

# 三峡库区 2 类典型森林 5 种土壤酶季节动态 及其与养分的关系

范艳春<sup>1</sup> 王鹏程<sup>1</sup> 肖文发<sup>2</sup> 曾立雄<sup>2</sup> 黄志霖<sup>2</sup> 雷静品<sup>2</sup>

1. 华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070; 2. 中国林业科学研究院, 北京 100091

**摘要** 以三峡库区 2 类典型的森林类型马尾松纯林和马尾松-杉木混交林为研究对象, 测定土壤理化性质与不同季节酶活性, 以揭示土壤酶的季节动态及其与养分的关系。结果表明: 5 种酶活性最低值均出现在冬季 (1 月), 除多酚氧化酶活性最高值出现在夏季 (7 月) 外, 其余 4 种酶活性最高值出现在秋季 (10 月)。蔗糖酶、脲酶和过氧化氢酶活性的季节变化规律一致, 从夏季到冬季呈现先升高后降低再升高的变化趋势, 多酚氧化酶、过氧化氢酶和纤维素酶的季节变化则呈现从春季到秋季持续升高再降低的动态规律。除多酚氧化酶外, 其余 4 种酶活性均与土壤有机质、全氮、土壤含水量、硝态氮呈极显著正相关, 4 种酶之间均存在显著的正相关关系。

**关键词** 三峡库区; 马尾松林; 土壤酶; 土壤养分; 季节动态

**中图分类号** S 718.51<sup>+</sup>6 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)04-0039-06

土壤酶参与催化土壤中一切生物化学过程, 并与有机质分解、能量流动、物质循环等有密切的关系<sup>[1-2]</sup>。土壤酶活性影响土壤中生物化学过程, 决定物质循环速率, 因而, 土壤酶活性高低对森林的碳循环有直接影响, 对全球碳平衡和气候变化起重要作用。然而, 由于目前缺乏关于微生物活性、酶活性及其对生态过程影响的综合研究, 导致无法从机制上揭示全球变化背景下碳源/汇功能变化, 因此, 越来越多学者重视森林生态系统土壤酶活性和微生物动态及其对物质循环过程影响的研究。

三峡库区是三峡工程所在地, 是我国重要的水源区, 也是我国生物多样性保护的热点区域, 成为我国生态安全体系的关键地区<sup>[3]</sup>。同时区域山高坡陡、降水集中, 也是我国水土流失严重和地质灾害频发区域, 区域森林在水源涵养、水土保持、生物多样性维持、面源污染控制等方面发挥着巨大作用<sup>[4]</sup>。马尾松 (*Pinus massoniana*) 和杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 等作为三峡库区的主要造林树种, 在生态工程建设中广泛使用。森林资源调查统计数据显示, 马尾松纯林及马尾松-杉木混交林在三峡库区有大面积分布, 是区域典型的人工林类型。近年来, 许多学者对三峡库区的植被类型调查<sup>[5-6]</sup>、森林水文效

应<sup>[7]</sup>、凋落物动态<sup>[8]</sup>、土壤重金属<sup>[9]</sup>、土壤酶<sup>[10]</sup>及土壤微生物<sup>[11]</sup>等开展系列研究, 但有关马尾松林土壤酶的季节变化动态和土壤质量评价指标尚未见报道。土壤酶可以作为土壤健康状况和土壤肥力的评价指标, 从本质上反映土壤碳、氮、磷、钾的转化强度以及土壤 pH 与通透性等综合性状和动态变化, 对土壤生态系统中各种生物化学过程调控的功能发挥具有重要的意义。因此, 本研究拟通过对马尾松纯林和马尾松-杉木混交林中与 C、N 循环相关的脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶及纤维素酶活性的测定, 分析酶活性的季节动态, 探讨土壤酶活性与土壤养分之间的相关关系, 以期更深入地了解森林土壤的生态过程和功能。

## 1 材料与方法

### 1.1 样地的选择

马尾松纯林和马尾松-杉木混交林样地均设置在湖北省秭归县境内。秭归县是三峡大坝的库首县, 地跨 110°18'~111°E, 30°38'~31°11'N, 属亚热带湿润气候, 年均气温 17~19 °C, 年均降水 1 150 mm, 且集中在 4-9 月。秭归县境内土壤以为黄壤、黄棕壤、棕壤和紫色土为主, 植被类型主要为针

收稿日期: 2013-09-25

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BADA38D04) 和林业公益性行业科研专项 (201104008)

范艳春, 硕士研究生。研究方向: 景观生态学。E-mail: Fanyanchun666@163.com

通信作者: 王鹏程, 博士, 副教授。研究方向: 园林生态学、景观生态学。E-mail: pengchengwang@163.com

叶纯林、针阔混交林、落叶阔叶林、常绿阔叶林和山地灌丛等。

马尾松纯林和马尾松-杉木混交林样地面积均为 40 m×50 m,马尾松纯林样地(样地 A)设置在夔龙山上坡,平均坡度为 26°,土壤是石英砂土,环境均质,且无溪流沟壑,人类活动干扰较小。马尾松-杉木混交林(样地 B)位于秭归县罗家中坡,坡度 36°,土壤为山地黄棕壤,样地受人类活动干扰较小。样地其他基本信息见表 1。

表 1 样地基本信息

Table 1 The information of sample plots

样地 Sample plot	林龄/a Stand age	林分密度/hm <sup>-2</sup> Stand density	平均树高/m Average height	平均胸径/cm Average DBH	灌木种类 Species of shrubbery	草本种类 Species of herb
A	35~40	855	20.6	18.24	金樱子 ( <i>Rosa laevigata</i> )、山胡椒 ( <i>Lindera glauca</i> )、盐肤木 ( <i>Rhus chinensis</i> ) 等	茜草 ( <i>Rubia cordifolia</i> )、海金沙 ( <i>Lygodium japonicum</i> )、商陆 ( <i>Phytolacca acinosa</i> )、菝葜 ( <i>Smilax china</i> ) 等
B	35~40	马尾松 ( <i>Pinus massoniana</i> ) 470, 杉木 ( <i>Cunninghamia lanceolata</i> ) 600	马尾松 ( <i>Pinus massoniana</i> ) 22.4, 杉木 ( <i>Cunninghamia lanceolata</i> ) 16.7	马尾松 ( <i>Pinus massoniana</i> ) 22.30, 杉木 ( <i>Cunninghamia lanceolata</i> ) 13.85	槲木 ( <i>Loropetalum chinense</i> )、毛黄栌 ( <i>Cotinus coggygria</i> ) 和油茶 ( <i>Camellia oleifera</i> ) 等	腹水草 ( <i>Veronicastrum axillare</i> )、稗草 ( <i>Echinochloa crusgalli</i> ) 等

的活性;一部分风干、粉碎后,过 1 mm 和 0.25 mm 筛用于土壤理化性质的测定。

### 1.3 测定方法

土壤理化性质测定参照文献[12]。土壤含水量用烘干法测定;土壤 pH 值采用酸度计法;土壤硝态氮和铵态氮以 2 mol/L 的 KCl 浸提过滤后,用 Smartchem140 化学间断分析仪测定;土壤有机质采用高温外加热重铬酸钾法测定;土壤全氮采用重铬酸钾-浓硫酸法消化,用 FIAstar5000 流动注射分析仪测定;蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以 24 h 后 1 g 土壤中葡萄糖的质量表示其活性;纤维素酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以 72 h 后 10 g 土壤生成的葡萄糖质量表示其活性;脲酶测定采用靛酚蓝比色法,以 24 h 后 1 g 土壤中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的质量表示其活性;多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法测定,以 2 h 后 1 g 土壤中紫色没食子素的质量表示其活性;过氧化氢酶活性用紫外分光光度法测定,以每 20 min 内 1 g 土壤分解的过氧化氢质量表示其活性。

### 1.4 数据统计分析

所有数据用 SAS 8.0 和 SPSS17.0 进行处理。

## 1.2 样品采集方法

在完成样地信息调查后,分别于 2011 年 7 月、10 月,2012 年 1 月、3 月在两样地“Z”形布设采样点各 15 个,去除各采样点上的枯枝落叶层后,用直径 5 cm 的土钻取 0~20 cm 土层,重复 3 次,并现场称取一定量土样,用于土壤含水量测定。其他各土壤样品采用“四分法”处理,并将每样点的土样分成 2 份,一部分样品在去除根系、动植物残体和石砾后混匀,过 4 mm 筛放于 4 °C 的冰箱中保存待测土壤酶

## 2 结果与分析

### 2.1 2 类森林中 5 种土壤酶活性的季节变化

2 类森林的土壤蔗糖酶、脲酶、多酚氧化酶、过氧化氢酶和纤维素酶活性均有较明显的季节性变化(图 1),表明土壤酶受季节影响明显;过氧化氢酶和脲酶的季节变异系数比较小,说明过氧化氢酶和脲酶的季节变化幅度低于其他几种酶(表 2)。

2 类森林土壤蔗糖酶活性均在 10 月达到最高,1 月最低(图 1A)。纤维素酶活性季节变化幅度明显大于蔗糖酶,酶活性从 7 月上升,于 10 月达到最高,而后快速降到最低点(图 1B)。土壤脲酶活性与蔗糖酶变化趋势一致,其活性同样在 10 月最高(图 1C),混交林的季节变异系数(23.06%)高于纯林(10.12%)。从而可以看出土壤碳循环和氮循环是协同发展的,土壤中碳、氮素的供应在 10 月最充足,在冬季相对匮乏。过氧化氢酶活性先升高并在 10 月达到峰值,然后迅速降低,1 月达到最低值(图 1D),而多酚氧化酶的活性在 7 月达到最高值,然后缓慢降低,在 1 月到达最低值(图 1E)。

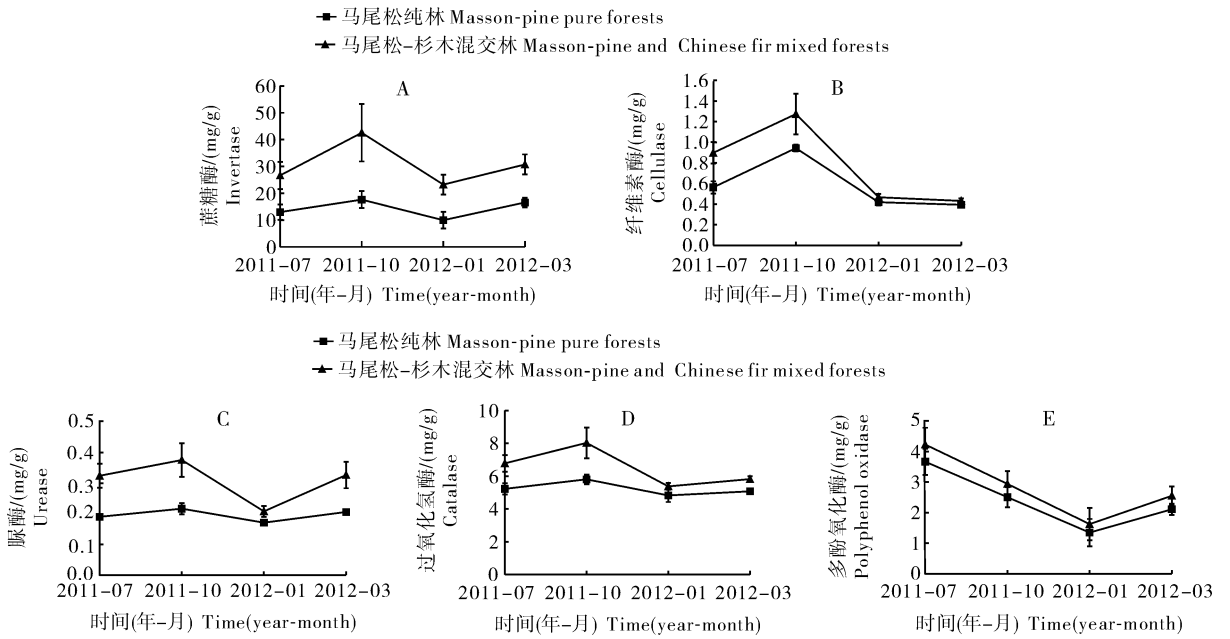


图 1 马尾松纯林和马尾松-杉木混交林中 5 种酶活性季节动态

Fig. 1 The seasonal dynamics of five soil enzymes activities of masson-pine pure forests, masson-pine and Chinese fir mixed forests

在测定的 5 种土壤酶中,除多酚氧化酶活性最大值出现在 7 月外,其余 4 种酶活性的峰值均出现在 10 月,这一现象与马尾松、杉木的年生长规律有密切的关系,因为它们的主要生长期集中在 6—8 月,而后逐渐转入休眠期。从林分上看,马尾松-杉木混交林的 5 种酶活性值均显著高于马尾松纯林的酶活性,表明混交林在凋落物的分解速度明显高于马尾松纯林;除多酚氧化酶外,混交林中蔗糖酶、脲酶,过氧化氢酶、纤维素酶的季节变化幅度要高于马尾松纯林。

2.2 5 种土壤酶活性的相关性

对 5 种土壤酶活性进行相关性分析(表 2),可以看出蔗糖酶、纤维素酶、过氧化氢酶和脲酶 4 种酶

的活性两两之间呈现极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ),表明这 4 种酶协同参与土壤物质循环,将有机物残体分解转化为植物可吸收利用的营养物质。纤维素酶与过氧化氢酶之间的相关系数为 0.936,呈极显著正相关关系;脲酶与纤维素酶、脲酶与过氧化氢酶也呈现极显著的正相关关系,相关系数分别为 0.902、0.916。多酚氧化酶与其他几种土壤酶之间的相关系数较小,表明它们之间不存在明显的相关关系。

2.3 土壤酶与土壤基本理化性质的相关性

统计并比较 2 类森林土壤理化性质(表 3)可以看出,马尾松纯林与马尾松-杉木混交林土壤中氨态氮和硝态氮含量没有显著差异。马尾松-杉木混

表 2 5 种土壤酶活性的相关性<sup>1)</sup>

Table 2 The correlation coefficient among five soil enzymes activities

土壤酶 Soil enzymes	脲酶 Urease	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	纤维素酶 Cellulase	过氧化氢酶 Catalase	蔗糖酶 Invertase
脲酶 Urease	1.000				
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	0.065	1.000			
纤维素酶 Cellulase	0.902 **	0.002	1.000		
过氧化氢酶 Catalase	0.916 **	0.079	0.936 **	1.000	
蔗糖酶 Invertase	0.647 **	-0.091	0.724 **	0.696 **	1.000

1) \*\* 表示在 0.01 水平上差异显著,下同。 \*\* show significant difference at 0.01 level respectively. The same as follows.

交林中土壤含水量、有机质含量和全氮含量显著高于马尾松纯林( $P < 0.01$ ), 而土壤 pH 显著低于马尾松纯林( $P < 0.01$ )。

从土壤酶活性与土壤理化性质的相关性分析结果(表 4)可以看出, 蔗糖酶、纤维素酶、过氧化氢酶和脲酶的活性均与土壤含水量、有机质含量、全氮和

硝态氮含量间存在极显著的正相关关系( $P < 0.01$ ), 多酚氧化酶活性只与 pH 值呈极显著负相关关系( $P < 0.01$ )。土壤氨态氮含量与测定的 5 种土壤酶活性间无明显相关性。结果表明: 蔗糖酶、纤维素酶、过氧化氢酶和脲酶 4 种土壤酶活性对土壤养分有显著影响, 而多酚氧化酶活性受土壤酸碱性影响较大。

表 3 2 种森林土壤理化性质<sup>1)</sup>

Table 3 The soil physical and chemical properties in two types of forests

样地 Sample plot	pH	土壤含水量 Soil moisture	全氮 Total N	有机质 Organic matter	硝态氮 Nitrate nitrogen	氨态氮 Ammoniacal nitrogen
A	4.90±0.12 A	0.08±0.02 A	1.78±0.51 A	38.49±7.78 A	2.33±0.91 A	8.17±4.55 A
B	4.67±0.10 B	0.27±0.05 B	2.63±0.60 B	60.66±14.21 B	2.88±0.10 A	7.23±1.62 A

1) 不同大写字母表示 2 类林分下差异显著( $P < 0.01$ ) Capital letter showed significant difference at 0.01 level according to Duncan's multiple range test between different forests.

表 4 土壤酶活性与土壤基本理化性质间的相关性

Table 4 The correlation coefficient between soil enzyme activities and chemical properties

土壤酶 Soil enzymes	有机质 Organic matter	全氮 Total N	硝态氮 Nitrate nitrogen	氨态氮 Ammoniacal nitrogen	pH	土壤含水量 Soil moisture
脲酶 Urease	0.67**	0.49**	0.45**	-0.10	-0.07	0.95**
过氧化氢酶 Catalase	0.60**	0.45**	0.48**	-0.12	0.02	0.95**
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	0.14	0.16	0.07	-0.03	-0.49**	0.20
蔗糖酶 Invertase	0.59**	0.47**	0.59**	0.01	-0.22	0.68**
纤维素酶 Cellulase	0.60**	0.42**	0.54**	-0.12	0.05	0.92**

## 3 讨论

### 3.1 5 种酶活性的季节变化趋势

本研究结果表明, 测定的 5 种土壤酶活性均呈现明显的季节动态, 但不同酶的季节变化规律存在差异。有学者研究表明土壤酶活性高峰出现在温度较高的季节<sup>[13]</sup>, 而本研究发现仅多酚氧化酶活性的峰值出现在 7 月, 这是因为多酚氧化酶对温度的敏感性较强, 7 月土壤温度高, 凋落物丰富, 为微生物提供适宜的环境和物质基础。而蔗糖酶、纤维素酶、过氧化氢酶和脲酶活性的峰值出现在 10 月, 原因在于 10 月是马尾松林的凋落高峰期, 凋落物的“起爆剂效应”(priming effect)为土壤微生物提供丰富营养, 增强了与土壤酶分泌相关的微生物活动, 从而显著提高这 4 种酶的活性。该结果与宋学贵等<sup>[14]</sup>、熊浩冲等<sup>[15]</sup>的研究结果一致, 但与很多学者的结果存在差异。产生这种差异的主要原因在于土壤酶活性是由森林土壤性质、水热条件、土壤生物种类及数量以及森林物种组成等多种因素决定的<sup>[16]</sup>, 同时, 不

同种类酶的活性对环境变化的敏感程度也不完全相同。由于冬季的土壤温度较低, 微生物活动相对较弱, 因此, 除纤维素酶外, 其余 4 种酶活性最低值均出现在 1 月。

### 3.2 不同土壤酶活性间的相关性

脲酶参与含氮有机化合物的水解过程, 蔗糖酶、纤维素酶催化碳水化合物的水解过程, 过氧化氢酶的主要作用是氧化还原在生化反应产生的某些中间产物, 消除土壤中的有害物质, 多酚氧化酶参与腐殖质的合成<sup>[17]</sup>。在森林有机物质的分解过程中, 碳水化合物的分解常伴随含氮有机化合物的转化过程, 因此, 土壤酶之间通常存在协同作用, 如纤维素酶、脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶的活性都表现出极显著的正相关关系。

### 3.3 土壤酶活性与土壤养分的相关性

土壤有机质作为土壤酶催化反应的底物, 其含量丰富程度影响酶促反应的快慢。丰富的土壤有机质可加快有机质分解速度, 将有机化合物转化成可供植物直接吸收利用的物质, 因此, 有机质与土壤酶

之间形成了一种互补互助的良性循环机制<sup>[18]</sup>。此外,有些酶如水解酶、多酚氧化酶、脲酶等能吸附于土壤有机质上,形成一种具有酶活性、较强的抗分解能力和热稳定性<sup>[19]</sup>的“酶-腐殖质复合物”,因此,土壤中蔗糖酶、纤维素酶、过氧化氢酶、脲酶等酶活性与土壤有机质含量之间呈现极显著正相关关系。一般情况下,土壤有机质含量与全氮含量呈正相关关系<sup>[20]</sup>。硝态氮可以被植物体直接吸收利用,因此硝态氮与多数酶表现出极显著的相关性;氨态氮不能被直接吸收利用,只有通过硝化细菌作用转化成硝态氮才能被吸收利用,因此,其含量与酶活性呈现不显著的相关性。土壤含水量一方面通过影响土壤微生物的类型及其活性从而影响土壤酶活性,另一方面土壤湿度不同,土壤酶活性的存在状态和强弱也会不同<sup>[21]</sup>。因此,在一定含水量范围内,土壤酶活性与土壤含水量呈显著的正相关,酶活性随土壤湿度的增加而增强,但湿度过大反而会抑制酶的活性<sup>[20]</sup>。土壤pH值通过影响土壤酶生化反应的环境从而影响土壤酶活性,不同酶对pH值的敏感性不同,有些甚至只能适应很窄的pH值范围<sup>[20]</sup>。除多酚氧化酶外,测定的其他4种酶与pH值的相关性较低。本研究中土壤pH值与与多酚氧化酶之间呈现极显著的负相关,可能是由于2类林分的土壤呈酸性,不同程度上抑制了土壤酶的活性,更进一步说明了不同土壤酶有各自最适pH值,过高或过低都会抑制酶的活性。综上所述,蔗糖酶、纤维素酶、过氧化氢酶、脲酶能较好地代表土壤营养状况,能较全面地评价土壤质量。

### 3.4 2类森林林木生长状况和土壤酶活性差异

混交林中马尾松的树高和平均胸径优于纯林,分别是纯林的108.74%和122.26%(表1)。由此可以看出,杉木与马尾松混交,对马尾松的生长表现出一定的促进作用。研究者对不同树种组成的混交林和纯林的研究结果也得出同样的结论<sup>[22]</sup>,说明混交林能增加森林蓄积量。

混交林中5种土壤酶活性比纯林高,说明在土壤酶活性发挥方面,混交林优于纯林。由于增加了混交树种,提高了有机质的输入,并有效改善土壤理化性质,增强林地土壤酶活性,从而提高土壤中营养元素的循环速度,有效改善土壤地力,为林木快速生

长和缩短林分的轮伐期奠定基础。

## 参 考 文 献

- [1] DICK R P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality [C]//DORAN J W, COLENAN D C, BEZDICEK D F, et al. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: American Society of Agronomy, 1994:107-124.
- [2] DICK R P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health[C]// PANKHURST L C E, DOUBLE B M, GUP-TA V V S R. Biological indicators of soil health. Wallingford: CAB International, 1997:121-156.
- [3] 陈炳浩. 长江洪涝灾害的原因及森林水文生态效应机制[J]. 林业经济, 1998(5):12-17.
- [4] 肖文发. 长江三峡库区陆生动植物生态[M]. 重庆:西南师范大学出版社, 2000.
- [5] 程瑞梅, 肖文发. 三峡库区主要针叶林多样性研究初报[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9):1791-1794.
- [6] 陈丹维, 肖文发, 邵莉, 等. 重庆巫山五里坡自然保护区种子植物科属区系分析[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(3):303-312.
- [7] 万睿, 王鹏程, 曾立雄, 等. 三峡库区兰陵溪小流域森林降水化学循环特征[J]. 南京林业大学学报, 2010, 34(3):39-44.
- [8] 葛晓改, 黄志霖, 程瑞梅, 等. 三峡库区马尾松人工林凋落物和根系输入对土壤理化性质的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(12):3301-3308.
- [9] 郭沛, 朱强, 王素梅, 等. 模拟淹水条件下三峡库区消落带土壤重金属形态变化[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(6):70-74.
- [10] 葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等. 三峡库区不同林龄马尾松林土壤养分与酶活性的关系[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2):450-451.
- [11] 邱权, 陈雯莉. 三峡库区小江流域消落区土壤微生物多样性[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(3):15-20.
- [12] 张万儒, 杨光澄, 屠星南. LY/T1210~1275-1999 森林土壤分析方法[S]. 北京:中国标准出版社, 1999.
- [13] BURGER J A, KELTING D L. Using soil quality indicators to assess forest stand management[J]. Forest Ecology and Management, 1999, 122:155-166.
- [14] 宋学贵, 胡庭兴, 鲜俊仁, 等. 川南天然常绿阔叶林土壤酶活性特征及其对模拟N沉降的响应[J]. 生态学报, 2009(3):1234-1240.
- [15] 熊浩冲, 王开运, 杨万勤. 川西亚高山冷杉林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.
- [16] 杨万勤, 王开运. 森林土壤酶的研究进展[J]. 林业科学, 2004, 40(2):152-159.
- [17] 漆良华, 杜满义, 范少辉, 等. 湘中丘陵区不同经营目标毛竹林土壤微生物数量与酶活性[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(2):25-29.
- [18] 严金龙. 湿地稻田土壤酶分布与活性及生态功能指示[D]. 南京:南京农业大学图书馆, 2011.

- [19] 黄巧云,李学垣.粘土矿物、有机质对酶活性的影响[J].土壤学进展,1995,23(4):12-18.
- [20] 关松荫,张德生,张志明.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [21] 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,2005,33(6):87-92.
- [22] 曹帮华,吴丽云.滨海盐碱地刺槐白蜡混交林土壤酶与养分相关性研究[J].水土保持学报,2008,22(1):128-133.

## Seasonal dynamics of soil enzymes and its relationship with nutrients for two forests in Three Gorges Reservoir Area

FAN Yan-chun<sup>1</sup> WANG Peng-cheng<sup>1</sup> XIAO Wen-fa<sup>2</sup>  
ZENG Li-xiong<sup>2</sup> HUANG Zhi-lin<sup>2</sup> LEI Jing-pin<sup>2</sup>

1. *College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

2. *Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China*

**Abstract** To reveal the seasonal dynamics of enzymes activities and the relationship with nutrients, the soil physical and chemical properties, enzymes activities for different seasons of the masson pine pure forests and Chinese fir mixed forests in the Three Gorges Reservoir Area were studied. The results showed that the minimum activity values of invertase, urease, polyphenol oxidase, catalase and cellulose were both found in winter, and the maximum were found in autumn except for polyphenol oxidase in summer. The same trend of seasonal variation of enzymes activities was found between invertase, urease and catalase, and it showed that the enzymes activities increased then decreased and then increased again from the summer to spring. Except polyphenol oxidase, the activities of other four enzymes had a significant positive correlation with soil organic matter, total nitrogen, soil water content, nitrate nitrogen. Significant positive correlations were found between the four enzyme activities.

**Key words** Three Gorges Reservoir Area; masson pine forest; soil enzymes; soil nutrients; seasonal dynamics

(责任编辑:张志钰)