

トマトの抑制栽培におけるキオビオオハリナシバチの受粉効果

飛川光治^{1*}・宮永龍一²

¹岡山県農業総合センター農業試験場 709-0801 岡山県赤磐市

²島根大学生物資源科学部 690-8504 島根県松江市

Effects of Pollination by *Melipona quadrifasciata anthidioides* on Retarding Tomato Cultures

Mitsuharu Hikawa^{1*} and Ryoichi Miyanaga²

¹Agricultural Experiment Station, Okayama Prefectural General Agriculture Center, Akaiwa, Okayama 709-0801

²Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, Matsue, Shimane 690-8504

Abstract

The pollination efficiencies of *Melipona quadrifasciata anthidioides* (Neotropical stingless bee) and *Bombus terrestris* (bumblebee) were evaluated in tomatoes 'Hausumomotaro' cultivated in a greenhouse in 2005. The house was divided into two sections. Colonies of *M. quadrifasciata* and *B. terrestris* were respectively introduced into each section. High pollination efficiency by both species was proven, but there was no significant difference in total fruit mass/inflorescence or in the ratio of normal fruits/plant between the two sections. Fruit set ratio was higher in *M. quadrifasciata*, in comparison with *B. terrestris*. This may be caused by differences in the foraging behavior between *M. quadrifasciata* and *B. terrestris*. In the later species, foragers visited the same flower repeatedly, when available numbers of flowers was reduced, and injured the style with its mandible during the buzz pollinating behavior while in *M. quadrifasciata*, there was no such over-visiting behavior.

Key Words : bumblebee, pollinator

キーワード : 花粉媒介昆虫, マルハナバチ

緒 言

施設栽培が主流となっているトマト, メロン, イチゴなどでは, 安定した収量を維持するための着果処理が不可欠である. 近年, これらの作物では花粉媒介昆虫の利用が急増し, その利用延べ面積は16000 haに達している(農林水産省生産局野菜課, 2005). セイヨウオオマルハナバチ *Bombus terrestris* (Linnaeus) (以下, マルハナと記す) は, ヨーロッパ原産のマルハナバチの一種で, 施設野菜栽培における有用花粉媒介昆虫として世界各地で利用されており, わが国でもトマトの花粉媒介昆虫として広く普及している(農林水産省生産局野菜課, 2005). 一方で, 本種は施設外への逸出による野生化とそれに伴う生態系への影響が懸念されることから(加藤, 1993; 鷲谷, 1998), 平成18年9月より, 「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」における「特定外来生物」に指定されている. 本種に替わる花粉媒介昆虫として在来マルハナバチの

利用も検討されているが(光畑・和田, 2005), これについても地域個体群の遺伝的多様性保全の観点から問題が指摘されている(五箇, 2002).

ハリナシバチはミツバチ亜科ハリナシバチ族の社会性ハナバチで, 全種が高次真社会性の多年性コロニーをつくる. 熱帯・亜熱帯地方に分布し, これまでに23属374種が記録されている(Michener, 2000). 原産地では古くから採蜜目的に養蜂化されていたが(坂上, 1958), 施設栽培の送粉昆虫として利用が検討されたのは比較的最近である(Cauchira, 2004; Maetaら, 1992; Slaaら, 2000). 平野・穂明寺(2003)は, 温帯地方における越冬が困難な花粉媒介昆虫として, マルハナバチ類と同様に振動採粉が可能なオオハリナシバチ属から(Heard, 1999; Roubik, 1989)ブラジル原産のキオビオオハリナシバチ *Melipona quadrifasciata anthidioides* Leperetier (以下, ハリナシと記す)を選定して日本に導入し, 本種が夏秋栽培トマトの花粉媒介昆虫として有望であることを明らかにした. 本種は, 原産国のブラジルにおいても水耕トマトの送粉昆虫として期待されている(Del Sarto, 2005). 本研究では, 低温期の作型であるトマト抑制栽培での本種の受粉効果について, マルハナとの比較試験を実施したので報告する.

2006年9月11日 受付. 2006年12月15日 受理.

本研究の一部は平成17年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業委託事業委託費(課題番号1645)により行った.

* Corresponding author.

E-mail: mitsuharu_hikawa@pref.okayama.lg.jp

材料および方法

1. 送粉昆虫の放飼とトマトの栽培管理

放飼試験は、岡山県農業総合センター農業試験場内の連棟型ビニルハウス（225 m²: 9 m × 25 m）で実施した。棟内にはハチの逃亡を防止するため、2 mm × 4 mm 目合いの透明ネットを2か所に蚊帳状（幅 4.2 m × 長さ 22 m × 高さ 3.1 m）に張った。ハリナシは 15°C 以下では飛翔活動が鈍る傾向があるので、棟内の温度設定を 6:00 ~ 8:00 は 15°C 以上、8:00 ~ 17:00 を 18°C 以上、17:00 ~ 22:00 を 15°C 以上、22:00 ~ 6:00 を 12°C 以上とし、日中は 27°C 以上になると天窗および側窓を開放して換気した。

両ネット内をそれぞれハリナシ放飼区およびマルハナ放飼区とし、2005年9月13日から2006年3月31日までの200日間、ハリナシコロニーおよび市販のマルハナコロニーを1群ずつ放飼した。供試したハリナシコロニーは2005年8月7日にブラジル連邦共和国より輸入したものの1つで、働きバチの個体数は推定250頭前後であった。ハリナシの巣箱は、恒温機能と給餌室を備えた外箱に入れ、巣内温度を25 ~ 30°C に保った。放飼期間中、ハリナシには4 ~ 5日ごとに蜂蜜水溶液、水、生花粉、巣材を、マルハナには毎日乾燥花粉を2g程度与えた。なお、マルハナ巣箱の底部には糖液タンクがあり、ハチはここから随時吸蜜が可能であった。

ハリナシ放飼区では巣口（巣への出入口）を終日開放とした。一方、マルハナ放飼区では2 ~ 3日に1度の割合で巣口を開放した。これは小規模ハウスにおける過剰訪花とそれに伴う花柱や子房の損傷を防ぐための措置である。放飼日の午前9時から30分間、ハチを自由に帰巣させた後、出巢用および帰巢用の2つの巣口のうち前者を閉鎖して帰巣のみ可能とした。この操作により出巢した働きバチは1時間程度ですべて回収できた。ハリナシについては上記のような花柱や子房の損傷が生じないとされているため（平野・穩明寺, 2003）、出巢制限は行なわなかった。なお、薬剤散布時は両試験区とも巣口は閉鎖した。放飼期間中、マルハナ放飼区では11月10日および1月17日に衰退したコロニーを新たなコロニーと交換した。ハリナシ放飼区ではコロニーの更新は行わなかった。

供試したトマトの品種は‘ハウス桃太郎’であった。砂壤土とパーライトを等量配合した用土を入れた市販のプランター（幅 23 cm, 長さ 64 cm, 深さ 18.5 cm）を両放飼区にそれぞれ2列に並べ、8月30日に本葉7枚展開期の苗を株間 32.5 cm で定植した。列間は訪花調査時の視認性を確保するために 2.3 m と広くとった。仕立て法は直立 U ターン仕立てとした。施肥は園試処方 0.4 ~ 0.8 単位の液肥を1日3 ~ 10回、1回 0.2 ~ 0.3 L/株施用した。両放飼区にはそれぞれ 104 株供試し、計 208 株で試験を行った。両放飼区とも、一部の株には各花房の1番花開花直前からその花房の全花が開花終了するまで 2 mm × 4 mm 目合いの透明ポリ

製網袋を被せてハチの訪花を防ぎ、これを無処理株とした。

2. 採粉量および採粉時間

初回訪花時の採粉量および採粉時間の調査は11月1日および12月9日に行った。花卉裂開期に1mm目合いの透明ポリ製網袋を被せてハチの訪花を防ぎ、花卉が十分展開した花卉裂開6日後の午前9 ~ 12時に順次網袋を除去し、ハリナシとマルハナの初回採粉時間を20花ずつ測定した。初回採粉時間は、ハチが調査対象の花に訪れてから次の花へ飛び去るまでの時間とした。この間、ハチはしばしば花の前でのホバリング（空中静止）飛翔を行ないつつ、同一花に繰り返し訪花した。

採粉量の測定は、網袋の除去直後に採取した葯（未訪花葯）、初回採粉後直ちに採取した葯（初回採粉葯）、それぞれ10花40葯について実施した。採取した葯は20葯ずつシャーレに入れ、デシケータ内で6時間乾燥させた。その後、飛川・宮永（2006）の方法に準じて、このシャーレを2分間手で強く素早く振り、葯から花粉を取り出し、花粉重量を測定した。未訪花葯の花粉重から訪花させた葯の花粉重を差し引いた値を初回採粉時の採粉量とした。また、結実した花での採粉率を推定するため、花卉が萎凋し始めて脱落直前の花から葯を採取し、上述の方法で花粉を取り出して花粉重量を測定した。

3. 受粉効果の評価

果実調査は10月6日から12月7日の間に1番花が開花した4段果房から10段果房の果実について行った。1番果がピンポン玉大程度になった果房について、週1回果房毎の着果率を調査した後、形状が正常で大きいものを1果房につき5果残して摘果した。着色した果実は毎週2回果房段数毎に収穫して果実重を測定した。空洞果、乱形果、窓あき果などの奇形果を除いたものを正常果とし、各区の着色した正常果5果について、週1回種子数を調査した。

4. 開花状態の異なる花への訪花率

開花後の経過日数とハチの訪花率の関係を明らかにするため、花の選択実験をおこなった。1月27日、30日、31日、2月1日、2日および3日に花卉裂開直後の花を各8個選び、これに1mm目合いの網袋を被せてハチの訪花を妨げた。2月6日10:20から13:00まで網袋を除去し、花卉裂開後の経過日数が異なる花をハチに選択させた。調査中のハチの出巢個体数は、巣口の開閉操作によって常時1 ~ 3匹に制限した。葯にバイトマーク（振動採粉の際にハチが葯筒にかみついて生ずる傷痕）が認められる花をハチが訪花したものと見なし、供試花数に対するこれらの花の割合を開花後の経過日数毎に求め、訪花率とした。バイトマークが認められた花については、花柱の傷痕の有無も調査した。花卉裂開後の日数ごとに、2花を対象にハチの訪花行動を観察し、訪花回数を記録した。

結 果

ハリナシは放飼開始13日後の9月26日から、マルハナ

第1表 ハリナシバチおよびマルハナバチの採粉量, 採粉率および採粉時間

ポリネーター	初回採粉時			開花終了時 採粉率 (%)
	採粉量 (mg/ 葯)	採粉率 (%)	採粉時間 (秒)	
ハリナシバチ	0.102	76.5	53	86.9
マルハナバチ	0.081	58.0	68	76.5
有意性 ²	*	*	n.s.	*

²採粉量および採粉時間は分散分析, 採粉率は χ^2 検定により,
*: 5%水準で有意差あり, n.s.: 有意差なし ($p > 0.05$)

第2表 ハリナシバチによる受粉が着果率および種子数に及ぼす影響

ポリネーター	着果 (%)	率種子数 (粒/果)
ハリナシバチ	96.3a ²	185a
マルハナバチ	92.7b	185a
無処理	44.3c	87b

²異なる文字間には Tukey の多重検定により 5%水準で有意差あり

第3表 ハリナシバチによる受粉が収量, 正常果率および1果重に及ぼす影響

ポリネーター	収量 (g/ 果房)	正常果率 (%)	1果重 (g)
ハリナシバチ	760a ²	97.0a	165a
マルハナバチ	739a	97.9a	164a
無処理	241b	91.3b	110b

²異なる文字間には Tukey の多重検定により 5%水準で有意差あり

は3日後の9月16日から訪花を開始した。第1表に示したように, 網掛けした未採粉花への初回採粉時の1葯当たり採粉量および採粉率(採粉量/葯あたりの花粉量)は, ハリナシ区で0.102 mgおよび76.5%, マルハナ区では0.081 mgおよび58.0%で, ハリナシ区はマルハナ区に比べて有意に採粉量が多く, 採粉率も高かった。繰り返し訪花を受けたと判断される花卉脱落直前の花では, 当然ことながらいずれも初回採粉時より採粉率は高く, それぞれ86.9%と76.5%で, 両区の間には有意差が認められた。採粉時間については区間で差が認められなかった。

着果率はハリナシ区が96.3%, マルハナ区が92.7%で, ハリナシ区において有意に高かった。しかし, 両区の種子数に差はなかった。無処理区では両区に比べて著しく着果率が低く種子数も少なかった(第2表)。

4段果房から10段果房の各果房段数の平均収量はハリナシ区で760 g/果房, マルハナ区で739 g/果房, 正常果率はそれぞれ97.0%と97.9%, 1果重はいずれも165 gであり, ハリナシ区とマルハナ区に有意差は認められなかった。一方, 無処理区では平均収量が241 g/果房, 正常果率が91.3%, 1果重が110 gで, いずれも両区に比べて著しく低かった(第3表)。

開花後の経過日数が異なる花への訪花率は, ハリナシでは花卉裂開6日後に100%とピークになり, 5日後および7日後の花では63%であった。マルハナは花卉裂開6~10

日後の花への訪花率はいずれも100%で, 5日後の花でも88%と高かった。なお, ハリナシ区, マルハナ区ともに, 花卉裂開6~10日後の花の開花率は100%であった。花卉の黄色程度は花卉裂開4~6日後が濃く, 花卉裂開3日後および7日後以降は薄かった。有傷花柱率は花卉裂開後日数に関わらず, ハリナシ区では0%であった。マルハナ区では訪花率が13%と比較的低かった花卉裂開3日後の花を除くと, 29~50%であった(第4表)。調査期間中, 1花あたりに訪花したハチの個体数はハリナシが平均2.6頭(N=12), マルハナが平均3.6頭(N=12)で, 両者の間に有意差は認められなかった。

考 察

閉鎖的な葯筒を持ち, 自家受粉が可能な栽培トマトでは, ハチが花から持ち出す花粉の量, すなわち採粉量に比例して受粉量(柱頭に付着する花粉量)も増加することが期待される。したがって, 初回採粉率および落花直前の花での採粉率がいずれも有意に高かったハリナシは, 個体レベルで判断すると, 今回の抑制栽培トマトにおいてマルハナよりすぐれた採粉能力を有することが示唆される(第1表)。マルハナで採粉率が低くなった理由については不明だが, 飛川・宮永(2006)のナスによる初回採粉率の比較では, ハリナシとマルハナとの間に違いは認められなかったことから花の形質とハチの形質の組み合わせによっては, 採粉

第4表 花卉裂開後日数の異なる花に対するハリナシバチとマルハナバチの訪花率と有傷花柱率

花卉裂開後日数	花卉色	訪花率 (%)		有傷花柱率 (%) ²	
		ハリナシバチ	マルハナバチ	ハリナシバチ	マルハナバチ
10	淡黄	25 (100) ¹	100 (100)	0	38
7	淡黄	63 (100)	100 (100)	0	50
6	黄	100 (100)	100 (100)	0	38
5	黄	63 (75)	88 (88)	0	29
4	黄	38 (38)	50 (50)	0	50
3	淡黄	0 (0)	13 (13)	0	0

² 訪花した花のうち花柱に傷がある花の比率

¹ () 内は開花率を示す

率が低下することもあり得ると考えられる。

受粉量を反映して増加すると考えられる果実の種子数、正常果率、果重には両者の間で有意差が認められなかった(第2表, 第3表)。宮永ら(未発表)はミニトマトにおいて、ハリナシの訪花回数と柱頭上の花粉粒数および果実の受精種子数を計測し、花粉粒数は訪花回数に比例して増加する傾向にあるものの、受精種子数と訪花回数との間には必ずしも相関が認められないことを明らかにしている。両者の間で果実の品質に違いが見られなかったのは、マルハナの訪花でも結実には十分な受粉量が維持されたためであろう。したがって、マルハナで認められた着果率の低下は、受粉量不足による不受精果の落下が原因とは考えにくい。コロニーサイズに対して十分な餌資源量(花粉量)が得られない小規模ハウスなどでマルハナを放飼した場合、ハチが同じ花を反復訪花し、葯筒へかみつくことにより花柱に損傷を与えることが報告されている(平野・穂明寺, 2003)。これを避けるため、前述したように出巢制限をおこなったものの、マルハナ区ではバイトマークの濃い花の花柱にはかみ傷があり、まれに花柱そのものがかみ切られているケースが認められた。このことがマルハナにおいて着果率低下をもたらした原因となっている可能性も示唆される。一方、ハリナシ区では花柱の傷痕は全く見られなかった。これは供試したハリナシの体サイズがマルハナよりもはるかに小さく、もともと振動採粉に伴うかみ傷が軽微であることに加え、ハリナシではたとえ資源量が不足しても、マルハナのような著しい反復訪花がなかったためであろう。開花段階の異なる花への訪花率を見ると、ハリナシは花卉が完全に展開して全花が開花した花卉裂開開始後6日目前後の花を集中的に訪花したのに対し、マルハナではさまざまな開花段階の花への訪花が観察された。このような、本来採粉が困難であると考えられる開花初期あるいは終期の花に対してもマルハナの訪花が認められたのもハウス内において資源不足が発生したことを示唆している。

このように過剰訪花が示唆され、マルハナ区に着果率が低下したにも関わらず、収量全体に明確な差が現れなかった。本試験では1花房当たりの花数が常に多かったうえ、着果率の低かったマルハナ区でも着果率が92.7%と高く、

着果過多となったため、前述のように着果率を調査した後、草勢維持のための慣行作業である摘果処理を行った。このために両区に着果率の差が収量に反映しにくかったと考えられるが、1花房当たりの着果数が摘果処理を要するほど多くない場合には、ハリナシによる受粉はマルハナよりも多収となると推察できる。

以上のことから、トマトの抑制栽培におけるハリナシの受粉効果はマルハナと同等であり、ハリナシはマルハナの代替花粉媒介昆虫となり得る能力を持つことが確認された。ハリナシは、その名が示すように刺針が退化・消失しており、当然のことながらマルハナのような刺傷性がない。作業者の安全性からも施設野菜栽培において利便性の高い花粉媒介昆虫となり得る。本種の実用化に当たっては、大量増殖法の確立や巣温を維持できる製品用巣箱の開発が必要であるとともに、外来寄生生物の持ち込みや在来種との競合など、マルハナで問題となっている生態的リスク評価を慎重に行うべきなのは言うまでもない。今後は、実用規模での実証試験を通して、本種の花粉媒介能力を明らかにすることが望まれる。

摘 要

トマトの抑制栽培におけるキオビオオハリナシバチの受粉効果について、セイヨウオオマルハナバチと比較して検討した。試験は連棟型ビニルハウス(225 m²: 9 m × 25 m)で実施した。各棟に104株ずつのトマトを定植し、それぞれキオビオオハリナシバチおよびセイヨウオオマルハナバチのコロニーを2005年9月12日から2006年3月31日まで、1群ずつ放飼した。ハリナシ放飼区では巣口を終日開放としたが、マルハナ放飼区では小規模ハウスにおける過剰訪花とそれに伴う花柱や子房の損傷を防ぐために、2~3日に1度の割合で巣口を開放した。その結果、キオビオオハリナシバチの採粉効率および着果率はセイヨウオオマルハナバチに比べて優れ、収量および品質は同等であったことから、キオビオオハリナシバチはセイヨウオオマルハナバチの代替花粉媒介昆虫となり得る能力を持つと考えられた。

引用文献

- Cauich, O., J. J. G. Quezada-Euan, J. O. Macias-Macias, V. Reyes-Oregel, S. Medina-Peralta and V. Parra-Tabla. 2004. Behavior and pollination efficiency of *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera: Meliponini) on greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in subtropical Mexico. Horticultural entomology 97: 475-481.
- Del Sarto, M. C. L., R. C. Peruquetti and L. A. O. Campos. 2005. Evaluation of the neotropical stingless bee *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae) as pollinator of greenhouse tomatoes. J. Economic Entomology 98: 261-266.
- 五箇公一. 2002. 輸入昆虫が投げかけた問題. 昆虫と自然. 37: 8-11.
- Heard, T. A. 1999. The role of stingless bees in crop pollination. Annu. Rev. Entomol. 44: 183-206.
- 飛川光治・宮永龍一. 2006. ナスの促成栽培におけるキオビオオハリナシバチの受粉効果. 園学研. 5: 149-152.
- 平野耕治・穂明寺智成. 2003. トマトハウスでのオオハリナシバチとマルハナバチの花粉媒介比較試験. 第47回応動昆虫大会講演要旨: 55.
- 加藤 真. 1993. セイヨウオオマルハナバチの導入による日本の送粉共生系への影響. ミツバチ科学. 14: 110-114.
- Maeta, Y., T. Tezuka, H. Nadano and K. Suzuki. 1992. Utilization of the Brazilian stingless bee *Nannotrigona testaceicornis* as a pollinator of strawberries. Honeybee Sci. 13: 71-80.
- Michener, C. D. 2000. The Bees of the World. p. 779-805. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- 光畑雅宏・和田哲夫. 2005. 作物受粉における在来種マルハナバチの利用の可能性と課題. 植物防疫. 57: 305-309.
- 農林水産省生産局野菜課. 2005. 施設野菜におけるミツバチ及びマルハナバチの利用状況. p. 207. 農林水産省生産局野菜課編著. 園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況. 日本施設園芸協会. 東京.
- Roubik, D. W. 1989. Ecology and natural history of tropical bees. p. 43-51. Cambridge University Press, New York.
- 坂上昭一. 1958. ハリナシハナバチの生態とその飼養化 (II). 生態昆虫. 7: 28-46.
- Slaa, E. J., L. A. Scanchez, M. Sandi and W. Salazar. 2000. A scientific note on the use of stingless bees for commercial pollination in enclosure. Apidologie 31: 141-142.
- 鷺谷いずみ. 1998. 保全生態学からみたセイヨウオオマルハナバチの侵入問題. 日本生態学会誌. 48: 73-78.