

곤충병원성 곰팡이를 이용한 모기 방제

최광식^{1*} · 정희영²

¹경북대학교 자연과학대학 생명과학부, ²경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부

Mosquito Control Using Entomopathogenic Fungi

Kwang Shik Choi^{1*} and Hee-Young Jung²

¹College of Natural Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

²College of Agriculture and Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

ABSTRACT : Insects are commonly infected by fungal diseases and are mostly susceptible to them. Increasing levels of insecticide resistance has recently become an issue for control programs; thus, research has focused on mosquito control using entomopathogenic fungi, including fungal pathogens such as *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Lagenidium giganteum*. Review discusses entomopathogenic fungi related to control programs for mosquito transmitted vector-borne diseases such as dengue, filariasis, malaria, and yellow fever, and how to use entomopathogenic fungi for mosquito control.

KEYWORDS : Entomopathogenic fungi, Fungal disease, Mosquito control

1835년 *Beauveria bassiana*가 발견된 이래로 [1] 곰팡이를 이용한 많은 상업적 상품들이 해충 방제에 이용되고 있다 [2, 3]. 주로 곤충의 외피, 섭취, 상처 또는 기관을 통해서 곤충병원성 곰팡이 감염이 이루어지고 [4] 지금까지 약 90속 700종 이상이 이러한 감염에 관여하는 것으로 알려져 있다 [5].

전세계적으로 해충 방제 방법은 살충제를 이용한 화학적 방제가 가장 많이 사용되고 있고, 현재는 새롭게 개발된 친환경적이고 좀 더 인간에게 안전한 살충제가 이전에 개발된 살충제를 점점 대체해 나가고 있다. 하지만 환경오염과 매개충의 살충제 저항성 문제로 인해 [6], 지난 수십 년간 화학적 방제를 대체할 생물적 방제에 대한 연구에 많은 관심을 가지면서 최근에는 화학적 방제를 대체할 수

단으로 곰팡이를 이용하는 말라리아 매개 모기 방제에 관한 연구가 말라리아에 의해 매년 60만명 이상이 사망하는 아프리카를 중심으로 큰 관심을 받고 있다 [7-12].

곰팡이에 의한 생물적 방제는 아직 극소수의 종에 불과하고, 아프리카에서 성공적인 모기 방제 사례는 주로 성충 모기를 대상으로 한 화학적 방제가 대부분이지만, 최근 연구에서는 불완전균류에 속하는 곰팡이를 이용한 성충 모기의 방제법이 연구되기 시작하였다 [7-11]. 성충 모기의 방제는 이들 곰팡이와의 물리적 접촉으로부터 외피층 침투를 통한 감염으로 이루어진다 [13]. 이와 같은 방제 방법은 일반적인 화학적 방제와 유사하지만, 곤충병원성 곰팡이는 대개 환경과 사람에게 유해하지 않아 해충 방제에 유용하다고 할 수 있다. Table 1은 지금까지 3속의 모기(숲모기속, 학질모기속, 집모기속)에서 발견되었거나 시험된 곤충병원성 곰팡이를 목록화한 것이다.

이 총설에서는 모기에 대한 중요한 곤충병원성 곰팡이에 대한 정보를 분석하고 최근 동향을 열거했으며, 또한 모기 개체군을 줄여나감에 있어 생물적 방제에 사용되는 곤충병원성 곰팡이의 잠재성과 문제점을 기술하였다.

사육실 내 실험방법

병원성 곰팡이를 모기에 감염시키기 위한 사육실 내 실험 중 몇 가지를 소개하고자 한다. 성충 모기의 경우 모기 장으로 싸여진 각 변의 길이가 30 cm인 우리에 유리관을

Kor. J. Mycol. 2015 June, 43(2): 77-87
<http://dx.doi.org/10.4489/KJM.2015.43.2.77>
 pISSN 0253-651X • eISSN 2383-5249
 © The Korean Society of Mycology

*Corresponding author
 E-mail: ksc@knu.ac.kr

Received June 12, 2015
 Revised June 14, 2015
 Accepted June 17, 2015

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. List of entomopathogenic fungi found or tested on three genera mosquito species in the laboratory or in the field

Mosquito species	Entomopathogenic fungi	Infected stage	Reference
<i>Aedes aegypti</i>	<i>Leptolegnia chapmanii</i>	larva	[63]
	<i>Pythium</i> sp.	larva	[64]
	<i>Lagenidium giganteum</i>	larva	[65]
	<i>Crypticola clavulifera</i>	larva	[66]
	<i>Coelomomyces stegomyiae</i> var. <i>stegomyiae</i>	larva/adult	[67]
	<i>Entomophthora culicis</i>	adult	[56]
	<i>Entomophthora musca</i>	adult	[68]
	<i>Eryinia conica</i>	adult	[69]
	<i>Zoophthora radicans</i>	adult	[70]
	<i>Smittium</i> sp.	larva	[54]
	<i>Beauveria tenella</i>	larva	[71]
	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[28]
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	adult	[61]
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	larva	[72]
	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	larva	[73]
	<i>Tolypocladium cylindrosporum</i>	larva	[74]
	<i>Beauveria bassiana</i>	adult	[61]
	<i>Isaria fumosorosea</i>	adult	[61]
	<i>Isaria farinosa</i>	adult	[61]
	<i>Isaria flavovirescens</i>	adult	[61]
<i>Lecanicillium</i> spp.	adult	[61]	
<i>Aedes albopictus</i>	<i>Leptolegnia</i> sp.	larva	[75]
	<i>Pythium carolinianum</i>	larva	[47]
	<i>Coelomomyces stegomyiae</i> var. <i>stegomyiae</i>	larva/adult	[76]
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	larva	[77]
<i>Aedes africanus</i>	<i>Pythium</i> sp.	larva	[64]
<i>Aedes simpsoni</i>	<i>Pythium</i> sp.	larva	[64]
<i>Aedes polynesiensis</i>	<i>Coelomomyces maclaeyae</i>	larva	[78]
	<i>Coelomomyces polynesiensis</i>	larva	[78]
	<i>Coelomomyces stegomyiae</i> var. <i>stegomyiae</i>	larva	[79]
<i>Aedes cinereus</i>	<i>Coelomomyces psorophorae</i> var. <i>psorophorae</i>	larva	[80]
<i>Aedes vexans</i>	<i>Coelomomyces psorophorae</i> var. <i>psorophorae</i>	larva/adult	[81]
	<i>Tolypocladium cylindrosporum</i>	larva	[36]
<i>Aedes scutellaris</i>	<i>Coelomomyces stegomyiae</i> var. <i>stegomyiae</i>	larva	[79]
<i>Aedes detritus</i>	<i>Entomophthora culicis</i>	adult	[56]
	<i>Fusarium oxysporum</i>	larva	[82]
<i>Aedes cantans</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	larva	[83]
	<i>Fusarium semitectum</i>	larva	[83]
<i>Aedes pionyasis</i>	<i>Geotrichum candidum</i>	larva	[83]
<i>Aedes subalbirostris</i>	<i>Tolypocladium cylindrosporum</i>	larva	[84]
<i>Aedes kochi</i>	<i>Culicinomyces bisporales</i>	larva	[85]
<i>Aedes albifasciatus</i>	<i>Smittium morbosum</i>	larva	[55]
<i>Aedes dorsalis</i>	<i>Beauveria tenella</i>	larva	[71]

Table 1. List of entomopathogenic fungi found or tested on three genera mosquito species in the laboratory or in the field (continued)

Mosquito species	Entomopathogenic fungi	Infected stage	Reference
<i>Aedes hexodontus</i>	<i>Beauveria tenella</i>	larva	[71]
<i>Aedes altropalpus epactius</i>	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[86]
<i>Aedes atropalpus epactius</i>	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[87]
<i>Aedes rubrithorax</i>	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[88]
<i>Aedes rupestris</i>	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[31]
<i>Anopheles funestus</i>	<i>Metarhizium anisopliae</i>	adult	[62]
<i>Anopheles gambiae</i>	<i>Leptolegnia</i> sp.	larva	[46]
	<i>Lagenidium giganteum</i>	larva	[65]
	<i>Pythium</i> sp.	larva	[64]
	<i>Coelomomyces indicus</i>	larva	[89]
	<i>Smittium</i> sp.	larva	[54]
	<i>Beauveria bassiana</i>	adult	[14, 25]
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	adult	[13]
<i>Anopheles albimanus</i>	<i>Leptolegnia chapmanii</i>	larva	[63]
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	larva	[72]
<i>Anopheles quadrimaculatus</i>	<i>Leptolegnia chapmanii</i>	larva	[63]
	<i>Lagenidium giganteum</i>	larva	[90]
	<i>Coelomomyces psorophorae</i> var. <i>tasmaniensis</i>	larva	[23]
	<i>Coelomomyces punctatus</i>	larva	[78]
	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[87]
<i>Anopheles culicifacies</i>	<i>Leptolegnia caudata</i>	larva	[91]
	<i>Coelomomyces indicus</i>	larva	[69]
<i>Anopheles freeborni</i>	<i>Lagenidium giganteum</i>	larva	[92]
	<i>Pythium sierrensis</i>	larva	[93]
<i>Anopheles arabiensis</i>	<i>Coelomomyces indicus</i>	larva	[94]
	<i>Beauveria bassiana</i>	adult	[14]
<i>Anopheles indefinitus</i>	<i>Coelomomyces indicus</i>	larva	[95]
<i>Anopheles stephensi</i>	<i>Coelomomyces indicus</i>	larva	[95]
	<i>Entomophthora culicis</i>	adult	[56]
	<i>Beauveria tenella</i>	larva	[96]
	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[87]
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	larva	[97]
	<i>Fusarium pallidoroseum</i>	larva	[98]
	<i>Fusarium semitectum</i>	larva	[83]
	<i>Geotrichum candidum</i>	larva	[83]
	<i>Trichophyton ajelloi</i>	larva	[99]
	<i>Anopheles maculipennis</i>	<i>Coelomomyces irani</i>	larva
<i>Entomophthora culicis</i>		adult	[56]
<i>Geotrichum candidum</i>		larva	[83]
<i>Anopheles vagus</i>	<i>Coelomomyces indicus</i>	larva	[95]
<i>Anopheles punctulatus</i>	<i>Coelomomyces lairdi</i>	larva	[101]
<i>Anopheles squamosus</i>	<i>Coelomomyces numularius</i>	larva	[102]
<i>Anopheles crucians</i>	<i>Coelomomyces punctatus</i>	larva	[78]

Table 1. List of entomopathogenic fungi found or tested on three genera mosquito species in the laboratory or in the field (continued)

Mosquito species	Entomopathogenic fungi	Infected stage	Reference
<i>Anopheles hilli</i>	<i>Smittium morbosum</i>	larva	[54]
<i>Anopheles amictus hilli</i>	<i>Culicinomyces</i> spp.	larva	[103, 104]
	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[103, 104]
<i>Anopheles farauti</i>	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[103, 104]
<i>Anopheles punctipennis</i>	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[87]
<i>Culex quinquefasciatus</i>	<i>Leptolegnia chapmanii</i>	larva	[63]
	<i>Pythium carolinianum</i>	larva	[47]
	<i>Pythium</i> sp.	larva	[64]
	<i>Lagenidium giganteum</i>	larva	[105]
	<i>Entomophthora coronate</i>	adult	[106]
	<i>Beauveria tenella</i>	larva	[71]
	<i>Culicinomyces</i> spp.	larva	[103, 104]
	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[87]
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	larva	[72]
	<i>Trichophyton ajelloi</i>	larva	[99]
	<i>Pythium sierrensis</i>	larva	[93]
	<i>Lagenidium giganteum</i>	larva	[107]
	<i>Beauveria bassiana</i>	larva/adult	[24]
<i>Culex tarsalis</i>	<i>Beauveria tenella</i>	larva	[71]
	<i>Tolypocladium cylindrosporum</i>	larva	[35]
	<i>Lagenidium giganteum</i>	larva	[65, 92]
	<i>Conidiobolus destruens</i>	adult	[108]
	<i>Entomophthora conglomerata</i>	adult	[23]
	<i>Entomophthora culicis</i>	adult	[56]
	<i>Entomophthora destruens</i>	adult	[69]
	<i>Entomophthoraceae</i>	adult	[69]
	<i>Smittium</i> sp.	larva	[54]
	<i>Beauveria tenella</i>	larva	[97]
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	larva	[15, 109]
	<i>Fusarium culmorum</i>	pupa	[110]
	<i>Fusarium dimerum</i>	pupa	[110]
<i>Fusarium oxysporum</i>	larva	[82]	
<i>Paecilomyces farinosus</i>	larva	[83]	
<i>Culex tigripes</i>	<i>Pythium</i> sp.	larva	[64]
<i>Culex guiarti</i>	<i>Coelomomyces angolensis</i>	larva	[111]
<i>Culex modestus</i>	<i>Coelomomyces iliensis</i>	larva	[112]
<i>Culex erraticus</i>	<i>Coelomomyces pentangulatus</i>	larva	[102]
	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[87]
<i>Culex restuans</i>	<i>Eryinia conica</i>	adult	[69]
	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[87]
<i>Culex territans</i>	<i>Culicinomyces clavisporus</i>	larva	[87]
	<i>Tolypocladium cylindrosporum</i>	larva	[36]

설치하고 곰팡이를 처리하는 방법이다[8] (Fig. 1A). 이것은 우리에게 부화한지 1~2일된 30~50 마리의 암수 모기를 넣고 표면적을 넓히기 위해서 돌출된 짧은 플라스틱 헤어롤러 (suspensor) 안쪽으로 6% 포도당을 적신 필터 종이를 부착하고, 아래에는 유리병을 부착하여 포도당을 담아두고 필터 종이로 계속 공급될 수 있도록 한다. 헤어롤러에는 100 mg의 분생포자를 붓으로 조심스럽게 묻혀 헤어롤러 사이의 구멍으로 포도당을 섭취하기 위해 착지한 모기의 몸이 분생포자에 노출되게 한다. 이 실험은 최소 8일 이상 진행되고 죽은 모기는 매일 제거하여 페트리 접시에 증류수로 적신 필터 종이를 설치한 다음 죽은 모기를 놓고 파라필름으로 봉합하여 곰팡이 감염을 확인한다.

또 다른 방법으로는 World Health Organization의 권장 방제시험 방법으로 플라스틱 고깔과 병원성 곰팡이가 처리된 타일을 이용하는 방법이다[14] (Fig. 1B). 이 방법은 만들어진 포자를 타일 위에 펌프 스프레이를 이용하여 분사 후 24시간 동안 실내온도에서 건조시킨 뒤, 타일 위에 플라스틱 고깔을 덮고 30~60 마리의 흡혈하지 않은 암컷 모기를 넣고 실험 용도에 맞게 곰팡이의 노출 시간을 조절한다. 노출 후 모기들은 곰팡이 처리가 되지 않은 정상 우리로 옮겨지고 흡혈 또는 10% 포도당 용액을 제공한다. 모기가 모두 죽거나 14일이 될 때까지 죽은 모기 수를 계산하고 우리에서 제거한다. 모기 유충의 경우, 플라스틱 컵에 50 mL 증류수와 25마리의 유충을 넣고 1 mL의 곰팡이 포자 현탁액 (10^9 , 10^8 , 10^7 , 10^6 , 10^5 conidia/mL)을 섞어 실험에 사용한다[15]. 이후 10일 동안 유충에게 먹이를 지속적으로 주면서 매일 치사율을 조사한다. 상기의 모든 실험은 분석 오차를 줄이기 위해서 각 분석당 최소 3~4번 반복하는 것이 일반적이고, 이 방법이 곤충병원성 곰팡이의 모기에 대한 살충효과를 검증하는데 주된 실험법으로 통용되고 있다.

곤충병원성 곰팡이 종류

병꿀균문(Chytridiomycota)

병꿀균문 중 *Coelomomyces*속에 속한 종만이 모기에 대한 병원성을 나타내고 있다[9]. 이 속은 유성생식과 무성생식 세대가 번갈아 나타나는 복잡한 생활사를 가진 기생적 수중 곰팡이 70종 이상으로 구성되어 있는데[16], 거의 대부분이 수생 파리목 곤충을 기주로 한다[17, 18]. 대부분의 종이 감수성 연구 결과에서 기주특이적이지는 않지만 상대적으로 기주 범위가 좁은 것으로 보고되어 있다[19]. 이 속에 속하는 많은 종이 모기 유충에 높은 병원성을 나타내기 때문에 상당히 많은 연구가 진행되고 있고 Chapman [17]는 숲모기속, 학질모기속, 집모기속을 포함한 6개의 속에서 17종의 모기를 *Coelomomyces*속과 관련하여 언급했고, Roberts & Strand [20]은 모기 31종에서 *Coelomomyces*속 22종, Weiser [21]은 모기 60종 이상에서 *Coelomomyces*속

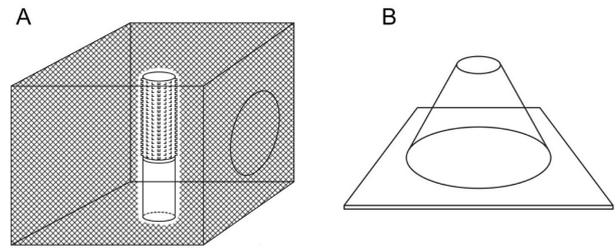


Fig. 1. Bioassay tools for adult mosquitoes. A, suspensor setup [8]; B, standard World Health Organization cone assay [14].

28종을 발견했다.

불완전균문(Deuteromycota)

곤충병원성 곰팡이의 많은 속들은 불완전균문에 속한다. 이들은 모기를 포함한 넓은 기주 범위를 가지면서 가장 흔한 감염경로인 외피층 접촉뿐만 아니라 섭식을 통한 감염도 가능하고 기주를 감염시킨 후 적당한 환경 조건에서 바람이나 물을 통해 분생포자가 분산된다[22].

*Beauveria*속은 가장 자주 분리되는 곤충병원성 곰팡이 속 중 하나로 매우 넓은 기주 범위를 가지고 있고[23], 모기 유충 방제에 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 대표적인 종으로 *Beauveria bassiana*는 분생포자가 수면에 뜨는 소수성이기 때문에 수면 아래 모기 유충의 siphon 끝이 접촉하면서 유충을 감염시킨다고 알려져 있다[24]. 하지만 이 종은 습도에 따라 감염률이 영향을 받을 수 있고[9], 7°C 이하에서 2년 이상 보관이 가능하지만 보관 중인 포자를 꺼냈을 경우 상대적으로 온도에 민감한 것으로 보고되었다[25]. 이 종을 이용한 방제에서 문제점은 잔류 효과가 없고 살포된 분생포자들이 모기 유충과 접촉하지 않더라도 발아함으로써 고용량 사용에 대한 문제와 함께 방제에 큰 문제점으로 지적되고 있지만, 오일과 함께 살포될 경우 이러한 문제를 어느 정도 극복할 수 있는 것으로 알려져 있다[9]. 하지만 아직 척추동물에 대한 안정성 연구는 좀 더 필요할 것으로 생각된다.

자연에서 *Culicinomyces*속에 속하는 곰팡이의 모기 개체군에 대한 효과는 가변적이고 예측하기가 어렵다[26]. 예를 들면 학질모기속 유충 사이에서 *Culicinomyces*속에 대한 감수성이 다르게 나타났고[27], 이집트숲모기가 열대집모기보다 좀 더 감수성을 나타냈다[28]. 또 다른 연구에서는 어린 령충이 오래된 령충보다 좀 더 높은 감수성을 나타냈고, 모기 유충 중에 따라 감수성 정도에 차이를 보였다[27, 29]. 이러한 차이를 나타내게 하는 요소 중 하나는 아마도 분석 컵 바닥에 분생포자가 자리잡기 때문에 분생포자가 물 표면에서 생활하는 학질모기속 유충보다 바닥에서 생활하는 숲모기속 유충에 좀 더 접촉이 용이하기 때문일지도 모른다[27, 28]. *Culicinomyces clavisporus*는 다른 속의 곰팡이에 비해서 복잡한 절차가 필요 없기 때문에 대량 생

산이 가능하며, 상대적으로 저렴한 가격의 인공배지에서 배양만으로 방제에 사용할 수가 있다[30, 31]. 하지만 장기간 보관을 위해서는 영하 70°C 이하에서만 감염 효과를 충분히 유지할 수 있기 때문에 대용량으로 보관하기에는 경제적으로 적절치 않다고 보고되고 있다[30]. 또한 효과적인 방제를 위해서는 높은 용량(100~1000L ha⁻¹)이 필요하고[26, 30], 자연에서는 지속시간이 매우 짧으며, 높은 염도에 약하기 때문에 상대적으로 높은 가변성과 예측 불가능한 결과를 초래할 수도 있다[26]. 뿐만 아니라 자연에 살포했을 경우 모기 유충이 탈피시 감염으로부터 자유로워지는 경우도 있다. 따라서 이 종을 모기 유충 방제에 사용하기 위해서는 이와 같은 문제점들의 해결이 필요하고, 학질모기속 유충과 같이 수면 가까이에서 생활하는 유충에 대한 효과적인 방제를 위한 적절한 처리방법 개발 또한 필요할 것으로 보인다.

*Metarhizium*속 역시도 *Beauveria*속과 마찬가지로 가장 흔한 곤충병원성 곰팡이 중 하나로 전 세계적으로 분포하고 있다. *Metarhizium anisopliae*의 경우, 넓은 기주 범위를 가지고 있는데 이집트숲모기, 지하집모기의 6종 모기 유충에서 효과가 확인되었고[18], 최근에는 지하집모기 유충 방제에 효과가 있다는 것을 다시 한번 확인했다[15]. 이 종은 기주와 접촉하기 전까지 발아되지 않은 상태로 지속 효과를 유지하기 때문에 모기 유충이 탈피하는데 제한을 받지 않고, 모기 유충 치사율이 높으며, 포자를 쉽게 보관할 수 있을 뿐만 아니라 값싼 인공 배지에서 대량 생산이 가능하여 방제에 이용하기 적절하다고 할 수 있다[9]. 하지만 액체 상태로 생산이 불가능하여 살포시 침수가 되므로 반복적으로 자주 살포해야만 효과를 볼 수 있고 미립자 형태이므로 포자가 기주와 물리적으로 직접 접촉해야만 하는 문제점 때문에 가끔 기주와의 접촉에 어려움이 있을 수 있다[9]. 이 곰팡이는 각막염의 원인이 될 수도 있다고 보고되었지만[32], 또 다른 연구에서는 조류, 어류, 인간과 환경에 위험성이 없다고 보고했다[33, 34]. 따라서 이 곰팡이에 대한 이용은 좀 더 안정성에 대한 연구가 필요하고, 목표하지 않는 생물체와 환경에 최대한 위험성이 없도록 주의를 해야만 할 것이다.

*Tolypocladium cylindrosporum*은 *Ochlerotatus sierrensis*에서 처음으로 분리되었고[35], 모기 유충에 병원성 곰팡이로 알려져 있다. 숲모기속 10종, 학질모기속 1종, 집모기속 6종을 포함한 모기 19종이 이 곰팡이에 감수성을 보였다[36]. 하지만 살포 조건이 까다롭고[36], 잔류 효과가 부족하여[37] 사용하기 힘든 것으로 알려져 있다. 이 외에도 몇몇 병원성 곰팡이가 발견되었지만 감염 보고가 거의 없거나 모기에 대한 높은 병원성을 나타내지 않아 모기 방제에 이용되지 않고 있다.

난균문(Oomycota)

난균문은 단지 몇 속에 속하는 종들만이 모기 유충을 감

염시키고 있다. *Leptolegnia*속, *Pythium*속, *Cryptiloca*속은 모기에 병원성을 나타내지만 대부분이 큰 영향을 미치지 않는다[38]. 대표적인 종으로 *Lagenidium giganteum*은 *Lagenidium*속 중 유일한 모기 유충에 기생하는 곰팡이로 모기 방제에 많이 이용되고 있다[39]. Couch [40]에 의해 처음으로 알려진 이 종은 전세계적으로 넓게 분포하고 있다. 집모기속[41], 늪모기속[42], 학질모기속[43] 종에서 특히 높은 치사율을 나타냈지만 다른 연구에서는 흰줄숲모기[44]를 비롯하여 유기물질이 풍부한 서식지의 유충에 효과가 없는 것으로 보고되었다[41]. 열대집모기는 *Leptolegnia chapmani*에 감수성을 보이는 것으로 알려져 있고[45], 아프리카 말라리아 주요 매개 모기인 감비아모기의 유충도 이 곰팡이에 72시간 후 100% 치사율을 보였다[46]. *Pythium carolinianum*은 1994년 중국에서 분리되어 열대집모기 유충에서 13.3~100%의 감염율을 나타냈고, 흰줄숲모기 개체군에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[47].

접합균문(Zygomycota)

접합균문은 분자계통학적 분석을 바탕으로 한 분석에서 단일계통으로 발견되지 않았다[48]. 접합균문은 두 개의 강(Trichomycetes와 Zygomycetes) 중 Trichomycetes강에 속하는 종들이 대개 곤충과 관련이 있고, 실질적 감염원이기 보다는 주로 공생관계인 경우가 많다[49]. 접합균류 중 가장 중요한 곤충병원성 곰팡이는 6개 속 약 200종 이상이 포함된 Entomophthorales목에 속하는 종들로 그 중 몇 종이 주로 모기를 감염시킨다[50]. 이 목에 속한 곰팡이들은 곤충에서 많이 발견되고 있고, 한 곳에서 수년 동안 잔류 효과를 나타내기 때문에 생물적 방제 측면에서 이용 효과가 클 것으로 생각된다[5, 51].

*Smittium*속은 모기 유충에 영향을 주는 곰팡이 속으로 몇몇 종이 말라리아 매개 모기인 감비아모기[52], 지하집모기와 탱기열 및 황열병 매개 모기인 이집트숲모기[53]를 직장 폐색으로 죽게 만드는 것이 관찰되었다. 또한 *Smittium morbosum*은 사육실에서 사육 중인 학질모기속 유충을 감염을 통해 장 폐색으로 죽게 만드는 것이 발견되었고[54], 아르헨티나에서는 이 곰팡이에 숲모기속, 학질모기속, 집모기속, 늪모기속에 속한 종들이 감염된 것이 보고되었지만 사육실과 같은 높은 치사율은 나타나지 않았다[55].

*Entomophthora*속은 주로 성충을 감염시키는데 감염된 깔따구로부터 얻어진 *Chironomus decorus*를 이집트숲모기에 80% 감염시키는데 성공했고[56] 이듬해 *Entomophthora culicis*를 지하집모기에 감염시켰으나 20%만이 감염되었다[57]. *Entomophthora*속에 속하는 많은 병원성 곰팡이가 숲모기속, 학질모기속, 집모기속과 같은 모기속에 속하는 종들을 감염시키는 사례가 많이 보고되었지만[23, 51], Roberts [23]는 *Entomophthora conglomerata*, *Entomophthora destruens*, *Entomophthora* sp.가 지하집모기를 각각 49%, 100%, 97% 감염되는 것을 보고 각각의 곤충병원성 곰팡이

는 아마도 종 특이성을 가지고 있을 것이라고 시사했다. *Entomophthora*속에 감염된 경우, 습한 곳에서 겨울을 지낸 모기 성충이 동굴이나 지하실과 같은 서늘한 서식지에서 겨울을 지낸 성충보다 상대적으로 매우 높은 치사율을 보였지만[17, 21, 23], *Entomophthora*를 이용한 모기방제의 문제점은 포자가 상대습도 75% 이하에서 견뎌낼 수 없다는 것이다[58]. 생존 기간이 긴 휴면포자를 생산할 수 있다면 방제에 이용할 수 있겠지만 길어진 휴면과 동시에 발생하지 않는 발아는 실제로 적용하기 힘들고[5], 효과적인 *in vitro* 증식 체계가 개발되지 못한 관계로 대량 생산이 어려운 것으로 알려져 있다[23, 51]. *Entomophthora culicis*의 경우, 분리 배양이 가능하지만 역시나 대량 생산을 위해서는 실제 시험과 배양 방법의 개발이 필요하다[51].

고 찰

지난 수십 년간 모기 방제에 필요한 효과적인 병원성 곰팡이를 찾고 이를 이용한 대량 생산 방법 개발과 실질적 방제까지도 이루어졌지만 현재까지 대부분의 결과는 기대에 미치지 못하고 있다. 지금까지 알아본 모기병원성 곰팡이에 대한 특징은 현실적 이용을 위해서 비용 효율이 높은 대량 생산과 반복적인 살포가 필요하고 주로 모기 유충 단계에서 효과적인 경우가 많다는 것이다[59].

*Coelomomyces*속, *Culicinomyces*속, *Lagenidium*속은 모두 모기 유충단계를 목표로 하기 때문에 대개 95% 이상의 유충 치사율을 나타냄에도 불구하고 남은 수의 유충이 성충으로 성장 후 지속적으로 질병을 매개할지도 모르기 때문에 성충 개체군까지 방제할 수 있는 방법을 개발하는 것은 중요한 문제이다[26]. 병꼴균문에 속하는 *Coelomomyces*속의 종은 방제에 매우 효과적이지만 각각의 종은 기주 범위가 좁고 대량 생산이 어려우며 동물 유행성 질병의 원인이 되는 것으로 알려져 있다. 하지만 불완전균문에 속하는 병원성 곰팡이 중 몇 종은 실제 성충 방제 실험에 효과가 있는 것으로 나타났다. Blanford 등[14]은 *Beauveria bassiana*를 진흙 타일에 살포 후 학질모기속 모기에 노출시킨 결과, 노출 후 4일 이내에 모두 죽는 것을 알 수 있었다. 또한 이 종은 이집트숲모기 성충 방제에도 효과가 있는 것으로 보고되었다[60]. *Metarhizium anisopliae* 경우는 실제로 야외에서 감비아모기 개체군을 방제하였다[13]. 이들 두 곰팡이 종은 대량 생산이 가능하여 상업적으로도 이미 이용 가능하기 때문에 생물적 방제에 있어서 활용가치가 높다. 또 다른 불완전균문에 속하는 *Culicinomyces clavisporus*는 방제에 이용하기에 고용량 살포와 낮은 지속효과가 문제인 것으로 알려져 있다[26, 30]. 난균문에 속하는 *Lagenidium giganteum*은 논과 같이 고여있는 물에서만 사용이 가능하지만 적은 살포 횟수로도 방제 효과를 얻을 수 있고[59], 모든 모기 유충 종 방제가 가능하기 때문에 아마도 모기 유충 방제에 가장 적합할 수 있다[61]. 접합균문에

속하는 *Entomophthorales*목의 병원성 곰팡이는 주로 자연에서 성충 모기를 감염시키지만 포자의 수명이 짧고 *in vitro*에서 자라지 못하기 때문에 방제에 사용하기 어려움 점이 있다.

모기 방제를 위한 이상적인 곰팡이는 비용 효율이 높은 대량 생산이 가능해야 하고 지속력이 높아야 하며 적은 횟수의 살포로도 효과가 있어야 한다. 또한 선택적 방제가 가능해야 하고 유충과 성충 모두에게 효과가 있어야 한다. 뿐만 아니라 다양한 환경 조건에서 사용이 가능해야 하고 인간과 다른 생물체에는 유해하지 않아야 한다. 현재까지는 이 모든 조건을 충족시키는 곰팡이는 발견되지 않았다. 따라서 이들을 방제에 이용하는데 다른 생물체에 대한 감염 위험과 예측할만한 부작용은 어느 정도이며 이에 따른 생태계는 안정적인지, 비용과 저장 시설이 적당하고 대량 생산이 가능한지, 기주의 어떤 단계를 목표로 할 것인지를 정확히 고려해야 할 것으로 생각된다.

인간에게 알려지기 이전부터 병원성 곰팡이는 곤충에 상당한 영향을 미치고 있고, 아직까지도 알려지지 않은 종들이 많이 존재할 것으로 생각된다. 현대의 기술은 이들의 감염 능력을 증가시킴으로써 더욱 효과적인 방제를 할 수 있게 만들고 있다. 또한 *Beauveria bassiana*나 *Metarhizium anisopliae*와 같은 곤충병원성 곰팡이를 화학적 방제와 함께 살포한다면 약제 저항성을 가지고 있는 모기까지 방제할 수 있는 효과가 있어 모기 치사율을 더욱 높일 수 있을 것이다[62]. 이렇게 이미 알려져 있거나 또는 새롭게 알려진 곤충병원성 곰팡이를 잘 활용한다면 지금보다도 더 효율적으로 해충 방제를 해 나갈 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 가장 중요한 것은 병원성 곰팡이를 이용한 방제가 인간과 다른 유익한 생물체에는 해가 되지 않도록 주의해야 한다는 것이다.

적 요

곤충이 곰팡이병에 감염되는 것을 흔히 볼 수 있고, 대부분은 이들에 대해 감수성을 나타내고 있다. 최근 살충제 저항성이 문제가 되면서 곤충병원성 곰팡이를 이용한 모기 방제에 대한 연구가 더욱 주목을 받고 있고, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Lagenidium giganteum*와 같은 병원성 곰팡이를 모기 방제에 사용하기 위해 노력 중이다. 이 총설에서는 말라리아, 탕기열, 사상충, 황열병 등을 옮기는 모기들의 방제에 사용되는 곤충병원성 곰팡이를 정리하고 이들의 활용방안을 논하였다.

REFERENCES

1. Gilbert LI, Gill SS. Insect control: biological and synthetic agents. New York: Academic Press; 2010.
2. Copping LG, Menn JJ. Biopesticides: a review of their ac-

- tion, applications and efficacy. *Pest Manag Sci* 2000;56:651-76.
3. Shah PA, Goettel MS. Directory of microbial control products and services. Gainesville (FL): The Society for Invertebrate Pathology; 1999.
 4. Holder DJ, Keyhani NO. Adhesion of the entomopathogenic fungus *Beauveria* (Cordyceps) *bassiana* to substrata. *Appl Environ Microbiol* 2005;71:5260-6.
 5. Hajek AE, St. Leger RJ. Interactions between fungal pathogens and insect hosts. *Annu Rev Entomol* 1994;39:293-322.
 6. Hemingway J, Ranson H. Insecticide resistance in insect vectors of human disease. *Annu Rev Entomol* 2000;45:371-91.
 7. Scholte EJ, Takken W, Knols BG. Pathogenicity of five East African entomopathogenic fungi against adult *Anopheles gambiae* s.s. mosquitoes (Diptera, Culicidae). *Proc the Nld Entomol Soc Meet* 2003;14:25-9.
 8. Scholte EJ, Njiru BN, Smallegange RC, Takken W, Knols BG. Infection of malaria (*Anopheles gambiae* s.s.) and filariasis (*Culex quinquefasciatus*) vectors with the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Malar J* 2003;2:29.
 9. Scholte EJ, Knols BG, Samson RA, Takken W. Entomopathogenic fungi for mosquito control: a review. *J Insect Sci* 2004;4:19.
 10. Scholte EJ, Ng'Øhabi K, Kihonda J, Takken W, Paaijmans K, Abdulla S, Killeen GF, Knols BGJ. An entomopathogenic fungus for control of adult African malaria mosquitoes. *Science* 2005;308:1641-2.
 11. Blanford S, Chan BH, Jenkins N, Sim D, Turner RJ, Read AF, Thomas MB. Fungal pathogen reduces potential for malaria transmission. *Science* 2005;308:1638-41.
 12. Ward MD, Selgrade MK. Benefits and risks in malaria control. *Science* 2005;310:49-51.
 13. Scholte EJ, Knols BG, Takken W. An entomopathogenic fungus (*Metarhizium anisopliae*) for control of the adult African malaria vector *Anopheles gambiae*. *Entomolog Ber* 2008;68:21-6.
 14. Blanford S, Shi W, Christian R, Marden JH, Koekemoer LL, Brooke BD, Coetzee M, Read AF, Thomas MB. Lethal and pre-lethal effects of a fungal biopesticide contribute to substantial and rapid control of malaria vectors. *PLoS one* 2011; 6:e23591.
 15. Benserradj O, Mihoubi I. Larvicidal activity of entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* against mosquito larvae in Algeria. *Int J Curr Microbiol Appl Sci* 2014;3:54-62.
 16. Couch JN, Bland CE. The genus *Coelomomyces*. New York: Academic Press; 1985.
 17. Chapman HC. Biological control of mosquito larvae. *Annu Rev Entomol* 1974;19:33-59.
 18. Roberts DW. *Coelomomyces*, *Entomophthora*, *Beauveria*, and *Metarhizium* as parasites of mosquitoes. *Misc Publ Entomol Soc Am* 1970;7:140-55.
 19. Federici BA. Mosquito control by the Fungi *Culicinomyces*, *Lagenidium* and *Coelomomyces*. In: Burges HD, editor. *Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970-1980*. New York: Academic Press; 1981. p. 555-72.
 20. Roberts DW, Strand MA. Pathogens of medically important arthropods. *Bull World Health Organ* 1977;55(suppl 1):5-8.
 21. Weiser J. Biological control of vectors: manual for collecting, field determination and handling of biofactors for control of vectors. Hoboken (NJ): Wiley; 1991.
 22. Goettel MS, Inglis GD. Fungi: hyphomycetes. In: Lacey LA, editor. *Manual of techniques in insect pathology*. San Diego: Academic Press; 1997. p. 213-49.
 23. Roberts DW. Fungal infections of mosquitoes. In: *Proceedings of the International Seminar on Mosquito Control; 1973 May 8-10; Montreal, Canada*. Montreal: Presses de l'Universite du Quebec; 1974. p. 143-93.
 24. Clark TB, Kellen WR, Fukuda T, Lindegren JE. Field and laboratory studies on the pathogenicity of the fungus *Beauveria bassiana* to three genera of mosquitoes. *J Invertebr Pathol* 1968;11:1-7.
 25. Blanford S, Jenkins NE, Christian R, Chan BH, Nardini L, Osae M, Koekemoer L, Coetzee M, Read AF, Thomas MB. Storage and persistence of a candidate fungal biopesticide for use against adult malaria vectors. *Malar J* 2012;11:354.
 26. Service MW. Biological control of mosquitoes, has it a future? *Mosq News* 1983;43:113-20.
 27. Sweeney AW. Preliminary field tests of the fungus *Culicinomyces* against mosquito larvae in Australia. *Mosq News* 1981;41:470-6.
 28. Cooper R, Sweeney AW. The comparative activity of the Australian and United States strains of *Culicinomyces clavosporus* bioassayed in mosquito larvae of three different genera. *J Invert Pathol* 1982;40:383-7.
 29. Sweeney AW. 1983. The time-mortality response of mosquito larvae infected with the fungus *Culicinomyces*. *J Invert Pathol* 1983;42:162-6.
 30. Lacey LA, Undeen AH. Microbial control of black flies and mosquitoes. *Annu Rev Entomol* 1986;31:265-96.
 31. Goettel MS, Sigler L, Carmichael JW. Studies on the mosquito pathogenic hyphomycete *Culicinomyces clavosporus*. *Mycologia* 1984;76:614-25.
 32. De Garcia MC, Arboleda ML, Barraquer F, Grose E. Fungal keratitis caused by *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae*. *J Med Vet Mycol* 1997;35:361-3.
 33. Zimmermann G. The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and its potential as a biocontrol agent. *Pestic Sci* 1993;37:375-9.
 34. Strasser H, Vey A, Butt TM. Are there any risks in using entomopathogenic fungi for pest control, with particular reference to the bioactive metabolites of *Metarhizium*, *Tolytocladium* and *Beauveria* species? *Biocontrol Sci Technol* 2000;10:717-35.
 35. Soars GG. Pathogenesis of infection by the hyphomycetous fungus, *Tolytocladium cylindrosporium* in *Aedes sierrensis* and *Culex tarsalis* (Dip.: Culicidae). *BioControl* 1982;27:283-99.
 36. Goettel MS. Preliminary field trials with the entomopathogenic hyphomycete *Tolytocladium cylindrosporium* in central Alberta. *J Am Mosquito Control Assoc* 1987;3:239-45.
 37. Gardner JM, Ram RC, Kumar S, Pillai JS. Field trials of *Tolytocladium cylindrosporium* against larvae of *Aedes polynesiensis* breeding in crab holes in Fiji. *J Am Mosq Control Assoc* 1986;2:292-5.
 38. Seymour RL, Briggs JD. Occurrence and control of Aphanomyces (Saprolegniales: Fungi) infections in laboratory colonies of larval *Anopheles*. *J Am Mosq Control Assoc* 1985;1: 100-2.
 39. Couch JN, Romney SV. Sexual reproduction in *Lagenidium*

- giganteum*. Mycologia 1973;65:250-2.
40. Couch JN. A new saprophytic species of *Lagenidium*, with notes on other forms. Mycologia 1935;27:376-87.
 41. Merrriam TL, Axtell RC. Evaluation of the entomogenous fungi *Culicinomyces clavosporus* and *Lagenidium giganteum* for control of the salt marsh mosquito, *Aedes taeniorhynchus*. Mosq News 1982;42:594-602.
 42. Cuda JP, Hornby JA, Cotterill B, Cattell M. Evaluation of *Lagenidium giganteum* for biocontrol of *Mansonia* mosquitoes in Florida (Diptera: Culicidae). Biol Control 1997;8: 124-30.
 43. Kerwin JL, Washino RK. Ground and aerial application of the asexual stage of *Lagenidium giganteum* for control of mosquitoes associated with rice culture in the Central Valley of California. J Am Mosq Control Assoc 1987;3:59-64.
 44. Becnel JJ, Garcia J, Johnson M. Effects of three larvicides on the production of *Aedes albopictus* based on removal of pupal exuviae. J Am Mosq Control Assoc 1996;12:499-502.
 45. Seymour RL. *Leptolegnia chapmanii*, an oomycete pathogen of mosquito larvae. Mycologia 1984;76:670-4.
 46. Nnakumusana ES. Histopathological studies on the progress of infection of *Leptolegnia* sp (SC-1) in *Anopheles gambiae* larvae exposed to zoospores in the laboratory. Curr Sci 1986;55:633-6.
 47. Su XQ, Zou FH, Guo Q, Huang J, Chen TX. A report on a mosquito-killing fungus, *Pythium carolinianum*. Fungal Divers 2001;7:129-33.
 48. Tanabe Y, O'Donnell K, Saikawa M, Sugiyama J. Molecular phylogeny of parasitic zygomycota (Dimargaritales, zoopagales) based on nuclear small subunit ribosomal DNA sequences. Mol Phylogenet Evol 2000;16:253-62.
 49. Beard CE, Adler PH. Seasonality of trichomycetes in larval black flies from South Carolina, USA. Mycologia 2002;94: 200-9.
 50. Humber RA. Fungi: identification. In: Lacey LA, editor. Manual of Techniques in Insect Pathology. San Diego: Academic Press; 1997, p. 153-85.
 51. Eilenberg J. Entomophthorales on Diptera. In: Papp L, Darvas B, editors. Contributions to a manual of Palaearctic Diptera. Budapest: Science Herald; 2000, p. 521-33.
 52. Coluzzi M. Experimental infections with Rubetella fungi in *Anopheles gambiae* and other mosquitoes. In: Proceedings of the First International Congress of Parasitology; 1964 Sep 21-26; Rome, Italy. London: Elsevier; 1966. p. 592-3.
 53. Dubitzij AM. Biological control of bloodsucking flies in the USSR. Alma Ata: Kazakhstan Academy of Sciences; 1978.
 54. Sweeney AW. An undescribed species of *Smittium* (Trichomycetes) pathogenic to mosquito larvae in Australia. Trans Br Mycol Soc 1981;77:55-60.
 55. Garca JJ, Campos RE, Maci A. Survey of natural enemies of Culicidae (Diptera) of marginal forest of Punta Lara (Province of Buenos Aires, Argentina). Revista Acad Colombiana Cienc Exact Fs Natur 1994;19:209-15.
 56. Kramer JP. *Entomophthora culicis* (Zygomycetes, Entomophthorales) as a pathogen of adult *Aedes aegypti* (diptera, culicidae). Aquat Insects 1982;4:73-9.
 57. Kramer JP. Pathogenicity of the fungus *Entomophthora culicis* for adult mosquitoes: *Anopheles stephensi* and *Culex pipiens quinquefasciatus*. J New York Entomol Soc 1983;91:177-82.
 58. Wilding N. The survival of *Entomophthora* spp. in mummified aphids at different temperatures and humidities. J Invertebr Pathol 1973;21:309-11.
 59. Federici BA. The future of microbial insecticides as vector control agents. J Am Mosq Control Assoc 1995;11:260-8.
 60. Darbro JM, Graham RI, Kay BH, Ryan PA, Thomas MB. Evaluation of entomopathogenic fungi as potential biological control agents of the dengue mosquito, *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). Biocontrol Sci Technol 2011;21:1027-47.
 61. Khetan S. Microbial pest control. New York: Marcel Dekker; 2001.
 62. Farenhorst M, Mouatcho JC, Kikankie CK, Brooke BD, Hunt RH, Thomas MB, Koekemoer LL, Knols BG, Coetzee M. Fungal infection counters insecticide resistance in African malaria mosquitoes. Proc Natl Acad Sci USA 2009;106: 17443-7.
 63. McInnis Jr. T, Zattau WC. Experimental infection of mosquito larvae by a species of the aquatic fungus *Leptolegnia*. J Invertebr Pathol 1982;39:98-104.
 64. Nnakumusana ES. Laboratory infection of mosquito larvae by entomopathogenic fungi with particular reference to *Aspergillus parasiticus* and its effects on the fecundity and longevity of mosquitoes exposed to conidial infection in larval stages. Curr Sci 1985;54:1221-8.
 65. Golkar L, LeBrun RA, Ohayon H, Gounon P, Papierok B, Brey PT. Variation of Larval Susceptibility to *Lagenidium giganteum* in Three Mosquito Species. J Invertebr Pathol 1993;62:1-8.
 66. Frances SP, Sweeney AW, Humber RA. *Cryptocola clavulifera* gen. et sp. nov. and *Lagenidium giganteum*: oomycetes pathogenic for dipterans infesting leaf axils in an Australian rain forest. J Invertebr Pathol 1989;54:103-11.
 67. Shoulkamy MA, Lucarotti CJ, El-Katny MST, Hassan SKM. Factors affecting *Coelomomyces stegomyiae* infections in adult *Aedes aegypti*. Mycologia 1997;89:830-6.
 68. Steinkraus DC, Kramer JP. Susceptibility of sixteen species of Diptera to the fungal pathogen *Entomophthora muscae* (Zygomycetes: Entomophthoraceae). Mycopathologia 1987; 100:55-63.
 69. Cuebas-Incle EL. Infection of adult mosquitoes by the entomopathogenic fungus *Erynia conica* (Entomophthorales: Entomophthoraceae). J Am Mosq Control Assoc 1992;8:367-71.
 70. Dumas JL, Papierok B. Virulence of Entomophthorale *Zoophthora radicans* (Zygomycetes) against adult *Aedes aegypti* (Dipt.: Culicidae). Entomophaga 1989;34:321-30.
 71. Pinnock DE, Garcia R, Cubbin CM. *Beauveria tenella* as a control agent for mosquito larvae. J Invertebr Pathol 1973; 22:143-7.
 72. Ramoska WA, Watts S, Watts HA. Effects of sand formulated *Metarhizium anisopliae* spores on larvae of three mosquito species. Mosq News 1981;41:725-8.
 73. Agarwala SP, Sagar SK, Sehgal SS. Use of mycelial suspension and metabolites of *Paecilomyces lilacinus* (Fungi: Hyphomycetes) in control of *Aedes aegypti* larvae. J Commun Dis 1999;31:193-6.
 74. Goettel MS. Pathogenesis of the Hyphomycete *Tolyposcladium cylindrosporium* in the mosquito *Aedes aegypti*. J Invertebr Pathol 1988;51:259-74.
 75. Fukuda T, Willis OR, Barnard DR. Parasites of the Asian

- tiger mosquito and other container-inhabiting mosquitoes (Diptera: Culicidae) in northcentral Florida. *J Med Entomol* 1997;34:226-33.
76. Laird M, Mogi M, Sota T. Northernmost occurrences of the protistan pathogen, *Coelomomyces stegomyiae* var. *stegomyiae*. *J Am Mosq Control Assoc* 1992;8:430-2.
 77. Ravallec M, Riba G, Vey A. *Aedes albopictus* sensitivity (Diptera: Culicidae) in Hyhomyecete entomopathogen *Metarhizium anisopliae*. *Entomophaga* 1989;34:209-17.
 78. Pillai JS, Rakai I. *Coelomomyces macleayae* Laird, a parasite of *Aedes polynesiensis* marks in Fiji. *J Med Entomol* 1970;7:125-6.
 79. Padua LE, Whisler HC, Gabriel BP, Zebold SL. *In vivo* culture and life cycle of *Coelomomyces stegomyiae*. *J Invertebr Pathol* 1986;48:284-8.
 80. Popelkova Y. *Coelomomyces* from *Aedes cinereus* and a mosquito iridescent virus of *Aedes cantans* in Sweden. *J Invertebr Pathol* 1982;40:48-9.
 81. Goettel MS. Field incidence of mosquito pathogens and parasites in central Alberta. *J Am Mosq Control Assoc* 1987;3:231-8.
 82. Breaud TP, Crabbe JR, Majori G. The isolation of *Fusarium oxysporum* from a natural population of *Aedes detritus* in Italy. *Mosq News* 1980;40:654.
 83. Sur B, Bihari V, Sharma A, Basu SK. Survey of termite-inhabited soil and mosquito breeding sites in Lucknow, India for potential mycopathogens of *Anopheles stephensi*. *Mycopathologia* 1998-1999;144:77-80.
 84. Gardner JM, Pillai JS. *Tolyopocladium cylindrosporum* (Deuteromycotina: Moniliales) a fungal pathogen of the mosquito *Aedes australis*. III. Field trials against two mosquito species. *Mycopathologia* 1987;97:83-8.
 85. Sigler L, Frances SP, Panter C. *Culicinomyces bisporalis*, a new entomopathogenic hyphomycete from larvae of the mosquito *Aedes kochi*. *Mycologia* 1987;79:493-500.
 86. Knight AL. Host range and temperature requirements of *Culicinomyces clavosporus*. *J Invertebr Pathol* 1980;36:423-5.
 87. Couch JN, Romney SV, Rao B. A new fungus which attacks mosquitoes and related Diptera. *Mycologia* 1974;66:374-9.
 88. Frances SP. Record of the mosquito pathogenic fungus *Culicinomyces clavosporus* Couch, Romney and Rao infecting larvae of *Culiseta inconspicua* Lee (Diptera: Culicidae) in Victoria. *Aust J Entomol* 1986;25:60.
 89. Muspratt J. Destruction of the larvae of *Anopheles gambiae* Giles by a *Coelomomyces* fungus. *Bull World Health Organ* 1963;29:81-6.
 90. Rueda LM, Patel KJ, Axtell RC. Comparison of floating and sinking encapsulated formulations of the fungus *Lagenidium giganteum* (Oomycetes: Lagenidiales) for control of *Anopheles larvae*. *J Am Mosq Control Assoc* 1991;7:250-4.
 91. Bisht GS, Joshi C, Khulbe RD. Water molds: Potential biological control agents of malaria vector *Anopheles culicifacies*. *Curr Sci* 1996;70:393-5.
 92. Kerwin JL, Dritz DA, Washino RK. Pilot scale production and application in wildlife ponds of *Lagenidium giganteum* (Oomycetes: Lagenidiales). *J Am Mosq Control Assoc* 1994;10:451-5.
 93. Clark TB, Kellen WR, Lindegren JE, Sanders RD. *Pythium* sp. (Phycomycetes: Pythiales) pathogenic to mosquito larvae. *J Invertebr Pathol* 1966;8:351-4.
 94. Service MW. Mortalities of the immature stages of species B of the *Anopheles gambiae* complex in Kenya: comparison between rice fields and temporary pools, identification of predators, and effects of insecticidal spraying. *J Med Entomol* 1977;13: 535-45.
 95. Whisler HC, Gabriel BP, Chanpaisaeng J, Zebold SL, Padua LE. Observations on the life cycle of *Coelomomyces indicus* (Blastocladales: Coelomomycetaceae) in Anopheline mosquitoes from the Philippines and Thailand. *J Med Entomol* 1999;36:695-701.
 96. Geetha I, Balaraman K. Effect of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* on larvae of three species of mosquitoes. *Indian J Exp Biol* 1999;37:1148-50.
 97. Daoust RA, Ward MG, Roberts DW. Effect of formulation on the virulence of *Metarhizium anisopliae* conidia against mosquito larvae. *J Invertebr Pathol* 1982;40:228-36.
 98. Ravindranath G. Isolation and extraction of Trichodermin from *Fusarium pallidoroseum*, a fungal pathogen of *Anopheles stephensi*. *Indian J Microbiol* 1991;31:267-9.
 99. Mohanty SS, Prakash S. Laboratory evaluation of *Trichophyton ajelloi*, a fungal pathogen of *Anopheles stephensi* and *Culex quinquefasciatus*. *J Am Mosq Control Assoc* 2000;16: 254-7.
 100. Weiser J, Zaim M, Saebi E. *Coelomomyces irani* sp.n. infecting *Anopheles maculipennis* in Iran. *J Invertebr Pathol* 1991; 57:290-1.
 101. Maffi M, Nolan RA. *Coelomomyces lairdi*, n. sp., a fungal parasite of larvae of the *Anopheles* (Cellia) *punctulatus* complex (Diptera: Culicidae) from the highlands of Irian Jaya (Indonesian New Guinea). *J Med Entomol* 1977;14:29-32.
 102. Ribeiro H, Ramos Had C. *Coelomomyces numularius* sp. nov. (Blastocladales: Coelomomycetaceae), a new fungal parasite of *Anopheles squamosus* (Diptera: Culicidae) from Angola, Africa. *J Med Entomol* 2000;37:962-4.
 103. Sweeney AW. The effects of temperature on the mosquito pathogenic fungus *Culicinomyces*. *Aus J Zool* 1978;26:47-53.
 104. Sweeney AW. The effects of salinity on the mosquito pathogenic fungus *Culicinomyces*. *Aus J Zool* 1978;26:55-9.
 105. Rueda LM, Patel KJ, Axtell RC. Efficacy of encapsulated *Lagenidium giganteum* (Oomycetes: Lagenidiales) against *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* larvae in artificial containers. *J Am Mosq Control Assoc* 1990;6:694-9.
 106. Lowe RE, Kennel EW. Pathogenicity of the fungus *Entomophthora coronata* in *Culex pipiens quinquefasciatus* and *Aedes taeniorhynchus*. *Mosq News* 1972;32:614-20.
 107. Woodring JL, Kaya HK, Kerwin JL. *Lagenidium giganteum* in *Culex tarsalis* larvae: production of infective propagules. *J Invertebr Pathol* 1995;66:25-32.
 108. Mietkiewski R, Van der Geest LP. Notes on entomophthoraceous fungi infecting insects in the Netherlands. *Entomolog Ber* 1985;45:190-2.
 109. Crisan EV. Mechanism responsible for release of toxin by *Metarhizium* spores in mosquito larvae. *J Invertebr Pathol* 1971;17:260-4.
 110. Badran RA, Aly MZ. Studies on the mycotic inhabitants of *Culex pipiens* collected from fresh water ponds in Egypt. *Mycopathologia* 1995;132:105-10.
 111. Ribeiro H. *Coelomomyces angolensis*, new species (Blastocladales: Coelomomycetaceae): A fungal parasite of the mos-

- quito *Culex guiarti* (Diptera: Culicidae) from Angola, Africa. J Med Entomol 1992;29:30-2.
112. Apperson CS, Federici BA, Tarver FR, Stewart W. Biotic and abiotic parameters associated with an epizootic of *Coelomomyces punctatus* in a larval population of the mosquito *Anopheles quadrimaculatus*. J Invertebr Pathol 1992;60:219-28.