

# 脲酶抑制剂 / 硝化抑制剂对土壤中尿素 氮转化及形态分布的影响 \*

徐 星 凯

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

周 礼 恺

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

Oswald Van Cleemput

(比利时根特大学农业和应用生物科学院, Ghent B-9000)

**摘 要** 运用 $^{15}\text{N}$  尿素示踪技术, 以壤质草甸棕壤和春小麦分别作供试土壤和作物进行盆栽试验。结果表明, 与单施 $^{15}\text{N}$  尿素或 $^{15}\text{N}$  尿素 + 氢醌(HQ)相比, 配施双氰胺(DCD), 尤其与 HQ 组合可使土壤保持较高的 $^{15}\text{N}$  回收率, 其中有机 $^{15}\text{N}$  占相当大的比例。在小麦孕穗期前, 上述两处理可有效地保持尿素水解后土壤中 $\text{NH}_4^+ - ^{15}\text{N}$  含量, 并显著降低 $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) - ^{15}\text{N}$  的富集; 促进肥料 $^{15}\text{N}$  固持—矿化的周转。HQ 与 DCD 配合施用对尿素施用后土壤中残留 $^{15}\text{N}$  量及有机 $^{15}\text{N}$  的再矿化和 $\text{NH}_4^+ - ^{15}\text{N}$  含量具有一定的协同作用。

**关键词** 标记尿素, 氢醌, 双氰胺, 氮素形态, 协同作用, 春小麦

**中图分类号** S143.1

为了有效提高尿素氮利用率并减少环境氮污染, 通过脲酶抑制剂/硝化抑制剂协调土壤中尿素氮转化过程仍是土壤生物化学研究中一项有趣的内容<sup>[1~5]</sup>。以前已有一系列的培养试验与盆栽试验<sup>[1~3]</sup>, 获得了脲酶抑制剂/硝化抑制剂对种植作物和未种植作物时土壤中尿素氮转化的资料。结果表明, 与单施氢醌(HQ)或 HQ + 包被碳化钙( $\text{CaC}_2$ )相比, HQ 与双氰胺(DCD)组合能有效地延缓土壤尿素水解, 利于水解后形成的铵在土壤中较长时间保持较高水平; 同时降低土壤硝态氮的富集。从而利于提高尿素氮利用率且减少环境氮污染。不过, 这些研究均采用非标记尿素, 没有涉及配施上述两类抑制剂时土壤中肥料氮的固持与矿化。为了更精确地了解在脲酶抑制剂/硝化抑制剂存在时土壤尿素氮转化, 本项研究运用示踪尿素进行相似试验, 重点在于进一步测定 HQ、DCD 及二者组合对种植春小麦时土壤中尿素氮转化及各形态分布的影响。

\* 国家自然科学基金项目(批准号: 29907004)和中国-比利时合作课题资助

收稿日期: 1999-02-26; 收到修改稿日期: 1999-12-29

## 1 材料与方方法

一盆裁试验含四个处理,分别为标记尿素( $^{15}\text{N-U}$ )、标记尿素 + 氢醌( $^{15}\text{N-U+HQ}$ )、标记尿素 + 双氰胺( $^{15}\text{N-U+DCD}$ )和标记尿素 + 氢醌 + 双氰胺( $^{15}\text{N-U+HQ+DCD}$ )。每个处理有 10 次重复,随机排列。供试作物为春小麦,供试土壤采自沈阳生态站,属壤质草甸棕壤,其主要理化特性为: pH6.7, 总氮 1100mg/kg, 速效氮 126.6mg/kg, 总磷 600mg/kg, 速效磷 26.5mg/kg, 有机碳 1.77% 和 C/N 16.1。每钵钵装过 5mm 筛风干土 6.0kg, 磷和钾作基肥施入( $\text{K}_2\text{HPO}_4$  1.0g/盆)。标记尿素由中国上海化工研究院提供, 丰度为 5.36%, 每盆施入量为 2.0g; HQ 和 DCD 分别按尿素施入量的 300mg/kg 和 50000mg/kg 加入<sup>[3,6]</sup>。上述肥料及抑制剂与土壤混合均匀后装盆。每钵钵定植 12 棵小麦植株。分别于小麦拔节期、孕穗期和成熟期(相当于施肥后 49、62 和 94 天)采集土壤和植株样品,按常规方法<sup>[7]</sup>测定土壤和植株样品中总氮、土壤样品中交换态铵和氧化态氮含量,它们的 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比值由 JAS CO N-150  $^{15}\text{N}$  分析仪测定<sup>[8]</sup>。每次蒸馏样品后,用去离子水重复蒸馏 2~3 次,以洗去蒸馏器内的 $^{15}\text{N}$ 。所测 N 源中 $^{15}\text{N}$ 含量计算为:  $M = A \times B / 100$ , 式中  $M$  为所测 N 源中 $^{15}\text{N}$ 含量(mg/盆)(比如土壤残留 $^{15}\text{N}$ 、交换性铵态 $^{15}\text{N}$ 、氧化态 $^{15}\text{N}$ 以及植株 $^{15}\text{N}$ );  $A$  为所测 N 源中 $^{15}\text{N}$ 的丰度(%);  $B$  为所测 N 源中总氮量(mg/盆)。土壤有机 $^{15}\text{N}$ (mg/盆) = 土壤残留 $^{15}\text{N}$ (mg/盆) - 交换性铵态 $^{15}\text{N}$ (mg/盆) - 氧化态 $^{15}\text{N}$ (mg/盆)。因此,该形态氮包括固定态铵。每种氮源中 $^{15}\text{N}$ 含量占所施 $^{15}\text{N}$ 的百分数即为该氮源 $^{15}\text{N}$ 的回收率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 $\text{NH}_4^+ -^{15}\text{N}$

在小麦孕穗期(施肥后 62 天)前,与单施尿素或尿素 + HQ 处理相比,DCD 和 DCD + HQ 可使土壤中源于尿素的  $\text{NH}_4^+ -^{15}\text{N}$  含量均显著增加(表 1); 此后,试验各处理无显著性差异。从而显示在此试验条件下,DCD 能有效地抑制土壤中  $\text{NH}_4^+ -^{15}\text{N}$  硝化作用达 2 月。这与 DCD 在土壤中的降解周期有关<sup>[9,10]</sup>。

表 1 小麦不同生育期土壤  $\text{NH}_4^+ -^{15}\text{N}$  的存留<sup>1)</sup>

Table 1 Retention of soil  $\text{NH}_4^+ -^{15}\text{N}$  at different stages of wheat growth (mg / pot)

处理 Treatments	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	成熟期 Maturity stage
$^{15}\text{N-U}$	0.93(0.21)a	0.58(0.25)a	0.16(0.11)a
$^{15}\text{N-U+HQ}$	1.17(0.20)a	0.59(0.09)a	0.35(0.17)a
$^{15}\text{N-U+DCD}$	7.49(1.22)b	2.59(0.57)b	0.58(0.21)a
$^{15}\text{N-U+HQ+DCD}$	11.07(0.81)c	2.37(0.20)b	0.61(0.27)a

1) 表中值为同一处理 3 次重复平均值,括号里的为标准差,同栏中紧跟不同字母的差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

在小麦拔节期(施肥后 49 天),单施尿素或尿素 + HQ 处理土壤中  $\text{NH}_4^+ -^{15}\text{N}$  含量较低,不足所施尿素 $^{15}\text{N}$ 5%。因此,无 DCD 存在时,此试验条件下土壤中尿素水解后形成的  $\text{NH}_4^+ -^{15}\text{N}$  极易被氧化,这将对土壤对尿素氮的保持。

由于 HQ 对尿素水解作用时间短<sup>[1~4]</sup>,从而致使在小麦拔节期,与单施尿素相比,HQ

虽能提高土壤中  $\text{NH}_4^+ -^{15}\text{N}$  含量,但未达到显著水平。尽管如此,DCD + HQ 处理土壤中  $\text{NH}_4^+ -^{15}\text{N}$  含量仍显著高于 DCD 处理;随后,两处理未见明显的差异。显然,在维持土壤源于尿素的  $\text{NH}_4^+ -^{15}\text{N}$  方面,DCD 与 HQ 组合可在尿素施入后一段时间内存在着一定的协同作用。可能这段时间的长短,视不同试验条件而异。这有待进一步研究。

## 2.2 $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) -^{15}\text{N}$

在小麦拔节期,大约所施尿素  $^{15}\text{N}40\%$  在无抑制剂的土壤中被氧化,而土壤中存在 DCD 或 DCD + HQ 时却不足  $10\%$ (表 2)。显然,在旱作系统中,DCD 或 DCD + HQ 能使尿素施用后土壤  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) -^{15}\text{N}$  较长时间维持较低水平。Chalk 等<sup>[11]</sup>研究显示:硝化抑制剂能显著抑制硝化活性较高的土壤中源于尿素水解后硝酸盐的形成。

表 2 小麦不同生育期土壤  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) -^{15}\text{N}$  的存留

Table 2 Retention of soil  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) -^{15}\text{N}$  at different stages of wheat growth (mg / pot)

处理 Treatments	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	成熟期 Maturity stage
$^{15}\text{N}-\text{U}$	19.81(0.41)c	17.33(1.96)b	18.39(2.16)a
$^{15}\text{N}-\text{U}+\text{HQ}$	13.65(1.75)b	14.23(3.38)b	16.04(1.81)a
$^{15}\text{N}-\text{U}+\text{DCD}$	4.55(0.28)a	5.02(2.60)a	13.45(3.15)a
$^{15}\text{N}-\text{U}+\text{HQ}+\text{DCD}$	4.37(0.88)a	5.57(1.39)a	14.69(1.03)a

在小麦不同生育期内,单施尿素或尿素 + HQ 处理土壤中  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) -^{15}\text{N}$  含量变化不明显;而 DCD 及其与 HQ 组合可使小麦成熟期时土壤中  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) -^{15}\text{N}$  含量显著高于拔节期和孕穗期(表 2)。这与不同处理在小麦生育期内植株  $^{15}\text{N}$  吸收和  $^{15}\text{N}$  损失(表 3)以及土壤中不同  $^{15}\text{N}$  源的转化有关。

在小麦拔节期,与单施尿素相比,所施抑制剂各处理可使尿素施用后土壤中  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) -^{15}\text{N}$  含量显著降低,其中 DCD 及 DCD + HQ 处理不足尿素  $^{15}\text{N}10\%$ 。由于 HQ 在土壤中易被分解,加上同处理标准差较大,因此在小麦孕穗期未见 HQ 对土壤  $(\text{NO}_3^- +$

表 3 小麦不同生育期尿素  $^{15}\text{N}$  去向(占所施  $^{15}\text{N}$  百分数)

Table 3 Fate of urea- $^{15}\text{N}$  at different stages of wheat growth (% of applied  $^{15}\text{N}$ )

处理 Treatments	拔节期 Jointing stage				孕穗期 Booting stage				成熟期 Maturity stage			
	PR <sup>1)</sup>	SR	TR	LR	PR	SR	TR	LR	PR	SR	TR	LR
$^{15}\text{N}-\text{U}$	5.80 (0.23)a	62.61 (0.79)a	68.41 (3.25)a	31.59 (2.21)a	19.70 (1.15)a	48.33 (5.33)a	68.03 (1.45)a	32.97 (2.25)a	17.73 (0.47)a	45.56 (2.72)a	63.29 (3.35)a	36.71 (1.36)a
$^{15}\text{N}-\text{U}+\text{HQ}$	5.77 (0.20)a	62.43 (4.47)a	68.20 (4.67)a	31.80 (2.35)a	16.49 (0.45)b	50.29 (3.96)a	66.78 (3.72)a	33.22 (1.86)a	19.59 (0.35)ab	43.77 (3.10)a	63.36 (3.67)a	36.64 (1.95)a
$^{15}\text{N}-\text{U}+\text{DCD}$	5.81 (0.18)a	67.57 (2.38)a	73.38 (1.85)a	26.62 (4.35)a	19.30 (1.05)a	50.45 (3.22)a	69.75 (0.88)a	30.25 (3.46)a	17.65 (0.38)a	49.92 (1.34)a	67.57 (2.36)a	32.43 (3.56)a
$^{15}\text{N}-\text{U}+\text{HQ}+\text{DCD}$	4.43 (0.35)b	76.07 (0.47)b	80.50 (1.15)b	19.50 (0.85)b	19.85 (1.32)a	60.05 (3.46)b	79.90 (1.78)b	20.10 (1.13)b	23.69 (1.24)b	56.41 (1.25)b	80.10 (2.49)b	19.90 (1.46)b

1) PR 植株回收率 Plant recovery, SR 土壤回收率 Soil recovery, TR 总回收率 Total recovery, LR 损失率 Loss recovery

$\text{NO}_2^-$ ) -  $^{15}\text{N}$  的明显效应。尽管如此, DCD 及 DCD + HQ 仍使土壤  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$  -  $^{15}\text{N}$  含量显著降低。由于在小麦拔节期, HQ 对尿素施用后土壤中  $\text{NH}_4^+$  -  $^{15}\text{N}$  无明显效应而  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$  -  $^{15}\text{N}$  显著降低, 因此, HQ 不仅一定程度上影响尿素施用后土壤中  $\text{NH}_4^+$  -  $^{15}\text{N}$  的氧化, 而且可能促进土壤对  $\text{NH}_4^+$  -  $^{15}\text{N}$  的固持作用。这在下面的论述中有所反映。

### 2.3 有机 $^{15}\text{N}$

在小麦拔节期, 各处理土壤中有有机 $^{15}\text{N}$  都比较高, 随后逐渐降低(表 4)。显然存在土壤对尿素氮的生物固持以及新固持氮的再矿化<sup>[12]</sup>。当然, 土壤微生物的固持与植株吸收之间的竞争, 也影响着固持氮的再矿化<sup>[13]</sup>。

表4 小麦不同生育期土壤有机 $^{15}\text{N}$ 的存留

Table 4 Retention of soil organic- $^{15}\text{N}$  at different stages of wheat growth (mg/pot)

处理 Treatments	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	成熟期 Maturity stage
$^{15}\text{N-U}$	10.58(0.50)a	6.27(0.88)a	4.24(1.02)a
$^{15}\text{N-U+HQ}$	16.41(1.36)b	10.36(0.77)b	5.51(1.21)a
$^{15}\text{N-U+DCD}$	21.76(1.34)c	17.63(0.71)c	10.94(1.40)b
$^{15}\text{N-U+HQ+DCD}$	22.61(1.27)c	22.10(0.68)d	12.92(1.68)b

在整个试验期内, 配施抑制剂, 尤其是 DCD 及其与 HQ 组合, 可显著增加尿素施用后土壤有机 $^{15}\text{N}$ 。这一方面与 HQ + DCD 可使土壤中含有较高的铵态氮有关。已报道, 土壤微生物对于氮的固持利用氨态氮优于硝态氮<sup>[14]</sup>; 另一方面, 在有 DCD 或 DCD + HQ 存在的条件下, 土壤硝化活力的限制或减弱<sup>[15, 16]</sup>以及抑制剂本身在土壤中的降解提供利于异养微生物代谢所需的碳源<sup>[17]</sup>, 这将利于土壤微生物对肥料氮的固持。Shen 等<sup>[18]</sup>研究表明, 土壤氮的生物固持是一个受有效碳而不是有效氮控制的过程。Wang 等<sup>[4]</sup>研究发现, 脲酶抑制剂能使土壤中尿素氮固持量增加 5%~30%。本项试验显示: 在小麦整个生育期内, 与单施尿素相比, HQ 可使尿素施用后土壤有机 $^{15}\text{N}$  增加约 10%, 而 DCD 及其与 HQ 组合却增加 20%~30%。

### 2.4 土壤残留 $^{15}\text{N}$ 及其组分

本试验各处理土壤残留 $^{15}\text{N}$  回收率相当高(表 5), 这与供试土壤含有较高的有效态氮(126.6mg/kg)以及春小麦生育期较短(94 天)有关。即使如此, DCD 和 HQ 组合在小麦整个生育期内, 始终维持较高的土壤残留 $^{15}\text{N}$  回收率, 并显著高于其余各处理。在本项试验中, 排除了硝酸盐的淋溶损失, 因此气态氮损失为尿素 $^{15}\text{N}$  主要损失途径。DCD 虽能降低土壤反硝化作用氮素损失<sup>[19]</sup>, 却增加  $\text{NH}_3$  挥发损失<sup>[5]</sup>。因此往往对尿素氮气态损失影响不明显。本项实验也出现类似结果(表 3)。由于 DCD 对尿素水解无显著影响<sup>[20]</sup>而 HQ 能延缓尿素水解并一定程度上降低  $\text{NH}_3$  挥发损失<sup>[1~3]</sup>。因此 HQ + DCD 能有效地降低土壤尿素氮气态损失(表 3), 这将利于土壤残留 $^{15}\text{N}$  保持。

在小麦孕穗期前, 配施 DCD 及其与 HQ 组合均使土壤  $\text{NH}_4^+$  -  $^{15}\text{N}$  回收率显著高于单施尿素(表 5)。这一点与土壤  $\text{NO}_3^-$  -  $^{15}\text{N}$  正好相反。有趣的是, 在小麦整个生育期内, 有

机<sup>15</sup>N 占土壤残留<sup>15</sup>N 回收率相当大的比例,尤其在配施 DCD 及其与 HQ 组合时(表 5)。

表5 土壤肥料氮回收率及其组分<sup>1)</sup>

Table 5 Recovery of fertilizer-<sup>15</sup>N in soil and its constituents (%)

处理 Treatments	拔节期 Jointing stage				孕穗期 Booting stage				成熟期 Maturity stage			
	T- <sup>15</sup> N	A- <sup>15</sup> N	N- <sup>15</sup> N	O- <sup>15</sup> N	T- <sup>15</sup> N	A- <sup>15</sup> N	N- <sup>15</sup> N	O- <sup>15</sup> N	T- <sup>15</sup> N	A- <sup>15</sup> N	N- <sup>15</sup> N	O- <sup>15</sup> N
<sup>15</sup> N-U	62.61 (0.79)a	1.86 (0.41)a	39.60 (0.82)c	21.15 (0.99)a	48.33 (5.33)a	1.16 (0.50)a	34.64 (3.91)b	12.53 (1.76)a	45.56 (2.72)a	0.32 (0.21)a	36.76 (5.32)a	8.48 (2.01)a
<sup>15</sup> N-U+HQ	62.43 (4.47)a	2.34 (0.40)a	27.29 (3.48)b	32.80 (2.72)b	50.29 (3.96)a	1.18 (0.17)a	28.44 (6.76)b	20.71 (1.53)b	43.77 (3.10)a	0.70 (0.44)a	32.06 (3.31)a	11.01 (2.68)a
<sup>15</sup> N-U+DCD	67.57 (2.38)a	14.97 (3.03)b	9.10 (0.55)a	43.50 (2.68)c	50.45 (3.22)a	5.18 (1.13)b	10.03 (5.19)a	35.24 (1.42)c	49.92 (1.34)a	1.16 (0.55)a	26.89 (6.85)a	21.87 (3.72)b
<sup>15</sup> N-	76.07	22.13	8.74	45.20	60.05	4.74	11.13	44.18	56.41	1.22	29.36	25.83
U+HQ+DCD	(0.47)b	(1.62)c	(1.76)a	(2.54)c	(3.46)b	(0.40)b	(2.77)a	(1.36)d	(1.25)b	(0.62)a	(2.72)a	(4.64)b

1) T-<sup>15</sup>N 残留 <sup>15</sup>N Total <sup>15</sup>N, A-<sup>15</sup>N 铵态 <sup>15</sup>N Ammonium <sup>15</sup>N, N-<sup>15</sup>N 氧化态氮 Nitrate plus nitrite <sup>15</sup>N, O-<sup>15</sup>N 有机 <sup>15</sup>N Organic <sup>15</sup>N

以有机氮/矿质氮比值表示土壤中肥料氮的固持—矿化的周转程度。由表 6 可见,单施尿素处理土壤肥料氮矿化过程占主要优势,并随时间逐渐增强。配施抑制剂,尤其是 DCD 及其与 HQ 组合,可使土壤固持作用占主要地位,从而利于小麦穗期前土壤中尿素水解后肥料氮的保持。DCD 及其与 HQ 组合可明显延缓新固持肥料氮的再矿化,有关原因有待进一步研究。

表6 土壤有机<sup>15</sup>N/矿质<sup>15</sup>N比值

Table 6 Ratio of organic <sup>15</sup>N/mineral <sup>15</sup>N in soil

处理 Treatments	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	成熟期 Maturity stage	处理 Treatments	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	成熟期 Maturity stage
<sup>15</sup> N-U	0.51(0.09)a	0.35(0.05)a	0.23(0.07)a	<sup>15</sup> N-U+DCD	1.81(0.25)c	2.32(0.15)c	0.78(0.16)b
<sup>15</sup> N-U+HQ	1.11(0.11)b	0.70(0.12)b	0.34(0.06)a	<sup>15</sup> N-U+HQ+DCD	1.46(0.08)c	2.78(0.28)c	0.84(0.11)b

### 3 结 论

1. DCD 及其与 HQ 组合均使尿素<sup>15</sup>N 施入土壤后(NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) - <sup>15</sup>N 含量较长时间保持较低水平;NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - <sup>15</sup>N 显著增加,并显著抑制其氧化达 2 月。在尿素施入后一段时间内,DCD 和 HQ 组合对上述现象存在协同作用。

2. 在小麦拔节期, HQ 不仅一定程度上降低尿素<sup>15</sup>N 施入后土壤中(NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) - <sup>15</sup>N 含量,而且促进土壤对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - <sup>15</sup>N 的固持作用。

3. DCD, 尤其与 HQ 组合,均使土壤新固持源于尿素<sup>15</sup>N 的有机<sup>15</sup>N 量较长时间保持较高水平。DCD 和 HQ 组合可使土壤残留<sup>15</sup>N 显著高于本项试验其它各处理,从而利于土壤持续有效地保持肥料氮量。由此显示:在施入尿素<sup>15</sup>N 后一段时期内,土壤残留<sup>15</sup>N、有机<sup>15</sup>N 及其再矿化, HQ 和 DCD 配合施入也存在一定的协同作用。

## 参 考 文 献

1. 陈利军, 史奕, 李荣华等. 脲酶抑制剂和硝化抑制剂的协同作用对尿素氮转化和  $N_2O$  排放的影响. 应用生态学报, 1995, 6(4): 369~372
2. Chen L J, Boeckx P, Zhou L K, *et al.* Effect of hydroquinone, dicyandiamide and encapsulated calcium carbide on urea-N uptake by spring wheat, soil mineral N content and  $N_2O$  emission. Soil Use Manage., 1998, 230~233
3. Zhao X Y, Zhou L K, Li R H, *et al.* Effect of hydroquinone on maize yield and urea efficiency. Soil Biol. Biochem., 1993, 25(1): 147~148
4. Wang Z P, O Van Cleemput, Li LT, *et al.* Effect of organic matter and urease inhibitors on urea hydrolysis and immobilization of urea nitrogen in an alkaline soil. Biol. Fert. Soils, 1991, 11: 101~104
5. Prakasa Rao EVS, Puttanna K. Evaluation of dicyandiamide treated urea in Java citronella. Indian J. Soil Sci., 1994, 42(1): 54~59
6. Amberger A. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. Commun. Soil Sci. Plan., 1989, 20(18&20): 1933~1956
7. Page A L. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2<sup>nd</sup> ed. America Society of Agronomy, Wisconsin, USA: Inc, Madison, 1982, 643~687
8. Axmann H. Method for  $^{15}N$  determination in use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationship. IAEA Training course series No.2. 1990
9. Hauser M, Haselwandter K. Degradation of dicyandiamide by soil bacteria. Soil Biol. Biochem., 1990, 22(1): 113~114
10. Rodgers G A, Wickramasinghe K N, Jenkinson D S. Mineralization of dicyandiamide, labelled with  $^{15}N$ , in soils. Soil Biol. Biochem., 1985, 17: 253~254
11. Chalk P M, Victoria R L, Muraoka T, *et al.* Effect of a nitrification inhibitor on immobilization and mineralization of soil and fertilizer nitrogen. Soil Biol. Biochem., 1990, 22(4): 533~538
12. Okereke G U, Meints V W. Immediate immobilization of labeled ammonium sulfate and urea nitrogen in soil. Soil Sci., 1985, 140: 105~109
13. Machet J-M, Pierre D, Recous S, *et al.* Real utilization coefficient significance and consequences for nitrogenous fertilization of crops. C.R.Acad. Agric. Fr., 1987, 73: 39~55
14. Jansson S L. Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralization-immobilization relationships. Ann. Roy. Agric. Coll. Sweden, 1958, 24: 101~361
15. Francis D D, Doran J W, Lohry R D. Immobilization and uptake of nitrogen applied to corn as starter fertilizer. Soil Sci. Soc. Am. J., 1993, 65: 235~263
16. Sahrawat K L. Effects of nitrification inhibitors on nitrogen transformations, other than nitrification, in soils. Adv. Agron., 1989, 42: 279~309
17. Torello W A, Wehner D T. Urease activity in a Kentucky bluegrass turf. Agron. J., 1983, 75: 654~656
18. Shen S M, Pruden G, Jenkinson D S. Mineralization and immobilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen. Soil Biol. Biochem., 1984, 16: 437~444
19. Vilsmeier K. Turnover of  $^{15}N$  ammonium sulfate with dicyandiamide under aerobic and anaerobic soil conditions. Fert. Res., 1991, 29(3): 191~196
20. Yadvinder S, Beauchamp E G. Nitrogen transformations near urea in soil: effects of nitrification inhibitor, nitrifier activity and liming. Fert. Res., 1988, 18(3): 201~212

## EFFECT OF UREASE / NITRIFICATION INHIBITORS ON THE DISTRIBUTION OF TRANSFORMED UREA-N FORMS IN SOIL

Xu Xing-kai

*(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085)*

Zhou Li-kai

*(Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015)*

Oswald Van Cleemput

*(Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, University of Ghent, B-9000, Belgium)*

### Summary

By applying labeled urea into a loamy meadow brown soil, a pot experiment with spring wheat as test crop was carried out. The results showed that in comparison with applying urea alone and urea + hydroquinone (HQ), an application of dicyandiamide (DCD), and especially of its combination with HQ, gave a much higher recovery of soil urea  $^{15}\text{N}$ , among which organic  $^{15}\text{N}$  occupied a great portion. These two treatments played an active role in the conservation of urea-released  $\text{NH}_4^+ - ^{15}\text{N}$  in soil and in the decrease of the accumulation of urea-derived  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) - ^{15}\text{N}$ . They could markedly promote the mineralization-immobilization turnover of fertilizer  $^{15}\text{N}$  following the hydrolysis of applied urea. Synergistic effects of HQ and DCD on the contents of fertilizer- $^{15}\text{N}$  and  $\text{NH}_4^+ - ^{15}\text{N}$  in soil as well as the mineralization of soil organic- $^{15}\text{N}$  will appear after the application of labeled urea.

**Key words** Urea- $^{15}\text{N}$ , Hydroquinone, Dicyandiamide, Nitrogen forms, Synergistic effect, Spring wheat