

半促成ナス栽培におけるセイヨウミツバチの 花粉媒介利用について

宮本 雅章

群馬県の半促成ナスは無加温のパイプハウスによる栽培が主体であり、1月末から2月上旬に定植され、4月上旬くらいまでの低温期は夜間にトンネル被覆の保温を行い、その後、7月中旬頃まで栽培される。主要品種は「式部」である。4月上旬以前の低温期は花器の受精機能を維持することができないため、着果促進ホルモン剤の単花処理により果実を生産しているが、それ以降は省力化のために花粉媒介昆虫を導入している。ナスの花粉媒介昆虫としてのセイヨウミツバチ（以下、ミツバチ）の利用は、現在では群馬県内に広く普及、定着しているが、当初はトマト栽培に利用されているセイヨウオオマルハナバチの利用が主体であり、ミツバチはナスに対する花粉媒介の効果が不明であったことや、活動が不安定であることなどが指摘されていた。一方で、セイヨウオオマルハナバチはヨーロッパ原産の移入種であることから、帰化による生態系への影響が危惧され、利用規制に関する検討が行われた。そして、セイヨウオオマルハナバチは2006年9月1日から「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」の規制対象となる特定外来生物に指定され、以来、使用にあたっては条件付きで許可を受けるとともに、適正管理下で利用しなければならない状況となっている。こうした情勢から、群馬県農業技術センターでは玉川大学学術研究所と共同研究体制を構築し、平成16～18年度に先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「ミツバチを利用した半促成ナスの着果促進技術体系の開発」の助成を受けて、ナスにおけるミツバチの利用技術の開発を行った。これまでに得られた研究結果は、日

本応用動物昆虫学会誌に「ミツバチを利用した半促成ナスの着果促進技術体系の開発」の主題で、副題として花粉媒介の効果（宮本ら、2006）、栽培条件が訪花活動に及ぼす影響（宮本ら、2007b）、そして、ナス花香成分と餌の報酬による条件付けが訪花に及ぼす影響（宮本ら、2009）の3報を発表した。そこで、本稿では、これらの報告を中心に現地での利用に関するデータを補足し、半促成ナス栽培におけるセイヨウミツバチの花粉媒介利用について、まとめたので紹介したい。

ミツバチによる花粉媒介の効果

1) 花粉採集行動

トマトやナスの花は、ミツバチが花粉を採集するのに苦手な花と考えられている（松香1996）。それは、ミツバチが花粉を採りにくい花の構造によるためである。トマトの花の場合、各葯は側面で癒合して花柱を筒状に取り囲み、その内側で縦列して開葯する。そのため、花粉を採集するためには、葯筒の先端から内部の花粉を落とさなければならない。セイヨウオオマルハナバチはトマトに対して、葯のやや先端部を大顎で挟み、胸部の筋肉を振動させて葯を刺激することで、花粉を落として採集できるが、ミツバチはこの行動様式を持っていない（松浦、1993）。一方、ナスの花は、葯が筒状に花柱を取り囲んでいるが、葯同士は癒合しておらず、トマトの花の構造とはやや異なるが、ナスの葯は縦裂せず、先端しか開葯しないため、トマトの場合と同様に内部から花粉を落とさなければ採集できない。こうした理由から、トマトではセイヨウオオマルハナバチが利用され、そ



図1 セイヨウミツバチのナスに対する訪花行動 (宮本ら, 2006)

左) 葯を揺らして花粉を受け止める個体, 右) ぶら下がりながら後脚に花粉団子を作る個体

の後, ナスにも利用されるようになったと考えられる。

そこで, まずミツバチをナスに利用するうえで基本となるミツバチがナスから花粉を採集することができるのかを確認するため, ナス (品種「式部」) の花に訪花するミツバチの行動様式を解析した (宮本ら, 2006)。その結果, ミツバチは下向きに咲くナスの葯にしがみつき, 前脚と口器を使って葯の先端を動かしながら花粉を落とし, 腹面側の体毛で受け止める行動を繰り返した (図1左)。そして, 体毛に付着したナスの花粉を空中でホバリングまたは葯の先端にぶら下がりながら, 後脚の花粉バスケットに集め, 花粉だんごを作製することが確認された (図1右)。この行動はセイヨウオオマルハナバチの振動採餌行動とは異なるものであるが, ミツバチがナスに訪花し, 花粉を採集することが明らかとなった。また, この行動の過程で, 花粉が付着したミツバチの体毛が柱頭に接触するところが観察された。

なお, 半促成ナス栽培ハウス (500 m² およ

び 1,500 m², 栽植密度 0.8 ~ 1 株 / m², 開口部に防虫ネットを展張) にて, 採餌蜂 1 個体における出巣から帰巣までの訪花数, 活動時間を追跡調査し, また, 花当たりの訪花時間を調査した (宮本ら, 2010)。その結果, 採餌蜂は約 20 分間に約 30 花へ訪花した (表 1)。花当たりの訪花時間は平均値で約 40 秒であり, 2 ~ 3 秒の僅かな訪花から, 最大で 302 秒の訪花が観察された。

2) 着果に対する効果

ミツバチ 1 群 (巣板 4 枚, 育児 3 枚, 働き蜂 8,000 匹規模) を放飼した半促成ナス栽培ハウス (100 m², 栽植密度 1.2 株 / m², 開口部に防虫ネットを展張) にて, 2005 年 5 月 8 日および 6 月 13 日に開花当日のナスの花を対象に 1 日に柱頭に付着した花粉数を調査した (宮本ら, 2006)。その結果, 採餌蜂が訪花することによって, 無処理よりも多くの花粉が付着することが認められた (表 2)。それによる着果率は両調査日とも不着果はみられず, 無処理

表 1 半促成ナス栽培ハウスにおけるセイヨウミツバチの個体当たりの訪花数と活動時間および訪花時間 (宮本ら, 2010)

調査日 (2008 年)	調査圃場 面積	訪花数 (花数 / 匹)	活動時間 (分 / 匹)	訪花時間 (秒 / 花 / 匹)
5 月 13 日	500 m ²	28 ± 8	17.6 ± 6.3	44.1 (3 ~ 302)
5 月 15 日	1,500 m ²	29 ± 12	20.9 ± 5.8	40.5 (2 ~ 180)
全体		28 ± 9	19.3 ± 5.9	42.3 (2 ~ 302)

訪花数, 活動時間は平均値 ± S.D., 訪花時間は平均値 (最小 ~ 最大値)。調査日ごとに 1 群 4 個体を調査。訪花数と活動時間は採餌蜂の最初の訪花から帰巣までの訪花数と時間。訪花時間は 1 個体が連続して訪花した 8 花における花ごとの訪花時間。

表2 セイヨウミツバチの訪花が柱頭に付着する花粉数
および種子数に及ぼす影響 (宮本ら, 2006)

調査日 (2005年)	試験区	柱頭付着花粉数 (個/花)	種子数 (個/花)
5月8日	ミツバチ区	6,941 ± 621	1,233 ± 87
	無処理区	823 ± 340	550 ± 208
6月13日	ミツバチ区	5,979 ± 923	1,295 ± 81
	無処理区	1,521 ± 434	727 ± 227
分散分析 ^a	試験区間	F=72.57 **	F=14.41 **
	開花日間	F=0.045 N.S.	F=0.522 N.S.
	交互作用	F=1.787 N.S.	F=0.123 N.S.

柱頭付着花粉数は平均値 ± S.E., n=3, 種子数は平均値 ± S.E., n=7, 品種は「式部」.

柱頭付着花粉数は開花日の夕刻に花を採取して調査した.

a: 試験区および開花日を要因とする二元配置分散分析, ** は 1% 水準で有意差あり, N.S. は 5% 水準で有意差のないことを示す.

表3 セイヨウミツバチの訪花が着果に及ぼす影響 (宮本ら, 2006)

試験区	開花日 (2005年)		合計 着果数 / 調査花数 (着果率%)
	5月8日 着果数 / 調査花数	6月13日 着果数 / 調査花数	
ミツバチ区	13/13	21/21	34/34 (100) ^a
無処理区	5/15	11/21	16/36 (44) ^a

品種は「式部」.

着果率 = 販売可能果数 / 調査花数, 石ナス, 肥大不良果は販売可能果に含めない.

a: Fisher の直接検定により有意差あり (p < 0.01).

表4 ナスの花に対するセイヨウミツバチの訪花時間が着果に及ぼす影響 (宮本ら, 2010)

訪花時間	調査花数	着果数	優良品果数	種子数 (個数/花)
0秒	14	6	1	380 (0 ~ 1080)
40秒	14	14	7	1043 (640 ~ 1320)
120秒	14	14	11	1177 (920 ~ 1400)
240秒	14	14	13	1171 (960 ~ 1320)
制御無し	14	14	12	1184 (920 ~ 1520)

種子数は平均値 (最小~最大値).

品種は「式部」. 2009年6月5日, 23日に各処理7花ずつ調査.

よりも有意に高い着果 (販売可能果) 率を得ることができた (表3). また, 1花から形成された種子数は, 採餌蜂の訪花によって多く形成されることが認められた (表2). なお, 1花当たりの訪花時間を制御して着果を調査したところ, 訪花時間が0秒では着果数, 優良品果数および種子数が少なく, 40秒ではすべての花で着果がみられたが優良品果数は少なく, 120秒および240秒では制御無しの場合と同程度の優良品果数および種子数となった (表4). このため, ナスの着果に必要な訪花回数

は採餌蜂の平均的な訪花時間 (約40秒/花) において, 3回以上と考えられた. なお, ミツバチの利用による着果の効果を着果促進ホルモン剤 (4-CPA, 0.15%液剤の50倍液) の単花処理と比較したところ (宮本ら, 2007a), 着果 (販売可能果) 率および優良品率ともに, 同等に得られることが認められた (表5).

以上のことから, ミツバチはナスの花粉を媒介し, 着果に効果があることが確認され, ナスの果実生産に有効な花粉媒介昆虫であることが認められた.

表5 着果方法が着果率および優良品果率に及ぼす影響 (宮本ら, 2007a)

試験区	開花日						合計	
	2006年5月2日			5月12日			着果数 / 調査花数 (%)	優良品数 / 調査花数 (%)
	調査花数	着果数	うち 優良品	調査花数	着果数	うち 優良品		
ミツバチ区	21	21	16	22	22	13	43/43 (100) ^a	29/43 (67) ^a
ホルモン処理区	15	14	7	23	22	15	36/38 (95) ^a	22/38 (58) ^a

品種は「式部」。着果率=販売可能果数 / 調査花数, 石ナス, 肥大不良果は販売可能果に含めない。優良品は果実形状が良好なもの。a: Fisher の直接検定により, それぞれ試験区間に有意差なし。

表6 セイヨウミツバチの訪花における花型が着果および果実品質に及ぼす影響 (宮本ら, 2007a)

花型	調査花数	着果		優良品果実	
		果数	割合 (%)	果数	割合 (%)
長花柱花	87	85	97.7	45	51.7
中花柱花	12	12	100	4	33.3
短花柱花	14	4	28.6	2	14.3
同等性 ^a		**		*	

品種は「式部」。2004年6月2日～6月16日に開花した花を調査。

a: χ^2 検定により, *, ** はそれぞれ 5%, 1%水準で有意差のあることを示す。

利用と栽培条件

1) 花型が着果に及ぼす影響

一般に, ナスの自然受粉においては長花柱花が着果しやすく, 短花柱花では落花しやすいとされている。そこで, ミツバチ1群(巣板4枚, 育児3枚, 働き蜂8,000匹規模)を放飼した半促成ナス栽培ハウス(100m², 栽植密度1.2株/m², 開口部に防虫ネットを展張)にて, ミツバチの利用における花型と着果の関係について調査したところ(宮本ら, 2007a), やはり長花柱花および中花柱花では着果率が高く, 短花柱花では低かった(表6)。また, 長花柱花では優良品果率が高いことが認められた。着果促進ホルモン剤の散布による着果方法では, 花型に関わらず着果することになるが, ミツバチの利用では, 長花柱花の着生維持が良品多収生産につながると考えられることから, ナスの草姿管理や肥培管理への配慮が重要である。

2) 花粉量が訪花活動に及ぼす影響

群馬県の半促成ナス栽培は, 4月上旬にミツバチを導入し, 着果促進ホルモン剤の単花処理から, 着果方法を切り替えている。しかし, ミツバチの利用が試みられた当初は, ナスへ訪花

活動を開始するまでに, 3日以上を費やすことが多く, 2週間程度かかることもあり, 切り替えがうまくいかない事例が多くみられた。ミツバチは餌となる花粉や花蜜の量が多い花を選び好みして訪花することから(シーリー, 1995), 訪花促進のためには, ミツバチが葯を揺らして落下する花粉量が多くなるようにナスの花粉生産量を維持し, ミツバチが得る花粉の収益性を高めることが重要と考えられる。しかし, 本作型は無加温の栽培であることから, 4月以降の花冷えや遅霜等の低温による花粉生産量の少ない状態は, ミツバチにとって低収益の食物源と判断されるのでは, と考えた。そこで, 花粉量が訪花開始に及ぼす影響を検討するため, 暖房機により最低温度を13℃で管理して花粉量を多く確保したハウス(100m², 栽植密度1.2株/m², 開口部に防虫ネットを展張)と無加温もしくは最低温度を5℃で管理して花粉量を少なくしたハウス(前区と同様)を用い, それぞれにミツバチ群(巣板4枚, 育児3枚, 働き蜂8,000匹規模)を放飼してから訪花を開始するまでの日数を比較した(宮本ら, 2007b)。実験は3回繰り返した。その結果, 花粉量の少ないハウスでは, 多いハウスに比べて, 訪花開始が遅れる傾向が認められ(表7), ナスの

表7 花粉量がセイヨウミツバチの訪花開始に及ぼす影響 (宮本ら, 2007b)

放飼日	試験区	ナスの葯当たり花粉数 (平均値±S.D.)		訪花までの 日数
		総花粉数 (うち稔性花粉数 ^a)	振動時落下花粉数 ^b	
2005年 4月1日	花粉多区	$1.4 \times 10^5 \pm 3.5 \times 10^4$ ($1.2 \times 10^5 \pm 3.5 \times 10^4$)	$1.6 \times 10^4 \pm 1.1 \times 10^3$	2
	花粉少区	$8.5 \times 10^4 \pm 2.0 \times 10^4$ ($5.5 \times 10^4 \pm 1.4 \times 10^4$)	$6.1 \times 10^3 \pm 1.8 \times 10^3$	7
11月23日	花粉多区	$1.4 \times 10^5 \pm 1.8 \times 10^4$ ($1.2 \times 10^5 \pm 1.1 \times 10^4$)	$2.8 \times 10^4 \pm 9.0 \times 10^3$	4
	花粉少区	$7.4 \times 10^4 \pm 2.6 \times 10^4$ ($5.5 \times 10^4 \pm 2.4 \times 10^4$)	$5.2 \times 10^3 \pm 1.4 \times 10^3$	8
12月24日	花粉多区	$1.2 \times 10^5 \pm 4.6 \times 10^3$ ($1.1 \times 10^5 \pm 8.5 \times 10^3$)	$1.1 \times 10^4 \pm 1.0 \times 10^3$	0
	花粉少区	$6.0 \times 10^4 \pm 3.2 \times 10^3$ ($2.1 \times 10^4 \pm 5.6 \times 10^3$)	333 ± 180	$10 <^c$

品種は「式部」。

a: 花粉稔性は酢酸カーミン溶液の染色により調査、

b: 振動授粉器により5秒振動時の落下花粉数、

c: 放飼後10日まで訪花は観察されず、調査を終了した。

花粉量の少ない条件は、訪花までに日数がかかる原因のひとつと考えられた。そのため、花を指で叩いて、花粉の落下が目視で確認できないような状況では、ミツバチが訪花しづらいと思われることから、無加温の栽培では夜間の保温管理を徹底して夜温を確保し、花粉量を維持できるように努める必要がある。一方、果実生産の面からも、低温条件ではミツバチが花粉媒介をしても花粉の発芽が得られず、石ナスや肥大不良果となってしまう。ナスにおけるマルハナバチの花粉媒介利用でも、着果安定のために平均夜温12℃の管理が報告されていることから(前田・橋本, 1997)、ミツバチの利用においても、この程度の夜温を確保する必要がある。

3) ハウス内の蜂蜜度と訪花状態

現在、群馬県内の現地で利用されているミツバチ群は巣板が3~4枚の群が多く、この規模の群を5~10aに1~2群導入している事例が多い。ナスの生産者らはハウス内の採餌蜂の活動と着果の状況から経験に基づいて、それぞれの栽培ハウスにあった導入群数を決めていると思われるが、着果安定のための面積あたりに必要な活動数について、具体的に示したものはなかった。そこで、ハウス内の採餌蜂の活動数

と訪花状態について検討した(宮本ら, 2010)。ミツバチが放飼されている半促成ナス栽培ハウス(500 m² および 1,500 m², 栽植密度 0.8 株 および 1 株 /m², 開口部に防虫ネットを展張)にて、ハウス中央部のナス株の上, 中, 下段から1花ずつ選定し、計3花をビデオ撮影して、8~15時までの訪花回数を計測した。また、ハウス内を50 m² ごとに区分けし、各区域での訪花活動中の採餌蜂の数を数えた。その結果、訪花活動中の蜂数が1.5匹/50 m² 以下では、観察地点での訪花を確認することはできず(表8)、2.3~2.9匹/50 m² において、十分な訪花を観察できた。このことから、着果安定のためには、2~3匹/50 m² の蜂蜜度が必要と考えられた。なお、ミツバチは利用が進むにつれて働き蜂の数が消耗することが多く、また、巢内の育児量や花粉の貯蔵量に応じて花粉採集行動を調節する(シーリー, 1995)等、状態により活動数が変わるので、利用にあたっては、日々、訪花活動数の確認することが好ましい。

4) 利用上の注意点

ミツバチをナスの花に訪花させ、花粉媒介に利用したいというのは利用者側の都合であるが、ミツバチ自身は、常に魅力的な餌資源となる花を求めている。そのため、防虫ネットを栽

表8 半促成ナス栽培ハウス内におけるセイヨウミツバチの訪花活動数が花当たりの訪花回数に及ぼす影響（宮本ら, 2010 を改変）

調査圃場面積	ハウス内の 50 m ² 当たりに観察された		観察された 訪花回数 (回数 / 花 / 日)
	訪花中の採餌蜂数および観察区域数 (匹 / 50 m ²)	(観察区域 / 調査区域)	
1,500 m ²	2.8 ± 0.6	6/6	22.4 ± 4.1
	2.3 ± 0.4	6/6	9.1 ± 1.6
	1.5 ± 0.4	6/6	0
500 m ²	2.9 ± 0.7	4/4	39.4 ± 13.6
	0.3 ± 0.3	2/4	0

訪花活動中の蜂数は平均値 ± S.E.

(1,500 m² ハウスでは n=6, 500 m² ハウスでは n=4)

訪花回数の観察値は平均値 ± S.D.

2008年5月13日～7月2日の晴天日に調査。調査時間帯は8時～15時。

観察された訪花回数はハウス内中央部付近の3花を調査。

表9 セイヨウミツバチ群の半促成ナス栽培ハウス外脇への設置がナスの花への採餌蜂数に及ぼす影響（宮本ら, 2010）

調査群	全体の採餌蜂数 (匹 / 日)	うちナスへの採餌蜂数と割合	
		(匹 / 日)	(%)
A群	675	675	100
B群	390	360	92
C群	1,590	480	30

2008年6月17日調査。調査時間帯は8時～15時。

各調査群はハウスの外脇に設置し、20 cm 四方の開口部をハウスに開け、そこから15 cm 程度のところに巣門が位置するようにした。そのため、採餌蜂はハウスの外にも活動できる。採餌蜂数は花粉採集個体の計測による。

培ハウスの開口部に展張し、ハウス外への活動を制限することが、ナスへの安定した訪花活動の維持に必要である。

一方、ミツバチの巣箱の中ほどの巣板中央部には、幼虫がいる育児圏があり、ミツバチはこの部分を育児適温（34～35℃）に制御している。寒さに対しては蜂球をつくって暖め、暑さに対しては扇風行動や水を張るなどをして温度を下げる。気温が30℃を越える場合は、働き蜂の呼吸に伴う発熱によって、巣の中は育児適温を超えやすい。ナスの栽培ハウス内は蜂群にとって、高温環境になりやすいので、巣箱の設置には、日よけや風通しに留意するとともに、ミツバチが水を飲むための水場を設置する必要がある。また、巣箱の設置にあたって、群馬県の現地ではハウス内の高温を回避するために、巣箱をハウスの外に設置し、ハウスの被覆資材に孔を開けて、巣門をその孔に寄せることで、ミツバチがハウス内を行き来できるようにする

設置事例が多くみられる。この場合、巣門とハウスの連結部との隙間が広いとミツバチは野外の花も探索、採餌できるため、ハウス内の限られた空間における餌不足の回避を期待することができるが、その分、ナスへ訪花する採餌蜂の数も減ることが懸念される。そこで、半促成ナス栽培ハウス（1,500 m²、栽植密度1株/m²、開口部に防虫ネットを展張）の脇にミツバチ群を3群並べて、それぞれの群からミツバチがハウス内を行き来できるように、ハウスの被覆資材を20 cm 四方に切り抜き、そこから15 cm 程度離れたところに、巣門が位置するように設置した。その結果、採餌蜂のほとんどがナスに訪花した群もみられたが（表9）、ナスよりも屋外で花粉を採集するほうが多かった群もみられた。そのため、こうした設置方法ではハウス内での採餌蜂の訪花活動数に注意し、ハウス内での活動数が少なければ、連結部の隙間を塞ぐなどの調節が必要となる。

匂いの学習能力を利用した 訪花促進の試み

ミツバチ利用における残された問題点のひとつとして、ハウス放飼後のミツバチが天井付近を飛び回るだけで、なかなか訪花活動を行わない。そして、混乱して大量の死亡虫が発生するといった事例が散見される。こうした現象は、ナスに限らず、イチゴ等すでにミツバチの利用が当たり前となっている栽培でも問題として残されている。ミツバチは放飼当日に早速、ナスの花に訪花活動を開始する場合もあるが、1週

間以上経って、ようやく訪花を開始する群もあり、群によりバラツキがある。ナスの生産者は、購入した群が放飼当日に訪花を開始すれば問題はないが、なかなか訪花しない群の場合には、着果のためのホルモン剤の散布作業をやめることができない。また、何時その作業から解放されるのかわからないという精神的苦痛がある。ミツバチの訪花活動の遅れについて、ナス植物体の問題としては、花粉が充実していなければ訪花しづらいということは前述の通りである。しかし、それ以外に、蜂群の問題として、ミツバチは育児の量や巣内の花粉の貯蔵量に応じて

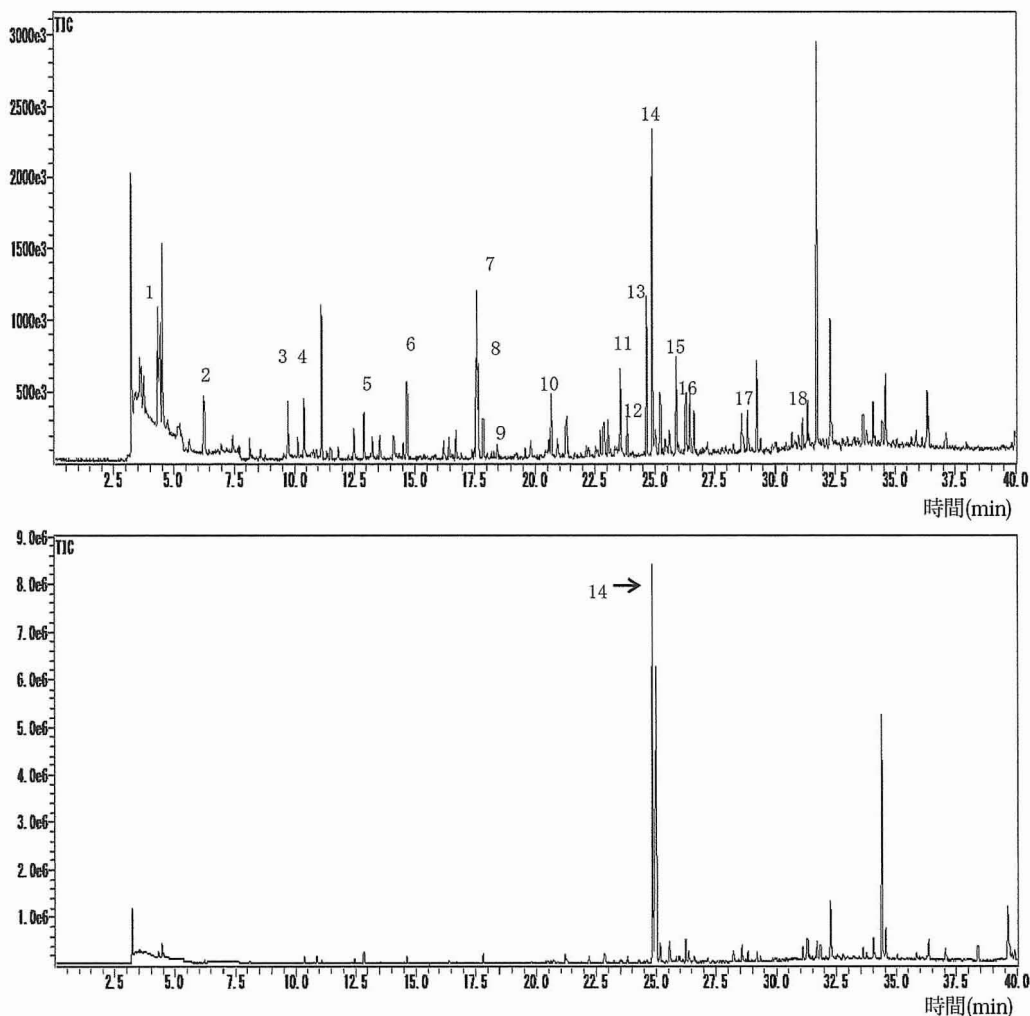


図2 ナス花香成分クロマトグラム（宮本ら, 2009）

上) 花全体からの香気成分クロマトグラム

下) 花粉からの香気成分クロマトグラム

品種は「式部」。上) 図中の番号は表 10 における同定された成分のピーク No. を示す。

下) 図中の番号は表 10 における同ピーク No. の成分と同じ成分であることを示す。

花粉採集をする(シーリー, 1995) こと等から、群ごとの活動にバラツキが発生しやすいと考えられる。

一方、ミツバチは訪花活動にあたって、花の匂いの情報を巣仲間と共有して訪花していることや(フリッシュ, 1971)、採餌蜂は匂いに対する高い記憶、学習能力があること(市川, 2003) が知られている。そこで、ナスへの安定した訪花活動のためのミツバチ側の対策として、ナスの栽培ハウスに放飼するミツバチに事前にナスの花の匂いを学習させることで、訪花促進を試みた(宮本ら, 2009)。

まず、ナス(品種「式部」)の花全体から発散される香気成分と花粉のみから発散される香気成分をそれぞれ分析した。花を花柄から切り取り、13.5 mlのスクリュウ管に1花を入れ、スクリュウ管の開口部をアルミホイルで覆って、固相マイクロ抽出器(スperlコ社製、SPME ファイバー、固定相: 100 μ m ポリジメチルシロキサン)を挿し込んだ。花から発散する香気成分を効率よく捕集するため、サンプルの入ったスクリュウ管を70°Cに保ったウォーターバスに浸漬させて30分間温め、その後、発散した香気成分をSPME ファイバーに20分間吸着させた。吸着した香気成分は、ガスクロマトグラフィー質量分析装置(島津製作所製、GC/MS: QP-5050A)の注入口にSPME ファイバーを挿入し、加熱脱着させた。SPME ファイバーを挿入後、5°C/分の昇温条件で40分、250°Cまで加熱した。検出された成分は標準品の保持時間とマススペクトルの比較によって同定した。花粉のみの香気成分の分析は、ナスの葯を叩き、スクリュウ管内に花粉のみを落とし、その後は前述と同様に分析した。

その結果、ナスの花全体から発散する香気成分として、18種の揮発成分が同定され(図2上、表10)、そのうち、主要成分として、保持時間24.9分の成分はGeranylacetoneと同定された。一方、花粉から発散した香気成分については3種検出され(図2下)、その主成分もGeranylacetoneと同定された。そのため、Geranylacetoneはナスの花の主要な香気成分

であるとともに花粉の主要な香気成分であることが認められた。なお、他のナス品種として「千両2号」の花香成分を解析したところ、同様に主要成分として、Geranylacetoneが同定された。

花香成分の分析結果をもとに、ミツバチにGeranylacetoneを添加した砂糖水を巣内給餌することで条件付けを行い、花の匂いと餌の報酬を連合学習させて、ナスへの訪花を促進させることを試みた(図3)。実験は、半促成ナス栽培ハウスで実施し、いずれの施設もミツバチが外に出られないように開口部に防虫ネットを展張した。ナスの品種には「式部」を用い、栽植様式は畝幅180 cm、株間45~50 cmとした。実験前日の夕刻にミツバチの8,000匹規模の巣箱(巣板4枚、育児3枚、働き蜂8,000匹規模)を試験ハウスに設置し、花香条件付け区のミツバチ群にはGeranylacetoneを2 μ L/Lの濃度とした砂糖水を300 mL巣内給餌した。対照区のミツバチ群には単なる砂糖水を300 mL巣内給餌した。翌朝、巣門を開放してミツバチを放飼し、ナスへの訪花開始までの

表10 ナスの花香成分(宮本ら, 2009)

ピーク No.	保持時間 (分)	面積 (%)	成分
1	4.3	5.03	Butanal
2	6.3	1.89	Hexanal
3	9.7	1.73	1-Hexanol
4	10.4	1.80	Benzaldehyde
5	12.9	1.40	Phenylacetaldehyde
6	14.7	2.29	Nonanal
7	17.6	6.12	Methyl salicylate
8	17.7	2.53	Dodecane
9	17.9	1.10	Decanal
10	20.7	2.03	Tridecane
11	23.6	2.41	Tetradecane
12	23.9	1.34	Dodecanal
13	24.7	5.36	α -Bergamotene
14	24.9	10.09	Geranylacetone
15	25.9	3.16	β -Ionone
16	26.3	1.85	Pentadecane
17	28.9	1.27	Hexadecane
18	31.3	1.24	Heptadecane

品種は「式部」。花全体から発散する香気成分を解析した。標準品と比較して同定された成分を示す。ピーク No. は図2上)のピークの番号を示す。

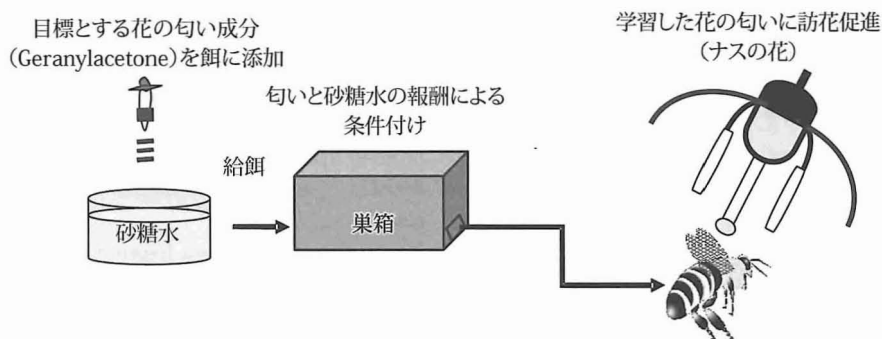


図3 匂いの条件付けによるミツバチの訪花促進技術のモデル

日数を調査した。訪花開始は複数のミツバチの訪花と花粉団子作製個体の観察をもって判定した。2006年～2008年に実験を繰り返し、処理ごとに15群を調査した。供試したミツバチ群は実験ごとに異なる群を用いた。その結果、訪花開始にかかった日数ごとに群数を比較したところ、花香条件付け区では13群で放飼当日から翌日に訪花を開始したが、対照区では翌日までに訪花を開始した群が5群、2日後以降に訪花を開始した群が10群となり、訪花開始にかかった日数は花香条件付け区と対照区では有意に異なることが認められた(表11)。なお、いずれの実験とも、条件付けのために巣内給餌した砂糖水はミツバチの放飼時にはすべて摂取されていた。これらのことから、ナスの主要な花香成分である Geranylacetone による匂いの条件付けによって、採餌蜂を早く安定的にナスへ訪花させることができることが認められた。今後、条件付けに用いる Geranylacetone の濃度や他の花香成分との組み合わせによるミツバチの匂いの学習能力や花の認識を検討することで、効果的な条件付けの方法を開発したい。な

お、その後の実験により、給餌した条件付けの砂糖水に対するミツバチの摂取が鈍いときや、ミツバチがナスのハウス外の花へも訪花できる状況では、条件付けによる訪花促進の効果が不安定になる実験例を得ている。こうした不安定となる要因を整理し、対策を考えていきたい。

ミツバチ利用研究の今後

セイヨウオオマルハナバチの特定外来生物の指定に対する情勢から、ミツバチをナスの栽培に利用する目的でこれまで研究を進めてきたが、2009年11月以降のオーストラリアからのミツバチの女王蜂に対する輸入禁止等によって、国内は花粉媒介用ミツバチ不足の問題に直面している(平石ら, 2009)。ミツバチの花粉媒介利用需要はひっ迫した状況にあり、ミツバチ不足の問題は今後も続くことが危惧される。セイヨウオオマルハナバチの利用規制やミツバチ不足の問題といい、わが国の授粉昆虫の利用は不安定な状況にさらされている。今後、ミツバチを供給する養蜂技術と花粉交配に利用する側の両面から、技術を改善し、養蜂と園芸の双

表11 放飼前日のセイヨウミツバチに対するナス花香成分と砂糖水による条件付けがナスへの訪花開始にかかる日数に及ぼす影響(宮本ら, 2009, 応動昆虫にデータ追加)

試験区	訪花開始日数ごとのミツバチ群数				有意性 ^a
	当日	翌日	2日後	3日後以降	
花香条件付け区	3	10	2	0	*
対照区	1	4	4	6	

品種は「式部」。放飼前日夕刻に、花香条件付け区には Geranylacetone を添加した砂糖水を巣内給餌して条件付けとし、対照区には砂糖水を給餌した。

2006年～2008年に調査した。

a: χ^2 検定により、* は5%水準で試験区間に有意差のあることを示す。

方の発展を図ることが重要である。

一方、単にミツバチの利用のみに頼るだけでなく、現在、花粉媒介用として流通している在来種のクロマルハナバチを見直し、これを効果的に利用することも重要である。ミツバチとクロマルハナバチのそれぞれの長所を活かした利用を進めることで、授粉昆虫利用の園芸生産基盤の安定性が高まるものと考えている。

末筆ながら、これらの研究に御指導、御協力をいただいた玉川大学学術研究所の佐々木正己教授、小野正人教授、同大学大学院博士課程の久保良平氏ならびに群馬県農業技術センターの諸氏に謝意を表す。

(〒 379-2229 群馬県伊勢崎市西小保方町 493
群馬県農業技術センター)

主な引用文献

- フリッシュ, カール・フォン. 1971. [伊藤智夫 訳. 1986] ミツバチの不思議 (改訂 2 版). 法政大学出版局, 東京. pp.192.
- 平石康久ら. 2009. 野菜情報 63:13-18.
- 市川直子. 2003. ミツバチ科学 24:119-128.
- 前田幸二・橋本和泉. 1997. 園学雑 66 別 2:362-363.
- 松浦誠. 1993. 植物防疫 47:173-176.
- 松香光夫. 1996. ポリネーターの利用. サイエンスハウス, 東京. pp.153.
- 宮本雅章ら. 2006. 応動昆 50:297-304.
- 宮本雅章ら. 2007a. 群馬農技セ研報 4:38-45.
- 宮本雅章ら. 2007b. 応動昆 51:265-272.
- 宮本雅章ら. 2009. 応動昆 53:21-28.
- 宮本雅章ら. 2010. 群馬農技セ研報 7:25-32.
- シーリー, トーマス・D. (長野敬・松香光夫訳). 1998. ミツバチの知恵 ミツバチコロニーの社会生物学. 青土社, 東京. pp.362.

MASAAKI, MIYAMOTO. Utilization of the honeybee as pollinators in semi-forced eggplant culture. *Honeybee Science* (2010) 28(1): 29-38. Gunma Agricultural Technology Center. 493, Nishiobokata, Isesaki, Gunma, 379-2224 Japan.

The effectiveness of using the European honeybee *Apis mellifera* as pollinators of eggplants in greenhouses was examined by analyzing foraging behavior on flowers and the effects of pollination. Foraging honeybees were observed to move the tips of eggplant anthers up and down repeatedly using their forelegs and mouthparts, create pollen loads on their hind legs. Transfer of pollen to the stigma,

number of seeds per fruit, and eggplant fruiting were increased by visiting honeybees compared to no visits. The rate of high-quality fruiting by honeybee pollination was the same as that achieved by spraying a plant growth regulator (4-CPA) to promote fruiting. Therefore, we conclude that honeybees are effective pollinators of greenhouse eggplants.

To stabilize eggplant fruiting by honeybee pollination, the effect of flower types was investigated by relationship between style length and fruiting. The rate of high-quality fruiting of long-style flowers by honeybee pollination was higher than that in any other flower types. To stabilize flower-visiting activity of honeybees, the effect of pollen amount was investigated. The start and number of days that honeybees spent in flower-visiting activity on eggplants was compared in two greenhouses with different amounts of pollen per eggplant flower. The start of flower visiting in the greenhouse with less pollen per flower was later than in the greenhouse with more pollen.

The recommended bee densities by using honeybees investigated by flower-visiting conditions on the number of foraging honeybees visiting eggplant flowers grown inside greenhouses. Flower-visiting activity were sufficiently observed by 2-3 foraging honeybees per 50 m² in greenhouses.

A method to promote flower visiting by honeybees on eggplants was examined by conditioning honeybees to associate eggplant floral scents with sugar-water rewards. The fragrance components of eggplant floral scents were analyzed by coupling solid phase micro-extraction techniques and gas chromatography-mass spectrometry. The main fragrance component of the whole flowers and pollen of eggplants was identified as geranylacetone. Fifteen geranylacetone-conditioned honeybee colonies were placed in eggplant greenhouses. Foraging honeybees from 13 colonies started visiting eggplant flowers within the next two day. Unconditioned colonies fed only sugared water were tested as a control. In 5 of 15 unconditioned colonies, foraging honeybees started visiting eggplant flowers within the next two day. In the other 10 unconditioned colonies, foraging honeybees waited more than 2 days before starting to visit eggplant flowers.

We conclude that conditioning honeybees to associate geranylacetone - the main fragrance component of eggplant floral scents - with sugar-water rewards promotes flower visiting.