不同水平下铜、锰、锌 3 种元素对麦冬光合特性和矿质元素的影响, 以期得到麦冬生产中各微量元素的最适施用浓度。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

麦冬种苗引自四川省三台县, 经南京农业大学王康才教授鉴定为百合科沿阶草属植物麦冬 *Ophiopogon japonicus* (L.f.) Ker-Gawl. 2013 年 3 月栽培于 29 cm×26 cm 规格塑胶盆中, 栽培基质为: 蛭石: 珍珠岩=5:1, 每盆种 10 株, 栽种深度 5 cm, 栽种后置于南京农业大学园艺学院日光温室内, 生长期每隔 10 d 浇改良 Hoagland 基本营养液<sup>[9]</sup>500 mL (大量元素采用霍格兰营养液配方, 微量元素采用阿农营养液配方, 基本营养液 pH 6.0), 所用试剂均为分析纯 (AR)。

### 1.2 试验设计

于 8 月下旬麦冬恢复生长后开始试验处理, 在改良 Hoagland 基本营养液的基础上, 采用 Cu<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>和 Zn<sup>2+</sup>单因素 3 个水平的设计处理, 其中 Cu<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>和 Zn<sup>2+</sup>分别由 CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O、MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O、ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 提供, 各处理设计见表 1。以浇基本营养液的麦冬为对照组 (CK), 每个处理组 8 盆, 10 月下旬开始各指标测定。

表 1 试验中各处理每盆施用 Cu<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>和 Zn<sup>2+</sup>的设计  
Table 1 Design of applying Cu<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> to each pot

因素 Factor	处理水平/mg Treatment level		
	1	2	3
Cu <sup>2+</sup>	0.25 (Cu-1)	0.5 (Cu-2)	1.0 (Cu-3)
Mn <sup>2+</sup>	2.5 (Mn-1)	5.0 (Mn-2)	10.0 (Mn-3)
Zn <sup>2+</sup>	0.5 (Zn-1)	1.0 (Zn-2)	2.0 (Zn-3)

### 1.3 测定方法

#### 1.3.1 光合色素含量的测定 叶绿素、类胡萝卜素

含量采用李合生的方法测定<sup>[9]</sup>。

**1.3.2 光合参数测定** 使用美国 Li-COR 公司的 Li-6400 便携式光合仪, 于麦冬生长旺盛期 (10 月 24 日 9:00-11:00) 在自然条件下进行光合参数的测定。净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、气孔导度 ( $Cond$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 含量 ( $C_i$ ) 等参数由仪器直接测得, 选择开放式气路, 红蓝光源, 叶室光合有效辐射为 800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 样品室内气流速率为 500  $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ , 参比室 CO<sub>2</sub> 浓度为 380~410  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 叶片温度 ( $T_{leaf}$ ) 为 30~32℃, 样品室相对湿度 ( $RHS$ ) 为 25%~40%。测定时均选择生长良好、大小基本一致的健康植株各 3 株, 每株选择由内向外数第 2~4 片大小基本一致、长势旺盛的小叶, 并对叶片中部进行测定。每次测定均选取固定标记的叶片, 每次 3 个重复, 每重复记录 5 个观测值, 取其平均值作为该处理测定值。

**1.3.3 元素含量测定** 每个处理取样 10 株, 所取样品分成根系和叶 2 部分, 105℃ 杀青 10 min 后再 70℃ 恒温烘干, 用小型植物粉碎机分别粉碎, 过 80 目筛。用电感耦合等离子发射光谱法 (ICP-AES 法)<sup>[10]</sup>测定 Cu、Mn 和 Zn 3 种元素的含量。

**1.3.4 数据处理** 采用 Excel 2003 和 SPSS13.0 软件对数据进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度 Cu<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>和 Zn<sup>2+</sup>处理对麦冬光合色素含量的影响

实验结果显示 (见表 2), 低浓度的铜水平 Cu-1 处理对麦冬叶绿素 a、b、a+b 和类胡萝卜素有促进作用, 随着铜浓度的升高, 叶片中的叶绿素和类胡萝卜素的合成受到抑制, 含量均呈下降趋势, Cu-3 处理下叶绿素 a、b、a+b 及类胡萝卜素的含量与对照组差异显著, 仅为对照的 79.31%, 78.69%, 78.74% 和 91.30%。

锰是形成叶绿素和维持叶绿素正常结构的必需元素。3 个水平的锰处理与 CK 差异不显著, 但 Mn-2 水平时叶绿素 a、b 含量均为最高, 而超过此浓度后叶绿素含量开始下降, 说明适量的锰在一定程度上对麦冬叶绿素含量有促进作用。

锌是叶绿素的重要组成成分, 刘晓海<sup>[5]</sup>等通过研究后发现, 低浓度锌对藻类的叶绿素 a 含量有促进作用, 而较高浓度锌则对藻类叶绿素 a 含量有降低作用。由表 2 可以看出, 不同浓度的锌处理下叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b、类胡萝卜素均呈现先增高后降低的趋势, 且 Zn-2 水平时最高, 并与

CK 水平差异显著, 其中, 叶绿素 a 含量提高了 14.48%, 叶绿素 b 含量提高了 26.23%, 类胡萝卜素含量提高了 17.39%。

表 2 不同处理对麦冬光合色素含量的影响

Table 2 Effects of photosynthetic pigments in fresh leaves of *O. japonicus* under different treatments

处理 Treatment	叶绿素 Chlorophyll (FW)			类胡萝卜素 Car
	叶绿素 a <i>Chla</i>	叶绿素 b <i>Chlb</i>	叶绿素 a+b <i>Chl(a+b)</i>	
Cu-1	1.63±0.13 <sup>ab</sup>	0.69±0.06 <sup>ab</sup>	2.32±0.19 <sup>ab</sup>	0.27±0.02 <sup>a</sup>
Cu-2	1.28±0.03 <sup>ef</sup>	0.52±0.02 <sup>de</sup>	1.80±0.05 <sup>ef</sup>	0.22±0.01 <sup>bcd</sup>
Cu-3	1.15±0.06 <sup>f</sup>	0.48±0.01 <sup>e</sup>	1.63±0.06 <sup>f</sup>	0.21±0.01 <sup>d</sup>
Mn-1	1.45±0.04 <sup>bcd</sup>	0.59±0.03 <sup>cd</sup>	2.03±0.07 <sup>cde</sup>	0.26±0.03 <sup>ab</sup>
Mn-2	1.54±0.02 <sup>abc</sup>	0.64±0.01 <sup>bc</sup>	2.17±0.04 <sup>abc</sup>	0.23±0.01 <sup>bcd</sup>
Mn-3	1.42±0.01 <sup>cde</sup>	0.58±0.01 <sup>cd</sup>	2.00±0.01 <sup>cde</sup>	0.26±0.01 <sup>abc</sup>
Zn-1	1.34±0.17 <sup>de</sup>	0.55±0.10 <sup>cde</sup>	1.89±0.26 <sup>de</sup>	0.22±0.01 <sup>cd</sup>
Zn-2	1.66±0.15 <sup>a</sup>	0.77±0.05 <sup>a</sup>	2.42±0.19 <sup>a</sup>	0.27±0.03 <sup>a</sup>
Zn-3	1.48±0.08 <sup>abcd</sup>	0.61±0.01 <sup>cd</sup>	2.09±0.09 <sup>bcd</sup>	0.26±0.01 <sup>abc</sup>
CK	1.45±0.07 <sup>bcd</sup>	0.61±0.11 <sup>cd</sup>	2.07±0.29 <sup>cde</sup>	0.23±0.02 <sup>bcd</sup>

注: 数据后标不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: different letters after date mean significant difference ( $P<0.05$ ). The same below.

表 3 不同处理对麦冬光合参数的影响

Table 3 The effects of photosynthetic parameters of *O. japonicus* under different treatments

处理 Treatment	净光合速率 $P_n$ / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	气孔导度 <i>Cond</i> / $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 $C_i$ / $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	蒸腾速率 $T_r$ / $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Cu-1	7.29±0.16 <sup>b</sup>	0.0610±0.004 <sup>ab</sup>	207.0±4.7 <sup>bcd</sup>	0.91±0.034 <sup>abc</sup>
Cu-2	6.79±0.41 <sup>bc</sup>	0.0551±0.001 <sup>bc</sup>	204.0±12.7 <sup>cd</sup>	0.87±0.032 <sup>c</sup>
Cu-3	6.52±0.40 <sup>bc</sup>	0.0561±0.007 <sup>abc</sup>	211.0±12.7 <sup>bcd</sup>	0.84±0.047 <sup>c</sup>
Mn-1	6.62±0.68 <sup>bc</sup>	0.0578±0.008 <sup>abc</sup>	211.0±10.8 <sup>bcd</sup>	0.88±0.042 <sup>c</sup>
Mn-2	8.31±0.24 <sup>a</sup>	0.0642±0.002 <sup>a</sup>	188.0±11.6 <sup>d</sup>	1.00±0.011 <sup>a</sup>
Mn-3	6.48±0.32 <sup>bc</sup>	0.0627±0.004 <sup>ab</sup>	232.0±13.7 <sup>ab</sup>	0.91±0.078 <sup>abc</sup>
Zn-1	6.70±0.14 <sup>bc</sup>	0.0569±0.003 <sup>abc</sup>	213.4±7.6 <sup>bc</sup>	0.89±0.021 <sup>bc</sup>
Zn-2	8.24±0.20 <sup>a</sup>	0.0638±0.004 <sup>a</sup>	196.2±8.8 <sup>cd</sup>	0.99±0.057 <sup>ab</sup>
Zn-3	6.15±0.44 <sup>c</sup>	0.0523±0.002 <sup>c</sup>	243.3±18.8 <sup>a</sup>	0.81±0.057 <sup>c</sup>
CK	6.67±0.25 <sup>bc</sup>	0.0553±0.007 <sup>bc</sup>	215.0±9.9 <sup>bc</sup>	0.82±0.033 <sup>c</sup>

表 4 不同处理对麦冬叶片中矿质元素含量的影响

Table 4 The effects of mineral elements content in leaves of *O. japonicus* under different treatments

处理 Treatment	mg·kg <sup>-1</sup>			
	铜 Cu	锰 Mn	锌 Zn	锌/铜 Zn/Cu
Cu-1	12.43±0.18 <sup>b</sup>	12.31±1.15 <sup>d</sup>	15.89±0.69 <sup>cd</sup>	1.28
Cu-2	13.12±0.10 <sup>a</sup>	16.09±1.06 <sup>c</sup>	26.55±2.03 <sup>a</sup>	2.02
Cu-3	13.33±0.11 <sup>a</sup>	17.07±0.21 <sup>c</sup>	27.23±1.27 <sup>a</sup>	2.04
Mn-1	10.36±0.10 <sup>de</sup>	20.18±1.17 <sup>b</sup>	14.14±0.76 <sup>d</sup>	1.37
Mn-2	10.16±0.08 <sup>e</sup>	14.05±0.36 <sup>d</sup>	19.30±0.57 <sup>b</sup>	1.90
Mn-3	11.16±0.13 <sup>c</sup>	17.68±0.64 <sup>c</sup>	28.18±1.14 <sup>a</sup>	2.52
Zn-1	10.48±0.06 <sup>d</sup>	16.21±0.46 <sup>c</sup>	18.18±0.55 <sup>bc</sup>	1.73
Zn-2	10.32±0.09 <sup>de</sup>	18.19±0.89 <sup>bc</sup>	26.93±1.63 <sup>a</sup>	2.61
Zn-3	10.21±0.07 <sup>e</sup>	24.49±1.00 <sup>a</sup>	15.75±0.87 <sup>cd</sup>	1.54
CK	10.36±0.08 <sup>de</sup>	13.64±1.05 <sup>d</sup>	16.00±0.72 <sup>cd</sup>	1.55

## 2.2 不同浓度 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 和 $\text{Zn}^{2+}$ 处理对麦冬光合参数的影响

植物的光合作用强弱直接影响了植株的生长,净光合速率则是衡量植物光合作用大小的指标之一。实验结果表明(表3),不同浓度3种微量元素处理对麦冬净光合速率影响均为先升高后降低的趋势,分别在Cu-1、Mn-2和Zn-2水平时达到最高,与不同浓度3种微量元素处理下叶绿素含量变化趋势一致。

不同浓度Cu处理时,各处理光合参数与对照差异均不显著。不同浓度Mn处理时,气孔导度和

蒸腾速率与净光合速率变化趋势相似,均为先上升后下降,胞间 $\text{CO}_2$ 浓度则为先降低后升高,且4个指标均与对照呈显著性差异,可见Mn-2水平下麦冬叶片光合能力最强。不同浓度Zn处理时,Zn-2水平下麦冬叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率均为最大,与对照组差异显著,分别比对照组提高了23.53%、15.37%和20.73%,此浓度处理时,胞间 $\text{CO}_2$ 浓度为4个水平最低,但与对照无显著性差异。由此可见,Mn、Zn处理时麦冬光合作用的抑制只与非气孔因素有关,气孔因素不是限制麦冬光合能力的主要因素。

表5 不同处理对麦冬根系中矿质元素含量的影响

处理 Treatment	铜 Cu	锰 Mn	锌 Zn	锌/铜 Zn/Cu
Cu-1	35.96±0.29 <sup>a</sup>	34.49±2.08 <sup>cde</sup>	33.29±1.80 <sup>d</sup>	0.93
Cu-2	31.24±0.33 <sup>b</sup>	37.09±0.61 <sup>bcde</sup>	59.64±2.99 <sup>b</sup>	1.89
Cu-3	31.47±0.18 <sup>b</sup>	37.77±3.30 <sup>bcd</sup>	65.74±3.63 <sup>a</sup>	2.08
Mn-1	25.51±0.70 <sup>c</sup>	52.50±3.42 <sup>a</sup>	23.08±1.27 <sup>ef</sup>	0.89
Mn-2	22.97±0.64 <sup>c</sup>	32.21±2.71 <sup>e</sup>	26.62±1.78 <sup>e</sup>	1.18
Mn-3	25.39±0.73 <sup>cd</sup>	40.86±2.56 <sup>b</sup>	53.52±2.13 <sup>c</sup>	2.07
Zn-1	23.68±0.27 <sup>e</sup>	24.07±1.65 <sup>f</sup>	25.28±0.67 <sup>ef</sup>	1.08
Zn-2	22.80±0.57 <sup>e</sup>	39.07±2.17 <sup>bc</sup>	32.55±0.92 <sup>d</sup>	1.45
Zn-3	23.20±1.10 <sup>e</sup>	56.69±3.02 <sup>a</sup>	21.69±0.64 <sup>f</sup>	0.97
CK	24.05±0.31 <sup>de</sup>	33.36±3.22 <sup>de</sup>	22.64±0.78 <sup>ef</sup>	0.95

## 2.3 不同浓度 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 和 $\text{Zn}^{2+}$ 处理对麦冬矿质元素含量的影响

**2.3.1 不同浓度  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 处理对麦冬地上部分矿质元素含量的影响** 试验结果表明,3个水平铜处理对麦冬叶中铜累积量影响显著并呈递增趋势,随着铜浓度的增加变化幅度相对减小;不同浓度的铜处理对叶片中锰、锌的含量有显著性影响,Cu-2处理时,锰、锌的含量与对照相比达到差异显著。不同浓度的锰施用量对麦冬叶片中铜累积量影响不大,对锌含量有显著的提高,而对锰累积量的影响无明显规律。不同浓度的锌施用量对麦冬叶片中铜累积量无显著影响,而各处理叶片中锰累积量均高于对照且全部达到显著性水平( $P<0.05$ ),锌对叶片中锌含量呈低浓度升高、高浓度降低的双重作用,Zn-2处理时麦冬叶片中含锌量最高,比对照增加了68.31%。总体上说,除处理Cu-1、Mn-1、Zn-3外,其他处理对麦冬叶片锌铜比均有不同程度的提高,Zn-2处理增幅最大(表4)。

**2.3.2 不同浓度  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 处理对麦冬地下部分矿质元素含量的影响** 麦冬根系中铜、锰、锌3

种元素含量均明显高于地上部分。不同水平铜处理对麦冬根系中铜累积量影响显著,Cu-1水平时,麦冬根系中铜累积量最高,为对照的1.5倍;随着铜浓度的增加,根系中铜累积量开始减少,Cu-2、Cu-3水平差异不显著;不同浓度的铜处理对根系中锰含量无明显影响,但铜的施用能大幅提高麦冬根系锌的累积量,且各处理间差异显著,Cu-3处理时锌累积量比对照提高190.37%。不同浓度的锰处理对根系中铜、锰含量影响无明显规律,而根系中锌含量随外施锰水平的提高而增加,并在Mn-3水平时与对照形成显著差异。不同浓度的锌处理对根系中铜累积量无明显影响,对锰累积量有很大程度的提高,并达到显著性水平( $P<0.05$ );对根系中锌含量影响与其在叶片中规律一致,也呈现低浓度升高、高浓度降低的双重作用(表5)。

## 3 小结与讨论

麦冬为多年生药用植物,但由于光照、温度、水分、土壤等诸多生态因子的作用,导致川麦冬和浙麦冬的采收年限相差很大,川麦冬种植第2年即

可采收, 而浙麦冬则需 3~4 年。因此, 探索不同微肥对麦冬光合特性及矿质元素吸收分配的影响, 对了解麦冬生长发育规律具有重要意义。

本研究发现, 施用  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  对麦冬光合特性有一定程度的影响。其中, 每盆 0.25 mg  $\text{Cu}^{2+}$ 、5 mg  $\text{Mn}^{2+}$  和 1 mg  $\text{Zn}^{2+}$  处理对麦冬光合色素含量及光合速率提高最显著, 高浓度的  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  处理抑制光合色素含量及光合速率, 原因可能是重金属与叶绿体中蛋白质的-SH 结合或是  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等离子被取代后叶绿体的结构和功能受到破坏, 致使叶绿素分解, 光合作用减弱。

中药材质量的优劣在很大程度上取决于药材生长的土壤中化学元素种类和元素含量, 对麦冬微量元素的研究发现, 不同产地、基源的麦冬药材中 Cu、Mn 和 Zn 含量及锌铜比差异显著, 为评价麦冬药材养阴作用的重要指标<sup>[7]</sup>。本研究发现, 不同浓度  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  处理对麦冬叶片及地下根系的锌铜比有提高作用, 以每盆 1 mg  $\text{Cu}^{2+}$ 、10 mg  $\text{Mn}^{2+}$  和 1 mg  $\text{Zn}^{2+}$  处理为最好。本研究范围内, 除  $\text{Zn}^{2+}$  处理外,  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  处理均能提高麦冬植株中铜和锌累积量, 而施  $\text{Zn}^{2+}$  时, 麦冬植株中锰和锌累积量大幅度增加, 但过高的  $\text{Zn}^{2+}$  水平抑制了锌元素在麦冬植株内的累积。有类似研究表明<sup>[11]</sup>, 低浓度的  $\text{Cu}^{2+}$  促进烤烟对 Zn、Mn 的吸收, 但较高浓度的  $\text{Cu}^{2+}$  抑制 Zn、Mn 的吸收; 施  $\text{Zn}^{2+}$  促进 Cu 的吸收, 对 Mn 的作用与 Cu 相似; 施  $\text{Mn}^{2+}$  对 Cu 的吸收有促进作用, 而  $\text{Mn}^{2+}$  对 Zn 吸收的影响与 Mn 的浓度有关。此现象可能与铜锰锌间的交互作用有关, 此 3 种元素的交互作用一直广受关注<sup>[12-13]</sup>。但前人研究发现, 元素间交互作用的存在都是以特定的植物种和一定的浓度比范围为前提的<sup>[14]</sup>, 因此麦冬植株体内铜锰锌间的交互作用具体机制还需进一步研究。

总之,  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  对麦冬光合作用, 以

及其在麦冬植株体内累积分布影响显著, 也必将会影响麦冬的产量与品质, 在农业实际生产中具有一定的应用价值。

## 参考文献:

- [1] 张秀玥, 李明荣, 张启东, 等. 不同微肥施用量对白芨产量及品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(2): 31-32.
- [2] 罗意, 陈兴福, 刘莎, 等. 微肥配施对附子产量和质量的调控效应[J]. 中国中药杂志, 2011, 36(2): 102-106.
- [3] 朱和明. 新疆土壤微量元素状况及矫正其缺乏的对策[J]. 新疆农垦科技, 1992(6): 32-33.
- [4] 金继运, 何萍, 涂仕华. 我国农田土壤微量元素供应能力现状分析[J]. 中国农资, 2006(3): 70-71.
- [5] 石磊, 杨红兵. 不同产地麦冬微量元素分析比较[J]. 实用中医药杂志, 2004, 20(4): 217.
- [6] 楼启正, 徐润生. 微波高压消解 HG-ICP-AES 法测定不同品种麦冬的微量元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(6): 1218-1221.
- [7] 范文秀, 冯晨. 不同产地麦冬中锌、铜、锰、铁的比较研究[J]. 广东微量元素科学, 2006, 13(11): 56-59.
- [8] 唐建阳, 陈菁瑛, 苏海兰, 等. 不同基源和产地麦冬无机元素比较研究[J]. 福建农业学报, 2009, 24(6): 513-516.
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [10] 崔志伟, 王康才, 邱佳妹, 等. 叶面喷施氨基酸和微量元素对金银花生长发育和质量的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(3): 0523-0529.
- [11] 徐照丽, 吴玉萍, 杨宇虹, 等. 烤烟中 Cu Zn Mn 交互作用研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1162-1166.
- [12] Rimmer D L, Luo Y M. Zn-Cu interaction affecting Zn adsorption and plant availability a metal-contaminated soil[J]. Pedsophere, 1996, 6(4): 335-339.
- [13] Robson A D. Zinc in Soils and Plants[M]. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [14] 王家玉. 植物营养元素交互作用研究[J]. 土壤学进展, 1992, 20(2): 1-6.