植物营养与肥料学报 2000,6(2):173～178
Plant Nutrition and Fertilizer Science

土壤中铵的固定与温度的关系及调控

贾树龙，唐玉霞，孟春香，张贵民
(河北省农林科学院土壤肥料研究所,石家庄 050051)

摘要：采用实验室培养方法,研究了褐土与潮土中肥料氮的矿物固定与土壤温度的关系及利用盆栽^{15}N同位素示踪方法,研究了小麦施肥时的环境温度对铵的固定及肥料氮有效性的影响。结果表明，25℃常温条件下60d内肥料氮的固定率为18%～22.92%,但在－5～0℃的低温下则达37.69%～45.31%,低温较常温条件下肥料氮的固定率增加一倍左右。在盆栽条件下,利用低温季节施肥可增加肥料氮的暂时固定,而固定后的肥料氮在小麦生长季节内基本全部释放;低温季节施肥可提高肥料利用率,增加了肥料氮在土壤中的残留,减少了肥料氮的损失。

关键词：褐土;潮土;铵固定;温度
中图分类号:S158.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2000)02-0173-06

国内外对土壤固定态铵的研究已有很多报道。研究表明,固定态铵是土壤氮素的重要组成部分[1,2],铵态氮的固定与释放过程是氮素转化的重要环节,对氮素的供应与保存起着重要的调节作用[1,3,4];土壤固定态铵的含量及其铵的固定释放过程受许多因素的影响[1,2,5～7]。然而目前在固定态铵影响因素的有关报道中,对土壤温度因素的研究并不很多。迄今为止,有关报道中绝大部分都是关于铵的固定与释放机理的研究,而利用这些机理对铵的固定与释放过程进行调控的研究则较少。为此,以河北省的主要农业土壤—褐土和潮土为研究对象,研究了温度对施入土壤的铵态氮固定与释放的影响,并利用季节温差进行了固定态铵调控的初步尝试,旨在为提高氮肥利用率探索新的途径。

1　材料与方法

1.1　供试土壤

供试褐土取自位于石家庄市区的本所试验园内,潮土取自辛集市马兰农场,土壤质地均为壤质。试验前土壤的基础肥力状况如表1。

1.2　试验方法

1.2.1　室内培养试验　利用褐土分别在施氮和不施氮条件下各设置低温和常温培养,共4个处理。低温培养温度为－5～0℃,常温培养温度为25℃。施氮处理氮素用量为N 130mg/kg,氮肥品种为硫酸铵,重复3次。

在培养钵内装入过1mm筛的风干土250g,施氮处理预先将氮肥混入土壤,培养期内保持土壤水分状况为田间持水量的60%～70%,以称重法控制土壤水分。低温处理将培养钵置于冷藏箱内,常温处理将其置于培养箱内进行培养。在培养开始后的第5、15、30和60d取样测定各处理的固定态铵含量,每个培养钵仅用于一次取样。

收稿日期:1999-03-10
基金项目:河北省自然科学基金资助项目。
作者简介:贾树龙(1955—),男,河北武强人,河北农林科学院土肥所副研究员,主要从事土壤肥力研究。

表 1 供试土壤的基础肥力状况

Table 1 The basic properties of the soil

试验方法 Test	土壤类型 Soil	有机质 OM (g/kg)	全氮 Total N	交换态铵 Exchangeable NH_4^+-N	固定态铵 Fixed NH_4^+-N	硝态氮 NO_3^--N	速效 P Avai.P	速效 K Avai.K
			mg/kg					
培养	褐土	19.92	1306	64.9	206.7	19.4	38.69	178.47
盆栽	褐土	21.05	1167	43.5	187.6	42.4	53.54	143.44
	潮土	15.23	991	34.0	146.0	51.0	13.01	86.66

1.2.2 盆栽试验 以^{15}N示踪方法分别在褐土和潮土上进行。供试作物为小麦，在每种土壤上各设置4个不同施氮时期处理，即：无肥对照、基肥、冬肥和返青肥，3次重复。定期取土测定土壤的固定态铵含量及固定态铵中的^{15}N丰度，用以计算肥料氮的固定量，确定施肥时的土壤温度对肥料氮固定与释放的影响；试验结束后测定植株氮素吸收量和^{15}N丰度、土壤全氮及^{15}N丰度，以计算分析施肥温度对肥料氮的去向的影响。试验用盆为内径25cm、深29cm的瓦氏盆，每盆装风干土15kg，并混入等量磷钾肥(P_2O_5 1g，K_2O 0.5g)作为肥底。各施氮处理每盆施N 1.2g(按设计施肥时期施用)。氮肥施用方法(包括基肥)：结合浇水，将肥料溶解于水中后浇入土壤。对照及同期不施肥的其它处理则只浇入等量清水。氮肥品种为^{15}N标记的硫酸铵，其^{15}N丰度为10.79%，实际施肥日期及施肥后5d的土壤日平均温度见表2。返青期第一次取样在施用返青肥7d后进行。

表 2 施肥后5天5cm土壤日平均温度

Table 2 Average temperature in 5 cm soil layer 5d after fertilizing

施肥时期 Fertilizing stage	施肥日期 Fertilizing date	施肥后5天土壤日平均温度(℃) Ave. soil temperature of 5d after fertilizing
基肥	1996.10.10	15.26
冬肥	1996.12.04	1.32
返青肥	1997.03.10	8.40

1.3 分析测定方法

固定态铵采用Silva-Bremner[8]方法测定：先以碱性次溴酸钠处理土样，将有机氮氧化分解为无机氮，然后以0.5 mol/L KCl反复洗涤土样以除去无机氮，再加入5 mol/L HF-1mol/L HCl连续振荡24h，以破坏矿物晶格，释放被固定的NH_4^+，最后用KOH蒸馏定氮；固定态铵中^{15}N丰度的测定：将测固定态铵后的滴定液进行酸化、浓缩后，用质谱仪测定；土壤硝态氮、交换态铵的测定：以0.5mol/L K_2SO_4振荡浸提土样30min，过滤后以自动分析仪测定，硝态氮、交换态铵浸提的液土比分别为20:1和10:1。其他项目以常规法测定。

2 结果与分析

2.1 温度对土壤中铵态氮固定的影响

研究结果表明，在常温(25℃)无肥培养条件下，培养期间褐土固定态铵含量的变化范围为206.1～216mg/kg；而在常温并施入铵态氮肥(N 130mg/kg)进行培养时，固定态铵含量

可达 235.6～239.4mg/kg,其施入 N 的固定率为 18%～22.92%(表 3)。从表 3 还看出,固定态铵含量的高低及肥料氮的固定率与本试验所设定的培养时间的长短关系不大,可能是在这一培养条件下,5d 的时间已足以使肥料氮的固定率达到相对稳定。

表 3　常温培养条件下褐土对肥料氮的固定

Table 3　Fixation of fertilizer N under normal temperature incubation with cinnamon soil

培养时间 Incubation time (d)	无肥培养固定铵含量 Fixed NH_4^+-N under no-N incubation (mg/kg)	施铵态氮肥培养 Incubation with NH_4^+-N application		
		固定铵含量 Fixed NH_4^+-N (mg/kg)	肥料氮固定量 Fixed amount of fertilizer-N(mg/kg)	肥料氮固定率 Fixed ratio of fertilizer-N(%)
5	213.2	237.5	24.3	18.69
15	207.8	235.6	27.8	21.38
30	216.0	239.4	23.4	18.00
60	206.1	235.9	29.8	22.92

用同一土样进行不施肥低温(－5～0℃)培养时,培养期间其固定态铵的含量变化范围为 217.8～224mg/kg,较常温培养略有增加。但在施入铵态氮肥情况下(施氮量与常温培养相同)进行低温培养时,其固定态铵含量达 273～276.7mg/kg,较常温培养大大增加。肥料氮的固定量和固定率均较常温培养增加一倍左右,分别达到 49.0～58.9mg/kg 和 37.69%～45.31%。而固定铵含量与肥料氮固定率仍与本试验所设定的培养时间长短关系不大(表 4)。

表 4　低温培养条件下褐土对肥料氮的固定

Table 4　Fixation of fertilizer N under low temperature incubation with cinnamon soil

培养时间 Incubation time (d)	无肥培养固定铵含量 Fixed NH_4^+-N under no-N incubation (mg/kg)	施铵态氮肥培养 Incubation with NH_4^+-N application		
		固定铵含量 Fixed NH_4^+-N (mg/kg)	肥料氮固定量 Fixed amount of fertilizer-N(mg/kg)	肥料氮固定率 Fixed ratio of fertilizer-N(%)
5	224.0	273.0	49.0	37.69
15	217.8	276.7	58.9	45.31
30	219.8	273.3	53.5	41.15
60	219.6	271.6	52.0	40.00

2.2　施肥季节对铵态氮固定与释放的影响

土壤温度对铵态氮的固定具有明显影响,因此,利用季节温差对麦田进行施肥管理,有可能成为调控铵态氮固定作用的可行途径。从^{15}N盆栽试验结果可以看出,施肥季节对肥料氮的固定的影响显著。两种土壤上各处理肥料氮固定率的变化趋势完全一致,但不同土类之间肥料氮的固定率明显不同。在返青期测定时肥料氮的固定率以冬施肥处理为最高,潮土为 12.16%,褐土为 45.11%;其次为返青肥处理,潮土和褐土分别为 10.87%和 30.14%;以基肥处理为最低,分别为 1.60%和 4.11%,处理间差异达极显著水平。以后几个时期的

取样测定结果与此规律基本一致,然而其数量上的差异则逐渐减小,到小麦收获期各处理肥料氮的固定率都已很小(表5)。不同土类对肥料氮固定的差异主要是由土类本身的特性所决定的[9]。

表5 施肥时期对铵态氮固定的影响

Table 5 Effect of Fertilizing stage on NH_4^+ fixation

土壤类型 Soil	施肥时期 Fertilizing stage	不同取样时期肥料氮固定率(%) Fixation ratio of fertilizer-N at different stage			
		返青期 Regreening	拔节期 Elongation	抽穗期 Booting	收获期 Harvesting
潮土	基肥	1.60 b B	0.72 b A	1.66 b A	1.07 b AB
	越冬肥	12.16 a A	7.16 a A	4.24 a A	2.07 a A
	返青肥	10.87 a AB	4.24 ab A	2.04 b AB	0.43 b B
褐土	基肥	4.11 c B	4.26 c B	3.28 b AB	2.32 a A
	越冬肥	45.11 a A	17.37 a A	4.97 a A	2.95 a A
	返青肥	30.14 b A	10.13 b B	2.44 b B	1.29 a A

注:1) 肥料氮固定率(%) $= \frac{\text{土壤固定铵态N含量} \times (\text{固定态铵中}^{15}\text{N丰度} - {}^{15}\text{N自然丰度})}{\text{示踪肥料氮素用量} \times (\text{肥料中}^{15}\text{N丰度} - {}^{15}\text{N自然丰度})} \times 100$

2) 数值后的字母表示在同一土壤类型和同一取样时期内不同施肥时期间的差异,小写与大写字母分别为5%和1%的显著水平(LSR法)。

1) Fixed fertilizer-N(%) $= \frac{\text{Fixed } NH_4\text{-N in soil (mg/kg)} \times ({}^{15}\text{N abundance of fixed } NH_4 - {}^{15}\text{N natural abundance})}{\text{Fertilizer-N rate (mg/kg)} \times ({}^{15}\text{N abundance of fertilizer} - {}^{15}\text{N natural abundance})} \times 100$

2) Values followed by same letters for each soil at the same stage have no significant difference。Capital and small letters indicate 1% and 5% of the significant levels (LSR), respectively。

上述结果进一步说明了肥料氮的固定与土壤温度的关系。冬季施肥时由于土壤温度很低(施肥后5d, 5cm土层平均1.32℃),因而肥料氮的固定率很高;施用返青肥时土壤温度已逐渐升高(8.40℃),所以,尽管施肥后仅几天就取样测定,肥料氮的固定率却仍低于冬施肥处理。基肥处理施肥时的土壤温度则较高(15.26℃),不利于肥料氮的固定,未被固定的铵态氮在冬前较长的温暖阶段中因植株吸收、挥发损失和形态转化而大大降低,因而进入冬季低温季节时也不会再发生大量固定,所以到返青期测定时肥料氮的固定率很低。这一结果与前述不同温度下的培养试验结果相吻合。

表5结果还说明,施肥时期对肥料氮固定率的影响能够持续相当一段时间,但在小麦生长季节内被固定的肥料氮最终几乎能够全部得到释放。因此,通过利用冬季低温施肥的途径,暂时增加肥料氮的固定,有利于保存氮素、减少损失,对提高氮肥利用率具有积极意义。

2.3 固定态铵调控对肥料氮去向的影响

通过示踪试验,测定收获期小麦植株和土壤中的氮素含量及^{15}N丰度,计算分析不同处理褐土中肥料氮的去向说明(表6),尽管冬施肥处理小麦对氮肥的利用率略低于返青肥处理,但肥料氮在土壤中的残留率却以冬施肥处理为最高,肥料氮的损失率以冬施肥处理为最低,这一结果与低温条件下施肥后氮素易被固定有一定关系。盆栽小麦的子粒产量尽管差异不大,但与肥料氮的利用率相吻合,冬施肥处理与返青肥处理均高于基肥处理。本文作者以前也曾报道过冬季施肥技术的应用效果[10]。

表 6　不同处理肥料氮的去向

Table 6　Fate of the fertilizer-N on different treatments

处　理 Treatment	子粒产量 Grain yield (g/pot)	利　用　率 Utilization rate (%)	土壤残留率 Residual rate (%)	损失率 Loss rate (%)
基　肥	25.52	45.54	28.76	25.70
冬施肥	26.45	51.46	38.24	10.30
返青肥	26.99	54.84	32.65	12.51

注: 1) 利用(残留)率(%) = $\frac{\text{植株(土壤)氮素含量(mg/盆)} \times [\text{植株(土壤)}^{15}\text{N丰度} - {}^{15}\text{N自然丰度}]}{\text{示踪肥料氮素用量(mg/盆)} \times (\text{肥料中}^{15}\text{N丰度} - {}^{15}\text{N自然丰度})} \times 100$

2) 损失率(%) = 100 − 利用率 − 残留率

1) Utilization(residual)rate(%) = $\frac{\text{Plant(soil)N(mg/pot)} \times [{}^{15}\text{N abundance of plant (soil)} - {}^{15}\text{N natural abundance}]}{\text{Fertilizer-N rate (mg/pot)} \times ({}^{15}\text{N abundance of fertilizer} - {}^{15}\text{N natural abundance})} \times 100$

2) Loss rate(%) = 100 − utilization rate − residual rate

3　讨论

铵的固定过程是由 2:1 型粘土矿物结构中的层间负电荷引起的。层间负电荷与进入层间的铵离子所产生的吸引力可使晶层间距收缩,导致铵离子被"固定",这一过程也被称为专性吸附固定[11,15]。如果将粘土矿物连同所吸附的离子看作一个系统,根据热力学原理,随着温度的降低,系统内熵值减小,即混乱度减小,分子或离子的热运动减弱[16],因而有利于离子的吸附固定,反之则有利于离子的解吸。另外,根据离子扩散双电层理论,双电层厚度随着环境温度的升高而增加,而反映离子扩散热能的反离子电势又随着双电层厚度的增加而增加[12],也就是说,温度越高,双电层厚度越大,离子的扩散趋势就越强。在低温条件下,由于铵离子的扩散能量较小,因而更容易被粘土矿物所固定。从本试验结果来看,土壤温度的高低确实影响了铵态氮的固定,这就是低温条件下铵的固定量较常温条件下大大增加主要原因。

研究资料表明,铵离子从粘粒解吸的速率随着温度的升高而加快[13],但与固定过程相比,其重新释放过程却要缓慢得多,其原因可能与钾离子的吸附与解吸过程相同。被解吸时所需的活化能大于被吸附所需的活化能[14],因而吸附固定过程较解吸释放过程更容易发生。因此,在较低的土壤温度条件下,施入土壤的铵离子很快被大量固定,且一旦被固定之后,即使温度升高,也不会立即被全部释放,因而施肥时的温度对肥料氮固定的影响可持续较长一段时间。

栽培条件下,通过利用季节温差进行施肥管理,可以起到调控铵态氮固定的作用,进而影响到肥料氮的去向。低温环境下施肥可以增加铵态氮的暂时固定,使氮素损失率明显降低,被固定的铵离子在生长季节内基本能够全部得到释放,因而有利于氮素利用率的提高。

参考文献

[1]　文启孝,等.土壤中的固定态铵[A].我国土壤氮素研究工作的现状与展望[M].北京:科学出版社,1986.34～35.

[2]　李忠佩,等.黄淮海平原土壤中的固定态铵[J].土壤通报,1992,23(5):200～202.

[3]　Drury C F *et.al*. Ammonium fixation, release, nitrification and immobilization in high- and low-fixing soils[J]. S.S.S.

A.J. 1991,55(1):125～129.
[4] 樊小林,等.塿土非代换性铵和冬小麦生长的关系[J].土壤通报,1989,(6):249～251.
[5] Scherer H W *et al*. Significance of the K content of the soils and the proportion of expandable clay minerals of the total clay fraction on the dynamics of the nonexchangeable NH_4-N after slurry application[J]. Agribiological Research, 1994, 47(2):124～139.
[6] Wen Qixiao *et al*. Fixed ammonium contents and NH_4^+ fixation capacities of some cultivated soils in China[J]. Pedosphere, 1995,5(4):315～323.
[7] 封克,等.铵的矿物固定与水稻吸收[J].江苏农学院学报,1994,15(1):57～62.
[8] Silva I A and Bremner J M. Determination and isotope－ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. 5. Fixed ammonium[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1966,30:587～594.
[9] 贾树龙,等.影响河北省褐土和潮土中固定态铵含量变化的因素[J].华北农学报,1998,13(增刊):86～91.
[10] 贾树龙,等.麦田生态系统中的水肥时空关系与调控途径[J].生态农业研究,1995,3(3)62～66.
[11] 尉庆丰,张一平,等译.土壤物理化学[M].北京:天则出版社,1990.54～55.
[12] Murray B McBride. Environmental Chemistry of Soil[M]. Oxford University Press, 1994.115.
[13] 薛泉宏,等.陕西省几种代表性土壤 NH_4^+ 吸附、解吸动力学特征研究[J].土壤学报,1996,33(2):129～137.
[14] Sparks D L and Jardine P M. Thermodynamics of potassium exchange in soil using a kinetics approach[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1981, 45:1094.
[15] 封克.土壤矿物固定铵的研究[J].土壤学进展,1991,19(1):8～14.
[16] 胡英,等.物理化学[M].北京:人民教育出版社,1982.156～162.

Ammonium fixation as affected by soil temperature and its management

JIA Shu-long, TANG Yu-xia, MENG Chun-xiang, ZHANG Gui-min
(*Soil and Fertilizer Institute, Hebei AAFS, Shijiazhuang* 050051)

Abstract: The fixation of the fertilizer-NH_4^+ affected by soil temperature and its management through nitrogen application under different seasonal temperature were studied in two main soils of Hebei, using incubation and ^{15}N tracing methods. Results showed that the fixation rate of the fertilizer-NH_4^+ was 18%～22.92% at normal temperature (25℃) and 37.69%～45.31% at low temperature (－5～0℃) under incubation condition. The fertilizer-N fixation increased temporarily when it was applied in low temperature season under pot culture condition. But the fixed fertilizer-N was released almost entirely during the growing season of the wheat. Fertilization, under low temperature, the higher nitrogen efficiency was obtained. The residual rate of the fertilizer-N increased and its loss decreased.

Key words: cinnamon soil; fluvo-aquic soil; ammonium fixation; temperature