

不同种稻年限盐碱地水田表层土壤酶活性变化及其与土壤养分关系

王巍巍^{1,2}, 魏春雁², 张之鑫², 武巍², 张国辉², 杨建², 王莹², 赵兰坡^{1*}

(1. 吉林农业大学资源与环境学院/吉林省商品粮基地土壤资源可持续利用重点实验室, 长春 130118; 2. 吉林省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所/农产品质量安全风险评估实验室, 长春 130033)

摘要: 本文通过采集吉林省西部6个不同种稻年限的苏打盐碱地水田土壤为供试样品, 以未经种稻改良的废弃草原土壤作为对照, 通过对不同种稻年限苏打盐碱地水田表层的土壤养分、酶活性及二者之间的相关性进行研究, 为合理利用和开发盐碱地资源, 提高土壤肥力和作物产量提供基础理论依据。结果表明, 随种稻年限的增加, pH逐年下降, 有机质含量、碱解氮(除种稻1年外)、速效磷经改良后均高于对照土壤, 速效钾含量随种稻年限的增加无规律性变化。经种稻改良后过氧化氢酶、过氧化物酶活性总体呈下降趋势; 脲酶、蔗糖酶活性总体呈上升趋势; 不同种稻年限对土壤养分及酶活性都有规律性影响; 碱解氮、速效磷、有机质、pH之间均呈显著相关或极显著相关性; 过氧化氢酶、过氧化物酶、脲酶、蔗糖酶之间呈极显著或显著相关性; 过氧化氢酶、过氧化物酶、脲酶、蔗糖酶与有机质、碱解氮、速效磷之间相关性均达显著水平。

关键词: 种稻年限; 土壤酶活性; 土壤养分; 相关性

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1003-8701(2016)04-0043-06

Studies on Changes of Surface Layer Soil Enzyme in Saline-Alkali Paddy Field of Different Planting Years and Relationship Between Soil Enzyme Changes and Soil Nutrients

WANG Weiwei^{1,2}, WEI Chunyan², ZHANG Zhixin², WU Wei², ZHANG Guohui², YANG Jian², WANG Ying², ZHAO Lanpo^{1*}

(1. College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University/Key Laboratory of Soil Resource Sustainable Utilization for Jilin Province Commodity Grain Bases, Changchun 130118; 2. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Jilin Academy of Agricultural Sciences/Risk Assessment Lab of Agri-Products Quality and Safety, Changchun 130033, China)

Abstract: In Order to improve soil fertility and crop production, improved rice paddy soda saline soils for different years were collected from western Jilin Province as samples, the unimproved grassland soil was taken as control in this study. The enzyme activities and soil nutrient content were determined, the variation of soil enzymes dynamic changes in different planting years of topsoil and the relationship between enzymes and soil nutrients were analyzed. The results were as follows: with increasing of planting years, compared with the control, the pH tended to decline, the organic matter, the alkali-hydrolyzable N (without 1Y) and the available phosphorus in the top soil tended to rise, the available potassium has no special variation. In different planting years, catalase and peroxidase activities overall tended to decline, but urease and sucrease activities tended to rise. The influence of the planting years on soil nutrients and enzyme activities has some regularity. There was a highly significant correlation or significant correlation among alkali-hydrolyzable N, available phosphorus, organic matter and pH. There was a highly significant correlation or significant correlation among catalase, peroxidase, urease and sucrease. The correlation among catalase, peroxidase, urease, sucrease and organic matter, alkali-hydrolyzable N, available phosphorus reached significant level.

Key words: Planting years; Soil enzyme activities; Soil nutrients; Correlation

收稿日期: 2016-03-26

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAC09B01); 吉林省科技厅重大科技攻关专项(20130204050SF)

作者简介: 王巍巍(1982-), 女, 助理研究员, 在读硕士, 主要从事土壤化验分析工作。

通讯作者: 赵兰坡, 男, 教授, 博士生导师, E-mail: zhaolan-po12@163.com

松嫩平原盐碱地总面积约为300万 $\text{hm}^{2[1]}$,仅吉林省西部,盐碱土面积就已经达到170多万 $\text{hm}^{2[2]}$,土壤类型主要为苏打(碳酸钠和碳酸氢钠)型盐碱土,作为东北粮食生产基地的松嫩平原,是我国北方土地荒漠化最严重的地区之一^[3]。如何开发和利用苏打盐碱地,将低产土壤建设成为高产稳产的高质量农业土壤,造福于人类,不仅是需要高度重视的生态环境问题,更是解决人类粮食问题的重要途径。在了解了苏打盐碱地的成因、类型、分布、理化特性等特征的基础上,经过多年研究证明,种稻是改良苏打盐碱地的最佳途径^[4-6]。长久以来,土壤肥力都作为土壤质量的核心指标,用以指示土壤生产力的状况。近些年来,寻找更敏感的土壤质量指标已成为土壤科学的主要研究内容。土壤酶是一种微土壤成分,虽然数量不多,却是土壤生物过程的主要调节者,它参与包括土壤生物化学过程在内的自然界物质循环,如有机物质的矿化分解、营养物质循环、能量转移、环境质量的评价等^[7-8],本文通过对吉林省西部不同种稻年限盐碱地水田土壤过氧化氢酶、过氧化物酶、脲酶、蔗糖酶4种主要土壤酶活性的变化、土壤养分的变化及其二者之间的关系进行研究,以期对苏打盐碱地的改良和利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土样

供试土壤采自吉林省前郭县套浩太乡碱巴拉村内,以未经改良的废弃草原(0年)作为对照,经种稻改良1年、3年、5年、10年、15年、20年的盐碱地水田土壤为研究对象(表1)。采集时间为2014年秋季,每个年限水田土壤用土钻取3个点。采集的样品去除大块石砾及粗大根系,混合均匀装入自封袋中带回,经室内自然风干,按土壤养分及酶活性分析方法要求过筛进行测定,测定时每个样品3次重复。

表1 供试土壤信息

种稻年限(年)	深度(cm)
对照(废弃草原)	0~20
1	0~13
3	0~18
5	0~18
10	0~18
15	0~18
20	0~18

1.2 测定指标及方法

土壤理化性质测定:pH用酸度计测定;碱解氮用碱解扩散法;速效磷用钼锑抗比色法;速效钾用火焰光度法;有机质用重铬酸钾容量法-外加热法。具体见《土壤理化分析》^[9]和《土壤农业化学常规分析方法》^[10]。

土壤酶活性的测定:过氧化氢酶采用紫外分光光度法测定^[11];过氧化物酶采用邻苯三酚比色法^[12];脲酶采用靛酚比色法^[12];蔗糖酶采用3,5-二硝基水杨酸比色法^[13]。

数据分析:采用Excel2007对数据进行处理,用DPS12.01数据处理软件对测得的数据进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 种稻改良对土壤pH的影响

由表2可见,供试土壤pH随种稻年限的增加呈下降趋势,种稻1年和种稻20年土壤与对照土壤相比,pH分别下降了0.19和1.62。

表2 不同种稻年限盐碱地水田pH变化

种稻年限(年)	pH
对照(废弃草原)	9.81
1	9.62
3	8.87
5	8.75
10	8.55
15	8.22
20	8.19

2.2 种稻改良对土壤有机质含量的影响

土壤有机质仅占土壤总量的一小部分,却对土壤形成、土壤肥力等方面起重要作用,有机质中含有具有胶体性质的腐殖质,它能够吸附土壤中较多的碱性阳离子,诸如 Na^+ 等,使土壤中的碱性盐固定,从而降低了高盐碱性对植物的毒害作用;另外有机质分解过程中能够产生一些有机酸,增加了阴阳离子的溶解度,在盐碱土脱盐过程中起到积极的促进作用^[9]。

由图1可知,随改良年限的增加,有机质含量始终呈现明显上升趋势,在种稻年限达20年时,有机质含量出现最高值30.12 g/kg,比种稻前17.54 g/kg提高了71.72%。苏打盐碱地经种稻改良后,有机质得以逐渐累积,是由于水稻根系及根茬分泌的有机酸和腐殖质类酸性物质能够中和土壤酸碱度,促进碱性阳离子的吸附,另外,稻田

潜水层的存在也为有机物质的积累提供了必备的厌氧条件^[14],随着改良年限的增加,有机质含量逐年上升,土壤肥力得到明显提升。

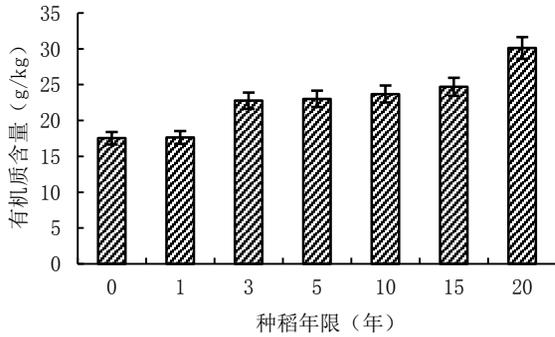


图1 不同种稻年限盐碱地水田有机质含量的变化

2.3 种稻改良对土壤速效养分含量的影响

盐碱性土壤由于特殊的理化性质,使土壤中有效性氮和磷的含量偏低,不能满足作物正常生长发育的需要,而有效性钾因为受到表聚现象以及易淋溶易固定等元素固有性质的影响,不同类型的盐碱土速效钾含量整体较高^[15]。

表3 不同种稻年限盐碱地水田速效养分含量变化
mg/kg

种稻年限 (年)	碱解氮 含量	速效磷 含量	速效钾 含量
对照 (废弃草原)	94.96±0.13	2.96±0.05	135.9±0.62
1	90.68±0.21	8.38±0.11	131.4±0.36
3	107.10±0.20	16.49±0.10	164.7±0.36
5	121.38±0.27	19.90±0.13	160.1±0.70
10	114.24±0.21	20.54±0.13	114.3±0.50
15	136.37±0.27	50.22±0.15	130.5±0.53
20	152.80±0.33	46.33±0.14	147.6±0.44

由表3可知,碱解氮(除种稻1年外)、速效磷含量随种稻年限的增加其含量均高于对照土壤,整体呈现上升趋势;速效钾含量随种稻年限的增加无规律性变化。在种稻1年时,碱解氮含量略低于对照土壤,原因可能是种稻1年时,土壤pH仍然很高,造成氮素形成氨气挥发损失,加上水旱交替,氮素易发生淋溶现象,导致了碱解氮含量的暂时降低,随着种稻年限的增加,土壤pH得到极大改善,氮素挥发损失减少,碱解氮含量逐年增加;同时,pH的降低和有机质的增加,磷的固定作用被降低,使得土壤中有效磷得到释放,提高了土壤中有效磷的含量;速效钾由于钾元素本身的固定能力,不易随水流失,另外,盐碱土中的

黏粒矿物组成以2:1型为主,此类黏粒矿物具有较强的吸附性和阳离子交换性,保肥性能颇佳^[16],因此,随种稻年限的增加速效钾含量变化并不明显。

2.4 种稻改良对土壤酶活性的影响

2.4.1 不同种稻年限土壤过氧化氢酶活性的变化

过氧化氢酶活性能够表征土壤呼吸强度及好氧型微生物的活动状况,与土壤肥力、土壤氧化强度有密切关系^[17]。由图2可知,随着种稻年限的增加,土壤过氧化氢酶活性的总体变化趋势表现为下降,尽管种稻1年时过氧化氢酶活性高于对照土壤,但随着种植年限的增加上升趋势已经消失。过氧化氢酶活性最高值1.35 mg/g出现在种稻1年,最低值0.78 mg/g出现在种稻20年,降低幅度为42.22%。

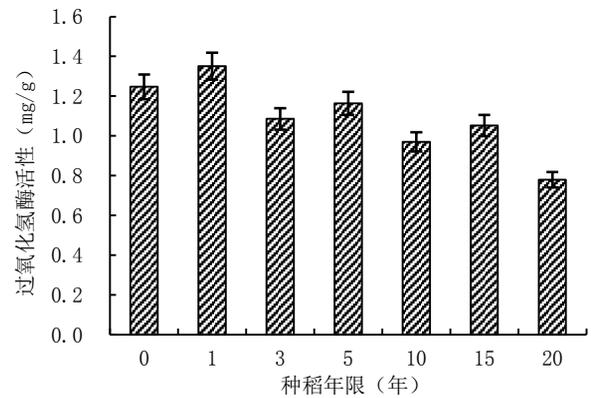


图2 不同种稻年限苏打盐碱地水田过氧化氢酶活性的变化

2.4.2 不同种稻年限土壤过氧化物酶活性的变化

过氧化物酶在腐殖质的形成过程中起着重要的作用。在土壤中,过氧化物酶能够利用氧化酶类与微生物共同作用下产生的过氧化氢以及其他有机过氧化物中的氧来氧化土壤中的有机物质,它可以参与催化多种芳香族化合物(苯酚、苯胺、

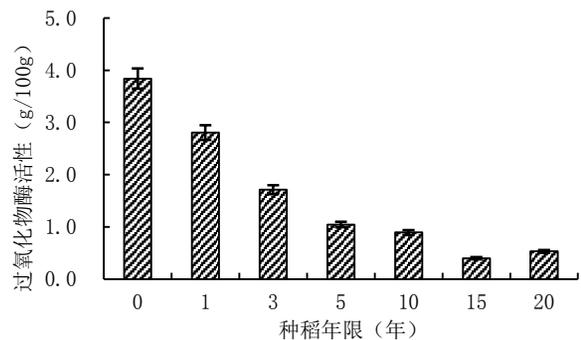


图3 不同种稻年限苏打盐碱地水田过氧化物酶活性的变化

多环芳烃等)的氧化反应^[18]。

由图3结果表明,供试土壤过氧化物酶活性随着种植年限的增加,呈现显著下降的趋势,种稻1~15年下降幅度剧烈,种稻15年时过氧化物酶活性由种稻1年时2.81 g/100 g,降至0.40 g/100 g下降了。

2.4.3 不同种稻年限土壤脲酶活性的变化

脲酶是能够促进土壤中尿素分子中酰胺肽键发生水解的专性酰胺酶,尿素水解后生成的氨是作物氮素的主要来源之一,通常情况下,脲酶活性可以用以表征土壤氮素的供应状况。

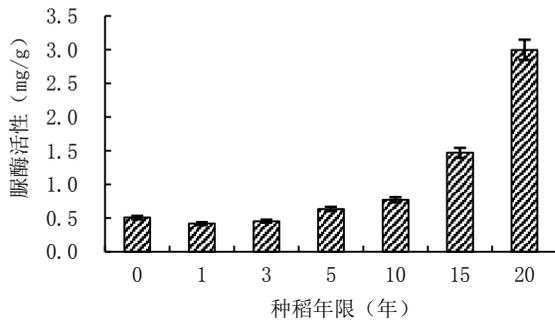


图4 不同种稻年限苏打盐碱地水田脲酶活性的变化

由图4分析得出,随着种植年限的增加,土壤脲酶活性整体表现为上升趋势,种稻1~10年间,脲酶活性上升幅度平缓,10年以上时上升幅度突然增大,脲酶活性在种稻20年时达到峰值2.99 mg/g,是种稻1年时脲酶活性最低值0.42 mg/g的7.12倍。

2.4.4 不同种稻年限土壤蔗糖酶活性的变化

蔗糖酶能够促进蔗糖分子中的键断裂,酶促产物是葡萄糖和果糖;土壤蔗糖酶活性强度与土壤有机质、微生物活动成正相关,土壤熟化程度一旦提高,蔗糖酶的活性也相应增强^[19]。

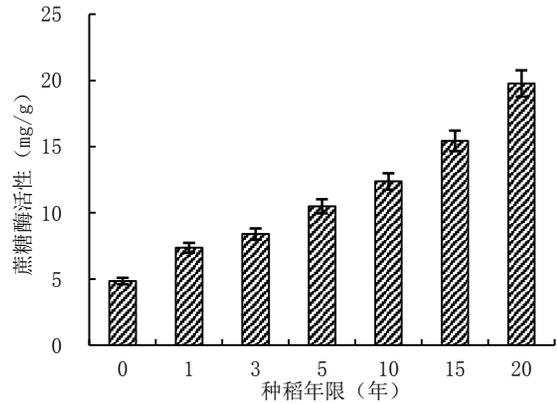


图5 不同种稻年限苏打盐碱地水田蔗糖酶活性的变化

图5表明,蔗糖酶活性随种稻年限的增加呈现显著的上升趋势,各种植年限蔗糖酶活性都显著高于对照土壤并表现为逐年升高,最高值与脲酶活性一致,均出现在种稻20年土壤中,蔗糖酶活性在种稻20年时已经达到了19.77 mg/g,比种稻1年的供试土壤提高了2.7倍,比对照土壤提高了4.1倍。

2.5 不同种稻年限土壤养分与土壤酶活性的相关性分析

通过比较土壤速效养分间的相关性发现(表4),碱解氮与速效磷成极显著正相关,相关系数达到0.934,其他速效养分间无显著相关性;有机质与碱解氮、速效磷分别呈极显著正相关和显著正相关,有机质是土壤中各种营养元素的主要碳源,是能够指示土壤肥力高低的重要指标;土壤pH除与速效钾无显著相关性外,与碱解氮、速效磷和有机质都呈极显著负相关,相关系数均在0.9左右,说明pH对土壤养分和有机质的影响非常大。

表4 不同种稻年限土壤养分间的相关性

	碱解氮	速效磷	速效钾	有机质
速效磷	0.934**			
速效钾	0.135	-0.018		
有机质	0.953**	0.855*	0.182	
pH	-0.905**	-0.898**	-0.050	-0.925**

注:n=7, r_{0.01}=0.875, r_{0.05}=0.755, *表示显著水平, **表示极显著水平,下同

通过酶活性间的相关性分析得出(表5),过氧化氢酶与过氧化物酶呈显著正相关;与脲酶、蔗糖酶分别呈显著负相关和极显著负相关;过氧化物酶仅与蔗糖酶呈显著负相关,与其他酶类未发现显著相关性;脲酶与蔗糖酶之间呈极显著正相关,相关系数达到0.905,说明这两种酶的关系尤为密切。

表5 不同种稻年限土壤酶活性间相关性

	过氧化氢酶	过氧化物酶	脲酶
过氧化物酶	0.762*		
脲酶	-0.823*	-0.581	
蔗糖酶	-0.878**	-0.862*	0.905**

土壤养分和土壤酶活性间的相关性分析表明(表6),过氧化氢酶与碱解氮呈显著负相关;过氧化物酶与碱解氮和速效磷呈显著负相关;脲酶与碱解氮呈极显著正相关,与速效磷呈显著正相关;蔗糖酶与碱解氮、速效磷均呈极显著正相关;

有机质与过氧化氢酶、过氧化物酶分别呈极显著和显著负相关,而与脲酶、蔗糖酶分别呈显著正相关和极显著正相关;土壤pH与过氧化物酶呈极显著正相关,与蔗糖酶呈极显著负相关。

表6 不同种稻年限土壤养分与土壤酶活性间的相关性

	过氧化氢酶	过氧化物酶	脲酶	蔗糖酶
碱解氮	-0.866*	-0.843*	0.891**	0.958**
速效磷	-0.753	-0.844*	0.816*	0.934**
速效钾	-0.019	-0.048	0.024	-0.055
有机质	-0.951**	-0.867*	0.856*	0.943**
pH 值	0.854*	0.979**	-0.680	-0.907**

3 讨论

通过对不同种稻年限土壤养分间、酶活性间、土壤养分与酶活性间的相关性分析表明,他们之间都存在良好的相关性。有机质与土壤养分间的相关性最为突出,除与速效钾相关性不显著外,与其他养分均表现为显著或极显著正相关,这说明种稻对苏打盐碱地改良效果明显,土壤养分间相互促进作用显著,有利于土壤质量的改善。

目前,关于种植年限对土壤速效养分、有机质及酶活性的影响报道^[20-23]较多,但对不同年限苏打盐碱地水田仅见对土壤速效养分、有机质含量的报道^[24],而对于不同种稻年限土壤酶活性变化研究未见报道。本文研究结果表明:过氧化氢酶活性与碱解氮含量、有机质含量的相关性均在显著水平以上,表明过氧化氢酶活性与土壤养分关系是非常密切的。本研究对过氧化氢酶活性与有机质的相关性研究结果与杨阳等^[25]不一致,可能是改良过程中施肥方式和种植的作物品种不同,具体原因需进一步研究。过氧化物酶与有机质含量、碱解氮含量、速效磷含量显著相关,有早期研究表明^[26]过氧化物酶在土壤修复中是能够起到一定程度积极作用的。土壤脲酶和蔗糖酶与土壤有机质、碱解氮、速效磷相关性均达到显著或极显著正相关。雷明等^[27-28]研究表明,土壤中脲酶直接参与氮素的转化过程,其活性与土壤氮素密切相关。葛晓改等^[29]对不同林龄马尾松林中土壤酶活性与养分关系的研究指出,土壤养分含量越高,蔗糖酶活性越强。在本研究中,土壤养分和土壤脲酶活性及蔗糖酶活性基本都呈显著相关,与以上研究结果基本一致,表明土壤养分含量的

提高有助于酶活性的增强,酶活性的增强又加速了有机质的分解和其他有效养分的转化;土壤酶活性在不同种稻年限间的变化规律可以用来反映土壤养分的转化趋势与累积程度,因此,可以用酶活性作为表征土壤肥力水平变化的一种生物手段,但需要指出,用酶活性的总体结合土壤其他理化性质,将综合分析结果应用于评价土壤肥力更加准确可靠。

4 结论

通过对吉林省西部苏打盐碱地水田土壤养分、土壤酶活性以及二者之间的相关性进行研究,得出以下结论:

(1)种稻后不同年限的土壤pH均低于未经改良的废弃草原,有机质、碱解氮、速效磷含量均高于对照土壤,速效钾含量在各年限间无规律性变化。

(2)经种稻改良后,过氧化氢酶和过氧化物酶活性总体呈下降趋势,脲酶和蔗糖酶总体呈上升趋势。

(3)碱解氮与速效磷成极显著正相关,其他速效养分间无显著相关性;有机质与碱解氮、速效磷分别呈极显著正相关和显著正相关,土壤pH除与速效钾无显著相关性外,与碱解氮、速效磷和有机质都呈极显著负相关。

(4)过氧化氢酶与过氧化物酶呈显著正相关;与脲酶、蔗糖酶分别呈显著负相关和极显著负相关;过氧化物酶仅与蔗糖酶呈显著负相关,与其他酶类未发现显著相关性;脲酶与蔗糖酶之间呈极显著正相关。

(5)过氧化氢酶与碱解氮呈显著负相关;脲酶

与碱解氮呈极显著正相关,与速效磷呈显著正相关;蔗糖酶与碱解氮、速效磷均呈极显著正相关;有机质与过氧化氢酶、过氧化物酶呈极显著和显著负相关,而与脲酶、蔗糖酶分别呈显著正相关和极显著正相关;土壤pH与过氧化物酶呈极显著正相关,与蔗糖酶呈极显著负相关。

参考文献:

- [1] 王春裕. 中国东北盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 20-27, 333-337.
- [2] 雒鹏飞, 高 勇, 宋凤斌, 等. 吉林省西部盐碱土资源开发利用中的若干问题[J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26(6): 659-663.
- [3] 李取生, 李秀军, 李晓军, 等. 松嫩平原苏打盐碱地治理与利用[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 15-20.
- [4] 陈恩凤, 王汝庸, 胡思敏. 吉林省前郭旗灌区苏打盐渍土的改良[J]. 土壤学报, 1962, 10(2): 201-215.
- [5] 赵兰坡, 尚庆昌, 李春林. 松辽平原苏打盐碱土改良利用研究现状及问题[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22(专辑): 79-83, 85.
- [6] 赵国臣, 齐春艳, 侯立刚, 等. 吉林省苏打盐碱地水稻生产历史进程与展望[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(6): 673-680.
- [7] Yao X, Min H, Lv Z, et al. Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration [J]. European Journal of Soil Biology, 2006, 42(2): 120-126.
- [8] 张志丹, 赵兰坡. 土壤酶在土壤有机培肥研究中的意义[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 362-368.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983: 30-34.
- [10] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1983: 106-107.
- [11] 杨兰芳, 曾 巧, 李海波, 等. 紫外分光光度法测定土壤过氧化氢酶活性[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 207-210.
- [12] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 277-279.
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274-276.
- [14] 赵兰坡, 冯 君, 王 宇, 等. 松嫩平原盐碱地种稻开发的理论与技术问题[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(3): 237-241.
- [15] Bouranis D L, Theodopoulos A G, Drossopoulos J B. Designing Synthetic Polymers as soil Conditioner Common[J]. Soil Sci, 1995(9): 1455-1480.
- [16] 赵兰坡, 王 宇, 冯 君, 等. 松嫩平原盐碱地改良利用一理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 111-112.
- [17] 黄继川, 彭智平, 于俊红, 等. 施用玉米秸秆堆肥对盆栽芥菜土壤酶活性和微生物的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 348-353.
- [18] 岳中辉, 王博文, 王洪峰, 等. 松嫩草原盐碱土过氧化物酶活性及其与肥力因素的关系[J]. 草地学报, 2009, 17(3): 294-297.
- [19] 陈恩凤, 关连珠, 汪景宽, 等. 土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J]. 土壤学报, 2001, 38(1): 49-53.
- [20] 杜静静, 张永清, 马大龙, 等. 不同种植年限苹果园土壤理化性质与酶活性研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(34): 90-95.
- [21] 刘元弟, 朱新萍, 贾宏涛, 等. 槟榔种植年限对土壤肥力的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2013, 36(5): 421-424.
- [22] 杜俊龙, 孙 霞, 黄长福, 等. 种植年限对干旱区枣园土壤酶活性的影响[J]. 天津农业科学, 2015, 21(2): 89-92.
- [23] 李志刚, 刘爱琴, 祖 超, 等. 不同种植年限胡椒园土壤理化性质及微生物生态特征研究初报[J]. 热带作物学报, 2012, 33(7): 1245-1249.
- [24] 徐晓腾, 赵兰坡. 种稻法对苏打盐碱土改良贡献的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(12): 130-133.
- [25] 杨 阳, 吴左娜, 张宏坤, 等. 不同培肥方式对盐碱土脲酶和过氧化氢酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(15): 84-88.
- [26] Gianfreda L, Bollag J M. Isolated enzymes for the transformation and detoxification of organic pollutants [A]. Enzymes in the Environment Activity, Ecology and Applications[C]. New York: Marcel Dekker, Inc, 2002: 495-527.
- [27] 雷 明, 李昌晓, 陈 伟, 等. 三峡水库岸坡系统不同用地类型对土壤酶活性和土壤化学性质的影响[J]. 林业科学, 2012, 48(11): 15-22.
- [28] 冯大兰, 黄小辉, 张丽楠, 等. 三峡库区汝溪河流域柏木林土壤氮素及酶活性特征[J]. 林业科学, 2013, 49(12): 25-29.
- [29] 葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等. 三峡库区不同林龄马尾松土壤养分与酶活性的关系[J]. 应用生态学报, 2012, 12(2): 445-451.

(责任编辑: 范杰英)