

宁夏环香山地区压砂地土壤微生物 结构及功能多样性研究

王占军¹, 蒋齐¹, 何建龙¹, 马琨²

(1. 宁夏农林科学院 荒漠化治理研究所, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 对压砂地不同利用年限下的土壤微生物群落结构及功能多样性进行了分析。研究表明, 压砂地不同利用年限的土壤微生物群落总菌数整体上明显低于农田对照, 且随着压砂利用年限的增加土壤微生物总菌数呈逐年下降的趋势。压砂利用 1~3 a, 5~10 a, 10~15 a 之间均存在显著差异 ($p < 0.05$)。压砂第 1 a 对土壤微生物的功能影响很大, 能明显提高微生物对 C 源的利用能力。压砂 1 a 后, 随着压砂利用年限的增加土壤微生物的功能明显下降, 且不同压砂年限间的微生物功能差异不显著, 说明农田压砂初期由于土地利用方式的改变, 提高了土壤蓄水保墒及增温效果, 使得土壤微生物物功能和利用强度增加, 随着压砂地利用年限的增加作物对土壤养分消耗增大, 而土壤中养分得不到补充, 使得压砂地土壤微生物环境逐步恶化。

关键词: 宁夏环香山地区; 土壤微生物区系; 微生物功能多样性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0290-05

中图分类号: Q938.1, S154.3

Structure and Functional Diversity of Soil Microbes in Gravel-mulched Farmlands Around Xiangshan Region of Ningxia Hui Autonomous Region

WANG Zhan-jun¹, JIANG Qi¹, HE Jian-long¹, MA Kun²

(1. Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China; 2. Agriculture College of Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: The structure and functional diversity of soil microbial community in gravel-mulched farmlands were analyzed under the different years. The results indicated that the total number of microbial community in gravel-mulched farmlands under the different years was significantly lower than that in control farmland, and the total number of microbial community was gradually decreased with the increase of mulched years, and there were significant difference among 1~3 a, 5~10 a and 10~15 a gravel-mulched farmland ($p < 0.05$). The mulched year(1 a) had a great influence on the function of soil microbes, which can obviously improve the utilization ability of microbes for carbon source. The function of soil microbes was decreased significantly with the increase of mulched years after 1 a, and the microbial function were not significant among different mulched years. These suggested that the effects of soil moisture conservation and temperature were obviously improved due to the land use changed in the early stage of gravel-mulch farmlands, so the functions and utilization abilities of soil microbes were higher. The consumption of crop on soil nutrients was larger with the increase of mulched years and couldn't get a supplementary in the soil nutrients, which made the soil microbial environments of gravel-mulched farmlands gradually deteriorated.

Keywords: area around Xiangshan region of Ningxia Hui Autonomous Region; soil microflora; microbial functional diversity

砂田是在中国西北干旱、半干旱区特定环境条件下产生的一种具有特殊意义的种植方式,也是世界上

独特的一种以砂石覆盖为核心,利用局部地形进行雨水积蓄和农业开发的土地利用方式^[1-3]。砂田在宁夏

收稿日期:2012-12-27

修回日期:2013-03-19

资助项目:国家“十一五”科技支撑计划项目“压砂地可持续发展机理研究及生态系统综合评价”(2007BAD54B05)

作者简介:王占军(1978—),男(汉族),宁夏自治区平罗县人,硕士,助理研究员,主要从事退化生态系统恢复方面的研究。E-mail:nxwzhj@163.com。

通信作者:蒋齐(1965—),男(汉族),宁夏自治区银川市人,研究员,主要从事资源与环境方面的研究。E-mail:ycjqnx@163.com。

地区得到了快速发展,20世纪90年代 1.3×10^3 hm^2 ,2004—2007年这4 a内发展了 6.7×10^4 hm^2 ,至目前已经发展到 7.53×10^4 hm^2 ,压砂地种瓜农户近万户,涉及环香山地区干旱带10万多农民,压砂地由分散、局部、小面积转变为集中、连片、大面积的模式。在当前的大规模利用中会否引发潜在的生态危机、土地退化,尤其是砂田随着种植年限的增加土壤环境质量如何变化等问题不仅成为生态学家关注的热点,而且成为政府关注的重点。土壤微生物对土壤肥力的形成,土壤生态系统的物质循环等具有重要的意义^[4]。土壤微生物作为土壤环境质量演变最敏感的生态因子,其种类、数量、分布对外界干扰敏感,可很好地预测土壤环境质量变化,被认为是最有潜力的敏感性生物指标,可预测与评价土壤环境质量^[5-8]。因此,如果能进一步探明压砂地不同利用年限与土壤微生物群落结构及多样性的影响,就可进一步阐明压砂地退化与土壤微生物之间的响应关系。为此,本研究对压砂地不同利用年限下的土壤微生物群落结构、微生物功能多样性以及微生物对31种碳源的利用差异进行研究,研究成果对揭示压砂地土地退化的机制具有重要的理论和实践意义。

1 研究区概况

试验区位于宁夏回族自治区中卫市香山乡,该区域属典型的北温带大陆性季风气候,光照充足,有效积温高,昼夜温差大,年均日照时数2 800~3 000 h,年平均气温6.8℃,大于或等于10℃的有效积温2 500~3 200℃,无霜期140~170 d,昼夜温差在12~16℃。多年平均降水量247.4 mm,年均蒸发量在2 100~2 400 mm,约是降水量的7~8倍。由于干旱少雨、多风,加之蒸发强烈,有效水分资源极其缺乏,植物生长条件严峻。该区域自然植被稀疏,仅有部分旱生灌木、半灌木、耐寒的蒿属和禾本科草类生长。土壤以灰钙土为主。该地区地下水埋藏深,对土壤的形成影响作用较小,土壤形成主要受生物气候条件的影响。土壤有机质来源少,有机质层薄,一般只有约20 cm,土壤有机质含量很低。因降雨量很低,土壤的淋洗作用很弱,土壤中易形成钙积层。

2 材料与方法

2.1 供试材料

2010年7—8月,选择具有代表性的样地7个,压砂不同利用年限的时间序列为(1,3,5,10,15,20 a),同时以未压砂的农田作为对照(CK)。每个样地内以S形取5个点,每个点分0—20 cm和20—40

cm两层取土样,同一层5个点混匀作为一个样品,放入低温保温箱,然后迅速带回实验室,土样过2 mm筛后,放入0~4℃冰箱,进行微生物区系及功能多样性的测定分析。

2.2 研究方法

(1)土壤微生物区系测定。采用分离培养基法测定。其中细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基;放线菌采用淀粉盐琼脂培养基;真菌采用马丁氏孟加拉红琼脂培养基。微生物计数采用土壤稀释液平板培养计数法^[7]。

(2)土壤微生物功能多样性的测定(BIOLOG ECO生态板技术)^[9-10]。现取相当于10 g干土重的新鲜土壤,加入90 g无菌水,在180次/min条件下的摇床上振荡15 min,在4℃条件下沉降30 min,然后吸取1 ml土壤悬浊液到99 ml无菌水中,稀释至10⁻³浓度。再从中取0.150 ml该悬浮液,接种到生态板的每一个孔中,最后将接种好的板放至25℃的恒温培养箱中培养,每隔24 h在Biolog读数器上读数,连续读数7 d。Biolog ECO盘中各孔平均吸光值(平均颜色变化率,AWCD)的计算公式为:

$$AWCD = \sum(C - R) / n$$

式中:C——每个有培养基孔的光密度值;R——对照孔的光密度值;n——培养基数据。微生物丰富度指数(S):微生物群落碳源底物的数目

微生物 Shannon 指数:

$$H = - \sum P_i (\ln P_i)$$

微生物均匀度指数:EH = H / ln S

式中:C——每个有培养基孔的光密度值;R——对照孔的光密度值;n——培养基数据; P_i ——第*i*孔的吸光值与微平板上所有孔吸光值总和的比值。

2.3 数据分析方法

采用BIOLOG ECO平板培养96 h的数据进行数据统计,计算Shannon多样性指数、Shannon均匀度指数,应用SPSS 13.0对微生物区系数据进行统计分析,应用Canoco生态分析软件进行土壤微生物功能的主成分分析。

3 结果与分析

3.1 压砂地不同利用年限土壤微生物结构的变化特征

土壤微生物的数量及其活性不仅与土壤结构组成有密切关系,而且也与土壤有机质、无机养分组成和含量密切相关^[11-12]。由表1可看出,对农田压砂土壤而言,在0—20 cm土层,土壤细菌群落数随压砂年限的增加,呈现逐步下降的趋势。20—40 cm土层土壤细菌群落的变化也有类似的变化趋势,且所有压砂利用年限下的土壤细菌群落数均低于0—20 cm土

层土壤。放线菌数量在 0—20 cm 和 20—40 cm 土层均表现出农田 CK 高于其它年限压砂地。真菌数在 0—20 cm 土层,农田压砂初期数量略高于农田 CK,随着压砂年限的增加真菌数量明显下降,且低于农田

CK;20—40 cm 土层则以农田 CK 的真菌数较高,且随着压砂年限的增加呈逐渐下降趋势。微生物与群落总数也表现出农田 CK 数量高于其它年限压砂地,且随着压砂年限的增加呈下降趋势。

表 1 不同利用年限压砂地土壤微生物结构的变化特征

土层深度/ cm	压砂地不同 利用年限/a	总菌数/ (10^6 个· g^{-1})	细菌/ (10^6 个· g^{-1})	真菌/ (10^3 个· g^{-1})	放线菌/ (10^5 个· g^{-1})
0—20	1	2.41±0.19b	2.12±0.18b	3.92±0.76a	2.87±0.23c
	3	2.65±0.38b	1.945±0.38b	4.08±0.52a	6.95±0.06b
	5	1.32±0.06c	1.075±0.29c	3.84±0.58a	2.32±0.25c
	10	0.58±0.092d	0.42±0.98d	1.42±0.14c	1.67±0.06c
	15	0.72±0.056d	0.52±0.18d	2.39±0.15b	2.06±0.64c
	CK	5.54±0.04a	2.9±0.12a	3.56±0.73a	26.4±4.96a
20—40	1	2.29±0.18b	2.06±0.19a	3.56±0.48b	2.30±0.09 bc
	3	1.80±0.22c	1.34±0.18c	1.97±0.14d	4.56±0.59b
	5	0.78±0.10d	0.67±0.01d	2.99±0.64 bc	0.99±0.32c
	10	0.35±0.09e	0.29±0.07e	0.833±0.23e	0.58±0.21c
	15	0.68±0.06 de	0.589±0.07d	2.39±0.10 cd	0.87±0.05c
	CK	3.13±0.53a	1.67±0.12b	4.86±0.50a	14.54±4.89a

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,0—20 cm 和 20—40 cm 土层土壤分别做方差分析。

由方差分析结果可知,0—20 cm 土层土壤总菌数农田 CK 和压砂地差异显著,压砂 1 a 和压砂 3 a 差异不显著,压砂 10 和 15 a 差异不显著,其它压砂年限之间均差异显著。土壤细菌的方差分析结果同总菌数相一致。真菌数表现为农田 CK、压砂 1 a,3 a 及 5 a 之间无显著差异性,其它均存在显著差异性。放线菌表现为农田 CK 和压砂地差异显著,压砂 5 a 和其它压砂年限差异显著,压砂 1,3,10 及 15 a 差异不显著。20—40 cm 土层土壤群落总菌数、细菌、土壤放线菌和真菌的方差分析显示,除压砂 5 和 15 a 之间差异不显著外,CK 及不同压砂年限之间均差异显著。

3.2 压砂地不同利用年限土壤微生物功能变化

随着土壤微生态研究的发展,BIOLOG ECO 微平板技术在土壤微生态的研究上起到了很好的效果^[13]。研究表明,BIOLOG ECO 微平板的变化孔数目和每孔颜色变化的程度与土壤微生物群落结构和功能有密切的相关性。土壤中微生物处于贫营养状态,其生长主要受 C 源的限制,而 BIOLOG ECO 微平板就是通过微生物对单一 C 源的利用来了解其微生物的动态,微生物对 C 源的利用能力则是表征土壤微生物生长情况的主要指标^[14-15]。由图 1—2 可看出,农田压砂不同压砂年限的土壤微生物群落 BIOLOG 代谢剖面发生了变化,且其变化程度与培育时间有关。不同压砂年限下土壤样品微生物群落的平均吸光值(AWCD 值)在 24 h 之前没有差异,培养至 48 h

后,土壤样品微生物群落生理代谢剖面开始出现明显变化,且代谢剖面 AWCD 值随着培养时间的延长,其数值逐渐趋于上升,在 0—20 cm 土层土壤,压砂 1 a 的 AWCD 值最高,说明压砂第 1 a 对土壤微生物的功能影响很大,提高了微生物对 C 源的利用能力。压砂 1 a 后,随着压砂年限的增加土壤微生物的功能明显下降,且不同压砂年限间的微生物功能差异不显著,和 CK 之间也无明显差异,压砂 20 a 补水处理后 AWCD 的值也明显提高,说明压砂后期进行补水处理也是提高土壤微生物功能的途径之一。20—40 cm 土层土壤也基本表现出与 0—20 cm 土层相同的趋势。说明压砂初期(1 a)土壤微生物群落利用 C 源能力较强,补灌可以明显提高压砂中后期砂田(压砂 20 a)土壤微生物群落利用 C 源能力,使得土壤有机质迅速分解。

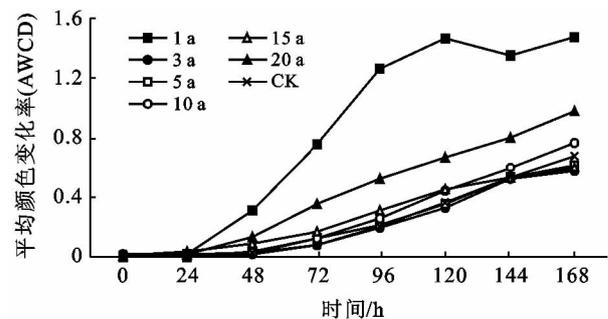


图 1 不同利用年限压砂地 0—20 cm 土壤平均颜色变化率

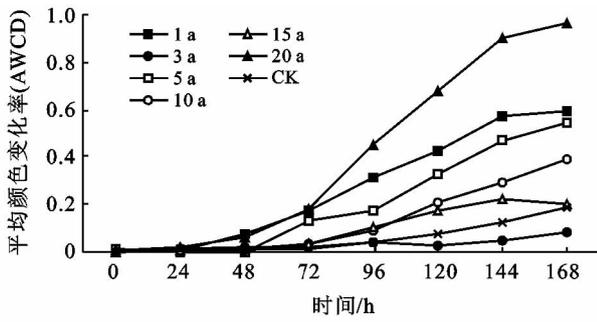


图 2 不同利用年限压砂地 20—40 cm 土壤平均颜色变化率

3.3 压砂地不同利用年限土壤微生物对 C 源利用的主成分分析

利用 BIOLOG 数据进行主成分分析能够更好地显示压砂地及农田 CK 微生物量碳素利用形式和微生物功能多样性的变化。由图 3 可以看出在 0—20 cm 土层土壤微生物主要受碳水化合物、氨基酸类化合物影响较大的,其第一主成份分析因子的贡献率为 79.5%,说明微生物群落的分布(碳源利用能力)主要受碳水化合物、氨基酸类化合物的制约。羧酸类化合物对排序也有明显的影响作用,土壤中的酚类化合物和多聚类化合物分布没有显著相关性。从图 4 可以看出,应用主成分分析在 31 种因子中提取的 2 个主成分因子,分别可以解释所有变量方差的 79.70%和 8.5%。不同利用年限压砂农田 0—20 cm 土层土壤的微生物群落利用 C 源的情况存在显著差异。其中,压砂 1 a 土壤在主成分 PCA₁ 上与其它利用年限土壤均有很好的分离,而其它年限和农田 CK 之间无明显差异。说明压砂第 1 a 能明显增加微生物对 C 源的利用,从而迅速提高微生物群落功能的多样性,尤其是极大提高了土壤中碳水化合物的利用与转化,使得土壤中的有机质分解,加快了土壤碳素的循环。随着压砂年限的增加,微生物功能的多样性迅速下降,基本与未压砂农田无显著的功能差异。这主要是农田压砂初期能显著提高土壤的蓄水保墒、增温效果,从而使得土壤微生物的功能和利用强度增加,随着压砂地种植年限的增加,土壤中种植作物带走的养分得不到有效补充,因此导致土壤微生物功能迅速下降。

3.4 压砂地不同利用年限土壤微生物多样性变化

由表 2 可以看出,农田压砂 0—20 cm 土层土壤微生物多样性指数最高的为压砂 1 a,其次为 CK,随着压砂年限的增长微生物多样性基本呈逐渐下降趋势。均匀度指数以压砂 3 a 和农田 CK 较高,较低的为压砂 1 和 15 a。丰富度指数最高的为压砂 1 和 20 a 的,其它之间差异不显著,这与微生物颜色反应(AWCD)结论相一致。农田压砂 20—40 cm 土层土

壤微生物随着压砂年限的增加多样性指数、均匀度指数均呈先增加后降低的趋势,丰富度指数随着压砂年限的增加呈波动状态。

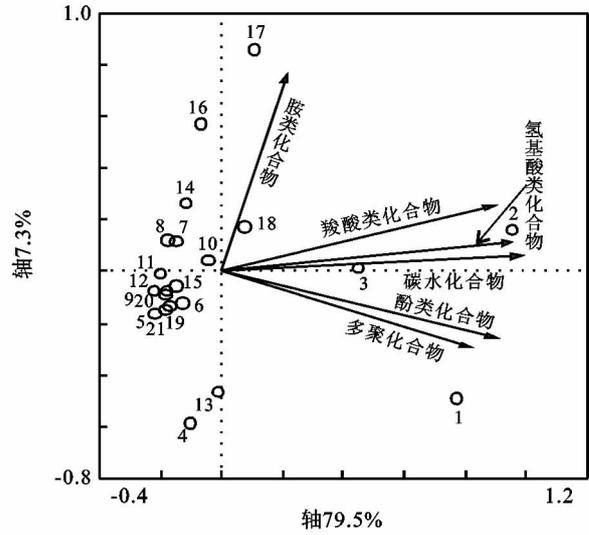


图 3 不同利用年限压砂地土壤碳源利用能力的分析

注:○代表不同压砂年限土壤采样点,序号 1—3 代表压砂利用 1 a 采样点的 3 重复;4—6 代表压砂利用 3 a 采样点的 3 重复;7—9 代表压砂利用 5 a 采样点的 3 重复;10—12 代表压砂利用 10 a 采样点的 3 重复;13—15 代表压砂利用 15 a 采样点的 3 重复;16—18 代表压砂利用 20 a 采样点的 3 重复;19—21 代表未压砂利用农田采样点的 3 重复。

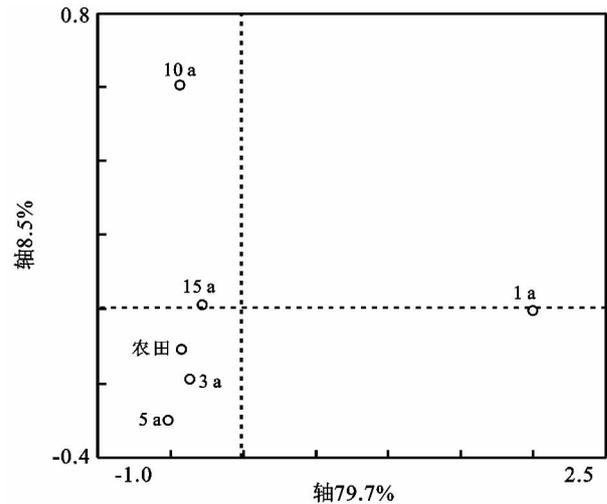


图 4 不同利用年限压砂地土壤对 31 种碳源利用情况主成分分析

4 结论

(1) 农田压砂后明显对细菌类群产生了抑制作用,土壤微生物数量随压砂利用年限的延长而逐步下降,压砂初期,土壤细菌数量比对照下降了 26.89%~32.93%,压砂 15 a 后,土壤细菌数量较对照下降了 82.06%。真菌群落所占比例基本和对照相似,无明显变化。这充分说明农田压砂使得土地利用方式

改变,从而一定程度上抑制了土壤微生物类群的生长,导致土壤微生物区系失调,改变了土壤微生物群

落结构。随着压砂地利用年限的增加土壤微生物区系环境呈逐渐恶化趋势。

表 2 农田压砂不同年限土壤微生物多样性的变化

0—20 cm	多样性指数	均匀度指数	丰富度指数	20—40 cm	多样性指数	均匀度指数	丰富度指数
1 a	3.223	1.019	23.667	1 a	2.750	1.178	10.333
3 a	2.973	1.353	9.000	3 a	2.912	10.130	1.333
5 a	2.924	1.309	9.333	5 a	3.261	1.460	9.333
10 a	2.829	1.247	9.667	10 a	2.949	7.274	0.667
15 a	2.736	1.141	11.000	15 a	2.794	2.016	4.000
20 a	2.915	1.095	14.333	20 a	2.760	1.046	14.000
CK	3.013	1.309	10.000	CK	2.954	4.261	2.000

(2) 压砂初期,大大提高了微生物对 31 种 C 源的利用程度,使得土壤有机碳迅速分解,随着压砂地种植年限的增加,土壤微生物固碳能力下降,导致土壤肥力逐渐衰退。这说明土地利用方式改变后,采用压砂覆盖,可能会导致土壤不同层次微生物结构变化,相应地微生物类群对土壤碳源基质利用类型和利用能力产生差异,土壤微生物的功能多样性发生变化,影响了土壤微生物活性和土壤矿化作用,在表层限制了土壤速效养分的有效供给,这可能是压砂地难以持续利用的主要因素。

(3) 农田压砂改变了土地利用方式,在压砂初期由于土壤能较好地利用天然降雨,达到蓄水保墒效果,从而显著改变了土壤的微生物群落结构与功能,提高了土壤中微生物利用土壤 C 源的能力,这是造成压砂前期土地生产力较高的主要原因之一。随压砂利用时间的延长,砂土混合逐年严重,土壤蓄水保墒效果况逐步变差,压砂地连续多年种植高产作物,消耗了土壤中大量的养分,尤其是对土壤 C 源消耗较大,使得土壤肥力下降较快,造成了土壤微生物结构和功能利用的下降,导致压砂地土壤微生物环境逐步趋于恶化。

[参 考 文 献]

- [1] 陈年来,刘东顺,王晓巍. 甘肃砂田的研究与发展[J]. 中国瓜菜,2008(2):29-31.
- [2] 杜延珍. 砂田在干旱地区的水土保持作用[J]. 中国水土保持,1993(4):35-39.
- [3] 王占军,蒋齐,何建龙,等. 宁夏环香山地区压砂地土壤肥力特征分析[J]. 水土保持学报,2010,24(2):201-204.
- [4] 姚斌,徐建民,尚鹤,等. 阿特拉津除草剂对土壤微生物

生态特征的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(3):46-47.

- [5] 顾爱星,范燕敏,武红旗,等. 天山北坡退化草地土壤环境与微生物数量的关系[J]. 草业学报,2010,19(2):116-123.
- [6] 任天志, Grego S. 持续农业中的土壤生物指标研究[J]. 中国农业科学,2000,33(1):68-75.
- [7] 姚槐应,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [8] 蔡晓布,周进,钱成. 不同退化程度高寒草原土壤微生物活性变化特征研究[J]. 土壤学报,2008,45(6):1110-1118.
- [9] 魏媛,张金池,俞元春,等. 退化喀斯特植被恢复对土壤微生物数量及群落功能多样性的影响[J]. 土壤,2010,42(2):230-235.
- [10] 魏媛,张金池,俞元春,等. 贵州花江退化喀斯特植被恢复过程中土壤微生物群落 AWCD 的变化[J]. 湖北农业科学,2011,50(12):2416-2420.
- [11] 李永涛, Thierry B, Cecile Q, 等. 酸性矿山废水污染的水稻田土壤中重金属的微生物学效应[J]. 生态学报,2004,24(11):2430-2436.
- [12] 韦翔华,李华兴,冯宏,等. 不同肥料对后茬土壤微生物及玉米生长的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(2):138-142.
- [13] 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.
- [14] 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):456-460.
- [15] 姚斌,徐建民,尚鹤,等. 阿特拉津除草剂对土壤微生物生态特征的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(3):46-49.