

抗玉米蚜玉米内生菌的筛选

孙艺昕^{1,2}, 门兴元¹, 李超¹, 于毅¹, 吕素洪¹, 孙廷林¹, 叶保华^{2*}, 李丽莉^{1*}

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所/山东省植物病毒学重点实验室, 济南 250100; 2. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

摘要: 为探索防治玉米蚜的新方法, 从山东省玉米主产区玉米植株上分离获得 61 株内生菌菌株, 室内测定了对玉米蚜的防治效果, 筛选出高效菌株, 并测定了菌株对玉米生长的影响及在玉米植株内的定殖率。结果显示, 白僵菌属菌株 YC1 和链格孢属菌株 GX5 对玉米蚜的防治效果最好, 均为 74.80%, 无虫株率分别为 32.22% 和 55.64%; 接入菌株 YC1 和 GX5 后玉米各组织的生物量均大于对照, 菌株 YC1 处理组的根、茎、叶干重分别增长了 9.64%、15.71% 和 20.51%, 菌株 GX5 处理组的根、茎、叶干重分别增长了 3.88%、8.16% 和 9.14%; 菌株 GX5 在玉米根、茎、叶中的定殖率可以达到 44.23% 以上, 菌株 YC1 在玉米茎中的定殖率可以达到 63.44%, 有较大的应用价值。

关键词: 玉米蚜; 内生菌; 菌株筛选; 白僵菌; 链格孢属

中图分类号: S476.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2019)04-0570-06

Screening of Corn Endophyte Strains against *Rhopalosiphum maidis*

SUN Yixin^{1,2}, MEN Xingyuan¹, LI Chao¹, YU Yi¹, LÜ Suhong¹, SUN Tinglin¹, YE Baohua^{2*}, LI Lili^{1*}

(1. Key Laboratory for Plant Virology of Shandong, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;

2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: To explore new strategies for sustainable control of corn aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) population, 61 endophyte strains were collected from the major corn producing areas in Shandong province, and their control efficacies against *R. maidis* were determined under laboratory conditions to screen the highly effective strains. Meanwhile, the effects and rates of colonization of the strains in different tissues of corn were detected. The results showed that strains YC1 and GX5 had the best control efficacy of 74.80%, with rates of no-damage plants of 32.22% and 55.64%, respectively. The biomass of corn tissues inoculated with stains YC1 and GX5 were higher than the control, dry weight of the root, stem and leaf of the YC1 treatment group increased by 9.64%, 15.71% and 20.51%, respectively, and that of the GX5 treatment group increased by 3.88%, 8.16% and 9.14%, respectively. The colonization rates of strain GX5 in roots, stems and leaves were more than 44.23%, and the colonization rate of YC1 in stems was more than 63.44%. The results show that the strains GX5 and YC1 have great application potential.

Key words: *Rhopalosiphum maidis*; corn endophyte; strain screening; *Beauveria*; *Alternaria*

玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) 属半翅目 Hemiptera, 蚜科 Aphidoidea, 是一种迁飞性、世界性害虫, 种群繁殖力高, 易对农药产生抗性, 在我国大部分地区都有分布^[1,2]。能为害玉米、小麦、高粱和水稻等多种禾谷类作物, 以成、若蚜刺吸植株造成受害, 严重时可造成玉米雄穗无法散粉, 严重影响玉米产量和质量; 同时, 还可传播玉米矮花叶病毒, 分泌的“蜜露”还容易引起煤污病的产生^[2-6]。近年来, 随着作物布局、气候、玉米集约化种植的改变, 玉米蚜的发生为害逐渐加重, 在部分地区猖獗成灾^[1]。由于玉

收稿日期: 2019-01-16

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0200603); 山东省农科院创新工程 (CXGC2019G01, CXGC2016A09)

作者简介: 孙艺昕, 硕士研究生, E-mail: 18763826038@163.com; *通信作者, 李丽莉, 副研究员, E-mail: zbsli3@163.com; 叶保华, 副教授,

E-mail: baohua@sdau.edu.cn。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.04.013

米蚜在玉米植株地上各部分均可受害，防治上只能采用化学防治，防效差且环境破坏严重，生产上急需新的环境友好的防治技术及手段。

植物内生菌分布于没有外在感染症状的健康植物的一定阶段或全部阶段，在各种组织中均可出现，并与宿主植物协同进化。被感染的宿主植物不表现出（至少是暂时不表现）外在病症^[7]，而且还可增强寄主对害虫、病原菌、线虫、盐碱、干旱等的抗性^[8-11]。如 Gurulingappa 等^[12]发现寄生在棉花、菜豆、玉米、小麦、番茄和南瓜等作物中的白僵菌可延缓蚜虫的繁育，处理组中棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 若虫的个数较对照组下降了 50%；Pampapathy 等^[13]分离获得的两株植物内生菌可显著降低棉蚜的繁殖力，增加棉蚜死亡率。

因此，利用植物内生菌对防治玉米蚜具有很大的开发潜力。笔者从实验室保存的 61 株玉米内生菌菌株中筛选出对玉米蚜防治效果好的菌株，并测定了其在玉米植株定植后对玉米生长的影响以及在玉米不同组织中的定殖率，以期对玉米蚜的防治提供新的思路。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试菌株 从山东各玉米主产区采集玉米植株，参照宋海燕等^[14]的方法进行分离、纯化、保存和鉴定。目前共获得玉米内生菌菌株 61 株，采集自山东省 13 个地市，包括 13 个属。菌株种类和采集地点见表 1。菌株均保存于本实验室。

表 1 菌株种类及采集地点
Table 1 Species and collecting locations of strains

种类 Species	菌株个数 Number of strains	采集地点 Collecting locations
链格孢属 <i>Alternaria</i>	19	滨州、德州、菏泽、莱芜、聊城、临沂
镰刀菌属 <i>Fusarium</i>	11	德州、东营、菏泽、聊城
弯孢属 <i>Curvularia</i>	7	济宁、临沂、烟台
黑孢霉属 <i>Nigrospora</i>	6	菏泽、济宁、泰安、烟台
尾孢属 <i>Cercospora</i>	4	德州、临沂、聊城
炭疽菌属 <i>Colletotrichum</i>	3	聊城、日照、莱芜
大斑毛球腔菌属 <i>Setosphaeria</i>	3	德州、威海、淄博
突脐蠕孢属 <i>Exserohilum</i>	2	德州、聊城
白僵菌属 <i>Beauveria</i>	2	菏泽、济宁
青霉属 <i>Penicillium</i>	1	临沂
间座壳属 <i>Diaporthe</i>	1	莱芜
多孔菌属 <i>Schizophyllum</i>	1	济宁
节菱孢霉属 <i>Arthrinium</i>	1	济宁

1.1.2 供试虫源 供试虫源为连续培养 10 代以上的稳定的玉米蚜实验室种群，在温度 23~24 °C、光周期 16L:8D、湿度 80%~90%的人工气候箱内用玉米饲养^[3]。选取健康 4 龄成虫作为供试虫源。

1.1.3 玉米种子和育苗基质 玉米种子选用郑单 958（山东鲁研农业良种有限公司）的无包衣种子，选取大小一致、饱满健康无虫的玉米种子进行试验。育苗基质为山东省鲁青农业有限公司生产的第四代有机配方育苗基质，选用同一批次的产品用于试验。

1.2 抗玉米蚜玉米内生菌的筛选

参照 George 等^[15]的方法配制供试菌株的菌液。参照宋海燕等^[14]的方法，将玉米种子用 75%酒精浸泡 30 s，2%次氯酸钠溶液浸泡 3 min，无菌水冲洗 5 次，进行表面消毒。用灭菌的手术刀划破种皮后在上述菌液中浸种 12 h。将上述玉米种子播种到育苗盘（每孔 6 cm×6 cm×6 cm）中，在温度 25~27 °C，光周期 16L:8D，相对湿度约 50%的人工气候室内培养，每处理 20 株玉米，重复 3 次。

玉米播种后第 4 d（对照组玉米全部出苗，玉米株高 1.5~2.0 cm）观察记录玉米出苗情况并接虫，每

植株接2头蚜虫,用透气、透光的PC圆筒(直径5 cm,高25 cm)将植株罩住。接虫后第3 d观察记录每处理的玉米植株上的蚜虫数量及无虫玉米株数。

由于室内接虫量较小,因此,参照GB/T 17980.15-2000中对蚜虫的防治效果统计方法进行修改,对蚜虫的分级数量进行等比例减少,以分级方法代替计数。分级方法,0级:无蚜虫;1级:1~2头蚜虫;3级:3~4头蚜虫;5级:5~10头蚜虫;7级:11~20头蚜虫;9级:20头蚜虫以上。虫害指数= Σ (各级株数 \times 相对级数值)/(调查总株数 \times 9) \times 100;防治效果(%)=(对照虫害指数-处理虫害指数)/对照虫害指数 \times 100。

1.3 高抗虫内生菌菌株对玉米生长的影响

筛选出的高抗虫玉米内生菌菌株按上述方法浸种,玉米播种后第7 d,将玉米植株从育苗盘中取出,用清水冲洗干净根部杂质,分别测定须根数量、根、茎和叶的长度、鲜重,然后在105℃杀青20 min,然后放入烘箱80℃烘干至恒重后称重^[16]。每处理20株玉米,3次重复。

1.4 高抗虫内生菌菌株在玉米内定殖率的测定

筛选出的高抗虫内生菌菌株按上述方法浸种,玉米播种第7 d,取玉米植株,参照孙艺昕等^[17]方法测定内生菌在玉米植株内的定殖率。

1.5 数据统计与分析

计算每处理的出苗率、无虫株率、防治效果、高抗菌株处理的植株生物量以及菌株定殖率。采用统计软件SPSS 16.0处理,对出苗率、无虫株率、防治效果分别进行单因素方差分析(One-way ANOVA),比较不同菌株之间的差异显著性。对菌株YC1与对照和菌株GX5与对照之间的差异显著性采用 t 检验。对高抗虫性菌株YC1和GX5的定殖率进行单因素方差分析(One-way ANOVA)。

2 结果与分析

2.1 抗玉米蚜玉米内生菌的筛选

综合出苗率、无虫株率和防治效果,菌株YC1(白僵菌属*Beauveria*)和GX5(链格孢属*Alternaria*)的防效最高(均为74.80%),出苗率分别为100%和93.85%,无虫株率分别为32.22%和55.64%。

防治效果达到40%以上的菌株有15株,包括链格孢属*Alternaria*(4株)、弯孢属*Curvularia*(3株)、白僵菌属*Beauveria*(2株)、尾孢属*Cercospora*(2株)、黑孢霉属*Nigrospora*(2株)、炭疽菌属*Colletotrichum*(1株)、镰刀菌属*Fusarium*(1株);防治效果0~40%的菌株有24个,包括链格孢属*Alternaria*(7株)、黑孢霉属*Nigrospora*(3株)、镰刀菌属*Fusarium*(2株)、炭疽菌属*Colletotrichum*(2株)、尾孢属*Cercospora*(2株)、弯孢属*Curvularia*(2株)、大斑毛球腔菌属*Setosphaeria*(2株)、青霉属*Penicillium*(1株)、间座壳属*Diaporthe*(1株)、突脐蠕孢属*Exserohilum*(1株)、多孔菌属*Schizophyllum*(1株);防治效果0以下(比对照蚜虫量增加)的菌株有22个,包括镰刀菌属*Fusarium*(8株)、链格孢属*Alternaria*(8株)、弯孢属*Curvularia*(2株)、节菱孢霉属*Arthrinium*(1株)、黑孢霉属*Nigrospora*(1株)、突脐蠕孢属*Exserohilum*(1株)、大斑毛球腔菌属*Setosphaeria*(1株)(表2)。

2.2 菌株YC1和GX5对玉米生长的影响

菌株YC1处理组的根、茎、叶鲜重比对照分别提高了18.32%、12.59%、10.93%,干重比对照分别提高了9.64%、15.71%、20.51%,YC1处理组叶的干重显著高于对照组,菌株YC1促进玉米叶片干物质积累效果明显;GX5处理组的根、茎、叶鲜重比对照分别提高了11.67%、3.89%、7.49%,干重比对照分别提高3.88%、8.16%、9.14%,且根长比对照增加22.96%,显著高于对照组,促根生长效果明显(表3)。

2.3 菌株YC1和GX5在玉米内定殖率测定

对照定殖率为0.00,即无菌株污染。GX5在玉米根、茎、叶中的定殖率分别为52.78%、49.67%、44.23%,且无显著性差异($F=0.43$, $P=0.67$);YC1在茎中定殖率显著高于根和叶($F=14.41$, $P=0.01$),为63.44%,叶中定殖率为41.78%,根中定殖率最低,为33.23%。对不同处理的玉米同一组织中定殖率进行分析,菌株GX5在玉米根中的定殖率显著高于YC1($F=68.97$, $P=0.00$);菌株YC1和GX5在玉米茎($F=45.44$, $P=0.00$)和叶($F=24.13$, $P=0.01$)中的定殖率差异不显著,但显著高于对照(表4)。

表 2 抗玉米蚜玉米内生菌的筛选
Table 2 Screening of corn endophyte strains against *Rhopalosiphum maidis*

菌株 Strains	鉴定结果 Identification results	出苗率 Emergence rate (%)	无虫株率 Insect-free plants rate (%)	防治效果 Controlling effect (%)
YC1	白僵菌属 <i>Beauveria</i>	100.00±0.00 a	32.22±5.66 ab	74.80±7.77 a
GX5	链格孢属 <i>Alternaria</i>	93.85±2.66 a	55.64±6.86 a	74.80±5.75 a
WC4	尾孢属 <i>Cercospora</i>	75.00±9.57 a	11.11±7.86 ab	74.72±7.47 a
LS8	链格孢属 <i>Alternaria</i>	80.00±7.56 a	50.76±14.98 ab	71.26±20.32 a
RC4	弯孢属 <i>Curvularia</i>	80.00±7.56 a	48.68±8.94 ab	68.50±0 a
JX7	黑孢霉属 <i>Nigrospora</i>	78.33±7.57 a	16.94±6.61 ab	61.50±8.92 a
MY7	弯孢属 <i>Curvularia</i>	81.18±4.36 a	51.47±7.88 ab	61.44±12.97 a
FX6	弯孢属 <i>Curvularia</i>	85.56±4.33 a	44.81±9.73 ab	53.17±4.38 a
LW5	链格孢属 <i>Alternaria</i>	95.00±5.00 a	11.25±6.58 ab	52.90±7.39 a
GX2	尾孢属 <i>Cercospora</i>	93.33±3.19 a	56.44±7.80 a	52.26±8.01 a
GT13	镰刀菌属 <i>Fusarium</i>	85.00±5.00 a	45.00±16.58 ab	47.29±21.71 a
YZ14	黑孢霉属 <i>Nigrospora</i>	80.00±5.48 a	53.96±8.52 ab	47.07±5.76 a
WS	白僵菌属 <i>Beauveria</i>	85.00±5.00 a	23.75±10.28 ab	45.82±10.13 a
LW3	链格孢属 <i>Alternaria</i>	75.00±5.00 a	0.00±0.00 b	42.74±19.06 a
GX3	炭疽菌属 <i>Colletotrichum</i>	100.00±0.00 a	50.00±12.91 ab	42.03±32.28 a
GT14、LW2、GT4、LW7、DP1、 SX7、WL3、FX2、FX5、GT9	镰刀菌属 <i>Fusarium</i> 、间座壳属 <i>Diaporthe</i> 、链格孢属 <i>Alternaria</i> 、黑孢霉属 <i>Nigrospora</i> 、炭疽菌属 <i>Colletotrichum</i> 、青霉属 <i>Penicillium</i> 、尾孢属 <i>Cercospora</i>	65.00~100.00	3.13~47.92	30.00~40.00
FX9、GX4、WC3、LW30、RC3、 FX3	弯孢属 <i>Curvularia</i> 、尾孢属 <i>Cercospora</i> 、大斑毛球腔菌属 <i>Setosphaeria</i> 、炭疽菌属 <i>Colletotrichum</i> 、链格孢属 <i>Alternaria</i>	70.91~100.00	0.00~51.25	20.00~30.00
QH12、QX5、CP3、LW8、JX3、 LY2、WC5、QH6	突脐蠕孢属 <i>Exserohilum</i> 、黑孢霉属 <i>Nigrospora</i> 、镰刀菌属 <i>Fusarium</i> 、链格孢属 <i>Alternaria</i> 、多孔菌属 <i>Schizophyllum</i> 、弯孢属 <i>Curvularia</i>	80.00~100.00	0.00~47.29	0.00~20.00
CP6、SS6、GT15、WC6、SX2、CP13、 FX10、SX5、FX7、GT8、CP32、YY1、 GT1、SX6、CP1、WC7、CP39、ZH19、 SX8、LC1、LJ2、LW21	镰刀菌属 <i>Fusarium</i> 、节菱孢霉属 <i>Arthrinium</i> 、链格孢属 <i>Alternaria</i> 、弯孢属 <i>Curvularia</i> 、黑孢霉属 <i>Nigrospora</i> 、突脐蠕孢属 <i>Exserohilum</i> 、大斑毛球腔菌属 <i>Setosphaeria</i>	57.50~100.00	0.00~51.67	<0.00

注：表中数值为平均值±标准误，同列数据后不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Data were mean±SE, different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level.

表 3 菌株 YC1 和 GX5 对玉米生长的影响
Table 3 Effects of strains YC1 and GX5 on corn growth

生物量测定 Biomass test		CK	YC1	YC1 增长率 Rate of increase (%)	GX5	GX5 增长率 Rate of increase (%)
根 Roots	长度 (cm)	16.61±1.15 b	17.06±0.85 b	2.75	20.42±0.80 a	22.96
	鲜重 (mg)	332.69±24.67 a	393.63±44.33 a	18.32	371.52±29.66 a	11.67
	干重 (mg)	22.86±2.51 a	25.06±1.52 a	9.64	23.75±1.43 a	3.88
	须根数	4.23±0.26 a	4.57±0.31 a	8.05	4.64±0.25 a	9.74
茎 Stems	长度 (cm)	6.52±0.37 a	6.72±0.23 a	2.92	6.74±0.24 a	3.34
	鲜重 (mg)	297.44±25.66 a	334.88±18.71 a	12.59	309.02±30.26 a	3.89
	干重 (mg)	20.69±1.52 a	23.94±1.00 a	15.71	22.38±2.11 a	8.16
叶 Leaves	长度 (cm)	9.27±0.45 a	9.33±0.56 a	0.60	9.34±0.62 a	0.68
	鲜重 (mg)	275.06±14.56 a	305.13±32.50 a	10.93	295.67±10.65 a	7.49
	干重 (mg)	25.98±1.14 b	31.31±3.10 a	20.51	28.36±1.10 b	9.14

注：表中数值为平均值±标准误，同行数据后不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Data were mean±SE, different lowercase letters in the same row indicated significant difference at 0.05 level.

表 4 菌株 YC1 和 GX5 在玉米内的定殖率
Table 4 Colonization rate of the strains YC1 and GX5 in maize (%)

玉米组织 Maize tissues	菌株 Strains		
	CK	GX5	YC1
根 Roots	0.00±0.00 Ac	52.78±2.78 Aa	33.23±4.82 Ab
茎 Stems	0.00±0.00 Ab	49.67±8.33 Aa	63.44±2.02 Ba
叶 Leaves	0.00±0.00 Ab	44.23±7.33 Aa	41.78±4.81 Aa

注：表中数值为平均值±标准误，数据后的不同大小写字母分别表示同一菌株在玉米不同部位和不同菌株在玉米同一部位的定殖率差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Data were mean±SE, different uppercase letters and lowercase letters indicated significant difference of the colonization rate of the same strain in different maize tissues and the different strains in the same maize tissues at 0.05 level.

3 讨论

目前，许多生防菌剂在田间施用中普遍存在持效期短和防效不稳定的问题，主要原因是微生物易受田间自然环境的影响。而植物内生菌与植物在长期的进化过程中已经建立了互惠共生的协同进化关系：一方面，寄主植物为植物内生菌提供稳定的生长环境和营养物质；另一方面，植物内生菌或其产生的代谢产物可以促进寄主植物的生长并帮助寄主植物抵抗环境胁迫和病虫害等^[18]。因此，植物内生菌在生产中的应用潜力更大。

本研究从山东省采集的植物内生菌中筛选出抗玉米蚜的两株高效植物内生菌 YC1 和 GX5，实验室数据显示此两株菌株对玉米出苗无影响，浸种处理后植株上蚜虫数量明显少于对照，抗蚜、趋避作用明显。许多研究发现，植物内生菌可促进寄主植物的生长，使植株健壮，进而提高寄主植物对病虫害等的抗性，如 Gurulingappa 等^[12]发现球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 侵染 20 d 后的小麦地上部分干重提高了 1.60 倍，地下部分干重提高了 2.25 倍，同时该菌株可在很大程度上延缓小麦蝗虫的生长，处理组中蝗虫的体重较对照组减轻了 50%。本研究筛选出的 2 株玉米内生菌菌液浸种后玉米根、茎、叶的长度、鲜重、干重和须根数量都比对照显著增加，促进了玉米植株生长以及干物质的积累。菌株 GX5 处理 7 d 后，玉米植株根长增加明显，比对照增加 22.96%，对玉米根系生长具有显著促进作用，茎、叶长度均比 YC1 促生作用明显，可能是根系的增长增强了植物吸收土壤水分和营养物质的能力，从而促进了玉米的生长。YC1 在促进玉米植株生长方面不如 GX5，但处理 7 d 后，玉米叶片干重比对照提高了 20.51%，玉米植株鲜物质、干物质的积累明显比 GX5 高，这说明不同菌株与玉米互作抗蚜的机制不同，后续将在内生菌与玉米互作机制上继续探究。探明菌株在作物内的定殖情况可以明确其对害虫的防治优势，Parsa 等^[19]研究结果显示，商品白僵菌对大豆喷雾处理后的定殖率为 30% 左右；李晓慧等^[20]对实验室保存的同交配型球孢白僵菌在玉米植株上的定殖率进行了测定，最高的为 33%。本研究筛选出的两株植物内生菌在玉米各组织中的定殖率相对更高，菌株 GX5 在玉米各组织中的定殖率在 44% 以上，YC1 在玉米茎中定殖率达到了 63.44%，因此，在玉米害虫的防治中可有更大的应用价值。

本研究筛选获得了 2 株抗玉米蚜的优良植物内生菌菌株，测定了其对玉米生长的影响，并初步确定了在玉米植株内的定殖能力。后续将在内生菌与玉米互作机制、优化培养条件、优化接种方法等方面进行探究。

参 考 文 献

- [1] 李丽莉, 王振营, 何康来, 等. 转 Bt 基因抗虫玉米对玉米蚜种群增长的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1077-1080.
- [2] 赵曼, 郭线茹, 李为争, 等. 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4707-4714.
- [3] So Y S, Ji H C, Brewbaker J L. Resistance to corn leaf aphid (*Rhopalosiphum maidis* Fitch) in tropical corn (*Zea mays* L.)[J]. Euphytica, 2010, 172(3): 373-381.
- [4] 赵玖华, 尚佑芬, 路兴波, 等. 田间蚜虫消长与玉米矮花叶病流行的相关性研究[J]. 山东农业科学, 2003(1): 30-31.
- [5] Fuchsberg J R, Yong T H, Losey J E, et al. Evaluation of corn leaf aphid (*Rhopalosiphum maidis*; Homoptera: Aphididae) honeydew as a food source for

- the egg parasitoid *Trichogramma ostrinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae)[J]. *Biological Control*, 2007, 40(2): 230-236.
- [6] 王永宏, 苏丽, 仵均祥. 温度对玉米蚜种群增长的影响[J]. *昆虫知识*, 2002, 39(4): 277-280.
- [7] Stone J K, Bacon C W, White J F J. An overview of endophytic microbes: edophytism defined[J]. *Microbial Endophytes*, 2000(3): 29-33.
- [8] Azevedo J L, Maccheroni Jr W, Pereira J O, *et al.* Endophytic microorganisms: a review on insect control and recent advances on tropical plants[J]. *Electronic Journal of Biotechnology*, 2000, 3(1): 40-65.
- [9] Kanda K, Hirai Y, Koga H, *et al.* Endophyte-enhanced resistance in perennial ryegrass and tall fescue to bluegrass webworm[J]. *Japanese Society of Applied Entomology and Zoology*, 1994, 38: 141-145.
- [10] Funk C R, White R H, Breen J P. Importance of *Acremonium* endophytes in turf-grass breeding and management[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1993, 44: 215-232.
- [11] 赵龙飞, 徐亚军, 常佳丽. 轮纹病菌拮抗性大豆根瘤内生菌的筛选、抗性和促生作用[J]. *中国生物防治学报*, 2016, 32(3): 396-405.
- [12] Gurulingappa P, Sword G A, Murdoch G, *et al.* Colonization of crop plants by fungal entomopathogens and their effects on two insect pests when in planta[J]. *Biological Control*, 2010, 55(1): 34-41.
- [13] Pampapathy G, Peter A M, Gregory S. Endophytic *Lecanicillium lecanii* and *Beauveria bassiana* reduce the survival and fecundity of *Aphis gossypii* following contact with conidia and secondary metabolites[J]. *Crop Protection*, 2011, 30: 349-353.
- [14] 宋海燕, 李丽莉, 卢增斌, 等. 山东省不同地区棉花内生真菌的多样性和群落结构分析[J]. *棉花学报*, 2018, 30(5): 363-374.
- [15] George C C, Fanny E C. Studies on the incidence of coniferous needle endophytes in the Pacific Northwest[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1978, 56: 3034-3043.
- [16] 李应德, 闫智臣, 高萍, 等. 摩西球囊霉对紫花苜蓿烟色织孢霉根腐病的影响[J]. *中国生物防治学报*, 2018, 34(4): 598-605.
- [17] 孙艺昕, 门兴元, 李超, 等. 双委夜蛾高致病力球孢白僵菌的筛选及在玉米内定殖率的测定[J]. *中国生物防治学报*, 2019, 35(1): 70-74.
- [18] 文才艺, 吴元华, 田秀玲. 植物内生菌研究进展及其存在的问题[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(2): 86-91.
- [19] Parsa S, Ortiz V, Vega F E. Establishing fungal entomopathogens as endophytes: towards endophytic biological control[J]. *Journal of Visualized Experiments*, 2013, 74: e50360.
- [20] 李晓慧, 汪洋洲, 张军, 等. 不同交配型球孢白僵菌在玉米植株中的定殖及其交配型基因变异比较研究[J]. *中国生物防治学报*, 2014, 30(6): 743-749.