



论文

中药渣有机肥对丹参的促生作用以及土壤酶活性的影响

陈美兰^{①②}, 申业^{①②}, 杨光^{①②}, 李鹏英^{①②}, 黄璐琦^{①②*}^① 中国中医科学院中药资源中心, 北京 100700;^② 道地药材国家重点实验室培育基地, 北京 100700

* 联系人, E-mail: huangluqi01@126.com

收稿日期: 2016-04-03; 接受日期: 2016-05-20; 网络版发表日期: 2016-09-13

国家自然科学基金(批准号: 81403048)和中国中医科学院自由探索项目(批准号: Zz0708116)资助

摘要 中药渣是优质的有机肥原料, 但是目前多数被当作生活垃圾处理, 不仅占用了大量的土地资源, 污染了土地及地下水, 而且还造成资源的浪费. 本课题组针对上述情况, 研究了中药渣有机肥对丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bge.)生长、生理特征以及土壤酶影响. 结果表明, 5 种中药渣有机肥都能不同程度地促进丹参生长, 其中麦芽渣处理组作用最强, 其次为连翘渣处理组和白术渣处理组, 作用最小的为苦参渣处理组和丹皮渣处理组, 丹皮渣处理组与 CK 组之间具有无显著性差异. 5 种中药渣有机肥都能改善丹参根系结构, 其作用强弱顺序与促进丹参植物生长的结果一致. 另外, 5 种中药渣处理组都能显著性地提高丹参植株叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、叶片面积、叶绿素荧光参数 NPQ. 而对于土壤酶活性的影响, 5 种中药渣处理组作用也不同, 其中麦芽渣和苦参渣显著地提高土壤磷酸酶、蔗糖酶活性.

关键词 中药渣, 丹参, 生长, 生理特征, 土壤酶

中药渣是植物类药材在提取药物成分后剩余的固形物. 我国约有 1500 个中药企业, 每年产生 1200 万吨中药渣^[1], 但是目前多数被当作生活垃圾处理, 不仅占用了大量的土地资源, 污染了土地及地下水, 而且还造成资源浪费^[2], 目前尚无大规模利用中药渣的有效途径^[3]. 中药渣营养成分丰富, 富含纤维、多糖、蛋白以及微量元素等营养成分, 质轻、通气性好, 是一种优质的有机肥原料^[4], 可以发酵成优质的

有机肥. 将固体有机废弃物发酵成堆肥应用到农业栽培中是近年来有机农业研究的热点. 施用堆肥能够提高作物产量和质量, 减少作物发病率、改善土壤理化性状, 增加土壤微生物多样性等^[5-7]. 然而目前将中药渣发酵成为有机肥而应用到中药材栽培中的相关研究较少.

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bge.), 俗称活血根, 唇形科多年生草本, 以干燥的肉质根入药^[8], 是世界公

引用格式: 陈美兰, 申业, 杨光, 等. 中药渣有机肥对丹参的促生作用以及土壤酶活性的影响. 中国科学: 生命科学, 2016, 46: 1296–1303

Chen M L, Shen Y, Yang G, et al. Effect of herb residue compost on growth and physiological properties of *Salvia miltiorrhiza* Bge., and soil enzyme activity. Sci Sin Vitae, 2016, 46: 1296–1303, doi: 10.1360/N052015-00365

认的治疗心脑血管病的首选药物。过去主要以野生为主, 20 世纪 60~70 年代的四川、山东、河南、陕西等地广泛种植, 并成为丹参主产区^[9]。随着种植规模扩大, 药农主要施用化肥, 很少施用有机肥, 已造成肥效下降, 土壤板结、连作障碍严重、产量和质量降低等弊端。大量研究表明, 使用生物有机肥料是解决上述问题的有效途径^[10,11]。关于中药渣有机肥对丹参的影响未见报道。本文研究不同种类中药渣有机肥对丹参生长及有效成分的影响, 旨在为利用中药渣有机肥栽培丹参提供指导, 以促进中药渣资源的综合利用。

1 材料与方法

1.1 供试种子

采自山东莱芜紫光生态园有限公司的白花丹参基地, 经中国中医科学院中药资源中心黄璐琦研究员鉴定为唇形科植物白花丹参(*S. miltiorrhiza* Bge. var. *f. alba*)的种子。

1.2 供试中药渣有机肥

白术渣、苦参渣、连翘药渣、麦芽渣、丹皮药渣来自河北某制药企业, 采用堆肥的方式发酵成有机肥。

1.3 供试土壤

潮土, pH 8.73, 有机质 3.4 g/kg, 速效磷 15.9 mg/kg, 全磷 59 g/kg, 全氮 27 g/kg, 全钾 199 g/kg, 速效钾 61 mg/kg; 速效锌 0.54 mg/kg, 速效锰 5.2 mg/kg, 速效铁 11.2 mg/kg 和速效铜 0.92 mg/kg。

1.4 试验设计

本试验在中国中医科学院中药资源中心温室中进行。选择盆高为 15 cm, 盆口直径为 17 cm, 盆底直径为 9 cm 的塑料花盆, 每盆装入土壤: 有机肥(5:1)混匀组成的基质 2.5 kg。试验处理共 5 组, 即 CK 组(不加有机肥)、白术渣处理组(BS)、苦参渣处理组(KS)、连翘药渣处理组(LQ)、麦芽渣处理组(MY)、丹皮药渣(DP)处理组。筛选色泽、大小、饱满度一致的种子, 于 2014 年 4 月 20 日播种, 每盆均匀撒种 5~10 粒, 覆土 2~3 cm, 各组处理 6 盆。株高约 5 cm 时间苗, 每盆留苗 2 棵。处理 6 个月后测定其生长状

况以及根系结构。

1.5 叶片面积测定

丹参植株培养 6 个月后, 采用 CI-203 便携式激光叶面积仪(CID 公司, 美国)测定丹参叶面积, 每盆测定 2 株, 共 12 株。测定部位: 自上往下第二片完全展开的叶子。

1.6 叶绿素荧光测定

参照 Ritchie 和 Bunthawin^[12]的方法, 在室温下采用便携式调制叶绿素荧光仪(Mini-Pam, Walz, 德国)测定叶绿素荧光诱导动力学参数。测定部位选择自上往下第二片完全展开的叶子, 相关指标按照说明书的操作步骤测定。在测量之前先将植株放在暗室使叶片暗适应 30 min。测量时, 首先用测量光($<0.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)激发叶绿素的本底荧光(F_0), 而后用饱和脉冲光($>10000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)照射 0.8 s, 测量最大荧光强度(F_m)。暗适应的最大荧光强度(F_m)和初始荧光强度(F_0), 根据记录参数计算 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II 实际光化学效率(Yield)、光化学荧光猝灭系数(qP)和非光化学荧光猝灭系数(qN)。根据快速光响应曲线获得表观光合电子传递速率(ETR)。

1.7 生长指标的测定

丹参植株培养 6 个月, 待 1.5, 1.6 测定结束, 每盆采样 2 株测定丹参的各项生物学指标。采用直尺测定株高、根长, 游标卡尺测定主根的顶端作为根粗, 采用千分之一天平测定地上部分鲜重和地下部分鲜重。

1.8 根系形态结构测定

用分辨率为 400 bpi 的 Epson7500 扫描仪(日本长野县精工爱普生公司)对根系进行扫描。扫描时将根系放入特制的透明托盘内, 加入 3~5 mL 水以避免根系分支的互相缠绕。扫描后保存图像, 采用 WinRhizoPro Vision 5.0a 分析程序对图像进行分析, 获取根长度、根表面积、根体积、根投影面积、平均根直径及根尖数等根系形态相关指标数据。

1.9 土壤酶活性检测

土壤酶活性测定参照关松荫^[13]的方法。蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法, 脲酶活性的测定

采用苯酚钠-次氯酸钠比色法, 磷酸酶活性采用磷酸苯二钠法. 蔗糖酶活性以 mg glucose./g (37℃ 24 h) 表示, 脲酶活性以 mg NH₃-N/g (37℃ 24 h)表示, 磷酸酶活性以 mg phenol/g (37℃ 24 h)表示.

1.10 丹参有效成分测定

样品提取采用 Wang 等人^[14]方法进行, 具体方法如下: 新鲜样品采用液氮冷冻 10 min 后粉碎, 精密称取样品粉末 0.1000 g, 加入 80%甲醇提取液 1.8 mL, 超声提取 30 min, 离心取上清, 共反复提取 3 次, 上清液置于 10 mL 容量瓶中定容, 过 0.45 μm 滤膜, 即得待测液.

色谱条件为: Agilent Zorbax Extend C18 反相色谱柱(5 μm, 4.6 mm×250 mm), 柱温 30℃, 流速 1.0 mL/min, 检测波长 280 nm, 进样量为 10 μL, 采用梯度洗脱(表 1).

1.11 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS18.0 软件进行数据分析.

2 结果与分析

2.1 不同种类中药渣对丹参生长的影响

表 2 表明, 不同种类的中药渣有机肥对丹参生长的影响不同, 其中麦芽渣处理组的作用最明显, 其次是连翘渣和白术渣处理组, 作用比较小的是苦参渣和丹皮渣处理组. 麦芽渣处理组与 CK 组相比能够显著地($P<0.05$)提高丹参植株的株高、叶片数、地上部分分支数、地上部分鲜重、根长以及地下部分鲜重, 分别提高了 2.23 倍、0.62 倍、2.51 倍、5.79 倍、67.5% 及 5.16 倍. 连翘渣处理组与 CK 组相比能够显著地

($P<0.05$)提高丹参植株的株高、叶片数、地上部分分支数、地上部分鲜重以及地下部分鲜重, 分别提高了 1.79, 0.72, 2.10, 4.44 及 4.32 倍. 白术渣处理组与 CK 组相比能够显著地提高株高、地上部分分支数、地上部分鲜重、根长以及地下部分鲜重, 分别提高了 1.84, 1.66, 2.84, 0.14 及 1.85 倍. 苦参渣处理组只是显著性地提高了地上部分生物量, 而对地下部分生物量无显著性地提高. 丹皮渣处理组与 CK 组相比, 对丹参地上、地下部分生物量均无显著影响.

2.2 不同种类中药渣有机肥对丹参叶绿素荧光特性及叶面积的影响

F_v/F_m 反映了植物的潜在最大光合能力; qP 反映了光合活性的高低; NPQ 反映了植物耗散过剩光能为热的能力; Y(NO)是光保护的重要指标; Y(NPQ)是光损伤的重要指标; ETR 是相对电子传递速率. 表 3 表明, 与 CK 组相比, 不同种类中药渣处理组都能显著性地($P<0.05$)提高 F_v/F_m ; 同时除了白术渣处理组, 其他处理组还都能显著性地降低 NPQ; 连翘渣处理组还能显著性地($P<0.05$)提高 ETR; 麦芽渣处理组显著性地提高 Y(NO). 另外, 不同中药渣有机肥处理组都能显著性地提高丹参植株叶片面积, 提高幅度为 71.6%~48.2%(表 3).

表 1 洗脱条件

时间 (min)	乙腈	0.1%磷酸水
0.00	25%	75%
15.00	25%	75%
16.00	40%	60%
18.00	50%	50%
55.00	75%	25%
56.50	25%	75%

表 2 不同种类中药渣对丹参生长的影响^{a)}

处理组	株高(cm)	叶片数(片/株)	分支数(枝/株)	地上部分鲜重(g/株)	根长(cm)	地下部分鲜重(g/株)	根粗(cm)
CK	4.31±0.31c	10.25±1.41b	2.63±0.32d	0.66±0.08d	3.91±0.34c	0.95±0.15c	0.41±0.03b
BS	12.25±1.17ab	15.17±1.83b	7.00±0.63b	2.54±0.47bc	4.47±0.30ab	2.75±0.80b	0.53±0.04b
KS	10.01±0.78b	15.43±1.95b	4.71±0.68c	3.23±0.43bc	4.93±0.45ab	1.42±0.24bc	0.43±0.05b
LQ	12.02±1.03ab	17.71±1.77a	8.14±0.77ab	3.59±0.71ab	5.32±0.39abc	5.05±0.83a	0.71±0.07a
MY	13.93±0.60a	16.63±2.78a	9.25±0.75a	4.84±0.66a	6.55±0.61a	5.85±0.84a	0.66±0.05ab
DP	10.63±0.76ab	13.86±1.47b	5.14±0.51bc	2.01±0.24cd	4.51±0.31b	1.94±0.29bc	0.53±0.04b

a) CK: 对照组; BS: 白术渣处理组; KS: 苦参渣处理组; LQ: 连翘渣处理组; MY: 麦芽渣处理组; DP: 丹皮渣处理组, 每个值是 6 次重复的 $\bar{x} \pm SE$; 同列不同字母代表处理组之间具有显著性差异($P<0.05$)

表 3 不同种类中药渣有机肥处理丹参叶片叶绿素荧光特性^{a)}

处理组	最大量子产率 F_v/F_m	光化学荧光猝灭 系数 qP	非光化学荧光猝灭 系数 NPQ	调节性能量耗散的 量子产量 Y(NO)	非调节性能量耗散的 量子产量 Y(NPQ)	相对光合电子 传递速率 ETR
CK	0.7516±0.0131b	0.8263±0.0275a	0.9887±0.0730a	0.2505±0.0085b	0.2483±0.0201a	28.11±2.22b
BS	0.7878±0.0102a	0.7707±0.0126ab	0.8229±0.0666ab	0.2608±0.0110ab	0.2245±0.0117ab	28.3±1.88b
KS	0.8014±0.0042a	0.7339±0.0223b	0.7631±0.0838bc	0.2758±0.0050a	0.2103±0.0231ab	28.33±2.24b
LQ	0.8064±0.0045a	0.8053±0.0127a	0.5067±0.0458d	0.2725±0.0092ab	0.182±0.0489ab	36.42±2.85a
MY	0.801±0.0060a	0.7699±0.0262ab	0.6046±0.0585cd	0.2797±0.0108a	0.1684±0.0159b	32.6±2.71b
DP	0.7956±0.0031a	0.7683±0.0124b	0.8074±0.0685b	0.2641±0.0083ab	0.2103±0.0136ab	27.86±1.69b

a) CK: 对照组; BS: 白术渣处理组; KS: 苦参渣处理组; LQ: 连翘渣处理组; MY: 麦芽渣处理组; DP: 丹皮渣处理组, 每个值是 6 次重复的 $\bar{x} \pm SE$; 同列不同字母代表处理组之间具有显著性的差异($P<0.05$)

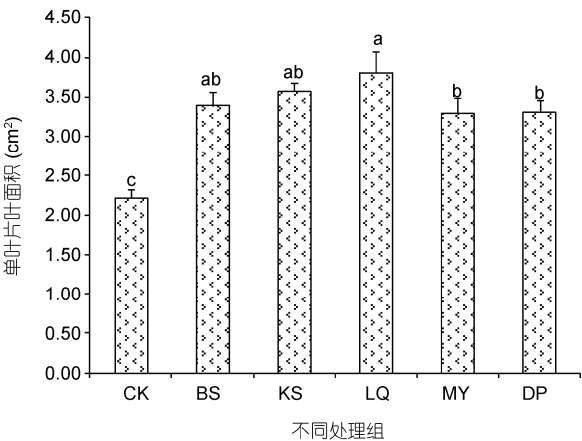


图 1 不同中药渣有机肥对丹参植株叶片面积的影响

CK: 对照组; BS: 白术渣处理组; KS: 苦参渣处理组; LQ: 连翘渣处理组; MY: 麦芽渣处理组; DP: 丹皮渣处理组, $n=6$, 不同字母代表处理组之间具有显著性的差异($P<0.05$)

2.3 不同种类中药渣有机肥对丹参根系结构的影响

表 4 表明, 麦芽渣处理组对丹参植株根系结构的影响最强, 其次是连翘渣和白术渣处理组, 影响最小的为苦参渣和丹皮渣处理组. 麦芽渣处理组能够显著地($P<0.05$)提高丹参植株根总表面积、平均根粗、根体积以及根尖数, 分别提高了 0.23, 0.43, 3.34 及 2.36 倍. 连翘渣和白术渣处理组都能显著性地提高平均根粗和根体积, 平均根粗分别提高了 0.63 和 0.51 倍, 根体积分别提高了 4.22 和 1.88 倍. 而苦参渣和丹皮渣处理组与 CK 处理组之间无显著性差异.

2.4 不同种类中药渣有机肥对土壤酶活性的影响

土壤酶活性是土壤生物活性和土壤肥力的重要

指标. 蔗糖酶对增加土壤中易溶性营养物质起着重要的作用; 磷酸酶可加速有机磷的脱磷速度, 积累的磷酸酶对土壤磷素的有效性具有重要作用; 脲酶的活性表示土壤氮素状况. 表 5 表明, 不同种类中药渣有机肥对于土壤酶活性的影响不同, 其中麦芽渣、白术渣处理组的影响最大, 这两种中药渣有机肥都能显著地提高土壤中蔗糖酶和磷酸酶的活性. 麦芽渣和白术渣处理组蔗糖酶活性分别提高了 1.38 和 1.07 倍; 对于磷酸酶活性分别提高了 4.65 和 4.05 倍. 连翘渣处理组只是显著性地提高了蔗糖酶活性, 磷酸酶和脲酶活性与 CK 组相比无显著性的差异; 苦参渣和丹皮渣处理组只是提高磷酸酶的活性, 蔗糖酶和脲酶与 CK 组相比无显著性的差异. 另外, 对于脲酶, 5 种中药渣有机肥与 CK 组相比都无显著性的差异.

2.5 不同种类中药渣有机肥对丹参有效成分的影响

表 6 和图 2 表明, 5 种中药渣有机肥处理组总体上都不会显著地降低丹参植株地下部分有效成分的含量(除麦芽渣处理组外), 甚至还能提高有效成分的含量, 苦参渣处理组能显著地提高隐丹参酮、丹参酮 I 的含量, 分别提高了 2.83 和 0.42 倍; 白术渣处理组能显著地提高隐丹参酮, 提高了 0.47 倍. 但是, 5 种中药渣处理组对于地上部分有效成分的影响较大. 5 种中药渣处理组与 CK 处理组相比都显著性地降低丹酚酸 B 的含量, 分别为 CK 处理组的 31.1%~66.6%. 而对于迷迭香酸, 不同种类的中药渣作用不同. 与 CK 处理组相比, 苦参渣处理组和连翘渣处理组具有显著地提高作用, 分别提高了 74.4%和 64.7%; 而白术渣、麦芽渣、丹皮渣则显著性地降低, 分别为 CK 处理组的 88.6%, 77.3%和 56.1%.

表 4 不同种类中药渣有机肥对丹参根系结构的影响^{a)}

处理组	总根长(cm/株)	总投影面积 (cm ² /株)	总表面积 (cm ² /株)	平均根粗(mm)	根体积 (cm ³ /株)	根尖数 (个/株)
CK	157.10±11.37a	12.01±0.69a	12.63±0.67bc	0.35±0.02b	0.35±0.06d	516.1±72.7b
BS	141.67±30.34a	11.31±1.39a	12.15±1.12c	0.53±0.05a	1.01±0.29bc	625.3±114.0b
KS	136.29±18.59a	10.39±0.75a	12.92±1.00b	0.42±0.02bc	0.61±0.09cd	659±60.4b
LQ	175.8±14.33a	11.72±0.81a	14.97±0.56ab	0.57±0.04a	1.83±0.36a	1150.5±194.2ab
MY	169.11±21.25a	10.76±0.94a	15.55±0.96a	0.50±0.04ac	1.52±0.19ab	1735.1±295.8a
DP	121.31±20.92a	9.33±1.11a	12.64±0.85bc	0.48±0.02ac	0.68±0.07cd	642±124.2ab

a) CK: 对照组; BS: 白术渣处理组; KS: 苦参渣处理组; LQ: 连翘渣处理组; MY: 麦芽渣处理组; DP: 丹皮渣处理组, 每个值是6次重复的 $\bar{x} \pm SE$; 同列不同字母代表处理组之间具有显著性的差异($P<0.05$)

表 5 不同种类中药渣有机肥对土壤酶活性的影响^{a)}

处理组	蔗糖酶(mg/g)	磷酸酶(mg/g)	脲酶(mg/g)
CK	7.11 ±0.027b	0.2053±0.0148c	2.464±0.1423a
BS	14.71±0.088a	1.0369±0.2035ab	2.903±0.1230a
KS	10.32±0.095ab	1.0581±0.0345ab	2.632±0.1007a
LQ	14.77±0.090a	0.4551±0.0473c	2.353±0.2568a
MY	16.96±0.204a	1.1606±0.1548a	2.637±0.3825a
DP	10.85±0.070ab	0.8201±0.0483b	2.503±0.0942a

a) CK: 对照组; BS: 白术渣处理组; KS: 苦参渣处理组; LQ: 连翘渣处理组; MY: 麦芽渣处理组; DP: 丹皮渣处理组, 每个值是6次重复的 $\bar{x} \pm SE$; 同列不同字母代表处理组之间具有显著性的差异, $P<0.05$

表 6 不同种类中药渣对丹参根部脂溶性和水溶性成分含量的影响^{a)}

处理组	二氢丹参酮(g/g)	隐丹参酮(g/g)	丹参酮 I (g/g)	丹参酮 II (g/g)	迷迭香酸(g/g)	丹酚酸 B(g/g)
CK	0.0129±0.0005ab	0.0665±0.0038dc	0.0901±0.0037b	0.1329±0.0096ab	0.5584±0.0461ab	5.0335±0.5422ab
BS	0.0137±0.0002ab	0.0979±0.0010b	0.0764±0.0017b	0.1629±0.0024b	0.6390±0.0029ab	5.1274±0.0245a
KS	0.0270±0.0029a	0.2547±0.0264a	0.1280±0.0038a	0.3108±0.0137a	0.7101±0.0341a	5.1288±0.2212a
LQ	0.0253±0.0070ab	0.1361±0.0232abc	0.0684±0.006b	0.168±0.0264abc	0.6358±0.0607ab	4.1826±0.3339ab
MY	0.0072±0.0013b	0.0268±0.0090d	0.0252±0.0057c	0.0399±0.0080c	0.4858±0.0283b	3.6301±0.2426b
DP	0.0117±0.0028ab	0.0830±0.0158bd	0.0960±0.0242b	0.0986±0.0390abc	0.3640±0.0700ab	2.6902±0.4575ab

a) CK: 对照组; BS: 白术渣处理组; KS: 苦参渣处理组; LQ: 连翘渣处理组; MY: 麦芽渣处理组; DP: 丹皮渣处理组. 每个值是6次重复的 $\bar{x} \pm SE$; 不同字母代表处理组之间具有显著性的差异, $P<0.05$

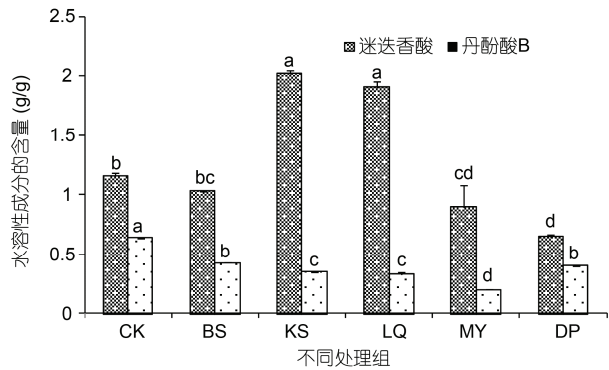


图 2 不同种类中药渣有机肥对丹参地上部分水溶性成分的影响

CK: 对照组; BS: 白术渣处理组; KS: 苦参渣处理组; LQ: 连翘渣处理组; MY: 麦芽渣处理组; DP: 丹皮渣处理组, 每个处理组测定 6 株, 不同字母代表具有显著性的差异, $P<0.05$

3 讨论

有关以废弃植物残渣为原料的堆肥能促进栽培植物生长的文献报道很多, 例如, 以蔬菜、棉花秆、甘蔗渣、麦秆、压榨橄榄油后的废弃物等为原料进行堆肥, 分别能促进土豆(*Solanum tuberosum*)、玉米(*Zea mays*)以及橄榄(*Canarium album*)的生长^[15-18], 但是关于中药渣堆肥对栽培植物生长的研究较少. 以往的研究表明, 采用中药渣堆肥能够提高番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)、玉米、当归(*Angelica sinensis*)等栽培植物的产量^[19-21]. 本研究表明, 中药渣有机肥能够促进丹参植物生长, 该研究结果与许多固体有机物堆肥的研究结果一致. 另外, 本研究也表明, 不同种类的中药渣有机肥对丹参生长的影响

不同, 其中麦芽渣处理组的影响最大, 其次为连翘处理组和白术渣处理组, 影响最小的为苦参渣和丹皮渣处理组。

根系结构对植物吸收水分和养分有着重要的作用^[22], 根系结构会随着土壤环境的改变而改变, 具有很强的可塑性^[23,24]。关于有机肥对根系结构影响的报道很多^[25], 但是关于中药渣有机肥对根系结构的影响未见相关的报道。本文研究表明, 麦芽渣、连翘渣及白术渣处理组都能改善丹参植株的根系结构。与对照组相比, 麦芽渣、连翘渣和白术渣处理组都能够显著地($P<0.05$)提高丹参植株根体积, 分别提高了 3.34, 4.22 和 1.88 倍。该结果与其他来源堆肥的研究结果相似^[25]。另外, 不同种类中药渣有机肥对丹参根系结构的改善作用不同, 其中麦芽渣处理组作用最强, 其次为连翘渣和白术渣处理组, 作用最小的为苦参渣和丹皮渣处理组, 该结果与促进丹参植物生长的结果一致, 说明改善根系结构与促进植物生长具有协同性。

叶绿素荧光动力学技术在测定叶片光合作用过程中光系统对光能的吸收、传递、耗散、分配等方面具有独特的作用, 其特性与植物的营养和胁迫程度密切相关^[26]。Lakhdar 等人^[27]研究表明, 城市固体废弃物堆肥能够显著性地提高 F_v/F_m , 降低 NPQ, 而降低 NPQ 是为了充分利用光子能, 从而降低热耗散。高茂盛等人^[30]研究表明, 适量(6000 kg/hm^2)秸秆翻压还田可以延缓光合速率的下降, 还田量过高反而导致了光合速率的急剧下降。但是关于中药渣有机肥对叶绿素荧光的影响未见相关的报道。本研究表明, 与 CK 组相比, 5 种不同种类的中药渣有机肥处理组均能够显著性地提高 F_v/F_m ; 除白术渣处理组外, 其他 4 种中药渣处理组均能显著性地降低 NPQ, 从而提高丹参植株的光合作用, 该结果与有机肥的文献报道结果相似^[27,28]。另外, 本研究结果表明, 对照组和各个中药渣有机肥处理组的 F_v/F_m 均小于 0.8, F_v/F_m 为最大光能转化效率, 常用来反映植物在生长

过程中光合作用的伤害程度, 在未受到环境胁迫时, 植物暗适应的 F_v/F_m 在 0.8 以上^[29], 说明对照组和各处理组均处于环境胁迫状态。

土壤酶是土壤的生物催化剂, 土壤酶与主要肥力因子有显著相关关系, 可作为土壤肥力指标之一。前期的文献报道也表明, 施用固体有机物能够有效地提高土壤酶的活性, 但是对于不同土壤酶活性的作用不同^[30]。李腊梅等人^[31]研究表明, 秸秆还田能够提供土壤酶的活性, 增加酶活性的顺序则分别为: β -葡萄糖苷酶>脱氢酶、脲酶>FDA 水解酶、碱性磷酸酶>芳基硫酸酯酶>酸性磷酸酶。Scotti 等人^[32]研究结果表明, 施用堆肥和木头残渣混合物会影响土壤中所测得的 7 种土壤酶活性, 其中对脲酶的影响规律与其他土壤酶不同。目前关于施用中药渣有机肥对土壤酶的影响未见相应的报道。本文结果表明, 5 种不同中药渣有机肥都具有显著性提高磷酸酶、蔗糖酶活性的作用或者具有提高这两种土壤酶活性的趋势, 而对于脲酶无显著性差异的影响。由于磷酸酶活性反应了土壤中能够提供给植物速效 P 的含量^[33]; 蔗糖酶活性反应了土壤中能够提供给植物可溶性糖的含量^[34], 因此推论中药渣有机肥通过提高土壤磷酸酶以及蔗糖酶的活性, 从而提高土壤中速效 P 和可溶性 C 的含量, 促进植物对土壤养分的吸收, 提高植物的产量。

4 结论

中药渣有机肥能够促进丹参植物的生长, 不同种类的中药渣有机肥对丹参生长的影响不同, 其中麦芽渣处理组促生作用最强, 其次为连翘渣和白术渣处理组, 促生作用最小的为苦参渣和丹皮渣处理组。其促生机制主要表现在以下几个方面: (i) 通过提高植物的光合作用; (ii) 改善植物根系结构, 提高植物吸收水分和养分的能力; (iii) 提高土壤中磷酸酶、蔗糖酶活性。

参考文献

- 1 许光文, 纪文峰, 刘周恩, 等. 轻工生物质过程残渣高值化利用必要性与技术路线分析. 过程工程学报, 2009, 3: 618–624
- 2 谭显东, 王向东, 黄健盛, 等. 中药渣资源化技术研究进展. 中成药, 2010, 5: 847–849
- 3 孟小燕, 于宏兵, 王攀, 等. 低碳经济视角下中药行业药渣催化裂解资源化研究. 环境污染与防治, 2010, 6: 32–35
- 4 石连成, 叶琛, 李霄. 中药生产企业药渣处理方法和综合利用. 中国医药指南, 2012, 14: 385–386
- 5 Bernard E, Larkin R P, Tavantzis S, et al. Rapeseed rotation, compost and biocontrol amendments reduce soilborne diseases and increase

- tuber yield in organic and conventional potato production systems. *Plant Soil*, 2014, 374: 611–627
- 6 Bernard E, Larkin R P, Tavantzis S, et al. Compost, rapeseed rotation, and biocontrol agents significantly impact soil microbial communities in organic and conventional potato production systems. *Appl Soil Ecol*, 2012, 52: 29–41
- 7 Thuy T D, Henry-Des-Tureaux T, Rumpel C, et al. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: a three year mesocosm experiment. *Sci Total Environ*, 2015, 514: 147–154
- 8 国家药典委员会编. 中国药典. 一部. 北京: 中国医药科技出版社, 2015. 76–77
- 9 林蔚兰, 邓乔华, 卢绵, 等. 三个丹参主产区生产情况调查. *中药材*, 2008, 3: 338–340
- 10 邵孝侯, 刘旭, 周永波, 等. 生物有机肥改良连作土壤及烤烟生长发育的效应. *中国土壤与肥料*, 2011, 2: 65–67
- 11 熊又升, 袁家富, 杨涛, 等. 生物有机肥对棉花黄萎病发生及产量的影响. *湖北农业科学*, 2010, 8: 1841–1844
- 12 Ritchie R J, Mekjinda N. Measurement of photosynthesis using PAM technology in a purple sulfur bacterium *Thermochromatium tepidum* (Chromatiaceae). *Photochem Photobiol*, 2015, 91: 350–358
- 13 关松荫. 土壤酶及其研究方法. 北京: 农业出版社, 1986. 274–313
- 14 Wang Y, Peng H, Shen Y, et al. The profiling of bioactive ingredients of differently aged *Salvia miltiorrhiza* roots. *Micro Res Tech*, 2013, 76: 947–954
- 15 Tejada M, Benitez C. Application of vermicomposts and compost on tomato growth in greenhouses. *Compost Sci Util*, 2015, 23: 94–103
- 16 Benitez M M, Zara R R, de Guzman C C. Comparative effects of soil organic amendments on growth, yield and antioxidant content of bitter melon (*Momordica charantia* L. cv. Makiling). *Philippine Agricultural Science*, 2013, 96: 359–369
- 17 Mbau S K, Karanja N, Ayuke F. Short-term influence of compost application on maize yield, soil macrofauna diversity and abundance in nutrient deficient soils of Kakamega County, Kenya. *Plant Soil*, 2015, 387: 379–394
- 18 Proietti P, Federici E, Fidati L, et al. Effects of amendment with oil mill waste and its derived-compost on soil chemical and microbiological characteristics and olive (*Olea europaea* L.) productivity. *Agri Ecosyst Environ*, 2015, 207: 51–60
- 19 张跃群, 余德琴. 中药渣有机基质对番茄产量和品质的影响. *北方园艺*, 2009, 11: 33–36
- 20 李静娟, 周波, 张池, 等. 中药渣蚓粪对玉米生长及土壤肥力特性的影响. *应用生态学报*, 2013, 24: 2651–2657
- 21 王引权, Frank S, 安培坤, 等. 中药渣堆肥与化肥配合施用对当归产量与品质的影响. *甘肃中医学院学报*, 2012, 29: 51–56
- 22 Zhang H W, Huang Y, Ye X S, et al. Genotypic variation in phosphorus acquisition from sparingly soluble P sources is related to root morphology and root exudates in *Brassica napus*. *Sci China Life Sci*, 2011, 54: 1134–1142
- 23 Robinson D. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytol*, 1994, 127: 635–674
- 24 Forde B, Lorenzo H. The nutritional control of root development. *Plant Soil*, 2001, 232: 51–68
- 25 Gizas G, Tsirogiannis I, Bakea M, et al. Impact of hydraulic characteristics of raw or composted posidonia residues, coir, and their mixtures with pumice on root aeration, water availability, and yield in a lettuce crop. *Hortscience*, 2012, 47: 896–901
- 26 李晓, 冯伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析技术及应用进展. *西北植物学报*, 2006, 26: 2186–2196
- 27 Lakhdar A, Slatni T, Iannelli M A, et al. Risk of municipal solid waste compost and sewage sludge use on photosynthetic performance in common crop (*Triticum durum*). *Acta Physiol Plant*, 2012, 34: 1017–1026
- 28 高茂盛, 廖允成, 尹振燕, 等. 麦秸还田对隔茬冬小麦根系及叶片衰老的影响. *西北植物学报*, 2007, 27: 303–308
- 29 Klamkowski K, Borkowska B, Treder W, et al. Effect of mycorrhizal inoculation on photosynthetic activity and vegetative growth of cranberry plants grown under different water regimes. *Gestão Produção*, 2009, 838: 109–113
- 30 Albiach R, Canet R, Pomares F, et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technol*, 2000, 75: 43–48
- 31 李腊梅, 陆琴, 严蔚东, 等. 太湖地区稻麦二熟制下长期秸秆还田对土壤酶活性的影响. *土壤*, 2006, 38: 422–428
- 32 Scotti R, D’Ascoli R, Caceres M G, et al. Combined use of compost and wood scraps to increase carbon stock and improve soil quality in intensive farming systems. *Euro J Soil Sci*, 2015, 66: 463–475
- 33 Turner B L, Haygarth P M. Phosphatase activity in temperate pasture soils: potential regulation of labile organic phosphorus turnover by phosphodiesterase activity. *Sci Total Environ*, 2005, 344: 27–36
- 34 Stemmer M, Gerzabek M, Handeler E. Nvertase and xylanase activity of bulk soil and particle-size fraction during maize straw decomposition. *Soil Biol Biochem*, 1998, 31: 9–19

Effect of herb residue compost on growth and physiological properties of *Salvia miltiorrhiza* Bge., and soil enzyme activity

CHEN MeiLan^{1,2}, SHEN Ye^{1,2}, YANG Guang^{1,2}, LI PengYing^{1,2} & HUANG LuQi^{1,2}

¹ National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China;

² State Key Laboratory Breeding Base of Dao-di Herbs, Beijing 100700, China

Herb residue is a post-decoction material that can be used as organic fertilizer. Unfortunately, it is currently disposed of as solid waste. This method of disposal is a waste of this resource and a source of environmental pollution. We studied effects of five different herb residue composts on growth, the physiological properties of *Salvia miltiorrhiza* bge. *f. alba*, as well as soil enzyme activity. Our results show that all five herb residues can improve the growth of *S. miltiorrhiza* at different degree. *Hordei fructus germinates* residue had the most pronounced effect, the residues of *Forsythia fructus* and *Atractylodis macrocephalae rhizome* showed moderate improvement, and those of *Salviae miltiorrhizae radix* and *Sophorae flavescentis radix* showed the least improvement in our test. There was no significant difference between Moutan cortex residue and the control group. The result of the effects of five herb residue on the improvement of root system architecture was consistent with that for the total biomass. The five herb residues also significantly improved chlorophyll fluorescence parameters F_v/F_m and leaf area, and decreased chlorophyll fluorescence parameters NPQ. Analysis of soil enzymes showed that the effects of five herb residues were different. Residues of *Hordei fructus germinates* and *Sophorae flavescentis radix* significantly improved the activities of phosphatase and invertase.

herb residue, *Salvia miltiorrhiza* Bge., growth, physiological property, soil enzyme

doi: 10.1360/N052015-00365