

昆虫病原性糸状菌に対する化学薬剤の協力効果

静岡大学農学部生物生産科学科応用昆虫学研究室 ひろ 森 創

はじめに

最近、天敵類を用いた生物的防除法が、環境に対して調和した農業という観点から見直されてきている。これらの中には、捕食性および寄生性の天敵昆虫等、ウイルス・細菌・糸状菌などの天敵微生物が含まれる。しかし、このような多くの生物的防除法はこれまでその使用が制限されてきた。これには様々な要因が挙げられるが、微生物自体の環境条件下における不安定さが、最も大きな要因となっている。昆虫病原性糸状菌 *Beauveria bassiana* の場合、分生子懸濁液として処理すると、紫外線等によって植物体上における 24 時間後の分生子生存率は 10%以下となってしまう (DAoust and PEREIRA, 1986)。また昆虫病原性糸状菌 *Metarhizium anisopliae* を土壤中に処理した場合も、拮抗的な微生物などの影響を受け、対象害虫に対する感染に必要な菌量を処理後ただちに下回ってしまうことが少なくない (RATH et al., 1995)。このように、圃場への処理に当たっては、天敵微生物は依然として多くの問題を抱えている。これらの点を改善するために様々な努力が行われてきている。天敵微生物に化学薬剤を混用して天敵微生物の効果を高める方法も、このような問題点を改善し得る方法として着目されるようになった。今回は昆虫病原性糸状菌と化学薬剤の混用による協力効果発現に関する最近の研究について、*M. anisopliae* を中心として紹介する。また、糸状菌と薬剤の混用による協力効果の発現について、その原因と併せて言及したい。

I 昆虫病原性糸状菌と混用可能な化学薬剤

昆虫病原性糸状菌の中でも *M. anisopliae* をはじめとする硬化病菌は、各種の殺虫剤に対して、比較的耐性が高いことが確認されている。表-1 に *M. anisopliae* の各種薬剤に対する耐性検定の結果を示した。本菌は有機リン系、ピレスロイド系などの殺虫剤に対しては比較的高い耐性を示し、また抗生物質を含む各種の殺菌剤に対しても比較的高い耐性を持つ。一方、IGR 剤や硫黄系の

殺菌剤などに対しては、耐性が低いと考えられる。これらのことから、*M. anisopliae*, *B. bassiana* や *Nomuraea rileyi* などの昆虫病原性糸状菌と混用できる薬剤は、少なくないと考えられる。

II 糸状菌と化学薬剤との混用による防除

これまで天敵微生物と他の防除資材との併用について

表-1 SDAY 培地上における *M. anisopliae* の各種薬剤に対する耐性 (HIROMORI and NISHIGAKI, 1998 a)

薬 剤	薬剤濃度 (ppm)			
	100	250	500	1,000
殺虫剤				
MEP		2+	+	+
MPP		3+	2+	2+
ジクロロボス		3+	2+	—
ダイアジノン		2+	2+	2+
クロルピリホス		2+	2+	2+
DEP		3+	3+	2+
シベルメトリン		2+	2+	2+
ベルメトリン		2+	2+	2+
メソミル		3+	3+	3+
IGR 剤				
フルフェノクスロン	—			
テフルベンズロン	3+	2+	+	—
クロルフルアズロン	3+	+	—	
テブフェノジド	3+	3+	3+	2+
殺菌剤				
ベノミル	—			
キャプタン	3+	2+	+	+
イプロジオン	3+	2+	+	+
無機銅 (塩基性硫酸銅)		3+	3+	3+
キントゼン		3+	2+	+
マンゼブ	—			
マンネブ	—			
トリフルミゾール	—			
TPN		2+	+	—
抗生物質剤				
ストレプトマイシン		3+	3+	3+
クロラムフェニコール		3+	3+	3+
カスガマイシン		3+	3+	3+

M. anisopliae の各種殺虫剤に対する耐性は以下の 4 段階で示した。3+：菌糸の生育が対照区と同程度、2+：菌糸の生育は対照区より劣る、+：菌糸の生育がわずかに確認される程度、—：菌糸の生育は確認されない。

Synergistic Effect of Insecticides toward Entomopathogenic Fungi. By Hajime HIROMORI
(キーワード：協力効果, 混用処理, 昆虫病原性糸状菌, 化学薬剤, 免疫機構)

表-2 昆虫病原性糸状菌に対して殺虫剤の協力効果が確認された最近の事例

糸状菌	殺虫剤	対象害虫	文献
<i>Beauveria bassiana</i>	Imidacloprid	<i>Reticulitermes flavipes</i> (シロアリの一種)	BOUCIAS et al. (1996)
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Imidacloprid	<i>Diaprepes abbreviatus</i> (ゾウムシの一種)	QUINTELA and McCoy (1997)
<i>Beauveria bassiana</i>	Imidacloprid	<i>Diaprepes abbreviatus</i>	QUINTELA and McCoy (1997)
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Imidacloprid	チャバネゴキブリ	KAAKEH et al. (1997)
<i>Metarhizium anisopliae</i>	MEP	ドウガネブイブイ	HIROMORI and NISHIGAKI (1998 a)
<i>Metarhizium anisopliae</i>	MPP	ドウガネブイブイ	HIROMORI and NISHIGAKI (1998 a)
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Teflubenzuron	ドウガネブイブイ	HIROMORI and NISHIGAKI (1998 a)

は、多くの害虫に対して、様々な組み合わせで検討が行われてきた。その結果は、害虫に対して協力的な効果が認められ高い防除効果を得たもの、逆に拮抗的な作用によって防除効果が低下したものなど、いろいろである。昆虫病原性糸状菌においても殺虫剤、殺菌剤、抗生物質など様々な種類との組み合わせが検討されている。薬剤との混用により昆虫病原性糸状菌の殺虫効果を高めようという試みも、これまでいくつか行われている(表-2)。

糸状菌と薬剤の混用による協力効果は、下記のような現象となって発現すると考えられる。まず、混用によって殺虫力が高まることにより最終的な死亡率が上昇することが挙げられる。これは、それぞれの防除資材を単独で処理した場合より死亡率が大幅に上昇する場合を指す。協力効果の評価方法はいろいろあるが、死亡率のみに着目した場合は、特にこの点が重要とされる。また、殺虫剤との混用によって、糸状菌による感染死亡までの時間を短縮させる協力効果も考えられる。

Ⅲ コガネムシ類における *Metarhizium anisopliae* と化学薬剤の混用による協力効果

ドウガネブイブイ 1 齢幼虫に対して *M. anisopliae* および有機リン系の薬剤を、シャーレ内の土壤中に単独あるいは混用処理したときの死亡率を表-3 に示した。*M. anisopliae* を単独で処理した場合の 21 日後の死亡率は約 40% で、薬剤単独での死亡率は各薬剤とも 40% 以下であった。これに対して *M. anisopliae* と薬剤を混用した処理区においては、死亡率は 60% 以上となり、各資材単独と *M. anisopliae* の死亡率の合計よりも高くなった。これは、土壤中に両資材を処理した結果であるが、*M. anisopliae* の分生子に薬剤を混合してチャバネゴキブリの体表に直接塗布した場合でも協力効果が発現している(KAAKEH et al., 1997) ことから、土壌を介さない植物体上などでも同様の効果を得ることが可能であると

表-3 *M. anisopliae* および各種殺虫剤をドウガネブイブイ 1 齢幼虫に対し混用処理した場合の 21 日後の死亡率 (HIROMORI and NISHIGAKI, 1998 a)

薬 剤	21 日後の死亡率(%)	
	単独処理区	混用処理区
有機リン剤		
MEP	16.7 ab	75.0 bc
MPP	33.3 bc	83.3 de
ジクロルボス	40.0 bc	80.0 de
ダイアジノン	43.3 bc	66.7 cd
クロルピリホス	16.7 ab	66.7 cd
IGR 剤		
テフルベンズロン	16.7 ab	70.0 cd
フルフェノクスロン	6.7 a	43.3 bc
<i>M. anisopliae</i>	40.0 bc	
対照	0.0 a	

各処理区の供試虫数は 30 頭(2 反復)、*M. anisopliae* は 1.0×10^7 conidia/ml の濃度の菌液を処理。有機リン剤はシャーレ当たり 2.5 μ g、IGR 剤は 10 μ g 処理した。表中のアルファベットは同じ記号同士は有意差がないことを示す(p<0.05, ANOVA)。

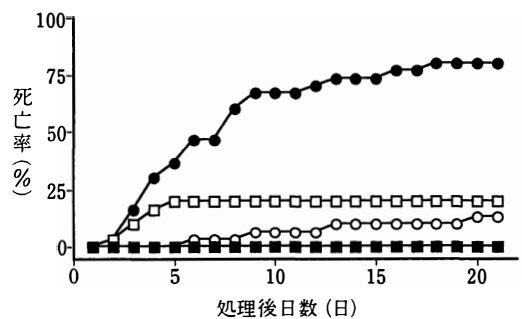


図-1 ドウガネブイブイ 3 齢幼虫に対して *M. anisopliae* および MEP を混用処理した場合の死亡率の推移 (廣森ら, 1998 b)

—■—: 対照, —□—: MEP, —○—: *M. anisopliae*, —●—: *M. anisopliae* + MEP

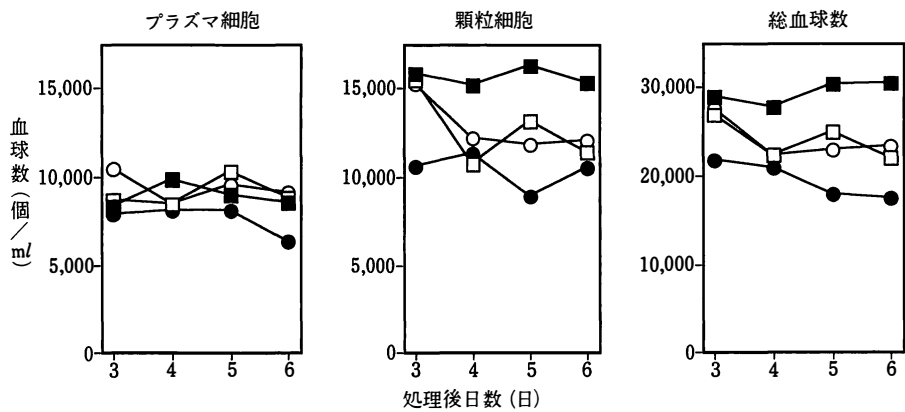


図-2 *M. anisopliae* および MEP を混用処理したドウガネブイブイ幼虫における血球数の推移 (HIROMORI and HATSUKADE, 1999)
—■—: 対照, —□—: MEP, —○—: *M. anisopliae*, —●—: *M. anisopliae* + MEP

考えられる。
ドウガネブイブイ幼虫に対して *M. anisopliae* と MEP を混用したときの死亡率の推移を図-1 に示した。この結果を見ると、両資材を混用した処理区の死亡率は処理後3日目から急激に上昇していることがわかる。通常、*M. anisopliae* を単独でドウガネブイブイ幼虫に処理した場合、死亡虫が観察されるまでに早くも4~5日かかるが、混用処理区においては死亡虫が3日後から観察されはじめ、この個体は *M. anisopliae* に感染していた。このことから、協力効果には糸状菌による感染死亡までの時間を短縮する作用もあると考えられる。

IV 昆虫病原性糸状菌に対する薬剤の協力効果発現の機構

協力効果がどのようにして発現するかについては、いろいろな可能性が示されている。昆虫病原性糸状菌に対する薬剤の協力効果は、比較的低薬量において発現することから (廣森ら, 1998 b), 筆者らは薬剤のストレス的な効果によって糸状菌に対する感受性が高まるのではないかと考えている。そのなかでも、特に対象昆虫の免疫機構に対する薬剤の影響が高いのではないかと考えている。また、*M. anisopliae* など糸状菌は、通常、昆虫の表皮から侵入することから、分生子や菌糸が表皮に付着しやすくなる可能性も考えられる。

ドウガネブイブイに対して *M. anisopliae* と MEP を混用したときの血球数の推移を図-2 に示した。昆虫の血球は糸状菌などの異物が侵入すると、直接的に貪食したり包囲化作用を行い、異物を虫体内から排除しようとする。図のように混用処理を行った場合、血球数が大きく減少していることから、協力効果は細胞性の免疫機能

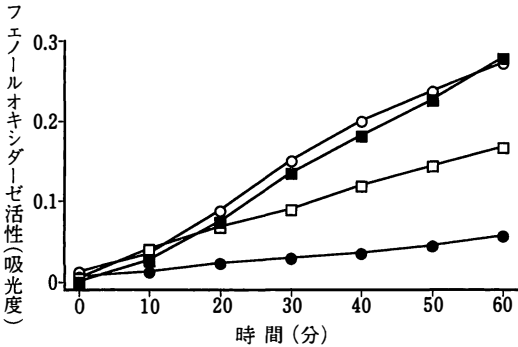


図-3 *M. anisopliae* および MEP を処理したドウガネブイブイ幼虫におけるフェノールオキシダーゼ活性 (HIROMORI and HATSUKADE, 1999)
—■—: 対照, —□—: MEP, —○—: *M. anisopliae*, —●—: *M. anisopliae* + MEP

表-4 *M. anisopliae* および MEP を処理したドウガネブイブイ幼虫の摂食量(処理後5日間の合計) (廣森ら, 1998 b)

処理区	摂食量(g)	死亡率(%)
対照	1.90±0.50 a	0.0
MEP	1.87±0.51 a	0.0
<i>M. anisopliae</i> + MEP	1.22±0.55 b	5.0
<i>M. anisopliae</i>	1.42±0.62 b	0.0

摂食量は40頭の平均値で示した。図中のアルファベットは同じ記号同士は有意差がないことを示す。

の低下によって生じている可能性が大きい。*M. anisopliae* と MEP を混用したときのドウガネブイブイ幼虫の体液中のフェノールオキシダーゼ活性の変化を図-3 に示した。フェノールオキシダーゼは昆虫の体液内で、メラニン化などの防御反応に関与していることが知られている。このフェノールオキシダーゼの活性は MEP 処

理によって低下したことから、薬剤の処理は体液性の免疫にも影響を及ぼし、その結果、本菌に感染しやすくなったとも考えられる。

ゾウムシの一種 *Diaprepes abbreviatus* 幼虫に対して、*M. anisopliae* または *B. bassiana* とイミダクロプリドを混用した場合、本剤の影響によって幼虫の行動が抑制され、このため昆虫の表皮から侵入する分生子が、虫体表皮に一度付着した後、剥離し難くなり、このために糸状菌の感染が高まることが示されている (QUINTELA and McCoy, 1997, 1998)。筆者らの研究においても、*M. anisopliae* と MEP を混用した場合、ドウガネブイブイ幼虫の摂食量は混用区で著しく低下する傾向がある (表-4)。この摂食量の低下によって、幼虫の行動が低下し、このために土壤中において幼虫表皮から *M. anisopliae* の分生子が剥離し難くなり、感染死亡率が上昇する可能性が示されている。

おわりに

昆虫病原性糸状菌に各種の薬剤を混用した場合、糸状菌と薬剤との組み合わせ、薬剤の処理量、対象害虫の種類や生態にもよるが、協力効果が発現する可能性があると考えられる。特に、今回述べてきたような *M. anisopliae* をはじめとする硬化病菌類は、各種殺虫剤に対する耐性が比較的高いことから、実際の防除においても既存の殺虫剤を混用できると見られ、現行の防除体系に組

み入れやすいと考えられる。

また、今回紹介してきた昆虫病原性糸状菌と薬剤の混用によって、協力効果を発現させる場合の薬量は、慣行の防除法より大幅に少ないものとなっている。このことから、糸状菌との混用によって単位面積当たりの薬剤投下量も大きく抑え得る可能性がある。これは、総合的病害虫管理 (IPM) に天敵微生物を組み込んでいく際に非常に重要な視点であると考ええる。

IPM の体系を策定していく中で、このような混用法をさらに検討し、より有効な微生物防除資材を探索する必要がある。このような混用の試みが様々な害虫種に対して行われ、微生物防除資材の利用が拡大することを期待したい。

引用文献

- 1) BOUCIAS, D. G. et al. (1996): Pflanzenschutz - Nachrichten Bayer 49: 103~144.
- 2) DAoust, R. A. and R. M. PEREIRA (1986): Environ. Entomol. 15: 1237~1243.
- 3) HIROMORI, H. and J. NISHIGAKI (1998 a): Appl. Entomol. Zool. 33: 77~84.
- 4) 廣森 創ら (1998 b): 芝草研究 26: 143~148.
- 5) HIROMORI and HATSUKADE (1999): 投稿中.
- 6) KAAKEH, W. et al. (1997): J. Econ. Entomol. 90: 473~482.
- 7) QUINTELA, E. D. and C. W. McCoy (1997): Environ. Entomol. 26: 1173~1182.
- 8) ——— (1998): J. Econ. Entomol. 91: 110~122.
- 9) RATH, A. C. et al. (1995): Aust. J. Agric. Res. 46: 429~440.

学 界 だ よ り

○日本植物病理学会第10回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム開催のお知らせ

日 時: 2000年4月5日(水) 9:30~17:00

場 所: 岡山大学農学部II号館第10講義室(岡山市津島中1-1-1)

参加費: 2,000円(講演要旨代を含む)

参加申込み: 当日、会場にて受け付け

プログラム

<午前の部>

9:30~9:40 開会挨拶

9:40~10:30 岡山県における野菜病害と耐性菌

(岡山農試) 粕山新二氏

10:30~11:20 マメ類灰色かび病菌のフルアジナム耐性と対策

(道立十勝農試) 田村 修氏

11:20~12:10 シモキサニルの作用機構と耐性菌対策

(デュポン) 白石 慎氏

<午後の部>

13:10~14:00 灰色かび病菌のフルジオキシニルに対

する感受性検定法

(ノバルティスアグロ) 平田明靖氏

14:00~16:50 ストロピルリン耐性菌の出現と対応

・耐性菌の生物学的特性

(JA全農) 天野徹夫氏

・耐性機構に関する1考察

(農環研) 石井英夫氏

(休憩)

・Monitoring sensitivity to STAR fungicides in important plant pathogens of European cereals

(ZENECA) Steve Dale氏

・STAR FRAC guideline and implementation of resistance management (BASF) Josef Appel氏

16:50~17:00 閉会挨拶

問い合わせ先: 〒305-8604 つくば市観音台3-1-1

農林水産省農業環境技術研究所

殺菌剤動態研究室 石井英夫氏

TEL & FAX: 0298-38-8326

E-mail: hideo@niaes.affrc.go.jp