

VII Всероссийская микологическая школа-конференция
с международным участием

**«БИОТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ГРИБОВ:
МОСТЫ МЕЖДУ ЦАРСТВАМИ»**

И.А. Захаров-Гезехус.

Взаимоотношения *Microbotryum*
violaceum с видами Гвоздичных



Систематика и жизненный цикл *Microbotryum*

Kingdom: [Fungi](#)

Phylum: [Basidiomycota](#)

Class: [Microbotryomycetes](#)

Order: [Microbotryales](#)

Family: [Microbotryaceae](#)

Genus: [Microbotryum](#)

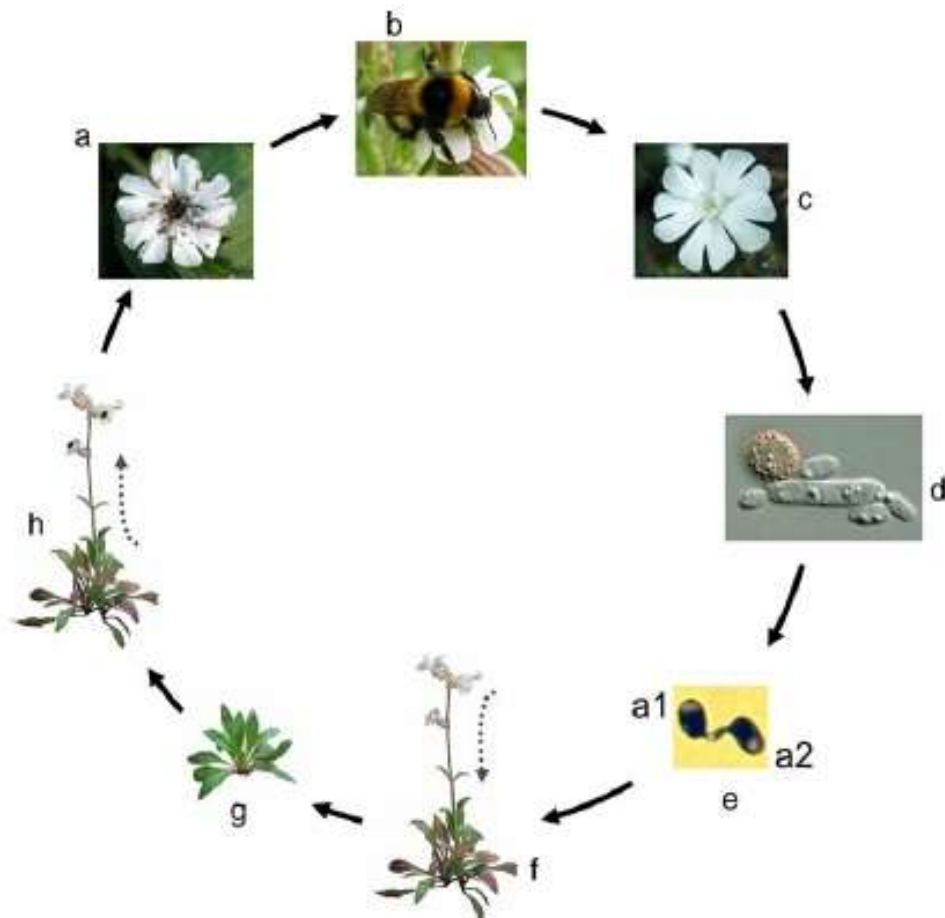
Species:

Microbotryum violaceum

(Pers.) G. Deml & Oberw., (1982)

[Synonyms](#)

Ustilago violacea (Pers.) Roussel,
(1806)



2. Life cycle of the anther smut fungus *Microbotryum violaceum* (adapted from reference 78). Diploid teliospores are produced in the (a) and are transmitted by pollinators (b) onto a healthy plant (c). The teliospores germinate, undergo meiosis, and produce yeast-like sporidia (d). Conjugation takes place on the plant between sporidia of opposite mating types (e). Dicaroytic hyphae grow in the plant (f) and enter in vegetative tissues (g). The following year, infection is systemic (h), and all flowers produce teliospores (a).

Симптомы заражения – спороношение на пыльниках: *Saroparia officinalis*



Dianthus superbis



Silene alba



Stellaria holostea



Coronaria flos-cuculi



Процент заражения диких популяций представителей семейства *Caryophyllaceae* – А.Карапетян.

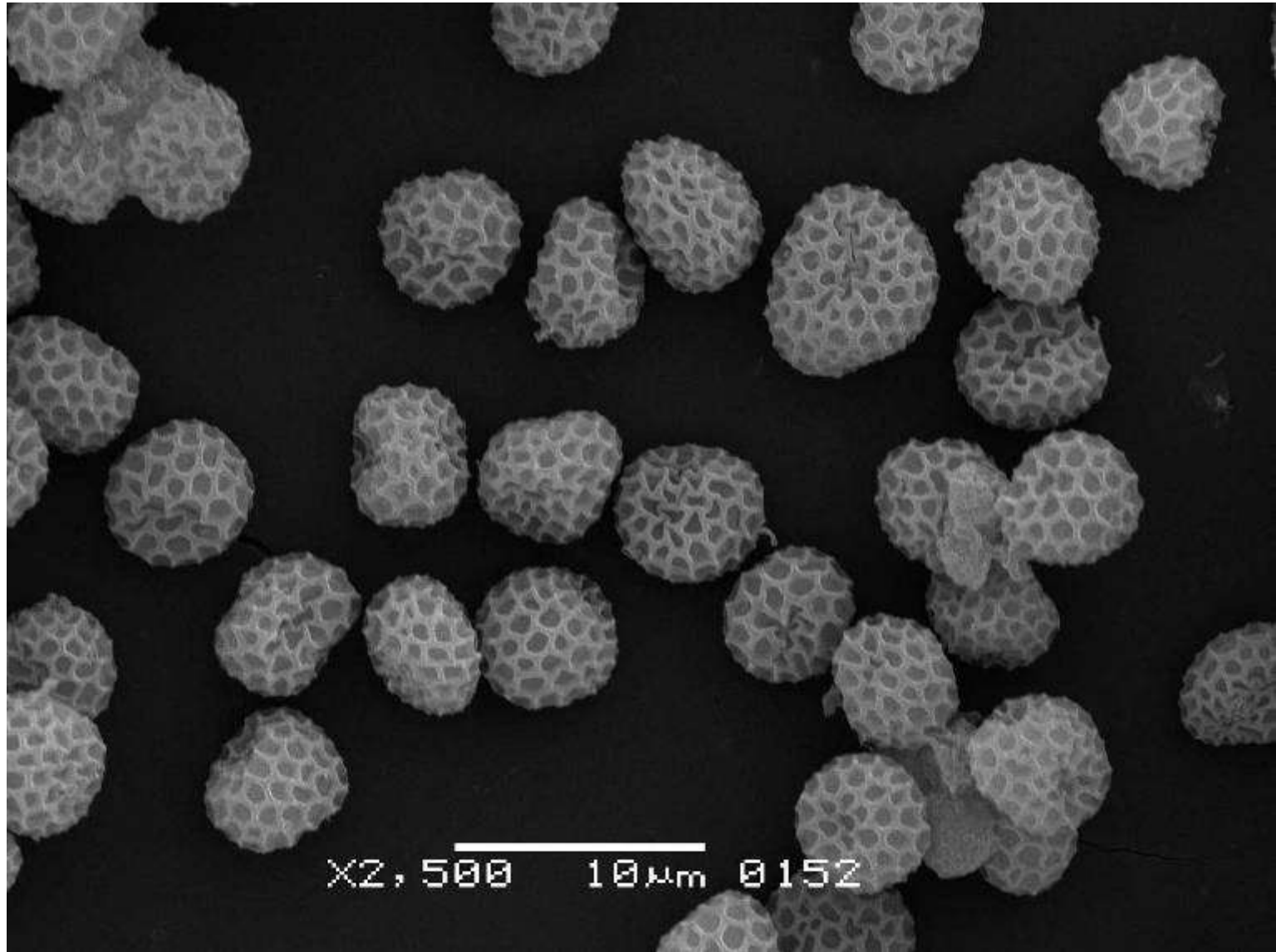
Растение - хозяину	Популяции	Просмотрено растений	Здоровые	Зараженные
<i>Saponaria officinalis</i> L.	I	266	86,0%	14,0%
	II	58	5,0%	95,0%
	III	235	85,0%	15,0%
	IV	208	76,0%	24,0%
	V	84	75,0%	25,0%
<i>Silene alba</i> (Mill.) E. H. L. Krause.	I	185	88,0%	12,0%
	II	17	63,0%	37,0%
	III	327	86,8%	13,2%
	IV	140	97,8%	2,1%
<i>Dianthus superbus</i> L.	I	176	93,7%	6,2%
	II	4	0%	100%
	III	60	83,3%	16,7%
	IV	37	78,4%	21,6%
<i>Stellaria holostea</i> L.	I	88	59,0%	41,0%
	II	100	64,0%	36,0%
<i>Coronaria flos-cuculi</i> L.	I	226	22,1%	77,8%
	II	91	96,7%	3,3%

Женский цветок *Silene alba* (Mill.) E. H. L. Krause. P

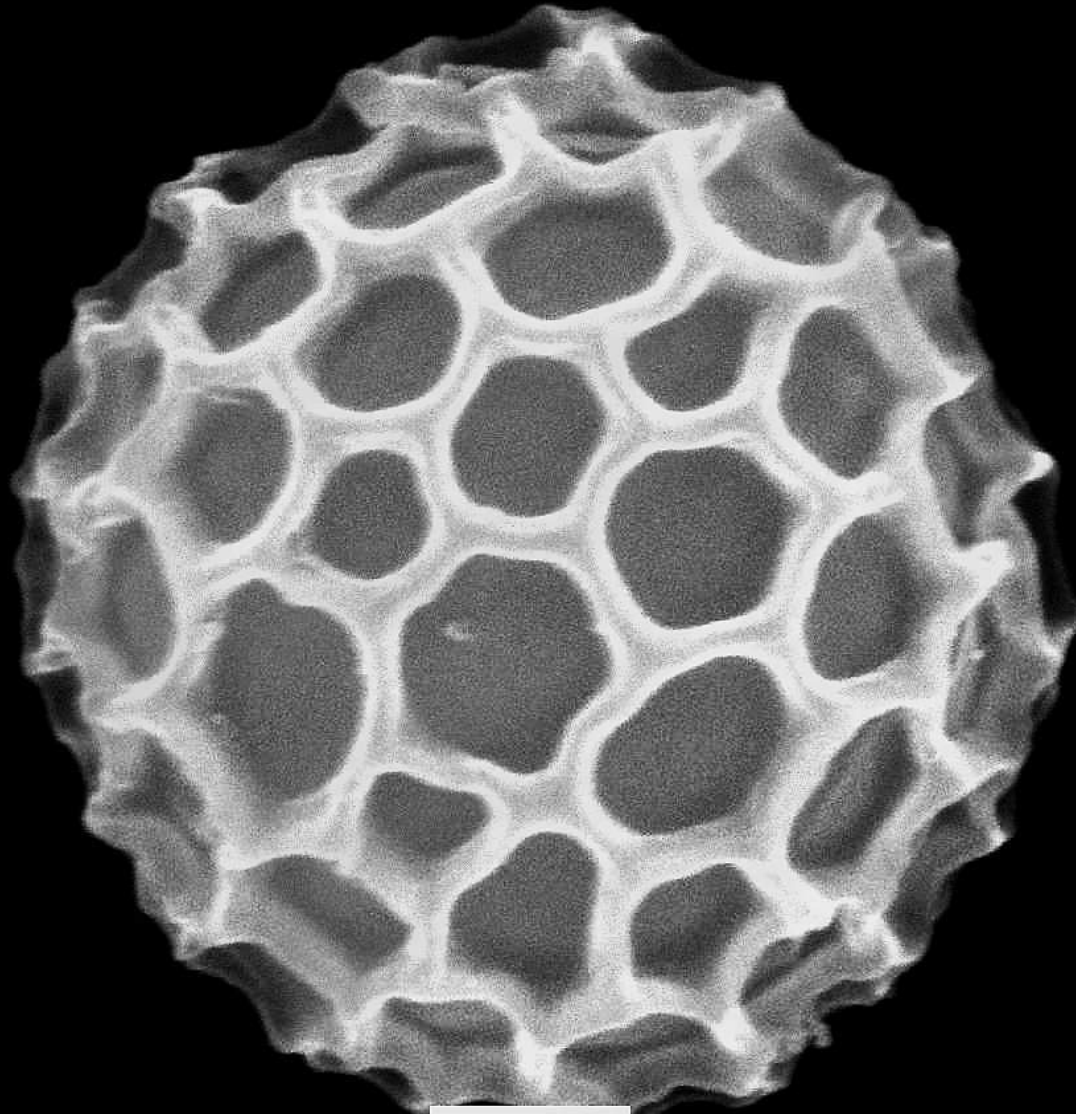
Не пораженный *M. violaceum* Пораженный *M. violaceum*
– развитие тычинок в
результате инфекции



Споры Microbotryum

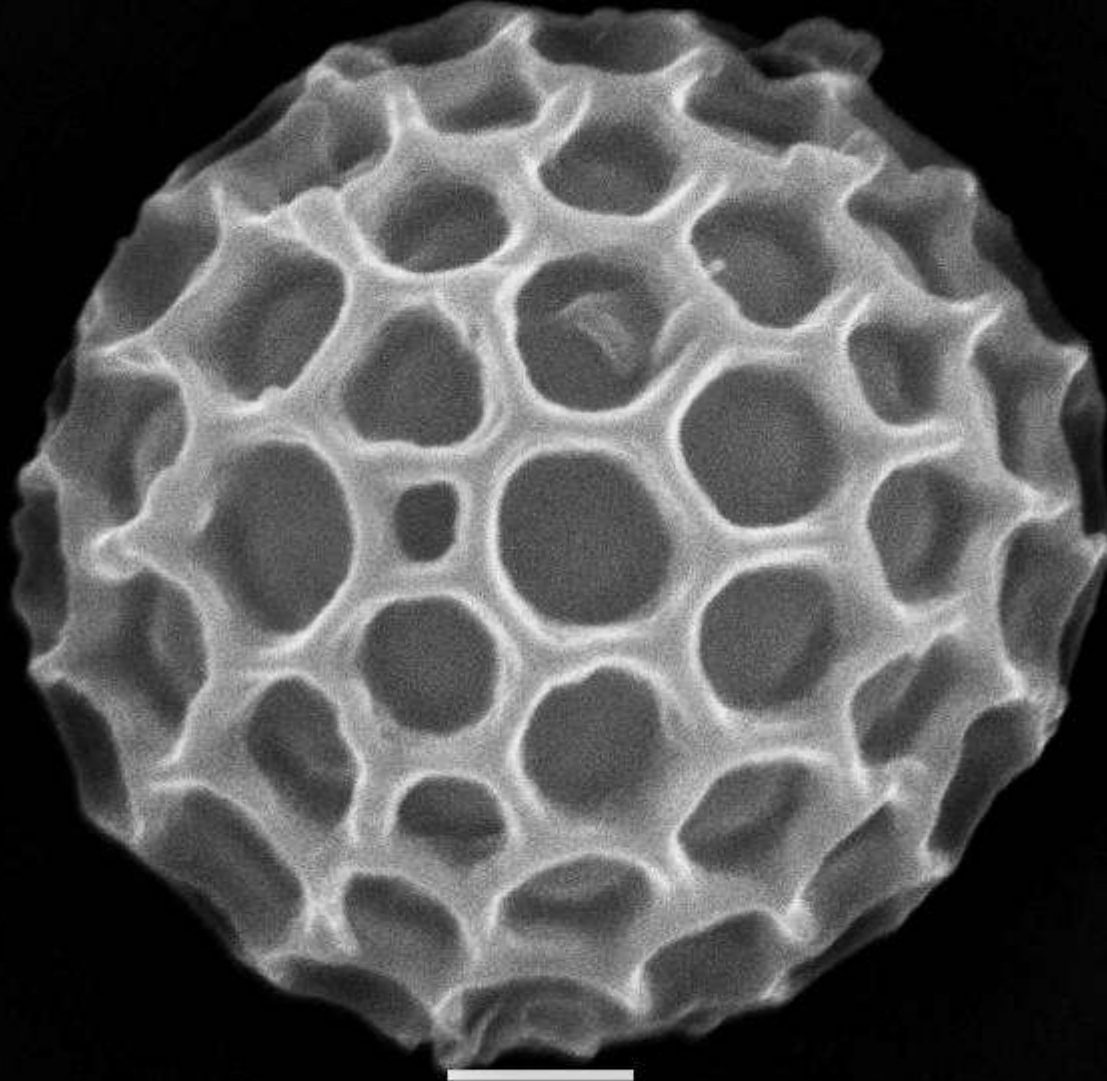


Silene alba



X15,000 1 μ m Ø139

Saponaria officinalis



X14,000



1 μ m

Ø140

Чем *Microbotryum* привлекателен как объект изучения?

Эстетическая привлекательность;

Легкость культивирования;

Повсеместное распространение;

Дифференциация на многие расы (подвиды, виды),
паразитирующие на разных видах хозяев;

Разработанные методы генетического и
молекулярно-генетического изучения;

Наличие «половых» хромосом;

Внутритетрадное оплодотворение.

Чем Microbotryum привлекателен как объект изучения?

Эстетическая привлекательность;

Легкость культивирования;

Повсеместное распространение;

Дифференциация на многие расы (подвиды, виды), паразитирующие на разных видах хозяев;

Разработанные методы генетического и молекулярно-генетического изучения;

Наличие «половых» хромосом;

Внутритетрадное оплодотворение.

Dianthus superbis



Чем *Microbotryum* привлекателен как объект изучения?

Эстетическая привлекательность;

Легкость культивирования;

Повсеместное распространение;

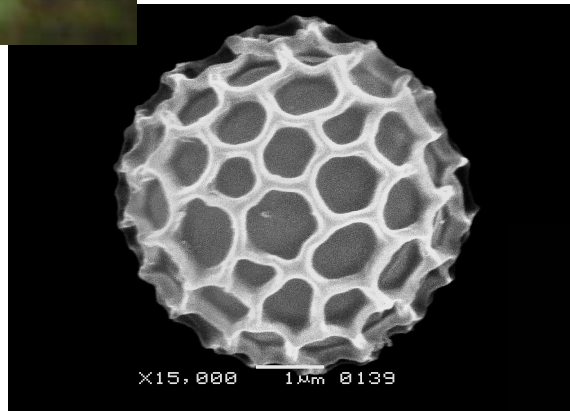
Дифференциация на многие расы (подвиды, виды), паразитирующие на разных видах хозяев;

Разработанные методы генетического и молекулярно-генетического изучения;

Наличие «половых» хромосом;

Внутритетрадное оплодотворение.

Silene alba



Microbotryum in culture



Чем *Microbotryum* привлекателен как объект изучения?

Эстетическая привлекательность;

Легкость культивирования;

Повсеместное распространение;

Дифференциация на многие расы (подвиды, виды), паразитирующие на разных видах хозяев;

Разработанные методы генетического и молекулярно-генетического изучения;

Наличие «половых» хромосом;

Внутритетрадное оплодотворение.

Распространение *Microbotryum*

● места обитания известные из литературы

▲ новые для *M. violaceum* места обитания



Рисунок 1. Распространение *M. violaceum* s. l. на территории России.

Распространение Microbotryum

- *Dianthus superbus*
- *Viscaria aplina*
- *Silene alba*
- *Steris viscaria*
- *Silene dichotoma*
- *Silene viscosa*
- *Coronaria flos-cuculi*
- *Dianthus repens*
- *Dianthus arenerius*
- *Dianthus deltoides*
- *Saponaria officinalis*
- *Silene venosa*
- *Melandrium rubrum*
- *Stellaria holostea*



Чем *Microbotryum* привлекателен как объект изучения?

Эстетическая привлекательность;

Легкость культивирования;

Повсеместное распространение;

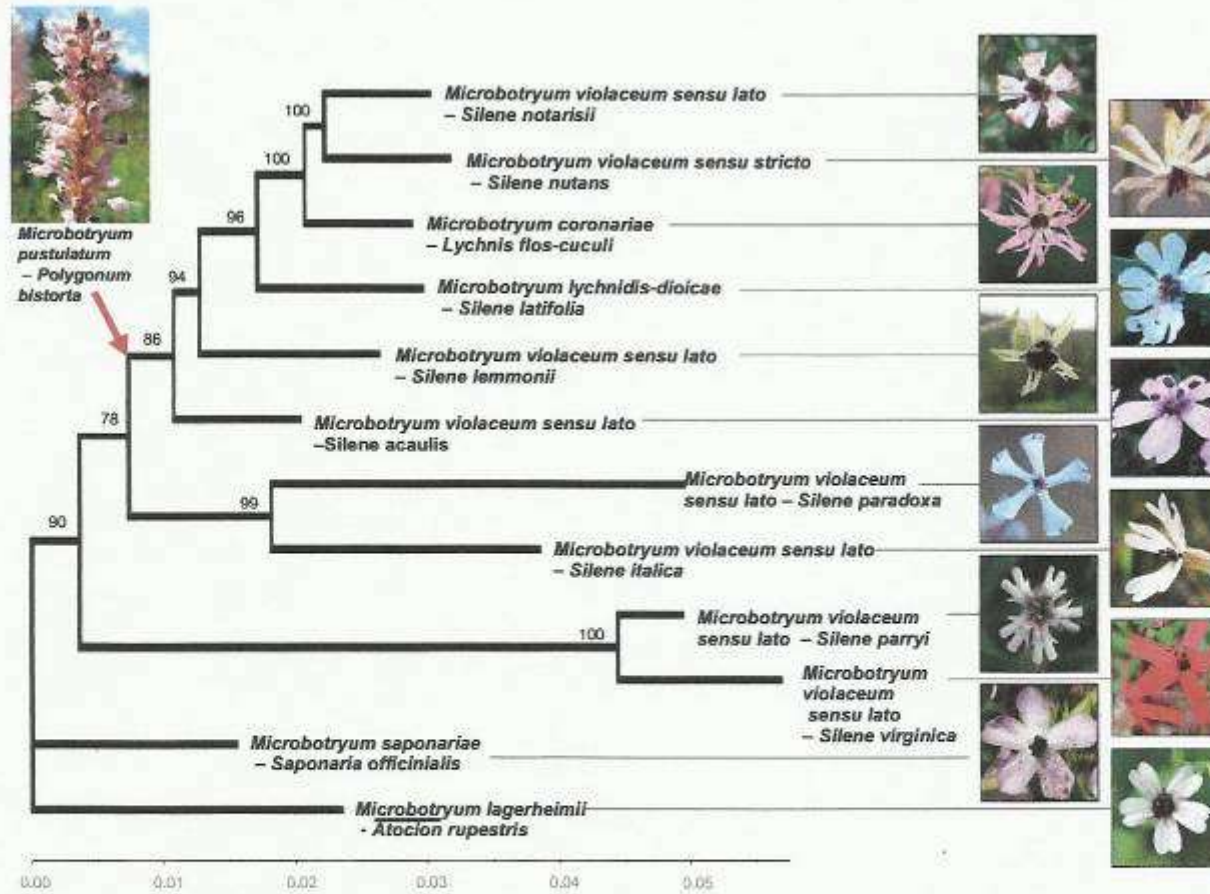
Дифференциация на многие расы (подвиды, виды),
паразитирующие на разных видах хозяев;

Разработанные методы генетического и молекулярно-генетического
изучения;

Наличие «половых» хромосом;

Внутритетрадное оплодотворение.

Дифференциация на многие расы (подвиды, виды), паразитирующие на разных видах хозяев;



loaded from <http://mlbe.oxfordjournals.org/> by guest on January 29, 2015

FIG. 3. Unrooted phylogenetic tree of the *Microbotryum* species studied, with a gene partition model under the maximum-likelihood framework. The topologies obtained with the different data sets were all identical: The full set of 5,726 putative orthologous genes (POGs), the 46 POGs including the outgroup, the 5,453 non-MAT chromosome POGs, and the set of 288 non-MAT chromosome POGs with high individual bootstraps. Bootstraps obtained using the full set of 5,726 POGs are indicated at the nodes. The root obtained with the 46 concatenated POGs including the outgroup species, *M. pustulatum* parasitizing *Polygonum bistorta*, is indicated with a red arrow. The scale indicates the total number of substitutions per base accumulated in each lineage. Fungal species names, and host species names, are indicated. *Microbotryum violaceum sensu lato* applies to all host-specific lineages for which no Latin name has been given, whereas *Microbotryum violaceum sensu stricto* indicates the host-specific lineage to which this Latin name was originally given. Pictures of diseased host plants are shown.

Чем *Microbotryum* привлекателен как объект изучения?

Эстетическая привлекательность;

Легкость культивирования;

Повсеместное распространение;

Дифференциация на многие расы (подвиды, виды), паразитирующие на разных видах хозяев;

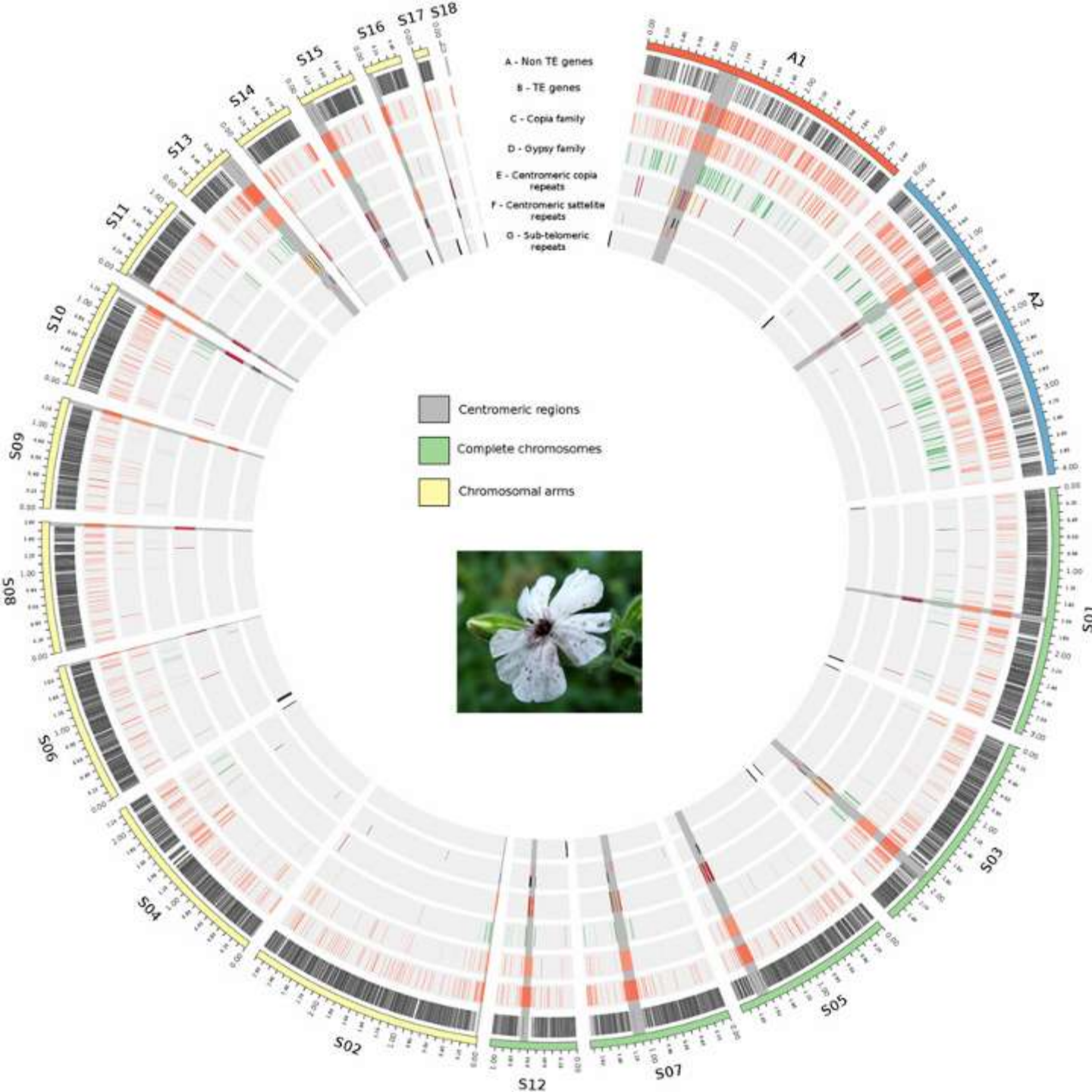
Разработанные методы генетического и молекулярно-генетического изучения;

Наличие «половых» хромосом;

Внутритетрадное оплодотворение.

Геном Microbotryum секвенирован!

(2015)



Чем *Microbotryum* привлекателен как объект изучения?

Эстетическая привлекательность;

Легкость культивирования;

Повсеместное распространение;

Дифференциация на многие расы (подвиды, виды), паразитирующие на разных видах хозяев;

Разработанные методы генетического и молекулярно-генетического изучения;

Наличие «половых» хромосом;

Внутритетрадное оплодотворение.

Хромосомы
штаммов a_1 и a_2
типов спаривания,
несущие локус типа
спаривания,
отличаются
множественными
перестановками

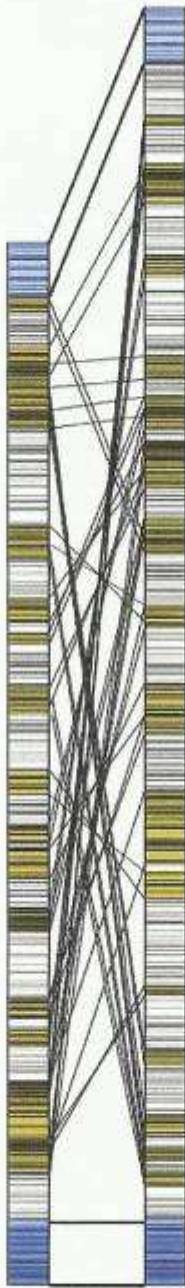


Figure 1 Alignment of restriction digest optical maps for the a_1 and a_2 mating-type chromosomes of *Microbotryum lychnidis-dioicae* (= *M. violaceum* isolated from *Silene latifolia*). Horizontal lines within each chromosome represent the distribution of restriction sites. Lines connecting

Чем *Microbotryum* привлекателен как объект изучения?

Эстетическая привлекательность;

Легкость культивирования;

Повсеместное распространение;

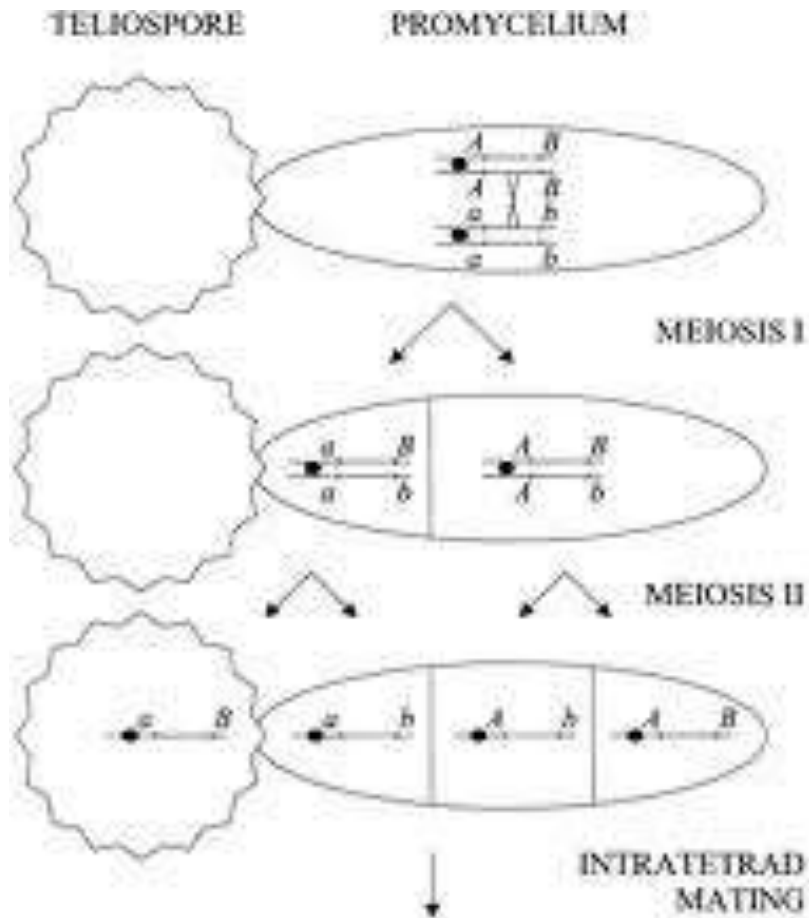
Дифференциация на многие расы (подвиды, виды), паразитирующие на разных видах хозяев;

Разработанные методы генетического и молекулярно-генетического изучения;

Наличие «половых» хромосом;

Внутритетрадное оплодотворение.

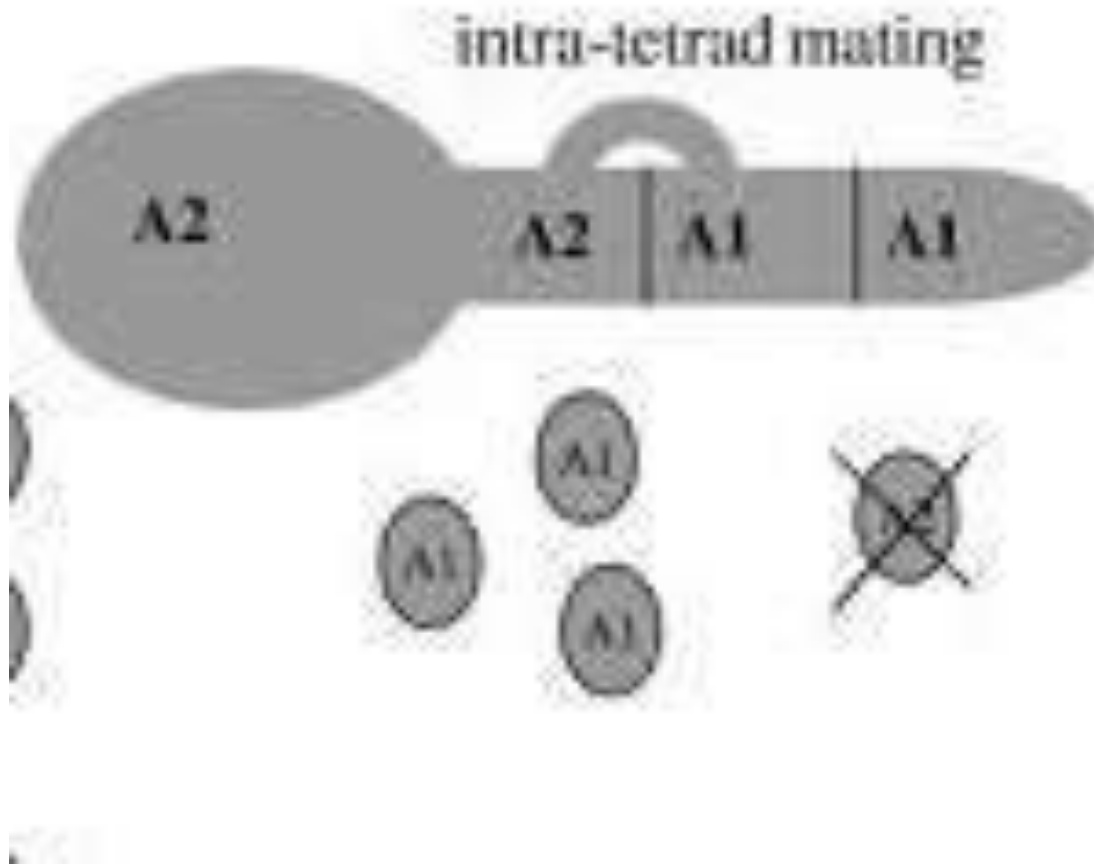
Тетрады ядер при прорастании телеоспоры и внутритетрадное спаривание



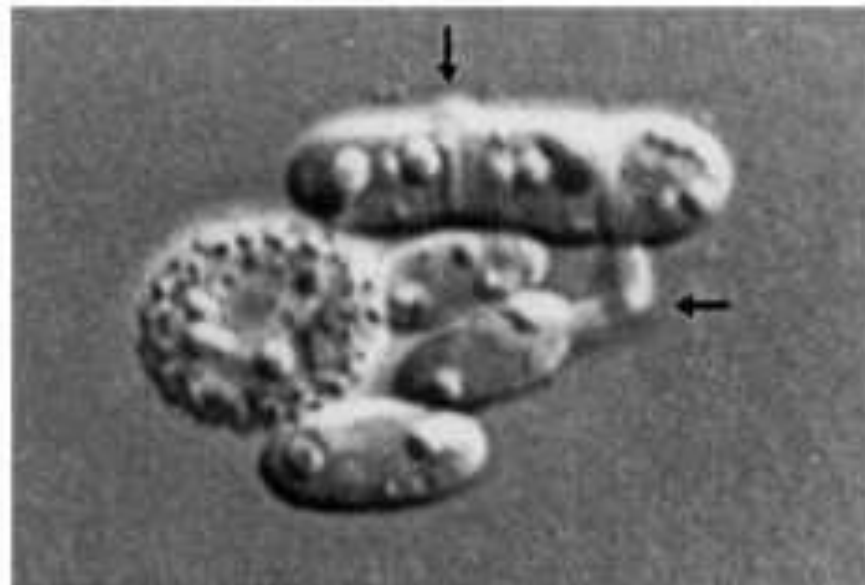
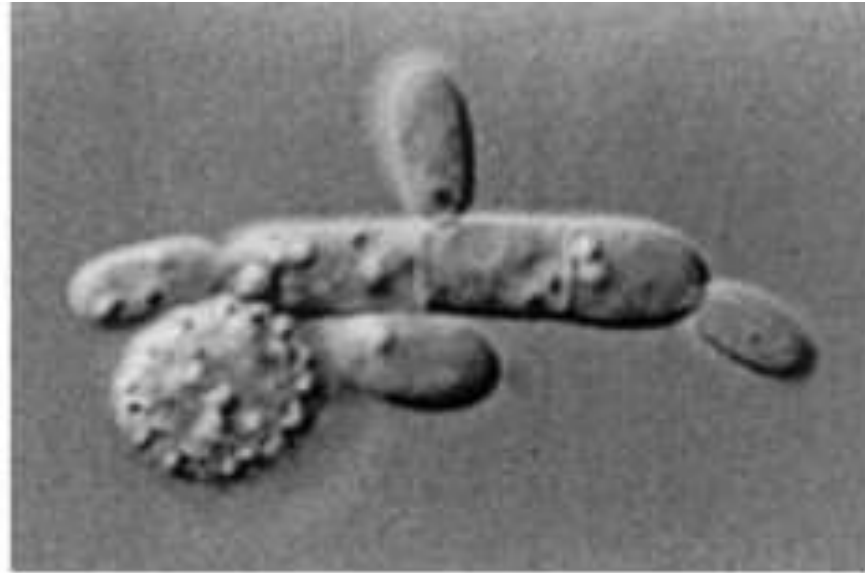
Products of intratetrad mating given first-division segregation of mating type:



Конъюгация клеток одной тетрады, но разного типа спаривания



Конъюгация между клетками одной тетрады, но разного типа спаривания



Последствия внутритетрадного оплодотворения были впервые рассмотрены И.А.Захаровым в 1965 г.

1965

ВЕСТНИК ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 9

ГЕНЕТИКА

И. А. Захаров

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВНУТРИТЕТРАДНОГО СПАРИВАНИЯ АСКОСПОР У ДРОЖЖЕЙ

Summary

The analysis of some properties of intratetrad fertilization as revealed in some yeasts and described by James and Inge-Vechtomov is given.

In successive generations of intratetrad fertilization the rate of approach to complete homozygosis is slower than in the case of self-fertilization, thus the intratetrad fertilization being similar to some inbreeding systems. The proportions of homozygotes in the first generation for one gene (α), for two non-linked genes (β), for two genes linked with their centromeres (γ), for two linked genes (δ), and for gene linked with mating type locus (ϵ) were determined. These frequencies of homozygosity are expressed by the equations of Rizet – Engelman and Papazian in relation to tetrad type frequencies (f_P , f_N , f_T) and crossingover frequency (x).

Публикации И.А.Захарова 1965-68 гг

о внутритетрадном спаривании

стали цитироваться начиная с 1998 г. —

(Antonovich et al., Int. J Plant Sci 159: 192-198 и др.)

и продолжают цитироваться:

EUKARYOTIC CELL, May 2008, p. 765–775 Vol. 7, No. 5

Mating System of the Anther Smut Fungus *Microbotryum violaceum*:
Selfing under Heterothallism_

Tatiana Giraud,^{1,2†*} Roxana Yockteng,^{3†} Manuela Lo´pez-Villavicencio,³

Guislaine Refre´gier,^{1,2} and Michael E. Hood^{4*}

*Universite´ Paris-Sud, F-91405 Orsay cedex, France*₁

110. **Zakharov, I.** 1986. Some principles of the gene localization in eukaryotic chromosomes: formation of the problem and analysis of nonrandom localization of the mating-type loci in some fungi. *Genetika* **22**:2620–2624.


111. **Zakharov, I. A.** 2005. Intratetrad mating and its genetic and evolutionary consequences. *Russ. J. Genet.* **41**:508–519.


Ведущий специалист в изучении *Microbotryum* - Tatiana Giraud
Directrice de Recherche CNRS
Directrice adjointe de l'UMR Ecologie, Systématique et Evolution







2015


Badouin H, Hood ME, Gouzy J, Aguilera G, Siguenza S, Perlin MH, Cuomo C, Fairhead C, Branca A, Giraud T (2015)-Chaos of rearrangements in the mating-type chromosomes of the anther-smut fungus *Microbotryum lychnidis-dioicae*. *Genetics*, In press 

Fontanillas E, Hood ME, Badouin H, Petit E, Barbe V, Gouzy J, de Vienne DM, Aguilera G, Poulain J, Wincker P, Chen Z, Toh, SS, Cuomo C, Perlin MH, Gladieux P, Giraud T (2015)-Degeneration of the non-recombining regions in the mating type chromosomes of the anther smut fungi. *Mol Biol Evol*, In press 


Gladieux P, Feurtey A, Hood ME, Snirc A, Clavel J, Dutech C, Roy M, Giraud T. (2015)-The population biology of fungal invasions. *Mol Ecol*, In press 


Idnurm A, Hood ME, Johannesson H and Giraud T. (2015)-Contrasted patterns in mating-type chromosomes in fungi: hotspots versus coldspots of recombination. *Fung. Biol. Rev.*, In press 

Perlin MH, Amselem J, Fontanillas E, Toh SS, Chen Z, Goldberg J, Duplessis S, Henrissat B, Young S, Zeng Q, Aguilera G, Petit E, Badouin H, Andrews J, Razeq D, Gabaldón T, Quesneville H, Giraud T, Hood ME, Schultz D, Cuomo CA. (2015)-Sex and Parasites: Genomic and transcriptomic analysis of *Microbotryum lychnidis-dioicae*, the biotrophic and plant-castrating anther smut fungus. *BMC Genomics*, In press 


Pintye A, Ropars J, Harvey N, Shin HD, Leyronas C, Nicot PC, Giraud T, Kiss L. (2015)-Host phenology and geography as drivers of differentiation in generalist mycoparasites. *PLoS One*, In press 


2014

Aguilera G, de Vienne DM, Ross ON, Hood ME, Giraud T, Petit E, and Gabaldón T. (2014)-High variability of mitochondrial gene order in basidiomycetes. *Genome Biology and Evolution*, In press 

Buono L, Lopez-Villavicencio M, Shykoff JA, Snirc A, Giraud T (2014)-Influence of Multiple Infection and Relatedness on Virulence: Disease Dynamics in an Experimental Plant Population and Its Castrating Parasite *PLoS One*, In press 

Gibson AK, Refrégier G, Hood, ME, and Giraud T. (2014)-Performance of a hybrid fungal pathogen on pure species and hybrid host plants. *Int J Plant Sci*, Sous presse 

Gladieux P, Ropars R, Badouin H, Branca A, Aguilera G, de Vienne DM, Rodriguez de la Vega R, Branco S, Giraud T. (2014)-Invited Review : Fungal evolutionary genomics provide insights into the mechanisms of adaptive divergence in eukaryotes. *Mol Ecol*, Sous Presse 

Ropars J, López-Villavicencio M, Dupont J, Snirc A, Gillot G, Coton M, Jany JL, Coton E, Giraud T (2014)-Sexual reproduction and genetic diversity in the cheese fungus *Penicillium roqueforti*. *Evolutionary Applications*, In press 

Некоторые
публикации
Т. Giraud по
ЭВОЛЮЦИИ И
ГЕНЕТИКЕ
Microbotryum,
см. сайт [http://www.e-se.u-
psud.fr/article211.html?lang
=en](http://www.e-se.u-psud.fr/article211.html?lang=en)

Некоторые разрабатываемые проблемы:

- пути инвазии ;
- эволюция вирулентности;
- коэволюция паразита и хозяина

- ПУТИ ИНВАЗИИ

THE POPULATION BIOLOGY OF FUNGAL INVASIONS 11

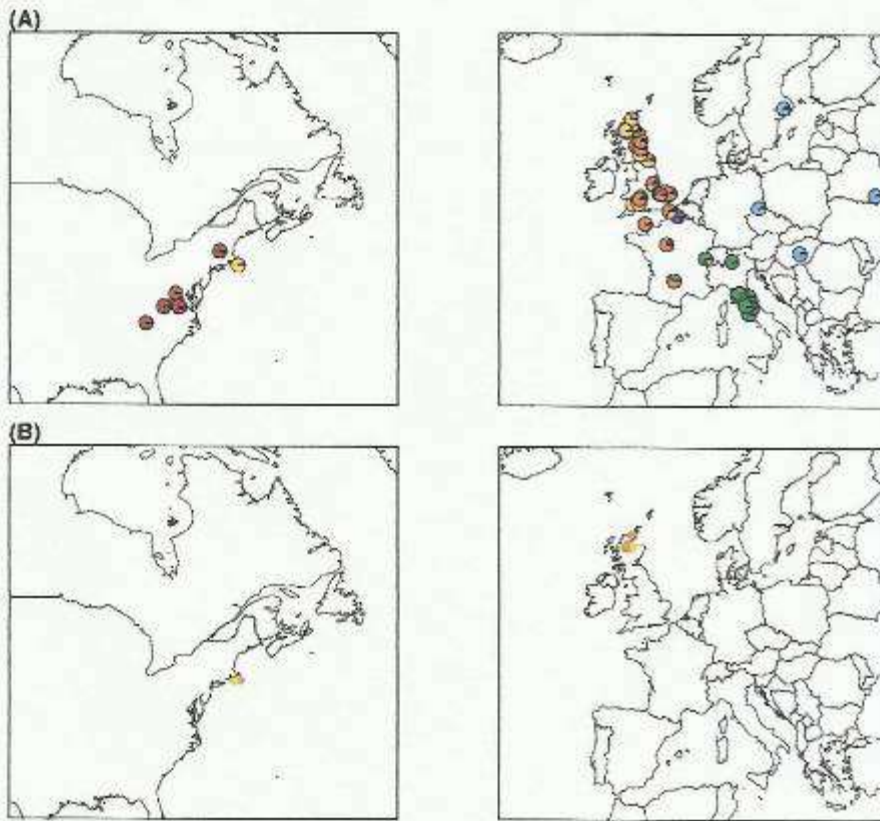


Fig. 3 Assignment of North American fungal *Microbotryum lychnidis-dioicae* samples, collected on *Silene latifolia*, to European populations. (A) Map of the samples collected in the United States and Europe ($N = 328$ individuals), with colours representing the mean membership proportions inferred by STRUCTURE for $K = 6$; higher K did not allow assigning more precisely American isolates to European populations, see Fig. S1. (B) Map of the samples assigned to the yellow cluster in (A) and with identical genotypes in the United States and in Scotland; a specific colour (yellow or brown) has been given for each of the two multilocus genotypes of the yellow cluster in the USA. Colours represent the inferred ancestry from K ancestral populations. The percentages indicated are the proportions of runs that found the main solution shown here.

COLOR

- ЭВОЛЮЦИЯ ВИРУЛЕНТНОСТИ;

Influence of Multiple Infection and Relatedness on Virulence: Disease Dynamics in an Experimental Plant Population and Its Castrating Parasite

Lorenza Buono^{1,2}, Manuela Lo´pez-Villavicencio³, Jacqui A. Shykoff^{1,2}, Alodie Snirc^{1,2}, **Tatiana Giraud**^{1,2*}

¹ Ecologie, Systématique et Evolution, Université Paris-Sud, Orsay, France, ² Ecologie, Systématique et Evolution, CNRS, Orsay, France, ³ Department Systématique et Evolution, Origine, Structure, Evolution de la Biodiversité, UMR 7205 CNRS-MNHN, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France

Abstract

The level of parasite virulence, i.e., the decrease in host's fitness due to a pathogen, is expected to depend on several parameters, such as the type of the disease (e.g., castrating or host-killing) and the prevalence of multiple infections. Although these parameters have been extensively studied theoretically, few empirical data are available to validate theoretical predictions. Using the anther smut castrating disease on *Silene latifolia* caused by *Microbotryum lychnidis-dioicae*, we studied the dynamics of multiple infections and of different components of virulence (host death, non-recovery and percentage of castrated stems) during the entire lifespan of the host in an experimental population. We monitored the number of fungal genotypes within plants and their relatedness across five years, using microsatellite markers, as well as the rates of recovery and host death in the population. The mean relatedness among genotypes within plants remained at a high level throughout the entire host lifespan despite the dynamics of the disease, with recurrent new infections. Recovery was lower for plants with multiple infections compared to plants infected by a single genotype. As expected for castrating parasites, *M. lychnidis-dioicae* did not increase host mortality. Mortality varied across years but was generally lower for plants that had been diseased the preceding year. This is one of the few studies to have empirically verified theoretical expectations for castrating parasites, and to show particularly i) that castrated hosts live longer, suggesting that parasites can redirect resources normally used in reproduction to increase host lifespan, lengthening their transmission phase, and ii) that multiple infections increase virulence, here in terms of non-recovery and host castration.

Основные выводы:

Паразит, кастрирующий хозяина, увеличивает его продолжительность жизни

Множественная инфекция увеличивает вирулентность

-КОЭВОЛЮЦИЯ ПАРАЗИТА И ХОЗЯИНА

BMC Evolutionary Biology



Research article

Open Access

Cophylogeny of the anther smut fungi and their caryophyllaceous hosts: Prevalence of host shifts and importance of delimiting parasite species for inferring cospeciation

Guislaine Refrégier¹, Mickaël Le Gac^{1,2}, Florian Jabbour¹, Alex Widmer⁴,
Jacqui A Shykoff¹, Roxana Yockteng^{1,3}, Michael E Hood⁵ and
Tatiana Giraud^{*1}

the anther smut fungi and their Caryophyllaceae
of host shifts and importance of delimiting
or inferring cospeciation

Mickael Le Gall^{1,2}, Florian Jabbour¹, Alex Widmer¹,
Alexandra Yockteng^{1,3}, Michael E Hood⁵ and

Caryophyllaceae

Microbotryum

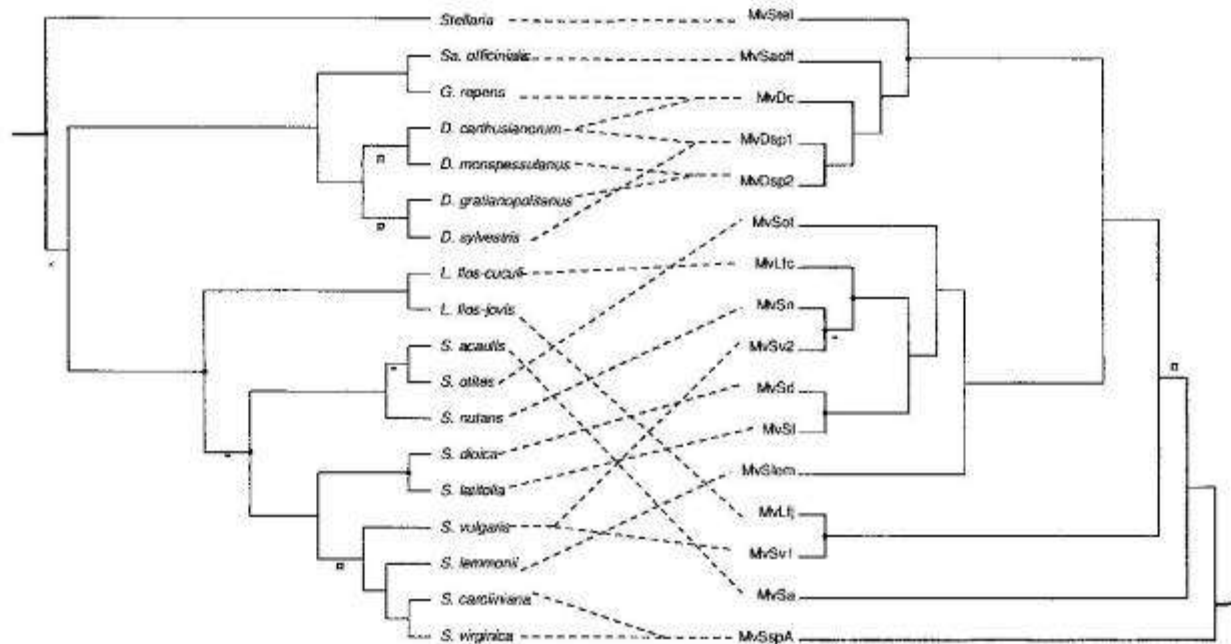


Figure 4
Comparison of plant and fungal phylogenies using a single representative per fungal species. Representation of the associations between Caryophyllaceae (left) and *Microbotryum* (right) with the *a priori* least congruent combinations between all possible resolved topologies for host and parasite trees, using a single representative per fungal species (with 'MinT' topology for the plant tree, and 'Bl' topology for fungal tree, See Table 3). See Fig. 3 for symbol legend.

Silene latifolia,

S. dioica



Время дивергенции видов
хозяина – **0.99-11.0** млн лет;

Время дивергенции видов
патогена **0.42** млн лет



Гибридизация в роде *Microbotryum* в природе



MBE

Gladieux et al. - doi:10.1093/molbev/msq235

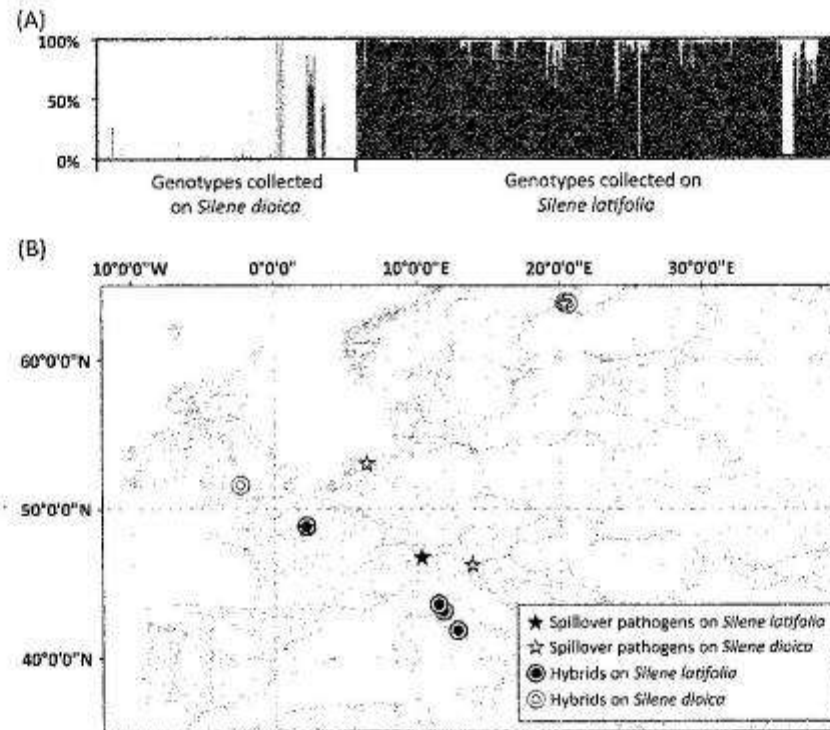


FIG. 1. Hybrids and strains resulting from cross-species disease transmission identified using the model-based Bayesian clustering algorithm implemented in the INSTRUCT program. (A) Membership proportions (q) in $K = 2$ clusters were inferred for 1028 multilocus microsatellite genotype of *M. lychnidis-dioica* (*MvSl*) and *M. silenes-dioicae* (*MvSd*) collected on *Silene latifolia* and *S. dioica*. Each genotype is represented by a thin bar, partitioned into segments representing membership proportions in each cluster. Hybrids and strains resulting from cross-species

В первый раз я участвовал в Микологической школе в Звенигороде в 1979 г. Та школа оставила у меня приятнейшие воспоминания. Я желаю всем участникам этой Школы в 2050 году вспоминать ее с таким же удовольствием, с каким я сейчас вспоминаю Школу 1979 года.

JAZZ à la Villette 3-13 septembre

01 44 84 44 84
01 40 03 75 75
jazzlavillette.com

Palais de la Villette
Cité de la Musique
Cité de la Danse
Cité de l'Architecture
Cité de l'Art et de l'Essai
Cité de la Chimie
Cité de la Santé

PARIS
MUSÉE D'ART MODERNE DE PARIS

JURASSIC 5

LEE FIELDS

STEVY COLEMAN

BALLAKÉ BISSOKO & VINCENT SEGAL

ARONIS SHEPP
MELVIN VAN PRESBLES
& THE HELIOCENTRICS

DI PREMIER
LIVE

TONY ALLEN

YARON HERMAN

CÉCILE
MCLORIN SALVANT

THE BAD PLUS

WHO IS WILLIAM
DIXIEBROS 1

NINA SIMONE TRIBUTE

THE SOURCE-RANCHER
COLLECTIVE

HUGH COLTMAN

ROMANO
SCLAVIS
TEXIER

YASIN BEY

Jazzy is not dead

CRÉDITS: ...

AFEP ...

**Благодарю
за
внимание!**