

苏南丘陵地区森林土壤酶活性季节变化

陶宝先, 张金池*, 愈元春, 丛日亮

南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037

摘要: 研究了苏南丘陵区不同林分土壤养分、酶活性的剖面分布以及酶活性的季节动态变化特征。研究表明, 研究区土壤偏酸性, 土壤中 TN 质量分数较高, 有机质、TK、AK 质量分数中等, TP、AP 质量分数较低, 土壤 TN、有机质、AK、AP 的质量分数及蔗糖酶、脲酶、H₂O₂ 酶、磷酸酶活性随着土壤深度的增加而逐渐降低。土壤酶活性在不同季节也存在差异, 蔗糖酶活性的季节变化表现为: 秋季>夏季>春季>冬季, 脲酶活性为: 夏季>春季>秋季>冬季, 毛竹林土壤的磷酸酶活性为: 秋季>春季>夏季>冬季, 其它 3 种林分土壤的磷酸酶活性为: 秋季>夏季>春季>冬季, H₂O₂ 酶活性在马尾松、麻栎、毛竹林土壤内表现为: 春季>秋季>夏季>冬季, 在杉木内林土壤内表现为: 春季>夏季>秋季>冬季。在 $\alpha=0.01$ 或 $\alpha=0.05$ 水平下, 土壤酶活性与土壤 TN、AP、AK、有机质及重元素 Pb、Cu、Zn、Cr、Ni 呈显著或极显著相关, 与土壤容重呈显著或极显著负相关, 冬季蔗糖酶与其它 3 个季节的蔗糖酶呈现极显著或显著正相关; 秋季磷酸酶与其它 3 个季节的磷酸酶呈现极显著或显著正相关; 夏季脲酶与其它 3 个季节的脲酶呈现极显著正相关; 夏季 H₂O₂ 酶与其它 3 个季节的 H₂O₂ 酶呈现极显著正相关。

关键词: 酶活性; 森林土壤; 苏南丘陵地区;

中图分类号: S154.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 10-2349-06

土壤酶类参与一切复杂的生物化学过程, 包括枯落物的分解、腐殖质及各种有机化合物的分解与合成、土壤养分的固定与释放, 以及各种氧化还原反应, 可以说, 土壤酶直接参与了土壤营养元素的有效化过程, 是土壤生物活性较为稳定和灵敏的一个指标, 在一定程度上反映了土壤养分转化的动态情况^[1], 可以作为土壤质量的生物活性指标^[2-3], 研究人工林的土壤酶活性对于合理利用土壤资源, 营造最佳生态效益的林分, 防止地力衰退和改善生态环境具有重大意义。研究表明, 不同的植物群落之间, 土壤酶活性的季节变化规律存在着较大的差异^[3]。因此, 研究不同林分的土壤酶活性的季节动态和差异, 对于比较不同林分的土壤质量的差异性, 具有不可替代的作用。

针对苏南丘陵地区主要林分类型, 在野外考察和室内分析的基础上, 探讨不同林分类型土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、H₂O₂ 酶活性的剖面分布与季节动态特征, 及其与土壤理化性质的相关性, 为评价林地土壤质量以及各种林业技术措施的效果, 营造持续健康发展的森林生态系统提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于南京市东善桥林场, 地理位置

(118°50'—118°52'E, 31°38'—31°39'N), 属北亚热带季风区, 年均温 15.1 °C, 无霜期 229 d, 年日照 2 199.5 h, 区内气候温和湿润, 四季分明, 雨热资源丰富, 生长季长, 年均降水量 1 100 mm, 存在 2 个多雨期: 春夏之交的梅雨和夏季的台风雨, 为全国雨期最长的地区之一, 十分有利于农作物和林木的生长。地形以丘陵为主, 海拔 88 m, 主要林分类型为杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、毛竹(*Phyllostachys pubescens*), 林下灌草有山胡椒(*Lindera glauca*)、蓬蘽(*Rubus tephrodes*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、一年蓬(*Erigeron annuus*)、苘草(*Arthraxon hispidus*)等。林分基本特征见表 1。

表 1 研究区森林基本特征

Table 1 The basic properties of forest stands in research region

项目	林分类型			
	杉木	麻栎	毛竹	马尾松
坡向	东坡	西坡	西坡	南坡
坡度	27°	26°	20°	15°
林龄/a	42	42	3	34
密度/(株·hm ⁻²)	950	700	2 304	1 100
平均树高/m	10.8	16.8	10.8	11.6
平均胸径/cm	16.3	21.9	10	21

基金项目: 国家“十一五”科技攻关项目(2006BAD03A16); 国家公益性行业科研专项; 国家林业局“948”项目(2005-4-17); 国家林业公益性行业科研专项(200804040)

作者简介: 陶宝先(1981年生), 男, 博士研究生, 从事流域生态学研究。E-mail: taobaoxian@sina.com

*通讯作者: 男, 教授, 博士, 从事林业生态工程研究。E-mail: zhang8811@njfu.edu.cn

收稿日期: 2010-09-15

1.2 研究方法

1.2.1 取样方法

每种林分内选择3块典型样地,以裸地作对照。每种林分内挖3个剖面分4层(0~10、10~20、20~30、30~40 cm)取样,每个土层取中央土样约500 g,立即带回实验室,去除石块、根系和土壤动物,自然风干、研磨、过2 mm筛,4℃贮藏待测。每次取样均在同一土壤剖面。取样时间为2008年春(3月)、夏(6月)、秋(9月)、冬(12月)4个季节。土壤重金属含量及理化性质测定采用春季的样品,酶活性测定采用4个季节的风干样品。

1.2.2 测定方法

土壤全氮(TN): 硒粉-硫酸铜-硫酸钾消煮-蒸馏法;土壤全磷(TP): $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 消煮,钼锑抗比色法;速效钾(AK): $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸铵浸提-火焰光度法;有效磷(AP): $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HCl-}0.0125\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HCl-H}_2\text{SO}_4$ 浸提法;有机质(SOM): 重铬酸钾氧化-外加加热法;pH值:pH计测定;容重:环刀法测定^[4]。

土壤酶活性: 脲酶采用苯酚-次氯酸钠比色法,其结果以37℃下培养24 h后1 g土壤产生的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的mg数表示,磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法,其结果以37℃下培养24 h后1 g土壤中 P_2O_5 的mg数表示,蔗糖酶采用3,5-二硝基水杨酸比色法,其结果以37℃培养24 h后1 g土壤产生的葡萄糖的mg数表示, H_2O_2 酶采用 KMnO_4 滴定法,其结果用滴定25 mL原始 H_2O_2 混合液消耗的高锰酸钾溶液的体积(mL)与滴定土样滤液消耗的高锰酸钾溶液的体积(mL)的差表示^[5]。

土壤重金属元素:K、Cu、Zn、Pb、Cr、Ni 含量测定,采用 $\text{HF-HClO}_4\text{-HNO}_3$ 消煮^[6],用电感耦合等离子发射光谱仪ICP-DV4300测定。

1.2.3 统计方法

差异显著性及相关分析采用统计软件SPSS 10, 通径分析采用EXCEL 2003。

2 结果与讨论

2.1 土壤理化性质

由图1可知,4种林分土壤中,TN、AP、AK、SOM质量分数随土层深度增加逐渐减小,土壤容重随土壤深度增加逐渐增大。方差分析显示,4种林分土壤容重、pH值、全N、全P、全K质量分数均呈极显著差异($P<0.01$),有机质质量分数呈显著差异($P<0.05$)。其中,各林分土壤pH值变幅为4.21~5.12,土壤偏酸性;容重变幅为1.03~1.58 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,马尾松林土壤容重最大,其次为麻栎、对照地、杉木、毛竹林土壤;土壤TN质量分数0.70~2.91 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,杉木林最高,其次为毛竹、麻栎、

马尾松及对照地土壤;土壤TP质量分数为0.14~0.32 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,毛竹林最高,其次为麻栎、杉木、马尾松、对照地土壤;土壤AP质量分数为0.43~2.94 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,杉木林最高,其次为毛竹、马尾松、麻栎、对照地土壤;土壤TK质量分数4.61~24.43 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,杉木林最高,其次为毛竹、麻栎、马尾松、对照地;土壤AK质量分数为38.84~110.39 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,对照地最高,其次为杉木、马尾松、毛竹、麻栎土壤,主要原因是对照地土壤撂荒时间较短,养分流失较少;土壤SOM质量分数为2.51~23.47 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,毛竹林最高,其次为马尾松、杉木、麻栎、对照地土壤。

2.2 土壤酶活性的动态变化特征

土壤酶活性的剖面分布特征反映了土壤受干扰的程度^[7]。由图2可知,4种土壤酶在不同林分不同季节均随着土壤深度的增加土壤酶活性在逐渐降低。方差分析显示,蔗糖酶活性在马尾松、杉木林各土壤层次间均呈显著差异($P<0.05$); H_2O_2 酶活性在马尾松林各土壤层次间均呈极显著差异($P<0.01$),在毛竹、麻栎各土壤层次间均呈显著差异($P<0.05$);磷酸酶活性在马尾松林各土壤层次间呈极显著差异($P<0.01$),在麻栎各土壤层次间呈显著差异($P<0.05$)。造成其剖面差异主要原因是:(1)土壤有机质质量分数随土层深度增加明显减少,而土壤酶主要是以物理或化学的结合形式吸附在土壤有机和无机颗粒上,或与腐殖质络合;(2)随着土壤深度的增加,土壤容重增大,土壤通气状况较差,微生物种类和数量递减,导致土壤酶活性减弱^[10];(3)根系分泌物是土壤酶的重要来源,植物残体(含凋落物和根系脱落物)可通过自身的腐解释放酶进入土壤,也可通过对土壤动物和微生物区系的作用而间接影响到土壤酶活性^[11],研究区林地凋落物层较厚,表层土壤中植物的根系分布较多,根系的分泌物及其枯落物的分解都会对表层土壤酶活性产生影响。

由图2可知,除磷酸酶外,其它土壤酶活性的季节变化规律均为:秋、夏、春季相对较高,冬季最低。方差分析显示,4种林分土壤的蔗糖酶、 H_2O_2 酶、脲酶、磷酸酶活性在各季节间均呈极显著差异($P<0.01$);4种林分间土壤脲酶、蔗糖酶、 H_2O_2 酶的活性均呈极显著差异($P<0.01$),土壤磷酸酶活性呈显著差异($P<0.05$)。其中,4种林分土壤蔗糖酶活性变化均为:秋季>夏季>春季>冬季,对照地土壤蔗糖酶活性夏秋季相差不大,但明显高于冬、春季;脲酶活性变化均为:夏季>春季>秋季>冬季,且春、秋、冬季相差不大;马尾松、麻栎和毛竹林土壤的 H_2O_2 酶活性变化均为:春季>秋季>夏季>冬季,杉木林:春季>夏季>秋季>冬季;磷酸酶活性变化均

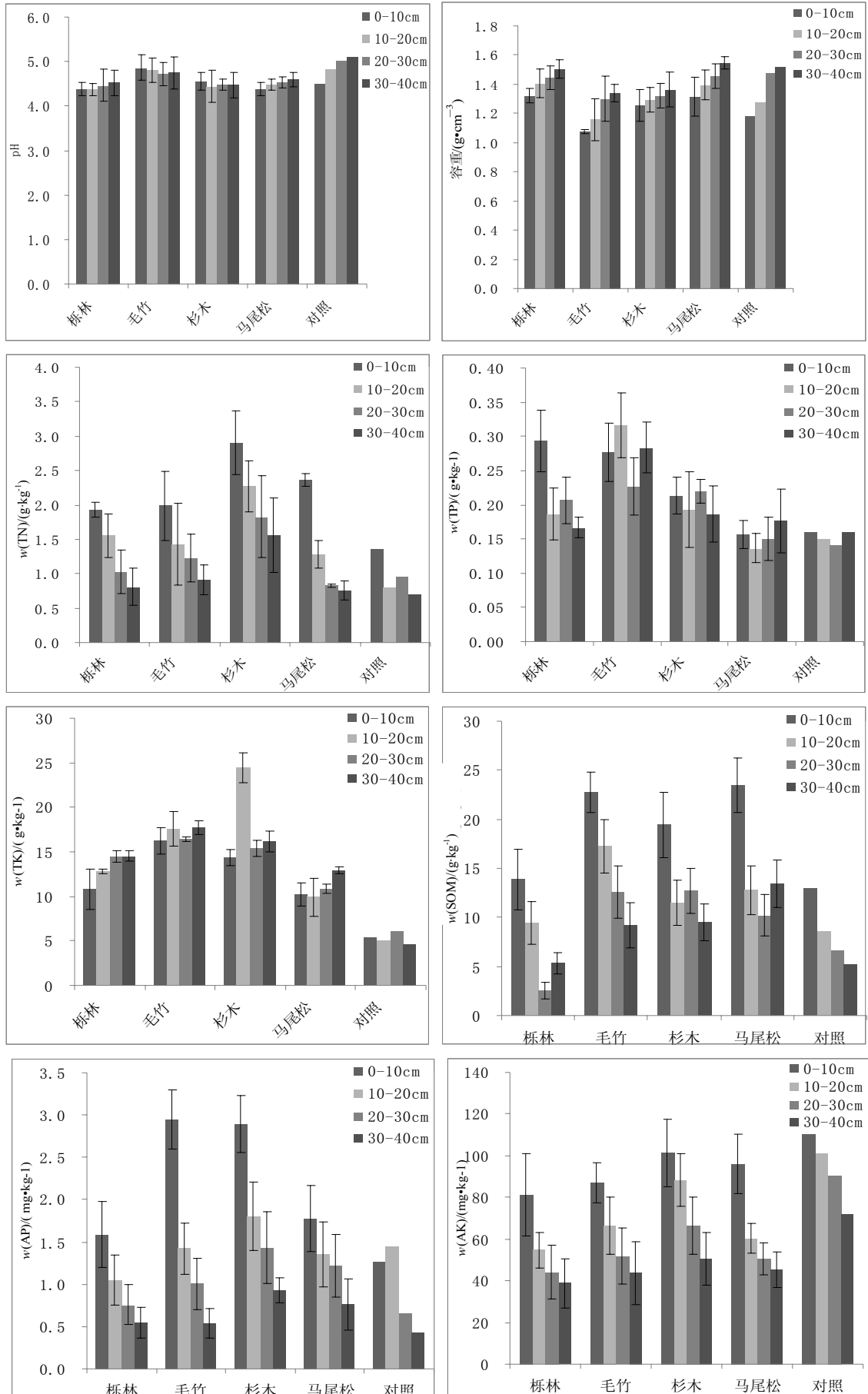


图1 研究区土壤理化性质

Fig1 The physical and chemical properties of soil in research region

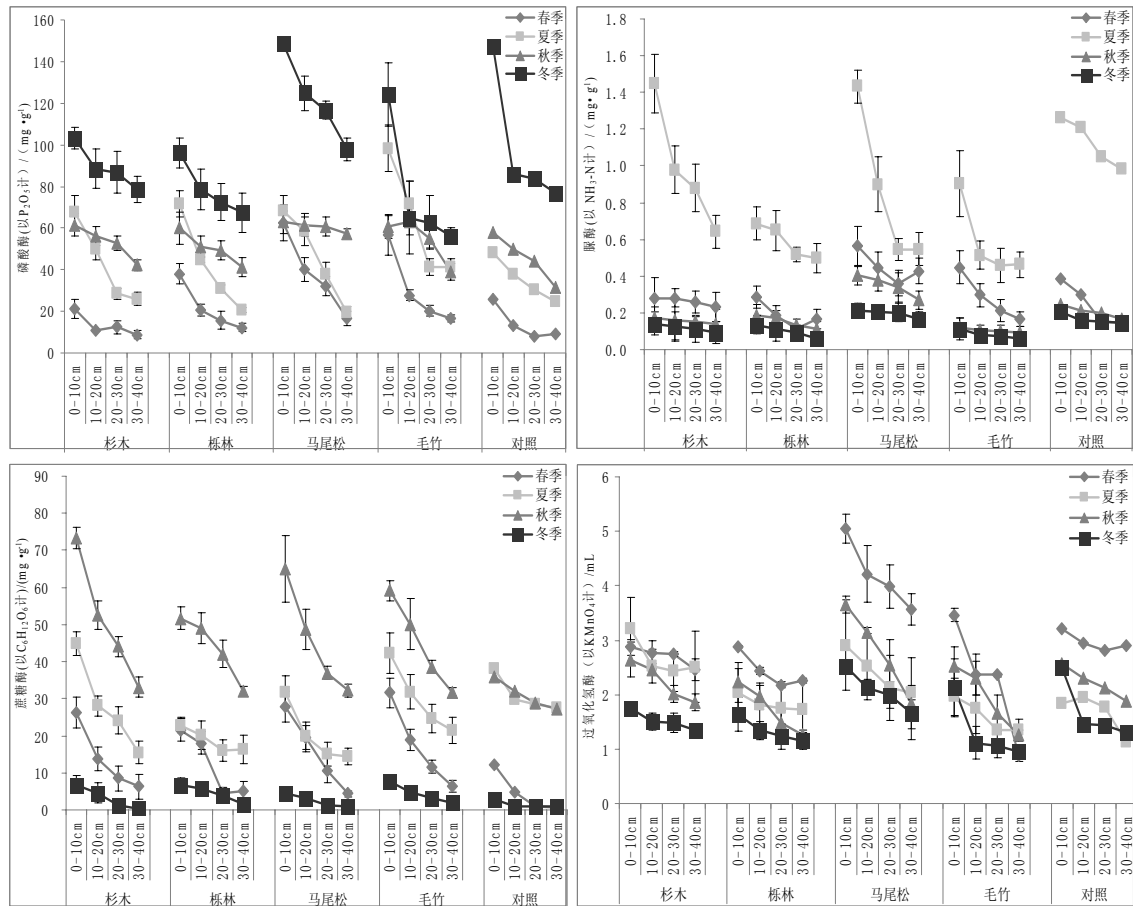


图 2 研究区土壤酶活性

Fig. 2 The soil enzyme activities in research region

为：冬季>秋季>夏季>春季。造成其季节差异的主要原因是：(1)秋、夏、春季的温度相对于冬季要高，植物的生长相对较旺盛，土壤动物与微生物的活动较频繁，相对较高的温度、根系分泌物和土壤生物的活动对于酶活性的提高起到一定的促进作用；(2)秋季是森林凋落物的凋落高峰，凋落物的归还产生了“起爆剂效应”^[11]，导致了与土壤酶分泌有关的微生物、土壤动物的活动频繁，进而促使了酶活性的提高。但磷酸酶活性季节变化规律与其它 3 种酶相差较大，其具体原因有待于进一步研究。

2.3 各季节土壤酶活性与土壤理化性质及重金属元素的相关性

由表 2 可知，各季节的 4 种土壤酶活性与土壤 TN、AP、AK、SOM 呈现极显著或显著正相关，与土壤容重呈现极显著或显著负相关；春季的脲酶、H₂O₂ 酶和磷酸酶及夏季的 H₂O₂ 酶分别与土壤 TP 有极显著或显著正相关；春季 H₂O₂ 酶与 pH 呈极显著正相关，冬季 H₂O₂ 酶和磷酸酶与土壤 pH 呈显著负相关，夏季 H₂O₂ 酶与土壤 TK 呈显著正相关。这说明各季节的土壤酶活性与代表土壤肥力的

TN、AP、AK、SOM、容重等指标存在较大的相关性，土壤酶与土壤中的 N、P、K 等营养元素的转化有着密切的关系，可以利用 4 种土壤酶活性作为评价土壤肥力的指标。

表 2 土壤理化性质与土壤酶的相关系数

Table2 The correlation coefficient of soil enzyme activities and soil's physical and chemical properties

酶活性	TN	AP	AK	SOM	容重
春季蔗糖酶	0.68**	0.66**	0.53**	0.71**	-0.48**
春季脲酶	0.36**	0.40**	0.36**	0.59**	-0.69**
春季 H ₂ O ₂ 酶	0.33*	0.41**	0.35**	0.46**	-0.73**
春季磷酸酶	0.37**	0.57**	0.31*	0.68**	-0.57**
夏季蔗糖酶	0.35*	0.24	0.40**	0.29*	-0.26
夏季脲酶	0.62**	0.62**	0.70**	0.51**	-0.57**
夏季 H ₂ O ₂ 酶	0.61**	0.56**	0.40**	0.43**	-0.52**
夏季磷酸酶	0.54**	0.46**	0.52**	0.61**	-0.28*
秋季蔗糖酶	0.61**	0.54**	0.43**	0.39**	-0.34*
秋季脲酶	0.60**	0.32*	0.42**	0.07	-0.11
秋季 H ₂ O ₂ 酶	0.73**	0.51**	0.60**	0.29*	-0.38**
秋季磷酸酶	0.66**	0.47**	0.44**	0.36**	-0.46**
冬季蔗糖酶	0.49**	0.52**	0.38**	0.64**	-0.44**
冬季脲酶	0.64**	0.42**	0.53**	0.17	-0.38**
冬季 H ₂ O ₂ 酶	0.72**	0.52**	0.60**	0.34*	-0.43**
冬季磷酸酶	0.72**	0.52**	0.60**	0.34*	-0.43**

*显著相关(P<0.05)；**极显著相关(P<0.01)

由表 3 可知, 土壤 Cr 元素含量与春季脲酶、 H_2O_2 酶活性分别呈显著、极显著负相关, 与夏季蔗糖酶和秋季脲酶活性呈显著正相关; Zn 元素含量与春季脲酶、 H_2O_2 酶和磷酸酶活性呈极显著正相关,

表 3 土壤重金属元素与土壤酶的相关系数

Table3 The correlation coefficient of content of heavy metal and soil enzyme activities

酶活性	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
春季蔗糖酶	0.09	0.03	-0.14	0.26	0.08
春季脲酶	-0.33*	0.50**	-0.23	0.70**	0.52**
春季 H_2O_2 酶	-0.50**	0.35*	-0.28*	0.73**	0.68**
春季磷酸酶	-0.23	0.34*	-0.37**	0.49**	0.38**
夏季蔗糖酶	0.33*	-0.30*	0.20	0.04	-0.130
夏季脲酶	-0.11	-0.07	0.22	0.36**	0.28*
夏季 H_2O_2 酶	-0.20	0.13	0.10	0.41**	0.33*
夏季磷酸酶	0.15	-0.16	-0.13	0.10	-0.09
秋季蔗糖酶	0.13	-0.23	-0.09	0.13	0.01
秋季脲酶	0.34*	-0.61**	0.55**	-0.19	-0.30*
秋季 H_2O_2 酶	0.20	-0.47**	0.23	0.08	-0.01
秋季磷酸酶	0.01	-0.36**	0.10	0.23	0.09
冬季蔗糖酶	-0.08	0.04	-0.33*	0.30*	0.14
冬季脲酶	0.10	-0.43**	0.42**	0.06	-0.03
冬季 H_2O_2 酶	0.17	-0.30*	0.26	0.06	-0.05
冬季磷酸酶	0.17	-0.30*	0.26	0.06	-0.05

*显著相关($P<0.05$); **极显著相关($P<0.01$)

与夏季脲酶、 H_2O_2 活性呈显著正相关, 与秋季脲酶活性呈显著负相关; Cu 元素含量与春季脲酶活性呈极显著正相关, 与春季 H_2O_2 酶和磷酸酶活性呈显著正相关, 与秋季脲酶、 H_2O_2 酶和磷酸酶活性呈极显著负相关, 与夏季蔗糖酶、冬季 H_2O_2 酶和磷酸酶活性呈显著负相关; Ni 元素含量与秋、冬季脲酶活性、春季磷酸酶活性呈极显著负相关, 与春季 H_2O_2 酶和冬季蔗糖酶活性呈显著负相关; Pb 与春季脲酶、 H_2O_2 酶和磷酸酶活性、夏季脲酶、 H_2O_2 酶活性呈极显著正相关, 与冬季蔗糖酶呈显著正相关。可知, 4 种土壤酶活性与 5 种重金属元素间存在较大的相关性, 可以利用这 4 种土壤酶活性来反映土壤的重金属污染状况。

2.4 途径分析

由相关分析可知, 土壤理化性质及重金属元素含量均存对 4 种土壤酶活性产生一定程度的影响, 但除了对酶活性的直接影响外, 土壤理化性质及重金属元素也能通过相互间的影响而间接影响土壤酶活性, 这在相关分析中体现不出来。为此, 本文采用途径分析方法中的直接途径系数和途径系数总和^[12-14], 定量研究了土壤理化性质、重金属元素对土壤酶活性的直接和间接影响。

由表 4 可知, 对于蔗糖酶、磷酸酶, TN、AP、SOM、Pb 的直接途径系数及途径系数总和较大, 上述 4 指标对蔗糖酶、磷酸酶的直接途径系数分别占途径系数总和的 35.46%、32.89%、29.77%、25.71%; 35.47%、32.89%、29.76%、25.70%; 对于脲酶, TN、AK、SOM、Pb 的直接途径系数及途径系数总和相对较大, 上述 4 指标对脲酶的直接途径系数分别占途径系数总和的 35.45%、41.48%、29.75%、25.71%; 对于 H_2O_2 酶, TN、AK、Pb 的直接途径系数及途径系数总和相对较大, 上述 3 指标对 H_2O_2 酶的直接途径系数分别占途径系数总和的 35.46%、42.67%、25.71%。由直接途径系数、途径系数和可知, TN、AP、AK、SOM、Pb 等指标对 4 种酶活性的直接和间接影响较大, 且影响均为正向影响, 这与相关分析的结果一致; 但上述 5 个指标直接途径系数占途径系数和的比例均小于 50%, 表明上述 5 指标对酶活性的影响主要是通过对其余指标的间接影响来实现, 这表明各指标与酶活性间存在复杂的直接和间接关系, 相关分析虽然能解释各变量的相关关系, 但并不能解释各变量间相互影响对目标变量的间接影响, 而途径分析则能很好地做到这一点, 将两个方法联用可以较为详细的解释各变量间的相互影响; 另外, 各变量间的相互作用对酶活性间接影响需要在后续研究进一步验证。同时, 蔗糖酶、脲酶、 H_2O_2 酶、磷酸酶的

表 4 土壤理化性质对土壤酶活性的途径系数

Table4 Path coefficient between the physical and chemical properties affecting of the enzyme activities

自变量	蔗糖酶		脲酶		H_2O_2 酶		磷酸酶	
	直接途径系数	途径系数总和	直接途径系数	途径系数和	直接途径系数	途径系数和	直接途径系数	途径系数和
pH	-0.340	-0.479	-0.060	-0.085	0.040	0.056	0.068	0.096
TP	0.180	0.470	0.190	0.496	0.077	0.201	0.001	0.003
TK	-0.200	-0.558	-0.100	-0.279	-0.326	-0.910	-0.113	-0.315
TN	0.440	1.241	0.240	0.677	0.350	0.987	0.338	0.953
AP	0.270	0.821	-0.120	-0.365	0.160	0.486	0.246	0.748
AK	-0.010	-0.024	0.280	0.675	0.230	0.539	-0.131	-0.316
SOM	0.390	1.310	0.260	0.874	-0.170	-0.522	0.624	2.097
容重	0.240	-0.746	-0.190	0.591	-0.034	0.106	-0.030	0.093
Cr	0.150	0.137	-0.220	-0.200	-0.231	-0.210	0.411	0.401
Cu	-0.002	-0.004	0.260	0.489	-0.281	-0.528	-0.284	-0.534
Ni	-0.180	-0.286	-0.060	-0.095	-0.078	-0.124	-0.237	-0.377
Pb	0.610	2.373	0.560	2.178	0.884	3.439	0.759	2.953
Zn	-0.200	-0.656	-0.250	-0.820	0.127	0.417	-0.317	-1.040

剩余项通径系数分别为 0.26、0.21、0.18、0.33，表明通径分析误差相对较小。

3 结论

(1) 研究区土壤蔗糖酶、脲酶、 H_2O_2 酶、磷酸酶等 4 种酶在土壤剖面中均呈现自上而下递减的规律；土壤蔗糖酶、脲酶、 H_2O_2 酶活性的季节变化规律：秋、夏、春季相对较高，冬季最低；磷酸酶活性的季节变化规律：冬季高于秋、夏、春季。

(2) 相关分析显示，土壤酶与 TN、AP、AK、有机质呈现极显著或显著正相关，与土壤容重呈现极显著或显著负相关，表明 4 种土壤酶活性可以作为评价土壤质量的指标。

(3) 通径分析显示，TN、AP、AK、SOM 和 Pb 等指标对土壤酶活性有较大的直接和间接效应，且以间接效应为主，这验证了相关分析的结果；并进一步指出，TN、AP、AK、SOM 和 Pb 对酶活性的影响主要体现在通过影响其它因素进而对酶活性产生影响。

参考文献：

- [1] 周礼恺. 土壤酶活性的测定方法[J]. 土壤通报, 1980, 5: 37-38.
Zhou Likai. The methods of soil enzyme activities[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1980, 5: 37-38.
- [2] BURGER JA, KELTING D L. Using soil quality indices to assess forest stand management[J]. For Ecology & Management, 1999, 122: 155-166.
- [3] 杨万勤, 钟章成, 陶建平, 等. 缙云山森林土壤酶活性与植物多样性的关系[J]. 林业科学, 2001, 37(4): 124-128.
YANG Wanqin, ZHONG Zhangcheng, TAO Jianping, et al. Study on relationship between soil enzyme activities and plant species diversity in forest ecosystem of Mountain Jinyun[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 37(4): 124-128.
- [4] 中华人民共和国林业部科技司. 林业标准汇编(三)[S]. 北京: 中国林业出版社, 1991: 6-291.
State Forestry Administration, P. R. China. The compile of forestry standard (III) [S]. Beijing: Chinese Forestry Press. Beijing, 1991: 6-291.
- [5] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 206-339.
GUAN Songyin. Soil Enzyme and Its Methodology[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1985: 206-239.
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 224-226.
LU Rukun. Methodology of Soil and Agricultural Chemistry[M]. Beijing: Chinese agricultural science and technology Press, 1997: 224-226.
- [7] BURNS R G, DICK R P. Enzymes in the Environment: Ecology, Activity and Applications[M]. New York: Marcel Dekker, Inc, 2001.
- [8] TAYLOR J P, WILSON B, MILLS M S, et al. Comparison of numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques[J]. Soil Biology Biochemical, 2002, 34: 387-401.
- [9] SPEAR D H, LAJTHA K, CALDWELL B A, et al. Species effects of *Ceanothus velutinus* versus *Pseudotsuga menziesii*, Douglas-fir, on soil phosphorus and nitrogen properties in the Oregon cascades[J]. For Ecology and Management, 2001, 149(1/3): 205-216.
- [10] 高祥斌, 刘增文, 潘开文, 等. 岷江上游典型森林生态系统土壤酶活性初步研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(3): 1-5.
GAO Xiangbin, LIU Zengwen, PAN Kaiwen, et al. Preliminary studies on soil enzymes activities of typical forest ecosystem in Minjiang Areas[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(3): 1-5.
- [11] 杨万勤, 王开运. 土壤酶研究动态与展望[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(5): 564-570.
YANG Wanqin, WANG Kaiyun. Advances in soil enzymology[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2002, 8(5): 564-570.
- [12] 刘广深, 徐冬梅, 许中坚, 等. 用通径分析法研究土壤水解酶活性与土壤性质的关系[J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 756-762.
LIU Guangshen, XU Dongmei, XU Zhongjian, et al. Relationship between hydrolase activity in soils and soil properties in Zhejiang Province[J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(5): 756-762.
- [13] 赵益新, 陈巨东. 通径分析模型及其在生态因子决定程度研究中的应用[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2007, 30(1): 120-123.
ZHAO Yixin, CHEN Judong. The path analysis model and application in research of decision degree of ecological factors[J]. Journal of Sichuan Normal University: Natural Science, 2007, 30(1): 120-123.
- [14] 何风华, 李明辉. Excel 在通径分析中的应用[J]. 中国卫生统计, 2005, 22(5): 331-332.
HE Fenghua, LI Minghui. The application of the path analysis model in Excel[J]. Chinese Journal of Health Statistics, 2005, 22(5): 331-332.

Season variations of forest soil enzyme activities in the hilly region of southern Jiangsu province

TAO Baoxian, ZHANG Jinchi*, YU Yuanchun, Cong Riliang

College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

Abstract: The soil physical and chemical properties with soil depth and seasonal variations of soil enzyme activities were studied in the hilly of southern Jiangsu Province. The results indicated, the soil is slightly acid in research region, the content of total nitrogen (TN) was sufficient, the content of soil organic matter (SMO), total potassium (TK), available potassium (AK) were medium, and the content of total phosphorus (TP), available phosphorus (AP) were insufficient. The content of TN, MO, AK, AP and the soil enzyme activities all declined with the depth of soil. The seasonal variations of sucrase were: autumn>summer>spring>winter, for the urease were: summer>spring>autumn>winter, for the phosphatase in *Phyllostachys pubescens* was: autumn>spring>summer>winter, and in the other 3 forest stands were: autumn>summer>spring>winter, for the catalase in *Cunninghamia lanceolata* was: spring>summer>autumn>winter, and in the other 3 forest stands were: spring>autumn>summer>winter. In the level of $\alpha=0.01$ or $\alpha=0.05$, soil enzyme activities had significant correlation with TN, AP, AK, MO, Pb, Cu, Zn, Cr, Ni, and have negative significant correlation with soil bulk density. The sucrose in winter, the phosphatase in autumn, the urease and catalase in summer have positive significant correlation with the same soil enzyme activities in other 3 seasons.

Key words: enzyme activities; forest soil; hilly region in southern Jiangsu province