

白晓龙,杨春和,顾卫兵,等. 不同离子活化过硫酸盐氧化修复柴油污染土壤对土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(12):354-357.

不同离子活化过硫酸盐氧化修复柴油污染土壤对土壤酶活性的影响

白晓龙^{1,2}, 杨春和¹, 顾卫兵¹, 冯启言^{2,3}, 蒋云霞¹, 邹雨吟¹

(1. 南通农业职业技术学院环境与资源系, 江苏南通 226007; 2. 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏徐州 221116;

3. 中国矿业大学江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏徐州 221116)

摘要:采用室内模拟法研究了不同离子活化过硫酸盐氧化修复柴油污染土壤对土壤过氧化氢酶、多酚氧化酶以及脲酶活性的影响。结果表明:在本试验条件下,单一柴油污染对土壤多酚氧化酶活性激活作用最大,为 13.4%,对脲酶活性产生较强的抑制作用,抑制率达到 94.7%;不同土壤酶在不同过渡金属离子作用下表现出不同的活性响应,其中过氧化氢酶活性和脲酶活性分别表现出激活作用与抑制作用, Mn^{2+} 对过氧化氢酶活性的激活率最大,为 33.3%, Cu^{2+} 对脲酶的抑制率最大,为 95.6%,而 Cu^{2+} 和 Co^{2+} 对多酚氧化酶活性分别表现出的最大抑制率和激活率分别为 43.1% 和 33.5%;不同离子活化过硫酸盐修复柴油污染土壤对土壤过氧化氢酶和脲酶活性均表现出抑制作用,其中 Fe^{2+} 活化氧化后对土壤过氧化氢酶活性的抑制率最大,为 64.3%, Co^{2+} 活化氧化后对土壤脲酶活性的抑制率最大,为 95.1%,而 Co^{2+} 和 Mn^{2+} 活化氧化后对土壤多酚氧化酶活性分别表现出的最大抑制率和激活率分别为 24.3% 和 94.9%。

关键词:过渡金属离子;活化过硫酸盐;柴油污染;土壤酶活性

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)12-0354-03

随着社会发展以及农业机械化程度的提高,石油冶炼过程中各种产品的开发以及各类柴油机械化设备的大量应用,不可避免地造成了土壤的柴油污染问题,使得柴油污染土壤中含有大量的多环芳烃类以及其他一系列苯系污染物,对农业生产和生态环境存在潜在威胁。

柴油污染土壤的修复方法主要有化学氧化修复、生物修复以及物理修复等。目前,国内外已有许多学者对柴油污染土壤修复开展了研究,孙燕英等研究发现 H_2O_2 氧化处理对柴油重污染土壤有较好的修复效果^[1];何伟等通过砂箱试验研究发现土壤中柴油的不完全生物降解去除比率达到 95.35%^[2];杨金凤研究了生物通风修复柴油污染土壤及柴油降解菌的降解性能,结果发现柴油降解菌对柴油的降解去除率达到了 60.98%^[3];支银芳等采用表面活性剂溶液清洗柴油污染土壤发现柴油的去降率可达到 90% 以上^[4]。而基于过硫酸盐氧化技术修复柴油污染土壤也已经在国外有相关研究报道^[5-6]。

土壤酶活性是反映土壤环境状况的重要依据,污染土壤修复前后土壤酶活性的变化,不仅能反映污染物对土壤的危害程度,还能反映土壤污染修复技术的效能以及对土壤环境状况的影响程度。国内外对于土壤污染修复后土壤酶活性的变化的研究工作也已经开展,如王春艳等研究了不同化学氧化修复对土壤过氧化氢酶活性的影响^[7],李玉瑛等^[8]、王洪

等^[9]研究了生物修复污染土壤对土壤酶活性的影响。然而对于不同活化方式下过硫酸盐氧化修复对土壤酶活性的影响研究尚未见相关报道。本研究拟采用不同过渡离子活化过硫酸盐氧化修复柴油污染土壤,研究其对土壤过氧化氢酶、多酚氧化酶以及脲酶活性的影响。

1 材料与方法

1.1 供试材料

0 号柴油,比重 0.84 g/mL,购自南通市某加油站;供试土壤,取自南通市郊区,周边无明显污染源,采集 0~20 cm 耕作层土壤,去除土壤中的砾石、动植物残体后,于室内阴凉处自然风干后过 2 mm 筛备用。室温下,取上述风干土壤样品加入适量柴油,搅拌均匀,使其柴油含量为 10 g/kg。

1.2 试验方法

1.2.1 土壤中柴油的降解 取一定量上述柴油污染土壤,分别加入一定浓度的过硫酸钠溶液(0.5 mol/L)和过渡金属离子溶液,使氧化剂与过渡金属离子(Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Co^{2+})^[5-6,10]摩尔浓度之比分别为 100:1、50:1、100:1、250:1,保持液土比为 6:1。将上述样品置于恒温振荡器中,在 25℃、150 r/min 的转速下振荡 12 h,对照组用超纯水代替一定浓度的氧化剂和过渡金属离子。将氧化后的土壤样品在自然条件下风干过 2 mm 筛备用。

1.2.2 过渡金属离子土壤的配制 分别吸取一定体积的 $FeSO_4$ 、 $CuSO_4$ 、 $MnSO_4$ 、 $CoSO_4$ 溶液于供试土壤中,使土壤中 Fe、Cu、Mn、Co 离子浓度与“1.2.1”中浓度保持一致,加超纯水使土壤含水率达到最大田间持水量的 60% 左右,及时补充水分以保持相应的含水率,并在 25℃ 条件下恒温培养 2 周。

1.2.3 分析方法 土壤中柴油含量的测定采用紫外分光光度法;土壤过氧化氢酶、多酚氧化酶以及脲酶活性的测定分别

收稿日期:2013-05-31

基金项目:江苏省农村环境污染防治工程技术研究开发中心资助项目;江苏省南通市科技公共服务平台计划(编号:DE2009006)。

作者简介:白晓龙(1980—),男,山东莒县人,博士研究生,讲师,主要从事水处理技术及环境化学教学与科研工作。E-mail: waiting2001@163.com。

采用高锰酸钾滴定法、邻苯三酚比色法以及奈氏比色法^[11]。

2 结果与讨论

2.1 对土壤过氧化氢酶活性的影响

土壤过氧化氢酶是土壤中的重要酶类,其活性能够很好地反映土壤呼吸作用、微生物活性状况并参与一系列土壤生物化学过程,也是评价土壤肥力与污染状况的重要参考^[12-13]。

研究表明,土壤过氧化氢酶活性随着土壤石油烃污染浓度的增加而明显升高^[14]。如图 1 所示,通过试验研究发现,试验所用柴油污染土壤对过氧化氢酶活性有一定的促进作用,其激活率约 4.8%;土壤中金属离子的含量对土壤过氧化氢酶活性存在一定的影响。闫峰等研究发现,随着土壤中外源铜质量浓度的增大,其对过氧化氢酶产生了明显的激活效应^[15];闫文德等发现土壤中锰的含量与土壤过氧化氢酶活性呈正相关^[16];而吴惠芳等却发现锰浓度与土壤过氧化氢酶活性间存在显著负相关性^[17]。在本试验条件下, Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Co^{2+} 4 种不同离子污染土壤相比原土对土壤过氧化氢酶活性均有促进作用,其中 Mn^{2+} 的激活率最大,为 33.3%,其余 3 种离子的激活率均为 23.8%。而几种过渡金属离子活化过硫酸钠氧化修复土壤柴油污染后,土壤中过氧化氢酶活性均表现出抑制作用,其中 Fe^{2+} 活化氧化后的抑制率最大,为 64.3%,其他 3 种金属离子 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Co^{2+} 活化氧化后的抑制率分别为 19.1%、26.2%、33.3%。这主要是因为过硫酸钠活化氧化土壤中柴油后生成硫酸钠使土壤含盐量增大,对过氧化氢酶活性产生了抑制作用^[18]。并且在活化过硫酸盐氧化修复过程中会对土壤有机质产生破坏,造成土壤营养物质流失,也会抑制过氧化氢酶活性^[19-20]。

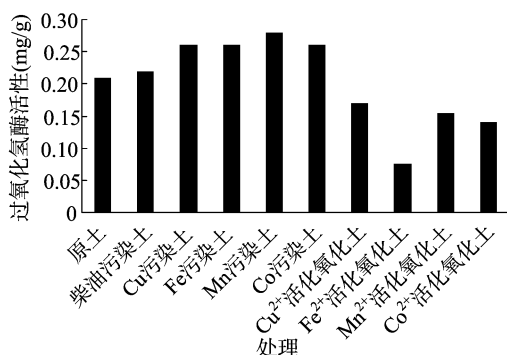


图1 不同处理条件下土壤过氧化氢酶活性的变化

2.2 对多酚氧化酶活性的影响

土壤多酚氧化酶是一种复合性酶,参与土壤中芳香族化合物的生物化学循环,对土壤环境修复有重要意义^[21]。

张晶等研究发现土壤多酚氧化酶活性与土壤中石油烃含量呈极显著正相关^[22];梁小翠等用柴油模拟 PAHs 污染土壤发现,在污染柴油浓度为 10 g/kg 时,柴油对土壤多酚氧化酶活性产生了明显的激活效应。通过本试验研究发现,柴油污染土壤相比原土对多酚氧化酶的活性也产生了激活效应,其激活率为 13.4%。王友保等研究认为,铜污染对土壤多酚氧化酶活性影响较大^[24]。如图 2 所示,在本试验研究条件下,模拟铜与铁污染土壤相比原土对多酚氧化酶活性表现出一定

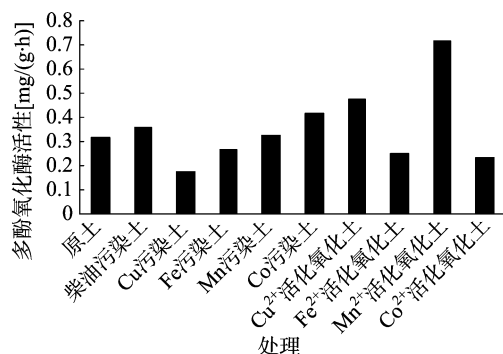


图2 不同处理条件下土壤多酚氧化酶活性的变化

的抑制作用,其中铜对多酚氧化酶活性的抑制率达到 43.1%,而铁的抑制率仅为 13.7%,同时还发现锰和钴对多酚氧化酶产生了激活作用,其激活率分别为 4.5% 和 33.5%。郝建朝等认为土壤多酚氧化酶活性在强酸强碱条件下失活^[21];岳中辉等研究发现土壤全盐量、土壤 pH 值与土壤多酚氧化酶活性呈显著正相关,而土壤有机质含量与土壤多酚氧化酶活性呈负相关^[25];王飞等研究则认为土壤多酚氧化酶活性在硫酸盐盐土中表现出低盐促进、高盐抑制的作用^[26]。柴油污染土壤经几种不同过渡金属离子活化过硫酸钠氧化后,会造成氧化修复后土壤有机质含量降低,土壤总含盐量增加,同时还会伴随土壤 pH 值的变化以及土壤过渡金属离子和柴油含量以及柴油氧化产物含量的变化,在这些因素的协同作用下,土壤多酚氧化酶活性会出现不同的变化特征。通过试验研究发现,经过 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} 活化氧化修复后土壤多酚氧化酶活性相比原土得到激活,其激活率分别达到了 52.4% 和 94.9%,而 Fe^{2+} 、 Co^{2+} 活化氧化修复后土壤多酚氧化酶活性表现出一定的抑制作用,其抑制率分别为 21.4% 和 24.3%。

2.3 对脲酶活性的影响

土壤脲酶活性直接关系到土壤中氮素的迁移转化过程,对土壤营养物质的迁移转化、土壤污染与环境质量监测与评价有着重要意义^[27]。

许多学者研究发现,土壤石油烃污染对土壤脲酶活性产生一定的抑制作用^[28-30]。如图 3 所示,通过试验研究发现,柴油污染土壤相比原土对脲酶活性有很强抑制作用,其抑制率达到 94.7%。研究表明重金属离子 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Co^{2+} 等都会对土壤中脲酶产生抑制作用,如王娟等和黄峥等研究发现铜对土壤脲酶活性有较强的抑制作用,张亚玉等研究发现铜、铁等金属也有一定的抑制作用,而赵峰等认为锰对

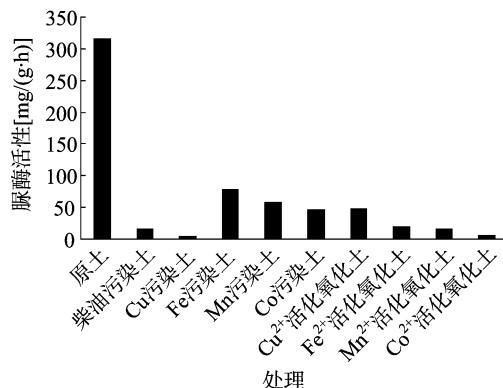


图3 不同处理条件下土壤脲酶活性的变化

脲酶活性也存在相应的抑制作用^[31-34]。本试验研究也发现, Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Co^{2+} 污染的土壤相比原土对脲酶活性的抑制率分别达到了 95.6%、75.3%、81.5%、85.2%, 均表现出较强的抑制效应。柴油污染土壤经过过渡金属离子活化过硫酸钠氧化后, 土壤中柴油含量降低, 同时会造成土壤有机质的破坏, 氧化修复过程中生成硫酸盐造成土壤含盐量增加, 同时会引入大量过渡金属离子。研究表明土壤脲酶活性与土壤有机质含量呈正相关, 而土壤含盐量的增加也会相应地抑制土壤脲酶的活性^[35-37]。在本试验条件下, 通过过渡金属离子 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Co^{2+} 活化氧化修复后土壤脲酶活性相比原土产生了较强的抑制效应, 其抑制率分别为 53.8%、86.5%、86.7%、95.1%。

3 结论

本试验条件下, 模拟柴油污染的土壤对土壤过氧化氢酶活性和多酚氧化酶活性有一定的激活作用, 但是对脲酶活性产生较强的抑制作用, 抑制率达到 94.7%。

模拟 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Co^{2+} 污染土壤均对土壤过氧化氢酶活性有一定的激活作用, 对脲酶有较强的抑制作用, 抑制率均达到 75% 以上, 其中 Cu^{2+} 的抑制率最大, 为 95.6%, 对多酚氧化酶活性的影响则是 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 污染土起抑制作用, Mn^{2+} 、 Co^{2+} 污染土起激活作用。

Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Co^{2+} 活化过硫酸钠修复柴油污染后的土壤对土壤过氧化氢酶活性和脲酶活性均表现出抑制作用, 其中对脲酶活性的抑制作用较强, 达到 53% 以上, 而对多酚氧化酶活性的影响则是 Fe^{2+} 、 Co^{2+} 活化修复土起抑制作用, 而 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} 活化修复土起激活作用。

参考文献:

- [1] 孙燕英, 刘 菲, 陈鸿汉, 等. H_2O_2 氧化法修复柴油污染土壤[J]. 应用化学, 2007, 24(6): 680-683.
- [2] 何 炜, 陈鸿汉, 刘 菲, 等. 柴油污染土壤修复砂箱试验[J]. 中国矿业大学学报, 2010, 39(1): 127-133.
- [3] 杨金凤. 生物通风修复柴油污染土壤实验及柴油降解菌的降解性能研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2009.
- [4] 支银芳, 陈家军, 杨官光, 等. 表面活性剂溶液清洗油污土壤试验研究[J]. 土壤, 2007, 39(2): 252-256.
- [5] Do S H, Kwon Y J, Kong S H. Effect of metal oxides on the reactivity of persulfate/ $\text{Fe}(\text{II})$ in the remediation of diesel-contaminated soil and sand[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 182(1/2/3): 933-936.
- [6] Do S H, Jo J H, Jo Y H, et al. Application of a peroxymonosulfate/cobalt(PMS/ $\text{Co}(\text{II})$) system to treat diesel-contaminated soil[J]. Chemosphere, 2009, 77(8): 1127-1131.
- [7] 王春艳, 李晓亮, 董 芬, 等. 化学氧化修复 PAHs 污染土壤的性质及毒性变化[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2012, 39(4): 95-100.
- [8] 李玉瑛, 李 冰. 柴油污染土壤生物修复对土壤酶活性的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1753-1756.
- [9] 王 洪, 李海波, 孙铁珩, 等. 生物修复 PAHs 污染土壤对酶活性的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 691-695.
- [10] Xu X, Ye Q, Tang T, et al. Hg^0 oxidative absorption by $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ solution catalyzed by Ag^+ and Cu^{2+} [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 158(2/3): 410-416.
- [11] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 255-290.
- [12] 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.
- [13] 李时银, 黄 智, 倪利晓, 等. 毒死蜱及代谢产物对土壤过氧化氢酶活性的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21(6): 553-555.
- [14] 黄玲玲. 陕西延长石油烃污染区丛枝菌根真菌和苍白杆菌提高林木耐油能力的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [15] 闫 峰, 吴雄平, 梁东丽, 等. 外源重金属 Cr、Cu、Se 和 Zn 对土壤酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(7): 91-98.
- [16] 闫文德, 田大伦. 湘潭锰矿废弃地土壤酶活性与重金属含量的关系[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(3): 1-4.
- [17] 吴惠芳, 龚春风, 刘 鹏, 等. 锰对商陆根际微生物及土壤酶的影响[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(12): 94-98.
- [18] 杨志勇, 李 刚, 姚 成, 等. 苏北大丰生态工程区两种植物群落土壤酶活性比较[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3649-3657.
- [19] 王菊兰, 何文寿, 何进智. 宁夏引黄灌区温室土壤脲酶、过氧化氢酶活性与土壤肥力因素的关系[J]. 宁夏大学学报: 自然科学版, 2007, 28(2): 162-165.
- [20] 隋跃宇, 焦晓光, 高崇生, 等. 土壤有机质含量与土壤微生物量及土壤酶活性关系的研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1036-1039.
- [21] 郝建朝, 吴沿友, 连 宾, 等. 土壤多酚氧化酶性质研究及意义[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 470-474.
- [22] 张 晶, 张惠文, 张 勤, 等. 长期石油污水灌溉对东北旱田土壤微生物生物量及土壤酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 67-70.
- [23] 梁小翠, 朱 凡, 闫文德, 等. 马褂木盆栽土壤酶活性对 PAHs 胁迫的响应[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(5): 92-95, 116.
- [24] 王友保, 蒋田华, 安 雷, 等. 两种来源狗牙根的生长对铜污染土壤酶活性的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(6): 40-46.
- [25] 岳中辉, 王博文, 王洪峰, 等. 松嫩平原西部盐碱草地土壤多酚氧化酶活性及其主要肥力因子的关系[J]. 草业学报, 2009, 18(4): 251-255.
- [26] 王 飞, 褚贵新, 杨明凤, 等. 北疆绿洲不同盐分浓度梯度下土壤的生物活性及其功能多样性[J]. 土壤通报, 2012, 43(3): 621-626.
- [27] D'Ascoli R, Rao M A, Adamo P, et al. Impact of river overflowing on trace element contamination of volcanic soils in South Italy: part II. Soil biological and biochemical properties in relation to trace element speciation[J]. Environmental Pollution, 2006, 144(1): 317-326.
- [28] 王 梅, 江丽华, 刘兆辉, 等. 石油污染物对山东省三种类型土壤微生物种群及土壤酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(2): 341-346.
- [29] 李 慧, 陈冠雄, 杨 涛, 等. 沈抚灌区含油污水灌溉对稻田土壤微生物种群及土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1355-1359.
- [30] Wyszowska J, Kucharski J, Waldowska E. The influence of diesel oil contamination on soil enzymes activity[J]. Rostlinná Výroba, 2002, 48(2): 58-62.

张宝林,姚琦.农村环境污染成因与防治对策[J].江苏农业科学,2013,41(12):357-359.

农村环境污染成因与防治对策

张宝林,姚琦

(江苏省镇江市环境保护服务中心,江苏镇江 212001)

摘要:随着经济、社会的发展,人们对工业生产带来的环境污染问题十分关注,近年来,通过社会各界的努力,工业环境污染问题已经得到有效遏制,总体趋势向好的方向发展。但农村环境污染由于长期未得到重视,变得日趋严重,原因是我国农村法律制度缺失、农村从业人员环保意识淡薄、农业生产方式不合理、乡镇企业无序发展等问题。本研究就农村环境污染存在的系列问题,针对性的提出防治对策。

关键词:农村;污染;防治;对策

中图分类号: X71 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)12-0357-03

对于环境问题,人们对城市工业污染十分关注,但随着社会、经济的发展,农村环境问题逐步积累并日益突出,农村环境恶化诱发的恶果陆续显现。据卫生和水利部门的初步调查以及联合国的评估^[1],我国农村约有 1.9 亿人饮用水有害物质含量超标,鉴于统计范围、手段的局限性,在有些地方,存在问题比实际掌握的情况还要严重。农村环境污染是“癌症村”频现的主要原因,由于环境污染引发的疾病,使农民收入增加化为乌有,农民生活因医药支出更是雪上加霜。农村环境污染问题应引起足够重视。伴随着我国新农村建设,城乡统筹发展理念得以执行,农村环境问题已进入了政府视野,为逐步解决农村环境污染隐患提供了契机,本研究就农村环境污染的成因及防治对策进行探讨。

1 农村环境污染形成原因

1.1 法律体系缺失是农村环境污染日趋严重的根源

多年来,我国已逐步建立并实施了以《中华人民共和国环境保护法》为主体的法律、法规体系^[2],其中包括了宪法关于环境保护的规定、环境保护基本法、各环境保护单行法以及国家有关行政管理部门制定的环境保护条例、规范、地方性法规和规章等等,已形成了较为完善的环境保护立法体系,但该体系建立的立足点往往是工业污染、城市污染防治,虽也涉及了农村环境保护,并对农村环保事业的发展起到了一定推动作用,但随着市场经济体制的建立和逐步完善、新农村建设的

推进,上述法律法规体系远不能适应新时代农村发展的需要,造成我国农村环保立法滞后、法律体系不健全。体系中缺乏综合性农业环境资源保护法规或条例。作为综合性的《环境保护法》对农业环境虽有涉及,但很简单,而且未能将农业自然资源的保护协调起来^[3]。有关农业环境评价、农业造成环境污染等重要环境领域还存在立法空白。农村环保法律体系的不健全,致使我国农村环境保护管理体制也未能有效建立,农村环境保护往往陷入一纸空谈的状态,不利于农村环保事业的健康发展。

1.2 环保意识淡薄是农村环境恶化的原因

我国农村人口受教育程度比较低,长期以来农民生态环境保护意识淡薄,滥砍乱伐树木、过度开采资源、随意处置农业废弃物的现象严重,“垃圾乱倒、污水乱泼、畜禽乱放、死畜乱扔”等不良的生活习惯常见。基层农村管理者的大部分农村干部,凡事喜欢讲政策灵活性,忽视了环保工作的法律强制性,使现存涉及农村环境保护的法律、法规、规章等在具体工作中被政策化,以政策的原则性、实践性、灵活性代替了法律法规的强制性、规范性、稳定性^[4],造成新农村环境保护障碍重重,农村环境污染持续恶化。

1.3 生产方式不科学进一步加剧了农村环境恶化

由于历史原因,我国农村普遍缺乏生产技术的培训,近年来,基层政府加强了这方面的投入与建设,目前农民生产素质较差,在农业生产过程中不依土壤地力、不同作物品种和生长期需求量有的放矢施肥;偏好于使用方便的无机化肥,不注重兼顾传统有机农家肥使用等;粗放式的生产方式造成生产成本提高的同时也导致了环境污染^[5]。

收稿日期:2013-05-21

作者简介:张宝林(1974—),男,江苏镇江人,工程师,主要从事环境工程及环境科研。E-mail: vipzjlf@163.com。

[31]王娟,和文祥,孙铁珩.铜对土壤脲酶活性特征的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(11):135-140.

[32]黄峥,闵航,吕镇梅,等.铜离子与铜镉离子复合污染对稻田土壤酶活性的影响研究[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2006,32(5):557-562.

[33]张亚玉,孙海,宋晓霞.农田栽培根区土壤脲酶活性与土壤养分的关系[J].吉林农业大学学报,2010,32(6):661-665,683.

[34]赵峰,湛斌,李明顺.锰及镉复合污染对锰矿区茶园土壤酶活性的影响[J].广西师范大学学报:自然科学版,2008,26(4):

128-131.

[35]焦晓光,隋跃宇,张兴义.土壤有机质含量与土壤脲酶活性关系的研究[J].农业系统科学与综合研究,2008,24(4):494-496.

[36]贾若凌,李丽,刘香玲,等.荔枝果园土壤脲酶活性与土壤肥力的关系研究[J].河南农业科学,2011,40(6):79-81.

[37]白世红,马风云,李树生,等.黄河三角洲不同退化程度人工刺槐林土壤酶活性、养分和微生物相关性研究[J].中国生态农业学报,2012,20(11):1478-1483.