

黄绵土不同形态有机氮径流流失规律³

张兴昌 邵明安

(中国科学院, 水利部水土保持研究所)

摘要: 利用不同坡度径流小区, 在自然降水条件下, 研究侵蚀泥沙不同形态有机氮的流失规律, 结果表明: 在 4 次产流泥沙中, 除氨基糖氮含量减少外, 其它有机形态氮均存在增加趋势, 以氨态氮含量增加最为显著。随坡度的下降, 水解全氮、氨态氮和氨基酸氮含量呈增加趋势; 泥沙中水解全氮、氨基酸氮、氨态氮、非酸水解氮均存在不同程度的富集, 其富集率随坡度的下降而增大, 以氨基酸氮富集程度高, 泥沙中氨基糖态氮反而无富集现象存在; 当坡度分别为 25°、20°、15°、10° 和 5° 时, 水解全氮流失量分别为 1135.0、763.7、485.5、313.0 和 154.4 kgökm², 而氨基酸氮流失量则为 234.8、182.7、121.1、76.8 和 33.9 kgökm², 占水解全氮的 20.6%~24.9%。氨态氮流失量为 742.5、503.3、322.2、208.9、97.4 kgökm², 占水解全氮的 63.1%~66.7%。氨基糖氮占酸水解氮 1.1%~2.9%。非鉴别氮占水解全氮的 5.8%~12.6%。而酸水解氮与非酸水解氮之比分别为 1.5、1.5、1.4、1.8 和 2.3。

关键词: 侵蚀泥沙; 有机态氮; 富集率; 有机氮径流流失

土壤有机氮是土壤全氮最为重要的组成部分。Stevenson、Sowden 和 Smithies^[1] 等人利用不同酸及其浓度对土壤有机氮进行水解, 并对有机氮分组, 研究不同形态有机氮的有效性。1965 年 Bremner^[4] 完善和发展了酸水解理论, 用 6 mol/L HCl 在加热条件下水解土壤有机态氮, 然后采用不同化学方法测定水解液中有关形态氮的含量。据此, 将土壤有机态氮划分为氨态氮、氨基酸态氮、氨基糖态氮、酸解未知部分氮和非酸解态氮等组分^[2]。酸解液中的氨态氮部分来自无机氮, 部分则来自氨基糖和氨基酸氮, 氨基酸氮主要来自蛋白质的水解, 氨基糖氮的主要成分为葡萄糖氨, 酸解未知氮部分可能包括核酸及其衍生物、磷脂、维生素及其它衍生物^[3]。

早期的研究^[5,7] 表明, 绝大部分的土壤有机质与土壤沙粘粒组分结合。随土壤细颗粒含量增加, 土壤有机氮矿化速率更加稳定^[6,8]。Schnitzer 等人^[9,10] 于 1982 和 1992 年发现氨态氮易与土壤粗颗粒结合, 氨基糖氮与不同土粒结合程度相对一致。

土壤颗粒组成影响土壤有机态氮素的矿化, 与不同颗粒结合的有机形态氮素亦有不一致性, 在侵

蚀过程中, 土壤粘粉粒和粘粒的选择侵蚀造成泥沙粘粒的富集和吸附有机质的富集, 在一定程度上也造成泥沙中一些有机态氮的富集和流失, 但不同有机形态氮素在泥沙的富集和流失状况, 迄今为止尚未见报道。本项研究在自然降雨条件下, 研究不同坡度土壤和泥沙有机态氮素组成、富集和流失规律, 旨在揭示土壤有机态氮素的径流流失规律。

1 试验与方法

1.1 试验设计

在中国科学院安塞水土保持综合试验站川地建设 6 个不同坡度径流小区, 坡度依次为 0°、5°、10°、15°、20°、25°; 小区投影面积为 1.5 m × 4.0 m, 坡向东偏北 12°。每小区四周用砖块砌封, 深度 1.5 m~3.0 m 不等, 保证每小区水平地面以下 1.5 m 以内土壤水分不能发生侧渗, 下方修建盛水池, 容积为 70 cm × 69.5 cm × 100 cm, 承接径流泥沙。小区砌成后, 分层回填黄土母质, 土壤容重维持在 (1.20 ± 0.05) göcm³, 填土深度 1.2 m 以上, 20 cm 表层用混匀耕层黄绵土覆盖; 并用少量的水, 喷洒土壤表面, 使土壤表面保持平整, 维持土壤水分含量在 12%~15% 之间。

1.2 取样与分析

于每次产流前, 测定 20 cm 表层土壤水分并采土样供 N 分析用。产流结束后, 测定盛水池泥水样体积。混匀泥水, 采集 1L 泥水样烘干测定泥沙浓

收稿日期: 2000203215 修订日期: 2000208210

3 中国科学院知识创新工程项目、国家自然科学基金(49871049)和中国科学院 1997 年度“西部之光”人才培养项目和资助。

张兴昌, 博士后, 副研究员, 硕士导师, 陕西杨凌 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 712100

度。采集 2~ 5L 泥水样,加 3~ 5 滴 1 mol/L HCl 溶液, 2~ 3 滴甲苯, 过滤水样, 收集滤液并在 2~ 4 冰箱中保存, 泥样阴干后保存。利用自动记录雨量器记录整个降雨过程。

土壤和泥沙中有机态氮组成采用 Bremner 酸水解法^[4], 泥沙中有机质用重铬酸钾氧化- 外加加热法, 全氮用半微量开氏法。微团聚体组成超声波分散土壤^[1], 德国产颗粒自动分析仪测定。

2 结果与讨论

2.1 土壤和泥沙有机态形态氮及含量

不同坡度土壤酸水解全氮含量(表 1)在 208.0 ~ 252.1 mg/kg 之间, 约占土壤全氮 70% 左右, 氨基酸氮含量在 36.2 ~ 52.6 mg/kg, 约占酸水解氮的 20%, 氨态氮为 142.8 ~ 165.9 mg/kg, 占酸水解氮 68%, 氨基糖氮含量极微, 约占水解氮 4%, 非鉴别

氮含量为 14.2 ~ 37.3 mg/kg, 约占水解氮 8%。

1998 年 4 次产流泥沙中, 除氨基糖氮含量减少外, 其它有机形态氮均呈增加趋势, 在酸水解氮中, 以氨态氮含量增加最为显著。随坡度的下降, 水解全氮、氨态氮和氨基酸氮含量呈增加趋势, 而氨基糖氮、非鉴别氮和非酸水解氮含量变化无规律性。

6 月 23 日、7 月 6 日、7 月 12 日和 8 月 2 日, 降雨侵蚀力 R ($R = P I_{30}$, P 降雨量 (mm), I_{30} 最大 30 min 雨强 (mm/h))^[11] 分别为 673.1、853.6、75 和 7.20 mm/h, 不同坡度泥沙中, 水解全氮平均增加量为 105、123、55 和 58 mg/kg; 氨基酸氮平均增加量为 47、59、20 和 15 mg/kg; 氨态氮平均增加量为 28、39、54 和 50 mg/kg。随降雨侵蚀力的增加, 泥沙中酸水解全氮和氨基酸氮含量呈下降趋势, 而氨态氮含量呈增加趋势。

表 1 土壤和泥沙中不同形态有机态氮含量

Tab 1 The organic nitrogen contents in soil and sediment

降雨日期 6月2日	坡度 $\theta(^{\circ})$	全N $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	酸解氮					非酸解N $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
			水解全N $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	氨基酸N $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	氨态N $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	氨基糖N $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	非鉴别N $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	
原地 土壤	25	0.412	240.4	52.6	157.5	6.9	23.4	171.6
	20	0.357	252.1	49.7	156.4	8.8	37.3	104.9
	15	0.358	240.2	47.1	165.9	12.4	14.2	128.3
	10	0.334	243.0	43.8	151.2	14.6	32.9	91.4
	5	0.313	208.0	36.2	142.8	12.4	16.1	105.5
06223 产流 泥沙	25	0.527	274.0	62.5	143.9	5.8	61.7	253.0
	20	0.609	306.1	83.6	159.6	5.8	57.4	302.9
	15	0.548	341.2	98.6	168.8	12.1	61.7	206.8
	10	0.583	379.8	114.4	202.4	5.8	57.0	203.1
	5	0.559	406.3	104.5	199.5	0	102.3	152.8
07206 产流 泥沙	25	0.558	420.9	92.1	241.8	1.5	85.5	137.1
	20	0.510	312.1	77.1	168.8	5.5	60.6	198.0
	15	0.515	389.0	117.7	222.1	5.8	43.1	126.3
	10	0.579	327.1	112.6	172.4	6.2	35.4	252.4
	5	0.596	349.0	125.7	165.9	2.2	54.8	244.5
07212 产流 泥沙	25	0.512	284.8	63.2	198.7	6.6	16.4	227.0
	20	0.497	301.1	64.3	215.5	0.7	20.5	196.0
	15	0.500	288.4	70.5	210.1	2.6	4.7	212.1
	10	0.499	292.3	66.8	208.2	2.2	15.0	156.7
	5	0.468	292.2	64.3	210.4	10.6	6.2	176.5
08202 产流 泥沙	25	0.439	290.8	54.8	200.6	6.6	28.9	148.2
	20	0.412	280.6	66.5	198.7	3.3	12.5	131.0
	15	0.462	266.0	60.3	190.0	11.3	4.4	196.0
	10	0.444	275.4	57.7	203.5	7.3	6.9	168.5
	5	0.469	360.5	67.5	232.3	7.3	53.7	108.1

2.2 泥沙不同有机氮的富集规律

业已证明, 侵蚀泥沙趋于粘粒的富集和所吸附的化学元素富集^[13-15], 在自然降雨条件下, 大于 10 Lm 泥沙颗粒的含量均比原地土壤含量低, 降低的幅度随坡度减少而增大; 相反, 小于 10 Lm 泥沙颗粒的含量均比原地土壤高, 呈富集现象。当坡度从 25 到 5°; 富集率分别为 1.64、1.56、1.77、1.58 和 2.00, 呈增加趋势。泥沙中小于 1 μm 颗粒含量约占小于 10 μm 颗粒 60% 以上, 小于 1 Lm 的粘粒富集率为 1.47、1.68、1.77、1.85 和 2.06, 呈严格递增趋势(表 2)。因此, 黄绵土侵蚀泥沙颗粒的富集主要由小于 1 Lm 粘粒富集造成。侵蚀泥沙粘粒的富集与有机质和全氮富集呈正相关关系, 相关系数达到 0.8894^{3.3} 和 0.8486^{3.3}。由此推断, 泥沙有机质和全

氮的富集现象主要由粘粒富集造成。

表 2 原地土壤与侵蚀泥沙颗粒组成³

Tab 2 The distribution of the particle sizes in soil and sediment

坡度 ö(°)	土壤 ö	> 10Lm	< 10Lm	5~ 10Lm	2~ 5Lm	1~ 2Lm	< 1Lm
25	土壤	78.4	21.6	2.3	2.1	1.3	15.9
	泥沙	64.5	35.5	4.5	5.5	1.5	23.0
20	土壤	72.2	27.8	5.5	4.5	1.5	16.3
	泥沙	56.5	43.5	7.7	6.3	2.1	27.4
15	土壤	77.6	22.4	2.6	2.4	1.3	17.1
	泥沙	60.3	39.7	4.0	4.5	1.0	30.2
10	土壤	69.1	30.9	5.3	6.7	1.2	17.7
	泥沙	51.3	48.7	6.3	8.7	1.0	32.7
5	土壤	72.4	27.6	2.5	6.5	1.3	17.3
	泥沙	44.9	55.1	5.7	12.3	1.5	35.6

注: 3 为 1998 年 6 月 23 日第一次降雨后采集的泥样。

表 3 产流泥沙中不同形态有机态氮富集率

Tab 3 The organic nitrogen enrichment ratios in sediment

降雨日期 月2日	坡度ö(°)	酸解氮					非酸水解 N Öng · kg ⁻¹
		水解全 N Öng · kg ⁻¹	氨基酸 N Öng · kg ⁻¹	氨态 N Öng · kg ⁻¹	氨基糖 N Öng · kg ⁻¹	非鉴别 N Öng · kg ⁻¹	
06223	25	1.14	1.19	0.91	0.84	2.64	1.47
	20	1.21	1.68	1.02	0.66	1.54	2.89
	15	1.42	2.09	1.02	0.98	4.35	1.61
	10	1.56	2.61	1.34	0.40	1.73	2.22
	5	1.95	2.89	1.40	0.00	6.35	1.45
07206	25	1.75	1.75	1.54	0.22	3.65	0.80
	20	1.24	1.55	1.08	0.63	1.62	1.89
	15	1.62	2.50	1.34	0.47	3.04	0.98
	10	1.35	2.57	1.14	0.42	1.08	2.76
	5	1.68	3.47	1.16	0.18	3.40	2.32
07212	25	1.18	1.20	1.26	0.96	0.70	1.32
	20	1.19	1.29	1.38	0.08	0.55	1.87
	15	1.20	1.50	1.27	0.21	0.33	1.65
	10	1.20	1.53	1.38	0.15	0.46	1.71
	5	1.40	1.78	1.47	0.85	0.39	1.67
08202	25	1.21	1.04	1.27	0.96	1.24	0.86
	20	1.11	1.34	1.27	0.38	0.34	1.25
	15	1.11	1.28	1.15	0.91	0.31	1.53
	10	1.13	1.32	1.35	0.50	0.21	1.84
	5	1.73	1.86	1.63	0.59	3.34	1.02

泥沙粘粒富集造成有机质的富集, 而土壤有机质作为不同形态有机态氮的载体, 势必造成有些不同形态有机氮在泥沙中的富集。表 3 表明, 在水解氮组成中, 泥沙中氨基糖态氮含量均小于原地土壤, 并无富集现象产生, 泥沙中水解全氮、氨基酸氮、氨态氮、非酸水解氮均存在不同程度的富集, 其富集率随坡度的下降而增大, 以氨基酸氮富集程度高, 由此推测, 氨基酸氮主要与粘粒结合, 氨基糖氮主要与大于

10 Lm 颗粒结合。在坡面水流过程中, 径流对土壤颗粒的选择是以物理作用为主, 与土壤颗粒结合的有机质和占全氮 95% 以上的有机态氮, 不可能有较强的化学反应发生, 土壤和泥沙中有机氮组成和含量不会发生变化, 用原地土壤和侵蚀泥沙的颗粒组成与其酸水解氮可进行相关分析, 结果表明, 氨基酸氮与粘粒的相关系数达到 0.7588³, 氨基糖氮与大于 10 μm 颗粒的相关系数为 0.5764, 相关检验虽未达

到极显著水平,但也从一定程度上支持上述观点。黄绵土土壤不同形态有机氮与颗粒结合程度的论点,与 Schnitzer 等人^[9,10]于 1982 年和 1992 年所作获得的结论并不一致,究竟是土壤结构的不同,还是成土母质的差异,尚待进一步的探讨。

2.3 不同有机态氮流失规律

同侵蚀量一样,尽管泥沙中水解全氮、氨基酸氮、氨态氮、非鉴别氮和非酸水解氮存在不同的富集现象,不同坡度土壤有机形态氮随坡度的降低,其流失量均在逐渐减少(表 4),降雨侵蚀力愈大,其流失量愈大。具体表现为:坡度从 25 到 5°,1998 年 4 次自然产流泥沙中水解全氮流失量分别为 1135.0

kgÖkm²、763.7 kgÖkm²、485.5 kgÖkm²、313.0 kgÖkm²和 154.4 kgÖkm²,而氨基酸氮流失量则为 234.8 kgÖkm²、182.7 kgÖkm²、121.1 kgÖkm²、76.8 kgÖkm²和 33.9 kgÖkm²,占水解全氮的 20.6%、23.9%、24.9%、24.5%和 22.0%;氨态氮流失量为 742.5 kgÖkm²、503.3 kgÖkm²、322.2 kgÖkm²、208.9 kgÖkm²、97.4 kgÖkm²,占水解全氮的 65.4%、65.9%、66.4%、66.7%和 63.1%;氨基糖氮占酸水解氮 2.2%、1.1%、2.9%、1.5%和 2.1%;非鉴别氮占水解全氮的 11.8%、9.2%、5.8%、7.2%和 12.6%;而酸水解全氮与非酸水解氮之比分别为 1.5、1.5、1.4、1.8和 2.3。

表 4 产流泥沙不同形态有机态氮流失

Tab 4 The organic nitrogen component losses in sediment

降雨日期 ö月2日	坡度 ö(°)	侵蚀量 öt · km ⁻²	酸解氮					非酸水解N ök _g · km ⁻²
			水解全N ök _g · km ⁻²	氨基酸N ök _g · km ⁻²	氨态N ök _g · km ⁻²	氨基糖N ök _g · km ⁻²	非鉴别N ök _g · km ⁻²	
06223	25	830	227.4	51.9	119.4	4.8	51.2	210.0
	20	643	196.8	53.8	102.6	3.7	36.9	194.8
	15	340	116.0	33.5	57.4	4.1	21.0	70.3
	10	231	87.7	26.5	46.8	1.3	13.2	46.9
	5	98	39.8	10.2	19.6	0.0	10.0	15.0
07206	25	113	47.6	10.4	27.3	0.2	9.7	15.5
	20	49	15.3	3.8	8.3	0.3	3.0	9.7
	15	27	10.5	3.2	6.0	0.2	1.2	3.4
	10	12	3.9	1.4	2.1	0.1	0.4	3.0
	5	5	1.7	0.6	0.8	0.0	0.3	1.2
07212	25	1091	310.7	69.0	216.8	7.2	17.9	247.7
	20	790	237.9	50.8	170.2	0.6	16.2	154.8
	15	587	169.3	41.4	123.3	1.5	2.8	124.5
	10	452	132.1	30.2	94.1	1.0	6.8	70.8
	5	196	57.3	12.6	41.2	2.1	1.2	34.6
08202	25	1889	549.3	103.5	378.9	12.5	54.6	279.9
	20	1118	313.7	74.3	222.1	3.7	14.0	146.5
	15	713	189.7	43.0	135.5	8.1	3.1	139.7
	10	324	89.2	18.7	65.9	2.4	2.2	54.6
	5	154	55.5	10.4	35.8	1.1	8.3	16.6
合计	25	3922	1135.0	234.8	742.5	24.7	133.4	753.1
	20	2600	763.7	182.7	503.3	8.2	70.0	505.8
	15	1667	485.5	121.1	322.2	13.9	28.0	338.0
	10	1019	313.0	76.8	208.9	4.8	22.6	175.4
	5	454	154.4	33.9	97.4	3.2	19.8	67.4

4 结 论

黄绵土表层土壤有机态氮作为可矿化氮的库源,因土壤侵蚀随径流流失,造成坡地土壤氮素退化,从土壤和泥沙有机氮的组成、有机氮富集和流失等方面,研究坡面土壤有机氮的径流流失规律,无疑有利于揭示坡地土壤氮素退化的机理。黄绵土有机氮组成中,水解氮约占土壤全氮的 70%,氨态氮约占水解氮的 68%,氨基酸氮占 20%。氨基酸氮主要

与土壤粘粒结合,氨基糖氮与大于 10 μm 的土壤颗粒结合。因此,在泥沙中,氨基酸的富集成度相对较高,氨态氮富集成度低,氨基糖无富集现象存在。土壤不同形态有机氮的流失量主要取决于土壤含量、泥沙富集率和流失量,综合影响表现在:氨基酸氮流失量占水解全氮 20%~25%,氨态氮占水解全氮的 65%~67%,氨基糖氮占 2%左右,而非鉴别氮占 10%左右,酸水解氮与非酸水解氮流失量之比为 1.4~2.3。

[参 考 文 献]

- [1] [美] J M 布伦纳等 曹亚澄译 土壤氮素分析方法 北京: 农业出版社, 1981
- [2] Sowden F J. The distribution of nitrogen in some highly organic tropical volcanic soil, *Soil Biol Biochem*, 1971, 8: 55~ 60
- [3] 王敬国 植物营养的土壤化学 北京: 北京农业大学出版社, 1995 101~ 105
- [4] Bremner J M. Organic forms of nitrogen. In C A Black (eds), *Methods of soil analysis Agronomy*. 1965, 9: 1148 ~ 1178 Am Soc of Agron Inc Madison, Wis USA
- [5] Anderson D W, Saggat S, Bettany J R and Stewart J W B. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: I The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen, and sulfur. *Soil Sci Soc Am. J.* 1981, 45: 767~ 772
- [6] Hinds A A and Lowe L E. Distribution of carbon, nitrogen, sulfur, and phosphorus in particle size separates from gleysoils. *Can. J. Soil Sci* 1980, 60: 783~ 786
- [7] McKeague J A. Organic matter in particle size and specific gravity fractions of some Ah Horizons. *Can. J. Soil Sci* 1971, 51: 499~ 505
- [8] Cameron R S and Posner A M. Mineralisable organic nitrogen in soil fractionated according to particle size. *J. Soil Sci* 1979, 30: 565~ 577
- [9] Schnitzer M and Ivarson K C. Different forms of nitrogen in particle size fractions separated from two soils. *Plant and Soil*, 1982, 69: 383~ 398
- [10] Schnitzer M and Kodana H. Interactions between organic and inorganic components in particle size fractions separated from four soils. *Soil Sci Soc Am. J.* 1992, 56: 1099~ 1105
- [11] 江忠善, 刘志 降雨因素和坡度对溅蚀影响的研究, *水土保持学报*, 1989, 3(2): 29~ 35
- [12] Meyer L D, Foster G R and Nikolov S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. *Trans. ASAE*, 1975, 18: 905~ 911
- [13] Loch, R J et al., Field rainfall simulator studies on two clay soils of the Darling Downs, Queensland II Aggregate breakdown, sediment properties and soil erodibility. *Aust. J. Soil Res* 1982, 21: 47~ 58
- [14] Cogo N P. Tillage induced roughness and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. *Soil Sci Soc Am. J.* 1983 1005~ 1008
- [15] 黄丽, 张光远, 丁树文, 蔡宠法 侵蚀紫色土土壤颗粒流失的研究. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999(1): 35~ 39

Different Forms of Organic Nitrogen Loss in Soil by Runoff in Slope Land of Loess Plateau

Zhang Xingchang Shao Ming'an

(State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil & Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, 712100)

Abstract Under natural rainfall condition, the regular pattern of soil organic nitrogen loss by runoff was investigated. The results showed that except for that the content of amino sugar reduced in sediment, the other forms of organic N were increased compared with local soil. With slope gradient falling, the contents of hydrolyzable N, amino acid N, and ammonia N were increased. The hydrolyzable N, amino acid N, ammonia N, and unidentified N existed in enriching phenomenon in sediment, the enrichment ratios of these organic nitrogen were increased with slope gradient falling, but, the amino acid N has a higher enrichment ratio than other organic N, on the contrary, the content of amino sugar N in sediment was lower than local soil. The loss amounts of hydrolyzable N were 1135.0 in 25°, 763.7 in 20°, 485.5 in 15°, 313.0 in 10° and 154.4 kg/ökm² in 5°. The loss amounts of amino acid N were 234.8, 182.7, 121.1, 76.8 and 33.9 kg/ökm² separately, accounting for 20.5% ~ 24.9% of hydrolyzable N. The loss amounts of ammonia N were 742.5, 505.3, 322.2, 208.9 and 97.4 kg/ökm² respectively, accounting for 63.1% ~ 66.7% of hydrolyzable N. The loss amounts of amino sugar N accounted for 1.1% ~ 2.9% of hydrolyzable N. The loss amounts of unidentified N accounted for 5.8% ~ 12.6% of soil total N.

Key words: erosive sediment; organic nitrogen; enrichment ratio; organic nitrogen loss by runoff