

鸡粪与木醋液配施对滨海盐碱土化学性质和酶活性的影响

周红娟¹, 耿玉清^{1*}, 丛日春^{2*}, 杨 英¹, 唐晓倩¹

(1. 北京林业大学林学院, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091)

摘要:施用有机肥是盐碱土改良与培肥地力的有效方式。选鸡粪和木醋液为改良剂, 通过土壤培养试验, 研究未施肥 (CK)、单施鸡粪 (CM)、单施木醋液 (PA)、鸡粪 + 木醋液配施 (CP) 共 4 个处理对滨海盐碱土化学性质和酶活性的影响。结果表明: 与 CM 相比, CP 处理的 pH 值显著降低 0.34 个单位, 电导率 (EC) 降低 14.52%。与 PA 相比, 施用鸡粪处理 (CM 和 CP) 的土壤养分含量和酶活性均显著提高。CP 的全氮、有效磷、水溶性有机碳、水溶性有机氮和硝态氮含量较 CM 分别高出 55.32%、103.35%、16.64%、55.68% 和 45.43%; 而土壤 α -葡萄糖苷酶、 β -葡萄糖苷酶、几丁质酶、亮氨酸氨基肽酶、碱性磷酸酶、多酚氧化酶和脱氢酶活性分别显著增加 49.58%、67.85%、40.84%、104.94%、17.66%、62.05% 和 37.50%。回归分析表明, 土壤有机质、全氮、有效磷和水溶性有机碳、氮含量的增加促进酶活性的提高。综上所述, 鸡粪与木醋液配施可显著降低盐碱土的 pH 值, 并能显著提高盐碱土养分含量和酶活性。

关键词:滨海盐碱土; 鸡粪; 木醋液; 鸡粪 + 木醋液; 土壤酶活性

中图分类号: S141; S154.2

文献标识码: B

文章编号: 1673-6257 (2017) 03-0157-06

滨海盐碱土是连接海洋与陆地的缓冲地带, 属于生态脆弱区域^[1]。极高含量的盐分严重影响着植物的生长^[2]。有机肥改良盐碱土是一种行之有效的方法, 其在调节土壤肥力方面有着特殊的作用^[3]。木醋液作为土壤改良剂, 可有效改善土壤的理化性质, 增加土壤团聚体数量^[4], 降低盐碱土 pH 值、电导率 (EC)、钠吸附比和碱化度, 并达到脱盐的效果^[5-6]。但由于木醋液含有的有机碳、氮和水溶性碳、氮较低, 改善土壤贫瘠的效果不佳^[7]; 其次木醋液含有大量有机酸及酚类物质, 浓度过高会抑制土壤微生物和酶活性^[8]。鸡粪作为有机肥, 含有较高的有机质, 富含植被必需的大量、微量元素营养物质, 可显著提高土壤养分含量, 且可激活微生物和酶活性^[9]。但由于有机质分解释放的碱性物质及有机阴离子的矿化物, 使得鸡粪施入土壤后导致土壤 pH 值升高^[10]。

土壤酶能加速土壤的反应速率, 参与土壤中一切生物化学反应, 其活性可敏感反映土壤肥力及土壤生物活性的变化^[11]。针对单施木醋液和鸡粪对土壤某些性质的不利影响, 两者配施对盐碱土的化学性质与酶活性有何影响, 目前还不清楚。本研究通过土壤盆栽试验, 以未施肥为对照, 用单施鸡粪、单施木醋液及两者配施处理, 研究盐碱土化学性质和酶活性对不同处理变化的响应, 旨在为盐碱土化学和生物学性质的改善, 以及鸡粪与木醋液在盐碱土的实际应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自营口市盐化潮土, 其基本理化性质如表 1 所示, 有机质含量 0.594%, 全氮含量 0.029%, 表明供试土壤的肥力极低。将土壤取回后去除残渣、根系和石块后, 于室温自然风干过 4 mm 筛备用。试验采用的鸡粪, 其 pH 值为 7.55, EC 值为 4.18 mS/cm, 有机质、全氮和全磷 (P) 含量分别为 327.93、15.23 和 7.76 g/kg。供试木醋液是杨木炭化温度为 550°C 的冷凝液, 经静置沉淀后, 取其中部澄清部分。木醋液呈棕褐色, pH 值为 2.88, EC 值为 3.16 mS/cm, 有机质、全氮和全磷

收稿日期: 2016-10-10; 最后修订日期: 2016-11-06

基金项目: 重庆苏打盐碱地碱蓬生态草建植技术模式与产业示范 (2016YFC0501206-3)。

作者简介: 周红娟 (1989-), 女, 河北沧州人, 硕士研究生, 主要从事土壤健康与修复方面的研究。E-mail: 1258393176@qq.com。

通讯作者: 耿玉清, E-mail: gengyueqing@bjfu.edu.cn; 丛日春, E-mail: congrichun888@163.com。

(P) 含量分别为 77.29、0.83 和 0 g/kg；其它主要成分相对含量为：乙酸 34.62%、丙酸 1.69%、醛类 10.16%、酚类 21.95% 和酮类 7.90%。

表 1 供试土壤理化性质

pH 值 (H ₂ O)	EC 值 (mS/cm)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	有效磷 (P mg/kg)	粘粒 (%)	粉砂粒 (%)	砂粒 (%)
8.48	5.09	5.94	0.29	0.51	53	35	12

1.2 试验设计

试验用土壤培养法，在中国林业科学研究院自然光照的温室大棚内进行，昼/夜温度分别为 (25 ± 2)°C / (18 ± 2)°C。试验共设 4 个处理：未施肥 (CK)、单施鸡粪 (CM)、单施木醋液 (PA) 和鸡粪 + 木醋液配施 (CP)，其施用量见表 2。每个处理 3 次重复，随机排列。于 2014 年 11 月 10 日将鸡粪按照 45 t/hm² 的用量一次性施入盐碱土中，混合均匀后装入底部直径为 10 cm，上口径 18 cm，高 12 cm，可装土 2 kg 的塑料钵钵。土层厚度约为 10 cm，钵钵底部均有排水孔，铺有双层尼龙网以防土壤流失和保持水分的流通，并有托盘。试验过程中木醋液按照 7.5 t/(hm² · 次) 的用量灌施到 PA 和 CP 处理钵钵中。其中，木醋液和水的体积比为 1:100。经预试验发现，灌施 500 mL 液体于钵钵后，液体会流出托盘，因此每隔 30 min 浇灌 100 mL，每次共浇灌 500 mL，CK 和 CM 处理灌施同体积的水。每月 10 日灌施一次，每月共灌施 3 次，不施木醋液期间不再进行灌水。试验持续 3 个月后，将钵钵中盐碱土混合均匀，并采集部分土壤样品，用于土壤化学性质和酶活性的分析。

表 2 试验设计

处理	鸡粪用量 (t/hm ²)	木醋液用量 [t/(hm ² · 次)]
CK	—	—
CM	45	—
PA	—	7.5
CP	45	7.5

1.3 测定指标与方法

土壤 pH 值和 EC 值用 5:1 水土比，分别用 pH 计和电导仪测定；采用重铬酸钾容量法（稀释热法）测定土壤有机质含量；用硫酸钾 - 硫酸铜 - 硒粉消煮，凯氏定氮仪测定全氮含量；用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提，钼锑抗比色法测定有效磷含量^[12]；经去离子水浸提，在 7 500 r/min 下离心后，用 0.45 μm 滤膜过滤，其滤液用碳氮分析仪测定水溶

性有机碳和水溶性有机氮含量；经 2 mol/L 氯化钾溶液浸提后，其滤液用全自动化学分析仪测定铵态氮和硝态氮含量。

土壤酶活性的测定方法是通过在泥浆（缓冲液与土比为 10:1）中添加不同的底物，经培养后用分光光度计来测定其生成物的含量来实现的。其中水解酶活性均采用对硝基苯（pNP）法测定，用每小时每克烘干土催化产生的对硝基苯酚的质量浓度 pNP μg/(h · g) 来表示^[13]。土壤多酚氧化酶底物是左旋多巴（DOPA），用每小时每克烘干土氧化底物的毫摩尔浓度 DOPA mmol/(h · g) 来表示^[14]。土壤脱氢酶活性以碘硝基氯化四氮唑蓝（INT）为底物，用每小时每克烘干土催化产生的甲臌（INTF）质量浓度 INTF μg/(h · g) 来表示酶活性的高低^[15]。

1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0 进行数据处理和分析。用单因素方差分析法（One - way ANOVA）对不同处理间盐碱土的化学性质与酶活性进行差异分析，差异显著性用邓肯法（Duncan）检验。为进一步探究化学性质对酶活性的影响，用逐步回归分析。

2 结果与分析

2.1 土壤化学性质的差异

施用有机肥显著影响了土壤的化学性质（表 3）。就土壤 pH 值而言，CP 处理比 CM 处理降低了 0.34 个单位，差异显著；而 CP 和 PA 处理分别比 CK 显著降低了 0.17 和 0.09 个单位，两处理间差异不显著，但均与 CK 差异显著。与 CM 处理相比，CP 处理的 EC 值显著降低了 14.52%，达 5.24 mS/cm；而 CP 处理较 PA 处理增加了 12.93%，且两者之间差异显著。

施用有机肥可活化土壤养分库容，提高土壤肥力（表 3），其中，活化土壤有效磷的效果最为显著。与 CK 相比，CP 处理的有效磷含量增幅最大，为 613.73%；CM 处理次之，增幅为 250.98%；PA

处理较低,增幅为 15.69%,且 3 个处理间差异显著。土壤全氮、水溶性有机氮含量变化趋势与土壤有效磷一致。就土壤有机质而言,CP 处理含量显著高于 PA 处理,是 PA 处理的 2.66 倍;而 CP 处理较 CM 处理高出 1.51 g/kg,但差异不显著。与 CK 相比,CP 处理的水溶性有机碳增幅最大,为 36.27%;CM 处理次之,PA 处理较低,其中 PA 处

理与 CM 处理差异不显著,但均与 CP 处理差异达显著。就土壤铵态氮而言,CP 处理最高,达 1.53 mg/kg,但与 CM、PA 两处理差异不显著。施肥后土壤硝态氮含量也发生了显著的变化,其中 CP 处理的土壤硝态氮含量最高,为 6.69 mg/kg,显著高于 CM 和 PA 处理,但 CM、PA 两处理间差异不显著。

表 3 不同施肥处理土壤化学性质的变化

土壤化学性质	CK	CM	PA	CP
pH 值 (H_2O)	8.47 ± 0.02 b	8.64 ± 0.02 a	8.38 ± 0.03 c	8.30 ± 0.03 c
EC 值 (mS/cm)	5.06 ± 0.64 bc	6.13 ± 0.07 a	4.64 ± 0.19 c	5.24 ± 0.05 b
有机质 (g/kg)	5.96 ± 0.46 b	16.56 ± 1.15 a	6.80 ± 0.32 b	18.07 ± 1.16 a
全氮 (g/kg)	0.28 ± 0.02 c	0.47 ± 0.03 b	0.35 ± 0.04 c	0.73 ± 0.02 a
有效磷 (P mg/kg)	0.51 ± 0.02 c	1.79 ± 0.14 b	0.59 ± 0.04 c	3.64 ± 0.16 a
水溶性有机碳 (mg/kg)	182.98 ± 8.09 c	213.78 ± 10.70 b	206.30 ± 10.25 bc	249.36 ± 13.57 a
水溶性有机氮 (mg/kg)	6.31 ± 0.13 c	10.47 ± 0.84 b	6.40 ± 0.10 c	16.30 ± 0.99 a
铵态氮 (mg/kg)	0.74 ± 0.16 b	1.28 ± 0.48 ab	1.03 ± 0.15 ab	1.53 ± 0.26 a
硝态氮 (mg/kg)	3.19 ± 0.09 c	4.60 ± 0.29 b	4.34 ± 0.50 b	6.69 ± 0.55 a

注:同行数据后不同小写字母表示差异达到显著性水平 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 土壤酶活性的变化

鸡粪、木醋液及二者配施会显著激活盐碱土的酶活性(表 4)。就土壤 α -葡萄糖苷酶活性而言,则表现为 CP 处理的活性最高,为 1.78 $pNP \mu g/(h \cdot g)$,CM 和 PA 处理次之,CK 最低,且各处理间差异显著。土壤碱性磷酸酶活性的变化趋势与 α -葡萄糖苷酶一致。与 PA 处理相比,CP 和 CM 处理的土壤 β -葡萄糖苷酶活性分别显著增加 662.07%、354.02%,且三者之间差异显著。土壤几丁质酶和亮

氨酸氨基肽酶活性的变化趋势与 β -葡萄糖苷酶一致。

就土壤多酚氧化酶活性而言,CM、PA 和 CP 处理分别比 CK 高出 422.96%、84.99% 和 747.46%,且 3 个处理间差异显著。其中 CP 处理最高,达 38.39 DOPA mmol/(h · g)。施肥后土壤脱氢酶活性也发生了显著的变化,CP 处理的脱氢酶活性最高,为 0.11 INTF $\mu g/(h \cdot g)$;CM 和 PA 处理次之,分别为 0.08 和 0.07 INTF $\mu g/(h \cdot g)$,两者之间差异不显著,但均与 CP 处理差异显著。

表 4 不同施肥处理土壤酶活性的变化

土壤酶活性	CK	CM	PA	CP
α -葡萄糖苷酶 [$pNP \mu g/(h \cdot g)$]	0.28 ± 0.07 d	1.19 ± 0.09 b	0.55 ± 0.06 c	1.78 ± 0.10 a
β -葡萄糖苷酶 [$pNP \mu g/(h \cdot g)$]	0.73 ± 0.06 c	3.95 ± 1.05 b	0.87 ± 0.07 c	6.63 ± 0.43 a
几丁质酶 [$pNP \mu g/(h \cdot g)$]	0.35 ± 0.07 c	4.04 ± 1.68 b	0.85 ± 0.04 c	5.69 ± 0.11 a
亮氨酸氨基肽酶 [$pNP \mu g/(h \cdot g)$]	2.51 ± 0.22 c	4.25 ± 0.06 b	2.88 ± 0.14 c	8.71 ± 1.12 a
碱性磷酸酶 [$pNP \mu g/(h \cdot g)$]	16.69 ± 0.99 d	29.22 ± 3.40 b	24.36 ± 0.46 c	34.38 ± 1.14 a
多酚氧化酶 [DOPA mmol/(h · g)]	4.53 ± 0.43 c	23.69 ± 6.28 b	8.38 ± 1.00 c	38.39 ± 0.96 a
脱氢酶 [INTF $\mu g/(h \cdot g)$]	0.03 ± 0.01 c	0.08 ± 0.01 b	0.07 ± 0.02 b	0.11 ± 0.01 a

2.3 盐碱土化学性质和酶活性的线性回归分析

盐碱土化学性质的变化影响着酶活性的变化

(表 5)。表中加下划线字体表示经过筛选后的化学性质,其含量在一定程度上能反映盐碱土的酶活

性。土壤的 pH 值、有机质和有效磷含量的变化显著影响了 α - 葡萄糖苷酶活性的变化。而土壤的 β - 葡萄糖苷酶活性主要受有机质和水溶性有机氮含量的共同影响。就土壤几丁质酶而言,其活性主要受有机质和水溶性有机碳含量的影响,两者可以解释其活性变异的 92.4%。土壤的亮氨酸氨基肽酶活性的变化除了受有机质影响外,还受有效磷

含量的影响。就土壤的碱性磷酸酶活性而言,其变化主要受土壤有效磷和硝态氮含量的影响,其变化可解释酶活性变异的 92%。土壤的多酚氧化酶活性的变化主要受有机质、水溶性有机碳、氮含量的共同影响。影响土壤脱氢酶活性变化的因素较多,主要受 pH 值、全氮、水溶性有机碳和硝态氮含量的共同影响。

表 5 滨海盐碱土化学性质与酶活性的线性回归分析解释变量

因变量	解释变量 r^2									调整 r_a^2
	pH 值 (H ₂ O)	EC 值	有机质	全氮	有效磷	水溶性 有机碳	水溶性 有机氮	铵态氮	硝态氮	
α - 葡萄糖苷酶	-0.00	0.38 *	0.91 ***	0.95 ***	0.93 ***	0.82 ***	0.95 ***	0.51 **	0.55 **	0.99 ***
β - 葡萄糖苷酶	-0.00	0.43 *	0.89 ***	0.94 ***	0.92 ***	0.82 ***	0.94 ***	0.42 *	0.65 **	0.96 ***
几丁质酶	0.00	0.51 **	0.88 ***	0.82 ***	0.82 ***	0.78 ***	0.83 ***	0.35 *	0.48 **	0.92 ***
亮氨酸氨基肽酶	-0.08	0.20	0.63 **	0.93 ***	0.96 ***	0.76 ***	0.90 ***	0.43 *	0.77 ***	0.98 ***
碱性磷酸酶	-0.01	0.25 *	0.75 ***	0.77 ***	0.77 ***	0.74 ***	0.72 ***	0.72 ***	0.30 *	0.92 ***
多酚氧化酶	-0.00	0.39 *	0.89 ***	0.94 ***	0.92 ***	0.85 ***	0.95 ***	0.41 *	0.59 **	0.98 ***
脱氢酶	-0.16	0.09	0.52 **	0.64 ***	0.62 **	0.85 ***	0.61 **	0.47 **	0.19	0.98 ***

注: r^2 为判定系数,表示自变量对因变量的解释程度; r_a^2 为多元线性回归方程中调整判定系数,表示解释变量对因变量的联合解释比例。
- 表示负相关,* 表示在 $P < 0.05$ 水平显著相关,** 表示在 $P < 0.01$ 水平显著相关,*** 表示在 $P < 0.001$ 水平显著相关。

3 讨论

有机肥含有微生物所需的碳、氮源不仅为酶提供了基质,也促进了土壤微生物的生长与繁殖,从而导致土壤酶活性的提高^[16]。有研究表明,木醋液浓度对土壤酶活性具有双重性,适宜浓度的木醋液促进土壤酶活性,浓度过高或过低会抑制酶活性^[17]。此外,在施肥的基础上施用木醋液,可显著增加土壤微生物数量^[18]、微生物利用碳源的能力和代谢活性^[19],也可增加土壤磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶的活性^[20]。本研究表明,施肥显著提高了土壤酶活性,其中鸡粪与木醋液配施处理的酶活性最高,鸡粪次之,而木醋液和对照较低。这一结果与前人的研究是一致的。

土壤酶主要来源于微生物的分泌。根据产酶机制,微生物细胞内的酶有两类:组成酶和诱导酶。组成酶存在于微生物细胞中,不受底物的影响;而诱导酶可在诱导剂(底物或底物类似物)的作用下不断产生^[21]。因此,配施处理酶活性增加的原因可能与以下几点有关:首先,鸡粪和木醋液中含有大量有机物质,这为酶促反应提供了底物或底物类似物,从而诱导了土壤微生物酶的分泌;其次,土

壤酶活性较高时可加快土壤中复杂大分子有机化合物的降解,而糖类、氨基酸、可溶性有机碳、氮等小分子化合物可为微生物发育提供载体或基质,使土壤微生物的生理代谢活动更加旺盛,从而增加土壤酶的分泌量和活性^[22]。上述两个过程相互促进形成的微生物营养源,共同促进土壤酶活性的增加。本研究的回归分析结果,即在碳、氮、磷养分循环中起重要作用的葡萄糖苷酶、几丁质酶、亮氨酸氨基肽酶和碱性磷酸酶活性的变化均受土壤有机质、全氮、有效磷和水溶性有机碳、氮含量变化的影响,也进一步说明木醋液配施鸡粪后引起有效营养成分的增加驱动着土壤酶活性的提高。前人的研究结果也证明了这一点^[23];最后,供试鸡粪和木醋液本身携带大量活的有益微生物,起到了“接种”的作用,提高了土壤微生物的丰富度,同时也显著影响了微生物区系的分布和微生物活性,从而增加了微生物酶活性的分泌量^[24]。

土壤脱氢酶属于胞内酶,只能在活细胞内发挥作用。脱氢酶将质子从底物转移到受体,进而氧化有机质,其活性可以反映微生物的氧化活性^[25]。本研究发现,施肥显著提高了脱氢酶活性,其中配施处理显著高于其他处理,表明此处理下微生物氧

化活性能力最强。这可能与有机肥中含有活的微生物有关。申卫收等^[26]和 Chu 等^[27]的研究也提出了相应的观点。从回归分析结果来看,施肥后的土壤 pH 值、微生物碳、氮源的变化(水溶性有机碳、全氮和硝态氮)均对脱氢酶活性有不同程度的影响,其中水溶性有机碳和全氮的判定系数 r^2 较高,分别为 0.85 和 0.64。由于土壤脱氢酶活性变异的影响因素很多,而有关土壤脱氢酶活性影响因素的报道较少,哪些因素是导致土壤脱氢酶活性变化的关键,还需要进一步研究。

有研究表明,施入有机肥能显著影响土壤 pH 值,其影响的程度与施用有机肥的性质、施用量以及施用后的时间长短有关^[28]。本研究发现,鸡粪与木醋液配施处理的 pH 值显著低于单施鸡粪处理,可能原因是木醋液(pH 值为 2.88)本身偏酸导致的。回归分析表明,土壤酶活性与土壤 pH 值相关性不显著,权国玲等^[29]试验结果也支持了这一结果。由于盆钵试验周期相对较短,水热条件同田间试验存在较大的差异,因此可溶性盐分的变化有待于田间试验进一步验证。

4 结论

本研究发现,鸡粪与木醋液配施处理的 pH 值、EC 值均显著低于单施鸡粪处理。较单施木醋液处理,施用鸡粪处理的土壤养分含量和酶活性均显著升高。其中,配施处理的全氮、有效磷、水溶性有机碳、水溶性有机氮和硝态氮含量显著高于其他处理。配施处理的土壤 α -葡萄糖苷酶、 β -葡萄糖苷酶、几丁质酶、亮氨酸氨基肽酶、碱性磷酸酶、多酚氧化酶和脱氢酶活性分别较单施鸡粪处理显著增加 49.58%、67.85%、40.84%、104.94%、17.66%、62.05% 和 37.50%。回归分析表明,土壤有机质、全氮、有效磷和水溶性有机碳、氮含量的变化促进土壤酶活性的提高。综上所述,鸡粪与木醋液配施可显著降低盐碱土的 pH 值,并能显著提高滨海盐碱土养分含量和酶活性。

参考文献:

- [1] 王睿彤,孙景宽,陆兆华. 土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土生化特性的影响[J]. 生态学报, 2017, 37 (2): 1-7.
- [2] Liu L P, Long X H, Shao H B, et al. Ameliorants improve saline-alkaline soils on a large scale in northern Jiangsu province, China [J]. Ecological Engineering, 2015, 81: 328-334.
- [3] Rehman K U, Ying Z, Andleeb S, et al. Short term influence

of organic and inorganic fertilizer on soil microbial biomass and DNA in summer and spring [J]. Journal of Northeast Agricultural University (English Edition), 2016, 23 (1): 20-27.

- [4] 李忠徽,王旭东. 灌施木醋液对土壤性质和植物生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (2): 510-516.
- [5] 张亚兰,孙金龙,李治宇,等. 木醋液对盐碱土改良效果研究[J]. 中国农机化学报, 2014, 35 (6): 292-295.
- [6] Lashari M S, Ye Y, Ji H, et al. Biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2-year field experiment [J]. Society of Chemical Industry, 2015, 95 (6): 1321-1327.
- [7] 周红娟,耿玉清,丛日春,等. 木醋液对盐碱土化学性质、酶活性及相关性的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47 (1): 105-111.
- [8] 邹小明,刘强,肖春玲,等. 竹醋液对土壤微生物及酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2010, 41 (1): 64-67.
- [9] 王艳. 灌溉方式、生物碳和有机肥对温室土壤碳及酶活性的影响[J]. 干旱区研究, 2016, 33 (3): 461-466.
- [10] 汪吉东,张辉,张永春,等. 连续施用不同比例鸡粪氮对水稻土有机质积累及土壤酸化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (5): 1178-1185.
- [11] Jian S, Li J, Chen J, et al. Soil extracellular enzyme activities, soil carbon and nitrogen storage under nitrogen fertilization: A meta-analysis [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2016, 101: 32-43.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] Verchot L V, Borelli T. Application of *para*-nitrophenol (*p*NP) enzyme assays in degraded tropical soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37 (4): 625-633.
- [14] Sinsabaugh R L, Klug M J, Collins H P, et al. Characterizing soil microbial communities [A]. Robertson G P, Coleman D C, Bledsoe C S, et al. Standard soil methods for long-term ecological research [M]. New York: Oxford University Press, 1999. 329-338.
- [15] Margesin R, Schinner F. Manual for soil analysis monitoring and assessing soil bioremediation [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 316-318.
- [16] Qi R, Li J, Lin Z, et al. Temperature effects on soil organic carbon, soil labile organic carbon fractions, and soil enzyme activities under long-term fertilization regimes [J]. Applied Soil Ecology, 2016, 102: 36-45.
- [17] 刘敏,耿玉清,丛日春,等. 添加木醋液对盐碱土酶活性的影响[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13 (6): 112-117.
- [18] 胡春花,达布希拉图,武闻权,等. 木醋液及炭醋肥对设施土壤微生物数量及相关性的影响[J]. 土壤通报, 2012, 43 (4): 815-820.
- [19] 曾婕,海梅荣,王晓会,等. 木醋液对植烟土壤微生物多样性的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46 (1): 93-98.
- [20] 胡妍玢,陈杰,杨学军,等. 不同配比的木醋肥对香樟林

- 土壤性状的影响 [J]. 土壤, 2013, 45 (3): 437–443.
- [21] Boerner R E J, Giai C, Huang J, et al. Initial effects of fire and mechanical thinning on soil enzyme activity and nitrogen transformations in eight North American forest ecosystems [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40 (12): 3076–3085.
- [22] Zhang X, Dong W, Dai X, et al. Responses of absolute and specific soil enzyme activities to long term additions of organic and mineral fertilizer [J]. Science of the Total Environment, 2015, 536: 59–67.
- [23] Banerjee S, Bora S, Thrall P H, et al. Soil C and N as causal factors of spatial variation in extracellular enzyme activity across grassland – woodland ecotones [J]. Applied Soil Ecology, 2016, 105: 1–8.
- [24] Zhao S, Li K, Zhou W, et al. Changes in soil microbial community, enzyme activities and organic matter fractions under long – term straw return in north – central China [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2016, 216: 82–88.
- [25] Gascó G, Paz – Ferreira J, Cely P, et al. Influence of pig manure and its biochar on soil CO₂ emissions and soil enzymes [J]. Ecological Engineering, 2016, 95: 19–24.
- [26] 申卫收, 林先贵, 张华勇, 等. 不同施肥处理下蔬菜塑料大棚土壤微生物活性及功能多样性 [J]. 生态学报, 2008, 28 (6): 2682–2689.
- [27] Chu H, Lin X, Fujii T, et al. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long – term fertilizer management [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39 (11): 2971–2976.
- [28] 潘丹丹, 吴祥为, 田光明, 等. 土壤中可溶性氮和 pH 对有机肥和化肥的短期响应 [J]. 水土保持学报, 2012, 26 (2): 170–174.
- [29] 权国玲, 谢开云, 全宗永, 等. 复合微生物肥料对羊草草原土壤理化性质及酶活性的影响 [J]. 草业学报, 2016, 25 (2): 27–36.

Effect of chicken manure co-applied with pyroligneous acid on chemical properties, enzyme activities of coastal solonchak soils

ZHOU Hong-juan¹, GENG Yu-qing^{1*}, CONG Ri-chun^{2*}, YANG Ying¹, TANG Xiao-qian¹ (1. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083; 2. Chinese Academy of Forestry, Institute of Desertification Research, Beijing 100091)

Abstract: Organic fertilizer is an effective way to alleviate the degree of soil salinization and improve soil fertility. In order to evaluate the impact of manure treatment on chemical properties and enzyme activities of coastal solonchak soils, the manipulations composed of coastal solonchak soil (CK), chicken manure (CM), pyroligneous acid (PA) and chicken manure co – applied with pyroligneous acid (CP) were conducted by using soil culture method. The results indicated that soil pH and EC value under CP significantly decreased by 0.34 and 14.52% in comparison with CM. The nutrient contents and enzyme activities of coastal solonchak soil by applying chicken manner (CM and CP) were significantly higher than under PA treatment. Compared with CM treatment, the concentrations of total nitrogen, available phosphorus, dissolved organic carbon, dissolved organic nitrogen and nitrate nitrogen under the CP treatment significantly increased by 55.32%, 103.35%, 16.64%, 55.68% and 45.43%, respectively; Meanwhile, the activities of α -glucosidase, β -glucosidase, β -N-acetylglucosaminidase, leucine aminopeptidase, alkaline phosphatase, polyphenol oxidase and dehydrogenase increased by 49.58%, 67.85%, 40.84%, 104.94%, 17.66%, 62.05% and 37.50%, respectively. Regression analysis indicated that higher contents of organic matter, total nitrogen, available phosphorus, dissolved organic carbon and dissolved organic nitrogen enhanced soil enzyme activities. In conclusion, chicken manure co-applied with pyroligneous acid alleviated pH, improved nutrient content and enzyme activities of coastal solonchak soils.

Key words: coastal solonchak soils; chicken manure; pyroligneous acid; chicken manure + pyroligneous acid; soil enzyme activity