

## 尿素对大豆胞囊线虫的抑制作用

宋洁<sup>1,2</sup>, 许艳丽<sup>1</sup>, 姚钦<sup>1,2</sup>, 李慎鹏<sup>3</sup>, 季丹丹<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所 黑土区农业生态国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081; 2. 东北林业大学 生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 3. 黑龙江大学 农学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:** 采用实验室生测和温室盆栽的方法, 研究了尿素对大豆胞囊线虫卵孵化、二龄幼虫活性的抑制作用以及对大豆胞囊线虫的控制效果。结果显示, 尿素的浓度在  $0.03 \sim 1.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内, 对大豆胞囊线虫的卵孵化和二龄幼虫(J2)均具有抑制作用, 且随着浓度的升高抑制作用增强, 当尿素浓度到达  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 卵孵化的抑制率最高达到 96%, J2 的致死率可达到 100%。温室盆栽结果显示, 施用尿素后, 土中和大豆根部的大豆胞囊线虫种群密度显著降低, 且大豆株高、地上鲜重和地下鲜重等均有所增加, 其中鲜重总增重率可达 42.8%。研究结果证明尿素对大豆胞囊线虫具有明显的致死作用, 且在一定程度上能控制该病害的发生。

**关键词:** 大豆胞囊线虫; 尿素; 卵孵化; 二龄幼虫

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2012)05-0784-05

## Suppression of Urea on Soybean Cyst Nematode

SONG Jie<sup>1,2</sup>, XU Yan-li<sup>1</sup>, YAO Qin<sup>1,2</sup>, LI Shen-peng<sup>3</sup>, JI Dan-dan<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, Heilongjiang; 2. College of Life Sciences, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang; 3. College of Agriculture, Heilongjiang University, Harbin 150080, Heilongjiang, China)

**Abstract:** A study was conducted in lab and greenhouse to determine the effect of the urea on eggs, second-stage juveniles (J2) of *Heterodera glycines* and control efficiency of Soybean Cyst Nematode (SCN). The results showed that the urea inhibited the nematode egg hatch and the activity of J2 at the concentration of urea from  $0.03$  to  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , and with the increase of concentration, the suppressive effect rose accordingly. The suppressive rate of egg hatching and mortality of J2 reached 96% and 100% when urea concentration was at  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , respectively. In greenhouse, application of urea significantly reduced the population of SCN in soil and soybean root. The application of urea also enhanced height, fresh and dry weight of shoots and roots of soybean, and the increase rate of fresh weight was 42.8%. The urea has lethal effect on SCN, and the population of SCN is suppressed by urea in a certain extent.

**Key words:** Soybean Cyst Nematode; Urea; Egg hatch; J2

大豆胞囊线虫病已经成为大豆生产中限制产量的主要因子, 其病原大豆胞囊线虫 (Soybean Cyst Nematode, SCN) 是一种土传定居性寄生线虫, 土壤环境因素对其影响很大<sup>[1]</sup>, 如土壤理化性质、土壤类型、土壤含水量和土壤孔隙度等。不同前茬土壤淋溶液和 pH 对大豆胞囊线虫卵孵化具有一定的影响<sup>[2-3]</sup>。当土壤 pH 为 5~7 时更适宜于大豆胞囊线虫生长繁殖, 土壤 pH 在 3~5 和 8~9 范围内均可抑制胞囊孵化<sup>[3]</sup>。此外, 土壤中原有的、人为施入的化肥和农药等所包含的一些离子对大豆胞囊线虫也有一定的影响<sup>[4]</sup>。有研究表明  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{3+}$  对大豆胞囊线虫卵孵化具有明显的抑制作用, 并且离子浓度越高, 抑制作用越强<sup>[5]</sup>。另外, 在较低的氮浓度下,  $\text{NO}_2$  对大豆胞囊线虫二龄幼虫有明

显的致死作用, 尿素次之,  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  在氮浓度较高时对大豆胞囊线虫二龄幼虫的存活具有抑制作用<sup>[6]</sup>。肥料中氮的不同形式对线虫的抑制作用也会产生不同的影响, 用  $448 \sim 896 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的铵态氮代替硝态氮对植物施肥可以减少大豆胞囊线虫对大豆的危害<sup>[7]</sup>。为探讨生产中常用的氮肥尿素对大豆胞囊线虫的作用效果, 文章研究了尿素对离体大豆胞囊线虫卵孵化和二龄幼虫的抑制效果, 并设置盆栽试验进一步研究了尿素对大豆胞囊线虫病的控制作用。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料

供试线虫: 大豆胞囊线虫 3 号生理小种。分离

收稿日期: 2012-05-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30971900); 黑龙江省自然科学基金项目 (C200630)。

第一作者简介: 宋洁 (1985-), 女, 在读硕士, 研究方向为大豆胞囊线虫防治。E-mail: songjieyabao@163.com。

通讯作者: 许艳丽 (1958-), 女, 研究员, 博士生导师, 从事植物线虫病害、作物病害生物生态控制和土壤微生态研究。

E-mail: xyll@neigae.hrb.ac.cn。

大豆胞囊线虫的土壤取自中国科学院东北地理与农业生态研究所试验田,采用淘洗过筛法收集线虫胞囊、卵和二龄幼虫(J2)<sup>[1]</sup>。

尿素:肥料用氮肥,含氮量为46.67%,由安徽帝元生物科技有限公司生产。

大豆品种:合丰25。

## 1.2 实验室生测方法

1.2.1 尿素溶液的制备 用灭菌去离子水配置不同浓度尿素溶液各100 mL。所配溶液尿素浓度分别为0.03、0.05、0.20、0.35、0.50和1.00 mol·L<sup>-1</sup>。

1.2.2 线虫卵孵化池制备 取1.5 mL离心管,上罩2层擦镜纸,盖紧离心管上盖(盖子中央事先打出一直径为7 mm的孔),作为线虫卵孵化池。将管下部锯断,保留约8 mm高,下端开口作为支架。将其灭菌后,线虫卵孵化池小心放入无菌的24孔细胞培养板中备用<sup>[8]</sup>。

1.2.3 大豆胞囊线虫卵获得和卵悬液的制备 将成熟的大豆胞囊线虫胞囊放入200目、500目的套筛中研磨,收集500目筛上物,35%蔗糖溶液中离心,2 500 r·min<sup>-1</sup>,5 min,用1%的NaClO溶液对卵消毒3 min,反复冲洗后,用灭菌水制备卵悬液,将其浓度调整为5 000个·mL<sup>-1</sup>。

1.2.4 大豆胞囊线虫J2获得 将收集的大豆胞囊线虫卵置于420目筛网布上,放入装有0.4 mmol·L<sup>-1</sup> ZnCl<sub>2</sub>溶液的孵化池中,25℃条件下孵化获得<sup>[9]</sup>。

1.2.5 尿素溶液对大豆胞囊线虫卵孵化的作用 在卵孵化池擦镜纸上加入40 μL卵悬液(每孔约200粒卵),沿卵孵化池边缘加入2 mL尿素溶液,设置0.03、0.05、0.20、0.35、0.50和1.00 mol·L<sup>-1</sup>6个浓度处理。以灭菌水为对照。每个处理3次重复,14 d后记录线虫卵孵化数量。

孵化率(%) = 孵化线虫数 × 100 / 供试卵数

相对抑制率(%) = (对照孵化率 - 处理孵化率) × 100 / 对照孵化率

1.2.6 尿素溶液对大豆胞囊线虫J2的致死作用 在不同处理浓度的溶液中加入新孵化的J2(每孔约50条),25℃条件下放置,分别在1、6、12、24、48和72 h后记录线虫死亡数量。

线虫死亡率(%) = 死亡线虫数 × 100 / 供试线虫数

## 1.3 盆栽试验

1.3.1 土壤灭菌 采集近年没种过大豆的农田土(经检测不含有大豆胞囊线虫),过20目的筛,湿热灭菌121℃,1 h。

1.3.2 试验设计 在直径17.5 cm、高15 cm的花

盆中加入灭菌土,按照大豆生产中尿素施用量,计算每盆尿素施用量为0.91 g,每盆播种大豆8粒,出苗7 d后间苗。最后每盆保留4株,出苗14 d后接种新孵化J2,在每株苗旁打孔接入1 000条。日光温室温度20~23℃,每天约16 h光照。试验重复3次。

试验处理设置为(1)不施尿素,接种线虫(J2);(2)施尿素,不接种线虫(Urea);(3)施尿素,接种线虫(Urea + J2);(4)不施尿素,不接种线虫(CK)。每个处理3盆,随机排列。

## 1.4 盆栽试验调查内容

1.4.1 大豆生长发育指标 种植60 d后,取大豆苗用清水冲洗根上土,测定大豆株高、主根长、地上和地下鲜重、地上干重(105℃,30 min杀青后80℃烘干至恒重)。

1.4.2 大豆根表胞囊线虫雌虫数量 将取出的大豆根流水冲洗后,计数每株大豆根表胞囊线虫雌虫数量。

1.4.3 根内J2分离 将大豆根置于-20℃冰箱中冷冻24 h后,取出放在室温条件下融化,将根系置于组织捣碎机中捣碎。将含有豆根的溶液转移到80目和500目标准检验套筛上,用水轻轻冲洗80目筛上物,清水收集500目筛上物于50 mL离心管中。2 500 r·min<sup>-1</sup>离心5 min,保留离心管中25 mL水,再加入25 mL 70%的蔗糖溶液,充分混匀后,2 500 r·min<sup>-1</sup>离心5 min,上清J2悬液过500目筛,清水定容至20 mL,并对J2进行计数。

1.4.4 土壤中大豆胞囊线虫的胞囊分离 盆栽土充分混匀四分法取100 g,置于250 mL塑料烧杯中,加水200 mL,充分搅拌均匀后,浸泡1 h,然后转移至1 000 mL的烧杯中,用强水流冲洗至1 000 mL,静置10 s后过20目、80目标准检验套筛。用63%的蔗糖溶液收集80目筛上物于50 mL离心管中,2 500 r·min<sup>-1</sup>离心5 min。将上层悬浮液转移到垫有滤纸的漏斗中,用解剖针从滤纸上挑取新鲜饱满的褐色胞囊,在解剖镜下计数<sup>[10]</sup>,3次重复。

1.4.5 土壤中大豆胞囊线虫卵的分离 将成熟饱满的大豆胞囊线虫胞囊放在200目、500目的套筛上,用胶塞将200目筛上的胞囊破壁研磨,同时用强水流冲洗200目筛上物,用清水将500目筛上的卵收集至50 mL离心管中,冲洗到25 mL刻度线处,再加70%的蔗糖溶液25 mL,2 500 r·min<sup>-1</sup>离心5 min,将上清卵悬液过500目筛,定容到20 mL,得到卵悬液进行计数调查。

1.4.6 土壤中大豆胞囊线虫二龄幼虫分离 称取100 g盆栽土,置于250 mL烧杯中,加水200 mL充

分搅拌,浸泡 1 h,移至 1 000 mL 的塑料烧杯中,用强水流冲击烧杯底部,静置 30 s 后将土样悬浮液过 40 目和 500 目标准检验套筛。用水轻轻冲洗 500 目筛上物,清水收集 500 目筛上物于 50 mL 离心管中。 $2\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  离心 5 min,保留离心管中 25 mL 的水,再加入 25 mL 70% 的蔗糖溶液, $2\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  离心 5 min,上清液过 500 目筛,清水定容至 20 mL,在倒置显微镜下对大豆胞囊线虫 J2 进行计数。

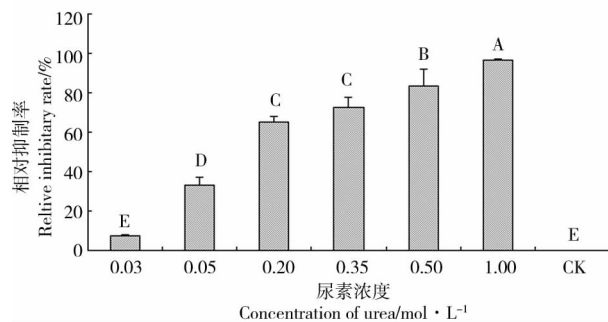
### 1.5 数据分析

所得数据经 Microsoft Excel 2003 进行数据处理,采用 SPSS 17.0 统计软件进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 尿素溶液对大豆胞囊线虫卵孵化的抑制作用

在尿素溶液与大豆胞囊线虫卵作用 14 d 后,可看到尿素对大豆胞囊线虫卵孵化的抑制作用(图 1),尿素浓度在  $0.03\sim 1.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  浓度范围内,随着浓度升高,对线虫的抑制率逐渐增加,尿素溶液浓度为  $1.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,相对抑制率最高(96.7%)。尿素浓度在  $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  以上时对线虫的抑制率与



柱形图上的不同字母表示处理间差异显著( $P\leq 0.01$ )。

Different letters indicate significant difference among treatments ( $P\leq 0.01$ ).

图 1 尿素溶液对 SCN 卵孵化的抑制作用

Fig. 1 The suppression effect of urea solution on SCN eggs

对照相比均达到极显著差异水平( $P\leq 0.01$ ),当尿素浓度在  $0.2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  以上时大豆胞囊线虫卵孵化抑制率都高于 50%。

### 2.2 尿素对大豆胞囊线虫二龄幼虫活性的致死作用

相对于无菌水,尿素溶液对 J2 都具有很强的抑杀作用(图 2)。1~24 h 内,死亡率上升较快,致死作用明显,并且在 1 h 时就显现出了致死作用,当大豆胞囊线虫 J2 与尿素溶液作用 6 h 时,浓度为  $1.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的尿素溶液中 J2 的致死率达到 50%,尿素浓度为 0.03 和  $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  时的致死作用相对较弱。在作用 24 h 后,各种浓度的抑制作用趋于平稳,上升较慢,尿素浓度为  $1.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  时 J2 致死率达到 100%,其它浓度的 J2 死亡率也随着时间的延长而升高。总体上随着浓度的升高,二龄幼虫的死亡率加大。

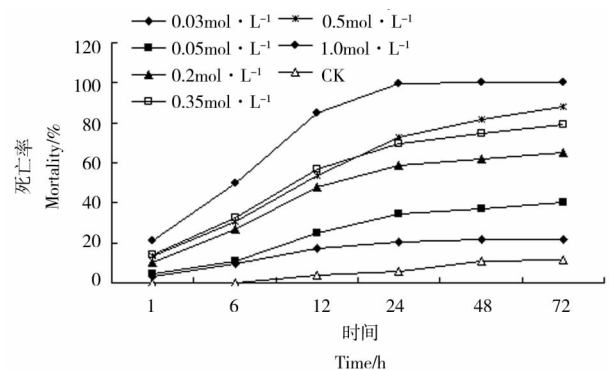


图 2 尿素溶液对大豆胞囊线虫二龄幼虫活性的抑制作用

Fig. 2 The suppression effect of urea solution on SCN-J2

### 2.3 盆栽条件下施用尿素对大豆生长和大豆胞囊线虫种群密度的影响

2.3.1 大豆生长指标 盆栽试验结果显示(表 1),在不接种线虫的情况下,施用尿素后,大豆根长、地上干重、地上和地下鲜重均有所增加,鲜重总增重率达 43%。说明施用尿素对大豆生长具有显著的促进作用。在只接种 J2 的处理中,根长、地上干重、地上和地下鲜重及总增重降低,由此说明线虫对大豆生长的危害,造成大豆生长指标下降。但接种线

表 1 尿素对大豆生长指标的影响

Table 1 The effect of urea on growth of soybean

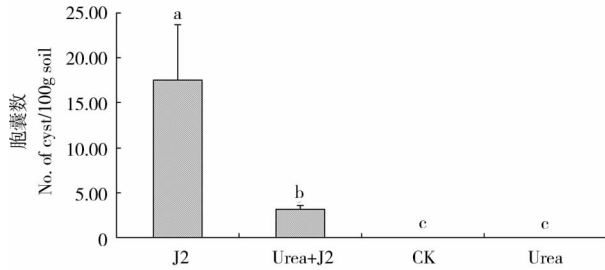
处理	根长	株高	地上干重	地上鲜重	地下鲜重	总鲜重
Treatment	Root length/cm	Plant height/cm	Dry shoot weight/g	Fresh shoot weight/g	Fresh root weight/g	Fresh plant weight/g
Urea + J2	24.90 ± 2.55a	30.97 ± 1.16a	2.50 ± 0.57ab	9.43 ± 0.76ab	2.54 ± 0.48b	11.97 ± 0.94ab
J2	14.63 ± 2.64b	30.02 ± 3.03a	1.69 ± 0.38b	6.57 ± 1.27b	1.43 ± 0.29c	8.00 ± 1.44c
Urea	28.53 ± 5.60a	34.11 ± 3.51a	3.43 ± 0.50a	11.55 ± 2.91a	3.59 ± 0.25a	15.14 ± 2.43a
CK	15.38 ± 2.53b	31.58 ± 2.13a	2.38 ± 0.59b	8.39 ± 1.38b	2.21 ± 0.37b	10.60 ± 1.68b

同列数值后不同小写字母表示差异显著水平( $P\leq 0.05$ )。

Values within a column followed by different letters are significantly different at 0.05 probability level.

虫处理施用尿素后,各生长指标均有所升高。这可能是由于施用尿素后对大豆胞囊线虫二龄幼虫产生了一定的抑制作用。

**2.3.2 土中大豆胞囊线虫胞囊密度** 由图3所示,只接种 SCN 处理中每 100 g 土中胞囊数量为 18 个,而施用尿素同时接种二龄幼虫处理的胞囊数量为 3 个,说明尿素对土壤中的胞囊密度具有显著的抑制作用。



不同字母表示处理间差异显著 ( $P \leq 0.05$ ), 下同。

Different letters indicate significant difference among treatments ( $P \leq 0.05$ ), the same below.

图3 尿素对土壤中大豆胞囊线虫胞囊密度的影响

Fig.3 The effect of urea on density of SCN cysts in soil

**2.3.3 土壤中大豆胞囊线虫卵密度** 尿素施用 60 d 后,显著降低了土中大豆胞囊线虫的卵密度(图4)。在施用尿素同时接种 J2 处理中,每 100 g 土中大豆胞囊线虫的卵密度为 52 粒,而只接种 J2 处理为 1 927 粒,施用尿素同时接种 J2 的处理与只接种 J2 的对照相比土中卵密度降低了 97.3%。

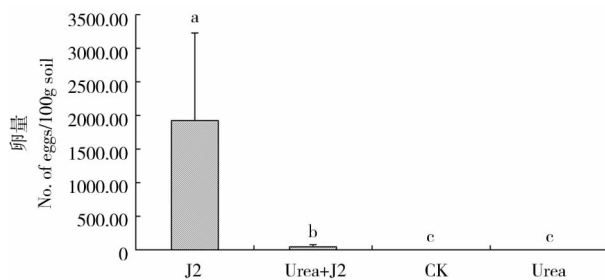


图4 尿素对大豆胞囊线虫土中卵密度的影响

Fig.4 The effect of urea on density of SCN eggs in soil

**2.3.4 土中大豆胞囊线虫 J2 密度** 施用尿素后盆栽土中的 J2 数量与对照相比显著降低(图5)。在施用尿素同时接种 J2 的处理中每 100 g 土中的大豆胞囊线虫 J2 的数量为 64 条,而只接种 J2 处理为 300 条。施用尿素同时接种 J2 的处理与只接种 J2 的对照相比,J2 数量降低了 78.6%。

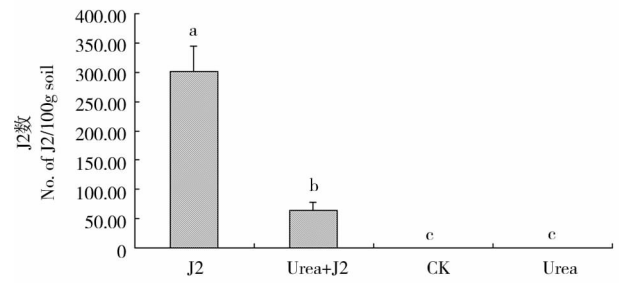


图5 尿素对土中大豆胞囊线虫 J2 密度的影响

Fig.5 The effect of urea on density of SCN-J2 in soil

**2.3.5 大豆根表雌虫密度** 施用尿素显著降低了大豆根表的雌虫数量(图6)。施尿素同时接种 J2 每株大豆根表的雌虫数量为 6 个,只接种 J2 的处理为 35 个。施用尿素同时接种 J2 的处理与只接种 J2 的对照相比每株大豆根表的雌虫数减少了 82.3%。

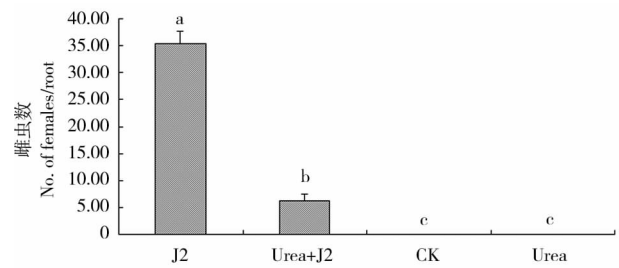


图6 尿素对植株根表大豆胞囊线虫雌虫密度的影响

Fig.6 The effect of urea on density of SCN females in plant root

**2.3.6 大豆根内 J2 密度** 施用尿素显著降低了大豆根内的 J2 数量(图7)。施用尿素同时接种 J2 的处理中每株大豆根内的 J2 数量为 44 条,而只接种 J2 处理为 143 条。施用尿素同时接种 J2 的处理与只接种 J2 的对照相比每株大豆根内的 J2 数量降低了 70.4%。这可能是由于尿素对 J2 的致死作用,降低了土中的 J2 密度,最终降低大豆植株根内的 J2 密度。

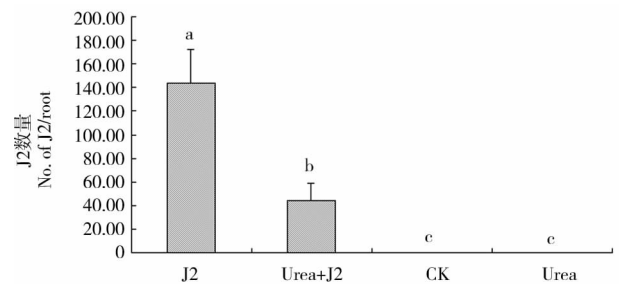


图7 尿素对根内大豆胞囊线虫 J2 密度的影响

Fig.7 The effect of urea on density of SCN-J2 in plant root

### 3 讨 论

本试验研究了不同浓度的尿素溶液对大豆胞囊线虫卵孵化抑制和二龄幼虫活性的致死作用,并且进行了盆栽试验,证明温室条件下尿素对大豆胞囊线虫的控制效果。结果显示尿素能够抑制大豆胞囊线虫卵孵化且对二龄幼虫具有致死作用。不同尿素浓度间抑制和致死作用存在差别,在 $0.03 \sim 1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内,随着尿素浓度的升高,抑制效果增强。郑雅楠等<sup>[5]</sup>在关于含氮化合物对大豆胞囊线虫 J2 的离体毒性试验中也发现,尿素对大豆胞囊线虫 J2 同样具有较强的致死作用。在盆栽试验中,施用尿素显著降低了土壤中大豆胞囊线虫、大豆植株根表的雌虫数和根内的二龄幼虫数量,并且对大豆生长也有显著的促进作用。由此可见,尿素的施用对 SCN 达到了很好的控制效果。

氮在大豆生长发育和产量形成的过程中发挥着重要的作用,大豆本身的固氮作用不能完全满足大豆高产要求<sup>[11]</sup>。Sutkhet 等<sup>[12]</sup>研究显示,NC1-07 和 N87-984-16 两个大豆品种,施肥处理比对照蛋白质的含量高 28%,同时籽粒蛋白质含量的提高幅度也要大于籽粒干物质的提高幅度。尿素是一种高效氮肥,除了有利于大豆的生长发育以外,尿素还具有调节花量、疏花疏果、防治害虫等作用。从本试验结果看出,尿素对 SCN 的毒性作用十分显著,但是其杀线机制尚不明确。尿素在土壤中经脲酶作用可积累大量的铵离子,并且经过转化还可形成氨,而铵离子对植物寄生线虫具有一定的毒杀作用,其原因可能与分解后产生的氨有关<sup>[13]</sup>。因此,尿素对 SCN 的毒性作用可能与其在土壤中存在时间的长短有关。另外,还有研究推测尿素的毒性作用可能与其产生的代谢产物氰酸盐有关<sup>[5]</sup>。盆栽试验中施用尿素对大豆生长发育促进作用明显,其原因可能既有尿素作为氮肥对大豆的作用,也有由于尿素控制了大豆胞囊线虫卵孵化、使二龄幼虫致死等作用,减轻了对大豆的危害,使大豆生长发育免受线虫的影响。

由试验结果可以看出,尿素可以对大豆胞囊线虫达到良好控制效果。因此,如果在田间生产中,施用尿素在增产的同时能够达到对胞囊线虫病害的防治,将是一种很有前景的防治技术。然而,尿素的防治机理、田间用量和施用方法还有待进一步研究。同时,其他氮肥是否对 SCN 可以产生相似的控制效果,且尿素是否可以用来控制其他植物寄生线虫如根结线虫等也值得探讨。

### 参考文献

- [1] 刘维志. 植物病原线虫学[M]. 中国农业出版社,2000:281-294. (Liu W Z. Plant pathogenic nematology[M]. Beijing: China Agricultural Press,2000:281-294. )
- [2] 许艳丽. 土壤环境对大豆胞囊线虫卵孵化影响及线虫分子诊断研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2004. (Xu Y L. The effects of soil environment on Soybean Cyst Nematode egg hatch and nematode molecular diagnosis[D]. Harbin:Northeast Agricultural University,2004. )
- [3] 司兆胜. 土壤环境对大豆胞囊线虫繁殖影响及大豆抗性机制研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2004. (Si Z S. The effect of environment situation on Soybean Cyst Nematode hatch and the mechanism of soybean resisting Soybean Cyst Nematode[D]. Harbin:Northeast Agricultural University,2004. )
- [4] 邢丽娟,刘维志,段玉玺,等. 某些阳离子在大豆胞囊线虫生防系统中的作用[J]. 中国生物防治,2002;18(1):1-5. (Xing L J,Liu W Z,Duan Y X,et al. Influence of some ions on biocontrol system of Soybean Cyst Nematode[J]. Chinese Journal of Biological Control,2002;18(1):1-5. )
- [5] Young L D. Soybeans resistant to *Heterodera glycines* populations attacking Hartwig soybean[J]. Journal of Nematology,1999;31:583.
- [6] 郑雅楠,段玉玺,陈立杰. 大豆胞囊线虫二龄幼虫对含氮离子及化合物适应性的初步研究[C]. 中国植物病理学会学术年会论文集,2007:289-292. (Zheng Y N,Duan Y X,Chen L J. The effect of nitrogen ion and compound on Soybean Cyst Nematode J2 [C]. Proceedings of the Annual Meeting of Chinese Society for Plant Pathology,2007:289-292. )
- [7] Barker K R, Koenning S R. Developing sustainable systems for nematode management [J]. Annual Review of Phytopathology, 1998;36:165-205.
- [8] 孙漫红,刘杏忠,晋治波. 淡紫拟青霉对大豆胞囊线虫卵及 2 龄幼虫的影响[J]. 植物保护学报,2002;29(1):58. (Sun M H,Liu X Z,Jin Z B. Effect of *Paecilomyces lilacinus* on egg hatching and juvenile mortality of *Heterodera glycines* [J]. Acta Phytophylacica Sinica,2002;29(1):58. )
- [9] Behm J E, Tylka G L, Niblack T L. Effects of fertilization of corn on hatching of *Heterodera glycines* in soil[J]. Journal of Nematology,1995;27:164-171.
- [10] 靳学慧,辛惠普,郑雯,等. 长期轮作和连作对土壤中大豆胞囊线虫数量的影响[J]. 中国油料作物学报,2006,28(2):189-193. (Jin X H,Xin H P,Zheng W,et al. The influence of soil on the long-term rotation and continuous cultivation on Soybean Cyst Nematode[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2006,28(2):189-193. )
- [11] 甘银波,涂学文,田任久. 大豆的最佳氮肥施用时期研究[J]. 大豆科学,1998,17(4):287. (Gan J B,Xu X W,Tian J R. Study on optimum timing of nitrogen application on soybean[J]. Soybean Science,1998,17(4):287. )
- [12] Nakasathien S,Israel D W,Wilson R F,et al. Regulation of seed protein concentration in soybean by supra-optimal nitrogen supply [J]. Crop Science,2000,40:1277-1284.
- [13] Kronzucker H J, Britto D T, Davenport R J, et al. Ammonium toxicity and the real cost of transport [J]. Trends in Plant Science, 2001,6:335-337.