

# 瘠土中非代换铵(固定态)的有效性\*

樊小林 李昌纬  
(西北农业大学)

K. Mengel  
(李比西大学)

## 摘 要

通过田间小区试验和  $^{15}\text{N}$  标记的微区试验,研究了瘠土中非代换铵含量、它在小麦生长期的动态变化以及其对小麦的有效性。

试验结果表明,瘠土具有可观的非代换铵贮量。供试土壤耕层含非代换铵 236 ppm N, 占该层土壤全氮的 22.9%。0—75 cm 土体中平均含 252 ppm N, 占全氮的四分之一多。

瘠土“新固定”的和“固有的”非代换铵对小麦生长都有重要意义。前者以其高有效性占优势,后者则以其较大的供应量为特点。在小麦生育期内,0—75 cm 土体中的非代换铵最大净释放率,“新固定”的为 38.0—70.5%,“固有的”为 10.4—22.2%。以最大净释放量计,“固有的”(12—72 ppm N)大于新固定的(7.4—10.9 ppm N)。非代换铵的最大净释放率随土层加深而减小。

试验还表明,瘠土粘土矿物固定铵作用相当于一个蓄氮库。施用氮肥有增加土壤非代换铵的趋势。

2:1 型粘土矿物,特别是蛭石和伊利石,在其上下 Si—O 四面体基面之间非常牢固和选择性地结持着铵<sup>[4]</sup>。土壤中这种形态铵的含量远大于其他形态的矿质氮量<sup>[2,5-7]</sup>。据初步研究,瘠土和黄土性土壤较某些土壤含有更多的非代换铵<sup>[1,3]</sup>。如果部分非代换铵对作物有效,那么它对作物氮素营养的贡献将是不可忽视的。

很多研究都表明,新固定的非代换铵的有效性较大,土壤“固有的”非代换铵有效性较小<sup>[2,7-11]</sup>。本文通过田间小区试验和  $^{15}\text{N}$  标记非代换铵试验,研究了瘠土非代换铵的贮量及瘠土冬小麦地中非代换铵的动态变化及其植物的有效性。

## 一、材料和方法

田间试验在本校农作一站农化试验地进行,供试土壤为黄土母质上发育的瘠土。供试土壤的主要性状见表 1。试验前该地种植匀地作物 4 年。匀地期中只施用少量氮肥,未施过磷肥和有机肥。

1. 田间小区试验 设不追氮和每公顷追施 70 公斤尿素氮两个处理,重复四次。采用随机区组排列。各处理均施 150 公斤  $\text{P}_2\text{O}_5$ /公顷为基肥。氮肥在第一次采样前一周追施,追肥后即灌水。小区

\* 本研究是西北农业大学和西德李比希大学植物营养研究所国际合作项目的一部分。

表 1 供试土壤的主要理化性状

Table 1 The main physical and chemical properties of the soils used in experiment

深度 (cm) Depth	pH	粘粒 (%) Clay <0.001mm	碳酸钙 (%) CaCO <sub>3</sub>	有机质 (%) O. M.	全氮 Total N (ppm)
0—20	8.23	22	8.18	1.28	1030
20—55	8.24	27	8.18	0.99	1000
55—75	8.24	35	0.32	0.88	880

面积 30 m<sup>2</sup> (5 m × 6 m)。试验期间在小麦的返青、拔节、抽穗、开花和收获五个生育期采取土样。采样时,在每小区小麦行间选 5 个样点,每样点取 0—20、20—55 和 55—75 cm 三个层次。取约 600 克混匀的土样,立即冰冻,供测定非代换铵用。

2. <sup>15</sup>N 标记非代换铵的田间微区试验 田间微区试验设置追氮和不追氮两个处理,微区面积 8 m<sup>2</sup> (2 m × 4 m)。微区紧靠在上述小区试验地一侧。底肥、追氮量和追氮时期同小区试验。

标记非代换铵土样的制备和放置:播种前从试验地段上多点采集 0—20、20—25 和 55—75 cm 三层的土样各 2000 克。按 Menge 和 Scherer 的方法<sup>[7]</sup> 制备含有 <sup>15</sup>N 标记非代换铵的土样。标记好的土样每 200 克一份盛于直径 10 cm,高 3 cm 的塑料容器内。容器两端用孔径 0.05 mm 的尼龙网封闭。然后,把盛有标记土壤的容器分别埋于微区的原采样深度的底部即 17—20 cm、52—55 cm 和 72—75 cm 处。每处理重复四次。标记土壤在小麦播前埋入,小麦收获后挖出土样供测定非代换铵 (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + <sup>14</sup>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 用。

3. 分析方法 土壤非代换铵采用修改后的 Silva 和 Bremner 法<sup>[8]</sup> 测定。每一待测样作三个重复。<sup>15</sup>N 丰度用 ZHT-1031 型质谱仪测定。

## 二、结 果

### (一) 田间小区试验

1. 垆土非代换铵含量 播前土壤非代换铵的含量见表 2。从表中数值可见,非代换铵是垆土中值得重视的氮素资源。0—75 cm 土体中非代换铵平均含量达 252 ppm,总量达 2359 kg N/ha。其中耕层含量 236 ppm,占全氮的 22.9%,总量达 566 kg N/ha。下两层相应的数值分别是 241 ppm、24%、1012 kg N/ha 和 279 ppm、31.7%、781 kg N/ha。

2. 小麦生长期非代换铵的动态变化 小麦生长期垆土中非代换铵含量的动态变化见图 1 和图 2。结果表明,0—20 和 20—55 cm 两层土壤的非代换铵,于小麦拔节前(除追氮处理中从播种到返青有不显著增加外)一直在显著下降,拔节至抽穗相对稳定。从抽穗期起有明显回升,至开花期最高,随后又复明显下降,到收获时其含量和播前没有明显差别(表 2、表 3)。55—75 cm 土壤非代换铵的变化则相反,拔节前先升高,然后经抽穗到开花期减至最少,此后又明显回升。追施氮肥和不追氮肥两个处理比较,相应各层土壤中非代换铵的变化基本相似,只是追氮似有减少非代换铵下降的趋势。

3. 追氮对非代换铵含量的影响 表 3 列入了追氮不追氮两处理在五个生育期的非代换铵含量及处理间差异。结果表明,除下层(55—75 cm)外,各生育期上两层土壤的

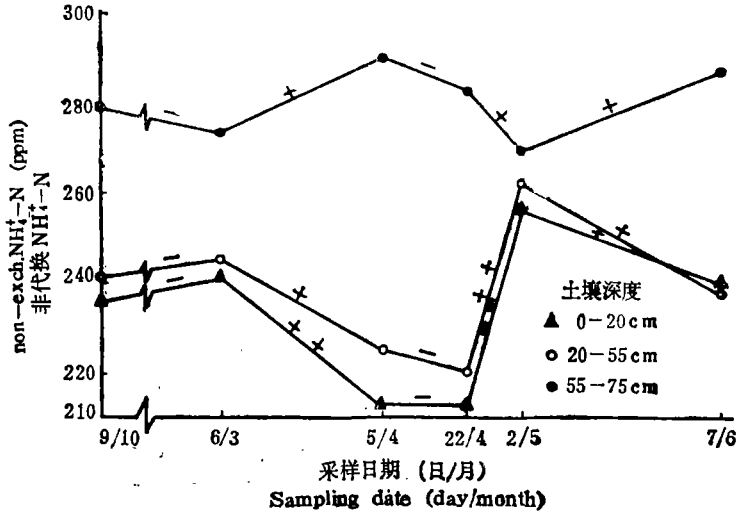


图1 施氮情况下,小麦生长期土壤非代换铵含量(“-”表示差异不显著,“+”,“++”分别表示差异显著达5%和1%水平)

Fig. 1 Content of nonexchangeable ammonium of soil in the growing season under condition of N fertilization (“-” indicating no significant difference “+”, “++” significant difference at 5% and 1% level respectively)

表2 壤土中非代换铵平均含量

Table 2 Content of nonexchangeable ammonium in manured loessial soil

深度 (cm) Depth	非代换铵* Nonechangeable $\text{NH}_4^+$		占全N(%) (%) Percent in total N
	N(ppm)	N (kg/ha)	
0-20	236	566	22.9
20-55	241	1012	24.1
55-75	279	781	31.7
0-75	252	2359	26.0

\* 非代换铵含量按实测土壤容量计算。

表3 各生育期追氮和不追氮土壤非代换铵比较 (N, ppm)

Table 3 Mean content of nonexchangeable  $\text{NH}_4^+$ -N in soil at five growing stages (ppm  $\text{NH}_4^+$ -N)

生育期 Growing stage	0-20cm			20-55cm			55-75cm		
	追氮 WN.	不追氮 WON.	相差 DIFF.	追氮 WN.	不追氮 WON.	相差 DIFF.	追氮 WN.	不追氮 WON.	相差 DIFF.
返青期	241	236	5*	245	232	13**	273	269	4
拔节期	213	206	7*	225	214	11**	290	297	-7
抽穗期	213	206	7*	220	214	6*	282	273	9*
开花期	256	247	9**	262	257	5*	269	267	2
收获期	240	233	7*	238	232	6*	287	285	2

\*,\*\* 分别表示差异显著达10%、5%水平。

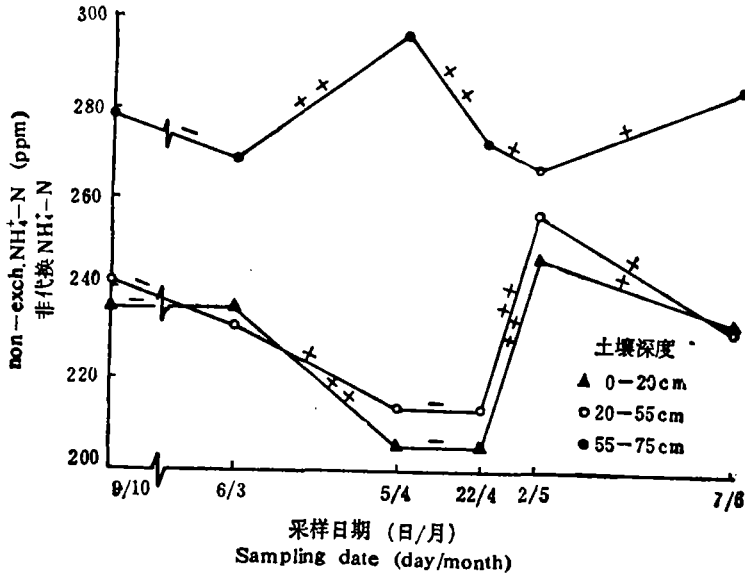


图2 不施肥情况下,小麦生长期土壤非代换铵含量(“-”表示差异不显著,“+”、“++”分别表示差异显著达5%和1%水平)

Fig. 2 Content of nonexchangeable ammonium of soil in the growing season under condition of no N fertilization (“-” indicating no significant difference; “+”, “++” significant difference at 5% and 1% level respectively)

表4 小麦生育期中土壤非代换铵 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ppm) 最大净释放

Table 4 The maximum net release (MNR) of nonexchangeable ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ppm) in soil in the course of wheat growing

深度 (cm) Depth (cm)	前播 Before sowing	追肥 N fertilization				不追肥 No N fertilization			
		抽穗 Heading	开花 Flowering	最大净释放量 MNRA.	最大净释放率 MNR.R. (%)	抽穗 Heading	开花 Flowering	最大净释放量 MNRA.	最大净释放率 MNR.R. (%)
0-20	236	213	-	23**	9.7	206	-	30**	12.7
20-55	241	220	-	21**	8.7	214	-	27**	11.2
55-75	279	-	269	10*	3.6	-	267	12*	4.3

\*、\*\* 分别表示差异显著达5%和1%水平。

非代换铵含量均有增加,其值多数达10%的差异显著水准,有的达5%的水准。由此可见,施肥有增加土壤非代换铵的趋势。

4. 非代换铵的最大净释放 土壤非代换铵的动态变化是粘土矿物释放和固定NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、植物吸收氮素等多种过程的综合反映。小麦生育期中使土壤非代换铵明显下降的主要原因是植物对土壤溶液中氮的吸收利用。可用播种前与某生育期土壤非代换铵含量之差,即净释放量表示非代换铵的植物有效性。净释放量占原土非代换铵含量的百分数称为净释放率。非代换铵含量最低时的净释放为最大净释放。表4指出,三层土壤

的最大净释放在 10—30 ppm 之间, 其最大净释放率为 12.6—12.7%。这个试验在小麦播种前未施过氮肥, 所以未追氮处理中的最大净释放可以表示土壤“固有的”非代换铵的有效性, 其值在 12—30 ppm 和 4.3—12.7% 之间。

### (二) $^{15}\text{N}$ 标记非代换铵微区试验

供试土样曾用  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  处理, 故其非代换铵包括土壤“固有的”(未标记部分)和标记时“新固定”的( $^{15}\text{N}$  标记部分)两组分。这个试验的目的即在比较这两部分非代换铵的释放情况, 即植物有效性。测定结果列入图 3 和表 5。

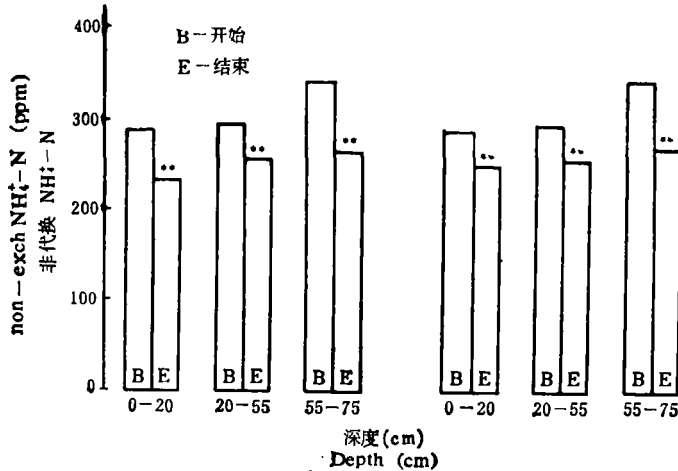


图 3 小麦生长开始和结束时土壤非代换铵总量 ( $^{14}\text{NH}_4^+ + ^{15}\text{NH}_4^+$ )。(左边统计图为施氮的结果, 右边的是不施氮的结果。\*\* 差异显著达 1% 水平)

Fig. 3 Content of total nonexchangeable ammonium ( $^{14}\text{NH}_4^+ + ^{15}\text{NH}_4^+$ ) in soil at the beginning and end of wheat growing season (\*\*significance at 1% level. The left histogram indicates the case of N fertilization, the right the case of no fertilization)

表 5 各组分非代换铵的净释放 ( $\text{NH}_4^+ - \text{Nppm}$ )

Table 5 The net release (NRA) of tow different fractions of nonexchangeable ammonium ( $\text{NH}_4^+ - \text{N ppm}$ ) in soil

组 分 Part	深 度 Depth (cm)	追 氮 N fertilization				不 追 氮 No N fertilization			
		播 前 Before sowing	收 后 After harvest	净 释 放 量 NRA	净 释 放 率 (%) NRR	播 前 Before sowing	收 后 After harvest	净 释 放 量 NRA	净 释 放 率 (%) NRR
新 固 定 的	0—20	13.31	3.98	9.33**	70.1	13.31	3.93	9.38**	70.5
	20—55	17.14	6.38	10.76**	62.8	17.14	6.27	10.87*	63.4
	55—75	19.41	12.03	7.38**	38.0	19.41	9.91	9.50*	48.9
固 有 的	0—20	277	233	44*	15.9	277	245	32*	11.6
	20—55	280	242	38*	13.6	280	251	29*	10.4
	55—75	324	252	72*	22.2	324	258	66*	20.4

\*, \*\* 同表 4。

1. 非代换铵总量的净释放 图 3 所示是小麦播前和收获后的非代换铵 ( $^{14}\text{NH}_4^+$  +  $^{15}\text{NH}_4^+$ ) 总量。由图可见,和前述田间小区试验不同,在小麦收获时各土层标记土壤中非代换铵含量均未恢复至播前水平。收获时追氮肥和不追氮肥,埋入 0—75 cm 土体的容器中非代换铵净释放量分别为 181.47  $\mu\text{g N/g}$  和 156.75  $\mu\text{g N/g}$ ,净释放率分别是 19.49% 和 16.84%。

2. “新固定”的和“固有的”非代换铵的净释放 Mengel 原设计  $^{15}\text{N}$  试验只用于证明新固定非代换铵的有效性<sup>[7]</sup>。但是,由于经  $^{15}\text{N}$  处理土中非代换铵总量包括“新固定”的 ( $^{15}\text{N}$  部分)和“固有的” ( $^{14}\text{N}$  部分),所以该试验可用以解释两组分的有效性。试验结果虽然不能来说明整个土体中可释放出多少非代换铵,但是可以说明不同深度土壤中固有的和新固定的非代换铵的有效性。

结果表明(见表 5), 13—20 ppm  $^{15}\text{N}$  相当于非代换铵总量的 4.6—5.7% 被粘土矿物固定。这种“新固定”的铵具有很大的有效性,本试验从播种到收获期的净释放约为 7—11 ppm N,净释放率达 38.0—70.5%。埋入耕层释放的最大,埋藏愈深释放量愈小。除下层外,追施氮肥对埋入上两层的非代换铵之净释放无显著影响。

土壤“固有的”非代换铵净释放为 29—72 ppm N,约相当于“新固定”组分的 3.9—6.6 倍,但其净释放率却明显的低,仅为 10.4—22.2%,约为新固定组分的 1/3。

### 三、讨 论

耕地土壤的非代换铵处于经常的动态变化之中。由于土壤溶液氮素的减少会引起它的释放;相反,土壤溶液氮素的增加能导致它的增加(表 3)。因此,可以用净释放表示非代换铵的植物有效性,用其增值表示对土壤溶液氮的保蓄。非代换铵的释放和固定就是对土壤氮素营养的缓冲。

很多研究者都认为“新固定”的非代换铵具有很高的有效性,而土壤“固有的”非代换铵之有效性小<sup>[1,2,3-11]</sup>。本文  $^{15}\text{N}$  标记试验也证明了“新固定”组分的有效性高。埋入 0—75 cm 土体中土壤标记的非代换铵净释放量为 7.38—10.87 ppm N,净释放率达 38.0—70.5%,埋入耕层的释放率较下层的大。固有的非代换铵的植物有效性明显的低于新固定的,其 0—75 cm 土体中的平均净释放率为 10.4—22.2%,不足后者的 1/3。但是,它的净释放量却很大。在小区试验中,0—75 cm 土体的净释放量为 12—30 ppm N,微区试验中为 29—72 ppm N,分别相当于“新固定”非代换铵的 1.6—2.8 倍和 3.9—6.6 倍。田间小区试验和  $^{15}\text{N}$  标记非代换铵微区试验都证明,整个壤土的非代换铵都是植物营养的重要氮源。新固定组分以其高有效性占优势,固有的组分以其较大的供应量为特点。

试验结果有两部分可用于说明粘土矿物晶层的保氮作用。小区试验中追施氮肥后各生育期上层土壤(除拔节期 55—75 cm 土层外)非代换铵含量均增加。图 1 和图 2 中非代换铵含量从最低值到收获时的增值,可认为是壤土对土壤有机氮矿化产物的“固定”贮蓄。此外, $^{15}\text{N}$  标记试验中三个层次土壤的“固氮”量分别是 13.31、17.14 和 19.41 ppm  $^{15}\text{N}$ 。说明施肥可以增加土壤固定态铵含量。这些也可作为壤土以非代换铵形态保蓄肥料氮和有机矿化氮的参考。

田间小区试验 0—20 和 20—55 cm 两层土壤非代换铵含量变化曲线与 55—75 cm 土层的明显区别(图 1 和图 2),可能是各层土壤中有有机氮含量、有机氮矿化速率及小麦根系分布和吸收能力等的不同所致。

综上所述,壤土非代换铵含量大,具有保蓄土壤溶液  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的作用和对当季作物有较大的有效性,它已成为土壤氮素循环研究中的主要对象之一。

### 参 考 文 献

- [1] 文启孝、张晓华、杜丽娟、吴顺龄等, 1988: 太湖地区主要土壤中的固定铵及其有效性。土壤学报, 第 25 卷 1 期, 22—30 页。
- [2] 朱宝金, 1986: 土壤中非交换态铵的释放及其与作物生长的关系。土壤通报, 第 1 期, 31—33 页。
- [3] 许春霞, 1988: 壤土晶格固定铵有效性试验。陕西农业科学, 第 2 期, 21—23 页。
- [4] Mengel, K., 1985: Dynamics and availability of major nutrients in soils. *Advance in Soil Sci.*, 2: 86—89.
- [5] Dalal, R. C., 1977: Fixed ammonium and carbonitrogen ratios of some trinidad soils. *Soil Sci.*, 124: 323—327.
- [6] Sherer, H. W. and Mengel, K., 1979: Dergehalt an Fixiertem ammoniumstickstoff aut einigen repräsentativen hessischen standorten. *Landwirtsch. Forsch.*, 32: 416—424.
- [7] Mengel, K. and Sherer, H. W., 1981: Release of nonexchangeable (fixed) soil ammonium under field conditions during the growing season. *Soil Sci.*, 131: 226—232.
- [8] Keerthisinghe, G., Datta, S. K. and Mengel, K., 1985: Importance of exchangeable and nonexchangeable soil ammonium nitrogen nutrition of lowland rice. *Soil Sci.*, 140: 194—201.
- [9] Kowalenko, C. G. and Ross, G. J., 1980: Study on the dynamics of 'Recently' clay-fixed ammonium using. *N. Can. J. Soil Sci.*, 60: 61—70.
- [10] Kuddeyarov, V. N., 1981: Mobility of fixed ammonium in soil. in "Terrestrial nitrogen cycles" *Ecol. Bull.* (ed. by Clark, F. E. and Rosswall, T.), 33: 281—290.
- [11] Stevenson (ed), J., 1982: Nitrogen in agricultural soil. *Agronomy*, No. 22.

## AVAILABILITY OF NONEXCHANGEABLE (FIXED) AMMONIUM OF MANURED LOESSIAL SOIL IN CHINA

Fan Xiaolin, Li Changwei

(Northwestern Agricultural University)

K. Mengel

(Institute for Plant Nutrition, Justus Liebig University, Gissen, W. G.)

### Summary

The present work is a part of the cooperative project between Northwestern Agricultural University Shaanxi, China and Justus Liebig University, Gissen, W. Germany.

The content and variation of nonexchangeable ammonium in manured loessial soil and its availability for winter wheat were studied through a common plot experiment and a micro plot experiment using  $^{15}\text{N}$ -labelled ammonium under field condition during wheat growing period. The experimental results showed that manured loessial soil possessed a greater reserve of nonexchangeable ammonium; in the cultivated layer of 0—20 cm of the soil tested, the nonexchangeable ammonium amounted to 236 ppm N, constituting about 23% of the total N, and in the soil layer of 0—75 cm, it was 252 ppm N on average, constituting a quarter of the total N. Both the newly fixed ammonium and the ammonium originally fixed by soil played an important role in wheat growth; the former was predominated by its higher availability, while the latter was characterized by its greater quantity. The maximum net release (MNR) rate of newly fixed ammonium ranged from 38.0 to 70.5% in the soil layer of 0—75 cm, being much higher than that of the ammonium originally fixed by soil that ranged from 10.4 to 22.2% in the same soil layer. However, the MNR amount of the ammonium originally fixed by soil was 12—72 ppm in the soil layer of 0—75 cm, it is much more than that of the newly fixed ammonium that was only 7.4—10.9 ppm in the same soil layer. It was also proved that the fixation of ammonium by clay minerals in manured loessial soil could act as a pool of N in soil and applying N tended to increase the nonexchangeable ammonium in soil.