

铜锌不同施用方式对栽培丹参生长和 丹参酮类物质积累的影响^①

吴慧贞, 刘德辉, 王培燕, 赵海燕*

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要: 通过盆栽土培试验研究了微量元素 Cu、Zn 的不同施用方式对丹参生长、丹参根多酚氧化酶 (PPO)、过氧化物酶 (POD) 活性和丹参根中 3 种丹参酮积累含量的影响。结果表明, 同时施用 Cu、Zn 两元素的 3 种施肥方式 (基施、追施、叶面喷施) 均优于相应的单施 Cu、Zn 处理。单施 Cu 的 3 种施肥方式处理均能显著促进丹参生长和丹参酮类物质的积累, 其中叶面喷施处理显著优于两种土施的效果, 而两种土施方式相比, 差异不显著。在单施 Zn 肥组和 Cu+Zn 配施组各处理中, 均表现出追施处理最佳, 基施又好于喷施的处理, 各处理间丹参酮类物质含量差异均达到显著水平。与对照处理相比, 对丹参叶面喷施 Zn 或喷施 Cu+Zn 均能显著提高丹参酮类物质的含量。这说明对丹参叶面喷施 Zn 或 Cu+Zn 元素, 可迅速补给丹参 Cu、Zn 元素营养, 改善丹参生物学性状和提高丹参酮类有效成分含量。

关键词: 铜; 锌; 施肥方式; 栽培丹参; 多酚氧化酶; 过氧化物酶; 丹参酮类物质

中图分类号: S143.7

丹参是一种重要的中药材, 为唇形科鼠尾草属植物, 是临床常用中药, 具有活血祛瘀, 调经止痛, 清热安神等功效^[1]。丹参广泛分布于华北、华东、中南、西北以及西南地区。丹参是许多中药复方和中成药的主要成分之一, 野生资源已远不能满足日益增多的丹参药材用量的需求, 栽培丹参弥补了野生资源的不足。

施肥是改善、提高栽培丹参的有效成分含量的途径之一, 不过, 偏施化肥尤其是偏施 N 肥会使丹参枝叶繁茂, 地下部产量下降、丹参酮含量偏低^[2]。为此, 对丹参施用微量元素肥料的研究就越来越被关注。如韩建萍等^[3]通过盆栽和大田的试验研究表明, 施用 Fe、Mn、Zn 和 Cu 等微肥有利于丹参酮 IIA 的累积, 而 B 肥不利于丹参酮 IIA 的累积。汪斌等^[4]通过沙培试验研究表明, 一定浓度的 Cu、Zn 能显著提高丹参脂溶性成分丹参酮类物质的累积, 并认为其产生影响的机理可能是外源 Cu、Zn 影响丹参体内多酚氧化酶 (PPO) 和过氧化物酶 (POD) 的活性, 从而影响丹参体内酚类物质转化成萜醌类物质, 即影响丹参

酮类物质的累积。随后汪斌^[5]又通过土培试验验证了 Cu、Zn 对丹参酮的累积效应, 并给出了适宜 Cu、Zn 施用剂量的建议。但以上研究结论均是一次性基肥 Cu、Zn 微肥条件下获得的, 未对叶面喷施的效果进行研究, 同时也未对土施方式的最佳施用时间作进一步深入探讨。为此, 本研究一方面通过土培试验, 结合丹参生长中的多项生物学特性, 研究 Cu、Zn 土施的适宜时间; 另一方面通过丹参生理指标测定和丹参酮类物质积累含量的比较分析, 对叶面喷施效果进行评价分析, 从而为丹参施用 Cu、Zn 微肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料和试验方法

1.1.1 试验材料 供试植物为唇形科鼠尾草属的多年生草本植物丹参 (*Salvia Miltiorrhiza Bunge*), 由山东省临朐县丹参种植基地提供; 供试土壤取自南京市八卦洲, 质地为砂壤土, 理化性质见表 1。土壤有效 Cu、Zn 测定方法采用 DTPA-TEA 浸提^[6], ICP-AES 法测定。

①基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAI09B03) 资助。

* 通讯作者 (haiyanzhao@njau.edu.cn)

作者简介: 吴慧贞 (1985—), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态与中药材栽培研究。E-mail: 2008103027@njau.edu.cn

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil

pH	有机 C (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	有效 Cu (mg/kg)	有效 Zn (mg/kg)
8.18	7.53	0.42	0.31	27.17	3.52	67.66	1.00	0.40

1.1.2 试验方法 采用温室土培盆栽方法。选用高 23 cm, 内径 20 cm 的盆钵, 盆底有小孔, 配盆托, 并在装盆前于盆底垫铺尼龙纱。每盆装入 8.0 kg 风干土壤。

1.2 试验设计

本试验设 3 组共 10 个处理, 分别为外源施用 Cu、外源施用 Zn 和外源施用 Cu+Zn; 3 组又均设 3 种不同施用方式处理: 即基施、追施和叶面喷施; 同时设一个只施 N、P、K 养分的对照处理; 每个处理重复 4 次, 共 40 盆。此外, 还加设一组用原土栽培(不施任何肥料)丹参的处理 4 盆, 用以测定每次浇水(液)时所需的浇水(液)量。即每次浇水(液)前, 先对这 4 盆进行浇灌, 直至托盘中渗出少量水液, 然后求算土壤水分达到饱和时的平均需水量, 再以此水量的 75%~80% 的量对其他盆钵进行浇灌, 避免水、肥渗漏。

根据丹参生长和土壤基础肥力状况, N、P、K 的施用数量为: 1.75 g/盆、1.14 g/盆和 1.93 g/盆; 肥料选用 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 、 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 、KCl; Cu、Zn 的施入剂量分别为 0.6 mg/kg 和 2.2 mg/kg, Cu 肥选用 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Zn 肥选用 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。

于 2009 年 4 月 19 日选择长势一致的丹参苗进行栽种, 每盆定植一株。N、P、K 在丹参定植成活后, 根据丹参长势分 4 次施入。Cu、Zn 的基施于 2009 年 5 月 22 日浇灌; 追施于丹参生长发棵期(6 月 20 日)和根系膨大期(7 月 20 日)分两次施入; 叶面喷施与追施同期实施, 每次追施设计用量的 1/2, 每盆喷液量为 20 ml。2009 年 9 月 26 日采丹参叶片测定叶绿素含量。丹参根于 2009 年 11 月 4 日采收。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 丹参地上部、地下部的生物量和根长的测定

1.3.2 丹参叶片中叶绿素含量的测定 取 0.2 g 新鲜去除中脉的丹参叶片剪碎(紧挨刚长出的未展开新叶的倒数第一片完全展开新叶)置于研钵中, 加 2 ml 95% 乙醇和少许石英砂、碳酸钙粉研磨成匀浆, 再加 2 ml 95%乙醇研磨至白, 转移至 10 ml 离心管, 多次离心, 取上清液, 转移至 25 ml 容量瓶供测定用。将上述提取液用紫外可见分光光度计测定 470、665、649 nm 处的吸光光度值(OD)^[7]。

1.3.3 丹参根根系活力的测定^[8] 将待测根系洗净, 吸干附着水, 取 0.5 g 放入塑料瓶, 加入 40 mg/L α -萘胺和磷酸缓冲液的等量混合液 50 ml, 静置 5 min 后, 从瓶中取 1 ml 溶液放入 10 ml 刻度试管。从此刻作为零时, 将其余的溶液塞好瓶塞后, 放在 25℃恒温水浴中, 避光保存 4 h。反应时间完毕后, 再取 1 ml 溶液放入另一 10 ml 的刻度试管。两次取液均做无根空白对照。在上述两次及空白试验所吸取的 1 ml 测定液中, 各加入 5 ml 水, 混匀后顺次再加入 0.5 ml 10 mg/L 对氨基苯碳酸钠和 0.5 ml 100 mg/L 亚硝酸钠。混匀后置于 25℃水浴中 5 min 使之显色。然后再加入 2 ml 水, 使整个容积为 10 ml。摇匀后于 10~20 min 内在 510 nm 波长下读取光密度, 由回归方程求出 α -萘胺含量。

1.3.4 丹参根中多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)活性的测定 称取 0.5 g 新鲜丹参根置于预冷研钵中, 加入少量石英砂、PVP(聚乙烯吡咯烷酮)和 pH 6.0 的磷酸缓冲液(PBS), 将样品磨成匀浆后转移至 10 ml 离心管中, 低温保存即用。测定 PPO 时, 取一只试管加入 2 ml PBS 和 0.1 ml 粗酶液在 30℃下反应 1 min, 立即加入 1 ml 0.1 mol/L 邻苯二酚溶液摇匀, 在 420 nm 处测定吸光值的变化, 每隔 1 min 测定 1 次, 共计 5 次^[9]。测定 POD 时, 另取一支试管, 向其中加入 2.9 ml PBS、1 ml 2% H_2O_2 、1 ml 0.05 mol/L 愈创木酚、0.1 ml 粗酶液, 立即于 34℃水浴中保温 3 min, 然后迅速稀释一倍, 在 470 nm 波长下比色, 每隔 1 min 测定 1 次, 共计 5 次^[10]。

1.3.5 丹参根的隐丹参酮、丹参酮 I、丹参酮 IIA 含量的测定 精密称取丹参根粉末(由丹参根鲜样于 90℃杀青 30 min, 然后 60℃烘干, 粉碎, 过 20 目筛制得)100 mg 于有塞试管中, 加入二氯甲烷与甲醇混合溶媒(8:2)10 ml, 置试管于超声波中, 超声震荡 30 min, 离心(1000 r/min)10 min, 吸取上清液过 0.45 μm 滤膜, 进样 10 μl 。色谱条件: 流动相为甲醇-水(85:15), 流速为 1.0 ml/min, 检测波长为 270 nm, Nucleosil C18 色谱柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μm)。

1.4 数据处理

数据采用 Excel 软件结合 SPSS17.0 软件进行统计分析, 差异显著性检验用 Duncan 法。

2 结果与分析

2.1 不同方式施用铜锌对丹参地上和地下部生物量的影响

Cu、Zn 不同施肥方式对丹参地上、地下部生物量的影响见表 2。由表 2 可知，各处理均能增加丹参地上、地下部生物量，较对照处理相比分别增加 37.03% ~ 112.97%、9.22% ~ 165.81%，差异均显著。其次，Cu+Zn 配施的 3 种施肥方式处理对丹参生物量的增加均优于两单施组的各相应处理，且差异均达到显著水平。但就试验的两单施区组比较来看，单施 Zn 不同施肥方式处理的效果明显优于单施 Cu 不同施肥方式处理，且 Zn 追施处理对丹参地上部生物量的影响与 Cu+Zn 喷施处理无显著差异，表明丹参在该土培条件下更受 Zn 肥短缺的限制，因此外源施入 Zn 肥效果很好。再者，就同一区组下的 3 种处理方式比较来看，单施 Cu 组 3 种施 Cu 方式处理中，以喷施的效果最佳，追施次之，两两之间差异显著；单施 Zn 组和 Cu + Zn 配施组均表现为追施效果最优，基施其次，且两两之间差异达到显著水平。另外，通过对丹参地上、地下部生物量的相关性分析可知，处理间两部分生物量的相关性达极显著水平 ($Y=1.1374X+7.8832$, Y 为地上部生物量, X 为地下部生物量, 相关系数 r 为 0.964, $p<0.01$)，这说明丹参的地上、地下部生长具有很强的 consistency。

表 2 不同方式施用 Cu、Zn 对丹参地上和地下部生物量的影响 (g/株)

Table 2 Effects of different applying methods of Cu and Zn on the biomass of stems and leaves and roots of *Salviae Miltiorrhizae* Bunge

处理	茎叶	根
CK	15.94 ± 0.18 h	10.93 ± 0.63 i
Cu 基施	21.79 ± 0.58 g	11.94 ± 0.58 h
Cu 追施	23.83 ± 0.97 f	13.13 ± 0.95 g
Cu 喷施	26.26 ± 1.01 e	15.25 ± 0.38 f
Zn 基施	29.65 ± 0.89 d	17.93 ± 0.34 e
Zn 追施	33.85 ± 0.77 c	21.47 ± 0.56 d
Zn 喷施	27.24 ± 0.79 e	15.58 ± 0.54 f
Cu+Zn 基施	35.45 ± 0.57 b	24.41 ± 0.71 b
Cu+Zn 追施	39.31 ± 0.95 a	29.05 ± 0.92 a
Cu+Zn 喷施	32.81 ± 0.67 c	22.57 ± 0.74 c

注：表中同列不同小写字母表示各处理通过 Duncan 检验在 $p<0.05$ 水平下差异显著，下同。

2.2 不同方式施用铜锌对丹参叶片中叶绿素含量的影响

由表 3 可以看出，9 种 Cu、Zn 施肥处理方式均能

显著增加丹参叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素三者含量，增幅分别为 25.30% ~ 74.70%、15.08% ~ 74.60%、10.81% ~ 66.67%。韩文炎等^[11-12]报道：单独施用以及配合施用适量的 Cu 和 Zn，无论是叶面喷施还是土施，均能促进茶树生长，提高叶片叶绿素和新梢氨基酸、茶多酚等含量，增强茶树体内氧化还原酶促反应和碳氮合成代谢等，从而提高产量，改善品质。这与本研究结果相一致。

表 3 不同方式施用 Cu、Zn 对丹参叶绿素含量的影响 (mg/g)

Table 3 Effects of different applying methods of Cu and Zn on leaf chlorophyll contents of *Salviae Miltiorrhizae* Bunge

处理	叶绿素 a	叶绿素 b	类胡萝卜素
CK	0.83 ± 0.02 f	0.42 ± 0.03 f	0.33 ± 0.02 e
Cu 基施	1.04 ± 0.04 e	0.48 ± 0.01 e	0.41 ± 0.01 d
Cu 追施	1.14 ± 0.04 d	0.52 ± 0.05 de	0.47 ± 0.03 c
Cu 喷施	1.22 ± 0.04 cd	0.54 ± 0.02 d	0.50 ± 0.01 bc
Zn 基施	1.28 ± 0.03 bc	0.56 ± 0.02 cd	0.50 ± 0.02 c
Zn 追施	1.35 ± 0.02 ab	0.62 ± 0.05 b	0.51 ± 0.03 bc
Zn 喷施	1.15 ± 0.07 d	0.53 ± 0.02 de	0.48 ± 0.02 c
Cu+Zn 基施	1.44 ± 0.05 a	0.69 ± 0.03 a	0.55 ± 0.02 b
Cu+Zn 追施	1.45 ± 0.07 a	0.73 ± 0.02 a	0.62 ± 0.05 a
Cu+Zn 喷施	1.30 ± 0.09 bc	0.60 ± 0.03 bc	0.51 ± 0.05 bc

表 3 结果示明，Cu+Zn 配施对叶绿素的影响明显优于 Cu、Zn 单独施用，说明 Cu、Zn 对丹参生长中叶绿素的合成都必不可少，缺 Cu 或缺 Zn 会通过影响丹参叶绿素的形成而影响丹参的光合作用。王玉梅^[13]在研究 Zn 肥对作物产量和品质的影响时指出，Zn 与碳水化合物转化有密切关系，并参与叶绿素的合成，从而促进光合作用，提高作物的产量。而 Cu 不仅是多酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶等多种重要酶类的组成成分之一，而且与叶绿素的形成有关。由于本试验供试土壤有效 Cu 含量相对较高和有效 Zn 含量相对较低的状况，故施 Zn 处理对叶绿素含量的增加明显优于施 Cu。

从 3 种施用方式比较来看，单施 Cu 组中追施和叶面喷施处理效果明显优于基施处理，其中喷施处理的 3 种叶绿素含量均高于追施处理，但差异未达显著水平。这可能与供试土壤的有效 Cu 含量并不很低有关。单施 Zn 组的 3 种处理方式效果却是土施效果好于叶面喷施，这是因为供试土壤的有效 Zn 含量 (0.40 mg/kg) 低于临界水平 (0.5 mg/kg)，对于低 Zn/缺 Zn 土壤上的植物补 Zn 时间应是宜早不宜迟的。本试验的基施 Zn 于 5 月 22 日一次性施用，此时丹参生长仍处于苗期阶段，基施补给的 Zn 能够满足丹参中、后期生长需

要；而追施/叶面喷施是分两次施用的，每次补 Zn 数量较少，二是补 Zn 时间偏迟。第一次追施/喷施是在 6 月 20 日，比基施迟了 29 天，第二次追施/喷施是在 7 月 20 日，比基施迟了近 2 月，两次追施/喷施时丹参已分别处于发棵期和主根膨大期，生物量迅速增加，土壤供 Zn 明显不足、补 Zn 偏迟。不过，从喷施处理后丹参叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的含量分别比对照处理增加 39%、26% 和 30% 的结果来看，也足以说明叶面喷施 Zn 仍能缓解丹参中、后期缺 Zn 的不利影响。同样道理，也可解释 Cu+Zn 配施 3 种施肥方式处理下，土施两种方式尤其是基施方式优于喷施处理的结果。

2.3 不同方式施用铜锌对丹参根系活力的影响

根系活力泛指根系的吸收、合成、氧化和还原能力等，是一种客观地反映根系生命活动的生理指标^[14]。根系活力的强弱影响丹参根对水分和矿物质的吸收，从而影响丹参的生长发育。由图 1 可以看出，

与对照处理比较，所有 9 种 Cu、Zn 处理方式均能显著增强丹参根系活力，增幅为 32.43% ~ 104.45%，其中 Cu+Zn 配施组的土施方式最优。单施 Cu 组的 3 种处理中，喷施处理优于两种土施方式，两种土施处理间无显著差异；单施 Zn 组的 3 种处理中，土施方式优于叶面喷施效果，且两种土施处理与 Cu+Zn 配施组土施相比无显著差异，但显著高于单施 Cu 组的相应处理。同样 Cu+Zn 配施组中，土施两方式处理优于叶面喷施处理，且差异均达到显著水平。3 种施用方式下 Cu、Zn 对丹参根系活力的影响趋势几乎与对丹参叶片中叶绿素含量的影响趋势完全相同，进一步说明，在土壤有效 Cu 含量并不很低情况下增施外源 Cu，尤其是土施外源 Cu 对丹参根系活力的影响不大；而在缺 Zn 土壤中（如本试验供试土壤），土施 Zn 肥能快速解决丹参生长缺 Zn 症状，叶面喷 Zn 也能对丹参缺 Zn 起到明显改善作用，有利于增强丹参的根系活力。

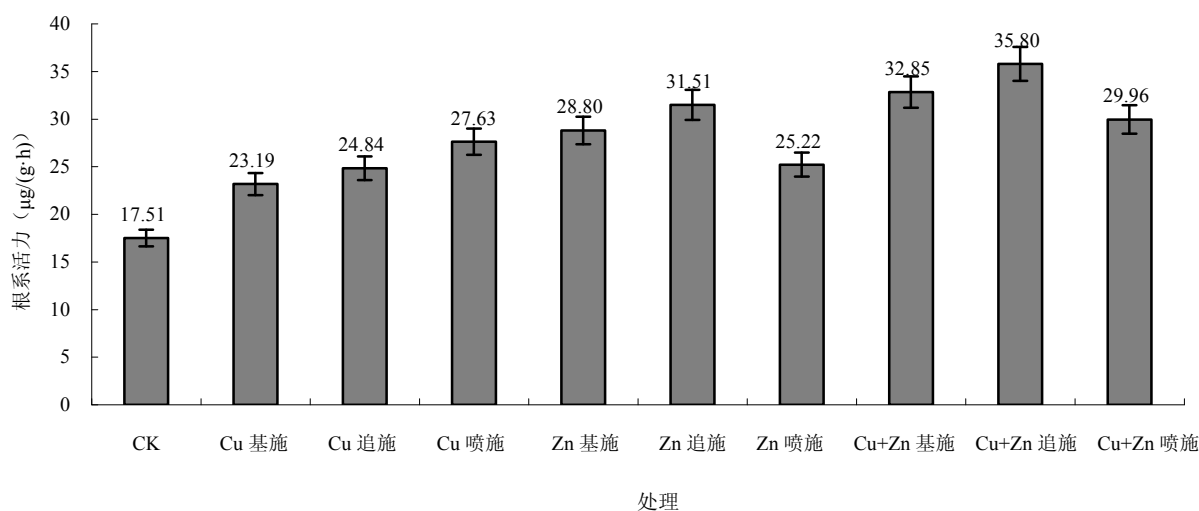


图 1 不同方式施用 Cu、Zn 对丹参根系活力的影响

Fig. 1 Effects of different applying methods of Cu and Zn on root activities of *Salviae Miltiorrhizae* Bunge

2.4 不同方式施用铜锌对丹参根中过氧化物酶和多酚氧化酶活性的影响

Cu、Zn 不同施用方式对丹参根中过氧化物酶 (POD) 和多酚氧化酶 (PPO) 活性的影响见表 4。从表 4 可知，与对照处理相比，9 种 Cu、Zn 施肥方式处理都显著增强了丹参根中 POD 和 PPO 的活性，且各处理的 PPO 活性均高于 POD 活性，两者的增幅分别为 90.78%~178.07%、102.02%~259.83%，其中 Cu+Zn 配施的土施方式最佳，施用效果明显优于 Cu、Zn 单

独施用处理。

与对照处理相比，单施 Cu 组的 3 种施肥方式处理的两种酶活性的提高均达到显著水平，其中追施和喷施方式好于基施。单施 Zn 组的 3 种处理中，POD 和 PPO 的活性均表现为土施高于喷施，差异显著；两种土施处理相较，追施处理的两种酶活均高于基施处理，但差异未达显著水平。Cu+Zn 配施 3 种处理方式对两种酶活的影响同单施 Zn 组相一致。

表 4 不同方式施用 Cu、Zn 对丹参根根系酶活性的影响 (u/(g·min))

Table 4 Effects of different applying methods of Cu and Zn on root enzyme activities of *Salviae Miltiorrhizae* Bunge

处理	POD	PPO
CK	109.77 ± 10.86 h	1 229.85 ± 175.11 f
Cu 基施	221.76 ± 3.51 g	2 346.31 ± 115.11 e
Cu 追施	253.18 ± 4.03 f	2 598.84 ± 97.58 d
Cu 喷施	275.77 ± 11.58 ef	2 780.37 ± 76.82 cd
Zn 基施	282.64 ± 7.91 de	2 884.11 ± 180.51 c
Zn 追施	312.66 ± 9.99 c	3 155.84 ± 137.37 b
Zn 喷施	255.00 ± 11.54 f	2 578.72 ± 111.70 d
Cu+Zn 基施	339.01 ± 16.12 b	3 138.52 ± 108.98 b
Cu+Zn 追施	394.99 ± 15.29 a	3 419.86 ± 191.09 a
Cu+Zn 喷施	304.23 ± 23.67 cd	2 763.78 ± 99.14 cd

2.5 不同方式施用铜锌对丹参根中丹参酮类物质积累的影响

Cu、Zn 不同施用方式丹参根 3 种丹参酮的含量见表 5。与对照处理相比, 9 种施肥方式处理都能显著提高丹参根中 3 种丹参酮的含量, 隐丹参酮的增幅为 35.86% ~ 153.95%、丹参酮 I 的增幅为 61.67% ~ 260.00%、丹参酮 IIA 的增幅为 39.11% ~ 255.95 %。其中 Cu+Zn 配合追施处理的 3 种丹参酮含量均最高。这表明施用适量的外源 Cu、Zn 有利于丹参根中丹参酮类物质的积累, 且 Cu+Zn 配合施用优于 Cu、Zn 单独施用的效果。这与汪斌等^[4]的研究结果一致。

表 5 不同方式施用 Cu、Zn 对丹参根中 3 种丹参酮含量的影响 (mg/g)

Table 5 Effects of different applying methods of Cu and Zn on tanshinone contents of *Salviae Miltiorrhizae* Bunge

处理	隐丹参酮	丹参酮 I	丹参酮 IIA
CK	1.52 ± 0.09 h	0.20 ± 0.03 f	1.40 ± 0.08 g
Cu 基施	2.09 ± 0.12 g	0.32 ± 0.02 e	2.08 ± 0.11 f
Cu 追施	2.22 ± 0.16 fg	0.36 ± 0.03 e	2.24 ± 0.15 f
Cu 喷施	2.42 ± 0.17 ef	0.41 ± 0.01 d	2.56 ± 0.30 e
Zn 基施	2.78 ± 0.10 cd	0.45 ± 0.03 d	2.85 ± 0.10 de
Zn 追施	3.20 ± 0.12 b	0.54 ± 0.02 c	3.32 ± 0.15 c
Zn 喷施	2.56 ± 0.35 de	0.42 ± 0.05 d	2.72 ± 0.25 e
Cu + Zn 基施	3.39 ± 0.09 b	0.59 ± 0.02 b	4.34 ± 0.20 b
Cu + Zn 追施	3.86 ± 0.10 a	0.72 ± 0.03 a	4.98 ± 0.19 a
Cu + Zn 喷施	2.96 ± 0.09 c	0.50 ± 0.01 c	3.06 ± 0.20 cd

从 3 种不同施肥方式比较来看, Zn 单施和 Cu+Zn 配合施用处理均表现为追施的效果较好, 追施效果均优于基施和喷施两施肥方式处理, 且在 Cu+Zn 配施组中, 3 种施肥方式处理的 3 种丹参酮含量差异均达到

显著水平, 均是追施 > 基施 > 喷施。这表明在丹参发棵期和丹参根膨大期施入 Cu、Zn 更有利于丹参酮类物质的积累。但单施 Cu 组的 3 种施肥方式却未能表现出此规律。虽然单施 Zn 和 Cu+Zn 配合施用的喷施方式并非最佳施肥方式, 但与对照处理相比, 都能显著提高 3 种丹参酮的含量, 特别是 Cu+Zn 配合的喷施处理的 3 种丹参酮含量均明显超过 Zn 基施和 Cu 基施、追施处理, 这说明叶面喷施 Cu、Zn 对提高丹参有效成分也是可行的。

3 结论与讨论

本研究表明, 单独或配合施用 Cu、Zn 均能促进丹参的生长和丹参酮类物质的累积, 且 Cu、Zn 配合施用 (无论基施、追施或叶面喷施) 优于相应的 Cu、Zn 单独施用。这可能与 Cu、Zn 可作为植物体内某些有机合成反应的催化剂或参与植物有效成分的结构功能而影响植物化学成分的形成和积累有关^[15]。说明 Cu、Zn 是丹参正常生命活动所必需的微量矿质元素。

值得注意的是, 基于单施 Cu 组的 3 种施肥方式 (基施、追施、叶面喷施) 比较, 叶面喷施 Cu 的效果好于土壤基施及土壤追施; 而基于单施 Zn 组的 3 种施肥方式比较却是基施好于追施和叶面喷施。因此认为, 这主要与供试土壤的有效 Cu 含量相对较高 (1.0 mg/kg) 而土壤有效 Zn 严重不足 (0.40 mg/kg) 有关。在土壤有效 Cu 供应尚可的情况下, 早期基施和中期追施对丹参生长及其某些生理指标影响不大, 而在中期的叶面喷施却显现出较好效果; 在土壤有效 Zn 低于土壤临界水平 (0.50 mg/kg) 时, 早期基施和追施 Zn 明显好于中期喷施 Zn, 这与基施后土壤供 Zn 早而稳, 满足了丹参全生育期内 (180 多天) 的 Zn 营养需求, 而中期叶面喷 Zn 难于满足丹参生长前期的 Zn 营养。

据此, 我们建议种植丹参药材施用 Cu、Zn 的最佳时间: 移苗后 30 天左右 (返青后), 在大田生产中则建议作基肥施用, 可与 N、P、K 基肥拌匀后施用; 施用方式: 首选基施 (尤当土壤 Cu、Zn 供应不足时), 其次亦可喷施 (土壤有效 Cu、Zn 含量高于临界值 1 ~ 2 倍时); 施用量: 作基肥施用时, 可按 5 ~ 10 kg/hm² 的 CuSO₄·5H₂O、10 ~ 20 kg/hm² 的 ZnSO₄·7H₂O 施用, 作叶面喷施时, CuSO₄·5H₂O 225 ~ 450 g/hm² (喷施浓度为 0.3 ~ 0.6 g/kg, 喷液体积为 750 L/hm²), ZnSO₄·7H₂O 450 ~ 900 g/hm² (喷施浓度为 0.6 ~ 1.2 g/kg, 喷液体积为 750 L/hm²) 为宜。

在丹参等中药材生产中, 由于土壤类型多样, 土壤中 Cu、Zn 的丰缺程度各异, 而各类中药材生长对

不同微量元素的土壤临界值和土壤中有效微量元素对其产生作用的浓度范围又具较大差异, 所以要根据不同中药材的需肥特点和栽培土壤的综合肥力状况, 因地制宜地确定施用量、施用方式和最佳施用时期, 以取得经济高效的施肥效果。

参考文献:

- [1] 国家中医药管理局《中华本草》编委会主编. 中华本草. 上海: 上海科学技术出版社, 1998: 1 650-1 671
- [2] 刘德辉, 赵海燕, 严秀贵, 孙晓东. 苏北中药材种植基地栽培丹参质量评析及改善对策. 中草药, 2004, 35(12): 1 427
- [3] 韩建萍, 梁宗锁, 张文生. 微量元素对丹参生长发育及有效成分的影响. 植物营养与肥料学报. 2005, 11(4): 560-563
- [4] 汪斌, 刘德辉, 谈献和, 王康才, 郭亚勤, 代静玉. 铜、锌对栽培丹参的丹参酮类物质影响机制的研究. 中国中药杂志, 2008, 33(17): 2 082-2 087
- [5] 汪斌. 铜、锌对丹参的品质与安全的影响(硕士学位论文). 南京: 南京农业大学, 2008
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2007: 133-134
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [8] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术指导. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [9] 杨秀清, 原海云, 焦晓光, 麻彦明, 李云峰. 铜、锌元素对华北落叶松苗期酶活性影响. 山西农业大学学报, 2001, 21(3): 277-280
- [10] 陈建勋. 植物生理学实验指导. 广州: 华南理工大学出版社, 2002
- [11] 韩文炎, 许允文, 伍炳华. 铜与锌对茶树生育特性及生理代谢的影响 I. 铜对茶树的生长和生理效应. 茶叶科学, 1993, 13(2): 101-108
- [12] 韩文炎, 许允文, 伍炳华. 铜与锌对茶树生育特性及生理代谢的影响 II. 锌对茶树的生长和生理效应. 茶叶科学, 1994, 14(1): 23-29
- [13] 王玉梅. 锌肥对作物产量和品质的影响. 现代农业科技, 2005(3): 43-45
- [14] 王芳, 刘鹏, 朱靖文. 镁对大豆根系活力、叶绿素含量和膜透性的影响. 农业环境科学学报, 2004, 23(2): 235-239
- [15] 索风梅, 陈士林, 任德权. 道地药材的产地适宜性研究. 中国中药杂志, 2005, 30(19): 1 485-1 488

Effects of Different Applying Methods of Cu and Zn on Growth and Tanshinone of *Salviae Miltiorrhizae* Bunge

WU Hui-zhen, LIU De-hui, WANG Pei-yan, ZHAO Hai-yan

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The Effects of different applying methods of Cu and Zn on the growth, enzyme (PPO and POD) activities and tanshinone of cultivated *Salviae Miltiorrhizae* Bunge were studied under the condition of soil culture. The results showed that three applying methods (base application, topdressing and spraying application) of interactive application of Cu and Zn were better than those of separate application of Cu or Zn. Three applying methods of Cu alone promoted significantly the growth and accumulation of tanshinone of *Salviae Miltiorrhizae* Bunge. Among three applying methods, spraying application was significantly better than the base applying and topdressing and there was no significant difference between the base applying and topdressing. The results revealed that the tested soil had a potential shortage of Cu. In the treatments of Zn alone treatments and the interactive application of Cu and Zn, topdressing treatment was best of all, base application was better than spraying application, and tanshinone contents in plant roots in the treatments by different applying methods were statistically significantly different. Compared with CK treatment, spraying on the leaves with Zn solution alone or with Cu plus Zn solution could remarkably increase tanshinone contents in roots. The results indicated that spraying application on the leaves is an effective way to improve the nutritional status of plants, although spraying application couldn't completely change the nutritional condition of soil deficiency.

Key words: Copper, Zinc, Applying methods, *Salviae Miltiorrhizae* Bunge, Polyphenol oxidase, Peroxidase, Tanshinone