

· 中药农业 ·

锰、钼、硼三种微量元素对黄芪生长指标、总多糖含量及生理特性的影响[△]

杨相¹, 张豆豆¹, 罗琳¹, 崔洁², 王文全^{1,2,3*}, 侯俊玲^{1,3}, 张莉¹

(1. 北京中医药大学 中药学院, 北京 100102;

2. 中国医学科学院 北京协和医学院 药用植物研究所, 北京 100193;

3. 中药材规范化生产教育部工程研究中心, 北京 100102)

[摘要] 目的: 探究锰、钼、硼三种微量元素对黄芪生长指标、总多糖含量及生理特性的影响。筛选最佳的锰、钼、硼配比及合适的营养液浓度, 为黄芪施肥过程中微量元素的施入提供一定的理论依据。方法: 本试验采用三因素三水平正交试验设计, 在保证其他营养元素用量一致的基础上, 调整锰、钼、硼三种元素的用量, 以黄芪的生长情况、总多糖含量及生理特性为评价指标。结果: 0.48 mg·L⁻¹的锰元素、0.54 mg·L⁻¹的钼元素和0.81 mg·L⁻¹的钼元素组合条件下, 更有利与促进黄芪的生长和物质积累。0.96 mg·L⁻¹的锰元素、0.54 mg·L⁻¹的钼元素和0.27 mg·L⁻¹的钼元素组合条件下, 更有利与增加黄芪总多糖的含量。0.48 mg·L⁻¹的锰元素、0.54 mg·L⁻¹的钼元素和0.27 mg·L⁻¹的钼元素组合条件下, 更有利黄芪生理指标及抗逆性的增加。结论: 锰钼硼合理配施能促进黄芪生长和多糖含量的增加, 并增加黄芪的抗逆性。以0.48 mg·L⁻¹的锰元素、0.54 mg·L⁻¹的钼元素和0.27 mg·L⁻¹的钼元素组合条件作为基肥施入, 可促进黄芪抗逆性的增加, 生长旺盛期以0.96 mg·L⁻¹的锰元素、0.54 mg·L⁻¹的钼元素和0.81 mg·L⁻¹的钼元素配比下进行叶面喷施, 更有利与促进黄芪的生长和总多糖含量的增加。

[关键词] 黄芪; 锰; 钼; 硼; 生长; 总多糖含量; 生理指标

Effects of Three Microscale Elements of Manganese, Molybdenum and Boron on Growth Index, Total Polysaccharide Content and Physiological Characteristics of *Astragalus membranaceus*

YANG Xiang¹, ZHANG Dou-dou¹, LUO lin¹, CUI Jie², WANG Wen-quan^{1,2,3*}, HOU Jun-ling^{1,3*}, ZHANG Li¹

(1. School of Chinese Pharmacy, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100102, China;

2. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences and

Peking Union Medical College, Beijing 100193, China;

3. Engineering Research Center of GAP for Chinese Crude Drugs, Ministry of Education, Beijing 100102, China)

[Abstract] **Objective:** To explore the effect of Mn, Mo and B application amount and proportion on growth index, total polysaccharide content and physiological characteristics of *Astragalus membranaceus* and provide a basis for microscale elements in the process of *A. membranaceus* fertilization. **Methods:** Three factors and three levels orthogonal test were adopted in this experiment. On the basis of ensuring the consistency of other nutrient elements, the amount of Mn, Mo and B in three elements was adjusted, and the growth index, total polysaccharide content and physiological characteristics of *A. membranaceus* were used as evaluation indexes. **Results:** Under the conditions of 0.48 mg·L⁻¹ manganese element, molybdenum element of 0.54 mg·L⁻¹ and molybdenum element of 0.81 mg·L⁻¹, the growth and substance accumulation of *A. membranaceus* were more favorable and promoted. Under the conditions of 0.96 mg·L⁻¹ manganese element, molybdenum element of 0.54 mg·L⁻¹ and molybdenum element of 0.27 mg·L⁻¹, the content of total polysaccharide of *A. membranaceus* were more favorable and increased. Under the condition of combination of 0.48 mg·L⁻¹ manganese element, molybdenum element of 0.54 mg·L⁻¹ and molybdenum element of 0.27 mg·L⁻¹, the physiological index and stress resistance of *A. membranaceus* are more favorable. **Conclusion:** The reasonable application of manganese, molybdenum and boron can promote the growth of *A. membranaceus*.

[△] [基金项目] 柴胡等9种中药饮片标准化建设(ZYBZH-Y-JIN-34)

* [通信作者] 王文全, 教授, 研究方向: 中药材规范化生产; Tel: (010)84738623, E-mail: wwq57@126.com

and increase polysaccharide content, and the stress resistance of *A. membranaceus*. The molybdenum molybdenum manganese, combination of $0.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ $0.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.27 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ as basic fertilizer, can increase the resistance of *A. membranaceus*. At the vigorous growth period, molybdenum and manganese can promote the growth of *A. membranaceus* and total the content of polysaccharide.

[**Keywords**] *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*; manganese, molybdenum, boron; growth; total polysaccharide content; physiological indicators

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20170915003

黄芪为常用大宗药材,来源于豆科黄芪属多年生草本植物蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao 或膜荚黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. 的干燥根^[1]。现代研究表明黄芪具有增强免疫力,降压、降血糖、抗衰老、抗肿瘤和抗病毒等药理作用^[2]。目前,因用途广泛导致市场需求量巨大^[3]。在野生黄芪资源大面积减少的情况下,人工种植黄芪必将成为市场的主体。如何提高改善栽培黄芪的产量质量至关重要,即对于黄芪的种植技术要求越来越高。通过施肥来调控中药材产量质量一直是研究的热点。研究表明除氮、磷、钾大量元素外,微量元素在黄芪产量质量的调控方面也发挥着至关重要的作用。

常见的微量元素主要包括铁、锌、锰、硼、钼等。其中铁、锌对黄芪产量质量的影响已有研究。郭瑜瑞^[4]等研究表明适宜浓度的铁、锌可以促进黄芪的生长,增加药材的产量。并对黄芪中总黄酮、总皂苷、总多糖有显著影响。而关于锰、钼、硼的研究仅停留在黄芪幼苗构建及部分生理指标的测定。梁喜龙^[5]等研究表明一定浓度的 H_3BO_3 促进了黄芪幼苗地上部分的生长及叶绿素的合成。刘畅等^[6]研究 ZnSO_4 可使黄芪叶绿素含量提高,黄芪叶片 POD 活性增强。黄芪作为药用植物,市场评价指标主要以根部产量和质量为主,仅以生理活性为评价指标仍缺乏一定的说服力。

故本研究选取锰、钼、硼三种微量元素进行研究,并从产量、总多糖含量、生理特性三个方面进行综合分析,以期筛选最佳的锰、钼、硼配比及合适的营养液浓度,为黄芪施肥过程中微量元素的施入提供可靠的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验地点

供试植物采用一年生的蒙古黄芪,购于甘肃岷县中药材市场,由北京中医药大学王文全教授鉴定

为蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao 的种苗。栽培基质为砂土:陶粒体积之比为 2:1。黑色塑料盆规格:盆高 45 cm,口径 40 cm,底径 27.5 cm。试验在中国科学院药用植物研究所温室大棚中进行,全年温度、湿度和光照均能满足黄芪正常生长。

仪器设备:SP-754 紫外可见分光光度计(杭州爱普仪器设备有限公司);BP 211D 型电子分析天平;Centrifuge 5430R(艾本德中国有限公司)。

1.2 试验方法

本试验采用三因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交表设计,以锰、硼、钼要素不同用量进行组合设计,通过调整 MnSO_4 、 H_3BO_3 、 $\text{NaMoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 肥料的质量来控制锰、硼、钼不同水平,锰、硼、钼的水平具体用量见表 1。除设计因素外,各处理其他元素用量保持一致,其中大量元素为霍格兰大量元素通用配方^[7]。试验中所用的肥料均采用分析纯肥料。

表 1 锰、硼、钼正交设计的因素与水平表

水平	因素用量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		
	Mn	Mo	B
1	0.24	0.54	0.24
2	0.48	0.81	0.48
3	0.96	1.08	0.72

注:锰、锌、硼均按纯铁、纯锌、纯硼计算。

试验于 2017 年 4 月 19 日进行移栽,每个黑盆移栽 12 株黄芪种苗,每个处理重复 3 次,试验有 9 个不同处理,外加空白对照组,共计 30 盆。每次每盆的营养液浇灌量为 1 L,每隔 20 d 进行一次浇灌,除试验因素外,各处理其他管理措施相同,平时根据天气情况进行适当补水。

1.3 取样与测定

试验取样主要分为生长旺盛期和采收期两个阶段。于黄芪生长旺盛期,每个处理随机挑选 10 株,采用盒尺进行株高、株幅的测定。并在黄芪

植株的相同部位摘取叶片及时进行叶绿素及酶活的测定。于采收期将盆中的黄芪全部取出,进行根长、根粗、芦头直径测定。根于 45 ℃ 烘箱中干燥并粉碎,过 60 目筛,供后期进行总多糖含量检测。具体测定方法如下:

1.3.1 生长指标的测定 生长指标主要分为地上生长指标和根部生长指标。地上生长指标主要包括株高、株幅。株高是指植株根部到顶部之间的距离;植物地上部分所能形成的最大宽度成为株幅。根部生长指标主要包括根长、芦头直径、单株根鲜重。

1.3.2 总多糖含量的测定 黄芪多糖是黄芪发挥作用的主要成分。目前,除《中华人民共和国药典》规定的黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷两种质量评价指标外,黄芪多糖的含量也决定着黄芪药效^[8]。总多糖的含量测定采用苯酚-浓硫酸法比色法。

1.3.3 生理指标的测定 生理活性指标的测定主要包括叶绿素、SOD 酶、POD 酶。通过相关生理指标的测定可以间接反映黄芪的生长状况。叶绿素代表植物的光合作用的强弱,而 SOD 酶与 POD 酶的活性大小与黄芪抗逆性有明显的关系。叶绿素含量测定采用乙醇-丙酮混合提取法^[8];POD 活性的测定:采用愈创木酚法^[9];SOD 活性测定:采用氮蓝四唑法^[9]。

1.4 数据分析

采用 SAS 8.2、Excel 2016、正交实验助手对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同营养液配方对黄芪生长指标的影响

由表 2 中不同生长指标的 R 值的结果显示,锰、钼、硼三种微量元素对黄芪不同生长指标的影响不同。各指标影响重要性分别为根长 $A > B > D > C$;芦头直径为 $A > C > D > B$;单株根鲜重为 $A > B > C > D$;株高为 $A > C > D > B$;株幅为 $C > A > D > B$ 。表方差分析表 3 中可以看出 A、C 对芦头直径有显著性差异;A 对单株根鲜重有显著性差异;C 对黄芪株幅有显著性差异。结合表中的各指标 K 值大小可以得出锰、钼、硼三种微量元素组合下对不同生长指标的最优促进组合。即根长的最优组合 $Mn_2Mo_3B_3$;芦头直径 $Mn_2Mo_1B_3$;单株根鲜重 $Mn_2Mo_1B_3$;株高 $Mn_2Mo_1B_3$;株幅 $Mn_3Mo_3B_1$ 。由于黄芪主要以根部入药,根部指标更能有效的反应黄芪的生长和产量情况,故综合三种元素对黄芪各指标的影响,最适合黄芪生长的最有组合为 $Mn_2Mo_1B_3$ 。即 $0.48\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的锰元素、 $0.54\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的钼元素和 $0.81\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的钼元素组合条件下,更有利与促进黄芪的生长和物质积累。

表 2 生长指标正交实验结果

试验号	因素				结果				
	A	B	C	D	根长/cm	芦头直径/cm	单株根重/g	株高/cm	株幅/cm
1	1	1	1	1	24.5	4.53	4.09	42.2	20.5
2	1	2	2	2	29.7	5.76	3.57	42.2	22.3
3	1	3	3	3	28.3	6.36	3.99	46.9	20.2
4	2	1	2	3	25.2	7.84	5.93	48.3	21.9
5	2	2	3	1	29.7	7.89	6.09	47.1	20.1
6	2	3	1	2	30.3	7.01	6.01	43.7	19.8
7	3	1	3	2	22.5	7.19	5.76	42.5	19.8
8	3	2	1	3	22.5	5.96	5.05	42.2	20.3
9	3	3	2	1	21.3	6.92	5.52	41.4	22.8
根长	K ₁	27.50	24.06	25.76	25.16				
	K ₂	28.40	27.30	25.40	27.50				
	K ₃	22.10	26.63	26.83	25.33				
	R	6.30	3.23	1.43	2.33				
芦头直径	K ₁	5.55	6.52	5.83	6.45				
	K ₂	7.58	6.53	6.84	6.65				
	K ₃	6.69	6.76	7.15	6.72				
	R	2.03	0.24	1.31	0.27				

表 2 (续)

试验号	因素				结果				
	A	B	C	D	根长/cm	芦头直径/cm	单株根重/g	株高/cm	株幅/cm
单株根重	K ₁	3.883	5.260	5.050	5.223				
	K ₂	6.01	4.903	5.007	5.113				
	K ₃	5.443	5.173	5.28	4.990				
	R	2.127	0.357	0.273	0.243				
株高	K ₁	43.67	44.33	42.70	43.56				
	K ₂	46.36	43.83	43.96	42.80				
	K ₃	42.03	44.00	45.51	45.80				
	R	4.33	0.50	2.80	3.00				
株幅	K ₁	21.00	20.73	20.2	21.13				
	K ₂	20.60	20.9	22.33	20.63				
	K ₃	20.97	20.93	20.03	20.80				
	R	0.40	0.20	2.30	0.50				

注：K₁、K₂、K₃表示每个因素各水平下的指标总和，R表示极差(R=平均得率的最大值-平均得率的最小值)。

表 3 各生长指标正交试验结果

试验指标	F 比及显著性		
	锰	钼	硼
根长	1.958	0.027	0.809
芦头直径	50.926 *	0.910	23.213 *
单株根鲜重	81.76 *	2.337	1.449
株高	6.582	1.720	0.327
株幅	0.761	0.177	25.37 *

注：*表示方差结果显著，P<0.05。

2.2 不同营养液配方对黄芪总多糖含量的影响

由表 4 中 R 值的结果可以看出，锰、钼、硼三种微量元素对黄芪总多糖含量重要性为 B>D>C>A。表 5 方差分析表中 A、B 对黄芪总多糖的含量有显著性差异；结合表中的各指标 K 值比较。得出总多糖含量的最优组合 Mn₃Mo₁B₁。及 0.72 mg·L⁻¹ 的锰元素、0.54 mg·L⁻¹ 的钼元素和 0.27 mg·L⁻¹ 的钼元素。

2.3 不同营养液配方对黄芪生理指标的影响

同理，由表 6 中 R 值的结果可以看出，锰、钼、硼三种微量元素对黄芪不同生理指标影响的重要性不同。分别表现为叶绿素 C>B>A>D；SOD 酶活性为 A>B>C>D；POD 酶活性为 A>D>C>B；表 7 方差分析表中 B、C 对黄芪叶片叶绿素有显著性差异；A、B 对 SOD 酶活性有显著性差异；A 对黄芪 POD 酶活性有显著性差异。结合表中的各指标 K 值比较。得出叶绿素含量的最优组合 Mn₃Mo₁B₁；SOD 酶活性 Mn₂Mo₁B₁；POD 酶活性 Mn₂Mo₂B₂。综

合各项生长指标，对黄芪生理特性促进作用的最有组合表现为 Mn₂Mo₁B₁。即 0.48 mg·L⁻¹ 的锰元素、0.54 mg·L⁻¹ 的钼元素和 0.27 mg·L⁻¹ 的钼元素组合条件下，更有利黄芪抗逆性的增强。

表 4 总多糖含量正交实验结果

试验号	因素				结果
	A	B	C	D	总多糖含量/mg·kg ⁻¹
1	1	1	1	1	215
2	1	2	2	2	194
3	1	3	3	3	219
4	2	1	2	3	239
5	2	2	3	1	215
6	2	3	1	2	266
7	3	1	3	2	232
8	3	2	1	3	223
9	3	3	2	1	260
K1	226.33	245.66	234.67	234.67	
K2	223.00	210.66	231.00	231	
K3	238.33	231.33	222.00	227	
R	15.33	35.00	12.667	33.33	

注：K₁、K₂、K₃表示每个因素各水平下的指标总和，R表示极差(R=平均得率的最大值-平均得率的最小值)。

表 5 总多糖含量正交试验结果

试验指标	F 比及显著性		
	锰	钼	硼
总多糖含量	77.95 *	93.04 *	11.13

注：*表示方差结果显著，P<0.05。

表 6 各生理指标正交试验结果

试验号	因素				结果		
	A	B	C	D	叶绿素/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$	SOD 活性/ $\text{u}\cdot\text{g}^{-1}$	POD 活性/ $\text{u}\cdot\text{g}^{-1}$
1	1	1	1	1	3.21	530	9.15
2	1	2	2	2	1.72	471	6.07
3	1	3	3	3	2.02	500	8.16
4	2	1	2	3	2.62	574	18.9
5	2	2	3	1	2.38	533	20.05
6	2	3	1	2	2.98	565	19.82
7	3	1	3	2	3.08	541	10.6
8	3	2	1	3	2.82	515	12.6
9	3	3	2	1	2.24	531	13.4
叶绿素	K ₁	2.317	2.970	3.003	2.610		
	K ₂	2.660	2.307	2.193	2.593		
	K ₃	2.713	2.413	2.493	2.487		
	R	0.396	0.663	0.810	0.123		
SOD	K ₁	500.3	548.3	536.6	531.3		
	K ₂	557.3	506.3	525.3	525.6		
	K ₃	529	532	524.6	529.6		
	R	57	42	12	5.6		
POD	K ₁	7.793	12.883	13.857	14.2		
	K ₂	19.59	12.907	12.79	12.163		
	K ₃	12.2	13.793	12.973	13.22		
	R	11.797	0.91	1.067	2.037		

注: K₁、K₂、K₃ 表示每个因素各水平下的指标总和, R 表示极差 (R = 平均得率的最大值 - 平均得率的最小值)。

表 7 各生长指标正交试验结果

试验指标	F 比及显著性		
	锰	钼	硼
叶绿素	10.296	28.185 *	37.259 *
SOD 活性	95.768 *	52.851 *	5.362
POD 活性	81.76 *	2.337	1.449

注: * 表示方差结果显著, $P < 0.05$ 。

3 结论与讨论

该试验通过正交试验研究了锰、钼、硼三种微量元素对黄芪生长、总多糖含量以及生理指标的影响。结果表明 $0.48\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的锰元素、 $0.54\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的钼元素和 $0.27\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的钼元素组合条件下对黄芪生理活性指标有较好的促进效果, 黄芪生长前期, 以 $0.48\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的锰元素、 $0.54\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的钼元素和 $0.27\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的钼元素组合作为基肥施入, 可以促进黄芪幼苗抗逆性的增强。 $0.48\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的锰元素、 $0.54\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的钼元素和 $0.81\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的钼元素组合、 $0.96\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的锰元素、 $0.54\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的钼元素和 $0.27\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的钼元素组合条件分别有利于黄芪根部重量的增加和总多糖含量的增加, 所以在黄芪生长旺盛期可通过叶面喷施补充锰、硼元素, 进而提高

黄芪的产量质量。

在盆栽无营养基质的条件下, 锰、硼有利于黄芪单株根重的增加。曹恭等^[11]指出锰肥可增加豆科植物根瘤菌的数目增加, 促进植物固氮能力加强, 增加根部重量与本研究类似。在本研究中钼肥未能对根重表现出明显效果, 可能是由于浓度设置过高, 效果不显著。后续可降低钼元素的浓度进行试验。锰、钼、硼肥显著增加了黄芪叶片叶绿素含量、POD、SOD 酶的活性, 这一结果也与微量元素对植物生理的影响一致^[12-13]。此外, 锰、钼能促进黄芪多糖含量的增加。但影响机制未有相关文献报道, 有待进行深入的讨论。

本试验结果为改善盆栽黄芪营养液的配方提供了实验依据, 可用于黄芪盆栽试验锰、钼、硼三种微量元素的施入, 同时对黄芪大田种植也具有指导意义。但试验设计尚有不足, 后续还需进行田间施肥用量的研究。此外, 结合与其他营养元素的拮抗作用进行分析, 也具有一定的研究意义, 将有助于栽培黄芪对微量元素的利用效率, 从而提高栽培黄芪的产量和质量。

(下转第 199 页)

4 讨论

本文选用 AB-8 大孔吸附树脂富集纯化人参皂苷,通过考察人参皂苷泄露曲线、甲醇洗脱浓度及用量、氢氧化钠洗脱浓度、甲醇洗脱速度为人参保健酒皂苷检测提供参考。本文研究发现,单体皂苷和人参总皂苷的检测不同,洗脱剂的浓度也不同,许多文献表明,70%或80%的乙醇^[5]对总皂苷的洗脱率最高,而本研究表明,人参单体皂苷适宜的洗脱浓度为90%甲醇。氢氧化钠作为除色素常用的碱时,要注意考察浓度,浓度过高,人参皂苷含量反而下降。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2015.
- [2] 王博. 人参酒中人参皂苷前处理技术研究[J]. 人参研究,2016,28(6):18-19.
- [3] 郭婷婷,王兆华,张大军. 大孔树脂分离纯化西洋参叶总皂苷的工艺研究[J]. 中国现代中药,2016,18(9):1196-1200.
- [4] 姚海燕,万玉华,沈雅捷,等. 大孔吸附树脂纯化人参总皂苷的工艺研究[J]. 环球中医药,2013,6(2):84-88.
- [5] 黄立新,熊友文,张启云,等. 红参中人参总皂苷的大孔树脂纯化工艺[J]. 中国实验方剂学杂志,2011,17(6):6-9.

(收稿日期 2017-07-14)

(上接第188页)

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 一部. 北京:中国中医药科技出版社,2015:302.
- [2] 唐国廷. 黄芪药理作用与临床应用研究进展[J]. 中医药临床杂志,2010,22(9):844-845.
- [3] 秦雪梅,李震宇,孙海峰,等. 我国黄芪药材资源现状与分析[J]. 中国中药杂志,2013,38(19):3234-3238.
- [4] 郭瑜瑞. 不同矿质元素处理下蒙古黄芪生长和有效成分的差异研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [5] 梁喜龙,方淑梅,刘畅,等. CuSO_4 与 H_3BO_3 对黄芪幼苗建成及部分生理生化指标的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2012,24(3):1-4.
- [6] 刘畅,王征,李海. ZnSO_4 和 MnCl_2 对黄芪幼苗形态建成及生理特性的影响[J]. 中国林副特产,2010(6):10-13.
- [7] 曹秀,夏仁学,张德健,等. 水培条件下营养元素对枳幼苗根毛发育及根生长的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(6):1525-1530.
- [8] 潘瑞炽. 植物生理学:5版.[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [9] 魏群. 分子生物学试验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [10] 陈燕瑞,曾以旺,王少平,等. 黄芪中免疫活性成分的不同提取方式比较[J]. 中国实验方剂学杂志,2014,20(16):42-44.
- [11] 曹恭,梁鸣早. 锰—平衡栽培体系中植物必需的微量元素[J]. 土壤肥料,2004,4(1):49-50.
- [12] 武松伟,胡承孝,谭启玲,等. 钼与植物抗寒性研究进展[J]. 湖北农业科学,2016,55(1):13-16,42.
- [13] 张晓博. 硼对植物生理功能影响的研究进展[J]. 现代农村科技,2010,39(14):55-56.

(收稿日期 2017-09-15)