

# 下辽河平原潮棕壤不同粒级碳和氮分布研究\*

庞祥锋<sup>1,2</sup> 宇万太<sup>2\*</sup> 苏 壮<sup>1</sup> 张 璐<sup>2</sup> 马 强<sup>2</sup>( <sup>1</sup> 沈阳农业大学, 沈阳 110161; <sup>2</sup> 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

【摘要】 采用具有不同开垦年限的 0~ 20 和 20~ 40 cm 耕层土壤, 对其不同粒级的有机碳和全 N 分布进行了研究. 结果表明, 在 0~ 20 和 20~ 40 cm 耕层, < 0.002 mm 粒级的有机碳含量最高, < 0.02 mm 粒级含量次之, < 0.2 mm 粒级含量最少. 土壤全 N 的粒级分布规律与有机碳基本相同. 在同一粒级中, 有机碳和全 N 的各粒级分布与开垦年限没有明显的相关性. 各粒级的有机碳与全 N 相关性极显著, 在 < 0.2 mm 粒级的相关系数为 0.74, 在 < 0.02 mm 和 < 0.002 mm 分别达到了 0.94 和 0.91.

关键词 土壤粒级 有机碳 全 N 分布

文章编号 1001- 9332(2005) 11- 2081- 05 中图分类号 S153.6 文献标识码 A

**Distribution of C and N in different particle fractions of meadow brown soil in lower reach of Liaohe River Plain.** PANG Xiangfeng<sup>1,2</sup>, YU Wantai<sup>2</sup>, SU Zhuang<sup>1</sup>, ZHANG Lu<sup>2</sup>, MA Qiang<sup>2</sup> ( <sup>1</sup>Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; <sup>2</sup>Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(11): 2081~ 2085.

The study of meadow brown soil with different reclamation history in the lower reach of Liaohe River Plain showed that in 0~ 20 and 20~ 40 cm soil layers, < 0.002 mm fraction had the highest content of organic carbon, followed by < 0.02 and < 0.2 mm fractions. The distribution pattern of total nitrogen was similar to that of organic carbon. There was no obvious correlation between the distribution of organic carbon and total nitrogen in different soil particle fractions and the history of reclamation, but the correlation between organic carbon and total nitrogen in different soil particle fractions was highly significant, with the correlation coefficients 0.74, 0.94 and 0.91 in fractions < 0.2, < 0.02 and < 0.002 mm, respectively.

**Key words** Soil particle fraction, Organic carbon, Total nitrogen, Distribution.

## 1 引言

土壤颗粒是高分散体系. 不同粒级组成的土壤其保水能力、吸附力、粘着性等都有明显的差异, 对土壤养分循环、转化及其有效性有重要的影响. 王小彬等<sup>[12]</sup>、张兴昌等<sup>[19]</sup>研究表明, 土壤粒级组成与其持水保肥性密切相关, 质地粘重的土壤保肥持水性能较好. 对土壤不同粒级的全 N、有机质分析发现, 土壤中全 N、有机质与土壤砂粒含量呈显著负相关, 与粉粒和粘粒含量呈极显著正相关<sup>[1, 7, 18, 20]</sup>. 王岩等<sup>[13]</sup>结果也表明, 不同的土壤粒级组成对土壤 N、P、K 的分配和有效性也不同. 可见, 了解土壤养分的粒级分布对于从深层揭示其自然肥力本质、合理指导施肥以及培肥地力都具有重要的意义. 本文采用肥力和开垦年限不同的潮棕壤对土壤不同粒级的 C、N 分布进行了研究, 以探讨土壤 C、N 的供应机制.

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 研究地区概况

试验地点在中国科学院沈阳生态试验站站区周围(41°

32' N, 122° 23' E), 地处下辽河平原中部偏东, 属于暖温带湿润半湿润大陆季风气候, 四季分明, 雨热同季. 年平均气温 7~ 8℃, ≥10℃积温 3 300~ 3 400℃, 降雨量为 700 mm 左右, 土壤类型为潮棕壤, 质地偏于重壤, 土壤基本理化性质见表 1. 本地区地处城乡交界, 农业生产比较发达.

### 2.2 研究方法

土样采于 2001 年 10 月, 土样按不同开垦年限分为荒地、5、10、20、30 和 50 年, 采样深度为 0~ 20 和 20~ 40 cm, 风干后过 2 mm 筛, 备用. 然后称取 10.00 g 风干土样, 经化学及物理处理成悬浮液定容后, 根据 Stokes 定律和用土粒在静水中沉降的规律, 大于 0.25 mm 的各级颗粒由一定孔径的筛子筛分, 小于 0.25 mm 的各级颗粒则用吸管从中吸取一定量的各级颗粒, 105℃烘干, 称重. 计算粒级质量百分数. 并测定其有机碳和全 N.

### 2.3 分析方法

有机碳、全 N 采用元素分析仪测定; 速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度计法测定, 全 K 采用氢氧化钠熔融-火焰光度计法测定; 速效磷采用 Olsen 法测定, 全 P 采用氢氧化钠熔

\* 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX2-413-4)、中国科学院资源环境领域野外台站研究基金项目和中国科学院沈阳应用生态研究所知识创新工程资助项目(SCXMS0301).

\*\* 通讯联系人.

2005-01-26 收稿, 2005-05-24 接受.

表 1 供试土壤基本理化性质  
Table 1 Physical and chemical properties for test soil

采集地点 Sampling site	开垦年限 Tillage periods( yr)	耕层 Plough layer ( cm)	全 N Total N (g• kg <sup>-1</sup> )	全 P Total P ( g• kg <sup>-1</sup> )	全 K Total K ( g• kg <sup>-1</sup> )	有机碳 Organic C ( g• kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K (mg• kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available P ( mg• kg <sup>-1</sup> )	pH
十里河	荒地	0~ 20	1. 30	0. 786	16. 0	15. 58	146. 33	39. 10	7. 15
Shili river	Wasteland	20~ 40	0. 93	0. 534	15. 2	11. 59	136. 44	15. 64	6. 90
十里河	5	0~ 20	1. 02	0. 801	15. 6	10. 38	84. 64	41. 76	6. 20
Shili river		20~ 40	0. 67	0. 354	14. 7	5. 51	86. 52	2. 47	6. 60
新庄	10	0~ 20	1. 12	0. 676	15. 6	11. 18	82. 28	54. 72	5. 40
New village		20~ 40	0. 57	0. 679	14. 3	4. 77	72. 87	1. 34	6. 50
飞机场	20	0~ 20	1. 11	0. 626	15. 5	11. 07	151. 98	40. 34	6. 80
Airfield		20~ 40	0. 62	0. 295	14. 6	5. 19	185. 88	8. 66	6. 00
灰菜泡村	30	0~ 20	0. 67	0. 303	15. 6	6. 74	167. 05	5. 82	7. 10
Huicaipao village		20~ 40	0. 34	0. 279	14. 9	2. 10	167. 99	2. 86	7. 20
十里河	50	0~ 20	1. 44	1. 048	16. 1	14. 63	157. 63	124. 44	6. 40
Shili river		20~ 40	0. 66	0. 425	15. 5	5. 73	110. 54	31. 20	7. 10

融 钼锱抗比色法测定; pH 采用 pH 计测定, 水土比为 2. 5 : 1;  
机械组成采用吸管法测定.

3 结果与讨论

3. 1 土壤不同粒级颗粒分布

本文仅选取与作物根系活动密切的 0~ 20 和 20 ~ 40 cm 耕层土壤为研究对象. 从表 2 可以看出, 在 0~ 20 cm 耕层的不同开垦年限土壤中, > 2 mm 粒级的比例极低, 仅为 0~ 0. 25%, 平均为 0. 08%, 基本可以忽略不计; 2. 0~ 0. 2 mm 粒级的比例也在 5% 以下, 平均仅为 2. 36%. 以上两部分之和平均不超过 2. 5%, C、N 含量甚少, 因此后面讨论分布时将其忽略; 0. 2~ 0. 02 mm 粒级比例明显上升, 平均为 32. 32%, 但不同开垦年限之间差异较大, 在 19. 42%~ 43. 89% 之间变化; 0. 02~ 0. 002 mm 粒级的颗粒含量最高, 平均达到 38. 38%, 不同开垦年限在 33. 52% ~ 42. 78% 之间变化, 其差异比 0. 2~ 0. 02 mm 粒级要小一些; < 0. 002 mm 粒级的颗粒比例平均为 26. 91%, 其含量仅次于 0. 2~ 0. 02 mm 粒级. 从粒级构成来看, 供试土壤质地并不粘重, 但不同开垦年限之间土壤质地有所差异. 其中, 开垦

表 2 沈阳生态试验站不同开垦年限土壤机械组成  
Table 2 Soil mechanical composition of different tillage periods in Shenyang Ecological Experimental Station

开垦年限 Tillage period( yr)	耕 层 Plough layer ( cm)	颗粒含量 Particle content( % )				
		> 2 mm	2. 0~ 0. 2 mm	0. 2~ 0. 02 mm	0. 02~ 0. 002 mm	< 0. 002 mm
荒地 asteland	0~ 20	0. 25	3. 07	29. 49	39. 63	27. 65
	20~ 40	0. 12	1. 68	30. 67	35. 67	31. 93
5	0~ 20	0. 05	2. 11	32. 86	42. 78	22. 26
	20~ 40	0. 03	2. 39	34. 59	39. 04	23. 98
10	0~ 20	0. 04	1. 45	40. 25	37. 07	21. 23
	20~ 40	0. 00	0. 91	51. 51	28. 23	19. 35
20	0~ 20	0. 00	1. 55	28. 03	36. 74	33. 68
	20~ 40	0. 08	0. 60	25. 17	40. 12	34. 11
30	0~ 20	0. 00	0. 93	19. 42	40. 55	39. 10
	20~ 40	0. 00	0. 58	19. 96	44. 18	35. 28
50	0~ 20	0. 12	5. 07	43. 89	33. 52	17. 52
	20~ 40	0. 17	1. 52	42. 44	34. 57	21. 37

20 和 30 年耕地各粒级含量依次为 0. 02~ 0. 002 mm、< 0. 0002 mm、0. 2~ 0. 02 mm, 质地较重; 荒地和开垦 5 和 10 年的土样粒级含量为 0. 02~ 0. 002 mm 最高, 0. 2~ 0. 02 mm 次之, < 0. 002 mm 最少, 土壤质地比开垦 20 和 30 年的土壤要轻; 而开垦 50 年的土壤的次序为 0. 2~ 0. 02 mm 颗粒含量大于 0. 02~ 0. 002 mm 粒级, 而< 0. 002 mm 粒级颗粒含量最少, 土壤质地最轻. 这对土壤养分的分布有重要的影响. 表 2 还表明, 尽管土壤粒级间的分布差异比较明显, 但随着开垦年限的增长, 同一粒级的各土样间并无规律性变化, 而是起伏不定, 可能与土壤本身物理性质等因素有关. 在 20~ 40 cm 耕层各土样中, 土壤粒级分布以及比例构成与 0~ 20 cm 耕层基本一致, 而且与开垦年限也无明显相关性.

3. 2 不同粒级有机碳分布

图 1 表明, 在 0~ 20 cm 耕层的不同开垦年限土壤中, 随着粒级的变细, 有机碳含量逐渐增加. 其中, < 0. 002 mm 粒级的有机碳含量最高, 平均为 38. 17 g• kg<sup>-1</sup>; < 0. 02 mm 粒级次之, 平均为 20. 35 g• kg<sup>-1</sup>; < 0. 2 mm 粒级的有机碳含量最低, 平均 17. 11 g• kg<sup>-1</sup>. 但开垦 5 和 10 年的土壤< 0. 2 mm 粒级有机碳含量(分别为 21. 57 和 31. 7 g• kg<sup>-1</sup>) 比 < 0. 02 mm 粒级稍高(分别为 19. 03 和 21. 4 g• kg<sup>-1</sup>), 可能是该粒级土壤颗粒吸附了含 C 量较高的有机质所致, 也可能系农田管理措施差异或采样误差所致; 20~ 40 cm 耕层各土壤有机碳含量分布与表层大致相同, 但开垦年限 30 和 50 年的土壤的< 0. 2 mm 粒级的有机碳含量比< 0. 02 mm 粒级稍高, 原因可能与上述情况类似. 总体而言, 土壤有机碳在整个耕层分布规律是粒径越小, 有机碳含量越高, 有的甚至呈直线增长. 其主要原因是土壤粘粒愈细, 比表面积愈大, 越多的正电荷暴露在外, 使得土壤吸附力、粘结性及粘着性增大, 从而强烈吸附大量

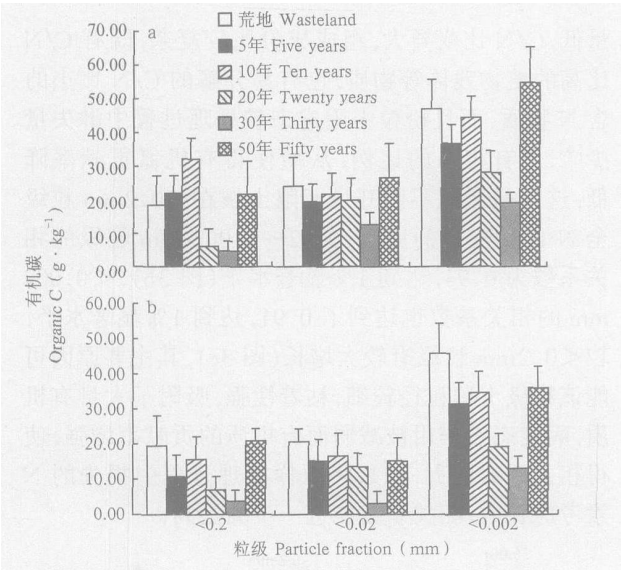


图 1 0~ 20(a) 和 20~ 40 cm(b) 土壤各粒级有机碳分布  
Fig. 1 Distribution of organic C in different fractions in depth of 0~ 20 (a) and 20~ 40 cm(b).

带有负电荷的有机质, 使含 C 量上升, 而且结合紧密, 加之土壤通透性变差, 土壤微生物很难分解利用. 此外, 由于采样地块不同农户耕作管理、管理措施的差异造成的土壤有机碳含量与开垦年限之间并无规律可言(表 1), 同样不同开垦年限地块各粒级有机碳含量分布也无明显规律可循(图 1). 因此, 如果研究这方面的规律还需要开垦时间更长、条件更为一致的土壤来加以验证.

就各粒级的 C/N 比来看, 在 0~ 20 cm 耕层, < 0.002 mm 粒级和< 0.02 mm 粒级的 C/N 比平均值分别为 13.28 和 12.57, 各土壤间差异并不显著(表 3). 这与土壤胡敏素 C/N 比(13.0)相接近<sup>[6]</sup>, 说明该粒级有机质经过逐步分解, 趋向形成比较稳定的腐殖质化合物——胡敏素. 由于该粒级粒径较小, 吸附力强, 结合比较紧密, 与空气接触少, 微生物难以分解利用, 因而有机质性质比较稳定. < 0.2 mm 粒级的 C/N 比介于 7~ 31, 平均值为 21.52, 各土样间差异较大, 这说明该粒级包含的有机质成分比较复杂, 既有难分解的含氮化合物, 诸如植物残体(C/N = 34.0)、富里酸(C/N = 29.9)、胡敏酸(C/N = 20.0)<sup>[6]</sup>, 也有小分子含氮化合物诸如根系分泌物、氨基酸、酰氨等等. 由于该粒级颗粒较大, 吸附力弱, 而且暴露在空气的机会大, 易被微生物分解利用, 所以有机质组成不稳定. 这也解释了该粒级中上述土样含 C 量异常的主要原因. 20~ 40 cm 耕层的 C/N 比分布与表层基本一致.

土壤各粒级有机碳占总有机碳的比重除了与其自身含量有关外, 还与各粒级质量百分比有直接的

表 3 沈阳站不同开垦年限土壤粒级 C/N  
Table 3 Ratio of C/N of different tillage periods soil in different fractions

开垦年限 Tillage periods( yr)	耕层 Plough layer ( cm)	C/N		
		> 0.2 mm	0.02 mm	< 0.002 mm
荒地	0~ 20	24.42	13.96	16.94
Wasteland	20~ 40	20.61	15.16	18.46
5	0~ 20	28.91	11.93	12.01
	20~ 40	13.89	12.82	14.53
10	0~ 20	31.24	11.73	12.06
	20~ 40	16.90	13.58	14.27
20	0~ 20	10.49	12.06	12.48
	20~ 40	8.63	14.88	13.39
30	0~ 20	7.54	13.68	13.86
	20~ 40	5.10	5.07	15.01
50	0~ 20	26.53	12.09	12.34
	20~ 40	25.26	12.99	13.60

关系. 尽管有机碳含量随粒径变细而提高, 但由于颗粒质量百分比的差异使得各粒级有机碳所占比重表现不一, 无论 0~ 20 cm 还是 20~ 40 cm 耕层, 开垦年限为荒地、5、20 和 30 年的土壤各粒级有机碳含量占土壤总有机碳的比重大小依次为< 0.002 mm、< 0.02 mm、< 0.2 mm, 与土壤各粒级有机碳含量分布次序基本相同. 虽然上述处理< 0.002 mm 粒级的颗粒含量小于< 0.02 mm 和< 0.2 mm 粒级, 但其有机碳含量最高, 因此使该粒级有机碳占总有机碳的比重也得以提高. 而开垦年限为 10 年及 50 年的土壤的大小次序为< 0.2 mm、< 0.002 mm、< 0.02 mm. 虽然< 0.2 mm 粒级有机碳含量低于< 0.002 mm 粒级, 但颗粒百分比远远高于另外两个粒级, 显然是由于< 0.2 mm 粒级粘粒比例提高了其比重.

3.3 不同粒级的全 N 分布

从图 2 可以看出, 在 0~ 20 cm 耕层中, 随着粒级的变细, 全 N 含量逐渐上升. 其中, < 0.002 mm 粒级全 N 含量最高, 平均达到 2.92 g·kg<sup>-1</sup>; < 0.02 mm 粒级次之, 达到 1.63 g·kg<sup>-1</sup>; < 0.2 mm 粒级最少, 平均为 0.74 g·kg<sup>-1</sup>. 其分布规律与有机碳一样, 但趋势更加明显. 除了开垦年限为 10 年的土样增幅较小外, 其余各土样的含 N 量随着粒级的变细都大幅上升, 个别粒径增长幅度达到了 3 倍. 这说明土壤 N 素更容易在细颗粒中富集, 这与陈利军、徐阳春的结果基本类似<sup>[4, 16]</sup>. 尽管各土样不同粒级间含 N 量差异比较显著, 但同一粒级全 N 含量与开垦年限之间并无规律可言. 同样在 20~ 40 cm 耕层中, 除了各粒级含 N 量的绝对值低外, 其分布规律与表层基本相同, 且同一粒级的含 N 量与开垦年限也无明显的关系(图 2). 可见在 0~ 20 和 20~ 40 cm 土壤各粒级

除了全 N 含量有所差异外,分布规律是一致的,其含量与粒径的大小呈负相关,和有机碳的耕层分布规律大致相同,这与苏水中、尹幸福所研究结论类似<sup>[11, 17]</sup>. 全 N 粒径差异规律形成的主要原因是土壤全 N 与有机质密切相关,也与土壤中的固定态铵有一定的关系<sup>[9]</sup>,特别是< 0.2 mm 粒径中,具体在下一节中讨论.

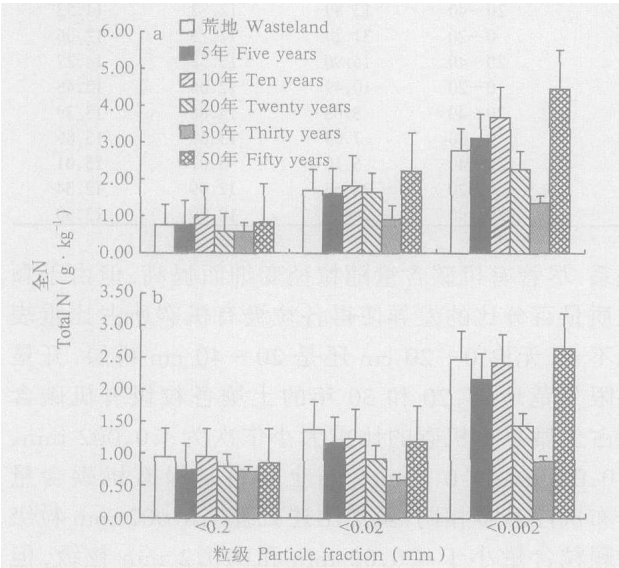


图2 0~ 20(a)和 20~ 40 cm(b) 土壤各粒径全 N 分布  
Fig. 2 Distribution of total N in different fractions in depth of 0~ 20(a) and 20~ 40 cm(b).

各粒径全 N 占土壤全 N 的比重同样受各粒径含 N 量和颗粒质量百分比的影响. 在 0~ 20 cm 耕层,各个粒径全 N 占土壤总量的比重大小依次为< 0.002 mm、< 0.02 mm、< 0.2 mm,与各粒径含 N 量分布以及有机碳的规律是一致的. 开垦年限为 5 年土样的 3 个粒径比重依次为< 0.02 mm、< 0.002 mm 和< 0.2 mm,显然由于< 0.02 mm 粒径质量百分比比较高所致. 在 20~ 40 cm 耕层中,除了开垦年限为 10 年的土样< 0.2 mm 粒径的全 N 所占比重高于另外两个粒径,其他各土样均与表层一致.

3.4 土壤各粒径有机碳与全 N 的相关性

土壤全 N 包括有机氮、矿质氮和土壤固定态铵,其中有机氮占 90% 以上<sup>[2, 10, 14]</sup>,因此有机碳与全 N 具有密切关系,相关系数为 0.973 ( $r_{0.01} = 0.496, n = 24$ ),达到 1% 显著水平. 与前人的结果类似<sup>[5, 8, 15]</sup>. 前人多集中与土壤有机碳与全 N 的相关性研究,但在各粒径中的相关性的讨论却很少. 将不同粒径的有机碳和全 N 相关分析发现,二者相关性在各粒径中表现不一.< 0.2mm 粒径的全 N 与有机质相关系数为 0.74,达到 1% 显著水平(图 3a),但相关系数并不高,这可能由于土壤粒径较粗,有机质含

量低, C/N 比变异大,组成成份比较复杂,既有 C/N 比高的植物残体等物质,也有易分解的 C/N 比小的含 N 物质. 而且粉粒中固定态铵处理过程中淋失量少<sup>[9]</sup>,占有相当的比例,从而使得有机氮贡献率降低,这也是造成不同开垦年限土壤在< 0.2mm 粒径全 N 含量接近的原因. 0.02~ 0.002 mm 粒径的相关系数为 0.94,达到 1% 显著水平(图 3b). < 0.002 mm 的相关系数也达到了 0.91,达到 1% 显著水平,较< 0.2mm 粒径有较大增长(图 3c),其主要原因可能该粒径土壤粒径较细,粘着性强,吸附了大量有机质,固定态铵作用被减弱而有机质的贡献率增强,使得相关系数增大. 如果将土样处理过程中损失的 N 素考虑在内,相关系数能进一步的提高.

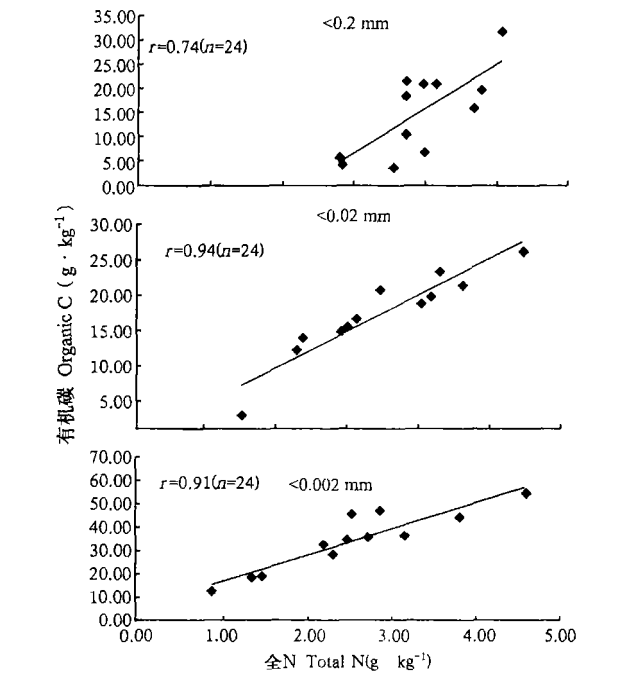


图3 不同粒径全 N 和有机碳的相关性  
Fig. 3 Relationship between organic carbon and total nitrogen in different particle fractions.

4 结 论

- 4.1 无论 0~ 20 cm 或 20~ 40 cm 耕层,土壤各粒径的有机碳随着粒径的变细,其含量逐渐上升, C/N 比趋向于更加稳定,有机质组成也趋向稳定,在较细的粒径所分布的养分几乎占了土壤的全部,对于土壤保肥性能有很大贡献. 土壤全 N 分布规律与有机碳基本相同,由大到小顺序为< 0.002 mm、< 0.02 mm、< 0.2 mm.
- 4.2 随着开垦年限的增长,土壤各粒径有机碳、全 N 的含量粒径分布并未呈现规律性的增长.
- 4.3 有机碳与全 N 的相关系数在< 0.2 mm 粒径

中比较小, 为 0.76, 在 < 0.02 mm 和 < 0.002 mm 粒级中相关系数达到 0.9 以上, 相关性为极显著。可见, 土壤颗粒越细, 有机质与全 N 的关系越密切。

参考文献

1 An G-Y (安国英), Niu S-Y (牛三义). 1993. The study between organic matter, total N and particle size. *J Hebei For Sci Technol* (河北林业科技), (3): 46~ 48 (in Chinese)

2 Bremner JM. 1965. Total nitrogen, inorganic forms of nitrogen, organic forms of nitrogen, nitrogen availability indexes. In: Black CA, ed. *Methods of Soil Analysis*. Madison, WI: American Society of Agronomy. 1148~ 1178

3 Chen L-J (陈利军), Zhou L-K (周礼恺). 2000. Mechanism of nutrient preservation and supply by soil and its regulation IV. Fertility regulation and improvement of brown earth type vegetable garden soil and their essence. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(4): 532~ 534 (in Chinese)

4 Chen L-J (陈利军), Zhou L-K (周礼恺), Zhang X-L (张岫岚). 1999. Mechanism of nutrient preservation and supply by soil and its regulation III. N preservation and supply by brown earth type vegetable garden soil. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 10(6): 676~ 678 (in Chinese)

5 Dang T-H (党廷辉). 1990. The relationship between organic matter, total N, soil texture and the ability of soil nitrogen supplying. *Shanxi Agric Sci* (陕西农业科技), 1: 4~ 7 (in Chinese)

6 Dou S (窦森). 1998. The method of studying thermodynamics of soil organic matter. Research on Sustainable Development of Chinese Agricultural Resource and Environment. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press. 94~ 100 (in Chinese)

7 Guo R (郭然), Wang X-K (王效科), Liu K (刘康). 2004. Carbon and nitrogen pool in forest soil under *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. *Soils* (土壤), 36(2): 192~ 196 (in Chinese)

8 Li J-M (李菊梅). 2003. Significance of soil organic matter, total N and mineralizable N in reflecting soil N supplying capacity. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 40(2): 232~ 238 (in Chinese)

9 Qian X-Q (钱晓晴), Feng K (封克). 1996. The studies of fixation ammonium in different particle size fraction. *Soil Fert* (土壤肥料), 5: 6~ 8 (in Chinese)

10 Stevenson FJ. 1982. Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy Monograph Number 22. Madison, WI: Soil Science Society of Amer-

ica. 45~ 46

11 Su Y-Z (苏水中), Zhao H-L (赵哈林). 2003. Losses of soil organic carbon and nitrogen and their mechanisms in the desertification process of sandy farmlands in Horqin sandy land. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 36(8): 928~ 934 (in Chinese)

12 Wang X-B (王小彬), Cai D-X (蔡典雄). 1971. Fertilizer, retention and their movement. *Agric Res Arid Areas* (干旱地区农业研究), 15(1): 64~ 68 (in Chinese)

13 Wang Y (王岩), Yang Z-M (杨振明), Shen Q-R (沈其荣). 2000. Distribution of C, N, P and K in different particle size fraction of soil and availability of N in each fraction. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 37(1): 85~ 92 (in Chinese)

14 Wu G-Y (武冠云). 1986. The forms, distribution and decomposition of organic nitrogen. *Chin J Soil Sci* (土壤通报), 17(2): 90~ 95 (in Chinese)

15 Xiu M-G (徐明岗). 1993. The relationship between organic matter and total N in Shanxi soils. *Shanxi For Sci* (陕西林业科技), 2: 9~ 10 (in Chinese)

16 Xiu Y-C (徐阳春), Shen Q-R (沈其荣). 2000. Influence of long term application of manure on the contents and distribution of organic C, total N and P in soil particle sizes. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 33(5): 65~ 71 (in Chinese)

17 Yin X-F (尹幸福). 1991. Nitrogen distribution characteristic of macro aggregate particle fractions of nursery aquod. *Sichuan For Sci* (四川林业科技), 12(3): 24~ 27 (in Chinese)

18 Yu J-B (于君宝), Liu J-S (刘景双), Liu S-X (刘淑霞). 2004. The variation of organic mineral complex content and the distribution characteristics of organic carbon fractions in black soil plough layer under different tillage periods. *Syst Sci Comp Stud Agric* (农业系统科学与综合研究), 20(3): 224~ 228 (in Chinese)

19 Zhang X-C (张兴昌), Shao M-A (邵明安). 2000. Soil nitrogen and organic matter losses under water erosion. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(2): 231~ 234 (in Chinese)

20 Zhu J-H (朱静华). 1994. The research of the relationship between soil nutrition and soil particle size fraction in Tianjin region. *Tianjin Agric Sci* (天津农业科学), (1): 1~ 3 (in Chinese)

作者简介 庞祥锋, 男, 1978 年生, 硕士研究生. 主要从事农业生态系统养分循环及植物营养研究. E-mail: pangxf78@163.com