

不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮生物降解特性

汪景宽*, 李 丛, 于 树, 李双异

(沈阳农业大学, 辽宁沈阳 110161)

摘要: 溶解性有机碳、氮在土壤全碳、全氮含量中所占的比例很小, 但却是土壤有机质中最为重要和活跃的部分。研究利用土壤溶解性有机碳、氮生物降解的测定方法, 分别选取沈阳农业大学试验站不同肥力及与定位试验地紧密相连的自然林地棕壤为研究对象, 开展棕壤溶解性有机碳、氮的生物降解特性的研究, 为了解溶解性有机碳、氮在土壤生态系统碳、氮循环中的作用, 探讨棕壤溶解性有机碳、氮与土壤肥力的关系提供理论依据。研究结果表明, 棕壤林地溶解性有机碳、氮的含量最高, 高肥处理次之, 低肥处理含量最低。棕壤溶解性有机碳、氮与全碳、全氮和微生物量碳、氮的相关性达到极显著水平, 与土壤肥力紧密相关, 可以作为指示土壤肥力的重要指标。不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮的降解速率在培养初期较快, 而后逐渐减慢, 降解数据符合双指数衰变模型。棕壤溶解性有机碳分别由降解速率不同的两个库组成: 周转时间在 1d 的易分解部分和周转时间大约为 400d 的难分解部分。棕壤溶解性有机氮是由周转速率大约为 2d 的易降解部分和周转速率在 99 ~ 105d 左右的难分解部分组成。经过 42d 的培养, 浸提液中剩余溶解性有机质碳氮比值较培养前有所增加。

关键词: 土壤肥力; 溶解性有机碳; 溶解性有机氮; 生物降解

文章编号: 1000-0933(2008)12-6165-07 中图分类号: Q143 文献标识码: A

The biodegradation of dissolved organic carbon and nitrogen in brown earth with different fertility levels

WANG Jing-Kuan*, LI Cong, YU Shu, LI Shuang-Yi

Shenyang Agricultural University, Liaoning Shenyang 110161, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6165 ~ 6171.

Abstract: Although dissolved organic carbon (DOC) and nitrogen (DON) in soil have little proportion in the total carbon and nitrogen, they are the most important and active parts of soil organic matter (SOC). They could accelerate the weathering of minerals, supply the energy to the growth of microorganism and its decomposition, but also affect the validity and fluidity of nutrient substance in ecosystem. Compared with SOC, DOC and DON were more sensitive to reflect the chemical characteristics of soil, especially for indicating the quality and fertility level of soil. In order to study the characteristics of biodegradation of DOC and DON, the contents of DOC and DON in different fertility levels of Brown earth were determined. The results showed that the highest contents of DOC and DON in Brown earth were found in the native soil, the next was in the treatment of higher fertility and the lowest was in the treatment of lower fertility. The relations among DOC, DON, SOC, SON and soil microbial biomass carbon and nitrogen were remarkably positive correlation. The results also showed that DOC and DON were closely relevant with soil fertility, and could be regarded as the important

基金项目: 国家重大基础研究资助项目(2005CB121108); 国家自然科学基金资助项目(40871142)

收稿日期: 2007-07-17; 修订日期: 2008-08-29

作者简介: 汪景宽(1963 ~), 男, 满族, 辽宁省凤城县人, 博士, 教授, 从事土壤肥力研究. E-mail: jkwang@syau.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jkwang@syau.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Key Project for Basic Research (No. 2005CB121108) and National Natural Science Foundation of China (No. 40871142)

Received date: 2007-07-17; **Accepted date:** 2008-08-29

Biography: WANG Jing-Kuan, Ph. D., Professor, mainly engaged in Soil-fertilization. E-mail: jkwang@syau.edu.cn

indices of soil fertility. The decomposition rates of DOC and DON were faster at the initial stage of incubation and subsequently slower gradually. The decomposition data fitted a double exponential first-order decay model, which suggests that the DOC was comprised of two fractions: a rapidly decomposable fraction with a turnover time of 1 day and a slowly decomposable fraction with a turnover time of about 400 days. And the DON was also comprised of two fractions: a rapidly decomposable fraction with a turnover time of about 2 days, and a slowly decomposable fraction with a turnover time of about 99–105 days. After the incubation of 42 days, the ratios of carbon to nitrogen in dissolved organic matter were enhanced.

Key Words: soil fertility; DOC; DON; biodegradation

随着全球碳循环问题受到广泛的关注,土壤溶解性有机质渐渐引起人们的重视。溶解性有机质(DOM, dissolved organic matter)这一概念是20世纪70年代提出的,主要是指能够通过0.45 μm滤膜且能溶解于水、酸或碱溶液的不同大小、结构的有机分子的连续统一体。溶解性有机质是陆地和水生生态系统中一类重要的、十分活跃的化学组分。作为环境中重要的天然配位体和吸着载体,溶解性有机质通过吸附、络合、螯合、共沉淀等一系列反应与土壤,特别是与土壤水中的微量元素和有机污染物发生各种作用,从而影响后者的迁移活性、最终归宿和生态毒性^[1,2]。同时它能促进矿物的风化,是微生物生长和生物分解过程中的重要能量来源。目前,对溶解性有机质的研究已经涉及到全球气候变化生物学、生态学、土壤学、环境化学、水文学等诸多学科^[3]。

国内外已有关于溶解性有机碳、氮生物可降解性的研究,但是多集中在森林生态系统下的土壤^[4~6],而有关农田生态系统下土壤状况的报道则较少。研究农业土壤溶解性有机碳、氮含量的变化,对了解农田土壤有机质质量以及土壤养分循环有重要的理论和实践意义。本文在国内外研究的基础上,探讨了不同利用方式和肥力水平的棕壤溶解性有机碳、氮含量的变化情况,分析了溶解性有机碳、氮生物降解特性,拟合了土壤溶解性有机碳、氮的生物降解方程。对了解其在农业土壤生态系统碳、氮循环中的作用具有重要的理论和实践意义。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤2002年采自沈阳农业大学试验站及与定位试验地紧密相连的自然林地棕壤。该站试验站(N: 41°49', E: 123°34')土壤为发育在黄土性母质上的壤质棕壤(酸性湿润淋溶土, acid udic luvisols),海拔75m,气候条件属北温带大陆季风气候区,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,年均温7.2℃, >10℃积温3350℃,年降水量730mm, 85%集中于4~9月份。本研究采用3种肥力处理:(1)中低肥处理(low fertility):为未施用任何肥料,土壤有机碳和全氮分别为8.30 g kg⁻¹和1.00 g kg⁻¹;(2)高肥处理(high fertility):为每年施用新鲜猪粪约42000 kg hm⁻²(含N135 kg hm⁻², 含P₂O₅ 67.5 kgP hm⁻²)施用肥料氮135 kg hm⁻²,肥料磷(P₂O₅)67.5 kg hm⁻²,土壤有机碳和全氮分别为11.21 g kg⁻¹和1.38 g kg⁻¹;(3)林地(native):生长乔木以栎树、松树为主,灌木以刺槐、胡枝子为主,草类以大油芒、万年蒿为主,土壤有机碳为16.74 g kg⁻¹,全氮为1.27 g kg⁻¹。

1.2 土壤分析项目及测定方法

有机碳和全氮采用元素分析仪测定(Elementar Vario ELIII, Germany);土壤微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸, 0.5 mol L⁻¹ K₂SO₄浸提, High TOC II + N (Elementar II, Germany)测定;溶解性有机质的浸提采用0.01 mol L⁻¹ CaCl₂溶液作为浸提剂,按液土比5:1与所取土样混合,室温震荡30 min, 4500 r min⁻¹离心10 min,上清液过0.45 μm的滤膜;溶解性有机碳和全氮采用High TOC II + N测定;无机氮采用流动分析仪测定;溶解性有机氮为溶解性全氮与无机氮的差值。

溶解性有机碳、氮生物降解性的测定:

(1)土壤样品的准备 取过2 mm筛的风干土样600 g,保持田间状况培养10d,激活微生物,备用。

(2)外源微生物的制备 采用 10 g 土壤,按 1:5 土液比浸提,充分震荡,28 ℃ 条件下培养 24h,接种前将悬液静置 30min,转移上清液 2 ml 作为接种液。

(3)对浸提液进行培养,测定溶解性有机碳、氮的生物降解情况 每种样品均取 3 份 80g 土壤,按水土比 5:1,用 0.01 mol L⁻¹ CaCl₂ 提取土壤中的溶解性有机质,方法同上,得滤液。向滤液中加入外源微生物 2 ml 后进行培养。28 ℃ 条件下培养 42d,第 1、3、7、14、28、42 天取样,取样后再次过 0.45 μm 滤膜,得滤液用 High TOC II 和流动分析仪(AA-3)测定溶解性有机碳、氮的含量。取样前要称量培养瓶和液体的重量,以确定水分的损失量,定期补水。另取 10 g 土壤,用于测定最初的溶解性有机碳、氮的含量。全部试验均设置了 3 次重复。

1.3 数据分析

数据应用 EXCEL 2000、SPSS11.5 和 Sigma plot8.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮及微生物量碳、氮含量变化

一般情况下,农田土壤溶解性有机碳含量较低,浓度不会大于 200 mg kg⁻¹,而森林生态系统中溶解性有机碳含量则相对较高。溶解性有机氮是森林土壤中可溶性氮的主要成分,可占森林土壤溶解性全氮的 90% 以上。Bhogal 等对英国两个草地土壤溶解性有机氮含量的研究发现,土壤溶解性有机氮占土壤可溶性全氮的比例在 16.7% ~ 89.3% 之间,平均为 42.3%,一些土壤中溶解性有机氮的含量高达 57 mg kg⁻¹[7]。从表 1 可以看出,棕壤林地溶解性有机碳含量最高为 141.86 mg kg⁻¹,其次是高肥处理 135.54 mg kg⁻¹,低肥处理含量最低 110.09 mg kg⁻¹。说明未受干扰的自然林地土壤溶解性有机碳要高于耕作土壤,而在耕作土壤中高肥处理又高于底肥处理。微生物量碳的变化表现为:高肥 > 林地 > 低肥处理,高肥处理土壤的微生物量氮和林地相差不大,而低肥处理却远远低于高肥和林地处理。

土壤溶解性有机碳、氮与全碳、全氮和微生物量碳、氮之间的相关分析(表 2)表明,土壤溶解性有机碳与全碳、全氮之间的相关系数分别为 0.766(sig. = 0.000)和 0.846(sig. = 0.000),有着极显著的正相关关系;土壤溶解性有机氮与全碳、全氮之间的相关系数分别为 0.552(sig. = 0.003)和 0.793(sig. = 0.000),也有着极显著的相关关系。由此可见,溶解性有机碳、氮与土壤全碳、全氮以及微生物量碳、氮等肥力指标具有极好的

表 1 不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮及微生物量碳、氮的含量

Table 1 The DOC, DON, biomass C and N and C/N in treatments of different soil fertility levels

肥力水平 Fertility level	溶解性有机碳 DOC(mg kg ⁻¹)	溶解性有机氮 DON(mg kg ⁻¹)	溶解性有机碳氮比 C/N	微生物量碳 Biomass C(mg kg ⁻¹)	微生物量氮 Biomass N (mg kg ⁻¹)
低肥 Low fertility	110.09 ± 14.4	12.47 ± 1.33	8.88	606.6 ± 15.6	84.3 ± 14.0
高肥 High fertility	135.54 ± 20.9	16.85 ± 2.17	8.19	1076.3 ± 93.7	158.3 ± 22.2
林地 Native	141.86 ± 15.2	12.60 ± 2.01	11.40	987.5 ± 13.9	159.3 ± 14.3

表 2 溶解性有机碳氮与全碳、全氮以及微生物量碳的相关分析

Table 2 The correlation of soil DOC and DON with SOC, TN and Biomass C and N

项目 Item		全碳 SOC	全氮 Total N	微生物量碳 Biomass C	微生物量氮 Biomass N
溶解性有机碳 DOC	Pearson Correlation	0.766 **	0.846 **	0.641 **	—
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	—
	N	27	27	27	—
溶解性有机氮 DON	Pearson Correlation	0.552 **	0.793 **	—	0.703 **
	Sig. (2-tailed)	0.003	0.000	—	0.000
	N	27	27	—	27

** 表示在 0.01 水平上达到显著水平 Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); * 表示在 0.05 水平上达到显著水平 Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

平行关系,即随着土壤肥力水平的不断提高,土壤溶解性有机碳、氮的含量也相应的增加。此外,土壤溶解性有机碳与土壤微生物量碳的相关系数为 0.641 (sig. = 0.000); 土壤溶解性有机氮与土壤微生物量氮的相关系数为 0.703 (sig. = 0.000), 都达到极显著水平。可以看出,土壤微生物的代谢产物对土壤溶解性有机碳库有很大的贡献,而溶解性有机碳、氮与土壤有机质、微生物生物量之间的依赖关系是一条最为普遍的规律。因此可以认为土壤溶解性有机碳、氮与土壤肥力紧密相关,可以作为指示土壤肥力的重要指标。

2.2 不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮的生物降解特性的研究

溶解性有机质是土壤微生物可直接利用的有机底物,土壤微生物的周转需要溶解性有机质作为能源,微生物在满足自身生长的同时,还能分解土壤中的其它难溶物质形成可溶解性有机物质。Nelson、Boyer 对溶解性有机碳的生物降解性进行研究表明溶解性有机质中有相当一部分具有生物有效性,其中生物可降解溶解性有机碳 (biodegradable dissolved organic carbon) 占溶解性有机碳的比例为 10% ~ 40%^[8,9],而对土壤溶解性有机氮降解性的研究则相对较少。Gregorich 等经过长期的研究发现生物可降解溶解性有机质的分解数据符合一个双指数衰变模型^[10]:

$$\text{剩余溶解性有机碳}\% = [(100 - b)e^{-k_1t}] + [be^{-k_2t}]$$

式中, b 为稳定溶解性有机碳的百分含量(%), $100 - b$ 为易降解的溶解性有机碳的百分含量(%), k_1 为易降解溶解性有机碳的矿化速率常数(d^{-1}), k_2 为稳定的溶解性有机碳的矿化速率常数(d^{-1}), t 为时间(d)。

表 3 不同时期不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮的含量

Table 3 DOC and DON in treatments with different fertility levels under different sampling periods

土壤样品 Soil sample	培养前含量 Initial (mg kg ⁻¹)	时间 Time(d)					
		1	3	7	14	28	42
溶解性有机碳 DOC							
自然棕壤 NV	141.86	117.11	114.15	112.07	109.45	106.66	103.85
低肥棕壤 LF	110.09	85.43	82.68	82.11	79.45	77.70	75.05
高肥棕壤 HF	135.54	107.19	104.75	103.44	100.43	98.28	95.39
溶解性有机氮 DON							
自然棕壤 NV	12.60	10.79	9.35	8.91	8.14	7.27	6.16
低肥棕壤 LF	12.47	10.32	8.79	8.46	7.71	7.07	5.70
高肥棕壤 HF	16.85	14.87	12.76	12.16	11.46	10.06	8.56

2.2.1 不同肥力棕壤溶解性有机碳的生物降解特性

由图 1 可以看出,无论是自然土壤还是农田土壤,棕壤溶解性有机碳在整个培养过程中的变化趋势为:从开始培养到第 1 天培养结束,溶解性有机碳降解的速率较快,而后逐渐减慢并趋于稳定。从溶解性有机碳的降解情况来看,将棕壤溶解性有机碳分为降解速率不同的两个库分别为降解速率较快的易分解部分和降解速率很慢的稳定部分。不同肥力棕壤溶解性有机碳降解符合双指数的 1 次衰变模型。经过 42d 的培养,不同肥力棕壤有 27% ~ 32% 的溶解性有机碳被分解(表 3)。易降解溶解性有机碳所占比重为:棕壤低肥处理(24.52%) > 棕壤高肥处理(22.62%) > 棕壤林地(19.62%),并且周转时间均在 1d 以内。

2.2.2 不同肥力棕壤溶解性有机氮的生物降解特性

棕壤溶解性有机氮的降解情况同溶解性有机碳相似(图 2,表 4)。在培养初期,棕壤溶解性有机氮的分

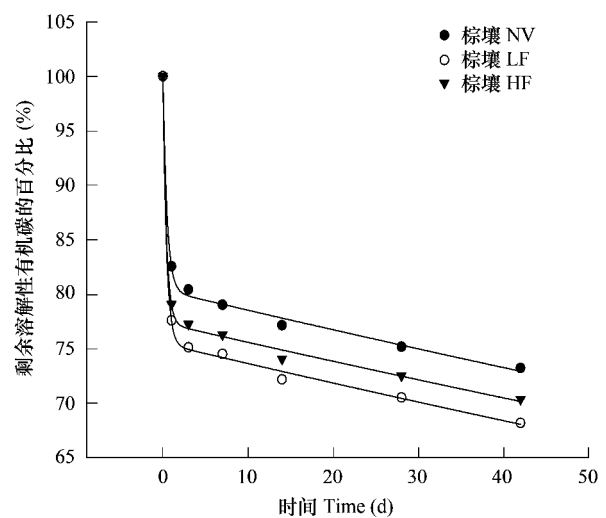


图 1 不同肥力棕壤剩余溶解性有机碳

Fig. 1 The amount of DOC in treatments with different fertility levels during the incubation

解速率非常快,而后逐渐减慢。不同肥力棕壤溶解性有机氮的降解同样符合一个双指数的一次衰变模型。棕壤溶解性有机氮也是由周转时间在 2d 左右的易降解部分和周转时间在 99 ~ 105d 左右的稳定部分的两个降解速率不同库组成。

表 4 棕壤溶解性有机碳降解常数

Table 4 The parameters of biodegradation of DOC in treatments with different fertility levels

棕壤处理 Brown earth	Rapid pool			Slow pool		
	$100 - b^a$ (%)	K_1 (d ⁻¹)	MRT(d)	b (%)	K_2 (d ⁻¹)	MRT ^b (d)
自然棕壤 NV	19.62	2.11	0.47	80.38	0.0023	434.8
低肥棕壤 LF	24.52	2.36	0.42	75.48	0.0025	400.0
高肥棕壤 HF	22.62	2.47	0.41	77.38	0.0023	434.8

a 降解模型为:剩余的溶解性有机碳% = $[(100 - b)e^{-k_1t}] + [be^{-k_2t}]$ The decay model: Remaining DOC % = $[(100 - b)e^{-k_1t}] + [be^{-k_2t}]$,

b: MRT = (1/k)

棕壤溶解性有机氮在培养初期降解速率低于溶解性有机碳,但是随着培养的进行降解速率却快于溶解性有机碳。经过 42d 的培养,不同肥力棕壤中有 49% ~ 54% 的溶解性有机氮被分解(表 3)。

2.2.3 培养前后棕壤溶解性有机质中碳氮比的变化

对培养前后棕壤溶解性有机质中碳氮比的变化研究发现随着培养的进行,剩余溶解性有机质中碳氮比值都较培养前有所增高(表 5)。由于溶解性有机氮的生物活性比溶解性有机碳要强,随着培养的进一步进行,后期浸提液中溶解性有机碳的降解速度已逐渐趋于稳定,而氮的降解还在继续进行,因此使剩余溶解性有机质中碳氮比的比值变大。对培养前后土壤溶解性有机质中碳氮比值进行了配对 *t* 检验,发现两者之间差异达到极显著水平($\text{sig} = 0.000^{**}$)。棕壤林地碳氮比值变化最大,低肥处理土壤次之,高肥处理土壤变化最小。

3 结论

棕壤林地土壤溶解性有机碳、氮的含量最高,有机一无机配施的高肥处理次之,低肥处理含量最低。土壤溶解性有机碳、溶解性有机氮与全碳、全氮和微生物量碳、氮的相关性达极显著水平,证明溶解性有机碳、氮与有机质之间的依赖关系是一条最为普遍的规律,与土壤肥力紧密相关,可以作为指示土壤肥力的重要指标。不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮的分解速率在培养初期较快,而后逐渐减慢。土壤溶解性有机碳、氮降解数据符合双指数衰变模型。土壤溶解性有机碳由降解速率不同的两个碳库组成:周转时间在 1d 以内的易分解部分和周转时间大约为 400d 的难分解部分。经过 42d 的培养,土壤中有 27% ~ 32% 的溶解性有机碳被分解利用,农田土壤溶解性有机碳的生物有效性较森林土壤高。土壤溶解性有机氮由周转速率大约为 2d 的易降解部分和周转速率在 99 ~ 105d 左右的难分解部分组成。溶解性有机氮在培养初期的降解速率低于溶解性有机碳,但是随着培养的进行,溶解性有机氮的降解速率却快于溶解性有机碳。经过 42d 的培养发现,无论何种土壤,浸提液中剩余溶解性有机质碳氮比值较培养前有所增加。

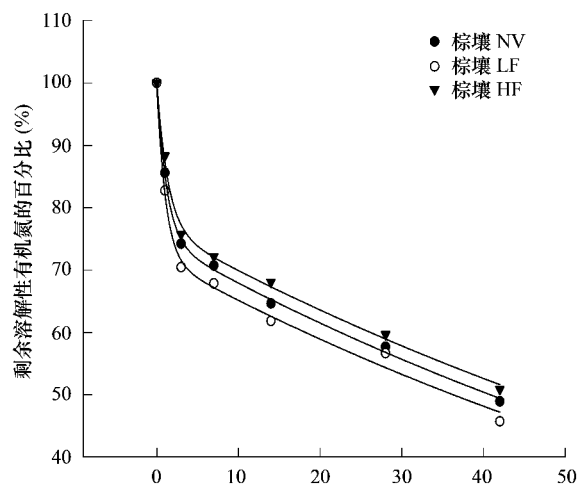


图 2 不同肥力棕壤中剩余溶解性有机氮

Fig. 2 The amount of DON in treatments with different fertility levels during the incubation

表 5 培养前后棕壤溶解性有机质中碳氮比的变化情况

Table 5 Ratio of C/N of dissolved organic matter at the initial and end of the incubation

土壤处理 Treatment	培养前 Initial	培养后 End
自然土壤 Native	11.40	16.85
低肥处理 Low fertility	8.88	13.17
高肥处理 High fertility	8.19	11.14

4 讨论

倪进治等对不同施肥处理下溶解性有机碳含量进行研究指出,溶解性有机碳的含量和组成以及微生物量碳含量的差异主要与肥料的种类和数量有关,有机-无机配合施用的土壤有机碳、微生物量碳和溶解性有机碳的含量都高于单施无机肥或对照土壤^[11]。王淑平等对我国东北地带性土壤活性有机碳的分布及其对气候变化的响应研究发现使用厩肥的土壤,溶解性有机碳含量明显高于对照和施用化肥处理的土壤^[12]。这是由于有机肥的投入,除了可以提供一定数量的溶解性有机碳、氮外,同时也使作物残茬、凋落物、根系分泌物以及微生物和动物的群落组成发生明显的变化,而这些都是增加土壤溶解性有机碳、氮的重要来源。低肥处理长期实行只取不予的掠夺式经营方式,导致土壤溶解性有机碳、氮含量明显降低,并随着耕作年限的增加,减少的趋势更明显^[13]。而自然林地生物群落组成丰富,通过增加微生物生物量、释放残体有机化合物以及分解其他不溶物质提高了土壤溶解性有机碳的含量^[14]。自然土壤转变成农田土壤后,土壤耕作包括机械耕翻等扰动过程,它不但影响土壤的物理化学性质,而且影响土壤的生物学特征。管理和利用方式不同程度增强了土壤的通透性和疏松程度,改善了微生物分解土壤有机质的环境,尤其是微生物较易利用的溶解性有机碳。另外,土壤溶解性有机碳、溶解性有机氮与全碳、全氮和微生物量碳、氮的相关性达极显著水平,表明溶解性有机碳、氮与有机质之间的依赖关系是一条最为普遍的规律,与土壤肥力紧密相关,可以作为指示土壤肥力的重要指标。

Boyer 等的研究发现农田土壤溶解性有机碳的生物有效性较森林土壤要高^[8],这与本试验的研究结果一致。Qualls 等对森林土壤溶解性有机碳成分化学特征的研究表明,含碳有机物含有的疏水基团比例较高,而疏水基团易被矿物表面吸附,矿物表面与有机质相互作用,降低溶解性有机碳的分解,因而使棕壤林地溶解性有机碳的生物活性降低^[5]。自然土壤耕作后,人为加入活性较高的有机物料以及作物根系分泌的高活性的溶解性有机碳的含量大大增加,使耕作土壤中易降解溶解性有机碳的比重增加。棕壤低肥处理易降解溶解性有机碳库所占的比重较大。可能是因为低肥处理土壤中有机碳含量相对较低,有机碳缺乏导致土壤生物对溶解性有机碳的活化,使得低肥处理土壤中易降解的溶解性有机碳的比重增加。难降解溶解性有机碳的半衰期为 400 ~ 435d,其中棕壤林地的半衰期最长,说明自然土壤溶解性有机碳的生物活性较低。棕壤林地由于像氨基糖这样含氮的复合体较丰富,并且在培养过程中优先分解,导致浸提液中溶解性有机氮的含量降低,而剩余的溶解性有机质中含氮少的复合体的比例增加,因此培养前后比值变化较大。棕壤低肥处理易降解溶解性有机氮的比重最高,由于低肥处理土壤长期实行只取不予的掠夺式经营方式,导致土壤溶解性有机质含量降低,土壤溶解性有机质的组成简单化,尤其是溶解性有机氮;随着培养的深入,溶解性有机氮中含氮复合体的抗生物分解能力降低。这也使培养前后土壤溶解性有机质碳氮比值增加的幅度较大。棕壤高肥处理易降解溶解性有机氮的比重最低,可能是因为有机无机肥料的施入使土壤具有了良好的肥力状况,使土壤溶解性有机质的组成复杂化,溶解性有机氮中含氮复合体的抗生物分解性增强,再者可能是由于培养过程中产生了一些可溶性的但并不被微生物进一步分解的有机复合体,使溶解性有机氮的生物活性降低。另外,高肥处理土壤由于有机无机肥料的施入,土壤具有良好的肥力状况,使土壤有机质的组成复杂化,溶解性有机氮中含氮复合体的抗生物分解性增强,因此培养前后碳氮比的比值变化较小。棕壤林地由于像氨基糖这样含氮的复合体较丰富,并且这些复合体的活性较强,因此易降解的溶解性有机氮的比重较高。难降解溶解性有机氮的半衰期为 99 ~ 105d,其中棕壤高肥处理的半衰期最长,说明高肥处理土壤溶解性有机氮中含氮复合体的抗生物分解性最强。

References:

- [1] Allard B. Humic substances in the aquatic and terrestrial environment. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [2] Frimmel F H. Humic substances and their role in the environment, In: Christman R F ed. Report of dahlm workshop on humic substances and their role in the environment. Chichester: Wiley, 1998.
- [3] Zhao J S, Zhang X D, Yuan X, Wang J. Characteristics and environmental significance of soil dissolved organic matter. Chinese Journal of Applied

- Ecology, 2003, 14(1): 126—130.
- [4] McDowell W H, Likens G E. Origin, composition, and flux of dissolved organic carbon in the Hubbard Brook Valley. *Ecol Monogr*, 1988, 58: 177—195.
- [5] Qualls R G, Haines B L. Geochemistry of dissolved organic nutrients in water percolating through a forest ecosystem. *S. S. S. J.*, 1991, 55: 1112—1123.
- [6] Zsolnay A. Dissolved humus in soil water. In: Piccolo A ed. *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, 1996. 171—223.
- [7] Bhogal A, Murphy D V, Fortune S, Shepherd M A, Hatch D J, Jarvis S C, Gaunt J L, Goulding K W T. Distribution of nitrogen pools in the soil profile of undisturbed and reseeded grasslands. *Biol. Fertil. Soils*, 2000, 30: 356—362.
- [8] Boyer J N, Groffman P M. Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles. *Soil Biol. Biochem*, 1996, 28: 783—790.
- [9] Nelson P N, Dector M C, Soulas G. Availability of organic carbon in soluble and particle-size fractions from a soil profile. *Soil Biol Biochem*, 1994, 26: 1549—1555.
- [10] Gregorich E G, Beare M H, Stoklas U. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. *Geoderma*, 2003, 113: 237—252.
- [11] Ni J Z, Xu J M, Xie Z M, Wang D J. Contents of WSOC and characteristics of composition under different fertilization systems. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(5): 724—730.
- [12] Wang S P, Zhou G S, Gao S H, Guo J P. Distribution of soil labile carbon along northeast china transect (NECT) and its response to climatic change. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(6): 780—785.
- [13] Zhang J B, Song C C, Yang W Y. Influence of land-use type on soil dissolved organic carbon in the Sanjiang Plain. *China Environmental Science*, 2005, 25(3): 343—347.
- [14] Whalen J K, Parmele R W, McCartney D A. Movement of N from decomposing earthworm tissue to soil, microbial and plant N pools. *Soil Biol Biochem*, 1999, 31: 487—492.

参考文献:

- [3] 赵劲松, 等. 土壤溶解性有机质的特性与环境意义. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 126 ~ 130.
- [11] 倪进治, 等. 不同施肥处理下土壤水溶性有机碳含量及其组成特征的研究. *土壤学报*, 2003, 40(5): 724 ~ 730.
- [12] 王淑平, 等. 中国东北样带土壤活性有机碳的分布及其对气候变化的响应. *植物生态学报*, 2003, 27(6): 780 ~ 785.
- [13] 张金波, 宋长春, 杨文燕. 土地利用方式对土壤水溶性有机碳的影响. *中国环境科学*, 2005, 25(3): 343 ~ 347.