

# 氯嘧磺隆对土壤微生物数量,酶活性及呼吸强度的影响

荆瑞勇, 王丽艳

(黑龙江八一农垦大学 生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319)

**摘 要:**氯嘧磺隆是一类高效广谱除草剂,研究其对土壤微生物的影响对其合理使用具有重要意义。通过室内瓶培养实验研究了不同浓度氯嘧磺隆对土壤呼吸强度、土壤微生物数量和土壤酶活性的影响。结果表明:氯嘧磺隆施入土壤 2 周后,可明显提高土壤呼吸强度,且浓度越大,提高效果越明显;氯嘧磺隆施入土壤 1 周后,不同浓度氯嘧磺隆处理均可提高土壤细菌和放线菌数量,45 d 时表现出抑制作用,60 d 可恢复到对照水平;氯嘧磺隆对土壤真菌数量表现为抑制作用,而后恢复到对照水平,45 d 时田间施用量可抑制土壤真菌的增殖,但 60 d 可恢复到对照水平。土壤培养前 1 周,氯嘧磺对土壤过氧化氢酶、土壤转化酶、土壤脲酶活性均表现出不同程度的抑制作用,且浓度越大抑制作用越明显。之后三种酶表现出一定的激活作用,培养 60 d 可恢复到对照水平。以上试验结果可为合理施用氯嘧磺隆提供理论依据。

**关键词:**氯嘧磺隆; 土壤微生物; 土壤酶活性

**中图分类号:**S182; S482.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2013)03-0060-05

## Effect of Chlorimuron-ethyl on Soil Microbial Number, Enzyme Activity and Respiration

JING Rui-yong, WANG Li-yang

(College of life and Sci-technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

**Abstract:**Chlorimuron-ethyl is a kind of herbicide with high efficiency and broad spectrum, It is of great significance for reasonable use that the research on effect of chlorimuron-ethyl on soil microorganism. By bottle experinment indoor, effect of chlorimuron-ethyl concentration on soil respiration, soil microbe and soil enzyme activity was investigated. The results showed that soil respiration was stimulated during the first two weeks after the application of chlorimuron-ethyl of the experimental concentration (0.3, 3, 15, 30  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), and Chlorimuron-ethyl stimulated significantly respiration of soil with increase of concentration. The number of soil bacteria and actinomyces were stimulated during one weeks after the application of chlorimuron-ethyl. The number of bacteria was inhibited at the 45th day with the chlorimuron-ethyl of the 15, 30  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , but the effects were temporary and recovered at the 60th day. The activities of catalase, invertase and urease in soil were inhibited at the 7th day after application of chlorimuron-ethyl, chlorimuron-ethyl inhibited significantly activities of soil catalase and urease with increase of concentration, then the activities of soil catalase, invertase and urease were stimulated at the end of culture and the activities of three enzymes were recovered. The above results offered the theoretical basis for the application of chlorinuron-ethyl to field.

**Key words:**chlorimuron-ethyl; soil microbe; soil enzyme activity

氯嘧磺隆是 20 世纪 80 年代初由美国杜邦公司开发的一种磺酰脲类除草剂。自 90 年代大面积使用以来,由于其杀草谱广、超高效、高选择性、可混性强等,深受农民喜爱,但其不易挥发,不易光解,在土壤中残留期长,易对后茬作物产生药害,使种植业结构

调整受到极大地限制,同时对农田环境造成污染<sup>[1]</sup>。土壤微生物是农田生态系统的重要组成部分,其数量的多少与土壤酶活性的高低直接影响土壤的物理、生物和化学性质,决定着土壤养分的组成和转化,同时也是评价土壤肥力的重要指标之一。因此土壤微生物

物和土壤酶活性一直是土壤微生物生态学研究的一个重要领域。土壤呼吸是综合反映土壤肥力的一个重要指标,可用来衡量土壤中微生物的总活性<sup>[2]</sup>。经农药污染后的土壤酶活性变化是目前土壤学和环境学关注的热点之一。土壤酶活性的变化在一定程度上可反映土壤受污染的程度<sup>[3-4]</sup>。关于氯噻磺隆对农田土壤呼吸强度和土壤酶活性的影响已有相关报道<sup>[5-6]</sup>,且也有通过大豆盆栽试验研究不同浓度氯噻磺隆对土壤酶活性的影响研究<sup>[7]</sup>。笔者也曾就生物肥和氯噻磺隆对水稻土壤微生物和土壤酶活性及水稻生长的影响开展了相关工作<sup>[8-9]</sup>,发现低浓度氯噻磺隆(3 μg/kg)即可对水稻植株产生明显的抑制效应,尤其是对株高的影响尤为明显。植株根系分泌物也会对土壤酶活性产生一定影响,而植株根和叶中一些成分含量会对土壤中氯噻磺隆的残留量进行指示<sup>[10]</sup>。此外不同类型土壤<sup>[11]</sup>、土地利用方式<sup>[12-13]</sup>及土壤中施用肥料处理<sup>[14]</sup>均会对公土壤微生物生态产生影响。为了了解氯噻磺隆对土壤微生物生态的影响作用,以明晰氯噻磺隆对植物—土壤生态系统中土壤的影响,本文采用室内培养试验方法,排除植物根系及其他因素的影响,探讨氯噻磺隆对土壤呼吸强度、微生物数量及土壤酶活性的影响,以期为当地农田农药合理施用提供理论依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 供试材料

供试土壤为大庆市林甸县黑龙江八一农垦大学试验田土壤,经风干后过 2 mm 筛备用。土壤为草甸黑钙土,土壤基本肥力状况为:有机质 3.08%,碱解氮 178.5 mg/kg,有效磷 25.4 mg/kg,速效钾 257.4 mg/kg,pH 值为 7.88。

## 1.2 试验设计

称取土样 600 g 分装于棕色试剂瓶中,分别加入不同剂量的氯噻磺隆,使得其在土壤中的浓度分别为 0,0.3 μg/kg 干土(田间残留量)、3 μg/kg 干土(田间施

用量)、15 μg/kg 干土(田间高施用量)、30 μg/kg 干土(正常田间正常施用量的 10 倍)。每处理重复 3 次,共计 15 瓶。将上述处理用无菌水调含水量至 25%,通过称重保持含水量,25±1℃ 恒温培养。分别于 7,14,30,45,60 d 定量取每瓶中的土壤来测定土壤细菌、放线菌、真菌数量、土壤呼吸强度及土壤酶活性。

## 1.3 测定项目与方法

微生物计数采用稀释平板法<sup>[15]</sup>,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基、放线菌采用改良高氏一号培养基,真菌采用马丁氏培养基。土壤呼吸强度(基础)采用密闭容器法测定<sup>[16]</sup>。土壤脲酶、转化酶和过氧化氢酶活性分别采用靛酚蓝比色法、3,5-二硝基水杨酸、高锰酸钾滴定法测定<sup>[17]</sup>。

## 1.4 分析方法

实验数据均为 3 次重复的平均值。应用 Excel 软件和 SPSS 13.0 软件进行分析处理,采用 Duncan's 新复级差测验法进行方差分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 氯噻磺隆对土壤呼吸强度的影响

由表 1 可见,土壤呼吸强度对氯噻磺隆很敏感,各试验阶段,不同处理对土壤呼吸强度的激活程度不同。在处理第 7 天,0.3,3.0,15,30 μg/kg 处理组 CO<sub>2</sub> 释放量激活强度分别为对照组的 7.5 倍、5.3 倍、7.4 倍、7.1 倍。14 d 时,除 30 μg/kg 处理有显著的激活作用外,其他处理与对照无显著差异。然后各浓度处理的呼吸强度进一步被激活,30 d 时,0.3,3.0,15,30 μg/kg 处理组 CO<sub>2</sub> 释放量激活强度分别为对照组的 92.9%、1.3 倍、92.5%、1.1 倍。45 d 时,各处理与对照相比,无明显差异,60 d 时恢复到对照水平。氯噻磺隆作为碳源和能源刺激土壤微生物增殖,培养初期使土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率增加。之后可能由于氯噻磺隆(氯噻磺隆土壤半衰期 50 d 左右)在土壤中的降解产物促进了土壤呼吸<sup>[5]</sup>。这种刺激作用是非持续性,可恢复的。

表 1 不同浓度氯噻磺隆对土壤呼吸作用的影响

浓度/ (μg·kg <sup>-1</sup> )	土壤呼吸强度/(mlCO <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )				
	7 d	14 d	30 d	45 d	60 d
0(ck)	74.03cC	321.53bAB	424.91cC	218.39abAB	476.76aA
0.3	629.42aA	238.94bB	819.86bB	309.14aAB	488.06aA
3	467.85bB	281.36bB	969.54aA	276.26aAB	376.80aA
15	624.75aA	388.32abAB	817.74bB	323.51aA	479.52aA
30	600.85aA	522.63aA	883.35abAB	145.23bB	314.10aA

注:表中数值为 3 次重复的平均值;大写字母表示  $p<0.01$  水平,小写字母为  $p<0.05$  水平,同一列中不同字母表示差异性显著。下同。

2.2 氯嘧磺隆对土壤微生物数量的影响

氯嘧磺隆对土壤细菌数量的影响见表 2。表 2 表明,氯嘧磺隆对细菌数量的影响为高浓度影响较大,低浓度影响较小。不同浓度在各试验阶段对其的影响也不同。处理后第 7 天,各浓度处理对土壤细菌均有刺激增殖的作用,且浓度越大,刺激作用越大。之后刺激作用减弱,14 d 时,各浓度处理均可显著促进细菌的增殖。第 30 d 时,0.3 μg/kg 和 15 μg/kg 两处理表现出抑制作用,而 30 μg/kg 处理仍具有刺激作用。但 45 d 时,低浓度和田间施用量处理恢复到对照水平,而高浓度处理具有抑制细菌增殖的趋势。60 d 培养结束时,各处理土壤细菌数量恢复到对照水平。

表 2 不同浓度氯嘧磺隆对土壤细菌数量的影响

浓度/ (μg·kg <sup>-1</sup> )	土壤细菌数量/(10 <sup>5</sup> CFU·g <sup>-1</sup> )				
	7 d	14 d	30 d	45 d	60 d
CK	6.33dC	16.00dC	189.3bA	58.67aA	27.67aA
0.3	16.00cB	27.00bcBC	90.33cB	42.67aAB	15.33aA
3	20.00bB	35.00bB	184.7bA	47.00aA	31.00aA
15	21.33bB	23.3cdBC	110.3cB	7.00bB	22.67aA
30	31.00aA	82.67aA	229.00aA	5.67bB	13.67aA

氯嘧磺隆对土壤放线菌数量的影响见表 3,处理后前 14 d,各浓度氯嘧磺隆对土壤放线菌均有刺激作用。30 d 时,除 3 μg/kg 处理具有抑制作用,其他处理下放线菌数量均与对照处于同一水平。45 d 时,30 μg/kg 处理仍表现出刺激作用,其他处理下恢复到对照水平。培养结束时,各处理下放线菌数量与对照处于同一水平。这可能是培养前 2 周氯嘧磺隆可刺激

这可能是由于培养初期土壤微生物数量较少,外界加入的氯嘧磺隆作为细菌的碳源和能源刺激自身生长,但随着氯嘧磺隆的降解,可利用的碳源和能源减少,各处理的细菌数量逐渐恢复到对照水平。当菌体增殖一段时间之后,可能由于高浓度氯嘧磺隆处理的代谢产物抑制了菌体生长。但并非持续性的,培养结束时恢复到对照水平。土壤细菌数量在培养 45 d 时对于不同浓度氯嘧磺隆较为敏感,可以作为土壤氯嘧磺隆污染程度的指示指标。这一结论与腾春波<sup>[5]</sup>的研究有所不同,可能是由于氯嘧磺隆在不同有机质含量的土壤中的吸附和解析过程不同<sup>[10]</sup>,从而引起了土壤微生物对氯嘧磺隆的响应不同。

土壤放线菌数量的增殖,处理 30 d 后,各浓度处理表现出不同程度的抑制作用,可能与氯嘧磺隆降解产物有关,但培养 60 d 时均可恢复到对照水平。而腾春波的研究认为放线菌对氯嘧磺隆浓度较为敏感<sup>[5]</sup>,这与本试验结果不同。氯嘧磺隆在不同有机质含量的土壤中解析动力学不同,放线菌对土壤所解析的氯嘧磺隆的耐受和降解能力存在差异。

表 3 不同浓度氯嘧磺隆对放线菌数量的影响

浓度/ (μg·kg <sup>-1</sup> )	土壤放线菌数量/(10 <sup>4</sup> CFU·g <sup>-1</sup> )				
	7 d	14 d	30 d	45 d	60 d
CK	87.67cB	60.67cB	35.00aA	8.33bB	16.00aA
0.3	113.00bAB	120.33aA	32.67abA	12.33bAB	9.67aA
3	102.33bcB	95.33bA	18.00bA	11.67bAB	7.00aA
15	101.67bcB	129.67bA	27.00abA	11.67bAB	9.00aA
30	131.00aA	116.67aA	33.33aA	22.33aA	16.33aA

氯嘧磺隆对土壤真菌数量的影响见表 4,从表 4 中可以看出,氯嘧磺隆在施入土壤 7 d 内对土壤真菌较为敏感,各处理对土壤真菌数量表现出抑制作用。随后各浓度处理下土壤真菌数量恢复到对照水平,45 d 时,田间施用量和田间高施用量处理能够抑制真菌数量,但 60 d 后可恢复到对照水平。这可能由于氯嘧磺隆和其代谢产物对土壤真菌生长的抑制作用造成的,有待于进一步研究。

2.3 氯嘧磺隆对土壤酶活性的影响

氯嘧磺隆对土壤过氧化氢酶活性的影响见表 5,

处理 7 d 后,氯嘧磺隆的浓度越大,其对过氧化氢酶活性的抑制作用越明显。15 μg/kg 和 30 μg/kg 处理与对照差异显著。之后,氯嘧磺隆对土壤过氧化氢酶具有激活作用。14 d 时,各处理与对照相比,其激活程度均达到显著水平。浓度为 30 μg/kg 处理的激活程度最大,为对照的 1.43 倍。30 d 时,低浓度和田间施用量处理过氧化氢酶可进一步被激活,高浓度和 10 倍田间施用量处理可恢复到对照水平。45 d 至培养结束时,各浓度处理基本与对照无显著差异。可能由于培养氯嘧磺隆施入土壤 7 d 时,其对土壤微生物

菌群过氧化氢酶活性具有抑制作用,随着菌群变化,微生物能够利用氯嘧磺隆作为碳源和能源刺激自身生长,使土壤过氧化氢酶被激活。但随着氯嘧磺隆的降解,激活作用逐渐减小。培养 45 d 后,各处理对土壤过氧化氢酶活性基本无影响,可能由于氯嘧磺隆降解产物对土壤过氧化氢酶活性无明显影响。

表 4 不同浓度氯嘧磺隆对土壤真菌数量的影响

浓度/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	土壤真菌数量/( $10^2 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ )				
	7 d	14 d	30 d	45 d	60 d
CK	11.33 aA	23.67abAB	23.67bAB	23.00bB	16.00aA
0.3	4.00 bB	20.67bAB	22.67bB	49.67aA	17.67aA
3	6.67abAB	32.00aA	23.33bAB	12.00cB	14.00aA
15	6.33abAB	16.67bB	21.33bB	12.33cB	20.33aA
30	5.33bB	15.00bB	32.00aA	23.00bB	22.33aA

表 5 不同浓度氯嘧磺隆对土壤过氧化氢酶的影响

浓度/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	土壤过氧化氢酶活/( $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 3\text{h}^{-1}$ )				
	7 d	14 d	30 d	45 d	60 d
CK	2.70 aA	2.90 bA	2.41cB	2.50bA	3.23aAB
0.3	2.68 abA	4.00 aA	4.58aA	2.55abA	3.16abAB
3	2.6 abcA	4.07 aA	3.42bB	2.55abA	3.23abAB
15	2.63 bcA	4.02 aA	2.50cB	2.51bA	3.01bB
30	2.60 cA	4.14 aA	2.71bcB	2.59aA	3.45aA

氯嘧磺隆对土壤转化酶活性的影响见表 6,培养第 7 天,随着氯嘧磺隆浓度的增大,其对土壤转化酶活性的抑制作用越强(30  $\mu\text{g}/\text{kg}$  除外),0.3,3 和 15  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 处理与对照相比,分别抑制了 13.2%,17.3%,24.1%。14~30 d 期间,仅 15  $\mu\text{g}/\text{kg}$  处理具有抑制作用,与对照相比抑制了 21.2%左右,其他处理与对照处于同一显著水平。45 d 时,各处理对土壤转化酶均表现出激活作用,3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  处理下的激活作用最大,比对照高 49.0%。但培养至 60 d 时,这种激活作用消失,各处理恢复到对照水平。这可能由于不同浓度的氯嘧磺隆在土壤中吸附和解析过程不同,施入土壤前期均对土壤转化酶产生抑制作用,而有报道认为土壤真菌/细菌比值越高表明农田土壤生态系统越稳定<sup>[18]</sup>。由本文的数据可以看出,在氯嘧磺隆施入土壤前 14 d 时,10 倍田间施用量处理的真菌/细菌值最小,土壤微生物生态系统不稳定而呈现出与对照水平无差异的现象。随着时间推移,氯嘧磺隆可显著改变土壤微生物群落结构<sup>[19]</sup>。当培养 45 d 时,土壤微生物生态系统相对稳定,同时伴随着氯嘧磺隆的分解,各处理对土壤转化酶均表现出促进作用,在培养 60 d 时各处理恢复到对照水平。其机理有待于进一步验证。

表 6 不同浓度氯嘧磺隆对土壤转化酶的影响

浓度/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	转化酶活性/( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$ )				
	7 d	14 d	30 d	45 d	60 d
CK	14.77aAB	19.39aA	14.8 aAB	20.92bB	25.92aA
0.3	12.82bABC	16.82abA	16.02 aA	27.15aAB	23.24aA
3	12.29bBC	19.39aA	15.25 aA	31.87aA	24.26aA
15	11.23bC	15.28bA	11.70bB	31.17aA	25.63aA
30	15.18aA	17.93abA	15.35aA	29.53aA	21.49aA

氯嘧磺隆对土壤脲酶活性的影响见表 7,处理后 7 d 时,随着氯嘧磺浓度的增大,其抑制作用越强,且均达到显著水平。14 d 时,各处理抑制作用减弱,0.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  处理恢复到对照水平。30 d 时,各处理恢复到对照水平,甚至 0.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  处理激活土壤脲酶活性。45 d 时,各浓度处理表现激活作用(30  $\mu\text{g}/\text{kg}$  除外)。60 d 时,各浓度处理恢复到对照水平。氯嘧磺隆施用浓度越大,对土壤脲酶抑制时间越长,且激活土壤脲酶活性所需时间也越长。这是由于处理初期,氯嘧磺隆分子一些基团使土壤脲酶活性部分减少,从而抑制了底物与酶分子结合,进而降低了酶活性。这与腾春红等<sup>[6]</sup>的报道吻合。随着氯嘧磺隆的降解,微生物的碳源和能源逐渐减少,抑制作用减弱,甚至激活土壤脲酶的活性。脲酶与尿素肥料水解有关,氯嘧磺隆对提高尿素氮肥的利用率有重要意义。适时施尿素氮肥和农药对农业生产起关键作用。

表 7 不同浓度氯嘧磺隆对土壤脲酶活性的影响

浓度/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	土壤脲酶活性/( $\text{NH}_3\text{-N mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 3\text{h}^{-1}$ )				
	7 d	14 d	30 d	45 d	60 d
CK	0.57aA	0.90aA	0.50bB	0.40cBC	0.89aA
0.3	0.47bA	0.93aA	0.71aA	0.83aA	0.85aA
3	0.24bB	0.60bB	0.54bB	0.80aA	0.80aA
15	0.02cC	0.44cC	0.54bB	0.57bB	0.80aA
30	0.01cC	0.37cC	0.53bB	0.34cC	0.94Aa

2.4 氯嘧磺隆土污染土壤中微生物数量、土壤呼吸强度和酶活性的关系

土壤中微生物数量、酶活性和土壤呼吸强度有着密切的相关联系。土壤微生物的变化反映出土壤酶水平上。本试验采用 Pearson 法( $n=25$ )比较了不同程度氯嘧磺隆污染处理间土壤微生物数量、酶活性和土壤呼吸强度的相关关系。发现土壤呼吸强度与土壤细菌数量及土壤转化酶呈现极显著正相关及显著负相关关系。土壤放线菌数量与土壤转化酶和土壤脲酶活性呈极显著负相关。土壤真菌数量与土壤脲酶活性呈现显著正相关(表 8)。土壤酶与土壤微生物的相关性在采用不同方法测定以及针对不同的土壤类型是不同的<sup>[20]</sup>,有待进一步研究。

表 8 土壤微生物数量、呼吸强度和酶活性的相关性

项目	土壤呼吸	过氧化氢酶	转化酶	脲酶
土壤呼吸	1	0.117	-0.503*	-0.240
细菌	0.640**	-0.017	-0.338	-0.094
放线菌	0.000	0.277	-0.622**	-0.509**
真菌	-0.031	0.122	0.241	0.432*

注: \*  $p<0.05$ , \*\*  $p<0.01$ 。

3 结论

综合以上试验结果可知,不同浓度氯嘧磺隆施入土壤前 1 周均可刺激土壤细菌、放线菌数量的增殖,抑制土壤真菌数量的增殖,使土壤呼吸强度增大,但土壤过氧化氢酶、土壤转化酶、土壤脲酶活性受到不同程度的抑制。随后不同浓度氯嘧磺隆浓度处理对土壤细菌、放线菌的刺激作用和对土壤酶的抑制作用减缓,逐渐恢复到对照水平。氯嘧磺隆施入土壤 45 d 时,高浓度氯嘧磺隆处理可抑制土壤细菌和真菌的增殖。但施入土壤 60 d 时,土壤微生物和土壤酶活性均可恢复到对照水平。由此说明,合理施用氯嘧磺隆农药对农田生态系统是可自然修复的。以上试验结果可为正确施用氯嘧磺隆农药提供理论依据。

参考文献:

[1] 王鑫宏,许艳秋,邓铁柱,等. 氯嘧磺隆对三种土壤酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报,2005,24(增刊):70-72.

[2] 张倩茹,周启星,张惠文. 乙草胺与硫酸铜对黑土微生物的复合生态影响[J]. 环境科学,2007,28(4):826-831.

[3] 杨春璐,孙铁珩,和文祥,等. 农药对土壤脲酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(7):1354-1356.

[4] Ros M, Goberna M, Moreno J L, et al. Molecular and physiological bacteria diversity of a semi-aird soil contaminated with different levels of formulated atrazine [J]. Applied Soil Ecology,2006,34(2/3):93-102.

[5] 滕春红,陶波. 氯嘧磺隆对土壤微生物类群及土壤呼吸强度的影响[J]. 土壤通报,2008,39(2):384-387.

[6] 滕春红,陶波. 除草剂氯嘧磺隆对土壤酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(5):1294-1298.

[7] 马艳军,程苗,乔琦,等. 氯嘧磺隆对大豆根圈土壤 3 种酶活性的影响[J]. 现代农业科学,2009,16(4):1-4.

[8] 荆瑞勇,王彦杰,王丽艳,等. 生物肥和氯嘧磺隆对水稻土壤微生物和土壤酶活性的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2009,21(4):20-24.

[9] 王彦杰,左豫虎,荆瑞勇,等. 生物肥对氯嘧磺隆残留的降解对水稻生长的影响[J]. 中国生态农业学报,2010,18(4):852-855.

[10] Meie Wang, Qixing Zhou. Effects of herbicide chlorimuron-ethyl on physiological mechanisms in wheat (Triticum aestivum)[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,2006,64(2):190-197.

[11] 李媛媛,周运超,邹军,等. 黔中石灰岩地区典型灌木林土壤酶活性与植物物种多样性研究[J]. 水土保持研究,2010,17(3):245-249.

[12] 左智天,田昆,向仕敏,等. 澜沧江上游不同土地利用类型土壤氮含量与土壤酶活性研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):280-285.

[13] 李伟,潘丹丹,艾应伟,等. 典型边坡对土壤酶活性的影响[J]. 水土保持研究,2011,18(5):275-276.

[14] 解媛媛,谷洁,高华,等. 微生物菌剂酶制剂化肥不同配比对秸秆还田后土壤酶活性的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(2):233-238.

[15] 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.

[16] 周礼凯. 土壤酶学[M]. 北京:科学出版社,1989.

[17] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:农业出版社,1986.

[18] Vries F T, Hoffland E, Eekeren N V, et al. Fungal / bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management[J]. Soil Biology and Biochemistry,2006,38(8):209-210.

[19] 盛宇,徐军,刘新刚,等. 氯嘧磺隆对土壤微生物群落结构的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(11):2992-2996.

[20] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, et al. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface and sub soils using various techniques[J]. Soil Biology and Biochemistry,2002,34(3):387-401.