

土壤中固定态铵含量与固铵强度*

熊金莲

(安徽农业大学)

摘 要

对全省13个有代表性的耕层土壤中固定态铵含量和固铵强度进行了研究,并对影响土壤固铵强度的内外因子进行了分析探讨,为氮肥合理施用和氮钾肥的配合施用提供了一定的理论依据。

被土壤硅酸盐矿物晶体结构吸持的 NH_4^+ ,称之为固定态铵(即非交换性铵)或“嵌入”铵^[1]。土壤对 NH_4^+ 的这种吸持作用,通常称之为铵的固定作用。绝大多数土壤都具有固 NH_4^+ 作用,因而都含有一定量的固定态 NH_4^+ 。据研究,土壤固定态 NH_4^+ 含量占全氮量的2.6—38.5%^[2, 3]。因为土壤类型、成土母质、气候及耕作利用方式不同,土壤固定态 NH_4^+ 含量及固 NH_4^+ 能力亦不同。在一个固 NH_4^+ 能力较强的土壤上,有34—60%的铵态氮肥施入土壤后被立即固定^[1]。但这种固定并不是永久的,据樊小林等研究,壤土中新固定的非代换性 NH_4^+ ,在小麦生长期,0—75cm土体中最大净释放率为38.0—70.5%^[4]。因此,了解和研究土壤固定态铵含量与固铵强度及其影响因素,对于研究土壤中氮的行为和氮肥的合理施用具有重要意义。安徽地处过渡性土壤带,成土母质复杂,土壤类型多,又是我国农业大省,但有关土壤固定态铵的研究却尚未见报道。本研究旨在查明我省主要土壤的固定态 NH_4^+ 含量和固铵强度及其影响因素,为进一步研究土壤固定态铵的农学意义,以及氮肥施入土壤后的行为提供依据。

一、材料与方法

土壤样品采自安徽省南、中和北部9种成土母质上,计13个耕层样本。其基本情况列于表1。

土样经风干、磨碎,过1mm筛备用。试验处理:1.不加 NH_4^+ 、 K^+ (对照),2.加 NH_4^+ 1000mg/kg土[(NH_4)₂SO₄],3.加 NH_4^+ 与 K^+ 各1000mg/kg土[(NH_4)₂SO₄+K₂SO₄],试验重复3次。将处理试样置于塑料并内加盖,并分别置于10℃、20℃和30℃温度条件下,保持72小时。然后取出,采用Si/Va和Bremner A法测定固定态 NH_4^+ ^[5],用克氏法和丘林法分别测定土壤全N和有机C含量,土壤颗粒组成用吸管法^[6]。

* 土化专业92届申桂先、马道卓参加分析工作。

表 1

供试土样采集地点与基本性状

采集地点	土壤名称	成土母质	pH (H ₂ O)	有机C (g/kg土)	全N (g/kg土)
郎溪十字铺	黄红壤	第四纪红色粘土	5.05	9.74	0.987
宣城杨柳	紫色土	红色砂岩风化物	6.10	15.8	1.20
绩溪金沙	石灰(岩)土	碳酸盐类风化物	6.82	16.8	2.16
安庆新洲	灰潮土	长江冲积物	8.02	11.5	1.10
肥东西山井	黄棕壤	酸性结晶岩风化物	6.45	6.90	0.522
合肥林店	黄褐土	下蜀黄土	6.52	9.70	0.995
蒙城太山	砂姜黑土	黄土性古河、湖相沉积物	7.08	9.15	1.01
砀山徐庙	黄潮土	黄泛冲积物	8.52	6.96	0.736
泾县太园	砂泥田	山河冲积物	5.80	12.3	1.28
和县城北	油砂泥田	长江冲积物	7.14	20.2	2.16
桐城南口	马肝田	下蜀黄土	5.67	13.8	1.34
宁国西津	青砂泥田	山河冲积物	6.30	16.9	1.68
广德花古	白浆田	第四纪红色粘土	5.30	12.9	1.22

二、结果与分析

(一)土壤固定态铵含量

13 个样本分析测定结果表明, 土壤固定态 NH₄⁺ 含量为 94.5—616mgN/kg 土, 占土壤全N的7.7—28.6%(表2)。

表 2

不同土壤固定态NH₄⁺含量(20℃, mgN/kg土)

土壤名称	固定态NH ₄ ⁺	占全N(%)	土壤名称	固定态NH ₄ ⁺	占全N(%)
黄红壤	128	13.0	砂姜黑土	210	20.8
紫色土	98.0	9.0	砂泥田	204	15.9
石灰(岩)土	616	28.6	油砂泥田	180	8.3
灰潮土	185	16.8	马肝田	120	8.9
黄棕壤	99.7	19.1	青泥田	158	9.4
黄褐土	150	15.1	白浆田	94.5	7.7
黄潮土	125	17.0			

由表 2 看出, 各土壤的固定态 NH₄⁺ 含量差异很大, 石灰(岩)土含量最高, 砂姜黑土和砂泥田次之, 分别为616和210, 204mgN/kg 土, 而白浆田和紫色土分别只有94.5和98.0mg/kg 土; 其相对含量亦趋同。总的是旱地土壤高于水田土壤。土壤固定态NH₄⁺的含量不同有以下几方面的原因: 1. 土壤的粘土矿物种类不同, 以蛭石、伊利石和蒙脱石为主的土壤, 固定态NH₄⁺含量较高, 如砂姜黑土; 而黄红壤则以高岭为主以及少量蒙脱石^[7, 8], 因此固定态NH₄⁺较低; 2. 与土壤粘粒含量有关, 一般情况下粘粒含量愈高, 固定态NH₄⁺量愈大, 比如石灰(岩)土、砂姜黑土, 它们的粘粒(<0.001mm)含量分别为34.6和31.3%, 而紫色土和白浆田仅为16.7和11.4%, 但整体统计分析两者关系不密切, 这是由于粘粒组分的差异; 3. 与土壤耕作利用方式有关, 总的趋势是旱地土壤高于水田土壤, 分别平均为201和151mgN/kg 土; 4. 与成土母质有关, 即由碳酸盐风化物, 江、河、湖相冲(沉)积物形成的土壤, 固定态NH₄⁺含量较高, 而酸性结晶岩和红色砂岩类风化物形成的土壤则较低; 5. 与土壤有机碳含量有关, 统计结果表明, 土壤固定态NH₄⁺与C/N之间呈负相关关系($r = -0.629^*$)。致于有机质降低NH₄⁺的固定作用, 有学者认为是因为有机物质被粘粒表面吸附, 而使晶层内外

离子进出通道闭塞,或阻止了矿物基面的瓦解^[3, 9]。但必须指出,除了上述诸因素外,土壤固定态铵含量还因施肥、气温和水分等因素而变化。

(二)土壤的固铵强度

当土壤施入铵态氮肥时, NH_4^+ 即可被粘土矿物层间吸持固定,这部分新固定的 NH_4^+ 又可以在作物生长期释放出来。本试验以每公斤土加入1000mg的 NH_4^+ 后,不同的土壤对加入的 NH_4^+ 固定能力,即固 NH_4^+ 相对强度有很大的差异(表3)。最弱的仅为1.28%,如白浆田;最强的达71.3%,如黄棕壤。究其原因是与土壤粘土矿物种类、粘粒含量以及耕作利用方式等综合因素有关。一般来说,粘粒含量愈高,固 NH_4^+ 强度有增大的趋势,但关系不密切($r = 0.545, n = 13$)。这是因为土壤固 NH_4^+ 强度除了与粘粒含量有关外,还与粘粒组分有关,

表3 不同土壤的固 NH_4^+ 强度
(20℃, Nmg/kg土)

土壤名称	未加 NH_4^+ (对照)	+ NH_4^+ 1000mg/kg土 被固定的 NH_4^+	占加入 N(%)
黄红壤	128	166	4.85
紫色土	98.0	112	1.80
石灰(岩)土	616	677	7.83
灰潮土	185	316	16.8
黄褐土	150	242	11.8
黄棕壤	99.7	654	71.3
砂姜黑土	210	308	12.7
黄潮土	125	190	8.34
砂泥田	204	216	1.59
油砂泥田	180	266	11.1
马肝田	120	135	1.93
青泥田	158	173	1.90
白浆田	94.5	105	1.28

比如黄红壤其粘粒含量为29.2%,灰潮土仅为12.3%,而固 NH_4^+ 强度前者仅4.85%,后者则为16.8%,这是因为黄红壤中的粘粒组分主要是高岭和氧化物,而由长江冲积物发育的灰潮土,则以蒙脱和水云母为主^[8]。因此,粘粒组分是影响固 NH_4^+ 强度的主要因子。其次,水田土壤的固 NH_4^+ 强度要比旱地土壤弱的多,因为水田耕作与管理,致使水田土壤粘粒含量降低,而有机质的积累相应增加。据分析,供试水田土壤粘粒含量平均为12.5%,有机质平均26.2g/kg土,而旱地土壤分别为22.4%和18.6g/kg土。黄褐土与马肝田同是下蜀黄土母质形成,因长期耕作利用方式不同,黄褐土的固 NH_4^+ 强度为

11.8%,而马肝田仅为1.93%。

此外,土壤的固 NH_4^+ 强度还与土壤pH有关,据分析,随pH增加,土壤固 NH_4^+ 强度增大,并呈极显著的相关关系($r = 0.727^{**}, n = 12$)。这与Wiklander等的研究报道相一致^[9]。可能是因为 H^+ 的吸附使晶格中的 NH_4^+ 更接近交换的阳离子。

从上述结果看出,土壤的固定态 NH_4^+ 含量与其固 NH_4^+ 强度并不完全吻合,比如石灰(岩)土的固定态 NH_4^+ 达616mg/kg土,但固 NH_4^+ 强度却仅为7.8%;而黄棕壤的固定态 NH_4^+ 为98.5mgN/kg土,但固 NH_4^+ 强度高达71.3%,说明影响土壤固 NH_4^+ 作用的因素是很复杂的。

(三)影响土壤固铵强度的外界因素

1. K^+ 的影响 关于 K^+ 对土壤固 NH_4^+ 作用的影响,研究报道较多^[1-3, 9],大多数结果表明 K^+ 对 NH_4^+ 的固定作用有抑制效应,而这种效应是可变的,与加入的浓度和先后顺序有关。本研究结果表明, NH_4^+ 的固定与土壤全钾含量没有明显关系,但当土壤同时加入等量的 NH_4^+ 与 K^+ 时, K^+ 对土壤固 NH_4^+ 强度有明显的抑制作用,且因土壤类型而不同(表4)。

由表4可见,土壤同时施入等量的 NH_4^+ 与 K^+ ,会使 NH_4^+ 的固定降低5.3—33.3%,平均26%。这种 K^+ 对 NH_4^+ 固定作用的抑制效应,被认为是 K^+ 与 NH_4^+ 具有相同固定位置的竞争作用所致,而这种竞争机制又受土壤中2:1型粘土矿物的性质影响,因此,在不同条件下, K^+ 的抑制效应强弱是不同的^[10]。

表 4

K⁺对土壤固NH₄⁺强度的影响

(20℃, 固铵量Nmg/kg)

土壤名称	+NH ₄ ⁺ 固铵量	+NH ₄ ⁺ +K ⁺ 固铵量	K ⁺ 降低固铵强度(%)	土壤名称	+NH ₄ ⁺ 固铵量	+NH ₄ ⁺ +K ⁺ 固铵量	K ⁺ 降低固铵强度(%)
黄红壤	37.8	25.2	33.3	黄潮土	64.9	52.4	19.2
紫色土	14.0	—	—	砂泥田	12.4	10.0	19.3
石灰(岩)土	60.9	40.6	33.3	油砂泥田	86.3	68.6	20.5
黄褐土	91.7	66.2	27.8	马肝田	15.0	10.0	33.3
灰潮土	130	87.7	32.7	青泥田	14.8	9.9	33.1
黄棕壤	555	437	21.2	白浆田	15.0	10.0	33.3
砂姜黑土	98.5	93.3	5.3				

2. 温度 据报道在0—60℃范围内, 土壤固铵速率随温度升高而增加^[9]。本研究将黄褐土等6个样品, 预先用NH₄⁺和NH₄⁺+K⁺处理后, 分别置于10、20和30℃条件下, 保持72小时。结果表明随温度升高, 固NH₄⁺容量明显增加的有黄褐土、马肝田和长江冲积物形成的油砂泥田; 而黄潮土和砂姜黑土则有降低趋势, 黄红壤则表现不规则(表5)。这可能与土壤中的粘粒组分不同有关。黄褐土、马肝田与油砂泥田的粘粒组分是以蛭石、伊利石为主, 尚有部分蒙脱转变为高岭; 砂姜黑土、黄潮土则以蒙脱石为主, 而黄红壤主要是高岭及少量蒙脱石和氧化物。因而使它们表现出固铵程度上的差异。

表 5

温度对土壤固NH₄⁺作用的影响

(固铵量Nmg/kg)

土壤名称	10℃			20℃			30℃		
	+NH ₄ ⁺	+NH ₄ ⁺ +K ⁺	K ⁺ 降低固NH ₄ ⁺ (%)	+NH ₄ ⁺	+NH ₄ ⁺ +K ⁺	K ⁺ 降低固NH ₄ ⁺ (%)	+NH ₄ ⁺	+NH ₄ ⁺ +K ⁺	K ⁺ 降低固NH ₄ ⁺ (%)
黄褐土	40.7	12.7	68.8	91.7	66.2	27.8	99.0	81.3	17.8
黄潮土	87.0	25.0	71.2	64.9	52.4	19.3	45.3	39.1	13.7
砂姜黑土	117	67.4	42.2	98.5	93.3	5.3	90.8	83.2	8.3
黄红壤	22.6	5.00	77.8	37.8	25.2	33.3	7.70	1.20	84.4
油砂泥田	58.4	2.50	95.7	86.3	68.6	20.5	106	78.6	26.0
马肝田	11.7	7.80	33.3	15.0	10.0	33.3	25.0	22.3	10.8

由表5看出, 温度不仅直接影响土壤的固NH₄⁺强度, 而且还影响K⁺对NH₄⁺的固定效应, 且不同土壤表现不一, 随温度升高, K⁺的抑制效应显著降低的有黄褐土、黄潮土和马肝田, 比如黄褐土在10°时, K⁺降低固NH₄⁺量为28mgN/kg, 固铵强度相对降低68.8%, 20℃和30℃时, 则分别降低27.8和17.8%。砂姜土和油砂泥田虽然30℃与20℃时表现不规则, 但与10℃相比, K⁺对固铵作用的抑制效应与温度的关系仍是降低趋势; 而黄红壤则不同, K⁺效应是30℃最高, 20℃最低。随温度升高, K⁺对NH₄⁺固定的竞争作用降低, 这可能与离子水化能有关, NH₄⁺的水化能约294KJ/mol, K⁺为315KJ/mol, 即在温度较高时, 晶层收缩, 使NH₄⁺较K⁺更易于进入晶层内; 其次与土壤粘粒组分有关, 以蛭石、伊利石为主的土壤, 对NH₄⁺的吸附作用比对K⁺吸附作用更强; 以蒙脱为主的土壤, 对K⁺的引力较弱, 且蒙脱石的涨缩性大, 因此, 含上述粘土矿物的土壤, 当温度升高时, K⁺对NH₄⁺的竞争作用减弱。本试验的初步结果说明, 土壤对K⁺与NH₄⁺固定吸持的竞争作用与温度之间的关系是很复杂的, 尚需进行深入的研究。

三、小 结

1. 对安徽省有代表性的耕层土壤研究表明, 土壤固定态铵含量为94.5—616mgN/kg土, 占总含N量的7.7—28.6%; 不同土壤对 NH_4^+ 的固定相对强度差异很大, 为1.28—71.3%。因此, 在研究固定态 NH_4^+ 对作物的有效性时, 必需研究和考虑不同土壤固定态铵的“临界值”。

2. K^+ 对土壤固铵强度有明显的抑制效应。农业生产中氮、钾肥配合施用的效果优于单独施用, 除了元素之间的协助效应以外, 还与 K^+ 减少了 NH_4^+ 的层间固定, 提高了 NH_4^+ 的有效性及有利作物吸收等有关。

3. 温度会影响土壤的固铵容量, 在10—30℃范围内, 黄褐土、马肝田和油砂泥田随温度升高, 固铵容量增加; 而黄潮土和砂姜黑土则随之降低; 黄红壤变化不规则。不同温度条件下, K^+ 对 NH_4^+ 固定的竞争作用也有明显影响。

参 考 文 献

- [1] 文启孝等, 土壤中的固定铵, 我国土壤氮素研究工作的现状与展望, 34-45, 科学出版社, 1986。
- [2] 郭鹏程等, 土壤中铵离子的粘土矿物固定与释放, 同上, 28-33, 1986。
- [3] 封克, 土壤矿物固定态铵的研究, 土壤学进展, 19卷, 1期, 8-13, 1991。
- [4] 樊小林等, 壤土中非代换性 NH_4^+ 的有效性, 土壤学报, 27卷, 3期, 301-308, 1990。
- [5] J. A. Silva and J. M. Bremner, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol 30, 1966。
- [6] 中国土壤学会农业化学专业委员会编, 土壤农业化学常规分析方法, 科学出版社, 1984。
- [7] 安徽省水利局勘测设计院、中国科学院南京土壤研究所, 安徽淮北平原土壤, 67-68, 上海人民出版社, 1976。
- [8] 熊毅、李庆远主编, 中国土壤, 第二版, 377-380, 科学出版社, 1987。
- [9] F. J. 史蒂文森等(闵九康等译), 农业土壤中的氮, 29-39, 82-106, 科学出版社, 1989。
- [10] 熊毅、陈家坊等, 土壤胶体, 第三册, 土壤胶体的性质, 科学出版社, 1990。

(上接第3页)

五、建 议

如果我们的基本认识是正确的, 即: 土壤电化学这个土壤科学中的前沿应该去开拓和占领, 我国有条件首先占领它, 我国的有关研究应该加强, 我们拟提出如下的建议。

希望国家自然科学基金委员会在基金申请指南中将土壤电化学性质的研究列为土壤学中的重要研究方向之一, 以便我们参加公开竞争。如果申请能得到同行评议的认可, 请予以重点支持。顺便提一下, 国家基金过去对两项有关课题的资助, 对于我们的后两部英文专著地完成, 起了重要的作用。