

锰对栽培丹参的生长和丹参酮类物质累积的影响^①

孙玉新, 李永明, 刘德辉*

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要: 通过砂培盆栽试验研究了微量元素锰(Mn)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种丹参酮含量的影响。结果表明,施用适量Mn能促进丹参地上、地下部生长,其中Mn14处理(Mn浓度为14 mg/kg)的丹参地上部和地下部生物量干重最大,分别较Mn0(对照)增加38.08%和19.77%;不过稍高浓度的Mn即对丹参根的伸长显示一定抑制作用。丹参茎叶和根中Mn含量均随着Mn施入量的增加而增加,且各处理丹参茎叶中Mn含量均高于根中Mn含量。较高浓度的Mn(Mn21、Mn28处理)能提高丹参叶片的叶绿素含量,适量施Mn能显著提高丹参根中PPO和POD活性,当施Mn量不超过21 mg/kg时,丹参根中PPO和POD活性随施Mn量的增加而增强,并在施Mn量为21 mg/kg时两种酶的活性均达最高。施Mn还可促进丹参根中丹参酮类物质的累积,丹参体内PPO、POD活性与丹参根中隐丹参酮、丹参酮I和丹参酮IIA的含量均呈正相关,其中与隐丹参酮和丹参酮I含量的相关性达到极显著水平。因此,施用适量Mn可显著改善栽培丹参的内在品质。

关键词: 锰; 栽培丹参; 叶绿素; 多酚氧化酶; 过氧化物酶; 丹参酮类物质

中图分类号: S143.7

锰(Mn)是植物维持正常生命活动所必需的微量元素之一,它直接参与植物光合作用中电子传递系统的氧化还原过程及水的光解,对维持叶绿体膜正常的结构有重要作用,同时又是许多酶的组成成分和活化剂^[1-2]。Mn的缺少和过量都对植物生长不利,或者产生毒害作用,严重影响植物的生长^[3-6]。

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bge.),又名紫丹参、红根、赤参、活血参等,为唇形科鼠尾草属多年生草本植物,具有活血祛瘀,调经止痛,清热安神等功效^[7]。它广泛分布于华北、华东、中南、西北以及西南地区,是许多中药复方和中成药的主要成分之一,应用丹参药物及其所含药用成分进行防病、治病日趋增多,野生资源已远不能满足日益增多的药材用量的需求,栽培丹参弥补了野生资源量的不足,但栽培丹参的药用有效成分含量通常低于野生丹参。关于Mn营养的丰缺是否显著影响丹参的生长发育、产量、品质及抗逆性的研究鲜见报道,韩建萍等^[8]报道,施用Fe、Mn、Zn和Cu等微肥有利于丹参酮IIA的累积,而硼(B)肥不利于丹参酮IIA的累积;汪斌等^[9]在研究Cu、Zn对栽培丹参的丹参酮类物质影响机制时指出,在基质

中有效态Cu、Zn含量、丹参体内多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)活性和丹参根中3种丹参酮含量三者之间,任两者之间均呈现显著($p<0.05$)或极显著($p<0.01$)的正相关关系。丹参酮类物质是二萜醌类物质,由此汪斌等^[9]推断,适量的Cu、Zn增强了PPO、POD的活性,而他们可能促使丹参体内的酚类物质更多地转化成萜类物质,从而使丹参酮的累积量增加。为此,本研究通过砂培试验旨在探究Mn对丹参生长、丹参酮类物质含量及其丹参体内PPO、POD活性的影响,为丹参的优质高产栽培提供理论依据。

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。

1.1.2 试验方法 采用温室砂培盆栽方法。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6.0 kg基质。供试基质为充分混匀的江砂5.82 g和蛭石0.18 g,江砂

①基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAI09B03)资助。

* 通讯作者(liudehui@njau.edu.cn)

作者简介:孙玉新(1984—),女,山东济南人,硕士研究生,主要从事中药材栽培理论与技术研究。E-mail:2007103096@njau.edu.cn

用自来水冲洗干净后晾干备用;蛭石则用稀盐酸溶液浸泡 48 h,用自来水反复冲洗后晾干备用。基质中的有效态 Mn 的含量为 3.88 mg/kg。

1.2 试验设计

试验共设 5 个施 Mn 水平处理(Mn 处理设置的依据参考了 Mn 元素的土壤临界值和江苏省土壤中有效微量元素对作物产生作用的浓度范围^[10-12]):不施 Mn 对照(Mn0)、7 mg/kg (用 Mn7 表示,下同)、14 mg/kg (Mn14)、21 mg/kg (Mn21)和 28 mg/kg (Mn28);用分析纯 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 配制。各处理均重复 4 次,共计 20 盆。

于 2008 年 4 月 17 日选择长势一致的丹参苗进行栽种,每盆定植一株。生长期中,根据丹参生长需要和外部环境条件定期浇水,同时施用适量其他大量、微量元素肥料以保证其正常生长(施用的纯元素量分别为: N 0.17 g/kg、P 0.083 g/kg、K 0.17 g/kg、Fe 9.0 mg/kg、Cu 0.4 mg/kg、Zn 1.0 mg/kg、B 1.0 mg/kg、Mo 0.25 mg/kg,各养分物质均为分析纯药品。考虑到砂培中基质保肥保水性较差,所有养分(包括 Mn 营养)均在丹参生长季内分 5 次施入,每次施入总设计量的 1/5,丹参于 2008 年 12 月 4 日采收。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 生物学指标 丹参地上部、地下部的生物量和根长。

1.3.2 丹参根中 Mn 含量的测定 取风干样品 0.5 g,放入 150 ml 三角瓶中,加入浓硝酸 25 ml,放置过夜,盖上小漏斗,在电热板上低温加热 30 min,冷却,加入高氯酸 5 ml,小火加热,使瓶内白烟慢慢消失,待溶液呈无色透明时尚有 2 ml 时终止。冷却后过滤于 50 ml 容量瓶中,定容,用原子吸收分光光谱仪(AAS)测定^[13]。

1.3.3 丹参叶片中叶绿素含量的测定 取 0.2 g 新鲜丹参叶片(紧挨刚长出的未全展开新叶的倒数第一片完全展开新叶)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)^[14]。

1.3.4 丹参根 PPO 和 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^[15]。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^[16]。

1.3.5 丹参根的隐丹参酮、丹参酮 I、丹参酮 II A 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 目筛制成)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 施锰对丹参地上、地下部生物量及其根长的影响

施 Mn 对丹参地上、地下部生物量和根长的影响见表 1。由表 1 可知,丹参地上、地下部生物量均随施 Mn 量的增加呈现先增后减的趋势。当施 Mn 量不超过 14 mg/kg 时,丹参地上、地下部生物量随着施 Mn 量的增加而增加;施 Mn 量为 14 mg/kg 时丹参地上、地下部生物量均最大,较 Mn0 (CK) 处理分别增加 38.08% 和 19.77%,差异达到显著水平($p < 0.05$);当施 Mn 量超过 14 mg/kg 时,随施 Mn 量的增加丹参地上、地下部生物量减少,地上部生物量的减少幅度高于地下部;与 Mn14 比较,Mn28 和 Mn21 两高 Mn 处理丹参的地上、地下生物量分别减少 12.99% ~ 28.26% 和 2.34% ~ 13.48%,其中 Mn28 与 Mn14 处理之间的丹参地上、地下生物量的差异达到显著水平($p < 0.05$)。该结果表明,在本实验条件下施 Mn 量为 14 mg/kg 最为合适,低于该剂量影响丹参生物量的累积,而高于该剂量时使丹参受到 Mn 害。前人研究表明, Mn^{2+} 离子容易被植物吸收并能迅速运输到地上部,环境中 Mn 过量首先使地上部出现 Mn 毒害症状,随着 Mn 毒害程度增加,根系生长也会受到抑制^[17-18]。曾琦等^[19]的研究也表明,Mn 毒害首先抑制植物地上部生长,随着 Mn 毒害程度加深,根系和地上部一样,生长均受到明显抑制。本实验结果与前人结果一致。

表 1 不同施 Mn 水平对栽培丹参的地上、地下部生物量及根长的影响

Table 1 Effects of different application doses of manganese on biomass of stems and leaves and roots and root length of cultivated *Salviae Miltiorrhizae* Bunge

处理	茎叶干重 (g/株)	根干重 (g/株)	根长 (cm/株)
Mn0 (CK)	15.94 ± 0.21 b	29.28 ± 1.33 c	21.47 ± 0.85 b
Mn7	16.13 ± 2.44 b	32.86 ± 0.59 ab	24.07 ± 0.51 a
Mn14	22.01 ± 2.34 a	35.07 ± 1.61 a	20.70 ± 1.91 b
Mn21	19.15 ± 0.55 ab	34.25 ± 1.87 a	19.90 ± 1.14 bc
Mn28	15.79 ± 1.89 b	30.34 ± 1.34 bc	18.40 ± 0.65 c

注: 同列不同字母表示邓肯检验在 $p < 0.05$ 水平差异显著, 下同。

由表 1 中根长的数据看出, Mn7 处理的丹参根最长, 达到 24.07 cm。而对丹参地上、地下生物量的最适 Mn 浓度 (14 mg/kg) 也对根系的伸长产生了一定抑制作用, 即 Mn14、Mn21 和 Mn28 三处理的丹参根根长均不如 Mn7 处理和 Mn0 处理。说明稍高浓度的 Mn 即对丹参根的伸长不利。前人报道^[20], 在溶液培养中植株根系伸长量随 Mn 含量增加而减少。

2.2 施锰对丹参地上、地下部锰含量的影响

由表 2 知, 在本实验条件下, 不同施 Mn 水平下栽培丹参茎叶和根中 Mn 含量与施 Mn 量之间呈正相关关系。当施 Mn 量为 0 时, 丹参茎叶和根中的 Mn 含量最低 (分别为 22.78 mg/kg 和 11.76 mg/kg)。随着 Mn 施入量的增加, 丹参茎叶和根中的 Mn 含量均显著增加。当施 Mn 量为 21 mg/kg 时丹参茎叶中 Mn 含量达到最大值 (58.42 mg/kg), 是 Mn0 处理中 Mn 含量的 2.56 倍, 与 Mn7、Mn14 和 Mn28 处理茎叶中 Mn 含量相比较分别高出 82.91%、17.31% 和 11.94%; 当施 Mn 量为 28 mg/kg 时, 丹参根中 Mn 含量显著高于 Mn0 和 Mn7、Mn14 处理, 两个高 Mn 处理的根中 Mn 含量差异不显著, 说明丹参根中 Mn 含量的增加趋势渐缓, 根对 Mn 的吸收量可能存在峰值。在各处理中, 丹参地上部 Mn 含量均大于其根部 Mn 含量, 即 Mn 转移系数均大于 1, 即丹参茎叶对 Mn 的吸收量大于根的吸收量。

表 2 不同施 Mn 水平对栽培丹参茎叶和根中 Mn 含量的影响

Table 2 Effects of different application doses of manganese on Mn concentrations of stems and leaves and roots of cultivated *Salviae Miltiorrhizae* Bunge

处理	茎叶中 Mn 含量 (mg/kg)	根中 Mn 含量 (mg/kg)
Mn0 (CK)	22.78 ± 1.13 d	11.76 ± 1.05 d
Mn7	31.94 ± 2.11 c	17.98 ± 1.54 c
Mn14	49.80 ± 1.25 b	24.98 ± 0.29 b
Mn21	58.42 ± 1.33 a	27.70 ± 2.01 a
Mn28	52.19 ± 0.36 b	28.00 ± 0.71 a

2.3 施锰对丹参叶片中叶绿素含量的影响

由图 1 可以看出, 丹参叶片中叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb) 和类胡萝卜素 (Car) 三者含量随施 Mn 量增加的变化趋势基本一致。当 Mn 浓度不超过 14 mg/kg 时, 丹参叶片中的 Chla、Chlb 和 Car 的含量与 Mn0 处理相比均无明显变化; 当 Mn 浓度高于 14 mg/kg 时, 随着 Mn 浓度的提高, 丹参叶片中 Chla、Chlb 和 Car 随之出现先增加后减少的趋势; 当 Mn 浓度为 21 mg/kg 时丹参叶片中的 3 种光合色素含量均为最大, 其 Chla、Chlb 和 Car 的含量分别较 Mn0 处理增加 0.35、0.15 和 0.05 mg/kg, 增幅分别达到 36.08%、30.61% 和 25.00%; 当 Mn 浓度高达 28 mg/kg 时丹参叶片中的 Chla、Chlb 和 Car 的含量则有所下降, 但仍高于 Mn0 处理。说明施用适量的 Mn 能显著提高丹参叶片中叶绿素的含量, Mn 不足或过多都将减少丹参叶片中叶绿素的含量, 若完全缺 Mn 其影响更大。刘鹏等^[21]的研究表明, Mn 缺乏或过多都将减少七子花叶片的叶绿素含量, 且缺乏影响更大, 这与本研究的结果基本一致。Teichler-Zallen^[22]研究 Mn 对叶绿体结构的影响时发现, 在缺 Mn 细胞中叶绿体产生变化, 在叶绿体内不能形成片层, 从而认为 Mn 是维持叶绿体结构所必需的元素。彭令发等^[23]指出, 低 Mn 处理对叶片叶绿素含量的增加多于高 Mn 处理, 这可能是高 Mn 对玉米生长的某些生理过程产生了抑制作用所致, 本研究结果与其不甚相同, 这可能与植物种类、水分条件和外源 Mn 元素的加入方法不尽相同有关。

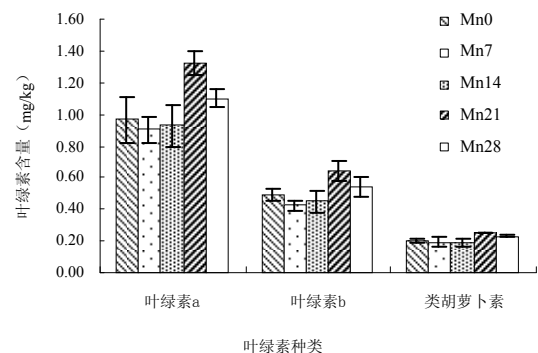


图 1 不同施 Mn 水平对栽培丹参叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of different application doses of manganese on leaf chlorophyll contents of cultivated *Salviae Miltiorrhizae* Bunge

2.4 施锰对丹参根中多酚氧化酶和过氧化物酶活性的影响

由图 2 可以看出, 丹参根中 PPO 和 POD 活性随施 Mn 量变化的趋势基本一致, 丹参根中 PPO 和 POD 活性随施 Mn 量增加均呈先增强后减弱趋势, 且各处

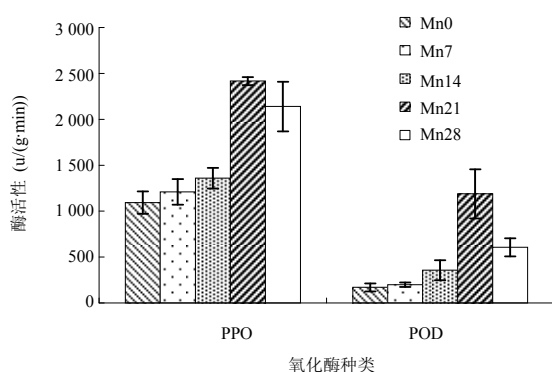


图 2 不同施 Mn 水平对栽培丹参根中 PPO、POD 活性的影响

Fig. 2 Effects of different application doses of manganese on activities of PPO and POD of cultivated *Salviae Miltiorrhizae Bunge*

理的 PPO 活性均强于 POD 活性。施用较高剂量的 Mn (Mn21) 能显著提高丹参根中 PPO 和 POD 活性。当施 Mn 量不超过 21 mg/kg 时, 丹参根中 PPO 和 POD 活性随施 Mn 量增加而增强, 并在施 Mn 量为 21 mg/kg 时达到最大, 丹参根中 PPO、POD 活性比 Mn0 处理分别增强了 2.21 倍和 6.96 倍; 当施 Mn 量超过 21 mg/kg (如 28 mg/kg) 时, 丹参根中 PPO 和 POD 活性随施 Mn 量续增而下降, 尤其是 POD 活性, 其下降幅度更大些。

2.5 施锰对丹参根中丹参酮类物质的影响

不同施 Mn 处理对丹参根中丹参酮类物质的影响见表 3, 不难看出, 施 Mn 能促进丹参根中丹参酮类物质的积累, 提高丹参根中隐丹参酮、丹参酮 I 和丹参酮 II A 的含量。

从隐丹参酮和丹参酮 I 的含量来看, 当施 Mn 量不超过 21 mg/kg 时, 丹参根中隐丹参酮和丹参酮 I 的含量随着施 Mn 量的增加而增加, 且当施 Mn 量为 21 mg/kg 时两者的含量最高, 两者的含量分别较 Mn0 处理提高了 2.09 mg/g 和 1.24 mg/g, 增幅分别达到 69.90% 和 38.99%; 当施 Mn 量超过 21 mg/kg 时, 丹参根中隐丹参酮和丹参酮 I 的含量则有所减少, 但仍高于 Mn0

处理 2.99 mg/g 和 3.18 mg/g。

从丹参酮 II A 的含量来看, 当施 Mn 量不超过 14 mg/kg 时, 丹参根中丹参酮 II A 的含量随施 Mn 量的增加而增加, 且当施 Mn 量为 14 mg/kg 时含量最高, 丹参根中丹参酮 II A 的含量较 Mn0 处理提高 35.21%; 当施 Mn 量超过 14 mg/kg 时, 丹参根中丹参酮 II A 的含量则呈减少趋势。

表 3 不同施 Mn 水平对栽培丹参根中 3 种丹参酮含量的影响 (mg/g)

Table 3 Effects of different application doses of manganese on contents of cryptotanshinone, tanshinone I and tanshinone II A

of cultivated <i>Salviae Miltiorrhizae Bunge</i>			
处理	隐丹参酮	丹参酮 I	丹参酮 II A
Mn0 (CK)	2.99 ± 0.44 c	3.18 ± 0.26 b	9.43 ± 0.59 b
Mn7	3.69 ± 0.38 bc	3.45 ± 0.40 b	10.89 ± 0.76 ab
Mn14	3.72 ± 0.14 bc	3.68 ± 0.04 b	12.75 ± 1.47 a
Mn21	5.08 ± 0.42 a	4.42 ± 0.45 a	12.59 ± 1.64 ab
Mn28	3.93 ± 0.62 b	4.34 ± 0.24 a	11.74 ± 1.49 ab

2.6 丹参体内 PPO 和 POD 活性与丹参根中 3 种丹参酮含量的关系

对丹参体内 PPO、POD 的活性与丹参根中 3 种丹参酮含量进行相关性分析 (表 4) 可知, 丹参体内 PPO、POD 活性与丹参根中隐丹参酮、丹参酮 I 含量呈极显著正相关, 与丹参酮 II A 含量呈显著正相关。PPO 活性与 3 种丹参酮含量的相关性大小顺序为: 丹参酮 I > 隐丹参酮 > 丹参酮 II A; POD 活性与 3 种丹参酮含量的相关性大小顺序为: 隐丹参酮 > 丹参酮 I > 丹参酮 II A。且 PPO、POD 两种酶的酶活性之间亦呈显著正相关 ($r = 0.931^{**}$)。3 种丹参酮之间每两种丹参酮含量之间也均呈显著正相关, 隐丹参酮和丹参酮 I 含量之间的相关关系达到极显著水平。由此可知, PPO、POD 活性对 3 种丹参酮物质的累积关系密切, 这与汪斌等^[9]所得结果相似。

表 4 丹参根中 POD、PPO 活性与丹参根中 3 种丹参酮含量的相关性

Table 4 Correlation analyses among activities of PPO and POD and contents of cryptotanshinone, tanshinone I and tanshinone II A

of cultivated *Salviae Miltiorrhizae Bunge*

	隐丹参酮	丹参酮 I	丹参酮 II A	PPO	POD
隐丹参酮	1.000				
丹参酮 I	0.802**	1.000			
丹参酮 II A	0.717*	0.684*	1.000		
PPO	0.877**	0.886**	0.674*	1.000	
POD	0.943**	0.835**	0.684*	0.931**	1.000

注: * 表示在 $p < 0.05$ 水平显著相关, ** 表示在 $p < 0.01$ 水平显著相关。

3 讨论

药用植物生长发育过程中不仅需要大量元素,也需要微量元素。外界环境条件对中药材的生长及其所含微量元素含量有着直接的影响。微量元素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,从而最终影响中药材的药理活性^[24]。Mn 是植物生长不可缺少的微量元素之一,它在植物光合作用、氮代谢和氧化还原过程中均起着重要作用。本研究结果表明,施用 14 mg/kg 的 Mn 能够促进丹参生长,增强丹参体内 PPO、POD 的活性,促进丹参根中隐丹参酮、丹参酮 I 和丹参酮 II A 多种丹参酮类物质的积累,提高丹参根中脂溶性成分的含量;当施用 21 mg/kg 的 Mn 时,丹参植株的生长虽受到一定程度影响,但丹参酮类物质是丹参次生代谢的产物,在胁迫和逆境条件下却对植物的次生代谢呈现一定程度的促进作用,因此 Mn21 处理的丹参酮含量高于 Mn14 处理。丹参的药理作用主要决定于其有效成分的高低,因此,栽培丹参生产中可施用 14 ~ 21 mg/kg 的 Mn,尤其在缺 Mn 土壤中应考虑补充 Mn 营养,方能保证丹参的内在品质。

有关丹参酮类成分生物合成途径的研究,仅限于菇类共同生源途径研究,GenBank 蛋白数据库中注册的蛋白序列中,也仅见 HMGR(MVA 途径)、DXR(DXP 途径)和 4CL(苯丙氨酸途径,酚酸类成分生物合成途径)^[25],合成途径尚不明晰。植物体内酚类物质在 PPO、POD 的作用下,能氧化成醌类物质^[26-27]。丹参根中的丹参酮是二萜醌类物质,汪斌等^[9]的研究表明丹参体内丹参酮类物质的含量与丹参体内 PPO、POD 活性呈显著 ($p < 0.05$) 或极显著 ($p < 0.01$) 的正相关关系,因此汪斌等^[9]推断:丹参酮(二萜醌类物质)的合成前体可能是酚类物质,其合成过程可能是在丹参体内的 PPO、POD 的作用下完成的。Mn 是植物体内重要的氧化还原剂和多种酶的活化剂。Horiguchi 等^[28]认为随着 Mn 的增加,植物组织中 POD 的活性增强;徐根娣等^[29]研究 Mn 对大豆 POD 和 EST 同工酶谱的影响时发现,随着 Mn 浓度的升高,华春 18 大豆的 POD 同工酶的酶带数先有所增加后又急剧减少,即随着施 Mn 浓度的升高,华春 18 大豆的 POD 活性呈现先增后减趋势,这与本研究所得施 Mn 对丹参根中 PPO 和 POD 活性的影响结果类似。本文结果表明,丹参体内 PPO、POD 活性与丹参根中隐丹参酮、丹参酮 I 和丹参酮 II A 含量均呈显著或极显著正相关关系,据此可以推测, Mn 元素影响丹参体内 PPO、POD 的活性,

从而影响丹参体内酚类物质转化成二萜醌类物质,即影响丹参酮的生成和累积。

参考文献:

- [1] 施益华, 刘鹏. 锰在植物体内生理功能研究进展. 江西林业科技, 2003(2): 26-28, 31
- [2] 曾广文. 植物生理学. 成都: 成都科技大学出版社, 1998: 40
- [3] 任立民, 刘鹏. 锰毒及植物耐性机理研究进展. 生态学报, 2007, 27(1): 357-367
- [4] Renger G. Mechanistic and structural aspects of photosynthetic water oxidation. *Physiol. Plant*, 1997, 100: 828-841
- [5] Hasegawa K, Kusunoki M, Inoue Y. Simulation of S2-state multiline EPR signal in oriented photosystem II membranes: Structural implications for the manganese cluster is an oxygen-evolving complex. *Biochem.*, 1998, 37(26): 9457-9465
- [6] Yachandra VK, Sauer K, Klein MP. Manganese cluster in photosynthesis: Where plants oxidize water to dioxygen. *Chem Rev.* 1996, 96(7): 2927-2950
- [7] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草. 上海: 上海科学技术出版社, 1998: 650-671
- [8] 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
- [9] 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): 2082-2087
- [10] 刘铮. 中国土壤微量元素. 南京: 江苏技术科学出版社, 1997
- [11] 刘铮, 徐俊祥, 邢光熹, 孙秀廷, 朱其清. 江苏土壤中微量元素供给情况以及与作物生长的关系——I. 苏南地区. 土壤, 1974(1): 29-37
- [12] 刘铮, 朱其清, 韩玉勤, 唐丽华. 江苏省徐淮地区土壤中微量元素供给情况及其与作物生长的关系. 土壤学报, 1979(3): 245-256
- [13] 史瑞和, 鲍士旦. 土壤农化分析. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 279-281
- [14] 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
- [15] 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
- [16] 陈建勋. 植物生理学实验指导. 广州: 华南理工大学出版社, 2002
- [17] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. New York: Academic Press, 1995
- [18] 张福锁. 植物营养生态生理学和遗传学. 北京: 中国科学技术

- 出版社, 1993, 231-242
- [19] 曾琦, 耿明建, 张志江, 周文兵, 朱端卫. 锰毒害对油菜苗期 Mn、Ca、Fe 含量及 POD、CAT 活性的影响. 华中农业大学学报, 2004, 23(3): 300-303
- [20] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. New York: Academic Press. 1995
- [21] 刘鹏, 徐根娣, 周子仙, 徐小丽. Mo 和 Mn 对七子花几种生理效应的影响. 林业科学研究, 2002, 15(2): 156-162
- [22] Teichler-Zallen D. The effect of manganese on chloroplast structure and photosynthetic ability of *Chlamydomonas reinhardtii*. Plant Physiol., 1969, 44: 701-710
- [23] 彭令发, 郝明德, 邱莉萍, 魏孝荣. 干旱条件下锰肥对玉米生长及光合色素含量的影响. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 35-37, 42
- [24] 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): 1485-1488
- [25] 高伟. 丹参酮类化合物生物合成相关酶基因克隆及功能研究 (博士学位论文). 北京: 中国中医科学院, 2008
- [26] Alfred MM, Eitan H. Polyphenol oxidase in plants. Phytochem., 1979, 18: 193-215
- [27] Badiani M, De BM G, Feici M. Soluble peroxidase from winter wheat seedling with phenoloxidase activity. Plant Physiol., 1990, 92: 489-494
- [28] Horiguchi T, Mitsuo C. Life cycle, behavior and morphology of a new tide pool dinoflagellate, *Gymnodinium pyrenoidosum* sp. nov. (Gymnodiniales, Pyrrhophyta). Journal of Plant Nutrition. 1987, 10(17): 2299-2310
- [29] 徐根娣, 孙和和, 刘鹏, 包海英. 锰对大豆 POD 和 EST 同工酶谱的影响. 河南农业科学, 2006(4): 46-50

Effects of Mn on Growth and Tanshinones Accumulation of Cultivated *Salviae Miltiorrhizae Bunge*.

SUN Yu-xin, LI Yong-ming, LIU De-hui

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

Abstract: The effects of applying exogenous Mn on growth, enzyme (PPO and POD) activities and tanshinones accumulation of cultivated *Salviae Miltiorrhizae Bunge* were studied under condition of sand culture. The results showed that exogenous Mn promoted the growth of shoot and root under suitable applied amount of Mn. The biomass dry weight of the shoot and root in the treatment under 14 mg/kg of Mn concentration were both the highest, which were 38.08% and 19.77% higher than that of Mn0 treatment respectively. Little higher Mn concentration could inhibit root growth. Mn concentrations in stem, leaf and root increased with the increase of Mn applied, and Mn concentrations in stems and leaves were higher than that in roots. Chlorophyll contents in leaf increased under higher Mn concentrations (21 mg/kg and 28 mg/kg). Proper Mn application could increase the activities of PPO and POD, which increased with the increase of Mn concentration as Mn applied doses did not exceed 21 mg/kg. Mn application could also promote the accumulation of three tanshinones in roots. Activities of PPO and POD were positively correlated with three tanshinones contents in roots, especially with Cryptotanshinone and Tanshinone I. Thus, proper amount of Mn fertilizer could improve obviously the quality of *Salviae miltiorrhizae bunge*.

Key words: Manganese, *Salviae Miltiorrhizae Bunge*, Chlorophyll, Polyphenol oxidase, Peroxidase, Tanshinones