

# 尿素水解中 $\text{NH}_3$ 对根系的抑制作用

罗质超 唐永良 刘芷宇

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

本文研究了石灰性土壤和低钾酸性土壤上由于尿素水解引起 pH 升高,产生  $\text{NH}_3$ ,对作物生长的影响,特别是对根系发育的有害作用。盆栽试验表明,石灰性土壤上表施尿素 200ppm N 后播种小麦,抑制了种子的生根和发芽。分蘖末期追施尿素 200 ppmN,在 10 天中小麦根系干物质的积累量与对照相比反而有减少趋势,在低钾的酸性土壤上也观察到同样的现象。受尿素伤害的植株含钾低,并出现类似缺钾的症状。

用一定量的  $\text{NH}_3$  处理植株,其体内  $\text{K}^+$  和游离氨基酸出现大量的外溢。气态  $\text{NH}_3$  为 5 微克/厘米<sup>3</sup>时,水稻、小麦根系就出现明显的受害症状。在低浓度,短时间处理后取消  $\text{NH}_3$  的作用,则受害植株尚能恢复生长。

尿素施入后盖土再播种,种、肥分隔条施以及尿素掺泥炭混施等措施都可防止  $\text{NH}_3$  逸失,减缓对作物根系的有害作用。

尿素施入土壤后在分解过程中产生出对作物有害物质的问题一直引起人们的注意。早期由于尿素含有较高的缩二脲使植物受到伤害。随着生产工艺和技术的改进,商品尿素肥料的缩二脲含量一般不超过 1%。

目前,认为一定条件下施用尿素有害作物出苗和生长的主要问题是尿素水解过程中产生  $\text{NH}_3$  或随后出现的亚硝酸盐所引起的毒害<sup>[6,8,9]</sup>。我们从 1980—1982 年,在田间,温室和实验室进行了有关的调查和测定。主要围绕  $\text{NH}_3$  的毒害问题研究了尿素施用后一段时间内作物受害的症状,影响因素及其防止措施。

## 一、材料和方法

供试作物为水稻、小麦、玉米;土壤为黄河冲积物发育的石灰性中壤土、长江冲积物发育的石灰性轻壤土、片麻岩发育的红壤性水稻土、片麻岩发育的红壤。四种土壤的 pH 值分别为 8.2, 7.8, 4.8 和 5.0。1N 醋酸铵浸提的土壤速效性钾(K)分别为 184, 44, 36 和 35ppm。在试验期间土壤 pH 的动态变化用锥形 pH 玻璃电极进行原位测定。

盆栽施用的尿素含缩二脲 0.2%。小麦试验为表施尿素后直接播种,施入后盖土再播种,尿素与泥炭混施后直接播种,以及小麦分蘖末期追施四种处理。水稻则是将尿素施入土壤混匀,加水浸泡后插秧。两种作物各处理的尿素用量设有二级水平,即 200ppm 和 400ppmN,泥炭用量为 2%。另外,设有小麦种、肥分隔的试验,采用条施方式,每亩 25 斤尿素,施入肥料与未施肥料的面积比为 1:5。所有试验处理都是重复 3—4 次。

尿素在土壤产生  $\text{NH}_3$  逸出的试验是用 2% 硼酸在密闭条件下吸收检测,土壤含水量分二种情

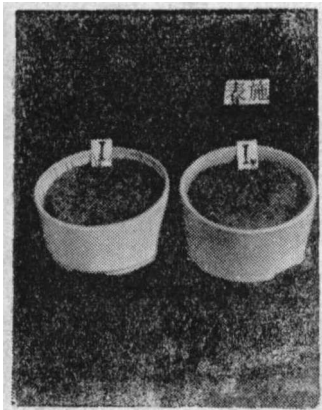
况,即含水为 25%(干土%)和渍水条件。施入尿素 200ppmN, 在  $30^\circ\text{C}\pm 1$  下培养三天后取样分析,每种处理重复三次。

$\text{NH}_3$  毒害试验是用出芽的种子放在有蒸馏水润湿滤纸的表面皿上,并置于 5000 毫升容积的玻璃干燥器中进行处理。试验的  $\text{NH}_3$  浓度是在不同含量的铵态氮  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  溶液中加适量的氢氧化钠产生的。处理一定时间后用少量蒸馏水冲洗沾在根表面的外渗液,测定其钾和氨基酸含量。钾用火焰光度计测定,氨基酸总量是用茚三酮比色法<sup>[1]</sup>,氨基酸的种类用日立 831 型氨基酸分析仪测定。幼苗体内养分外溢试验是用完全营养液培养二星期的植株,分别转移到蒸馏水、150ppm 氯化钙溶液、200ppmN 尿素溶液中培养三天,每天换一次培养液,分别测定换出液中的钾含量。

## 二、试验结果

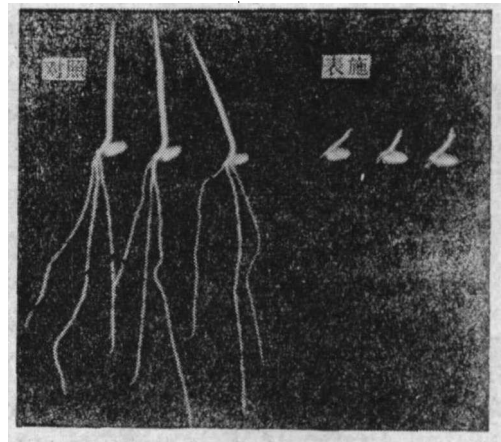
### (一) 尿素对作物生长的影响

大田中尿素作早稻返青肥追施引起的伤害症状,主要表现为根发黑,无新生根,叶片呈现褐斑,焦枯,严重的死苗。在温室盆栽中也观察到类似的症状,插秧时施用尿素 200 ppm N, 栽后稻叶严重卷缩,特别是心叶更为严重,老根坏死,不长新根,迟迟不能返青。在小麦上作为种肥施用,严重地抑制种子生根、发芽和出苗(照片 1-I<sub>1</sub>)。从照片 1 可以看到未施尿素的,播种 9 天后已破土出苗,而施用尿素的,则未见出苗。从照片 2 可看到施用尿素的小麦根、苗生长都受到抑制,特别是对根的影响尤为严重。



照片 1 尿素对小麦出苗的影响

Photo 1 Effect of urea on emergence of wheat seedlings

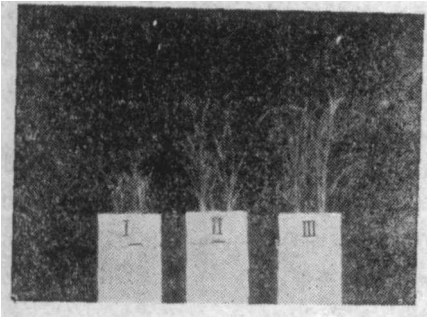


照片 2 尿素对小麦根、芽的影响

Photo 2 Effect of urea on wheat buds and roots

在不同类型土壤上,水稻移栽时施尿素的效果也不相同。照片 3 的结果表明,在石灰性轻壤土(I)上的水稻出现严重的受害症状,石灰性中壤土(II)上也表现有一些抑制作用,而在酸性红壤性水稻土(III)上则生长正常。

在施用适量磷、钾肥的条件下,小麦分蘖末期追施尿素 200 ppm N, 施后 12 天,在石灰性轻壤土、石灰性中壤土和酸性红壤上的小麦根系干物重与不施尿素的对照(100%)相比分别为 97.4, 94.0 和 132.1%。可以看出在石灰性土壤上,施用尿素的处理,在 12 天



- I. 石灰性轻壤土  
I. Calcareous light loam  
II. 石灰性中壤土  
II. Calcareous medium loam  
III. 酸性红壤性水稻土  
III. Acid paddy soil derived from red earth

照片 3 不同土壤施用尿素对水稻生长的影响

Photo 3 Effect of urea on rice growth in different soils

中根系干物质的积累比未施尿素的对照要少；而酸性红壤上则显著增加。表明只有酸性土壤上尿素施入后短期内即可正常产生肥效。但是，在上述低钾土壤上（速效性K低于50ppm）不施钾肥时，不论是石灰性轻壤土或是酸性红壤性水稻土，小麦分蘖末期追施尿素，根系干物重的增长量都比不施的对照要低（表1）。

表 1 低钾土壤追施尿素对小麦根系干物质积累的影响(分蘖末期)

Table 1 Effect of topdressing urea on accumulation of dry matter of wheat roots in K deficiency soil (late tillering stage)

土壤 Soil	根系干物质(干重) Dry matter of Wheat roots (dry wt.)			
	对 照 CK		尿素 Urea	
	克/盆 g/pot	%	克/盆 g/pot	%
石灰性轻壤土	0.54	100	0.46	85.2*
酸性红壤性水稻土	0.15	100	0.12	80.0*

\* 5% 显著水准。

## (二) 尿素对土壤 pH 的影响和 $\text{NH}_3$ 的逸失

在石灰性轻壤土上施用尿素后播种小麦，第7天测定土壤 pH 值，未施和施用尿素的处理分别为 7.5 和 8.2（处理期间温度在  $\pm 15^\circ\text{C}$ ），表明施用尿素的土壤 pH 值提高了 0.7 个单位。而在水稻移栽期（气温在  $28-32^\circ\text{C}$ ），施用尿素的土壤 pH 值在测定期间也都比对照高，施后第3天土壤 pH 升高达最大值，5天以后差异就不很明显（图1）。而与旱作相比尿素施入后土壤 pH 值变幅较小。

加入尿素 200 ppm N 的培育试验中观测  $\text{NH}_3$  逸失的结果表明，在  $30^\circ\text{C} \pm 1$ ，土壤含水量为 25%（干土%），表施尿素3天收集到的  $\text{NH}_3$ ，在石灰性轻壤土上相当于施入尿素氮的 7.7%，而在渍水条件下为 6.4%，但在酸性红壤性水稻土中两种水分条件下均未收集到  $\text{NH}_3$ 。

## (三) $\text{NH}_3$ 的致害浓度以及生理影响

水稻和小麦幼苗分别用以下5种气态氨浓度处理。I. 无  $\text{NH}_3$ ，II. 5 微克  $\text{NH}_3$ /厘

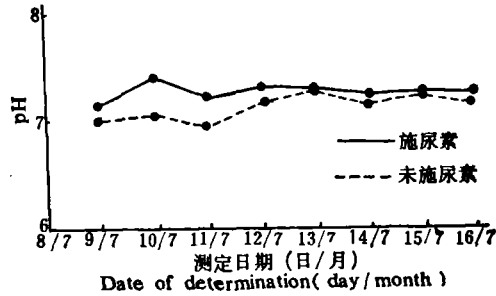
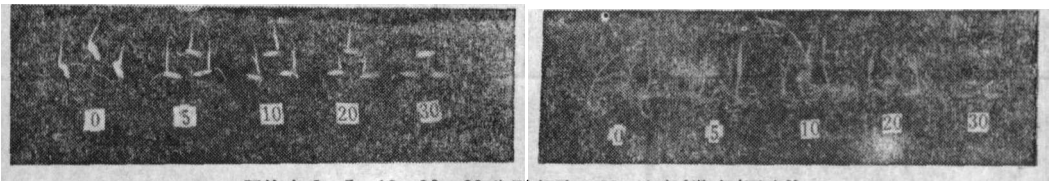


图 1 插秧时施尿素 200 ppm N 对土壤 pH 的影响

Fig. 1 Effect of urea applied 200ppm N on pH value of soil in rice transplanting stage

米<sup>3</sup>, III. 10 微克  $\text{NH}_3$ /厘米<sup>3</sup>, IV. 20 微克  $\text{NH}_3$ /厘米<sup>3</sup>, V. 30 微克  $\text{NH}_3$ /厘米<sup>3</sup>。照片 4-a 是出芽水稻的受害情况, 可以看出根对  $\text{NH}_3$  的反应比芽要敏感得多, 根在 5 微克时受到的伤害已很明显, 而芽的生长到 20 微克时才有抑制现象。照片 4-b 是  $\text{NH}_3$  处理 3 天后, 转移到无  $\text{NH}_3$  的正常条件下培育 3 天, 本试验结果表明在低于 10 微克时, 去除  $\text{NH}_3$  的作用后仍能恢复生长; 但高于此浓度时, 则不能再恢复。其中根尖和根毛受害特别严重, 没有根毛生长, 根尖呈棕褐色。用同样的  $\text{NH}_3$  浓度处理小麦, 也观察到类似的现象, 但是, 小麦对  $\text{NH}_3$  的抗逆性比水稻差, 致害的临界浓度还要低。



照片中 0, 5, 10, 20, 30 分别表示  $\text{NH}_3$  浓度(微克/厘米<sup>3</sup>)

0, 5, 10, 20, 30, denote  $\text{NH}_3$  concentration ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )

照片 4-a  $\text{NH}_3$  对水稻根、芽生长的影响

照片 4-b 水稻去除  $\text{NH}_3$  作用后恢复生长的情况

Photo 4-a Effect of  $\text{NH}_3$  on growth of rice roots and buds

Photo 4-b Rice normal growth recovered after removed  $\text{NH}_3$

受  $\text{NH}_3$  伤害的水稻幼苗的外渗液中, 检测到大量的  $\text{K}^+$  和游离氨基酸, 且外溢量随  $\text{NH}_3$  浓度增加而增加(表 2)。小麦、玉米试验的结果与水稻类似, 其中玉米根受  $\text{NH}_3$  伤害后, 养分外溢最为明显。在尿素溶液中  $\text{K}^+$  外溢量可达根系干物重的 4% 以上, 比培养在蒸馏水或氯化钙溶液中的外溢量高 5 倍多(表 3)。小麦受  $\text{NH}_3$  伤害后溢出的氨基酸有 20 多种, 其中主要是天门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸, 其次是缬氨酸、甘氨酸等(图 2)。这些氨基酸都是植物体内存在的分子量较小的简单氨基酸, 如天门冬氨酸和谷氨酸一般认为是对  $\text{NH}_3$  起解毒作用的化合物。因此, 可以认为体内这些化合物的积累并大量溢出表明植物受  $\text{NH}_3$  毒害而影响这些氨基酸的合成作用, 以及细胞膜透性也可能受到一定的破坏。

田间调查表明: 在石灰性轻壤土上追施尿素而受害的稻株中 N、P 含量是: 受害轻的分别为 3.3% 和 0.32%, 受害重的分别为 3.4% 和 0.37%, 可以认为受害程度对植株氮、磷含量影响不大。但是, 钾含量却不同, 受害越重, 钾含量越低, 如受害轻的稻苗含钾为 2.27%, 而受害严重的仅为 0.68%, 它们的 N/K 比分别为 1.4 和 5.0, 后者属严重缺钾

的稻苗。

表 2 不同浓度气态  $\text{NH}_3$  对水稻幼苗体内钾素和氨基酸外溢的影响

Table 2 Effect of various concentration of  $\text{NH}_3$  gas on the rate of  $\text{K}^+$  and amino acid released from rice seedlings

$\text{NH}_3$ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )		0	5	10	20	40
外溢量 ( $\mu\text{g}/100$ plants) Released rate	$\text{K}^+$	20	60	100	320	470
	氨基酸总量-N	0	190	230	380	580

表 3 不同溶液中水稻、玉米幼苗钾素的外溢量

Table 3 Rate of K released from rice and corn seedlings in various solutions

作物 Crop	处理 Treatment	根干物重 (g) Root dry weight	外溢 $\text{K}^+$ (mg) Rate of K released				外溢 K 占根干重 % % of released K in root dry wt.
			第一天 1st	第二天 2nd	第三天 3rd	总量 Sum	
水稻 Rice	蒸馏水	0.19	0.073	0.030	0	0.103	0.05
	氯化钙 150 ppm	0.20	0.080	0.036	0.010	0.126	0.06
	尿素 200 ppm N	0.19	0.132	0.073	0.058	0.263	0.14
玉米 Corn	蒸馏水	0.26	0.832	0.646	0.706	2.184	0.84
	氯化钙 150 ppm	0.24	0.892	0.580	0.500	1.972	0.82
	尿素 200 ppm N	0.27	3.192	4.526	3.866	11.584	4.29

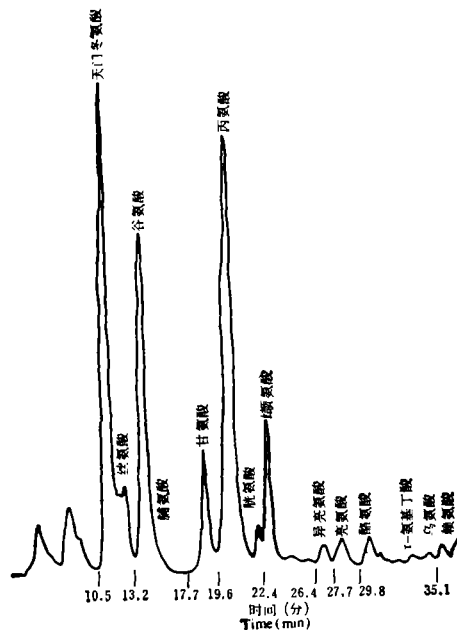


图 2 小麦幼苗受  $\text{NH}_3$  毒害外溢氨基酸的组分

Fig. 2 The components of amino acid released from wheat seedlings

#### (四) 防止尿素毒害的措施

1. 施肥盖土 表 4 结果表明, 表施播种与表施盖土后播种的处理效果不同, 表施尿素 200 ppm N 的小麦苗高和根长与对照相比, 分别为 34.2% 和 9.7%, 而表施后盖土播种的为 57.6% 和 49.1%, 可见盖土对防止尿素的伤害有良好的效果, 特别对根系的效果最为显著, 但是, 施尿素 400 ppm N 时, 盖土效果不如 200 ppm N 明显。

表 4 盖土对防止尿素毒害小麦的效果(石灰性轻壤土)

Table 4 Prevention of wheat seedlings from urea toxicity by covering with soil (calcareous light loam)

植株部位 Plant part		对照 Check	尿素 200 ppm N Urea		尿素 400 ppm N Urea	
			表施 Surface broadcast	施后盖土 Covered with soil after broadcast	表施 Surface broadcast	施后盖土 Covered with soil after broadcast
苗 Top	苗高 (cm)	2.6	0.9	1.5	0.8	1.0
	%	100	34.6	57.6**	30.7	38.5**
根 Root	根长 (cm)	5.7	0.5	2.8	0.1	0.2
	%	100	8.8	49.1**	1.8	3.5**

\*\* 1% 显著水准。

2. 种子与肥料隔开 在石灰性轻壤土上以 25 斤/亩尿素条施播种小麦, 3 天后测定土壤 pH 值, 条施尿素区为 8.7, 距离施肥区 1 厘米为 8.3, 2 厘米为 7.9。凡是播在施肥区上的小麦都不出苗。离施肥区 1 厘米处的出苗率为 30—40%, 但是, 出苗迟缓, 离施肥区 2 厘米以外则出苗正常。看来, 尿素作为种肥施用, 只要尿素与种子相距几厘米, 即可有效地防止尿素分解中  $\text{NH}_3$  对种子或幼苗的伤害。

3. 尿素加泥炭混施 石灰性轻壤土上 200 ppm N 的尿素加 2% 泥炭混施, 6 天后测定其 pH 值, 单施尿素的为 8.2, 而加泥炭混施的为 7.7。表明尿素加泥炭混施可以使 pH 降低。在酸性土壤上也有类似的作用, 且对根系发育有明显的影响。例如, 在红壤性水稻土上, 对照、尿素、泥炭和尿素加 2% 泥炭四种处理中, 小麦分蘖末期的植株高度分别为 5.8, 6.8, 8.8 和 11.6 厘米。表明尿素加入适量泥炭不仅可以防止对根系的伤害, 而且可以显著地促进地上部的生长。此外, 单施尿素 200 ppm N, 在  $30^\circ\text{C} \pm 1$  培育 3 天收集到的气态  $\text{NH}_3$  相当于施入尿素氮量的 3.0%, 而加 2% 泥炭的仅收集到 0.9%, 可见尿素加泥炭混施对防止  $\text{NH}_3$  逸失有良好效果, 同时, 也相应地减轻  $\text{NH}_3$  对根系的毒害。

### 三、讨 论

尿素虽然是高效的氮肥, 但是, 施用不当, 氮素利用率也不高<sup>[4,5]</sup>, 特别是表施或条施时, 由于局部浓度高, 将使施肥区及其附近的土壤 pH 值迅速上升, 从而提高了游离  $\text{NH}_3$  的比例致害于作物。一般情况下, 土壤 pH 值达 7.2 以上土壤中存在的铵态氮就可能出现

$\text{NH}_3$  逸失<sup>[3]</sup>。Creamer 等<sup>[10]</sup>曾报道,尿素在中性或酸性土壤上表施或条施时也会引起局部 pH 值升高到 7 以上。本文的试验也得到了类似的结果,不仅石灰性土壤,而且酸性土壤上施用尿素后 pH 值都有明显的提高。条施时,施肥区及其附近土壤 pH 值上升更为显著,在石灰性轻壤土上可高达 8 以上。已有的结果还表明<sup>[7]</sup>,游离  $\text{NH}_3$  使种子或幼苗根受害的临界值较低。当土壤溶液中含有 10 ppm  $\text{NH}_4^+$ , pH 值为 9.0 左右时,根据化学平衡方程式计算<sup>[1]</sup>,  $\text{NH}_3$  约占溶液中  $\text{NH}_4^+$  的 50% 左右,即  $\text{NH}_3$  可达 5ppm, 这样的  $\text{NH}_3$  浓度就足以使根系受到伤害。然而,在石灰性土壤上,不仅尿素而且其它铵态氮肥施用后土壤中  $\text{NH}_4^+$  一般都超过 10ppm。因此,  $\text{NH}_3$  的毒害并非偶然现象。

至于  $\text{NH}_3$  对植物的有害作用已有不少报道<sup>[9]</sup>,但是,致害的机理还有待进一步探讨。已有的结果认为  $\text{NH}_3$  的毒害主要是抑制根呼吸,从而限制了根系的生长。同时,由于根系对钾离子的吸收与能量代谢的关系最为密切,因此,吸收率的下降也最明显。随着尿素施用后的水解,一定量  $\text{NH}_3$  可使植株的含钾量比不施肥的对照还要低。此外,  $\text{NH}_3$  不仅降低钾的净吸收量,而且还引起钾离子净外溢,表明  $\text{NH}_3$  抑制根呼吸的同时也影响了根细胞的膜结构,使一些离子态的和简单的氨基酸易于外溢。但是,钾外溢量看来与植株体内和介质中的钾浓度有联系,当根内原有  $\text{K}^+$  含量高或介质中  $\text{K}^+$  含量低时,外溢量都将随之增加。因此,调节外界溶液或土壤中的钾水平可以控制钾离子的外溢。当然,随着  $\text{NH}_3$  逐渐从介质逸失,外溢的钾一定时期后还可以再被根系吸收<sup>[11]</sup>,但是,时间上的推迟对根系的生长发育和植株器官的建成都已造成一定的影响。

为了避免尿素施用后的有害作用,除了改进施肥方法外,还应强调尿素作追肥施用,需要控制用量,并切忌在作物吸收能力较弱的时期施用,如水稻返青期施用将增加  $\text{NH}_3$  致害的可能性。

### 参 考 文 献

- [1] 于天仁、张效年, 1980: 土壤电化学研究法及其应用。科学出版社。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所营养诊断组, 1977: 氨基氮总量作为水稻氮素诊断指标的研究。植物学报, 第 9 卷 3 期, 200—207 页。
- [3] 朱兆良, 1979: 土壤中氮素的转化和移动的研究近况。土壤学进展, 第 2 期, 1—16 页。
- [4] 陈荣业、朱兆良, 1982: 氮肥去向的研究。I. 稻田土壤中氮肥的去向。土壤学报, 第 19 卷 2 期, 122—129 页。
- [5] 李庆荣、解惠光, 1979: 试谈黑龙江省化肥利用率不高的主要原因及其提高措施。土壤肥料, 第 1 期, 19—21 页。
- [6] 袁立海, 1981: 尿素的烧种。土壤肥料, 第 2 期, 16—19 页。
- [7] Bennett, A. C., and Fred Adams, 1970: Concentration of  $\text{NH}_3$  (aq) required for incipient  $\text{NH}_3$  toxicity to seedlings. Soil Sci. Amer. Proc., 34: 359—363.
- [8] Bennett, A. C., 1974: Toxic effects of Aqueous Ammonia, Copper, Zinc, Lead, Boron, and Manganese on Root growth. in "The Plant Root and Its Environment" (E. W. Carson ed), p. 669—683. University of Virginia Charlottesville.
- [9] Court, M. N., Stepten. R. C., and Waid. J. S., 1964: Toxicity as a cause of the inefficiency of urea as a fertilizer. I. Review. J. Soil Sci. 15: 42—48.
- [10] Creamer, F. L., and Fox. R. H., 1980: The toxicity of banded urea or diammonium phosphate to corn as influenced by soil temperature, moisture, and pH. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 296—300.
- [11] Schenk, M., and Wehormam, J., 1979: Potassium and phosphate uptake of cucumber plants at different ammonia supply. Plant and Soil, 52: 415—426.

## INHIBITION OF $\text{NH}_3$ FROM UREA HYDROLYSIS ON CROP ROOTS

Luo Zhichao, Tang Yongliang and Liu Zhiyu

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

### Summary

The present paper deals with the inhibition of free  $\text{NH}_3$  formed by urea hydrolysis in calcareous soil and acid soil with low content of potassium. It is showed by experiments that the toxic symptom of plant leave were similar to K deficiency, the root developments of wheat, corn and rice were inhibited significantly, without any root hairs and new roots grown, appearing yellow-brown colour on root tip sometimes. Plant root was injured clearly while  $\text{NH}_3$  concentration was  $5 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ , however the root could recover its normal growth gradually after removing  $\text{NH}_3$  treatment. While the root was treated by  $\text{NH}_3$  with a concentration up to  $30 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  for 6 hours, root normal growth could no longer be recovered. Rice had higher resistance ability to free  $\text{NH}_3$  than wheat.

$\text{K}^+$  and some amino acids could be released from root tissue injured by  $\text{NH}_3$ . The amount of  $\text{K}^+$  released from corn should be up to 4% of root dry weight. It indicates that permeability of cell membrane may be influenced by  $\text{NH}_3$ .

Furthermore, plant root was injured both by top dressing N of 200 ppm or band applying urea of 187.5 kg/ha in calcareous soil. At the 10th day after applying urea at late tillering stage, the dry weight of wheat roots was less than that in check (without urea treatment), while the similar tendency could be observed in acid soil under the condition of potassium deficiency. It indicates that plant root growth injured by free  $\text{NH}_3$  is related to potassium disorder in plant. It is suggested that the urea applied should be covered with soil before seedling or the fertilizer should be applied in strip separated from the seeds or urea applied mixed with peat. All these measures are of advantage to prevent plants from the toxicity and the loss of  $\text{NH}_3$ .