

微生物技术创新支持绿色发展、 助力健康未来

南京农业大学生命科学学院
海南芳绿源科技开发有限公司
海南丰源无公害农业技术研究所

王志伟

2023年10月 雄安



微生物

什么是微生物？

- 科学上说法不一，分类学百花齐放
- 真菌、细菌、病毒、原生动物、
环境生存能力弱，配套方法不完善等 微生物杀虫剂
- 古菌、
生长慢、密度低、环境生存能力足够强但代谢能力弱、配套方法不完善等

农业上常见的微生物类群

细菌： 微生物肥料、饲料添加剂、微生物农药、废弃物处理微生物等

真菌： 食用菌、微生物肥料、微生物农药、饲料添加剂、废弃物处理微生物等

病毒： 微生物农药等

微生物的生存场所

● 微生物：无所不在！

● 农业微生物：人的活动圈，农业圈生态圈

- 土壤
- 水
- 空气
- 生物体内

● 动物体内

● 植物体内

● 微生物体内：真菌体内、细菌体内、

- 病原菌
- 抗生素生产菌
- 拮抗菌
- 有益菌
- 偏害菌
- 其它

- 微生物农药
- 微生物肥料
- 土壤改良剂
- 饲料添加剂
- 微生态制剂
- 其它

- 杀虫微生物
- 杀线虫微生物（抗线虫）
- 控鼠微生物
- 微生态制剂

“叫好不叫座”

种类繁多
中国农资的“妖怪”
● 需要整理

植物内生菌！

植物内生菌：多样性、特征、利用

植物内生菌

- 真菌（1970年代以来）
 - 林学：花旗松（*Pseudotsuga menziesii*）体内的真菌的存在；Carrol等
 - 草学：牧草（*Festuca arundinacea*、*Lolium preenne*等）毒性研究；Latch等，Bacon等

特异性

非/低特
异性

植物体内的真菌

- 特异性

禾本科植物内生真菌

主要有**麦角菌科内生真菌**

- 特异性无/未知

- 检测出的成员众多，类群繁杂，成千上万OUT
- 分离出的成员很多，类群也多，数十数百菌株
- 分离物往往**功能不详**，也往往含有**潜伏的植物病原**，或**弱病原**
- 分离方法很有局限！

禾本科植物内生真菌

- 禾本科

含12亚科

600-700属，

近万种

200多属禾本科植物
含有内生真菌

- *Atkinsonella*

- *Balanbsia*

- *Balansinopsis*

- *Epichloë* →

- *Myriogenospora*

- *Gliocladium*

- *Neotyphodium* →

- *Phialophora*

- *Acremonium*

Epichloë Leuchtman,
bacon et Schardl 2014

目前全球有50个有效种
(亚种)

中国有10个(或更多)

*Epichloë*内生菌和宿主植物的共生体的关系

重要特征：

1. 高度的宿主特异性，对宿主的种类有严格的选择；
2. 宿主依赖性，至今从宿主体外未
3. 种传性，能稳定传代；
4. 不伤害宿主植物细胞；

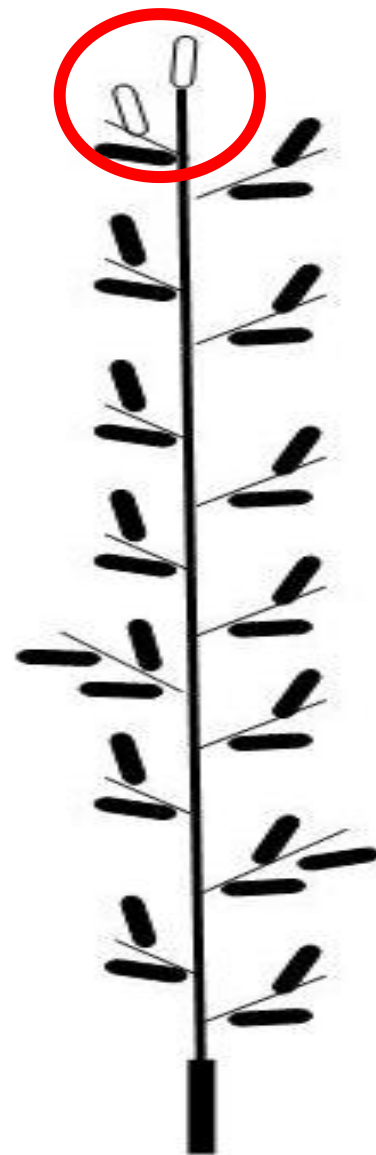
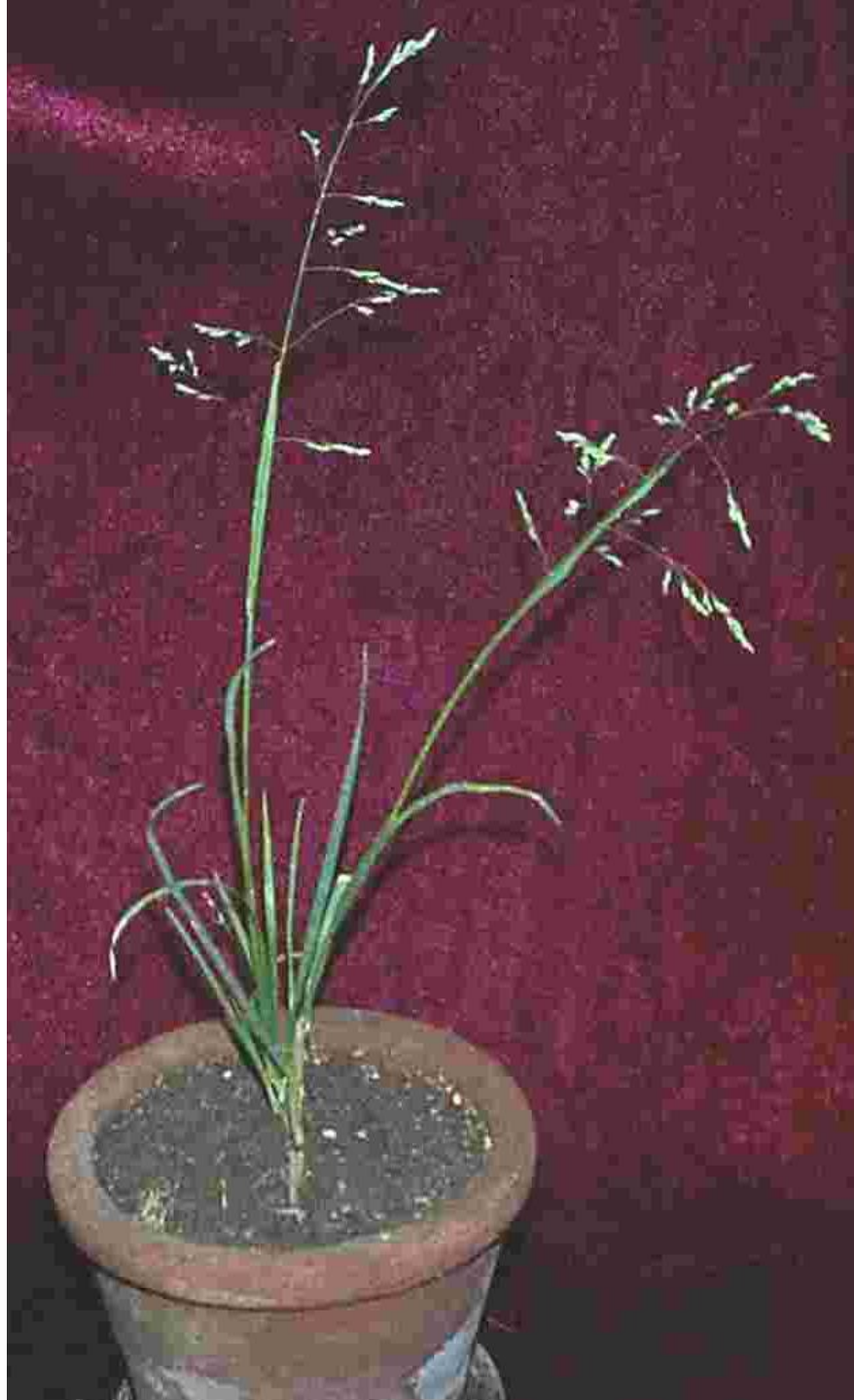
1. 可当作宿主植物种质资源的一部分来操作！
2. 活体植株之间的内生菌交叉感染难以发生/几乎不发生；
3. 禾本科植物内生真菌的利用，基本上就是菌和宿主的**共生体利用**

因此，

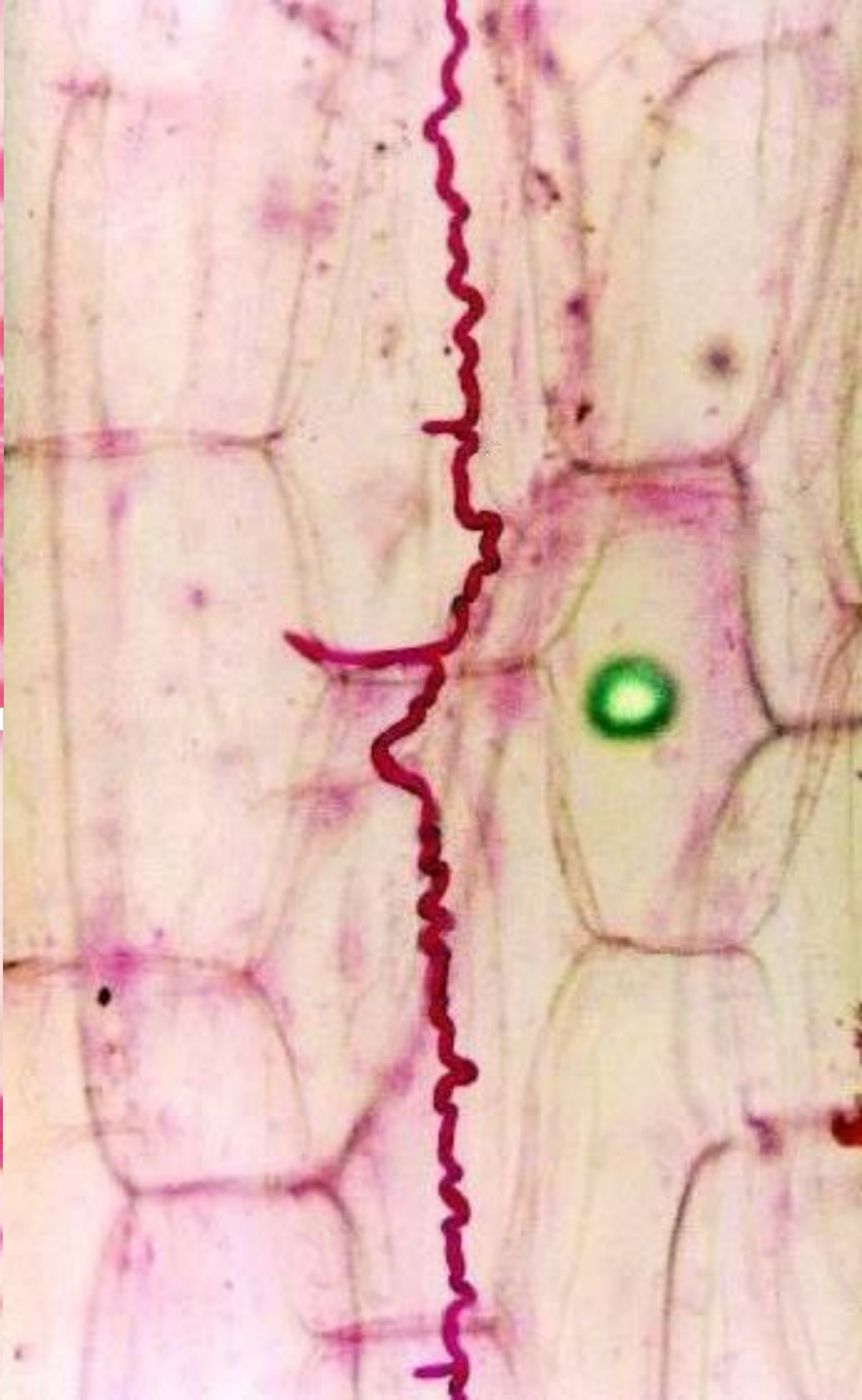
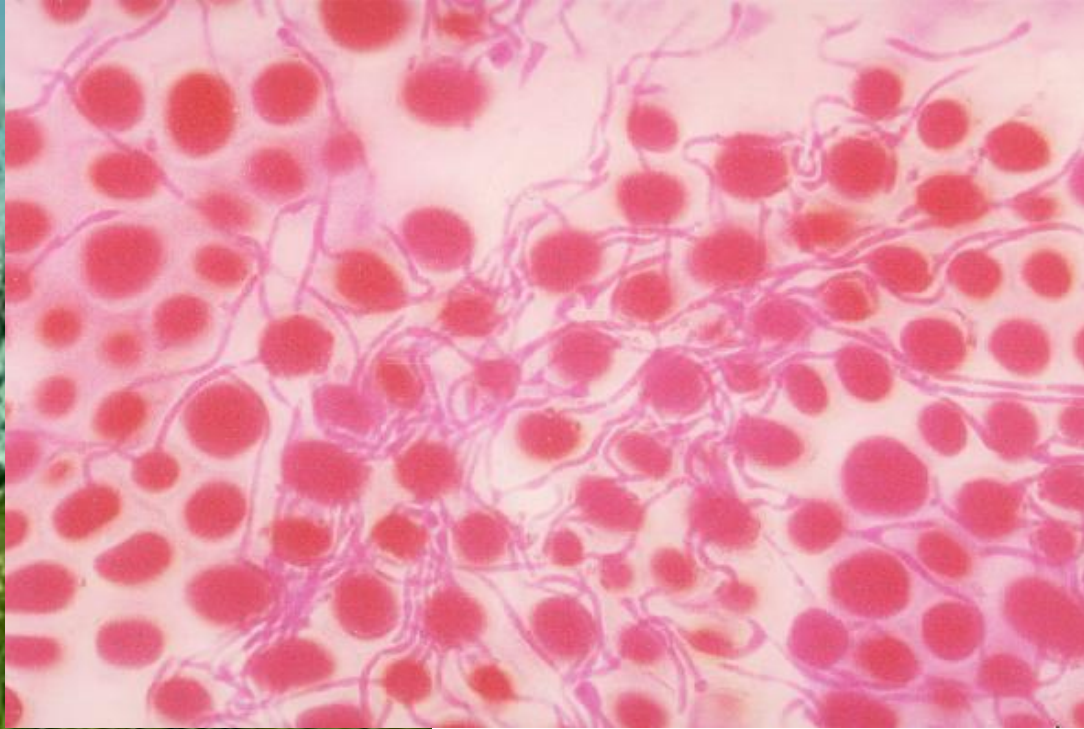
和宿主植物的相互关系，令人关注；

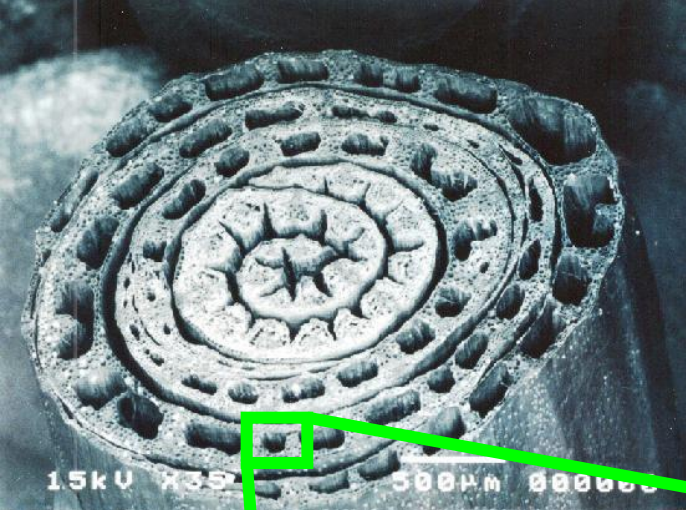
它们和宿主的互作，对植物病原微生物/宿主互作研究，也有重要的参考。

种子 +
穗轴/枝梗 +
茎/髓 +
叶片 +
叶鞘 +
根 (一)



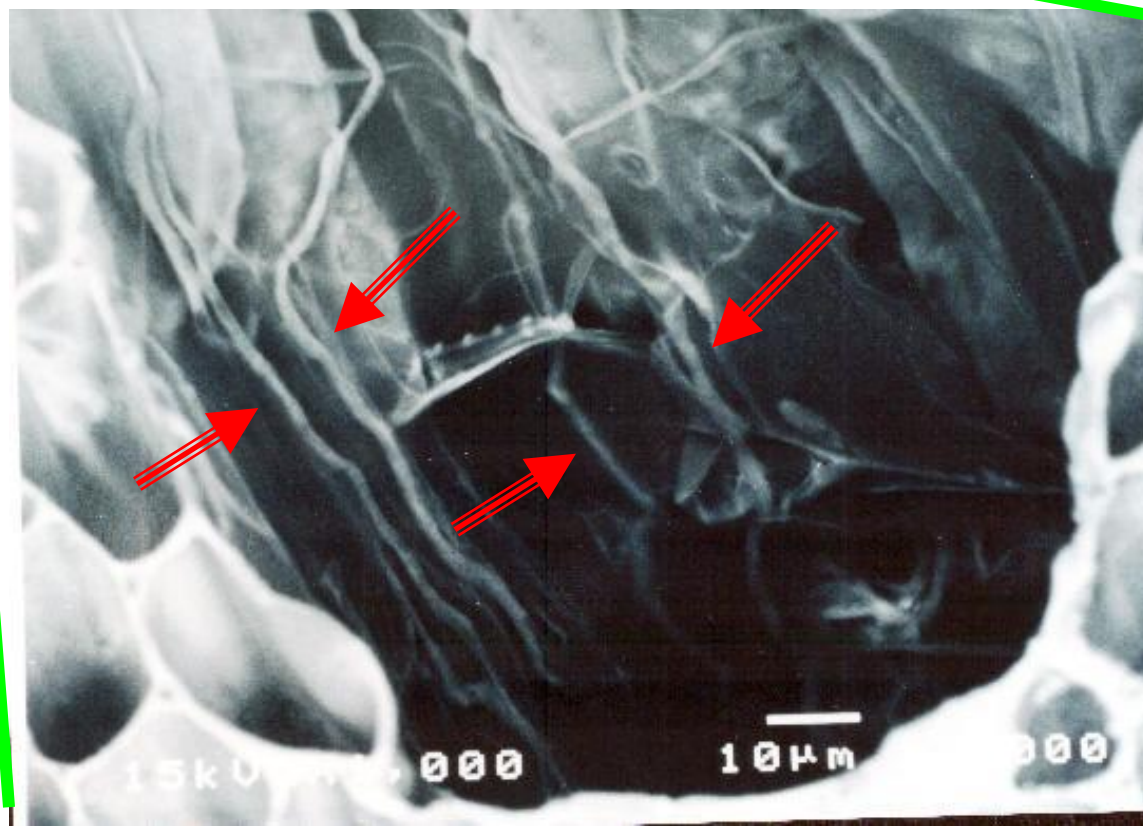
种子含菌率
可达95%以上





Festuca pretense

草甸羊茅



*Epichloë*属真菌的重要菌物学特征

1. 基因组约20-60Mb，染色体基数为7，有二倍体、三倍体、四倍体、六倍体等异倍体；
2. 部分失去有性世代，无子座形成能力，或子座不育；
3. 少部分种间可杂交，但杂交成功率很低；
4. 独立营养，也能离体培养，未见营养依赖，但至今尚未确认到在环境中的普遍存在；
5. 绝大部分时期、甚至大部分种的整个世代，在植物体内的生长有局限；
6. 生产，或和植物协同生产生理活性物质；

可赋予宿主植物一些新的功能。

*Neotyphodium*属内生菌的有益性能

- 促生长、分蘖； 长成快，生物量大
- 促进苗期生长和刈割后恢复，再生 载畜量增大
- 抗虫（多种刺吸式和咀嚼式） 生物量增加
- 抗病（抗真菌病、抗线虫病、抑制病毒病）
- 抗旱
- 抗寒 抗逆性好，草地质量好
- 抗重金属
- 产生活性物质 可有其它用途
- 其它

促生长、促分蘖能力

植物激素。

有完整的IAA合成能力，在只含无机盐和葡萄糖的培养基上，可以合成IAA。

抗虫能力

有完整的**生物碱**合成能力。

有些生物碱在培养基上就能合成，有些则需要和在植物体内才能大量合成。

生物碱合成能力也导致了有些组合的的共生体对牲畜具有**毒性**。

*Neotyphodium*属内生菌的有害作用

对数十种咀嚼式和刺吸式昆虫显示毒性，对有些昆虫显示拒食作用。

生真菌生产的生物碱：

Ergot alkaloids (**Ergovaline**, Ergopeptine, Ergotamine等)

Lolitrems (A, **B**, C, D)

Lolines (**Norloline**等)

Peramine

其它类

重要家畜毒性：

- **Fescue toxicosis**
- **Ryegrass staggers**
- **Drunken horse**
- **其它**

因此，寻找或构建安全的组合，是内生真菌利用的关键。

*Epichloe*内生菌给植物带来的抗虫性能



Neotyphodium coenophialum 给 *Festuca arundinacea* 带来的抗蚜虫 *Rhopalosiphum padi* 的能力

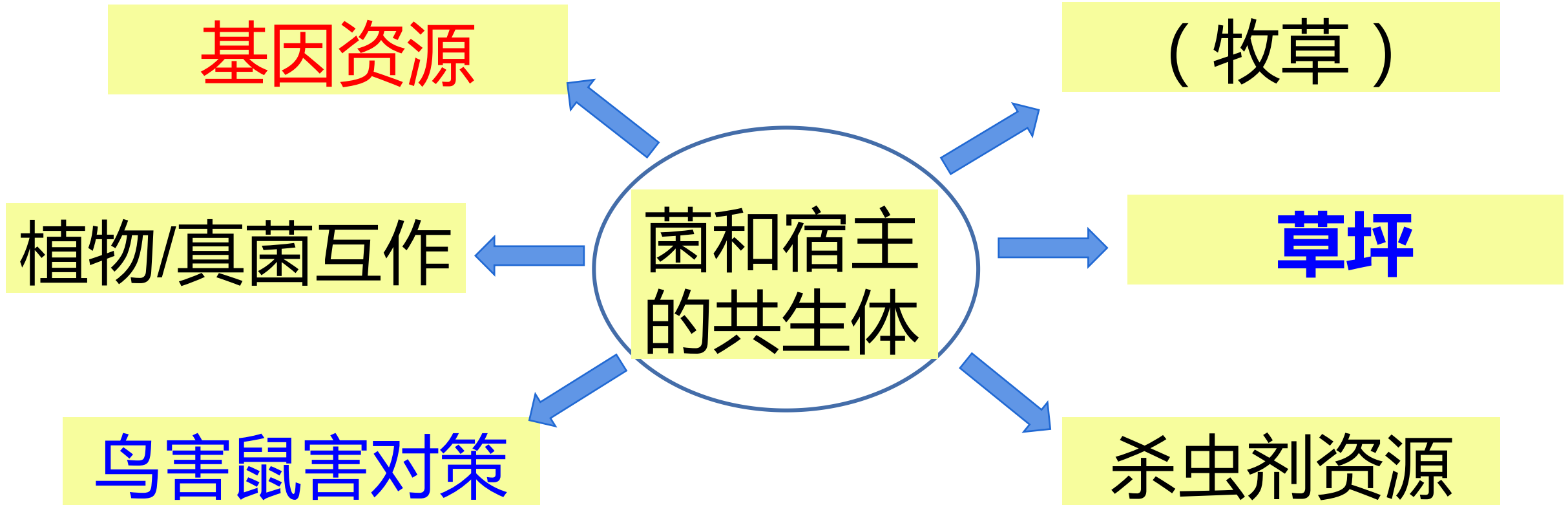
Festuca arundinacea / *Epichloe coenophialum*

Festuca arundinacea ; 代表品种 : Kentucky 31
苇状羊茅 (高羊茅)

天然组合有很强的家畜毒性，导致牛马等大动物出现中毒症状，同时也有生长分蘖旺盛、抗病抗虫、耐热耐旱、耐刈割耐践踏等优良特性。牧草型和草坪型都很受欢迎。

致毒因子是 **Ergovaline** 等麦角碱类毒素。

禾本科植物和内生真菌共生体的利用



各国的关注点有显著不同：

美国、新西兰，禾本科植物内生真菌研究较多。但他们主要关注如何消除危害。

美 国：消除羊茅对牛马的危害 / 苇状羊茅
草坪利用 / 羊茅、黑麦草、早熟禾等

新西兰：消除黑麦草对羊的危害 / 多年生黑麦草
(酝酿着一个大招……)

中 国：？

目前利用的最好的，还是美国

1. 美国各草坪公司对禾本科植物内生真菌十分关注，2000年以后的绝大部分草坪都含有禾本科植物内生真菌。
2. 新西兰将含有禾本科植物内生真菌的黑麦草大量种植在机场，用于驱赶鸟类，成效显著。
3. 中国.....

禾本科植物内生真菌的实际应用

利用：

1. 手里有什么样的资源？
2. 了解了什么样的功能？
3. 如何与实际需求相结合？

- 在美国，禾本科植物内生菌被用于牧草和草坪的**抗病虫害**、用于提高牧草和草坪的**抗逆性**、用于**提高禾本科牧草的产量**；
- 在新西兰，禾本科植物内生真菌被用来机场的**鸟类驱离**；
- 在欧洲，禾本科植物内生真菌在百年草地中被普遍发鲜；（**持久性**）

在中国，禾本科植物内生真菌被发现具有促生长、促分蘖、抗旱、抗重金属、抗害虫、抗旱等功能。

我国原产的*Epichloë*属真菌

我国原产的*Epichloë*属内生真菌及其分布

内生真菌类群	宿主	原产地	中国	
<i>E. gansuensis</i>	<i>Achnatherum</i> spp.	甘肃	+	自然分布
<i>E. yangzii</i>	<i>Roegneia kamoji</i>	中国十多个省	+	自然分布
<i>E. inebrians</i>	<i>Achnatherum inebrians</i>	新疆	+	自然分布
<i>E. sinica</i>	<i>Roegneria kamoji</i> , <i>R. ciliaris</i> 等	中国多个省	+	自然分布
<i>E. stromatolonga</i>	<i>Calamagrostis epigeios</i>	江苏南京	+	自然分布
<i>E. sinofestuceae</i>	<i>Festuca parvigluma</i>	江苏南京	+	自然分布
<i>E. sibirica</i>	<i>Achnatherum sibiricum</i>	内蒙古	+	自然分布
<i>Epichloë</i> sp.	<i>Bromus</i> sp.	中国华东数省	+	自然分布
<i>E. liyangensis</i>	<i>Poa pratensis</i> ssp. <i>pratensis</i>	江苏溧阳	+	自然分布
<i>E. bromicola</i>	<i>Elymus dahuricus</i>	欧洲, 中国多个省	+	自然分布
<i>E. sylvatica</i>	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	欧洲, 中国, 日本	+	自然分布

C
在学校做什么

Epichloe yangzii Wang et Li 2006;

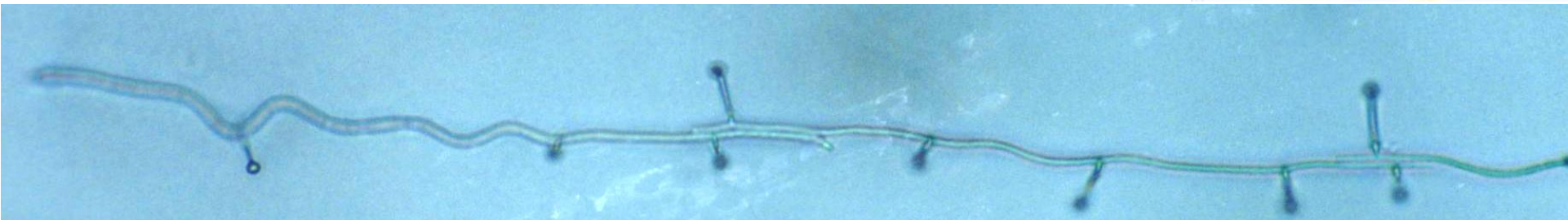
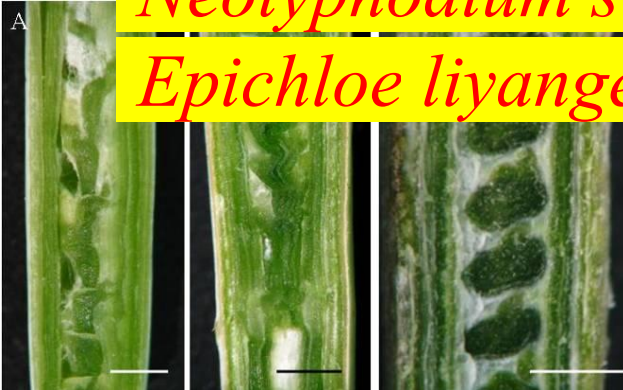
Neotyphodium sinicum Wang, Ji et Kang 2009;

Neotyphodium strmatolongum Ji, Zhan et Wang 2009

Neotyphodium sinofestucaae Chen, Ji et Wang 2009

Epichloe liyangensis Wang, Kang et Miao 2011

A



至今发现了多种细菌、真菌等微生物新物种资源。

中国的情况：大致三股力量

兰州大学，南指标院士、李春杰教授等的**草原病害**团队

1994年至今，西北草原，2个新(亚)种，功能研究
重点是**醉马草**、披碱草

南开大学，高玉葆教授、仁安芝教授等的**生态学**团队

2003年至今，华北草原，2个新(亚)种，功能研究
重点是**羽茅**、黑麦草

南京农大，王志伟教授等的**微生物学**团队

2000年至今，全国大部分地区，6个新种，功能研究
鹅观草、早熟禾、雀麦等多种

中华人民共和国地图



南京农大团队报道的*Epichloë*属内生真菌及其分布

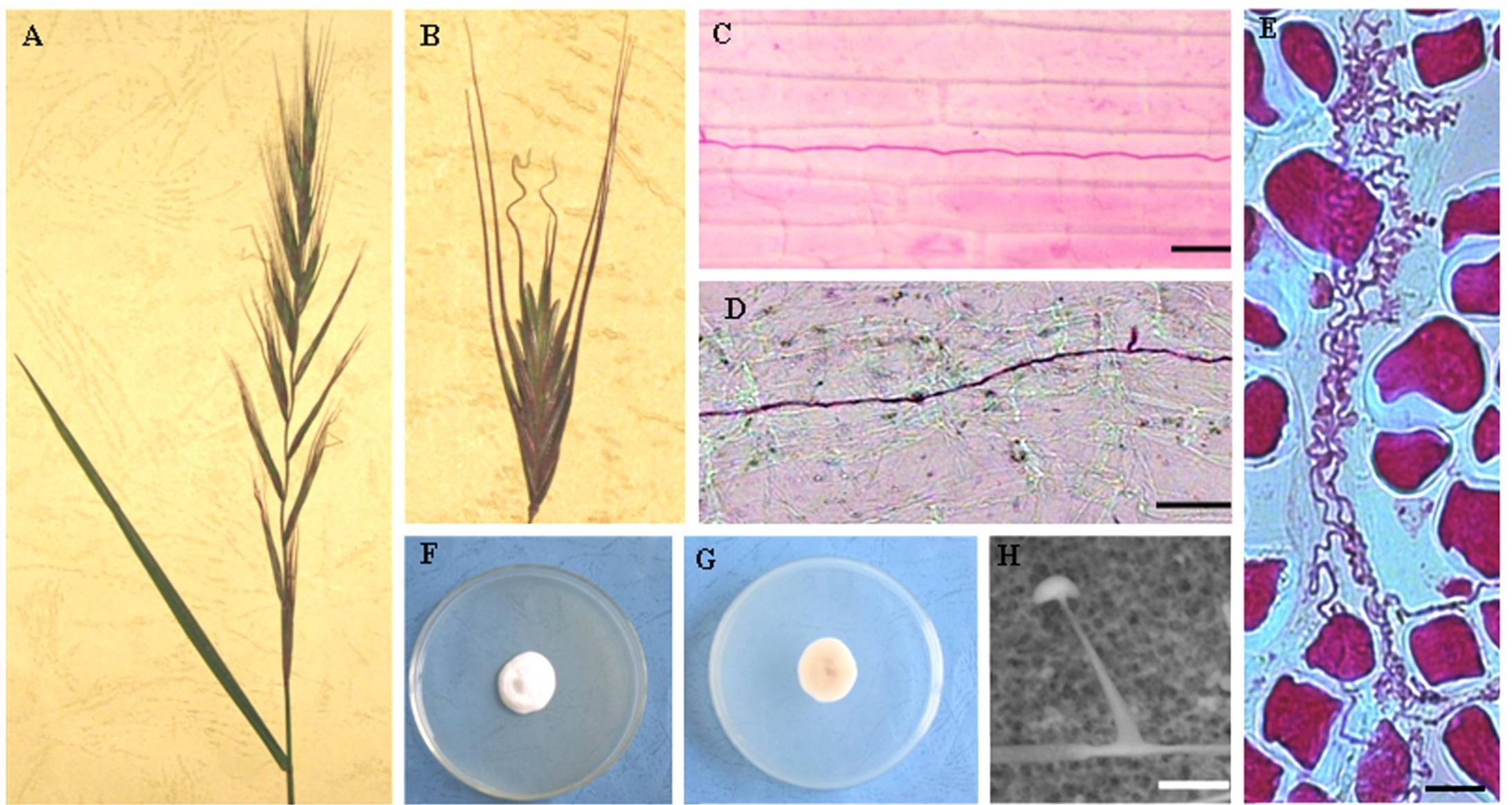
内生真菌类群	宿主	原产地	
<i>E. yangzii</i>	<i>Roegneia kamoji</i>	中国十多个省	自然分布
<i>E. sinica</i>	<i>Roegneria kamoji</i> , <i>R. ciliaris</i> 等	中国多个省	自然分布
<i>E. stromatolonga</i>	<i>Calamagrostis epigeios</i>	江苏南京	自然分布
<i>E. sinofestucaae</i>	<i>Festuca parvigluma</i>	江苏南京	自然分布
<i>Epichloë</i> sp.	<i>Bromus</i> sp.	中国华东数省	自然分布
<i>E. liyangensis</i>	<i>Poa pratensis</i> ssp. <i>pratensis</i>	江苏溧阳	自然分布
<i>E. bromicola</i>	<i>Elymus dahuricus</i>	欧洲, 中国多个省	自然分布
<i>E. sylvatica</i>	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	欧洲, 中国, 日本	自然分布

Epichloë endophytes from *Roegneria* spp.

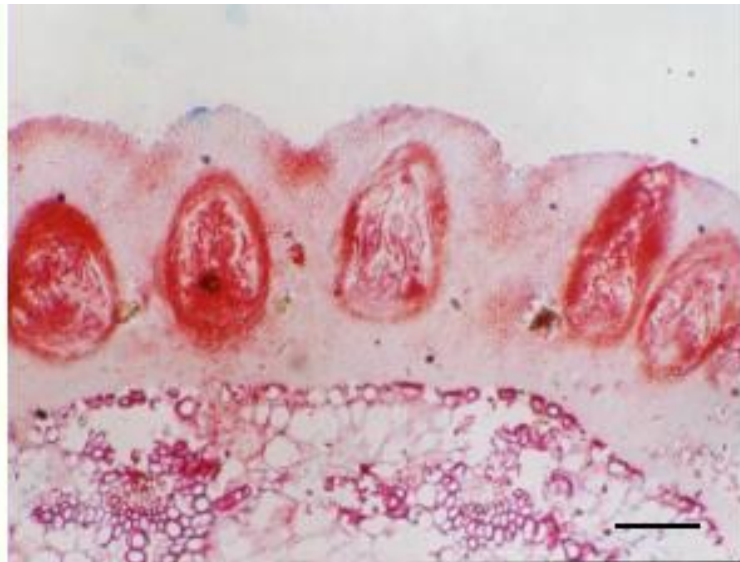
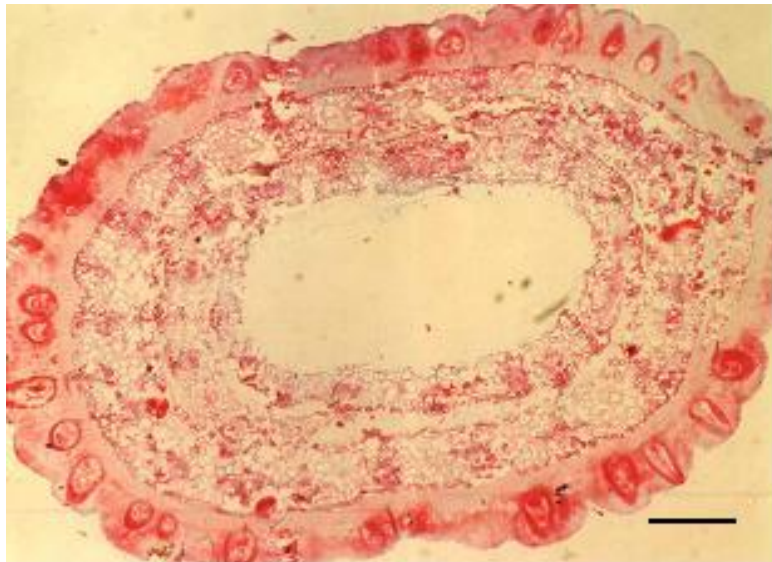
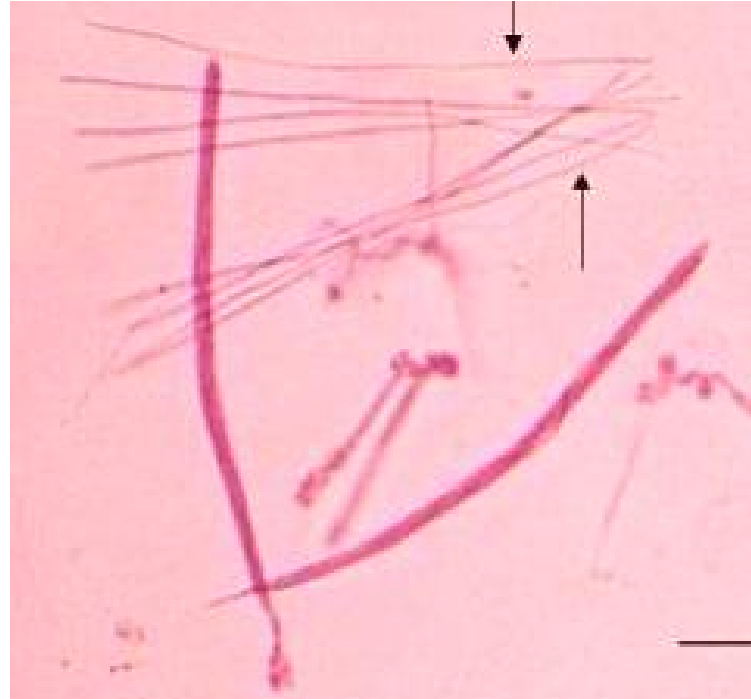


Epichloë yangzii Li et Wang Mycologia 98 (4):560–570

Neotyphodium sinicum Wang, Ji et Kang Mycologia 101(2):211-219



Neotyphodium sinicum Wang, Ji et Kang
Mycologia 101(2):211-219

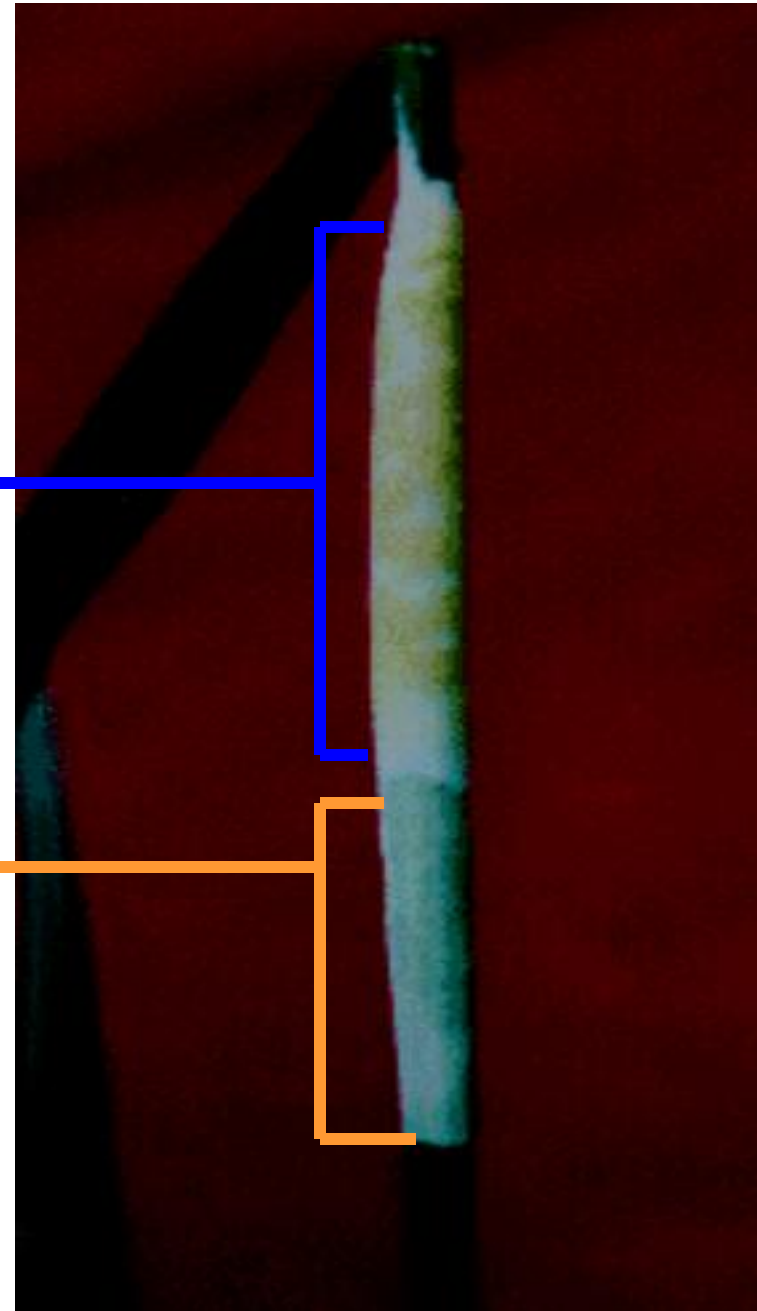


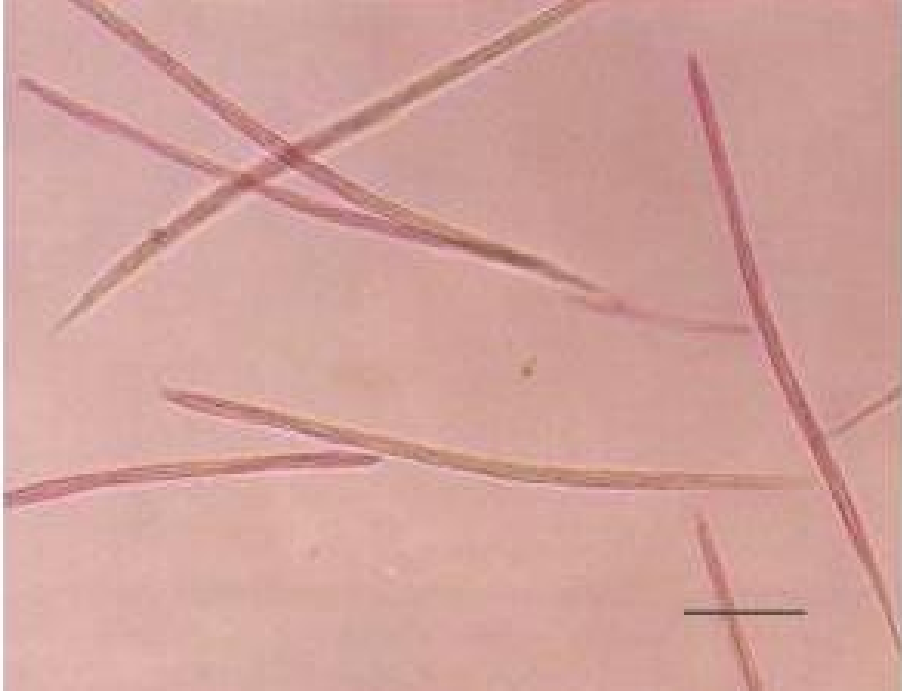
内生真菌的杂交

和E184(*mat-1*)菌株杂交，
有黄色子囊的发育

和E757(*mat-2*)菌株杂交，
无黄色子囊的发育

因此，该子座属于
mat-2





内生真菌 寄主植物 子座长 子囊孢子大小 D₁ 子囊孢子大小/子囊孢子/

Epichloë yangzii Li et Wang

Mycologia 98 (4):560–570

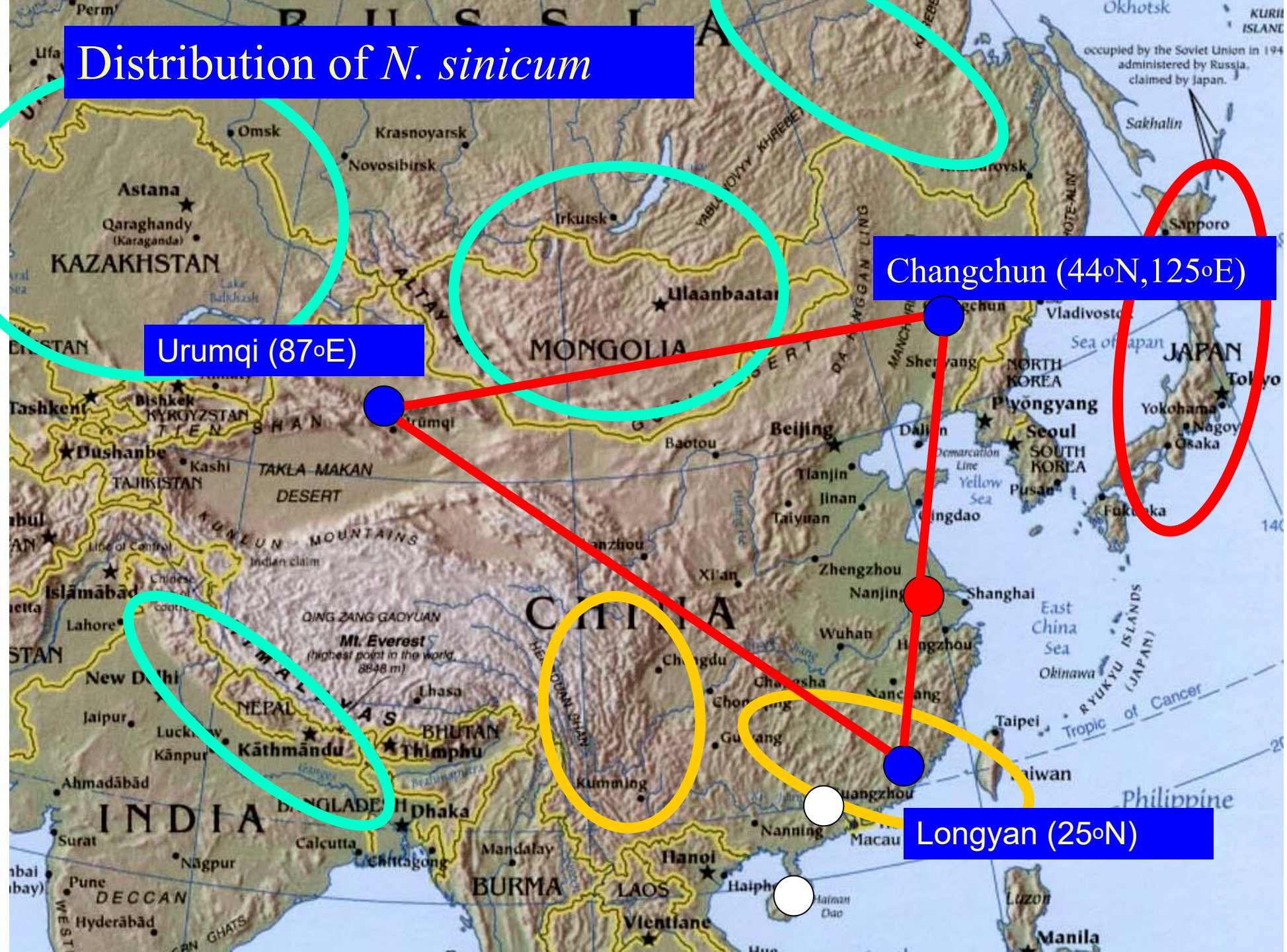
<i>Epichloë bromicola</i>	<i>erectum</i>	2.7				6.0-10.4	×1.7±0.3
<i>E. elymi</i>	<i>Elymus</i>	35-95	400-460	110-160	8-30	290-450×	423±63×
	spp.					6.0-6.6	1.2-2.0
Isolates in this study	<i>Roegneria</i> spp.	20.2-58.1	205-275	90-140	25	189-252× 5.0-5.3	183-250× 1.9-2.1

Distribution of *N. sinicum*

Urumqi (87°E)

Changchun (44°N, 125°E)

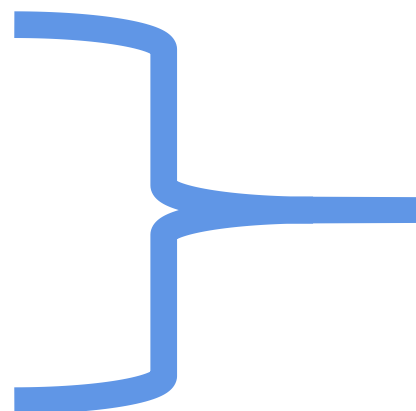
Longyan (25°N)



为什么关注鹅观草、披碱草等植物的内生真菌？

鹅观草 *Roegneria*
披碱草 *Elymus*
偃麦草 *Elytrigia*
羊草 *Leymus*

羊茅、早熟禾、
雀麦、短柄草、



能和小麦
杂交



期待能感染
小麦

**希望有更多的人能关注、
和参与禾本科植物内生真菌的研究**

**希望能早日看到禾本科植物内生真菌
在中国小麦上的成功应用**

感兴趣的话：

王志伟，纪燕玲等 2015. 植物内生菌研究及其科学意义.
微生物学通报 42(2):349-363

纪燕玲

yanlingji@njau.edu.cn

南京农业大学 生命科学学院 微生物学系





多年生黑麦草不适合亚洲夏季

高温；
干燥，
锈病。

需要大量灌溉；
锈病防治需要化学农药；
夏天品质不佳。



适合东亚气候的草坪，中国有需求。

雄安新区与禾本科植物内生真菌资源

1. 有比较丰富的内生真菌资源；
2. 有一定的实际需求；如：草坪；
3. 有很好的生态效应；
4. 为什么草坪草必须是地中海沿岸原产的呢？

通力合作、共促绿色发展、引领农业未来

王志伟

17388079818

zwwang@njau.edu.cn

