

# $\text{NH}_4^+$ -N 和 $\text{NO}_3^-$ -N 肥对大棚黄瓜根际土壤线虫群落组成及其多样性影响

公丕民<sup>1,2</sup>, 潘开文<sup>1,\*</sup>, 王进闯<sup>1</sup>, 王彦杰<sup>1</sup>, 韩春梅<sup>1,2</sup>, 马玉红<sup>3</sup>

(1. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;

3. 阿坝州科学技术研究院, 阿坝 624000)

**摘要:** 研究了两种形态氮肥, 硝态氮 ( $\text{NO}_3^-$ -N) 和铵态氮 ( $\text{NH}_4^+$ -N), 对大棚黄瓜整个生长期土壤线虫的群落组成及其多样性的影响差异。结果表明: 在黄瓜的整个生育期内,  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 抑制了土壤线虫总量。在黄瓜各生长阶段, 土壤线虫总量在  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 处理下, 均无显著性差异。两种形态氮肥处理后, 垫刃属和伪垫刃属仍为优势属, 而小杆科从常见科变为优势科, 其平均相对丰度为  $\text{NO}_3^-$ -N 处理高于  $\text{NH}_4^+$ -N 处理。土壤线虫群落中各营养类群较稳定, 但植物寄生线虫与非植物寄生线虫出现频率的变化趋势相反。 $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 处理后, 植物寄生线虫出现频率的变化趋势由高到低; 非植物寄生线虫出现频率的变化趋势则都是由低到高。在度量土壤线虫群落多样性的指标中, 多样性指数 ( $H'$ )、丰富度指数 ( $SR$ ) 较好地反映了不同形态氮肥的施用对大棚黄瓜土壤线虫多样性的影响。与  $\text{NH}_4^+$ -N 处理相比,  $\text{NO}_3^-$ -N 更有利于提高土壤线虫的多样性和稳定性。

**关键词:** 黄瓜; 线虫; 硝态氮; 铵态氮; 群落组成; 多样性

文章编号: 1000-0933(2009)02-1009-08 中图分类号: Q142, Q145, Q16, Q945 文献标识码: A

## Effects of two forms of mineral nitrogenous fertilizers on nematode community composition and diversity in rhizosphere of cucumber in greenhouses

GONG Pi-Min<sup>1,2</sup>, PAN Kai-Wen<sup>1,\*</sup>, WANG Jin-Chuang<sup>1</sup>, WANG Yan-Jie<sup>1</sup>, HAN Chun-Mei<sup>1,2</sup>, MA Yu-Hong<sup>3</sup>

1 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3 Aha Academy of Science and Technology, Aha 624000, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 1009 ~ 1016.

**Abstract:** Nematode community analyses are useful in assessing soil ecosystem status and function. The effects of two forms of mineral nitrogenous fertilizers ( $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N) on nematode community composition and diversity in rhizosphere of cucumber were investigated during different growing seasons of cucumber in the greenhouses. The results showed that the total numbers of nematode were dramatically inhibited by fertilizers of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N during the whole growing seasons, however there were no significant differences between the two treatments. Except that *Tylenchus* and *Nothotylenchus* were still dominated genus after the treatment with two forms of nitrogenous fertilizers, whereas Rhabditidae was changed from common family to dominant family and the mean relative abundance of Rhabditidae in the  $\text{NO}_3^-$ -N treatment was higher than that of Rhabditidae in the  $\text{NH}_4^+$ -N treatment. All the trophic groups in the soil nematode communities were stable. There was similar trend of the frequency of plant parasitic nematodes between  $\text{NO}_3^-$ -N treatment and  $\text{NH}_4^+$ -N treatment, the similar trend of the frequency of non-plant parasitic nematodes was also found. But the

**基金项目:** 中国科学院知识创新工程重大资助项目 (KZCX2-XB2-02-01-03); 国家“十一五”科技攻关资助项目 (2006BAC01A15); 中国科学院西部之光联合学者资助项目, 中国科学院-乐山市院地合作资助项目; 四川省科技攻关资助项目

收稿日期: 2007-09-20; 修订日期: 2008-03-13

致谢: Griffith 大学 Zhihong Xu 教授对本文写作给予帮助, 特此致谢。

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pankw@cib.ac.cn

frequency of plant parasitic nematodes exhibited a contrary trend to that of plant parasitic nematodes after different nitrogenous fertilizer treatments. The changes in nematode diversity between the control plots and treated plots were compared by the biodiversity index ( $H'$ ,  $J$ ,  $SR$ ,  $\lambda$ ). Among these tested index,  $H'$  and  $SR$  were effective in reflecting the effects of different nitrogenous fertilizers on the diversity of soil nematodes. In comparison with the  $\text{NH}_4^+$ -N treatment, the  $\text{NO}_3^-$ -N treatment promoted the stabilization of soil nematode diversity.

**Key Words:** cucumber; nematode; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; community composition; diversity

土壤线虫是土壤动物的主要功能类群之一,在土壤腐屑食物网中占有重要位置,是指示生态系统变化和农业生态系统受干扰程度的敏感生物<sup>[1]</sup>。土壤线虫可以影响有机质的分解,进而影响土壤氮矿化和植物对氮的利用<sup>[2,3]</sup>。近年来,随着大棚蔬菜栽培的快速发展,大棚内复种指数增加,化肥用量较大,特别是大量氮肥的施入,改变了土壤理化性状<sup>[4]</sup>,影响了土壤线虫群落组成及其多样性。国内外许多学者研究发现,化肥及一些化学制剂对土壤线虫群落结构产生显著的影响<sup>[5-9]</sup>。关于不同形态氮肥对土壤线虫影响的研究,大多仅限于对特定植物寄生线虫种群的影响<sup>[10-12]</sup>,如 Castro 等<sup>[11]</sup>发现一些无机离子如  $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Cs}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Cl}^-$  对南方根结线虫 (*Meloidogyne incognita*) 的二龄幼虫有很强的抑制作用;Oka 和 Pivonia<sup>[12]</sup> 研究表明  $\text{NH}_4\text{OH}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  和  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  对爪哇根结线虫 (*Meloidogyne javanica*) 有很强的杀伤力, $\text{NH}_4\text{OH}$  浓度在 70 mg N/kg 时可以有效降低根结指数。氮肥的施用改变了植物释放化感物质的能力<sup>[13-17]</sup>,而这些植物所释放的化感物质能够直接或间接地抑制植物寄生线虫<sup>[18]</sup>。另外,植物在不同的生长期内,根分泌的物质也有所不同<sup>[19]</sup>,对线虫产生了不同的影响。因此,研究在植物不同生长发育期,两种主要无机氮 ( $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N) 对土壤线虫群落组成及其多样性的影响,对深入了解植物有效养分对根际微生态系统的影响以及土壤线虫在根际中的生态功能等具有重要意义。

本文以大棚黄瓜土壤为对象,在  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 处理下,通过对黄瓜各生长期的土壤线虫进行分离、鉴定及多样性分析,探讨施用两种形态的无机氮肥对大棚黄瓜土壤线虫群落组成及其生物多样性的动态影响,旨在为维持大棚黄瓜土壤健康,提高土壤质量以及合理施用氮肥提供科学的理论依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

本试验位于四川省乐山市市中区牟子镇(29°33'N, 103°44'E)。试验区主要由冲积土和沙壤土组成,海拔约 364 m,为亚热带气候,年均气温 20 °C 左右,年降雨量 1200 ~ 1500 mm。供试土壤的基本理化性质为:有机质含量 30.3 g·kg<sup>-1</sup>,硝态氮含量为 21.3 mg·kg<sup>-1</sup>,铵态氮含量为 152.2 mg·kg<sup>-1</sup>,pH 值为 6.15。前茬作物为莴笋。

供试作物为黄瓜 (*Cucumis sativus* L.),金农 1 号。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 土壤样品的采集与测定

大量研究表明,施用 120 ~ 200 kg N·hm<sup>-2</sup> 对土壤线虫有影响<sup>[5,6,8]</sup>。经过调查发现:在乐山市市中区牟子镇,多数农户在种植黄瓜过程中,施用量为 150 kg N·hm<sup>-2</sup>,个别的施用量超过 200 kg N·hm<sup>-2</sup>。为了探讨不同施氮量对黄瓜根际土壤线虫的影响,本研究分别设置了 0.0、67.5、135.0 kg N·hm<sup>-2</sup> 和 202.5 kg N·hm<sup>-2</sup> 的施用量。鉴于本文的目的主要是比较  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 肥对大棚黄瓜根际土壤线虫群落组成及其多样性影响的差异,所以仅分析施氮水平在 135.0 kg·hm<sup>-2</sup> 时,其对黄瓜根际线虫的影响。试验地设置 3 个处理,4 次重复。3 个处理分别为:(1) 不施任何氮肥的常规对照 (CK);(2) 施  $\text{NO}_3^-$ -N 肥 (N1, 135 kg N·hm<sup>-2</sup>);(3) 施  $\text{NH}_4^+$ -N 肥 (N2, 135 kg N·hm<sup>-2</sup>)。共(3×4)12 个小区,小区间隔 30 cm,小区面积为(1.2 m×5 m)6 m<sup>2</sup>。取样时间分别为苗期(2007 年 3 月 16 日)、初花期(2007 年 4 月 18 日)和结果期(2007 年 5 月 16 日)。在每个

样方中,用土钻环绕植株的根际周围钻孔,钻取深度为 20 cm,将土样合并,轻轻抖动后仍然粘在根上的土壤作为根际土,装袋、封口并作好标签,立即带回实验室分析处理。

### 1.2.2 土壤线虫的分离鉴定

称取新鲜土样 100 g,采用淘洗-过筛-蔗糖离心法分离线虫<sup>[20, 21]</sup>,60 °C 温热杀死,再加入等量的 2 倍 TAF 固定液固定。线虫总数通过解剖镜直接计数,依据土壤湿度将线虫种群数量折算成每 100 g 干土含有线虫的条数<sup>[22]</sup>;线虫鉴定参照相关文献<sup>[23, 24]</sup>,按线虫的头部形态学特征和取食生境将土壤线虫分成植物寄生线虫(Plant-parasites)、食细菌线虫(Bacterivores)、食真菌线虫(Fungivores)和捕食/杂食线虫(Predators/Omnivores) 4 个营养类群的分类方法,在光学显微镜下尽可能将线虫分类鉴定到科属水平,鉴定检索参见《中国土壤动物检索图鉴》<sup>[25]</sup>。

### 1.2.3 计算方法

#### (1) 多样性指数度量方法

采用多样性指数来度量土壤线虫群落多样性<sup>[5, 26, 27]</sup>,包括多样性、均匀度、丰富度和优势度,计算公式如下:

$$\text{多样性指数 } H = - \sum p_i \ln p_i$$

$$\text{均匀度指数 } J = H'/H'\text{max}, \text{ 其中 } H'\text{max} = \ln S$$

$$\text{丰富度指数 } SR = (S - 1)/\ln N$$

$$\text{优势度指数 } \lambda = \sum p_i^2$$

式中, $N$  为鉴定的个体数目; $S$  为鉴定分类单元的数目,某一给定的分类单元可以看作是第  $i$  个分类单元; $p_i$  为第  $i$  个分类单元中个体所占的比例。

#### (2) 植物和非植物寄生线虫出现的相对频率的计算方法

将各处理得到的植物寄生线虫和非植物寄生线虫的数量进行统计,然后将统计数据与对照的植物寄生线虫和非植物寄生线虫的数量相比,求得植物寄生线虫和非植物寄生线虫出现的相对频率<sup>[6]</sup>。

### 1.3 数据处理

采用 SPSS (11.5) 统计软件对数据进行单因素方差分析等。

## 2 结果与分析

### 2.1 大棚黄瓜根际土壤线虫科属组成

本研究共鉴定出 4 目 11 科 9 属(表 1)。所鉴定的主要科/属线虫的群落组成、相对丰度(%)及优势度数

表 1 黄瓜根际土壤线虫科属的鉴定结果

Table 1 The families and genera for nematode in rhizosphere of cucumber

营养类群 Trophic groups	科 Family	属 Genus	目 Order
植物寄生类群 Plant-parasites	垫刃科 Tylenchidae	垫刃属 <i>Tylenchus</i>	垫刃目 Tylenchida
	伪垫刃科 Nothotylenchidae	伪垫刃属 <i>Nothotylenchus</i>	
		散香属 <i>Beleodorus</i>	
	柄端球科 Paurodontidae	柄端球属 <i>Paurodontus</i>	
	针科 Paratylenchidae	针属 <i>Paratylenchus</i>	
食真菌类群 Fungivores	异皮科 Heteroderidae	根结属 <i>Meloidogyne</i>	
	锥科 Dolichodoridae	短针属 <i>Brachyderus</i>	
	滑刃科 Aphelenchoididae	拟滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	滑刃目 Aphelenchida
食细菌类群 Bacterivores			小杆目 Rhabditida
	头叶科 Cephalobidae	*	
	小杆科 Rhabditidae	*	
捕食/杂食线虫 Predators/Omnivores	盆咽科 Panagrolaimidae	*	
	矛线科 Dorylaimidae	矛线属 <i>Dorylaimus</i>	矛线目 Dorylaimida

\* 表示未鉴定到的属 Indicated that genera were not identified

据见表 2, 其中, 小杆科、垫刃属、伪垫刃属为优势科/属。可见, 少量优势科/属会对土壤线虫群落特征起着至关重要的作用。在线虫群落营养类群中, 植物寄生线虫、食细菌类群的相对丰度较高, 食真菌类群较低, 杂食/捕食类群相对丰度最低。

## 2.2 氮肥对大棚黄瓜土壤线虫数量和群落结构的影响

与对照相比,  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 处理都抑制了土壤线虫总量, 特别是在苗期两处理的线虫总量均显著低于对照 ( $p < 0.05$ )。在初花期,  $\text{NO}_3^-$ -N 不会显著影响土壤线虫总量, 而  $\text{NH}_4^+$ -N 则显著降低土壤线虫总量 ( $p < 0.05$ ); 在结果期,  $\text{NO}_3^-$ -N 显著减少土壤线虫总量 ( $p < 0.05$ ), 而  $\text{NH}_4^+$ -N 则对土壤线虫总量的影响不显著 (图 1)。在黄瓜各个生长发育期,  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 处理间的线虫总量均无显著性差异。

在黄瓜各个生长季节,  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 处理后植物寄生线虫出现的频率逐渐降低, 且在两处理下, 植物寄生线虫出现频率的变化趋势相近 (图 2A), 而非植物寄生线虫出现的频率逐渐增高 (图 2B)。在苗期和初花期,  $\text{NO}_3^-$ -N 处理的非植物寄生线虫出现频率高于  $\text{NH}_4^+$ -N 处理的非植物寄生线虫出现的频率, 在结果期, 两者相近 (图 2B)。植物寄生线虫与非植物寄生线虫的动态变化趋势相反 (图 2)。

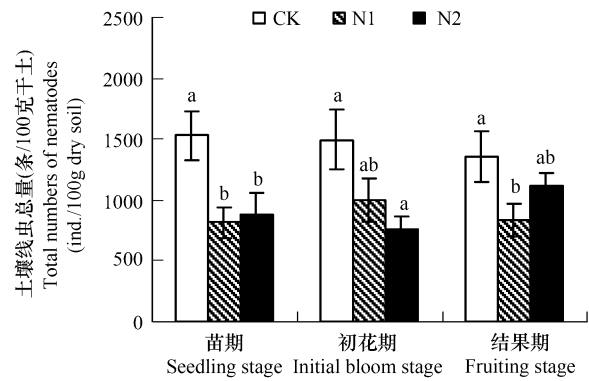


图 1 施用  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 对大棚黄瓜根际土壤线虫总量的影响

Fig. 1 Effect of the application of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N on the total numbers of nematodes in rhizosphere of cucumber in greenhouses 图中小写字母表示差异显著性, 相同字母表示无显著差异 ( $p < 0.05$ ) Small letters denote statistical significance, same letters indicate no significant differences ( $p < 0.05$ )

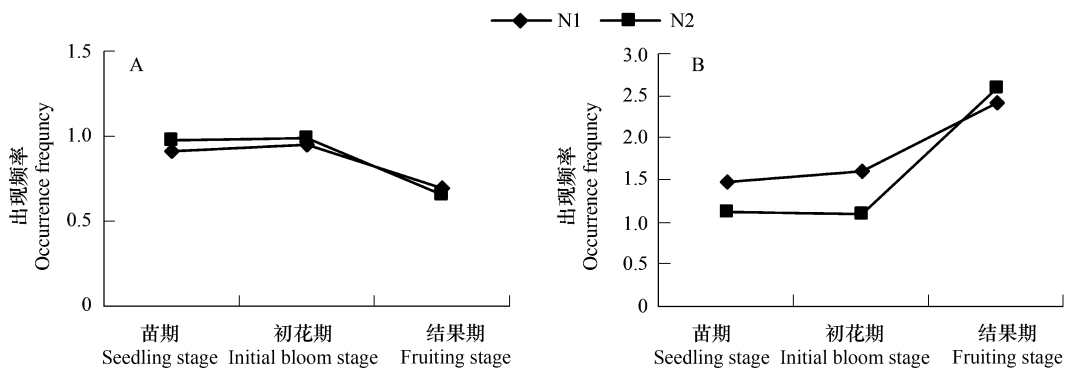


图 2 施  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 对大棚黄瓜土壤植物寄生线虫 (A) 和非植物寄生线虫 (B) 出现频率的影响

Fig. 2 Effects of the applications of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N on the occurrence frequency of plant parasitic (A) and non-plant parasitic (B) nematodes in rhizosphere of cucumber in greenhouses

植物寄生线虫平均相对丰度之和  $\text{CK} > \text{N2} > \text{N1}$ , 食细菌类群平均相对丰度之和  $\text{CK} < \text{N2} < \text{N1}$ ; 植物寄生线虫中的垫刃属、伪垫刃属在处理前后始终为优势属。小杆科线虫经施肥处理后优势度增加, 从常见科变为优势科 (表 2)。

## 2.3 氮肥对大棚黄瓜土壤线虫多样性的影响

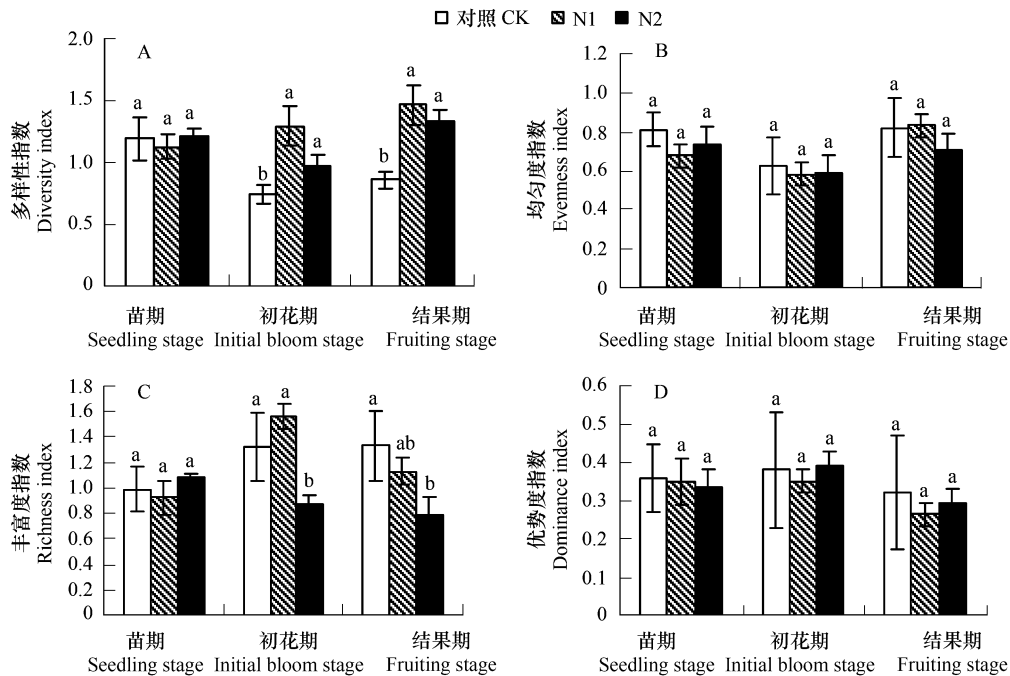
多样性指数 ( $H'$  指数)、均匀度指数 ( $J$  指数)、丰富度指数 ( $SR$  指数) 和优势度指数 ( $\lambda$  指数) 通常用作度量土壤线虫群落多样性的指标<sup>[5, 27, 28]</sup>。

$H'$  指数是表明线虫生物多样性程度高低的一个指数。与对照相比, 两个处理的  $H'$  在苗期的变化都不大, 在初花期和结果期的  $H'$  则显著提高 ( $p < 0.05$ )。在初花期和结果期,  $\text{NO}_3^-$ -N 处理的  $H'$  高于  $\text{NH}_4^+$ -N 处理, 但均无显著性差异 (图 3A)。

表 2 施用  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 对大棚黄瓜土壤线虫的群落组成、相对丰度 (RA, %) 及优势度的影响Table 2 Effects of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N fertilizers on the composition, relative abundance (RA, %) and dominance of nematodes in rhizosphere of cucumber in greenhouses

取样时间 Sampling date	2007-03-16			2007-04-18			2007-05-16			平均相对丰度 Mean RA			优势度 Dominance		
	N1	N2	CK	N1	N2	CK	N1	N2	CK	N1	N2	CK	N1	N2	CK
植物寄生类群 Plant-parasites															
垫刃属 <i>Tylenchus</i>	45.1	39.0	39.7	47.8	26.0	31.2	22.9	40.0	28.6	38.60	35.00	33.17	+	+	+
伪垫刃属 <i>Nothotylenchus</i>	31.1	42.0	42.9	33.3	64.6	51.6	32.6	24.4	47.2	32.33	43.67	47.60	+	+	+
散香属 <i>Beleodorus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	0	0.37	+	+	+
柄端球属 <i>Paurodontus</i>	0	0	0	0	0	2.2	0	0	0	0	0.73	+	+	+	
针属 <i>Paratylenchus</i>	0	1.0	0	0	0	3.2	0	0	0	0.33	1.07	+	+	+	
根结属 <i>Meloidogyne</i>	0	0	1.3	5.6	1.0	3.2	2.4	0	5.5	2.67	0.33	3.33	+	+	+
短针属 <i>Brachyderus</i>	0	0	0	1.1	0	0	0	0	0.37	0	0	+	+	+	
食细菌类群 Bacterivores															
头叶科 <i>Cephalobidae</i>	0	1.0	1.3	1.1	0	1.1	7.2	1.7	2.2	2.77	0.9	2.20	+	+	+
小杆科 <i>Rhabditidae</i>	22.1	13.0	12.2	8.9	6.3	5.4	31.3	25.2	7.7	20.77	10.93	8.43	+	+	+
盆咽科 <i>Panagrolaimidae</i>	0	0	0	1.1	0	0	0	0	0	0.37	0	+	+	+	
食真菌类群 Fungivo															
拟滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	1.6	4.0	2.6	1.1	2.1	1.1	3.6	8.7	7.7	2.10	4.93	3.80	+	+	+
捕食/杂食类群 Predators/Omnivores	0.1	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0.03	0	0.37	+	+	+
矛线属 <i>Dorylaimus</i>															

+++ : Mean RA > 10 优势科/属 Dominant family/genus; ++ :  $1 \leq \text{Mean RA} \leq 10$  常见科/属 common family/genus; + : Mean RA < 1 稀有科/属 rare family/genus

图 3 施用  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 对大棚黄瓜根际土壤线虫生物多样性的影响Fig. 3 Effects of the applications of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N on the nematodes-diversity in rhizosphere of cucumber in greenhouses

图中小写字母表示差异显著性, 相同字母表示无显著差异 ( $p < 0.05$ ); Small letters denote statistical significance, same letters indicate no significant differences ( $p < 0.05$ )

$J$  指数可以说明线虫在土壤中分布的空间特征。在黄瓜的整个生育期,  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 处理的  $J$  与对照均无显著性差异, 且两处理之间不存在显著性差异(图 3B), 这显示两种形态的氮肥对土壤线虫群体数量的均匀分布影响不大。

$SR$  指数反映了土壤线虫种类的丰富程度。在  $\text{NO}_3^-$ -N 处理下, 与对照相比,  $SR$  在黄瓜各生长发育期均无显著性差异。在  $\text{NH}_4^+$ -N 处理下,  $SR$  除在苗期略高于对照外, 在初花期和结果期都显著低于对照( $p < 0.05$ )。此外,  $\text{NO}_3^-$ -N 处理下的  $SR$  除了在苗期低于  $\text{NH}_4^+$ -N 处理下的  $SR$  外, 在初花期和结果期都高于  $\text{NH}_4^+$ -N 处理下的  $SR$ , 且在初花期有显著性差异( $p < 0.05$ ) (图 3C)。

$\lambda$  指数可显示线虫优势种群的存在及其特征。 $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 处理下的  $\lambda$  在各时期与对照相比均无显著性差异, 两处理之间的  $\lambda$  也无显著性差异(图 3D), 这表明  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 处理对土壤线虫的优势种群的影响不大。

### 3 讨论

#### 3.1 对土壤线虫总量和营养类群的影响

土壤线虫通常作为评价农业管理措施对土壤生态系统的影响的敏感指标而得到大量研究<sup>[26,28]</sup>。在本研究中,  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 都抑制了土壤线虫总量的增加(图 1)。在植物生长过程中, 植物会产生并释放一些化感物质<sup>[29]</sup>, 这些物质通过影响根际微生物种群而直接或间接地抑制植物寄生线虫<sup>[18]</sup>。另外, 不同氮源带有不同的电荷会对根际区土壤 pH 值产生不同的影响,  $\text{NH}_4^+$  被根吸收后引起质子的释放, 从而引起周围土壤 pH 值降低; 相反,  $\text{NO}_3^-$  被根吸收后释放出  $\text{OH}^-$  使根际区土壤 pH 值升高<sup>[30]</sup>。王邵军和华建峰的研究发现线虫数量与 pH 显著相关<sup>[31,32]</sup>。Sarah 等<sup>[33]</sup>认为土壤 pH 值可以通过改变寄主植物的响应、土壤化学成分等来间接影响土壤线虫的发育。因此, 氮肥的施入可以引起黄瓜根系分泌物和土壤理化性质的变化, 从而抑制了线虫的数量。

$\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 的施用为黄瓜的生长发育提供了必需的氮素。黄瓜生长对氮素的吸收利用以及氮肥在整个生长期内的流失, 都会使土壤中的  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度降低, 从而减轻对线虫生长发育的抑制和杀伤力<sup>[11, 12, 18]</sup>。特别是  $\text{NO}_3^-$  带负电荷, 不易被以带负电荷为主的土壤胶体吸附, 在土壤溶液中移动性大, 更易随水流失, 从而对黄瓜的生长发育特别是根系的发育产生影响。在结果期,  $\text{NH}_4^+$ -N 处理下的土壤线虫总量高于  $\text{NO}_3^-$ -N 处理下的线虫总量,  $\text{NH}_4^+$ -N 处理与  $\text{NO}_3^-$ -N 处理相比可能更有利于提高根系生物量, 从而为植物寄生线虫提供更多的取食位点<sup>[34]</sup>。另外, 黄瓜在不同的生长期通过根分泌不同的物质, 可能也对线虫生长发育产生影响, 这还需进一步研究。

在本试验中, 处理和对照之间线虫营养类群较为固定, 除植物寄生线虫始终为优势类群外,  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 处理后食细菌线虫也成为优势种群。这与 Liang 等<sup>[35]</sup>研究结果相近。捕食/杂食类群相对丰度在对照和处理中都最低, 这可能是由于大棚内复种指数高, 化肥用量较大, 蔬菜在生长期内捕食/杂食类线虫密度受到化肥投入的影响而降低的原因所致<sup>[5]</sup>。在整个生长季节内, 非寄生与寄生线虫群体具有相反的动态变化趋势, 说明施用氮肥后土壤生物及化学性质的改变引起了线虫种群的动态变化, 非植物寄生线虫数量增长和空间生态位的扩大会对植物寄生线虫群体有一定的抑制作用, 这与张万民等的研究结果相似<sup>[6]</sup>。另外, 也反映了氮肥在一定程度上能够减轻植物寄生线虫对黄瓜的危害。土壤有机质含量是影响植物寄生线虫和非植物寄生线虫发生的制约因素, 有机质含量高, 则非植物寄生线虫的数量增加; 而有机质含量低, 则植物寄生线虫的数量增多<sup>[6]</sup>。使用氮肥可以提高土壤有机质含量<sup>[36]</sup>, 这就是本研究中为什么在施用两种氮肥后, 土壤非植物寄生线虫数量增加的原因(图 2)。

#### 3.2 对土壤线虫多样性的影响

生物多样性是群落生物组成结构的重要指标, 反映了群落内物种的多少和生态系统食物网的复杂程度, 从而反映各生境间的相似性及差异性。

处理与对照相比, 在初花期和结果期均显著增加了土壤线虫的  $H'$  指数, 说明施入两种形态的氮肥能够提

高土壤线虫的多样性。在初花期和结果期,  $\text{NH}_4^+$ -N 显著降低了土壤线虫种类的丰富性。处理和对照地块的  $J$  指数和  $\lambda$  指数随时间波动不大。在初花期和结果期,  $\text{NO}_3^-$ -N 处理下的  $H'$  和  $SR$  指数要高于  $\text{NH}_4^+$ -N 处理, 而两处理间  $J$  和  $\lambda$  指数变化不显著(图 3)。因此,  $H'$  和  $SR$  指数在一定程度上能够反映施用无机氮肥对土壤线虫的多样性的影响, 而  $J$  和  $\lambda$  指数的指示效果不明显。与  $\text{NH}_4^+$ -N 处理相比,  $\text{NO}_3^-$ -N 更有利于提高线虫的多样性与丰富度, 增加群落的稳定性, 这与张万民<sup>[6]</sup> 和陈立杰<sup>[37]</sup> 的研究结果相似。这些结果表明施用适量无机氮肥特别是  $\text{NO}_3^-$ -N 对大棚黄瓜土壤线虫的多样性有一定的维护与提高作用。

结果表明, 在氮素施用量为  $135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时, 无论单独施用  $\text{NO}_3^-$ -N 或  $\text{NH}_4^+$ -N 都降低了土壤线虫的总量, 改变了线虫营养类群的构成, 在一定程度上能够减轻植物寄生线虫对黄瓜的危害。  $H'$  指数和  $SR$  指数能较好地反映适量无机氮肥供应可以稳定甚至增加土壤线虫的多样性,  $\text{NO}_3^-$ -N 更有利于提高土壤线虫的多样性和稳定性。

## References:

- [ 1 ] Wardle D A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practice. *Advances in Ecological Research*, 1995, 26: 105 – 185.
- [ 2 ] Liang W J, Chen L J, Li Q, *et al.* The responses of nematode communities to inorganic fertilizer disturbance in a farmland ecosystem. *Pedosphere*, 2002, 12 (3): 193 – 200.
- [ 3 ] Yeates G W, Wardle D A, Watson R N. Responses of soil nematode populations, community structure, diversity and temporal variability to agricultural intensification over a seven-year period. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 1721 – 1733.
- [ 4 ] Xu F L, Liang Y, Zhang C G, *et al.* Effect of fertilization on cucumber growth and soil biological characteristics in sunlight greenhouse. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (7): 1227 – 1230.
- [ 5 ] Liang W J, Zhang W M, Li V G, *et al.* Effect of chemical fertilizer on nematode community and diversity in the black soil region. *Biodiversity Science*, 2001, 9 (3): 237 – 240.
- [ 6 ] Zhang W M, Duan Y X, Chen L J, *et al.* Effect of agrochemicals and bio-control productions on soil nematode community dynamics. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13 (5): 638 – 640.
- [ 7 ] Freckman D W, Ettema C H. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1993, 45: 239 – 261.
- [ 8 ] Sarathchandra S U, Ghani A, Yeates G W, *et al.* Effect of nitrogen and phosphate fertilizers on microbial and nematode diversity in pasture soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33: 953 – 964.
- [ 9 ] Forge T A, Simard S W. Structure of nematode communities in forest soils of southern British Columbia: relationships to nitrogen mineralization and effects of clearcut harvesting and fertilization. *Biology and Fertility of Soils*, 2001, 34: 170 – 178.
- [ 10 ] Spiegel Y, Netzer D. Effect of nitrogen form at various levels of potassium, on the *Meloidogyne-Fusarium* wilt complex in muskmelon. *Plant and Soil*, 1984, 81: 85 – 92.
- [ 11 ] Castro C E, Belsler N O, Mckinney H E, *et al.* Strong repellency of the root knot nematode, *Meloidogyne incognita* by specific inorganic ions. *Journal of Chemical Ecology*, 1990, 16 (4): 1199 – 1205.
- [ 12 ] Oka Y, Pivonia S. Use of ammonia-releasing compounds for control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *Nematology*, 2002, 4 (1): 65 – 71.
- [ 13 ] Armstrong G M, Rohrbaugh L M, Rice E L, *et al.* Preliminary studies on the effect of deficiency in potassium or magnesium on concentration of chlorogenic acid and scopolin in tobacco. *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, 1971, 51: 41 – 43.
- [ 14 ] Lehman R H, Rice E L. Effect of deficiencies of nitrogen, potassium and sulfur on chlorogenic acids and scopolin in sunflower. *American Midland Naturalist*, 1972, 87: 71 – 80.
- [ 15 ] Luu K T, Matches A G, Peters E J. Allelopathic effects of tall fescue on birdsfoot trefoil as influenced by N fertilization and seasonal changes. *Agronomy Journal*, 1982, 74: 805 – 808.
- [ 16 ] Ross J D, Sombrero C. Environmental control of essential oil production in Mediterranean plants. In: Harboine J B and Tomas-Barberan F A, eds. *Ecological Chemistry and Biochemistry of Plant Terpenoids*. Oxford: Clarendon Press, 1991, 83 – 94.
- [ 17 ] Zhang J Y, Wang J G, Xu Y L, *et al.* Effect of nitrogen on the species and contents of organic acids in root exudates of different soybean cultivars. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13 (3): 398 – 403.
- [ 18 ] Halbrendt J M. Allelopathy in the management of plant parasitic nematodes. *Journal of Nematology*, 1996, 28: 8 – 14.
- [ 19 ] Chen Y J, Huang Y, Tao S. Dynamic change of soil properties in the rhizosphere of maize and soybean. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26 (3): 283 – 287.

- [20] Zhang R Q, Sun Z J, Wang C, *et al.* Eco-process of leaf litter decomposition in Xishuangbanna tropical rainforest, Southwest China II. Population dynamics of soil microbiota and nematodes. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (2): 640–649.
- [21] Li H X, Liu M Q, Hu F, *et al.* Nematode abundance under different vegetations restored on degraded red soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (11): 1882–1889.
- [22] Liang W J, Lavian I, Steinberger Y. Effect of agricultural management on nematode communities in a Mediterranean agroecosystem. *Journal of Nematology*, 2001, 33: 208–213.
- [23] Yeates G W, Bongers T, De Goede R G M, *et al.* Feeding habits in soil nematode families and genera-An outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 1993, 25: 315–331.
- [24] Ferris H, Venette R C, Scow K M. Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function. *Applied Soil Ecology*, 2004, 25: 19–35.
- [25] Yin W Y ed. Pictorial keys to soil animals of china. Beijing: Science Press, 1998. 51–89, 437–475.
- [26] Yeates G W, Bongers T. Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, 74: 113–135.
- [27] Bongers T. The Maturity index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. *Plant and Soil*, 1999, 212: 13–22.
- [28] Bongers T. The maturity index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 1990, 83: 14–19.
- [29] Wang J C, Pan K W, Wu N, *et al.* The study on varietal differences in allelopathic potential of Chinese prickly ash (*Zanthoxylum piperitum*). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (7): 1591–1598.
- [30] Söderberg K H, Bååth E. The influence of nitrogen fertilization on bacterial activity in the rhizosphere of barley. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36: 195–198.
- [31] Wang S J, Cai Q J, Ruan H H. Soil nematode community response to vegetation restoration in northern Fujian. *Biodiversity Science*, 2007, 15 (4): 356–364.
- [32] Hua J F, Jiang Y, Liang W J. Effects of vegetation coverage on spatial distribution of soil nematode trophic groups. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (2): 295–299.
- [33] Sarah A L, Osseni B, Hugon R. Effect of soil pH development of *Pratylenchus brachyurus* populations in pineapple roots. *Nematropica*, 1991, 21: 211–216.
- [34] Wang K H, McSorley R, Marshall A J, *et al.* Influence of organic *Crotalaria juncea* hay and ammonium nitrogen fertilizers on soil nematode communities. *Applied Soil Ecology*, 2006, 31: 186–198.
- [35] Liang W J, Lavian I, Steinberger. Effect of agricultural management on nematode communities in a Mediterranean agroecosystem. *Journal of Nematology*, 2001, 33: 208–213.
- [36] Mu L, Zhang J, Guan L Z. Changes of soil organic matter under different cultivation. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 1998, 29 (1): 59–64.
- [37] Chen L J, Liang W J, Duan Y X, *et al.* Effects of bio-nematicide on community structure and bio-diversity of soil nematodes in soybean field. *Soybean Science*, 2003, 22 (4): 251–256.

#### 参考文献:

- [4] 徐福利, 梁银, 张成娥, 等. 施肥对日光温室黄瓜生长和土壤生物学特性的影响. *应用生态学报*, 2004, 15 (7): 1227–1230.
- [5] 梁文举, 张万民, 李维光, 等. 施用化肥对黑土地区线虫群落组成及多样性产生的影响. *生物多样性*, 2001, 9 (3): 237–240.
- [6] 张万民, 段玉玺, 陈立杰, 等. 施用农用化学品及生防制剂对土壤线虫群落动态影响的研究. *应用生态学报*, 2002, 13 (5): 638–640.
- [17] 张俊英, 王敬国, 许永利, 等. 氮素对不同大豆品种根系分泌物中有机酸的影响. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13 (3): 398–403.
- [19] 陈有鑑, 黄艺, 陶澍. 玉米和大豆根际土壤性质的动态变化. *植物生态学报*, 2002, 26 (3): 283–287.
- [20] 张瑞清, 孙振钧, 王冲, 等. 西双版纳热带雨林凋落叶分解过程 II. 微生物与线虫的群落动态. *生态学报*, 2007, 27 (2): 640–649.
- [21] 李辉信, 刘满强, 胡锋, 等. 不同植被恢复方式下红壤线虫数量特征. *生态学报*, 2002, 22 (11): 1882–1889.
- [25] 尹文英主编, 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998. 51–89, 437–475.
- [29] 王进闯, 潘开文, 吴宁, 等. 花椒品种间化感作用差异. *生态学报*, 2005, 25 (7): 1591–1598.
- [31] 王邵军, 蔡秋锦, 阮宏华. 土壤线虫群落对闽北森林植被恢复的响应. *生物多样性*, 2007, 15 (4): 356–364.
- [32] 华建峰, 姜勇, 梁文举. 植被覆盖对土壤线虫营养类群空间分布的影响. *应用生态学报*, 2006, 17 (2): 295–299.
- [36] 穆琳, 张继, 关连珠. 不同施肥与栽培条件下土壤有机质演变规律. *沈阳农业大学学报*, 1998, 29 (1): 59–64.
- [37] 陈立杰, 梁文举, 段玉玺, 等. 施用生防颗粒剂对大豆田土壤线虫群落结构和生物多样性的影响. *大豆科学*, 2003, 22 (4): 251–256.