

有机物料输入对干润砂质新成土可溶性有机碳、氮的影响

沈玉芳^{1,2}, 陶武辉^{1,3}, 李世清^{1*}

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

摘要 对采集于干润砂质新成土不同土层土壤分别添加高 C/N(黑麦草)和低 C/N(苜蓿)有机物料后进行了室内培养试验。结果表明,各土层土壤添加有机物料后,均存在不同程度的矿质氮微生物净固定现象,且氮固定时间及程度与有机物料的 C/N 和土壤层次密切相关,添加高 C/N 黑麦草的深层低肥力土壤氮固定现象最明显。添加有机物料后,培养期间可溶性有机碳(DOC)累积量前期较高,中期先减后增,后期趋于稳定,不同土层土壤 DOC 的变化有所不同。0~20、20~40 cm 可溶性有机氮(DON)累积同时受矿质氮固定影响,低 C/N 苜蓿残体加入土壤后,在短暂氮素固定后,后期 DON 累积量明显提高,而加入高 C/N 黑麦草残体后,在较长时间内 DON 累积量无明显增加。添加有机物料导致培养前期土壤 DOC/DON 上升,随后降低。以上研究结果表明,如果从增加干润砂质新成土土壤有机质角度考虑,应该种植高 C/N 比的植物。因此,研究有利于进一步深入理解土壤溶液速效 C、N 养分的来源及其转化,对该地区土壤质量的调控具有一定参考价值。

关键词 碳氮比; 有机物料; 土壤质量; 可溶性有机碳; 可溶性有机氮; 矿质氮

中图分类号 S153.6 文献标志码 A 文章编号:1672-2043(2011)1-0139-07

Effects of Exogenous Organic Materials on Dissolved Organic Carbon and Nitrogen in Ust Sandic Entisols

SHEN Yu-fang^{1,2}, TAO Wu-hui^{1,3}, LI Shi-qing^{1*}

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

Abstract It has been found that dissolved organic matter(DOM) has significant effects on the migration and effectiveness of nutrients and thus could be considered as an index for evaluating soil quality. Therefore in order to know whether inputs of organic materials would change soil quality to some degree in the wind-water erosion crisscross region, a typical fragile eco-region, on the Loess Plateau, mineral nitrogen and DOM were selected as the main soil quality indexes. Using a laboratory incubation experiment under aerobic soil moisture conditions, we investigated the dynamic changes in the mineralization of soil organic nitrogen and the dissolved organic carbon(DOC) and dissolved organic nitrogen(DON) content for inputs of organic materials with different C/N ratios in Ust Sandic Entisols. The results showed that N-fixation occurred after the organic material with different C/N ratio was added, and that the fixation period was closely related to the soil layer and soil fertility because a longer fixation period was found in the deeper soil layer. The accumulation of DOC in different soil layers with added organic material, was highest in the early stage, decreased first and then increased in middle stage, and decreased to stable stage in later stage. The accumulation of DOC in the 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm soil layers came to the peak on the 28th day, 42th day, 56th day respectively. The accumulation of DON was obviously affected by N-fixation whereby it notably increased after a short period of N-fixation with the inputs of organic materials with lower C/N ratios. However, no obvious DON increase was observed with the inputs of organic materials with higher C/N ratios. The DOC/DON followed an increasing trend in the earliest stage but tended to decrease tendency in the later stage. These results suggest that available carbon and nitrogen was sensitive to the inputs of organic materials. Based on this experiment, it was found that

收稿日期 2010-07-06

基金项目 陕西省自然科学基金(SJ08C104),黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10502),中央高校基本科研业务费专项资金资助(QN2009083)

作者简介 沈玉芳(1975—),女,江苏建湖人,博士,助研,主要从事土壤-植物系统养分动态过程方面研究。E-mail shenyufang11@163.com

* 通讯作者 李世清 E-mail sqli@ms.iswc.ac.cn

growing plants with higher C/N ratios was beneficial to the increase of soil organic matter. Therefore, this study provides information for proposing adjustment measures to improve soil quality.

Keywords C/N ratio; organic material; soil quality; DOC; DON; mineral N

溶解性有机物 (Dissolved Organic Matter, DOM) 是土壤和自然水体中常见组分, 由于其水溶性特点, DOM 被认为是陆地生态系统和水生生态系统中非常活跃和重要的化学组分之一, 是养分在生态系统中运移及循环的方式之一。DOM 与土壤生物地球化学过程、成土作用、微生物生长及污染物在土壤中迁移等过程紧密相关, 显著影响营养物质, 特别是氮素的供给及有效性。近年来, 随着测定技术的发展, 可溶性有机碳 (Dissolved Organic Carbon, DOC) 及可溶性有机氮 (Dissolved Organic Nitrogen, DON) 在不同生态系统碳、氮养分循环中的作用已引起不少研究者的高度重视^[1-4]。

随着我国农业产业结构调整, 初、次级生产发展导致的剩余养分资源增多, 那么如何更好地利用这些养分资源, 做到既促进增产, 又保证环境质量? 一般认为: C/N 比值高的有机物料进入土壤后, 因易分解的能量 (主要是碳源) 物质丰富, 土壤矿质氮表现为净生物固持, 随着能源物质消耗, C/N 比逐渐降低, 微生物固持氮会重新释放出来^[5]。因此, 研究添加不同 C/N 比有机物料土壤有机氮矿化特征及有效氮固持时间长短, 对于降低农业生产成本、合理进行土壤培肥及减少大气、水体氮污染有重要科学意义。

研究表明, 一些富含有机碳的外源有机物料施入土壤后, 通过微生物降解在短期内会产生高浓度水溶性有机物 (可从土壤本底的 $0.2\sim 0.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加至 $8\sim 12\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[6-7]。倪进治等^[8]进行的培养试验表明, 红砂土中加入稻草秸秆和猪粪后, DOC 含量与对照相比均有较大幅度提高, 尤其在有机肥加入后第 1 周效果显著, 随培养时间推移, 土壤中 DOC 逐渐降低, 在潮土中发现具有相同变化趋势。在北方石灰性土壤, 植物残体腐解过程对土壤有机氮矿化及水溶性有机碳、氮会产生如何影响? 迄今鲜见报道。因此, 本试验

以黄土高原水蚀风蚀交错区干润砂质新成土不同土层土壤为培养土样, 通过添加不同 C/N (高 C/N 的黑麦草和低 C/N 的苜蓿) 有机物料的室内培养试验, 研究添加田间试验收获黑麦草及苜蓿冠层和根系等有机物料后, 土壤有机氮矿化及 DOC 和 DON 的动态变化, 以期为提高土壤质量, 维持生态系统的可持续发展等提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试土壤和有机物料

供试土壤采集于陕北北部农牧交错区干润砂质新成土 (Ust Sandic Entisols), 采样深度分别为 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 土层。土样采回后过 3 mm 筛孔, 部分土样风干, 用以测定基本性质, 其余土样在 4 °C 冰箱中保存待用; 供试有机物料黑麦草及苜蓿冠层和根系样品分别采自安排于相同田块的田间试验, 植物样品在 65 °C 下烘干, 粉碎过 0.25 mm 筛孔后, 装入广口瓶内, 备用。供试土壤及有机物料性质分别见表 1 和表 2。

1.2 试验设计

试验包括有机物料种类及土层等 2 个因子。试验处理设 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 各土层不添加有机物料 (CK), 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 各土层添加黑麦草冠层 (RS), 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm

表 2 有机物料的基本性质

Table 2 Basic properties of organic material

有机物料 Organic material	有机碳 Organic carbon/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	全氮 Total nitrogen/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	C/N
黑麦草地上部 Rygrass shoot (RS)	330.2	10.4	31.8
黑麦草根系 Rygrass root (RR)	217.5	5.8	37.5
苜蓿地上部 Alfalfa shoot (AS)	314.4	27.3	11.5
苜蓿根系 Alfalfa root (AR)	298.5	17.3	17.3

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of tested soil

土层 Soil layer/ cm	有机质 Organic matter/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	全氮 Total nitrogen/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	C/N	矿质氮 Mineral N/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$		
				$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	Σ
0~20	6.5	0.58	6.5	10.7	10.6	21.3
20~40	4.2	0.29	8.4	4.5	10.7	15.2
40~60	3.3	0.27	7.1	2.0	10.1	12.1

各土层添加苜蓿冠层(AS) 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 各土层添加黑麦草根系(RR) 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 各土层添加苜蓿根系(AR)。以上处理组合共 15 个,每个处理设 2 个重复,考虑到不同培养期间测定,每处理培养 16 份。

称取过 3 mm 筛孔相当于 15.000 g 烘干土的新鲜土样,放置于 100 mL 塑料瓶中,有机物料添加量按 200 mgN·kg⁻¹ 土比例添加,进行通气培养试验。土样装瓶时先用蒸馏水调节土壤水分含量至 20%后,置于 (35±1.0)°C 恒温培养箱中培养,用既可透气、又能减少水分损失的保鲜膜封瓶口,培养期间采用称重法保持土壤水分含量稳定。分别在培养第 7、14、21、28、42、56、70、91 d 取样,测定土样中 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N、水溶性有机碳(DOC)、水溶性有机氮(DON)。

1.3 分析方法与数据处理

土壤有机碳用重铬酸钾外加热容量法测定,土壤全氮用凯氏法测定,土壤 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 用 Bremner 法浸提,连续流动分析仪测定^[9]。

水溶性有机碳测定:将 10.000 g 新鲜土样进行水分校正后与超纯水以质量比 1:2 混合,连续振荡 5 h,然后在 4 000 r·min⁻¹ 条件下离心 10 min,上层清液过 0.45 μm 滤膜后,用 TOC 仪(TOC-5050)直接测定滤液中的水溶性有机碳。

水溶性有机氮测定:将 5.000 g 新鲜土样与 50 mL

的 1 mol·L⁻¹ KCl 溶液混合,连续振荡 1 h 后过滤,取部分滤液,用流动分析仪测定滤液中 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量。吸 10 mL 滤液置于 25 mL 试管中,加入等体积氧化剂 (0.15 mol·L⁻¹ NaOH 和 30 g·L⁻¹ K₂S₂O₈ 组成的碱性氧化剂)后,立即加塞,并扎紧。充分摇匀后置于高压锅内氧化(120~124 °C, 30 min),冷却至室温后用紫外分光光度计于 220 nm 和 275 nm 处分别测定其吸光度 A₂₂₀ 和 A₂₇₅,通过矫正吸光值(A₂₂₀-2A₂₇₅)计算溶液中全氮含量,然后用全氮含量减去 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量得出水溶性有机氮含量^[10]。

培养期间土壤 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、DOC、DON 变化量=培养后总量-培养前总量。

试验数据用 DPS7.05 软件进行处理,采用 LSD 法进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 添加不同 C/N 比有机物料对不同土层土壤有机氮矿化动态变化的影响

从培养过程各阶段矿质氮测定结果(表 3)看,无论是否添加有机物料,各土层土壤矿质氮累积量均以 0~20 cm 最高,其次是 20~40 cm 土层,40~60 cm 土层最低,这可能与随土层深度增加土壤可矿化有机氮及参与矿化的微生物减少有关。

比较各培养阶段各土层土壤添加有机物料后矿

表 3 不同有机物料处理下培养期间累积矿质氮动态变化(mg·kg⁻¹)

Table 3 Change of mineral N during incubation from different organic matter treatments(mg·kg⁻¹)

土层 Soil layer	处理 Treatment	培养时间 Incubation time							
		7 d	14 d	21 d	28 d	42 d	56 d	70 d	91 d
0~20 cm	CK	8.0±0.1A	10.4±0.1A	15.5±0.1AB	22.4±1.4A	30.2±0.1B	38.6±1.8C	41.7±1.6C	50.2±0.3CD
	AS	4.2±0.3B	8.7±0.1B	17.2±0.1A	25.7±1.3A	48.3±0.9A	70.6±1.7A	111.6±6.6A	195.8±4.9A
	AR	3.8±0.1B	7.5±0.1C	14.4±0.7B	24.7±0.3A	45.2±1.3A	60.4±2.9B	75.5±1.7B	112.3±3.1B
	RS	2.2±0.1C	2.8±0.1D	8.5±0.3C	13.5±0.7B	17.8±1.3C	25.6±1.2D	43.2±1.8C	61.3±2.4C
	RR	2.2±0.2C	2.8±0.0D	3.2±0.1D	5.5±0.1C	9.6±0.3D	15.1±0.2E	27.6±2.8D	39.5±0.6D
20~40 cm	CK	3.9±0.1A	4.5±0.2A	6.2±0.3A	8.7±0.18B	10.3±0.8B	14.2±2.4B	18.55±1.1BC	20.5±4.2CD
	AS	3.1±0.2B	4.3±0.1A	6.0±0.2A	9.6±0.1A	16.3±1.3A	20.2±0.9A	31.3±2.2A	41.7±2.1A
	AR	2.7±0.1B	3.5±0.2B	4.9±0.1B	7.6±0.0C	10.7±1.7B	15.1±0.4B	25.7±3.3AB	38.2±2.4AB
	RS	1.9±0.2C	2.5±0.2C	3.0±0.2C	3.2±0.2D	4.5±0.2C	8.3±0.1C	16.8±1.0C	29.7±3.4BC
	RR	1.8±0.3C	2.5±0.3C	2.8±0.2C	4.2±0.0E	5.7±0.2C	8.8±0.1C	11.4±1.4C	16.6±1.6D
40~60 cm	CK	3.4±0.3A	4.4±0.2A	5.0±0.4A	6.5±0.1A	7.1±0.11A	8.3±0.5A	8.7±0.4A	10.7±0.3A
	AS	2.7±0.2AB	3.0±0.1B	3.3±0.1B	3.7±0.3BC	4.9±0.1B	5.2±0.2BC	7.3±0.2B	7.8±0.1BC
	AR	2.2±0.2BC	3.0±0.3B	3.4±0.5B	4.5±0.2B	5.2±0.2B	5.9±0.3B	7.2±0.3B	8.6±0.1B
	RS	1.5±0.1C	2.1±0.1C	2.7±0.2B	3.1±0.5C	4.1±0.1C	5.2±0.3BC	6.6±0.2B	7.2±0.2C
	RR	1.5±0.2C	2.0±0.1C	2.5±0.2B	3.0±0.1C	3.2±0.2D	4.2±0.4C	5.1±0.2C	6.3±0.3D

注:同层土壤同一列数据后标有不同大写字母者表示差异极显著(P<0.01)。Note: Values followed by different capital letters in the same columns and soil layers are significant at P<0.01.

质氮累积量(表3)发现,0~20 cm 土层土壤添加不同有机物料后存在矿质氮微生物净固定现象。在培养初期,未添加有机物料处理(CK)的矿质氮累积量最高,极显著高于添加苜蓿处理,后者又极显著高于添加黑麦草处理。随着培养时间延长,添加有机物料处理不同土层土壤矿质氮增加趋势加快。培养42 d时,添加苜蓿处理0~20 cm 土壤矿质氮累积已极显著高于CK处理;添加黑麦草处理0~20 cm 土壤在70 d也高于CK处理,但差异未达到极显著水平。20~40 cm 和40~60 cm 土层土壤添加不同有机物料后也存在不同程度的矿质氮微生物净固定现象。就添加相同有机物料而言,不同土层土壤氮固定持续时间仍以0~20 cm 土层土壤较短,其次是20~40 cm 土层土壤,40~60 cm 土层土壤最长。可见,有机物料对矿化过程的影响,仍然与土壤肥力水平和微生物量等有关,与耕层土壤相比,添加有机物料后以肥力较低的较深土层土壤矿质氮累积更加明显。

比较添加不同有机物料后矿质氮累积(表3)发现,向土壤中添加苜蓿冠层、苜蓿根系、黑麦草冠层、黑麦草根层后,0~20 cm 土层对矿质氮表现为净固定的阶段分别为0~14 d、0~21 d、0~56 d及>91 d;20~40 cm 土层分别为0~21 d、0~28 d、0~70 d及>91 d;40~60 cm 土层均>91 d。由于有机物料以等氮量比例添加,矿质氮累积量大小可大体反映添加有机物料对体系矿化快慢的影响,或者对矿质氮微生物固定的影响,矿质氮累积量愈大,说明有机物料的添加愈利于体系矿化,试验添加低C/N比有机物料时,氮固定时间较短。因此,如果从增加土壤有机质角度考虑,添加C/N高的黑麦草残体物料更加有利。

2.2 添加不同C/N比有机物料对不同土层土壤水溶性有机碳(DOC)的影响

添加不同C/N比有机物料后不同土层土壤水溶性有机碳(DOC)增加量的动态变化见图1。可以看出,培养初期,所有处理DOC增加量均较高,但随培养时间延长,不同处理DOC增加量变化趋势不尽一致。对未添加有机物料土壤,培养前期,土壤中DOC增加量相对较大,随着培养时间延长,DOC增加量减少并趋于稳定。添加有机物料后,培养中期DOC增加量先减后增,后期下降并达到稳定;且相同土层添加不同有机物料后,DOC增加量大小顺序均为苜蓿冠层(AS)>苜蓿根系(AR)>黑麦草冠层(RS)>黑麦草根层(RR)。可见,培养期间DOC含量与有机物料C/N呈相反趋势,这种关系与矿质氮累积量变化一致。

培养期间,不同土层土壤添加有机物料后DOC增加具有较相似的变化趋势,但DOC增加量及峰值出现时间不同。0~20 cm 土层DOC增加量达到峰值的时间是28 d,添加AS、AR、RS和RR处理的DOC增加量分别高达50.7、36.4、22.5 mg·kg⁻¹和17.6 mg·kg⁻¹;20~40 cm 土层DOC增加量达到峰值的时间是28 d,添加AS、AR、RS和RR处理DOC增加量分别为35.7、20.4、15.6 mg·kg⁻¹和13.1 mg·kg⁻¹;40~60 cm 土层DOC增加量达到峰值的时间是56 d,添加AS、AR、RS和RR处理DOC增加量最少,分别为16.7、13.7、9.6 mg·kg⁻¹和9.2 mg·kg⁻¹。进一步分析发现,同一土层土壤添加不同有机物料后,土壤DOC增加量达到峰值时间几乎一致,说明DOC的最大净增加速率可能主要决定于不同土层土壤自身特性及土壤中微生物量及活性,而与添加物料所含有机C含量关系不大,但这一现象仍需进一步研究。

2.3 添加不同C/N有机物料后0~20 cm 土层土壤DON累积量及DOC/DON的动态变化

DON是继DOC之后,土壤中含量较大的一类水溶性有机物。添加不同C/N有机物料,对不同土层土壤DON含量均产生不同程度的影响,但影响趋势与矿质氮基本一致,所以这里我们仅分析讨论0~20 cm 土层土壤DON累积量的动态变化。表4表明,无论是否添加有机物料,0~20 cm 土层土壤DON累积量整体上呈明显增加趋势,但不同处理增加速率不同。培养初期,未添加有机物料处理(CK)DON累积量显著高于添加有机物料处理,随培养时间延长,添加低C/N有机物料处理的DON累积量增加较快,培养28 d时,添加苜蓿冠层处理(AS)DON累积量开始高于CK处理,培养42 d时,添加苜蓿根系处理(AR)DON累积量也开始高于CK,随培养时间延长,累积量增加趋势更加显著,但添加黑麦草冠层及根系处理土壤在整个培养期间,DON累积量均低于CK。可见,作为微生物可以直接利用的N源,土壤微生物对氮素的固定会对DON产生影响,低C/N有机物料加入土壤后,经过短暂固定后,后期DON累积量明显提高,高C/N有机物料加入土壤后,在较长时间内,DON增加速率较慢。这进一步证明添加高C/N有机物料利于土壤有机质的累积,也说明如果从增加土壤有机质角度考虑,应该种植高C/N的植物。

土壤中DOM通常被认为是易被微生物利用,并且作为土壤质量的一个指标^[1]。研究DOC/DON变化,有利于深入了解土壤中DOC及DON的来源及其转

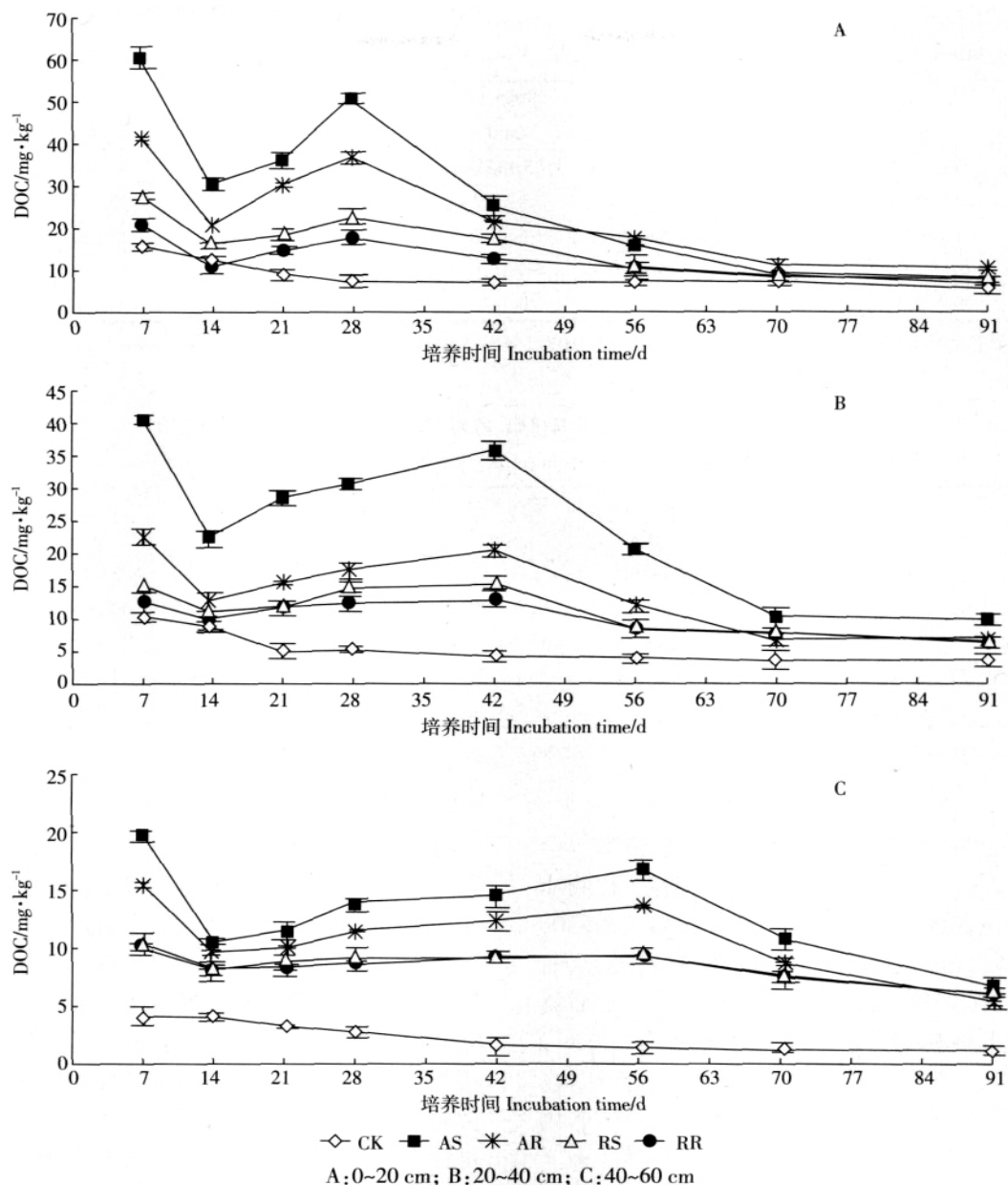


图1 不同土层土壤水溶性有机碳(DOC)增加量的动态变化

Figure 1 Change of increasing amount of dissolved organic carbon(DOC) in different soil layers from different organic matter treatments

化,是制定其土壤中 DOM 调控措施的重要依据。因此,我们初步分析了 0~20 cm 土层土壤 DOC/DON 累积量比的动态变化,其结果见表 5。由分析结果可以发现,添加有机物料对土壤 DOC/DON 具显著效应,在培养期 91 d 内,所有添加有机物料处理的 DOC/DON 值均显著高于 CK。比较添加不同 C/N 有机物料处理的 DOC/DON 值差异发现,培养初期添加低 C/N 有机物料后 DOC/DON 值较高,但随培养时间延长,添加低 C/N 物料处理 DOC/DON 值下降较快,培养中后期略低于添加高 C/N 物料处理,但差异并不显著,

说明有机物料添加后短期内会明显影响土壤 DOC 及 DON 含量比,但经过微生物与有机物料间相互作用效应后,其比值仍然会很快恢复到之前水平。

3 讨论

水溶性有机质(Dissolved organic matter, DOM)是土壤有机质中最活跃的组分,既与土壤有机质分解转化有关,同时也与微生物代谢、各营养元素(特别是氮、磷)的有效性有关^[1,12-13]。有机物料施入土壤后,为微生物带来大量能源物质,能够刺激微生物生长

表4 添加有机物料对0~20 cm 土壤水溶性有机氮累积量的影响(mg·kg⁻¹)Table 4 Effects of different organic materials treatments on dissolved organic nitrogen(DOC)in 0~20 cm soil layer (mg·kg⁻¹)

处理 Treatment	培养时间 Incubation time							
	7 d	14 d	21 d	28 d	42 d	56 d	70 d	91 d
CK	2.0±0.1A	3.5±0.1A	5.5±0.1A	7.3±0.2AB	8.4±0.2B	10.4±0.54BC	12.5±0.6C	14.3±0.2C
AS	1.5±0.2B	2.3±0.1B	4.8±0.2B	7.8±0.2A	10.8±0.6A	16.7±1.2A	22.5±0.3A	25.8±1.4A
AR	1.1±0.1C	1.7±0.2C	3.5±0.2C	6.6±0.2B	8.7±0.4B	11.8±1.0B	16.2±0.1B	18.9±1.3B
RS	0.8±0.1CD	1.3±0.1CD	1.9±0.1D	3.5±0.2C	5.2±0.4C	7.7±0.2CD	10.5±0.4D	12.5±0.2CD
RR	0.7±0.1D	1.1±0.1D	1.7±0.2D	3.0±0.2C	4.8±0.2C	6.4±0.2D	8.1±0.3E	9.5±0.3D

注:同一列数据后标有不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$)。Note: Values followed by different capital letters in the same columns are significant at $P<0.01$.

表5 0~20 cm 土层土壤水溶性有机碳、氮累积量比(DOC/DON)的动态变化

Table 5 Change of DOC/DON in 0~20 cm soil layer from different organic matter treatments

处理 Treatment	培养时间 Incubation time							
	7 d	14 d	21 d	28 d	42 d	56 d	70 d	91 d
CK	7.9±0.1d	7.9±0.3d	6.6±0.1c	6.1±0.1c	6.1±0.2d	5.5±0.1b	5.1±0.1b	4.8±0.1b
AS	40.3±2.0a	39.4±1.6a	26.4±1.5b	22.7±1.9ab	18.7±0.4ab	13.1±1.0a	10.2±0.8a	9.3±0.1a
AR	37.5±2.0ab	36.4±1.7ab	26.2±0.1b	19.4±0.1b	17.1±0.8bc	14.1±1.7a	10.9±1.5a	9.9±0.7a
RS	34.4±1.7b	33.5±1.9b	32.5±1.8a	24.1±2.2a	19.5±0.8a	14.6±1.1a	11.5±1.3a	10.3±1.3a
RR	29.6±1.2c	28.6±1.8c	27.2±1.3b	21.3±1.7ab	15.9±1.4c	13.5±0.6a	11.6±0.7a	10.6±1.2a

注:同一列数据后标有不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。Note: Values followed by different small letters in the same columns are significant at $P<0.05$.

繁殖^[14]。但有机物料含氮量、C/N 和碳源有效性等会影响微生物繁殖生长,从而影响土壤水溶性有机物质(DOM)含量及其他养分有效性。一般认为,C/N>30,能源物质丰富,矿质氮的微生物固持作用较强,从而表现为矿质氮的净生物固持;C/N=20~30时,矿质氮的固持速率与有机氮的矿化速率相同;C/N<20时,有机氮的矿化速率进一步增强,从而表现为净矿化。因此,研究添加不同C/N有机物料土壤有机氮的矿化特征,对合理施肥及土壤培肥有着重要的科学意义。

本培养试验结果表明,添加不同C/N有机物料后,出现了程度不一的微生物氮素净固定现象。土层愈浅,有机物料C/N值越低,氮素固定持续时间越短;这可能与试验以等量N添加有机物料有一定关系。添加高C/N有机物料后,丰富的碳源为微生物提供了丰富的能源物质,微生物需要从土壤中摄取大量氮素用以维持其自身繁殖,因此添加高C/N黑麦草根系后,氮素固定持续时间相对最长。分析不同土层土壤氮固定时间的差异发现,0~20 cm 土层土壤的氮固定持续时间最短,40~60 cm 土层土壤氮固定时间最长,这可能与表层土壤肥力相对较高,土壤微生物生长旺盛有关^[15]。表明研究有机物料对土壤氮素矿化过程的影响,既要考虑有机物料本身性质和组成,也要考虑

土壤肥力状况。

代静玉等^[16]对茶叶、紫云英、稻草在降解过程中土壤DOC变化的研究表明,培养前期,3种有机物料溶出DOC含量较高,在3~7 d,DOC溶出量降低,随后DOC溶出量升高,在21 d出现峰值并开始下降,35 d后趋于稳定。本试验同样表明,不同植物残体有机物料加入土壤后,土壤DOC累积量迅速升高,但在微生物分解有机物料的同时,也不断分解DOC以满足自身生长繁殖需求。因此,在培养前期,DOC累积量较高,一段时间后又迅速下降;在中期,呈现波动性变化,而在培养试验后期,因植物残体被分解趋于彻底,DOC含量也达到稳定。作为微生物可间接利用的氮源,DON含量同样受土壤微生物氮固定影响,低C/N有机物料加入土壤后,经过短暂氮固定后,后期DON量明显提高,而添加高C/N有机物料,培养期内无明显变化。

大量研究表明,DOM中有相当一部分具有生物有效性,持续时间从几小时到数月不等^[17-18],而对其在C、N转化过程中的作用缺乏系统研究^[19]。因此,本试验通过对DOC/DON值的变化进一步研究表明,培养前期,添加有机物料DOC/DON上升,随后降低,说明有机物料的添加可能会短期内影响土壤DOC及

DON 含量比,但经过微生物与有机物料间相互作用后,很快恢复其自身功能,达到起始水平。

4 结论

相同条件下有机物料对土壤有机物质矿化过程的影响,既与有机物料本身性质和组成相关,也与土壤肥力水平相关。本试验不同土层土壤,添加有机物料后均存在程度不一的矿质氮微生物净固定现象,且氮固定时间及程度与有机物料的 C/N 和土壤层次密切相关,添加高 C/N 黑麦草的深层低肥力土壤氮固定现象最为明显。添加有机物料后,培养期间 DOC 累积量前期较高,中期先减后增,后期趋于稳定,且浅层土壤 DOC 累积峰值出现较早。DON 累积同时受矿质氮固定影响,低 C/N 苜蓿残体加入土壤后,在短暂氮素固定后,后期 DON 累积量明显提高,而高 C/N 黑麦草残体加入土壤后,在较长时间内 DON 累积量无明显增加。培养前期添加有机物料,土壤 DOC/DON 上升,随后降低,说明有机物料的添加可能在短期内会影响土壤 DOC 及 DON 含量比,但经过微生物与有机物料间相互作用效应后,很快恢复其自身功能,达到起始水平。

参考文献:

- [1] Kalbita K, Solinger S, Park J H, et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review[J]. *Soil Sci*, 2000, 165(4): 277-304.
- [2] Mansson K F, Falkengren G U. The effect of nitrogen deposition on nitrification, carbon and nitrogen mineralisation and litter C:N ratios in oak (*Quercus robur* L.) forests[J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 179: 455-467.
- [3] Magill A H, Aber J D. Long-term effects of experimental nitrogen additions on foliar litter decay and humus formation in forest ecosystems[J]. *Plant and Soil*, 1998, 203: 301-311.
- [4] Weintraub M N, Schmel J P. Interactions between carbon and nitrogen mineralization and soil organic matter chemistry in Arctic tundra soils[J]. *Ecosystems*, 2003, 6: 129-143.
- [5] Andersson S, Nilsson S I, Saetre P. Leaching of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen(DON) in more humus as affected by temperature and pH[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32: 1-10.
- [6] Ohno T, Crannell B S. Green and animal manure-derived dissolved organic matter effects on phosphorus sorption[J]. *J Environ Qual*, 1996, 25(5): 1137-1143.
- [7] Lamy I, Bourgeois S, Bermond A. Soil cadmium mobility as a consequence of sewage sludge disposal[J]. *J Environ Qual*, 1993, 22: 731-737.
- [8] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(4): 374-378.
- NI Jin-zhi, XU Jian-min, XIE Zheng-miao, et al. Effects of different organic manure on biologically active organic fractions of soil[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(4): 374-378.
- [9] Bremner J M. Nitrogen availability [M]//Black C A, ed. *Methods of soil analysis, Part 2*. Am Soc of Agron Madison, Wis, 1965: 1324-1345.
- [10] 杨 绒, 赵满兴, 周建斌. 过硫酸钾氧化法测定溶液中全氮含量的影响条件研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2005, 33(12): 107-111.
YANG Rong, ZHAO Man-xing, ZHOU Jian-bin. Effects of different conditions of the determination of total nitrogen in solution by persulfate oxidation method[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest(Natural Science Edition)*, 2005, 33(12): 107-111.
- [11] Cook B D, Allan D L. Dissolved organic carbon in old field soils: Compositional changes during the biodegradation of soil organic matter[J]. *Soil Biol Biochem*, 1992a, 24: 595-600.
- [12] Qualls R G, Haines B L. Geochemistry of dissolved organic nutrients in water percolating through a forest ecosystem[J]. *Soil Sci Soc A m J*, 1991, 55: 1112-1123.
- [13] Zsolnay A. Dissolved humus in soil waters[M]//Piccolo A, ed. *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, 1996: 171-223.
- [14] 程励励, 文启孝. 有机肥料氮的转化以及有机-化学氮肥的综合管理[M]//朱兆良, 文启孝主编. *中国土壤氮素*. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 256-266.
CHENG Li-li, WEN Qi-xiao. The transformation of organic fertilizer nitrogen and comprehensive management of organic-chemical nitrogen fertilizer[M]//ZHU Zhao-liang, WEN Qi-xiao. *Soil nitrogen in China*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992: 256-266.
- [15] 李世清, 李生秀. 有机物料在维持土壤微生物体氮库中的作用[J]. *生态学报*, 2001, 1(1): 136-141.
LI Shi-qing, LI Sheng-xiu. Effects of organic materials on maintaining soil microbial biomass nitrogen[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 1(1): 136-141.
- [16] 代静玉, 周江敏, 秦淑平. 几种有机物料分解过程中溶解性有机物质化学成分的变化[J]. *土壤通报*, 2004, 35(6): 724-727.
DAI Jing-yu, ZHOU Jiang-min, QIN Shu-ping. Dynamic changes of chemical composition of dissolved organic matter during decomposition of organic materials[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(6): 724-727.
- [17] Boyer J N, Groffman P M. Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles[J]. *Soil Biol Biochem*, 1996, 28: 783-790.
- [18] Yano Y, McDowell W H, Kinner N. Quantification of biodegradable dissolved organic carbon in soil solution with flowthrough bioreactors [J]. *Soil Sci Soc A m J*, 1998, 62: 1556-1564.
- [19] Cook B D, Allan D L. Dissolved organic carbon in old field soils: Total amounts as measure of available resources for soil mineralization[J]. *Soil Biol Biochem*, 1992b, 24: 585-594.