

啤酒污泥堆肥对苹果分根栽植根系生长特性的影响

全少伟¹, 时连辉², 刘登民²

(1. 旅顺口区人才工作站, 辽宁 大连 116041; 2. 山东农业大学 资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘要:以自制啤酒污泥堆肥和苹果苗为试材, 采用盆栽分根栽植的方式, 探讨啤酒污泥堆肥不同施用量(25、50、100、200 g/kg, 处理代号分别为 BSC1、BSC2、BSC3、BSC4)对苹果苗根系重金属富集、抗氧化酶(超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD))活性等生理特性以及根系形态的影响。结果表明:各处理隔板两边根系生长、生理特性以及重金属富集不尽相同, 根系中重金属铬(Cr)、锌(Zn)、铜(Cu)和丙二醛(MDA)富集量均与啤酒污泥堆肥施用量呈正相关, 且显著高于对应另一半对照;随啤酒污泥堆肥施用量增多, 根系形态、抗氧化酶活性和根系活力均呈先上升后下降趋势。BSC1、BSC2、BSC3 能显著促进根系生长, 增加地下生物量, 各处理施用污泥堆肥分别是对应另一半对照的 1.40、1.69、1.24、0.75 倍;苹果苗根系 SOD 活性大小顺序为 BSC2>BSC1>BSC3>BSC4;BSC1、BSC2、BSC3 苹果根系 CAT 活性分别比对应另一半对照高 28.78%、82.25%、25.57%, BSC4 比 CK4 降低 24.22%, 其中 BSC2 显著高于 BSC1、BSC3 和 BSC4 ($P<0.05$), BSC3 和 BSC1 差异不明显;不同施用量处理对苹果根系 POD 活性有促进作用, 分别是对应另一半对照的 1.41、1.83、1.42、1.14 倍, 且差异显著($P<0.05$)。

关键词:啤酒污泥堆肥;分根栽植;根系生长;生理特性;根系形态

中图分类号:X 71;S 158.2;S 661.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2015)17-0036-05

啤酒污泥是啤酒生产过程中产生的污水经活性污泥法处理后沉淀下来的剩余污泥, 是经过多次发酵后不能再利用的废弃物^[1]。啤酒污泥与工业生活污水有一定差别, 含有丰富促进作物生长的氮、磷、钾、钙、镁及微量元素, 啤酒污泥农用已逐渐成为一种趋势, 将啤酒污泥经过高温堆肥处理后施用到土壤中, 是啤酒污泥无害化和资源化再利用的最有效的方法和生态环境发展方向, 真正意义上实现啤酒污泥变“废”为“宝”。此外, 啤酒剩余污泥中含有大量蛋白质、有机质、腐殖质, 经过好氧高温堆肥化处理, 可去除臭味、杀死绝大多数病原菌和寄生虫卵、钝化重金属^[2-5], 质地疏松, 不仅改善土壤物理性质, 提高保水能力, 促使土壤团粒结构形成、维持和提高土壤肥力等;而且能够促进作物生长、增加植物生物量、提高作物产量和品质^[6-9]。有机堆肥作为土壤改良剂, 对其研究和应用越来越多, 并取得了很好的效果, 得到人们的认可, 但通过苹果苗分根栽植的方式来研究啤酒污泥堆肥对根系生长的报道较少。该试验采用盆栽

苹果苗分根栽植的方式, 研究了啤酒污泥堆肥不同施用量对根系生长和生理特性的影响效果, 来探索啤酒污泥堆肥最佳施用量, 促进根系生长, 以期对啤酒污泥资源化利用提供参考依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用土壤采自山东农业大学南校区实验基地 0~20 cm, 经风干、过 2 mm 筛。供试污泥来自泰安市啤酒厂, 将啤酒污泥和锯末 2:1 充分混合, 再加入适量发酵菌剂, 调节水分至堆肥材料持水量 60%~75%, 并堆积起来, 进行好氧高温堆肥, 1 周进行 1 次, 里外翻堆, 继续发酵, 如此进行 4 次, 高温 50~60℃持续 30 d 即可达到发酵的目的, 将发酵好的啤酒污泥堆肥晒干, 过 1 cm 筛, 装袋供试验用。经测定啤酒污泥堆肥容重 0.25 g/cm³, 总孔隙度 82.86%, 有机质含量 62.76%, 全氮含量 2.16%, 全磷含量 1.35%, 全钾含量 0.35%, pH 值 6.96, 电导率 3.27 mS/cm。

供试作物为一年生苹果苗, 品种为“烟富 6 号”, 砧木为平邑甜茶(*Malus hupehensis* Rehd.)。

1.2 试验方法

试验以盆栽方式进行, 盆钵大小 45 cm×35 cm, 中间用隔板分开, 并使其密封。试验共设计 4 个处理, 每

第一作者简介:全少伟(1986-), 男, 硕士, 助理农艺师, 现主要从事基层农业服务工作。E-mail: tay284@163.com.

责任作者:时连辉(1971-), 男, 博士, 副教授, 现主要从事废弃物资源化利用和无土栽培等研究工作。E-mail: shilh@sda.u.edu.cn.

收稿日期:2015-03-20

处理 6 次重复。试验设以下处理, T1: 一半装土壤(CK1), 另一半装 25 g/kg 啤酒污泥堆肥与土壤混合(BSC1); T2: 一半装土壤(CK2), 另一半装 50 g/kg 啤酒污泥堆肥与土壤混合(BSC2); T3: 一半装土壤(CK3), 另一半装 100 g/kg 啤酒污泥堆肥与土壤混合(BSC3); T4: 一半装土壤(CK4), 另一半装 200 g/kg 啤酒污泥堆肥(BSC4)。于 2012 年 3 月 12 日, 将啤酒污泥堆肥和土壤根据不同处理方案分别装盆, 选择隔板两边根系分布均衡和长势粗度相似的苹果苗, 修剪根系, 定植, 40 cm 处截干(距嫁接口高度), 顶部用塑料薄膜密封。

于苹果苗栽植 7 个月(2012 年 10 月 12 日), 随机取样, 将苹果苗破盆保证根系完整, 每处理取 3 棵, 分别剪去隔板两边的根, 装入塑料袋, 贴好标签, 带回实验室用吸水纸擦净表面杂物, 用蒸馏水冲洗根, 洗净后用吸水纸擦干称鲜重, 然后将根放入冰箱中冷藏, 保存待测。

1.3 项目测定

1.3.1 苹果苗根系形态、根鲜重及根系活力 将根系用蒸馏水轻轻冲洗干净, 用台式扫描仪(国产 NUScan700)扫描根的平均直径、总长度、表面积、体积、数量, 叶面积计算用图像分析软件; 根鲜重用 1/100 天平称量; 根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定^[10]。

1.3.2 根系抗氧化酶、MDA 的测定 取苹果根鲜样 0.5 g, 加 1 mL 磷酸缓冲液(0.05 mol/L, pH 7.8), 冰浴研磨, 研磨后再加 1 mL 缓冲液, 倒入离心管中, 再用 2 mL 缓冲液清洗研钵, 倒入离心管中, 平衡, 低温(0~4℃)离心 20 min(10 500 r/min), 取上清液测定各指标。超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法测定; 过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定; 过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定^[11]; 丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定^[12]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行数据统计

表 1

啤酒污泥堆肥对苹果分根栽植根系形态及根鲜重的影响

Table 1 Effect of beer sludge compost on apple root morphology and fresh weight about points root planting

处理 Treatment	根长 Root length/m	根表面积 Root surface area/cm ²	根体积 Root volume /cm ³	根数 Root number /条	根直径 Root diameter /mm	根鲜重 Root fresh weight/g
T1 CK1	26.23c	446.95d	10.37c	6 332d	0.72a	20.61c
BSC1	39.48b	604.93c	14.30b	10 723c	0.73a	31.29b
T2 CK2	24.52c	475.29d	9.33c	6 479d	0.68a	19.26c
BSC2	49.67a	810.33a	18.52a	14 513a	0.67a	36.81a
T3 CK3	24.58c	456.37d	9.64c	6 177d	0.71a	19.79c
BSC3	41.59b	725.14b	16.34b	12 586b	0.70a	32.09b
T4 CK4	26.85c	468.50d	10.90c	7 206d	0.69a	21.89c
BSC4	26.24c	438.65d	10.01c	6 965d	0.65a	20.03c

2.2 啤酒污泥堆肥对苹果分根栽植根系活力的影响

根系活力就是一个表征植物根系的量, 根系活力大

分析。

2 结果与分析

2.1 啤酒污泥堆肥对苹果分根栽植根系形态的影响

根系形态的重要参数包括主根粗度、长度以及侧根粗度、长度、数量和毛细根数量, 根系的生长受环境因子影响较大, 土壤中水、肥、气、热以及重金属等污染物对根系生长起到至关重要的作用。啤酒污泥堆肥不同施用量对分根栽植苹果根长、表面积、体积、数量和直径的结果不同, 进而影响根系生长和分布状况。如表 1 所示, 各处理隔板两边苹果苗根系生长状况不一, 对照土壤的根系生长基本一致, 施用不同比例啤酒污泥堆肥与另一半对照相比对苹果根系生长有促进作用(T4 处理除外)。T1、T2、T3 中施用堆肥的苹果根长与对应另一半对照的相比呈显著性差异($P<0.05$), BSC1 根长是 CK1 的 1.50 倍, BSC2 根长是 CK2 的 2.03 倍, BSC3 根长是 CK3 的 1.69 倍, T4 处理中 BSC4 与 CK4 差异不显著($P\geq 0.05$); T1、T2、T3 处理中施用堆肥的根表面积和根体积与对应另一半对照差异均显著($P<0.05$), 且 BSC1、BSC2 和 BSC3 间差异显著, 由大到小依次为 BSC2>BSC3>BSC1, T4 处理中 BSC4 与 CK4 差异不显著($P\geq 0.05$)。

由表 1 还看出, T1、T2、T3 处理中施用堆肥的苹果根系数量与对应另一半对照的差异显著($P<0.05$), T4 处理隔板两边差异不明显, BSC2 的根数量最多, 是 CK2 的 2.24 倍, 其次是 BSC3, 是 CK3 的 2.04 倍, BSC1 最少, 是 CK1 的 1.69 倍, BSC1、BSC2 和 BSC3 之间差异显著($P<0.05$); 各处理施用不同比例啤酒污泥堆肥与另一半对照的根直径差异不显著, 且不同比例啤酒污泥堆肥之间对根直径影响也无差异; T1、T2、T3 中施用啤酒污泥堆肥的根鲜重分别明显高于另一半对照, BSC2 的根鲜重显著高于 BSC1、BSC3($P<0.05$)。

小其实就可以判断植物的适应能力, 并且反映植株吸收功能的综合指标, 根系的生长、代谢和活力变化直接影

响地上部的生长发育。分根栽植条件下苹果根系活力如图 1 所示, BSC1、BSC2、BSC3 中施用啤酒污泥堆肥的根系活力均显著高于另一半对照, T4 中根系活力却显著低于另一半对照 ($P < 0.05$), 施用啤酒污泥堆肥的 BSC1、BSC2、BSC3 和 BSC4 处理中根系活力呈先上升后下降的趋势, 其中 BSC2 的根系活力最高, 为 $155.04 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 比 CK2 提高 67.95%, 其次是 BSC1 和 BSC3, 为 $126.40 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $107.68 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 分别比 CK1 和 CK3 提高 38.21% 和 19.92%, BSC4 活力最差, 为 $66.90 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 比 CK4 降低 23.22%。由此看出, 土壤中施入适量啤酒污泥堆肥可以增强苹果根系活力, 但施用纯啤酒污泥堆肥会降低根系活力, 可能是受到污泥堆肥中重金属等因素的影响, 对根系生长有一定的抑制作用。

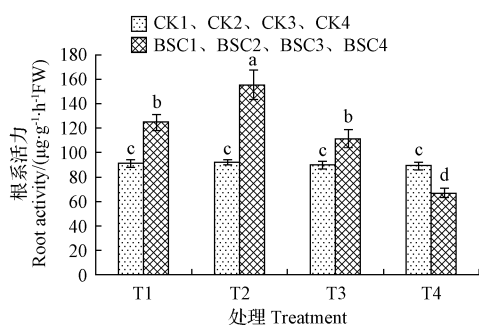
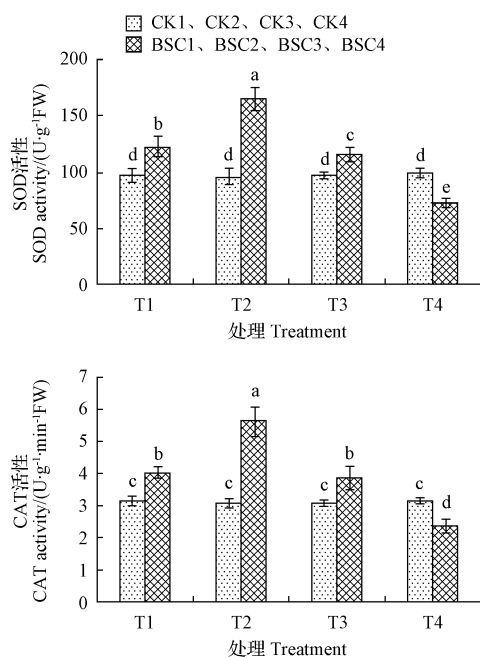


图 1 啤酒污泥堆肥对苹果分根栽植根系活力的影响

Fig. 1 Effect of beer sludge compost on apple root activity about points root planting



2.3 啤酒污泥堆肥对苹果分根栽植根系抗氧化酶活性和丙二醛的影响

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)是植物机体内清除活性氧的酶, 其对活性氧的清除避免了自由基对机体的攻击和伤害, 尤其是对膜的攻击, 与植物的抗逆性密切相关。如图 2 所示, 各处理隔板两边苹果苗根系抗氧化酶活性不尽相同, 不同处理的对照(土壤)的根系抗氧化酶活性基本一致, 而施用啤酒污泥堆肥的 BSC1、BSC2、BSC3 和 BSC4 处理中 SOD、CAT、POD 活性变化趋势呈先上升后下降, 而且均在 BSC2 达最大。啤酒污泥堆肥 BSC1、BSC2、BSC3 处理对苹果根系 SOD、CAT 活性有促进作用, 与对应另一半对照相比显著增加, 而 BSC4 对苹果根系 SOD、CAT 活性有抑制作用, 与 CK4 呈显著降低 ($P < 0.05$), BSC1 的苹果根系 SOD 活性是 CK1 的 1.26 倍, BSC2 是 CK2 的 1.72 倍, BSC3 是 CK3 的 1.21 倍, BSC4 是 CK4 的 0.74 倍, 活性大小顺序为 $\text{BSC2} > \text{BSC1} > \text{BSC3} > \text{BSC4}$; BSC1、BSC2、BSC3 苹果根系 CAT 活性分别比对应另一半对照高 28.78%、82.25%、25.57%, BSC4 比 CK4 降低 24.22%, 其中 BSC2 显著高于 BSC1、BSC3 和 BSC4 ($P < 0.05$), BSC3 和 BSC1 差异不明显; 不同施用量处理对苹果根系 POD 活性有促进作用, 分别是对应另一半对照的 1.41、1.83、1.42、1.14 倍, 且差异显著 ($P < 0.05$), 由此看出, 啤酒污泥堆肥 T2 处理中 BSC2 在抗氧化酶活性方面显著高于其它处理, 说明啤酒污泥堆肥在适当施用量的情况下可以提高植物体内抗氧化酶活性, 有助于植

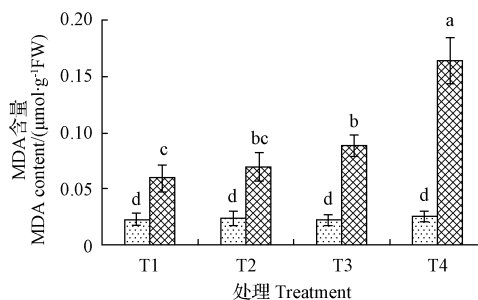
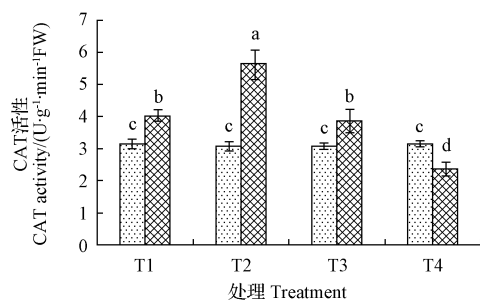
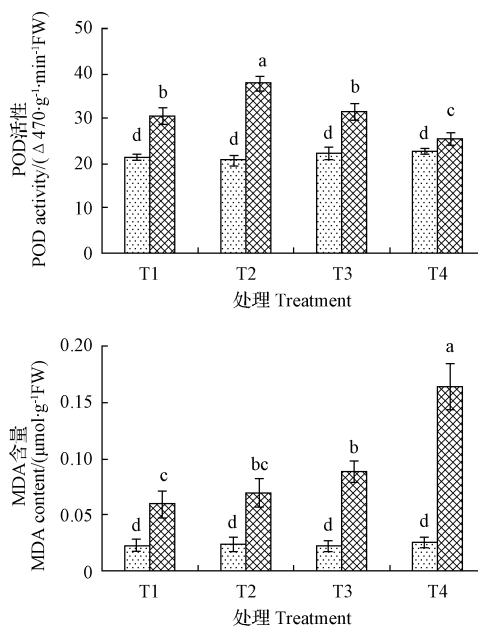


图 2 啤酒污泥堆肥对苹果分根栽植根系 SOD、POD、CAT、MDA 的影响

Fig. 2 Effect of beer sludge compost on apple root SOD, POD, CAT, MDA about points root planting

物清除体内活性氧毒害物质。

丙二醛是植物体内抑制生长的有害物质,减少其在体内积累至关重要。由图 2 还可看出,各处理对照的根系 MDA 含量差异不明显,而对应另一半随着施用量的增加,根系 MDA 含量呈上升趋势,且显著高于对应对照 ($P<0.05$),施用不同量堆肥分别是对应另一半对照的 2.66、3.04、4.06、6.53 倍,其中 BSC4 显著高于 BSC1、BSC2 和 BSC3 ($P<0.05$)。这说明啤酒污泥堆肥能够增加根系中 MDA 的积累,从而增加与脂蛋白交联作用,加重对根系细胞膜脂的危害,啤酒污泥堆肥施用量越多,MDA 积累越为明显。

3 讨论与结论

3.1 啤酒污泥堆肥对苹果根系生长的影响

啤酒污泥堆肥中含有植物所需要丰富的营养成分,施入土壤后,释放大量养分供作物生长。一些研究已表明,土壤中施用有机肥可明显增加根系生物量。如毛志泉等^[13-14]在土壤中施用鸡粪、羊粪和花生秧有机物料后,发现一年生平邑甜茶实生苗的吸收根、生长根和褐色木质根的鲜重明显增加,并且增加细根和褐根的直径、表面积和长度。赵国栋等^[15]研究结果发现,在砂土 1/4 根域施用有机肥可以调控苹果幼树根系的生长发育。范伟国等^[16]研究也发现,施用有机肥后,有利于增加平邑甜茶幼树主根和侧根数量、长度及粗度等根形态,形成新的根系特征。该试验通过苹果苗分根栽植来研究不同啤酒污泥堆肥施用量对根系形态的影响,结果表明,不同施用量啤酒污泥堆肥显著增加苹果根长、根表面积、根体积、根数量和根鲜重(T4 除外),对根直径影响不大,而且随着施用量的增加呈先增加后减少变化,这与 YU 等^[17]和 CASADO-VELA 等^[18]的研究结果基本一致,其中 T2 处理中 BSC2 对根系生长诱导作用最为明显,由于 BSC4 中施用纯啤酒污泥堆肥,含有大量的重金属,可能抑制根系的吸收功能,使根系生长缓慢。

3.2 啤酒污泥堆肥对苹果根系生理特性的影响

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)是植物细胞抵御活性氧伤害的主要酶保护系统,在对抵御多种理化因子胁迫、减少活性氧积累、维护膜结构完整等起着重要作用。活性氧 O_2^- 、 H_2O_2 等都是植物组织中的氧代谢产物,可使类脂中的不饱和脂肪酸发生过氧化反应,破坏细胞膜的结构,它对于机体是有害物质,使重要生物分子发生过氧化作用,导致植物体内 MDA 含量增加,从而抵御外界逆境。该研究得出,苹果根系 SOD、CAT、POD 活性随着啤酒污泥堆肥施用量的增加呈先上升后下降的趋势,且在施用量为 50 g/kg 啤酒污泥堆肥时抗氧化酶活性达最高值,与其它处理呈显著性差异 ($P<0.05$)。对于 MDA,不同施用量处理均显著高于对应另一半对照 ($P<0.05$),随着啤酒

污泥堆肥施用量增多,BSC1、BSC2、BSC3、BSC4 根系中 MDA 含量呈上升趋势。虽然啤酒污泥堆肥中含有大量营养元素,但也含有对作物有害的重金属,可能是导致根系抗氧化酶活性降低和 MDA 积累的原因,因此,需要进一步深入研究。综合来讲,啤酒污泥堆肥在 50 g/kg 时可以增强植物体内清除活性氧的酶功能,能够控制活性氧毒害物质的积累,且膜脂过氧化也能得到相应的控制,并维持体内酶系统平衡,还可以增加细胞渗透浓度和功能蛋白的数量,有助于维持细胞正常代谢。

根系活力既可作为植物根系活力及其生命活动的重要指标,还可作为诊断植物生育和吸收养分的障碍因素的指标。该试验在同一株苹果苗采用分根栽植,发现啤酒污泥堆肥不同施用量可以显著增强根系活力(T4 除外),BSC1、BSC2、BSC3 处理分别是对应另一半对照的 1.40、1.69、1.24 倍,而 BSC4 却降低根系活力,可能是根系富集的重金属抑制根系活力,BSC2 根系活力显著高于其它处理 ($P<0.05$)。由此看出,啤酒污泥堆肥在合适施用量的情况下能够提高根系活力,在该试验中 50 g/kg 施用量对苹果根系活力影响最突出。

在该试验中,各处理隔板两边苹果根系生长状况不一,且啤酒污泥堆肥不同施用量对根系生长的影响效果也不尽相同。随着啤酒污泥堆肥施用量的增多,BSC1、BSC2、BSC3、BSC4 呈先上升后下降的变化趋势,整体来看,50 g/kg 啤酒污泥堆肥施用量(BSC2)不会对根系 MDA 产生富集现象,并能够促进根系生长和增强抗氧化酶活性和根系活力。

参考文献

- [1] 李万才,刘长庆,徐光乐. 啤酒厂污泥对土壤性质及甜菜生长的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(6):249-251.
- [2] SELIVANOVSKAYA, YU S, LATYPOVA V Z, et al. Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan[J]. Agri Ecosyst Environ, 2001, 86:145-153.
- [3] SÁNCHEZ-MONEDERO M A, MONDINI C, NOBILI M, et al. Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter[J]. Waste Management, 2004, 24:325-332.
- [4] SMITH S R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge[J]. Environment International, 2009, 35(1):142-156.
- [5] DEBOSZ K, PETERSEN S O, KURE L K, et al. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties[J]. Applied Soil Ecology, 2002, 19(3):237-248.
- [6] PELES J D, BREWER S R, BARRETT G W. Metal uptake by agricultural plant species Grown in sludge-amended soil following ecosystem restoration practices[J]. Bull Environ Contam Toxicol, 1996, 57:917-923.
- [7] GARDINER D T, MILLER R W, BADAMCHIAN B, et al. Effects of repeated sewage sludge application on plant accumulation of heavy metals[J]. Agri Ecosyst Environ, 1995, 55:1-6.
- [8] JORBA M, ANDRÉS P. Effects of sewage sludge on the establishment of the herbaceous ground cover after soil restoration[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000(3):322-326.

- [9] ALBIAEHA R,CANETA R,POMARESA. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil[J]. *Bioresource Technology*, 2001, 76(2): 125-129.
- [10] 杨文政. 果树生理研究技术[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 1982.
- [11] 赵世杰,史国安,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2002.
- [12] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 2003.
- [13] 毛志泉,王丽琴,沈向,等. 有机物料对平邑甜茶实生苗根系呼吸强度的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(2): 171-175.
- [14] 毛志泉. 有机物料对平邑甜茶实生苗根系结构与功能影响的研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2002.
- [15] 赵国栋,魏钦平,张强,等. 砂土 1/4 根域施用有机肥对苹果幼树生长的影响[J]. *果树学报*, 2010, 27(2): 179-182.
- [16] 范伟国,杨洪强. 不同基质对平邑甜茶幼树生长、根系形态与营养吸收的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(4): 936-941.
- [17] YU S,SELIVANOVSKAYA ,LATYPOVA V Z. Effects of composted sewage sludge on microbial biomass,activity and pine seedlings in nursery forest[J]. *Waste Management*, 2006, 26: 1253-1258.
- [18] CASADO-VELA J,SELLÉS S,NAVARRO J,et al. Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils[J]. *Waste Management*, 2006, 26: 946-952.

Effect of Beer Sludge Compost on Apple Root Growth Characteristics by Split-root Planting

TONG Shaowei¹, SHI Lianhui², LIU Dengmin²

(1. Lyushun Talent Workstation, Dalian, Liaoning 116041; 2. College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract: With self-made beer sludge compost and seedling of apple as test materials, to analyze the short-term effect of beer sludge compost application of different contents (25, 50, 100, 200 g/kg, code of treatment BSC1, BSC2, BSC3, BSC4) on apple seedling roots growth, physiological characteristics and heavy metals enrichment. By the potted split-root planting way, the effect of beer sludge compost discussed about different contents on apple seedlings root heavy metals enrichment, antioxidant enzymes (SOD, POD, CAT), and other physiological characteristics and the root morphology. The results showed, each treatment on both sides of the partition root growth, physiological characteristics and heavy metals enrichment were different, the enrichment contents of heavy metals Cr, Zn, Cu and MDA in root were positively correlated with the applying content of beer sludge compost, and significantly higher than the corresponding control on the other half. Along with the applying of beer sludge compost content increased, root morphology, antioxidant enzyme and root activities were showed a trend of increased and then decreased. BSC1, BSC2 and BSC3 could significantly promote the root growth and increase the underground biomass, and each treatment application of sewage sludge compost were 1.40, 1.69, 1.24, 1.69 times to the corresponding control in the other half. For the apple seedlings root SOD activities, BSC2 > BSC1 > BSC3 > BSC4. Compared with the corresponding in the control of the other half, the apple root CAT activities of BSC1, BSC2 and BSC3 were respectively higher 28.78%, 82.25%, 25.57%, and BSC4 was 24.22% lower than CK4, including BSC2 was significantly higher than BSC1, BSC3, BSC4 ($P < 0.05$), BSC3 and BSC1 were no obvious difference. There were role in promoting on the apple root POD activities with different applying contents, which were respectively 1.41, 1.83, 1.42, 1.14 times to the corresponding in the control of the other half, and the difference significant ($P < 0.05$). In this experiment, the effect of apple seedlings root growth were different with the beer sludge compost application rate, as a whole, the root was not produced the enrichment phenomenon of heavy metals and MDA about 50 g/kg beer sludge compost, and which could promote root growth, enhance antioxidant enzyme and root activities.

Keywords: beer sludge compost; split-root planting; root growth; physiological characteristics; root morphology