

桃蚜虫霉病始发期的初始感染与接触传染

尚素微, 冯明光*

(浙江大学微生物研究所, 杭州 310058)

摘要:自 2002 年 10 月至 2005 年 5 月在杭州上空诱获桃蚜 (*Myzus persicae*) 的迁飞性有翅蚜 2351 头, 将其带回室内在 (21 $\pm$ 1) 和 12L 12D 条件下单头饲养 12d, 其中 639 头在定殖后 7 d 内发病死亡, 初始感染率达 27.2%。在病死有翅蚜中, 99.4% 系 5 种蚜科专化性虫霉侵染所致, 新蚜虫病霉 (*Pandora neoaphidis*) 的发生比例高达 81.4%。带病迁飞的有翅蚜在发病死亡前具有一定生殖力, 定殖后第 6 天平均累计产若蚜 (2.4 $\pm$ 0.13) 头, 远低于同期未带病有翅蚜产下的 (11.6 $\pm$ 0.33) 头。在带病有翅蚜建立的后代蚜群中, 接触传染在母蚜死亡 2 d 后即可见到。在定殖后第 12 天, 二级感染占总观察蚜群数的 13.3%, 三级感染占总观察蚜群数的 4.4%, 占二级感染蚜群数的 33.3%。此时, 未带病有翅蚜的后代蚜群的平均活蚜数达 (50.6 $\pm$ 2.30) 头, 而带病有翅蚜的后代蚜群平均仅有 (21.5 $\pm$ 1.98) 头。结果表明, 虫霉病能够通过寄主带病迁飞传至寄主迁入地, 并在后代蚜群中相互传染而起到调节蚜虫数量增长的作用。

关键词: 虫霉; 桃蚜; 迁飞扩散; 蚜虫病害; 初始侵染; 接触性传染

文章编号: 1000-0933(2006)10-3380-05 中图分类号: Q143, Q965 文献标识码: A

Primary infection and contagious transmission of the Entomophthorales at the early stage of *Myzus persicae* mycosis

SHANG Su-Wei, FENG Ming-Guang (Institute of Microbiology, College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3380 ~ 3384.

Abstract: Up to 2351 migratory alates of green peach aphid *Myzus persicae* were trapped from air above the top floor of a tower building in Hangzhou, Zhejiang from October 2002 to May 2005 and individually reared for 12 days on detached cabbage leaves in Petri dishes at (21 $\pm$ 1) under a photophase of 12L 12D. During the first 7-day period, 639 alates died from mycoses caused by several obligate aphid pathogens in the Entomophthorales, representing a primary infection rate of 27.2% among the air-trapped alates. The obligate pathogens were predominated by *Pandora neoaphidis* at the rate of 81.4%. On average, the infected alates produced significantly fewer nymphs (2.4 $\pm$ 0.13) than the uninfected (11.6 $\pm$ 0.33) within 6 days after colonization. Contagious transmissions of the mycoses were observed in the progeny colonies whose mother alates were mycosed at least 2 days earlier. On day 12, 13.3% of their progeny colonies suffered from secondary infection and 4.4% from tertiary infection, which occurred among 33.3% of the secondarily infected colonies. By the same day, the progeny colonies from the infected and uninfected alates averagely consisted of (21.5 $\pm$ 1.98) and (50.6 $\pm$ 2.30) live aphids, respectively. The results highlight the significant role of the infected migratory alates in initiation of Entomophthorales-caused mycoses on *M. persicae* colonized plants where the progeny population was regulated by the developing mycoses due to contagious transmission.

Key words: Entomophthorales; *Myzus persicae*; dispersal flight; aphid mycoses; primary infection; contagious transmission

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (30430150); 国家重大基础研究计划课题资助项目 (2003CB114203)

收稿日期: 2005-07-04; **修订日期:** 2006-02-10

作者简介: 尚素微 (1980 ~), 女, 浙江杭州人, 硕士生, 从事应用微生物研究. E-mail: dinahwei@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mgfeng@zju.edu.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30430150) and 'Program 973' (No. 2003CB114203)

Received date: 2005-07-04; **Accepted date:** 2006-02-10

Biography: SHANG Su-Wei, Master candidate, mainly engaged in microbiology. E-mail: dinahwei@163.com

蚜虫的病原真菌有数十种之多,其中虫霉(接合菌门:虫霉目)占绝大多数,而很多诱发蚜虫流行病的虫霉是蚜科专化性的种类,常见于虫霉属 *Entomophthora*、虫疔霉属 *Pandora*、虫瘟霉属 *Zoopthora*、新接霉属 *Neozygites* 及耳霉属 *Conidiobolus*^[1~3]。虫霉诱发的蚜虫流行病对蚜虫种群具有十分重要的自然控制作用,在昆虫流行病领域一直颇受关注^[4~6]。由于绝大多数蚜虫专性虫霉能够形成休眠孢子(包括接合孢子和非接合孢子),具有重要流行病学意义的蚜虫初始感染长期被认为主要源于土壤中越冬或渡过不利季节的休眠孢子^[7~9]。然而,土壤传病之说无法解释至今无休眠孢子被发现的新蚜虫病霉 *Pandora neoaphidis* 在全球范围内发生最频、流行最强的现象^[10~13]。基于蚜虫迁飞扩散的生物学特性^[14]和专性病原真菌对寄主的依赖性^[1, 3],冯明光等提出了有翅蚜迁飞传病的假说^[16]并在近年开展的有翅蚜空中诱捕观察和带病有翅蚜模拟飞行的一系列研究中得到证明^[17~20]。

本文报道对有翅蚜迁飞传病系列研究的部分结果,主要包括近 3a 秋冬和春季从杭州上空诱捕的 2350 余头桃蚜 *Myzus persicae* 有翅蚜的初始感染状况及其后代蚜群中的接触传染状况。通过相关观察结果的分析,一是深化对迁飞传病现象的理解,二是揭示虫霉感染的传染速率。

1 材料与方法

1.1 空中迁飞性有翅蚜的诱捕

选择位于杭州市中心区的浙江大学华家池校园(N 30°14', E 120°09')中心大楼的楼顶为空中诱蚜平台,高近 30 m、面积达 1500 m² 以上。楼顶平台的中央平铺 2m × 4m 黄色防雨布作为诱蚜小区,小区内等距安放 25 钵单株栽培的十字花科蔬菜(甘蓝或油冬)。利用蚜虫的趋黄特性,引诱空中迁飞的有翅蚜在小区内着陆。楼顶上除钵栽蔬菜外无任何其它植物,大楼周围 150 m 以内为各式建筑物、花木、草坪和水面,校园周围为繁华的商贸区和住宅区,自然隔离良好。钵栽用土壤全部高压灭菌消毒,菜种用次氯酸消毒并拌杀菌剂,以杜绝土壤微生物对观察结果的影响。钵栽蔬菜自出苗起每天上午定时逐株观察,发现的有翅蚜全部当即采集,已产于植株上的少量若蚜全部用湿布抹除。如此,每天自楼顶菜苗上采集的有翅蚜均为前 24 h 内从空中诱集的迁飞性有翅蚜。空中诱捕始自 2002 年 10 月中旬,终于 2005 年 6 月上旬,炎热的 6~9 月份和寒冷的 1~2 月份除外。

1.2 有翅蚜初始感染和后代中传染的观察

每天诱集的有翅蚜从零至数十头不等,将其带回实验室进行单头饲养观察,饲养条件为(21 ± 1) °C 和 L D 12/12。有翅蚜单头饲养在铺于培养皿水琼脂平板(直径 65 mm,皿内维持较高湿度)的菜叶上达 12d,其间逐日观察有翅蚜的发病死亡情况、产若蚜数以及若蚜的发病死亡情况。发现有翅死亡时,取其前翅制片在光学显微镜下镜检病原真菌的有无及种类,蚜尸留原处不动,其体表产生并向周围弹射的孢子可作为后代蚜虫的侵染源。根据已知的虫霉病侵染潜伏期上限^[21, 22],凡在单头饲养 7d 内死亡并镜检出典型蚜虫病原真菌的有翅蚜尸,其发病死亡归因于初始感染(primary infection),即感染发生于诱捕之前的有翅蚜迁出地,并由此估计有翅蚜的初始感染率或带病率。在带病有翅蚜病死之后,若其潜伏期内产生的后代也相继发病死亡,则视为接触性传染(contagious transmission),即有翅蚜的病害通过接触方式成功地传染给了后代。由于所有有翅蚜都是单头饲养建群,其后代蚜群中的接触性传染可按死亡时序区分为二级和三级感染(secondary or tertiary infection)。初始感染率与二、三级感染率分别根据诱捕有翅蚜数、病死有翅蚜数以及发生二、三级感染的后代蚜群数进行统计。

2 结果与分析

2.1 有翅蚜传病的病原种类及频率

3a 间实际累计诱蚜 16 个月,共从空中诱获桃蚜有翅蚜 2351 头,其中 639 头在单头饲养期间发病死亡,有翅蚜带病率为 27.18%。对所获有翅蚜尸逐一镜检鉴定病因,均为蚜虫病原真菌感染,其中 99.37%系虫霉感染,仅个别有翅蚜死于丝孢类的球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* (3 头)和蜡蚧轮枝孢 *Verticillium lecanii* (1 头)。在虫霉引起的死亡中,新蚜虫病霉占 81.38%,暗孢耳霉 *Conidiobolus obscurus* 占 11.74%,普朗肯虫霉

Entomophthora planchoniana 占 2.19%, 安徽虫瘟霉 *Zoophthora anhuiensis* 占 0.78%, 弗雷生新接霉 *Neozygites fresenii* 占 0.31% (仅 2 头); 另有少数有翅蚜尸系新蚜虫病霉分别与普朗肯虫霉 (9 头)、暗孢耳霉 (9 头) 或安徽虫瘟霉 (1 头) 的复合感染所致。这些虫霉均为蚜科专性病原菌 (无蚜虫以外的寄主记录), 除新蚜虫病霉外都能产休眠孢子。显然, 有翅蚜传带的病原真菌中以无休眠孢子的新蚜虫病霉占绝对优势。

2.2 带病有翅蚜的死亡时序

空中诱获的桃蚜有翅蚜在单头饲养期间, 镜检确认的发病死亡大多发生于定殖后第 1~5 天内 (图 1), 很少发生于第 6 天 (9 头) 和第 7 天 (仅 4 头)。其中, 前 3d 累计发病死亡率达 77.51%。所有带病有翅蚜定殖后的平均潜伏期 ($\pm$ SD) 为 (2.55 ± 1.23) d, 短于虫霉对蚜虫 4~6d 的侵染潜伏期^[21, 22]。这说明空中诱获的带病有翅蚜的感染发生于诱捕之前, 即可推断虫霉感染发生于原迁出地或植被上。对迁入地或迁入作物的蚜虫种群而言, 有翅蚜的带病率就是初始感染率。

2.3 带病迁飞有翅蚜的定殖与传染

空中诱捕的有翅蚜在单头饲养期间, 带病和未带病的有翅蚜都能以孤雌胎生的方式产生若蚜, 但未带病有翅蚜始终比带病有翅蚜产若蚜更多 (图 2a)。在定殖后第 6 天, 未带病有翅蚜累计平均产若蚜数 ($\pm$ SE) 为 (11.64 ± 0.33) 头, 而带病有翅蚜平均仅产 (2.40 ± 0.13) 头, 两者差异极显著 ($t = 25.92$, $p < 0.001$)。在设定条件下饲养定殖 6d 以后, 最先产的若蚜已发育成为具生殖力的成蚜, 导致后代蚜群快速增长, 至定殖后第 12 天时, 未带病和带病有翅蚜的后代蚜群平均有活蚜 (50.63 ± 2.30) 头和 (21.47 ± 1.98) 头, 相互间差异也达极显著水平 ($t = 9.60$, $p < 0.001$)。显然, 此差异源于它们定殖后头 6d 内产若蚜的基数, 但也源于虫霉病的接触传染。如图 2b 所示, 后代蚜群中的 2 次感染在初始感染的有翅蚜死亡 2d 后即可检测到, 随着饲养定殖时间的延长, 2 次感染率缓慢上升, 第 12 天发生 2 次感染的蚜群数占总观察数的 13.25%; 三次感染从定殖后第 7 天可见, 第 12 天发生 3 次感染的蚜群数占总观察数的 4.42%, 占发生二级感染蚜群数的 33.33%。在发生二级感染的后代蚜群中, 新蚜虫病霉占 82.4%, 安徽虫瘟霉占 7.8%, 暗孢耳霉占 5.9%, 普朗肯虫霉占 3.9%。由此可见, 在诱捕后短短 12 d 的单头饲养观察期间, 初始感染的迁飞性有翅蚜不仅能够在植物上成功定殖和建立后代蚜群, 而且能够将虫霉病传染给后代。

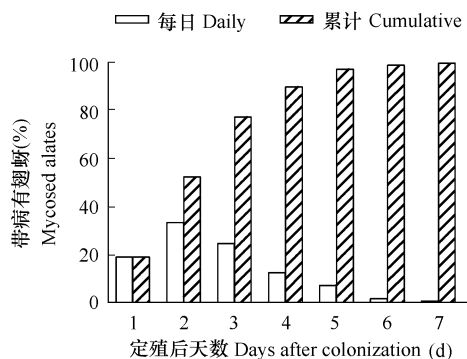


图 1 空中诱捕的桃蚜带病有翅蚜在单头饲养定殖期间的死亡时序分布

Fig. 1 Daily and cumulative mortalities of infected *M. persicae* alates during a 7-day period of colonization after being trapped from air

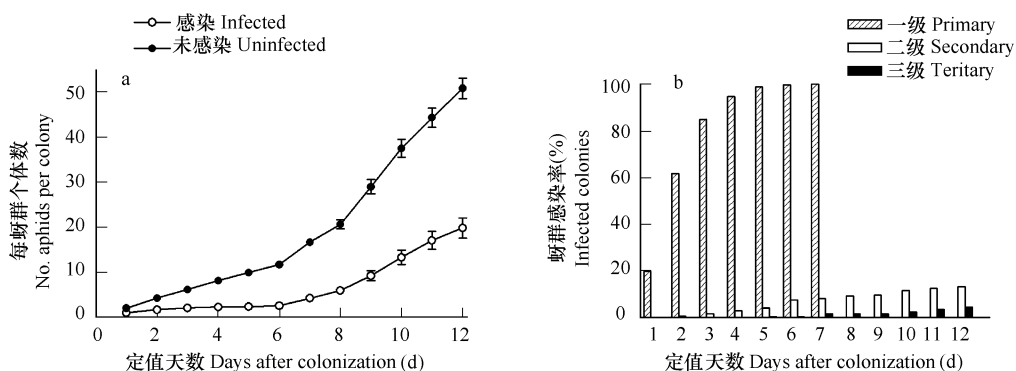


图 2 带病和未带病桃蚜有翅蚜的后代蚜群数量增长趋势 (a) 及其病害传染 (b)

Fig. 2 The increase of progeny colonies initiated by infected and uninfected *M. persicae* alates after colonization (a) and the development of mycosis transmission (b)

3 讨论

以上观察结果表明,桃蚜迁飞性有翅蚜能够高比例地携带传播以虫霉为代表的蚜虫专化病原真菌,其中虽以不产休眠孢子的新蚜虫病霉为主,但也包括能产休眠孢子的暗孢耳霉、普朗肯虫霉、安徽虫瘟霉及弗氏新接霉。它们在迁飞性有翅蚜中出现的频率与各地田间发生频率的趋势^[4~6, 10~14]基本一致,也符合先前对桃蚜和麦蚜的诱捕观察结果^[17~19]。这一结果再次有力支持了蚜虫真菌性病害随寄主迁飞而异地传播流行的观点。

与先前只注重迁飞性有翅蚜是否带菌的诱捕观察不同,本研究侧重考查空中诱捕的带病有翅蚜的定殖能力及定殖后的传病潜能。将诱捕后单头饲养观察的时间从原来的 7d(侵染潜伏期上限)延长至 12d,结果不仅证明带病有翅蚜能够成功定殖和建立蚜群,而且其发病死亡后能将病害传给后代蚜群。短短 12d 中,接触传染的二级感染率达 13.3%,甚至三级感染率也达 4.4%。由此推论,带病有翅蚜在迁入的寄主植物上或独立定殖建群,或混入健康蚜群中,其发病死亡后的尸体就是新侵染体的源头,通过接触在蚜群内或蚜群间相互传染,在有利的环境条件下便诱发整个蚜虫种群的流行病,突显其自然控制威力^[10~14]。

References:

- [1] Humber R A. Synopsis of a revised classification for the Entomophthorales (Zygomycotina). Mycotaxon, 1989, 34: 441 ~ 460.
- [2] Feng M G, Johnson J B, Kish L P. Survey of entomopathogenic fungi naturally infecting cereal aphids in irrigated cereal crops in southwestern Idaho. Environ. Microbiol., 1990, 19: 1534 ~ 1542.
- [3] Li Z Z. Flora fungorum sinicorum, Vol 13, Entomophthorales. Beijing: Science press, 2000. 1 ~ 168.
- [4] Feng M G, Johnson J B, Halbert S E. Natural control of cereal aphids (Homoptera: Aphididae) by Entomopathogenic fungi (Zygomycetes: Entomophthorales) and parasitoids (Hymenoptera: Braconidae and Encyrtidae) on irrigated spring wheat in southwestern Idaho. Environ. Entomol., 1991, 20: 1699 ~ 1710.
- [5] Plantegenest M, Pierre J S, Dedryver C A, et al. Assessment of the relative impact of different natural enemies on population dynamics of the grain aphid *Sitobion avenae* in the field. Ecol. Entomol., 2001, 26: 404 ~ 410.
- [6] Steinkraus D C, Boys G O, Rosenheim J A. Classical biological control of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) with *Neozygites fresenii* (Entomophthorales: Neozygiteaceae) in California cotton. Biol. Control, 2002, 25: 297 ~ 304.
- [7] Latgé P, Perry D, Papierok B, et al. Germination des azygospores d'*Entomophthora obscura* Hall & Dunn, Rôle du sol. C. R. Acad. Sci. Paris Ser. D, 1978, 287: 943 ~ 946.
- [8] Bitton S, Kenneth R G, Ben-Ze'ev I. Zygospores overwintering and sporulative germination in *Triplosporium fresenii* (Entomophthoraceae) attacking *Aphis spiraeicola* on citrus in Israel. J. Invertebr. Pathol., 1979, 34: 295 ~ 302.
- [9] Latteur G, Godefroid J. Trial of field treatments against cereal aphids with mycelium of *Erynia neoaphidis* (Entomophthorales) produced in vitro. In: Cavalloro R, ed. Aphid Antagonists. Rotterdam, The Netherlands: A. A. Balkema, 1983. 2 ~ 10.
- [10] Pickering J, Dutcher D, Ekbohm B S. An epizootic caused by *Erynia neoaphidis* and *E. radicans* (Zygomycetes, Entomophthorales) on *Acyrtosiphon pisum* (Hom.: Aphididae) on legumes under overhead irrigation. J. Appl. Entomol., 1989, 107: 331 ~ 333.
- [11] Feng M G, Nowierski R M, Johnson J B, et al. Epizootics caused by Entomophthoralean fungi (Zygomycetes: Entomophthorales) in populations of cereal aphids (Homoptera: Aphididae) in irrigated small grains of southwestern Idaho, USA. J. Appl. Entomol., 1992, 113: 376 ~ 390.
- [12] MacLeod P J, Steinkraus D C, Correll J C, et al. Prevalence of *Erynia neoaphidis* (Entomophthorales: Entomophthoraceae) infections of green peach aphid (Homoptera: Aphididae) on spinach in the Arkansas River Valley. Environ. Entomol., 1998, 27: 796 ~ 800.
- [13] Hatting J L, Poprawski T J, Miller R M. Prevalences of fungal pathogens and other natural enemies of cereal aphids (Homoptera: Aphididae) in wheat under dryland and irrigated conditions in South Africa. Biocontrol, 2000, 45: 179 ~ 199.
- [14] Dara S K, Sentner P J. Incidence of *Pandora neoaphidis* (Remaudière & Hennebert) Humber (Zygomycetes: Entomophthorales) in the *Myzus persicae* (Sulzer) complex (Homoptera: Aphididae) on three species of Brassica in the fall and winter. J. Entomol. Sci., 2001, 36: 152 ~ 161.
- [15] Robert Y. Dispersion and migration. In: Minks A K, Harrewijn P, eds. Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control, Volume A. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1987. 299 ~ 313.
- [16] Feng M G, Nowierski R M, Klein R E, et al. Spherical hyphal bodies of *Pandora neoaphidis* (Remaudière & Hennebert) Humber (Zygomycetes: Entomophthorales) on *Acyrtosiphon pisum* (Harris) (Homoptera: Aphididae): a potential overwintering form. Pan-Pac. Entomol., 1992, 68: 100 ~ 104.

- [17] Chen C, Feng M G. An evidenge for transmission of aphid-pathogenic fungi by migratory flight of *Myzus persicae* alates. Chin. Sci. Bull., 2002, 47: 1987 ~ 1989.
- [18] Chen C, Feng M G. Observation on the initial inocula source and dissemination of Entomophthorales-caused epizootics in populations of cereal aphids. Sci. China Ser. C, 2004, 34: 39 ~ 44.
- [19] Feng M G, Chen C, Chen B. Wide dispersal of aphid-pathogenic Entomophthorales among aphids relies upon migratory alates. Environ. Microbiol., 2004, 6: 510 ~ 516.
- [20] Chen C, Feng M G. *Sitobion avenae* alatae infected by *Pandora neoaphidis*: their flight ability, post-flight colonization and mycosis transmission to progeny colonies. J. Invertebr. Pathol., 2004, 86: 117 ~ 123.
- [21] Feng M G, Johnson J B. Bioassay of four entomophthoralean fungi (Entomophthorales) against *Diuraphis noxia* and *Metopolophium dirhodum* (Homoptera: Aphididae). Environ. Entomol., 1991, 20: 338 ~ 345.
- [22] Feng M G, Liu C L, Xu J H, et al. Modeling and biological implication of the time-dose-mortality data for the entomophthoralean fungus, *Zoophthora anhuensis* on the green peach aphid, *Myzus persicae*. J. Invertebr. Pathol., 1998, 72: 246 ~ 251.

参考文献:

- [3] 李增智. 中国真菌志, 第十三卷, 虫霉目. 北京: 科学出版社, 2000. 1 ~ 168.

《生态学报》2007 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的综合性学术刊物,创刊于 1981 年。主要报道植物生态、动物生态、微生物生态、农业生态、森林生态、草地生态、土壤生态、海洋生态、淡水生态、景观生态、区域生态、化学生态、污染生态、经济生态、系统生态、城市生态、人类生态等生态学各领域的学术论文;特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;原创性研究报告和研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。为促进学术、科研信息的交流、欢迎踊跃投稿。

《生态学报》标准刊号:CN11-2031/Q;ISSN1000-0933。月刊,年平均信息容量 87 万字,定价 70.00 元/册,全年定价 840 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670。

全国各地邮局均可订阅,望广大读者互相转告,以便及时订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 《生态学报》编辑部

联系电话:(010)62940199

E-mail:Shengtaixuebao@rcees.ac.cn 或 Shengtaixuebao@sina.com