

# 砾石覆盖年限对连作农田土壤微生物和酶活性的影响

邱阳, 王亚军, 谢忠奎, 张亚娟

(中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 以中国科学院皋兰试验站的连续砾石覆盖 2, 7, 11, 15 和 20 a 的连作西瓜农田为对象, 对不同覆盖年限连作西瓜农田土壤中微生物数量、过氧化氢酶、淀粉酶、蔗糖酶、多酚氧化酶、脱氢酶活性进行了研究。结果表明, 随着砾石覆盖年限的增加, 土壤微生物数量逐渐降低, 在覆盖 7~11 a 时最为稳定, 此后微生物多样性指数和均匀度指数持续降低。在 0~20 a 范围内, 砾石覆盖下多数土壤酶活性随着覆盖年限的延长呈抛物线变化趋势, 在砾石覆盖 10~11 a 之前呈上升趋势, 随后呈下降趋势。总体而言, 在砾石覆盖 11 a 左右的农田中, 土壤酶活性最高, 砾石覆盖超过 15 a 的农田土壤酶活性较低, 作物减产, 需要停耕堆肥, 重新换沙来维持产量。这一结果可为砾石覆盖农田土壤的持续利用与科学管理提供基础依据。

**关键词:** 砾石覆盖; 连作; 酶活性; 西瓜

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0065-04

中图分类号: S791.2

## Temporal Effects of Gravel-Sand Mulching on Soil Microbial Population and Soil Enzyme Activity in Croplands with Continuous Cultivation

QIU Yang, WANG Ya-jun, XIE Zhong-kui, ZHANG Ya-juan

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute,  
Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** Soil samples collected from continuous croplands with 2, 7, 11, 15 and 20 year gravel-sand mulching in Gaolan Research Station, Gansu Province were analyzed for soil microbial population and soil enzyme activities. The results show that with increase of mulching time, soil microbial population decreased from the beginning to a low stable state in about 7 to 11 years, and then the Shannon diversity index and McIntosh diversity index continued to decrease. The enzyme activities of soils showed a parabola curve over time. Most of them increased and reached their peaks in 10 to 11 years, and then declined. The soil enzyme activity of the cropland covered for more than 15 years was so low that the yield of the crops decreased. At this stage, farming practices should be stopped, and compost should be added with renewal of soil sand to recover the productivity of the land. The results of the study can provide a theoretical basis for the sustainable utilization and management of the gravel-sand mulched croplands.

**Keywords:** gravel-sand mulch; continuous cultivation; watermelon; soil enzyme activity

土壤酶是指土壤中微生物、植物根系和土壤中其它生物细胞产生的胞内酶和胞外酶的总称。土壤酶作为土壤的组成部分, 在土壤生态系统的物质循环和能量转化中起着非常重要的作用, 它催化土壤中的一切生物化学反应, 其活性可反映土壤各种生物化学过程的动向和强度<sup>[1-2]</sup>。

自 20 世纪 50 年代起, 欧洲和前苏联学者就将土壤酶活性看作土壤肥力指标, 国内外很多学者对土壤酶活性也进行了研究<sup>[3-4]</sup>。

农田砾石覆盖是我国一种传统的抗旱栽培方式, 至今已有 300 a 余的历史。研究证明, 砾石覆盖可减少土壤水分蒸发, 增加土壤温度, 提高作物产量和水分利用率<sup>[5]</sup>。特别在黄土高原西部地区, 采用砾石覆盖种植砂田西瓜, 在降雨量低于 300 mm 的地区可使 1 hm<sup>2</sup> 收入达到 30 000 元以上, 成为半干旱区旱作农业高效用水的典范。在黄土高原西部地区, 农田砾石面积逐年增加, 甘肃省 20 世纪 90 年代末期已达 118 000 hm<sup>2</sup>, 比 30 年代增加了将近 6 倍<sup>[6]</sup>。

土壤表面覆盖砾石以后,随着覆盖时间的延长,砾石层中混入程度不同的土壤颗粒,导致了砾石层的退化<sup>[7]</sup>。本试验以不同砾石覆盖年限的连作西瓜农田土壤为研究对象,研究其土壤微生物群落和土壤酶活性的变化特点,以期对砾石覆盖农田的可持续性利用和科学管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

以黄土高原西部半干旱区兰州荒漠草原地带的砾石覆盖农田为研究对象,试验布设在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的皋兰生态与农业综合试验站,地理坐标为 36°13'N,103°47'E。该站位于黄土高原西北部的皋兰县境内。皋兰县年平均降水量为 263 mm,70%的降雨分布在 6—9 月,最大年降水量为 392.4 mm,最小年降水量为 154.9 mm,年降水量相对变率为 21.9%,降水的变率大。多年月平均气温为 7.1℃,最低气温为-9.1℃(1 月),最高气温为 20.7℃(7 月),≥0℃的年积温 3 324.5℃。年潜在蒸发量为 930.6 mm,年水分亏缺量为 681.6 mm。本区地带性土壤为在黄土母质上发育的灰钙土,在中国土壤系统分类中为筒育雏形干旱土。

### 1.2 试验设置及样品采集

选择砾石覆盖 2,7,11,15,20 a 的连作西瓜农田,每个处理重复 3 次,共 15 个小区,每个小区面积为 50 m<sup>2</sup>,田间随机区组排列。2010 年 7 月,在各地按 S 型选取 5 点,用混合采样法采集 0—20 cm 深度的土壤样品,装入无菌袋中。采集的土样迅速带回实验室,剔除可见的动植物残体和石块。土样经风干处理后,磨细,过 1 mm 筛后用于分析土壤酶活性及土壤微生物。

### 1.3 测定方法

土壤有机碳含量采用重铬酸钾容量法——外加热法。细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂平板表面涂布法;真菌采用查彼克氏培养基平板表面涂布法;放线菌采用改良高氏 1 号合成培养基平板表面涂布法。细菌所取的土壤,液浓度为 10<sup>-5</sup>,真菌和放线菌所取的土壤悬液浓度分别为 10<sup>-3</sup>和 10<sup>-4</sup>,每个培养基浓度重复 3 次,然后置于恒温箱中培养<sup>[8]</sup>。

过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法,结果以每 1 g 风干土壤滴定所需 0.02 mol/L 的 KMnO<sub>4</sub> 的毫升数来表示。蔗糖酶采用 3,5—二硝基水杨酸比色法,结果以 24 h 后 1 g 土壤葡萄糖的毫克数表示。

脱氢酶采用 TTC 比色法,结果以 6 h 后 1 g 土壤中产生的三苯基甲腈的量表示。多酚氧化酶活性采用邻苯三酚比色法。结果以 2 h 后每克风干土壤生成的红紫脒精的毫克数表示。淀粉酶活性采用 3,5—二硝基水杨酸比色法,结果以 24 h 后 1 g 土壤中麦芽糖的毫克数表示<sup>[9-10]</sup>。数据按照不同砾石覆盖年限进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 砾石覆盖年限对土壤微生物群落结构组成的影响

不少学者研究认为,真菌型土壤是地力衰竭的标志,细菌型土壤是土壤肥力提高的一个生物指标。由图 1 可看出,土壤微生物组成中,细菌所占的比例都较大,这说明在试验区土壤中,细菌群落占据主导地位。细菌对土壤养分有效化,促进植物生长起着重要作用。在砾石覆盖初期,土壤微生物中细菌群落所占比例较高,随着砾石覆盖年限的增加,其比例有所下降。土壤真菌由于菌体或生物量较大,因而在改善土壤质量,促进植物生长方面具有不可忽视的作用。但是,试验区土壤微生物总数中真菌所占的比例非常小,因此对于该地区土壤质量改善方面的作用就相对小了很多。从图 1 中可以看出随着砾石覆盖年限的延长,土壤微生物群落的结构组成也发生明显的变化。

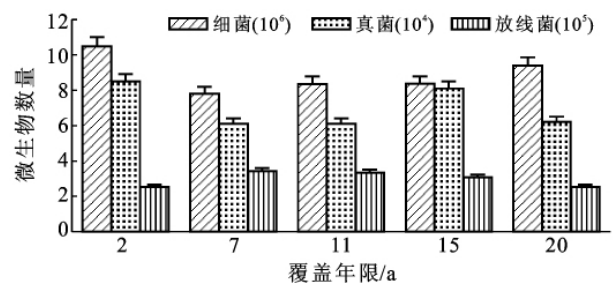


图 1 不同砾石覆盖年限土壤微生物群落结构组成的变化

### 2.2 砾石覆盖年限对土壤微生物群落功能多样性和均匀度指数影响分析

土壤微生物群落结构是评价土壤质量的一个敏感指标,土壤微生物群落结构越复杂,则土壤生态系统越稳定,系统的生态功能越高,对外界环境变化的缓冲效应越强。不同的多样性指数可以反映微生物群落组成的不同方面,Shannon 指数主要反映物种的丰富度,描述了土壤微生物群落功能多样性相对多度的信息。McIntosh 指数则是群落物种均一性的衡量。如图 2 可知,随着砾石覆盖年限的延长,土壤微生物的多样性指数和均匀度指数均呈先升后降的趋

势,可以看出,在砾石覆盖7~15 a,各项指数保持在一个相对较高的水平,土壤生态系统较为稳定。

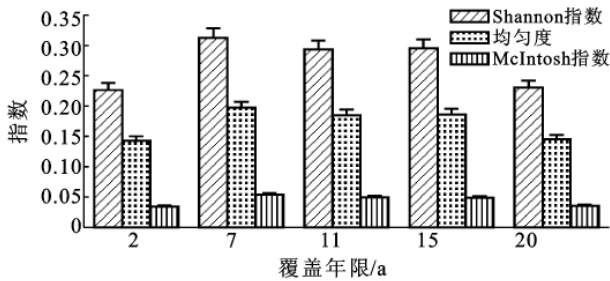


图2 不同砾石覆盖年限土壤微生物群落 Shannon 指数,均匀度,McIntosh 指数的变化

### 2.3 砾石覆盖年限对土壤酶活性的影响分析

2.3.1 砾石覆盖年限对土壤蔗糖酶的影响 土壤蔗糖酶是一种可以把土壤中蔗糖分子分解成能够被植物和土壤微生物吸收利用的葡萄糖和果糖的水解酶,为土壤生物提供能源,其活性高低可以反映土壤有机碳积累与分解转化的规律<sup>[11]</sup>。测定结果(图3)表明,在砾石覆盖0~20 a内,土壤蔗糖酶活性随着砾石覆盖年限的延长呈抛物线变化趋势。经回归分析,土壤蔗糖酶活性(Y)随覆盖年限(X)的变化趋势符合二次函数模式,其拟合方程为 $Y=0.75522+0.04416X-0.00225X^2$ ( $r=0.77$ ),经求解,土壤蔗糖酶活性为最高时的覆盖年限约为10 a(取整后结果)。在砾石覆盖0~10 a期间,土壤蔗糖酶活性随砾石覆盖年限的延长呈上升趋势,由0.75增至0.97 mg/g,年平均增长0.022 mg/g,年平均增长率为2.9%;而在砾石覆盖10 a以后土壤中蔗糖酶活性呈下降趋势,到覆盖20 a时下降至0.74 mg/g,年平均递减0.023 mg/g,年平均降低2.4%。

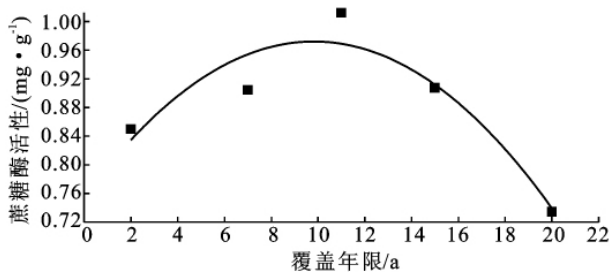


图3 不同砾石覆盖年限土壤蔗糖酶活性变化

2.3.2 砾石覆盖年限对土壤多酚氧化酶的影响 多酚氧化酶参与土壤有机组分中芳香族化合物的转化作用,是腐殖化的一种媒介,是土壤氧化还原酶中了解最多的一种酶。多酚氧化酶专一性很强,活性高将阻碍有机质矿化过程中产生的酚类中间产物进一步

合成腐殖质,使酚类化合物得到积累。多酚氧化酶的活性在一定程度上反映土壤的腐殖化进程<sup>[12]</sup>。测定结果(图4)表明,在砾石覆盖0~20 a内,土壤多酚氧化酶活性随着覆盖年限的延长也呈抛物线变化趋势。经回归分析,土壤多酚氧化酶活性(Y)随覆盖年限(X)的变化趋势符合二次函数模式,其拟合方程为 $Y=7.7829+0.07239X-0.00402X^2$ ( $r=0.86$ ),经求解,土壤多酚氧化酶活性为最高时的砾石覆盖年限为11 a(取整后结果)。在砾石覆盖0~11 a期间,土壤多酚氧化酶活性随砾石覆盖年限的延长呈上升趋势,由7.78增至8.09 mg/g,年平均增长0.03 mg/g;而在砾石覆盖11 a以后土壤中蔗糖酶活性呈下降趋势,到覆盖20 a时下降至7.62 mg/g,年平均递减0.051 mg/g,年平均降低0.6%。

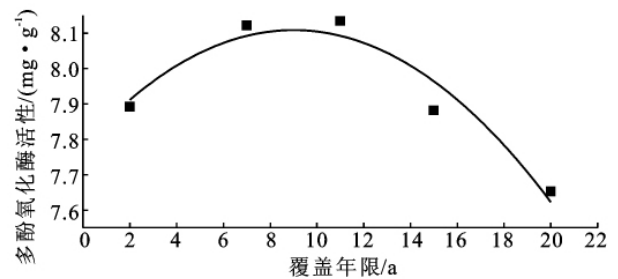


图4 不同砾石覆盖年限土壤多酚氧化酶活性变化

2.3.3 砾石覆盖年限对土壤过氧化氢酶的影响 在土壤中,过氧化氢酶的作用是破坏对生物体有毒的过氧化氢气体的生成,其活性的高低表征了土壤解毒能力的强弱。当过氧化氢酶活性较高时,其解毒能力较强;相反,当过氧化氢酶活性较低时,容易造成过氧化氢等有毒物质的积累,从而对生物和土壤产生毒害作用<sup>[13]</sup>。测定结果(图5)表明,在砾石覆盖0~20 a内,随着砾石覆盖年限的延长,农田土壤中过氧化氢酶活性呈逐年降低的变化趋势,在覆盖11 a后趋于稳定,变化幅度较平缓。经回归分析,土壤过氧化氢酶活性(Y)随覆盖年限(X)的变化趋势符合二次函数模式,其拟合方程为 $Y=0.42748-0.01527X+0.00040X^2$ ( $r=0.95$ ),经求解,土壤过氧化氢酶活性最低时的覆盖年限约为19 a(取整后结果)。在砾石覆盖0~20 a期间,土壤过氧化氢酶活性随砾石覆盖年限的延长呈下降趋势,到覆盖20 a时由0.41 mg/g下降至0.28 mg/g,年平均降低1.6%。这一结果表明,在砾石覆盖过程中过氧化氢酶活性逐年降低,土壤解毒能力下降,过氧化氢等有毒物质容易积累。

2.3.4 砾石覆盖年限对土壤淀粉酶的影响 淀粉是土壤中有机残体的组成成分,淀粉酶是参与自然界碳

素循环的一种重要的酶。不同砾石覆盖年限对土壤淀粉酶活性影响显著。测定结果表明(图 6),在砾石覆盖 0~20 a 内,土壤淀粉酶活性随着砾石覆盖年限的延长呈抛物线变化趋势。经回归分析,土壤淀粉酶活性(Y)随覆盖年限(X)的变化趋势符合二次函数模式,其拟合方程为  $Y=0.252\ 20+0.001\ 64X-0.000\ 23X^2$  ( $r=0.47$ ),经求解,土壤淀粉酶活性为最高时的覆盖年限约为 4 a(取整后结果)。在砾石覆盖 0~4 a 期间,土壤淀粉酶活性随砾石覆盖年限的延长呈上升趋势,年平均增长率为 1%;而在砾石覆盖 4 a 以后土壤中淀粉酶活性呈下降趋势,到覆盖 20a 时下降至 0.19 mg/g,年平均降低 1.7%。

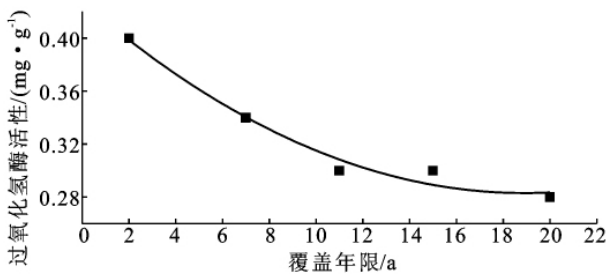


图 5 不同砾石覆盖年限土壤过氧化氢酶活性变化

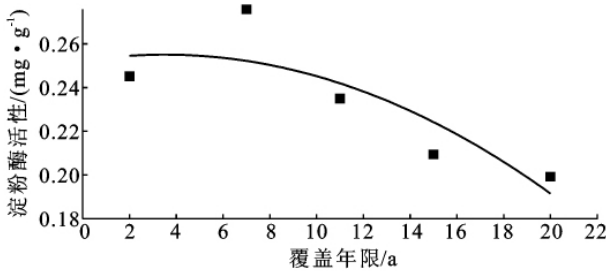


图 6 不同砾石覆盖年限土壤淀粉酶活性变化

2.3.5 砾石覆盖年限对土壤脱氢酶的影响 脱氢酶能酶促碳水化合物和有机酸的脱氢反应,它起着氢的中间传递体的作用<sup>[14]</sup>。测定结果表明(图 7),在砾石覆盖 0~20 a 内,土壤脱氢酶活性随着砾石覆盖年限的延长呈抛物线变化趋势。经回归分析,土壤脱氢酶活性(Y)随覆盖年限(X)的变化趋势符合二次函数模式,其拟合方程为  $Y=18.736\ 58+1.735\ 81X-0.082\ 23X^2$  ( $r=0.62$ ),经求解,土壤蔗糖酶活性为最高时的覆盖年限约为 11 a(取整后结果)。在砾石覆盖 0~11 a 期间,土壤脱氢酶活性随砾石覆盖年限的延长呈上升趋势,由 20.39 增至 27.88  $\mu\text{g/g}$ ,年平均增长 0.75  $\mu\text{g/g}$ ,年平均增长率为 3.7%;而在砾石覆盖 11 a 以后,土壤中脱氢酶活性呈下降趋势,到覆盖 20 a 时下降至 20.56  $\mu\text{g/g}$ ,年平均递减 0.81  $\mu\text{g/g}$ ,年平均降低 2.9%。

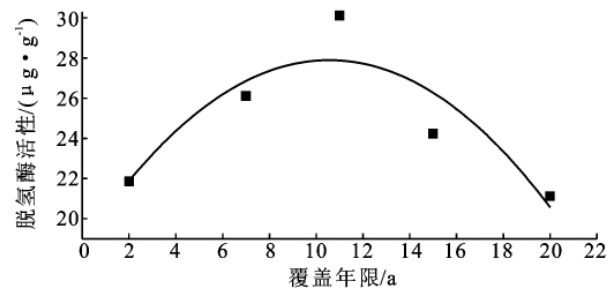


图 7 不同砾石覆盖年限土壤脱氢酶活性变化

### 3 结论

随着砾石覆盖年限的增加,土壤微生物数量逐渐降低,并在覆盖 7~11 a 时处于较为稳定的低水平状态,此后生物多样性指数和均匀度指数持续降低。

砾石覆盖下连作西瓜农田土壤中过氧化氢酶、脱氢酶、多酚氧化酶、淀粉酶、蔗糖酶活性随砾石覆盖年限的延长可用一元二次函数式拟合,由此可计算出土壤酶活性达最高时的覆盖年限及年平均变化率。蔗糖酶、脱氢酶、多酚氧化酶、淀粉酶、过氧化氢酶活性达最高时的砾石覆盖年限分别为 10,11,11,4,2 a。蔗糖酶、脱氢酶、多酚氧化酶,在砾石覆盖种植的前 10 a 其酶活性呈上升趋势,但在之后随着砾石覆盖年限延长而活性降低。

总体看来,砾石覆盖下的土壤酶活性大多数随着覆盖年限增加而呈先增后降的趋势,大约在 11 a 左右处于峰值,此后土壤酶活性逐年降低,在覆盖 20 a 后已经达到一个较低的水平。而在实际生产中砾石覆盖 11 a 的瓜田效益最高,覆盖 15 a 之后的农田效益已经大为降低。因此为了维持覆盖耕地产量,需要对覆盖 15 a 以上的农田加大施肥量。而覆盖年限超过 20 a 的耕地往往便无法继续耕种,需要重新换沙并停耕堆肥。这和土壤中酶活性的变化趋势也是相符合的。

#### [参 考 文 献]

- [1] 李勇. 试论土壤酶活性与土壤肥力[J]. 土壤通报, 1989, 20(4):190-193.
- [2] 孙波,赵其国,张桃林,土壤质量与持续环境:土壤质量评价的生物学指标[J]. 土壤, 1997,29(5):225-234.
- [3] 罗明,庞峻峰,李叙勇,等. 新疆天山云杉林区森林土壤微生物学特性及酶活性[J]. 生态学杂志, 1997,16(1): 26-30.
- [4] Aon M A, Colaneri A C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico chemical properties in an agricultural soil[J]. Applied Soil Ecology, 2001,18:255-270.

- [9] Strzyszczyk Z, Magiera T, Heller F. The influence of industrial emissions on the magnetic susceptibility of soils in Upper Silesia[J]. *Stud. Geophys. Geod.*, 1996, 40: 276-286.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 107.
- [11] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤的特性及其分类的初步研究[J]. *土壤*, 2001, 33(1): 47-51.
- [12] 刘三宏. 浅议福州市山地土壤的开发利用[J]. *福建水土保持*, 1997(4): 21-24.
- [13] 王志刚, 赵永存, 廖启林, 等. 近 20 年来江苏省土壤 pH 值时空变化及其驱动力[J]. *生态学报*, 2008, 28(2): 702-727.
- [14] 于法展, 尤海梅, 李保杰, 等. 徐州市不同功能城区绿地土壤的理化性质分析[J]. *水土保持研究*, 2007, 14(3): 85-88.
- [15] 孟昭虹, 周嘉. 哈尔滨城市土壤理化性质研究[J]. *哈尔滨师范大学学报*, 2005, 21(4): 102-105.
- [16] 项建光, 方海兰, 杨意, 等. 上海典型新建绿地的土壤质量评价[J]. *土壤*, 2004, 36(4): 424-429.
- [17] 卢瑛, 甘海华, 史正军, 等. 深圳城市绿地土壤肥力质量评价及管理对策[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 153-156.
- [18] 段迎秋, 魏忠义, 韩春兰, 等. 东北地区城市不同土地利用类型土壤有机碳含量特征[J]. *沈阳农业大学学报*, 2008, 39(3): 324-326.
- [19] 于法展, 尤海梅, 李保杰, 等. 徐州市不同功能城区绿地土壤的理化性质分析[J]. *水土保持研究*, 2007, 14(3): 85-88.
- [20] 何跃, 张甘霖. 城市土壤有机碳和黑碳的含量特征与来源分析[J]. *土壤学报*, 2006, 43(2): 177-182.
- [21] 项建光, 方海兰, 杨意, 等. 上海典型新建绿地的土壤质量评价[J]. *土壤*, 2004, 36(4): 424-429.
- [22] 旺罗, 刘东生, 吕厚远. 污染土壤的磁化率特征[J]. *科学通报*, 2000, 45(10): 1091-1094.
- [23] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤磁化率特征及其环境意义[J]. *华南农业大学学报*, 2001, 22(4): 26-28.
- [24] 据宜太, 王少怀, 邓成龙, 等. 福建三明地区被污染土壤的磁学性质及其环境意义[J]. *地球物理学报*, 2004, 47(2): 282-288.
- [25] Lu S G, Bai S Q, Xue Q F. Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban top soils: A case study from the city of Luoyang, China[J]. *Geophys. J. Int.*, 2007, 171: 568-580.
- [26] Hu X F, Su Y, Ye R, et al. Magnetic properties of the urban soils in Shanghai and their environmental implications[J]. *Catena*, 2007, 70: 428-436.
- [27] 卢升高, 白世强. 杭州城区土壤的磁性及磁性矿物学及其环境意义[J]. *地球物理学报*, 2008, 51(3): 762-769.
- [28] Kapicka A, Petrovsky E, Ustjakb S, et al. Proxy mapping of fly-ash pollution of soils around a coal-burning power plant: A case study in the Czech Republic[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1999, 66: 291-297.
- [29] 陈华英. 福州城市土壤中铜等 13 种元素的分布特征[J]. *福建地质*, 2008, 27(2): 211-218.

(上接第 68 页)

- [5] Li X Y. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China[J]. *Catena*, 2003, 2: 105-127.
- [6] Burns R G. Enzyme activity in soil: implication and a possible role in microbial ecology[J]. *Soil Biol. & Biochem.*, 1982, 12: 423-427.
- [7] Powlson D S, Brookes P C, Christensen B. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1987, 19: 159-164.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 1-495.
- [9] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 1-304.
- [10] 周礼凯, 张志明. 土壤酶活性的测定方法[J]. *土壤通报*, 1980(5): 37-38.
- [11] 严健汉, 詹重慈. 环境土壤学[M]. 武汉: 华中师范大学, 1985: 154-155.
- [12] 周礼凯. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 67-78, 180-201, 228-282.
- [13] 陈恩凤. 土壤肥料基础及调控[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 1-379.
- [14] 万忠梅, 吴景贵. 土壤酶活性影响因子研究进展[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2005, 33(6): 87-109.