鸡粪与化肥不同配施方式对土壤有机碳及杨树幼苗生长的影响

付海丽[1]，邢尚军[2]，井大炜[1]，马海林[2]，杜振宇[2]，刘方春[2]，朱亚萍[1]
(1. 德州学院，山东 德州 253023；2. 山东省林业科学研究院，山东 济南 250014)

摘　要：通过盆栽试验，研究了 N_{100}（尿素提供 100%的氮），$M_{10}N_{90}$（鸡粪和尿素分别提供 10%和 90%的氮），$M_{30}N_{70}$（鸡粪和尿素分别提供 30%和 70%的氮）和 $M_{50}N_{50}$（鸡粪和尿素各提供 50%的氮）等不同施肥处理下，土壤有机碳含量、活性有机碳含量和碳库管理指数（CPMI）的变化规律。结果表明，$M_{30}N_{70}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理的有机碳含量分别比 N_{100} 处理提高了 8.11%和 14.64%；$M_{30}N_{70}$ 处理的活性有机碳含量和 CPMI 均为最高，其中活性有机碳含量分别比 N_{100}，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理提高了 47.36%，14.93%和 7.14%，CPMI 分别提高了 65.49，26.74 和 20.22，其差异均达到显著水平；同时，$M_{30}N_{70}$ 处理对杨树幼苗地径和苗高生长的提高幅度最大。土壤活性有机碳与总有机碳、杨树苗的地径和苗高呈显著相关，与 CPMI 呈极显著相关；CPMI 与地径、苗高呈显著相关，能够指示土壤生产力的变化。由此可见，鸡粪与化肥的不同配比对土壤有机碳、活性有机碳、CPMI 及杨树幼苗的生长均有显著影响，其中鸡粪与化肥以 3∶7 比例配施的作用效果最佳。

关键词：施肥措施；有机碳；活性有机碳；碳库管理指数
文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2014)04-0081-06　　**中图分类号**：S157.4+1
DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.029

Effect of Different Proportinons of Chicken Manure Co-applied with Inorganic Fertilizer on Poplar Seedings Groth and Soil Organic Carbon

FU Hai-li[1], XING Shang-jun[2], JING Da-wei[1], MA Hai-lin[2], DU Zhen-yu[2], LIU Fang-chun[2], ZHU Ya-ping[1]
(1. *Dezhou University*, *Dezhou*, *Shandong* 253023, *China*; 2. *Shandong Forestry Academy*, *Ji'nan*, *Shandong* 250014, *China*)

Abstract: A pot experiment was conducted to study the influence of different fertilization treatments on soil organic carbon(SOC), active organic carbon(AOC) and carbon pool management index(CPMI). The experiment included five treatments: CK(neither urea nor chicken manure was applied), N_{100}(100% of nitrogen was provided by urea), $M_{10}N_{90}$(10% and 90% of nitrogen was provided by chicken manure and urea, respectively), $M_{30}N_{70}$(30% and 70% of nitrogen was provided by chicken manure and urea, respectively), and $M_{50}N_{50}$(50% and 50% of nitrogen was provided by chicken manure and urea, respectively). The results showed that the SOC contents under $M_{30}N_{70}$ and $M_{50}N_{50}$ treatments increased by 8.11% and 14.64% in comparison with the N_{100} treatment, respectively. The AOC content and CPMI achieved the highest value under $M_{30}N_{70}$ treatment and had significant differences with other treatments, showing 47.36%, 14.93% and 7.14% increases in AOC content and 65.49, 26.74 and 20.22 increases in CPMI, respectively, compared to the treatments of N_{100}, $M_{10}N_{90}$ and $M_{50}N_{50}$. At the same time, $M_{30}N_{70}$ treatment had the maximum increase in the growth of poplar seedlings. The content of soil AOC was significantly positively correlated with the content of SOC, ground diameter and height of poplar seedlings, while was extremely significantly positively correlated with CPMI. Furthermore, the CPMI had significantly positive correlation with ground diameter and height of poplar seedlings, which would be a good index to assess influence of fertilization practice on soil quality. In conclusion, the different proportions of chicken manure co-applied with inorganic fertilizer had a significant influence on organic carbon, active organic carbon, CPMI and the growth of poplar seedlings, especially $M_{30}N_{70}$ treatment, which achieved the best effects among all the treatments and was the best propor-

收稿日期：2013-06-23　　**修回日期**：2013-07-30
资助项目：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”
作者简介：付海丽(1993—)，女(汉族)，山东省济南市人，本科生，研究方向为生态与园林建筑。E-mail:fhli007@163.com。
通信作者：井大炜(1982—)，男(汉族)，陕西省绥德县人，博士，讲师，主要从事植物营养机理与调控研究。E-mail:jingdawei009@163.com。

tion of chicken manure and inorganic fertilizer.

Keywords: fertilizer application treatments; organic carbon; active organic carbon; carbon pool management index

土壤有机碳是植物的养分来源和土壤微生物生命活动的能量来源，是表征土壤质量的关键指标之一[1]。施肥直接或间接地调控土壤有机质的输入，一定程度上影响土壤有机碳的积累和矿化[2]。因此，研究土壤有机碳在施肥条件下的动态机制，对于实现土壤有机碳库的正向培育具有重要意义。由于背景水平和自然水平的变异，土壤有机碳通常在短时间内发生较小的变化不易被察觉，而土壤活性有机碳可以作为有机碳库变化的更为敏感的指标[3]。因为活性有机碳与土壤有效养分、土壤物理性状、耕作措施等因素之间存在更密切的关系，近年来受到土壤肥料研究领域的重视。Lefroy 等[4]研究也指出，能够被 333 mmol/l $KMnO_4$ 氧化的有机碳称作活性有机碳，并首次提出土壤碳库管理指数(CPMI)的概念。CPMI 由于结合了土壤碳库指标和土壤碳库活度指标，既反映外界管理措施对土壤有机碳总量的影响，也反映了土壤有机碳组分的变化情况。目前，在土壤有机碳的累积和矿化方面，国内外已经开展了大量研究，但是多数研究集中在长期定位施肥体系下的累积效应，而揭示短期施肥对土壤有机碳的影响，更有利于施肥措施的调整和优化。

鸡粪是植物生产中优质的有机肥，富含氮、磷、钾等植物所必需的养分，较其它家畜家禽粪便其养分含量居于首位[5]。利用鸡粪生产制成的有机肥和有机无机复合肥对农作物增产明显。据统计，在西瓜、茶叶、大白菜等作物上施用鸡粪有机肥，增产幅度在 15%～25%之间[5]。在果蔗上长期施用鸡粪有机肥，可以改变土壤结构，使板结的土壤松化，增加透气性和保肥性[6]。因此，鸡粪在农业生产中得到越来越广泛的应用。然而，鸡粪用于人工林施肥方面的研究报道还不多见。随着规模化养殖业的迅猛发展，我国畜禽粪便年产量已近 3.0×10^9 t[7]。据世界粮农组织统计，2004 年我国鸡饲养量已占到全世界的 24%[8]，为林业生产提供了肥源保证。为此，本研究通过盆栽试验模拟的方法，以山东省林科院试验苗圃的潮土为研究对象，探讨鸡粪与化肥不同配施处理对土壤有机碳、活性有机碳、碳库管理指数及杨树幼苗生长的影响，为提高土壤质量管理和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

试验地点设在山东省林业科学研究院试验苗圃内，供试土壤为潮土，土壤速效氮含量为 27.96 mg/kg，速效磷含量为 26.52 mg/kg，速效钾含量为 79.00 mg/kg，有机质含量为 6.83 g/kg。供试鸡粪有机肥为济宁三环化工有限公司提供，N，P_2O_5 和 K_2O 含量分别为 1.22%，1.33%和 2.71%，有机碳含量为 140.26 mg/kg，活性有机碳含量为 75.81 mg/kg；所用化肥为尿素、过磷酸钙、氯化钾。杨树扦插苗品种为 I-107 欧美杨，接穗长 15～16 cm，茎粗 2 cm，重量 25～27 g。

1.2 试验设计

采用盆栽试验，随机区组设计，设 5 个处理：CK(不施肥)；N_{100}(100%的氮由尿素提供)；$M_{10}N_{90}$(10%的氮由鸡粪有机肥提供，90%的氮由尿素提供)；$M_{30}N_{70}$(30%的氮由鸡粪有机肥提供，70%的氮由尿素提供)；$M_{50}N_{50}$(50%的氮由鸡粪有机肥提供，50%的氮由尿素提供)。每个处理 8 盆，共计 40 盆。除 CK 外，各处理均为等养分量，N，P 和 K 含量分别为 3.55，1.94，3.94 g[9]，各处理 P 和 K 不足部分分别用过磷酸钙、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 2011 年 4 月 13 日盆栽试验时，将肥料与土壤充分混匀后装盆，每盆装土 10.5 kg。

1.3 测定项目与方法

在 2011 年 10 月 16 日(落叶前)，分别用游标卡尺和卷尺测定杨树幼苗的地径和苗高；然后用自制土钻取土面至盆底土壤，自然风干过 1 mm 筛。

土壤总有机碳的测定采用重铬酸钾氧化外加热法[10]；活性有机碳的测定参考徐明岗等[11]的方法；非活性有机碳含量为总有机碳和活性有机碳含量之差。

以试验开始前未经处理的土样相互混合作为参考土壤，其总有机碳含量为 14.25 g/kg，活性有机碳含量为 4.01 g/kg，土壤碳库管理指数的计算方法为：

碳库指数(CPI)＝样品全碳含量/参考土壤全碳含量

碳库活度(A)＝活性碳含量/非活性碳含量

碳库活度指数(I_A)＝样品碳库活度/参考土壤碳库活度

碳库管理指数(CPMI)＝碳库指数×碳库活度指数×100＝CPI·I_A×100。

1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件进行数据统计分析，采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异

法(LSD)比较不同处理组间的差异，显著性水平设定为 $\alpha=0.05$。

2　结果与分析

2.1　不同配施处理对土壤总有机碳的影响

外源有机质的输入是土壤有机碳含量增加的主要途径之一，不同施肥措施对土壤有机碳含量有显著影响(图 1)，同 CK 相比，N_{100}，$M_{10}N_{90}$，$M_{30}N_{70}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理的有机碳含量分别提高了 8.01%，9.72%，16.77%和 23.82%，差异均达到显著水平，可见各施肥处理均显著提高了土壤有机碳含量，但以配施鸡粪处理的效果更好。其原因主要在于施肥能促进杨树苗的生长，提高杨树苗地上部固碳能力及生物产量，并刺激根系分泌物的生成，增加根茬碳归还土壤，为有机碳的积累提供了基础[12]。而本身作为土壤有机碳的前身，鸡粪有机肥的施用对土壤有机碳的增加效果更好[13]。这与林明月等[14]对喀斯特地区牧草固碳的研究结果一致。各施肥处理中，在减少化肥的情况下，$M_{50}N_{50}$ 处理的土壤有机碳含量最高，其次是 $M_{30}N_{70}$ 处理，分别比 N_{100} 处理提高了 14.64%和 8.11%，差异达到显著水平；而 $M_{10}N_{90}$ 与 N_{100} 处理差异不显著。这表明随着鸡粪有机肥所占比重的增加，土壤有机碳含量也呈递增的趋势。这一方面可能是由于鸡粪有机肥比例的增加，带入了更多的有机质；另一方面可能是由于鸡粪与化肥以 1∶9 和 3∶7 比例搭配，相比 5∶5 比例搭配能更明显地降低土壤的 C/N 比，使土壤微生物活性提高更快，从而导致有机碳的矿化分解加快[15]。

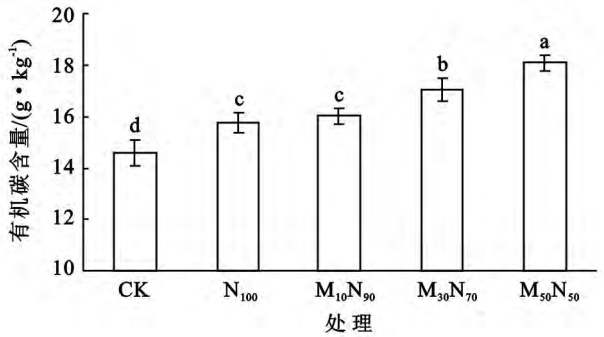


图 1　不同处理对土壤有机碳含量的影响

注：CK 表示不施肥；N_{100} 表示 100%的氮由尿素提供；$M_{10}N_{90}$ 表示 10%的氮由鸡粪有机肥提供，90%的氮由尿素提供；$M_{30}N_{70}$ 表示 30%的氮由鸡粪有机肥提供，70%的氮由尿素提供；$M_{50}N_{50}$ 表示 50%的氮由鸡粪有机肥提供，50%的氮由尿素提供。下同。

2.2　不同配施处理对土壤活性有机碳和非活性有机碳的影响

不同处理对土壤活性有机碳和非活性有机碳含量的影响如图 2 所示。由图 2 可以看出，鸡粪与化肥配施处理的活性有机碳含量均显著高于 CK 和 N_{100} 处理，而 N_{100} 处理的活性有机碳含量低于 CK，但未达到显著差异。在配施鸡粪处理中，$M_{30}N_{70}$ 处理的活性有机碳含量最高，分别比 CK，N_{100}，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理提高了 38.95%，47.36%，14.93%和 7.14%，差异均达到显著水平。N_{100} 处理的非活性有机碳含量显著高于 $M_{10}N_{90}$ 处理，可见，$M_{10}N_{90}$ 和 N_{100} 处理的总有机碳含量虽然差异不显著，但 N_{100} 处理的土壤总有机碳含量升高主要是由于其提高了土壤非活性有机碳含量的缘故，而配施鸡粪有机肥处理其总有机碳和活性有机碳含量均明显升高，表明配施有机肥不仅能提高土壤有机碳含量，而且能改善土壤有机碳的质量，从而提高土壤的综合生产力。此外，不同处理间，土壤活性有机碳含量的变化幅度较总有机碳大，说明活性有机碳对施肥措施的响应较为敏感，有助于指示或预警土壤质量的变化[16]。

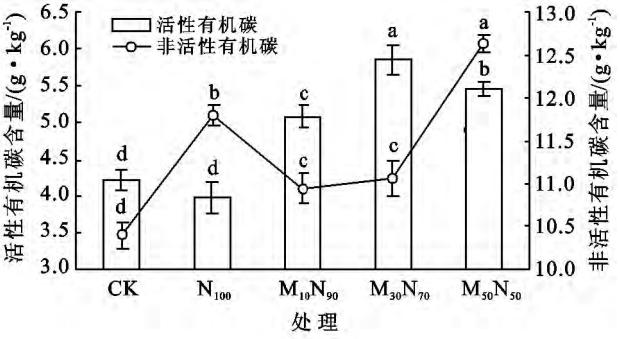


图 2　不同处理对土壤活性和非活性有机碳含量的影响

2.3　不同配施处理对土壤碳库管理指数的影响

由表 1 所示，不同有机无机配肥对 CPI 的影响趋势与对有机碳含量的影响相似。$M_{30}N_{70}$ 处理的碳库活度(A)最高，分别比 CK，N_{100}，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理提高了 30.65%，57.34%，13.68%和 22.34%，差异均达到显著水平；I_A 和 CPMI 的变化趋势相似：$M_{30}N_{70}$ 处理的 I_A 和 CPMI 均是最高，并显著高于其它处理，其中，CPMI 分别比 N_{100}，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理提高了 65.49，26.74 和 20.22；而 N_{100} 处理的 I_A 和 CPMI 均显著低于其它处理。由此可见，鸡粪与化肥配施对于提高土壤碳库指数、碳库活度、碳库活度指数和碳库管理指数较单施化肥更具有积极意义，其中鸡粪与化肥以 3∶7 比例搭配的效果最显著。

2.4　不同配施处理对杨树幼苗地径和苗高生长的影响

不同有机无机配比处理对杨树幼苗地径和苗高生长的影响差异显著(图 3)。由图 3 可以看出，地径和苗高的变化规律基本一致。各施肥处理相比对照

均显著增加了杨树幼苗的地径和苗高。在施肥处理中，配施鸡粪有机肥处理的地径和苗高均显著高于单施化肥处理。而在配施鸡粪的 3 个处理中，$M_{30}N_{70}$ 处理的地径和苗高均是最高，其中地径分别比 CK，N_{100}，M_{10} N_{90} 和 M_{50} N_{50} 处理增加了 43.75%，21.46%，11.03% 和 10.02%，而苗高分别增加 42.93%，19.45%，10.09% 和 8.16%，差异均达到显著水平。可见，在鸡粪有机肥与化肥的不同配施处理中，随着鸡粪有机肥所占比例的增加，地径和苗高呈先升高后降低的趋势。因此，杨树幼苗的生长取决于鸡粪有机肥与化肥的配施比例。

表 1 不同处理对土壤碳库管理指数的影响

处理	碳库指数 CPI	碳库活度 A	碳库活度指数 I_A	碳库管理指数 CPMI
CK_T	1.00±0.00d	0.39±0.00c	1.00±0.00c	100.00±0.00c
CK	1.03±0.04d	0.40±0.03c	1.04±0.03c	106.42±6.28c
N_{100}	1.11±0.02c	0.34±0.01d	0.86±0.05d	95.45±3.49d
$M_{10}N_{90}$	1.12±0.04c	0.47±0.01b	1.19±0.06b	134.20±4.37b
$M_{30}N_{70}$	1.19±0.02b	0.53±0.02a	1.36±0.08a	160.94±8.15a
$M_{50}N_{50}$	1.27±0.03a	0.43±0.04bc	1.11±0.05b	140.72±5.63b

注：CK_T 代表参考土壤，是试验开始前各个处理的土样相互混合后测定的结果。同列不同小写字母表示处理间差异显著（$p<0.05$）。

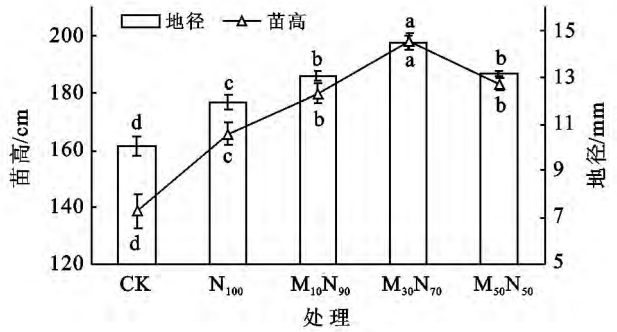


图 3 不同处理对杨树幼苗地径和苗高生长的影响

2.5 地径、苗高与有机碳库指标的相关性分析

表 2 显示了杨树幼苗地径、苗高生长与有机碳库指标之间的相关关系及其相关系数。由表 2 可以得出，土壤总有机碳与活性有机碳含量存在显著的相关性（$p<0.05$），说明总有机碳与活性有机碳存在转化关系；活性有机碳与碳库管理指数呈极显著相关（$p<0.01$），与苗高、地径呈显著相关（$p<0.05$）；碳库管理指数与地径、苗高呈显著相关（$p<0.05$）。由此可见，活性有机碳和碳库管理指数与杨树幼苗生长存在显著的相关性，并且相关系数明显大于总有机碳，表明活性有机碳含量变化与杨树幼苗生长和碳库管理指数的关系更为密切，同时也能说明碳库管理指数能够指示土壤肥力水平的变化。

表 2 杨树幼苗地径、苗高生长与有机碳库指标的相关性分析

项目	总有机碳	活性有机碳	碳库管理指数	苗高	地径
总有机碳	1.00				
活性有机碳	0.86*	1.00			
碳库管理指数	0.69	0.99**	1.00		
苗高	0.80	0.85*	0.83*	1.00	
地径	0.77	0.86*	0.85*	0.98**	1.00

注：* 表示显著性相关（$p<0.05$），** 表示极显著性相关（$p<0.01$）。

3 结果讨论

土壤有机碳是土壤的一个重要养分库和土壤微生物的能量库，也是评价土壤肥力的重要指标。本研究结果认为，随着鸡粪有机肥所占比例的增加，土壤有机碳含量呈递增的趋势，这与 Landgraf 等[17] 和孙天聪等[18] 对不同土壤长期观测的结果基本一致。一般研究认为，少量有机肥施入也直接向土壤输入了外源有机质，所以亦能提高土壤有机碳含量[19]，而本试验中 $M_{10}N_{90}$ 处理的有机碳含量与单施化肥处理差异不显著，这可能与鸡粪在土壤中分解较快有关。因此，短期内少量施加鸡粪有机肥不能达到显著增加土壤有机碳含量的目的。然而，随着鸡粪施用量的增加，土壤中的有机碳含量也显著增加，表明短期内适量增施鸡粪对土壤有机碳含量有明显的影响，这与赵红等[20] 对牛粪在黑土上的研究结果一致。

土壤活性有机碳是指土壤中有效性较高，易被土壤微生物分解利用，这部分有机碳是植物养分的最直接供应者，它在指示土壤质量和土壤肥力的变化时比总有机碳更灵敏，能够更准确、更实际地反映土壤肥力和土壤物理性质的变化。徐明岗等[21] 对土壤活性有机碳库的研究表明，单施有机粪肥或有机粪肥和化肥配施都能明显提高土壤中活性有机碳的含量。本试验中，$M_{50}N_{50}$ 处理的土壤活性有机碳含量明显低于 $M_{30}N_{70}$ 处理，可能是因为鸡粪施入量过大，使 C/N 比增加，导致氮含量低而不能为微生物提供足够的氮源，所以在施入鸡粪高出一定比例后其活性有机碳含量不增反减，该结果与 Gong 等[19] 的研究结果不一致，这可能与试验周期、土壤类型和取样时间等因素的差异有关。本试验还得出，N_{100} 处理的非活性有机碳含量明显增加，这可能是由于单施化肥能提高难氧化有机碳含量[22]，增加土壤有机碳的氧化稳定性，但使土壤微生物量碳、水溶性有机碳和轻组有机碳等活性有机碳的含量显著降低[23]。徐明岗等[21] 和张璐等[24] 在红壤上的研究也得出了相似的结论。由此可

见，适量的配比有机无机肥料有助于土壤总有机碳和活性有机碳含量的升高。

本研究主要分析了鸡粪与化肥以不同比例配施情况下不同形态碳在较短时期内的变化，因此，采用 Blair 等[25]提出的比较敏感的碳库管理指数（CPMI）来衡量土壤有机碳的改变。本试验得出，单施化肥处理的 CPMI 显著低于配施鸡粪有机肥处理，并且碳库指数和碳库活度指数也较低，这与宇万太等[26]在潮棕壤上的研究结果一致。同时，单施化肥处理的 CPMI 明显低于对照和参考土壤，这与前人在潮土上的相关研究稍有不同，徐明岗等[11]研究结果表明，单施化肥处理的 CPMI 低于参考土壤，但显著高于对照，造成这些结果的差异可能与试验地原初有机质含量、施肥水平和施肥持续时间长短等不同因素有关，具体原因还有待于进一步深入研究。本研究还得出，在配施鸡粪有机肥的处理中，$M_{30}N_{70}$ 处理的活性有机碳含量和 CPMI 均显著高于其它处理，这可能是由于鸡粪与化肥以 3∶7 比例搭配更好地调节了土壤 C/N 比，并能较好地改善土壤理化性状，为微生物的生长创造了一个良好的环境，从而有利于活性有机碳的生成，并提高了土壤的 CPMI 值。相关性分析表明，土壤活性有机碳与总有机碳、碳库管理指数以及杨树幼苗的地径、苗高生长存在极显著或显著的相关关系，表明活性有机碳能够很好地反映土壤肥力特性。吴小丹等[27]研究发现，在施肥措施的影响下，土壤活性有机碳和碳库管理指数的变化幅度明显大于土壤总有机碳，并且作物产量与碳库管理指数的相关性达到显著水平，碳库管理指数能作为评价土壤质量的指标，邵月红等[28]的研究也有相似的观点。

4　结 论

$M_{30}N_{70}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理的有机碳含量分别比 N_{100} 处理提高 8.11%和 14.64%；$M_{30}N_{70}$ 处理的活性有机碳含量和碳库管理指数均为最高，其中活性有机碳含量分别比 N_{100}，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理提高了 47.36%，14.93% 和 7.14%，CPMI 分别提高了 65.49，26.74 和 20.22，差异均达到显著水平；同时，$M_{30}N_{70}$ 处理对杨树幼苗地径和苗高生长的提高幅度最大。土壤活性有机碳与总有机碳、杨树苗的地径和苗高显著相关，与 CPMI 极显著相关；CPMI 与地径、苗高显著相关，能够指示土壤生产力的变化。由此可见，鸡粪与化肥的不同配比对土壤有机碳、活性有机碳、碳库管理指数及杨树幼苗的生长均有显著影响，其中鸡粪与化肥以 3∶7 比例配施的作用效果最佳。

［参　考　文　献］

[1] 田小明，李俊华，危常州，等. 不同生物有机肥用量对土壤活性有机质和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料，2012(1)：26-32.

[2] Sanjay K G，Julie G L，John M D. Soil organic carbon and nitrogen stocks in Nepal long-term soil fertility experiments [J]. Soil Tillage Research，2009，106(1)：95-103.

[3] Blair G J，Lefrog R D B，Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation，and the development of a carbon management index for agricultural systems [J]. Australia Journal of Agriculture Research，1995，46(7)：1459-1466.

[4] Lefroy R D B，Blair G，Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ^{13}C natural isotope abundance[J]. Plant Soil，1993，54(3)：551-554.

[5] 刘高峰. 有机营养对烤烟生理代谢与品质影响的研究[D]. 福建 福州：福建农林大学，2006.

[6] 赵明，陈雪辉，赵征宇，等. 鸡粪等有机肥料的养分释放及对土壤有效铜、锌、铁、锰含量的影响[J]. 中国生态农业学报，2007，15(2)：47-50.

[7] 王晓燕，黄光群，韩鲁佳. 鸡粪工厂化堆肥过程中有机质含量预测模型[J]. 农业机械学报，2010，41(1)：101-105.

[8] Jackson B P，Bertsch P M，Cabrera M L，et al. Trace element speciation in poultry litter [J]. Journal of Environmental Quality，2003，32(2)：535-540.

[9] 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.

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京：中国农业出版社，2000.

[11] 徐明岗，于荣，孙小凤，等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2006，12(4)：459 -465.

[12] 杨景成，韩兴国，黄建辉，潘庆民. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应[J]. 生态学报，2003，23(4)：787-796.

[13] Potter K N，Torbert H A，Jones O R，et al. Distribution and amount of soil organic C in long-term managements systems in Texas [J]. Soil and Tillage Research，1998，324(47)：309-321.

[14] 林明月，邓少虹，苏以荣，等. 施肥对喀斯特地区植草土壤活性有机碳组分和牧草固碳的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2012，18(5)：1119-1126.

[15] 胡诚，乔艳，李双来，等. 长期不同施肥方式下土壤有机碳的垂直分布及碳储量[J]. 中国生态农业学报，2010，18(4)：689-692.

[16] Karlen D L，Rosek M J，Gardner J C，et al. Conserva-

tion reserve program effects on soil quality indicators [J]. Journal of Soil Water Conservation, 1999, 54(1): 439-444.

[17] Landgraf D, Klose S. Mobile and readily available C and N fractions and their relationship to microbial biomass and selected enzyme activities in a sandy soil under different management systems[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2002,165(1):9-16.

[18] 孙天聪,李世清,邵明安. 长期施肥对褐土有机碳和氮素在团聚体中分布的影响[J]. 中国农业科学,2005,38(9):1841-1848.

[19] Gong Wei, Yan Xiaoyuan, Wang Jingyan, et al. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat-maize cropping system in northern China[J]. Geoderma, 2009,149(2/3):318-324.

[20] 赵红,吕贻忠,杨希,等. 不同配肥方案对黑土有机碳含量及碳库管理指数的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(9):3164-3169.

[21] 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.

[22] 刘云慧,宇振荣,张风荣,等. 县域土壤有机质动态变化及其影响因素分析[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(3):294-301.

[23] Gregorich F G, Ellert B H, Monreal C M. Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural ^{13}C abundance [J]. Canadian Journal of Soil Science, 1995,75(2):161-167.

[24] 张璐,张文菊,徐明岗,等. 长期施肥对中国 3 种典型农田土壤活性有机碳库变化的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(5):1646-1655.

[25] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Australia Journal of Agriculture Research, 1995,46(7):1459-1466.

[26] 宇万太,赵鑫,马强,等. 长期定位试验下施肥对潮棕壤活性碳库及碳库管理指数的影响[J]. 土壤通报,2008,39(3):539-544.

[27] 吴小丹,蔡立湘,鲁艳红,等. 长期不同施肥制度对红壤性水稻土活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(12):283-288.

[28] 邵月红,潘剑君,孙波. 长期施用有机肥对瘠薄红壤有效碳库及碳库管理指数的影响[J]. 土壤通报,2005,36(2):177-180.

(上接第 80 页)

[6] 齐维晓,刘会娟,曲久辉,等. 天津主要纳污及入海河流中有机氯农药的污染现状及特征[J]. 环境科学学报,2010,30(8):1543-1550.

[7] 窦明,马军霞,谢平,等. 河流重金属污染物迁移转化的数值模拟[J]. 水电能源科学,2007,25(3):22-25.

[8] 张建锋,单奇华,钱洪涛,等. 坡地固氮植物篱在农业面源污染控制方面的作用与营建技术[J]. 水土保持通报,2008,28(5):180-185.

[9] Newall P, Tiller D. Derivation of nutrient guidelines for streams in Victoria, Australia [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2002,74(1):85-103.

[10] Castillo M M, Allan J D, Brunzell S. Nutrient concentrations and discharges in a Midwestern agriculture catchment [J]. Journal of Environmental Quality, 2000,29(4):1142-1151.

[11] Sanchez C S, Alvarez C M. Nutrient dynamics and eutrophication patterns in a semi-arid wetland: The effects of fluctuating hydrology [J]. Water, Air and Soil Pollution, 2001,131(1/4):97-118.

[12] Bel H M. Spatial and temporal variability in nutrients and suspended material processing in the Fierd' Ars Bay (France) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2001,52(4):457-469.

[13] Cifuentes L A. Spatial and temporal variations in terrestrial-derived organic matter from sediments of the Delaware Estuary [J]. Estuaries and Coasts, 1991,14(4):414-429.

[14] 刘剑秋,曾从盛,陈宁. 闽江河口湿地研究[M]. 北京:科学出版社,2006.

[15] 闫亚丹,徐福利,邹诚,等. 黄土高原坡地苹果园土壤肥力及矿质氮累积分析[J]. 水土保持通报,2009,29(4):31-36.

[16] 杨靖民,刘金华,于晓斌,等. 长春地区河水和地下水中氮含量的时空变化[J]. 水土保持学报,2010,24(6):255-257,262.

[17] 白军红,欧阳华,邓伟,等. 向海沼泽湿地土壤中硝态氮的水平运移规律[J]. 中国环境科学,2004,24(4):414-418.

[18] 陈效民. 土壤环境中硝态氮运移的特点、模型描述及其在太湖地区乌栅土上的应用研究[D]. 江苏 南京:南京农业大学,2000.

[19] Wrage N, Velthof G L, van Beusichem M L, et al. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide[J]. Soil Biology Biochemistry, 2001,33(12/13):1723-1732.

[20] 郑小宏. 闽江口海域氮磷营养盐含量的变化及富营养化特征[J]. 台湾海峡,2010,29(1):42-46.