

弃耕地植被恢复过程中土壤酶活性与理化特性演变趋势研究

宋娟丽, 吴发启, 姚 军, 包耀贤, 余 雕

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】研究黄土丘陵沟壑区不同弃耕年限草地土壤酶活性的特征与演变趋势, 为正确评价土壤质量提供科学依据。【方法】在陕西安塞县纸坊沟流域, 采集不同年限(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 15, 20, 25, 30 年)弃耕地 0~20, 20~40 和 40~60 cm 土层土样, 测定土壤理化性质及脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性。【结果】随着弃耕时间的延长, 土壤容重、pH 值、有机质、CEC、全 N、有效 N 等理化特性得到不同程度的改善, 土壤脲酶、蔗糖酶与碱性磷酸酶活性均逐渐增强, 土壤脲酶活性随土层深度的增加而大幅度递减; 相关性分析表明, 以上 3 种酶活性与土壤有机质、CEC、全 N 等理化性质显著正相关, 与土壤 pH 等呈显著负相关, 而 3 种酶之间的相关性也达极显著水平。【结论】在植被恢复过程中, 脲酶、蔗糖酶与碱性磷酸酶活性逐步增强, 土壤酶活性与植被的恢复是一个互动过程。

【关键词】 弃耕地; 植被恢复; 土壤酶活性; 演变趋势

【中图分类号】 S154.2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)04-0103-05

Evolution of soil enzyme activities and physical & chemical characteristics during vegetation restoration on abandoned cropland

SONG Juan-li, WU Fa-qi, YAO Jun, BAO Yao-xian, SHE Diao

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The characteristics and evolution of soil enzymes under different abandoned years in loess hilly region were studied to provide scientific instructions to evaluate the soil quality. 【Method】In Zhifanggou watershed of Ansai, Shaanxi, soil samples of 0-20, 20-40 and 40-60 cm obtained from different years(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 15, 20, 25 or 30 years) abandoned cropland were taken to test the physical & chemical characteristics, contents of urease, phosphatases and ucrase. 【Result】During vegetation restoration, soil bulk density, organic matter content, CEC, total N, etc. were improving, urease, phosphatases and ucrase were increasing; urease activity in surface soil was far higher than in deep layer; soil enzymes were correlated with soil organic matter content, CEC, total N and pH, etc. moreover urease, phosphatases and ucrase were correlated with each other. 【Conclusion】Soil urease, phosphatases and ucrase activities were increased during vegetation restoration, which showed soil enzyme activities and vegetation restoration were a mutual promoting process.

Key words: abandoned cropland; vegetation restoration; soil enzyme activity; evolution trend

* [收稿日期] 2008-09-28

[基金项目] 中国科学院知识创新工程项目“黄土高原水土保持与生态环境建设试验示范研究”(KZCX2-XB2-05-01)

[作者简介] 宋娟丽(1969-), 女, 陕西岐山人, 讲师, 在读博士, 主要从事土壤质量研究。E-mail: songjl-69@163.com

[通信作者] 吴发启(1957-), 男, 陕西黄陵人, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持与流域管理研究。E-mail: wufaqi@263.net

土壤酶在土壤物质和能量转化过程中起着重要的催化作用,其活性大小是土壤肥力的重要标志。国内外学者大量的研究表明,土壤酶活性可表征土壤中各种生物化学活性的高低和土壤养分的转化强度^[1-4]。土壤酶活性与土壤的许多理化指标、土壤生物数量和生物多样性相互联系,且具有一定的稳定性,能够较全面、灵活、可靠地反映土壤肥力质量的变化,在一定程度上较静态的土壤理化性质分析更具实际意义^[5]。目前,对黄土丘陵沟壑区土壤理化性质与土壤酶活性的研究很多^[6-9],但有关不同年限弃耕地中土壤酶和其理化特性的分布特征及相互关系的研究相对较少。

为此,本研究对不同年限弃耕地土壤的脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性特征及其与土壤理化性质的相关性进行了分析,探讨了植被自然恢复过程中土壤酶活性及理化特性的演化趋势,以期为正确评价该区域土壤的质量提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

纸坊沟流域位于黄土高原腹地的陕西省安塞县,属于黄土丘陵沟壑区第二副区,是延河支流杏子河下游的一级支沟,流域面积 8.27 km²。流域地貌极为破碎,沟谷纵横,沟壑密度高达 8.1 km/km²。该区主要土壤是在黄土母质上发育的黄绵土,其有机质含量低,结构疏松,极易被外营力分散和搬运。该流域处于暖温带半干旱气候区,多年平均降水量

为 541.2 mm,降水分布不均且降雨强度大,年内主要集中在 6~9 月。该区植被以灌草为主。

1.2 土样采集

在试验地选取不同弃耕年限(1,2,3,4,5,6,7,8,9,13,15,20,25,30 年)的 14 块样地,根据样地面积的不同取 2~3 个点,分别采集 0~20、20~40、40~60 cm 土层土样。样品经风干研磨过筛后装袋备用。

1.3 测定项目及测定方法

土壤样品处理与理化性质的分析测定参照文献[10]的方法进行。

土壤酶活性参照文献[11]的方法测定。脲酶活性($\mu\text{g/g}$)采用比色法测定,用 37 °C 每 h 每 g 土壤中所释放 NH₃-N 的质量(μg)表示;蔗糖酶活性(mg/g)用比色法测定(本研究仅测定 0~20 cm 土层),以 37 °C 下每 g 土每 4 h 释放的葡萄糖质量(mg)表示;碱性磷酸酶活性(mg/g)采用磷酸苯二钠比色法测定(本研究仅测定 0~20 cm 土层),以 37 °C 每 4 h 每 g 土壤中 P₂O₅ 的质量(mg)表示。

1.4 数据处理

用 SPSS(11.5)及 Excel 进行数据处理与分析。

2 结果与分析

2.1 纸坊沟流域不同年限弃耕地土壤理化性质的变化

纸坊沟流域不同年限弃耕地土壤的基本理化性质见表 1。

表 1 纸坊沟流域不同年限弃耕地土壤的基本理化性质

Table 1 Physical and chemical characteristics on abandoned croplands in Zhifanggou watershed

| 弃耕时间/年 Year | 容重/ (g·cm ⁻³) Soil bulk density | pH | 有机质/ (g·kg ⁻¹) O. M | CEC/ (cmol·kg ⁻¹) | 全 N/ (g·kg ⁻¹) Total N | 全 P/ (g·kg ⁻¹) Total P | 全 K/ (g·kg ⁻¹) Total K | 有效 N/ (mg·kg ⁻¹) Available N | 速效 K/ (mg·kg ⁻¹) Available K |
|----------------|---|------|---------------------------------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|
| 1 | 1.38 | 8.55 | 1.97 | 17.4 | 0.20 | 0.59 | 24.4 | 10.7 | 76.5 |
| 2 | 1.37 | 8.56 | 2.58 | 17.4 | 0.19 | 0.64 | 24.5 | 14.0 | 94.2 |
| 3 | 1.22 | 8.46 | 3.72 | 20.3 | 0.25 | 0.59 | 23.3 | 10.7 | 73.1 |
| 4 | 1.26 | 8.40 | 3.33 | 20.4 | 0.29 | 0.59 | 12.9 | 15.4 | 62.8 |
| 5 | 1.27 | 8.44 | 3.56 | 21.1 | 0.28 | 0.58 | 12.6 | 14.9 | 91.4 |
| 6 | 1.19 | 8.45 | 3.10 | 22.2 | 0.29 | 0.59 | 19.1 | 13.1 | 82.2 |
| 7 | 1.23 | 8.42 | 3.41 | 23.2 | 0.15 | 0.62 | 18.7 | 6.5 | 64.0 |
| 8 | 1.28 | 8.48 | 3.87 | 23.1 | 0.16 | 0.63 | 19.4 | 9.8 | 76.5 |
| 9 | 1.20 | 8.49 | 3.90 | 24.1 | 0.20 | 0.62 | 21.3 | 13.1 | 76.5 |
| 13 | 1.15 | 8.49 | 4.09 | 24.2 | 0.24 | 0.63 | 20.9 | 11.7 | 92.5 |
| 15 | 1.20 | 8.50 | 6.49 | 25.2 | 0.23 | 0.56 | 22.1 | 14.2 | 84.5 |
| 20 | 1.18 | 8.32 | 5.91 | 26.3 | 0.35 | 0.58 | 22.9 | 31.3 | 119.8 |
| 25 | 1.13 | 8.35 | 6.45 | 28.0 | 0.37 | 0.57 | 22.1 | 20.3 | 125.6 |
| 30 | 1.14 | 8.31 | 6.52 | 29.4 | 0.39 | 0.57 | 24.8 | 22.4 | 137.0 |

由表 1 可以看出,随着弃耕年限的递增,土壤容重及 pH 值总体上呈下降趋势,但下降幅度较小;土

壤有机质、阳离子交换量(CEC)、全 N、有效 N、速效 K 含量均呈逐步上升趋势。这是由于随着弃耕年限

的增加,植被枯落物大量积累,其经微生物分解后使土壤有机质含量提高,再加上根际微生物的作用,使得土壤氮素与钾素含量大幅度提高,CEC 的提高预示着土壤的保肥能力得到改善;土壤全 K 含量呈现先下降后上升的变化规律,这可能是因为人工施肥使弃耕初期的全 K 含量较高,之后养分逐渐散失,全 K 含量也就随之降低,随后又出现升高趋势,则应该是植被恢复带来的改善效应所致;土壤全 P 含

量的变化幅度非常小,为 0.56~0.64 g/kg。

总之,在弃耕地的植被恢复过程中,土壤的碱度有所降低,孔隙度得到改善,土壤养分条件显著提高。

2.2 纸坊沟流域不同年限弃耕地土壤酶活性的变化

纸坊沟流域不同年限弃耕地土壤酶活性的变化情况如表 2 所示。

表 2 纸坊沟流域不同年限弃耕地土壤酶活性的变化

Table 2 Soil enzyme activities of different years abandoned cropland in Zhifangou watershed

| 弃耕时间/年 Year | 碱性磷酸酶/(mg·g ⁻¹) Phosphatase | 蔗糖酶/(mg·g ⁻¹) Sucrase | 脲酶/(μg·g ⁻¹)Urease | | |
|----------------|--|--------------------------------------|--------------------------------|----------|----------|
| | | | 0~20 cm | 20~40 cm | 40~60 cm |
| 1 | 3.03 | 1.40 | 6.16 | 2.31 | 2.09 |
| 2 | 6.44 | 2.85 | 12.23 | 4.44 | 1.82 |
| 3 | 12.34 | 2.75 | 36.15 | 10.37 | 5.50 |
| 4 | 9.49 | 2.88 | 34.07 | 10.68 | 4.70 |
| 5 | 25.64 | 3.57 | 21.93 | 2.46 | 2.19 |
| 6 | 38.81 | 3.67 | 22.44 | 4.47 | 2.02 |
| 7 | 12.07 | 1.95 | 11.54 | 4.88 | 1.65 |
| 8 | 12.44 | 2.56 | 10.93 | 7.10 | 2.10 |
| 9 | 15.46 | 1.79 | 12.91 | 9.06 | 5.25 |
| 13 | 15.15 | 2.14 | 13.70 | 10.25 | 11.08 |
| 15 | 25.94 | 3.30 | 28.56 | 11.31 | 2.36 |
| 20 | 51.22 | 3.83 | 28.61 | 20.57 | 6.81 |
| 25 | 58.78 | 7.43 | 30.22 | 22.09 | 21.52 |
| 30 | 65.07 | 10.64 | 50.84 | 31.52 | 12.96 |
| 平均值 Mean | 25.13 | 3.63 | 22.88 | 10.82 | 5.86 |
| 标准差 SD | 20.32 | 2.48 | 12.56 | 8.44 | 5.74 |
| 变异系数/%CV | 80.84 | 68.52 | 54.91 | 78.03 | 97.96 |

2.2.1 碱性磷酸酶 磷酸酶可加速有机磷的脱磷速度,对改善土壤磷素的有效性具有重要作用。由表 2 可见,从弃耕的第 1 年至第 6 年,土壤碱性磷酸酶活性由 3.03 增至 38.81 mg/g,增加了近 12 倍;随后又迅速降低为 12.07 mg/g;从弃耕的第 7 年至第 15 年又有小幅度升高,弃耕 20 年后增加幅度较大,于弃耕 30 年达到最高值 65.07 mg/g,几乎是弃耕第 1 年的 22 倍。可见,土壤碱性磷酸酶活性与植被恢复呈正向效应。

2.2.2 蔗糖酶 蔗糖酶对增加土壤中易溶性养分物质含量起着重要作用。表 2 表明,随着弃耕年限的增加,土壤蔗糖酶活性变化幅度较小,但其与碱性磷酸酶的变化趋势基本一致,即弃耕初期有小幅度上升,随后开始降低,弃耕 15 年之后又开始缓慢上升,于 30 年达到最大值,为 10.64 mg/g,是弃耕第 1 年的 7 倍多。由于试验地土壤 pH 值普遍在 8 以上,而在 pH 偏高的碱性土壤中,碱性磷酸酶活性最强,蔗糖酶活性则会受到不同程度的抑制^[6]。本试验结果显示,蔗糖酶活性明显弱于碱性磷酸酶,但随

着植被的恢复仍然呈不断增强的趋势。因此,蔗糖酶活性对于植被的恢复也有一定的响应能力。

2.2.3 脲酶 脲酶在土壤中广泛存在,其酶促产物——氨是植物的氮源之一。由表 2 可见,各土层中土壤脲酶活性的变化,均随弃耕年限的延长表现出“升—降—升”的变化规律。在弃耕初期(1~3 年),脲酶活性大幅度提高;弃耕 4 年以后,又出现缓慢回落;弃耕 7~9 年后土壤脲酶活性相对比较稳定,这个阶段脲酶活性相对较低,可能与植被繁盛时期土壤肥力状况的下降有关;随后又随弃耕年限的延长开始上升,弃耕 30 年后,表层土壤的脲酶活性增至 50.84 μg/g,是弃耕第 1 年的 8 倍多。另外,土壤脲酶活性随着土层深度的增加,也表现出一定的规律性,在同一弃耕年限下,表层土壤的脲酶活性高于 20~40 和 40~60 cm 土层,其中 20~40 cm 土层土壤脲酶活性较表层平均降低了 52.58%,最大甚至达 88%;40~60 cm 土层土壤脲酶活性较表层平均降低了 72.82%,最大达 90%以上,这是因为植物根系有向土壤释放酶的功能,而草本植物根系主要

集中在 0~20 cm 土层,随着土层深度的增加,根系越来越稀疏,因而土壤脲酶活性也随之大幅度降低。

综上所述,在植被恢复过程中,弃耕地 0~20 cm 土层,土壤碱性磷酸酶、蔗糖酶、脲酶 3 种酶活性在不同的弃耕年限有明显差异,变异系数分别为 80.84%,68.52%,54.91%。由此可见,随弃耕时间的延长,3 种酶活性均呈现出逐渐增强的趋势,说明土壤酶活性与植被的恢复密切相关。

2.3 纸坊沟流域弃耕地土壤酶活性与土壤理化性质的相关性分析

有研究表明,土壤肥力水平在很大程度上受土壤酶的影响,二者之间存在着非常密切的相关关

系^[12-14]。为此,对土壤酶活性与主要肥力因子进行相关分析,可以揭示它们之间的互动效应。由表 3 可知,土壤蔗糖酶活性与速效 K 含量呈极显著正相关($P \leq 0.01$),与土壤容重、pH 值呈显著或极显著负相关;土壤脲酶活性与土壤容重及 pH 值呈显著负相关,与速效 K 含量呈显著正相关($P \leq 0.05$);土壤碱性磷酸酶活性与 pH 值、容重呈极显著负相关($P \leq 0.01$),与速效 K、全 K 含量呈显著正相关($P \leq 0.05$);3 种酶活性均与土壤有机质、CEC、全 N、有效 N 含量呈极显著正相关($P \leq 0.01$),但与全 P 含量的相关性不显著。3 种酶活性之间极显著正相关($P \leq 0.01$)。

表 3 土壤酶活性与土壤理化性质之间的相关性分析

Table 3 Correlation between soil enzyme activities and physical & chemical characteristics

| 土壤酶 Soil enzyme | 有机质 Organic matter | pH | 容重 Bulk density | CEC | 全 P Total P | 全 K Total K |
|--------------------|-----------------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|--------------------|
| 蔗糖酶 Sucrase | 0.682** | -0.771** | -0.556* | 0.785** | -0.053 | 0.477 |
| 脲酶 Urease | 0.731** | -0.659* | -0.645* | 0.686** | -0.124 | 0.431 |
| 碱性磷酸酶 Phosphatase | 0.823** | -0.835** | -0.673** | 0.832** | -0.023 | 0.547* |
| 土壤酶 Soil enzyme | 有效 N Available N | 全 N Total N | 速效 K Available K | 蔗糖酶 Sucrase | 脲酶 Urease | 磷酸酶 Phosphatase |
| 蔗糖酶 Sucrase | 0.849** | 0.705** | 0.719** | 1.000 | | |
| 脲酶 Urease | 0.831** | 0.681** | 0.661* | 0.882** | 1.000 | |
| 碱性磷酸酶 Phosphatase | 0.919** | 0.842** | 0.622* | 0.866** | 0.822** | 1.000 |

注: ** 表示相关性达极显著水平($P \leq 0.01$), * 表示相关性达显著水平($P \leq 0.05$)。

Note: ** Correlation is significant at the 0.01 level, * Correlation is significant at the 0.05 level.

3 讨论

弃耕地是指原来用于农业经营的土地因不再进行农业耕种而撂荒的土地。弃耕的原因有土壤贫瘠、生态条件恶化、产出量小、人力条件的限制等,其中地力下降是导致撂荒的主要原因之一^[15]。有研究表明,土壤中可供植物利用的营养元素的多少,与土壤酶活性的高低直接相关;在良好的有机养分状况下,土壤酶活性较高,其对土壤中营养元素的矿质化作用强度愈大,愈有利于系统内的营养物质循环^[16]。本试验的研究结果与此相符。本研究发现,研究区土壤有机质、CEC、全 N、有效 N 等理化性质,与碱性磷酸酶、蔗糖酶、脲酶活性极显著相关,所以可以通过检测土壤中的酶活性,来判断土壤质量的演变趋势。本研究表明,植被的生长状况能直观地体现土壤质量的改善与否,因而土壤酶活性与植被的恢复是一个互动过程,存在着相互反馈效应,但是 3 种酶活性与全 P 含量的相关性不显著,其原因还有待于进一步探讨。

虽然在弃耕地的自然恢复过程中,土壤酶活性

及相关理化性质不断改善,但这是一个相当漫长的过程,而土壤又是一种非常脆弱的非再生资源,因此,为了维护土壤生态系统的持久性和稳定性,必须加强土壤质量和土壤管理两方面的研究,并应同时兼顾生态、经济和社会三方面的效益,使土壤质量的改善与生产力水平的提高达到良性循环。

4 结论

1)随着弃耕时间的延长,土壤容重、pH 值、有机质、CEC、全 N、有效 N 等理化特性可得到不同程度的改善。

2)在弃耕地的植被恢复过程中,土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性均随着弃耕年限的增加而不断升高,说明 3 种酶活性与植被的恢复互为正效应。

3)表层(0~20 cm)土壤脲酶活性高于 20~40 和 40~60 cm 土层,其中 20~40 cm 土层土壤脲酶活性较表层土壤的最大降幅达 88%,40~60 cm 土层土壤脲酶活性较表层土壤的最大降幅达 90% 以上。

4)土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性与土壤有

机质、CEC、全 N、有效 N 等理化性质呈极显著正相关($P \leq 0.01$),与土壤 pH 值、土壤容重呈显著或极显著负相关,3 种酶活性之间呈极显著正相关($P \leq 0.01$)。

[参考文献]

- [1] 薛立,陈红跃,邝立刚. 湿地松混交林地土壤养分、微生物和酶活性的研究 [J]. 应用生态学报,2003,14(1):157-159.
Xue L, Chen H Y, Kuang L G. Soil nutrient, microorganism and enzyme activity in *Pinus elliottii* mixed stands [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(1): 157-159. (in Chinese)
- [2] Welp G. Inhibitory effects of the total and water-soluble concentrations of nine different metals on the dehydrogenase activity of a loess soil [J]. Biology and Fertility of Soils, 1999, 30: 132-139.
- [3] 朱艳,曹卫星,戴廷波,等. 小麦栽培氮肥运筹的动态知识模型 [J]. 中国农业科学,2003,36(9):1006-1013.
Zhu Y, Cao W X, Dai T B, et al. A dynamic knowledge model for nitrogen application in wheat cultivation [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(9): 1006-1013. (in Chinese)
- [4] 张华,张甘霖,漆智平,等. 热带地区农场尺度土壤质量现状的系统评价 [J]. 土壤学报,2003,40(2):186-193.
Zhang H, Zhang G L, Qi Z P, et al. Systematic assessment of soil quality at farm level in tropical area of China [J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(2): 186-193. (in Chinese)
- [5] 曹慧,孙辉,杨浩. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展 [J]. 应用与环境生物学报,2003,9(1):105-109.
Cao H, Sun H, Yang H. Review soil enzyme activity and its indication for soil quality [J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2003, 9(1): 105-109. (in Chinese)
- [6] 安韶山,黄懿梅,郑粉莉. 黄土丘陵区草地土壤脲酶活性特征及其与土壤性质的关系 [J]. 草地学报,2005,13(3):233-237.
An S S, Huang Y M, Zheng F L. Urease activity in the loess hilly grassland soil and its relationship to soil property [J]. Acta Agrestia Sinica, 2005, 13(3): 233-237. (in Chinese)
- [7] 安韶山,黄懿梅,刘梦云. 宁南山区土壤酶活性特征及其与肥力因子的关系 [J]. 中国生态农业学报,2007,15(5):55-58.
An S S, Huang Y M, Liu M Y. Characteristics of soil enzyme activities and their relationships with soil properties in southern Ningxia loess hilly region [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(5): 55-58. (in Chinese)
- [8] 张俊华,常庆瑞,贾科利,等. 黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究 [J]. 水土保持学报,2003,17(4):38-41.
Zhang J H, Chang Q R, Jia K L, et al. Effect of plant restoration to soil fertility quality on Loess Plateau [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(4): 38-41. (in Chinese)
- [9] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响 [J]. 应用生态学报,2004,15(12):2292-2296.
Gong J, Chen L D, Fu B J, et al. Effects of land use and vegetation restoration on soil quality in a small catchment of the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(12): 2292-2296. (in Chinese)
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,1999:39-57.
Bao S D. Analysis of agri-chemistry of soil [M]. 3rd Edition. Beijing: Agricultural Press of China, 1999: 39-57. (in Chinese)
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京:农业出版社,1986.
Guan S Y. Soil enzyme and its research methods [M]. Beijing: Agricultural Press of China, 1986. (in Chinese)
- [12] 关松荫,沈桂琴,孟昭鹏,等. 我国主要土壤剖面酶活性状况 [J]. 土壤学报,1984,21(4):368-381.
Guan S Y, Shen G Q, Meng Z P, et al. The condition of soil enzyme activity in main soil profile in China [J]. Acta Pedologica Sinica, 1984, 21(4): 368-381. (in Chinese)
- [13] Bolton H, Elliot L F, Papendick R I, et al. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: Effect of fertilization and cropping practices [J]. Soil Biol & biochem, 1985, 17: 297-302.
- [14] Burns R G. Soil enzymes [M]. New York: Academic Press, 1978.
- [15] 戎郁萍. 我国弃耕地植被的恢复与重建研究概述 [J]. 四川草原,2004(5):1-4.
Rong Y P. Review of the grassland restoration and reconstruction of the abandoned land [J]. Sichuan Grassland, 2004(5): 1-4. (in Chinese)
- [16] 张焱华,吴敏,何鹏,等. 土壤酶活性与土壤肥力关系的研究进展 [J]. 安徽农业科学,2007,35(34):11139-11142.
Zhang Y H, Wu M, He P, et al. Research advance of the relationship between soil enzyme activity and soil fertility [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2007, 35(34): 11139-11142. (in Chinese)