

文章编号: 1001-1498(2006)06-0750-06

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

张昌顺^{1,2}, 李 昆^{1*}, 马姜明^{1,3}, 郑志新¹

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局云南元谋荒漠生态系统定位研究站, 云南 昆明 650224;

2. 国际竹藤网络中心, 北京 100102; 3. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要:为探讨施肥条件下土壤酶活性及其与土壤肥力的关系, 对国家林业局云南元谋荒漠生态系统定位研究站 3 年生印楝林的土壤酶、土壤化学性质和微生物因子进行了测定和分析。结果表明: (1) N、P、K 与有机肥混施 (处理 9: N₂₀₀ P₁₂₀ K₈₀ M₃₀₀₀) 对增强 3 年生印楝林土壤酶活性效果最佳; 处理 6 (P₂₄₀) 对改善林地化学性质和提高林地微生物数量效果最好; 处理 8 (N₂₀₀ P₁₂₀ K₈₀) 对改善土壤酸碱性最佳。(2) 土壤酶活性与土壤肥力之间具有很好的相关性, 其中酸性磷酸酶活性与水解氮、交换性钙和交换性镁含量呈显著正相关, 与有效铁含量呈显著负相关; 蔗糖酶与有机质呈显著正相关, 与水解氮呈极显著正相关; 脲酶与 pH 值和细菌含量呈显著负相关; 过氧化氢酶与有效磷呈极显著正相关, 蛋白酶和多酚氧化酶与土壤肥力各指标间无显著相关。此外, 除蛋白酶外, 其余酶与其他一些肥力指标的相关系数在 0.5 以上, 说明土壤酶活性可作为该地区印楝林土壤肥力评价的重要指标。

关键词: 干热河谷; 印楝; 土壤酶活性; 土壤肥力

中图分类号: S714.8

文献标识码: A

Effects of Fertilization on Soil Enzyme Activities and Its Role in Adjusting-Controlling Soil Fertility of Young *Azadirachta indica* A. Juss Plantations

ZHANG Chang-shun^{1,2}, LI Kun¹, MA Jiang-ming^{1,3}, ZHENG Zhi-xin¹

(Research Institute of Resources Insects, CAF, Yuanmou Desert Ecosystem Research Station of the State Forestry Administration,

Kunming 650224, Yunnan, China; 2. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China; 3. Research Institute

of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: To search the correlation between soil enzyme activities and soil fertility under fertilization conditions, the indexes of soil enzyme, soil chemical property and soil microbes in 3-years *Azadirachta indica* plantation were detected and analyzed in Yunnan Yuanmou Desert Ecosystem Located Research Station of State Forestry Administration. The results were as follows: (1) The application of N, P, K fertilizers combined with organic manure (treatment 9) was the best way to strengthen young plantation soil enzyme activities, while, for increase soil chemical properties and soil microbes quantities, treatment 6 was the best one, and the effect of treatment 8 to improve soil pH was the best one. (2) The correlation between soil enzyme activities and soil fertility indexes was significant. The activities of sucrase and catalase were respectively significantly correlated with hydrolytic nitrogen and available phosphorus at the 0.01 level. The positive correlation of acid phosphatase activity with the contents of hydrolytic nitrogen, ex-

收稿日期: 2006-05-15

基金项目: 国家“十五”攻关项目“雨养人工植被群落恢复技术与示范研究”(2001BA606A-07)和国家科技部公益性研究项目(2000 B B 50164)资助

作者简介: 张昌顺(1977—),男,江西吉安人,在读博士生。

*通讯作者。

changeable calcium and exchangeable magnesium, and sucrase activity with the content of organic matter, were significant the negative correlation of urease activity with soil pH and bacteria amount, and acid phosphatase activity with the content of available iron were also found prominently. While the correlation between the protease and polyphenol oxidase and soil fertility indexes was not obvious. In addition, except protease, activities of many correlation coefficients of soil enzyme activity and others soil fertility indexes were more than 0.5, and indicated that the soil enzyme activities could be used to evaluate the soil fertility of *Azadirachta indica* plantations in this area.

Key words: dry-hot valley; *Azadirachta indica*; soil enzyme activity; soil fertility

土壤酶来自微生物、植物和动物的活体或残体,通过催化作用参与土壤中一切复杂的生化反应,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,直接参与了土壤营养元素的有效化过程,是土壤生物活性和土壤肥力一个重要指标^[1],在一定程度上反映了土壤养分转化的动态情况。上世纪 50 年代初, Hofmann 提出用土壤酶活性作为衡量土壤的生物学活性与生产力的指标,其后有些学者建议将这种相关用于农业生产实际^[2]。在以往的研究中,人们一直强调以土壤的理化特性作为持续性指标,因此,国内外学者一直把施肥对土壤理化性质和林木生长的影响作为研究中的主要方向,而关于土壤生物学特性方面的研究成果相对要少一些。近年来,我国学者也积极开展了对红壤、黑土、黑垆土、棕色石灰土、冲积土等土壤酶活性与土壤肥力的关系研究,肯定了酶的活性可以作为衡量土壤肥力的指标。本研究以国家林业局云南省元谋荒漠生态系统定位研究站内 3 年生印楝为研究对象,探讨施肥条件下土壤酶活性的变化及其在土壤肥力演变中的作用,寻求印楝丰产栽培的土壤生物化学环境,为干热河谷地区土壤肥力的可持续维护和提高科学依据。

1 试验地概况

试验地设在国家林业局云南省元谋荒漠生态系统定位研究站甘塘试验林中。元谋县位于云南省滇中高原北部,金沙江中游一级支流龙川江下游。地理坐标为 25°25′~26°07′N, 101°35′~102°15′E, 全县总面积为 2 021.46 km², 平均海拔 1 100 m, 属典型的干热河谷气候^[3]。本区年平均气温 21.8℃, 最冷月(12月)均温为 14.5℃, 最热月(5月)均温 27.1℃, 10 年积温为 8 003℃, 无霜期 350~365 d, 年降水量约 630.7 mm, 年蒸发量约 3 847.8 mm, 年均相对湿度 55.8%, 年均日照时数 2 630.4 h。本区地带性土壤为燥红土和褐红土, 此类土壤有机质

含量低, 土壤粘重、板结, 粘粒含量高, 渗透性差, 土壤膨胀收缩强烈, 干旱时土壤易开裂。

该地区的植被为“河谷型半萨王纳植被”^[4], 群落外貌以禾草的低草丛为背景, 疏散生长不高的乔木和灌木, 呈现稀疏灌草丛型的萨王纳景观。主要植被有苦刺 (*Sophora viciifolia* Hance)、车桑子 (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq)、余甘子 (*Phyllanthus emblica* L.)、扭黄毛 (*Heteropogon contortus* (L.) Beauv)、孔颖草 (*Bothriochloa pertusa* (L.) A. Camus)、三芒草 (*Aristida adscensionis* L.)、黄背草 (*Aristida triandra* var. *japonica*) 等。

2 试验材料与方法

2.1 试验材料

本试验材料为 3 年生印楝 (*Azadirachta indica* A. Juss) 人工林, 2001 年造林, 苗龄 1 a, 株行距 200 cm × 200 cm, 林下植被稀少, 密度为 2 500 株 · hm⁻²。

2.2 试验设计

因试验地地势起伏较大, 本试验采用完全随机区组设计。把 10 种施肥处理随机地安排在各区组中, 6 个重复, 同时在各区组周围设保护行。

供试肥料为目前农林生产上常用的商业性肥料, 尿素 (N 质量分数为 463 g · kg⁻¹)、硫酸钾 (K₂SO₄ 质量分数为 500 g · kg⁻¹)、钙镁磷肥 (P₂O₅ 质量分数为 160 g · kg⁻¹) 和有机肥 (N 质量分数为 57.6 g · kg⁻¹、P₂O₅ 质量分数为 10 g · kg⁻¹ 和 K 质量分数为 10 g · kg⁻¹)。

处理 1: 尿素 130 kg · hm⁻²; 处理 2: 尿素 260 kg · hm⁻²; 处理 3: 尿素 520 kg · hm⁻²; 处理 4: 钙镁磷肥 375 kg · hm⁻²; 处理 5: 钙镁磷肥 750 kg · hm⁻²; 处理 6: 钙镁磷肥 1 500 kg · hm⁻²; 处理 7: 尿素 432 kg · hm⁻², 钙镁磷肥 750 kg · hm⁻²; 处理 8: 尿素 432 kg · hm⁻² + 钙镁磷肥 750 kg · hm⁻² + 硫酸钾 160 kg · hm⁻²; 处理 9: 尿素 432 kg · hm⁻² + 钙镁磷肥 750

kg · hm⁻² + 硫酸钾 160 kg · hm⁻² + 有机复合肥 3 000 kg · hm⁻²; 处理 10: 无肥对照。

2.3 供试土壤的采集

2004年 10月份在雨季未结束时采集土壤样品。先对所有试验林木进行每木检尺, 随后根据树高、胸径大小, 每一处理选出 3 株较接近平均木的植株, 再在这些植株下离施肥沟 20 cm 处 0~20 cm 深土层, 最后分别将各处理的 3 个土样混成一个待测样品供测。

2.4 测定方法

室内养分及 pH 值分析主要参照 1988 年国家森林土壤分析标准提供的方法^[5]; 微生物类群的数量测定主要参照《土壤微生物分析方法手册》^[6]进行, 其中细菌、真菌、放线菌均采用平板法测定; 土壤酶活性采用《土壤酶学》中的方法测定^[9], 分析结果详见表 1、表 2。

表 1 施肥对土壤酶活性的影响

指标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
酸性磷酸酶 / (酚 mg · g ⁻¹)	26.60	36.30	19.70	41.00	54.80	48.40	58.60	62.00	63.10	24.20
蔗糖酶 / (0.1N Na ₂ S ₂ O ₃ mL · g ⁻¹)	0.08	0.10	0.10	0.11	0.06	0.14	0.18	0.14	0.20	0.07
脲酶 / (NH ₃ -N mg · (100 g) ⁻¹)	0.70	1.15	0.51	7.24	1.72	0.65	5.51	2.11	1.08	6.40
蛋白酶 / (甘氨酸 mg · g ⁻¹)	4.17	3.28	1.73	0.26	0.48	0.95	1.23	4.79	3.84	1.21
过氧化氢酶 / (红紫脒精 mg · (100 g) ⁻¹)	0.09	0.02	0.17	0.14	0.19	0.05	0.09	0.09	0.11	0.01
多酚氧化酶 / (0.1 N KMnO ₄ mL · g ⁻¹)	19.14	18.31	13.32	8.60	0.28	12.28	0.97	7.21	4.44	11.93

表 2 土壤化学性质及土壤微生物变化

指标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH 值	5.37	5.21	5.50	5.24	5.48	5.32	5.04	5.61	5.46	4.63
全 N / (g · kg ⁻¹)	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.5	0.6	0.4
全 P / (g · kg ⁻¹)	0.2	0.1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.1
全 K / (g · kg ⁻¹)	5.7	6.8	7.8	7.2	7.3	11.8	10.2	5.1	9.8	7.0
有机质 / (g · kg ⁻¹)	4.4	4.7	4.7	5.8	5.6	9.9	9.8	4.1	7.4	4.0
水解 N / (mg · kg ⁻¹)	29.90	33.03	31.75	32.45	33.11	38.23	48.1	34.92	43.1	30.96
有效 P / (mg · kg ⁻¹)	9.03	4.04	9.88	11.70	10.08	5.93	7.64	8.71	10.77	7.66
有效 K / (mg · kg ⁻¹)	33.37	34.54	32.16	49.92	43.77	59.82	57.40	27.39	55.98	25.78
交换性 Ca / (mg · kg ⁻¹)	527.04	712.15	583.23	789.21	921.59	1 092.6	982.85	547.51	1126	447.88
交换性 Mg / (mg · kg ⁻¹)	99.34	125.38	84.82	123.46	168.82	199.23	171.66	103.56	209.43	73.81
有效 Fe / (mg · kg ⁻¹)	11.30	9.99	11.97	6.87	9.38	5.35	6.24	8.45	9.88	16.19
有效 Mn / (mg · kg ⁻¹)	0.46	0.46	0.45	0.42	0.53	0.91	0.54	0.40	0.72	0.43
有效 Cu / (mg · kg ⁻¹)	9.18	8.42	11.44	20.67	12.17	5.06	11.88	7.67	16.84	8.69
土壤化学性质综合指数	-1.728	-1.959	-1.043	0.932	0.249	3.358	2.391	-1.555	2.778	-3.424
细菌 / (10 ⁴ N · g 干土 ⁻¹)	651.00	798.00	543.00	484	591.00	750.00	325.00	671.00	528.00	326.00
放线菌 / (10 ⁴ N · g 干土 ⁻¹)	110.00	103.30	67.20	70.10	88.10	161.10	190.20	81.00	100.40	55.50
真菌 / (10 ⁴ N · g 干土 ⁻¹)	12.10	10.90	17.80	19.10	9.90	17.60	22.20	15.40	17.70	17.30

2.5 统计分析方法

采用 SPSS 统计软件对各项数据进行逐步回归和相关分析^[8]。

3 结果与分析

3.1 施肥对 3 年生印楝林土壤酶活性的影响

土壤中的一切反应, 都是在酶的参与下进行的。土壤酶的活性反映了土壤中进行的各种生物化学过程的程度和方向, 它是土壤的本质属性之一。大量研究表明, 土壤酶活性与土壤理化性质、水热状况、碳水化合物含量、吸收性复合体特征以及营林抚育措施等密切相关, 是土壤生物活性和土壤肥力的一

个重要指标^[9]。

从表 1 可知, 合理施肥可提高 3 年生印楝人工林土壤酶活性。单施无机 N 肥时, 蔗糖酶、蛋白酶、过氧化氢酶和多酚氧化酶的活性均高于对照, 而脲酶的活性却低于对照。除多酚氧化酶活性随施肥量增加而降低外, 其他酶的活性在一定程度上随施肥量的增加而增强, 但过量的 N 肥反而使他们的活性降低。脲酶活性降低虽然可降低土壤氮的挥发, 但会降低 N 的利用率; 而土壤中多酚氧化酶的活性是土壤有机质腐殖化的一个指标, 其活性越强, 形成腐殖质量越多, 酚类物质在土壤中积累越少^[10]。从结果看, 处理 1 的蛋白酶和多酚氧化酶活性最高, 而酸

性磷酸酶、蔗糖酶和脲酶的活性均以处理 2 最高。因此,单施无机 N 肥以处理 2 增强土壤酶活性效果最佳。

单施无机 P 肥时,蛋白酶的活性随着施肥量的增加增强,而脲酶的活性与之相反;酸性磷酸酶和过氧化氢酶的活性变化与单施 N 肥时相似,施大量 P 肥时,蔗糖酶与多酚氧化酶的活性最强。土壤中无机 P 的增加是酸性磷酸酶活性减弱的一个原因。过氧化氢酶以处理 5 活性最高,蔗糖酶、蛋白酶和多酚氧化酶以处理 6 活性最高,因此,对 3 年生印楝林提高无机 P 肥施肥量对提高林地土壤酶活性有利。

无机肥和有机肥混施时,处理 9 的酸性磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶的活性最高,但其脲酶和多酚氧化酶活性较低且低于对照,处理 8 的蛋白酶和多酚氧化酶的活性最高,但其多酚氧化酶的活性仍小于对照,脲酶的活性虽以处理 7 最高却也低于对照。所以,从提高土壤生物的氧化能力方面看,有机肥与无机肥混合施用的效果优于单施适量 N 肥,单施适量的 N 肥又优于单施大量的 P 肥。

3.2 施肥对土壤化学性质的影响

3.2.1 施肥对土壤 pH 值的影响 土壤 pH 值是影响土壤肥力的重要因素之一,土壤微生物的活动、有机质的分解、营养元素的释放与转化、土壤酶活性等都与土壤 pH 值有关。有些酶促反应对 pH 值变化很敏感,甚至只能在较窄的 pH 值范围内进行^[11,12]。从表 2 可以看出,施肥后,土壤 pH 值均较对照升高,使土壤酸性减弱。这说明施肥可一定程度上缓解干热河谷印楝人工林土壤酸化。其中无机 N、P、K 肥混合施用后土壤 pH 值变化最大,其次是单施大量的无机 N 肥,单施无机 P 肥以适量较佳。

3.2.2 施肥对土壤养分的影响 土壤养分是地质大循环和生物小循环共同作用的结果,在母质的成土过程中,生物因素起主导作用。在水土流失相当严重的干热河谷地区,其土壤养分含量处于极低水平(从对照可见)。从表 2 可知,合理施肥施肥可增加土壤养分含量。施肥后,各施肥处理土壤全 N、全 P、有效 P、交换性 Ca 和交换性 Mg 的含量均较对照增加,其他养分指标有的增加,有的降低。从施肥后土壤化学性质综合指数^[13]来看,各施肥处理土壤化学性质综合指数均高于对照,其中追施大量的 P 肥(处理 6)对改善 3 年生印楝林地的土壤化学性质效果最好,无机肥与有机肥混施效果次之,单施 N 肥效果最差。这说明处理 6(P₂₄₀)能加快土壤腐殖质

的分解,增加土壤有机质和全 N 含量,同时促进了印楝植株对有效 P、有效 Fe 和有效 Mn 的吸收,使土壤中有有效 P、有效 Fe 和有效 Mn 的含量降低,而 N、P、K 肥混施对增加土壤养分效果也不佳,其原因可能与 N、P、K 混施更能促进林木对土壤养分的吸收。

3.3 施肥对土壤微生物的影响

土壤是微生物活动最适宜的环境,是自然界微生物聚集最多的地方。它们参与土壤有机质的分解、腐殖质的合成、养分转化和加速土壤的发育与形成。林地微生物组成及其数量的变化,一般反映了林地土壤肥力的变化^[14]。

在本试验单施无机 N 肥时,在一定数量范围内,随着施肥量的增加,微生物总数和细菌数量也随之增加,但追施过量的 N 肥时,微生物总数、细菌和放线菌的数量反而降低。故以处理 2 效果较佳。而单施无机 P 肥时,微生物总数、细菌和放线菌数数量随施肥量的增加而增加。处理中追施最大量的无机 P 肥,其土壤微生物总量、细菌数和放线菌数量最多,真菌数量也较对照高,其中以处理 4 真菌数含量最高,这说明大量的 P 肥可促进微生物繁殖增长,提高土壤微生物数量,促进林地土壤的腐殖质分解。

追施混合肥时,处理 8 的微生物总数和细菌数量均高于另外两个处理,且高于对照,放线菌和真菌数量也较对照高,其中处理 7 的真菌数量最高,相比较而言,混合施肥以处理 8 效果较佳。

从施肥对 3 年生印楝林地土壤微生物的影响来看,单施无机肥的效果优于混和施用,尤以单施大量的 N 肥效果最好。

3.4 土壤酶活性与影响因素的相关分析

为探讨不同施肥条件下土壤化学性质和土壤微生物与土壤酶活性之间的关系,现以 pH 值(x_1)、全 N 含量(x_2)、全 P 含量(x_3)、全 K 含量(x_4)、有机质含量(x_5)、水解 N 含量(x_6)、有效 P 含量(x_7)、有效 K 含量(x_8)、交换性 Ca 含量(x_9)、交换性 Mg 含量(x_{10})、有效 Fe 含量(x_{11})、有效 Mn 含量(x_{12})、有效 Cu 含量(x_{13})、细菌含量(x_{14})、放线菌含量(x_{15})、真菌含量(x_{16})为自变量,以土壤中酸性磷酸酶活性(y_1)、蔗糖酶活性(y_2)、脲酶活性(y_3)、蛋白酶活性(y_4)、过氧化氢酶活性(y_5)、多酚氧化酶活性(y_6)为因变量进行逐步回归。结果表明,不同施肥处理中,交换性 Mg 含量对酸性磷酸酶活性影响最大,水解 N 含量对蔗糖酶活性影响最大,pH 值和有效 Cu 含量对脲酶活性影响最大,而有效 P 含量对过氧化氢酶

活性影响最大。其最优回归方程分别为:

$$y_1 (\text{酸性磷酸酶}) = 0.249x_{10} (\text{交换性 Mg}) + 9.606 (R^2 = 0.543 \quad n = 10)$$

$$y_2 (\text{蔗糖酶}) = 0.0069x_6 (\text{水解 N}) - 0.128 (R^2 = 0.772 \quad n = 10)$$

$$y_3 (\text{脲酶}) = -0.0122x_{14} (\text{细菌}) + 9.625 (R^2 = 0.559 \quad n = 10)$$

$$y_5 (\text{过氧化氢酶}) = 0.0198x_7 (\text{有效 P}) - 0.0736 (R^2 = 0.594 \quad n = 10)$$

许多研究^[15]表明,土壤肥力水平在很大程度上受土壤酶的影响,与土壤酶活性之间存在着非常密切的相关关系。本研究对土壤酶与主要肥力因子之间作了相关分析表明(表 3):酸性磷酸酶的活性与水解 N、交换性 Ca 和交换性 Mg 的含量呈显著正相关,与有效 Fe 的含量呈显著负相关;蔗糖酶活性与

水解 N 的含量呈极显著正相关,与土壤有机质含量呈显著正相关;脲酶活性与土壤 pH 值呈显著正相关,与细菌含量呈显著负相关;过氧化氢酶的活性与有效 P 的含量呈极显著正相关;而蛋白酶和多酚氧化酶的活性与土壤化学性质和土壤微生物指标无显著相关。

虽然过酸性磷酸酶活性与土壤有机质和有效 K 的含量、蔗糖酶活性与土壤全 N、全 P、全 K、交换性 Ca、交换性 Mg、有效 Fe、放线菌和真菌的含量、与土壤过氧化氢酶活性、土壤 pH 值和多酚氧化酶的活性与水解 N、交换性 Ca、交换性 Mg 的含量未达到显著相关,但其相关系数均在 0.5 以上,说明元谋干热河谷地区土壤酶的活性与土壤化学性质及生物因素关系密切,因此,可以用土壤酶的活性作为评价该区林地土壤肥力的指标^[16]。

表 3 土壤酶活性与土壤化学性质和土壤微生物含量之间的关系

指标	酸性磷酸酶 (y_1)	蔗糖酶 (y_2)	脲酶 (y_3)	蛋白酶 (y_4)	过氧化氢酶 (y_5)	多酚氧化酶 (y_6)
pH 值 (x_1)	0.357	0.184	-0.685*	0.402	0.619	-0.108
全 N (x_2)	0.340	0.596	-0.326	-0.167	0.299	-0.284
全 P (x_3)	0.419	0.530	0.158	-0.359	0.288	-0.341
全 K (x_4)	0.322	0.584	-0.052	-0.428	-0.062	-0.316
有机质 (x_5)	0.519	0.665*	0.032	-0.359	-0.028	-0.431
水解 N (x_6)	0.709*	0.879**	0.092	-0.024	-0.037	-0.614
有效 P (x_7)	0.116	0.041	0.216	-0.121	0.771**	-0.441
有效 K (x_8)	0.562	0.631	0.057	-0.385	0.168	-0.480
交换性 Ca (x_9)	0.676*	0.627	-0.134	-0.280	0.189	-0.546
交换性 Mg (x_{10})	0.737*	0.626	-0.217	-0.149	0.125	-0.531
有效 Fe (x_{11})	-0.642*	-0.529	0.034	0.166	-0.204	0.361
有效 Mn (x_{12})	0.385	0.485	-0.375	-0.154	-0.121	-0.150
有效 Cu (x_{13})	0.162	0.209	0.443	-0.254	0.544	-0.404
细菌 (x_{14})	0.043	-0.119	-0.748*	0.416	-0.101	0.481
放线菌 (x_{15})	0.433	0.549	-0.103	-0.080	-0.201	-0.212
真菌 (x_{16})	0.143	0.626	0.526	-0.302	-0.042	-0.324

注: $r_{0.05}(8) = 0.6319$, $r_{0.01}(8) = 0.7646$; * 显著相关, ** 极显著相关

4 结论与讨论

(1) 研究表明,合理施肥可改善 3 年生印楝幼林土壤酸碱性,增强土壤微生物活性,提高微生物数量,从而加快枯枝落叶的分解、转化,提高土壤养分含量。在增强土壤酶活性方面,无机肥与有机肥混施(处理 9)效果最佳,单施 P 肥又优于单施 N 肥,其中以处理 6 和处理 2 最佳,单施大量 N 肥(处理 3)效果最差;而处理 8 对提高土壤 pH 值效果最佳,处理 3 次之,单施 P 肥时以处理 4 最佳;从土壤化学性质综合指数来看,处理 6 对提高土壤化学性质综合指数效果最佳,处理 9 次之,处理 2 效果最差;从提

高土壤微生物数量来看,单施效果优于混合施用,其中处理 6 效果最佳,处理 2 次之,处理 7 效果最差。

(2) 土壤酶活性与土壤化学性质和土壤微生物含量逐步回归计算结果表明:交换性 Mg、水解 N、细菌和有效 P 的含量分别对酸性磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和过氧化氢酶的活性影响最大。土壤酶活性与土壤肥力之间相关性较强,其中酸性磷酸酶与水解 N、交换性 Ca 和交换性 Mg 含量显著正相关,与有效 Fe 含量显著负相关;蔗糖酶活性与有机质含量显著正相关,与水解 N 的含量极显著正相关;脲酶活性与土壤 pH 值和细菌含量显著负相关;过氧化氢酶活性与有效 P 含量呈极显著正相关,而蛋

白酶和多酚氧化酶活性与土壤化学性质和微生物含量无显著相关。这说明土壤酶活性的高低可以反映土壤养分转化和土壤微生物活性的强弱,又因土壤酶对环境或管理因素引起的变化较敏感^[17],故土壤酶活性可作为元谋干热河谷印楝人工林地土壤肥力评价的重要指标。

(3)各处理三大指标(土壤酶活性、土壤化学性质、土壤微生物含量)的优劣次序并不一致,其原因主要为:该地区土壤有效 P 的含量很低(表 2),有效 P 含量可能是该地区土壤肥力的限制因子,许多研究也表明,追施大量 P 肥可促进土壤有机质分解,提高土壤养分含量、土壤酶活性和微生物数量。因此,施大量 P 肥后,土壤养分含量、土壤酶活性和微生物含量有较大的提高。土壤微生物和土壤酶的活性除了土壤养分含量和土壤 pH 值有关外,还与印楝植株的生理活性有关。混合施肥更能促进印楝植株对土壤养分的吸收和增强其生理活性,而生理活性的增强会提高印楝根系分泌能力,从而增强林地土壤酶活性。但印楝作为生物农药,其果实、根系、枝叶都含有印楝素,其生理活性的增强和根分泌物的增加,使土壤中印楝素含量可能会随之增加,有可能对土壤微生物繁殖不利。因此,无机肥与有机肥混施(处理 9)对提高林木生理活性效果最佳,可能也是造成三大指标优劣次序不一致的主要原因。

(4)研究发现:无机肥与有机肥混施对提高印楝林地土壤养分含量效果并非最佳。其原因主要有:肥料特性,无机肥为速效肥,而有机肥为长效肥,试验时间短未完全分解;试验的土壤特性——缺 P 少 N,N、P 可能是该地区燥红土肥力的限制因子,当施 N、P 肥后,再施有机肥,其效果就不明显;

无机肥与有机肥混施虽可提高土壤养分,但因其更能提高印楝植株的生理活性,使根系吸收更多的土壤养分,加之试验时间不长,故无机肥与有机肥混

施后对土壤养分含量增加的贡献并非最大。

参考文献:

- [1] 陈恩凤. 土壤酶与土壤肥力研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 54 ~ 61
- [2] 中国科学院林业土壤研究所, 等. 全国土壤酶学研究论文集 [C]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1968: 7 ~ 14, 232 ~ 236
- [3] 纪中华, 李建增, 沙毓沧. 金沙江干热河谷退化土地植被恢复模式及效益研究 [J]. 中国水土保持, 1999, 12(7): 27 ~ 29
- [4] 金振洲, 欧晓昆. 干热河谷植被 [M]. 云南大学出版社, 2000: 141 ~ 230
- [5] 国家标准局. 中华人民共和国国家标准森林土壤分析 [M]. 北京: 标准出版社, 1988
- [6] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 1 ~ 314
- [7] 周礼恺. 土壤酶学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1 ~ 281
- [8] 薛薇. SPSS 统计分析方法与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 326 ~ 348
- [9] 李勇. 试论土壤酶活性与土壤肥力 [J]. 土壤通报, 1989, 26(4): 190 ~ 192
- [10] 陈斌竣, 李传涵. 林木根际与非根际土壤酶活性比较 [J]. 林业科学, 1994, 30(2): 170 ~ 175
- [11] 和文祥, 朱铭菽, 张一平. 土壤酶与重金属关系的研究现状 [J]. 土壤与环境, 2000, 9(2): 139 ~ 142
- [12] Frankenberger J R, Johanson J B, Nelson C O. Urease activity in sewage sludge amended soils [J]. Soil Biol Biochem, 1983, 15: 543 ~ 549
- [13] 骆伯胜, 钟继洪, 陈俊坚. 土壤肥力数值化综合评价研究 [J]. 土壤, 2004, 36(1): 104 ~ 106, 111
- [14] 阎德仁, 刘永军, 王晶莹. 落叶松人工林土壤微生物含量的研究 [J]. 东北林业大学学报, 1996, 24(3): 46 ~ 50
- [15] 中国科学院林业土壤研究所. 中国土壤酶学研究论文集 [C]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1988
- [16] Bums R G. Soil Enzymes [M]. Chelsea, USA: Lewis Publishers, 1994: 93 ~ 97
- [17] Doran J W. Defining soil quality for a sustainable environment [C]. Madison, Wisconsin: Soil Society of America Special Publication, No 35, 1994: 3 ~ 234