

不同土地利用方式下石灰土土壤团聚体与土壤酶活性的关系

周玮^{1,2}, 周运超¹, 鲁秦安³

(1. 贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州民族学院化学与环境学院, 贵州 贵阳 550005; 3. 西安文理学院 生命科学系, 陕西 西安 710065)

摘要: 为了解不同土地利用方式下土壤团聚体结构以及不同团聚体粒级下土壤酶活性情况, 选择花江地区不同土地利用方式(乔木林、荒地、耕地、花椒林)下的土壤作为研究对象, 应用于筛法获得不同粒径团聚体, 并对其土壤酶活性进行研究。结果表明, 乔木林中大团聚体(粒径 >5 mm)最多, 微团聚体(粒径 <0.25 mm)最少, 而荒地则相反。蔗糖酶、淀粉酶、蛋白酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶活性在 3 种团聚体中大小顺序是微团聚体 $>2\sim 1$ mm 团聚体 $>$ 大团聚体, 随着团聚体粒级的增大, 酶活性减少。多酚氧化酶及脲酶酶活性的大小顺序为微团聚体 $>$ 大团聚体 $>2\sim 1$ mm 团聚体。微团聚体土壤中酶活性最高, 乔木林中微团聚体最少, 说明乔木林中土壤酶活性相对较低, 土壤中速效养分分解较慢, 而耕地则相反。

关键词: 土地利用方式; 团聚体; 土壤酶

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0059-06

中图分类号: S716.2

Relationship Between Soil Enzyme Activity and Aggregates in Calcareous Soils Under Different Land Uses

ZHOU Wei^{1,2}, ZHOU Yun-chao¹, LU Qin-an³

(1. Forest Academy of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550005, China;

2. School of Chemistry and Environmental Science in Guizhou University for Nationalities, Guiyang, Guizhou, 550025, China; 3. Department of Life Science, Xi'an University of Arts and Science, Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract: Four soil samples were collected from Huajiang district to represent four different types of land management, including in forest, abandoned land, cultivated land and *Zanthoxylum bungeanum* forest. Soil aggregates were obtained with dry sieving method for soil enzyme activity analysis. The results show that in the forest, the large soil aggregates (>5 mm) had the strongest soil enzyme activity, and the micro-aggregates (<0.25 mm) had the lowest. The aggregates from the abandoned land showed an opposite trend, and the aggregates the farmland and *Zanthoxylum bungeanum* forest were the intermediate. The sucrose, amylase, urease, protease, and phosphatase of the aggregates of all the three sizes showed the highest activity in the forest, and the lowest in the cultivated land. The catalase activity of the aggregates from the abandoned land sample was the lowest. The amylase activity of micro-aggregates (<0.25 mm) was the highest. The aggregates showed the order of decreasing amylase, protease, acid phosphatase, and catalase activities as: micro-aggregates $> 2\sim 1$ mm aggregates $>$ large aggregates. With increase of aggregate size, the enzyme activity decreased. The aggregates also showed the order of decreasing polyphenol oxidase and urease activities as: micro-aggregates $>$ large aggregates $> 2\sim 1$ mm aggregates. The enzyme activity of soil micro-aggregates of was the highest. The forest had the least content of micro-aggregate. The results indicate that the soil enzyme activity in the forest was relatively low, resulting a slow release rate of available nutrients. On the contrary, the nutrients in the cultivated land were released quickly.

Keywords: land management types; aggregation; soil enzyme

收稿日期: 2010-12-17

修回日期: 2011-01-21

资助项目: 贵州省自然科学基金项目“不同碳酸盐岩石对土壤侵蚀影响的研究”(黔省专合字[2008]7号)

作者简介: 周玮(1982—)女(汉族), 贵州省盘县人, 博士, 主要从事森林土壤生态研究。E-mail: zhwei1982802@126.com。

通信作者: 周运超(1964—), 男(汉族), 贵州省兴仁县人, 教授, 博导, 主要从事森林土壤学研究。E-mail: fc.yzhou@gzu.edu.cn。

土壤团聚体具有一定的机械稳定性和水稳定性,它是由土壤颗粒凝聚、胶结和黏结而相互联结组成的。土壤团聚体大小和含量是土壤重要的物理性质,是土壤质量高低、抗侵蚀能力强弱的主要指标^[1-3]。研究表明,团聚体是土壤肥力的中心调节器,影响着土壤的孔隙性、持水性、通透性和抗蚀性,任何土壤的退化首先表现在团粒结构的消失。团聚体含量高的土壤,不仅具有高度的孔隙度和持水性,而且具有良好的透水性,从而减少地表径流,降低土壤受侵蚀的程度^[4]。团聚体对土壤的抗蚀能力起重要的作用,大团聚体土壤的抗蚀能力大于小团聚体土壤^[5]。土壤大团聚体含量增加使得土壤孔隙度、入渗能力和土壤持水量均得到有效改善^[6]。

花江峡谷水土流失严重,在水土流失导致的石漠化过程中,土壤中不同粒径的团聚体的含量发生了变化。大小不同的团聚体,其物质和能量循环转化的速度存在显著的差异^[7],在土壤肥力保持、稳定及提高上所起的作用不同^[8]。不同团聚体粒级下土壤酶的活性不同,土壤酶活性升高,土壤肥力提高^[9-10]。大小不同的团聚体其微生物数量及种群差异也很大,土壤酶活性也存在明显差异,而在喀斯特地区石漠化过程中不同土地利用方式下不同粒径团聚体的变化情况不同,因此了解不同土地利用方式下土壤团聚体结构以及不同团聚体粒级下土壤酶活性情况具有非常重要的意义。本试验选择花江地区几种重要的利用方式,研究不同利用方式下土壤团聚体的分布情况以及不同团聚体粒级下土壤酶活性的情况,目的在于为喀斯特地区土壤资源的合理利用及结构的调控管理提供依据。

1 样品采集及研究方法

1.1 样地的选择

试验区位于贵州西南部贞丰县北盘江镇,地理位置 105°25′—105°56′E, 25°07′—25°44′N, 北坡, 海拔 600~800 m, 碳酸盐类岩占 78.45%^[11], 属典型的喀

斯特峡谷。由于长期强烈的水土流失, 基岩裸露, 石漠化十分严重, 裸岩面积达 70% 以上^[12], 属中强度喀斯特石漠区^[13]。研究区内主要是碳酸盐类岩石上发育的土壤, pH 值在 6.0 以上。花江峡谷区由于岩溶发育, 河谷深切, 地下水埋藏深, 地表干旱, 人为加速土壤侵蚀严重, 植被次生性明显, 生境干热特征显著, 是已严重石漠化的生态系统^[14]。乔木林生长有小叶榕 (*Ficus concinna*)、朴树 (*Celtis tetrandra* susp. *sinensis*) 和南酸枣 (*Choerospondias axillaria*) 等常绿阔叶树, 土层厚, 林下植被多, 湿度大; 荒地地势比较平缓, 土层较薄, 干旱, 有芒草 (*Miscanthus sinensis*)、野古草 (*Arundinella anomala*)、金银花 (*Lonicera japonica*)、苦蒿 (*Conyza blinii*)、蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*) 等零星草丛; 耕地种植的作物为玉米 (*Zea mays* L.), 土层较厚, 地势平。花椒林为 14 年生花椒林, 林地中除人工种植的顶坛花椒 (*Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensi*) 外, 主要有构树 (*Broussoneti papyrifera*)、香椿 (*Toona sinensis*) 等, 由于人为的管理作用 (松土、除草等), 林内基本无杂草。

1.2 研究方法

在乔木次生林、荒地、花椒林、坡耕地分别选取 3 个样地 (表 1), 每个样地 3 个重复, 采用 S 型或梅花型混合取样法采取表层土壤 (0—20 cm), 每个土样重约 1 kg (1 袋), 用于测定土壤酶活性。另外在同位置取原状土, 土样取回后在室温下风干, 直接用人工干筛法测定土壤团聚体^[15]。

选择 3 个粒径 [>5 mm (D_5), $2\sim 1$ mm (D_{2-1}), <0.25 mm ($D_{0.25}$)] 土壤筛的土壤进行土壤酶活性测定, 其中蔗糖酶、淀粉酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定; 脲酶活性采用苯酚一次氯酸钠比色法测定; 蛋白酶活性采用茚三酮比色法测定; 过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定; 多酚氧化酶活性用碘量滴定法测定; 磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定^[15]; 团聚体采用干筛法^[16]进行筛分。

表 1 样地基本情况

土地利用方式	采样地点	环境条件
乔木次生林	山中上部	土层厚, 分为两层, 上层黑褐色, 下层黄色, 植物类型多样, 覆盖度高, 林下几乎没有光照, 湿度大, 主要有小叶榕、朴树、南酸枣等乔木, 林下草丛密布。
荒地	山中部	地势比较平缓, 但是土层较薄, 干旱, 有开裂现象, 黄色土壤, 只有零星的草丛。
花椒林	山中部	石窝、石槽, 石缝中有少量构树, 香椿生长, 覆盖度差, 土壤裸露, 黄色, 大量枝条枯死, 有伐桩, 由于人为的除草等措施, 林下基本无植被。
坡耕地	中部山坳	土层厚, 黄色, 主要种植玉米农作物, 人为适时进行除草、翻耕, 无杂草, 土壤松散。

2 结果与讨论

2.1 不同土地利用方式下土壤团聚体

土壤团聚体是指土壤所包含的大小不同,形状各异的孔穴度和机械稳定性及水稳性的团聚体的总和,是鉴定土壤肥力的指标之一。由于团聚体内存在毛管孔隙,各团聚体间又存在大孔隙,土壤微生物的嫌气、好气过程同时存在,不仅有利于微生物活动,增加速效养分含量,而且能使有机质等养分的消耗减少。土壤团聚体分析结果表明(图 1),不同的土地利用方式下,团聚体各粒级含量没有明显的变化,基本是 >5 mm, 2~1 mm 团聚体含量较高,而 3~2 mm, <0.25 mm 团聚体在土壤中的含量较低。土壤中 >5 mm, 3~2 mm 团聚体含量的大小顺序基本上是乔木林>花椒林、荒地>耕地,其中乔木林中大团聚体含量最高,耕地中含量最低,而花椒林与荒地中含量差异不明显。2 mm 以下土壤团聚体含量的大小顺序是耕地>花椒林、荒地>乔木林,耕地土壤中小团聚体含量最多,因为耕地土壤被经常翻耕,有时还使用松土剂分散土壤颗粒,所以大团聚体含量在耕地中较少,而小团聚体含量则比较高。Elliott 和 Coleman^[17]认为大团聚体首先形成,小团聚体再形成于大团聚体内部的有机质颗粒周围,或由于有机质分解,大团聚体破碎成小团聚体^[18]。可见,施肥、植被、耕作管理等措施都会影响土壤团聚体的形成。乔木林中则正好相反,大团聚体在乔木林中含量高,小团聚体含量低,土壤发生水土流失的可能性小,土壤的抗冲刷能力强,并且乔木林中植物的根系发达,更加有利于保持水土。耕地则土壤松散,地上作物随季节变化,有时处于裸露状态,容易发生地表径流,引发水土流失。花椒林、荒

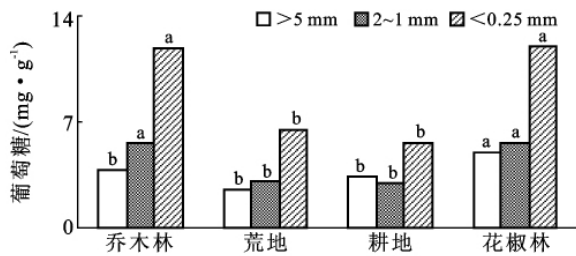


图 2 不同土地利用方式下土壤团聚体蔗糖酶活性
注:相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著。下同。

地介于乔木林与耕地之间,从土壤团聚体的角度来看花椒林的水土保持作用不如乔木林,与荒地相近。

2.2 团聚体土壤酶活性

2.2.1 蔗糖酶 蔗糖酶是转化酶中一种重要的酶类,与土壤性质以及土壤的养分含量都有关系。分析结果(表 2)表明,不同利用方式、不同粒级对土壤蔗糖酶活性的影响都显著不同。不同土地利用方式下,土壤中 >5 mm, 2~1 mm 团聚体蔗糖酶活性的变化顺序为花椒林>乔木林>耕地>荒地,花椒林下土壤中蔗糖酶的活性最高,荒地最低;<0.25 mm 团聚体土壤蔗糖酶活性的变化顺序为花椒林>乔木林>荒地>耕地(图 2)。在这几种土地的利用方式下,蔗糖酶的活性为 $D_{2.5} > D_{2-1} > D_5$, 随着团聚体粒级的减小,土壤中蔗糖酶的活性升高。汪景宽等^[19]在对土壤微团聚体中酶活性的比较中得出,随着团聚体粒级的增加,土壤中各种酶的活性逐渐减弱。不同土地利用方式下,蔗糖酶主要被吸附在小粒级团聚体中。乔木林中大团聚体含量高,小团聚体含量低,说明乔木林中蔗糖酶的活性不高;耕地中大团聚体含量低,小团聚体含量比较高,蔗糖酶活性相应较高;花椒林、荒地中蔗糖酶活性介于乔木林与耕地之间。

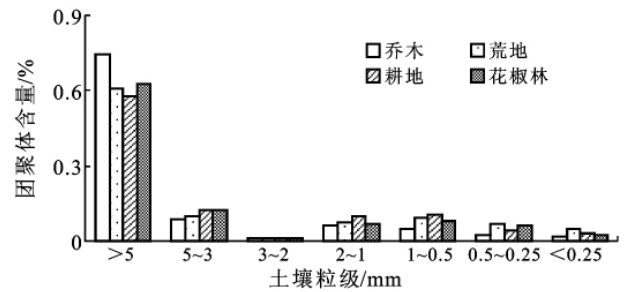


图 1 不同土地利用方式下土壤团聚体含量

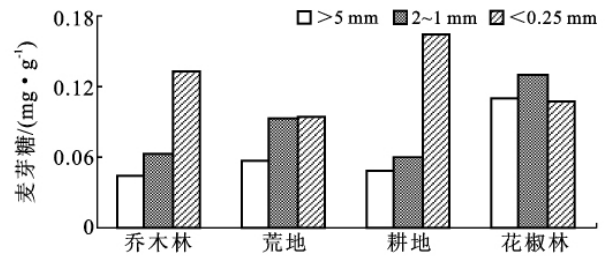


图 3 不同土地利用方式下土壤团聚体淀粉酶活性

表 2 不同利用方式及粒级土壤酶活性显著性分析

项目	蔗糖酶	淀粉酶	脲酶	蛋白酶	酸性磷酸酶	碱性磷酸酶	过氧化氢酶	多酚氧化酶
利用方式	4.61*	1.14	3.52*	9.28**	6.04**	5.14**	1.53	3.43*
粒级	44.46**	9.01**	0.72	58.42**	30.91**	10.94**	3.21	8.67**

注: $F_{0.05}(3,36) = 2.183, F_{0.05}(2,36) = 3.403$ 。

2.2.2 淀粉酶 淀粉酶参与了自然界的碳素循环,与土壤中有有机物质,特别是有机碳的分解有很大关系。不同土地利用方式下土壤中 >5 mm 团聚体淀粉酶活性的变化顺序是花椒林 $>$ 荒地 $>$ 耕地 $>$ 乔木林,花椒林下土壤中淀粉酶的活性最高,乔木林中活性最低; $2\sim 1$ mm 团聚体中淀粉酶活性的变化顺序为花椒林 $>$ 荒地 $>$ 乔木林 $>$ 耕地; <0.25 mm 团聚体土壤淀粉酶活性的变化顺序是耕地 $>$ 乔木林 $>$ 花椒林 $>$ 荒地,耕地中淀粉酶的活性最高,荒地中淀粉酶的活性最低(图 3)。在这几种土地利用方式下,淀粉酶的活性在这 3 种粒级下没有明显的变化,但是在不同的团聚体粒级中淀粉酶的活性有明显的差异。显著性分析结果(表 2)也表明团聚体粒级对不同土地利用方式下淀粉酶活性的影响显著,而不同土地利用方式下土壤淀粉酶活性变化不明显。总之,在 3 个粒级下随着团聚体粒级的增大,土壤中淀粉酶的活性降低。宇万太等^[20]的研究证明土壤微团聚体与土壤有机碳的含量存在显著相关关系,而淀粉酶与土壤有机碳的含量之间又存在明显的相关关系,所以 <0.25 mm 微团聚体中淀粉酶的活性最高。荒地中 <0.25 mm 团聚体含量最低,说明荒地中淀粉酶的活性最低,耕地中则相反,淀粉酶活性较高,这可能是因为在人为的管理措施下施用了大量的有机肥,促进了土壤中淀粉酶的活性。

2.2.3 脲酶 不同土地利用方式下土壤中 >5 mm 团聚体脲酶活性的变化顺序为乔木林 $>$ 花椒林 $>$ 耕地 $>$ 荒地,乔木林下土壤中脲酶的活性最高,荒地中活性最低; $2\sim 1$ mm 团聚体中脲酶活性的变化为乔木林 $>$ 花椒林 $>$ 荒地 $>$ 耕地; <0.25 mm 团聚体土壤脲酶活性的变化顺序为乔木林 $>$ 花椒林 $>$ 荒地 $>$ 耕地,耕地中脲酶的活性最低,乔木林中最高(图 4)。在不

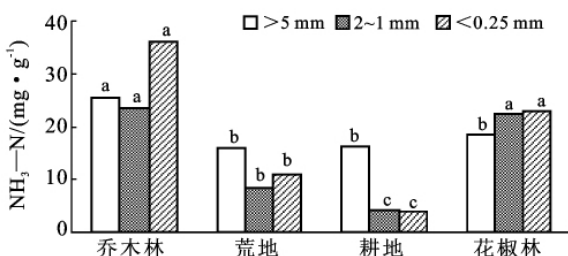


图 4 不同土地利用方式土壤团聚体脲酶活性

2.2.5 磷酸酶 土壤磷酸酶活性与磷素的有效性有直接关系,能够酶促土壤中的磷素成为植物可以利用的有效性磷。不同土地利用方式下土壤酸性磷酸酶、碱性磷酸酶的活性变化情况基本一致,为乔木林 $>$ 花椒林 $>$ 荒地 $>$ 耕地,乔木林中土壤团聚体中磷酸酶的

同土地利用方式下土壤脲酶活性没有明显差异。在乔木林、荒地中不同粒径团聚体之间脲酶活性变化不明显,耕地、花椒林中不同粒径团聚体间脲酶活性差异明显。在这几种显著性分析结果也表明团聚体粒级对不同土地利用方式下脲酶活性的影响不显著(表 2)。总之土壤脲酶活性在不同的土地利用方式下表现为乔木林 $>$ 花椒林 $>$ 荒地 $>$ 耕地。乔木林中脲酶活性最高,能酶促土壤中氮素的分解,增加其有效性。耕地中最低,影响土壤中氮素的有效性,进而影响了植物对氮素的吸收。在 3 个团聚体粒级中脲酶活性大致是 $D_{0.25} > D_5 > D_{2\sim 1}$ 。 <0.25 mm 微团聚体中脲酶的活性最高, Van Geste^[21]认为微生物量氮主要由黏粒和有机质的含量决定,土壤微生物主要吸附在小颗粒上^[22]。Singh^[23]的结果也表明微生物量氮在微团聚体中较高。

2.2.4 蛋白酶 不同土地利用方式下土壤中 >5 mm 团聚体蛋白酶活性的变化顺序是花椒林 $>$ 乔木林 $>$ 荒地 $>$ 耕地,花椒林下土壤中蛋白酶的活性最高,耕地活性最低; $2\sim 1$ mm 团聚体蛋白酶活性的变化顺序是乔木林 $>$ 花椒林 $>$ 荒地 $>$ 耕地, <0.25 mm 团聚体土壤蛋白酶活性变化顺序是花椒林 $>$ 乔木林 $>$ 荒地 $>$ 耕地(图 5)。不同的土地利用方式对蛋白酶活性的影响显著。在这几种土地利用方式下蛋白酶的活性基本上是 $D_{0.25} > D_{2\sim 1} > D_5$,只是在花椒林中 >5 mm 略高于 $2\sim 1$ mm 团聚体中蛋白酶活性。随着团聚体粒级的减小,土壤中蛋白酶的活性升高。显著性分析结果也表明不同的粒级对土壤团聚体中蛋白酶活性的影响都显著不同(表 2)。总之,土壤蛋白酶活性在不同土地利用方式下的顺序为乔木林 $>$ 花椒林 $>$ 荒地 $>$ 耕地。乔木林中蛋白酶活性最高,耕地中最低。

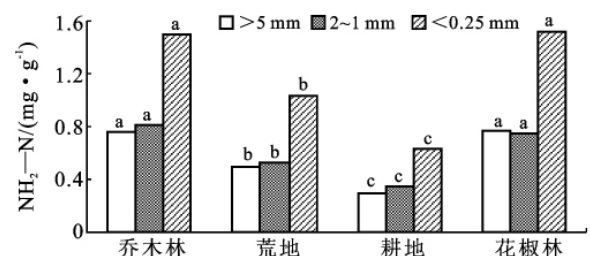


图 5 不同土地利用方式土壤团聚体蛋白酶活性

活性最高,而耕地中磷酸酶的活性最低,说明在乔木林中磷素的有效性最高,而耕地中则最低。在各种利用方式下不同粒级下团聚体酸性磷酸酶的变化情况基本上都为 $D_{0.25} > D_{2\sim 1} > D_5$,只是在花椒林中 >5 mm 略高于 $2\sim 1$ mm 团聚体中酸性磷酸酶活性(图

6)。碱性磷酸酶活性的变化基本在乔木林和荒地中是 $D_5 > D_{0.25} > D_{2-1}$, 在花椒林和耕地中则是 $D_{0.25} > D_5 > D_{2-1}$ (图 7)。不同的利用方式和不同的粒级下磷酸酶的活性都显著不同。酸性磷酸酶、碱性磷酸酶活性在不同的土地利用方式下为乔木林 > 花椒林 > 荒地 > 耕地, 磷酸酶能够激活土壤中的磷素, 使之成为植物可利用的磷素, 有利于植物的生长、发育。其中微团聚体的中的酸性磷酸酶、碱性磷酸酶活性最高

的, 因为微团聚体中主要是黏粒, 为黏土矿物, 微生物的活动最强。文倩等^[24]的研究结果也表明全磷含量在大团聚体中的含量高于小团聚体; 土壤速效磷含量则相反, 在小团聚体中较高, 表明土壤大团聚体可能是磷转化的库, 小团聚体是土壤磷供给的源, 与本研究的结果一致。Gupta^[25]也发现小团聚体含有更多的速效磷和相对较高的有机磷活性, 这与本文的研究结果一致。

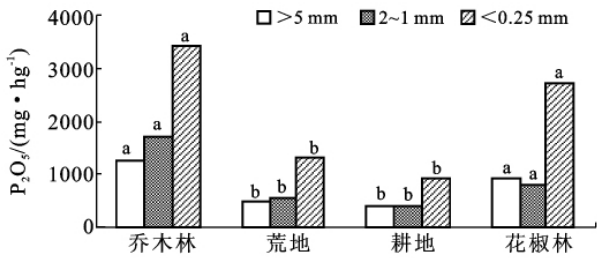


图 6 不同土地利用方式土壤团聚体碱性磷酸酶活性

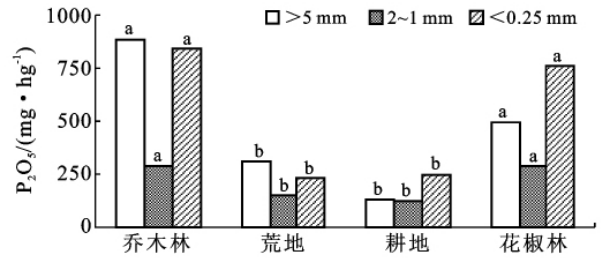


图 7 不同土地利用方式土壤团聚体酸性磷酸酶活性

2.2.6 过氧化氢酶 过氧化氢酶对土壤有重要的解毒作用, 并且与土壤中的有机质的含量有关。团聚体中土壤过氧化氢酶在不同的土地利用方式下 > 5 mm, 2~1 mm 粒级的活性的大小顺序基本上是乔木林 > 耕地 > 花椒林 > 荒地, 花椒林过氧化氢酶活性最高, 乔木林中最低; 在 < 0.25 mm 粒级中过氧化氢酶的活性大小顺序是花椒林 > 耕地 > 乔木林 > 荒地, 在各个粒级中荒地中土壤过氧化氢酶活性最低 (图 8)。说明荒地土壤的解毒能力最差, 有毒物质在荒地中大量积累。在耕地和花椒林中随着团聚体粒级的增加土壤过氧化氢酶的活性逐渐减弱, 在乔木林、荒地中则是 2~1 mm 这个粒级中的活性最高, 其次是 > 5 mm 的团聚体, 最少的是 < 0.25 mm 的微团聚体中土壤的活性。

2.2.7 多酚氧化酶 多酚氧化酶是腐殖化的一种媒介。团聚体土壤多酚氧化酶在不同的土地利用方式下比较大。基本上在 3 个粒级中多酚氧化酶的活性大小顺序为乔木林 > 荒地 > 花椒林 > 耕地, 只是在荒地中 2~1 mm 的最低 (图 9)。说明相对于乔木林, 花椒林地土壤的腐殖化能力较弱, 而相对于耕地则比耕地略好。

总的来说土壤过氧化氢酶的活性的大小顺序是乔木林 > 耕地、花椒林 > 荒地, 乔木林中过氧化氢酶活性最高, 土壤的解毒能力最强, 荒地则最低。花椒林与耕地中过氧化氢酶活性的差异不明显, 可能因为两种利用方式下土壤受人造的干扰都比较大, 解毒能力的差异不显著。

在 3 个不同的粒级下土壤多酚氧化酶的活性没有明显的变化规律, 可能是因为在不同土地利用方式下土壤的团聚状况不一致, 所以团聚体土壤多酚氧化酶的活性也就没有一定的变化规律。土壤的腐殖化能力的大小顺序基本上是乔木林 > 荒地 > 花椒林 > 耕地, 乔木林中植被的覆盖率比较高, 林内温度高, 有利于微生物的活动, 酶的活性也相应提高, 土壤的腐解能力强。

然而, 耕地中一轮种植完成后大多生物量被清除, 并且经常翻耕土壤, 土壤内的环境条件变化较大, 不利于微生物的活动, 腐殖化能力较弱, 土壤中腐殖质含量少。

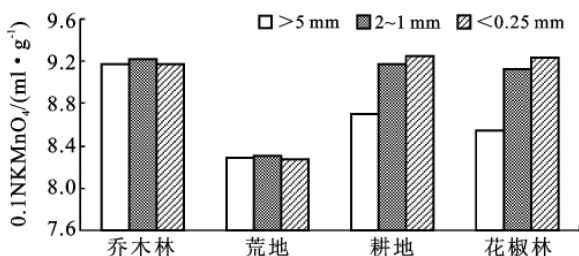


图 8 不同土地利用方式土壤团聚体过氧化氢酶活性

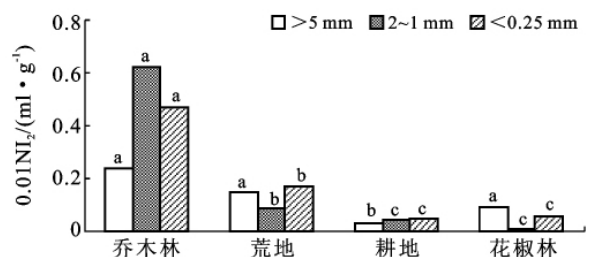


图 9 不同土地利用方式土壤团聚体多酚氧化酶活性

3 结论

土壤团聚体的形成是一个复杂的物理、化学、生物及生物化学过程,其详细的机理目前还不完全清楚。Tisdall^[26]认为 2~20 mm 的微团聚体首先形成,这种高稳定性的微团聚体在植物根系和真菌菌丝的作用下,形成相对不稳定的大团聚体。Elliott 和 Coleman^[17]则认为大团聚体首先形成,小团聚体再形成于大团聚体内部的有机质颗粒周围,或由于有机质分解,大团聚体破碎成小团聚体。可见,施肥、植被、耕作管理等措施都会影响到土壤团聚体的形成。对花江地区不同土地利用方式下不同粒径团聚体含量及其土壤酶活性进行研究的结果表明,>5 mm 大团聚体在乔木林中最多,<0.25 mm 微团聚体最少,说明乔木林根系较发达,固结作用较好,因此,土壤侵蚀量少。<0.25 mm 微团聚体中土壤酶的活性最高,大团聚体中酶活性较低,说明乔木林中土壤酶活性相对较低,土壤中有效元素的积累量较低,分解、释放速度较慢,有利于林地内土壤的可持续利用及植物的可持续生长,而从不同的土地利用方式下土壤酶活性相比较,乔木林土壤酶的活性较高。这说明在乔木林中植物养分的回归量与植物从土壤中的吸收、利用量达到了一个平衡的关系,使得土壤中的有效元素得到充分的利用,并处于不断的循环过程中,使得整个生态系统处于一个不断流动的相对平衡与健康的状态。耕地及花椒林的情况则不同,由于农户的精耕细作,不断进行耕地、除草等田间管理,使得土壤中的团聚状况被改变,团聚体量增多,大团聚体减少,土壤抗侵蚀力降低,一旦发生突发性洪水,小粒径团聚体容易被冲掉,加剧水土流失。微团聚体中土壤酶活性较高,土壤中速效养分的分解较快,如果人为加入养分的过程缺失则土壤中养分流失较快,不利于土壤的可持续利用,短期内可促进植物生长有一定的经济效益,但对长期经营则不利,整个生态系统会处于不平衡状态。荒地中植物较少,缺少根系的固着作用,土壤较松散,微团聚体量最多,并且少了地表植物使得土壤抗侵蚀、冲刷能力最弱。各粒径团聚体酶活性最低(除多酚氧化酶外),因为荒地中植被较少,阳光直射,土壤温度变幅较大,微生物的活性较少,土壤酶的活性较弱,因此土壤中有效元素的分解能力弱,荒地生态系统是一个养分低归还、低释放的生态系统。蔗糖酶、淀粉酶、蛋白酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶活性在 3 种团聚体中大小顺序是 $D_{0.25} > D_5 > D_{2-1}$,随着团聚体粒级的增大,酶活性减少。其余土壤酶活性的大小为 $D_{0.25} > D_{2-1} > D_5$,<0.25 mm 微团聚体土壤中酶活性最高。

[参 考 文 献]

- [1] 张华,张甘霖. 土壤质量及其评价方法[J]. 土壤, 2001(6):326-330.
- [2] 张兴昌,邵明安. 水蚀作用下土壤氮与有机质流失[J]. 应用生态学报, 2000,11(2):231-234.
- [3] 郑昭佩,刘作新. 土壤质量及其评价[J]. 应用生态学报, 2003,14(1):131-13.
- [4] 廖超林,何毓蓉,徐佩. 泥石流源地土壤团聚体抗蚀特征研究:以蒋家沟为例[J]. 地球与环境, 2005,33(4):65-70.
- [5] 李阳兵,魏朝富,谢德体,等. 岩溶山区植被破坏前后土壤团聚体分形特征研究[J]. 土壤通报, 2006,37(1):51-56.
- [6] 史东梅,吕刚,蒋光毅,等. 马尾松林地土壤物理性质变化及抗蚀性研究[J]. 水土保持学报, 2005,19(6):35-41.
- [7] 陈利军,周礼凯. 土壤保肥供肥机理及其调节 II:棕壤型菜园土的腐殖质结合形态及其肥力学意义[J]. 应用生态学报, 1999,10(4):427-429.
- [8] Steenwerth K L, Jackson L E, Calderon F J, et al. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002,34:1599-1611.
- [9] 杨玉盛,李振问,俞新妥,等. 杉木林替代阔叶林后土壤肥力的变化[J]. 植物生态学报, 1994,18(3):236-242.
- [10] 杨承栋,焦如珍. 杉木人工林根际土壤性质变化的研究[J]. 林业科学, 1999,35(6):2-9.
- [11] 龙健,李娟,滕应,等. 贵州高原喀斯特环境退化过程土壤质量的生物学特性研究[J]. 水土保持学报, 2003,17(2):47-50.
- [12] 彭建,杨明德. 贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析[J]. 山地学报, 2001,19(6):511-515.
- [13] 刘方,王世杰,刘元生,等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. 生态学报, 2005,25(3):639-644.
- [14] 李阳兵,王世杰,熊康宁. 花江峡谷石漠化土地生态重建及其启示[J]. 中国人口·资源与环境, 2005,15(1):138-142.
- [15] 关荫松. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社, 1986:172-289.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科技出版社, 1978:498-534.
- [17] Elliott E T, Coleman D C. Let the soil work for us[J]. Ecology Bulletin, 1988,39:23-32.
- [18] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil micro-aggregate turnover and micro-aggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000,32:2099-2103.
- [19] 汪景宽,汤方栋,张继宏,等. 不同肥力棕壤及其微团聚体中酶活性比较[J]. 沈阳农业大学学报, 2000,31(2):185-189.

(下转第 162 页)

计受到项目负面影响的人群比例最高。良好的教育有利于居民就业和收入增加,表示项目结束后再次开荒种田的人群比例随居民受教育水平和经济收入的提高显著下降,这一结果证明普及教育、发展经济是巩固生态修复成果的重要保障。

4 结论

研究结果证实,黑河流域综合治理项目在黑河下游地区取得了巨大成果的同时,也存在一定的问题:下游地区农业种植结构不合理,农业用水占用生态用水,开展节水灌溉推广难度大,灌溉管理亟待加强,生态治理成果维护风险大。因此,政府在产业结构引导中,要坚持“市场导向、资源依托、环境友好”的原则。既要立足于本地地区的资源比较优势,还要立足于发展节水型特色产业,保护和恢复脆弱的生态环境。节水技术由于初期投资大,加上农产品价格低廉,土地面积过于分散,很多人不愿意花钱投入,所以政府扶持是决定农户采用先进节水灌溉技术的关键因素。同时,加强对水资源的商品化管理,使水价能够反映水资源的稀缺程度及其在农业增产中的作用,利用经济杠杆促进水资源的高效利用。

黑河流域农业节水和生态建设是一项综合工程。在进行治理的同时,要把增加农牧民收入和提高文化素质结合起来。开展基本农田建设,提高区域农业生产能力,提供岗位培训与信息服,为农牧民提供更多

的就业机会,提高农村的社会福利保障等等。建立环境与经济、社会综合发展的环境政策,把发展经济、改善教育、提高居民的生活质量与环境修复有机地结合起来是黑河流域农业节水和生态建设工程的最终目标。

[参 考 文 献]

- [1] 陈琤. 官僚制中政策评估的困境及其改进:从评估的社会互动性角度分析[J]. 行政论坛, 2003(1): 11-13.
- [2] 约翰·朗沃斯, 格里格·威廉目森. 中国的牧区[M]. 兰州: 甘肃文化出版社, 1995: 110-111.
- [3] 郭巧玲, 冯起, 杨云松, 等. 黑河中游灌区可持续发展水价研究[J]. 人民黄河, 2007, 29(12): 65-68.
- [4] 唐德善, 蒋晓辉. 黑河调水及近期治理后评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 79-81.
- [5] 路京选, 乔茂云, 贺祥, 等. 黑河流域下游额济纳绿洲生态保护与移民安置[J]. 水利经济, 2002(6): 62-65.
- [6] 肖洪浪, 赵文智, 冯起, 等. 中国内陆河流域尺度的水资源利用率提高研究: 黑河流域水—生态—经济管理试验示范[J]. 中国沙漠, 2004, 24(4): 381-384.
- [7] 周立华, 杨国靖. 黑河下游额济纳旗农业特色产业的选择与评价[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 92-195.
- [8] 朱玉春, 杨瑞. 西北地区节水农业的问题、影响因素及对策[J]. 开发研究, 2006(1): 18-21.
- [9] 韩青, 谭向勇. 农户灌溉技术选择的影响因素分析[J]. 中国农村经济, 2004(1): 63-69.
- [10] 崔维本, 刘玉兰, 齐元花. 发展节水灌溉促进农村经济可持续发展[J]. 节水灌溉, 2006(1): 49-50.
- (上接第 64 页)
- [20] 宇万太, 沈善敏, 张璐, 等. 黑土开垦后水稳性团聚体与土壤养分的关系[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2287-2291.
- [21] Van Gestel M, Merckx R, Vlassak K. Spatial distribution of microbial biomass in microaggregates of a silty-loam soil and the relation with the resistance of microorganisms to soil drying[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1996, 28(4/5): 503-510.
- [22] Kandeler E, Stermmer M, Klimanek E M. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31: 261-273.
- [23] Singh S, Singh J S. Microbial biomass associated with water-stable aggregates in forest, savanna and cropland soils of a seasonally dry tropical region, India[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27(8): 1027-1033.
- [24] 文倩, 赵小蓉, 张书美, 等. 半干旱地区不同土壤团聚体中微生物量磷的分布特征[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 327-332.
- [25] Gupta V V S R, Germida J J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1988, 20: 777-786.
- [26] Tisdall J M. Possible role of soil micro-organisms in aggregation in soils[J]. Plant and Soil, 1994, 159: 115-121.