

玉米内生真菌的分离与鉴定

陈晓琳, 韩国民, 杨扬, 黄勃, 樊美珍*

(安徽农业大学生命科学学院, 合肥 230036)

摘要: 对不同品种的玉米种子及不同地区、不同部位的玉米内生真菌进行分离和鉴定。结果显示, 8个不同品种的玉米种子, 内生真菌检出率为 25%, 不同玉米品种的种子内所含的内生真菌种类和数目都不同, 最高的检出率为 40%, 最低的检出率为 10%。从玉米种子中分离得到的 92 个菌株, 经形态学鉴定, 分别属于 14 个属, 出现频率最高的是木霉属, 为 34.78%。从不同地区的玉米组织中一共分离得到内生真菌 168 株, 其中 10 株未产孢的没有鉴定, 其他菌株经形态学鉴定分别属于 26 个属, 以青霉属、曲霉属、头孢霉属为主, 占内生真菌分离物总数的 41.07%。对形态学鉴定为白僵菌属的 10 个菌株进行分子鉴定, 均确定为球孢白僵菌(*Beauveria bassiana*)。此外, 球孢白僵菌作为玉米的内生真菌, 在国内还是首次分离得到。

关键词: 内生真菌; 玉米; 球孢白僵菌

中图分类号: S182

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)06-0892-06

Separation and identification of endophytic fungi from *Zea mays*

CHEN Xiaolin, HAN Guomin, YANG Yang, HUANG Bo, FAN Meizhen

(School of Life Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: Endophytic fungi were isolated from *Zea mays* cultivated in different growing regions. Endophytic fungi in seeds of eight tested commercial corn varieties were found to account for 25% in average, varying from 10% to 40%. The number of fungi and fungal species were different in different corn varieties. Ninety-two fungal isolates were obtained from the corn seeds. These fungi belong to 14 genera based on their morphology. The highest proportion of these fungal species belongs to the genus *Trichoderma*, accounting for 34.78%. There were 168 fungi isolated from the corn seedlings cultivated in different regions. Most of the fungi were identified with the exception of 10 sterile isolates. The genera *Penicillium*, *Aspergillus*, and *Cephalosporium* accounted for 41.07%. Of those, 10 isolates that were identified by morphological identification as *Beauveria bassiana* were further identified by molecular method. It is the first report in China that *Beauveria bassiana* was isolated from maize and can live in maize plants.

Key words: entophytic fungi; *Zea mays*; *Beauveria bassiana*

据国家统计局发布的统计数字表明, 2012 年全国玉米产量为 20812 万 t, 增产 1534 万 t, 玉米产量超过稻谷产量 383 万 t, 成为我国第一大粮食作物品种^[1]。植物内生真菌存在普遍性和多样性。玉米与其内生真菌之间具有十分复杂的关系, 有互利共生关系, 也有对宿主微害的寄生关系^[2], 这些关系会随着环境的变化而改变, 影响玉米的生长和生活状态, 直接导致玉米产量的改变。已发现内生菌对宿主植物至少有几个方面的有益作用: 固氮作

用(主要是内生细菌)、促植物生长(如分泌 IAA 等植物生长激素物质)、抗逆境(如干旱等)、抗动物(昆虫、线虫、食草哺乳动物等)摄食、抗病原真菌和细菌以及其他感作用等^[3-5]。另外植物内生菌可产生丰富多样的具生物活性的代谢产物^[6-7]。因此植物内生菌既有理论研究的广度和深度, 又有多方面的应用潜力, 是个潜力巨大、尚待开发的微生物新资源。

本实验通过对玉米种子及根、茎、叶、叶柄等不同部位的内生真菌进行分离和鉴定, 从而初步了

收稿日期: 2015-04-03

作者简介: 陈晓琳, 副教授。E-mail: cxlzyx@ahau.edu.cn

* 通信作者: 樊美珍, 教授, 博士生导师。E-mail: mzf@ahau.edu.cn

解玉米植株内部的主要内生真菌的数目和种类以及内生真菌与宿主的相互作用, 以期为进一步开发利用有益内生真菌提供基础。

1 材料与方 法

1.1 材料

1.1.1 玉米 玉米种子: 登海 9 号, 鲁单 50, 单 981, 皖玉 8 号, 安玉 5 号, 郑单 958, 豫玉 22, 豫玉 25, 从市场购买。

玉米植株: 供试玉米样品采自安徽合肥、淮南、宿州、蒙城、亳州以及北京市郊区、黑龙江佳木斯、吉林省吉林市等地。

1.1.2 供试培养基 PDA 培养基, 加入抗生素(青霉素 200 IU·mL⁻¹、链霉素 150 IU·mL⁻¹)的 PDA 培养基, SDAY 培养基, 白僵菌选择性培养基。

1.2 方法

1.2.1 表面消毒 将采集的玉米不同生长时期的标本材料用自来水冲洗, 擦干, 酒精浸泡 1 min, 有效氯为 1% 的次氯酸钠溶液浸泡 5 min, 无菌水漂洗 3 次。

1.2.2 内生真菌的分离和纯化 在超净工作台上, 无菌操作, 取进行表面消毒处理后的材料, 用无菌吸水纸吸干水分。将根、茎从中间剖开, 剪成 0.3~0.5 cm³ 的小块, 叶、苞叶剪成 0.3 cm × 0.3 cm 小片, 雄花穗、雌花穗剪成 0.5~1.0 cm 的小段, 种子剖成两半。将各样品分别接入加抗生素的 PDA 平板上和

白僵菌选择性平板上, 置于 25℃ 培养箱中恒温培养 3~20 d。当材料周围长出放射状菌丝体或种子表面有霉层时, 将菌丝或霉层移入 PDA 培养基中进行纯化。以最后一次漂洗的无菌水涂平板作为对照。

1.2.3 内生真菌的鉴定 菌落形态观察: 将纯化后的菌落接种至 PDA 培养基培养, 在培养过程中定期观察、记录菌落形状、质地、颜色以及生长速度等情况。

显微鉴定: 从培养一定时间的菌落上挑取菌丝及繁殖体制片, 或通过插片培养法观察真菌菌丝的形态特征。用显微镜观察菌丝、分生孢子梗和分生孢子的形状、大小、颜色等或其它繁殖体形态。依据真菌的形态分类学原理进行鉴定, 初步确定各菌株的分类地位^[8-10]。

分子鉴定: 采用改良的 CTAB 法提取菌丝体总 DNA, 使用引物 ITS1 (5'-TCC GTA GGT GAA CCT GCG G-3') 和 ITS4 (5'-TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC-3') 进行 PCR 扩增, 扩增产物送上海生物工程技术有限公司测序。

2 结果与分析

2.1 不同玉米种子内生真菌的分离结果

本试验一共选用了 8 个品种的玉米种子, 每个品种的玉米种子选用 50 粒。共分离到 92 个菌株, 内生真菌检出率为 25%。

表 1 不同品种玉米种子内生真菌的检出率

Table 1 The colonization rates of endophytic fungi in seeds of different maize varieties

| 玉米品种 Maize variety | 内生真菌数量 Number of endophytic fungi | 检出率/% Colonization rate |
|---------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 登海 9 号 Denghai No.9 | 6 | 12 ^{DE} |
| 鲁单 50 Ludan 50 | 18 | 36 ^{AB} |
| 鲁单 981 Ludan 981 | 20 | 40 ^A |
| 皖玉 8 号 Wanyu No.8 | 7 | 14 ^{DE} |
| 郑单 958 Zhengdan 958 | 8 | 16 ^D |
| 豫玉 22 Yuyu 22 | 16 | 32 ^B |
| 豫玉 25 Yuyu 25 | 5 | 10 ^E |
| 安玉 5 号 Anyu No.5 | 12 | 24 ^C |

注: 不同大写字母表示差异显著 ($P < 0.01$), 相同的字母表示差异不显著。

Note: Different capital letters represent significant difference, while the same letter represents no significant difference at the 0.01 level.

从表 1 中可看出, 不同玉米品种的种子内所含的内生真菌数目都不同, 鲁单 981 的内生真菌数目最多, 分离出 20 个, 检出率为 40%; 其次是鲁单 50、豫玉 22, 分离出 18、16 个, 检出率分别为 36%、32%; 豫玉 25 的内生真菌最少, 分离出 5 个, 检

率为 10%。这可能与不同玉米品种种子的自身性质、种子贮存方式等条件有关。

从玉米种子中分离得到的 92 个菌株, 经形态学鉴定出 87 株(表 2), 分别属于 14 个属, 为青霉属 (*Penicillium*)、曲霉属 (*Aspergillus*)、头孢霉属

(*Cephalosporium*)、木霉属 (*Trichoderma*)、串珠霉属 (*Monilia*)、侧孢霉属 (*Sporotrichum*)、棒孢霉属 (*Corynespora*)、卵形孢霉属 (*Oospora*)、镰孢霉属 (*Fusarium*)、壳色多隔孢属 (*Hendersoniia*)、痂圆孢属 (*Sphaceloma*)、根霉属 (*Rhizopus*)、茎点菌属 (*Phloma*)、交链孢属 (*Alternaria*)，鉴定出的菌株全部属于半知菌类。另外 5 个菌株由于不产分生孢子，仅从形态学特征很难鉴定出来，因此归于无孢菌目无孢菌群^[11]。不同品种玉米种子分离得

到的内生真菌分布并不均匀，每种玉米种子至少有 3 种内生真菌，最多有 6 种内生真菌。此外鉴定出的 87 株菌株中出现频率最高的是木霉属，为 34.78%；其次是根霉属，出现频率为 10.87%；出现频率最低的是卵形孢霉属、茎点菌属、壳色多隔孢属、痂圆孢属，都为 1.09%。不同内生真菌在玉米种子中出现的频率也不相同，这可能与玉米生长过程中多种环境因素有关。

表 2 内生真菌类群在玉米种子中的出现频率
Table 2 The frequency of the endophytic fungi in maize seeds

| 内生真菌 Endophytic fungi | 玉米品种 Maize variety | 数目 Number | 频率/% Frequency |
|----------------------------|---------------------------------------|--------------|-------------------|
| 棒孢霉属 <i>Corynespora</i> | 登海 9 号、鲁单 50、豫玉 25、皖玉 8 号 | 8 | 8.70 |
| 侧孢霉属 <i>Sporotrichum</i> | 豫玉 22、登海 9 号 | 2 | 2.17 |
| 卵形孢霉属 <i>Oospora</i> | 鲁单 50 | 1 | 1.09 |
| 串珠霉属 <i>Monilia</i> | 鲁单 50、郑单 958、豫玉 25、鲁单 981 | 7 | 7.61 |
| 木霉属 <i>Trichoderma</i> | 郑单 958、鲁单 50、豫玉 25、豫玉 22、豫玉 22、皖玉 8 号 | 32 | 34.78 |
| 曲霉属 <i>Aspergillus</i> | 鲁单 50、安玉 5 号 | 2 | 2.17 |
| 茎点菌属 <i>Phloma</i> | 鲁单 981 | 1 | 1.09 |
| 交链孢属 <i>Alternaria</i> | 鲁单 981、安玉 5 号 | 8 | 8.70 |
| 根霉属 <i>Rhizopus</i> | 鲁单 981 | 10 | 10.87 |
| 壳色多隔孢属 <i>Hendersoniia</i> | 豫玉 22 | 1 | 1.09 |
| 镰孢霉属 <i>Fusarium</i> | 豫玉 22 | 2 | 2.17 |
| 痂圆孢属 <i>Sphaceloma</i> | 安玉 5 号 | 1 | 1.09 |
| 青霉属 <i>Penicillium</i> | 安玉 5 号 | 9 | 9.78 |
| 头孢霉属 <i>Cephalosporium</i> | 郑单 958、豫玉 22、皖玉 8 号、鲁单 981 | 4 | 4.35 |

表 3 玉米植株中内生真菌类群的分布比例
Table 3 Proportion of endophytes in maize seedlings

| 内生真菌 Endophytic fungi | 分离数/株 Number of isolates | 分离频率/% Isolation frequency | 内生真菌 Endophytic fungi | 分离数/株 Number of isolates | 分离频率/% Isolation frequency |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 青霉属 <i>Penicillium</i> | 33 | 19.64 | 单端孢霉属 <i>Didymopsis</i> | 2 | 1.19 |
| 曲霉属 <i>Aspergillus</i> | 19 | 11.31 | 串珠霉属 <i>Monilia</i> | 2 | 1.19 |
| 头孢霉属 <i>Cephalosporium</i> | 17 | 10.12 | 小卵孢霉属 <i>Ovularia</i> | 2 | 1.19 |
| 毛霉属 <i>Mucor</i> | 14 | 8.33 | 短蠕孢霉属 <i>Brachysporium</i> | 2 | 1.19 |
| 地霉属 <i>Geotrichum</i> | 13 | 7.74 | 粘帚霉属 <i>Gliocladium</i> | 1 | 0.60 |
| 梨孢霉属 <i>Phricularia</i> | 7 | 4.17 | 镰孢霉属 <i>Fusarium</i> | 1 | 0.60 |
| 木霉属 <i>Trichoderma</i> | 5 | 2.98 | 圆孢毛盘菌属 <i>Sphaerospora</i> | 1 | 0.60 |
| 毛轴霉属 <i>Trichosporium</i> | 5 | 2.98 | 葡萄孢属 <i>Botrytis</i> | 1 | 0.60 |
| 卵形孢霉属 <i>Oospora</i> | 5 | 2.98 | 扁孢锈菌属 <i>Pileolaria</i> | 1 | 0.60 |
| 轮枝孢属 <i>Verticillium</i> | 4 | 2.38 | 枝孢霉属 <i>Helicodendron</i> | 1 | 0.60 |
| 小尾孢霉属 <i>Cercospora</i> | 4 | 2.38 | 葡萄状穗霉属 <i>Stachybotrys</i> | 1 | 0.60 |
| 交链孢霉属 <i>Alternaria</i> | 3 | 1.79 | 白僵菌属 <i>Beauveria</i> | 10 | 5.95 |
| 根霉属 <i>Rhizopus</i> | 2 | 1.19 | 无孢菌目无孢菌群 <i>Mycelia sterilia</i> | 10 | 5.95 |
| 短梗霉属 <i>Dicoccum</i> | 2 | 1.19 | 总菌株数 Total isolated strains | 168 | |

表 4 各主要真菌类型在玉米各器官的分布比例
Table 4 Proportion of major endophytes in different organs of maize seedlings %

| 器官 Organ | 青霉属 <i>Penicillium</i> | 曲霉属 <i>Aspergillus</i> | 头孢霉属 <i>Cephalosporium</i> | 毛霉属 <i>Mucor</i> | 地霉属 <i>Geotrichum</i> | 白僵菌属 <i>Beauveria</i> |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| 叶 Leaf | 42 | 26 | 24 | 21 | 31 | 0 |
| 根 Root | 15 | 37 | 29 | 50 | 31 | 0 |
| 茎 Stem | 0 | 0 | 6.0 | 14 | 15 | 40 |
| 未成熟种子 Immature seed | 6.5 | 26 | 0 | 0 | 15 | 30 |
| 雄花 Staminate flower | 3.0 | 11 | 29 | 7.5 | 0 | 0 |
| 雌花 Pistillate flower | 24 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 苞片 Bract | 9.5 | 0 | 0 | 7.5 | 8.0 | 30 |

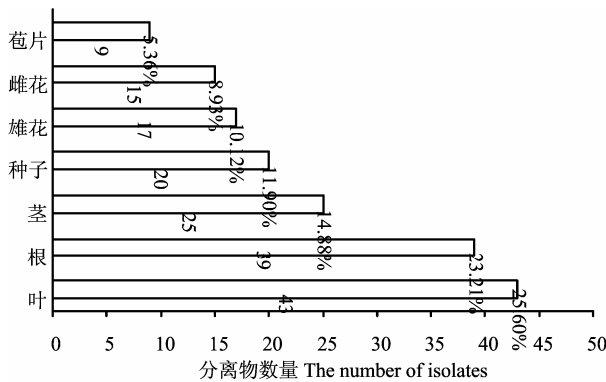


图 1 玉米各器官内生真菌数目及比例

Figure 1 Number and proportion of endophytes in different organs of maize seedlings

2.2 玉米植株不同组织中内生真菌的分离和鉴定

从采自安徽合肥、淮南、宿州、蒙城、亳州、北京市、黑龙江佳木斯、吉林省吉林市等地的玉米植株中一共分离得到内生真菌 168 株，其中，10 株未产孢的归于无孢菌目无孢菌群，其他菌株经鉴定分别属于 26 个属 (表 3)，即青霉属(*Penicillium*)、曲霉属(*Aspergillus*)、头孢霉属(*Cephalosporium*)、毛霉属 (*Mucor*)、地霉属(*Geotrichum*)、白僵菌属 (*Beauveria*)、梨孢霉属 (*Phricularia*)、木霉属 (*Trichoderma*)、毛轴霉属 (*Trichosporium*)、卵形

胞霉属 (*Oospora*)、轮枝孢属 (*Verticillium*)、小尾孢霉属 (*Cercospora*)、交链孢霉属 (*Alternaria*)、根霉属 (*Rhizopus*)、短梗霉属 (*Dicoccum*)、单端孢霉属 (*Didymopsis*)、串珠霉属 (*Monilia*)、小卵孢霉属 (*Ovularia*)、短蠕孢霉属 (*Brachysporium*)、粘帚霉属 (*Gliocladium*)、镰孢霉属 (*Fusarium*)、圆孢毛盘菌属 (*Sphaerospora*)、葡萄孢属 (*Botrytis*)、扁孢锈菌属 (*Pileolaria*)、枝孢霉属 (*Helicodendron*) 和葡萄状穗霉属 (*Stachybotrys*)。内生真菌种类以青霉属、曲霉属、头孢霉属为主，占内生真菌分离物总数的 41.07%。在玉米组织的微环境中，不同的内生菌相互作用，并建立一种平衡，在植物体内形成一种相对稳定的真菌菌群，如青霉属、曲霉属、头孢霉属为分离率高、数量大的优势菌种，枝孢霉属、葡萄状穗霉属等为稀有种。这种特异性是在共同进化中形成的，是植物的遗传、生理、代谢产物与微生物的营养要求和生理代谢等相互适应的结果 [12]。植物与其体内的微生物在长期进化过程中不可避免地组成一种相互依存、相互制约的关系，形成互惠共生体。在这种共生体中，植物为内生真菌提供光合产物和矿物质，内生真菌的代谢物能刺激植物的生长发育和提高植物对病虫害及环境胁迫的抗性。

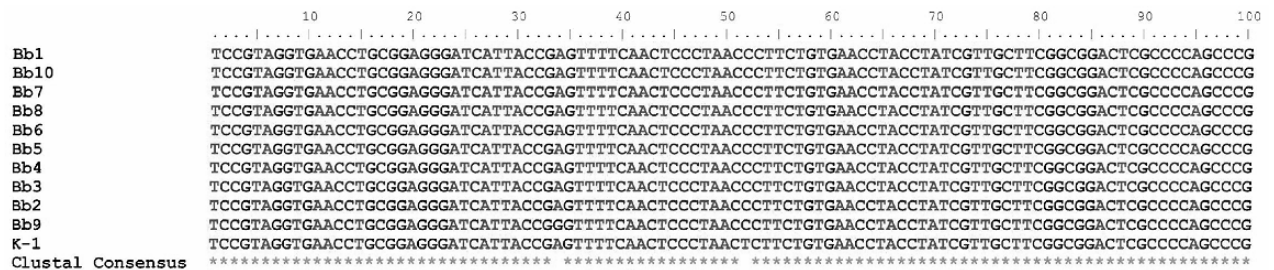


图 2 内生白僵菌 11 个菌株 ITS 区部分序列比较

Figure 2 Sequence difference in ITS region among the 11 isolated endophytic *Beauveria*

在分离到的玉米内生真菌中，没有在根、茎、叶、雄花、雌花、苞片、未成熟种子各器官组织都

广泛存在的菌株 (表 4)，这可能是与玉米不同器官组织的结构以及所处微环境的通气状况、酶和其它

化学成分不同而适合不同的内生真菌入侵、生长^[13]。

从玉米不同组织器官得到的内生真菌分离物数量不同(图1),叶最多,根次之,随后依次是茎、种子、雌花、雄花,苞片中的内生真菌最少。玉米

的叶片表面积大,作为C4植物的有机物合成场所光合效率高,可积累较多的淀粉和蔗糖,为内生真菌提供了充足的碳源、氮源和生存空间。而苞片为幼嫩的组织,所含内生真菌较老叶类型少。

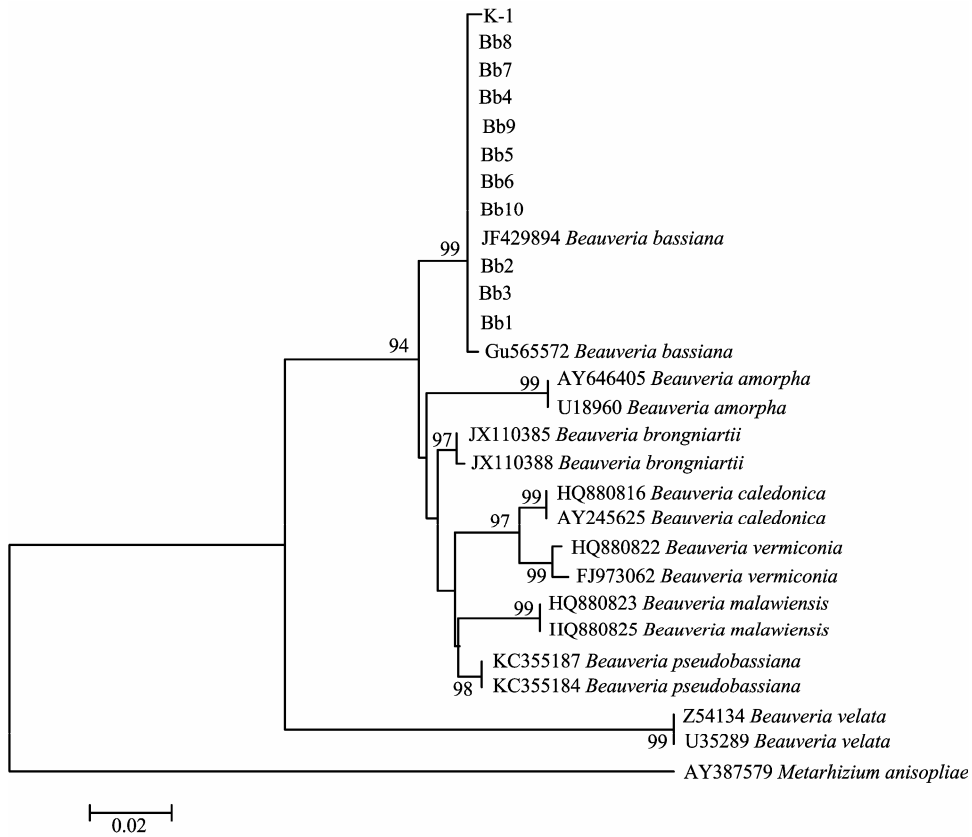


图3 内生白僵菌亲缘关系进化树
Figure 3 Phylogenetic tree of endophytic Beauveria

2.3 分子鉴定

将分离自玉米,形态学鉴定为白僵菌属 Beauveria 的10个菌株,以及分离自苦楝的内生白僵菌 K-1 菌株(安徽省微生物防治重点实验室分离并保存)用真菌通用引物 ITS1/ITS4 进行 rDNA ITS 的 PCR 扩增,并 ITS PCR 扩增产物进行测序,将测序结果去除载体引物序列后拼接成完整的核苷酸序列,其大小均为 569 bp,用序列分析软件 BioEdit 对所测的 11 个菌株进行分析,发现 9 个菌株碱基序列完全相同, Bb9 和 K-1 菌株与其他 9 个菌株只有一个碱基不同(图2)。将所得序列在 GenBank 核酸序列数据库中进行 BLAST 搜索,发现测试菌株的 ITS 区域与已报道的球孢白僵菌 Beauveria bassiana 和有性型 Codyceps bassiana 的同源性最高,多数达 100%。利用软件分析,采用邻接法构建了进化树(图3),结合其形态学特征,因此确定该 11 个内生白僵菌为球孢白僵菌(B. bassiana)。

3 讨论

3.1 内生真菌的分离

目前,内生真菌研究的基本步骤为:植物组织的表面消毒,在选择性培养基上培养植物组织,内生真菌的分离和纯化,根据经典形态学方法鉴定菌种。所以内生真菌的分离与鉴定仍然存在几个方面的问题:

(1) 分离不完全:即使用不同的选择性培养基来培养植物组织,也不能保证所有生活在植物体内的真菌全部被分离出来,可能有的内生真菌不能在人工培养基上生长。另外,虽然在分离培养基中加入一些抑制真菌生长的化学物质,但是还是有一些生长缓慢的真菌被快速生长的菌物所覆盖,同样不能分离到这类生长缓慢的真菌。本文中分离得到的 10 株玉米内生球孢白僵菌就是利用球孢白僵菌选择性平板分离得到的,尽管培养基中有一些抑制真

菌生长的化学抑制剂, 但仍然有一些较球孢白僵菌长得快的真菌存在, 影响了分离。

(2) 表面消毒不完善: 所有植物内生菌的分离都必须经过表面消毒这一步骤, 但研究人员所采用的各种消毒方法的消毒效果都是相对的, 而不是绝对的。消毒不彻底会导致外源菌物混入内生菌物之中, 这样分离到的就不一定是真正的内生菌, 从而不能准确地确定内生菌群; 而消毒过于彻底, 特别是植物的叶片、花瓣、花蕊等部分比较薄, 一部分内生菌也可能被杀死, 致使得到的内生菌群不够全面, 内生菌丢失。

3.2 玉米内生真菌的多样性

玉米内生真菌应该和其他植物一样具有物种多样性、遗传多样性、器官多样性、生育期多样性等。本论文分离玉米内生真菌时由于没有定量分离, 所以结果并不能代表玉米内生真菌的真实情况。虽然无法比较, 但从一定程度上反映多样性。

3.3 球孢白僵菌与植物内生真菌

球孢白僵菌不仅是一种昆虫病原真菌, 也是植物的内生真菌。从 20 个世纪 90 年代开始, 国内外学者已陆续在西红柿、马铃薯、棉花、苍耳、曼陀罗、鹅耳枥、松树、罂粟、咖啡、玉米等植物体内分离到球孢白僵菌^[14-16]。但在国内, 作为内生真菌, 单淑芳^[17]首次从苦楝中分离到球孢白僵菌, 其他植物内生真菌至今未见有分离得到球孢白僵菌的报道。本研究从玉米中分离到内生球孢白僵菌, 不是在 PDA 培养基上分离得到的, 是利用球孢白僵菌选择性平板分离得到的, 尽管培养基中有一些抑制真菌生长的化学抑制剂, 但仍然有一些较球孢白僵菌长得快的真菌存在, 影响了分离。

球孢白僵菌作为玉米的内生真菌, 在国内还是首次分离得到。另外在安徽合肥、淮南、宿州、蒙城、亳州及黑龙江佳木斯等地的玉米植株中和 8 个不同品种的玉米种子中都没有分离得到球孢白僵菌, 只在吉林省吉林市的玉米植株中分离得到, 这可能是因为吉林省 20 世纪 50 年代开始就使用白僵菌防治大豆食心虫, 从 70 年代开始就一直采用白僵菌封垛防治玉米螟^[18], 长期的使用导致球孢白僵菌与玉米之间形成了一定的互惠共生关系, 成为玉米的内生真菌, 所以仅在吉林省吉林市的玉米植株中分离得到球孢白僵菌。

参考文献:

- [1] 张春雷. 玉米成为我国第一大粮食作物品种[J]. 农产品市场周刊, 2012(47): 12.
- [2] 姚领爱, 胡之璧, 王莉莉, 等. 植物内生菌与宿主关系研究进展[J]. 生态环境学报, 2010(7): 1750-1754.
- [3] 邹文欣, 谭仁祥. 植物内生菌研究新进展[J]. 植物学报, 2001(9): 881-892.
- [4] Harzallah D, Sadrati N, Zerroug A, et al. Endophytic fungi isolated from wheat (*Triticum durum* Desf.): evaluation of their antimicrobial activity, antioxidant activity and host growth promotion[J]. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, 2012, 77(3): 245-248.
- [5] Varma A, Savita V, Sudha N, et al. *Piriformospora indica*, a cultivable plant-growth-promoting root endophyte[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65(6): 2741-2744.
- [6] 华永丽, 欧阳少林, 陈美兰, 等. 药用植物内生真菌研究进展[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2008(4): 105-111.
- [7] Stierle A, Strobel G, Stierle D. Taxol and taxane production by *Taxomyces andreanae*, an endophytic fungus of *Pacific yew*[J]. Science, 1993, 260: 214-216.
- [8] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [9] 中国科学院微生物研究所. 常见与常用真菌[M]. 北京: 科学出版社, 1973.
- [10] 戴芳澜. 真菌的形态和分类[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [11] 袁保红, 杜青平, 邓祖军. 小连翘内生真菌种群分布及其抗菌性研究[J]. 广东药学院学报, 2007, 23(3): 307-311.
- [12] 袁秀英, 石林, 胡达古拉, 等. 胡杨根际真菌与内生真菌多样性研究[J]. 西北林学院学报, 2007(6): 85-88.
- [13] 谢丽华, 徐焰平, 王国红, 等. 茶树品种、叶片生育期和茶叶化学成份对内生真菌的影响[J]. 菌物研究, 2006, 4(3): 35-41.
- [14] Bing L A, Lewis L C. Temporal relationships between *Zea mays*, *Ostrinia nubilalis* (Lep.: Pyralidae) and endophytic *Beauveria bassiana*[J]. Entomophaga, 1992, 37: 525-536.
- [15] Ganley R J, Newcombe G. Fungal endophytes in seeds and needles of *Pinus monticola* [J]. Mycological Research, 2005, 110: 318-327.
- [16] Quesada-Moraga E, Landa B B, Munoz-Ledesma J, et al. Endophytic colonisation of opium poppy, *Papaver somniferum*, by an entomopathogenic *Beauveria bassiana* strain[J]. Mycopathologia, 2006, 161(5): 323-329.
- [17] 单淑芳. 苦楝内生真菌生物多样性及其代谢产物生物活性的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2009.
- [18] 谭云峰, 田志来. 吉林省白僵菌生产应用回顾与目前存在的问题[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.