

轮作和连作田大豆胞囊线虫胞囊上真菌定殖动态

陈立杰, 刘晓杰, 段玉玺, 王媛媛, 朱晓峰

(沈阳农业大学植物保护学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:研究沈阳市汪家乡连作6年和轮作大豆田中胞囊数量以及大豆不同生长期胞囊上定殖真菌的种群及数量变化。结果表明:在整个大豆生长期中,不饱满胞囊量高于饱满胞囊量,连作田中胞囊总量、不饱满胞囊量高于轮作田。从胞囊上分离到的真菌以镰孢菌居多,在大豆不同生长期镰孢菌属的分离频率不同,其中尖孢镰孢菌 *Fusarium oxysporum* 为优势种群,且连作田中数量多于轮作田;除镰孢菌属真菌外,轮作田中胞囊上分离到的青霉属和粘帚霉属真菌数量最多,还分离到毛霉属、毛壳菌属和拟青霉属;而连作田中胞囊上分离到的真菌中粘帚霉属数量最多,其他各属真菌的数量都很少,其中轮枝菌属和腐质霉属在轮作田胞囊上未分离到。镰孢菌的定殖数量与胞囊的饱满程度有关,而青霉、粘帚霉和拟青霉等其他真菌种群也影响到胞囊的饱满程度。

关键词:大豆;胞囊;真菌;定殖动态

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2009)02-0266-05

Dynamics of Fungal Colonization on Cyst in Rotation and Continuous Cropping of Soybean

CHEN Li-jie, LIU Xiao-jie, DUAN Yu-xi, WANG Yuan-yuan, ZHU Xiao-feng

(College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, Liaoning, China)

Abstract: The number of cyst and the fungal colonizing on cyst in the fields of rotation and continuous cropping of soybean for six years were studied at Village Wangjia in Shenyang city. The results showed that unplump cysts were more than plump ones in both rotation and continuous fields. While the total numbers of cysts and numbers of unplump cysts isolated from continuous cropping were more than those in rotation field. Among the fungi isolated from cysts *Fusarium* presented the highest isolations. The frequency of isolated *Fusarium* was different in 5 soybean growing stages. *F. oxysporum* was a dominant population and its isolations were more in continuous cropping than those in rotation field. In rotation field, *Penicillium* and *Gliocladium* were another two dominant populations. The other isolated fungi were *Mucor*, *Chaetomium* and *Peecilomyce*. In continuous cropping field, the numbers of *Gliocladium* were higher but others were lower. *Verticillium* and *Humicola* were only isolated from continuous cropping field but not found in rotation field. Our results showed a trend that the numbers of *Fusarium* colonized on cysts were correlated with the numbers of plump cysts among tested samples. The other fungi such as *Penicillium*, *Gliocladium* and *Peecilomyces* affected the plump degree of cysts.

Key words: Soybean; Cyst; Fungi; Dynamic of Colonization

大豆是重要的油料作物,也是植物蛋白质的重要来源;既是大众喜爱的保健食品,更是我国进出口贸易中关键的农产品之一,因此大豆生产在我国国民经济中占有重要的地位。但由于我国各大豆主产区的大面积重迎茬种植问题,使原已存在的大豆胞囊线虫问题更加严重,保守估计连作使大豆减产可达30%~50%,甚至高达70%左右,减产程度与连

作年限呈正相关^[1-3]。有研究认为大豆重迎茬减产的主要原因是根部病虫害严重,连作为根系病虫害提供了赖以生存的寄主和繁殖的场所,使土壤中病原生物数量不断增加^[4],从而使大豆产量和品质降低。

在大豆胞囊线虫的众多天敌中,真菌因其种类繁多和易分离鉴定而倍受人们关注。刘杏忠等

收稿日期:2008-10-13

基金项目:霍英东青年教师基金资助项目(101033);辽宁省优秀人才支持计划资助项目(RC-05-18);科技部成果转化基金资助项目(05EFN212100059)。

作者简介:陈立杰(1971-),女,博士,教授,主要从事植物病理学和线虫学研究。E-mail:chenlj@syau.edu.cn。

研究表明多年连作土壤中引起大豆胞囊线虫种群数量减少的主要原因是生物因子,初步确定为食线虫真菌的作用^[5]。大豆胞囊线虫不同虫态上分离到的真菌已有 125 属 267 个种^[6],众多种类的真菌为线虫病害的生物防治提供了丰富的菌种资源。

通过对辽宁省沈阳市轮作和连作大豆田胞囊上定殖真菌的动态变化进行研究,明确轮作和连作田中大豆胞囊线虫病害的发生与胞囊上真菌区系动态变化的相关性,进而为利用微生物多样性调控线虫病害奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种:辽豆 15,感病品种。

1.2 土样的采集

2007 年在辽宁省沈阳市汪家乡养竹村(41°48' N,123°23'E)大豆田,分别对大豆连作 6 年和轮作田(前茬玉米)中大豆不同生长期(播种期、苗期、花期、结荚期和成熟期)的根围土壤进行采集。

采用 5 点取样法采集大豆田土壤样品:去除表层 5 cm 的土壤,采集大豆根际 5~20 cm 深度的土壤,装入聚乙烯袋中,密封编号记录采集地点、采集日期。称取 200 g 土定量分离,获得胞囊。

1.3 大豆胞囊线虫胞囊的获得

将采集的土样放入加有适量清水的盆中,搅拌均匀,上层悬液过筛(28 目、40 目和 60 目网筛),重复 3 次。弃去上层网筛上的残余物,收集 60 目网筛上的剩余物于烧杯中,贝曼漏斗过滤收集胞囊^[7]。将收集到的胞囊于体视解剖镜下用自制的挑针和毛刷从中挑出新鲜饱满成熟的褐色胞囊和不饱满的胞囊。

1.4 胞囊寄生真菌的分离与纯化

将分离出的胞囊进行表面消毒(0.5% NaOCL)3 min,用无菌水冲洗 3 次,分别放在 PDA 和马丁氏(Martin)培养基上,每皿放有 5~6 个胞囊,每个处理平均放有 30 个胞囊左右。将平板置于 25℃ 条件下培养,长出菌丝后分离纯化,小管保存菌种备用。

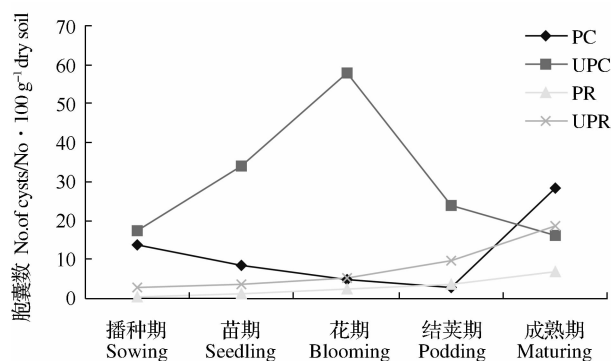
1.5 胞囊上寄生真菌的鉴定

将分离到的真菌放在 MOTIC 光学显微照相系统上拍照鉴定^[8-9]。

2 结果与分析

2.1 轮作和连作田中大豆胞囊线虫胞囊数量的变化

总体趋势而言,试验田土壤中不饱满胞囊数量要多于饱满胞囊数量,连作田土壤中大豆胞囊线虫数量要高于轮作。轮作田中大豆不同生长期土壤中不饱满胞囊数量略高于饱满胞囊数量,且都呈逐渐上升趋势,至成熟期达最高峰;连作田土壤中胞囊数量至大豆花期达到高峰,而饱满胞囊数量至成熟期达到最高(图 1)。



PC:连作饱满;UPC:连作不饱满;PR:轮作饱满;UPR:轮作不饱满

PC:plump cysts in continuous cropping field;UPC:unplump cysts in continuous cropping field;PR:plump cysts in rotation field;UPR:unplump cysts in rotation field

图 1 轮作和连作田大豆不同生长时期胞囊数量变化

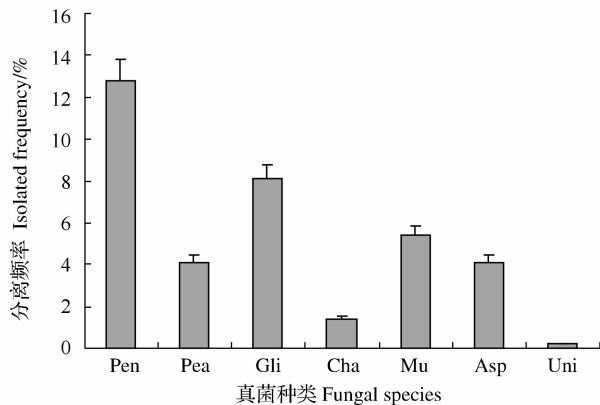
Fig. 1 The quantitative change of cysts in rotation and continuous cropping field at different growing stages of soybean

大豆胞囊线虫成熟后以胞囊的形式存在于土壤中,成熟的褐色胞囊体内的卵孵化或部分卵孵化后,致使胞囊变空或变瘪,或是被微生物寄生形成不饱满胞囊。胞囊饱满与否都与微生物区系有密切关系。同样土壤中胞囊数量的多少也能够反应出大豆幼苗植株根系被寄生的程度。已往研究结果显示连作豆田大豆胞囊线虫数量远高于轮作,这一研究结果也说明连作豆田胞囊总量要高于轮作,而且轮作和连作田不饱满胞囊的数量均高于饱满胞囊的数量(图 1)。在大豆的整个生长期中,连作田土壤中的胞囊总量是轮作田中胞囊总量的 3.83 倍。

2.2 连作和轮作大豆不同生长期土中胞囊上真菌种群及动态变化

2.2.1 轮作大豆不同生长时期土中胞囊上真菌区系分析 在大豆不同生长期取土分离胞囊,分离胞

囊上的真菌。从胞囊上分离到的真菌区系中,主要以镰孢菌属 *Fusarium* 真菌数量为多,占分离菌总数的 64.3%,其次是青霉属 *Penicillium* 真菌达到 12.8%,其他各属包括拟青霉属 *Peacilomyces*、毛壳菌属 *Chaetomium* 和毛霉菌属 *Mucor* 是轮作田胞囊上分离到的特有菌,粘帚霉属 *Gliocladium* 和曲霉属 *Aspergillus* 数量较多但分离频率也低于 10% (图 2)。



Pen: *Penicillium* 青霉属, Pea: *Peacilomyces* 拟青霉属, Gli: *Gliocladium* 粘帚霉属, Cha: *Chaetomium* 毛壳菌属, Mu: *Mucor* 毛霉菌属, Asp: *Aspergillus* 曲霉属, Uni: Unidentified 未鉴定菌

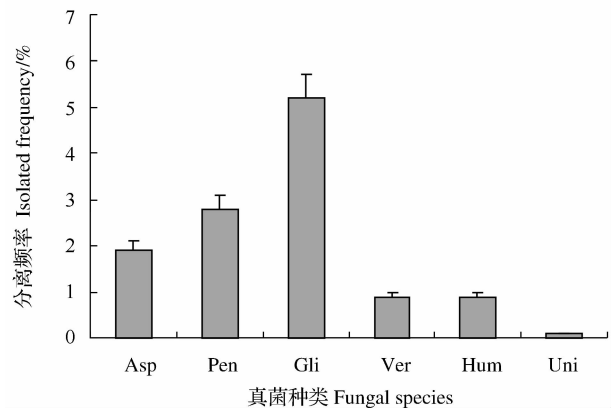
图 2 轮作田胞囊上真菌种类及其分离频率

Fig. 2 The fungal species and its isolation frequency on cysts in rotation field

在分离到的镰孢菌属真菌中,以尖孢镰孢菌 *F. oxysporum* 占优势数量,达到分离菌总数的 37.2%,且分离频率随大豆生长期呈现先上升后下降的正态分布趋势,至花期时达到峰值,平均每个胞囊上有 0.55 株尖孢镰孢菌;其次是半裸镰孢菌,占真菌分离比率的 7.4%,其后是茄病镰孢菌 *F. solani* 和轮枝镰孢菌 *F. verticillioides*,拟炭角镰孢菌 *F. xylarioides* 数量最少,只在播种期时分离获得,占分离频率的 2%。大豆不同发育期胞囊上镰孢菌分离频率在花期最高,其次为播种期和结荚期,而花期和结荚期是胞囊显囊和增殖期,也是真菌定殖的最佳时期,真菌数量多意味胞囊被感染的几率大。

2.2.2 连作大豆不同生长时期土中胞囊上真菌区系分析 在大豆不同生长期,连作田胞囊上分离到的真菌主要有 6 个属,仍以镰孢菌的分离频率为最高达到 88.1%;其他 5 种真菌以粘帚霉属 *Gliocladium* 为多,占分离菌总数的 5.2%,其他各属包括青霉属 *Penicillium*、曲霉属 *Aspergillus*、轮枝霉属 *Verticillium* 和腐质霉属 *Humicola*,真菌数量较少,都低于 5%,其中轮枝霉属 *Verticillium* 和腐质霉属 *Humicola*

是连作田胞囊上分离到的特有属 (图 3)。



Asp: *Aspergillus* 曲霉属, Pen: *Penicillium* 青霉属, Gli: *Gliocladium* 粘帚霉属, Ver: *Verticillium* 轮枝菌属, Hum: *Humicola* 腐质霉属, Uni: Unidentified 未鉴定菌

图 3 连作田胞囊上真菌种类及其分离频率

Fig. 3 The fungal species and its isolation frequency on cysts in continuous cropping field

镰孢菌中以尖孢镰孢菌 *F. oxysporum* 分离频率最高,占分离菌总数的 39.4%,其次是茄腐镰孢菌 *F. solani* 17.8%、轮枝镰孢菌 *F. verticillioides* 14.0% 和拟炭角镰孢菌 *F. xylarioides* 12.7%,远高于轮作胞囊上的分离频率。而禾谷镰孢菌 *F. graminearum* 和半裸镰孢菌 *F. semitectum* 分离频率不足 5%,低于轮作。

尖孢镰孢菌在大豆 5 个发育时期所占的分离比例都很高,尤其在播种期和成熟期为多。而半裸镰孢菌 *F. semitectum* 只在苗期胞囊上分离得到,且分离频率不高;茄病镰孢蓝色变种 *F. solani* var. *coerulenum* 仅在成熟期分离到,而且在轮作田胞囊上没有分离到该菌。在大豆不同生育期土壤中胞囊上镰孢菌的分离频率连作高于与轮作,连作是在播种期和苗期胞囊上镰孢菌的分离频率最高达 93.0% 以上,在结荚期分离频率较低达到 77.2%,但无显著差异,轮作则是在花期达到最高 77.8%,其余各时期分离频率为 56%~65%。

2.2.3 胞囊上真菌种群的动态变化与胞囊积累的关系 结果见表 1,表 2。从连作地胞囊上分离到的真菌中,镰孢菌属真菌总数比轮作田镰孢菌数多 23.8%,两地均以尖孢镰孢菌为主,分离频率达 37% 以上;其次在连作地中,茄病镰孢菌 *F. solani*、轮枝镰孢菌 *F. verticillioides* 和拟炭角镰孢菌 *F. xylarioides* 分离频率均达到 12% 以上,但在轮作地中则无此现象。镰孢菌作为大豆幼苗根腐病的病原

菌,会与大豆胞囊线虫复合侵染大豆造成严重的苗期病害症状,而连作地胞囊上镰孢菌的优势分离频率能够说明什么问题呢?一种可能是镰孢菌在侵染线虫的同时也会通过伤口侵染大豆幼苗根系,相反的可能性同样存在,这也解释了连作地大豆胞囊线虫病害症状重于轮作的自然现象。另外,在连作田中胞囊上粘帚霉属真菌虽多但仅占分离频率的

5.2%,而轮作田中胞囊上青霉属真菌的分离频率达到了10%以上,且存在拟青霉、毛壳菌等几种有益菌,真菌种类的多样性可能为维护根系的微生态平衡发挥了重要作用,也为大豆幼苗的发育提供一定程度的保护,从而避免了由单一真菌如镰孢菌的优势度而造成的对寄主不必要的危害。

表1 轮作田胞囊上镰孢菌种类的分离频率

Table 1 The isolation frequency of *Fusarium* species on cysts in rotation field

| 镰孢菌属 <i>Fusarium</i> | 播种期 Sowing | 苗期 Seedling | 花期 Blooming | 结荚期 Podding | 成熟期 Maturing | 分离频率/% * Isolation frequency |
|---------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|
| 尖孢镰孢菌 <i>F. oxysporum</i> | 0.12 | 0.28 | 0.55 | 0.29 | 0.15 | 37.2 |
| 茄病镰孢菌 <i>F. solani</i> | 0.06 | 0.06 | 0.10 | — | 0.02 | 6.8 |
| 轮枝镰孢菌 <i>F. verticillioides</i> | 0.05 | — | 0.03 | 0.13 | — | 6.8 |
| 拟炭角镰孢菌 <i>F. xylarioides</i> | 0.05 | — | — | — | — | 2.0 |
| 禾谷镰孢菌 <i>F. graminearum</i> | 0.02 | 0.03 | — | 0.02 | 0.06 | 4.1 |
| 半裸镰孢菌 <i>F. semitectum</i> | 0.11 | — | — | 0.04 | 0.04 | 7.4 |
| 分离频率 ** Isolation frequency/% | 65.0 | 56.5 | 77.8 | 62.9 | 56.5 | |

平均每个胞囊上分离的真菌株数 = 各时期分离到不同种类真菌株数/该时期获得的胞囊数, * 分离频率 = (分离到的不同种类真菌株数/分离到的真菌总数) × 100%, ** 分离频率 = (分离的镰孢菌总数/该时期真菌总数) × 100%。

The number of fungi isolated from each cyst = the number of fungi with different species isolated from cysts at different time/ sum of cysts at the same time, * Isolation frequency = (the number of fungus with different species isolated from cysts / sum of fungi isolated from cysts) × 100%, ** Isolation frequency = (the number of *Fusarium* isolated from cysts / sum of fungi isolated from cysts at the same time) × 100%

表2 连作田胞囊上镰孢菌种类的分离频率

Table 2 The isolation frequency of *Fusarium* species on cysts in continuous cropping field

| 镰孢菌属 <i>Fusarium</i> | 播种期 Sowing | 苗期 Seedling | 花期 Blooming | 结荚期 Podding | 成熟期 Maturing | 分离频率 * Isolation frequency/% |
|---|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|
| 尖孢镰孢菌 <i>F. oxysporum</i> | 0.54 | 0.25 | 0.38 | 0.23 | 0.46 | 39.4 |
| 茄病镰孢菌 <i>F. solani</i> | 0.15 | 0.19 | 0.20 | 0.27 | 0.14 | 17.8 |
| 轮枝镰孢菌 <i>F. verticillioides</i> | 0.08 | 0.21 | 0.20 | 0.14 | 0.08 | 14.0 |
| 拟炭角镰孢菌 <i>F. xylarioides</i> | 0.13 | 0.27 | 0.04 | — | 0.08 | 12.7 |
| 禾谷镰孢菌 <i>F. graminearum</i> | 0.03 | — | 0.02 | 0.14 | — | 2.8 |
| 半裸镰孢菌 <i>F. semitectum</i> | — | 0.02 | — | — | — | 0.5 |
| 茄病镰孢蓝色变种 <i>F. solanivar. coeruleum</i> | — | — | — | — | 0.05 | 0.9 |
| 分离频率 ** Isolation frequency/% | 93.4 | 93.8 | 80.0 | 77.2 | 81.1 | |

平均每个胞囊上分离的真菌株数 = 各时期分离到不同种类真菌株数/该时期获得的胞囊数 * 分离频率 = (分离到的不同种类真菌株数/分离到的真菌总数) × 100% ** 分离频率 = (分离的镰孢菌总数/该时期真菌总数) × 100%

The number of fungi isolated from each cyst = the number of fungi with different species isolated from cysts at different time/ sum of cysts at the same time * Isolation frequency = (the number of fungus with different species isolated from cysts / sum of fungi isolated from cysts) × 100% ** Isolation frequency = (the number of *Fusarium* isolated from cysts / sum of fungi isolated from cysts at the same time) × 100%

在大豆的不同生长时期,土壤中不饱满胞囊数量高于饱满胞囊数,且连作田土壤中胞囊的数量一直高于轮作。连作田中大豆花期以前土壤中不饱满胞囊数不断增加,同期镰孢菌数量最多,花期以后,镰孢菌数量逐渐下降,不饱满胞囊量也逐渐下降,表明镰孢菌与不饱满胞囊的形成呈正相关。在轮作田中,镰孢菌在不同时期的分离频率都比连作田中低

且呈正态分布,而其他种类真菌数量多,在一定程度上抑制了饱满胞囊的形成。因此,轮作后期胞囊积累呈逐渐上升态势,但饱满胞囊数量最低,而不饱满胞囊量与连作持平,说明土壤中除镰孢菌外,青霉、粘帚霉、拟青霉和毛壳菌等真菌多样性对胞囊的积累起到抑制作用,多样性真菌维护生态平衡、减轻病害发生的作用要大于单一真菌如镰孢菌。

3 结论和讨论

在大豆的整个生长期中,连作田中胞囊总量高于轮作田胞囊总量,不饱满胞囊量明显高于饱满胞囊量。定殖在胞囊上的真菌有很多,但有些不能在常规培养基上分离培养,试验从胞囊上分离培养的只是出现频率较多的一些常见真菌,其中以镰孢菌的分离频率最高。连作田胞囊上镰孢菌的分离频率高于轮作地,而且在大豆生育前期镰孢菌对胞囊的寄生率远高于轮作,说明镰孢菌与不饱满胞囊的形成有一定相关性。

镰孢菌中主要以尖孢镰孢菌最多,连作田中尖孢镰孢菌数量高于轮作田。陈宗泽等分离连作大豆土壤病原菌也以尖孢镰孢菌为多^[10]。马汇泉^[11]研究表明镰孢菌中尖孢镰孢菌、茄病镰孢菌等都是大豆幼苗根腐病的病原菌,同时研究结果也证明镰孢菌也是定殖于大豆胞囊线虫胞囊上的优势菌,而且其分离频率远高于其他可分离菌,因此镰孢菌使大豆的重茬问题更为复杂。不同大豆田中胞囊上定殖真菌种类数量不同^[12],除镰孢菌属真菌外,轮作田中胞囊上青霉属真菌较多,另外还有拟青霉、毛霉和毛壳菌等多种特有真菌,连作田中粘帚霉属真菌较多但仍低于轮作,其他各属的真菌总数都很少。说明多样性真菌对于抑制饱满胞囊的形成有一定作用。

虽然镰孢菌在土壤和胞囊上的分离频率很高,但基于镰孢菌对大豆的致病性,镰孢菌不适宜做生防菌加以研究;而且在生产实践中,镰孢菌在土壤中一直以优势菌群存在,和大豆胞囊线虫复合感染大豆造成严重苗期根腐病害症状。近年美国的研究报道也认为镰刀菌是寄生胞囊的优势种群^[13],而且镰刀菌的严重危害还造成大豆的幼苗猝死病,相关症状已经引起植病学家的注意^[14]。通过研究轮作和连作田中胞囊上定殖的镰孢菌与胞囊间的关系,认为维护天敌微生物的多样性、避免物种单一化是防治大豆胞囊线虫病害的生态基础。

参考文献

- [1] 陈宗泽,殷勤燕. 大豆连作对土壤微生物生物量的影响[J]. 大豆通报,1997,(6):15 (Chen Z Z, Yin Q Y. The effect of biomass with soil microorganisms under soybean continuous cropping[J]. Soybean Bulletin,1997(6):15.)
- [2] 王金龙,徐冉,陈存来,等. 大豆连作下土壤环境条件变化的概述[J]. 大豆科学,2000,19(4):367-371. (Wang J L, Xu R, Chen C L, et al. General review in the study of barrier mechanism caused by continuous soybean cropping[J]. Soybean Science, 2000,19(4):367-371.)
- [3] 辛洪生,胡瑞轩,张凤彬. 黑龙江省大豆连作施肥技术[J]. 种子世界,2002(1):41-43. (Xin H S, Hu R X, Zhang F B. Technology of fertilization with soybean in Heilongjiang province[J]. Seed World,2002(1):41-43.)
- [4] 郑良永,胡剑非,林昌华,等. 作物连作障碍的产生及防治[J]. 热带农业科学,2005,25(2):58-62. (Zheng L Y, Hu J F, Lin C H, et al. The production of succession cropping obstacles and its prevention and cure steps[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture,2005,25(2):58-62.)
- [5] 孙漫红,刘杏忠. 连作土壤中大豆胞囊线虫种群数量减少的原因探讨[J]. 植物病理学报,30(4):353-363. (Sun M H, Liu X Z. Suppressive soils of soybean cyst nematode in China[J]. Acta Phytopathologica Sinica,2000,30(4):353-363.)
- [6] 陈立杰,段玉玺,范圣长,等. 大豆胞囊线虫病的生防因子研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(增):190-194. (Chen L J, Duan Y X, Fan S C, et al. Advances in antagonists of soybean cyst nematode[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest,2005,33(Supply):190-194.)
- [7] 刘维志. 植物线虫学研究技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1995:47-49. (Liu W Z. Technology for nematological research [M]. Shenyang: Liaoning Science Technology Press, 1995: 47-49.)
- [8] 陆家云. 植物病原真菌学[M]. 北京:中国农业出版社,2000. (Lu J Y. Plant pathogenic fungi[M]. Beijing:Chinese Agricultural Press,2000.)
- [9] 陈鸿逵,王拱辰. 浙江镰刀菌志[M]. 杭州:浙江科技出版社,1992. (Chen H K, Wang G C. Zhejiang *Fusarium*[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press,1992.)
- [10] 陈宗泽,殷勤燕,戴秉丽,等. 连作大豆土壤病原菌的分离及其致病性的研究[J]. 吉林农业科学,1999,24(2):36-39. (Chen Z Z, Yin Q Y, Dai B L, et al. Study on isolation and pathogenicity of soil pathogen in continuous cropping systems of soybean[J]. Jilin Agricultural Sciences,1999,24(2):36-39.)
- [11] 马汇泉. 大豆根腐病病原菌种类及其生物学研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,1988(2):115-121. (Ma H Q. Studies on the ecology of root rot of soybean[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University,1988,(2):115-121.)
- [12] 刘杏忠,张东升,武修英,等. 定殖于大豆胞囊线虫胞囊内真菌的初步研究[J]. 北京农业大学学报,1991,17(3):87-91. (Liu X Z, Zhang D S, Wu X Y, et al. Fungal colonization in cyst on soybean cyst nematode[J]. Journal of Beijing Agriculture University, 1991:17(3):87-91.)
- [13] Chen Z X, Chen S Y, Dickson D W. Nematology-advances and perspectives, Vol(2) Nematode management and utilization[M]. Beijing: Tsinghua University Press, CABI Publishing, 2004: 979-1071.
- [14] Gao X, Jackson T A, Hartman G L, et al. Interactions between the soybean cyst nematode and *Fusarium solani* f. sp. *glycines* based on greenhouse factorial experiments [J]. Phytopathology, 2006, 96: (12):1409-1415.