

土壤不同粒级中 C、N、P、K 的分配 及 N 的有效性研究*

王 岩¹ 杨振明² 沈其荣¹

(1 南京农业大学资源与环境学院, 南京 210095)

(2 解放军农牧大学, 长春 130062)

摘 要 本试验首先把 7 种采自不同省份的耕作土壤进行物理分级, 然后测定了土壤 C、N、P、K 在不同粒级中的分布, 同时还进行了不同粒级中 N 的有效性研究。结果表明: 在不同粒级中 C、N 含量和分布均随土壤颗粒的加粗而逐渐下降, 而 C/N 比则与此相反。在 < 2 μm 粒级中 N 的有效性最高, 随着土壤颗粒粒径的加粗有效性逐渐降低。在酸性土壤中 P 主要分布在较细的粒级中, 而在石灰性土壤中则主要分布在较粗粒级中。土壤交换性钾和缓效性钾主要分布在 < 50 μm 粒级中, 表明该组分中 K 是作物吸收 K 的主要来源。

关键词 土壤粒级, 碳, 氮, 磷, 钾

中图分类号 S153

土壤有机氮的矿化对维持土壤 N 素供应是非常重要的, 了解有机氮在土壤不同粒级中的分布和化学形态特征以及它们之间的相互作用对有机氮素矿化产生的影响, 可为揭示土壤自然肥力本质、阐明土壤有机养分循环、转化提供必要的理论基础。Christensen 等人^[1,2]采用超声波分散—沉降法研究了儿种不同类型的土壤后发现, 土壤 N 在土壤粘粒中分布较多, 而在粗粒部分较少。Tiessen^[3]发现耕作和施用有机肥对有机 N 在土壤不同粒级中分布有较大的影响, 表明不同土壤颗粒在养分转化中所起的作用不同。

土壤中的 P 有很大部分以有机 P 的形式存在。Hinds 等^[4]的研究表明, 有机磷的分布和矿化特征因土壤粒级不同而异。不同大小的土壤粒级与土壤 P 或肥料 P 的作用机制可能不同, 从而影响土壤有效 P 库的建立和土壤 P 对植物的有效性。然而, 国内外在这方面的研究较少。

土壤不同形态钾含量、生物有效性及其转化与土壤矿物组成密切相关。研究表明^[5,6], 土壤不同粒级中含钾矿物组成及含量存在较大差异, 导致不同粒级对土壤供钾能力的贡献不同, 但这些研究多以纯矿物来进行, 与田间的实际情况不相吻合。

本文利用超声波分散—沉降法对我国儿种主要土壤进行颗粒分级, 研究 C、N、P、K 在不同土壤颗粒中的分布特征及其对养分有效性的影响, 旨在揭示土壤自然肥力的本质, 为合理施肥和提高土壤肥力提供理论依据。

* 国家自然科学基金资助(项目批准号: 39770442)

收稿日期: 1998-05-26; 收到修改稿日期: 1999-01-15

1 材料与方法

1.1 供试土壤基本性状

供试土壤分别采自我国 7 个省份,基本性状见表 1。土壤及不同粒级中的有机 C 测定采用油浴外加热法;全 N 采用半微量开氏法;全 P 采用高氯酸消煮—钼蓝比色法;土壤交换性钾—用 1mol/L NH_4Ac 提取,缓效钾—用 1mol/L HNO_3 提取(缓效钾 = 酸溶性钾 - 交换性钾),全钾—用 NaOH 熔融—火焰光度计法^[7];pH 用 BECKMAN-pH 计(水土比为 10:1)测定。

1.2 土壤不同粒级的提取

分别称取上述 7 种土壤样品 500g(按风干土计),用超声波仪(CSF-1B,上海)分散(水土比为 10:1, 300 瓦)30 分钟后过 140 目湿筛,将土壤转移至 10 升塑料桶内,使土壤悬液的浓度 $\leq 4\%$,将未过筛的土壤残渣烘干称重。根据 Stokes 定律计算每一粒级的沉降时间,用虹吸法分别提取 $< 2\mu\text{m}$ 、 $2\sim 10\mu\text{m}$ 、 $10\sim 50\mu\text{m}$ 和 $50\sim 100\mu\text{m}$ 四个粒级的土壤颗粒,四个级别的颗粒悬液用巴氏滤管抽滤,并用红外灯及 40°C 烘箱烘去水分再自然风干,称重磨细并进行化学分析。各粒级中 N 的有效性研究,另称取不同土壤各粒级样品 40g,与 10g 细石英砂混均后装入(5cm \times 5cm \times 6cm)塑料钵中种植黑麦草(4 株/钵,三次重复)。待黑麦草出苗后浇入无 N 营养液以补充其它元素的不足,45 天后收获并测定黑麦草所吸收的 N 量。

表1 供试土壤的主要理化性状

Table 1 The characteristics of soils used in the experiment

土号 Soil No.	土壤 Soils	采集地点 Sampling site	母质 Parent material	全C Total C	全N Total N	全P Total P g/kg	全钾 Total K	交换性钾 Exchangeable K mg/kg	C/N比 Ratio of C/N (H ₂ O)	pH
1	草甸黑土	黑龙江佳木斯	黄土物质	21.10	2.15	0.86	21.1	389.4	9.80	6.92
2	塬土	陕西杨陵	黄土物质	6.41	1.01	0.65	22.2	206.8	6.34	7.60
3	褐土	北京	花岗岩	7.16	0.93	0.78	21.4	93.3	7.70	7.25
4	棕壤	山东荣城	花岗岩	6.47	0.89	0.27	23.3	36.6	7.27	7.50
5	紫色土	四川北碚	紫色页岩	7.98	0.97	0.62	23.2	177.1	8.22	7.11
6	红壤	江西刘家	红色粘土	16.10	1.78	0.52	10.5	38.7	9.01	4.51
7	赤红壤	广州	花岗岩	6.90	1.00	0.62	12.4	82.2	6.90	4.95

2 结果与讨论

2.1 不同粒级颗粒在土壤中的分布

表 2 表明,7 种供试土壤 $< 2\mu\text{m}$ 粒级 (F_1) 在土壤中的比例都不高,除 7 号土(14.0%)外,其余 6 种土壤都在 10% 以下。7 种土壤平均为 $(6.45 \pm 4.23)\%$,最低的 3 号土只有 1.2%。本研究在土壤粒级提取过程中未加任何化学提取剂进行土壤预处理,可能达不到在土壤质地分析中的分散效果,所提取的土壤粒级实为有机无机复合胶体,故 F_1 粒级在土壤中的分配比例较小。 $2\sim 10\mu\text{m}$ 粒级 (F_2) 在土壤中的比例除 7 号土(12.6%,较 F_1 粒级有所下降)外,其余土壤都有明显提高,平均为 $(22.24 \pm 13.74)\%$,是 F_1 粒级的 3 倍左右。其中 1

号土最高,为 51.9%,占该土壤的一半以上,其它土壤也都高于 10%。除 1 号土外,其余 6 种土壤 10~50 μm 粒级 (F_3) 所占比例在四个粒级中最大(7 种土壤的变幅为 14.3%~50.4%,平均为 $(30.26 \pm 10.72)\%$),其中又以 2 号土最高(占 50.4%),6 号土次之(占 37.7%),7 号土最低(占 14.3%)。在所有供试土壤中,7 号土风化度程最高,因此,其 F_1 、 F_2 、 F_3 三个粒级的比例比较均匀一致。7 种土壤 F_4 粒级的比例平均为 $11.8\% \pm 7.65\%$,较 F_2 、 F_3 粒级有明显的降低,其中 3 号土稍高,为 25.5%,而 7 号土最低,只有 3.2%。从 7 种土壤总体平均结果来看,四个粒级在土壤中的比例高低顺序为: $F_3 > F_2 > F_4 > F_1$,若将 F_1 、 F_2 、 F_3 三粒级平均数相加,该三粒级在土壤中所占的比例达 59.0%。由于土壤不同粒级的分布不仅影响着它们在土壤养分供应中的贡献大小,也直接关系到土壤养分供应的潜力。因此,从总体上看,土壤养分供应能力在相当大的程度上是受 $< 50\mu\text{m}$ 颗粒中养分供应状况的

表2 不同粒级颗粒在土壤中的分布

Table 2 The distribution of different particle size fractions in the soils

土壤号 Soil No.	不同粒级颗粒在土壤中的分布 Distribution of soil particle size fractions				
	$<2\mu\text{m}$	2~10 μm	10~50 μm	50~100 μm	$>100\mu\text{m}$
	% (w/w)				
1	9.6	51.9	22.0	4.6	11.9
2	3.0	29.1	50.4	8.1	9.4
3	1.2	10.0	30.8	25.5	32.5
4	3.1	13.3	30.8	15.5	37.3
5	5.3	24.7	25.8	14.8	29.4
6	9.0	14.1	37.7	10.9	28.3
7	14.0	12.6	14.3	3.2	55.9
平均	6.5	22.2	30.3	11.8	29.2

影响。

$F_5 (> 100\mu\text{m})$ 土壤颗粒占土壤风干土重的百分比,供试土壤间差异较大,这主要与成土母质有关。由花岗岩风化物发育形成的土壤如:3、4、7 号土,这一比例都在 30% 以上,最高的 7 号土达 55.9%。由于 $> 100\mu\text{m}$ 颗粒主要为石砾,养分含量极少,对土壤供应养分的能力甚微,故在以下研究中该部分略去。

2.2 土壤有机 C、N 在不同粒级中的分布

土壤不同粒级中有机 C 含量及其占土壤有机 C 的比例列于表 3。从表 3 可以看出在 F_1 和 F_2 粒级中有机 C 含量均较高,除 1 号土 F_1 、 F_2 和 6 号土 F_1 粒级外,都高于其土壤有机碳含量。两粒级相比,除 2 号和 7 号土壤外其余土壤上均是 F_2 粒级高于 F_1 粒级,之后随着土壤颗粒粒径加粗,其中的有机 C 含量逐渐降低。从不同粒级中有机 C 含量和该粒级中有机 C 占土壤有机 C 的比例(或丰度)等综合因素来看,土壤有机 C 主要分布在 $< 50\mu\text{m}$ 的土壤颗粒中。由于在颗粒提取过程中可能有一部分有机 C 损失,而存在于 $> 100\mu\text{m}$ 颗粒中的 C 也未测定,因而 7 种土壤中有机 C 的回收率仅为 59.26%~91.55%,平均 $(72.10 \pm 10.90)\%$ 左右。

不同粒级中 N 的分布与有机 C 的分布有所不同,除 3、4 号土壤 F_1 粒级略低于 F_2 粒级

表3 不同粒级中有机C含量及其占土壤有机C的比例(或丰度)

Table 3 The content and distribution of C in different particle size fractions of the soils

土壤号		不同粒级中有机C含量及占土壤有机C的比例(%)								
Soil		The content (g/kg) and abundance of C (%) in the different fractions								
No.	土壤有机碳 (g/kg)	<2 μ m		2~10 μ m		10~50 μ m		50~100 μ m		回收率 %
		C 含量	%	C 含量	%	C 含量	%	C 含量	%	
Soil total C		C content		C content		C content		C content		Recovery
1	21.07	19.20	8.75	20.42	50.30	16.06	16.77	8.52	1.86	77.68
2	6.41	9.20	4.31	8.18	37.13	5.84	45.92	3.32	4.19	91.55
3	7.16	11.25	1.89	15.02	20.98	9.80	42.16	3.22	11.47	76.50
4	6.47	11.25	5.39	15.60	32.07	6.05	28.76	1.41	3.38	69.60
5	7.98	8.18	5.43	9.05	28.01	7.60	24.57	5.20	9.64	67.65
6	16.05	13.00	7.29	19.43	17.07	13.98	32.84	3.03	2.06	59.26
7	6.90	10.15	20.59	10.03	18.31	10.03	20.79	5.91	2.74	62.43
平均	(%)	7.66 \pm 6.10		29.12 \pm 11.91		30.26 \pm 10.80		5.05 \pm 3.88		72.10 \pm 10.90

注:不同粒级中有机C占土壤有机C的比例(%)=该粒级中有机C含量(g/kg)×该粒级在土壤中所占的比例(%) / 土壤有机C含量(g/kg)×100%。

外,其余5种土壤F₁粒级中N含量最高(见表4)。同样,随着粒径的加粗,N在土壤颗粒中的含量逐渐降低。这一结果与Chichester^[8]和Christensen^[1]所得到的结果相似。土壤有机C、N的这一分布规律主要是由于粒径小的颗粒比表面大,因而具有强大的吸附功能所致。7种土壤N的回收率变幅为60.69%~94.65%,平均为(77.58 \pm 11.41)%,略高于有机C的回收率。

表4 不同粒级中N含量及其占土壤全N的比例

Table 4 The content and distribution of N in different particle size fractions of the soils

土壤号		不同粒级中N含量及占土壤全N的比例(%)								
Soil		The content (g/kg) and abundance of N (%) in the different fractions								
No.	土壤全N (g/kg)	<2 μ m		2~10 μ m		10~50 μ m		50~100 μ m		回收率 %
		N 含量	%	N 含量	%	N 含量	%	N 含量	%	
Soil total N		N content		N content		N content		N content		Recovery
1	2.01	3.86	17.24	2.00	48.28	1.54	15.76	0.59	1.26	82.54
2	1.01	3.24	9.62	1.27	36.59	0.90	44.91	0.44	3.53	94.65
3	0.93	1.95	2.52	2.20	23.66	1.22	40.40	0.28	7.68	74.20
4	0.89	2.09	7.28	2.15	32.13	0.80	27.59	0.10	1.74	68.74
5	0.97	2.15	11.75	1.46	37.18	1.15	30.59	0.48	7.32	86.84
6	1.78	3.28	16.58	2.71	21.47	1.71	36.22	0.18	1.10	75.37
7	1.00	1.59	22.26	1.44	20.30	1.16	16.59	0.48	1.54	60.69
平均	(%)	13.06 \pm 6.02		31.37 \pm 9.47		30.29 \pm 10.47		3.45 \pm 2.67		77.58 \pm 11.41

注:不同粒级中N占土壤全N的比例(%)=该粒级中N含量(g/kg)×该粒级在土壤中所占的比例(%) / 土壤全N含量(g/kg)×100%。

各粒级中有机C、N分布特征可用其占土壤有机C和全N的百分数(或丰度)来描述。

表3表明, 尽管在 $0\sim 2\mu\text{m}$ 粒级中C含量较高, 但由于该粒级在土壤中占的比例较小, 故该粒级占土壤有机碳的比例仅平均为7.66%。在 $2\sim 10\mu\text{m}$ 、 $10\sim 50\mu\text{m}$ 和 $50\sim 100\mu\text{m}$ 粒级中则分别平均占土壤有机C的29.12%、30.26%和5.05%。对于N来讲, 在四级级中N分别占土壤全N的13.06%、31.37%、30.29%和3.45%。这一结果表明, 土壤有机C、N在 F_1 粒级中的分布比例(或丰度)相对较低, 而在 F_2 和 F_3 粒级中的分布比例较高。其原因主要是 F_1 该粒级在土壤中所占的比例较小所致。从综合因素来看, 土壤有机C、N主要分布于 F_1 、 F_2 和 F_3 这三个粒级中, 因而它们在土壤养分供应和转化中起最主要的作用。

就其不同粒级中的C/N比来看(表5), 在 $< 2\mu\text{m}$ 粒级中最低(2.84~6.38), 低于其土壤本身的C/N, 随着粒径的加粗各粒级C/N逐渐增大, 至 $50\sim 100\mu\text{m}$ 粒级其C/N均高于土壤本身的C/N比。Turchenek^[9]曾通过测定各粒级中的C/N比对各粒级中的C、N来源进行过研究, 同样也发现C/N比随着粒径的加粗, C/N比逐渐增大。他对细粒级中C/N比较小的解释是: 在小的粒级中存在着大量C/N比小的物质, 如细菌、根系分泌物和脱落物等; 相对而言, 在较粗粒级中存在着C/N比较大的细小根系、部分或完全腐殖质化的有机物质等。在所研究的7种土壤中, F_1 和 F_2 粒级的C/N相差较大, 主要原因可能是由于粒径大小的差异, 对土壤中有机物质的吸附性能不同, 导致它们吸附了不同性质和组成的有机物质。而 F_2 和 F_3 粒级间差别较小的原因则可能是在该两粒级中的有机物质来源相似所致, 均为较粗或半分解的有机物质组成。

表5 土壤各粒级中C/N比

Table 5 The C/N ratio of different particle size fractions of the soils

土壤号 Soil No.	土壤C/N比 C/N ratio of soil	不同粒级的C/N比 C/N ratio of different particle size fractions			
		$< 2\mu\text{m}$	$2\sim 10\mu\text{m}$	$10\sim 50\mu\text{m}$	$50\sim 100\mu\text{m}$
1	9.80	4.97	10.21	10.43	14.44
2	6.34	2.84	6.44	6.49	7.55
3	7.70	5.77	6.83	8.03	11.50
4	7.27	5.38	7.26	7.56	14.10
5	8.22	3.80	6.20	6.61	10.80
6	9.01	3.96	7.17	8.17	16.83
7	6.90	6.38	7.15	8.65	12.31

从表3和表4也可看出, 四个粒级中土壤有机C、N回收率有依土壤采集地点从北到南逐渐减小的趋势。如1号土采自我国黑龙江佳木斯, 其C、N回收率分别为77.68%和82.54%, 而7号土则分别为62.43%和60.69%, 这一趋势可能是由于土壤发育和土壤中矿物风化程度不同导致。南方土壤中矿物遭受强烈风化, 因而土壤各粒级分布较为均匀, 且在组分中的粘土矿物以高岭石为主, 该矿物对土壤有机质的吸附能力较弱^[10], 所以在提取过程中存在于这些粒级中的有机物质损失也就较多。

2.3 土壤不同粒级中N的有效性

表6表明, 黑麦草在不同粒级中干物重和所吸收的N量在 $0\sim 2\mu\text{m}$ 粒级最高, 并且均随着土壤颗粒粒径的加粗而下降(表中1、4号土壤 $0\sim 2\mu\text{m}$ 粒级和1号原始土在放置中被污染, 故未种植黑麦草)。这主要是由于不同粒级中N含量和C/N比不同所致。在7种

表6 在土壤不同粒级上种植的黑麦草干物重和吸N量

Table 6 The dry weight and N absorption amount of ryegrass from different particle size fractions of the soils

土壤号 Soil No.	<2 μ m		2~10 μ m		10~50 μ m		50~100 μ m		原始土壤	
	干物重 DW	吸N量 N amount	干物重 DW	吸N量 N amount	干物重 DW	吸N量 N amount	干物重 DW	吸N量 N amount	干物重 DW	吸N量 N amount
	mg/pot									
1	---		399.1	3.95	280.8	2.64	127.3	1.80	---	
2	879.9	15.57 (21.72)	289.3	2.71 (36.68)	170.9	1.23 (28.83)	90.3	0.73 (2.75)	140.7	2.15
3	729.7	11.97 (6.91)	505.8	5.71 (27.45)	306.0	2.94 (43.53)	143.6	1.20 (14.71)	112.1	2.08
4	---		536.5	6.31 (38.67)	225.5	2.14 (30.37)	114.6	0.98 (7.0)	90.0	2.17
5	622.3	6.18 (19.13)	271.4	2.69 (38.81)	167.6	1.37 (20.65)	138.4	1.27 (10.99)	109.2	1.44
6	633.0	7.70 (30.94)	423.7	4.56 (28.70)	271.9	2.07 (33.66)	146.8	0.95 (4.62)	102.3	2.24
7	378.5	3.82 (40.52)	244.0	2.09 (19.95)	263.8	1.74 (18.85)	209.0	1.70 (4.12)	167.4	1.32

注: 括号内数据为黑麦草所吸收的N占该原始土壤上黑麦草吸N量的百分数(该粒级中黑麦草所吸收的N量×该粒级在土壤中所占的比例/原始土壤上黑麦草吸N量)

土壤上, F_2 、 F_3 、 F_4 粒级也都生长了一定量的黑麦草, 表明各粒级对黑麦草生长均有一定量的贡献。本试验中, 2号土壤 F_1 粒级黑麦草无论是干物重或吸N量均最高, 这与该土壤 F_1 粒级 C/N 最低相对应。尽管该土壤 F_2 、 F_3 、 F_4 粒级的 C/N 比在这7种土壤中也最低(F_2 的 C/N 比略高于5号土中 F_2 的 C/N 比), 但黑麦草干物重和吸N量在这7种土壤中并不是最高。导致这种差异的原因可能很多, 其中一个重要原因可能是不同土壤同一粒级之间矿物组成成分不同, 导致对土壤有机物质的吸附力不同或所吸附的有机物质性质、成分不同, 因而形成了不同稳定性的有机无机复合物, 影响了这些有机物质的分解和N素释放。可能正是这种差异, 决定了该粒级在土壤养分供应中所起的作用或贡献大小不同。

从表6的结果还看出, 原始土壤上黑麦草干物重或吸N量基本与10~50 μ m粒级上黑麦草相当, 这可能因为原始土壤的含N量和C/N比与10~50 μ m粒级相似所致。另外, 尽管原始土壤中含有一定比例的细小颗粒, 但这些细粒一般与土壤有机质结合形成了复合胶体, 这些复合胶体之间又可相互结合形成团粒结构, 那么在较短的培养时间内, 一些有机质由于受到团粒结构的保护而不能被微生物矿化, 从而限制了黑麦草的生长。各粒级黑麦草吸N量占原始土壤黑麦草吸N量的比例各土壤间差异较大, 表明它们在决定土壤肥力方面所起的作用不同。如3号土 F_1 粒级上仅为6.91%, 这就表明尽管该粒级中N含量高, C/N 比也较小, 但由于其在土壤中所占的比例较小, 因而其对土壤N素供应的贡献较小。除3号土壤外, 其余土壤 F_1 粒级上黑麦草吸N量占原始土壤黑麦草吸N量的比例较大, 在19.13%~40.52%之间, 表明在这些土壤上尽管该粒级在土壤中所占的比例较小

(10%左右),但在土壤N素供应方面所起的作用较大,这可能就是不同土壤间肥力差异的重要原因之一。 F_2 和 F_3 粒级上黑麦草吸N量占原始土壤黑麦草吸N量的比例均较大,分别为 $(31.71 \pm 7.60)\%$ 和 $(29.3 \pm 9.02)\%$,两粒级相加达61%以上,表明这两粒级在土壤N素供应上起着决定性的作用。比较而言, F_1 粒级在土壤N素供应方面所起的作用就小得多。

2.4 磷在土壤不同粒级中的分布

土壤中的有机磷约占土壤全P的30%~50%,就其形态来看,主要是肌醇磷酸盐、磷脂、核酸和未知形态的磷,它们与土壤胶体颗粒紧密结合。土壤中的无机磷主要存在于次生矿物中,由于成土条件的不同,北方土壤中以Ca-P为主,南方酸性土壤中以Fe-P和Al-P为主。磷在土壤中的分布形态,在一定程度上反映了土壤的风化程度和风化过程。

表7 不同粒级中P含量及其占土壤全P的比例

Table 7 The content and distribution of P in different particle size fractions of the soils

土壤号		不同粒级中P含量及占土壤全P的比例(%)								
Soil No.	土壤全P	The content (g/kg) and abundance (%) of P in the different fractions								
		<2 μ m		2~10 μ m		10~50 μ m		50~100 μ m		回收率
	土壤全P (g/kg)	P含量 (g/kg)	P含量 (%)	P含量 (g/kg)	P含量 (%)	P含量 (g/kg)	P含量 (%)	P含量 (g/kg)	P含量 (%)	Recovery (%)
1	0.86	0.57	6.36	0.81	48.88	0.51	13.00	0.47	2.51	70.67
2	0.65	0.59	2.72	0.71	36.26	0.57	44.20	0.59	7.35	90.53
3	0.78	1.07	1.65	1.07	13.72	0.61	24.09	0.65	2.13	41.58
4	0.27	0.74	8.50	0.70	34.88	0.23	26.24	0.18	21.30	90.47
5	0.62	0.61	5.21	0.61	24.30	0.78	32.46	0.67	16.30	78.72
6	0.52	1.16	20.00	0.59	16.00	0.33	23.92	0.03	0.63	60.55
7	0.62	1.06	23.90	0.67	13.62	1.04	24.00	1.12	5.78	67.34
平均	(%)	9.77 \pm 8.06		26.81 \pm 12.59		26.84 \pm 8.86		7.99 \pm 7.25		71.41 \pm 16.07

注:不同粒级中P占土壤全P的比例(%)=该粒级中P含量(g/kg)×该粒级在土壤中所占的比例(%) / 土壤全P含量(g/kg)×100%。

从不同粒级P含量来看(表7),总的趋势仍为随着土壤颗粒粒级的加粗,P含量逐渐降低。除1、2、5号土壤外,其余4种土壤 F_1 粒级P含量均高于土壤本身的P含量,如6、7号土壤中 F_1 粒级P含量比其土壤全P高1倍左右。就各组分中P占土壤全P比例来看,北方土壤(1~5号土)与南方土壤(6、7号土)有着明显的不同。1至5号土中, F_1 粒级中P占土壤全P的比例在1.65%~8.50%范围内,大部分的P分布在 F_2 和 F_3 粒级中,分别平均为 $(31.61 \pm 13.27)\%$ 和 $(28.00 \pm 11.46)\%$,二粒级相加达59.6%以上。而6、7土中, F_1 中P所占的比例较大,达20.00%~23.94%,在 F_2 中的比例为13.62%~16.00%,低于 F_1 中所占全P的比例,但在 F_3 中其比例又增加到24%左右。这就表明,土壤P在不同粒级中的分布可能与土壤本身的性质如土壤pH和粘土矿物组成等有很大关系。例如,南方土壤pH较低且有较多的Fe、Al氧化物,磷灰石的细粒部分容易风化,产生的磷酸铁和磷酸铝在粘粒部分积累。此外,农业生产中施入磷肥后,磷与土壤中Fe、Al氧化物结合也相对积累于粘粒部分。这样由于P在土壤不同粒级中的分配差异,以及土壤不同粒级矿物组成和不同粒级

中有机物质含量等因素不同, 均将进一步影响 P 的有效性。由于本试验中提取的各粒级土壤数量有限, 各粒级 P 有效性的研究将于今后进行。

2.5 土壤不同粒级不同形态钾的含量及分布

与土壤中 C、N、P 不同, 土壤中基本上没有有机态 K, K 主要存在于土壤矿物中或被土壤胶体所吸附。K 在土壤各粒级中的含量及分布影响着土壤供钾状况。

表8 土壤不同粒级不同形态钾的含量及分布

Table 8 The content and distribution of different forms of K in various particle size fractions of the soils

土号 Soil No.	交换性钾 Exchangeable K (K, mg/kg)				非交换性钾 Non-exchangeable K (K, mg/kg)				全钾 Total K (K, g/kg)			
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
1	393.2 (34.6) ¹⁾	544.4 (48.0)	159.0 (14.0)	38.7 (3.4)	2584.4 (38.4)	2671.6 (39.7)	1209.6 (18.0)	263.7 (3.9)	16.7 (20.8)	20.9 (26.1)	20.7 (25.8)	21.8 (27.3)
2	299.4 (36.6)	345.4 (42.3)	149.0 (18.2)	23.7 (2.9)	2278.0 (29.8)	2555.9 (33.5)	2187.6 (28.6)	620.9 (8.1)	18.7 (23.5)	26.0 (32.7)	19.0 (23.9)	15.8 (19.9)
3	433.5 (42.4)	457.3 (44.7)	98.9 (9.7)	33.7 (3.2)	3421.4 (33.9)	3720.6 (36.9)	2152.5 (21.3)	791.0 (7.9)	21.5 (25.8)	22.7 (27.3)	19.0 (22.8)	20.1 (24.1)
4	313.1 (42.0)	360.7 (48.3)	58.7 (7.9)	13.6 (1.8)	1779.1 (37.2)	1912.1 (39.9)	665.7 (13.9)	429.4 (9.0)	19.4 (23.5)	16.8 (20.4)	17.5 (21.2)	28.8 (34.9)
5	401.4 (44.5)	313.6 (34.7)	133.9 (14.8)	53.8 (6.0)	1344.7 (30.6)	1354.3 (30.8)	1212.2 (27.5)	489.7 (11.1)	30.8 (34.2)	24.6 (27.3)	21.2 (23.6)	13.4 (14.9)
6	213.7 (46.5)	158.7 (34.5)	68.8 (15.0)	18.6 (4.0)	450.1 (51.8)	54.0 (29.2)	153.2 (17.6)	12.4 (1.4)	12.7 (38.8)	10.6 (32.4)	6.7 (20.5)	2.7 (8.3)
7	156.1 (38.8)	138.8 (34.5)	78.7 (19.6)	28.7 (7.1)	209.5 (30.4)	163.7 (23.7)	203.4 (29.5)	112.8 (16.4)	17.4 (29.1)	16.8 (28.0)	16.6 (27.7)	9.1 (15.2)
平均	(40.8 ±4.0)	(41.0 ±5.9)	(14.1 ±2.9)	(4.1 ±1.7)	(36.0 ±7.2)	(33.4 ±5.5)	(21.1 ±5.3)	(6.9 ±3.3)	(27.9 ±6.0)	(27.3 ±3.8)	(23.6 ±2.3)	(20.7 ±8.2)

1) 括号内数据为某粒级形态钾占该形态钾在四粒级中总量的百分数。

从7种供试土壤交换性钾含量看(表8), 1、2、3、4号四种土壤是 F₂粒级高于 F₁粒级, 其余土壤随着粒级的增加而降低。交换性钾主要集中在 F₁、F₂粒级, 即 < 10 μ m粒级中, 两粒级交换性钾之和占四粒级交换性钾总量的 81.8% 左右。F₃粒级中交换性 K 占的百分数, 7种土壤平均为 14.1%, 而 F₄粒级只有 4.1%。土壤不同粒级中交换性钾这一分布特点与不同粒级矿物组成间的差异有关。由土壤不同粒级矿物分析可知, 土壤含钾次生矿物和 2:1 型粘土矿物主要分布于 < 10 μ m粒级中, 而土壤交换性钾又主要存在于这些层状硅酸盐矿物的各种交换位点上。因此, < 10 μ m粒级中交换性钾总量必然较高。值得注意的是, 1、2、5号土 F₃和 F₄粒级中交换性 K 的含量也较高, F₃粒级中三种土壤都在 130mg / kg 以上, F₄粒级也都在 40mg / kg 以上, 这也就决定了这些土壤对当季作物供钾能力较高。

从表8也可以看出, 同一土壤各粒级间非交换性钾的变化规律与交换性钾相似, 亦是 F₁、F₂粒级中所占的比例较大, 平均占四粒级非交换性钾总量的 69.4%, 而 F₃、F₄粒级所占的比例则较小, 分别为 21.2% 和 6.9%, 但与交换性钾相比, 两粒级的比例有所提高。非交

换性钾在 F_3 、 F_4 两粒级所占比例的提高, 说明较粗粒级对土壤长期供钾能力较大。由于 $< 50\mu\text{m}$ (F_3 以下粒级) 部分的非交换性钾含量占该形态钾总量的 90% 以上, 因此这一部分是土壤中非交换性钾的主要贡献者。

与交换性钾、非交换性钾相比, 全钾在各粒级所占的比重更趋相近, 四粒级平均变化在 20.7%~27.9% 之间。到目前为止, 还没有有力的实验证据证明矿物钾对植物的 K 素营养有直接的供应作用, 所以在短期内 F_4 粒级对土壤钾素供应的作用就要小得多。

此外, 同一土壤四粒级交换性钾之和与原土壤交换性钾含量(见表 1)相比, 除 4、6 号土增加外, 其余都有不同程度的降低, 这可能是由于在提取土壤颗粒时, 存在部分损失(尤其 $< 2\mu\text{m}$ 部分), 同时还有 $>100\mu\text{m}$ 部分未包括在内所致。至于 4、6 号土交换性钾增加的原因, 则可能是在颗粒提取过程中, 因土壤长时间(30~40 天)浸于水中, 而后又经脱水干燥, 从而促使钾素释放所致。

3 结 论

土壤中大部分有机 C 分布在 $< 50\mu\text{m}$ 的粒级中, 不同粒级中 C、N 含量和分布均随土壤颗粒粒径的加粗而逐渐下降, 而 C/N 比则随着土壤颗粒粒径的加粗逐渐增加。在 $< 2\mu\text{m}$ 粒级中 N 的有效性最高, 随着土壤颗粒粒径的加粗有效性逐渐降低。但对于整个土壤来讲, $< 50\mu\text{m}$ 粒级决定着土壤 N 素供应能力的强弱。P 在土壤不同粒级中的分布与土壤性质有关, 在酸性土壤中 P 主要分布在较细的粒级中, 而石灰性土壤中则主要分布在较粗粒级中。钾在土壤中的分布与土壤风化程度有关, 交换性钾和缓效性钾主要分布在 $< 50\mu\text{m}$ 粒级中, 说明该组分中 K 是作物吸收 K 的主要来源。

参 考 文 献

1. Christensen B T. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish arable soils by ultrasonic dispersion and gravity-sedimentation. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 1985, 35:175~187
2. Cameron R S, Posner A M. Mineralizable organic nitrogen in soil fractionated according to particle size. *Journal of Soil Science*, 1979, 30:565~577
3. Tiessen H, Stewart J W B. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter. II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Science Society of America journal*, 1983, 47:509~514
4. Hinds A A, Lowe L E. Distribution of C, N, P and S in particle-size separates from Gleysolic soils. *Can. J. Soil Sci.*, 1980c. 60:783~786
5. 罗家贤, 蒋梅茵. 我国主要土壤的云母含量与供钾潜力的关系. *土壤学报*, 1985, 22(2): 150~156
6. 朱永官, 罗家贤. 我国南方一些土壤的钾素状况及其含钾矿物. *土壤学报*, 1994, 31(4): 430~438
7. 李酉开主编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983
8. Chichester F W. Nitrogen in soil organo-mineral sedimentation fractions. *Soil Science*, 1969, 107:356~363
9. Turchenek L W, Oades J M. Fractionation of organo-mineral complexes by sedimentation and density techniques. *Geoderma*, 1979, 21:311~343
10. 于天仁主编. 土壤化学原理. 北京: 科学出版社, 1987

DISTRIBUTION OF C, N, P AND K IN DIFFERENT PARTICLE SIZE FRACTIONS OF SOIL AND AVAILABILITY OF N IN EACH FRACTION

Wang Yan¹ Yang Zhen-ming² Shen Qi-rong¹

(1 *Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095*)

(2 *Department of Agronomy, Changchun University of Agricultural and Animal Sciences, Changchun 130062*)

Summary

Seven soils with a large range of soil organic carbon and nitrogen were fractionated according to particle size by ultrasonic dispersion and sedimentation, then the distribution of soil C, N, P and K in the clay, silt and sand fractions was determined. At the same time, the availability of N in each fraction was also studied. The results showed that the C and N contents and their percentages in the soil organic C and N decreased with the increase of particle size, but the C / N ratio increased with the increase of particle size. The availability of N in < 2 μ m fraction was highest and decreased with increase of the particle size. Soil P was mainly distributed in the fine fractions on the acidic soils, however on the calcareous soils in the coarser fractions. The exchangeable and non-exchangeable K was concentrated on the < 50 μ m fractions, indicating these fractions were the important K source to plant in the soil.

Key words Soil particle size fraction, C, N, P and K