

# 黑瞎子岛湿地及岛外林地土壤酶活性特征

王日辉<sup>1</sup>,魏江生<sup>1\*</sup>,王兵<sup>2,3,4</sup>,牛香<sup>2,3,4</sup>

(1.内蒙古农业大学草原与资源环境学院, 内蒙古呼和浩特 010011; 2.中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 3.国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091; 4.北京林业果业生态环境功能提升协同创新中心, 北京 102206)

**摘要:** 土壤酶是一种生物催化剂, 受生态系统环境的变化影响极度敏感, 是土壤生态系统变化的预警和灵敏指标。黑瞎子岛西部于 2008 年归还我国, 目前自然环境基本处于原生态状态, 其土壤酶活性特征可以反映三江平原开发前的一些特征。本研究在黑瞎子岛内湿地与岛外林地采集土壤样品, 分析了 3 种酶活性的分布特征, 过氧化氢酶活性在  $0.06\sim 0.76\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 20\text{min}^{-1}$ , 脲酶活性在  $0.46\sim 4.72\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ , 转化酶活性在  $0.12\sim 5.51\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ 。结果表明: (1) 土壤含水量成为限制林地土壤酶活性的重要因子; (2) 季节温度与枯落物的输入的交互作用对不同酶活性产生不同影响。

**关键词:** 土壤酶活性; 黑瞎子岛; 原生态

**中图分类号:** S151.9

## CHARACTERISTICS OF SOIL ENZYME ACTIVITIES IN HEIXIAZI ISLAND WETLAND AND OUTLYING ISLAND FOREST.

WANG Rihui<sup>1</sup>, WEI Jiangsheng<sup>1\*</sup>, WANG Bing<sup>2,3,4</sup>, NIU Xiang<sup>2,3,4</sup>

(1. College of Grassland and Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010011, China; 2. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 4. Beijing Forestry Fruit Ecology Collaborative Innovation Center for Environmental Function Improvement, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Soil enzyme is a kind of biocatalyst, which is extremely sensitive to the changes of ecosystem with the early warning and sensitive indicator of soil environment changes. The western part of Heixiazi Island was returned to China in 2008. At present, the natural environment is basically in the original ecological state, and its soil enzyme activity characteristics can trace some characteristics before the cultured of Sanjiang Plain. In this study, soil samples were collected from the Heixiazi island wetland and the woodland outside the island, and the distribution characteristics of three enzymes activity were analyzed. The catalase activity was between  $0.06\sim 0.76\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 20\text{min}^{-1}$ , urease activity was  $0.46\sim 4.72\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ , the invertase activity was  $0.12\sim 5.51\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ . The results showed that: (1) Soil water content has become an important factor limiting soil enzyme activity in forest land; (2) The interaction between seasonal temperature and litter input has different effects for different enzyme activities.

**Key words:** Soil enzyme activity; Heixiazi Island; original ecology.

收稿日期: 2018-10-19

基金项目: 国家重点研发计划课题“森林荒漠湿地生态质量监测技术集成与应用示范”(2017YFC0503804); 中国森林核算及纳入绿色经济评价研究(2017-R28); 科技创新服务能力建设-科研基地建设-林果业生态环境功能提升协同创新中心(2011 协同创新中心)(市级)(PXM2018\_014207\_000024).

作者简介: 王日辉(1994-), 男, 满族, 硕士研究生, 主要从事土壤环境与植物生长研究。

\*通信作者: 魏江生 Email: weijiangsheng1969@163.com.

土壤酶主要来源于土壤微生物、植物根系分泌物和动植物残体腐解过程中释放的酶<sup>[1]</sup>。土壤酶作为一种生物催化剂<sup>[2]</sup>，参与土壤中的众多反应，其活性对土壤营养元素有效化过程起直接作用<sup>[3]</sup>，在一定程度上反映其所处土壤环境的状况，并对生态系统环境的变化极度敏感<sup>[4]</sup>。

作为我国最大的淡水湿地分布区之一的三江平原是中国重要的商品粮生产基地和现代农业示范区<sup>[5]</sup>。20 世纪 50 年代开始大规模农业开发，大量的林地、草地及湿地等被开垦为耕地<sup>[6]</sup>，其土壤状况严重退化，表现为黑土层变薄、有机质含量下降等<sup>[7]</sup>。开荒前鲜有对当时土壤状态的研究，如今位于三江平原东北角的黑瞎子岛西部于 2008 年 10 月由俄罗斯归还中国，收回岛面积 174 km<sup>2</sup>，岛上分布大面积沼泽草甸与沼泽，岛外天然林占林地面积的 99.48%，岛内岛外基本处于原生态状况。

本文通过对黑瞎子岛内外土壤酶活性的分布特征，及土壤酶与土壤理化性质相关性的研究，为三江平原土壤退化程度及其成因研究提供本底土壤状况的基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

表 1 样地概况  
Table 1 Sample plot

样地区域 Plot area	样地 Plot	土壤类型 Soil type	海拔 Altitude	经纬度 Latitude and	植物群落 Plant community
岛外林地	坡顶 (SC)	暗棕壤	277m	48° 17' 28.3" N 134° 19' 39.2" E	蒙古栎 ( <i>Quercus mongolica</i> )
	坡中 (SM)	暗棕壤	214.5m	48° 17' 27.1" N 134° 19' 25.8" E	山杨 ( <i>populus dvaidiana</i> )
	坡下 (ST)	暗棕壤	140.3m	48° 16' 12.7" N 134° 19' 36.6" E	蒙古栎 ( <i>Quercus mongolica</i> )
	平地森林 (PF)	暗棕壤	56m	48° 13' 19.7" N 134° 22' 67.5" E	白桦( <i>Betula platyphylla</i> ) 山杨( <i>populus dvaidiana</i> )
岛内湿地	沼泽草甸 (CM)	草甸土	36.5m	48° 21' 43.4" N 134° 44' 11.3" E	小叶章 ( <i>Deyeuxia angustifolia</i> )
	湿地沼泽 (WS)	沼泽土	34.2m	48° 21' 45.55" N 134° 44' 10.45" E	苔草 ( <i>Carex sp</i> )

黑瞎子岛平均海拔 40 米，地理坐标为 48° 17' N-48° 27' N, 134° 24' E-135° 05' E，有中国东极之称。东、北两面与俄罗斯隔黑龙江、乌苏里江相望，冬长冷，夏短热，雨水充沛，光照充足，属中温带大陆性季风气候，年平均气温为 2.2℃，年平均降水量 600mm 左右，年积温为 2452.9℃，无霜期平均为 155d。

## 1.2 样品采集

采样地点基本信息见表 1。在岛外山地天然次生林地坡顶(Slope crest, SC)、坡中(Slope middle, SM)、坡下(Slope tail, ST)、平地森林(Plain forest, PF)和岛内沼泽草甸(Cienaga meadow, CM)、湿地沼泽(Wetland swamps, WS)各选定三个点,在各点挖取典型土壤剖面,按土壤发生层(A:腐殖质层、AB:过渡层、B:淀积层)取样,记录各层厚度。各土层取的土样分别用于理化性质和微生物的测定,取样时间分别为 2016 年 6 月、10 月。

## 1.3 测定方法

土壤样品风干后过筛,每一测定项目设置 3 组重复试验。

土壤理化性质:含水量(烘干法)、容重(环刀法)、土壤有机碳(重铬酸钾外加热)、土壤全氮(凯氏定氮仪)、土壤全磷(硫酸-高氯酸酸溶-钼锑抗比色法)、全钾(酸溶-火焰光度法)、pH 值(手持式 pH 仪)。

土壤酶活性:转化酶不仅能够表征土壤生物学活性强度,也可以做为评价土壤熟化程度和土壤肥力水平的一个指标,使用硫代硫酸钠滴定法测定其活性。脲酶表征了土壤氮素养分状况,使用靛酚兰比色法测定其活性。过氧化氢酶活性可以表征土壤腐质化强度大小和有机质积累程度,使用高锰酸钾滴定法测定其活性。

## 1.4 统计方法

采用 SPSS18.0.0、Excel 2010 软件分析,用单因素方差分析(one-way ANOVA)对土壤酶不同样地、土层进行差异显著性检验(Duncan 检验,  $P < 0.05$ ),并用 Pearson 相关系数评价不同因子间的相关关系。

# 2 结果与分析

## 2.1 土壤理化特性

由表 2 可知,各样地土壤容重值介于  $0.758 \sim 1.358 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,A 层的土壤容重低于 AB、B 层,除坡中各土层差异不显著,其他样地差异显著( $P < 0.05$ )。土壤含水量在  $12.07 \sim 34.33\%$  之间,A 层土壤含水量高于 AB、B 层,除湿地沼泽各土层差异不显著,其他样地差异显著( $P < 0.05$ )。土壤 pH 值在  $4.68 \sim 5.54$  之间,A 层低于 AB、B 层,但差异不显著。有机碳在  $51.56 \sim 2.79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间、全氮在  $5.33 \sim 0.28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间,全磷在  $0.81 \sim 0.31 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间、全钾在  $25.86 \sim 11.41 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间。土壤多数养分在 A 层含量均高于 B 层,其中土壤有机碳、全氮含量在坡中与坡下 A 层与 B 层差异不显著外,其他样地差异显著( $P < 0.05$ )。

表 2 样地土壤理化特性

Table 2 Physical and chemical properties of soil samples

样地	土壤发生层	土层深度	容重	含水量	pH	全氮	有机碳	全磷	全钾
Plot	soil genetic horizon	Soil depth cm	Bulk density $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Water content %		Total nitrogen $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	Organic carbon $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	Total phosphorus $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	Total potassium $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
坡顶	A	0~8	0.75bB	15.73cA	4.68cA	3.08 bA	32.69bA	0.81aA	17.09cA
(SC)	B	8~17	1.14bA	13.34cB	4.74dA	2.46 aB	26.38aB	0.55aA	12.3cB

坡中 (SM)	A	0~10	0.85abA	21.42cA	5.05bA	2.05bcA	30.22bA	0.36cA	20.12bcA
	B	10~24	1.19abA	14.75bB	5.15cA	1.861abA	27.89aA	0.31bA	18.21bA
坡下 (ST)	A	0~14	0.73bB	19.97cA	5.36aA	2.29bcA	24.33bA	0.42cA	23.15abA
	B	14~30	1.24abA	12.07cB	5.54aA	1.29bcA	14.00bA	0.39bA	21.4abA
平地森林 (PF)	A	0~18	0.88abB	29.29bA	5.04bB	5.33aA	51.56aA	0.73abA	16.97cA
	AB	18~58	1.35abA	15.92bcB	5.48abA	1.04bcB	10.00bcB	0.63aB	13.81cB
	B	58~100	1.42aA	17.1bcB	5.54aA	0.63cB	6.59cB	0.58aB	12.34cB
沼泽草甸 (CM)	A	0~12	1.15aB	19.14cA	5.19abA	1.8bcA	19.26bcA	0.38cA	25.86aA
	AB	12~56	1.35abA	16.98bcA	5.22bcA	0.53cB	8.68bcB	0.38bA	24.01aA
	B	56~100	1.23abAB	18.44aA	5.26cA	0.28cB	2.79cC	0.37bA	11.41cB
湿地沼泽 (WS)	A	0~40	0.85ab	34.33a	4.98b	0.58c	5.95c	0.61b	18.92c

大写字母为同样地不同土层差异显著( $P<0.05$ ),小写字母为不同样地同一土层差异显著( $P<0.05$ )。

The capital letters were different in the same soil layer ( $P<0.05$ ), and the lowercase letters were not significantly different from the same soil layer ( $P<0.05$ ).

## 2.2 酶活性的时间空变化

过氧化氢酶活性在  $0.06\sim 0.76\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 20\text{min}^{-1}$ , 秋季酶活性低于夏季, A 层降低幅度为  $41.0\sim 61.5\%$ , B 层降低幅度为  $4.7\sim 71.9\%$ ; 此外 B 层土壤过氧化氢酶活性低于 A 层。在夏季坡地 A、B 层过氧化氢酶活性样地间差异不显著( $P>0.05$ ), 随海拔升高过氧化氢酶活性有降低的趋势, 坡地过氧化氢酶活性显著高于平地样地 ( $P<0.05$ ), 平地森林、沼泽和草甸依次降低。秋季坡地与平地森林中 A 层过氧化氢酶活性无显著差异, 均显著高于湿地草甸和沼泽( $P<0.05$ ), 坡地过氧化氢酶活性海拔间没有明显变化规律。(图 1)

脲酶活性在  $0.46\sim 4.72\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ , 无明显季节变化规律; 随着土层的深度增加, 脲酶活性降低。两季平地样地 A 层脲酶活性分布规律一致, 按森林、草甸、沼泽顺序依次下降。夏季坡地 A 层脲酶活性表现出随海拔升高而升高的趋势, 湿地草甸、平地森林与坡上酶活性无显著差异 ( $P>0.05$ ), 脲酶活性均达到较高水平, 湿地沼泽脲酶活性最低 ( $0.41\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ ); B 层坡下脲酶活性最高 ( $0.57\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ )。秋季 A 层坡地没有明显变化规律, 在森林平地脲酶活性达到最高 ( $4.27\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ ); 在 B 层湿地草甸 AB 脲酶活性最高 ( $0.72\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ ) (图 2)。

转化酶活性在  $0.17\sim 5.51\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ , 从总体来看秋季转化酶活性高于夏季。在夏季, 坡地 A 层转化酶活性与秋季变化规律一致, 即转化酶活性随海拔升高而降低, A 层坡下转化酶活性最高 ( $5.05\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ ), B 层坡上转化酶活性最高 ( $1.05\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ ); 在秋季 A 层平地森林转化酶活性最高 ( $7.47\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ ), B 层湿地草甸 AB 转化酶活性最高 ( $2.51\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ ) (图 3)。

通过对不同生境、季节土壤酶活性重复试验方差分析, 表明 A 层的脲酶活性随生境变化表现出显著差异 ( $P<0.05$ ), 除此之外三种酶活性对生境与季节变化没有表现出显著差异。

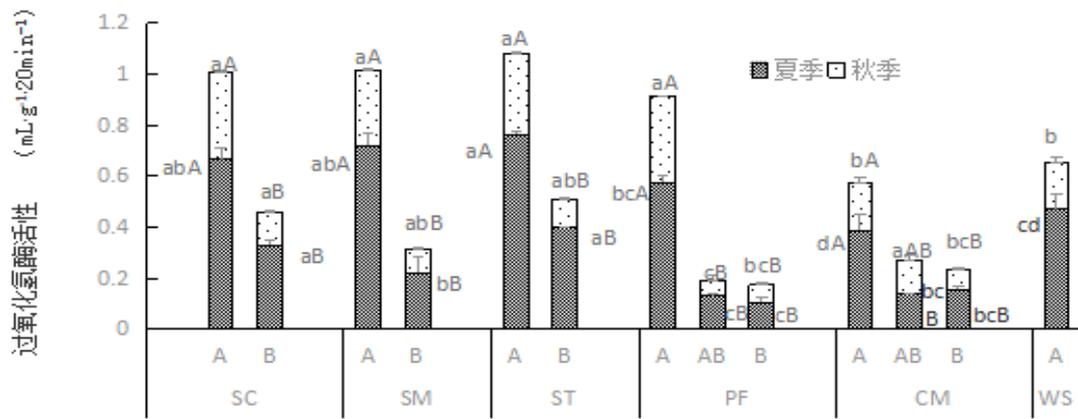


图 1

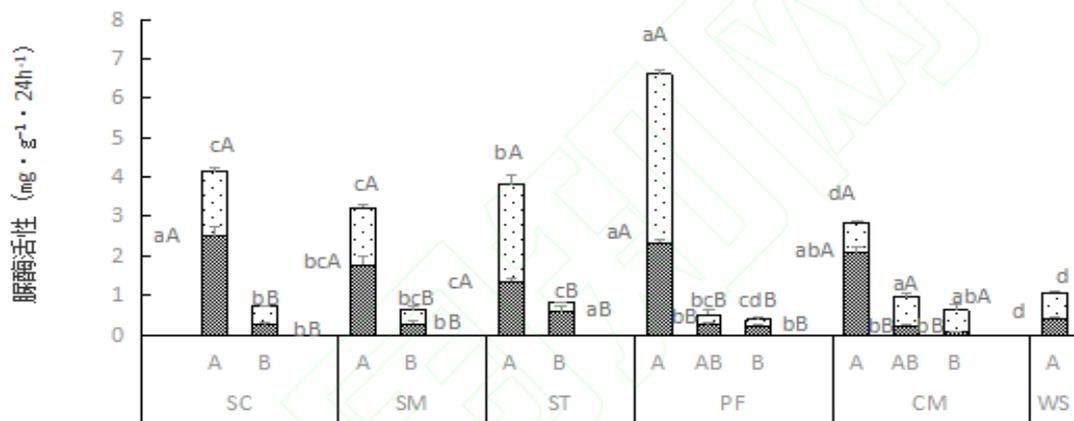


图 2

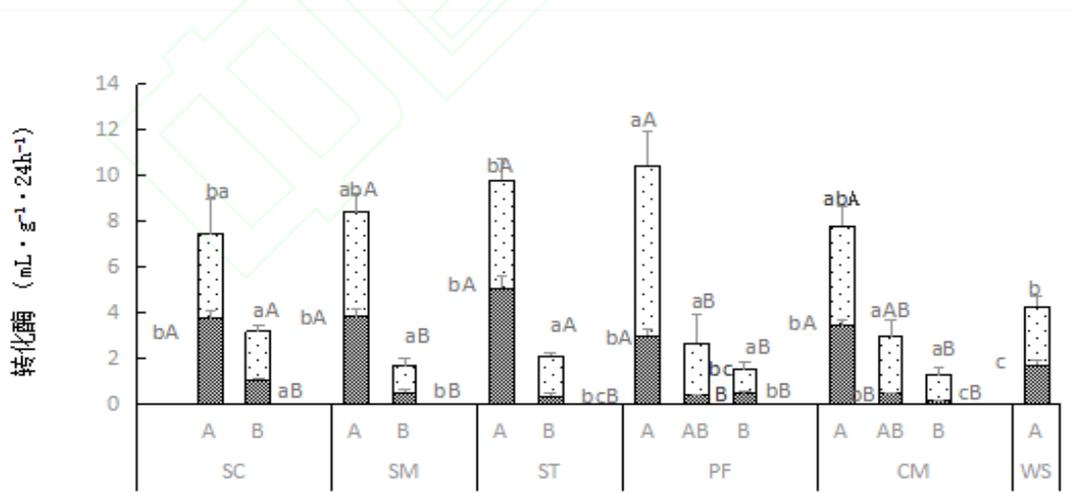


图 3

注：小写字母表示同一土层不同样地间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示同一样地不同土层间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

The lower case letters indicate that the difference between the same soil layers is significant ( $P < 0.05$ ). The different upper case letters indicate that the difference between the different soil layers is significant ( $P < 0.05$ ), and the same is the same.

图 1-3 研究区土壤酶活性

Fig1-3 Soil enzyme activity in the study area

表 3 土壤酶活性间及与理化性质的相关关系

Table3 Relationship between soil enzyme activity and physical-chemical properties

样地	土壤酶	容重	含水量	pH	全氮	有机碳	全磷	全钾	过氧化氢酶	转化酶
Place	soil enzyme	Bulk density	Water content		Total nitrogen	Organic carbon	Total phosphors	Total potassium	Catalase	Invertase
坡上 (SC)	过氧化氢酶	-0.879	0.753	0.849	0.886	0.664	0.94	-0.167		
	转化酶	-0.987*	0.383	0.718	0.785	0.797	0.979*	-0.533	0.888	
	脲酶	-0.990**	0.438	0.726	0.792	0.808	0.981*	-0.48	0.911	0.998**
坡中 (SM)	过氧化氢酶	-0.739	0.918**	-0.104	0.364	-0.271	0.331	0.527		
	转化酶	-0.61	0.905*	-0.331	0.151	0.341	0.401	0.275	0.73	
	脲酶	-0.558	0.936**	-0.025	0.04	-0.022	0.283	0.218	0.861*	0.882*
坡下 (ST)	过氧化氢酶	-0.891*	0.873*	-0.663	0.69	0.686	0.453	0.582		
	转化酶	-0.835*	0.899*	-0.705	0.683	0.678	0.613	0.722	0.980**	
	脲酶	-0.662	0.752	-0.457	0.491	0.484	0.442	0.593	0.904*	0.872*
平地森林 (PF)	过氧化氢酶	-0.959**	0.898**	-0.922**	0.873**	0.872**	0.882**	0.909**		
	转化酶	-0.968**	0.950**	-0.893**	0.899**	0.873**	0.804**	0.881**	0.945**	
	脲酶	-0.918**	0.804**	-0.869**	0.772*	0.789*	0.908**	0.872**	0.971**	0.869**
沼泽草甸 (CM)	过氧化氢酶	-0.707*	0.362	-0.373	0.965**	0.848**	-0.052	0.531		
	转化酶	-0.59	0.235	-0.242	0.983**	0.948**	-0.049	0.659	0.966**	
	脲酶	-0.469	0.309	-0.346	0.937**	0.928**	-0.019	0.832**	0.872**	0.916**
湿地沼泽 (WS)	过氧化氢酶	-0.984	0.992	0.942	0.447	-0.334	0.476	-0.456		
	转化酶	-0.998*	0.969	0.894	0.333	-0.448	0.581	-0.562	0.992	
	脲酶	0.535	-0.258	-0.044	0.661	0.999*	-0.994	0.996	-0.376	-0.487

\*表示相关性在 0.05 水平上显著，\*\*表示相关性在 0.01 水平上显著。

\* indicates that the correlation is significant at the 0.05 level, and \*\* indicates that the correlation is significant at the 0.01 level.

### 2.3 土壤酶活性间及与土壤理化性质的相关关系

由表 3 可知，土壤容重与酶活性在样地中普遍呈显著或极显著性负相关，土壤含水量与土壤酶活性在坡地与平地森林呈正相关，土壤 pH 与土壤酶活性在平地森林呈极显著性负相关；坡地与沼泽土壤化学性质与酶活性相关性差，平地森林与沼泽草甸土壤化学性质与酶活性呈显著或极显著正相关；除湿地沼泽外，各样地土壤酶活性间呈正相关。

## 3 讨论

### 3.1 土壤酶活性与土壤理化性质的关系

不同生境土壤酶活性与土壤理化性质相关性不同，土壤容重与酶活性普遍呈显著或极显著性负相关，与陶宝先<sup>[8]</sup>等人研究结果一致，表明土壤容重越高，土壤孔隙度变小，限制了土壤生物的正常活动，从而抑制了土壤酶活性。土壤酶活性与含水量在林地呈显著或极显著性正相关关系，在沼泽草甸、湿地沼泽相关性差。金裕华等<sup>[9]</sup>研究表明武夷山林地、草甸土壤酶活性与含水量相关性差，A 层土壤含水量在 36%~59%；高于本研究区林地、草甸一倍左右，当低土壤含水量成为限制酶活性的重要因素后，土壤化学养分含量对酶活性影响减小。

土壤化学性质与酶活性在坡地相关性差，而在平地森林相关性高。平地森林样地植被为山杨白桦混交林，对于地力的利用比纯林更充分<sup>[10]</sup>，植被的多样性为土壤酶的来源提供了更丰富的途径，如土壤枯落物与微生物种类的增加，削弱了平地森林土壤低含水量对酶活性的限制作用。此外土壤酶活性间相关性高，不同土壤环境中土壤酶活性相关性不同，土壤环境的差异改变了土壤酶促反应条件。湿地沼泽土壤脲酶活性与转化酶、过氧化氢酶活性呈负相关关系，其他样地酶活性两两间总体呈显著或极显著正相关。

### 3.2 土壤酶活性的空间分布特征

土壤酶活性随着土层的深入而呈现明显的降低趋势。表层土壤酶活性在整个土壤剖面上最高<sup>[11]</sup>，伴随着腐殖质上层的动植物残体的腐解，残体内各类酶进入土壤，从而提高表层土壤酶活性<sup>[12]</sup>。

坡位对酶活性产生一定影响，夏季 A 层过氧化氢酶与转化酶活性随坡位升高有降低趋势，脲酶活性随坡位升高而升高。不同研究中酶活性海拔分布规律不同，金裕华<sup>[9]</sup>等研究表明坡位随海拔升高土壤酶活性总体上是递增的；唐学芳等<sup>[13]</sup>认为夏季土壤脲酶活性随坡位升高而波动变化。以上结论与本文研究结果并不完全矛盾，本研究表明部分酶活性在随坡位升高时有降低趋势，因为坡地植被群落全部为落叶阔叶林，坡位相差 137m，所以覆盖植被、坡位高差差别较小，导致酶活性随坡位变化不显著。

脲酶在 A 层的活性随生境变化表现出显著差异 ( $P < 0.05$ )，除此之外三种酶活性在生境与季节的交互影响下没有表现出显著差异，这与斯贵才等<sup>[14]</sup>研究结果一致，其中由于脲酶主要来源于植物，受不同地带覆盖植被影响更为明显<sup>[15]</sup>。平地森林秋季 A 层脲酶与转化酶活性比坡地分别高 75.7~194.4%、64.4~101.3%，这是由于凋落物种类和质量以及林地条件对土壤酶活性有较为深刻的影响<sup>[16]</sup>，通过对研究区调查得知坡地纯林与平地混交林树木密度比为 1:1.34，高枯落物输入量提高了平地森林土壤 C、N 等元素含量，而脲酶与转化酶催化底物主要是由 C、N 组成的有机物，使这两种酶催化反应底物量与酶活性提高。秋季脲酶与转化酶活性按森林平地、沼泽草甸、湿地沼泽顺序降低，造成这种差异的原因可能是由于林木枯落物对提高酶活性的能力高于草本。氧化氢酶活性在整个剖面上均以草地土壤最低，且有研究表明<sup>[17]</sup>随着草地生长年限的增加过氧化氢酶活性会呈下降趋势，该现象成因需进一步研究。

### 3.3 土壤酶活性的时间变化

不同酶活性的季节变化规律不同，秋季过氧化氢酶活性低于夏季，秋季转化酶活性高于夏季，脲酶活性季节变化并无明显规律，但 3 种土壤酶活性随季节变化差异不显著 ( $P < 0.05$ ) (表 4)，与金裕华等<sup>[9]</sup>人对武夷山土壤酶活性季节变化研究结果一致。与“土壤酶活性高峰主要出现在温度较高的季节”<sup>[18-20]</sup>结论不尽相同，由于气温、有机物的输入和覆盖植被的差异，各种酶对各因素敏感程度不同，过氧化氢酶活性因为温度升高而升高，故在夏季会高于秋季；而转化酶、脲酶催化底物为 C、N 组成的有机物，进入秋季后，由于地上植被枯萎和死亡，其凋落物进入土壤，同时土壤根系逐渐死亡，土壤微生物活动加强<sup>[21]</sup>，在季节温

度与凋落物的综合影响下表现为秋季转化酶活性总体高于夏季,表明本地区土壤转化酶活性受凋落物输入影响大于季节温度变化;而脲酶没有表现出明显规律,这是两种酶对外界环境的敏感特征的差异造成的。陶宝先等<sup>[8]</sup>对苏南丘陵地区土壤酶活性研究表明各季节间均呈极显著性差异,土壤过氧化氢酶活性变化规律为秋季高于夏季,当地属亚热带季风气候,夏秋季节相对较小的温度变化,可能是使秋季凋落物增加成为影响酶活性变化的主要因素之一;本研究区由于年温差较大,使气温变化对酶活性影响程度提高,在与枯落物输入的交互影响下改变了酶活性的变化规律。

## 4 结论

(1) 平地混交林土壤理化指标、酶活性及两者相关性程度总体高于其他坡地纯林、沼泽草甸和湿地沼泽。

(2) 林地区域土壤含水量成为限制转化酶、脲酶和过氧化氢酶酶活性的重要限制因子。

(3) 季节温度与枯落物的输入会对土壤酶活性产生交互影响,过氧化氢酶活性受气温影响在秋季大幅降低,枯落物输入的增加成为转化酶活性变化的主导因子并使其活性在秋季明显提高,脲酶活性在两种因子的交互影响下没有表现出明显规律。

## 参考文献

- [1]关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986
- [2]孙慧,张建锋,胡颖,王雷,陈光才. 土壤过氧化氢酶对不同林分覆盖的响应[J]. 土壤通报, 2016, 47(03): 605-610.
- [3]朱美玲,贡璐,张龙龙. 塔里木河上游典型绿洲土壤酶活性与环境因子相关分析[J]. 环境科学, 2015, 36(07): 2678-2685.
- [4]Badiane NNY, Chotte J L, Pate E, et al. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18( 3) : 229 - 238.
- [5]王宗明,宋开山,刘殿伟,等. 1954~2005a 三江平原沼泽湿地农田化过程研究[J]. 湿地科学, 2009, 7(3): 208-217.
- [6]陈阳,张建军,杜国明,付梅臣,刘凌露. 三江平原北部生态系统服务价值的时空演变[J]. 生态学报, 2015, 35(18): 6157-6164.
- [7]卜坤,张树文,闫业超,王文娟,张宇博. 三江平原不同流域水土流失变化特征分析[J]. 地理科学, 2008(03): 361-368.
- [8]陶宝先,张金池,愈元春,丛日亮. 苏南丘陵地区森林土壤酶活性季节变化[J]. 生态环境学报, 2010, 19(10): 2349-2354.
- [9]金裕华,汪家社,李黎光,阮宏华,徐自坤,韩凌云. 武夷山不同海拔典型植被带土壤酶活性特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(09): 1955-1961.
- [10]汤文艳,韦秋梅,姚贤宇,潘婷,龙佳峰,叶绍明. 尾巨桉纯林及与降香黄檀混交林土壤理化性质差异分析[J]. 陕西农业科学, 2016, 62(09): 67-72.
- [11]Kandeler E, Luxh i J, Tschерko M, et al. Xylanase, invertase and protease at the soil-litter interface of a loamy sand. *Soil Biol & Biochem*, 1999, 31: 1171~1179
- [12]关松荫编著,土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986.
- [13]唐学芳,孙辉,罗英,唐亚,祝其丽. 珠穆朗玛峰北坡土壤脲酶和中性磷酸酶活性初步研

- 究[J]. 土壤通报, 2008, (02): 270-274.
- [14] 斯贵才, 袁艳丽, 王建, 夏燕青, 雷天柱, 张更新. 藏东南森林土壤微生物群落结构与土壤酶活性随海拔梯度的变化[J]. 微生物学通报, 2014, 41(10): 2001-2011.
- [15] Caldwell BA. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review[J]. *Pedobiologia*, 2005, 49(6): 637-644
- [16] Fioretto A, Papa S, Curcio E, et al. Enzyme dynamics on decomposing leaf litter of *Cistus incanus* and *Myrtus communis* in a Mediterranean ecosystem. *Soil Biol & Biochem*, 2000, 32: 1847-1855
- [17] 王理德, 王方琳, 郭春秀, 韩福贵, 魏林源, 李发明. 土壤酶学研究进展[J]. 土壤, 2016, 48(01): 12-21.
- [18] Garcia C, Hernandez MT. *Research and Perspectives of Soil Enzymology in Spain*. Murcia, Spain: CEBAS-CSIC, 2000
- [19] Yang WQ(杨万勤), Zhong ZC(钟章成), Tao JP(陶建平), He CM(何维明). Study on relationship between soil enzymic activities and plants species diversity in forest ecosystem of Mt. Jinyun. *Sci Sil Sin(林业科学)*, 2001, 37(4): 124~ 128
- [20] 张鹏, 田兴军, 何兴兵, 等. 2007. 亚热带森林凋落物土壤酶活性的季节动态. *生态环境*, 16(3): 1024-1029.
- [21] 熊浩仲, 王开运, 杨万勤. 川西亚高山冷杉和白桦林土壤酶活性季节动态[J]. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(4): 416-420.