

施用秸秆对土壤可溶性有机碳氮及矿质氮的影响

丁婷婷¹, 王百群^{1,2,3}, 何瑞清¹, 张燕¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所
土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了研究施用秸秆对土壤可溶性有机碳氮及矿质态氮含量的影响, 设置 CK(对照), M_2 , M_4 , M_6 共 4 个处理, 处理中每 100 g 干土中加入秸秆量分别为 0, 2, 4, 6 g。在室温为 25℃、土壤含水量为田间持水量的 70% 的条件下进行培养试验, 分别在 15, 30, 45, 60, 105, 150 d 时, 采取各处理中的土壤样品, 观测土壤可溶性有机碳氮及矿质氮的动态变化。结果表明: 4 个处理的土壤可溶性有机碳、氮具有相同的变化趋势, 表现为随着培养时间的推移, 先增加, 再减小, 然后经过一段时间的波动后趋于平稳。在培养的整个过程中, M_4 与 M_6 处理的土壤可溶性有机碳、氮明显高于 CK 中的含量, 表明了施用秸秆可以促进土壤可溶性有机碳氮的累积。在相同时间段内, 各处理之间铵态氮含量无明显差异, 与对照相比, 加入秸秆后, 土壤中硝态氮的含量明显下降。

关键词: 可溶性有机碳; 可溶性有机氮; 矿物态氮; 秸秆; 培养试验

中图分类号: S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)06-0072-06

Effects of Addition Amounts of Straw on Soil Dissolved Organic Carbon, Nitrogen and Mineral Nitrogen

DING Ting-ting¹, WANG Bai-qun^{1,2,3}, HE Rui-qing¹, ZHANG Yan¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to examine the effects of straw amendment on soil dissolved organic carbon, nitrogen and mineral nitrogen, 4 treatments were set up, which included CK (no straw), M_2 (2 g of straw in 100 g soil), M_4 (4 g of straw in 100 g soil) and M_6 (6 g of straw in 100 g soil). The straw and soil were mixed evenly, the soil water was kept 70% of water holding capacity, then the incubation experiment was conducted at room temperature (25℃), and soil moisture was controlled by weighing. Soil samples were taken in 15 d, 30 d, 45 d, 60 d, 105 d and 150 d, respectively. The results showed that the 4 treatments had the same change trend in terms of soil dissolved organic carbon(DOC) and dissolved organic nitrogen(DON), upward trend was observed at first, then DOC and DON went down, and leveled off after a period of fluctuation. The soil levels of DOC and DON of M_4 and M_6 treatments were significantly higher than CK. Ammonium nitrogen content had no obvious difference among all treatments in the same period. The contents of nitrate nitrogen significantly decreased after straw was added into soil compared with the CK.

Key words: dissolved organic carbon; dissolved organic nitrogen; mineral nitrogen; straw; incubation experiment

土壤可溶性有机碳、氮是土壤有机碳、氮中最活跃的组分之一, 在不同的土壤生态系统的碳、氮迁移及转化中具有重要的作用^[1]。土壤可溶性有机碳

(Dissolved Organic Carbon, DOC) 和可溶性有机氮 (Dissolved Organic Nitrogen, DON) 的定义繁多, 大多数研究者将其定义为土壤中被水或盐溶液浸提

收稿日期: 2014-10-22

修回日期: 2014-11-03

资助项目: 国家自然科学基金重点项目(41330852); 中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”(XDA05050504); 国家自然科学基金(40301024); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室自主课题(10502-T2)

作者简介: 丁婷婷(1988—), 女, 甘肃庄浪人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态研究。E-mail: Dingtingting11@126.com

通信作者: 王百群(1968—), 男, 陕西渭南人, 博士, 副研究员, 从事土壤有机碳氮循环研究。E-mail: bqwang@ms.iswc.ac.cn

出来的有机态碳或氮^[2-4]。研究表明,可溶性有机碳、氮影响着土壤的成土作用和固定作用、土壤生态系统中元素的生物地球化学循环及铝、重金属元素的毒性和迁移^[5-7]。同时,可溶性有机碳作为土壤中最具动态特征的碳组分,不仅是土壤微生物的主要能源和物质来源,而且自身也有一部分来自于死亡微生物的降解,与微生物生物量关系密切^[8]。有研究表明 DOC 含量与土壤肥力有着显著的相关关系,是土壤肥力的一个重要指标^[9],也是土壤有机质的重要组成部分,在陆地生态系统 C、N 循环、土壤形成以及污染物质迁移中起着重要作用^[10],还有人研究发现 DOC 的生物降解与温室气体(CO₂, CH₄ 和 N₂O)的产生和土壤养分的转化有关^[11-12];土壤可溶性有机氮是土壤氮的一个有效养分库,在土壤氮转化过程中起承接作用^[13],即在氮的矿化过程中起着重要的作用。土壤可溶性有机氮(DON)是森林土壤溶液中 N 的最主要存在形式和运输载体之一^[14-15],也是导致水体富营养化的因素之一^[1],有学者认为可溶性有机氮可能是植物可以吸收的一个重要的土壤氮素组分^[16],也有研究表明土壤溶液中的 DON 是生物体合成的有生物学意义的产物,如有机酸或酶^[17]。赵满兴等的研究也表明可溶性有机碳、氮也容易随水淋失,是一项环境指标,对于研究碳氮循环与环境有重要的意义^[18]。可溶性有机碳、氮可以作为反映土壤有机碳和氮素矿化的指标^[3]。因此,对可溶性有机碳、氮的研究对整个生态系统都有非常重要的意义。自 20 世纪 90 年代以来,伴随着高温催化氧化(HTCO)分析技术的发展,有关可溶性有机物(DOM)(可溶性有机碳、可溶性有机氮)的循环和作用的研究越来越多^[19],但大多集中于森林生态系统和水体中^[20-22]的可溶性有机碳、氮的研究,主要包括 DOM 的来源、提取方法、组成^[10]、结构以及在土壤中的吸附解吸等^[23],在这些方面都取得了许多重要进展^[24]。在秸秆还田的研究中对 DOC 和 DON 的研究相对较少。本研究为了减少外界环境的影响,通过室内培养,在控温、控湿的条件下研究不同加入量的秸秆腐解过程中土壤可溶性有机碳、氮以及矿物态氮的变化,以期对秸秆腐解过程中土壤可溶性有机碳、氮及矿物态氮的动态变化提供一些理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤和秸秆样品的采集及性质

供试验所需土壤为塋土,采自陕西杨凌三道塋农田表层(0—20 cm)土壤。土壤的有机碳、全氮、可溶性有机碳、可溶性有机氮、铵态氮和硝态氮的含量分

别为 13.14 g/kg, 1.48 g/kg, 70.19 mg/kg, 7.53 mg/kg, 12.44 mg/kg 和 26.04 mg/kg。供试作物秸秆为小麦秸秆,其有机碳含量为 46.21%,氮含量为 0.50%,碳氮比为 91.9。

1.2 试验设计与过程

将风干的供试土样剔除杂质后过 2 mm 筛,妥善保存备用。将供小麦秸秆样品在 60℃ 下烘干粉碎。设置 4 个处理:CK(对照), M₂, M₄, M₆, 各处理中每 100 g 土分别加入秸秆量为 0, 2, 4, 6 g。根据试验设计称取 200 g 的风干土,在 CK, M₂, M₄, M₆ 处理中分别加入小麦秸秆 0, 4, 8, 12 g。将小麦秸秆与土壤充分混匀后放入培养盒中,然后加入蒸馏水调节土壤含水量至田间持水量的 70%,将培养盒置于温度为 25℃、空气湿度为 70%的恒温室中进行培养,在培养过程中,每隔 1 d 根据重量法补充水分,以此保持土壤水分含量相对稳定。在培养 15, 30, 45, 60, 105, 150 d 后,分别采集培养盒中的土样,根据设计,测定相关指标。

供试土壤及小麦秸秆的基本性状测定采用常规方法^[25],土壤全氮用半微量开氏法测定;土壤总有机碳用重铬酸钾容量法—外加热法测定;小麦秸秆全氮用 H₂SO₄—H₂O₂ 消煮法。

(1) 可溶性有机碳(DOC)。称取培养后土样 25 g 于 250 ml 有盖试剂瓶中,加 0.5 mol/L 的 K₂SO₄ 100 ml,常温下震荡 30 min,过滤后保留滤液。吸取滤液 20 ml 于小玻璃瓶中,在 TOC-Vwp(日本)分析仪上测定^[26](略有改动)。

(2) 可溶性氮(Dissolved Nitrogen, DN)。采用开氏法测定^[28](参照《有机肥中可溶性有机碳、氮含量及其特性》略有改动):吸取滤液 10 ml 于开氏管中,加 0.25 ml 0.19 mol/L 的 CuSO₄,加浓硫酸 2.5 ml,盖上漏斗,在 365℃ 下消煮 2.5 h 左右,转移至 50 ml 容量瓶,然后定容,在 FIAStar 5000 流动注射仪上测定。

(3) 矿物态氮(铵态氮和硝态氮)参照杨绒等^[3]的研究方法的测定(略有改动):称取新鲜土样 5 g,用 1 mol/L 的 KCl 50 ml 浸提,震荡 1 h,过滤。在 Auto Analyzer3(德国)上测定。

可溶性总氮(total dissolved nitrogen, TDN) = DN + NO₃⁻-N, 可溶性有机氮(DON) = DN - NH₄⁺-N^[29]。

1.3 数据处理

数据处理采用 SPSS 17.0 和 Excel 2003 软件进行统计分析,作图用 Origin 9.0。用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 土壤中可溶性有机碳、氮含量的动态变化

从表 1 可以看出,加入秸秆后土壤可溶性有机碳(DOC)除 M_2 在 15 d 和 45 d 时低于 CK 处理外,其他各个处理在各个时期都比 CK 处理高。CK 处理、 M_4 处理以及 M_6 处理随时间的变化趋势基本一致,都是先升高,再降低,再经过一段平衡波动后再降低,然后达到平衡或略有升高,它们的最大值分别为 109.2 mg/kg,195.1 mg/kg 和 360.3 mg/kg,最小值分别为 52.29 mg/kg,124.6 mg/kg 和 177.1 mg/kg, M_2 处理是先大幅度增加,即在 30 d 时达到最大,并且是所有处理在所有时间段中的最大值 415.55 mg/kg,然后大幅度下降,在 45 d 时甚至低于 CK 处理,然后再略有增加,到 60 d 以后和其他处理有相同的趋势,即在达到平衡后略有升高。与土壤的本底值相比较(即 0 d),在 15 d 时,4 个处理 CK, M_2 , M_4 和 M_6 土壤 DOC 分别增加了 93.42%,46.40%,151.11%和 399.16%;在 150 d 时 CK 处理在原来的基础上降低了 27.33%, M_2 , M_4 和 M_6 处理分别增加了

表 1 不同处理间土壤 DOC、DON 的含量差异性分析

项目	处理	培养时间					
		15 d	30 d	45 d	60 d	105 d	150 d
可溶性有机氮/ (mg·kg ⁻¹)	CK	7.84d	8.85b	25.48c	7.92b	0.61c	3.07b
	M_2	11.18c	6.74b	1.90d	4.97c	12.01a	5.14b
	M_4	14.48b	12.52a	27.94b	9.36b	1.46c	9.33a
	M_6	17.94a	12.22a	30.67a	14.2a	5.93b	11.09a
可溶性有机碳/ (mg·kg ⁻¹)	CK	135.8c	52.29d	104.3c	109.2c	56.97d	51.01c
	M_2	102.8c	415.5a	62.55d	109.1c	85.45c	100.8b
	M_4	176.3b	159.6c	158.9b	190.8b	124.6b	195.1a
	M_6	350.4a	177.1b	226.5a	360.3a	186.2a	178.3a

注:同一列中相同字母表示各个处理之间差异不显著($p<0.05$)。

2.2 不同处理间土壤 DOC、DON 差异性分析

由表 1 可以看出,除 0 d,15 d 和 60 d 时 CK 处理的 DOC 和 M_2 处理以及 150 d 时的 M_4 处理和 M_6 处理之间未达到显著水平外,其他所有处理在相同的时间段内各个处理之间都达到显著水平。在 15 d,45 d 和 105 d 时,除 CK 处理外,其他处理的可溶性有机碳都是随秸秆加入量的增加而增加。

除 30 d 的 CK 处理和 M_2 处理、 M_4 和 M_6 处理、60 d 时的 CK 处理和 M_4 处理、105 d 时的 CK 处理和 M_4 处理以及 150 d 时的 CK 处理和 M_2 处理、 M_4 处理和 M_6 处理土壤的 DON 含量未达到显著水平外,其他所有处理在相同的时间段内各个处理之间的 DON 含量差异均达到显著水平。在 150 d 时,与对照相对,施肥秸秆明显增加土壤中的 DON 含量,且表现出随秸秆施

43.56%,177.87%和 144.50%。

M_4 处理和 M_6 处理的可溶性有机氮(DON)具有相同的变化趋势,表现为先增加,再降低,在 45 d 时达到最大值,分别为 27.94 mg/kg 和 30.67 mg/kg,然后再降低,再略有升高。CK 的 DON 除 15 d 的变化趋势与 M_4 处理和 M_6 处理的不同外,其他各个时期都有相同的变化趋势,即 CK 的 DON 先缓慢升高,然后大幅度升高,在 45 d 时达最大值(25.48 mg/kg),然后再降低,再略有升高。在整个变化过程中, M_4 和 M_6 的 DON 在相同时间点的值都高于 CK 处理,表明施用一定量的秸秆可以有效地增加土壤中的 DON。 M_2 处理的 DON 表现为先增加,再降低,在 45 d 时达到最小值 1.9 mg/kg,然后再增加,在 105 d 时达到最大值 12.01 mg/kg,然后再降低。

由表 1 可以看出,在 150 d 的培养过程, M_2 处理的土壤 DOC 和 DON 的变化趋势不同于其他处理,在 30 d 时,DOC 达到最大值,其值为 415.55 mg/kg,为所有处理在所有时间段中的最大值,而 M_2 的 DON 含量在 45 d 时是所有处理在所有时间段中的最小值(3.97 mg/kg)。

量增加,土壤 DON 呈现增加的态势。

2.3 土壤 DOC/DON 比值的动态变化

由表 2 可以看,出在整个培养过程中,DOC/DON 的比值大小随时间的变化具有波动。4 个处理在培养结束时(150 d)的 DOC/DON 值为 15.48~20.90,与初始时的比值比较,各处理的 DOC/DON 均提高。

表 2 培养过程中土壤 DOC/DON 比值的变化

时间/d	DOC/DON 比			
	CK	M_2	M_4	M_6
0	9.32	9.32	9.32	9.32
15	17.31	9.19	12.17	19.53
30	5.90	61.65	12.75	14.49
60	13.77	21.94	20.39	25.36
150	16.59	19.59	20.90	15.48

2.4 培养过程土壤可溶性氮的动态变化

2.4.1 土壤可溶性总氮的变化 由图 1 可以看出, CK 处理、M₄ 处理及 M₆ 处理的可溶性总氮的变化趋势是一致的,都是先降低,然后在 45 d 时略有升高,然后再降低,达到平衡或略有升高。CK 处理可溶性氮在 15 d 时的降幅比较小,其降低了 12.66%,而 M₂, M₄ 和 M₆ 的降幅分别为 84.25%,80.53%和 72.75%。

2.4.2 培养过程中土壤硝态氮含量的变化 由表 3 可以看出,在土壤中施入秸秆(M₂, M₄ 和 M₆)后,经过一段培养之后,土壤的硝态氮的陡然减少,其含量接近 0。但是,在 105 d 和 150 d 时,施入秸秆的土壤

含有微量的硝态氮。CK 处理土壤中的硝态氮在整个培养过程中表现为逐渐增加的趋势。

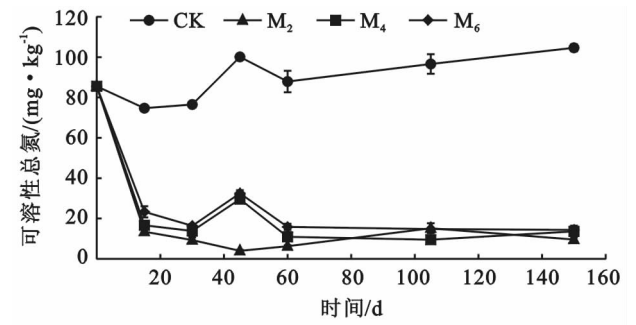


图 1 培养过程中不同处理土壤可溶性总氮的变化

处理	时 间							mg/kg
	0 d	15 d	30 d	45 d	60 d	105 d	150 d	
CK	26.04	64.63±1.32	66.57±0.63	72.57±0.95	78.44±5.91	91.8±4.84	98.35±1.20	
M ₂	26.04	—	—	—	—	0.73±0.13	0.42±0.13	
M ₄	26.04	—	—	—	—	0.24±0.09	0.34±0.09	
M ₆	26.04	—	—	—	—	—	0.04±0.06	

注:表中“±”之后数值为标准差,“—”表示未检测到硝态氮。

2.4.3 土壤铵态氮含量的变化 由图 2 可以看出在 15 d 时, M₆ 与 CK, M₂, M₄ 处理间的含量差异性达到显著水平。在整个培养过程中, 15 d 时的 M₆ 与其他处理、30 d 时的 CK 与 M₄ 和 M₂ 与 M₆ 处理、105 d 时的 M₂ 与其他处理具有显著差异, 其余时段, 各处理间的土壤铵态氮含量都没有差异。CK 中的铵态氮含量在前 60 d 内变化幅度比较小, 稍有上下浮动, 在 105 d 时达到最大值, 在 150 d 时又有所减小。CK, M₄ 以及 M₆ 在前 60 d 有一个比较平缓的波动, 在 105 d 时均达到最大值, 分别为 8.35 mg/kg, 7.77 mg/kg 和 8.85 mg/kg, 在 150 d 时又降低。M₂ 处理变化一直比较平缓, 在前 60 d 波动后开始增加, 到 150 d 时达到该处理下的最大值(4.08 mg/kg)。

2.4.4 土壤可溶性总氮(TDN)中不同形态氮所占的比例 从表 4 可以看出, 在起始时(0 d), 土壤硝态氮

占可溶性总氮的比例最大(88.37%), 其次为可溶性氮, 占到 8.96%, 铵态氮占可溶性总氮的比例最小为 1.73%。随着时间的推移, CK 中硝态氮的比例逐渐增加, 铵态氮和硝态氮减小, 并且可溶性有机氮大于铵态氮。在 15 d 后, M₂, M₄ 和 M₆ 总体上所占比例的顺序表现为可溶性有机氮>铵态氮>硝态氮。

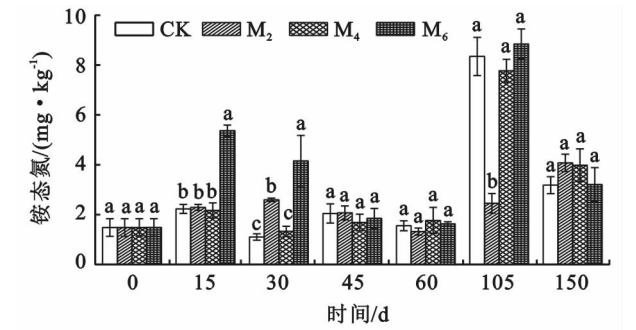


图 2 培养过程中不同处理土壤铵态氮的变化

表 4 不同氮组分占可溶性总氮的比例								%
项目	处理	培养时间						
		0 d	15 d	30 d	45 d	60 d	105 d	150 d
铵态氮	CK	1.73	2.99	1.44	2.04	1.76	8.68	3.05
	M ₂	1.73	17.08	28.30	52.07	20.95	16.18	42.84
	M ₄	1.73	13.03	9.57	5.68	14.62	82.64	29.13
	M ₆	1.73	23.17	25.64	5.69	10.37	60.02	22.94
硝态氮	CK	88.37	86.51	87.00	72.50	89.17	95.01	94.03
	M ₂	88.37	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81	3.89
	M ₄	88.37	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76	2.27
	M ₆	88.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28
可溶性有机氮	CK	8.96	10.50	10.26	25.46	9.07	0.61	2.93
	M ₂	8.96	82.92	71.70	47.93	79.05	79.01	53.27
	M ₄	8.96	86.97	90.43	94.32	85.38	14.59	68.60
	M ₆	8.96	76.83	74.36	94.31	89.63	39.98	76.78

3 讨论

3.1 培养过程中 DOC、DON 含量动态变化及其效应

土壤中的可溶性有机碳、氮是土壤有机物转化和微生物代谢活动的中间产物,其含量的高低是土壤微生物对有机物分解与利用的综合反映。秸秆中有机碳进入土壤中,使土壤碳、氮矿化—固持过程的强度和um时间发生重大变化,从而影响土壤可溶性有机碳、氮以及矿物态氮的动态变化。本研究发现经过 15 d 的培养后,土壤可溶性有机碳、氮都升高,这可能是土壤含水量的增加提高了微生物生物量的固转和微生物数量,同时土壤干湿交替的微弱变化引起了土壤水分环境的改变,使得原来被吸附的碳以 DOC 的形式释放^[29]。在 150 d 的培养过程中,发现土壤中 DOC 含量都是先升高,再降低,再经过一段平衡波动后再降低,然后达到平衡或略有升高,这与薛菁芳等^[30]在研究玉米秸秆加入棕壤后可溶性有机碳的变化趋势基本一致。

可溶性有机氮在 15 d 时都有所增加,在 30 d 时略有下降,但是除 M₂ 处理外都高于初始值,这与前人研究土壤培养过程 DON 含量初始时呈明显的增加趋势相一致,而与后期相反^[31],这也可能是由于取样时间以及培养条件不一致引起的,也可能是因为测定方法不一致。除 M₂ 处理外,其他各处理的可溶性有机氮前期增加都在 45 d 时达到最大值,然后降低,达到平衡,这与薛菁芳等的研究在时间上有所不同,但整体的变化趋势是一致的,这也可能是因为,有机物料的施入激发了土壤微生物的繁殖,促进了对秸秆的分解,DOC、DON 作为有机物料的分解产物,含量逐渐升高,此后,又作为微生物可利用的碳、氮源被逐渐分解,含量降低趋于稳定。

在表 1 中,土壤可溶性有机碳除 0, 15, 60 d 时的 CK 处理和 M₂ 处理以及 150 d 时的 M₄ 处理和 M₆ 处理之间未达到显著水平外,其他所有处理在相同的时间段内各个处理之间都达到显著水平。在 15, 45, 105 d 时除 CK 处理外,其他处理的可溶性有机碳都是随秸秆加入量的增加而增加,这说明秸秆还田能提高土壤 DOC 含量,这与其给土壤提供了丰富的有机物有关^[32]。培养过程中土壤 DOC/DON 比值表现为,中间有一定的波动,但培养初始与结束相比较,4 个处理的 DOC/DON 均变大,这表明土壤浸提液中有有机氮相对于有机碳有较高的稳定性^[33]。

3.2 培养过程中矿质态氮含量的变化

由表 3 可以看出在加入秸秆后(即 M₂ 处理、M₄ 处理和 M₆ 处理)硝态氮都检测不到了,但是在 105 d

和 150 d 时又有微量的硝态氮可以被检测到。CK 处理的硝态氮在整个过程中都是逐渐增加的。这与薛菁芳等的研究相反,这可能是他们在培养过程中加了有机肥而本试验只有秸秆原因。这说明加入秸秆能够促使微生物大量繁殖,并且微生物最先消耗利用的是硝态氮。在整个腐解过程中,秸秆腐解矿化的硝态氮不足为微生物利用,在 105 d 时出现剩余。由图 2 可以看出在 105 d 时铵态氮基本达到整个腐解过程中的最大值,这也就意味着在整个腐解过程中铵态氮也是被消耗的,由图 2 和表 4 可以看出,在相同的时段,秸秆加入量的多少对铵态氮基本没有明显的影响,CK 中的铵态氮在整个过程中表现波动增加的趋势。有研究表明秸秆还田可以通过诱导微生物固氮,避免化学氮肥进入土壤后迅速转化成 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 而发生氮挥发和硝酸盐淋失^[34],这与本试验的研究结果相一致,即加入秸秆后的 M₂ 处理、M₄ 处理和 M₆ 处理在培养一段时间后整体上各形态的氮占可溶性总氮的比例为:可溶性有机氮>铵态氮>硝态氮。

4 结论

有机物料施入土壤后,经过分解可以产生一些可溶性的有机物质。秸秆的加入量对可溶性有机碳、氮具有明显的影响,随着秸秆施用量的增加,土壤可溶性有机碳氮呈现增加的趋势,随着培养时间的推进,各处理中土壤可溶性碳氮表现为波动变化。施用秸秆对土壤矿质态氮也有一定的影响,在施用不同秸秆量的处理中,随着培养时间的推移,土壤中硝态氮的含量接近于 0,在培养后期,在施用秸秆的处理中含有微量的硝态氮;各处理中土壤铵态氮在前期、中期、后期有明显的增减,施用不同量的秸秆对土壤铵态氮的含量无明显影响。还田秸秆是土壤中可溶解性有机碳氮的重要来源之一,因此,在实际生产过程中,通过秸秆还田可以增加土壤中的可溶性有机碳氮,为土壤微生物提供有效的碳氮源。

参考文献:

- [1] 赵满兴,周建斌,延志莲.不同土层土壤对可溶性有机氮,碳的吸附特性研究[J].土壤通报,2010,41(6):1328-1332.
- [2] 兰忠明,吴一群,林诚,等.不同生态系统土壤可溶性有机氮(SON)的研究[J].安徽农业科学,2010,38(5):2479-2481.
- [3] 杨绒,严德翼,周建斌,等.黄土区不同类型土壤可溶性有机氮的含量及特性[J].生态学报,2007,27(4):1397-1403.

- [4] 杨绒, 周建斌, 赵满兴. 土壤中可溶性有机氮含量及其影响因素研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(1): 15-18.
- [5] Park J H, Matzner E. Controls on the release of dissolved organic carbon and nitrogen from a deciduous forest floor investigated by manipulations of aboveground litter inputs and water flux[J]. Biogeochemistry, 2003, 66(3): 265-286.
- [6] 卢萍, 单玉华, 杨林章, 等. 秸秆还田对稻田土壤溶液中溶解性有机质的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(5): 736-741.
- [7] Kalbitz K, Wennrich R. Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soil and its dependence on dissolved organic matter[J]. Science of the Total Environment, 1998, 209(1): 27-39.
- [8] 赵彤, 蒋跃利, 闫浩, 等. 黄土丘陵区不同坡向对土壤微生物生物量和可溶性有机碳的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(8): 3223-3230.
- [9] 卫东, 戴万宏, 汤佳. 不同利用方式下土壤溶解性有机碳含量研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(18): 121-124.
- [10] 田静, 郭景恒, 陈海清, 等. 土地利用方式对土壤溶解性有机碳组成的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(2): 338-346.
- [11] Zsolnay A. Dissolved hums in soil waters[M]// Piccolo A. Humic substances in terrestrial ecosystems[M]. Elsevier Science BV, Amsterdam, 1996.
- [12] Yavitt J B. Methane and carbon dioxide dynamics in *Typha Latifolia* (L.) wetlands in central New York state[J]. Wetlands, 1997, 17(3): 394-406.
- [13] 庄舜尧, 刘国群, 徐梦洁, 等. 不同海拔高度下森林土壤中氮的矿化[J]. 土壤学报, 2008, 45(6): 1194-1198.
- [14] McHale M R, Mitchell M J, McDonnell J J, et al. Nitrogen solutes in an Adirondack forested watershed: Importance of dissolved organic nitrogen[J]. Biogeochemistry, 2000, 48(2): 165-184.
- [15] Peterson B J, Wollheim W M, Mulholland P J, et al. Control of nitrogen export from watersheds by headwater streams[J]. Science, 2001, 292(5514): 86-90.
- [16] Nemth K, Bartels M, Vogel M, et al. Organic nitrogen compounds extracted arable and forest soils by electroultrafiltration and recovery rates and amino acids[J]. Biology and Fertility of soils, 1988, 5(4): 271-275.
- [17] 刘艳, 周国逸, 刘菊秀. 陆地生态系统可溶性有机氮研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 573-577.
- [18] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应[J]. 生态学杂志, 1999, 18(3): 32-38.
- [19] Sugimura Y, Suzuki Y. A high-temperature catalytic oxidation method for the determination of non-volatile dissolved organic carbon in seawater by direct injection of a liquid sample[J]. Marine Chemistry, 1988, 24(2): 105-131.
- [20] 杨玉盛, 郭剑芬. 森林生态系统 DOM 的来源、特性及流动[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 547-558.
- [21] Meyer J L, Tate C M. The effects of watershed disturbance on dissolved organic carbon dynamics of a stream[J]. Ecology, 1983, 64(1): 33-44.
- [22] McDowell W H, Likens G E. Origin, composition, and flux of dissolved organic carbon in the Hubbard Brook Valley[J]. Ecological Monographs, 1988, 58(3): 177-195.
- [23] Yu X. Freeze-thaw effects on sorption/desorption of dissolved organic carbon in wetland soils[J]. Chinese Geographical Science, 2010, 20(3): 209-217.
- [24] 禹洪双, 刘勤, 陈武荣, 等. 长期不同施肥处理水稻土溶解性有机碳降解特性研究[J]. 土壤通报, 2013, 44(2): 338-342.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [26] Jones D L, Willett V B. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(5): 991-999.
- [27] 赵满兴, 周建斌, 陈竹君, 等. 有机肥中可溶性有机碳、氮含量及其特性[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 397-403.
- [28] 周建斌, 李生秀. 碱性过硫酸钾氧化法测定溶液中全氮含量氧化剂的选择[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 299-304.
- [29] Lundquist E J, Jackson L E, Scow K M. Wet-dry cycles affect dissolved organic carbon in two California agricultural soils [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31(7): 1031-1038.
- [30] 薛菁芳, 陈书强, 汪景宽. 玉米秸秆对棕壤中可溶性无机氮和有机氮的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2011(4): 41-45.
- [31] 赵满兴, 周建斌. 黄土区几种土壤培养过程中可溶性有机碳、氮含量及特性的变化[J]. 土壤学报, 2008, 45(3): 476-484.
- [32] 高忠霞, 周建斌, 王祥, 等. 不同培肥处理对土壤溶解性有机碳含量及特性的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(1): 115-121.
- [33] Gregorich E G, Beare M H, Stoklas U, et al. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils[J]. Geoderma, 2003, 113(3): 237-252.
- [34] Tanaka H, Kyaw K M, Toyota K, et al. Influence of application of rice straw, farmyard manure, and municipal biowastes on nitrogen fixation, soil microbial biomass N, and mineral N in a model paddy microcosm [J]. Biology and Fertility of Soils, 2006, 42(6): 501-505.