

宁夏引黄灌区不同盐化程度土壤酶活性 及微生物多样性研究

李凤霞¹, 王学琴^{2,3}, 郭永忠^{2,4}, 许 兴²

(1. 宁夏农林科学院 农业资源与环境研究所, 银川 750002; 2. 宁夏大学, 银川 750021;

3. 宁夏科技发展策略与信息研究所, 银川 750001; 4. 宁夏农林科学院 荒漠所, 银川 750002)

摘 要:为了掌握宁夏引黄灌区盐碱地盐化土壤退化程度对微生物多样性及土壤酶活性的影响及其变化规律,采用 Biolog 微生物鉴定系统、比色法及滴定法对宁夏引黄灌区不同程度盐化土壤微生物多样性和土壤酶活性进行了研究。结果表明:随着盐化程度的增加,土壤微生物多样性指数、土壤转化酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶活性逐渐降低;土壤各种酶活性的季节变化不完全相同,而且在土壤不同层次上波动很大。转化酶和碱性磷酸酶活性在 0—20 cm 土层表现为 9 月>8 月>6 月,过氧化氢酶和碱性磷酸酶活性在 20—40 cm 土层表现为 6 月>8 月>9 月。不同盐化程度与土壤转化酶、碱性磷酸酶活性之间达到显著正相关关系($p<0.05$),土壤微生物多样性指数与土壤转化酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性之间达到极显著正相关关系($p<0.01$),与土壤不同盐化程度、土壤脲酶活性之间达到显著正相关关系($p<0.05$)。说明土壤酶活性与土壤盐渍化关系密切,土壤转化酶、碱性磷酸酶及微生物多样性可作为盐碱地土壤退化程度及土壤肥力评价的生物指标。

关键词:盐化土壤; 微生物多样性; 土壤酶; 引黄灌区; 宁夏

中图分类号:S156.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)01-0061-05

Study of Microbial Diversity and the Soil Enzyme Activity in Different Salinized Soil in Ningxia Yellow River Irrigation Region

LI Feng-xia¹, WANG Xue-qin^{2,3}, GUO Yong-zhong^{2,4}, XU Xing²

(1. Institute of Agriculture Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

3. Institute of Technology Development Strategy and Information of Ningxia, Yinchuan 750001, China;

4. Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002, China)

Abstract: In order to know the effects of different degradation degree of salinized soil on microbial diversity and soil enzyme activity in Ningxia irrigation area of Yellow River, soil microbial diversity and soil enzyme activity were studied in different degree of salinized using biolog microbial identification system, colorimetry and titration in Ningxia Yellow River Irrigation. The results showed that soil microbial community diversity decreased with the saline degree in ecreased. Soil catalase, invertase, alkaline phosphatase and urease activity tend to decrease with the increase of salt degree. The seasonal variation of soil enzyme activity was not exactly the same, and fluctuated in different layers of soil. Converting enzyme and alkaline phosphatase activities in 0—20 cm soil performed in the order of September>August>June, catalase and alkaline phosphatase activities in 20—40 cm soil presented as the sequence of June>August>September. There was a significant positive correlation ($p<0.05$) between different salinization degree soil and converting enzyme, alkaline phosphatase activity, there was a very significant positive correlation ($p<0.01$) between soil microbial diversity and converting enzyme, alkaline phosphatase, catalase activity, and was a significant positive correlation ($p<0.05$) between soil microbial diversity and different soil salinization degree, soil urease activity. These results suggested that the relationships between soil enzyme activity and soil salinization degree were closely

收稿日期:2012-06-28

修回日期:2012-09-06

资助项目:国家自然科学基金项目(40961020);国家科技支撑计划项目(2007BA08B05)

作者简介:李凤霞(1977—),女,宁夏固原人,博士,副研究员,主要从事土壤微生物方面的研究。E-mail: lifengxia1211@sina.com

related, and the soil converting enzyme, alkaline phosphatase and microbial diversity can be used as biological indicators for the evaluation of saline-alkali soil degradation degree and soil fertility.

Key words: salinization soil; microbial diversity; soil enzyme; Yello river irrigation area; Ningxia

随着我国人口的不断增长,耕地资源日益紧缺,盐渍土地的开垦利用受到高度重视。调查资料表明,宁夏银北盐渍化面积中重度、中度和轻度盐渍化面积分别占 11.1%,12.2%和 25.2%,盐渍化面积占总面积的 50%以上^[1]。土壤酶在土壤碳、氮、磷、硫等元素的循环中起着重要的生物学催化剂的作用,其活性的强弱直接与土壤肥力密切相关。土壤酶能够反映出土壤质量在时间序列或各种不同条件下的变化,其测定值能合理地估测某一时刻土壤质量的状况^[2]。人们常把土壤微生物多样性、土壤酶活性作为评价土壤肥力的重要指标,但在评价土壤的肥力水平时,不能只着眼于单一酶活性的变化,应考虑土壤酶的总体^[3-4]。对松嫩平原和天津盐碱地土壤酶活性有研究报道^[5-6],近年来宁夏引黄灌区在盐碱地改良方面已开展了大量的研究工作,但关于不同程度盐化土壤酶活性及土壤多样性特征研究很少^[7]。

本文旨在探讨不同盐化程度土壤微生态变化机理,为宁夏引黄灌区盐化土壤监测、调控和改良利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2010 年在宁夏石嘴山市惠农区礼和乡进行,试验区域位于宁夏回族自治区最北端,东经 105°71'13",北纬 39°09'16",属于中温带半干旱、干旱区,年平均气温 8.4~9.9℃,降水少,蒸发量大,年平均降水量 167.5~188.8 mm,年蒸发量 1 708.7~2 512.6 mm,昼夜温差大^[8-9]。地下水位高,土壤盐分含量高、土壤瘠薄,是宁夏盐渍化分布面积最大的区域。全年平均相对湿度为 56%,无霜期 192 d^[10]。环境因素以及人类活动的强烈影响,造成了生态环境恶化。土壤盐渍化是当地农业生产最大的一项限制因子。

1.2 研究方法

1.2.1 样区选择及取样 根据宁夏银北盐碱地区划分布图和盐渍土分级标准^[11],采用 GPS 进行野外调查定点取样并进行室内测试分析,在惠农区礼和乡盐渍化土壤区域按土壤全盐含量选择① 轻度盐渍化土壤(2.0~5.0 g/kg)、② 中度盐渍化土壤(5.0~7.0 g/kg)、③ 强度盐渍化土壤(7.0~10 g/kg)共 3 个不同盐化程度土壤设立采样点进行取样。对每种程度盐渍化土壤样点设立 5 个重复,取样层次分为土壤剖

面 0—20 cm 和 20—40 cm 两个深度进行分析测定。土壤酶活性分别在 2010 年 6 月、8 月和 9 月取样,土壤微生物多样性仅在 8 月取样,将所取得的 5 个重复的土样去除根系和石块,充分混匀后分为两份,一份装入无菌自封袋带回放入 4℃ 冰箱保存用于测定土壤微生物多样性,一份带回实验室风干后磨碎过 1 mm 筛用于测定土壤酶活性及土壤理化性质。

1.2.2 测定项目及方法 土壤微生物多样性测定采用有 31 种碳源的 Biolog ECO-plate 方法,每个生态板上微生物群落活性用平均颜色变化率(Average Well Color Development,AWCD)表达^[12]。土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法测定(1 h 后每百克土的 $\text{NH}_3\text{—N}$ 毫克数表示),反应底物为尿素;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定(以单位土重的 0.1 mol/L 高锰酸钾对照与测定差值毫升数表示);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毫升数表示);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毫克数表示)。有研究表明,这 4 个酶活性与土壤质量关系较密切^[13],其测定方法均见文献^[14]。土壤其它化学性质测定采用常规分析法^[15]。

1.2.3 数据统计 实验数据采用 Excel 和 DPS V 9.5 软件进行统计和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同盐化程度土壤微生物群落多样性指数分析

随着现代微生物生态研究方法的出现,越来越多的学者应用单一碳源微生物群落(Biolog)技术来研究不同农业措施对土壤微生物群落多样性的影响^[16]。土壤微生物在 Biolog Eco 微平板反应中,其新陈代谢过程中产生的脱氢酶能降解四氮叠茂,使四氮叠茂变成紫色,根据每孔颜色变化程度可以反映土壤微生物对 31 种不同单一碳源的代谢能力高低。

于培养第 7 天测定不同盐化土壤微生物对不同碳源利用的反应孔数、微生物群落多样性指数和均匀度指数(表 1)。由表 1 可知,0—20 cm 强度盐化土壤的反应孔数、Simpson(J)指数、Shannon(H)多样性指数、Brillouin 指数、McIntosh 指数和均匀度指数都较中度和轻度盐化土壤低,分别为 25,0.972,4.177,3.243,0.922,0.882;其中均匀度指数表现为轻度>中度>强度,McIntosh 指数和 Shannon(H)多样性

指数表现为中度>轻度>强度,但 Simpson(*J*)指数 McIntosh 指数和 Shannon(*H*)多样性指数在轻度盐化土壤和中度盐化土壤之间差异不显著。20—40 cm 各程度盐化土壤之间反应孔数、多样性指数及均匀度指标都达到显著差异水平($P<0.01$)。其中反映孔

数、Shannon(*H*)多样性指数、Brillouin 指数均表现为轻度>中度>强度,Simpson(*J*)指数和 McIntosh 指数表现为中度盐化土壤最低。说明随着盐化程度的增加,土壤微生物多样性指数降低,微生物活性也逐渐降低。

表 1 不同程度盐化土壤微生物平均颜色变化率(AWCD)多样性指数

土层深度/cm	程度	反应孔数	Simpson(<i>J</i>)数	Shannon(<i>H</i>)多样性指数	Brillouin 指数	McIntosh 指数	均匀度指数
0—20	轻度	30a	0.9889a	4.492a	3.391b	0.969b	0.915ba
	中度	27b	0.981ab	4.539a	3.542a	0.942b	0.909b
	强度	25c	0.9719c	4.177b	3.243bc	0.922c	0.882c
	<i>F</i>	117.62**	15.91**	186.06**	160.03**	120.24**	59.23**
20—40	轻度	27a	1.040a	4.492a	3.343a	0.970b	0.916a
	中度	26b	0.969c	4.053b	3.142b	0.917c	0.873b
	强度	19b	0.989b	2.696c	1.215c	1.061a	0.647c
	<i>F</i>	109.37**	112.13**	58.84**	142.05**	164.82**	267.35**

注:*F* 值后的星号表示该指标在不同程度盐渍化土壤的显著性差异;* , ** 分别表示在 $P<0.05$, $P<0.01$ 水平上差异显著。同一列中的平均值后不同字母表示该指标在不同处理下有显著差异($P<0.05$)。下表同。

2.2 不同盐化程度土壤酶活性研究

土壤酶参与土壤的许多重要生物化学过程和物质循环,可以客观地反映土壤肥力状况。土壤微生物与土壤酶密切相关,土壤酶活性常被作为微生物活性的指示物^[17-18]。

2.2.1 过氧化氢酶 过氧化氢酶能够促进过氧化氢对各种化合物的氧化,其活性与土壤微生物活动相关,在一定程度上反映了土壤微生物学过程的强

度。研究结果表明(表 2),随着盐化程度的增加 0—20 cm 和 20—40 cm 土壤过氧化氢酶活性基本呈现降低的趋势。在季节变化方面各个土层间差异显著,0—20 cm 盐化土壤表现为 8 月>6 月>9 月。20—40 cm 盐化土壤体现为 6 月>8 月>9 月。不同程度盐化土壤之间过氧化氢酶活性的差异性显著($p<0.05$),盐化土壤过氧化氢酶活性在不同土层深度间差异不显著。

表 2 银川平原不同程度盐化土壤酶活性分析结果

酶活性	程度	0—20 cm			20—40 cm		
		6 月	8 月	9 月	6 月	8 月	9 月
过氧化氢酶	轻度	11.69a	12.07a	11.24a	11.84a	10.99a	10.53a
	中度	10.91b	11.21b	9.45b	11.17b	10.60b	7.87b
	强度	7.91c	10.05c	6.99c	9.08c	9.05c	6.46c
	<i>F</i> 值	259.15**	30.34*	120.75**	392.33**	173.65**	157.9**
转化酶	轻度	13.4a	16.1a	28.5a	15.9a	16.9a	25.4a
	中度	12.5b	13.7b	25.2b	14.8a	16.1ab	22.9a
	强度	10.2c	12.1c	21.4c	9.4b	13.9b	19.8b
	<i>F</i> 值	57.64*	34.58**	20.35**	34.01**	5.39*	14.8**
碱性磷酸酶	轻度	13.96a	21.39a	24.20a	20.75a	13.85a	13.01a
	中度	12.07b	16.48b	22.71b	16.24b	12.25b	10.90b
	强度	11.00c	15.32c	22.36b	14.65c	11.70c	10.38b
	<i>F</i> 值	282.37**	78.17**	16.63*	121.79**	22.28**	13.05**
脲 酶	轻度	1.271a	1.286a	1.659a	1.816a	1.483a	1.356a
	中度	1.038ab	0.547b	1.347b	1.503b	1.442a	1.306a
	强度	0.762c	0.224c	1.322b	1.060c	0.624b	1.277a
	<i>F</i> 值	6.05*	275.62**	48.69*	258.18**	346.29**	ns

2.2.2 转化酶 土壤的转化酶活性与土壤中的腐殖质、水溶性有机质黏粒含量及微生物的数量及其活动成正相关。常用土壤的转化酶来表征土壤的熟化程度和肥力水平。研究结果表明(表 2),不同程度盐化

土壤随着盐化程度的加剧土壤转化酶呈现明显降低的趋势。同时,土壤转化酶活性随着取样时间的推移而逐渐增加,即 9 月>8 月>6 月。其中,6 月和 8 月的转化酶之间差异不大,而 9 月的转化酶显著高于两

者。0—20 cm 不同程度盐化土壤之间差异达到显著水平($p<0.05$),但 20—40 cm 轻度和中度盐化土壤之间的差异未达到显著水平。

2.2.3 碱性磷酸酶 磷酸酶活性能够促进有机磷化合物的水解,土壤微生物对于土壤含磷有机物质的矿化起着主导作用。不同程度盐渍化土壤碱性磷酸酶活性见表 2。由表 2 可见,随着土壤盐化程度的加剧,土壤碱性磷酸酶活性表现显著降低的趋势。除中度和强度盐化土壤碱性磷酸酶活性在 9 月的差异没有达到显著水平外,其余 0—20 cm 和 20—40 cm 盐化土壤的碱性磷酸酶活性在不同盐化程度土壤之间的差异显著($p<0.01$),0—20 cm 轻度、中度和强度盐化土壤其碱性磷酸酶活性季节变化表现为 9 月>8 月>6 月。20—40 cm 不同盐化土壤随着取样时间的推移,碱性磷酸酶活性表现逐渐降低的趋势,即 6 月>8 月>9 月。

2.2.4 脲酶 土壤脲酶是一种酰胺酶,能够促进有机质分子中酰胺键的水解。0—20 cm 和 20—40 cm 不同程度盐渍化土壤脲酶活性见表 2。表 2 说明,不同

盐化程度土壤脲酶活性随着盐化程度的加重表现出显著降低的趋势,0—20 cm 土壤脲酶活性降低的幅度高于 20—40 cm。在季节变化上,0—20 cm 和 20—40 cm 盐化土壤脲酶季节变化波动很大,没有明显的规律,20—40 cm 土层深度轻度和中度盐渍化土壤脲酶活性为 6 月>8 月>9 月,而强度盐化土壤脲酶活性为 9 月>6 月>8 月。

2.3 土壤不同盐化程度与土壤酶活性之间的关系

对土壤不同盐化程度与土壤酶活性之间的相关关系进行分析(表 3),结果表明,土壤不同盐化程度与土壤不同酶活性之间的关系不同。不同盐化程度与土壤转化酶、碱性磷酸酶活性达之间达到显著正相关关系,与过氧化氢酶活性之间成正相关关系,但是没有达到显著水平,与土壤脲酶活性之间关系不明显。而土壤转化酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶活性之间互成显著或极显著正相关关系。土壤微生物多样性指数与土壤土壤转化酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性之间达到极显著正相关关系,与土壤不同盐化程度、土壤脲酶活性之间达到显著正相关关系。

表 3 银川平原不同程度盐化土壤与土壤酶活性关系

项目	盐化程度	过氧化氢酶	转化酶	碱性磷酸酶	脲酶	多样性指数
盐化程度	1.0000					
过氧化氢酶	0.5820	1.0000				
转化酶	0.6490*	0.9958**	1.0000			
碱性磷酸酶	0.6700*	0.9866**	0.9962**	1.0000		
脲 酶	0.0350	0.7877*	0.7503*	0.7528*	1.0000	
多样性指数	0.7592*	0.9709**	0.9879**	0.9881**	0.6460*	1.0000

注:*,**分别表示在 $P<0.05$, $P<0.01$ 水平上差异性显著。

3 结 论

本研究表明,随着盐化程度的降低,土壤微生物群落多样性指数降低,强度盐化土壤的反应孔数、各多样性指数和均匀度指数都较中度和轻度盐化土壤低,但是 Simpson(J)指数、McIntosh 指数和 Shannon (H)多样性指数在轻度和中度盐化土壤之间差异不显著。另外,土壤过氧化氢酶、转化酶、碱性磷酸酶和脲酶活性均随着盐化程度的增加基本呈现降低的趋势。过氧化氢酶活性季节变化在不同土层深度不一致,0—20 cm 表现为 8 月>6 月>9 月,20—40 cm 表现为 6 月>8 月>9 月。土壤转化酶活性随着取样时间的推移而逐渐增加,即 9 月>8 月>6 月,不同盐化程度土壤转化酶活性在 0—20 cm 土层内的差异达到显著水平($p<0.05$)。除中度和强度盐化土壤碱性磷酸酶活性在 9 月差异没有达到显著水平外,其余土壤的碱性磷酸酶活性在不同盐化程度土壤之间的差异性显著($p<0.01$),不同盐化程度土壤碱性磷酸酶活

性季节变化在 0—20 cm 土层表现为 9 月>8 月>6 月,在 20—40 cm 土层表现为 6 月>8 月>9 月。且 0—20 cm 土壤脲酶活性随着盐化程度降低的斜率显著高于 20—40 cm 土壤,0—20 cm 和 20—40 cm 盐化土壤季节变化波动很大且没有明显的规律。土壤不同盐化程度与土壤转化酶、碱性磷酸酶活性达之间达到显著正相关关系,而土壤转化酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶活性之间互成显著或极显著正相关关系。土壤微生物多样性指数与土壤转化酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性之间达到极显著正相关关系,与土壤不同盐化程度、土壤脲酶活性之间达到显著正相关关系。说明土壤酶活性,尤其是土壤转化酶、碱性磷酸酶及微生物多样性指数可以作为盐碱地退化程度评价的生物指标。

4 讨 论

土壤微生物积极参与陆地生态系统中的物质循环及能量转化,与土壤理化性质和环境条件密切相

关,成为表征土壤肥力的重要指标之一^[18]。土壤中微生物多样性及酶活性的变化可以从一个方面反映出土壤性状的改变,因为盐分影响了土壤的理化性状以及生长在其间的植物根系、枝叶,反过来对土壤产生一定的影响,包括土壤酶、微生物、腐殖质含量、肥力状况等。土壤是各种植物、土壤动物和微生物生长繁衍的基地,土壤生态条件直接影响到植物、土壤动物和微生物等的生物多样性。同时,土壤的形成和演替直接受到植物、土壤动物和微生物的控制,直接或间接地影响到土壤物理、化学和生物学特征^[19]。研究表明,土壤转化酶和过氧化氢酶活性在低盐胁迫强度时略高于对照组,但随盐胁迫强度的加重,转化酶和过氧化氢酶活性相应降低,盐含量越高,酶活性越低;土壤盐胁迫强度与土壤脲酶、蛋白酶、转化酶和过氧化氢酶活性均呈高度线性负相关^[20]。土壤酶活性不仅与土壤盐胁迫有关,还与土壤根系分泌物有关。另外,有研究表明,土壤酶活性与其它因素如土壤质量、地形(坡位)等密切相关^[21-22]。低浓度根系分泌物使土壤酶活性增强,对盐胁迫有缓解作用^[23];高浓度根系分泌物抑制土壤酶活性,抑制植物幼苗生长,加重了盐分胁迫。相同处理条件下耐盐品种土壤酶活性较盐敏感品种受抑制程度轻,受盐害程度低,耐盐品种可通过改善土壤微环境来加强其自身的耐盐性。土壤微生物与土壤酶活性对盐胁迫反应极为敏感,并与棉花产量密切相关,是盐胁迫下棉花显著减产的一个重要原因,可作为土壤盐胁迫过程中的重要指标^[5]。土壤转化酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶活性之间关系显著,土壤微生物多样性指数与土壤转化酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性之间达到极显著正相关关系,与土壤不同盐化程度、土壤脲酶活性之间达到显著正相关关系。说明盐碱地土壤转化酶、碱性磷酸酶与盐渍化程度密切相关,盐渍化程度的强弱直接抑制着土壤有机磷化合物的水解或土壤微生物对于土壤含磷有机物质的矿化作用和土壤有机碳、累积、分解和转化过程。而且 4 种酶之间互相影响,互相制约,共同推动土壤中物质转化过程。土壤酶活性越高,微生物作用越活跃,土壤微生物多样性指数就越高,加速土壤有机物质的转化。

参考文献:

- [1] 余美,芮孝芳.宁夏盐碱地改良利用研究进展[J].水利水电科技进展,2006,26(6):87-94.
- [2] 曹慧,孙辉,杨浩,孙波,等.土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J].应用与环境生物学报,2003,9(1):105-109.
- [3] 岳中辉,王博文,于东.松嫩盐碱草地土壤酶活性与肥力因子的典型相关分析[J].中国草地学报,2009,31(6):88-93.
- [4] 周玲玲,孟亚利,王友华.盐胁迫对棉田土壤微生物数量与酶活性的影响[J].水土保持学报,2010,24(2):241-246.
- [5] 岳中辉,王博文,王洪峰,等.松嫩平原西部退化盐碱草地土壤酶活性的季节动态[J].水土保持学报,2008,22(6):163-166.
- [6] 靳素英,崔明学,蔺继尚.天津东郊盐碱土微生物分布及土壤酶活性[J].应用生态学报,1996,7(增刊):139-141.
- [7] 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.
- [8] 张俊华,贾科利,孙兆军.宁夏银北地区盐化土壤改良成效研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):232-235.
- [9] 樊丽琴,杨建国.盐碱地改良措施对盐荒地土壤盐分及油菜产量的影响[J].西北农业学报,2010,19(9):154-158.
- [10] 黄玉霞,李新平,毛文娟,等.宁夏平罗县几种典型土壤修正系数的确定[J].干旱地区农业研究,2010,28(5):124-128.
- [11] 戈敢.盐碱地改良[M].北京:水利电力出版社,1987.
- [12] 郑华,欧阳志云,方治国,等.BIOLOG 在土壤微生物群落功能多样性研究中的应用[J].土壤学报,2004,41(3):456-461.
- [13] 岳中辉,王博文,庞健,等.松嫩盐碱草地主要植物群落土壤酶活性研究[J].水土保持学报,2009,23(6):158-162.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 胡可,王利宾.BiOLoG 微平板技术在土壤微生态研究中的应用[J].土壤通报,2007,38(4):819-821.
- [17] 李娟.长期不同施肥制度土壤微生物学特性及其季节变化[D].北京:中国农业科学院,2008.
- [18] 李东坡,武志杰,陈利军,等.有机农业施肥方式对土壤微生物活性的影响研究[J].中国生态农业学报,2005,13(2):99-101.
- [19] 周德平,吴淑杭,褚长彬.盐胁迫对蔬菜地土壤微生物及土壤酶活的毒害效应[J].农业环境科学学报,2011,30(8):1602-1607.
- [20] 张立芙,吴凤芝,周新刚.盐胁迫下黄瓜根系分泌物对土壤养分及土壤酶活性的影响[J].中国蔬菜,2009(14):6-11.
- [21] 孙启祥,张建锋,Franz Makeschin.不同土地利用方式土壤化学性状与酶学指标分析[J].水土保持学报,2006,20(4):98-102.
- [22] 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.
- [23] 成毅,安韶山,马云飞,等.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.