

緑きょう病菌の害虫に対する 微生物防除資材としての可能性

埼玉県農業技術研究センター 宇 賀 博 之

はじめに

近年、消費者の安全志向により減農薬が求められるとともに病虫害の化学農薬に対する抵抗性の発達が顕著となっておりその代替え技術として微生物防除資材の開発が多く機関で取り組まれている。これらのうち、昆虫病原糸状菌は古くから活用が試みられているが、実用化に達したものはまだ少ない。その現状と課題については、西東（2005）に詳述されている。

本稿ではこれら昆虫病原糸状菌のこれまでの研究およびハスモンヨトウに効果的な緑きょう病菌（*Nomuraea rileyi*：口絵①）の選抜（特許第 5245140 号）とその特性（宇賀ら，2014）について述べる。また、この緑きょう病菌の微生物防除資材としての今後の可能性について考察してみたい。

I 生物農薬の現状

生物農薬（バイオペスティサイド：Biopesticide）とは、病虫害防除のために農薬の目的で使用される昆虫、線虫、菌類等の生物のことで、狭義的には化学農薬と区別される。生物農薬の登録状況は、平成 25 年 9 月末時点では、微生物および線虫が 23 成分・65 銘柄、天敵昆虫およびダニが 18 成分 42 銘柄となっており（日本植物防疫協会，2014）、農薬全体から見ると出荷額ベースで 0.7%である。新しい情報は、有限会社インデックス情報センターが運営する農薬インデックス（<http://www.agro.jp/>）でも検索できる。

少し古いデータであるが、1992 年 1 月～2002 年 12 月までに登録された生物農薬に関する特許は 1,600 件あり、有効成分の由来生物は微生物が 57%、次いで植物（同 31%）、昆虫（同 4%）の順である（（独）工業所有権情報・研修館，2005）。技術対象別では、病害防除に関するものが 35%、害虫防除が 27%、成長調節が 19%、雑草防除が 8%、病虫害防除の両方を対象にしたものが 9%等となっている（同上）。

生物的防除資材への注目度が高い中、緑きょう病菌の殺虫剤としての研究は、いくつかの機関で取り組まれている（浅山・大石，1980；本林ら，1993；杉田ら，2003；沼沢・小谷野，2004；江波ら，2005；河村ら，2005）。しかし、前述のデータからも容易に推測される実用化への問題点は、技術的には高い価値を有するが、農薬メーカー側から見ると、商業ベースに乗るだけの総合的なポテンシャルが化学農薬と比較して低いことである。これらの要因について考察してみよう。

II 生物農薬の特徴

1 効果

病虫害防除を目的として使用することが大前提となるため、農作物を生産する立場から見ると、その効果は高いほどよく、かつ、安定性が求められる。また、気象条件や生産環境にとらわれず、容易な処理方法であることが望ましい。さらに、化学農薬とまでは言わずとも、即効性や持続（残効）性を有すれば、実用化の可能性は高くなる。捕食性天敵の場合は、対象作物またはバンカー植物に定着させることによって、放飼（散布）回数は 1 から数回で済む場合が多い。一方、微生物防除資材の場合は一般的に継続的な散布が必要となるが、病虫害の発生状況に左右されることは少ない。緑きょう病菌の場合、特にダイズ圃場などの常発地では、ヨトウムシ類やウワバ類の増加に応じて自然発生する。このような現象は土着天敵などにも当てはまるが、いずれも、害虫が発生した後に起こりうることで、ある程度の食害を覚悟しなければならない。

ハスモンヨトウにおいて、緑きょう病菌の接種から死亡に至るまでには、好適条件においても最低 5 日を要する（表-1）。感染が成立するまでの時間短縮や温度等に対する環境適応条件の拡大のために、カイコ蛹抽出物に含まれるスフィンゴシンの研究が行われ（野田，2012）、2009 年に特許出願（特願 2009-109340）、2013 年に登録された。また、木本ら（2007）は、*N. rileyi*, *Paecilomyces fumosoroseus* および *Beauveria bassiana* の 3 種の昆虫病原糸状菌を混合した場合は、それぞれの特性が互いを補うことで処理 3 日後からの死亡を確認しており、生物農薬の弱みである遅効性克服などの研究も重要である。

Potential of *Nomuraea rileyi* as Biological Agents for Controlling Insect Pests. By Hiroyuki Uga

（キーワード：緑きょう病菌，ノムラエア，ハスモンヨトウ，微生物防除資材，生物農薬，イチゴ）

表-1 緑きょう病菌の虫体浸漬処理によるハスモンヨトウに対する病原性

分離株名	接種濃度 (個/ml)	接種 個体数	接種後日数 ¹⁾					死亡率 (%)	LC ₅₀
			5 日	6 日	7 日	8 日	合計		
9-29-5	10 ⁴	24			2		2	8	3.5 × 10 ⁴
	10 ⁵	42		17	13	7	37	88	
	10 ⁶	11		10	1		11	100	
10-7-7	10 ⁴	26			2	1	3	12	5.0 × 10 ⁴
	10 ⁵	57	6	28	6		40	70	
	10 ⁶	12	2	9			11	92	
10-13-10	10 ⁴	30		1			1	3	3.1 × 10 ⁴
	10 ⁵	32		15	14	2	31	97	
	10 ⁶	10		8	2		10	100	

¹⁾ 数値は該当日の死亡個体数を、空欄は死亡個体がないことを示す。

表-2 緑きょう病菌 9-29-5 株の葉片浸漬処理によるハスモンヨトウに対する病原性

放飼時期	接種濃度 (個/ml)	接種 個体数	接種後日数 ¹⁾					死亡率 (%)	LC ₅₀
			6 日	7 日	8 日	9 日	合計		
浸漬直後 (濡れた状態)	10 ⁵	19		1	2		3	16	1.1 × 10 ⁶
	10 ⁶	18		6	1		7	39	
	10 ⁷	20	6	10	2		18	90	
	10 ⁸	18	5	9	4		18	100	
風乾後	10 ⁵	20					0	0	8.0 × 10 ⁶
	10 ⁶	19			1		1	5	
	10 ⁷	19		5	4	1	10	53	
	10 ⁸	19		16	3		19	100	

¹⁾ 数値は該当日の死亡個体数を、空欄は死亡個体がないことを示す。

緑きょう病菌を水和剤として散布する場合を想定して、選抜株のハスモンヨトウ幼虫に対する効果を調査した。その結果、薬剤が直接虫体にかかった場合、LC₅₀は 3.5×10^4 conidia/ml であり (表-1)、江波ら (2005) の報告した菌株より病原性が少し高かった。また、植物葉に散布された薬剤が乾く前と乾いた後に放飼した場合、LC₅₀はそれぞれ、 1.1×10^6 および 8.0×10^6 conidia/ml であった (表-2) ことから、生産圃場における散布濃度は $1 \sim 2 \times 10^7$ conidia/ml 程度が妥当と考えられた。2006 年に圃場における防除試験を行った結果、散布 2 週間後の補正密度指数は 2.5 となり (表-3)、杉田ら (2003) のガラス室内における試験結果と同等以上の効果を示した。その後、2 か年試験を行ったが、いずれも同傾向であった。

ハスモンヨトウの天敵微生物としては、核多角体病ウイルス (SpliNPV) が知られており、その詳細は岡田 (1977) によって明らかにされている。この研究から 30 年後の 2007 年に、ようやくこのウイルスを有効成分

とする「ハスモン天敵」が微生物農薬として登録された。上記で、複数の成分を混合することにより、その効果を高めることができることを述べた。同じ微生物でも、その分離株によって致死率やその速度等、害虫に対する特性が異なる。この効果を応用して、新たな SpliNPV 製剤が検討され (神谷・祖父江, 2007)、2012 年に「ハスモンキラー」が農薬として登録された。緑きょう病菌においても、分離株によってハスモンヨトウに対する特性が異なっており (表-1)、このような技術を応用できると考えられる。

Bt 剤のイチゴヤシソにおけるハスモンヨトウに対する効果は、他の作物と比較して低下することが報告され、(長岡・井園, 1998; 及川ら, 1999)、諫山ら (2011) によって、その原因が植物葉に含まれるポリフェノール化合物によるものと解明された。緑きょう病菌の場合には経皮感染によるため、このような現象が起こる可能性は低いと思われる。しかし、ハスモンヨトウの生育速度は、摂食する植物種によって異なるため、それぞれの作

表-3 現地圃場試験結果 (2006年10～11月)

薬 剤	処理濃度	処理前 虫数	処理 7 日 後生存数	回収虫の生存推移（処理後日数）								処理 14 日後 補正密度指数
				8	9	10	11	12	13	14		
緑きょう病菌 9-29-5 株	2 × 10 ⁷ 個/ml	225	41	33	23	9	5	2	2	2	2.5	
フルフェノクスロン乳剤	3,000 倍	115	27	27	20	9	8	7	3	3	7.3	
デルフィン顆粒水和剤	800 倍	125	26	25	24	20	18	14	14	14	31.4	
無処理		73	35	33	33	31	30	26	26	26	100	

3 剤の試験区は、自然発生個体が少なかったため、放虫を含む。

処理7日後に生存している幼虫を回収して25℃で飼育し、散布後2週間の生存の推移を見た。

表-4 緑きょう病菌 9-29-5 株の殺虫活性

供試害虫	供試虫数	累計死虫数 (日後)										死虫率 (%)
		5	6	7	8	9	10	11	12			
ハスモンヨトウ	31	10	21	30	31	31	31	31	31	100		
オオタバコガ	21	0	0	0	2	2	8	14	15	71		
ヨモギエダシヤク	37	0	0	0	0	19	28	31	35	95		

3 齢幼虫に対する 1×10^7 個/ml 浸漬処理による検定。

物における検討が必要であろう。トマトにおいては、食害によって放出されるヘキセノール化合物によって、ハスモンヨトウの生育が抑制されることが明らかとなっており (杉本ら, 2014), このような場合は、防除効果が高まる可能性も考えられる。

2 スペクトラム

生物農薬の場合、化学農薬と比較して対象となる病害虫が限定的であることが多い。昆虫病原菌の寄生範囲は、その種類によってかなり異なるが、緑きょう病菌は、バッタ目、カメムシ目、コウチュウ目のそれぞれ1種およびチョウ目の30種に感染することが報告されている (国見, 1993)。そこで、オオタバコガ、コナガ、アオムシ、イネツトムシ、ヨモギエダシヤク、チャノコカクモンハマキおよびチャハマキに対する効果を調べたところ、選抜株は、オオタバコガおよびヨモギエダシヤクにのみ感染した。その病原性はハスモンヨトウと比較して低く、死亡に至る日数も長いことが明らかとなった (表-4)。この株は、緑きょう病菌が多発したダイズ圃場から採取したもので、感染死亡虫の中にはウワバ類が多数含まれると思われることから、適応害虫はもう少し広いと推測される。

3 使用方法

農薬は、誰が、いつ、どのように使用しても同じような効果が発揮されることが望ましい。また、使用方法の簡便性や省力化がなされることも大切である。薬剤を使用する場合、複数の農薬を混用することも多い。天敵な

どの生物農薬に対する薬剤の影響については、日本バイオロジカルコントロール協議会が発行するバイオコントロールに毎年更新・掲載されている (ホームページにも掲載: <http://www.biocontrol.jp/>)。糸状菌である緑きょう病菌も多くの場合、殺菌剤との混用はできないことが容易に推測される。また、展着剤の種類によっては殺虫効果が弱まることも報告されている (川村ら, 2006)。一方で、特定の薬剤を混用することによって、その効果を安定化させることができる (河村ら, 2005)。また、脱皮によって虫体表皮に付着した分生胞子の脱落防止のため、IGR 剤との混用も効果的と思われる。さらに、静電噴口を用いて散布することによって、虫体への分生胞子の付着量が増加することも期待できるなど、研究の余地は残されている。

4 増殖・製造方法

緑きょう病菌の生産圃場における実用濃度は、農薬登録されている他の昆虫病原糸状菌とほぼ同程度の $1 \sim 2 \times 10^7$ conidia/ml 程度が妥当と考えられたことから、10 a 当たり 100 l を散布する場合に換算すると、分生胞子の総数は $1 \sim 2 \times 10^{12}$ 個が必要である。この散布量を簡易に確保するために、河上・島津 (1986) を参考に増殖方法を検討した結果、フスマペレットに当量の水を加えた培地において、効率的に分生胞子が得られた (口絵②)。その後の試験で、水分量は固形培地の2倍程度まで多いほうがわずかに良好であることがわかった (データ省略)。大量増殖のため、きのこ栽培用菌床袋 S-

40T および SC-35ES (いずれもサカト産業株式会社) 1 kg 用にふすまペレットおよび水を 100 g ずつ入れて滅菌後、液体培養した種菌を 20 ml 添加し、25℃、連続照明、静置培養を行った (口絵③)。その結果、種菌接種 20 日後には、固形培地 100 g 当たり分生孢子 $0.7 \sim 1.5 \times 10^{12}$ 個となり、200 g 程度で 10 a 分の必要量が得られた。

緑きょう病菌分生孢子の感染 (発芽) 能力の維持については、河上 (1990) に多くの文献が掲載されているが、高温での保存は実用的ではなく、製剤化した場合には低温保存が必要になるかもしれない。保存期間については、実用上問題とならないのは 6 か月程度と思われるが (表-5)、剤型によっては大きく異なることが予想される。

III 緑きょう病菌の微生物防除資材としての可能性

イチゴにおけるハスモンヨトウの被害は、ふ化から分散するまでの若齢幼虫の場合は葉裏に生息するため、寄生された葉は表皮を残して食害されるが、実質的な損害はあまりないと思われる。しかし、分散後の中齢から老齢幼虫になると未成熟の果実を食するため、被害が直接的である。また、イチゴ栽培ではハダニによる被害が顕著であり、化学薬剤に対する抵抗性も発達していることから、天敵生物であるカブリダニの利用が広がっている。この天敵温存のため、ハスモンヨトウ対策に使用できる化学薬剤が制限され、また、前述のようにイチゴにおいては Bt 剤の殺虫効果が低下するため、新たな生物農薬への期待は大きい。

一般に、昆虫病原糸状菌の感染成立には好適な温度および湿度が求められ、緑きょう病菌の生育適温は 20 ～ 25℃ と比較的低温で、30℃ 以上では生育しないとされる。また、分生孢子の発芽には、90% 以上の湿度が必要とされる (河上, 1990)。これらの特性について調べたところ、選抜株は、夏期の屋外においても感染が確認された (データ省略) ほか、60% 程度の比較的低い湿度環境においても感染が認められた (表-6)。この理由は、夏期でも夜温は 25℃ 前後となるほか、植物葉面上 (葉裏) の微気象条件は、空間測定値よりも感染成立に好適であるからと推察される。イチゴ栽培におけるハスモンヨトウによる被害が顕著になる時期は低温期に向かい、また、実害は開花期以降であるため、本病菌の特性が十分に発揮できる環境条件と考えられる。

これまでの糸状菌製剤の多くは、精製した分生孢子の懸濁液を散布する形態がとられている。しかし、製造労力とコストを考慮すると、分生孢子が形成された培養産物 (ふすまペレットで培養) をそのまま圃場に散布する手法も考えられる。また、最近農薬登録されたメタリジ

表-5 緑きょう病菌の保存状態別の殺虫活性

保存温度	光条件	保存月数	供試虫数	累計死虫数 (日後)					死虫率 (%)
				5	6	7	8	9	
30℃ 25℃	明	1 か月	11	0	0	0	0	0	0
	明		13	0	0	6	6	6	46
	暗		15	0	11	15	15	15	100
4℃	暗	1 か月	23	6	21	23	23	23	100
		6 か月	32	0	10	24	30	32	100
		18 か月	23	0	0	0	1	12	52

ハスモンヨトウ 3 齢幼虫に対する 1×10^7 個/ml 浸漬処理による。

表-6 各湿度における殺虫活性

湿度 (%)	供試虫数	累計死虫数 (日後)						死虫率 (%)
		6	7	8	9	10	11	
100	22	18	22	22	22	22	22	100
80	24	14	20	20	20	20	20	83
70	27	3	15	21	21	21	21	78
60	22	0	5	12	15	15	15	68

ハスモンヨトウ 3 齢幼虫に対する 1.5×10^6 個/ml 浸漬処理による。

ウムアニソプリエ粒剤 (パイレーツ粒剤) のように、天敵糸状菌の増殖する担体に粉衣した形態で散布し、圃場において増殖させるやり方も検討に値すると思われる。ただし、この場合は、散布後の環境条件によっては、緑きょう病菌が期待通りに増殖しないことも考えられるため、注意を要する。

化学農薬の場合、その連用は薬剤耐性が問題となることから控えるべきであるが、生物農薬は、連用による密度の高まりによって、圃場で自然発生するようになることも想定されることから、むしろ推奨されるものかもしれない。

以上を考慮すると、緑きょう病菌はイチゴ栽培におけるハスモンヨトウ対策として利用価値が高いと思われる。

お わ り に

ハスモンヨトウに対する緑きょう病菌の高い防除効果について述べてきたが、農薬登録をするメーカーの立場では、たとえ効果的な原体であっても、製造・販売コストに見合うだけの収益が見込めるかどうか生物農薬として開発を進める判断基準になる。これには、対象作物および対象害虫が広範囲にわたるほどよい。また、効果の安定性や使用方法の簡素化、技術の複合化、生産者、消費者への PR 等も含めて取り組む必要性があるため、さらなる研究が進むことを期待する。

引用文献

- 1) 浅山 哲・大石一史 (1980): 応動昆 24: 105 ~ 107.
- 2) 江波義成ら (2005): 関西病虫研報 47: 137 ~ 139.
- 3) 諫山真二ら (2011): 応動昆 55: 49 ~ 57.
- 4) 神谷克巳・祖父江勇気 (2007): 植物防疫 61: 210 ~ 213.
- 5) 河上 清・鳥津孝典 (1986): 日蚕雑 55: 227 ~ 234.
- 6) ——— (1990): 農業有用微生物—その利用と展望—, 養賢堂, 東京, p. 250 ~ 263.
- 7) 河村俊和ら (2005): 2005 年度近畿中国四国農業研究成果情報, 生産環境推進部会 病害虫 技術.
- 8) 川村容子ら (2006): 関西病虫研報 48: 95 ~ 96.
- 9) 木本沙帆ら (2007): 関東東山病虫研報 54: 117 ~ 120.
- 10) (独)工業所有権情報・研修館 (2005): 平成 16 年度特許流通支援チャート, 化学 24 生物農薬: i ~ vii.
- 11) 国見裕久 (1993): 植物防疫特別増刊号 (No.2), 日本植物防疫協会, 東京, p. 203 ~ 215.
- 12) 本林 隆ら (1993): 37 回応動大会講要, p. 145.
- 13) 長岡広行・井園佳文 (1998): 九病虫研報 44: 76 ~ 78.
- 14) 日本植物防疫協会 (2014): 農薬要覧 2014 年版, 日本植物防疫協会, 東京, p. 453 ~ 509.
- 15) 野田孝博 (2012): 熊本農研報 19: 44 ~ 95.
- 16) 沼沢健一・小谷野伸二 (2004): 東京農試研報 32: 109 ~ 119.
- 17) 及川雅彦ら (1999): 関東東山病虫研報 46: 89 ~ 92.
- 18) 岡田斉夫 (1977): 中国農試報 E12: 66 pp.
- 19) 西東 力 (2005): バイオコントロール 9: 16 ~ 22.
- 20) 杉本貢一ら (2014): 月刊「化学」69: 22 ~ 26.
- 21) 杉田花菜子ら (2003): 関西病虫研報 45: 37 ~ 38.
- 22) 宇賀博之ら (2014): 埼玉農総研報 13: 1 ~ 9.

(新しく登録された農薬 10 ページからの続き)

●イミダクロプリド・スピノサド・イソチアニル・ペンフルフェン粒剤

23634: ルーチンエキスパート箱粒剤 (バイエル クロップサイエンス) 15/3/4

イミダクロプリド: 2.0%

スピノサド: 1.0%

イソチアニル: 2.0%

ペンフルフェン: 2.0%

稲 (箱育苗): イネミズゾウムシ, イネドロオイムシ, いもち病, 紋枯病: は種時 (覆土前) ~ 移植当日

稲 (箱育苗): ウンカ類, ツマグロヨコバイ, コブノメイガ, フタオビコヤガ, 白葉枯病: 移植当日

「殺菌剤」

●オキシリニック酸・ストレプトマイシン水和剤

23645: 協友マテリーナ水和剤 (協友アグリ) 15/3/18

オキシリニック酸: 10.0%

ストレプトマイシン硫酸塩: 12.5%

だいこん: 軟腐病: 収穫 30 日前まで

はくさい: 軟腐病: 収穫 14 日前まで

たまねぎ: 軟腐病: 収穫 7 日前まで

こんにゃく: 腐敗病: 収穫 30 日前まで

ばれいしょ: 軟腐病: 収穫 7 日前まで

ほおずき: 斑点細菌病: —

●オキシリニック酸粉剤

23635: 協友スターナ粉剤 DL (協友アグリ) 15/3/4

オキシリニック酸: 1.0%

稲: もみ枯細菌病, 内穎褐変病: 穂ばらみ初期~乳熟期但し, 収穫 21 日前まで

「除草剤」

●プロマシル粒剤

23640: コストカット粒剤 (三笠産業) 15/3/18

プロマシル: 1.5%

温州みかん: 一年生雑草及び多年生雑草

樹木等 (駐車場, 道路, 運動場等): 一年生雑草, 多年生広葉雑草

「誘引・誘殺・交尾阻害剤」

●コッシンルア剤

23633: ボクトウコン-H (信越化学工業) 15/3/4

コッシンルア剤: 74.1%

果樹類: ヒメボクトウ: 成虫の発生初期から終期 (交尾阻害)

「農業肥料」

●クロチアニジン複合肥料

23636: マッキーノ (住友化学) 15/3/10

クロチアニジン: 0.066%

かんしょ: コガネムシ類: 植付前~植付時

「殺虫・殺菌・植調剤」

●石灰硫黄合剤

23641: OAT 石灰硫黄合剤 (OAT アグリオ) 15/3/18

多硫化カルシウム: 27.5%

果樹類: ハダニ類, サビダニ類: 夏期, 冬期

落葉果樹: カイガラムシ類, ハダニ類, 越冬病害虫: 発芽前

りんご: 腐らん病: 休眠期

りんご: モニリア病: 開花期

りんご: 黒星病: 発芽前

りんご: うどんこ病, モニリア病: —

なし: 黒星病: 発芽前

もも: 縮葉病, 胴枯病, 黒星病: 発芽前

うめ: 縮葉病: 発芽前

すもも, あんず: ふくろろ病: —

すぐり: うどんこ病: —

くり: 芽枯病: 発芽前

かき: 黒星病, うどんこ病: —

みかん: カイガラムシ類, ハダニ類: 冬期

みかん: ハダニ類, そうか病, 黒点病, かいよう病: 夏期

みかん: ヤノネカイガラムシ: 5 ~ 6 月

麦類: 赤かび病, さび病, うどんこ病: —

茶: ハダニ類, サビダニ類: 夏期, 冬期

びやくしん: 赤星病: —

まつ: ハダニ類: 新梢発生前

桑: カイガラムシ類, 胴枯病: —

たばこ: うどんこ病: —

りんご: 摘花: 満開後