

マルハナバチによるトマトの花粉媒介

三重大学生物資源学部昆虫学研究室 ^{まつ}松 ^{うら}浦 ^{まこと}誠

はじめに

マルハナバチはミツバチ科のマルハナバチ属 (*Bombus*) のハチの総称で、世界中から約 250 種が知られ、まるっこい体をふさふさした毛で覆われた大型のハナバチである。この仲間はいまではレッドクローバーなどのマメ科牧草を中心とする露地作物の重要な花粉媒介昆虫として、世界各地で利用されてきた。日本でもカボチャ等の受粉に優れた効果のあることが知られていたが、ミツバチやマメコバチに比べると、その利用技術の開発はほとんど行われなかった (松浦, 1992)。

1987 年にベルギーの Dr. ROLAND de JONGHE は、在来種のツチマルハナバチ *Bombus terrestris* (L.) が温室トマトの受粉に顕著な効果のあることを発見して、その大量増殖法を開発するとともに、翌年には Biobest 社を興して販売を始めた。ヨーロッパでは、トマトの受粉は、それまで小型の電気振動器による物理的方法で行われていたが、マルハナバチによる生物的受粉法は、登場後わずか 3~4 年のうちにヨーロッパ全域に普及し、イギリス、オランダ、フランス等でも天敵会社が相次いで販売を行うようになった。1992 年には、北ヨーロッパを中心に 20 か国を越える 3,500 ha 以上で利用され、トマトの場合、国によっては栽培面積のほぼ 100% に達していると言う (Koppert 社、私信)。

日本では 1991 年 12 月 4 日に、初めてベルギー産の 14 群が、商社を通じて試験的に導入され、三重、愛知、静岡の 3 県下のトマトハウスに放飼された。翌年 1 月にはオランダの天敵会社からも別の商社により同種が輸入され、上記以外の数県下でもその効果が実証された (池田, 1992)。その後は、日本の 2 商社を通じて、ベルギー及びオランダから継続的に輸入され、翌シーズンには本格的な販売が行われるようになり、1992 年 9~12 月の輸入量は約 2,500 群に達し、シーズン中の輸入総量は 4,500 群を超えるとみなされている。

I マルハナバチの訪花特性

現在日本に導入されているのは、上記のツチマルハナバチ 1 種のみで、本種は北ヨーロッパの各地に最も普通に分布している。また、約 200 年前、本種を含む 3 種のマルハナバチの女王バチが、牧草の花粉媒介の目的でイ

ギリスからニュージーランドへ海路で運ばれて定着に成功し、同島の牧畜業に多大の貢献をしたことはよく知られている (松浦, 1988)。現在でもツチマルハナバチはニュージーランドの各地に普通に生息し、人工的な増殖も行われている。

マルハナバチはミツバチとは近縁で、どちらも食物及び巣材を、顕花植物の花蜜と花粉に依存している点では共通しているが、生態的にはかなり異なる。温帯のマルハナバチの基本的な生活史は 1 年性で、越冬した女王が春に単独で巣を創設して、数十~数百の働きバチを生産したのち、それらがオスと新女王を育てて、コロニーは解散する (松浦, 1988)。

マルハナバチでは、働きバチの体のサイズはミツバチと異なり著しい個体変異があるのが特色で、体重にすると最大と最小で 10 倍の差があることも少なくない。最小のグループはほとんどの個体が一生巣から出ないで内役バチとして過ごし、大型の個体は外役が多い。1 群は、輸入直後で 1 頭の女王と約 50~80 頭の働き蜂、それに卵、幼虫、繭で構成されており、導入後は通常 1~2 か月で女王と働きバチは死亡して、活動は終息する。

マルハナバチは、花粉媒介虫としてながめた場合も、ミツバチに比べて異なる点が多い (表-1)。現在、日本へ導入されているツチマルハナバチは、ほとんどが施設トマトで利用されているので、ここではトマトにおける本種の訪花活動について、筆者がこれ迄に観察した結果を中心にながめてみよう。

トマトは本来風媒花で、訪花昆虫はほとんどいない。そこで受粉のためには花を軽く振動して柱頭に花粉を落下させると、果実が肥大し種子ができる。ヨーロッパでは、温室で栽培するトマトは、小型電気振動器により花房を振動させ、葯の花粉を柱頭に落下させて受粉を行い、着果と果実肥大を促進してきた。マルハナバチはこの振動受粉に代わる技術として開発されたものである。

このハチは花粉が成熟した花のみを選択的に訪れ、開花直後で花粉がまだ成熟していない花は訪れない。働きバチはトマトの花を訪れると、葯のやや先端部を大腿で挟んで体を仰向けに固定したあと、胸部の筋肉、及び前後翅を高速で振動させて葯を刺激する。この間、ツーツーという連続した高音が発せられ、この音は 3~4 m 離れていても人の耳でははっきりと聞き取ることができる。

マルハナバチ類の胸部の筋肉の振動は、巢外で低温時に体温を上昇させたり、巢内で卵室や育児房を保温する

時にも行われるが、その際、翅は完全に静止状態で、音もまったく出ない。したがって、葯の振動行動は花粉採取のために特化した行動で、発熱行動とは異なった筋肉の振動機構であると考えられる。

一方、ミツバチはこうした胸部筋肉の振動による花粉採取の技術をもたないうえ、トマトは花蜜がまったくないので訪花することはない。

こうして花粉が柱頭に落下すると、受粉が完了するが、その際、ハチは落下してくる花粉を腹部腹面の体毛で受け止めたのち振動運動をやめる。それから、前・中脚を用いて体表に付着した花粉粒を後脚の両腿節にある花粉箆に集め、花粉団子に仕上げて巣へもちかえる。この花粉団子作りは、次の花へ移るまでのわずかな飛翔中にも盛んに行われ、1個当たり重量は10~35 mgとなる。その際、両脚ともほぼ均等の花粉団子となるので、両方ではほぼ倍量の花粉を運ぶが、その大きさは働きバチの個体の大きさ、トマトの品種による花の大きさ、同一花への訪花回数などの違いにより様々に異なる。

トマトの場合、働きバチは1日で5~12回の花粉採集活動に出かけ、1花で2~10秒止まりながら、1回の採集活動で50~220個の花を訪れるが、小型のミニトマトでは花の滞在時間は短く、訪花数は多くなる。

マルハナバチの訪花により、葯には波状の噛み傷が生じ、数日後にはその部分が褐変し「バイトマーク」と呼ばれる特有の傷痕を作る。これはハチが訪花した証拠でトマトの果実の発育にはまったく影響がない。このマークは低温期では褐変の進行が遅く、ほとんど目立たないまま、果実の肥大へ進むことが多い。

各種の気象条件下等でのマルハナバチの活動性もミツバチと異なる点がある。気温に関しては、低温活動性が高く、ハチの活動は5~7°Cより始まり、10°C以上になると日の出前や日没後の薄暗い状態でも活発に行われる。

表-1 授粉者としてのマルハナバチとミツバチの比較

項目	マルハナバチ	ミツバチ
活動性		
巣からの活動距離	数百m以内	数km以内
外役開始日	羽化後2~3日	羽化後約20日
低温時	5~6°C以上	10~15°C以上
曇天や雨天	通常強い	通常弱い
早朝や夕刻	〃	〃
UVカットフィルム被覆下トマトへの訪花性	影響無し 有	影響あり 無
利用管理		
施設内での群の損耗	少ない	導入直後に甚多
群の増殖	一般には難しい	比較的容易
同一群の利用期間	短(1~2か月)	長(3~6か月以上)
攻撃性	弱い*	注意を要する
巣箱の移動の難易	容易	やや容易

* 移動直後と巣箱を開けた場合は注意

活動適温は10~25°Cで、30°Cを超える高温下では活動は著しく弱まり、35°C以上になると訪花はほとんど行われない。また、ミツバチの活動しない雨天や曇天、紫外線カットフィルムの被覆下でも活動する。

巣からの活動距離は、露地の場合50~300 mと比較的狭い範囲で採餌を行い、施設では50 m²の面積でも活動する。

こうした特性をうまく利用すれば、施設トマトばかりでなく、従来ミツバチでは十分な効果の期待できなかった低温時、紫外線カットの条件下、それに比較的狭い範囲での栽培作物の受粉にも応用できるだろう。

II 施設トマトでの導入の効果

ヨーロッパの施設栽培のトマトでは、これまで行われてきた振動授粉法は、マルハナバチによる生物的授粉法と比べて、どちらも授粉という生理的過程を経て、着果と果実の肥大が行われるので、トマトの発育生理の点からは基本的に変わらないといえる。したがって、マルハナバチは振動作業に変わる省力化技術としての評価がなされている。

日本でもこのハチの導入は、当初はトマト栽培の省力的な技術開発が思うように進展しないなかで、新しい省力技術の観点から検討されたものであった。ところが、我が国の施設トマトの栽培では、開花時に植物ホルモン剤(4-CPA液剤、クロキシホナック液剤)を散布して、着果と果実肥大を促進させるのが必須の作業となっている。しかし、ホルモン処理とマルハナバチによる授粉とでは、その後の果実の品質及び草勢などへの影響がかなり異なることが分かった。すなわち、日本でのマルハナバチの利用は、ヨーロッパでの単なる省力技術としての評価ばかりでなく、果実の品質向上や植物生理への好影響もあわせもつことが明らかとなった。それらは、(1)空洞果の減少、(2)食味の向上、(3)ビタミンCの含有量の増加、(4)着果率の向上、(5)ホルモン過剰害の回避などである。

マルハナバチが導入された場合の省力化と品質向上などの例としてこれまでに次のような報告がある。

省力技術の面では、トマトは開花期間が4~10か月と長く、栽培管理の後半ではホルモン処理作業は収穫作業と同時進行するので、全労働時間に占めるホルモン処理労力は収穫・出荷に次いで高い比率を占める。特に、最近栽培の増えているミニトマトでは、一株の上から下までの各花房に数回の処理を要するので、多い農家では約300時間、平均でも173時間を必要とし、その労働強度も高い(菅原, 1992)。こうした作業が、マルハナバチの導入によってなくなるので、省力技術としての効果は大きい。

果実の品質への影響に関して、静岡県下の農家でのトマト品種「ハウス桃太郎」への導入例では、3月中旬~4

月中旬に本種を放飼した場合、植物ホルモン剤区と比較して、着花率は93%と高く、空洞果の発生率は全くなく、形状はすべて良好で、酸度及び糖度(Brix)も高く、食味が優れる等の結果が得られているが(池田・忠内, 1992)、果実の重量は変わらなかったという。ただし、その重量に関しては、筆者らの同品種及び別品種「瑞星」の試験例では、外径の大きさが同じ果実の場合では8~15%の重量増となっている(松浦, 未発表)。

また、愛知県下の農家におけるミニトマトへの導入例では、2月下旬以降に放飼した場合、着果率は98~100%であったうえ、表-2、表-3に示したように果実の大きさと重量が増加したほか、ビタミンC含量は13~42%の大幅な増加が認められている。特に、種子をとりまくゼリー部はホルモン処理に比べて重量で倍以上に増加している。一方、糖度(Brix)は有意差が認められなかったが、酸含量は増えて、やや酸味が強くなったという(小出, 未発表)。

菅原(1992)によれば、受粉により着果した有種子果は、ホルモン処理の無種子果に比べ、果肉部では糖含量が増加し、酸やビタミンCも増加する。特にゼリー部の酸含量の増加が著しいので、ゼリー部の多いミニトマト等の品種では食すると酸っぱいが、逆に果肉部の多いファースト型品種では甘く感じられるという。また、マルハナバチにより受粉された果実はホルモン処理果と比べ果実の種子が多く、空洞果が減少し、果実の重量が増加するという。一方、ホルモン処理果では、未熟花や低温期で花粉の稔性の低い時期には、果実はほとんどが無種子となり、種子の周辺のゼリー物質などの内容物が充実しないので、外側の果肉部は肥大しても、内部に空洞ができやすいという。

こうした果実の品質向上の効果に加えて、ホルモン剤では生長点などの若い器官へ噴霧されると、葉の奇形を生じたり、ミニトマトのように花房当たりの着花数が多い場合、同一花房へ2~3回の噴霧が行われるので、過

表-2 マルハナバチとホルモン処理によるミニトマトの品質(小出, 未発表)

ハウス	試験区	縦mm	横mm	縦/横	重さg	ビタミンC
A	マルハナバチ	28.6	26.4	1.09	10.9	42.2
	ホルモン処理	25.6	23.2	1.10	8.0	37.3
	t検定	**	**	ns	**	*
B	マルハナバチ	30.4	28.1	1.08	13.9	46.1
	ホルモン処理	27.5	25.8	1.07	10.6	32.3
	t検定	**	**	ns	**	*

A: 2月28日, B: 2月29日に各10個を調査。ただし、ビタミンCはA: 4月4日, B: 4月5日の収穫果から5個を2反復調査。
*: 5%水準で有意差あり, **: 1%水準で有意差あり, ns: 有意差なし

剰噴霧の害として草勢の低下等が発生することがあり、それらの悪影響も排除される。

一方、果実の成熟に要する期間は、農家の話ではハチによる受粉の方がホルモン処理に比べ、開花から収穫までの日数が冬季で約1週間遅れるが、春の温暖な時期ではその差は少ないといわれている。しかし、この点を確認した報告例はまだないようである。

III 他の果菜類での評価

ヨーロッパでは、マルハナバチはトマト以外にもミツバチの訪花しないナスで利用されており、その他に、我が国でミツバチを用いて受粉を行っているイチゴ、メロン、ピーマン、スイカなどで導入されている。

イチゴと温室メロンに関する静岡県農業試験場の試験例では、いずれも現行のミツバチによる受粉と同様の効果が得られている。イチゴの場合には、低温活動性に優れていることや、雨天や曇天でも訪花するので、これらの点で活動性の劣るミツバチに比べて、優れた効果が期待できるという。一方、メロンでは高温下での栽培なので、30℃を超えると活動個体数は減少し、一時的に40℃を超えると、翌日から働きバチは著しく減少し、幼虫とともに死亡したものと考えられている(池田・忠内, 1992)。

ピーマン及びナスについて、日本では試験例はまだないようである。筆者が予備的に行った両作物のハウスへのマルハナバチの導入例では、訪花活動はいずれもよく行われ、前者では奇形果の大幅な減少、後者では果実の肥大促進が認められた(松浦, 未発表)が、果実の品質への効果については今後さらに詳しい検討が必要である。

このハチの訪花植物の範囲は広く、筆者がこれまで確認したのは上記の作物以外に、ナタネ、ブロッコリー、ダイコンなどほとんどのアブラナ科作物、スイカ、プリンスメロン、ニガウリ、カボチャなどのウリ科、タマネギ、ネギ、ニラなどのユリ科のほか、ナシ、モモ、ウメ、スモモ、ビワなどのバラ科やカキ、ブルーベリー、キュウイなどの各種果樹類である。おそらくミツバチの訪花する植物のほとんどで花粉と蜜を集めるものと考えられ

表-3 マルハナバチとホルモン処理によるミニトマトのゼリー割合と糖・酸度(小出, 未発表)

試験区	全重g	果肉g	ゼリーg	ゼリー割合%	糖度Brix		酸含量%	
					果肉	ゼリー	果肉	ゼリー
マルハナバチ	11.6	7.9	3.7	32.0	7.6	8.3	0.53	1.47
ホルモン処理	7.7	6.2	1.5	18.9	7.9	8.5	0.49	1.07
t検定	**	**	**	**	ns	ns	-	-

4月25日に各区10個調査。ただし、ホルモン処理区は種無し果のみ調査。酸含量はクエクン酸含量を測定。*: 1%水準で有意差あり, ns: 有意差なし

る。

日本ではトマト以外の農作物では、受粉を必要とする場合、セイヨウミツバチ *Apis mellifera* L. とマメコバチ *Osmia cornifrons* (RADOSZKOWSKI) が利用されている。農水省統計によれば、1991年度における施設園芸でのミツバチの利用群数は、イチゴの81,094群を筆頭に、メロン、スイカ、シシトウ、ダイコン、ニガウリ、カボチャ、オウトウ、マンゴーなどを加えると計125,845群、露地ではリンゴ、オウトウ、ナシ、モモ、ウメ、カキ、プラム、スモモなどの果樹で28,161群、スイカ、ダイコン、カボチャ、メロン、タマネギなどの野菜類で2,762群となり、花粉媒介用としては合計156,768群となっている。また、マメコバチは主にリンゴを中心にナシ、オウトウなどの果樹でも利用されているが、正確な数は把握されていない。

これらの作物では、現状ではミツバチ等の効果が高いうえ、マルハナバチに比べて価格がはるかに安価であること、開花期間の長い作物でも1作期間の利用が可能であることなどの経済性と利便性、それにマルハナバチの効果が未確認であることなどから、すぐにミツバチと交替することはないと考えられる。しかし、作物によっては、マルハナバチの特性を生かした利用法がこれから検討されるだろう。

IV 導入上の問題点

今後、マルハナバチは施設トマトを中心に、他の果菜類や果樹においてもかなりの勢いで普及していくと考えられる。しかし、25年前にイチゴへミツバチが導入された時と同じように、暫くの間は、従来の栽培技術との摩擦、ハチの習性や生態の知識の欠如、技術指導者の不足等により現場での混乱は避けられないだろう。

試験的な導入以来、まだ1年余に過ぎず、解決すべき点が多いが、ここでは(1)農薬の影響、(2)花粉稔性と温度管理、の2点について述べる。

(1) 農薬の影響

ヨーロッパでは、施設トマトの害虫は天敵による防除体系が発達しており、ハチに影響のある農薬はほとんど散布されていないことが、マルハナバチのスミーズな導入へつながったとみられる。しかし、日本では当初から着果生理は受粉を前提としないホルモン処理で行ってきたので、農薬の使用に当たって訪花昆虫への影響を顧慮する必要がなかった。そのうえ、施設トマトではコナジラミ類、マメハモグリバエ、アブラムシ類など難防除害虫が発生しやすく、ハチに影響の強い薬剤の使用例が少なくない。

マルハナバチは群当たりの働きバチの数は50~100頭と少ないうえ、働きバチの大部分が花粉集めをするので、

ハチに影響のある薬剤では群の活動能力が急速に衰退し、再起不能に陥りやすい。

マルハナバチの農薬への影響については我が国はもとより欧米でも試験例は少ないが、現行のトマトへの登録農薬の中には強い影響の見られるものもあり、今後、早急な安全基準の作成が必要である。

(2) 花粉稔性と温度管理

現在の日本の施設トマトは、品種によっては花器の構造、花粉量及び花粉稔性などの点からハチの受粉に不向きで、マルハナバチを導入しても受粉による効果は期待できない場合がある。また、低温下では花粉の稔性が低下し、例えば「ハウス桃太郎」では、愛知県下で広く行われている最低夜温8~9°Cの管理法では、ハチが訪花しても花粉が葯から離れず着果しない例が起こっている(菅原, 1992; 小出, 1992)。

おわりに

ヨーロッパでは、受粉作業がハチ販売会社の請負制になっている場合が多いので、ハチの管理や受粉のチェックが行き届いている。しかし、日本では、現在のところ、マルハナバチは買い取り制で、販売者によるその後の点検や管理はほとんど行われていないうえ、販売元でもクレームなどに対応できる技術者はいないのが現状である。

また、現在は1巣箱が3万円を越える価格であるが、その半分は空輸賃である上、その利用期間は4~6週間で更新を必要とするため、トマト等のように数か月にわたり開花する作物では経済性の点から導入を躊躇する農家も少なくない。本種の増殖そのものは難しい技術ではないと考えられ、将来は日本産のマルハナバチも含め、国内での生産が可能となれば、価格も安くなり、利用しやすくなるだろう。

最後に、導入種のツチマルハナバチが野性化して、定着する可能性もあり、その場合、日本の生物相とりわけ他のハナバチに与える影響が懸念される。先輩格のセイヨウミツバチは導入以来100余年を経て、野生群も多く、訪花昆虫の主要な勢力となっているが、外来種どうしの競合も含め、その動態を厳しく見守る必要がある。

引用文献

- 1) 池田二三高・忠内雄次 (1992): 農業及び園芸 67: 1213~1216.
- 2) 小出哲也 (1992): 施設園芸 18: 42~45.
- 3) 松浦 誠 (1988): 社会性ハチの不思議な社会, どうぶつ社, 東京, 261 pp.
- 4) ——— (1991): 農業時代 161: 5~8.
- 5) ——— (1992): 農業 39: 6~8.
- 6) 菅原真治 (1992): 施設園芸 18: 54~58.