

タバココナジラミに対する昆虫病原糸状菌製剤の効果的利用条件

愛知県 新城設楽農林水産事務所 農業改良普及課 とお遠 やま山 ひろ宏 かず和*
クミアイ化学工業株式会社 生物科学研究所 む務 かわ川 しげ重 ゆき之

はじめに

昆虫に感染して病気を引き起こす糸状菌には、*Beauveria bassiana*, *Lecanicillium muscarium* (旧称 *Verticillium lecanii*), *Metarhizium anisopliae* 等の不完全菌類や昆虫疫病菌類等が知られ、生態系における害虫個体群密度の制御要因として重要な働きを担っている。特に不完全菌類は、人工培養や製剤化の容易さとその製剤の散布による殺虫効果の高さから糸状菌殺虫剤の素材として世界的に広く利用されている。このような昆虫病原糸状菌が害虫を殺虫する機構は、以下のような感染様式によって説明される (図-1)。^①分生子が昆虫の表皮に付着する。^②分生子から発芽管が伸びる。^③直接もしくは付着器を形成しながら酵素の作用や、機械的圧力によって虫体内に侵入する (図-2)。^④侵入糸から短菌糸や菌糸が分裂し増殖する。^⑤短菌糸による体液循環の阻害、菌糸による機械的組織崩壊、生理的飢餓を経て寄主を死に至らしめる。^⑥寄主の死後、湿度条件が良ければ糸状菌は体外に分生子を形成し (福原, 1979; 島津, 2004), 新たな感染源となる。このような複雑な感染様式による殺虫機構から、昆虫病原糸状菌の農薬としての利用には、選択性が高い、抵抗性を獲得されにくいといったメリットがある。また、近年、持続可能な農業生産のために環境保全型農業の必要性が認識され、総合的有害生物管理 (IPM) の有効性が広く認められている中、糸状菌殺虫剤は IPM 体系における生物的防除の 1 ツールとして期待されている。

トマト栽培においては、近年タバココナジラミの発生が問題となっており、幼虫の排泄物によるすす病の発生や成虫によるトマト黄化葉巻ウイルス (TYLCV) の媒介といった被害が生じている (行徳ら, 2009)。特に TYLCV を病原とするトマト黄化葉巻病は罹患したトマトの生長点付近で葉の黄化および萎縮を引き起こし、発

病以降の植物の生育を停止させることから、果実収量の大幅な減少をもたらす。TYLCV を防除するためには媒介昆虫であるタバココナジラミを防除するほかなく、そのため、トマト栽培では本種の防除が極めて重要な課題となる。タバココナジラミには生理生態的特徴の異なるバイオタイプが存在し、なかでもバイオタイプ Q はネオニコチノイド系殺虫剤などに対する抵抗性を獲得していることから、化学農薬のみによる防除が困難となっている (徳丸・林田, 2010)。そこで、0.4 mm 以下の目合いの防虫ネットの展張や気門封鎖型薬剤の利用といった薬剤抵抗性に影響を受けない防除資材の利用が推奨されている。このほかに、ツヤコバチ類などの天敵昆虫に加えて糸状菌殺虫剤がタバココナジラミに対する生物農薬として販売されている。しかし、生物農薬は化学農薬とは異なり、圃場環境の影響を受けやすく、そのために効果が安定しない、あるいは効果安定化のために煩雑な作業を必要とするという問題がある。広く生産現場で生物的防除を普及するためには、このような問題を軽減する方策が必要である。昆虫病原糸状菌が影響を受ける環境要因としては、日光、温度、降雨、湿度、植物表面の物質や散布された薬剤等が挙げられる (JARONSKI, 2010)。これらの要因の中で、日光や降雨に関しては施設栽培の作物を対象とする限り影響は少ない。一方、温度や湿度は「^①分生子の虫体への付着」から「^③虫体内への侵入」の感染過程 (図-2) に大きく影響するため、糸状菌製剤による害虫防除効果を高めるために最も考慮すべき条件である。特に、湿度条件が重要視され、「散布は夕方または曇天、雨天に実施」および「散布後のハウスを半日以上 80% 相対湿度 (RH) を超える高湿度に保つ」のような使用法が推奨されている。筆者らは、2008～10 年にかけて茨城県農業総合センター生物工学研究所において、タバココナジラミを効果的に防除するための糸状菌製剤の使用条件を検討してきた。本稿では、そこで得られた知見と今後の展望について解説する。

I 感染までに必要な湿度条件

分生子の発芽には高い湿度が必要とされることから、一般に糸状菌製剤を散布した後に数日間は 10～12 時間

Environmental Considerations for the Effective Use of Entomopathogenic Fungi to Control the Whiteflies. By Hirokazu TOYAMA and Shigeyuki MUKAWA

(キーワード: トマト, タバココナジラミ, 昆虫病原糸状菌, 湿度, 温度)

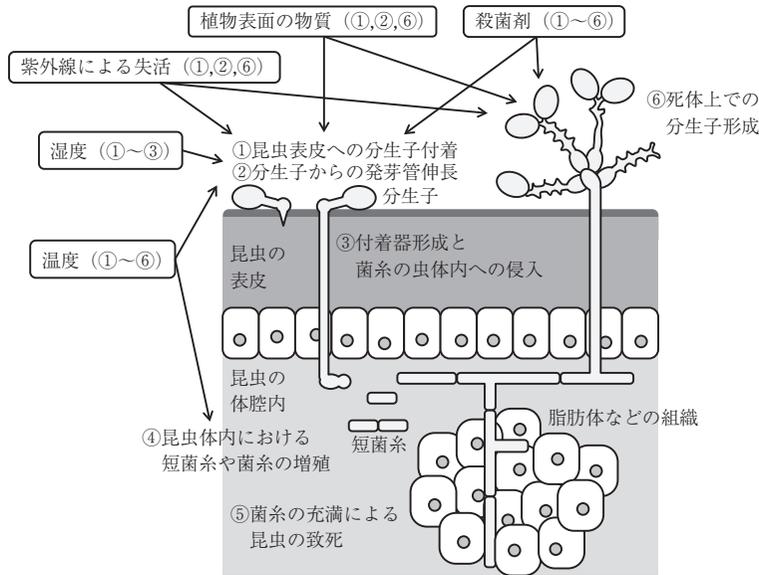


図-1 昆虫病原糸状菌の感染様式と感染に影響する環境要因

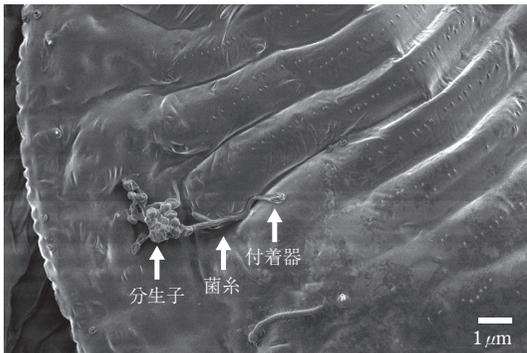


図-2 タバコナジラミ幼虫に感染している昆虫病原糸状菌

程度の湿度管理を行うことが糸状菌による害虫防除効果の安定化に有効とされている (JARONSKI, 2010)。一方、タバコナジラミと同様に施設園芸で問題となる微小害虫のミカンキロアザミウマでは、*Beauveria bassiana* により感染率 90% 以上を得るために 2 日程度の高湿度期間が必要であり (MUKAWA et al., 2011), 分生子発芽よりも後の感染過程まで高湿度が必要とされることが推察される。すなわち、散布後半日の高湿度は感染に十分な条件ではない可能性が危惧される。そこで、タバコナジラミの防除に際して、高湿度をどの程度の期間維持しなければならないか明らかにするために、糸状菌がタバコナジラミ幼虫への感染に必要な高湿度期間を調査した。タバコナジラミ幼虫に *B. bassiana* 乳剤もしくは *Verticillium lecanii* 水和剤を接種後、異なる期間、高湿

度条件に曝したところ、どちらの製剤も 90% 以上の感染に 2 日以上の高湿度期間が必要であった (遠山ら, 2013; 図-3)。しかし、50% RH の低湿度環境でも糸状菌はタバコナジラミに感染できないわけではなく、1/3 から半数程度は感染可能であった。コナジラミ類の幼虫は葉裏に固着する性質があり、幼虫期間の大半を通じて葉に密着したまま移動しない。糸状菌分生子の存在部位を顕微鏡観察したところ、固着した虫体の縁と葉の隙間に分生子が挟まっている様子が確認された。このような隙間は常に高湿度であったと考えられ、そのため、一部の幼虫では分生子が施設内の湿度変化の影響を受けにくい状況にあったのではないかと推察された。このようなタバコナジラミ幼虫の「葉裏に固着して移動しない」という特殊な生態から、葉裏の環境によっては本種が糸状菌により感染しやすい条件下に存在している可能性が考えられた。そこで、次にタバコナジラミ幼虫の生息する葉裏の環境について考察する。

II トマト葉裏の湿度条件と糸状菌感染の関係

トマトの葉裏では気孔からの蒸散により湿度の高い葉面境界層が形成されることが知られている (BOULARD et al., 2002)。さらに他の作物では葉面境界層が 1 ~ 10 mm 程度の厚さであるのに対して、トマトでは 20 ~ 30 mm の厚さにもなるため (JARONSKI, 2010), 葉裏に固着しているタバコナジラミ幼虫は常に高湿度環境に存在している可能性がある。このことを検証するために、

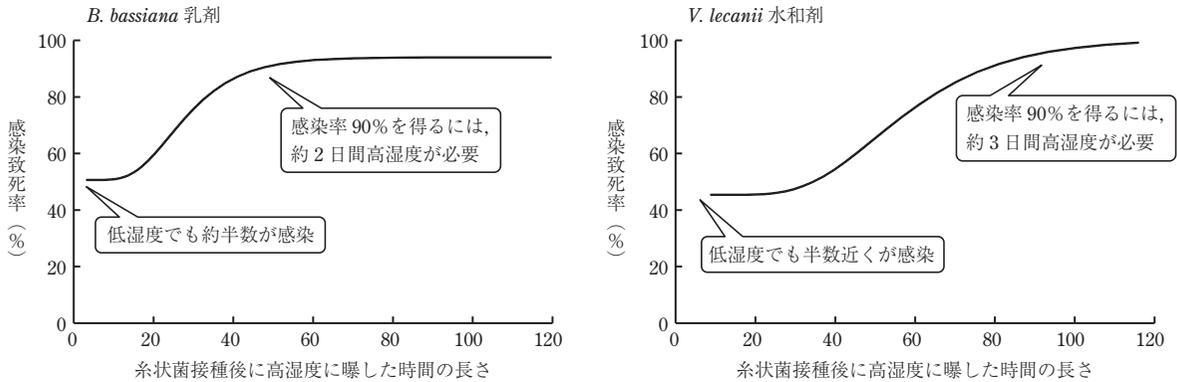


図-3 タバココナジラミ幼虫における糸状菌製剤の感染に対する高湿度期間の影響
 グラフは遠山ら (2013) のデータをもとに、糸状菌製剤ごとにPriProbitでプロビット解析した回帰曲線 (累積正規確率関数)。

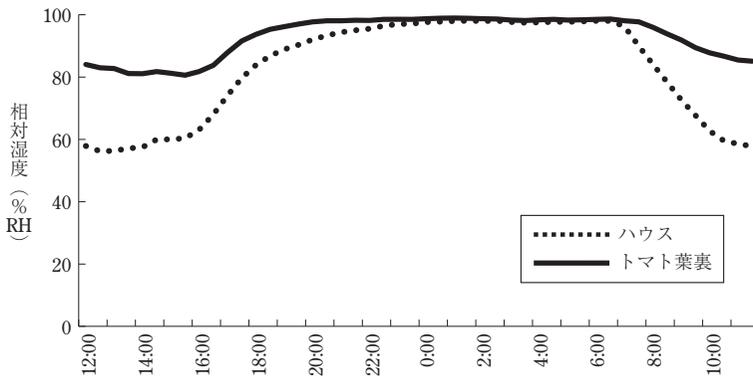


図-4 ハウス内とトマト葉裏の相対湿度
 2009年9月16日から10月16日までの期間、30分ごとに計測した相対湿度の平均値。

(遠山ら, 2013 より改変)

ハウス内の大気湿度とトマト葉裏の湿度を調査したところ、トマト葉裏ではハウス内よりも湿度が高く推移しており、夜間はおおむね19時から翌朝9時までの14時間程度が99% RH以上になっていた(遠山ら, 2013; 図-4)。しかし、そのような高湿度期間が2日以上続くことは少なく、雨が降った日など限定的であった。乾燥した天気が続いた場合、日中は葉裏でも60% RHを下回る日もあり、単純に葉面境界層の湿度だけで感染に適した環境が得られているわけではなかった。

一方、カメムシの一種 *Rhodnius prolixus* では *Beauveria bassiana* を接種した際、1日12時間以上97% RH環境に5日以上曝すことで80%以上が死亡することが報告されている (FARGUES and LUZ, 2000)。トマト葉裏においても前述のように毎晩高湿度となる湿度サイクルができ上がっている。そこで、タバココナジラミでも断続的な高湿度条件で感染が成立する可能性を考慮し、14時

間高湿度 (99% RH)、10時間低湿度 (50% RH) に繰り返し曝す条件で糸状菌製剤の接種試験を行った。その結果、14時間の高湿度に最初の1回だけ曝した場合よりも、断続的であっても繰り返し高湿度を与えたほうが感染率は高く、90%近い幼虫が感染することが明らかとなった(遠山ら, 2013; 図-5)。このことから、感染は散布当日の一晩のみではなく、夜間に断続的にであっても繰り返し高湿度環境が生ずることによって促進されることが示された。

III 湿度管理を行わない簡便な使用法の検討

以上のことから、コナジラミ類幼虫は他の害虫種とは異なる糸状菌感染に好適な生態を持ち、なおかつ、断続的であっても高湿度期間が十分なら糸状菌の感染は成立することが示唆された。そのため、タバココナジラミ幼虫の防除においては、ハウス側窓の開閉のような圃場の

環境を高湿度に保つ作業を省略できる可能性がある。そこで、2009年に茨城県農業総合センター生物工学研究所にて圃場試験を行い、ハウスの密閉が糸状菌製剤の防除効果に及ぼす影響を調査した。0.5 aのビニールハウス3棟にトマトを株間40 cm、畝間80 cmで5月26日に定植し、0.4 mm目合いの防虫ネットで区画を仕切った。1区当たり12株を供試し、500倍希釈した*Beauveria bassiana* 乳剤散布区、1,000倍希釈*Verticillium lecanii* 水和剤散布区、水散布区の三つを設定した。蓄圧式の肩掛け散布器で1区当たり2.5 l (200 l/10 a)を6月28日よ

り1週間隔で4回散布した。さらに一つのハウスでは常に側窓と天窓を開放し、他の二つのハウスではそれぞれ散布後一晩のみ側窓と天窓を閉めハウスを密閉する、および、毎晩ハウスを密閉する処理を行った。ハウスの密閉は夕方6時から翌朝6時までとした。調査方法は中位葉から複葉の先端の小葉を1株当たり1枚サンプリングし、実体顕微鏡下で葉裏に寄生したコナジラミ幼虫数を計数した。その結果、水を散布した区ではどのハウスでも7月16日以降コナジラミ類の密度が急激に増加した。しかし、糸状菌製剤を散布した区ではハウスの密閉の有無にかかわらず、コナジラミ類の密度は低く抑えられた(図-6)。本試験結果は、1事例ではあるが、コナジラミ類を対象とする場合は、従来の煩雑な湿度管理作業を行わなくても糸状菌による高い防除効果が期待できる可能性を示すものである。今後、さらに試験例が重ねられ、この利用法の普遍性が立証されれば、糸状菌製剤導入のハードルを下げることにつながり、より多くの生産現場で昆虫病原糸状菌を活用した生物的防除の実践が可能になると期待する。

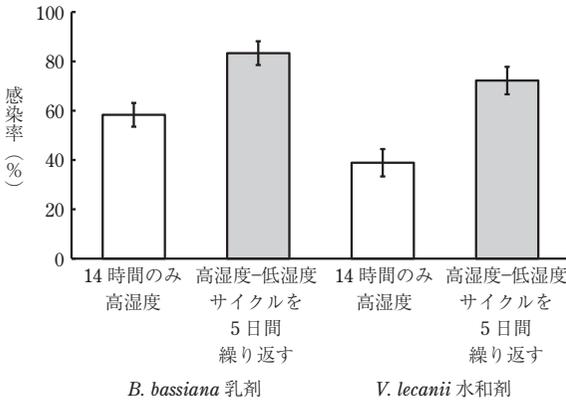


図-5 断続的な高湿度条件におけるタバココナジラミ幼虫に対する糸状菌製剤の感染率 (遠山ら, 2013)

IV 推定される使用条件について

Beauveria bassiana 乳剤, *Verticillium lecanii* 水和剤は販売元より使用適温としてそれぞれ15℃~27℃, 18℃~28℃が推奨されている。これまでの調査で感染に適

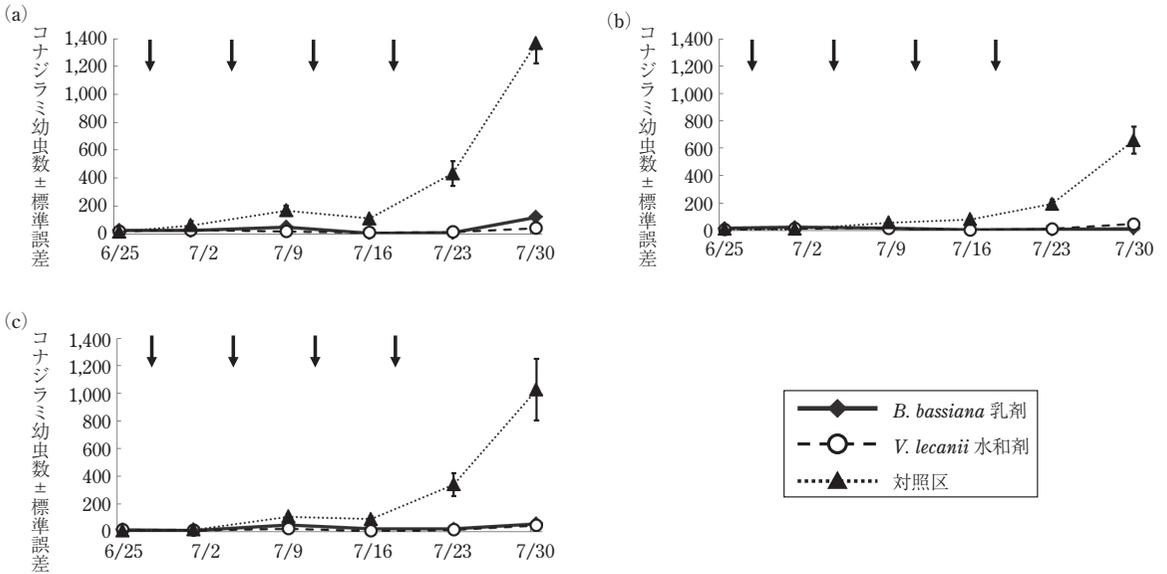


図-6 糸状菌製剤散布ハウスにおけるタバココナジラミ密度の推移 (12株平均)
 (a) 常に側窓を開放していたハウス, (b) 散布当日一晩のみ密閉していたハウス, (c) 毎晩密閉していたハウス。
 矢印は糸状菌製剤の散布日 (6月28日, 7月5日, 12日, 19日)を示す。
 コナジラミ幼虫数は、中位葉1枚あたりの葉裏寄生数 (12株平均)

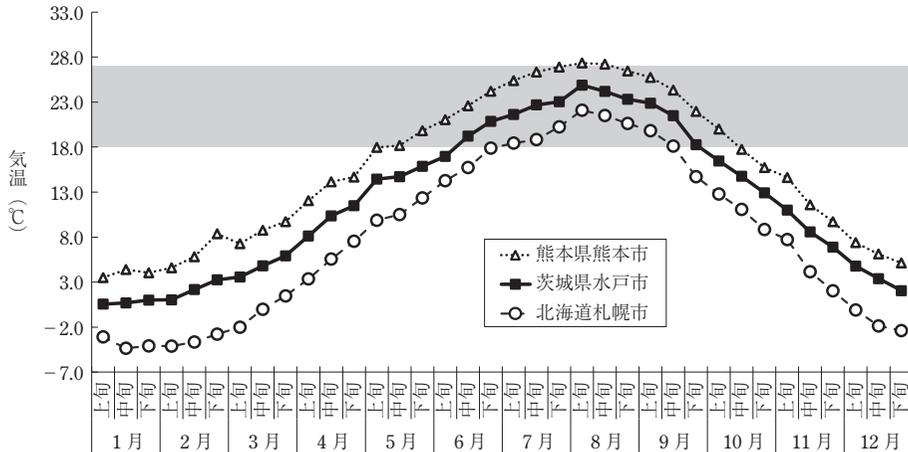


図-7 トマト生産量上位3道県の夜間の平均気温

上旬(1日～10日)、中旬(11日～20日)、下旬(20日以降)とし、2003年1月1日から2012年12月31日までの19時から翌朝8時までの1時間ごとの気温についてまとめた。網掛けは*B. bassiana*乳剤と*V. lecanii*水和剤が双方の使用に適した温度(18℃～27℃)を示す。

した湿度条件が得られるのは夜間であることが示唆されたことから、糸状菌製剤の効果を安定させるためには昼間の温度よりも夜間の温度が重要であると思われる。そこで、夜間の平均気温が両製剤の使用適温である18℃以上になる時期を調査、使用に適した時期を検討した。トマト生産量上位3道県の道庁県庁所在地(北海道札幌市、茨城県水戸市、熊本県熊本市)における、19時から翌朝8時までの1時間ごとの気温を気象庁ホームページの気象統計情報(<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>)より入手し、旬ごとに平均値を算出した。夜温が18℃以上になるのは熊本市では5月上旬から10月上旬、水戸市では6月中旬から9月下旬、札幌市では7月上旬から9月中旬までであった(図-7)。施設栽培においては、日中は野外よりも施設内の温度は高くなるが、ハウスを密閉していなければ夜間は外気温と同程度に推移すると期待され(二村ら, 2012)、おおむね初夏から仲秋の間が糸状菌製剤の使用に適していると考えられた。ただし、多くの*Beauveria*菌株では30℃を超える高温環境下において分生子発芽率の低下や菌糸生長の遅延が引き起こされる(JARONSKI, 2010)。そのため、とりわけ分生子発芽から菌糸の虫体侵入までの感染過程が起こる夜間に30℃を超える場合は、防除効果を不安定にする可能性があり、夏季の糸状菌製剤の使用にあたっては高温も考慮する必要がある。

おわりに

これまで糸状菌製剤の利用にあたっては、散布後の湿

度管理が特に注目されてきた。しかし、トマトに寄生するタバココナジラミにおいては、幼虫の寄生部位の環境から湿度条件は感染に好適であり、時期を選んで使用することで、特別な湿度管理を必要とすることなく安定した防除効果が得られると期待できる。一方、糸状菌の感染には、環境のほかにも考慮すべき要因がある。例えば、昆虫病原糸状菌は多くの殺菌剤の影響を受けることが知られており(西東・藪田, 1996)、糸状菌製剤の利用にあたっては病害防除に用いた薬剤の散布履歴なども考慮する必要がある。すなわち、単純にタバココナジラミという1種類の害虫のみの防除法が確立できればよいというのではなく、総合的な防除体系の中でのツールとして糸状菌殺虫剤の効果的な利用条件を解明していかなければならない。

引用文献

- 1) BOULARD, T. et al. (2002): *Agric. For. Meteor.* **110**: 159 ~ 176.
- 2) FARGUES, J. and C. LUZ (2000): *J. Invertebr. Pathol.* **75**: 202 ~ 211.
- 3) 福原敏彦 (1979): 昆虫病理学, 学会出版センター, 東京, p. 97 ~ 100.
- 4) 行徳 裕ら (2009): 日植病報 **75**: 109 ~ 111.
- 5) JARONSKI, S. T. (2010): *BioControl* **55**: 159 ~ 185.
- 6) MUKAWA, S. et al. (2011): *Appl. Entomol. Zool.* **46**: 255 ~ 264.
- 7) 二村幹雄ら (2012): 愛知県農総試研報 **44**: 53 ~ 59.
- 8) 西東 力・藪田実男 (1996): 応動昆 **40**: 71 ~ 76.
- 9) 島津光明 (2004): 植物防疫 **57**: 474 ~ 477.
- 10) 徳丸 晋・林田吉王 (2010): 応動昆 **54**: 13 ~ 21.
- 11) 遠山宏和ら (2013): 同上 **57**: 27 ~ 34.