

黄土区不同类型土壤可溶性有机氮的含量及特性

杨 绒<sup>1</sup>,严德翼<sup>1</sup>,周建斌<sup>1,2,\*</sup>,汪文霞<sup>1</sup>,马勤安<sup>3</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院 陕西 杨凌 712100 2. 农业部植物营养与养分循环重点实验室,北京 100081 ;  
3. 陕西省永寿县土肥站 陕西 永寿 713400 )

**摘要** 测定了黄土高原地区不同生态系统土壤中可溶性有机氮 (SON) 和游离氨基酸的含量,并分析了其与土壤其他性质之间的关系。结果表明 黑垆土、红油土和淋溶褐土中 SON 的平均含量分别为 24.75、39.10mg/kg 和 41.80mg/kg,占可溶性总氮 (TSN) 的 51.25%、68.28% 和 68.57%,分别为土壤全氮的 2.54%、3.75% 和 4.00%;土壤游离氨基酸的含量分别为 7.18、7.42mg/kg 和 7.41mg/kg,分别占 SON 的 30.53%、19.23% 和 17.50%,占全氮的 0.74%、0.71% 和 0.71%。方差分析结果表明,土壤类型对土壤 SON 含量及其在 TSN 和全氮中所占的比例、游离氨基酸在 SON 中所占的比例有显著影响,而对游离氨基酸的含量及其占土壤全氮比例的影响未达显著水平。枯枝落叶层中 SON 含量 (248.26 mg/kg) 为农田土壤 (24.75 mg/kg) 的 10 倍左右,且林地土壤 0~20 cm 土层 SON 含量 (31.03 mg/kg) 显著的高于当地农田,两种生态系统 0~20 cm 土层土壤中游离氨基酸含量 (7.18~7.32 mg/kg) 相当,但均极显著低于枯枝落叶层中游离氨基酸平均含量 (18.57 mg/kg)。相关分析结果表明,TSN、SON 以及游离氨基酸与全氮、硝态氮、铵态氮、有机质等各养分之间均有极显著的相关性。

**关键词** :可溶性有机氮,游离氨基酸,全氮,土壤类型,土壤养分

文章编号 :1000-0933 (2007) 04-1397-07 中图分类号 :Q143 文献标识码 :A

Soluble organic nitrogen (SON) in different soils on the loess Plateau of China

YANG Rong<sup>1</sup>,YAN De-Yi<sup>1</sup>,ZHOU Jian-Bin<sup>1,2,\*</sup>,WANG Wen-Xia<sup>1</sup>,MA Qin-An<sup>3</sup>

1 College of Natural Resources & Environmental Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi Province 712100, China  
2 Key Laboratory of Plant Nutrition and Nutrient Cycling, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China  
3 Yongshou Soil and Fertilizer Station, Yongshou, Shaanxi Province 713400, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (4) 1397~1403.

**Abstract** :Soluble organic nitrogen (SON) is defined as organic N that can be extracted from soil by water or salt solutions. The dynamics of SON in soil are different from the dynamics of mineral N and insoluble organic N. SON is a potential source of dissolved organic nitrogen (DON), which is considered to be one of the main forms of N lost from forest ecosystems. In addition, SON is also one of the labile N forms in soil that is available to plants and microorganisms. Therefore, SON plays a vital role in N cycling in forest ecosystems. Recently, researchers found that the SON content of some arable soils in England was as high as the mineral N content. Based on this finding, the scientists concluded that SON was an important pool in the N cycle. But, little is known about the amount of SON or its cycling dynamics in soils on the Loess Plateau of China.

基金项目 :国家自然科学基金资助项目 (30370288,40571087);农业部植物营养与养分循环重点实验室开放基金资助项目 (2005-7);西北农林科技大学拔尖人才支持计划资助

收稿日期 :2006-04-18;修订日期 :2006-11-28

作者简介 :杨绒 (1980~),女,陕西兴平人,硕士,主要从事土壤中可溶性有机氮研究. E-mail :cashmere28@126.com

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail :jbzhou@public.xa.sn.cn

**Foundation item** :The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30370288,40571087) and Key Laboratory of Plant Nutrition and Nutrient Cycling, Ministry of Agriculture and the Excellent Talents Program of Northwest A & F University

**Received date** 2006-04-18 ;**Accepted date** 2006-11-28

**Biography** :YANG Rong, Master candidate, mainly engaged in soil soluble organic nitrogen. E-mail :cashmere28@126.com

In this study ,15 soil samples (0 –20 cm ) were collected from three sites on the Loess Plateau with different climate and soil types. The soil types were Typ-Cal-Ustic Isohumisols at Yongshou , Typ-Eum-Orthic Anthrosols at Yangling , and Typic Hapli-Ustic Argosols at Zhouzhi. We extracted SON and free amino acid (FAA ) from soil samples with 1M KCl. The correlation coefficients between SON and FAA with various soil properties were also determined.

The average SON content in the Isohumisol was 24.75 mg/kg compared to 39.10 mg/kg in the Anthrosol and 41.80 mg/kg in the Argosol. On a percentage basis ,SON comprised 51.25% of the total soluble N (TSN ) and 2.54% of the total soil N in the Isohumisol. In comparison ,SON comprised 68.28% of the TSN and 3.75% of the total soil N in the Anthrosol and 68.57% of the TSN and 4.00% of total soil N in the Argosol. The average FAA concentration was 7.18 mgN/kg in the Isohumisol , compared to 7.42 mgN/kg in the Anthrosol and 7.41 mgN/kg in the Argosol. In the Isohumisol ,FAA accounted for 30.53% of the TSN and 0.74% of the total soil N. In comparison ,FAA made up 19.23% of the TSN and 0.71% of the total soil N in the Anthrosol and 17.50% of the TSN and 0.71% of the total soil N in the Argosol. Soil type had a significant effect on the SON content as well as the SON :TSN ,SON :total soil N and FAA :SON ratios ,but had no significant effect on the FAA concentration or the FAA :total soil N ratios.

In forest areas ,the SON concentration was 248.26 mg/kg in the litter and 31.03 mg/kg in the 0 –20 cm soil layer. These values were significantly higher than for arable soils in the same area (24.75 mg/kg ). The SON concentration in the litter layer of forest soil was 10-fold higher than in the arable soils. The FAA concentrations were similar in the 0 –20 cm layer of the arable and forest soils (7.18 –7.32 mgN/kg ) ,but significantly lower than in the litter layer (18.57mgN/kg ) of the forest. Correlation analysis showed that TSN ,SON and FAA were significantly correlated with total soil N ,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ,organic matter ,available K and available P ,indicating the important role of SON and FAA in the supply of N in these soils.

**Key Words :** soluble organic nitrogen (SON ) ;free amino acid (FAA ) ;total nitrogen ;soil types ;soil nutrients

土壤中95% 以上的氮素是以有机氮形式存在<sup>[1]</sup> ,其中有部分有机氮可以被盐溶液或水浸提出来 ,这一组分被称为可溶性有机氮 (Soluble Organic Nitrogen ,SON )<sup>[2]</sup>。可溶性有机氮是土壤有机氮中最活跃的组分 ,是土壤中溶解态有机氮 (Dissolved Organic Nitrogen ,DON )的潜在来源 ,二者之间存在密切的相关关系<sup>[2,3]</sup>。

一些研究发现 ,SON 与土壤有机氮素矿化及吸收有显著的相关性<sup>[1,3]</sup>。土壤 SON 能反映土壤有机氮矿化的难易程度 ,可作为反映土壤氮素矿化能力的一个指标<sup>[4,5]</sup>。土壤 SON 的成分比较复杂 ,主要以小分子含氮化合物如氨基酸、氨基糖、蛋白质等为主<sup>[2]</sup>。一些研究表明 ,游离氨基酸是土壤 SON 的重要组成部分<sup>[6]</sup>。在北极苔原生态系统中 ,植物吸收的氮素有10% ~82% 的来源于土壤中的游离氨基酸<sup>[7]</sup>。Streeter 等<sup>[8]</sup>研究表明 ,牧草地土壤质地不同 ,氨基酸态氮对 SON 的贡献也表现出差异。因此 ,SON 是土壤生态系统中不可忽视的氮素组分 ,与土壤氮素矿化、固持、淋失和植物吸收等有密切的联系。

有研究发现 ,DON 是林地土壤氮素淋溶损失的主要形态 ,约占淋溶总氮的90% 以上<sup>[9,10]</sup>。Perakis 等对未受污染的南美地区森林生态系统氮素循环的研究也表明 ,可溶性有机态氮是这一生态系统氮素流失的主要形态 ,认为目前北美、欧洲等地区森林地区河流中高水平的无机氮是人类活动产生的污染所致<sup>[11]</sup>。DON 对重金属淋溶也有明显的促进作用<sup>[9,10]</sup>。可见 ,SON 不仅是土壤微生物和植物吸收利用氮素的直接或潜在来源 ,而且会对陆地生态环境产生重要影响<sup>[1-3,9,12]</sup>。

然而 ,目前关于土壤中 SON 和 DON 的研究主要集中在林地生态系统 ,对农田生态系统中 SON 和可溶性游离氨基酸含量、影响因素及其与土壤其他养分之间的关系 ,尚缺乏研究。因此 ,本研究采集黄土高原地区2种生态系统 (农田和林地 )中3种主要土壤类型土样 ,研究了其中 SON 和游离氨基酸的含量及其与土壤养分之间的关系 ,以及土壤类型和植被对其 SON 和游离氨基酸的含量的影响 ,旨在初步评价黄土高原不同生态系统中 SON 含量及其特性 ,为进一步深入研究这一氮素组分在土壤氮素转化中的作用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况及土样的采集

供试土壤于 2005 年 9 月分别采自陕西省黄土区的永寿县、杨凌区和周至县 3 个不同地域,土壤类型分别为黑垆土、红油土和淋溶褐土,按系统分类分别属普通钙积干润均腐土、普通土垫旱耕人为土和普通简育干润淋溶土。这些地区均属半湿润易旱地区,为温带大陆性季风气候,其中永寿县地处渭北旱塬西部,年平均气温 10.8℃,年平均降水量 609.8 mm。杨凌区为黄土高原南部,年均气温 12.9℃,年平均降水量 632 mm。周至县地处秦岭北麓,年平均气温 13.2℃,年平均降水量 674.3 mm。

在上述每个地区各选择 3 块农田,采集 0~20 cm 土层土壤样品;同时在永寿县选择了 3 块刺槐林地,分别采集枯枝落叶层和 0~20 cm 土层样品。农田种植作物为玉米。采样时在每块样地采集混合样品,然后去除可见的植物残体和根系,共采集 15 个土样。新鲜土样采回后分为两部分,一部分过 3 mm 筛后置于 4℃ 下保存,用于测定土壤硝态氮和铵态氮、TSN、SON 及游离氨基酸含量;另一部分在室内风干后过 1 mm 和 0.25 mm 筛,测定土壤其他养分状况(pH、有机质、全氮、速效钾、速效磷)。供试土样基本性状见表 1 和表 2。

表 1 供试农田土壤基本性状  
Table 1 Basic chemical properties of the arable soils

土壤编号 Soil No.	土壤类型 Soil types	有机质 (g/kg) Organic matter	全氮 (mg/kg) Total-N	硝态氮 (mg/kg) NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	铵态氮 (mg/kg) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	速效 P (mg/kg) Available P	速效 K (mg/kg) Available K	pH
1	黑垆土 Isohumisols	14.32	0.92	14.53	12.60	13.26	128.07	7.51
2		14.53	1.00	12.17	16.57	15.30	289.17	7.59
3		17.05	0.98	11.31	3.47	11.08	109.21	6.65
4	红油土 Anthrosols	13.53	0.96	11.61	3.42	9.97	152.22	7.60
5		17.66	1.14	22.36	7.22	31.44	152.40	7.74
6		15.32	1.08	13.22	5.81	14.68	135.41	7.71
7	淋溶褐土 Argosols	16.47	1.06	10.45	6.46	8.60	128.34	7.65
8		13.44	1.01	13.37	5.19	15.99	123.55	7.64
9		15.41	1.05	9.06	3.79	18.22	84.06	5.48

表 2 供试林地土壤基本性状  
Table 2 Basic chemical properties of the forest soils

土壤类型 Soil types	土层 Soil layer	有机质 (g/kg) Organic matter	全氮 (mg/kg) Total-N	硝态氮 (mg/kg) NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	铵态氮 (mg/kg) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	速效 P (mg/kg) Available P	速效 K (mg/kg) Available K	pH
黑垆土 Isohumis-ols	0~20cm	28.17	1.55	24.30	15.91	6.00	131.96	6.32
		29.34	1.68	21.04	15.09	4.82	132.25	7.73
		23.25	1.44	20.60	16.57	5.81	127.88	7.68
	枯枝落叶层 Litter layer	119.33	5.62	31.65	32.16	12.51	483.47	6.50
		109.30	5.18	34.04	51.49	14.37	508.00	7.32
		133.77	6.40	34.07	45.00	14.99	541.50	7.40

1.2 测定项目与方法

(1)土壤无机氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N):采用 1 mol/L KCl 浸提(水:土=10:1)土样,220 r/min 振荡 1 h,先用粗滤纸过滤,然后将滤液用 0.45 μm 的滤膜再次过滤。用流动分析仪分别测定滤液中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量。

(2)土壤可溶性全氮(TSN):将上述测定无机氮所用的滤液,采用过硫酸钾氧化法测定其可溶性全氮含量,其中氧化剂采用 0.15 mol/L 的 NaOH 和 3% K<sub>2</sub>S<sub>8</sub>O<sub>4</sub> 配比,高压锅 120℃ 氧化 30 min,采用紫外分光光度法测定<sup>[13]</sup>。

(3)土壤可溶性有机氮(SON):可溶性全氮和无机氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 之和)含量之差即为 SON 的

含量<sup>[3,14]</sup>。

(4)土壤游离氨基酸:用茚三酮比色法测定<sup>[15,16]</sup>,即采用 1 mol/L KCl 浸提(水:土=5:1)土样,220 r/min 振荡 1 h,过滤。在刻度试管中加入 2 ml 滤液,并缓慢加入 1.25 ml 茚三酮试剂,加塞密闭,95℃水浴 25 min,标准溶液与样品进行同样处理。取出试管冷却至室温,然后向每管加入 4.5 ml 10%的乙醇溶液,混匀。以空白为对照,于 570 nm 波长下比色,测定吸光值。作者曾配制不同浓度梯度的亮氨酸标准溶液,观察吸光度与氨基酸含量之间的决定系数,重复 3 次。结果证明,其吸光度值与氨基酸浓度之间的决定系数达到 0.9995,标准差在 0~0.01 之间,变异系数小。

土壤其它养分均采用常规方法测定,所有数据采用 SAS 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土壤 SON 的含量

由表 3 可以看出,黑垆土、红油土和淋溶褐土中 SON 的平均含量分别为 24.75、39.10 和 41.80 mg/kg,分别占土壤 TSN 的 51.25%、68.28%和 68.57%,分别为土壤全氮的 2.54%、3.75%和 4.00%。方差分析表明,不同类型土壤中 SON 含量及其占 TSN 和土壤全氮的比例存在显著差异,并且具有相同的变化趋势。黑垆土 SON 含量及占 TSN 和土壤全氮的比例显著低于淋溶褐土和红油土,淋溶褐土与红油土的 SON 含量及占 TSN 和土壤全氮比例间的差异未达显著水平。不同类型土壤 SON 含量及其占 TSN 和土壤全氮的比例差异的原因,可能与这些土壤所处的水热状况差异引起的土壤质地、有机质分解速率的不同有关。

Table 3 Contents of SON and free amino acid in the arable soils of the different soil types								
土壤编号 Soil No.	土壤类型 Soil types	可溶性有机氮 (mg/kg)SON	游离氨基酸 (mgN/kg) FAA	可溶性全氮 (mg/kg) TSN	SON/TSN (%)	SON/全氮 (%) SON/TN	游离氨基酸 /SON (%) FAA/SON	游离氨基酸 /全氮 (%) FAA/TN
1	黑垆土 Isohumis-ols	18.09 ± 3.46	7.36 ± 1.04	45.21 ± 10.38	40.01	1.96	40.68	0.80
2		31.56 ± 1.37	7.49 ± 2.32	60.30 ± 1.43	52.34	3.15	23.73	0.75
3		24.61 ± 2.11	6.68 ± 1.06	39.39 ± 2.36	62.49	2.50	27.16	0.68
	平均 Average	24.75 b	7.18 a	48.30 b	51.25 b	2.54 b	30.53 a	0.74 a
4	红油土 Anthrosols	48.67 ± 0.19	7.99 ± 1.21	65.57 ± 1.38	74.22	5.04	16.42	0.83
5		31.89 ± 4.56	5.98 ± 0.94	50.45 ± 4.75	63.21	2.80	18.76	0.52
6		36.75 ± 1.69	8.28 ± 1.17	55.78 ± 2.57	65.89	3.40	22.52	0.77
	平均 Average	39.10 a	7.42 a	57.27 a	68.28 a	3.75 a	19.23 b	0.71 a
7	淋溶褐土 Argosols	44.83 ± 8.49	5.82 ± 0.84	57.68 ± 8.70	77.72	4.22	12.98	0.55
8		30.58 ± 3.39	5.26 ± 0.36	45.60 ± 3.62	67.05	3.03	17.19	0.52
9		49.98 ± 0.89	11.16 ± 1.28	79.57 ± 0.83	62.82	4.74	22.33	1.06
	平均 Average	41.80 a	7.41 a	60.95 a	68.57 a	4.00 a	17.50 b	0.71 a

①表中数据为平均值 ± 标准差 (n = 3);②同列数据标有不同小写字母表示处理间差异显著 (P < 0.05)。③ TN 代表全氮;FAA 代表游离氨基酸;下同 ①The data in the table indicates as means ± SD (n = 3);②Values with different lowercases in the same column are of significant difference (P < 0.05)。③ TN is total nitrogen;FAA is free amino acid;the same below

由表 4 可知,林地土壤枯枝落叶层中 SON 含量为 245.11~254.32 mg/kg,平均 248.26 mg/kg,占 TSN 的 74.07%~79.91%,占土壤全氮的 3.84%~4.73%。林地 0~20 cm 土层 SON 含量为 21.80~38.64 mg/kg,平均为 31.03 mg/kg,占 TSN 的 37.60%~50.68%,占土壤全氮的 1.30%~2.69%。可见,枯枝落叶层中 SON 含量高达农田土壤中 SON 含量(24.75 mg/kg)的 10 倍左右,且林地土壤 0~20 cm 土层 SON 含量显著高于同一地区的农田土壤(表 3 和表 4),这与枯枝落叶层中 DON 的淋溶作用有关<sup>[7]</sup>。

### 2.2 不同土壤可溶性游离氨基酸的含量

黑垆土、红油土和淋溶褐土中游离氨基酸的平均含量分别为 7.18、7.42mg/kg 和 7.41mg/kg,分别占 SON 的 30.53%、19.23%和 17.50%,占全氮的 0.74%、0.71%和 0.71%(表 3)。方差分析表明,3 种土壤游离氨基酸的含量及其占全氮的比例之间均无显著性差异,而游离氨基酸占 SON 的比例之间存在显著差异,黑垆土

中氨基酸占 SON 的比例显著高于淋溶褐土和红油土。这可能与不同类型土壤中 SON 组分不同有关。

由表 4 可知 ,林地枯枝落叶层中游离氨基酸含量 10.95 ~ 25.47 mgN/kg ,占 SON 的 4.46% ~ 10.02% ,占土壤全氮的 0.17% ~ 0.45% (表 4)。0 ~ 20 cm 土层游离氨基酸含量为 6.82 ~ 7.90 mgN/kg ,占 SON 的 20.45% ~ 31.27% ,占土壤全氮的 0.41% ~ 0.55%。林地枯枝落叶层游离氨基酸含量 (18.57 mgN/kg)约为 0 ~ 20 cm 土层游离氨基酸含量 (7.32 mgN/kg)的 2.5 倍。比较黑垆士林地和农田土壤中游离氨基酸含量 (表 3 和表 4)可以发现 ,林地 0 ~ 20 cm 土层游离氨基酸平均含量 (7.32 mgN/kg)和农田土壤中游离氨基酸含量 (7.18 mgN/kg)相当 ,但均极显著的低于枯枝落叶层中游离氨基酸平均含量 (18.57 mgN/kg)。

表 4 林地土壤中 SON 和游离氨基酸含量  
Table 4 Content of SON and free amino acid in the forests soil

土壤编号 Soil No.	土层 Soil layer	可溶性有机氮 (mg/kg ) SON	游离氨基酸 (mgN/kg ) FAA	可溶性全氮 (mg/kg ) TSN	SON/TSN (% )	SON/全氮 (% ) SON/TN	游离氨基酸 /SON (% ) FAA/SON	游离氨基酸 /全氮 (% ) FAA/TN
1	枯枝落叶层 Litters	254.32 ± 16.99	25.47 ± 2.44	318.13 ± 17.25	79.91	4.52	10.02	0.45
2		245.11 ± 23.51	19.29 ± 0.82	330.64 ± 24.05	74.07	4.73	7.87	0.37
3		245.35 ± 22.13	10.95 ± 0.98	324.41 ± 22.08	75.57	3.84	4.46	0.17
平均 Average		248.26	18.57	324.39	76.52	4.36	7.45	0.33
1	0 ~ 20cm	32.64 ± 1.69	7.23 ± 0.84	72.85 ± 0.78	44.79	2.10	22.17	0.47
2		21.80 ± 1.80	6.82 ± 1.29	57.93 ± 1.59	37.60	1.30	31.27	0.41
3		38.64 ± 7.86	7.90 ± 1.61	75.80 ± 10.58	50.68	2.69	20.45	0.55
平均 Average		31.03	7.32	68.86	44.36	2.03	24.63	0.48

2.3 土壤 SON 和游离氨基酸含量与土壤其他性质的关系

分析了不同类型土壤 TSN、SON、氨基酸含量和土壤其他养分的关系。由表 5 可以看出 ,TSN、SON 以及游离氨基酸除与土壤速效磷含量间无显著相关性外 ,与全氮、硝态氮、铵态氮、有机质等各养分之间均有极显著的相关性。其中 TSN 与全氮、硝态氮、铵态氮、有机质、SON 的相关程度最高 ,SON 次之 ,而游离氨基酸与上述各养分的相关程度最低。

表 5 不同土壤各养分之间的相关分析结果  
Table 5 Correlation coefficients between the different nutrients in soils

项目 Item	有机质 Organic matter	全氮 Total-N	硝态氮 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	铵态氮 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	可溶性全氮 TSN	可溶性有机氮 SON	游离氨基酸 FAA
TSN	0.985 **	0.984 **	0.924 **	0.818 **	0.048	0.951 **	—	0.995 **	0.843 **
SON	0.947 **	0.977 **	0.905 **	0.771 **	0.076	0.978 **	0.995 **	—	0.851 **
游离氨基酸 FAA	0.787 **	0.780 **	0.667 **	0.644 **	0.015	0.755 **	0.843 **	0.851 **	—

$n = 15 ; df = 13 , r_{(0.05)} = 0.514 ; r_{(0.01)} = 0.641 ; * *$  表示达 0.01 极显著水平 Significance at  $P < 0.01$

3 讨论

3.1 不同土壤中 SON 的含量及其影响因素

林地土壤 SON 的含量国外已进行了大量的研究<sup>[1,18]</sup>。如 Huang 等报道 ,林地土壤中 Oi 层土壤 SON 含量为 52 ~ 216 mg/kg ,Oe 层为 29 ~ 64 mg/kg ,Oa 层为 8 ~ 34 mg/kg<sup>[19]</sup>。Chen 等用 2 mol/L KCl 浸提的 22 个林地 0 ~ 10 cm 土层 SON 的含量为 5 ~ 45 mg/kg ,平均占 TSN 的 39% ,占土壤全氮的 2.3%<sup>[4]</sup>。Zhong 等人报道 ,林地不同层次土壤中 SON 含量占土壤全氮的 0.3% ~ 2.2%<sup>[5]</sup>。本研究结果中 ,林地土壤枯枝落叶层中 SON 的平均含量为 248.3 mg/kg ,林地 0 ~ 20 cm 土层 SON 平均含量为 31.0 mg/kg ,占土壤全氮的比例平均为 2.03%。林地土壤 SON 含量及其占土壤全氮的比例与其他研究者的结果相近 ,而枯枝落叶层 SON 含量相对较高 ,这可能与林地栽植的树种有关。测定林地 0 ~ 20 cm 土层 SON 平均含量显著地高于相应的农田土壤 ,证

实 SON 是林地土壤生态系统中氮素养分迁移转化的主要形式。

Murphy 等对英国 12 个农田土壤的测定发现 ,KCl 提取的土壤 SON 含量在 22 ~ 34kg /hm<sup>2</sup> 之间 ,约占土壤可溶性氮总量的 40% ~ 50%<sup>[2]</sup>。Willett 等测定了 7 种不同耕作土壤 SON 的含量 ,结果表明 ,土壤 SON 在 15 ~ 20 mg/kg 之间 ,占 TSN 的 79% 左右<sup>[20]</sup>。Bhogal 等对英国两个地方草地土壤 SON 含量的研究发现 ,土壤 SON 占土壤可溶性全氮量的比例在 16.7% ~ 89.3% 之间 ,平均为 42.3% ,一些土壤 SON 的含量高达 57 mg/kg<sup>[21]</sup>。本研究表明 ,黄土地区不同农田土壤中 SON 的平均含量为 24.8 ~ 41.8 mg/kg ,占土壤可溶性总氮含量的 51% ~ 69% (表 3)。不同研究者测定的土壤 SON 的含量虽然存在差异 ,但 SON 占可溶性氮总量的比例多超过 50% ,表明 SON 也是农田和草地生态系统土壤可溶性氮中不可忽视的组成成分。

土壤中的 SON 可能来源于土壤有机质或施入有机肥料的分解 ,或微生物及根系代谢产物和分泌物等<sup>[22]</sup>。因此 ,土壤 SON 的含量受覆盖物种类、气候、微生物活性等一系列因素的控制<sup>[18 22]</sup>。与林地土壤相比 ,农田土壤中可溶性有机氮的来源及影响其含量的因素更为复杂 ,受作物及施肥等因素的影响 ,这也是测定的农田土壤 SON 变异较大的原因之一<sup>[22]</sup>。本研究结果表明 ,土壤类型对 SON 含量及其占 TSN 和土壤全氮的比例有显著影响。因此 ,有必要系统研究不同生态系统土壤中 SON 的含量及其变化特性 ,以评价这一氮素组分在土壤氮素循环中的作用。

3.2 游离氨基酸-土壤 SON 的组分之一

尽管 SON 在土壤氮素转化中具有重要作用 ,但目前关于其化学组分仍不清楚。一些研究认为 ,土壤中的 SON 可能是由游离氨基酸、多缩氨基酸、氨基糖、蛋白质、多羟基类等化合物组成<sup>[23]</sup>。Paul 等对苏格兰草地的研究表明 ,提取的游离氨基酸占土壤 DON 的比例在 5% ~ 26% 之间<sup>[10]</sup>。其他学者发现 ,林地土壤中游离氨基酸占 SON 的 1.5% ~ 25%<sup>[23 24]</sup>。游离氨基酸含量一般不超过可溶性总氮 (TSN) 的 10%<sup>[25]</sup>。在草地和森林条件下总 SON 量通常要高 ,氨基化合物的比例也比耕地土壤的大<sup>[26]</sup>。关于提取液中游离氨基酸的含量 ,国内研究相对较少。李世清等研究了不同生态系统 0 ~ 20 cm 土层土壤游离氨基酸的含量 ,结果表明 ,游离氨基酸的平均含量为 6.28 mgN/kg ;不同土壤类型相比以高山草甸土最高 ,为 14.58 mgN/kg<sup>[26]</sup>。

本研究结果表明 ,黄土高原地区不同土壤提取液中游离氨基酸占土壤 SON 的比例在 17.5% ~ 30.5% 之间 ,占土壤全氮的 0.7% 左右 (表 3)。由于游离氨基酸可以被植物吸收<sup>[7]</sup> ,同时会较快为土壤微生物所降解<sup>[27]</sup>。因此 ,它应是土壤 SON 中较为活跃的组分之一 ,有必要进一步研究其在土壤氮素供应中的作用。

3.3 土壤 SON 和可溶性游离氨基酸与土壤氮素供应的关系

窦华亭等在德国的研究发现 ,EUF 和 0.05 mol/L CaCl<sub>2</sub> 提取的土壤 SON 含量与小麦产量间呈极显著正相关 ,即土壤中 SON 含量愈高 ,其后期供 N 能力也就愈强<sup>[1]</sup>。Chen 等报道 ,土壤 SON 与土壤全氮、有机质、可溶性有机碳、微生物氮、无机氮含量间均具有显著的相关性<sup>[14]</sup>。王清奎等发现 ,杉木人工林土壤中 SON 含量与土壤全氮、全钾、铵态氮和速效钾也均呈显著正相关<sup>[28]</sup>。Zhong 等研究发现 ,提取的林地土壤 SON 与 TSN 和微生物 N 之间均有显著的相关性 ,而与无机 N 之间则无显著相关性<sup>[3]</sup>。SON 是土壤微生物氮的源和库 ,土壤有机氮和微生物氮均是土壤中 SON 的重要来源<sup>[3 14]</sup>。本研究也从相关分析方面分析了黄土高原地区不同土壤 SON 和游离氨基酸含量与土壤其他性质的关系。结果表明 ,土壤 TSN、SON 以及游离氨基酸含量与土壤全氮、硝态氮、铵态氮、有机质等各养分之间均有显著或极显著的相关性 ,说明土壤 SON 和游离氨基酸含量与土壤氮素养分的供应有密切的联系。可以看出 ,不同学者的研究结果均表明 ,土壤 SON 与土壤氮素供应间具有紧密的相关性 ,进一步说明了 SON 在土壤氮素供应中具有重要作用。

上述研究均是通过相关分析方法评价土壤 SON 或游离氨基酸在土壤氮素供应中的作用。应该看到 ,相关关系密切 ,并不能说明其在土壤氮素供应中所贡献的数量。因此 ,建议采用严格的培养试验方法 ,研究土壤 SON 的矿化特性 (包括矿化系数、半生命期等) ,以定量地评价其在土壤氮素供应中的作用。

References :

[1] Dou H T ,Zhang F S ,Liu Q Q. Availability of soil organic nitrogen and its importance in the fertilization. Journal Beijing Agriculture University ,  
<http://www.ecologica.cn>

1993 , 19 ( 3 ) : 71 ~ 78.

[ 2 ] Murphy D V , Macdonald A J , Stockdale E A , *et al.* Soluble organic nitrogen in agriculture soils. *Biol. Fertil. Soils* , 2000 , 30 : 374 ~ 387.

[ 3 ] Zhong Z K , Makeshin F. Soluble organic nitrogen in temperate forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* , 2003 , 35 : 333 ~ 338.

[ 4 ] Nemeth K , Bertels H , Vogel M , *et al.* Organic nitrogen compounds extracted from marable and forest soils by electro-ultrafiltration and recovery rates of amino acids. *Biol. Fertil. Soils* , 1998 , 5 : 271 ~ 275.

[ 5 ] Groot J J R , Houba V J G. A comparison of different indices for nitrogen mineralization. *Biol. Fertil. Soils* , 1995 , 19 : 1 ~ 9.

[ 6 ] Paul J P , Williams B L. Contribution of  $\alpha$ -amino N to extractable organic nitrogen ( DON ) in three soil types from the Scottish uplands. *Soil Biology and Biochemistry* , 2005 , 37 : 801 ~ 803.

[ 7 ] Kielland K. Amino acid absorption by arctic plants : implications for plant nutrition and nitrogen and nitrogen cycling. *Ecology* , 1994 , 75 : 2373 ~ 2383.

[ 8 ] Streeter T C , Bol R. , Bardgett R D. Amino acids as a nitrogen source in temperate upland grasslands : the use of dual labeled ( C-13 , N-15 ) glycine to test for direct uptake by dominant grasses. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* , 2000 , 14 : 1351 ~ 1355.

[ 9 ] Huang Z C , Chen T B , Lei M. Environment effects of dissolved organic matters in Terrestrial ecosystems : a review. *Acta Ecologica Sinica* , 2002 , 22 ( 2 ) : 259 ~ 266.

[ 10 ] Qualls R G , Haines B L , Swank W T. Fluxes of dissolved organic nutrients and humic substances in a deciduous forest. *Ecology* , 1991 , 72 : 254 ~ 266.

[ 11 ] Perakis S S , Hedin L O. Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds. *Nature* , 2002 , 415 #16 ~ 419.

[ 12 ] Zhou J B , Chen Z J , Zheng X F. Soluble organic nitrogen in soil and its roles in the supply and transformation of N. *Chinese Journal of Soil Science* , 2005 , 36 ( 2 ) : 244 ~ 247.

[ 13 ] Yang R , Zhao M X , Zhou J B. Effects of different conditions on the different of total nitrogen in solution by persulfate oxidation method. *J. Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. For.* , 2005 , 33 ( 12 ) : 107 ~ 111.

[ 14 ] Chen C R , Xu Z H , Zhang S L , *et al.* Soluble organic nitrogen pools in forest soils of subtropical Australia. *Plant and Soil* , 2005 , 277 : 285 ~ 297.

[ 15 ] Moore S , Stein W H. Photometric ninhydrin method for use in the chromatography of amino acids. *Biol. Chem.* , 1948 , 176 : 367 ~ 388.

[ 16 ] Joergensen R G. Quantification of microbial biomass by determining ninhydrin-reactive N. *Soil Biology and Biochemistry* , 1996 , 28 : 301 ~ 306.

[ 17 ] Michalzik B , Kalbitz K , Park J H , *et al.* Fluxes and concentrations of dissolved organic carbon and nitrogen——a synthesis for temperate forests. *Biogeochemistry* , 2001 , 52 ( 2 ) : 173 ~ 205.

[ 18 ] Kalbitz K , Solinger S , Park J H , *et al.* Controls in the dynamics of dissolved organic matter in soils : A review. *Soil Sci.* , 2000 , 165 ( 4 ) : 277 ~ 304.

[ 19 ] Huang W Z , Schoenau J J. Fluxes of water-soluble nitrogen and phosphorus in the forest floor and surface mineral soil of a boreal aspen stand. *Geoderma* , 1998 , 81 : 251 ~ 264.

[ 20 ] Willett V B , Green J J , Macdonald A J , *et al.* Impact of land use on soluble organic nitrogen in soil. *Water , Air , and Soil Pollution* , 2004 , Focus4 : 53 ~ 60.

[ 21 ] Bhogal A , Murphy D V , Fortune S , *et al.* Distribution of nitrogen pools in the soil profile of undisturbed and reseeded grasslands. *Biol. Fertil. Soils* , 2000 , 30 : 356 ~ 362.

[ 22 ] Chapman P J , Williams B L , Hawkins A. Influence of temperature and vegetation cover on soluble inorganic and organic nitrogen in a spodosol. *Soil Biology and Biochemistry* , 2001 , 33 ( 7 ) : 1113 ~ 1121.

[ 23 ] Hannam K D , Prescott C E. Soluble organic nitrogen in forests and adjacent clearcuts in British Columbia , Canada. *Can. J. For. Res.* , 2003 , 33 : 1709 ~ 1718.

[ 24 ] Jones D L , Kielland K. Soil amino acid turnover dominates the nitrogen flux in permafrost-dominated taiga forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* , 2002 , 34 : 209 ~ 219.

[ 25 ] Mengel K , Schneider B , Kosegarten H. Nitrogen compounds extracted by electroultrafiltration ( EUF ) or CaCl<sub>2</sub> solution and their relationships to nitrogen mineralization in soils. *J Plant Nutr. Soil Sc.* , 1999 , 162 : 139 ~ 148.

[ 26 ] Li S Q , Li S X , Yang Z L. Constituent and amount of amino acid in different ecological system soils. *Acta Ecologica Sinica* , 2002 , 22 ( 3 ) : 379 ~ 386.

[ 27 ] Jones D L , Shannon D , Murphy D V , *et al.* Role of dissolved organic nitrogen ( DON ) in soil N cycling in grassland soils. *Soil Biology & Biochemistry* , 2004 , 36 : 749 ~ 756.

[ 28 ] Wang Q K , Wang S L , Feng Z W. A study on dissolved organic carbon and nitrogen nutrients under Chinese firplantation : relationships with soil nutrients. *Acta Ecologica Sinica* , 2005 , 25 ( 6 ) : 1299 ~ 1305.

参考文献：

[ 1 ] 窦华亭 , 张福锁 , 刘全清. 土壤中有机关态氮对作物的有效性及其在推荐施肥中的作用. *北京农业大学学报* , 1993 , 19 ( 3 ) : 71 ~ 78.

[ 9 ] 黄泽春 , 陈同斌 , 雷梅. 陆地生态系统中水溶性有机质的环境效应. *生态学报* , 2002 , 22 ( 2 ) : 259 ~ 266.

[ 12 ] 周建斌 , 陈竹君 , 郑险峰. 土壤可溶性有机氮及其在氮素供应及转化中的作用. *土壤通报* , 2005 , 36 ( 2 ) : 244 ~ 247.

[ 13 ] 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研究. *西北农林科技大学学报* , 2005 , 33 ( 12 ) : 107 ~ 111.

[ 26 ] 李世清 , 李生秀 , 杨正亮. 不同生态系统土壤氨基酸氮的组成及含量. *生态学报* , 2002 , 22 ( 3 ) : 379 ~ 386.

[ 28 ] 王清奎 , 汪思龙 , 冯宗炜. 杉木人工林土壤可溶性有机质及其与土壤养分的关系. *生态学报* , 2005 , 25 ( 6 ) : 1299 ~ 1305.