

味精废浆与化肥配施对杨树幼苗土壤活性 有机碳与微生物活性的影响

叶桂梅¹, 井大炜², 邢尚军³, 马海林³, 杜振宇³, 刘方春³, 马丙尧³

(1. 临沂市产品质量监督检验所, 山东 临沂 276004; 2. 德州学院, 山东 德州 253023; 3. 山东省林业科学研究院, 济南 250014)

摘要: 为探讨味精废浆有机肥对林木土壤的生物学效应及确定味精废浆与化肥适宜的搭配比例, 通过盆栽试验, 研究了CK(对照, 不施肥)、 N_{100} (尿素提供100%的氮)、 $M_{10}N_{90}$ (味精废浆和尿素分别提供10%与90%的氮)、 $M_{30}N_{70}$ (味精废浆和尿素分别提供30%与70%的氮)与 $M_{50}N_{50}$ (味精废浆和尿素各提供50%的氮)等处理对杨树幼苗土壤活性有机碳、碳库管理指数(CPMI)与微生物呼吸、代谢熵及生长的影响。结果表明: 与 N_{100} 处理相比, 配施味精废浆处理的土壤活性、中活性和高活性有机碳含量均明显升高。 $M_{30}N_{70}$ 处理的活性有机碳含量与CPMI显著高于其他处理, 分别较 N_{100} 处理高出34.78%和42.96%; 其微生物量碳、氮含量也明显高于其他处理。同时, $M_{30}N_{70}$ 处理还能显著增强土壤微生物呼吸作用, 但降低了代谢熵, 其中土壤微生物呼吸分别较CK、 N_{100} 、 $M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理提高81.13%、35.21%、17.07%和5.49%, 而代谢熵分别下降9.16%、10.37%、6.98%和5.80%。此外, $M_{30}N_{70}$ 处理的地径、苗高亦达最高值, 并与其他处理差异达显著水平。同 $M_{30}N_{70}$ 处理相比, $M_{10}N_{90}$ 与 $M_{50}N_{50}$ 处理对杨树幼苗土壤及生长的影响效果较小。相关性分析表明, 地径、苗高生长与土壤不同程度的活性有机碳、碳库管理指数及微生物活性有显著或极显著的相关性, 各指标之间具有紧密的内在关联。综合分析认为, 味精废浆与化肥以3:7比例配施能显著提高杨树幼苗土壤的活性有机碳含量, 明显增强土壤微生物活性, 并促进其生长。

关键词: 杨树幼苗; 味精废浆; 活性有机碳; 碳库管理指数; 土壤微生物呼吸; 代谢熵

中图分类号: S154.3; S714.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)05-0291-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2016.05.048

Effects of Monosodium Glutamate Wastewater Co-applied with Inorganic Fertilizer on Active Organic Carbon and Microbial Activity in Poplar Seedlings Soil

YE Guimei¹, JING Dawei², XING Shangjun³, MA Hailin³, DU Zhenyu³, LIU Fangchun³, MA Bingyao³

(1. Linyi Institute of Product Quality Supervision and Inspection, Linyi, Shandong 276004;

2. Dezhou University, Dezhou, Shandong 253023; 3. Shandong Forestry Academy, Jinan 250014)

Abstract: In order to explore the biological effect of monosodium glutamate wastewater on forest soil and determine the appropriate application level of monosodium glutamate wastewater and inorganic fertilizer for improving poplar growth, a pot experiment including five treatments, i. e. CK (neither urea nor monosodium glutamate wastewater was applied), N_{100} (100% of nitrogen was provided by urea), $M_{10}N_{90}$ (10% and 90% of nitrogen were provided by monosodium glutamate wastewater and urea, respectively), $M_{30}N_{70}$ (30% and 70% of nitrogen were provided by monosodium glutamate wastewater and urea, respectively) and $M_{50}N_{50}$ (50% and 50% of nitrogen were provided by monosodium glutamate wastewater and urea, respectively) was performed. The present study was conducted to determine the effects of different treatments on active organic carbon, carbon pool management index (CPMI), microbial respiration and metabolic quotient in soil, as well as growth of poplar seedlings. Results showed that in comparison with N_{100} treatment, monosodium glutamate wastewater application significantly increased the contents of active organic carbon, mid-active organic carbon and highly active organic carbon. The active organic carbon content and CPMI in $M_{30}N_{70}$ treatment were obviously higher than other treatments, increasing by 34.78% and 42.96 compared with N_{100} treatment, respectively. The $M_{30}N_{70}$ treatment also significantly increased the contents of microbial biomass carbon and microbial biomass nitrogen. In the meantime, the microbial respiration was evidently enhanced by the use of

收稿日期: 2016-03-22

资助项目: 国家自然科学基金项目(31500513); 山东省农业重大应用技术创新课题“杨树超高产栽培关键技术研究”; 山东省科技发展计划项目“山东省干旱瘠薄山地集雨造林关键技术研究”(2010GSF10621); 德州学院科技人才引进项目(311890)

第一作者: 叶桂梅(1969—), 女, 学士, 高级工程师, 主要从事林木营养与加工研究。E-mail: yeguimei007@163.com

通信作者: 井大炜(1982—), 男, 博士, 讲师, 主要从事植物营养机理与调控研究。E-mail: jingdawei009@163.com

$M_{30}N_{70}$ treatment, while the metabolic quotient was decreased, increasing by 81.13%, 35.21%, 17.07% and 5.49% in microbial respiration over the treatments of CK, N_{100} , $M_{10}N_{90}$ and $M_{50}N_{50}$, respectively. And the metabolic quotient was reduced by 9.16%, 10.37%, 6.98% and 5.80%, respectively. Additionally, the ground diameter and plant height in $M_{30}N_{70}$ treatment also reached the maximum and had significant differences with other treatments. However, in $M_{10}N_{90}$ and $M_{50}N_{50}$ treatments, less effect on micro-domain environment characteristics and growth was observed than that in $M_{30}N_{70}$ treatment. Correlation analysis revealed that ground diameter and plant height were significantly or extremely significantly correlated with different degree of soil active organic carbon, carbon pool management index (CPMI) and microbial activity, indicating close inner link among every indicator. These results suggested that monosodium glutamate wastewater combined with inorganic fertilizer, especially $M_{30}N_{70}$ treatment, was beneficial to increase the active organic carbon content, enhance the microbial activity in soil and promote growth of poplar seedlings.

Keywords: poplar seedlings; monosodium glutamate wastewater; active organic carbon; carbon pool management index (CPMI); soil microbial respiration; metabolic quotient

土壤活性有机碳与土壤速效养分、土壤物理性状等紧密相关,因而成为评价土壤质量、土壤管理的一个重要指标^[1]。Blair等^[2]采用 $KMnO_4$ 氧化法测定了活性有机碳,并提出土壤碳库管理指数。碳库管理指数是由土壤管理措施所引起土壤有机碳变化的重要指标,能够敏感且系统地监测土壤碳的变化,并反映农艺措施使土壤质量下降或更新的程度。土壤微生物生物量不仅是土壤有机质、土壤养分转化及循环的动力,还能成为土壤中植物有效养分的存储库^[3]。而土壤微生物活性可调控土壤碳的矿化过程、养分循环与生态系统生产力,并且土壤微生物量与活性是表征土壤质量的主要微生物学指标,可快速地指示土壤质量的变化趋势^[4]。目前,关于杨树土壤活性有机碳与微生物活性的研究报道甚少。

我国是味精生产大国,每年大约产生 10.0×10^7 t的味精废浆,直接排放会对环境造成严重污染^[5]。当前常用的处理方法由于成本高且操作复杂,难以实现循环再利用。而味精废浆的浓度大,全氮与有机碳含量高,并含有P、K等元素,同时亦含有丰富的蛋白质、游离氨基酸以及一定量的中微量元素^[5]。有研究表明,味精废浆中核酸的水解物用作植物生长素对瓜果、玉米和水稻等都有显著的增产效应,并能明显改善土壤生境^[6]。还有研究发现^[7],施用味精废浆亦能促进西瓜的生长,且可以显著改善品质。由此可见,如果将味精废浆加以合理利用作为农业生产的肥料来源,则能变废为宝,不仅可减轻环境的压力,还能为农业生产开辟新的肥源,这对于提高农作物的种植效益具有重要实际意义,同时也能有力地推动味精的生产企业及农业的可持续发展,可谓一举两得^[8]。可以预见,味精废浆有机肥在林业上亦会有广阔的应用市场。但目前关于味精废浆在林业上的研究报道还较少,尤其针对林木土壤活性有机碳和微生物活性的影响研究更是鲜有报道。为此,本研究通过盆栽模拟试

验的方法,以山东省林科院试验苗圃的潮土为研究对象,探讨味精废浆有机肥和化肥以不同比例搭配对土壤活性有机碳、碳库管理指数与微生物量碳氮、微生物活性及杨树幼苗生长的影响,旨在为提高土壤质量管理与增强林业固碳减排潜力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试材料

试验地点设置在山东省林科院的试验苗圃,供试土壤为潮土,土壤速效氮 28.05 mg/kg,速效磷 25.92 mg/kg,速效钾 80.50 mg/kg,有机碳含量 14.25 g/kg。有机肥是利用味精行业所产生的废浆制成颗粒肥料(有机质含量 22.96%,高活性、中活性和活性有机碳含量分别为 16.92, 28.33, 79.65 g/kg,全氮 7.51%,全磷 1.08%,全钾 0.10%,pH 值 6.59);化肥为尿素、过磷酸钙与氯化钾。杨树扦插苗品种为鲁林 1 号杨(*Populus* × ‘Lulin-1’),穗长 15~16 cm,茎粗 2 cm,重量 26~28 g。

1.2 试验设计

采用盆栽试验,随机区组设计,共设 5 个处理:CK,不施肥; N_{100} ,100%的氮由尿素提供; $M_{10}N_{90}$,10%的氮由味精废浆提供,90%的氮由尿素提供; $M_{30}N_{70}$,30%的氮由味精废浆提供,70%的氮由尿素提供; $M_{50}N_{50}$,50%的氮由味精废浆提供,50%的氮由尿素提供。每个处理 10 盆(重复 10 次),共计 50 盆。除 CK 外,各处理均为等养分量,N、 P_2O_5 和 K_2O 含量分别为 3.62, 1.85, 3.89 g^[3],各处理 P 和 K 不足部分分别用过磷酸钙与氯化钾补足。试验用盆为购自市场的棱柱型塑料盆,盆高 20 cm,边长 30 cm。于 2015 年 4 月 10 日盆栽试验时,将肥料、土壤充分拌匀后装盆,每盆装土 11.2 kg。

1.3 测定项目与方法

在 2015 年 10 月 18 日(落叶前),分别用游标卡

尺、卷尺测定杨树幼苗的地径、苗高,然后用自制土钻分别取各盆土面至盆底的土壤,混合均匀后分成两份:一份新鲜土样于 4 ℃ 冰箱避光保存,尽快测定微生物量碳、氮与微生物呼吸;另一份样品自然风干,过 0.25 mm 筛后测定土壤有机碳等指标。

土壤微生物量碳和氮的测定采用氯仿熏蒸 K_2SO_4 浸提法。土壤微生物呼吸的测定采用室内密闭培养法,并以单位质量土壤平均每小时释放的 CO_2-C 数量表示,单位为 $mg/(kg \cdot h)$ 。微生物代谢熵是土壤微生物呼吸与土壤微生物量碳的比值,用 $mg/(g \cdot h)$ 表示。土壤总有机碳采用重铬酸钾氧化法测定^[9]。

土壤活性有机碳测定与碳库管理指数(CPMI)计算:采用 33,167,333 mmol/L 的 $KMnO_4$ 氧化法,分别测定土壤样品中高活性有机碳、中活性有机碳和活性有机碳含量。以对照处理土壤为参照。碳库指数与 CPMI 等相关指标的计算参考徐明岗等^[10]的方法。

1.4 数据处理

采用 Excel 2013 处理数据并制图,采用 SPSS 17.0 统计软件进行方差分析与多重比较(LSD法, $P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 土壤活性有机碳与碳库管理指数

从表 1 可知,各处理土壤总有机碳(TOC)含量

表 1 不同处理对杨树幼苗土壤活性有机碳与碳库管理指数的影响

处理	TOC/(g · kg ⁻¹)	AOC/(g · kg ⁻¹)	MAOC/(g · kg ⁻¹)	HAOC/(g · kg ⁻¹)	CPMI
CK	14.76 ± 0.42d	4.08 ± 0.05c	0.97 ± 0.03d	0.55 ± 0.03c	100.00 ± 0.00c
N ₁₀₀	14.93 ± 0.37d	3.91 ± 0.08d	1.05 ± 0.03c	0.41 ± 0.05d	94.45 ± 8.16c
M ₁₀ N ₉₀	16.69 ± 0.18c	4.85 ± 0.12b	1.31 ± 0.06b	0.64 ± 0.02b	119.78 ± 2.65b
M ₃₀ N ₇₀	17.28 ± 0.15b	5.27 ± 0.10a	1.53 ± 0.05a	0.76 ± 0.05a	137.41 ± 3.26a
M ₅₀ N ₅₀	18.05 ± 0.29a	4.96 ± 0.08b	1.49 ± 0.06a	0.72 ± 0.03a	125.25 ± 6.08b

注:数据为平均值±标准差,同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.2 土壤微生物量碳和氮

从表 2 可以看出,各处理微生物量碳含量的变化规律为: $M_{30}N_{70} > M_{50}N_{50} > M_{10}N_{90} > N_{100} > CK$,且各处理间的差异均达显著水平,其中 $M_{30}N_{70}$ 处理分别较 CK、N₁₀₀、M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀ 处理明显高出 98.29%, 50.01%, 25.16% 和 11.38%。

微生物量氮含量的变化规律与微生物量碳相类似,也是 $M_{30}N_{70}$ 处理最高,并分别比 CK、N₁₀₀、M₁₀N₉₀ 与 M₅₀N₅₀ 处理显著提高 126.51%, 77.21%, 29.77% 与 17.90%。同时还得出,各处理的 MBC/MBN 比值分别为 7.66, 7.92, 6.95, 6.70 和 7.10。方差分析可知,CK、N₁₀₀ 处理的 MBC/MBN 比值差异不显著,但显著高于 M₁₀N₉₀、M₃₀N₇₀ 与 M₅₀N₅₀ 处理,而 M₁₀N₉₀、M₃₀N₇₀ 和 M₅₀N₅₀ 处理之间亦无显著性差异。杨树幼苗植株根系周围的微生物种群以细菌为主,其次为放线菌,而真菌最少,不同种群的 C/N

的大小次序为: $M_{50}N_{50} > M_{30}N_{70} > M_{10}N_{90} > N_{100} \approx CK$,说明施用味精废浆处理较单施化肥显著提高了杨树苗土壤的总有机碳含量。M₃₀N₇₀ 处理的活性有机碳(AOC)含量最高,并显著高于其他处理,其次是 M₅₀N₅₀、M₁₀N₉₀ 处理,亦明显高于 CK、N₁₀₀ 处理;同 N₁₀₀ 处理相比,M₁₀N₉₀、M₃₀N₇₀ 和 M₅₀N₅₀ 处理的 AOC 含量分别高出 24.04%, 34.78% 和 26.85%,且 AOC 占 TOC 的比重分别为 29.06%, 30.50% 和 27.48%,也高于 N₁₀₀ 处理(26.19%)。同 AOC 相比,中活性有机碳(MAOC)、高活性有机碳(HAOC)含量相对较低,分别为 0.97~1.53 g/kg 和 0.41~0.76 g/kg。M₁₀N₉₀、M₃₀N₇₀ 和 M₅₀N₅₀ 处理的 MAOC 与 HAOC 含量较 N₁₀₀ 处理显著升高,且 MAOC 与 HAOC 占 TOC 的比重分别由 7.03% 与 2.75% 提高到 7.85% ~ 8.85% 与 3.83% ~ 4.40%;同时可知,M₃₀N₇₀ 处理的 MAOC、HAOC 占 TOC 的比重均达最高值。此外,M₃₀N₇₀ 处理的碳库管理指数(CPMI)显著高于其他处理,分别比 CK、N₁₀₀、M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀ 处理高出 37.41, 42.96, 17.63 和 12.16;依次是 M₅₀N₅₀、M₁₀N₉₀ 处理,亦明显高于 N₁₀₀ 处理。由此可知,配施味精废浆处理的总有机碳、3 种活性有机碳含量和碳库管理指数较对照和单施化肥均得到明显提升,这表明施入味精废浆有机肥既能提高土壤有机碳数量,还能改善土壤有机碳质量,提高了土壤的综合生产力。

比有差异,微生物区系中细菌、真菌的比例不一样,必然会导致 MBC/MBN 比值的差异。由此分析认为,配施味精废浆有机肥较单施化肥可以显著提高杨树幼苗土壤的微生物量碳、氮含量,并明显降低 MBC/MBN 比值,说明味精废浆与化肥的搭配有利于促进土壤微生物群落结构的改变,其中 3:7 比例搭配的作用效果最为显著。

2.3 土壤微生物呼吸和代谢熵

从表 2 可知,施肥处理相比如对照能显著提高杨树幼苗土壤的微生物呼吸速率,N₁₀₀、M₁₀N₉₀、M₃₀N₇₀ 和 M₅₀N₅₀ 处理分别提高 33.96%, 54.72%, 81.13% 和 71.70%;而在各个施肥处理中,M₃₀N₇₀ 处理的土壤微生物呼吸速率最高,分别比 N₁₀₀、M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀ 处理显著高出 35.21%, 17.07% 和 5.49%;其次是 M₅₀N₅₀ 处理,也明显高于 M₁₀N₉₀ 和 N₁₀₀ 处理。

代谢熵是土壤微生物呼吸和微生物量碳的比率,

可反映土壤微生物种群对土壤有机成分的利用效率,能指示土壤质量的变化趋势与土壤生态系统的成熟程度^[4]。不同处理对杨树幼苗土壤代谢熵的影响呈现出明显的差异(表 2)。与 CK 相比, N₁₀₀ 处理的代谢熵略有升高,但未达到差异显著水平,而 M₁₀N₉₀、M₃₀N₇₀ 和 M₅₀N₅₀ 处理则显著下降。在配施味精废浆

表 2 不同处理对杨树苗土壤微生物量碳、氮和微生物呼吸、代谢熵及生长的影响

处理	微生物量碳/ (mg·kg ⁻¹)	微生物量氮/ (mg·kg ⁻¹)	微生物呼吸/ (mg·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	代谢熵/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	苗高/ cm	地径/ mm
CK	291.82±10.55e	38.12±5.03d	0.53±0.05e	1.82±0.02a	143.93±9.25d	10.27±0.61d
N ₁₀₀	385.70±23.17d	48.72±2.19c	0.71±0.03d	1.84±0.03a	170.62±6.57c	12.15±0.37c
M ₁₀ N ₉₀	462.33±9.86c	66.53±4.26b	0.82±0.05c	1.77±0.01b	184.55±3.96b	13.32±0.25b
M ₃₀ N ₇₀	578.61±12.39a	86.30±5.87a	0.96±0.02a	1.66±0.03c	208.73±7.63a	14.72±0.39a
M ₅₀ N ₅₀	519.52±15.08b	73.21±4.95b	0.91±0.02b	1.75±0.02b	189.15±5.81b	13.41±0.52b

2.4 地径、苗高

由表 2 可知,味精废浆与化肥的不同搭配处理对杨树苗地径与苗高生长的影响具有显著差异,地径与苗高的变化规律基本一致。与对照相比,各个施肥处理均能显著增加杨树苗的地径与株高。在施肥处理中,配施味精废浆处理的地径与株高明显高于单施化肥;而在味精废浆与化肥配施的 3 个处理中, M₃₀N₇₀ 处理的地径、苗高达最高值,其中地径分别较 CK、N₁₀₀、M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀ 处理显著增加 43.33%、21.15%、10.51% 和 9.77%,苗高分别显著增加 45.02%、22.34%、13.10% 和 10.35%。由此可知,在味精废浆与化肥的搭配处理中,随味精废浆有机肥所占比重的增加,杨树苗地径与苗高的生长呈现出先升后降的变化趋势。这表明味精废浆与化肥的配施比例对于杨树苗的生长具有至关重要的作用。

2.5 相关性分析

对杨树幼苗土壤总有机碳、3 种不同程度的活性有机碳、碳库管理指数和微生物量碳、氮及微生物呼吸、代谢熵、地径、苗高进行相关分析(表 3),3 种活性有机碳之间极显著或显著正相关,并与总有机碳呈显著正相关,

的 3 个处理中,以 M₃₀N₇₀ 处理的代谢熵最低,分别比 CK、N₁₀₀、M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀ 处理明显降低 9.16%、10.37%、6.98% 和 5.80%。以上分析可见,味精废浆与化肥的配施不仅能显著增强杨树幼苗土壤的微生物呼吸作用,还明显降低了代谢熵,其中 3:7 比例搭配的影响效果明显优于 1:9 和 5:5 比例。

说明不同类型的有机碳之间存在着相互转化关系。

微生物量碳与活性有机碳、中活性有机碳、CPMI 极显著正相关,与高活性有机碳显著正相关,而与总有机碳无显著相关性;微生物量氮与活性有机碳、中活性有机碳极显著正相关,与高活性有机碳、CPMI、微生物量碳显著正相关。这表明土壤微生物量碳、氮与不同程度的活性有机碳、CPMI 均有密切的内在联系,微生物量碳、氮的变化可能会引起活性有机碳的相应改变,从而会对 CPMI 产生一定影响。微生物呼吸与中活性有机碳、CPMI、微生物量碳极显著正相关,与活性有机碳、微生物量氮显著正相关;代谢熵与活性有机碳、中活性有机碳、CPMI、微生物量碳极显著负相关,与微生物呼吸显著正相关,与高活性有机碳、微生物量氮显著负相关;苗高、地径与活性有机碳、中活性有机碳、CPMI、微生物量碳氮、微生物呼吸极显著正相关,与总有机碳显著正相关,与代谢熵显著负相关。上述指标间的相关性说明,土壤中各种活性有机碳、碳库管理指数与微生物活性之间是相互影响、相互制约的,也表明杨树幼苗的生长是多种生物学过程综合作用的结果。

表 3 杨树苗土壤活性有机碳与微生物活性的相关性分析

指标	总有机碳	活性有机碳	中活性有机碳	高活性有机碳	碳库管理指数	微生物量碳	微生物量氮	微生物呼吸	代谢熵	苗高
活性有机碳	0.866*									
中活性有机碳	0.875*	0.963**								
高活性有机碳	0.881*	0.954**	0.894*							
碳库管理指数	0.895*	0.991**	0.937**	0.955**						
微生物量碳	0.757	0.915**	0.976**	0.868*	0.913**					
微生物量氮	0.722	0.958**	0.982**	0.860*	0.859*	0.891*				
微生物呼吸	0.698	0.886*	0.956**	0.742	0.919**	0.933**	0.870*			
代谢熵	-0.775	-0.939**	-0.912**	-0.890*	-0.966**	-0.981**	-0.892*	0.877*		
苗高	0.862*	0.915**	0.938**	0.706	0.967**	0.909**	0.945**	0.983**	-0.869*	
地径	0.875*	0.923**	0.929**	0.751	0.986**	0.928**	0.937**	0.959**	-0.887*	0.966**

注: * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$ 。

3 讨论

对土壤活性有机碳与碳库管理指数的研究,可以

明确土壤管理及施肥的科学性^[5]。本研究得出,与单施化肥相比,配施味精废浆有机肥处理明显提高了杨

树幼苗土壤中总有机碳、3种活性有机碳含量与CPMI,这与王朔林等^[11]在栗褐土上的研究结论基本一致。这一方面是由于味精废浆含有丰富的总有机碳和活性有机碳,能为土壤提供直接的有机碳源;另一方面可能与施用味精废浆能促进杨树苗根系生长,进而刺激根系分泌物显著增多有关^[5]。本试验还得出,在味精废浆与化肥的3个比例搭配中,3:7比例配施对土壤活性有机碳含量和CPMI的提高幅度明显大于1:9和5:5比例,这可能是由于3:7比例能有效调节土壤的C/N比,更利于促进杨树幼苗根系与微生物的活动,刺激了微生物活性,从而使进入土壤的根系分泌物与有机残体数量显著增加^[5],因此有利于生成活性有机碳,并提高CPMI。此外,单施化肥的CPMI较对照有下降趋势,但尚未达到显著水平,这与苏丽丽等^[12]在大豆农田土壤上的研究结果不完全一致,可能与作物种类及土壤理化性状等因素的差异有关。

土壤微生物量碳、氮是反映土壤碳、氮养分循环与转化过程的重要参数,体现土壤微生物生长状态与土壤肥力状况^[3]。本试验得出,味精废浆与化肥配施处理较对照、单施化肥能显著提高杨树幼苗土壤的微生物量碳、氮含量,而且3:7比例配施的作用效果明显优于1:9和5:5比例。究其原因可能与3:7比例能有效改善土壤物理性状,并提高土壤养分的有效性与保水性,从而能明显刺激土壤微生物的大量繁殖紧密相关^[3,13]。同时,从相关性分析可知,微生物量碳、氮与活性有机碳、中活性有机碳、高活性有机碳和CPMI呈极显著或显著正相关,表明土壤活性有机碳的变化对微生物量也具有内在影响。本研究还得出,味精废浆处理的MBC/MBN比值显著低于对照,这与陈欢等^[14]在砂姜黑土上的试验结果相反,造成这一差异可能与土壤质地、作物种类、肥料类型等因素的不同有关。施用味精废浆改变了土壤的MBC/MBN比,势必会改变土壤的微生物群落结构。

土壤微生物呼吸本质上是土壤微生物对有机质的分解过程,即有机质潜在的矿化速率,可反映土壤微生物的总体活性及土壤物质代谢强度^[15]。本试验得出,各个施肥处理较对照均能明显提高杨树幼苗土壤的微生物呼吸速率,可能与施肥措施能增加土壤有机质含量有关^[16]。本试验还得出,味精废浆处理较单施化肥亦显著增强了微生物呼吸强度,进一步分析可知,味精废浆与化肥以3:7比例搭配的增加效果显著大于1:9和5:5比例。这可能是因为:①3:7比例能更明显地增加土壤中易分解有机质的量,显著增加了土壤呼吸的底物^[17];②3:7比例带入了适量的中微量元素,可以较好地改善土壤中营养元素的平衡,对微生物活动产生促进效应,从而可明显提高土壤微生物呼吸作用^[16]。这与王清奎等^[27]在杉木幼林

土壤上的研究结论相一致。

代谢熵将微生物量的大小与微生物的生物活性、功能有机地联系起来,可以揭示微生物群落的生理特征^[4]。有研究发现^[18],代谢熵较低意味着土壤中微生物对碳的利用效率较高,而代谢熵较高则表明用于微生物细胞合成的碳比例相对较小,即碳源的利用率低。本研究得出,单施化肥的代谢熵高于对照,但差异未达显著水平,说明单施化肥对碳源的利用率很有限,这与张前兵等^[19]在干旱区棉田土壤上的研究结论相似。本试验还得出,配施味精废浆处理的代谢熵明显低于对照和单施化肥,其中味精废浆与化肥以3:7比例配施的代谢熵显著低于其他处理。分析其原因可能是3:7比例丰富了土壤中的大量与微量元素,能显著促进土壤微生物的快速繁殖与微生物活性的提高^[16],明显增加微生物量,从而提高了对碳源的利用率,故降低了代谢熵。同时,通过相关性分析可知,代谢熵与3种活性有机碳、碳库管理指数、微生物量碳氮及微生物呼吸呈极显著或显著负相关关系,表明代谢熵与土壤活性有机碳、碳库管理指数、微生物量及微生物呼吸存在密切的内部联系。此外,本试验还发现,配施味精废浆处理较单施化肥能显著促进杨树幼苗地径与苗高的生长,其中3:7比例配施的促进效果明显优于1:9和5:5比例。这主要与3:7比例能显著提高土壤的活性有机碳含量,并明显增强土壤微生物活性密切相关。从相关性分析也能验证这一点,杨树幼苗的地径、苗高与活性有机碳、中活性有机碳、CPMI、微生物量碳氮、微生物呼吸极显著正相关,与代谢熵显著负相关。由此可以得出,有机肥与化肥的搭配比例具有决定性作用,只有合适的比例才能够更好地维持土壤性状与可持续利用潜力^[3,5]。

4 结论

同单施化肥相比,配施味精废浆处理的土壤活性、中活性和高活性有机碳含量均显著升高。 $M_{30}N_{70}$ 处理的活性有机碳含量和CPMI显著高于其他处理,分别较 N_{100} 处理高出34.78%和42.96%;其微生物量碳、氮含量也明显高于其他处理。同时, $M_{30}N_{70}$ 处理还能显著增强土壤微生物呼吸作用,但降低了代谢熵,其中土壤微生物呼吸分别较CK、 N_{100} 、 $M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理提高81.13%、35.21%、17.07%和5.49%,而代谢熵分别下降9.16%、10.37%、6.98%和5.80%。此外, $M_{30}N_{70}$ 处理的地径、苗高亦达最高值,并与其他处理差异达显著水平。同 $M_{30}N_{70}$ 处理相比, $M_{10}N_{90}$ 与 $M_{50}N_{50}$ 处理对杨树幼苗土壤及生长的影响效果较小。相关性分析表明,地径、苗高生长与土壤不同程度的活性有机碳、碳库管理指数及微生物活性有显著或极显著的相关性,各指标之间具有紧密的内在关联。综合分析可知,味精废浆与化肥以3:7比例配

施能显著提高杨树幼苗土壤的活性有机碳含量,明显增强土壤微生物活性,并促进其生长。

参考文献:

- [1] 王良梅,马爱军,夏钰. 不同经营模式下杨树人工林土壤活性有机碳的分布特征[J]. 生态环境学报,2015,24(11):1771-1776.
- [2] 兰宇,Muhammad I A,韩晓日,等. 长期施肥对棕壤有机碳储量及固碳速率的影响[J]. 环境科学学报,2016,36(1):264-270.
- [3] 井大炜,邢尚军. 鸡粪与化肥不同配比对杨树苗根际土壤酶和微生物量碳、氮变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):455-461.
- [4] 周晨霓,任德智,马和平,等. 西藏季节拉山两种典型天然林分土壤活性有机碳组分与土壤呼吸特征研究[J]. 环境科学学报,2015,35(2):557-563.
- [5] 井大炜,邢尚军,刘方春,等. 配施味精废浆促进杨树生长提高土壤活性有机碳及碳库管理指数[J]. 农业工程学报,2016,32(S1):124-131.
- [6] 彭智平,黄继川,于俊红,等. 味精废液对花生产量、品质和土壤酶活性的影响[J]. 热带作物学报,2012,33(9):1579-1583.
- [7] 王明友,张红,李士平. 味精废浆有机肥对西瓜根系特性与根际土壤腐殖质组成的影响[J]. 水土保持通报,2015,35(5):205-210.
- [8] 徐秋桐,孔樟良,章明奎. 不同有机废弃物改良新复垦耕地的综合评价[J]. 应用生态学报,2016,27(2):567-576.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:24-214.
- [10] 徐明岗,于荣,王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化[J]. 土壤学报,2006,43(5):723-729.
- [11] 王朔林,杨艳菊,王改兰,等. 长期施肥对栗褐土活性有机碳的影响[J]. 生态学杂志,2015,34(5):1223-1228.
- [12] 苏丽丽,徐文修,李亚杰,等. 耕作方式对干旱绿洲滴灌复播大豆农田土壤有机碳的影响[J]. 农业工程学报,2016,32(4):150-156.
- [13] 郭建红,潘剑君,葛序娟,等. 不同农业利用方式土壤有机碳矿化及其与有机碳组分的关系[J]. 水土保持学报,2015,29(6):178-183.
- [14] 陈欢,曹承富,张存岭,等. 长期施肥砂姜黑土微生物学特征差异及评价[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(6):1563-1571.
- [15] Han W, Kemmitt S J, Brookes P C. Soil microbial biomass and activity in Chinese tea gardens of varying stand age and productivity[J]. Soil Biology and Biochemistry,2007,39(7):1468-1478.
- [16] 贾德新,李士平,王凤丹,等. 蚯蚓粪对豇豆根际土壤生物学特征及微生物活性的影响[J]. 浙江农业学报,2016,28(2):318-323.
- [17] 井大炜,邢尚军,刘方春,等. 畦灌配施保水剂改善杨树林下土壤物理性状提高微生物活性[J]. 农业工程学报,2015,31(14):116-122.
- [18] 陈轩敬,梁涛,赵亚南,等. 长期施肥对紫色水稻土团聚体中有机碳和微生物的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(23):4669-4677.
- [19] 张前兵,杨玲,张旺锋,等. 农艺措施对干旱区棉田土壤有机碳及微生物量碳含量的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(22):4463-4474.
- [10] 董治宝,陈渭南,李振山,等. 植被对土壤风蚀影响作用的实验研究[J]. 水土保持学报,1996,10(2):1-8.
- [11] Zhao H L, Zhou R L, Su Y Z, et al. Changes in soil organic C and total N contents as affected by desertification in Horqin Sand Land, North China[J]. Acta Ecologica Sinica,2008,28(3):976-982.
- [12] Li F R, Zhao W Z, Liu J L, et al. Degraded vegetation and wind erosion influence soil carbon, nitrogen and phosphorus accumulation in sandy grasslands[J]. Plant & Soil,2009,317(S1/S2):79-92.
- [13] 李昂,张鸣,蔺海明,等. 种植甘草预防土壤风蚀效应[J]. 草业科学,2014,31(5):839-843.
- [14] 李昂,张鸣,蔺海明,等. 西北风蚀区种植甘草对地表微环境和土壤物理性状的影响[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(10):128-132.
- [15] Li A, Niu K C, Du G Z. Resource availability, species composition and sown density effects on productivity of experimental plant communities [J]. Plant & Soil,2011,344(1):177-186.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 第3版. 北京:中国农业出版社,2007:25-108.
- [17] Yan Y C, Xin X P, Xu X L, et al. Quantitative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrients under different vegetation coverage in a semiarid steppe of northern China[J]. Plant & Soil,2013,369(S1/S2):585-598.
- [18] 王仁德,邹学勇,赵婧研,等. 北京市平原区农田土壤侵蚀特征分析[J]. 水土保持学报,2011,25(1):20-24,29.
- [19] 闫玉春,王旭,杨桂霞,等. 退化草地封育后土壤细颗粒增加机理探讨及研究展望[J]. 中国沙漠,2011,31(5):1162-1166.
- [20] 熊好琴,段金跃,王妍,等. 围栏禁牧对毛乌素沙地土壤理化特征的影响[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(3):152-157.
- [21] 彭佳佳,胡玉福,肖海华,等. 生态修复对川西北沙化草地土壤有机质和氮素的影响[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(5):149-153.
- [22] 苏永中,赵哈林. 农田沙漠化过程中土壤有机碳和氮的衰减及其机理研究[J]. 中国农业科学,2003,36(8):928-934.

(上接第290页)