

钼、硼、锰和锌对人工种植乌拉尔甘草品质的影响

梁新华¹, 张凤侠¹, 王俊², 何文寿³

(1 宁夏大学生命科学院, 宁夏银川 750021; 2 宁夏大学民族预科教育学院, 宁夏银川 750002;

3 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021)

摘要: 在大田条件下, 采用叶面喷施的方法, 研究了 Mo、B、Mn 和 Zn 4 种微量元素不同浓度(0 g/L、0.5 g/L、1 g/L 和 1.5 g/L)对人工种植乌拉尔甘草几种主要次生代谢成分积累的影响。结果表明, 乌拉尔甘草根中甘草酸含量、甘草苷含量与 Mn、Zn 和 Mo 供应水平密切相关。其中, Mn、Zn 元素的低、中、高浓度处理和 Mo 元素的中、高浓度处理可以显著提高乌拉尔甘草根中的甘草酸含量; Mo 和 Zn 元素的低、中、高浓度处理及 Mn 元素的高浓度处理则可以显著提高乌拉尔甘草根中的甘草苷含量; Mn 元素的中、高浓度处理及 Zn 元素的中浓度处理可以显著提高乌拉尔甘草根中的甘草多糖含量。4 种微量元素的低、中、高浓度叶面喷施均可以显著提高乌拉尔甘草根中的总黄酮含量。由此认为, 以上 4 种微量元素对改善人工种植乌拉尔甘草的品质具有一定的作用。

关键词: 微量元素; 乌拉尔甘草; 品质

中图分类号: S567.7⁺1.062

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)06-1487-08

Effects of molybdenum, boron, manganese and zinc on quality of cultured *Glycyrrhiza uralensis* Fisch.

LIANG Xin-hua¹, ZHANG Feng-xia¹, WANG Jun², HE Wen-shou³

(1 College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2 Ningxia Institute of Ethnic Preparatory Education, Yinchuan 750002, China; 3 College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Effects of Molybdenum(Mo), Boron(B), Manganese(Mn) and Zinc(Zn) on accumulations of several secondary metabolites in *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. roots were investigated under the field foliage spraying with 0 g/L, 0.5 g/L, 1 g/L and 1.5 g/L. The results show that the contents of glycyrrhizic acid and liquiritin in roots of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. are significantly related to Mn, Zn and Mo application levels. The glycyrrhizic acid contents in roots of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch under the sprays of 0.5 g/L, 1 g/L and 1.5 g/L Mn and Zn, 1 g/L and 1.5 g/L Mo to the *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. leaves are significantly increased. The additions of 0.5 g/L, 1 g/L and 1.5 g/L Mo and Zn, 1.5 g/L Mn induce significant increases of liquiritin contents in roots of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. In accordance with changes of the glycyrrhizic acid and liquiritin contents, the polysaccharide contents in roots of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. are significantly related to 1 g/L and 1.5 g/L Mn and 1 g/L Zn. The results also indicate that spraying Mo, B, Mn and Zn could increase total flavonoid content. It is concluded that external Molybdenum, Manganese and Zinc with moderate and high concentrations might have up-regulative effects on quality of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch.

Key words: micro-element; *Glycyrrhiza uralensis* Fisch.; quality

甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) (又名乌拉尔甘草) 是豆科(*Leguminosae*) 甘草属(*Glycyrrhiza* Linn) 药用植物, 多年生草本^[1], 以根和根状茎入药。

公认的甘草中的最主要的药用成分是甘草酸属次生代谢 β -香树脂醇型三萜皂苷类化合物, 被确定为是评价甘草药材、成药质量、制剂稳定性优劣和制订

收稿日期: 2011-01-27

接受日期: 2011-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(30600806)资助。

作者简介: 梁新华(1974—), 女, 宁夏盐池人, 博士, 副教授, 主要从事植物生理学方面的研究。E-mail: lxh@nxu.edu.cn

药品质量标准依据^[2]的一个重要指标。

由于大量采挖,野生甘草资源贮量大幅下降,针对这一问题,上世纪 80 年代在各主要甘草产区开展了甘草人工栽培技术的系统研究,获得了成功。然而长期以来,困扰人工种植甘草的问题是甘草酸含量不高,已成为人工栽培甘草生产中的瓶颈。我国要求人工种植甘草的甘草酸含量须达 2.0% 以上,而日本则要求达到 2.5% 以上^[3]。

中药材的质量除受自身遗传因子的影响外,和其产地环境条件密切相关,除气候因子外,土壤环境是直接影响中药材道地性的主要因素^[4]。长期以来国内外对一些药用植物有效药用成分与其生长的土壤理化性状、营养水平等的相关性的研究多有报道。但关于微量元素对中药材中的一些次生代谢物生物合成与积累影响方面的研究还报道较少。由于微量元素在中药材中有一定的药理活性,是道地药材的特征指标之一^[5-10]。因此,本研究在大田条件下,采用叶面喷施的方法,研究 Mo、B、Mn 和 Zn 4 种微量元素低、中、高 3 个不同浓度对人工种植乌拉尔甘草(以下简称甘草)主要次生代谢物质甘草酸、甘草苷、甘草总黄酮及甘草多糖积累的影响,为进一步研究甘草根及根茎中甘草酸及其他次生代谢成分的形成、积累与上述微量元素的关系,为开发及合理应用甘草微量元素肥料提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为一年生甘草移栽苗,来源于盐池县惠安堡镇,经宁夏大学生命科学院王俊教授鉴定为乌拉尔甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)。

1.2 试验设计

2007 年 10 月将一年生甘草苗移至宁夏大学生命科学院试验地,土壤为沙壤土、pH 8.45、土壤有机质含量 7.27 g/kg、全氮 0.5 g/kg、碱解氮 36.7 mg/kg、有效磷 5.3 mg/kg、有效钾 138.0 mg/kg;微量元素中有效锌含量 0.4 mg/kg、有效锰 4.4 mg/kg(主要是交换性锰)、有效铜 2.0 mg/kg、有效铁 3.2 mg/kg,均用 DTPA 提取,原子吸收分光光度法测定;有效硼 0.8 mg/kg(沸水提取,姜黄素比色法测定),有效钼 0.07 mg/kg(草酸—草酸铵浸提,极谱法测定)。田间管理措施同常规人工种植甘草栽培管理规程。

田间试验采用三因素(微量元素种类、微量元素浓度处理、采样月份)完全随机区组试验设计,每

小区 50 m²,三次重复。微量元素种类设置为 Mo、B、Mn 和 Zn 4 种元素,采用钼酸钠(Na₂MoO₄·H₂O,分析纯,Mo 含量 39%)、硼酸(H₃BO₃,分析纯,B 含量 17%)、硫酸锰(MnSO₄·H₂O,分析纯,Mn 含量 32%)和硫酸锌(ZnSO₄·7H₂O,分析纯,Zn 含量 23%) 4 种盐;每种元素分别设置 4 种浓度处理(1.5 g/L、1 g/L、0.5 g/L 和 0 g/L,按 Mo、B、Mn 和 Zn 纯元素计)即高、中、低浓度和清水对照(CK)(设置浓度依据参考文献[11]),分别以 Mo1.5、Mo1.0、Mo0.5、B1.5、B1.0、B0.5、Mn1.5、Mn1.0、Mn0.5、Zn1.5、Zn1.0、Zn0.5 表示。于 2008 年 5 月 1 日待甘草苗正常生长时开始进行叶面喷施。分别在当年的 5、6、7、8、9 和 10 月份每月的中旬按试验设计喷施不同浓度的微量元素溶液,每小区喷施 3.75 L,采用背负式小型喷雾器均匀喷于所选定的甘草植株叶片的正、反面。对照喷等量蒸馏水。每月于喷施后 15 d(即每月月末)取所喷甘草植株,将其分为叶、茎和根三部分,带回实验室,105℃杀青后,70℃烘干,粉碎各部分,过 40 目筛后,自封袋保存备用。

1.3 测定项目与方法

甘草酸、甘草苷含量的测定采用中国药典中所注的高效液相色谱法^[2];总黄酮含量的测定以芦丁作为标准品,采用亚硝酸钠—硝酸铝比色法^[12];多糖含量采用硫酸—苯酚法测定^[13]。

试验数据采用 Microsoft Excel(2003)和 DPS9.50 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 Mo、B、Mn 和 Zn 对甘草根中甘草酸的影响

图 1 显示,在高浓度 Mo 处理(Mo1.5)(甘草根中甘草酸含量为 1.22%),低、中、高浓度 Mn 处理(Mn0.5、Mn1.0、Mn1.5)(甘草酸含量分别为 1.12%、1.19% 和 1.30%)和中、高浓度 Zn 处理(Zn1.0、Zn1.5)(甘草酸含量分别为 1.20%、1.26%)下甘草根中甘草酸含量极显著高于对照(CK)(0.94%)和其他处理($P < 0.001$),Mo1.5、Mn0.5、Mn1.0、Mn1.5、Zn1.0、Zn1.5 处理下甘草酸含量较对照分别增加了 29.79%、19.14%、26.6%、38.3%、27.65% 和 34.04%。此外,中浓度 Mo(Mo1.0)(甘草酸含量 1.051%)和低浓度的 Zn 处理(Zn0.5)(甘草酸含量 1.054%)也可显著提高甘草根中甘草酸的含量($P < 0.05$)(图 1A、1C 及 1D),即微量元素与微量元素处理浓度的交互作用

中以高浓度 Mn 处理最佳。

4 种微量元素对甘草根中甘草酸含量影响的结果经 F 检验表明,对甘草酸含量作用的大小次序为微量元素浓度 > 微量元素种类 > 采收月份 > 微量元素

种类和处理浓度的交互 > 微量元素种类和采收月份的交互。微量元素浓度处理对于甘草酸含量的效果大小为高浓度 > 中浓度 > 低浓度 > 对照。对甘草酸含量具有显著影响的元素及作用大小为 Mn、Zn、Mo。

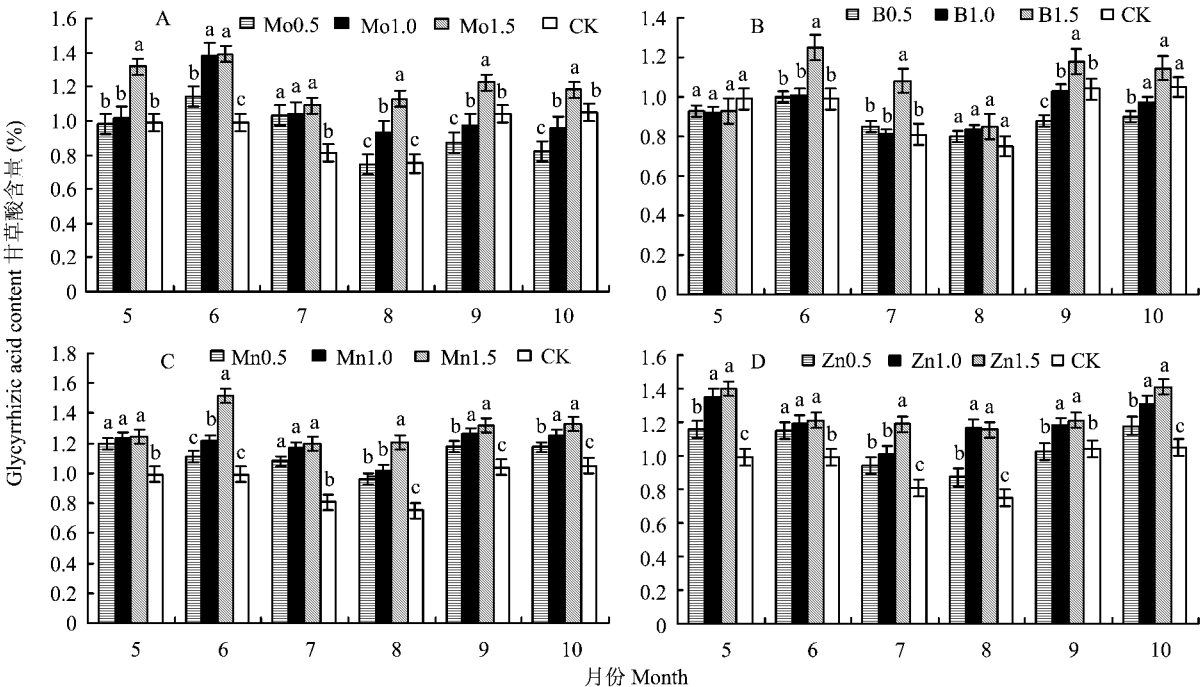


图1 4种微量元素处理下甘草根中甘草酸含量的变化

Fig.1 Monthly changes of glycyrrhizic acid content in roots of *G. uralensis* Fisch. treated with micro-elements

[注(Notes): 柱上不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at the 5% level.]

2.2 Mo、B、Mn 和 Zn 对甘草根中甘草苷的影响

图2A、2D和2C表明,高浓度 Mo 处理(甘草苷含量 1.12%)、高浓度 Zn 处理(甘草苷含量 1.09%)和高浓度的 Mn 处理(甘草苷含量 0.87%)下甘草苷含量极显著高于对照(甘草苷含量为 0.66%),分别是对照的 1.67 倍、1.65 倍和 1.32 倍,此外,中浓度的 Zn、中浓度的 Mo、低浓度的 Zn 和低浓度的 Mo 处理下甘草苷的含量(分别为 0.83%、0.78%、0.77% 和 0.75%)也极显著高于对照,是对照的 1.25 倍、1.18 倍、1.17 倍和 1.14 倍($F=4.75, P<0.001$)。说明通过喷施 Mo、Zn 及高浓度的 Mn 元素可以有效提高甘草根中甘草苷的含量。

4 种微量元素对甘草苷含量影响分析(F 测验)还表明,对甘草苷含量作用的大小次序为微量元素种类 > 微量元素浓度 > 采收月份。对甘草苷含量具有显著影响效果的元素及其作用大小顺序为 Zn、Mo、Mn。微量元素浓度作用于甘草苷含量的效果次序为高浓度 > 中浓度 > 低浓度 > 对照。

2.3 Mo、B、Mn 和 Zn 对甘草根中甘草总黄酮的影响

甘草总黄酮在 4 种元素不同浓度处理下的变化如图 3 所示。高浓度 Mo(总黄酮含量 2.43%)、高浓度 Zn(总黄酮含量 2.08%)、高浓度 Mn(总黄酮含量 1.95%)、中浓度 Mo(总黄酮含量 1.81%)、高浓度 B(总黄酮含量 1.78%)、中浓度 Zn(总黄酮含量 1.75%)、低浓度 Zn(总黄酮含量 1.64%)、中浓度 Mn(总黄酮含量 1.51%)、低浓度 Mo(总黄酮含量 1.50%)、中浓度 B(总黄酮含量 1.41%)、低浓度 Mn(总黄酮含量 1.29%)、低浓度 B 处理(总黄酮含量 1.26%)下甘草根中总黄酮含量均极显著高于对照(总黄酮含量 1.23%) (图3A、3B、3C 和 3D) ($F=9.209, P<0.001$)。即微量元素种类与浓度的交互作用中以高浓度 Mo 对甘草黄酮含量的影响最大,即提高的作用最佳。此外,高浓度的微量元素在 6 月叶面喷施对甘草黄酮含量的提高效果也是浓度与月份互作最好。

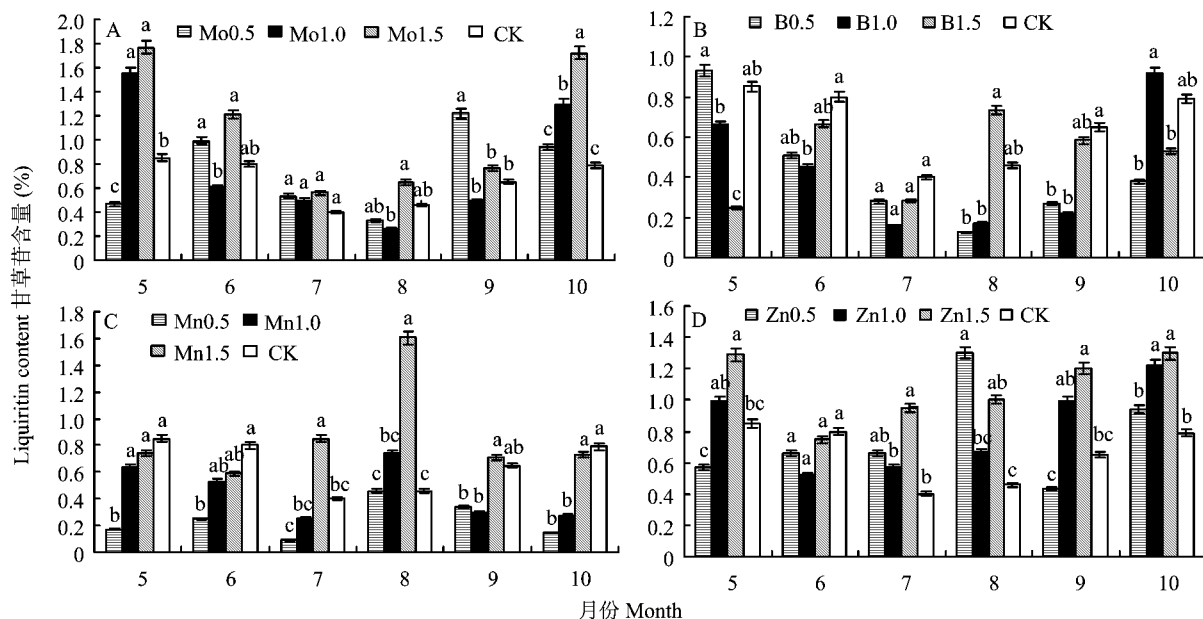


图2 4种微量元素处理下甘草根中甘草苷含量的变化

Fig.2 Monthly changes of liquiritin content in roots of *G. uralensis* Fisch. treated with micro-elements

[注(Note): 柱上不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at the 5% level.]

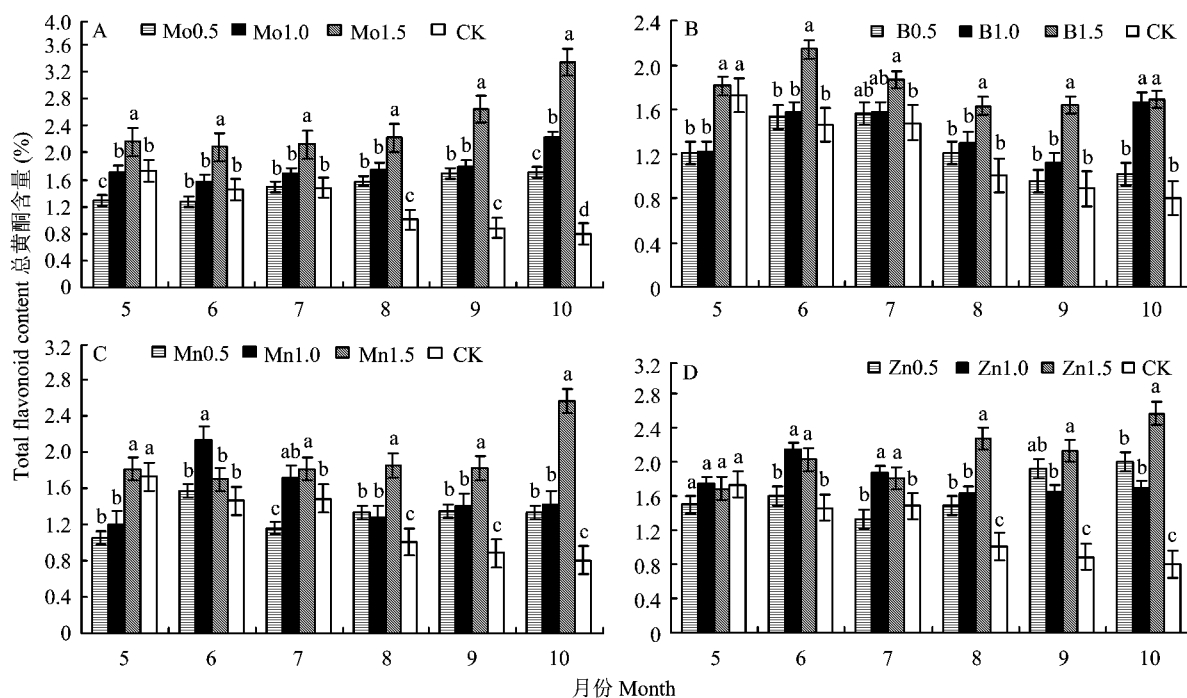


图3 4种微量元素处理下甘草根中甘草总黄酮含量的变化

Fig.3 Monthly changes of total flavonoid content in roots of *G. uralensis* Fisch. treated with micro-elements

[注(Note): 柱上不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at the 5% level.]

2.4 Mo、B、Mn 和 Zn 对甘草根中甘草多糖的影响

图4可以看出,与对照相比,中浓度 Zn 处理(甘草多糖含量 21.58%)、高浓度 Mn 处理(甘草多糖含量 16.41%)和中浓度 Mn 处理(甘草多糖含量 15.82%)下甘草根中多糖含量极显著高于对照

(14.70%) ($F=5.131, P<0.001$), 上述3种处理甘草根中甘草多糖的含量分别比对照增加了46.80%、11.63%和7.6%(图4C和图4D)。

在 F 测验中,对甘草多糖含量影响作用大小的次序为微量元素处理浓度>微量元素种类>微量元

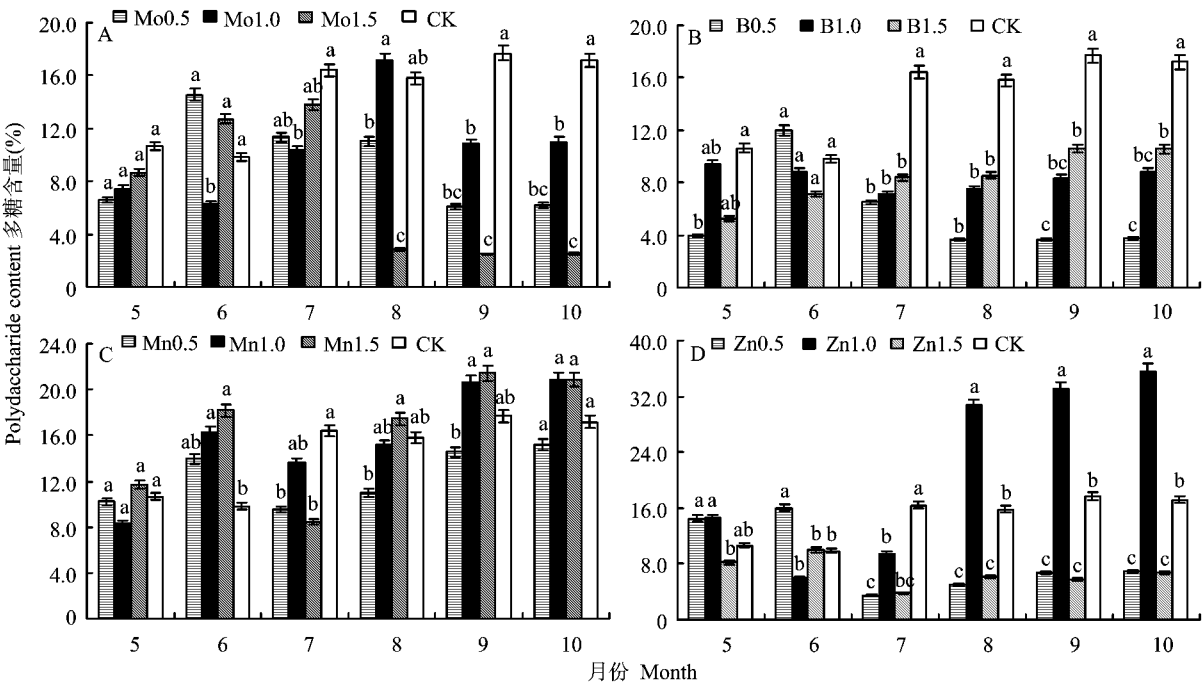


图4 4种微量元素处理下甘草根中甘草多糖含量的变化

Fig.4 Monthly changes of polysaccharide content in roots of *G. uralensis* Fisch. treated with micro-elements

[注(Note): 柱上不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at the 5% level.]

素种类与浓度交互。对甘草根中多糖含量影响效果最佳的是中浓度 Zn。

2.5 不同月份间甘草品质的变化

图5A表明,4种微量元素3种浓度处理下各月份间甘草酸的变化也表现出极显著差异($P < 0.001$)。其中5月、10月和6月的甘草酸含量极显著高于7月和8月。说明秋末和春末夏初是甘草酸大量积累的两个关键时期,7月和8月的甘草酸含量分别为1.0%和0.97%,而10月、5月和6月的甘草

酸含量分别为1.14%、1.19%、1.12%,分别比含量最低的8月份增加了17.53%、22.68%和15.46%。

同时对4种微量元素3种浓度处理下各月份间甘草苷含量进行方差分析,结果也表明甘草苷含量各月份间的差异也达到极显著水平(图5B)($F = 3.03$, $P < 0.0167$)。其中10月甘草苷含量与5月甘草苷含量极显著高于6月、8月和9月份,而6、8、9月份又极显著高于7月份。

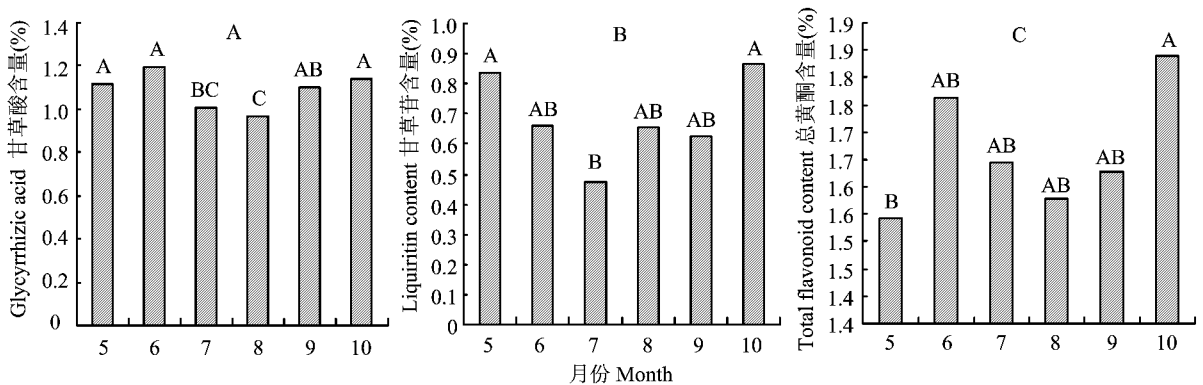


图5 月份间甘草酸、甘草苷及甘草总黄酮含量的差异显著性分析

Fig.5 Significance of difference analysis of glycyrrhizic acid content, liquiritin content and total flavonoid content in different months

[注(Note): 柱上不同大写字母表示同一时期处理间差异达到1%显著水平 Different capital letters above the bars mean significant in the same stage among treatments at the 1% level.]

图 5C 看出,4 种微量元素 3 种浓度处理下各月份间甘草总黄酮含量也达到极显著差异水平($F=2.095, P<0.0784$)。10 月份甘草总黄酮含量极显著高于 6 月、7 月、9 月和 8 月份,上述 4 个月又极显著高于 5 月份,但 4 种微量元素 3 种浓度处理下甘草根中多糖含量月份间差异不显著。

3 讨论

甘草中药用化学成分众多,目前已分离出的有 170 多种^[14]。其中,三萜类化合物、黄酮类化合物和甘草多糖类化合物是主要成分,此外还有多种氨基酸、雌性激素、有机酸以及少量的生物碱、香豆素等。

甘草酸是五环三萜皂甙类物质,一直以来都作为评价甘草药材质量的主要指标。而甘草苷是甘草黄酮类成分中重要的一种,在中国药典(2005 年版)中已确定为药材甘草及其制品质量检测的指标之一,并规定药材中含量不得低于 1%。

关于微量元素对甘草品质影响的研究报道相对较少,王继永^[15]研究认为叶面喷施 0.2% Mn 对一、二年生甘草的甘草酸含量提高作用最强,其次是 0.2% Zn、0.1% B、0.1% Mo。本研究与王继永所得结果相似之处为 Mn、Zn 及 Mo 元素对甘草酸含量有显著的提高作用。而且本试验中这 3 种微量元素还表现出对其他几种次生代谢成分含量的显著提高作用。分析其可能的促进作用机理有以下几点:1)本试验地土壤中除土壤有效硼含量高于临界值外,钼、锰、锌 3 种元素的有效含量均低于临界值。而叶面喷施这几种微量元素,用量小、收效大、成本低,避免了土壤对元素的迅速氧化、吸附固定等缺点,对甘草的生长表现出了明显的促进效果,进而影响到一些次生代谢产物的形成与积累。2)与几种微量元素的生理作用有关。Mo 元素主要参与氮的代谢,即固氮作用和硝态氮的还原,对于碳水化合物转化和运转、抗坏血酸的合成也都起着重要作用。Mn 在植物生理中的作用是多方面的,其中与光合作用的关系最为密切。Zn 在植物中的功能主要是作为某些酶的组成成分和活化剂。Zn 是一些对植物体内的物质水解和氧化还原过程以及蛋白质合成起重要作用的脱氢酶、蛋白酶和肽酶的必不可少的组分。Zn 不仅能提高农作物的产量,还能改善农产品的品质,提高作物的抗逆性。黄酮类化合物的合成中苯丙氨酸在 PAL 的催化下解氨生成反式肉桂酸,是莽草酸代谢途径生成黄酮类化合物的第 1 步反应步骤,也

是该代谢途径的关键反应步骤,矿质元素对 PAL 活性也有显著影响^[16]。苯丙氨酸同时也是植物体蛋白质合成的前体物质,因而蛋白质同黄酮类成分的合成之间存在着竞争关系^[17]。另一方面,同化产物糖是植物体内黄酮类成分次生合成代谢的起始物质,且天然黄酮类化合物多以苷类形式存在,故糖对植物体内黄酮类成分的合成代谢影响比较大。甘草酸生物合成起始于三分子的乙酰辅酶 A,之后经甲羧戊酸途径合成经一系列中间代谢产物最终合成,此过程中的初始底物及相关中间代谢物质同样来源于初生代谢包括糖和蛋白质等的合成与分解代谢,甘草多糖相关结构表征、分离纯化等方面的研究结果^[18-21]表明,其组成多为一些单糖。因此,我们推测 Mo、Mn 及 Zn 元素可能一方面通过本元素相应生理作用另一方面通过本身元素与其他相关元素间的促进或拮抗作用影响甘草光合作用、氮的代谢等初生代谢过程进而最终影响到黄酮类成分、甘草酸所属的三萜类物质及多糖等一些次生代谢成分的合成。3)微量元素可能促进了相关甘草酸、黄酮类物质等次生代谢物质合成关键酶基因的表达。我们的另一研究结果已证明这几种元素对甘草酸生物合成关键酶鲨烯合成酶、 β -香树脂醇合成酶基因的表达具有显著促进作用(文章正在投稿中)。

B 元素在本研究中未表现出对甘草酸、甘草苷和甘草多糖含量的显著促进效应,推测可能与甘草栽培土壤中有效硼含量高于临界值,外施硼肥不能表现出明显的促进效果有关。

刘大会^[19]在文章中综述化橘红幼果中的黄酮含量分别同其叶片中 Mn 含量及土壤中有效 Cu、有效 S 含量呈显著正相关,即适量施用 S、Cu、Mn 等中、微量营养元素可促进化橘红黄酮类成分的合成。适量施用锌肥和硼肥,也可显著提高菊花中总黄酮的含量。雪莲细胞悬浮培养中随培养基中 Ca、Mg 营养离子浓度的增加,雪莲培养物黄酮类成分的合成被促进了,从而提高了培养物中总黄酮的含量。提高银杏组织培养基中 Mg、Cu、Zn、B 等中、微量元素的离子浓度,也可促进银杏培养物黄酮类成分的合成,并显著提高银杏培养细胞中的总黄酮含量。但 Mn 元素的作用相反。结合上述研究结果与本试验研究结果表明,不同植物对不同微量元素的响应浓度和趋势存在差异。

本试验中,春末夏初、秋末是甘草酸、甘草苷和甘草总黄酮含量大量积累的关键时期。与冯薇^[22]研究所得不同采收期甘草中,在 5、7、10 月甘草苷含

量较高,甘草酸含量在 5 月份最高结论相似。但彭励^[23]研究则发现在同一生长年份中,主根中甘草苷的含量在花前期(6 月中下旬)最高,而后花期(7 月)含量急剧下降,结果期(8 月)后开始上升至果熟期(9 月)达到高峰,地上部分进入枯萎期(10 月)含量又开始下降。分析本试验结论与其不同的原因可能一方面与研究所选甘草栽培年限不同有关,年季间甘草根中各次生代谢成分存在差异,另一方面可能与本实验所用甘草材料经叶面喷施 4 种微量元素处理,而其所用材料是在自然生长条件下取材存在差异有关。

综上所述,本实验中所选 4 种微量元素对甘草几种主要次生代谢成分的含量分别表现出了一定的提高作用,尤其是 Mn、Zn 和 Mo 元素对甘草根中 4 种主要次生代谢成分均表现出显著的促进作用。说明通过外施甘草生长必需而且是土壤中含量较低的微量元素可以有效地提高人工栽培甘草的品质,因此下一步我们将在单一元素试验的基础上,考虑元素间的相互促进或相互拮抗作用,进行上述几种元素配合施用的研究,为未来开发甘草专用微肥方面的研究提供理论基础。

4 结论

本研究结果表明,能够明显促进甘草酸与甘草苷含量的微量元素种类为 Mo、Mn 和 Zn,其中 Mn、Zn 元素低、中及高三种浓度(0.5 g/L、1 g/L 和 1.5 g/L)叶面喷施和中、高浓度(1 g/L 和 1.5 g/L) Mo 元素叶面喷施可以显著提高一年生人工栽培甘草根中的甘草酸含量;低、中及高三种浓度(0.5 g/L、1 g/L 和 1.5 g/L)的 Mo 元素和高浓度(1.5 g/L) Zn 元素及 Mn 元素叶面喷施可以显著提高甘草苷含量;Mo、B、Mn 和 Zn 4 种微量元素均能够显著提高甘草总黄酮含量;而 Mn 和 Zn 两种元素能够显著促进甘草多糖含量的提高。综上,在本研究中,对于人工种植乌拉尔甘草根中主要几种次生代谢物质含量具有显著影响的主要是微量元素浓度、微量元素种类及微量元素与浓度的交互作用,可以显著提高甘草酸及其他几种主要次生代谢物质含量进而提升其品质的处理为中、高浓度的 Mn、Zn 和 Mo。

参考文献:

[1] 中国科学院“中国植物志”编委会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
Chinese Academy of Science. Flora of China [M]. Beijing:

China Science Press, 1998.

- [2] 国家药典委员会. 中国药典(二部)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 59.
Chinese Pharmacopoeia Commission. China pharmacopoeia (2nd) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. 59.
- [3] 郝心敏, 王德军, 杜建喜, 等. 栽培甘草的质量的考察[J]. 内蒙古中医药, 2002, (1): 40-41.
Hao X M, Wang D J, Du J X *et al.* Review of quality in *Glycyrrhiza Uralensis* Fisch. [J]. Nei Mongol J. Chin. Tradit. Med., 2002, (1): 40-41.
- [4] 赵曼茜, 吕金嵘, 杨光, 等. 土壤无机元素对赤芍无机元素及芍药苷含量的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2009, 15(10): 38-42.
Zhao M X, Lu J R, Yang G *et al.* Effects of inorganic elements in soil on contents of inorganic elements and paeoniflorin in *Radix Paeoniae Rubra* [J]. Chin. J. Exp. Tradit. Med. Form., 2009, 15(10): 38-42.
- [5] 赵杨景, 陈四保, 高光耀, 等. 道地与非道地当归栽培土壤的理化性质[J]. 中国中药杂志, 2002, 27(1): 21.
Zhao Y J, Chen S B, Gao G Y *et al.* Study on the physicochemical properties of cultivated soil of genuine crude and non-genuine crude Chinese angelica [J]. China J. Chin. Mater. Med., 2002, 27(1): 21.
- [6] 张重义, 李萍, 陈君, 等. 金银花道地与非道地产区土壤微量元素分析[J]. 中国中药杂志, 2003, 28(3): 207-212.
Zhang C Y, Li P, Cheng J *et al.* Analyses on the trace elements of soils in geo-authentic and non-authentic production areas of *Flos Lonicerae* [J]. China J. Chin. Mater. Med., 2003, 28(3): 207-212.
- [7] 许兴, 郑国琦, 杨涓, 等. 宁夏不同地域枸杞多糖和总糖含量与土壤环境因子关系的研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(7): 1340-1344.
Xu X, Zheng G Q, Yang J *et al.* Relationships of polysaccharide and total sugar in *Lycium barbarum* with soil chemical and physical properties in different regions of Ningxia [J]. Acta Bot. Bori-Occid Sin, 2005, 25(7): 1340-1344.
- [8] 赵曼茜, 吕金嵘, 郭兰萍, 等. 土壤无机元素对黄芩无机元素及黄芩苷含量的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2010, 16(9): 103-106.
Zhao M X, Lu J R, Guo L P *et al.* Effects of inorganic elements of soil on contents of inorganic elements and baicalin in *Scutellaria* [J]. Chin. J. Exp. Tradit. Med. Form., 2010, 16(9): 103-106.
- [9] 金航, 崔秀明, 徐璐珊, 等. 三七道地与非道地产区药材及土壤微量元素分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2006, 28(2): 144-149.
Jin H, Cui X M, Xu L S *et al.* The analysis of roots of *Panaxnoto ginseng* from famous and infamous regions [J]. J. Yunnan Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2006, 28(2): 144-149.
- [10] 郭兰萍, 黄璐琦, 阎玉凝. 土壤中无机元素对茅苍术道地性的影响[J]. 中国中药杂志, 2002, 27(4): 245-250.
Guo L P, Huang L Q, Yan Y N. The influences of inorganic ele-

- ments in soil on the geolism of *Atractylodes lancea* [J]. China J. Chin. Mater. Med., 2002, 27(4): 245–250.
- [11] 中国农业科学院土壤肥料研究所(编译). 农业中的微量营养元素 [M]. 北京: 农业出版社, 1984. 278–304.
- Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences (Transl.). Micro-elements in agriculture [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1984. 278–304.
- [12] 马君义, 张继, 王一峰, 等. 栽培乌拉尔甘草根中黄酮类和皂甙类化合物的提取与分析 [J]. 草业科学, 2006, 23(5): 48–52.
- Ma J Y, Zhang J, Wang Y F *et al.* Extraction and analysis of total triterpene and flavonoids isolated from the roots of cultivated *Glycyrrhiza uralensis* in Lanzhou [J]. Pratac. Sci., 2006, 23(5): 48–52.
- [13] 刘霞, 谢建新, 李艳, 等. 甘草多糖的超声提取及含量分析 [J]. 西北药学杂志, 2004, 19(2): 60–61.
- Liu X, Xie J X, Li Y *et al.* Determination of polysaccharide in *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. Extracts [J]. Northwest Pharm. J., 2004, 19(2): 60–61.
- [14] 王跃飞, 文红梅, 郭立玮, 等. 不同产地甘草的聚类分析 [J]. 中草药, 2006, 37(3): 435–439.
- Wang Y F, Weng H M, Guo L W *et al.* Hierarchical cluster analysis of Radix *Glycyrrhiza* from different habitats [J]. Chin. Tradit. Herb. Drugs, 2006, 37(3): 435–439.
- [15] 王继永. 乌拉尔甘草栽培营养的研究 [D]. 北京: 北京林业大学博士学位论文, 2003.
- Wang J Y. Studies on the nutrition management in *Glycyrrhiza Uralensis* Fisch. cultivation [D]. Beijing: PhD dissertation, Beijing Forestry University, 2003.
- [16] 欧阳光察, 薛应龙. 植物苯丙烷类代谢的生理意义及其调控 [J]. 植物生理学通讯, 1988, 24(3): 9.
- Ouyang G C, Xue Y L. Physiological role and relation of phenylpropanoid metabolism in plant [J]. Plant Physiol. Commun., 1988, 24(3): 9.
- [17] Faust M. Physiology of anthocyanin development in McIntosh apple. II. Relationship between protein synthesis and anthocyanin development [J]. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 1965, 87: 10.
- [18] 王航宇, 刘金荣, 江发寿, 等. 新疆甘草多糖的超声提取及含量测定 [J]. 基层中药杂志, 2002, 16(1): 7–8.
- Wang H Y, Liu J R, Jiang F S *et al.* Ultrasonic extraction and determination of polysaccharide of *Glycyrrhiza inflata* Bat. [J]. Primary J. Chin. Mater. Med., 2002, 16(1): 7–8.
- [19] 刘大会, 郭兰萍, 黄璐琦, 等. 矿质营养对药用植物黄酮类成分合成的影响 [J]. 中国中药杂志, 2010, 35(18): 2367–2371.
- Liu D H, Guo L P, Huang L Q *et al.* Effects of mineral nutrition on metabolism of flavonoids in medicinal plants [J]. China J. Chin. Mater. Med., 2010, 35(18): 2367–2371.
- [20] 丛媛媛. 新疆胀果甘草多糖的分离纯化、结构分析和生物活性研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学博士论文, 2008.
- Cong Y Y. Studies on isolation, purification, structural elucidation and biological activities of polysaccharides from *Glycyrrhiza inflata* Bat. In Xingjiang [D]. Urumqi: PhD dissertation, Xingjiang Medical University, 2008.
- [21] Cuesta G, Suarez N, Maria I, Bessio *et al.* Quantitative determination of pneumococcal capsular polysaccharide serotype 14 using a modification of phenol-sulfuric acid method [J]. J. Microbiol. Methods, 2003, 52(1): 69–73.
- [22] 冯薇, 王文全, 赵平然. 栽培年限和采收期对甘草总皂甙、总黄酮含量的影响 [J]. 中药材, 2008, 31(2): 184–186.
- Feng W, Wang W Q, Zhao P R. Content variation of saponins and flavonoids from growing and harvesting time of *Glycyrrhiza uralensis* [J]. Chin. Med. Mat., 2008, 31(2): 184–186.
- [23] 彭励, 胡正海, 李金亭, 等. 甘草苷在乌拉尔甘草中的分布及其含量动态变化研究 [J]. 药物分析杂志, 2008, 28(8): 1230–1233.
- Peng L, Hu Z H, Li J T *et al.* Distribution and dynamic variation of liquiritin in *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. [J]. Chin. J. Pharm. Anal., 2008, 28(8): 1230–1233.