

我国土壤中的固定态铵

文启孝 程励励 陈碧云

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 叙述了全国除高山土带和亚高山土带外各土带土壤中固定态铵的绝对含量和相对含量以及各主要土壤的固铵能力, 讨论了固定态铵的来源、影响固定态铵含量和土壤固铵能力的因素, 以及铵的固定和释放在土壤氮素内循环中的意义。以土带为单位, 各土带中, 黄棕壤带内的土壤的固定态铵含量最高, 为 257mg/kg, 砖红壤带内的土壤最低, 仅为 48mg/kg。耕地土壤 0~20cm 土体中, 固定态铵的储量全国平均约为全氮储量的 15%。各土壤中固有的固定态铵的有效性, 主要决定于土壤母岩(质)的种类和土壤的风化程度, 一般变动在 3%~20% 间。各土带中, 黄棕壤带的土壤的固铵容量最大, 砖红壤带、赤红壤带、灰棕漠土带和棕漠土带的土壤以及红壤带的部分土壤则不具有固定加入铵的能力。根据固定态铵的绝对含量、它对土壤 N 库的贡献以及表土固铵能力大小等的不同, 将全国除高山土带和亚高山土带外分成了 10 个土区。

关键词 有效性固定态铵, 固定态铵, 固铵容量

中图分类号 S143.1⁺²

从本世纪 50 年代起, 固定态铵是土壤氮库的一个重要组成部分已逐步得到公认。它的有效性首先受到研究者的广泛注意。随着工作的深入, 铵的矿物固定和释放在土壤氮素转化和氮素肥力中的意义也越来越多的为人们所了解。然而迄今为止, 固定态铵占土壤氮素的份额仍缺乏较准确的估计; 对决定其有效性的机制的了解仍有待深入; 铵的固定和释放在氮素转化和氮素肥力中的作用尤待引起土壤氮素研究者予以应有的注意。

我国土壤固定态铵方面的工作起步较晚, 80 年代中期, 始见这方面的报道。迄今为止, 已发表的这方面文献, 据统计, 尚不超过 40 篇。本文拟对这些工作作一回顾, 旨在促进土壤工作者特别是土壤氮素工作者对这一研究领域的注意, 并进一步加强这方面的研究工作。

1 来源

众所周知, 全球中 97.6% 的氮存在于岩石圈中^[1]。据估计, 火成岩的这些氮中, 几乎全部以固定态铵存在^[2, 3]。沉积岩中固定态铵占全氮的份额较低, 且因岩石种类和层位的不同差异很大; 但其浓度则显著高于岩浆岩。例如, 根据福建紫金山—花岗岩体两个钻孔的

资料^[4],不同深度处岩体中的固定态铵含量变动在 12~124mg/kg 间,平均为 42.5mg/kg ($n = 23$)。而根据 19 个不同地质时期沉积岩样资料的统计,其固定态铵含量在 104~1064mg/kg 间,平均为 470.7mg/kg;固定态铵占全氮的份额变动在 15.9%~99.6% 间,平均为 75.0%^[5]。

土壤中部分固定态铵即直接来源于其母岩。这在一些发育于沉积岩上的新成土上表现最为明显。例如,广布于四川、重庆和其它各省的紫色土以及湘西的青扁砂土和黄扁砂土。它们的成土年龄很短,有的甚至只有几年,全剖面只有 A、C 两个土层。两土层中的固定态铵含量大多基本相同。Sparks 等^[6]曾报道,发育于石灰性高镁泥质页岩上的四个弱发育湿润淋溶土剖面,其固定态铵含量由 Cr 层的平均 543mg/kg,依 C-B-Ap 层的次序逐次降低,Ap 层平均为 365mg/kg。Martin 等^[7]在研究 4 个发育于千枚岩上的剖面也观察到类似的情况,且各剖面由 C 层至 A 层其 $W(\text{NH}_4^+):W(\text{K}^+)$ 比值仍保持恒值。这表明这些土壤中的固定态铵几乎全直接来自其母岩。

和某些页岩、砂岩等不同,火成岩在演化为土壤前,必须经历较长时间和较强烈的风化作用,因而土壤中直接来自火成岩的固定态铵不如沉积岩那样容易判定。如果我们把土壤中难提取性氮(不能为常用的克氏法测出的固定态铵)看作是火成岩形成时生成的含铵矿物中的固定态铵,则徐闻(广东)由玄武岩发育的砖红壤和青岛由花岗岩发育的棕壤中难提取性氮即为直接来自母岩中的固定态铵。

土壤中部分固定态铵来自风化过程(包括含铵长石等转化为层状硅酸盐)和成土过程中矿物对铵的固定。黑垆土、塿土和下蜀黄土上发育的黄褐土、黄棕壤等很多土壤,同一剖面中 A 层中的固定态铵含量显著高于 C 层是这方面的一个例子。在一个肥料试验中我们还看到,一个下蜀黄土上发育的淹育性水稻土(江苏溧阳),表土中的固定态铵含量试验前为 $(487 \pm 1.0)\text{mg/kg}$,在稻麦两熟制下,每季作物施用化肥氮 138kg/hm^2 ,施用氮肥的处理(NP 和 NPK),一年后增加为 $(696 \pm 3.1)\text{mg/kg}$,二年后为 $(804 \pm 5.4)\text{mg/kg}$,三年后为 $(901 \pm 5.4)\text{mg/kg}$,四年后即增至 $(946 \pm 5.4)\text{mg/kg}$,较之黄土高原土壤的最大固铵量还高。至于土壤中来自上述两种来源的各有多少,迄今尚无法得知。我们设想,在母岩能确定的情况下,母岩和土壤间去除了交换性钾、铵后的 $W(\text{K}^+):W(\text{NH}_4^+)$ 比值的差异或许可以作为两种来源所占份额的大致量度。

2 含 量

2:1型矿物的种类和含量与铵的浓度是决定土壤中固定态铵含量的两个最主要因子。凡影响此两因子的因素都将影响土壤中的固定态铵含量。生物气候条件是影响矿物组成的一个重要因素。我国各地土壤因生物气候条件的不同,土壤的矿物组成大体上呈相应的有规律的变化,从而土壤的固定态铵含量呈现一定的相应变化。同时,同一地区、同一母质发育的土壤(砖红壤、赤红壤除外)固定态铵含量还随粘粒含量增多而增多^[8,9]。成土母质和成土年龄是影响矿物组成的另两个因素。母质不同,不但矿物的组成彼此间差异很大,而且即使矿物组成类型相同,其固定态铵含量也可差异很大。成土年龄不同,土壤的风化程度也不相同,对表土来说,其中的铵浓度也可能有所不同。因而在同一土壤带内

由于成土母质和成土年龄的不同,各土壤的固定态铵含量可以有很大的不同。红壤带内,土壤的固定态铵含量与云母含量呈极显著正相关就说明了这一点^[10]。此外,耕垦,特别是水稻栽培,不仅影响土壤中矿物的转化和迁移,且可显著影响土壤溶液中 NH_4^+ 、 K^+ 的浓度,从而同一土壤在不同利用方式下其固定态铵含量也会有所不同。正是由于上述各个因素的共同作用,致使我国各地土壤的固定态铵含量呈现出一幅复杂多变、但大体有序的图画。

从各土带来看,在砖红壤带,由于风化作用强烈,成土母岩又多为花岗岩、砂岩、板岩,另有部分高度风化的第四纪红土以及浅海沉积物,土壤粘土矿物主要为高岭石和赤铁矿,次为三水铝石,因而除部分发育自玄武岩的底土外,其固定态铵含量均很低,一般变动在 20~70mg/kg 间,平均为 48.7mg/kg,某些玄武岩发育的砖红壤底土,其固定态铵量则可高达 202mg/kg。

在赤红壤带,风化作用强度仅略次于砖红壤带,成土母岩主要为花岗岩、砂岩,另有浅海沉积物、河流冲积物和部分石灰岩风化物,除石灰岩风化物发育的土壤和珠江三角洲土壤外,带内土壤的粘土矿物也主要为高岭,次为三水铝石和赤铁矿,因而其固定态铵含量一般也很低,大多变动在 20~70mg/kg 间。石灰岩风化物上发育的土壤和珠江三角洲土壤其固定态铵含量则在 120~160mg/kg 间。

红壤、黄壤带风化作用虽较强烈,由于成土母岩和成土年龄的多样性,各土壤的固定态铵含量差异很大,最低的仅 22mg/kg,最高达 677mg/kg(表 1)。

表1 红壤带内发育于不同母质上的土壤的固定态铵含量

Table 1 Content of fixed NH_4^+ in soils derived from different parent materials in the red soil zone

母质 Parent material	样品数 Number of soil samples	固定态铵 Fixed NH_4^+	
		(mg/kg)	占全N% % of total N
硅质灰岩	14	50.6±25.2	4.5±2.6
花岗岩	12	62.8±56.6	5.8±4.1
第三纪红砂岩	10	72.2±40.8	10.0±4.3
玄武岩	5	72.8±30.7	3.5±1.5
千枚岩	7	107.0±38.0	8.0±5.6
黄土状物质	5	139.3±10.8	24.1±9.0
第四纪红色粘土	35	146.7±102.5	14.2±8.6
泥质灰岩	19	233.0±121.3	17.3±13.3
河流冲积物	37	255.2±85.2	26.9±17.3
紫色砂页岩	44	285.1±76.3	38.1±18.7
页岩	16	341.2±116.5	21.2±10.0

黄棕壤带土壤风化程度中等,粘土矿物一般以水云母、蛭石为主,固定态铵的平均含量为各土带之冠。其中以长江冲积物上发育的土壤最高(平均 324.5mg/kg, $n = 89$),下蜀黄土上发育的次之(平均 184.8mg/kg, $n = 65$),花岗岩、(石英)砂岩等上发育的更次之(平均 155.8mg/kg, $n = 14$)。

棕壤、褐土、黑垆土带土壤的成土母质主要为黄土和黄、淮、海河冲积物(其中又以黄河冲积物为主),东部山东半岛等地则为花岗岩等火成岩风化物。风化程度较黄棕壤带为弱,固定态铵含量一般在 140~210mg/kg间,平均为 182mg/kg。

暗棕壤、黑土、黑钙土带内土壤因母质不同而异。发育于火成岩风化物的白浆土、暗棕壤和暗栗钙土较低,有的表土仅 47mg/kg,发育于黄土状物质和河流冲积物的较高,一般在 130~220mg/kg间,最高的可达 437mg/kg。

栗钙土、灰钙土、棕钙土带土壤风化程度一般均很低。其固定态铵含量一般在 90mg/kg 以下,某些发育于冲积物和黄土状物的土壤的表土可在 100mg/kg以上。

灰棕漠土带和棕漠土带的土壤风化程度最低。由于母质的不同,前者的固定态铵含量一般在 130~200mg/kg间,后者在 90~150mg/kg间。

各土带内土壤的固定态铵含量平均值列于表 2。虽然表 2 仅是各土样固定态铵含量的算术平均值,并未考虑到各种土壤的面积,且其中的一半的土样为表土层,但可以表示我国各土带内土壤固定态铵含量变化的大致趋势。

表2 各土壤带内土壤中的固定态铵含量

Table 2 Content of fixed NH_4^+ in soils of different soil zones

土 带 Soil zone	样品数 Number of Soil samples	固定态铵 fixed NH_4^+	
		(mg/kg)	占全N% % of total N
砖红壤带	58	48.1±28.5	4.6±4.7
赤红壤带	37	64.6±40.1	9.9±9.5
红壤带	212	203.8±146.2	20.7±17.2
黄棕壤带	185	257.4±90.4	27.5±17.4
棕壤、褐土、黑垆土带	167	181.8±36.8	30.0±12.1
暗棕壤、黑土、黑钙土带	116	142.6±65.4	16.1±14.4
栗钙土、棕钙土、灰钙土带	57	86.9±49.2	14.2±13.2
灰棕漠土带	30	182.5±80.3	39.5±19.8
棕漠土带	13	159.8±48.8	52.3±25.4
山地土壤 ¹⁾	26	147.6±77.7	13.3±12.7

1) 红壤带和灰棕漠土带海拔1000m以上的山地土壤。

固定态铵占全氮的份额决定于固定态铵本身及土壤全氮的含量,各土壤间差异很大,其共同的趋势是,它皆随剖面深度而增大。砖红壤带和赤红壤带土壤,除某些石灰岩发育的土壤和珠江三角洲水稻土外,表土(0~20cm)中固定态铵的相对含量大多在 10% 以下,最低的不足 2%。0~100cm 土体中固定态铵的相对含量则视土壤而差异很大,有的仍不足 2%,有的则可达 15% 或更高。暗棕壤、黑土、黑钙土带内多数土壤,特别是自然植被下的土壤以及栗钙土带自然植被下的栗钙土,其表土(0~20cm)中固定态铵的相对含量也在 10% 以下。其余土壤,包括除东北以外的各地水稻土,华北平原、黄土高原的广大耕地土壤以及除栗钙土以外的干旱区的自然土壤和耕地土壤,无论表土或底土,其固定态铵的相对含量均在 10% 以上(表 2)。其中,成都平原、江汉平原和太湖平原水稻土 0~20cm 土体

表3 我国一些主要土壤中固定态铵的储量
Table 3 Amounts of fixed NH_4^+ to depths of 20 and 100cm for the major soil groups of China

土带 Soil zone	土壤 Soil	剖面数 Number of Profiles	0~20cm		0~100cm		
			全N Total N (kg/hm ²)	固定态铵 Fixed NH_4^+ (kg/hm ²)	全N Total N (kg/hm ²)	固定态铵 Fixed NH_4^+ (kg/hm ²)	
			占全N% % of total N	占全N% % of total N	占全N% % of total N		
红壤带	红壤性水稻土 (QRC) ¹⁾	(2)	2460	326	8000	2805	35.1
	成都平原水稻土 紫色土 ²⁾	(6)	3535	693	11749	3877	32.6
		(30)	2375	721	—	—	—
黄棕壤带	太湖平原水稻土	(8)	3532	676	10857	3880	36.4
	江汉平原水稻土	(12)	5680	915	19377	4979	26.0
	黄褐土(下蜀黄土)	(5)	2346	489	7590	2412	32.1
棕壤、褐土、 黑垆土带	黄淮海平原潮土	(9)	1776	517	7017	2760	41.1
	黑垆土、矮土	(4)	3259	515	12448	2547	23.4
暗棕壤、黑土、 黑钙土带	暗棕壤 ³⁾	(2)	5096	230	8518	826	9.7
	黑土	(4)	7196	359	17005	1814	10.6
	黑钙土	(2)	5700	558	16620	2440	14.4
	草甸土	(4)	5600	409	12760	1835	14.4
	暗栗钙土	(7)	6090	349	15130	1476	9.8
栗钙土、灰钙 土、棕钙土带	栗钙土	(8)	3380	213	8260	904	10.8
	灰钙土	(1)	2290	261	6660	1860	27.9
	棕钙土	(1)	1980	473	5150	2434	47.3
漠土带	灌耕(淤)土	(3)	2156	464	8340	2420	30.9
	灰棕(棕)漠土	(4)	755	365	2895	1764	58.9

1) QRC—第四纪红色粘土。

2) 该类土壤一般为A—C型或A—C—D型,土层厚度仅为30~50cm。

3) A₀层未计入。

中的固定态铵储量分别占全氮储量的 19.6%, 16.7% 和 19.4%, 0~100cm 土体中的相应数字分别为 32.6%, 26.0% 和 36.4%; 黄淮海平原土壤和新疆灰(棕)漠土 0~20cm 土体中的固定态铵储量占全氮储量分别高达 30.3% 和 52.0%, 0~100cm 土体中分别为 41.1% 和 58.9%(表 3)。由于目前积累的资料有限, 特别是缺乏高山土带和亚高山土带的资料, 现时尚不能对全国土壤中固定态铵占全氮的份额作出总的估计, 但从表 3 来看, 10% 的估计值^[1]可能偏低了, 就全国耕地土壤而言, 0~20cm 土体中固定态铵的储量估计约占全氮储量的 15%。

3 有效性

和层间钾的有效性相类同, 固定态铵的有效性决定于铵从层间迁移释出的速度。后者除决定于铵的浓度梯度外, 主要决定于层间铵的键合强度、层间空间状况(大小和障碍物有无)和迁出距离, 即主要决定于含铵矿物的结构及其风化程度。一般认为, 只是位于楔形带的固定态铵才能为微生物和高等植物利用。

还没有土壤中层间铵的键合强度等方面的报道。从土壤中“难提取性氮”的研究结果来看, 因母岩和土壤风化程度的不同, 不同土壤中含铵矿物的分解难易程度就差异很大。例如, 新疆的某些漠境土壤, 包括自然植被下的土壤和耕地土壤, 表土中不能为克氏法测出的固定态铵量占固定态铵总量的 19.4%~36.8%(平均 28.4%), 底土最高可达 52.9%; 四川的一些紫色土的 A、C 层中该数值则为 4.2%~31.1%(平均 12.3%, $n = 12$); 而绝大多数赤壤带、砖红壤带的土壤的各土层和水稻土的表土该数值均为 0%^[5]。

通过盆栽、幼苗或田间试验, 曾经研究了一些水稻土、砖红壤、红壤、矮土、潮土、棕壤、草甸土中固定态铵的有效性。由于供试作物种类、种植密度以及土壤等的不同, 各土壤中新固定的固定态铵的有效性变动在 70%~100% 间, 原有的固定态铵的有效性除上述因素外, 更因耕垦施肥历史的不同而异, 一般均较新固定的固定态铵为低, 在 3.5%~20% 间^[11]。田间试验中亚表土和心土中固定态铵的有效性均显著较表土为低^[11]。

除幼苗法外, 盆栽试验特别是田间试验所测得的土壤有效性固定态铵量均低于实际值, 这从作物不同生育期以及同一时期不同深度土层中固定态铵量的变异可以得到印证^[12, 13]。利用加入大量能源物质的培育法可以较快的测定不同土样中有效性固定态铵的含量^[14]。已经知道, 矿物钾的释放速率很慢。因此, 该法测得的数值或许可以看作是当前相当一段时间内该土壤中能参与生物循环的固定态铵量。根据对小麦灌浆期时采集的 6 个成都平原水稻土剖面土样的研究结果, 各土层中有效性固定态铵的相对含量(占固定态铵总量的 %)在 1.4%~24.9% 间; 在当前相当一段时间内不能参与生物循环的固定态铵平均占 0~100cm 土体中全氮储量的 27.8%^[15]。不同土壤中含铵矿物的结构和风化程度不同, 其中现时不能参与生物循环的固定态铵对土体中全氮储量的贡献率有多大还需要更多的研究。

不同岩石含铵矿物的种类和结构不同, 从而不同母岩上发育的土壤其固定态铵的有效性会有所不同。火成岩必须经风化后其中的固定态铵才能释出, 沉积岩则不同, 因物源和成岩条件的不同, 不同沉积岩中含铵矿物的抗风化强度及固定态铵的有效性可以有较

表4 一些土壤的母岩或其半风化体中有效性固定态铵含量¹⁾Table 4 Content of available fixed NH_4^+ in parent rocks or their weathered materials of some soils

土壤 Soil	采集地点 Location	样品 Sample	母岩 Parent rock	全N ²⁾ Total N (mg/kg)	固定态铵		有效性固定态铵	
					Fixed NH_4^+ (mg/kg)	% of fixed NH_4^+	Available fixed NH_4^+ (mg/kg)	% of fixed NH_4^+
紫色土	四川遂宁	C层	紫色砂页岩(侏罗纪)	477	348	4.3	1.2	
紫色土	四川合川	C层	紫色砂页岩(侏罗纪)	524	271	7.1	2.6	
紫色土	四川蓬溪	C层	紫色砂页岩(侏罗纪)	533	223	9.8	4.4	
紫色土	四川宜宾	C层	紫色砂页岩(白垩纪)	493	232	8.2	3.5	
紫色土	四川梓潼	C层	紫色砂页岩(白垩纪)	496	424	30.2	7.1	
紫色土	四川长宁	C层	紫色砂页岩(三迭纪)	340	168	38.6	22.9	
灰扁砂土	湖南桂阳	风化体	钙质页岩(泥盆纪)	870	602	20.5	3.4	
灰扁砂土	湖南桂阳	岩石	钙质页岩(泥盆纪)	557	486	0	0	
红壤	江西余江	风化体	紫色砂页岩	275	266	51.2	19.2	
红壤	江西余江	岩石	紫色砂页岩	326	294	10.0	3.8	
黄棕壤	安徽霍山	半风化体	砂岩	66	24.3	11.9	49.0	
棕壤	山东泰安	半风化体	花岗-片麻岩	52	23.2	8.6	37.1	

1) 用参考文献14中所述方法测定。

2) 克氏法测定值。

大的不同。例如,一紫色砂页岩(江西鹰潭)中的有效性固定态铵的相对含量可高达 19.2%,而一钙质页岩(湖南桂阳)的相应数值为 0%。同为紫色土,C 层中有效性固定态铵的相对含量低的仅 1.2%,高的可达 22.9%(表 4),Strathouse 等曾报道^[16],有的沉积岩中的固定态铵是海水的氮污染源。

4 固铵能力

已知土壤粘土矿物的组成、含量、pH 值、相伴离子、特别是 K^+ 以及 NH_4^+ 的浓度等都是决定土壤固铵量的重要因素。此外,温度影响有限空间条件下的离子扩散和硅层的弯曲和膨胀,因此固铵量随温度升高而升高。通常为了得到在自然条件下土壤的固铵量,大多采用加入低至中等的铵量(NH_4^+-N 100~250mg/kg 土);而为了得到固铵容量,则采用加入 1mol/L NH_4Cl 溶液使样品为 NH_4^+ 所饱和。

我国各土壤的固铵容量因土壤矿物组成和含量的不同一般变异在 0~450mg/kg 间,某些粘化土层可达 900mg/kg。砖红壤带、赤红壤带的土壤以及红壤带相当一部分发育于花岗岩、砂岩风化物 and 第四纪红色粘土的土壤,由于矿物全为或主要为 1:1 型粘土矿物以及土壤的低 pH 值(5.0 左右),一般不具有固定加入铵的能力。同样,灰棕漠土带的土壤,由于风化程度很弱,一般也不具有固铵能力。反之,黄棕壤带的土壤,包括长江冲积物、湖积物和下蜀黄土发育的土壤,粘土矿物以水云母、蛭石、蒙脱为主,固铵能力最强,一般能固定加入铵 200mg/kg 以上。红壤带各地发育于富含云母类矿物和碳酸盐的紫色砂页岩的水稻土和棕壤带发育于花岗岩、片麻岩风化物上的棕壤固铵能力次之,一般能固定加入铵 80~140mg/kg,红壤带发育于第三纪红砂岩和某些第四纪红色粘土的土壤又次之,一般仅能固定加入铵 40~60mg/kg。棕壤带大部分发育于黄河冲积物(和部分淮河冲积物)的土壤,沉积后所受成土和风化作用较弱,粘土矿物与其母质黄土相近,以水云母为主,伴有蒙皂石、绿泥石和高岭,固铵能力更弱,一般在 30mg/kg 以下^[10]。

当然,上述只是一个大致的情況。和固定态铵含量一样,同一土带内不但不同母质发育的土壤的固铵能力可以有很大的不同,就是在较小范围内同一母质发育的土壤由于较长一段时期来施肥制度的不同,其固铵能力也可以有较大的差异。

层间钾的释出将提高土壤的固铵(和钾)能力。钾素耗竭试验的结果表明,试验结束后,除砖红壤带和赤红壤带的土壤其固铵能力仍保持不变外,其余各种土壤,包括风化程度很弱、试验结束时其供钾能力仍较高的灰棕漠土(该土壤在种植大米草,刈割七次,共历时 780 天的试验结束时,植物仍不因缺钾而死亡),其固铵能力均有不同程度的增长。其中又以黄棕壤带发育于下蜀黄土的土壤固铵能力增加最多,该土带内一些河流冲积物 and 红壤带发育于紫色页岩上的土壤次之。

我国由于钾肥资源匮乏,相当一段时间以来,土壤施钾量不足,钾素肥力水平呈明显下降趋势。长此以往,预计除砖红壤带和赤红壤带的土壤外,其余土带的大多数土壤的固铵能力将有不同程度的提高。

5 在土壤氮素肥力研究中的意义

铵的固定和释放是土壤氮素内循环的重要环节之一。它在农学上的意义,包括一部分固定态铵是植物可利用氮的给源,铵的固定可减少氮肥的损失和提高土壤在氮方面的“稳肥性”等已为众多研究者所共识,但似乎还不能认为它已受到应有的注意。而忽视铵的固定和释放,在很多情况下,将不能正确的了解某些有关氮素转化过程的特征。下面是铵的固定和释放对其他一些氮素转化过程影响的几个例子:

(1) 有机氮的矿化速率和矿化量。土壤有机氮的矿化速率和矿化量是表征土壤氮素肥力的重要参数和确定化学氮肥施用量的重要依据。现时常用淹水密封培育法来测定土壤有机氮矿化速率和矿化量。但培育期中矿化释出的铵部分可被土壤矿物固定而不能用于 1mol/L KCl 提出来,因而其测得的结果将偏低。陈德立等报道,长江冲积物上发育的水稻土,淹水培育法测得的矿化氮量较真实值平均低 21.9%^[17]。不同土壤的固铵能力不同。例如,第四纪红土上发育的水稻土一般不具有固铵能力。反之,太湖平原的水稻土固铵能力很强,因此,如不考虑铵的固定,则根据淹水培育法测得的结果将会对不同母质上发育的水稻土有机氮矿化率的高低得出不正确的结论^[18]。

(2) 与土壤有机氮矿化速率相类同的是绿肥氮的矿化速率和矿化量。此外,还有生物固持态氮的矿化速率问题。利用 ^{15}N 示踪技术,很多研究者研究了化学氮肥和豆科绿肥残留氮的有效性。根据残留氮的有效性计算生物固持态氮的净矿化速率时,如忽视铵的固定作用,则所得到的数值将较真实值偏大。例如,程励励等报道,在一固铵能力较强的土壤上施肥后第二季作物所吸收的硫酸铵残留氮中,60%来自固定态 $^{15}\text{NH}_4^+$;施用紫云英和田菁的处理,相应的数字分别为 22% 和 41%^[19]。

(3) 土壤微生物量—氮的定量问题。现时普遍采用薰蒸—提取法测定土壤微生物量—氮。殷士学等^[20]指出,由于薰蒸时释出的微生物氮(铵),部分地当即被土壤矿物固定,因而其测定值将偏低;不同土壤固铵能力不同,因而未必能根据该测定值对不同土壤中微生物量—氮谁多谁少作出正确的判断。

此外,在土壤氮素的某些研究中,如果缺乏对固定态铵特点的了解,也将使我们不能得到预期的结果。例如,已知土壤固定态铵的 $\delta^{15}\text{N}$ 丰度明显高于同土层有机 N 的 $\delta^{15}\text{N}$ 丰度,因而,与土壤全 N 含量相反,土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 丰度常随剖面深度升高^[21]。而一些研究者认为土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 随剖面深度升高,是由于富集 $\delta^{15}\text{N}$ 的有机—矿质复合体细粒向下移动的结果^[22]。

6 分 区

根据上述固定态铵及铵的固定与释放在土壤氮素肥力中作用大小等方面的不同,现将我国土壤粗略地分为以下各区(图 1)。青藏高原等一些现时尚缺乏资料的地区,在图上以空白示出。

1. 本区包括砖红壤带和赤红壤带的绝大部分土壤和红壤带发育于花岗岩、砂岩风化

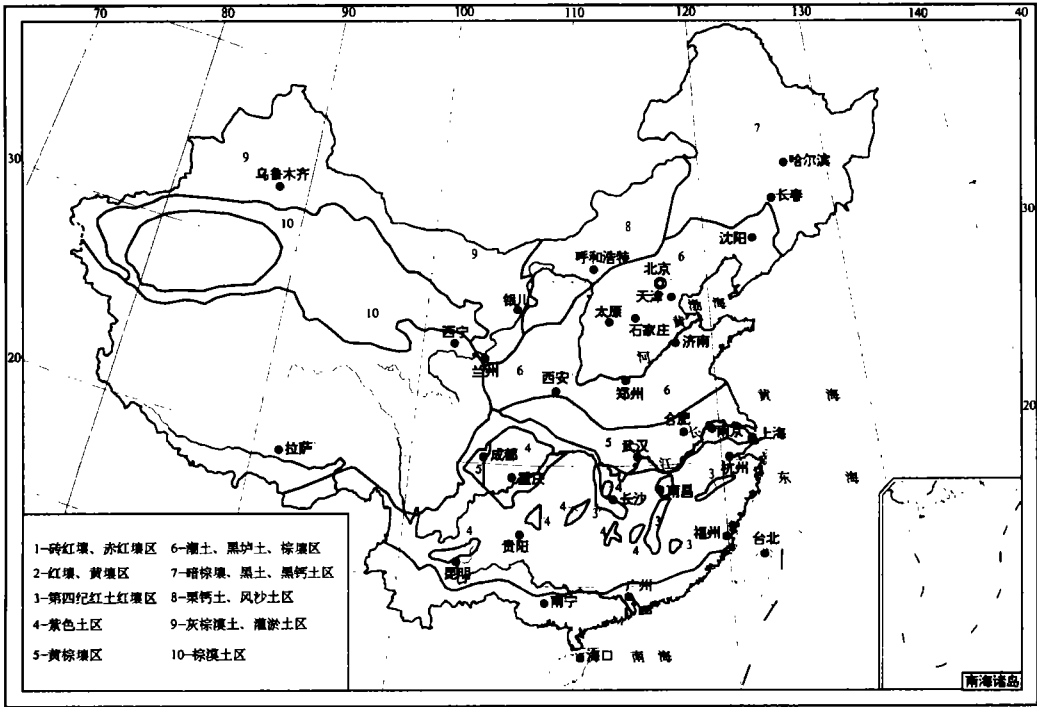


图1 中国土壤固定态铵示意图

Fig.1 Sketch map of fixed ammonium in soil of China

物上的土壤。其固定态铵的绝对含量很低,在 70mg/kg 以下;表土固定态铵的相对含量也很低,在 10% 以下,且不具有固定加入铵的能力。

2. 本区包括红壤带除成都平原水稻土、紫色土以及发育于第四纪红色粘土、红砂岩、花岗岩风化物等以外的土壤。其表土固定态铵的绝对和相对含量因母质种类而变异很大,一般分别在 100~300mg/kg 和 8%~18% 间;固铵能力也差异较大,从很弱到中等。

3. 本区包括红壤带内发育于第四纪红色粘土上的红壤和红壤性水稻土。其固定态铵的绝对含量一般在 100~200mg/kg 间;表土固定态铵的相对含量一般在 8%~18% 间,且固铵能力很弱或不具有固铵能力。

4. 本区包括红壤带发育于紫色砂页岩的紫色土和灰绿色砂页岩的幼年土。其表土中固定态铵的绝对含量和相对含量均较高,一般分别在 200~400mg/kg 和 17%~38% 间,且部分固定态铵(约占全 N 量的 4%~7%)不能为克氏法所测定,表土的固铵能力较强。

5. 本区包括黄棕壤带各河流冲积物、湖积物上发育的水稻土(江汉平原、太湖平原等)和下蜀黄土、砂页岩风化物 and 花岗一片麻岩风化物上发育的土壤以及红壤带内成都平原和钱塘江冲积物发育的水稻土。其中水稻土的表土固定态铵的绝对含量常较高,一般在 250~400mg/kg 间,其它土壤则较低,一般在 150~250mg/kg 间,二者的相对含量一般则均多在 14%~26% 间;表土的固铵能力最强,通常在 200mg/kg 以上。

6. 本区包括华北平原和大部分黄土高原的土壤以及山东半岛、辽东半岛的棕壤。表

土中固定态铵的绝对含量和相对含量一般分别在 150~200mg/kg 和 20%~35% 间,表土的固铵能力除棕壤和瘠土较强外,一般属弱至中等。

7. 本区包括暗棕壤、黑土、黑钙土带的各种土壤。其表土固定态铵的绝对含量和相对含量一般分别在 140~200mg/kg 和 4%~10% 间;表土的固铵能力一般属中等,黄土状母质上发育的土壤则较强。

8. 本区包括栗钙土带的栗钙土和风沙土。表土固定态铵的绝对含量一般在 100mg/kg 以下,相对含量在 4%~8% 间,固铵能力一般很弱。

9. 本区包括灰棕漠土带和棕漠土带吐鲁番盆地的各种土壤,以及栗钙土、灰钙土、棕钙土带的部分土壤。其表土固定态铵的绝对含量和相对含量一般分别在 150~220mg/kg 和 17%~60% 间,土壤基本上不能固定加入的铵。本区天山北麓黄土母质上发育的土壤和吐鲁番盆地的土壤还具有另一显著的特点是,其部分固定态铵不能为克氏法所测定,因而克氏法所测得的土壤全 N 值常较实际值平均低 14% 左右。

10. 本区包括棕漠土带内除吐鲁番盆地外的各种土壤。表土固定态铵的绝对含量多较北疆的漠境土壤为低,且全剖面中的固定态铵均可被常用的克氏法测出。

参 考 文 献

1. Stevenson F J. Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. New York: John Wiley & Sons, 1986, 106~154
2. 罗义泰, 高振敏. 岩矿中固定铵的地球化学研究. 矿物学报, 1995, 15(3): 328~331
3. Boyd S R, Hall A, Pillinger C T. Measurement of ^{15}N in crustal rocks by static vacuum mass spectrometry: Application to the origin of the ammonium in the Cornubian batholith, South west England. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1993, 57: 1339~1347
4. 高振敏, 罗义泰. 氨(铵)及其氮的化合物的地球化学. 地质地球化学, 1994, (1): 57~61
5. Chen Bi-yun, Cheng Li-li, Wen Qi-xiao. Difficultly extractable fixed ammonium in some soils of China. *Pedosphere*, 1999, 9(2): 185~188
6. Sparks D L, Blevins R L, Bailey H H, Barnisel R I. Relationship of ammonium nitrogen distribution to mineralogy in Hapludalf soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1979, 43: 786~789
7. Martin A E, Gilkes R T, Skjimatead J O. Fixed ammonium in Soils developed on some Queensland phyllites and its relation to weathering. *Aust. J. Soil Res.*, 1970, 8: 71~80
8. 李忠佩, 程励励, 文启孝. 黄淮海平原土壤中的固定态铵. 土壤通报, 1992, 23(5): 200~202
9. 唐玉霞, 贾树龙, 孟春香, 张新明. 河北省主要土壤固定态铵的含量及影响因素. 黄巧云主编, 迈向 21 世纪的土壤与植物营养科学. 北京: 中国农业出版社, 1997. 167~170
10. Wen Q X, Cheng L L, Zhang X H. Fixed ammonium contents and NH_4^+ fixation capacities of some cultivated soils in China. *Pedosphere*, 1995, 5(4): 313~323
11. 文启孝, 程励励. 铵的固定和释放. 朱兆良, 文启孝主编. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. 60~75
12. 朱宝金. 土壤中非交换性 NH_4^+ 的释放及其有效性. 土壤通报, 1996, 17(1): 31~33
13. 樊小林, 李昌纬, Mengel K. 瘠土非代换性铵和冬小麦生长的关系. 土壤通报, 1989, 20(6): 249~251
14. Cheng L L, Wen Q X, Li Z P. A method for determining available fixed ammonium in soils. *Pedosphere*, 1994, 4(4): 311~319
15. 程励励, 文启孝. 成都平原几种水稻土的固定态铵及其有效性. 土壤, 1999, 31(3): 132~135
16. Strathouse S M, Sposito G, Sullivan P J, Lund L J. Geological nitrogen: A potential geochemical hazard in

- the San Joaquin Valley, California. *J. Environ. Qual.*, 1980, 9:54~60
17. 陈德立, 朱兆良. 稻田土壤供氮能力的解析研究. *土壤学报*, 1988, 25(3):262~268
 18. 文启孝, 张晓华. 土壤中的固定态铵. 中国土壤学会土壤农业化学专业委员会、土壤生物化学专业委员会编, 我国土壤氮素研究工作的现状和展望. 北京: 科学出版社, 1986. 34~45
 19. 程励励, 文启孝, 李洪. 盆栽和田间条件下¹⁵N标记肥料氮的转化. *土壤学报*, 1989, 26(2):124~130
 20. Yin S X, Feng K, Cheng C M, Qian X Q, Hu J. Effect of ammonium fixation on estimation of soil microbial biomass nitrogen. *Pedosphere*, 1994, 4:321~329
 21. Shi S L, Xing G X, Zhou K Y, Cao Y C, Yang W X. Natural nitrogen-15 abundance of ammonium nitrogen and fixed ammonium in soils. *Pedosphere*, 1992, 2(3):265~272
 22. Ledgard S f, Freney J R, Simpson J R. Variations in natural enrichment of ¹⁵N in the profiles of some Australian pasture soils. *Aust. J. Soil Res.*, 1984, 22:155~164

FIXED AMMONIUM IN SOILS OF CHINA

Wen Qi-xiao Cheng Li-li Chen Bi-yun

(Institute of Soil Science, chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Summary

In this paper both the absolute and relative contents of fixed NH_4^+ in soils of soil zones except the alpine and subalpine soil zones of China are presented, the NH_4^+ fixation capacity and the availability of fixed NH_4^+ of major soil groups are indicated. The origin of fixed NH_4^+ , the factors affecting the content of fixed NH_4^+ and the ability for fixing NH_4^+ of soil, and the significance of NH_4^+ fixation and defixation in the internal cycle of soil N are discussed. The content of fixed NH_4^+ in soils of yellow brown soil zone, as a whole, is the highest, being 257 mg/kg, while that of latosol zone is the lowest, being 48 mg/kg. On average about 15% of N to depth of 20cm for the cultivated soils as a whole of China was estimated to occur as fixed NH_4^+ . Of the native fixed NH_4^+ , dependent on both the kind of parent material (rock) and the degree of weathering of the soil, from 3% to 20% can be utilized by plant. The NH_4^+ fixation capacity of soils of yellow brown soil zone is also the highest, while soils of latosol zone, lateritic red soil zone, grey brown desert soil zone and brown desert zone as well as some soils in the red soil zone are unable to fix added NH_4^+ . Based on the differences in the amount of fixed NH_4^+ and its contribution to soil N pool, as well as in the ability for fixing NH_4^+ , soils in China except those in the alpine and subalpine soil zones are grouped into 10 soil regions.

Key words Available fixed NH_4^+ , fixed NH_4^+ , NH_4^+ fixation capacity