

中药废渣对干旱区弃耕盐碱地土壤理化性质及微生物数量和酶活性的影响

白明生, 姚云鹤, 王佳

(宁夏大学 生命科学学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 在宁夏干旱区弃耕盐碱地施用苦豆子草渣、苦豆子籽渣和甘草渣 3 种中药废渣, 对表层土壤理化性质、微生物数量和土壤酶活性的变化进行了研究, 探讨 3 种中药废渣改良弃耕盐碱地的效应。结果表明: 施用 3 种中药废渣后, 土壤容重、pH 值、全盐均低于 CK(未施药渣), 其中 pH 值、全盐含量显著降低; 土壤水分含量均显著高于 CK; 土壤养分含量全面提高, 其中土壤有机质、全磷、速效氮、速效磷、速效钾得到显著提高, 不同处理间速效氮、速效磷、速效钾差异显著 ($p < 0.05$), 其中苦豆子籽渣提供速效氮、速效钾的能力显著高于甘草渣和苦豆子草渣, 而甘草渣提供速效磷的能力显著高于苦豆子草渣和籽渣; 施用废渣后的表层土壤细菌、真菌和放线菌数量均显著高于 CK; 苦豆子草渣、苦豆子籽渣和甘草渣对土壤碱性磷酸酶的活性有显著性的促进作用, 苦豆子籽渣对土壤过氧化氢酶的活性有显著性的促进作用; 土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾与土壤微生物的数量和土壤酶相互促进作用明显, 有密切的相关关系。

关键词: 中药废渣; 弃耕盐碱地; 土壤理化性质; 土壤酶活性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0013-05

中图分类号: S154.2

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.009

Effects of Waste Residue of Chinese Herbs on Soil Physical-Chemical Properties and Microbial Quantities and Enzyme Activities of Abandoned Salkaline Land in Arid Area

BAI Ming-sheng, YAO Yun-he, WANG Jia

(College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: The effects of grass residue of sophora alopecuroides, seeds residue of sophora alopecuroides and licorice residue on soil physical-chemical properties, microbial quantities and enzyme activities in abandoned salkaline land in arid area of Ningxia Hui Autonomous Region were studied. The results showed that the soil bulk density, pH value and total salt content after applied with residue were lower than not applied with residue(CK), especially the total salt content and pH value decreased significantly. Soil organic matter, total phosphorus, available nitrogen, available phosphorus and available potassium increased significantly, and there existed significant difference in available nitrogen, available phosphorus and available potassium between different treatments, and also, the ability to provide available potassium and available nitrogen of seeds residue of sophora alopecuroides is significantly higher than that of grass residue of sophora alopecuroides and licorice residue, the ability to provide available phosphorus of licorice residue is significantly higher than that of grass residue of sophora alopecuroides and seed residue of sophora alopecuroides. After the application of waste residue, the number of soil bacteria, fungi and actinomycetes were significantly higher than that of CK. The activity of alkaline phosphatase increased significantly by application of seed residue of sophora alopecuroides and licorice residue, and the activity of soil catalase increased significantly by application of seeds residue of sophora alopecuroides. Soil organic matter, available nitrogen, available phosphorus and available potassium showed a significant correlation with microbial quantities and enzyme activities, which were promoted each other.

Keywords: waste residue of chinese herbs; abandoned salkaline land; soil physical-chemical properties; soil enzyme activity

收稿日期: 2014-08-06

修回日期: 2014-10-05

资助项目: 国家科技支撑项目“荒漠草原区农牧复合生态系统构建与可持续利用技术集成与试验示范”(2011BAC07B03)

作者简介: 白明生(1971—), 男(汉族), 陕西省定边县人, 副教授, 主要从事植物生理研究与教学工作。E-mail: baimingsheng@163.com

苦豆子 (*Sophora alopecuroides* L.), 豆科槐属植物, 集中生长在我国北部的荒漠区, 尤以宁夏回族自治区、甘肃省、青海省、新疆维吾尔自治区及内蒙古自治区为多。苦豆子含有较多的生物碱, 以全草、根、种子入药^[1-2]。提取生物碱后的苦豆子药渣分为苦豆子草渣(从苦豆子茎叶中提取生物碱后的药渣)和苦豆子籽渣(从苦豆子籽中提取生物碱后的药渣), 是生物制药厂生产过程中的废弃物。甘草为豆科甘草属植物, 甘草 (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)、胀果甘草 (*G. inflata* Bat.) 或光果甘草 (*G. glabra* L.) 的干燥根及根茎, 富含三萜和黄酮类成分, 甘草酸是其主要有效成分之一^[3-4]。医药生产企业通常从甘草中提取甘草膏或甘草酸, 提取后所剩余的甘草药渣作为工业废料弃去。

对中药废渣的有效再利用不仅可以降低工业废料排放, 减轻环境治理的压力, 而且可以充分利用废弃资源, 保护生态环境。宁夏回族自治区盐池县紫荆花药业有限公司是目前全国最大的苦参系列生物碱原料药生产基地, 还生产大量的甘草浸膏等原料药, 每年产生大量的药物废渣。本文以中药废渣为原料, 进行中药废渣改良干旱区盐碱地的试验研究, 旨在探索中药废渣对盐碱地土壤理化性质、土壤酶活性的影响, 分析土壤理化性质与土壤微生物和土壤酶活性之间的关系, 为盐碱地土壤改良提供数据支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏回族自治区东部盐池县(东经 $106^{\circ}30'$ — $107^{\circ}47'$, 北纬 $37^{\circ}04'$ — $38^{\circ}10'$)花马池镇北王圈自然村, 属于毛乌素沙地西南缘, 为黄土高原向鄂尔多斯台地过渡地带。该区年均气温 7.7°C , 绝对最高和最低气温分别是 38.1°C 和 -29.6°C , 年均降水量约 280 mm, 蒸发量高达 2710 mm, 年均无霜期 165 d。试验地为 9 a 弃耕地, 土壤类型为风沙土。水资源匮乏, 灌溉用水为地下水, 含盐量及矿化度高, 水质较差。研究区主要植被有沙生冰草、〔赖草 (*Aneurolepidum dasytachys* (Trin.) Nevski.)、大针茅 (*Stipa grandis* P. Smirn.)、长芒草 (*Stipa bungeana* Trin.) 和盐爪爪 (*Kalidium foliatum* (Pall.) Moq.) 等。

1.2 试验方法

1.2.1 试验材料 提取苦参碱后的苦豆子废渣(籽渣和草渣)和提取浸膏后的甘草废渣(宁夏盐池紫荆花药业有限公司提供), 干燥粉碎后加少量水, 加水量以手握菌渣能成团但水不流出为宜, 堆成料堆, 覆盖

塑料布室温下进行自然发酵发酵, 降解有机物。当废渣质地松软则发酵终了, 自然风干, 备用。试验地种植的牧草为紫花苜蓿, 种子自当地采集。

1.2.2 试验设计 试验设 4 个处理。处理 1: 对照 (CK), 不施药渣; 处理 2: 施入发酵后的苦豆子籽渣 0.5 kg/m^2 ; 处理 3: 施入发酵后的苦豆子草渣 0.5 kg/m^2 ; 处理 4: 施入发酵后甘草废渣 0.5 kg/m^2 。3 次重复, 随机区组排列。小区面积 100 m^2 ($10\text{ m} \times 10\text{ m}$)。紫花苜蓿于 2013 年 5 月中旬播种, 条播, 行距 30 cm, 播深 2~3 cm。试验期间采用相同的管理措施, 于播种前、全苗后各灌溉 1 次, 不施肥, 严禁放牧。于 2014 年 9 月 12 日在每个小区设 5 个取样点, 采取 0—20 cm 土层土样, 将 5 个样均匀混合, 剔除石砾及植物残茬等杂物。一部分新鲜土样用于测定土壤微生物数量及酶活性, 将另一部分新鲜土壤风干、过筛, 用于测定土壤理化性质。

1.3 测定内容及方法

(1) 土壤理化性质测定^[5]: 土壤容重采用环刀法; 土壤水分采用烘干法; pH 值采用 MP515pH 计; 全盐含量采用 MP515 电导率仪。

(2) 土壤养分含量测定: 土壤有机质采用重铬酸钾容量法; 全氮采用凯氏定氮法; 全磷采用钼锑抗比色法; 速效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法; 全钾和速效钾采用火焰光度法; 速效氮采用碱解扩散法。

(3) 土壤微生物数量测定^[6]: 土壤微生物采用平板计数法, 细菌、真菌、放线菌所用培养基分别为牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、马丁氏培养基、高氏一号培养基。

(4) 土壤酶活性的测定^[6]: 土壤脲酶活性采用比色法测定〔以 1 h 后单位土重的 $\text{NH}_3\text{—N}$ 含量 (mg) 表示〕, 转化酶采用滴定法〔以 1 h 后单位土重的 0.1 mol/L 硫代硫酸钠与对照测定差值 (ml) 表示〕, 土壤碱性磷酸酶活性采用苯磷酸二钠法〔以 1 h 后每克干土释放的酚的含量 (mg) 表示〕, 过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定〔以每克土重的 0.1 mol/L 高锰酸钾与对照测定差值 (ml) 表示〕。

1.4 数据处理

用 Excel 软件进行数据整理, 通过 SPSS 软件的 Duncan 法进行方差分析, 利用 Pearson 相关系数评价土壤理化性质与土壤微生物各指标间的相关性。

2 结果与分析

2.1 不同中药废渣处理对土壤水分和容重的影响

土壤水分是干旱区植物生长和植被恢复的主要

限制因子,主要受到降雨量、土壤性质的影响^[7-8]。由表 1 可见,施入废渣后的土壤水分含量显著高于对照(CK),其大小依次为:苦豆子籽渣>甘草渣>苦豆子草渣>CK,差异显著($p<0.05$)。

土壤容重是土壤的一个基本物理参数,对土壤的透气性、持水能力、入渗性能及抗侵蚀能力都有非常大的影响。土壤容重大小依次为:CK>苦豆子籽渣>甘草渣>苦豆子草渣,其中苦豆子草渣、甘草渣)与 CK 差异显著,原因是施入废渣后使土壤疏松,且增加团聚体的含量,降低了土壤容重,使土壤的结构明显改善。

表 1 不同中药废渣处理的土壤理化性状

处理	水分含量/%	容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	pH 值	全盐含量/ ($g \cdot kg^{-1}$)
CK(未施药渣)	5.93d	1.41a	9.15a	2.91a
苦豆子草渣	6.05c	1.21c	8.36b	2.15b
苦豆子籽渣	6.52a	1.35ab	8.12b	2.03b
甘草渣	6.31b	1.29b	8.05b	1.91b

注:同列不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。下同。

2.2 不同中药废渣处理对土壤 pH 值和全盐的影响

pH 值是土壤的一个重要指标,适宜的 pH 值有利于提高土壤养分的有效性,促进土壤微生物活动,

加速养分循环,从而促进牧草生长^[9-10]。由表 1 可知,对土壤 pH 值影响作用的大小依次为:CK>苦豆子草渣>苦豆子籽渣>甘草渣。施入废渣后土壤 pH 值都有所下降,与对照差异显著,其中施入甘草渣的下降幅度最大,为 12.02%。对土壤全盐含量影响作用的大小依次为:CK>苦豆子草渣>苦豆子籽渣>甘草渣,均显著低于 CK,且差异显著。

2.3 不同中药废渣处理对土壤养分的影响

土壤有机质是土壤养分的主要来源^[11]。施入苦豆子草渣、苦豆子籽渣和甘草渣 3 种中药废渣后,土壤有机质含量得到显著提高。对土壤有机质和全氮、速效氮、速效钾含量影响作用的大小顺序为:苦豆子籽渣>甘草渣>苦豆子草渣>CK。除全氮含量与 CK 差异不显著外,有机质、速效氮、速效钾含量均显著高于 CK。对土壤全磷、全钾、速效磷影响作用的大小顺序为:甘草渣>苦豆子籽渣>苦豆子草渣>CK,除全钾外均显著大于 CK。由表 2 可见,不同处理间速效氮、速效磷、速效钾差异显著,说明这 3 种不同的废渣提供速效氮、速效磷、速效钾的能力不同,其中苦豆子籽渣提供速效氮、速效钾的能力显著高于甘草渣和苦豆子草渣,而甘草渣提供速效磷的能力显著高于苦豆子草渣和籽渣。

表 2 不同中药废渣处理的土壤养分含量

处理	有机质/ ($g \cdot kg^{-1}$)	全氮/ ($g \cdot kg^{-1}$)	全磷/ ($g \cdot kg^{-1}$)	全钾/ ($g \cdot kg^{-1}$)	速效氮/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	速效磷/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	速效钾/ ($mg \cdot kg^{-1}$)
CK(未施药渣)	6.98b	0.53c	0.27b	12.82b	21.91d	4.13d	121.91c
苦豆子草渣	8.21a	0.63bc	0.35a	13.72ab	31.96c	6.12c	135.31b
苦豆子籽渣	8.94a	0.75a	0.37a	14.25a	39.56a	6.57b	142.96a
甘草渣	8.46a	0.67ab	0.39a	14.59a	36.08b	6.82a	139.57ab

2.4 不同中药废渣处理对土壤微生物数量的影响

土壤微生物数量(表 3)以细菌最多,所占比例均在 95%以上,其次是放线菌,真菌最少。微生物数量与细菌数量、真菌数量大小顺序表现一致,均为:苦豆子籽渣>甘草渣>苦豆子草渣>CK。放线菌数量大小顺序为:甘草渣>苦豆子籽渣>苦豆子草渣>CK,各处理的细菌、放线菌、真菌数量均显著大于 CK($p<0.05$)。

表 3 不同中药废渣处理的微生物数量特征

处理	细菌数/ (10^6)	放线菌数/ (10^5)	真菌数/ (10^3)	微生物总数/ (10^5)
CK(未施药渣)	27.42c	8.56c	4.31c	282.80c
苦豆子草渣	31.55b	9.87b	6.32b	325.43b
苦豆子籽渣	36.15a	11.28a	7.92a	373.16a
甘草渣	34.29a	11.55a	7.66a	354.23ab

2.5 不同中药废渣处理对土壤酶活性的影响

土壤酶是一个敏感的生物指标,活性的高低与土壤养分、土壤类型、植被特征、土壤微生物、土壤水分、温度、容重等以及酶类本身的性质有关^[12]。由表 4 可见,土壤中碱性磷酸酶、过氧化氢酶、转化酶的活性表现一致,大小顺序为:苦豆子籽渣>甘草渣>苦豆子草渣>CK,土壤脲酶的活性为:甘草渣>苦豆子籽渣>苦豆子草渣>CK。其中苦豆子草渣、苦豆子籽渣和甘草渣对土壤碱性磷酸酶的活性有显著性的促进作用($p<0.05$),苦豆子籽渣对土壤过氧化氢酶的活性有显著性的促进作用($p<0.05$)。

2.6 土壤因子与微生物数量和土壤酶活性的相关分析

各主要土壤因子与微生物数量和土壤酶活性的相关分析发现(表 5),水分含量与微生物总数及 4 种土壤酶活性呈极显著正相关。土壤水分是干旱区植

物生长和植被恢复的主要限制因子。由上述相关分析发现,土壤水分也是影响干旱区土壤微生物数量和土壤酶活性的主要因子。

土壤 pH 值与碱性磷酸酶、脲酶、转化酶呈极显著负相关,与过氧化氢酶呈显著负相关。土壤全盐含量与土壤微生物数量和与碱性磷酸酶、脲酶、转化酶呈极显著负相关,与过氧化氢酶呈显著负相关,可见土壤全盐含量在干旱区弃耕盐碱地土壤环境中的重

要性。有机质与碱性磷酸酶呈显著正相关,与土壤微生物数量也呈极显著正相关。速效氮与土壤微生物数量和碱性磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶呈极显著正相关,与转化酶呈显著正相关。速效磷与土壤微生物数量和碱性磷酸酶、脲酶呈极显著正相关,与过氧化氢酶呈显著正相关。速效钾与土壤微生物数量和碱性磷酸酶、脲酶呈极显著正相关,与过氧化氢酶呈显著正相关。

表 4 不同中药废渣处理的的土壤酶活性

处理	碱性磷酸酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	过氧化氢酶/ ($\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$)	脲酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	转化酶/ ($\text{ml} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
CK(未施药渣)	21.35b	10.36b	1.42b	13.32b
苦豆子草渣	36.52a	11.68b	1.51b	14.08b
苦豆子籽渣	38.74a	13.95a	1.76a	15.92a
甘草渣	35.87a	11.83b	1.84a	14.75ab

表 5 土壤理化性质与微生物数量和土壤酶活性的相关分析

指标	碱性磷酸酶	过氧化氢酶	脲酶	转化酶	微生物总数
水分含量	0.757**	0.842**	0.940**	0.748**	0.810**
容重	-0.669*	-0.228	-0.600	-0.320	-0.152
pH 值	-0.772**	-0.623*	-0.710**	-0.824**	-0.323
全盐含量	-0.934**	-0.657*	-0.688*	-0.723**	-0.747**
有机质	0.682*	0.453	0.555	0.297	0.879**
速效氮	0.863**	0.726**	0.803**	0.591*	0.914**
速效磷	0.919**	0.686*	0.769**	0.569	0.870**
速效钾	0.845**	0.623*	0.781**	0.488	0.905**

注: * 表示 $p < 0.05$ 时相关性显著; ** 表示 $p < 0.01$ 时相关性显著。

3 结果讨论

在干旱区盐碱地施入苦豆子草渣、苦豆子籽渣和甘草渣 3 种中药废渣后,土壤理化性质得到明显改善,施入废渣后的土壤容重、pH 值、全盐含量均显著低于对照(CK),土壤水分含量显著高于 CK。全盐含量明显降低,其原因可能是施入废渣后,改善了土壤结构,促进了盐分向下淋溶,同时,提高了土壤有机物含量,使阴阳离子溶解度增加,有利于脱盐。

施入苦豆子草渣、苦豆子籽渣和甘草渣 3 种中药废渣后,土壤养分得到明显改善。其中,土壤中有机质和全氮、速效磷、速效氮、速效钾含量显著高于 CK,而不同处理间速效氮、速效磷、速效钾差异显著,说明这 3 种不同的废渣提供速效氮、速效磷、速效钾的能力不同,其中苦豆子籽渣提供速效氮、速效钾的能力显著高于甘草渣和苦豆子草渣,而甘草渣提供速效磷的能力显著高于苦豆子草渣和籽渣。

土壤微生物是土壤中物质转化和养分循环的驱动力,施入废渣后土壤中细菌、真菌和放线菌数量均

显著大于 CK,且土壤微生物均以细菌最多,占微生物总数的 95% 以上,其次是放线菌,真菌最少。

土壤因子与微生物数量和土壤酶活性的相关分析表明,水分含量与微生物总数及这 4 种土壤酶活性呈极显著正相关。土壤水分是干旱区植物生长和植被恢复的主要限制因子。由上述相关分析发现,土壤水分也是影响干旱区土壤微生物数量和土壤酶活性的主要影响因子。本研究表明,施入中药废渣后土壤水分含量显著增加,水分的增加有利于微生物的生长,从而增加土壤微生物数量,提高了土壤酶活性。土壤 pH 值与碱性磷酸酶、脲酶、转化酶呈极显著负相关,与过氧化氢酶呈显著负相关。全盐含量与土壤微生物数量和碱性磷酸酶、脲酶、转化酶呈极显著负相关,与过氧化氢酶呈显著负相关,这与毛志刚^[13]在盐城海滨湿地盐沼和马献发^[14]在对松嫩平原苏打草甸碱土的研究结果一致。但杨志勇等^[15]在江苏省大丰湿地的试验显示土壤过氧化氢酶与盐分呈显著负相关,而碱性磷酸酶却与盐分呈显著正相关。全盐含量与微生物数量呈极显著负相关,这可能是由于试验

区为弃耕盐碱地,地下水含盐量高,由于长期灌水过多,造成土壤表层盐分积累,抑制细菌、放线菌的生长,减少了微生物数量,从而影响了土壤酶的活性。土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾与土壤微生物的数量和土壤酶相互促进作用明显,有密切的相关关系。速效氮与土壤微生物数量和碱性磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶呈极显著正相关,与转化酶呈显著正相关,这也与毛志刚等^[13]的研究结果相一致。土壤酶通常与土壤黏粒和有机质结合,其中许多土壤酶与土壤腐殖质结合,形成酶—腐殖质复合体,所以土壤有机质是土壤酶的来源和贮藏基地,土壤全氮、有效磷、有效钾是酶作用的底物/产物,所以上述因素是影响土壤酶活性的重要因素。许多研究表明,土壤肥力水平在很大程度上受制于土壤酶,与土壤酶活性之间存在着非常密切的相关关系^[16-18]。

4 结论

施入苦豆子草渣、苦豆子籽渣和甘草渣3种中药废渣后,盐碱地土壤理化性质和土壤养分得到明显改善,土壤微生物数量和土壤酶活性显著增加,这为利用中药废渣对干旱区盐碱地土壤进行改良提供了理论依据。另外,土壤酶活性还与其它因素如土壤质量、温度、地表植被、地形(坡位)等密切相关^[19-20],因此,对于施入中药废渣的盐碱地土壤酶活性与土壤理化性质的关系还需要进一步研究证实。在实践中对于施用药渣的具体措施,不同中药废渣最佳配比方案以及与其他改良措施综合的效果等还需要进一步深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] 杨巧丽,顾政一,黄华. 中药苦豆子的研究进展[J]. 西北药学杂志,2011,26(3):232-236.
- [2] 李艳艳,冯俊涛,张兴,等. 苦豆子化学成分及其生物活性研究进展[J]. 西北农业学报,2005,14(2):133-136,140.
- [3] 刘育辰,陈有根,王丹,等. 甘草化学成分研究[J]. 药物分析杂志,2011(7):1251-1255.
- [4] 白虹,窦德强,裴玉萍,等. 栽培甘草的化学成分研究[J]. 中草药,2005,36(5):652-654.
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1999.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,1985.
- [7] 陈云明,侯喜禄,刘文兆. 黄土丘陵半干旱区不同类型植被水保生态效益研究[J]. 水土保持学报,2000,14(3):57-61.
- [8] 张北赢,徐学选,刘文兆,等. 黄土丘陵区不同土地利用的土壤水分灰色关联度[J]. 生态学报,2008,28(1):361-366.
- [9] 冯玉杰,张巍,陈桥,等. 松嫩平原盐碱化草原土壤理化特性及微生物结构分析[J]. 土壤,2007,39(2):301-305.
- [10] 李凤霞,王学琴,郭永忠,等. 宁夏不同类型盐渍化土壤微生物区系及多样性[J]. 水土保持学报,2011,25(5):107-111.
- [11] 王清奎,汪思龙,冯宗炜,等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. 生态学报,2005,25(3):513-519.
- [12] 薛立,邝立刚,陈红跃,等. 不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究[J]. 土壤学报,2003,40(2):280-285.
- [13] 毛志刚,谷孝鸿,刘金娥,等. 盐城海滨湿地盐沼植被及农作物下土壤酶活性特征[J]. 生态学报,2010,30(18):5043-5049.
- [14] Ma Xianfa, Zhou Lianren, Chen Ran. Effect of recovering quickly vegetation ameliorative ways in meadow solonetz soil on salt content and enzyme activities[J]. Acta Pedologica Sinica, 2007,44(4):761-763.
- [15] Yang Zhiyong, Qin Pei. Comparative studies on the soil enzymic activities of two plant communities in Dafeng ecological engineering wetland of Northern Jiangsu [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009,29(7):3649-3657.
- [16] 张笑培,杨改河,任广鑫,等. 黄土高原南部植被恢复对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(6):64-68.
- [17] 陈立明,满秀玲. 云冷杉林土壤酶活性与土壤养分的研究[J]. 中国水土保持科学,2009,7(4):94-99.
- [18] 赵静,韩甜甜,谢兴斌,等. 酸化梨园土壤酶活性与土壤理化性质之间的关系[J]. 水土保持学报,2011,25(4):115-120.
- [19] 刘艳,马风云,宋玉民,等. 黄河三角洲冲积平原湿地土壤酶活性与养分相关性研究[J]. 水土保持研究,2008,15(1):59-61.
- [20] 成毅,安韶山,马云飞. 宁南山区不同坡位土壤微生物生物量和酶活性的分布特征[J]. 水土保持研究,2010,17(5):148-153.