

毛竹林地覆盖和翻耕对土壤酶活性及土壤养分含量的影响

赵睿宇¹, 李正才^{1*}, 王 斌¹, 葛晓改¹, 戴云喜², 赵志霞¹, 张雨洁¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400;

2. 浙江省台州市黄岩区林业技术推广总站, 浙江 台州 318020)

摘要: [目的] 探讨毛竹林土壤酶和土壤养分元素对地表覆盖翻耕的响应, 为毛竹林覆盖经营提供科学指导。 [方法] 以浙江省台州市黄岩区山地毛竹林为研究对象, 对稻草覆盖 2 年翻耕、覆盖 2 年未翻耕和自然生长(对照)的毛竹林 0~50 cm 各土层土壤酶活性及土壤养分含量进行比较研究。 [结果] 表明: (1) 覆盖翻耕样地和未翻耕样地土壤多酚氧化酶活性均低于对照样地, 且在 0~20 cm 土层差异显著; 覆盖处理后, 覆盖 2 年翻耕样地土壤过氧化物酶活性均低于对照样地(0~10 cm 土层差异显著), 覆盖 2 年未翻耕样地土壤过氧化物酶活性(10~20 cm 土层除外)也均低于对照样地; 土壤脲酶、蔗糖酶活性则显著增加。(2) 覆盖处理后, 土壤养分元素含量得到增加; 覆盖翻耕样地土层土壤养分含量均先增加后降低, 且在 10~20 cm 土层达到最大; 翻耕处理与未翻耕处理相比, 土壤全氮含量在 0~30 cm 土层差异达到显著水平。(3) 土壤酶活性与土壤养分含量间存在一定的相关性, 土壤脲酶和蔗糖酶与土壤各养分存在极显著正相关关系; 土壤多酚氧化酶和土壤养分间均呈现负相关关系, 土壤过氧化物酶与土壤有机质、有效磷间存在负相关关系, 与其它土壤养分间存在正相关关系, 但相关性均不显著。 [结论] 地表覆盖对毛竹林地土壤酶活性和土壤养分含量有显著影响, 短期内地表覆盖可以显著提高毛竹林土壤肥力, 且覆盖翻耕措施较利于增加土壤肥力。

关键词: 毛竹; 地表稻草覆盖; 耕作措施; 土壤养分; 土壤酶

中图分类号: S718.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)05-0067-07

毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz.) 是我国南方地区重要的竹类植物资源^[1]。从竹笋到竹材, 从竹梢到竹根实现了全竹利用, 对竹林的过分解取使竹林生态系统土壤严重退化。通过去除林下灌木、杂草, 每年施肥、深翻等集约经营措施虽大幅度提高毛竹林产量^[2-3], 但长期使用化学肥料, 不仅会破坏竹林土壤结构, 且还影响竹子生长规律^[4-5]。单纯有机肥料的使用, 土壤结构会得到改善, 但竹林经济效益提高迟缓, 且较耗费劳动力, 推广困难。冬季运用稻草覆盖地表, 由于稻草发酵腐烂后能快速增加土壤温度, 从而促进竹林春笋冬出, 毛竹林经济效益得到显著提升, 且有利于稻草资源化利用和竹

林固碳减排, 因此生产上推广面积日益扩大。毛竹林地表覆盖提升竹林经济效益的影响一直以来备受关注, 而地表覆盖对毛竹林土壤理化性质和土壤生物活性的影响没有引起足够重视, 覆盖物对土壤养分以及土壤酶的影响研究则更为缺乏。

多年来, 土壤酶作为评价土壤肥力水平的生物指标, 一直备受关注。土壤中一切生物化学过程的发生离不开土壤酶^[6-7]。研究表明, 有机成分是稻草的主要组成部分, 其纤维素和半纤维素易被微生物分解, 而较难分解的木质素和蛋白质残留于土壤中, 形成了土壤有机质^[8-9]; 秸秆腐烂过程中, 能够释放氮、磷、钾等养分元素, 提升土壤中氮、磷和钾的

收稿日期: 2018-09-14 修回日期: 2019-05-27

基金项目: “十三五”国家重点研发计划课题“不同侵蚀立地植被恢复与复合生态林业关键技术”(2017YFC0505403); 浙江省科技厅团队科技特派员项目“毛竹林高效培育技术示范与推广”(2012T2T120)、“生态经济复合型毛竹林培育技术示范与推广”(浙科发农[2013]215-95); 浙江省与中国林科院合作项目“林区新垦土地肥力恢复关键技术研究与应用”(2016SY15)

* 通讯作者: 李正才。E-mail: lizccaf@126.com

含量,土壤营养库得到丰富^[10]。毛竹林稻草覆盖对于土壤肥力的提升奠定了一定的物质基础^[11-12]。作者^[13-14]研究了毛竹林地表覆盖年限和覆盖后耕作差异对土壤有机碳的影响,而毛竹林地表稻草的分解对土壤酶和土壤养分元素的影响程度、影响机理,覆盖后土壤酶和土壤养分元素间的关系以及土壤肥力的变化情况尚未有报道,因此,开展毛竹林冬季覆盖试验,研究毛竹林地表稻草覆盖后土壤酶和土壤养分元素的变化,可为毛竹培育管理提供科学依据,对毛竹林可持续经营具有一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于浙江省台州市黄岩区平田乡,地理位置为120°17'~121°56'E,28°01'~29°20'N,为中亚热带季风气候区。年均气温17℃,年均降水量为1 632 mm,土壤为微酸性红壤,该地区地带性植被为常绿-落叶阔叶混交林。

1.2 样地布置与土样采集

试验地毛竹林为笋竹两用林分(立竹密度为2 700株·hm⁻²),经营管理较粗放,每2 a 割除林下灌木和杂草1次,林地不翻耕、不施肥,土层厚度大于80 cm。2013年11月稻草覆盖前,在林内设置15个试验样地(面积大小均为10 m × 10 m),其地形、坡度、土壤等条件大体一致。连续覆盖翻耕样地、连

续覆盖不翻耕样地、对照样地各5块。2013年11月和2014年11月进行2次覆盖,新竹数量受覆盖影响明显,因此毛竹林连续覆盖2次后,一般不再进行覆盖。覆盖物均为稻草、猪粪和砻糠,稻草覆盖量为15 t·hm⁻²。稻草覆盖试验过程为:地表稻草覆盖前,将设立的样地浇湿(覆盖样地和对照浇水量大体一致);然后林地地表均匀覆盖一层稻草,用量为7.5 t·hm⁻²,为有利于稻草发酵和腐烂,再均匀地在稻草上撒施猪粪(30 t·hm⁻²),将余下的稻草均匀地覆盖在猪粪上,浇透水;最后将砻糠(10 t·hm⁻²,对发酵层起到保温作用)覆盖在浇水后的稻草上,砻糠厚度约为10 cm;覆盖后来年5月份,林地出笋结束后,将砻糠移出林外,其中5块样地翻耕1次(深度为20 cm),另外5块样地不进行翻耕处理。

2015年9月,调查各处理样地的毛竹数量,测量毛竹胸径,样地基本情况参见表1。于每一个调查样地内,采用“S”形分别布设5个采样点,剔除竹林地表枯枝落叶层等,采用土钻(5 cm内径),每10 cm采集土样1份,且同1个层次标准样地土样充分混合,同时剔除土样中杂质,土壤样品分为两部分带回:一部分鲜样用于土壤多酚氧化酶、过氧化物酶的测定,一部分土壤样品自然风干后,过2 mm和0.15 mm筛,用于土壤脲酶、蔗糖酶的测定和土壤养分元素含量的测定。

表1 毛竹林样地概况

Table 1 General situation of the sampling plots of Moso bamboo stands

处理 Treatment	胸径 DBH/cm	立竹密度 Density/ (株·hm ⁻²)	坡向 Slope aspect	坡度 Slope grade/°	林下植被 Understory vegetation
对照样地 CK	9.1	2 700	东南 SE	20	少灌木、杂草 Few shrubs and herbs
覆盖翻土 Mulching with soil turning	7.6	1 200	东南 SE	20	无灌木、杂草 Without shrub and herbs
覆盖未翻土 Mulching without soil turning	7.3	900	东南 SE	20	无灌木、杂草 Without shrub and herbs

1.3 土壤分析

土壤酶活性的测定参照关松荫^[15]的方法,土壤多酚氧化酶活性测定采用比色法,酶活性以2 h后1 g土壤中紫色没食子素的毫克数表示;土壤过氧化物酶活性测定采用容量法,酶活性以2 h后1 g土壤消耗0.005 mol·L⁻¹ I₂标准液的毫升数表示;土壤蔗糖酶测定采用3,5-二硝基水杨酸比色法,酶活性以24 h后1 g土壤生成的葡萄糖毫克数表示;土壤脲酶测定采用苯酚钠-次氯酸钠比色法,酶活性以24 h后1 g土壤中的NH₄⁺-N毫克数表示。土壤养分测定采用常规方法^[16]:土壤总有机碳测定采用重铬酸钾外加热法,凯氏定氮法测定土壤全氮,碱解扩散

法测定土壤水解氮,乙酸浸提-原子吸收光谱法测定土壤速效钾,碳酸氢钠法测定土壤有效磷。

1.4 数据统计分析

采用Excel 2007和SPSS 16.0软件进行数据处理,不同处理各土层的土壤酶、土壤养分含量的差异分析采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD),采用Pearson相关分析方法比较土壤酶与土壤养分元素间的相关性。

2 结果与分析

2.1 毛竹林地表覆盖翻耕对土壤酶活性的影响

毛竹林稻草覆盖后,覆盖样地土壤多酚氧化酶

活性均低于对照样地,且在0~20 cm土层差异达到显著水平。0~10、10~20、20~30 cm土层,覆盖2年翻耕样地土壤多酚氧化酶活性较对照分别减少17.2%、20.8%、17.3%;0~10、10~20、20~30 cm土层,覆盖2年末翻耕样地土壤多酚氧化酶活性较对照分别减少23.5%、9.5%、13.1%。30~50 cm土层,土壤多酚氧化酶活性受到覆盖处理的影响较小,差异不显著(表2)。

0~10 cm土层土壤过氧化物酶活性,对照样地均高于覆盖样地。覆盖2年翻耕样地各土层土壤过氧化物酶活性均低于对照样地,且随着土层深度的增加土壤过氧化物酶活性逐渐降低。覆盖2年末翻耕样地土壤过氧化物酶活性在10~20 cm土层最高,随着土层厚度的增加而逐渐下降。土壤过氧化物酶活性在20~50 cm土层中,覆盖与未覆盖处理差异较小,表明地表稻草覆盖对深层土壤的土壤过氧化物酶活性影响较小(表2)。

地表稻草覆盖处理后,土壤脲酶活性快速增加,且在0~30 cm土层差异显著。覆盖2年翻耕样地土壤脲酶活性10~20 cm土层较0~10 cm土层高,较覆盖2年末翻耕样地10~20 cm土层土壤脲酶活性也高。随着土层厚度的增加,土壤脲酶活性下降(表2)。

土壤蔗糖酶活性在0~20 cm土层受覆盖处理影响较大,而20~50 cm土层土壤蔗糖酶活性与对照样地相比差异未达到显著水平。0~10、10~20 cm土层,覆盖样地与对照样地间、不同覆盖处理间土壤蔗糖酶活性的差异达到显著水平。0~10 cm土层,覆盖2年末翻耕样地土壤蔗糖酶活性较覆盖翻耕样地和对照样地分别增加46.6%、193.4%;10~20 cm土层,覆盖2年翻耕样地土壤蔗糖酶活性最大,分别较覆盖未翻耕样地和对照样地增加25.4%、285.6%(表2)。

表2 地表稻草覆盖翻耕对土壤酶活性的影响

Table 2 Effect of tillage after straw mulching on soil enzyme activity

土壤酶 Soil enzyme	处理 Treatments	土层 Soil layer/ cm				
		0~10	10~20	20~30	30~40	40~50
多酚氧化酶 Polyphenol oxides/(mg·g ⁻¹)	对照样地	2.87±0.03a	2.69±0.09a	2.25±0.20a	1.79±0.09	1.12±0.06
	覆盖翻土	2.37±0.04b	2.12±0.05b	1.91±0.11b	1.72±0.02	1.09±0.01
	覆盖未翻土	2.19±0.12c	2.44±0.09c	1.99±0.09ab	1.78±0.05	1.11±0.08
过氧化物酶 Peroxidase/(I ₂ mL·g ⁻¹)	对照样地	5.04±0.07a	3.80±0.11b	2.98±0.32	2.43±0.18	2.25±0.06
	覆盖翻土	4.30±0.06b	3.74±0.11b	2.97±0.07	2.28±0.02	2.21±0.05
	覆盖未翻土	3.85±0.06c	4.31±0.10a	2.94±0.29	2.34±0.04	2.21±0.02
脲酶 Urease/ (NH ₄ ⁺ -N mg·g ⁻¹)	对照样地	0.16±0.01b	0.15±0.01b	0.14±0.01b	0.13±0.00	0.11±0.00
	覆盖翻土	1.96±0.25a	3.25±0.05a	1.75±0.21a	0.30±0.09	0.16±0.04
	覆盖未翻土	2.45±0.17a	2.13±0.08a	1.72±0.21a	0.28±0.07	0.14±0.03
蔗糖酶 Sucrase/ (C ₆ H ₁₂ O ₆ mg·g ⁻¹)	对照样地	4.01±0.12c	3.39±0.08c	2.93±0.20	2.43±0.11	1.46±0.16
	覆盖翻土	8.03±0.50b	13.07±0.16a	3.44±0.51	2.47±0.12	1.70±0.11
	覆盖未翻土	11.78±0.44a	10.42±0.54b	4.03±0.28	2.93±0.49	1.21±0.10

注:表中数据为平均值±标准偏差。同列中不同小写字母表示不同处理差异显著($p < 0.05$)。下同。

Note 1: The data in the table are mean ± standard deviation. Values within the same column with different lowercase letters meant significant difference at 0.05 levels. The same as below.

2.2 毛竹林地表覆盖翻耕对土壤养分的影响

与对照样地相比,毛竹林地表覆盖翻耕和未翻耕均明显地增加浅层土壤的全氮含量。与对照样地相比,覆盖未翻耕样地0~10 cm土层土壤全氮含量增加61.7%;而覆盖翻耕样地10~20 cm土层土壤全氮含量增加1.91 g·kg⁻¹。3种处理下,土壤全氮含量在0~20 cm土层差异均显著;在20~30 cm土层,覆盖翻耕与对照处理,覆盖翻耕与覆盖未翻耕处理间差异显著(表3)。

地表稻草覆盖处理后,土壤水解性氮含量有所增

加。覆盖2年翻耕样地0~50 cm土层土壤水解性氮含量较对照样地分别增加18.4%、101.1%、28.2%、14.4%和48.6%;覆盖2年末翻耕样地和覆盖2年翻耕样地10~20、20~30 cm土层间的土壤水解性氮含量差异显著,而其它土层差异不显著(表3)。

南方山地丘陵红壤磷元素普遍缺乏,因此覆盖物腐烂和分解后,土壤有效磷含量得到明显的提升。覆盖2年翻耕和覆盖2年末翻耕样地0~50 cm土层土壤有效磷含量较对照样地增加幅度分别为31.8%~464.2%和35.59%~453.15%,且0~30

cm 土层增加幅度较高,差异均达到显著水平,而 30~50 cm 土层差异不显著;覆盖 2 年翻耕和覆盖 2 年未翻耕样地间各土层土壤有效磷含量差异均不显著(表 3)。

土壤速效钾含量的变化趋势和有效磷含量变化趋势基本上一致,覆盖 2 年翻耕和覆盖 2 年未翻耕

样地 0~50 cm 土层土壤速效钾含量较对照增加幅度为 21.3%~221.9% 和 11.4%~152.5%,且 0~30 cm 土层增加幅度较高,差异均达到显著水平,而 30~50 cm 土层差异不显著;覆盖 2 年翻耕和覆盖 2 年未翻耕样地间各土层土壤速效钾含量差异均不显著(表 3)。

表 3 地表覆盖翻耕对土壤养分含量的影响

Table 3 Analysis of soil nutrient contents with different cultivation methods

土壤养分 Soil enzyme	处理 Treatments	土层 Soil layer/ cm				
		0~10	10~20	20~30	30~40	40~50
全氮 Total N/(g·kg ⁻¹)	对照样地	2.06 ± 0.30c	1.78 ± 0.28c	1.49 ± 0.11b	1.31 ± 0.29	1.10 ± 0.20
	覆盖翻土	2.68 ± 0.24b	3.69 ± 0.64a	2.12 ± 0.42a	1.65 ± 0.08	1.51 ± 0.18
	覆盖未翻土	3.33 ± 0.28a	2.73 ± 0.34b	1.47 ± 0.11b	1.37 ± 0.11	1.19 ± 0.14
水解性氮 Hydrolysis N/(mg·g ⁻¹)	对照样地	221.00 ± 32a	191.00 ± 23b	161.00 ± 6ab	148.00 ± 24	121.00 ± 27b
	覆盖翻土	262.00 ± 21a	384.00 ± 78a	206.00 ± 37a	170.00 ± 16	180.00 ± 19a
	覆盖未翻土	230.00 ± 22a	191.00 ± 19b	144.00 ± 12b	137.00 ± 15	121.00 ± 18b
有效磷 Available P/(mg·g ⁻¹)	对照样地	1.9 ± 0.5b	1.5 ± 0.3b	1.2 ± 0.2b	1.0 ± 0.1	1.1 ± 0.2
	覆盖翻土	8.7 ± 1.1a	9.1 ± 1.8a	4.1 ± 0.5a	1.5 ± 0.1	1.4 ± 0.2
	覆盖未翻土	9.5 ± 1.4a	8.5 ± 0.5a	4.3 ± 0.5a	1.7 ± 0.2	1.4 ± 0.2
速效钾 Available K/(mg·g ⁻¹)	对照样地	30.5 ± 2.8b	18.7 ± 1.7b	17.27 ± 2.3b	12.9 ± 1.2	14.0 ± 1.1
	覆盖翻土	54.4 ± 6.5a	60.2 ± 5.3a	30.78 ± 1.7a	16.7 ± 1.5	17.0 ± 1.7
	覆盖未翻土	62.5 ± 6.7a	47.2 ± 6.6a	25.44 ± 2.9a	18.7 ± 2.7	15.6 ± 2.0

注:表中数据为平均值 ± 标准偏差。同列中不同小写字母表示不同处理差异显著($p < 0.05$)。下同。

Note 1: The data in the table are mean ± standard deviation. Values within the same column with different lowercase letters meant significant difference at 0.05 levels. The same as below.

2.3 毛竹林地表覆盖翻耕后土壤酶与土壤养分间相关性分析

从表 4 可以看出,土壤养分各指标与土壤脲酶和土壤蔗糖酶间均有极显著的正相关关系($p < 0.01$),而土壤多酚氧化酶活性与土壤养分间存在负

相关,但只有土壤多酚氧化酶活性与土壤有效磷、速效钾间相关性达到显著水平($p < 0.05$);土壤过氧化物酶与土壤全氮、水解性氮和土壤有效磷、速效钾间的相关性未达显著水平($p > 0.05$),但与土壤有机质相关性达到极显著水平($p < 0.01$)。

表 4 土壤酶活性和养分含量之间的相关性

Table 4 Correlation between enzyme activities and nutrient contents in the soils

项目 Item	有机质 Organic matter	全氮 Total N	水解性氮 Hydrolysis N	有效磷 Available P	速效钾 Available K
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	-0.302	-0.113	-0.039	-0.354 *	-0.438 *
过氧化物酶 Peroxidase	-0.588 **	0.311	0.261	-0.017	0.052
脲酶 Urease	0.564 **	0.744 **	0.578 **	0.782 **	0.857 **
蔗糖酶 Sucrase	0.577 **	0.889 **	0.652 **	0.644 **	0.804 **

注: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$; Notes: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

3 讨论

3.1 毛竹林地表覆盖翻耕对土壤酶活性的影响

土壤多酚氧化酶、过氧化物酶都属于氧化还原酶。与对照样地相比,毛竹林地表 2 种覆盖处理多酚氧化酶和过氧化物酶活性均表现减少的趋势,这是因为土壤多酚氧化酶、过氧化物酶和土壤腐殖质化程度相关,地表覆盖物的分解和覆盖物上浇淋的猪粪增加了表层土壤腐殖质含量^[17],因此覆盖后土

壤多酚氧化酶、过氧化物酶的活性受到抑制^[18],从而导致覆盖后土壤多酚氧化酶和过氧化物酶活性下降。然而,秸秆覆盖的保温作用,又可能反过来提高土壤酶的活性。覆盖 2 年未翻耕样地,随着土层深度的增加,土壤多酚氧化酶和过氧化物酶活性表现为先增加后下降的趋势,10~20 cm 土层土壤多酚氧化酶和过氧化物酶活性均高于 0~10 cm 土层多酚氧化酶和过氧化物酶活性,表明在 0~10 cm 土层腐殖质含量对土壤多酚氧化酶和过氧化物酶活性

起决定性作用,而在10~20 cm及以下土层,稻草的保温作用对酶活性起重要作用。覆盖翻耕处理后,表层土壤翻被置换到下层,使酶活性呈现随土层的深度的增加逐渐降低的趋势,这和杨招弟等^[19]研究结果基本上一致:与覆盖翻耕措施相比,未翻耕措施可以提高10~20 cm土层土壤多酚氧化酶的活性。陈娟等^[20]研究结果表明:覆盖未翻耕能够增加土壤中氧化还原酶(如多酚氧化酶)的活性;张英英等^[21]研究结果同样也表明:10~20 cm土层中,未翻耕的土壤过氧化物酶活性较翻耕处理高,翻耕与未翻耕处理间酶活性差异不显著。由于深层土壤受翻耕和覆盖的影响较小,因此和对照样地相比,土壤多酚氧化酶和过氧化物酶活性差异不明显。

土壤脲酶和蔗糖酶都属于水解性酶,由于土壤脲酶可催化土壤中的尿素水解为铵离子^[22],因此土壤脲酶可以用来评价土壤中氮元素含量水平。本研究表明,毛竹林地表稻草覆盖处理明显促进土壤脲酶活性,且翻耕处理要高于未翻耕处理(0~10 cm土层除外)活性。稻草覆盖后,覆盖物的腐烂和分解,使得土壤积累的腐殖质增加,提高了土壤有机质含量,导致土壤微生物生长旺盛,增加了土壤脲酶的活性^[23]。土壤蔗糖酶活性和土壤有机质含量间的相关程度较高,土壤蔗糖酶活性的提高有利于增加土壤有机碳含量^[21],因此土壤蔗糖酶活性的高低同样可以用来衡量土壤肥力的高低。本研究表明,不同耕作措施处理下,土壤蔗糖酶活性和土壤脲酶活性相类似,地表稻草覆盖处理后,由于与覆盖物接触,蔗糖酶的活性得到提高;翻耕处理后,下层土壤和覆盖物接触的表层土壤置换,覆盖物也随之翻到下层土壤,提高了土壤蔗糖酶的活性,因此10~20 cm土层土壤蔗糖酶活性最高,本研究结果和罗珠珠等^[24]、张向前等^[25]研究结果相似。白银萍等^[26]研究结果表明:不同耕作措施处理下,土壤脲酶的活性变化较小,差异没有达到显著水平,但蔗糖酶的活性则明显提高。

3.2 毛竹林地表覆盖翻耕对土壤养分含量的影响

覆盖和耕作措施可以直接和有效地改善土壤的理化性质^[27],研究表明,地表秸秆覆盖能够改善土壤的水热状况,改良土壤^[28-29],从而提升土壤微生物活性,促进覆盖物养分的分解和释放,因此土壤有机质的含量得到提升^[30]。毛竹林地表稻草覆盖后,耕作方式的差异会对土壤养分含量变化有一定的影响,不同耕作处理表层土壤养分含量有明显的差异:

与对照处理相比,地表稻草覆盖后,土壤全氮、水解性氮、有效磷和速效钾的含量显著增加;由于免耕减少了土壤的扰动,从而增加了土壤表层的秸秆残茬,而表土层的翻耕使秸秆残茬与土壤充分混合,因而改变了土壤养分的分配状况,因此未翻耕处理表土层(0~10 cm)土壤养分含量高于翻耕处理和对照处理;在10~20 cm土层,翻耕处理的养分元素含量高于对照处理和未翻耕处理。由于翻耕处理疏松了土壤,同时将秸秆腐烂物置换到下层土壤,覆盖物腐烂分解后,土壤养分就积累在土壤中,因此翻耕处理土壤养分含量总体上高于未翻耕处理。研究表明:秸秆还田使得土壤中的速效钾和有效磷等土壤养分含量明显增加^[31],这也和潘雅文等^[32]研究结果相类似。秸秆覆盖还田后,可以增加土壤中全氮、有效磷、速效钾等养分元素含量,且随着耕作年限的延长,其含量呈现升高的趋势,3种处理下,耕作层土壤养分含量和秸秆还田关系更为密切^[33],由于深层土壤与覆盖物接触较小,受到覆盖物分解的影响较小,土壤中养分元素的含量变幅较小,因此全氮、水解性氮、有效磷、速效钾等养分元素含量在深层土壤中变化不明显。

3.3 毛竹林地表覆盖翻耕后土壤酶和土壤养分间的相关性

研究表明,土壤酶的活性影响着土壤肥力水平,土壤肥力与土壤酶活性间有着非常密切的相关性^[34]。本研究表明,毛竹林地表覆盖翻耕后,土壤养分元素和土壤酶之间存在不同的相关性,其中土壤多酚氧化酶、土壤养分元素表现出负相关关系,这与很多研究结论一致;刘秀清等^[35]、陈光升等^[36]研究结果也表明,土壤多酚氧化酶活性和土壤全氮、土壤有机质存在显著的负相关关系,王启兰等^[37]、葛晓改等^[38]研究结果也类似。毛竹林地表覆盖翻耕后,土壤过氧化物酶和土壤有机质、有效磷间也存在着负相关关系,与其它土壤养分间相关关系不显著,这和高彦波等^[39]、葛晓改等^[38]研究结果基本一致,土壤多酚氧化酶、过氧化物酶都属于氧化还原酶类,它们的活性随着土壤中腐殖质含量的增加而降低,所以土壤多酚氧化酶和土壤养分间存在着负相关性关系,土壤过氧化物酶和土壤养分元素相关性较差。土壤脲酶、蔗糖酶与土壤养分间则存在极显著正相关关系,土壤脲酶和蔗糖酶的活性和土壤有机质、土壤全氮、水解性氮、有效磷和速效钾间显著相关,研究结果和黄容等^[40]、葛晓改等^[38]的研究结果一致。

4 结 论

研究表明,地表覆盖处理对毛竹林地土壤酶活性和土壤养分含量有显著影响,土壤酶和土壤养分以及它们间的相关性可以很好的表征土壤的肥力,短期内地表覆盖可以显著改善毛竹林的土壤肥力水平,而覆盖后土壤翻耕措施较利于增加土壤肥力水平,但毛竹林地表稻草覆盖翻耕后土壤养分元素和土壤酶长期条件下如何变化,还有待进一步的研究。

参 考 文 献:

- [1] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002: 3-5.
- [2] 徐秋芳, 徐建明, 姜培坤. 集约经营毛竹林土壤活性有机碳库研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 15-17.
- [3] 马少杰, 李正才, 王 刚, 等. 集约和粗放经营下毛竹林土壤活性有机碳的变化[J]. 植物生态学报, 2011, 35(5): 551-557.
- [4] 沈 宏, 曹志洪, 徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 166-173.
- [5] 杨 萌, 李永夫, 李永春, 等. 集约经营对毛竹林土壤碳氮库及酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(11): 3455-3462.
- [6] Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, *et al.* Defining soil quality for a sustainable environment: SSSA Special Publication Number 35 [M]. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1994: 3-21.
- [7] 张昌顺, 李 昆, 马姜明, 等. 施肥对印楝幼林土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 林业科学研究, 2006, 19(6): 750-755.
- [8] Sainju U M, Schomberg H H, Singh B P, *et al.* Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton [J]. Soil & Tillage Research, 2007, 96(1): 205-218.
- [9] Liu M Y, Chang Q R, Qi Y B, *et al.* Aggregation and soil organic carbon fractions under different land uses on the tableland of the Loess Plateau of China [J]. Catena, 2014, 115(3): 19-28.
- [10] Kahlon M S, Lal R, Ann M. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio [J]. Soil & Tillage Research, 2013, 126(1): 151-158.
- [11] Zhang L M, Yu D S, Shi X Z, *et al.* Simulation soil organic carbon change in China's Tai-Lake paddy soils [J]. Soil & Tillage Research, 2012, 121: 1-9.
- [12] Wei O, Qi S, Hao F, *et al.* Impact of crop patterns and cultivation on carbon sequestration and global warming potential in an agricultural freeze zone [J]. Ecological Modelling, 2013, 252(1): 228-237.
- [13] 赵睿宇, 李正才, 王 斌, 等. 毛竹林地表覆盖年限对土壤有机碳的影响[J]. 植物生态学报, 2017, 41(4): 418-429.
- [14] 赵睿宇, 李正才, 王 斌, 等. 毛竹林地表稻草覆盖后翻耕对土壤有机碳的影响[J]. 生态学杂志, 2017, 36(8): 2118-2126.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274-329.
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000: 146-195.
- [17] Heikamp F, Wendland M, Offenberger K, *et al.* Implications of input estimation, residue quality and carbon saturation on the predictive power of the Rothamsted Carbon Model [J]. Geoderma, 2012, 170: 168-175.
- [18] 陈强龙, 谷 洁, 高 华, 等. 秸秆还田对土壤脱氢酶和多酚氧化酶活性动态变化的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4): 146-151.
- [19] 杨招弟, 蔡立群, 张仁陟, 等. 不同耕作方式对旱地土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 514-517.
- [20] 陈 娟, 马忠明, 刘莉莉, 等. 不同耕作方式对土壤有机碳、微生物量及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 667-675.
- [21] 张英英, 蔡立群, 武 均, 等. 不同耕作措施下陇中黄土高原旱作农田土壤活性有机碳组分及其与酶活性间的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 1-7.
- [22] Sardans J, Penñuelas J, Estiarte M. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland [J]. Applied Soil Ecology, 2008, 39(2): 223-235.
- [23] 王理德, 王方琳, 郭春秀, 等. 土壤酶学研究进展[J]. 土壤, 2016, 48(1): 12-21.
- [24] 罗珠珠, 黄高宝, 蔡立群, 等. 不同耕作方式下春小麦生育期土壤酶时空变化研究[J]. 草业学报, 2012, 21(6): 94-101.
- [25] 张向前, 陈 欢, 赵 竹, 等. 不同秸秆覆盖水平对砂姜黑土生物学性状的影响[J]. 生态环境学报, 2015, 24(4): 610-616.
- [26] 白银萍, 海江波, 杨 刚, 等. 稻田土壤呼吸及酶活性对不同秸秆还田方式的响应[J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(1): 28-32.
- [27] Page K, Dang Y, Dalal R. Impacts of conservation tillage on soil quality, including soil-borne crop diseases, with a focus on semi-arid grain cropping systems [J]. Australasian Plant Pathology, 2013, 42(3): 363-377.
- [28] Balwinder-Singh, Eberbach P L, Humphreys E, *et al.* The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India [J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(12): 1847-1855.
- [29] Jafari M, Haghghi J A P, Zare H. Mulching impact on plant growth and production of rainfed fig orchards under drought conditions [J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2012, 10(1): 428-433.
- [30] Pinggera J, Geisseler D, Merbach I, *et al.* Effect of substrate quality on the N uptake routes of soil microorganisms in an incubation experiment [J]. European Journal of Soil Biology, 2015, 69(12): 17-23.
- [31] 陈冬林, 易镇邪, 周文新, 等. 不同土壤耕作方式下秸秆还田量对晚稻土壤养分与微生物的影响[J]. 环境科学学报, 2010,

30(8): 1722–1728.

- [32] 潘雅文, 樊军, 郝明德, 等. 黄土塬区长期不同耕作、覆盖措施对表层土壤理化性状和玉米产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1558–1567.
- [33] 崔新卫, 张杨珠, 吴金水, 等. 秸秆还田对土壤质量与作物生长的影响研究进展[J]. 土壤通报, 2014, 45(6): 1527–1532.
- [34] 周江涛, 吕德国, 秦嗣军. 不同有机物覆盖对冷凉地区苹果园土壤水温环境及速效养分的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(9): 2551–2556.
- [35] 刘秀清, 章铁, 孙晓莉. 沿江丘陵区土壤酶活性与土壤肥力的关系[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 341–344.
- [36] 陈光升, 钟章成, 齐代华. 缙云山常绿阔叶林土壤酶活性与土

壤肥力的关系[J]. 西华师范大学学报: 自然科学版, 2002, 23(1): 19–23.

- [37] 王启兰, 王溪, 王长庭, 等. 高寒矮嵩草草甸土壤酶活性与土壤性质关系的研究[J]. 中国草地学报, 2010, 32(3): 51–56.
- [38] 葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等. 三峡库区不同林龄马尾松土壤养分与酶活性的关系[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 445–451.
- [39] 高彦波, 翟鹏辉, 谭德远. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究进展[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(6): 100–101.
- [40] 黄容, 高明, 万毅林, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响[J]. 环境科学, 2016, 37(11): 4446–4456.

Effects of Soil Straw Mulching and Cultivation on Enzymes and Nutrients in *Phyllostachys edulis* Plantation Soil

ZHAO Rui-yu¹, LI Zheng-cai¹, WANG Bin¹, GE Xiao-gai¹, DAI Yun-xi², ZHAO Zhi-xia¹, ZHANG Yu-jie¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China;

2. Huangyan District Forestry Technology Popularization Station of Taizhou City, Zhejiang Province, Taizhou 318020, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] To reveal the response of soil enzymes and soil nutrients to soil surface mulching in *Phyllostachys edulis* plantation and the relationship between them. [Method] The 0~50 cm soil layer of bamboo stands, located in Huangyan District of Taizhou City (Zhejiang Province) were selected to investigate the difference among three treatments, i. e. straw mulched continuously for two years with soil turning, without soil turning, and natural growth with no intervention (CK). [Result] The results show that: (1) The polyphenol oxidase activity in the soil of *Ph. edulis* plantation mulched with or without soil turning was lower compared with the CK, especially in soil depth of 0~20 cm. Compared with the CK, the activity of soil peroxidase in *Ph. edulis* plantation treated with mulching and soil turning decreased with a significant level in soil depth of 0~10 cm and that treated with mulching without soil turning also decreased except the soil layer of 10~20 cm in depth. However, the activities of both urease and sucrase improved compared with the CK. (2) After soil straw mulching, the soil nutrient content of the plantation treated by mulching with or without soil turning increased. The nutrient contents of the mulching and soil turning increased at first and then decreased in the 0~10 cm soil layer, and reached the maximum at 10~20 cm soil layer; there was a significant difference in total N between mulching without soil turning and mulching with soil turning in depth of 0~30 cm soils. (3) There was a correlation between soil enzyme and soil nutrient. Both urease and sucrase had a significant positive correlation with soil nutrient, but a negative correlation between polyphenol oxidase and soil nutrient. Peroxidase had a negative correlation with soil organic matter, available P and had no significant correlation with other soil nutrients. [Conclusion] Soil surface mulching has significant effect on soil enzyme activity and soil nutrient content of *Ph. edulis* plantation, short-term surface mulching can significantly improve soil fertility and fertility of straw mulched with soil turning is better than that of straw mulched without soil turning.

Keywords: *Phyllostachys edulis*; soil mulch with straw; cultivation; soil nutrient; soil enzyme