植物营养与肥料学报 2005,11(4):481 - 486
Plant Nutrition and Fertilizer Science

硫脲及抑制剂组合对土壤尿素氮转化和玉米产量的影响

孙爱文[1], 石元亮[1], 朱志锋[2], 尹宏斌[1]
(1 中国科学院沈阳应用生态所, 辽宁沈阳 110015; 2 华中农业大学资环学院,湖北武汉 430070)

摘要: 采用培养试验和田间小区试验相结合,研究了两种浓度硫脲及低用量硫脲和硝化抑制剂双氰胺(DCD)、脲酶抑制剂苯基磷酰二胺(PPD)组合对土壤脲酶活性、土壤尿素氮转化和玉米产量的影响。培养试验表明,硫脲及抑制剂组合对土壤脲酶活性有显著的抑制作用,抑制时间为 2 周。TU、TU1 + DCD 和 TU1 + PPD,对土壤 NH_4^+ - N 的释放、NH_4^+ - N 向 NO_3^- - N 的进一步转化有显著的抑制作用,进而影响土壤中速效氮的总量变化。田间试验表明,施用抑制剂显著增加了玉米百粒重和产量,增产幅度为 9.14%～11.49%。

关键词: 硫脲; 抑制剂; 脲酶活性; 尿素 N 转化; 玉米产量
中图分类号: S145.9　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2005)04-0481-06

Effect of combination of thiourea and inhibitors on soil urea-N transformation and corn yield

SUN Ai-wen[1], SHI Yuan-liang[1], ZHU Zhi-feng[2], YIN Hong-bin[1]
(*1 Inst. of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, China; 2 College of Resour. and Envir., Huazhong Agric. Univ., Wuhan 430070, China*)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effect of TU (Thiourea) with different concentration and TU compounding with nitrification inhibitor Dicyandiamide (DCD) and urease inhibitor Phenylphosphoro diamidate (PPD) on urease activities, transformation of urea-N in soil, and corn yield respectively. Incubation test results showed that thiourea and inhibitors combination took on a conspicuous inhabitation on urease activities with a valid inhabitation period being two weeks. TU, TU1 + DCD, TU1 + PPD markedly inhibited the release of NH_4^+ - N, and its further transformation to NO_3^- - N. As a result, concentration of available - N in soil was affected. Field experiment showed that inhibitors increased corn hundred grain weight and yield markedly. The corn yield could increased 9.14% ～11.49%.

Key words: thiourea; inhibitor; urease activity; urea - N transformation; corn yield

多年来国内外专家一直在从事硝化/脲酶抑制剂的筛选和应用研究。当今,在世界肥料市场已经有几十种抑制剂申请了专利,其中西吡(Nitrapyrin)、双氰胺(DCD)、n-丁基硫代磷酰三胺(NBPT)和氢醌(HQ)已经大量应用于农业生产。我国在这方面也作了大量工作,但是目前国内应用的抑制剂仅限于少数的几个品种,如 DCD、HQ、NBPT、PPD[1-2]。

硫脲(Thiourea)是日本最早使用的硝化抑制剂,主要在日本和西欧一些国家使用。国内虽有一些复合肥厂在其产品中加入一定剂量的硫脲,但缺少相关报道。国外的大量试验证明,硫脲既是一种硝化抑制剂也是一种脲酶抑制剂[3]。与尿素或硝酸铵钙配施,不仅使作物增产,而且促进了作物对土壤中 N、P、S 的吸收[4]。

前期的室内培养试验表明,硫脲是一种硝化抑制剂和弱脲酶抑制剂,其用量在 0.1% 时对土壤脲酶活性和土壤尿素氮素转化就起到了抑制作用[5]。检索近 30 年来硫脲、PPD 和 DCD 的资料表明,对硫

收稿日期: 2004-01-14　　**修改稿收到日期**: 2004-11-10
基金项目: 国家农业科技成果转化基金项目:"长效复合肥添加剂中试"(KI3CB CG2H2020)资助。
作者简介: 孙爱文(1975—),女,黑龙江人,硕士研究生,主要从事氮肥增效剂的作用机理研究。

脲与其它抑制剂组合的研究和试验报道较少。本试验旨在探讨硫脲不同用量及其低用量与DCD、PPD组合对土壤尿素氮转化和作物产量的效果,筛选出适合我国气候、土壤和农业生产的抑制剂品种,为抑制剂或抑制剂组合的利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试抑制剂为硫脲(TU),双氰胺(DCD)、苯基磷酰二胺(PPD)。供试土壤为草甸棕壤,取自沈阳市法库县大孤家子镇,风干后研细,过1mm筛备用。供试土壤的基本理化性质:有机质含量11.8g/kg,全N含量0.98 g/kg,全P含量0.62 g/kg,速效N含量82.53mg/kg,速效P含量11.17 mg/kg,速效K含量87.26mg/kg,pH 6.65。

1.2 试验方法

培养试验:试验设5个处理:1)对照,施尿素260、过磷酸钙400、氯化钾100 kg/hm^{2}作底肥(CK);2)低量抑制剂(TU1 0.1%~1.0%);3)高量抑制剂(TU2 1.0%~5.0%);4)低量抑制剂配施双氰胺(TU1+DCD 0.1%~0.3%);5)低量抑制剂配施苯基磷酰二胺(TU1+PPD 0.1%~0.3%);另设一个不加任何肥料和抑制剂完全空白对照(CK0)。本试验5个处理的数据均为减去完全空白对照后的结果;2)至5)处理均施与对照处理等量的底肥,每个处理27次重复。将过1mm筛的土(烘干土),调至含水量15%,30℃下预培养一周,而后按培养土(300g):尿素重量比100:0.4,并添加一定量抑制剂(TU、TU+DCD或TU+PPD),经混匀后分别装入长×高为8cm×15cm的尼龙布袋,埋入地深8cm,于网室自然条件下培养。于培养后的第3、10、21、36、50、65、85、105、125d取样测定土壤脲酶活性和土壤中NH_4^+-N、NO_3^--N和NO_2^--N的含量。

田间小区试验于沈阳市法库县大孤家子镇进行,设计方案同培养试验。将供试抑制剂和尿素混和均匀后,所有处理的肥料均以基肥形式于打垄前一次性施入,玉米生长期间不再追肥。小区面积为30 m^2,3次重复,随机区组排列,正常田间管理。玉米品种为四丹19,2002年4月27日播种,9月28日收获。

1.3 测定项目与方法

土壤基本养分含量均采用常规分析方法;NH_4^+-N、NO_3^--N采用凯氏定氮法(MgO—合金蒸馏法);尿素态氮采用二乙酰一肟比色法;脲酶活性采用尿素残留法[11]。

2 结果与讨论

2.1 土壤脲酶的活性

据报道,硫脲及其与抑制剂组合对土壤脲酶活性有显著的抑制作用,但是作用时间较短[6]。本试验结果表明,抑制剂对土壤脲酶活性的抑制作用时间在10~21d之间,只有TU1+PPD对脲酶活性的抑制作用持续了65d。图1看出,培养后的第3d,土壤脲酶活性受到显著抑制;到第10d时,所有处理的脲酶活性仍受到抑制,但抑制作用开始减弱。总的来看,抑制剂及其组合对脲酶活性的抑制效果依次是TU1+PPD > TU1+DCD > TU2 > TU1。

土壤脲酶活性处于一种动态变化状态,这种变化也因为加入不同的抑制剂而产生不同的波动。所有处理土壤的脲酶活性都在受到抑制作用后开始恢复。从脲酶活性起伏波动的一致性可以判断,这种波动除了受抑制剂影响外,降雨、温度、土壤的自然属性也影响了土壤脲酶活性的变化。

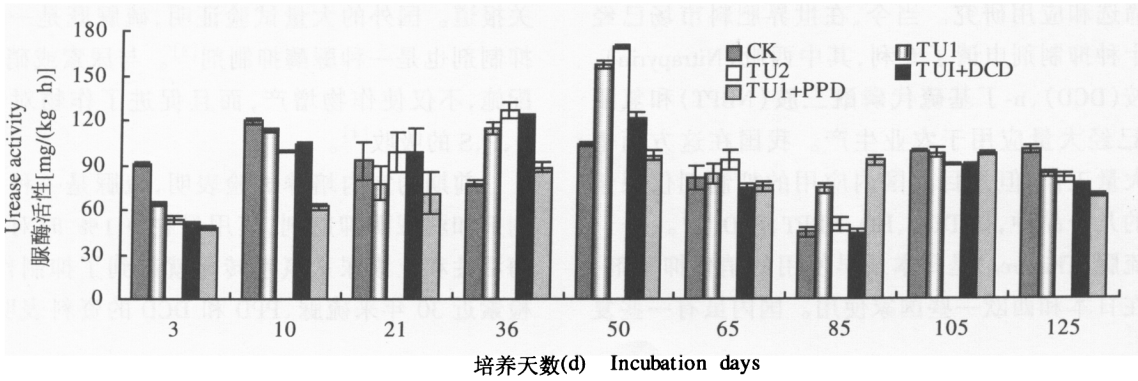

图1 不同处理土壤脲酶活性变化

Fig. 1 Change of urease activity in soil with different treatments

2.2 土壤尿素氮转化的影响

2.2.1 对铵态氮的影响　硫脲及抑制剂组合(TU1 + PPD、TU1 + DCD)对土壤尿素水解的抑制作用,通过 NH_4^+ - N 的释放曲线得到证明。图 2 看出,在培养的前 10d,各抑制剂处理显著地降低了 NH_4^+ - N 的释放高峰值和 NH_4^+ - N 的累积释放量。这是因为硫脲及抑制剂组合通过抑制尿素的水解进程,使尿素水解强度和速度降低,进而影响了 NH_4^+ - N 的释放速度和释放量。各处理土壤中 NH_4^+ - N 的释放曲线趋势几乎相同,释放高峰都出现在施肥后的第 10d 前后,到 65d 左右其含量迅速降低到很低水平。对照土壤中 NH_4^+ - N 的含量在第 21d 前,显著高于抑制剂处理,而 21d 以后开始低于各处理。TU1 + PPD 组合明显的降低了土壤 NH_4^+ - N 的含量,并且持续时间较长。

图 2 还看出,TU1 + PPD、TU1 + DCD 处理显著地影响了土壤中 NH_4^+ - N 的产生,抑制剂组合的效果优于单独施用硫脲,硫脲高用量优于低用量。在 21d 前,抑制剂处理表现出较强的控制尿素向 NH_4^+ - N 转化的作用,NH_4^+ - N 的释放高峰值显著降低,而且显著降低了土壤中 NH_4^+ - N 的累积释放量,这更有利于作物对肥料氮的利用。

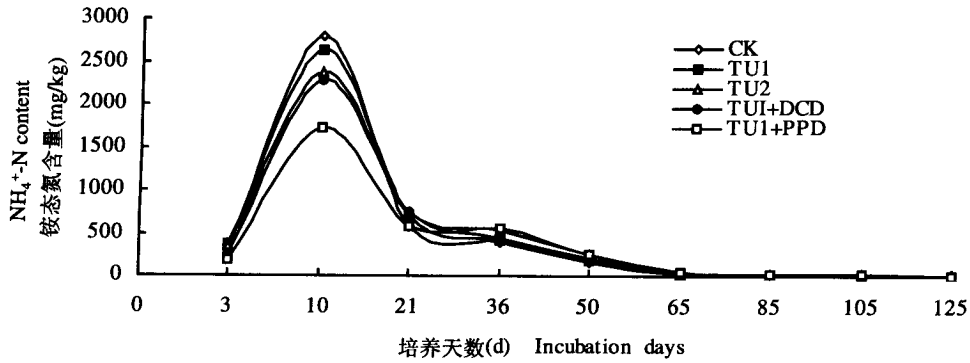

图 2　不同处理土壤铵态氮浓度的变化

Fig. 2　Change of NH_4^+ - N concentration in soil with different treatments

2.2.2 对硝态氮的影响　抑制剂及其组合对土壤中 NH_4^+ - N 向 NO_3^- - N(由于 NO_2^- - N 的含量极低在此忽略)的进一步转化有显著的抑制作用。土壤 NO_3^- - N 的释放曲线处于一种动态变化,但总的释放趋势是一致的。即土壤中 NO_3^- - N 的释放曲线分别在第 10d 和第 36d 前后出现 2 次释放高峰,对照处理的两次高峰值都是最高,到第 85d 以后所有处理土壤中 NO_3^- - N 的含量都趋于很低的水平(图 3)。硫脲和抑制剂组合有效地降低了 NO_3^- - N 第一次释放高峰的高峰值,而且使第二次释放高峰期推迟 2 周。TU1、TU2 处理的释放曲线基本一致,抑制效果相近。TU1 + DCD 和 TU1 + PPD 处理自始至终显示了很好的抑制效果,在 50d 之内土壤中 NO_3^- - N 的含量始终低于 CK,而 50d 以后 NO_3^- - N 的含量明显高于其它处理和 CK。

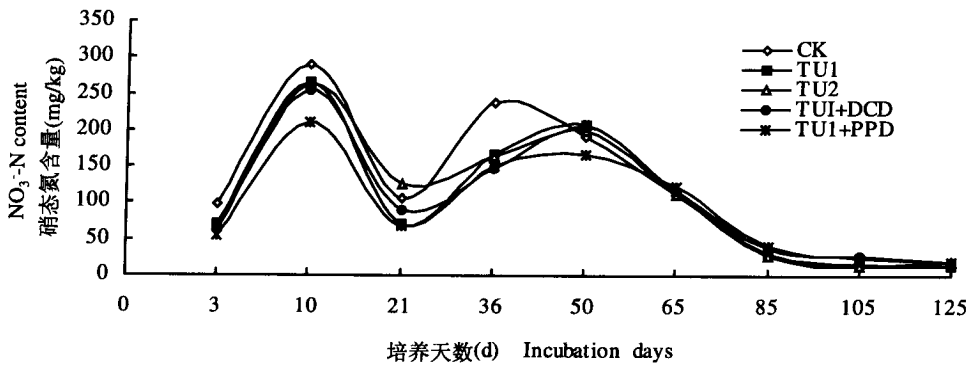

图 3　不同处理土壤硝态氮含量变化

Fig. 3　Change of NO_3^- - N concentration in soil with different treatments

图3还看出，抑制剂及其组合显著降低了土壤中 NO_3^- - N 的含量，这种作用一直持续到施肥后的36～50d。50d后，各处理的 NO_3^- - N 含量陆续高于对照，其中 TU1 + PPD 效果最明显，在65d以后土壤中 NO_3^- - N 含量显著高于对照和其它处理。

各处理对土壤中 NH_4^+ - N 向 NO_3^- - N 的转化在不同时期其作用存在很大差异。硫脲及抑制剂组合对铵的硝化率，各时期有不同程度的影响，对总的硝化率没有显著影响。表1看出，在培养第3d内和36d后出现了较高的硝化率，到65d前后硝化率达到最高，并一直持续到125d。硝化率处于一种动态变化，很高的硝化率说明这一时期内土壤中 NH_4^+ - N 向 NO_3^- - N 转化的多。其原因是3d内的硝化高峰可能是土壤中尿素迅速水解后 NH_4^+ - N 的浓度过高，其中一部分 NH_4^+ - N 向 NO_3^- - N 转化造成的；而65d时的高峰，可能是土壤中被固定的 NH_4^+ - N 释放后向 NO_3^- - N 转化的结果。

表1 不同处理土壤中铵的硝化率(%)

Table 1 Nitrification rate of ammonium in soil with different treatments

处理 Treatment	培养天数 Incubation days(d)									总硝化率 Total
	3rd	10th	21st	36th	50th	65th	85th	105th	125th	
CK	21.96 a	9.38 a	15.51 a	38.13 a	54.83 a	81.06 a	65.42 b	54.65 b	72.24 a	20.10 a
TU1	16.44 b	9.16 a	9.12 b	28.99 b	53.20 a	78.07 a	60.97 b	60.34 a	70.23 a	18.07 a
TU2	16.00 b	9.96 a	14.54 a	23.46 b	44.58 b	79.65 a	57.97 b	49.53 b	75.70 a	18.67 a
TU1 + DCD	19.57 a	10.04 a	10.63 b	24.65 b	49.86 a	75.53 a	70.42 a	67.69 a	73.32 a	19.30 a
TU1 + PPD	23.69 a	11.02 a	10.56 b	25.67 b	53.34 a	76.75 a	61.13 b	63.73 a	68.80 a	20.93 a

* 铵的表观硝化率 Ammonium apparent nitrification rate (PI%) = NO_3^- - N / (NH_4^+ - N + NO_3^- - N) × 100

2.2.3 对土壤 NH_4^+ - N + NO_3^- - N + NO_2^- - N 总量的影响 土壤 NH_4^+ - N + NO_3^- - N + NO_2^- - N 总量，即总有效氮(N_{min})，可从侧面反映这一时期土壤中尿素氮转化的情况(肥料的激发效应产生的量相对微小，在此忽略不计)和土壤对作物的供氮力。图4看出，硫脲及抑制剂组合对土壤尿素氮的转化有显著的影响。施肥后 N_{min} 的释放高峰期出现在培养后的10d左右，单施尿素土壤中 N_{min} 高峰值明显高于各抑制剂处理，在施肥后的第21d以后，各处理 N_{min} 的释放量开始超过对照，这种情况一直持续到最后，其中 TU1 + DCD 和 TU1 + PPD 处理效果好于硫脲处理。

土壤中 N_{min} 的含量在65d内保持了较高的水平，并且可以清晰看出 N_{min} 释放与 NH_4^+ - N 的释放趋势相近(图4)。方差分析表明，抑制剂及其组合对土壤有效氮含量的影响差异性显著，总的效果是 TU1 + PPD 和 TU1 + DCD > TU2 > TU1 > CK。产生这种结果的原因可能是 TU1 + PPD 和 TU1 + DCD 之间的协同作用对尿素水解过程和铵的硝化过程产生双重抑制作用的结果。

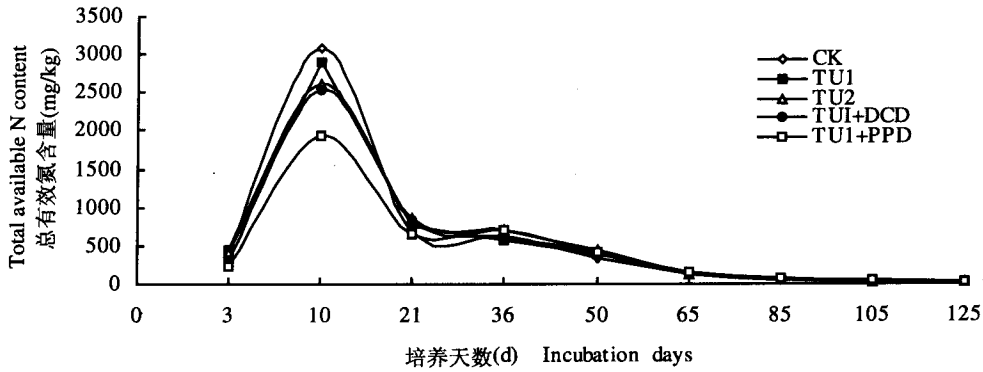

图4 不同处理土壤中总有效氮的变化

Fig. 4 Change of N_{min} in soil with different treatments

2.3 抑制剂及其组合对玉米产量的影响

硫脲及抑制剂组合能够不同程度地增加玉米的百粒重。表2显示，各处理比对照提高玉米百粒重为1.94～3.07g，增重率达5.69%～9.00%。其中TU1+DCD和TU1+PPD处理效果最好，增重率分别为9.00%和8.97%。方差分析表明，各处理增重效果差异显著。处理抑制剂组合的效果优于单施硫脲，硫脲不同用量之间差异不显著。

表2还看出，施用抑制剂对玉米有显著的增产效果。硫脲及抑制剂组合均不同程度的提高了玉米的产量，增产量为684.44～860.00 kg/hm^2，增产率为9.14%～11.49%。其中TU1+DCD处理增产幅度最大，TU2和TU1+PPD处理次之，TU1处理增产幅度最小。玉米增产的原因可能是抑制剂及其组合延缓了肥料氮的释放和转化的时期，延长了有效养分在土壤中释放和存留的时间，更有利于作物对养分的吸收利用，从而增加了玉米百粒重和产量。这与Saha，Schroder等[7-8]的试验结论相同。

TU1+DCD处理增产幅度最大，这可能是DCD发挥了很大的作用。很多试验证明，DCD能够有效抑制土壤的硝化作用，同时显著地增加作物产量[9-10]。由于实际的田间情况比较复杂，影响作物产量的因素很多，这里只是一年的田间试验结果，所以抑制剂的增产效果还有待于进一步试验验证。

表2　抑制剂对玉米百粒重和产量的影响

Table 2　Effect of inhibitor on corn hecto-grain weight and yield of corn

处理 Treatment	百粒重 100-grain weight (g)	增加 Increment (g)	增加 Increment (%)	(kg/plot)	产量 Yield (kg/hm^2)	增产 Increment (kg/hm^2)	增产 Increment (%)
CK	34.11±0.84 cB	—	—	22.46±1.25 bA	7486.67	—	—
TU1	36.37±0.60 abAB	2.60	7.62	24.51±0.21 aA	8171.11	684.44	9.14
TU2	36.05±0.40 bA	1.94	5.69	24.64±0.67 aA	8213.33	726.66	9.71
TU1+DCD	37.18±0.14 aA	3.07	9.00	25.04±1.48 aA	8346.67	860.00	11.49
TU1+PPD	37.16±0.31 aA	3.06	8.97	24.64±0.50 aA	8212.22	725.55	9.69

注(Note)：不同大小写字母分别表示差异达1%和5%显著水平。Different capital and small letters mean significant at 1% and 5% levels, respectively.

3 小结

1)硫脲(TU)是一种有效的硝化抑制剂，也是一种弱脲酶抑制剂。TU不同浓度及其抑制剂组合对土壤脲酶活性有显著的抑制作用，抑制时间在2周左右。TU的浓度直接影响作用效果，在10d前后尤其明显。低浓度TU1与DCD和PPD抑制剂组合的作用效果在36d以后比较明显。

2)TU及抑制剂组合TU1+PPD、TU1+DCD对土壤NH_4^+-N的释放有显著的抑制作用，降低了铵态氮转化的速度和数量，使铵态氮的释放高峰值显著降低；对土壤NH_4^+-N向NO_3^--N的进一步转化有显著的抑制作用，有效地降低了NO_3^--N第一次释放的高峰值，而且使第二次释放高峰向后推迟2周。

3)抑制剂及其组合对土壤尿素氮向N_{min}的转化有显著的影响。TU1+PPD和TU1+DCD之间的协同作用对尿素水解过程和铵的硝化过程产生双重抑制作用直接影响土壤中N_{min}的总量。总的来看，抑制剂及其组合作用效果依次是TU1+PPD>TU1+DCD>TU2>TU1。

4)添加抑制剂不同程度地增加了玉米的百粒重和产量。各处理玉米的百粒重增加1.94～3.07g，增长率为5.69%～9.00%；玉米产量增加9.14%～11.49%。

5)土壤温度和水分变化对抑制剂的作用影响很大，本试验对TU及抑制剂组合TU1+PPD、TU1+DCD对土壤尿素氮转化和作物产量方面作了初步探索，但未开展不同温度、不同水分含量以及抑制剂本身降解方面的研究。因此，有关TU及其与PPD和DCD组合的效果，尚需进行长期试验作进一步验证。

参考文献：

[1] 黄益宗，冯宗炜，张福珠，等. 硝化抑制剂在农业上应用的研究进展[J]. 土壤通报，2002(4)：310-315.
Huang Z Y, Feng Z W, Zhang F Z *et al*. Advances of nitrification inhibitor applied in agriculture[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002(4): 310-315.

[2] 王小彬,Bailey L D, Grant C A, Klein K K. 关于几种土壤脲酶抑制剂的作用条件[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(3): 211-218.

Wang X B, Bailey L D,Grant C A, Klein K K. The acting conditions of some urease inhibitors in soils[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(3): 211-218.

[3] Trenkel M E. Improving fertilizer use efficiency controlled-release and stabilized fertilizer in agriculture[M]. International Fertilizer Industry Association, 1997.

[4] Sud K C, Sharma R C. Effect of thiourea on nitrogen use efficiency by potato in shimlia hills[J]. Journal of the India Potato Association, 1992, 19(3-4): 139-143.

[5] 孙爱文,石元亮,尹宏斌,等. 硫脲对土壤脲酶活性和尿素氮转化的试验初报[J].土壤通报,2003,34(6): 554-557.

Sun A W, Shi Y L, Yin H B *et al* . Effect of thiourea on urease activities and transformation of Urea-N[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003,34(6): 554-557.

[6] Thormahlen. Inhibition of urease activity in some soils of the central irrigation area in South Africa[J]. South African Journal of Plant and Soil. 1991, 8(4): 212-214.

[7] Saha M P, Solank N S. Role of sulphydryl compounds in improving dry matter partionly and grain production of maize[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 1991, 167: 356-359.

[8] Saha M P. Effect of thiourea, thiamine and ascorbic acid on growth and yield of maize[J]. Journal of Agronormy and Crop Science, 1993, 171: 65-69.

[9] Schroder J J, Holte L. Effects of nitrification inhibit ors and time and rate of slurry and fertilizer N application on silage maize yield and losses to the environment[J]. Fertilizer Research, 1993, 34: 267-277.

[10] Sharma S N, Kumar R. Effect of dicyandiamide(DCD) blended with urea on growth , yield and nutrient uptake of wheat[J]. Journal of Agriculture Science, 1998,131(4): 389-394.

[11] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京: 中国农业科技出版社,2004.251-252

Lu R K. Analsis method of soil agro-chemistry[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2004.251-252.