

黑土区不同轮作系统大豆根际镰孢菌种群结构和数量

刘金波^{1,2}, 许艳丽¹, 吕国忠³, 李春杰¹, 赵志慧⁴, 魏巍⁵

(¹ 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150081; ² 中国科学院研究生院, 北京 100049; ³ 大连民族学院生物资源与环境研究所, 辽宁 大连 116600; ⁴ 沈阳农业大学植物保护学院, 辽宁 沈阳 110161; ⁵ 东北林业大学生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:对中国科学院海伦农业生态试验站长期定位区大豆连作17年、小麦-玉米-大豆轮作、玉米-大豆迎茬和大豆连作2年,分别取分枝期、花期和鼓粒期的大豆根际土壤,采用土粒平板法进行镰孢菌分离,探讨大豆连作对镰孢菌种群结构和数量的影响。根据形态学特征鉴定出6种镰孢菌,即锐顶镰孢(*F. acuminatum* Ellis & Everhart)、黄色镰孢(*F. culmorum* (W. G. Smith) Sacc.)、木贼镰孢(*F. equiseti* (Corda) Sacc.)、禾谷镰孢(*F. graminearum* Schwabe)、尖孢镰孢(*F. oxysporum* Schlecht.)和腐皮镰孢(*F. solani* (Mart.) Sacc.)。在不同生育期及不同轮作系统大豆根际土壤中尖孢镰孢(*F. oxysporum*)数量较高,与其它种类相比差异显著($P < 0.05$),是大豆根际土壤中的优势菌。不同轮作系统大豆根际土壤以尖孢镰孢数量平均值最高,其次为腐皮镰孢;不同轮作系统镰孢菌总量动态变化一致,花期轮作镰孢菌数量最高为 1.54×10^4 个·g⁻¹干土,与大豆连作17年相比差异明显。在3个生育期大豆连作17年尖孢镰孢数量均略低于轮作。

关键词:大豆;根际土壤;镰孢菌;形态学鉴定

中图分类号:S154.37

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2009)01-0097-06

Black Soil Region *Fusarium* Population Structure and Quantity in Soybean Rhizosphere of Different Rotation System

LIU Jin-bo^{1,2}, XU Yan-li¹, LÜ Guo-zhong³, LI Chun-jie¹, ZHAO Zhi-hui⁴, WEI Wei⁵

(¹ Northeast Institute of Geography and Agro-ecology, CAS, Harbin 150081, Heilongjiang; ² Graduate School, CAS, Beijing 100049; ³ Institute of Bio-Resources and Environment, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, Liaoning; ⁴ College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, Liaoning; ⁵ College of life science, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: *Fusarium* is one of the main pathogen of soybean root rot, distribution of *Fusarium* in soil is surprisingly diverse, its mycelium and chlamydospore can be survival many years and difficult to prevent. Isolates of *Fusarium* were obtained by direct soil plating method with soils from soybean monoculture 17 years (S-S-S), Wheat-Corn-Soybean rotation (W-C-S W-C-S), Corn-Soybean rotation (C-S C-S) and soybean monoculture 2 years (C-S-S C-S-S) in Hailun Agricultural Ecology Experimental Station of CAS, and rhizosphere soils were sampled at branching, flowering and seed-filling stage, the research was carried to probe the effect of soybean monoculture on *Fusarium* population structure and quantity. Based on morphological characteristics, these isolates were identified to 6 species, namely *Fusarium acuminatum* Ellis & Everhart, *F. culmorum* (W. G. Smith) Sacc, *F. equiseti* (Corda) Sacc, *F. oxysporum* Schlecht and *F. solani* (Mart.) Sacc. The quantity of *F. oxysporum* in soybean rhizosphere soil in different growth stages and different rotation systems was significantly ($P < 0.05$) higher compared to other *Fusarium* species, indicating *F. oxysporum* was the dominant specie of soybean rhizosphere soil. The average quantity of *F. oxysporum* was the highest in different rotation systems soybean rhizosphere soil, then was *F. solani*. The *Fusarium* spp. total quantity dynamics were the same in different rotation systems. In florescence stage, the *Fusarium* spp. total quantity of W-C-S W-C-S which was 1.54×10^4 CFU per gram dry soil was the highest and significant different to S-S-S. The quantity of *F. oxysporum* in S-S-S were lower than W-C-S W-C-S in three soybean growth stages.

Key words: Soybean; Rhizosphere soil; *Fusarium*; Morphological identification

收稿日期:2008-08-15

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(kzcx2-yw-408);国家“十一五”科技支撑计划资助项目(GA06B101);中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土生态重点实验室基金课题(HTST07)资助项目。

作者简介:刘金波(1982-),女,在读硕士,现主要从事土壤微生物生态研究。

通讯作者:许艳丽,研究员,博士生导师。E-mail:xyll@neigahrh.ac.cn。

根腐病是引起大豆连作减产的主要原因之一^[1],在我国主要分布在东北大豆主产区和黄淮地区,一般减产 10% ~ 30%,重病地区可减产 60% 甚至绝产^[2-3],其发育严重程度一般为连作 3 年 > 连作 2 年 > 连作 1 年 > 迎茬 > 轮作^[2],随着连作年限增加,病情不断加重,但在 3 年以上的连作之间这种差异趋于消失^[3]。大豆根腐病常与胞囊线虫病复合侵染,并且有研究表明大豆连作的前 2 年土壤中胞囊数量急速增加,以后缓慢增加,7 年后有下降趋势,14 年后土壤中的胞囊数量在较高水平上趋于平衡^[4]。

大豆根腐病由多种病原真菌复合侵染引起,目前报道的有镰孢菌(*Fusarium*)、腐霉菌(*Pythium*)、疫霉菌(*Phytophthora*)和丝核菌(*Rhizoctonia*)等,其中镰孢菌为我国大豆产区主要致病菌。目前我国报道的大豆根腐病致病菌有:尖孢镰孢(*Fusarium oxysporum*)、腐皮镰孢(*F. solani*)、木贼镰孢(*F. equiseti*)。禾谷镰孢(*F. graminearum*)、燕麦镰孢(*F. avenae*)(Corda ex Fr.) Sacc.)、半裸镰孢(*F. Semitectum*. Berk. & Rav.)、立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani* Ktihn)、终极腐霉菌(*Pythium ultimum* Trow)、三线镰孢(*F. tricinctum* (Corda) Sacc.)、壳生镰孢(*F. epiphytheria* (Tode) S et H)、和尖孢镰孢芬芳变种(*F. oxysporum* var. *redolens* (Wollenw.) Gordon)等^[5-9]。镰孢菌具有遗传多变性,其形态和生理上变异非常大,种间的相互作用关系也十分复杂,在自然界中表现出丰富的多样性。土壤中镰孢菌的多样性水平也非常高^[10-12],而且土壤中镰孢菌多样性水平对其中致病菌的种群动态及寄主抗性表现也会产生一定的影响^[13]。

长期连作后大豆根际土壤中镰孢菌种类和数量是否发生改变,不同轮作系统大豆根际土壤中镰孢菌种群动态分布是否存在差异还少见报道,明确这些问题对大豆连作障碍机制研究和大豆根腐病生态防治有重要指导意义。于 2007 年在黑土区大豆长期定位试验区取 4 个大豆轮作系统,对 3 个生育期大豆根际土壤中镰孢菌种类和数量进行研究。

1 材料与方法

1.1 试验设计

大豆长期定位试验区位于中国科学院海伦农业生态试验站,该站地处东北黑土区中部,北纬 47° 26',东经 126°38',海拔高度 240 m,属于温带大陆性

季风气候区,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同季。当地年平均气温 1.5℃,年均降水量 570 mm,年均有效积温 2 400℃^[14]。试验区土壤类型为中厚黑土,于 1991 年,选取 4 个小区:①大豆连作 17 年(S...S-S);②轮作(小麦-玉米-大豆,W-C-S...W-C-S);③迎茬(玉米-大豆,C-S...C-S);④大豆连作 2 年(玉米-大豆-大豆,C-S-S...C-S-S);田间小区面积 77 m²,垄长 10 m,宽 0.7 m,大豆品种为黑农 35,玉米品种为海玉 6 号,小麦品种为龙麦 19 号。田间管理与一般生产田相同,采用人工播种,三铲三趟,秋季旋松起垄。大豆施肥量:磷酸二铵 150 kg·hm⁻²;玉米施肥量:磷酸二铵 150 kg·hm⁻²,尿素 225 kg·hm⁻²(一半基肥,一半追肥);小麦施肥量:磷酸二铵 84 kg·hm⁻²,尿素 168 kg·hm⁻²。

1.1.1 供试培养基 蛋白胨五蛋白胨-五氯硝基苯-琼脂培养基(Peptone PCNB Agar):蛋白胨 15 g,磷酸二氢钾(KH₂PO₄)1 g,硫酸镁(MgSO₄·7H₂O)0.5 g,五氯硝基苯(PCNB)1 g,琼脂 20 g;水 1 000 mL,pH 5.5-6.5(必要时调)^[15]。

马铃薯葡萄糖琼脂(PDA):马铃薯 200 g,葡萄糖 20 g,琼脂 20 g,水 1 000 mL。

SNA:磷酸二氢钾(KH₂PO₄)1 g,KNO₃ 1 g,硫酸镁(MgSO₄·7H₂O)0.5 g,氯化钾(KCl)0.5 g,葡萄糖 0.2 g,蔗糖 0.2 g,琼脂 20 g,水 1 000 mL^[16]。

1.2 方法

1.2.1 取样及镰孢菌分离 于 2007 年大豆分枝期(V5)、花期(R2)和鼓粒期(R5)分别进行取样,每个小区分别选取具有典型大豆根腐病症状的大豆 30~50 株,轻轻挖出,抖掉多余的耕层土,收集附着在根表面的土为根际土,保鲜带回实验室,采用土粒平板法进行镰孢菌分离^[16-17],同时采用烘干法测定土壤含水量。

1.2.2 镰孢菌形态学观察和鉴定 将经单孢纯化的镰孢菌菌丝接种到 PDA 和 SNA 两种培养基上,于 25℃ 恒温光照培养箱内 12 h 光照与黑暗交替培养,4 d 记录菌落直径大小、颜色变化;大、小型分生孢子和后垣孢子形状及着生方式;产孢细胞形态特点;并测量 30~50 个镰孢菌大、小孢子的长和宽。按 Booth 和 Leslie 的分类系统,结合《常见镰刀菌鉴定指南》及其它鉴定资料和方法等进行镰孢菌形态学鉴定^[15-16,18-20]。

1.3 数据统计与分析

按时期统计不同轮作系统每克干土中各种镰孢

菌的数量,用 SAS 软件进行统计分析。每克干土中镰孢菌数量(CFU·g⁻¹干土)计算公式如下:

$$\text{镰孢菌数量(CFU} \cdot \text{g}^{-1}\text{干土)} = \frac{\text{每种镰孢菌平均值(CFU/皿)} \times (1/0.005)}{\text{含水量百分数}} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 分枝期(V5)大豆根际土壤中镰孢菌种群结构和数量

从分枝期(V5)不同轮作系统大豆根际土壤中分离的镰孢菌,经形态学鉴定为5种镰孢菌,即黄色镰孢(*F. culmorum*)、木贼镰孢(*F. equiseti*)、禾谷镰孢(*F. graminearum*)、尖孢镰孢(*F. oxysporum*)和腐皮镰孢(*F. solani*);其中黄色镰孢只在连作17年和迎茬出现,其它4种镰孢菌在4个轮作系统均分离到(图1)。连作17年和轮作均以尖孢镰孢和腐皮镰孢数量最高,且与木贼镰孢数量之间有明显差异;而迎茬和连作2年以尖孢镰孢数量最高,明显高于其它种类镰孢菌。连作17年腐皮镰孢(*F. solani*)最高为 3.53×10^3 个·g⁻¹干土,是4个轮作系统中最高值,与黄色镰孢、木贼镰孢和禾谷镰孢数量相比差异极显著($P < 0.01$),且连作17年腐皮镰孢数量与连作2年和迎茬相比差异显著($P < 0.05$),其次为尖孢镰孢数量为 2.67×10^3 个·g⁻¹干土,与黄色镰孢和禾谷镰孢数量相比差异极显著($P < 0.01$)。轮作尖孢镰孢数量为 3.03×10^3 个·g⁻¹干土,与禾谷镰孢数量相比差异显著($P < 0.05$)。迎茬大豆根际土壤中尖孢镰孢数量最高为 5.29×10^3 个·g⁻¹干土,是4个轮作系统最高值,但与其它轮作系统相比差异不显著($P > 0.05$),且迎茬和连作2年尖孢数量与其它种类镰孢菌相比均差异极显著($P < 0.01$)。大豆连作2年和轮作中均有少量其它种类镰孢菌。

2.2 花期(R2)大豆根际土壤中镰孢菌种群结构和数量

从花期(R2)不同轮作系统大豆根际土壤中分离的镰孢菌,经形态学鉴定为5种镰孢菌,与分枝期相同,其中黄色镰孢只在连作17年出现,其它4种镰孢菌在4个轮作系统均分离到(图2)。4个轮作系统中均以尖孢镰孢(*F. oxysporum*)数量最高,与其它镰孢菌相比均差异极显著($P < 0.01$),但各轮作系统之间差异不显著($P > 0.05$)。轮作尖孢镰孢数量最高为 1.1×10^4 个·g⁻¹干土,其次为迎茬、再次为

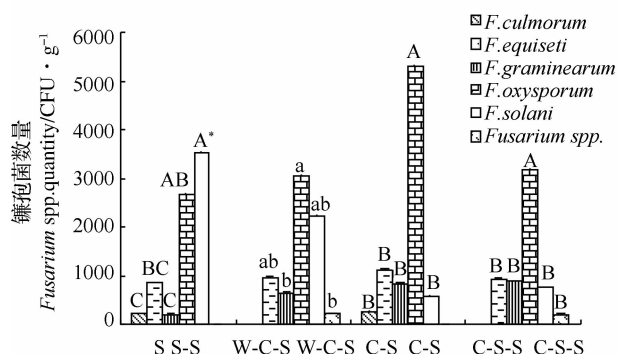


图1 不同轮作系统大豆根际土壤中镰孢菌种群结构和数量(V5)

Fig. 1 *Fusarium* population quantity in soybean rhizosphere soil under different rotation systems (V5)

连作17年。轮作木贼镰孢(*F. equiseti*)数量较高为 2.49×10^3 个·g⁻¹干土,且与连作17年相比差异显著($P < 0.05$);轮作腐皮镰孢(*F. solani*)数量较高,与连作17年和迎茬相比差异极显著($P < 0.01$)。除轮作外,其它轮作系统有少量其它种类镰孢菌。

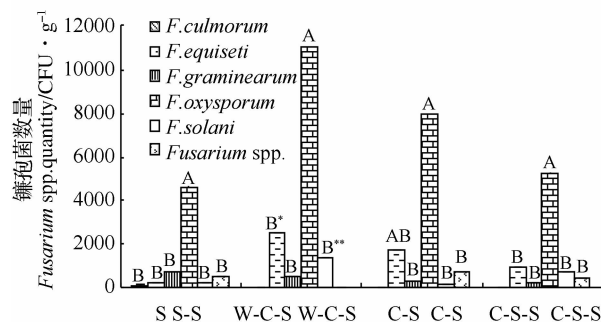


图2 不同轮作系统大豆根际土壤中镰孢菌种群结构和数量(R2)

Fig. 2 *Fusarium* population quantity in soybean rhizosphere soil under different rotation systems (R2)

2.3 鼓粒期(R5)大豆根际土壤中镰孢菌种群结构和数量

从不同轮作系统鼓粒期(R5)大豆根际土壤中分离的镰孢菌,经形态学鉴定为6种镰孢菌,比分枝期和花期多1种锐顶镰孢(*F. acuminatum*)不同轮作系统镰孢菌种群结构变化规律较一致,尖孢镰孢(*F. oxysporum*)数量与其它镰孢菌相比均差异极显著($P < 0.01$),为优势菌,不同轮作系统间各种镰孢菌数量均无差异($P > 0.05$)(图3)。各轮作系统均以尖孢镰孢(*F. oxysporum*)数量最高,与其它镰孢菌相比均差异极显著($P < 0.01$),为优势菌,但不同轮作系统各种镰孢菌数量之间均无差异($P > 0.05$)。轮作系统中尖孢镰孢数量最高为 8.8×10^3 个·g⁻¹干

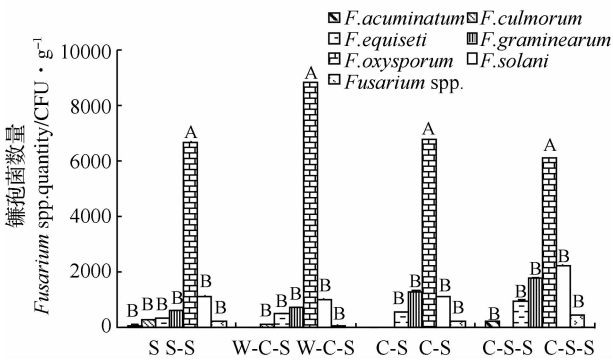


图3 不同轮作系统大豆根际土壤中镰孢菌种群结构和数量(R5)

Fig.3 *Fusarium* population quantity in soybean rhizosphere soil under different rotation systems (R5)

土,其次为迎茬和连作17年尖孢镰孢数量相当。4个轮作系统均有少量其它种类镰孢菌。其中锐顶镰孢只在连作17年和连作2年系统分离到,而黄色镰孢只在连作17年和轮作系统中分离到,其它4种镰

孢菌在4个轮作系统均分离到。
2.4 大豆根际土壤中各种镰孢菌平均数量

不同轮作系统大豆根际土壤中各种镰孢菌平均数量如表1所示,6种镰孢菌平均数量由高到低依次为尖孢镰孢>腐皮镰孢>木贼镰孢>禾谷镰孢>黄色镰孢>锐顶镰孢。尖孢镰孢在4个轮作系统平均值为 5.94×10^3 个·g⁻¹干土,与其它镰孢菌数量相比差异极显著($P < 0.01$);其中轮作中尖孢镰孢数量平均值最高为 7.61×10^3 个·g⁻¹干土,其次为迎茬,再次为连作2年,连作17年最低。4个轮作系统腐皮镰孢数量仅次于尖孢镰孢,平均值为 1.26×10^3 个·g⁻¹干土,与黄色和锐顶镰孢数量相比差异显著($P < 0.05$),其中连作17年腐皮镰孢数量最高为 1.64×10^3 个·g⁻¹干土,其次为轮作,再次为连作2年。4个轮作系统木贼镰孢和禾谷镰孢数量较高,均大于 0.7×10^3 个·g⁻¹干土,但与其它镰孢菌数量相比均差异不显著($P > 0.05$)。

表1 4个轮作系统大豆根际土壤中各种镰孢菌平均数量

Table 1 *Fusarium* population average quantity in soybean rhizosphere soil under four rotation systems/CFU · g⁻¹ dry soil

种类 Species	连作17年 S...S-S	轮作 W-C-S...W-C-S	迎茬 C-S...C-S	连作2年 C-S-S...C-S-S	平均值 Aveagre	0.05	0.01
尖孢镰孢 <i>F. oxysporum</i>	4.65×10^3	7.61×10^3	6.65×10^3	4.86×10^3	$5.94 \times 10^3 \pm 18.9$	a	A
腐皮镰孢 <i>F. solani</i>	1.64×10^3	1.53×10^3	6.08×10^2	1.25×10^3	$1.26 \times 10^3 \pm 10.8$	b	B
木贼镰孢 <i>F. equieti</i>	4.90×10^2	1.32×10^3	1.12×10^3	9.63×10^2	$9.74 \times 10^2 \pm 9.4$	bc	B
禾谷镰孢 <i>F. graminearum</i>	5.06×10^2	6.30×10^2	8.17×10^2	9.58×10^2	$7.28 \times 10^2 \pm 7.07$	bc	B
黄色镰孢 <i>F. culmorum</i>	2.10×10^2	37.8	92.0	0	84.9 ± 4.78	c	B
锐顶镰孢 <i>F. acumintum</i>	32.8	0	0	73.1	26.5 ± 2.95	c	B
其它镰孢 <i>Fusarium. spp</i>	2.49×10^2	1.06×10^2	3.35×10^2	3.58×10^2	$2.62 \times 10^2 \pm 5.34$	c	B

平均值后±数值为标准误,0.05和0.01代表方差分析显著水平。

The numerical value with ± mark after medium value means Standard Error. The numerical value 0.05 and 0.01 mean significance level of variance analysis.

2.5 大豆根际土壤中镰孢菌数量动态

不同轮作系统大豆根际土壤中镰孢菌数量总体动态一致,均从分枝期到鼓粒期上升(图4)。分枝期连作17大豆根际镰孢菌数量略高于轮作,以后均低于轮作。花期连作17年大豆根际土壤中镰孢菌数量为 6.54×10^3 个·g⁻¹干土,是4个轮作系统最低值;轮作大豆根际土壤中镰孢菌数量最高为 1.54×10^4 个·g⁻¹干土,与大豆连作17年相比差异显著($P < 0.05$)。鼓粒期大豆根际镰孢菌数量大豆轮作和连作2年相当,大豆连作17年最低。

2.6 大豆根际土壤中尖孢镰孢数量动态

不同轮作系统大豆根际土壤中尖孢镰孢数量与

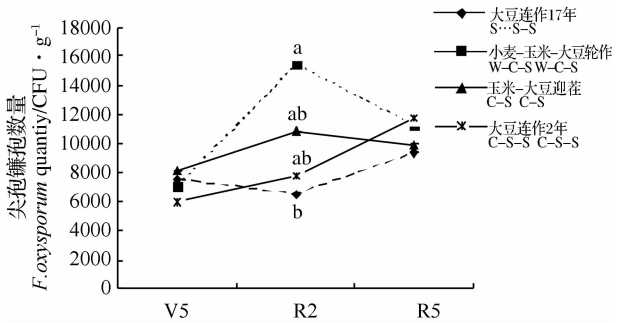


图4 生育期对大豆根际土壤中镰孢菌数量的影响

Fig.4 Effect of soybean growth stage on *Fusarium* quantity in soybean rhizosphere

镰孢菌总量变化趋势一致,均从分枝期到花期减少,花期到鼓粒期上升(图5)。轮作尖孢镰孢数量在3个生育期均高于大豆连作17年,且鼓粒期轮作大豆根际土壤中尖孢镰孢数量最多,不同轮作系统之间差异不显著($P > 0.05$);分枝期迎茬大豆根际尖孢镰孢数量最高,连作2年略高于轮作,花期和鼓粒期轮作尖孢镰孢数量均高于其它3个轮作系统。

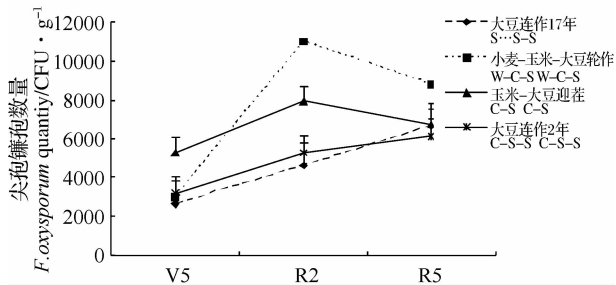


图5 生育期对大豆根际土壤中尖孢镰孢数量的影响

Fig.5 Effect of soybean growth stage on *F. oxysporum* quantity in soybean rhizosphere

3 讨论

3个大豆生育期不同轮作系统大豆根际土壤中共分离鉴定出6种镰孢菌,即锐顶镰孢(*F. acuminatum*)、黄色镰孢(*F. culmorum*)、木贼镰孢(*F. equiseti*)、禾谷镰孢(*F. graminearum*)、尖孢镰孢(*F. oxysporum*)和腐皮镰孢(*F. solani*),尖孢镰孢(*F. oxysporum*)在不同轮作系统3个生育期大豆根际土壤中的数量均较高,此结果与前人报道的黑土区大豆根腐病病原菌主要为尖孢镰孢(*F. oxysporum*)一致^[21-23]。分离鉴定出的锐顶镰孢(*F. acuminatum*)、木贼镰孢(*F. equiseti*)和黄色镰孢(*F. culmorum*)在黑龙江大豆产区为首次报道,而燕麦镰孢(*F. avenae*)和半裸镰孢(*F. semitectum*)在本研究中未分离到,此结果可能与取样地点和范围有关。

黑土区大豆连作1年和连作3年根际优势真菌为镰孢菌(*Fusarium* spp.)^[6,21-24],连作5年大豆根际镰孢菌(*Fusarium* spp.)高于轮作^[6]。本研究结果与此不完全一致,结果表明:分枝期时连作镰孢菌数量高于轮作,但花期和鼓粒期轮作镰孢菌数量均高于连作,且连作2年高于连作17年。陈宏宇等研究表明连作条件下,大豆成熟期根面和根际的真菌

和主要病原菌(镰孢霉 *Fusarium* spp.)大量富集,认为根系分泌物对根面和根际的微生物种群有选择性地促进或抑制作用^[25]。研究结果与此大致相同,在大豆生育后期的鼓粒期大豆根际镰孢菌数量和尖孢镰孢的数量均高于前期,且不同生育期不同轮作系统大豆镰孢菌种群结构变化较大。另外,有报道番茄和小麦对土传尖孢镰孢有选择效应,且这种效应具有植物特异性^[26],不同耕作方式和耕作深度对镰孢菌种群也有一定影响,耕作越深分离到的镰孢菌越少^[27]。由此推断,大豆对尖孢镰孢也可能一定的选择效应,导致土壤中尖孢镰孢大量存在,近而又感染大豆引起根腐病。

致谢:感谢中国科学院海伦农业生态试验站崔云旺站长在采样过程中的帮助,及研究生刁琢、董楠、裴希超和张雷等在采样调查过程中的协助。

参考文献

- [1] 苗淑杰,乔云发,韩晓增. 大豆连作障碍的研究进展[J]. 中国生态农业学报,2007,15(3):203-206. (Miao S J, Qiao Y F, Han X Z. Review of researches on obstacles of continuous cropping of soybean Chinese[J]. Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(3): 203-206.)
- [2] 文景芝,张明厚. 重迎茬大豆根腐病的发生与防治[J]. 大豆通报,1996(3):5-6. (Wen J Z, Zhang M H. Studies on occurrence and defence of soybean root rot disease with alternate and continuous plantings[J]. Soybean Bulletin, 1996(3):5-6.)
- [3] 马汇泉,靳学慧,辛惠普. 大豆根腐病的生态学研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,1992,1:39-43. (Ma H Q, Jin X H, Xin H P, et al. Ecological studies of soybean root rot disease[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 1992, 1:39-43.)
- [4] 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, Zhang 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.)
- [5] 李长松,罗瑞梧,王金龙,等. 山东省大豆根腐病研究与防治[J]. 大豆通报,1995,3:7-8. (Li C S, Luo R W, Wang J L, et al. The studies and cure of soybean root rot disease in Shandong Province[J]. Soybean Bulletin, 1995, 3:7-8.)
- [6] 台莲梅. 大豆根腐病菌(*Fusarium oxysporum*)毒素及其对大豆根部致病作用的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2003:21-36. (Tai L M. Studies on *Fusarium Oxysporum* toxin and its effects on soybean Root[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2003:21-36.)

- [7] 辛普惠, 范文艳. 大豆根腐病的发生与防治技术[J]. 现代化农业, 2003, 8: 20-21. (Xin P H, Fan W F. Studies on occurrence and defence of soybean root rot disease[J]. Modernizing Agriculture, 2003, 8: 20-21.)
- [8] 高同春, 周书其, 王振荣, 等. 大豆根腐病病原物的分离、鉴定及致病性测定[J]. 安徽农业科学, 2002, 20(1): 79-81. (Gao T C, Zhou S Q, Wang Z R, et al. Separation & appraisal & pathogeny determination of soybean root rot pathogens[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2002, 20(1): 79-81.)
- [9] 刘铸德. 大豆根腐病的研究[J]. 中国油料, 1992, 1: 42-44, 49. (Liu Z D. Study on root rot disease of soybean[J]. Chinese of Oil Crop, 1992, 1: 42-44, 49.)
- [10] Alves-Santos F M, Benito E P, Elsava A P, et al. Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* strain from common bean fields in Spain [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65: 3335-3340.
- [11] Gordon T R, Martyn R T. The evolutionary biology of *Fusarium oxysporum* [J]. Annual Review of Phytopathol, 1997, 35: 111-128.
- [12] Postma J, Rattink H. Biological control of *Fusarium* wilt of carnation with flnonpathogenic isolate of *Fusarium oxysporum* [J]. Canadian Journal of Botany, 1992, 70: 1199-1205.
- [13] 李志岗, 宋东辉, 王建明, 等. 耕层土壤镰刀菌单胞系的建立和基因组 DNA 的快速抽提[J]. 山西农业大学学报, 2002, 32(4): 31-34. (Li Z G, Song D H, Wang J M, et al. Establishment of single conidial strains of *Fusarium* and rapid isolation their genomic DNA [J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2002, 32(4): 31-34.)
- [14] 孙志高, 刘景双, 李新华. 三江平原不同土地利用方式下土壤氮库的变化特征[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(3): 270-274. (Sun Z G, Liu J S, Li X H. Changes of nitrogen storage in soil under different land uses in the Sanjiang plain [J]. System Science and Comprehensive Studies in Agriculture, 2008, 24(3): 270-274.)
- [15] Leslie J F, Somervell B A. The *Fusarium* laboratory manual [M]. Blackwell Publishing Professional, Ames, Iowa, USA. 2006.
- [16] 布斯. 镰刀菌[M]. 陈其英, 译. 北京: 农业出版社, 1988: 1-323. (Booth. *Fusarium* [M]. Chen Q Y. Translate. Beijing: Agricultural Press, 1988: 1-323.)
- [17] 吕国忠, 孙晓东, 李贺. 东北地区保护地土壤真菌多样性的研究[J]. 大连民族学院学报, 2006, 1: 6-8. (Lv G Z, Sun X D, Li H. Diversity of soil fungi in protected lands of northeastern China [J]. Journal of Dalian Nationalities University, 2006, 1: 6-8.)
- [18] Booth C. The genus *Fusarium* [M]. Commonwealth Mycological Institute, 1971.
- [19] 王拱辰, 郑重, 叶琪明, 等. 常见镰刀菌鉴定指南[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996. (Wang Z C, Zheng Z, Ye M Q, et al. The judging guide of common *Fusarium* [M]. Beijing: Agricultural Press, 1996.)
- [20] 陈鸿逵, 王拱辰. 浙江镰刀菌志[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991: 1-72. (Chen H K, Wang G C. The *Fusarium* of Zhejiang Province [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1991: 1-72.)
- [21] 王震宇, 王英祥, 陈祖仁, 等. 重茬大豆生长发育障碍机制初探[J]. 大豆科学, 1991, 10(1): 31-36. (Wang Z Y, Wang Y X, Chen Z R, et al. The nature of soybean- soybean cropping [J]. 1991, 10(1): 31-36.)
- [22] 曲德双. 农田土壤碳储量的研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(3): 382-384. (Qu D S. Review of soil carbon sequestration of cropland [J]. System Science and Comprehensive Studies in Agriculture, 2008, 24(3): 382-384.)
- [23] 马汇泉, 靳学慧, 辛惠普. 大豆根腐病的生态学研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 1992, 1: 39-43. (Ma H Q, Jin X H, Xin H P. Ecological studies of soybean root rot disease [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 1992, 1: 39-43.)
- [24] 马汇泉, 郑桂萍, 赵九洲, 等. 大豆连作障碍及产生机理[J]. 土壤, 1997, 1: 46-48. (Ma H Q, Zheng G P, Zhao J Z, et al. The studies of soybean continuous crop and generation mechanism [J]. Soil, 1997, 1: 46-48.)
- [25] 陈宏宇, 李晓鸣, 王敬国. 抗病性不同大豆品种根面及根际微生物区系的变化 II. 连作大豆(重茬)根面及根际微生物区系的变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 104-108. (Chen H Y, Li X M, Wang J G. Change of microflora in the rhizoplane and rhizosphere of different disease resistance soybean cultivars II. Change of microflora in the rhizoplane and rhizosphere of soybean under continuous cropping condition [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(1): 104-108.)
- [26] Edel V, Steinberg C, Gautheron N, et al. Populations of Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* associated with roots of four plant species compared to soilborne populations [J]. Phytopathology, 1997, 87: 693-697.
- [27] Steinkellner S, Langer I. Impact of tillage on the incidence of *Fusarium* spp. in soil [J]. Plant and Soil, 2004, 267: 13-22.