

# 球孢白僵菌( *Beauveria bassiana* )培养特征多样性与寄主及地理来源的相关性分析

王成树 黄 勃 王四宝 樊美珍 李增智\*

( 安徽农业大学经济昆虫菌物研究所, 合肥 230036 )

摘要: 球孢白僵菌不同菌株微观萌发特征及宏观培养特性表现出高度的多样性。2个性状集团经主成分分析后, 得到微观萌发特征的主因子为单芽管萌发孢子比例、芽管总平均长度及芽管整齐度; 宏观培养性状的主因子分别为察氏培养基上的菌落颜色、菌落基质颜色、菌落生长速率及液体培养液的 pH 值。由主因子指标进行典型相关分析, 两性状集团总体相关不显著(  $p = 0.1378$  ), 但菌落生长速率与单芽管萌发孢子比例及芽管总平均长度表现出显著的相关性。由主因子指标进行的聚类及 Shannon-Wiener 多样性指数统计表明, 相同地理来源菌株间的相似性程度高于相同分离寄主间的菌株相似性。

关键词: 球孢白僵菌, 培养特征, 地理来源, 寄主昆虫

中图分类号: Q938 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2002)02-0196-06

## Diversity of culture characteristics of *Beauveria bassiana* and the analysis of strain association with insect host and geographic origin

WANG Cheng-Shu, HUANG Bo, WANG Si-Bao, FAN Mei-Zhen, LI Zeng-Zhi\*  
Institute of Economic Insects and Fungi, Anhui Agricultural University, Hefei 230036

**Abstract:** High diversities of micro-germination traits and macro-colony growth characteristics proved to exist between different strains of *Beauveria bassiana*. After principal component analysis of these two index groups, the main micro-factors were determined to be the ratio of single germ tube germination spores, the average length of germ tubes and their length variance coefficient. The main macro-factors included colony color, colony base color, colony growth rate and the final pH value after growth in SDY liquid medium for 72 hours. No significant correlation was observed between the micro- and macro- main factor groups after canonical analysis (  $p = 0.1378$  ). However among them, the colony growth rate was found to be significantly correlated with average germination tube length and the ratio of single germ tube germination spores. Based on the main factors of each strain, cluster analysis was performed to differentiate each of them into sub-groups. Each sub-group's diversity index was then calculated according to strain geographic origin and original parasitic insect host respectively. The results of comparing Shannon-Wiener diversity indices indicated that strains from the same geographic location had higher similarity than those with the same insect host order.

**Key words:** *Beauveria bassiana*, cultural characteristics, geographic location, insect host

球孢白僵菌( *Beauveria bassiana* )是一种重要的昆虫病原真菌, 在我国用于大面积地防治马尾松毛虫( *Dendrolimus punctatus* ), 曾取得过良好的防治效果及显著的经济、生态及社会效益。随着化学农药

所引起的环境问题的突出, 虫生真菌在害虫生物防治中正扮演着越来越重要的角色( Feng *et al.*, 1994 )。

微观形态及宏观特征是传统真菌分类学的重要

基金项目: 国家“九五”攻关课题( 96-005-04-02-03 )  
收稿日期: 2001-07-16; 接受日期: 2001-12-10  
作者简介: 王成树, 男, 1969 年出生, 副教授, 主要从事虫生真菌的分子生物学和分子生态学研究。E-mail: C. S. Wang@swansea.ac.uk  
\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zzli@mail.ahau.cn

依据 ,传统分类学在引入不断发展的分子生物学手段后 ,两者分种( 型 )的结果往往并不完全相同 ,所以分类标准如何进行规范是现代分类学家需要解决的问题。Glare & Inwood ( 1998 )将采自新西兰的白僵菌不同菌株( 种 )从形态学上仅分为球孢白僵菌和卵孢白僵菌( *B. brongniartii* )2 种 ,但与外来标准种经 RAPD-PCR 分析后认为新西兰境内至少还应包括多形白僵菌( *B. amorpha* )、蠕孢白僵菌( *B. vermiconia* )、粘孢白僵菌( *B. velata* )和苏格兰白僵菌( *B. caledonica* )。定性研究发现 ,不同菌落性状的双孢蘑菇( *Agaricus bisporus* ) ,其绒毛型( fluffy )和子座型( stromatal )菌株间的菌丝分枝形态有很大差异( Heath *et al.* , 1995 )。扫描电镜或荧光染色观察发现 ,球孢白僵菌高毒菌株在棉铃虫( *Heliothis zea* )幼虫体壁上短暂生长即形成入侵结构 ,而低毒菌株在幼虫体壁上产生细长的匍匐菌丝( 翟锦彬 ,黄秀梨 , 1997 ) ,说明菌株侵染特征差异与毒力差异之间存在关联性。Sitch 等( 1997 )观察发现 ,经过相同的时间后 ,蜡蚧轮枝孢( *Verticillium lecanii* )在敏感寄主体壁上表现为萌芽管短粗 ,而在抗性寄主体壁上表现为细长生长。球孢白僵菌不同菌株孢子在人工培养基上 24 小时后有单芽管型、双芽管型甚至三芽管型的萌发形态 ,不同特征与菌株毒力之间存在显著

相关性( 王成树等 ,1998a ) ,所以虫生真菌的萌发形态与菌株的生理、生态等特征之间存在着相关性。

本文将球孢白僵菌的不同培养特性编码后 ,由主成分分析得到主效因子 ,再由主效因子分析种群宏观特征与微观形态之间的相关性及菌株亲缘关系的生态决定因素。

1 材料与方法

1.1 菌株及培养基

实验供试球孢白僵菌菌株共 22 株 ,其寄主种类及地理来源见表 1。菌株培养所用 SDAY 及察氏培养基按常规配制。

1.2 菌落特征描述

不同菌株的宏观培养特征包括在察氏培养基上培养 1 个月后的菌落颜色、基质颜色、菌落形态 ,在 SDAY 培养基上的菌落生长速率 ,在 SDY 液体培养基( 不含琼脂的 SDAY )中生长 72 小时后的 pH 值及液体基质颜色。参照色谱得到不同颜色的色级 ,再将不同颜色由浅到深顺序排列 ,按多态顺序编码法( Ordered multistate character )将最浅的颜色( 雪白色 )定为 1 ,以后每增加一级增加 1 ,这样得到不同颜色的编码( 徐克学 ,1994 )。菌落产孢情况共分为 5 级 ,将很少产孢的绒状菌丝型编码为 1 ,富集产孢型

表 1 不同供试菌株的寄主及地理来源  
Table 1 Insect hosts and geographic location of test strains

| 序号 No. | 菌株 Strains | 寄主 Insect hosts                                  | 采集地 Geographic origins              |
|--------|------------|--|-------------------------------------|
| 1      | Bb2        | 马尾松毛虫 Lepidoptera : <i>Dendrolimus punctatus</i> | 安徽宣城 Xuancheng , Anhui , China      |
| 2      | Bb4        | 马尾松毛虫 Lepidoptera : <i>Dendrolimus punctatus</i> | 安徽宣城 Xuancheng , Anhui , China      |
| 3      | Bb13       | 马尾松毛虫 Lepidoptera : <i>Dendrolimus punctatus</i> | 安徽霍邱 Huoqiu , Anhui , China         |
| 4      | Bb46       | 角蝉 Homoptera : Membracidae                       | 贵州宽阔水 Kuankuoshui , Guizhou , China |
| 5      | Bb55       | 鳞翅目幼虫 Lepidoptera                                | 贵州宽阔水 Kuankuoshui , Guizhou , China |
| 6      | Bb59       | 苹果蠹蛾 Lepidoptera : <i>Amphicerus hamatus</i>     | 美国 USA                              |
| 7      | Bb61       | 鳞翅目幼虫 Lepidoptera                                | 前南斯拉夫 Former Yugoslavia             |
| 8      | Bb73       | 蜡象 Hemiptera : Pentatomidae                      | 安徽牯牛降 Guniujiang , Anhui , China    |
| 9      | Bb76       | 蚊 Hymenoptera : Formicidae                       | 安徽牯牛降 Guniujiang , Anhui , China    |
| 10     | Bb77       | 角蝉 Homoptera : Membracidae                       | 安徽牯牛降 Guniujiang , Anhui , China    |
| 11     | Bb88       | 象甲 Coleoptera : Curculionidae                    | 安徽牯牛降 Guniujiang , Anhui , China    |
| 12     | Bb112      | 鳞翅目幼虫 Lepidoptera                                | 安徽岳西 Yuexi , Anhui , China          |
| 13     | Bb114      | 角蝉 Homoptera : Membracidae                       | 安徽岳西 Yuexi , Anhui , China          |
| 14     | Bb121      | 象甲 Coleoptera : Curculionidae                    | 安徽岳西 Yuexi , Anhui , China          |
| 15     | 5S03       | 泥蜂 Hymenoptera : <i>Ammophila</i> sp.            | 陕西咸阳 Xianyang , Shaanxi , China     |
| 16     | Dm05       | 蚊 Hymenoptera : Formicidae                       | 安徽潜山 Qianshan , Anhui , China       |
| 17     | Dm10       | 角蝉 Homoptera : Membracidae                       | 安徽潜山 Qianshan , Anhui , China       |
| 18     | Dm12       | 蜡 Hemiptera : Pentatomidae                       | 安徽潜山 Qianshan , Anhui , China       |
| 19     | M4         | 象甲 Coleoptera : Curculionidae                    | 安徽宣城 Xuancheng , Anhui , China      |
| 20     | M8         | 蜡象 Hemiptera : Pentatomidae                      | 安徽宣城 Xuancheng , Anhui , China      |
| 21     | M15        | 松灰象甲 Coleoptera : <i>Brachyderes incanus</i>     | 安徽宣城 Xuancheng , Anhui , China      |
| 22     | M35        | 蚊 Hymenoptera : Formicidae                       | 安徽宣城 Xuancheng , Anhui , China      |

编码为 5。于是菌株培养特征共得到 6 个描述指标。

1.3 孢子萌发特征

取不同菌株孢子于 0.5% Tween-80 溶液中配成 10<sup>6</sup> 个孢子/mL 孢悬液,取 0.1 mL 于 SDAY 平板涂布均匀,25 ± 1℃ 下培养 24 小时后,计数单芽管型萌发孢子的比率,测定单芽管长度。对于双芽管萌发型,分别测量两条芽管的长度,计算各自平均长度及芽管总平均长度,由总平均长度及其标准差得到变异系数( $CV = S/\bar{x}$ )作为芽管的整齐度。由双芽管型的长芽管平均长与短芽管平均长得到两者的差值( $L - S$ ),于是对孢子的萌发形态共得到了 7 个描述参数。每个菌株共随机计数 50 个孢子。

1.4 统计方法

将不同菌株的培养特征指标和孢子萌发形态参数作为 2 个性状集团(characteristic group)分别进行主成分分析,得到每个性状集团的主因子指标。由主因子指标进行典型相关分析(canonical analysis)(唐启义,冯明光,1997),以检验 2 个集团间的相关显著性。由菌株微观及宏观主因子指标进行聚类分

析,根据聚类结果对各个亚组分别按相同地理来源和相同目分离寄主计算各组的 Shannon-Wiener 多样性指数(Shannon & Wiener, 1949),从而分析来源不同的球孢白僵菌种群结构。

2 结果与讨论

2.1 微观及宏观培养特征多样性

观察及测定结果表明,来源不同的球孢白僵菌菌株在孢子萌发形态及培养特征上均有不同程度的差异(表 2,表 3),表现出高度的多样性。微观特征中,以各菌株间的孢子在接种 24 小时后孢子萌发芽管类型差异最大,如 Bb13 主要为双芽管萌发型(91.38%),而 Bb77、Dm05、Dm10 及 Dm12 95% 以上为单芽管萌发型(表 2)。这与以前的报道相类似,白僵菌中有些菌株还可以产生三芽管萌发类型(王成树等,1998a)。宏观形态中,各菌株在菌落特征上差异较大,即大部分菌株表现为孢子型( $y_3 \geq 4$ ),而部分菌株表现为产孢量少的绒状菌丝型( $y_3 = 1$ )(表 3)。球孢白僵菌菌株间培养特征的差异本质上反映了球孢白僵菌种群的遗传多样性。虫生真

表 2 球孢白僵菌不同菌株的孢子萌发特征  
Table 2 Characteristics of germinated spores of *Beauveria bassiana* after 24 hours

| 菌株<br>Strains | 单芽管孢子<br>比例<br>Ratio of<br>single tube<br>spores<br>( $x_1$ ) | 单芽管平<br>均长度<br>Average length<br>of single tube<br>( $\mu\text{m}$ , $x_2$ ) | 长芽管<br>平均长度*<br>Average<br>length of<br>longer tube<br>( $\mu\text{m}$ , $x_3$ ) | 短芽管<br>平均长度*<br>Average<br>length of<br>shorter tube<br>( $\mu\text{m}$ , $x_4$ ) | 芽管总平均<br>长度<br>Average<br>length of<br>germ tube<br>( $\mu\text{m}$ , $x_5$ ) | ( $L - S$ )*<br>Shortage<br>between<br>longer and<br>shorter tube<br>( $\mu\text{m}$ , $x_6$ ) | 芽管整齐度<br>Variance<br>coefficient<br>of tube length<br>( $x_7$ ) |
|---------------|---|--|--|---|---|--|---|
| Bb2           | 21.83 ± 3.49  | 8.09 ± 2.97  | 11.83 ± 3.82   | 4.58 ± 2.62   | 8.21 ± 4.36   | 7.24   | 0.5311  |
| Bb4           | 22.24 ± 2.78  | 9.43 ± 3.80  | 15.00 ± 5.47   | 5.04 ± 3.27   | 9.89 ± 6.20   | 9.96   | 0.6268  |
| Bb13          | 8.62 ± 1.66   | 19.03 ± 10.90  | 24.45 ± 8.91   | 10.95 ± 7.28  | 18.08 ± 10.64   | 13.50  | 0.5885  |
| Bb46          | 68.05 ± 6.45  | 7.51 ± 4.17  | 8.63 ± 3.10  | 2.43 ± 1.19   | 6.50 ± 4.13   | 6.20   | 0.6354  |
| Bb55          | 77.98 ± 3.15  | 12.23 ± 5.10   | 12.69 ± 4.46   | 3.39 ± 2.26   | 9.58 ± 3.92   | 9.30   | 0.6180  |
| Bb59          | 20.86 ± 8.59  | 9.55 ± 4.41  | 16.78 ± 4.87   | 3.67 ± 1.99   | 10.06 ± 1.89  | 13.11  | 0.6848  |
| Bb61          | 48.94 ± 2.18  | 10.50 ± 3.52   | 12.95 ± 3.37   | 4.46 ± 2.44   | 9.23 ± 4.81   | 8.49   | 0.5211  |
| Bb73          | 41.42 ± 3.30  | 9.62 ± 5.09  | 14.12 ± 3.03   | 3.53 ± 1.97   | 9.14 ± 6.27   | 10.59  | 0.6860  |
| Bb76          | 44.63 ± 6.96  | 10.53 ± 5.09   | 16.14 ± 6.69   | 7.74 ± 5.21   | 11.42 ± 6.63  | 8.40   | 0.5806  |
| Bb77          | 96.93 ± 1.81  | 3.63 ± 1.09  | 7.86 ± 2.99  | 2.65 ± 1.29   | 4.64 ± 2.92   | 5.21   | 0.6293  |
| Bb88          | 23.39 ± 5.31  | 9.02 ± 3.58  | 11.27 ± 7.80   | 3.36 ± 1.66   | 7.88 ± 4.59   | 7.918  | 0.5825  |
| Bb112         | 16.02 ± 1.87  | 8.08 ± 2.78  | 17.39 ± 8.60   | 6.01 ± 3.97   | 10.52 ± 9.55  | 11.38  | 0.9078  |
| Bb114         | 81.99 ± 2.26  | 8.35 ± 4.43  | 8.78 ± 4.15  | 3.30 ± 2.88   | 6.79 ± 4.59   | 5.48   | 0.6760  |
| Bb121         | 66.14 ± 1.34  | 10.69 ± 5.41   | 15.06 ± 6.74   | 5.23 ± 3.68   | 10.33 ± 5.93  | 9.83   | 0.5741  |
| 5S03          | 45.56 ± 3.58  | 10.55 ± 4.64   | 14.07 ± 4.64   | 4.51 ± 2.77   | 9.68 ± 5.72   | 9.56   | 0.5909  |
| Dm05          | 99.08 ± 0.67  | 5.89 ± 3.55  | 7.75 ± 1.71  | 1.63 ± 0.48   | 5.70 ± 3.53   | 6.12   | 0.6193  |
| Dm10          | 99.15 ± 1.18  | 5.10 ± 3.00  | 11.96 ± 5.90   | 3.08 ± 2.82   | 5.94 ± 4.59   | 8.88   | 0.7727  |
| Dm12          | 97.50 ± 2.08  | 6.72 ± 3.83  | 12.96 ± 6.36   | 4.63 ± 3.07   | 8.00 ± 5.69   | 8.33   | 0.7113  |
| M4            | 75.39 ± 5.47  | 4.46 ± 1.67  | 7.00 ± 2.22  | 2.64 ± 1.96   | 4.70 ± 2.63   | 4.36   | 0.5596  |
| M8            | 77.16 ± 2.56  | 6.95 ± 2.54  | 10.08 ± 2.99   | 5.17 ± 2.41   | 7.43 ± 3.34   | 4.91   | 0.4501  |
| M15           | 14.08 ± 1.43  | 7.65 ± 2.26  | 14.47 ± 5.81   | 4.71 ± 3.04   | 8.96 ± 5.75   | 9.76   | 0.6417  |
| M35           | 79.63 ± 4.15  | 3.72 ± 1.89  | 7.53 ± 2.14  | 2.85 ± 1.59   | 4.74 ± 2.79   | 4.68   | 0.5886  |

\* 指双芽管型萌发孢子 Germinated spores with two germ tubes

表 3 球孢白僵菌不同菌株的培养特征  
Table 3 Cultural characteristics of different strains of *Beauveria bassiana*

| 菌株<br>Strains | 菌落颜色编码<br>Colony color<br>code ( y1 ) | 菌落基质颜色编码<br>Color code<br>of colony<br>bases ( y2 ) | 菌落形态编码<br>Code of colony<br>morphs ( y3 ) | 培养液颜色编码<br>Color code of<br>liquid<br>medium ( y4 ) | 培养液 pH<br>pH value of<br>liquid<br>medium ( y5 ) | 生长速率<br>Growth<br>rate<br>( mm/d )( y6 ) |
|---------------|---------------------------------------|---|---|---|--|--|
| Bb2           | 1                                     | 5   | 3   | 3   | 3. 69  | 1. 22                                    |
| Bb4           | 1                                     | 6   | 4   | 2   | 3. 62  | 1. 09                                    |
| Bb13          | 1                                     | 4   | 4   | 3   | 3. 92  | 1. 49                                    |
| Bb46          | 1                                     | 6   | 4   | 5   | 3. 47  | 1. 28                                    |
| Bb55          | 3                                     | 1   | 3   | 5   | 3. 28  | 0. 86                                    |
| Bb59          | 1                                     | 3   | 4   | 3   | 3. 82  | 1. 06                                    |
| Bb61          | 2                                     | 3   | 4   | 2   | 3. 66  | 1. 15                                    |
| Bb73          | 2                                     | 3   | 4   | 6   | 3. 51  | 0. 94                                    |
| Bb76          | 1                                     | 3   | 1   | 3   | 3. 90  | 1. 12                                    |
| Bb77          | 2                                     | 1   | 4   | 3   | 4. 48  | 0. 97                                    |
| Bb88          | 2                                     | 7   | 3   | 1   | 3. 47  | 1. 45                                    |
| Bb112         | 2                                     | 1   | 1   | 3   | 3. 73  | 1. 19                                    |
| Bb114         | 1                                     | 5   | 4   | 4   | 3. 23  | 1. 03                                    |
| Bb121         | 3                                     | 6   | 3   | 3   | 3. 92  | 0. 88                                    |
| 5S03          | 1                                     | 2   | 5   | 3   | 3. 77  | 1. 02                                    |
| Dm05          | 2                                     | 4   | 1   | 3   | 4. 06  | 1. 08                                    |
| Dm10          | 1                                     | 6   | 1   | 3   | 3. 70  | 1. 12                                    |
| Dm12          | 1                                     | 1   | 4   | 3   | 3. 59  | 0. 98                                    |
| M4            | 2                                     | 7   | 3   | 3   | 3. 41  | 1. 01                                    |
| M8            | 2                                     | 2   | 1   | 3   | 2. 83  | 1. 18                                    |
| M15           | 4                                     | 7   | 3   | 3   | 3. 92  | 1. 08                                    |
| M35           | 2                                     | 2   | 2   | 3   | 3. 79  | 1. 05                                    |

菌的多样性还反映在次生代谢物类型及微循环产孢方式等方面( 梁宗琦 ,1996 )。研究表明不仅不同虫生真菌菌株间存在表型及遗传多样性 ,甚至同一菌株不同单孢子株间也存在着较大的遗传差异 ,表现为单孢子株间的配对不亲和( 梁宗琦 & Fox ,1997 )。RAPD 分析表明分离自同一菌株的白僵菌不同单孢子株及局变分离株间的遗传相似率在 63. 6% ~ 99. 3% 之间波动 ,变化较大( 李增智等 ,1998 )。球孢白僵菌种群高度的遗传多样性经不同的分子生物学分析方法均得到证明( 王成树等 ,1999 )。

2.2 主因子组成及性状集团的相关性

对 2 个性状集团进行主成分分析 ,以因子累积贡献率大于 93% 为标准( 唐启义 ,冯明光 ,1997 ) ,得到球孢白僵菌孢子微观萌发性状的主因子分别为单芽管萌发孢子比例(  $x_1$  )、芽管总平均长度(  $x_5$  )及芽管整齐度(  $x_7$  ) ;宏观培养性状的主因子分别为固体培养的菌落颜色(  $y_1$  )、菌落基质颜色(  $y_2$  )、菌落生长速率(  $y_6$  )及液体培养液的 pH 值(  $y_5$  )( 表 4 )。以主因子进行典型相关分析 ,得到 2 性状集团相关不

表 4 入选主因子间的相关系数矩阵  
Table 4 Correlation coefficients among the selected main factors

| 指标 Indices | $x_1$       | $x_5$      | $x_7$     |
|------------|-------------|------------|-----------|
| $y_1$      | - 0. 0066   | - 0. 1099  | - 0. 1017 |
| $y_2$      | - 0. 2162   | - 0. 08491 | - 0. 1602 |
| $y_5$      | - 0. 07137  | 0. 0951    | 0. 1966   |
| $y_6$      | - 0. 7906 * | 0. 6659 *  | - 0. 1085 |

\* 表示达相关显著水平(  $P < 0. 05$  ) Means significant level  $P < 0. 05$

显著(  $p = 0. 1378$  ) ,但从入选主因子的相关系数矩阵看出 ,宏观性状生长速率(  $y_6$  )与微观性状中的单芽管型孢子比例(  $x_1$  )及芽管总平均长度(  $x_5$  )的相关显著( 表 4 )。丝状真菌的孢子在不同介质上的萌发行 为差异可以反映出菌株宏观特征和特性的不同。双孢蘑菇萌发菌丝尖端分支方式不同可分别形成子座型、绒状型菌落或角变子( sector )( Heath *et al.* , 1995 )。研究报道表明 ,虫生真菌孢子萌芽管的入侵方式与病原真菌的寄主专化性( host specificity )之间存在关联性( Sitch & Jackson , 1997 ; Butt *et al.* , 1995 )。本文所测定的球孢白僵菌孢子 24 小

时萌芽管长度与菌落生长速率显著正相关,即菌丝生长快,则其集合体菌落生长也越快。菌落生长速率与单芽管萌发孢子比例呈显著负相关的机理还值得进一步研究。宏观形态中的颜色特征、培养液最终 pH 值与微观因子  $x_1$ 、 $x_5$  及  $x_7$  均没有显著关联性,可能与这些指标由多因子综合决定有关。

3 菌株关联性分析

由 2 个性状集团的入选主因子作为各个菌株培养特征的描述指标,由近邻法( nearest-neighbor )聚类分析得到不同菌株间的亲缘关系远近,在类间距离约为 15 的水平上,主要可分为 4 组( 图 1 )。对各个组的 Shannon-Wiener 多样性指数分析表明,相同地理来源的菌株平均多样性指数小于相同目分离寄主的多样性指数( 表 5 ),即相同地理来源菌株间的差异性程度小于相同目分离寄主菌株间的差异性。由不同分析技术分析昆虫兼性寄生菌的种群结构曾有 3 种不同的研究结论:第一,认为菌株间的亲缘关系取决于地理分布,即来源于相同或相邻地区的菌

株具有更大的遗传或表型相似性( Feagan *et al.* , 1993 ; St Leger *et al.* , 1992 ; Pipe *et al.* , 1995 ; Leal *et al.* , 1994 ; 王成树等 , 1998b , 2000 ) ; 第二种观点认为菌株间亲缘关系与寄主种类有关,即相同分离寄主的菌株间亲缘关系更近( Maurer *et al.* , 1997 ; Urtz & Rice , 1997 ) ; 第三种实验结果认为菌株间的亲缘关系与地理来源及初始分离寄主种类均无相关性( Bidochka *et al.* , 1994 ; Cantone & Vandenberg , 1998 ; Tigano-Milani *et al.* , 1995 ; Berretta *et al.* , 1998 ; Chew *et al.* , 1998 ) 。其中第一种结论已逐渐为多数人所接受,认为物种在相同的生态条件下其演化过程相近。对于兼性寄生菌来说,寄主选择也是其进化的生态压力之一,并从而使其表现出一定的寄主专化性。但当寄主种群结构发生改变时,虫生真菌又具备转移寄主( host-jumping )而寄生的能力( Nikoh & Fukatsu , 2000 )。本文由菌株培养特征指标分析球孢白僵菌种群的研究结果支持第一种研究结论。

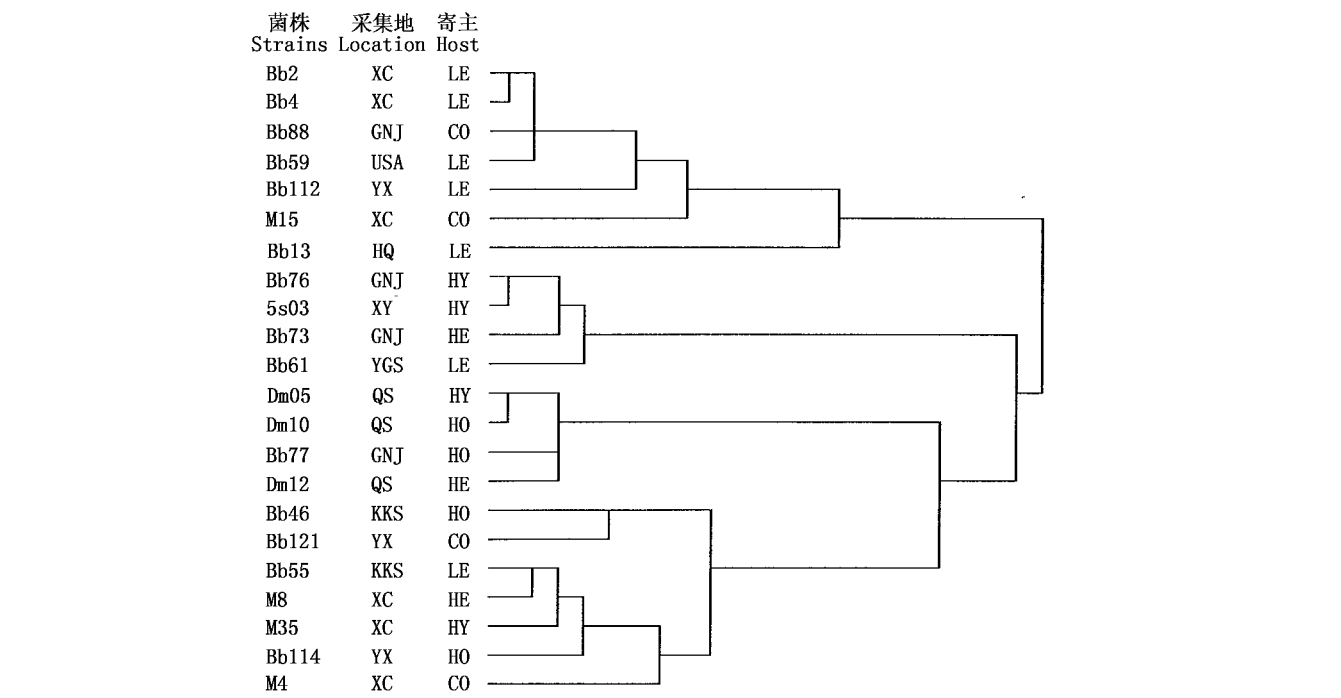


图 1 不同菌株之间的近邻法聚类图  
Fig. 1 Nearest-neighbor dendrogram of different strains  
采集地 :XC 宣城 ;GNJ 牯牛降 ;YX 岳西 ;HQ 霍邱 ;XY 咸阳 ;QS 潜山 ;KKS 宽阔水 ;YGS 前南斯拉夫。寄主 :LE 鳞翅目 ;CO 鞘翅目 ;HY 膜翅目 ;HO 同翅目 ;HE 半翅目  
Location :XC :Xuancheng County ;GNJ :GuniuJiang nature reserve ;YX :Yuexi County ;HQ :Huochu County ;XY :Xianyang City ;QS :Qianshan County ;KKS :Kuankuoshui Nature Reserve ;YGS :Former Yugoslavia. Host :LE :Lepidoptera ;CO :Coleoptera ;HY :Hymenoptera ;HO :Homoptera ;HE :Hemiptera

表 5 不同类群之间基于地理来源和初始分离寄主的多样性比较

Table 5 Comparison of diversity indices associated with geographic locations and original hosts

| 类群<br>Group | 地理来源<br>Geographic location | 初始寄主<br>Original host |
|-------------|-----------------------------|-----------------------|
| 第一组 Group 1 | 0.521                       | 0.260                 |
| 第二组 Group 2 | 0.452                       | 0.452                 |
| 第三组 Group 3 | 0.244                       | 0.452                 |
| 第四组 Group 4 | 0.469                       | 0.673                 |
| 平均 Average  | 0.415 ± 0.103               | 0.459 ± 0.168         |

参考文献

李增智, 黄勃, 樊美珍, 唐晓庆, 1998. 利用 RAPD-PCR 检测三种球孢白僵菌种内变异. 菌物系统, **17**(2): 185 ~ 189

梁宗琦, 1996. 虫生真菌的多样性. 生物多样性, **4**(4): 235 ~ 241

梁宗琦, R T V Fox, 1997. 粉被虫草无性型单孢子株间和单孢子株内的营养亲和性. 菌物系统, **16**(3): 216 ~ 223

唐启义, 冯明光, 1997. 实用统计分析及其计算机处理平台. 北京: 中国农业出版社, 283 ~ 289

王成树, 黄勃, 樊美珍, 李增智, 1998a. 球孢白僵菌对马尾松毛虫的毒力与孢子萌发行为的关系. 森林病虫通讯, **17**(3): 12 ~ 14

王成树, 李增智, 樊美珍, 韩宝瑜, 1998b. 寄主和分布区系不同的球孢白僵菌菌株近缘关系的研究. 应用生态学报, **9**(2): 189 ~ 194

王成树, 李增智, 李季伦, 1999. 虫生真菌遗传多样性研究技术及现状. 安徽农业大学学报, **26**(增刊): 131 ~ 138

王成树, 高松, 李增智, 李季伦, 2000. 球孢白僵菌营养亲和型多样性与生态背景的关系. 菌物系统, **19**(2): 230 ~ 235

徐克学, 1994. 数量分类学. 北京: 科学出版社, 47 ~ 56

翟锦彬, 黄秀梨, 1997. 球孢白僵菌在棉铃虫表皮上萌发的研究. 微生物学报, **37**(2): 154 ~ 157

Berretta M F, R E Lecuona, R O Zandomeni and O Grau, 1998. Genotyping isolates of the entomo-pathogenic fungus *Beauveria bassiana* by RAPD with fluorescent labels. *Journal of Invertebrate Pathology*, **71**: 145 ~ 150

Bidochka M J, M A McDonald, R J St Leger and D W Roberts, 1994. Differentiation of species and strains of entomopathogenic fungi by random amplification of polymorphic DNA (RAPD). *Current Genetics*, **25**: 107 ~ 113

Butt T M, L Ibrahim, S J Clark and A Beckett, 1995. The germination behaviour of *Metarhizium anisopliae* on the surface of aphid and flea beetle cuticles. *Mycological Research*, **99**: 945 ~ 950

Cantone F A and J D Vandenberg, 1998. Intraspecific diversity in *Paecilomyces fumosoroseus*. *Mycological Research*, **102**: 209 ~ 215

Chew J S K, D B Strongman and R M Mackay, 1998. Comparison of twenty isolates of the entomopathogen *Paecilomyces*

*farinosus* by analysis RAPD markers. *Mycological Research*, **102**: 1254 ~ 1258

Feagan M, J M Manners, D J MacLean, J A G Irwin, K D Z Samuels, D G Holdom and D P Li, 1993. Random amplified polymorphic DNA markers reveal a high degree of genetic diversity in the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae*. *Journal of General Microbiology*, **139**: 2075 ~ 2081

Feng M G, T J Poprawski and G G Khachatourians, 1994. Production of formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for the insect control: current status. *Biocontrol Science and Technology*, **4**: 3 ~ 34

Glare T R and A J Inwood, 1998. Morphological and genetic characterization of *Beauveria* spp. from New Zealand. *Mycological Research*, **102**: 250 ~ 256

Heath M C, A Li, P A Horgen and P L Tam, 1995. Hyphal morphology associated with strain instability in the commercial mushroom, *Agaricus bisporus*. *Mycologia*, **87**: 442 ~ 450

Leal S C M, D J Bertoli, T M Butt and J F Peberdy, 1994. Characterization of isolates of the entomo-pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* by RAPD-PCR. *Mycological Research*, **98**: 1077 ~ 1081

Maurer P, Y Couteaudier, P A Girard, P D Bridge and G Riba, 1997. Genetic diversity of *Beauveria bassiana* and relatedness to host insect range. *Mycological Research*, **101**: 159 ~ 164

Nikoh N and T Fukatsu, 2000. Interkingdom host jumping underground: phylogenetic analysis of entomoparasitic fungi of the genus *Cordyceps*. *Molecular Biology and Evolution*, **17**: 629 ~ 638

Pipe N D, D Chandler, B W Bainbridge and J B Heale, 1995. Restriction fragment length polymorphism in the ribosomal RNA gene complex of isolates of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Mycological Research*, **99**: 485 ~ 491

Shannon C E and W Wiener, 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois, Urbana, 117

Sitch J C and C W Jackson, 1997. Pre-penetration events affecting host specificity of *Verticillium lecanii*. *Mycological Research*, **101**: 535 ~ 541

St Leger R J, L L Allee, B May, R C Staples and D W Roberts, 1992. World-wide distribution of genetic variation among isolates of *Beauveria* spp. *Mycological Research*, **96**: 1007 ~ 1015

Tigano-Milani M S, R A Samson, I Martins and B W S Sobral, 1995. DNA markers for differentiating isolates of *Paecilomyces lilacinus*. *Microbiology*, **141**: 239 ~ 245

Urtz B E and W C Rice, 1997. RAPD-PCR characterization of *Beauveria bassiana* isolates from the rice water weevil *Lissorhoptrus oryzophilus*. *Letters in Applied Microbiology*, **25**: 405 ~ 409