ミツバチの代替ポリネーターとしてのヒロズキンバエの利用

花田 惇史¹・吉田 裕一^{1*}・佐藤 卓也²・後藤 丹十郎¹・安場 健一郎¹・田中 義行¹

¹ 岡山大学大学院環境生命科学研究科 700-8530 岡山市北区津島中

² (株) ジャパンマゴットカンパニー 700-0867 岡山市北区岡町

Utilization of *Phaenicia sericata* Meig. (Green Blow Fly) as an Alternative Pollinator to Honey Bee

Atsushi Hanada¹, Yuichi Yoshida^{1*}, Takuya Sato², Tanjuro Goto¹, Ken-ichiro Yasuba¹ and Yoshiyuki Tanaka¹

¹Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530

²Japan Maggot Company, Okamachi, Kita-ku, Okayama 700-0867

Abstract

Colony collapse disorder of the honey bee has been a serious problem throughout the world and farmers often face the insufficient supply of colonies. The shortages of bees have increased the cost to farmers renting them and resulted in a significant decrease in agricultural production. As an alternative pollinator to the honey bee for greenhouse crops, we investigated the practical utility of *Phaenicia sericata* Meig. (green blow fly), which is propagated artificially for medical maggot therapy. The efficiency of pollination was evaluated by applying a certain number of fly pupae to flowering strawberries, tomatoes, eggplants, and melons. For tomatoes, eggplants and melons, no significant increase of fruit set or in the number of seeds was noted in open pollinated fruit compared to flowers bagged with fine nets to prevent the visiting of flies or other insects. On the contrary, flies frequently visited strawberry flowers just after emergence from pupae and the rate of mis-shapen fruits decreased significantly compared to the fruits developing from flowers before emergence. Pollination efficiency was insufficient in some cultivars, when 400 pupae were applied in a 90-m² plastic house. However, the efficiency was comparable to the honey bee when 1,000 pupae were applied in the plastic house.

Key Words : maggot therapy, mis-shapen fruits, spider, strawberry, varietal difference

キーワード: 品種間差, イチゴ, 受精不良果, クモ, マゴットセラピー

緒 言

栽培植物の大半を占める被子植物の花は、虫媒花が多く、結実のためには昆虫による花粉媒介を必要とする。セイヨウミツバチ (*Apis mellifera* L., 以降ミツバチとする) は数少ない家畜化された昆虫の一つであり、長い歴史の中で飼育技術が蓄積され、世界中で飼養されている (Garibaldi ら, 2013)。我が国でも、長年にわたって花粉媒介昆虫としてイチゴ (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) をはじめとする多くの作物栽培に利用されている。しかし、ネオニコチノイド系の農薬使用が原因として疑われているミツバチの大量死 (van der Sluijs ら, 2013) や、オーストラリアでのノゼマ病流行による女王蜂の輸入停止 (Yan, 2009) など、近年、供給が不安定化する要因が増加しており、しばしばミツバチの不足が問題となっている。さらに、病害虫防除に使用

する薬剤に関する制約、紫外線要求性 (みつばち協議会, 2011)、低温や高温などによる活動不良 (宮本, 2012) のほか、過剰訪花による障害発生 (西本ら, 2012) などミツバチを利用するに当たっては様々な課題がある。

多様なミツバチの代替手段が確立されれば、これらの問題を回避できると考えられ、作物生産の安定化に大きく寄与すると期待される。海外では、ヨーロッパ原産のセイヨウオオマルハナバチ (*Bombus terrestris* L.) が花粉媒介昆虫として実用化されており (Goulson, 2010)、我が国でも一時期施設栽培トマトを中心に広く利用された。しかし、生態系への悪影響が懸念されるため、現在は特定外来生物に指定され、利用が制限されている (米田ら, 2008)。これを受けて、在来種であるクロマルハナバチ (*Bombus ignites* Smith) への切り替え利用が進められた (光畑, 2014) が、国内でも北海道など一部生息が確認されていない地域があり、この種においても生態系への影響が懸念されている (米田ら, 2008)。

これらのハチ類と同様、ハエ類は自然界で多くの植物種の花粉媒介昆虫として働いていることが知られている (田

2015年2月20日 受付. 2015年9月9日 受理.

本報告の一部は園芸学会平成26年度秋季大会において発表した。

* Corresponding author. E-mail: yyoshida@okayama-u.ac.jp

中, 1994). 以前は, シマハナアブ (*Eristalis cereal* Fabricius) が花粉媒介昆虫として生産・販売されていた (小林, 1972) が, 飼料の悪臭問題と採算上の理由から生産が中止された (JATAFF, 2015). 現在では, マンゴー (*Mangifera indica* L.) の施設栽培において, ハエ類が花粉媒介昆虫として利用されている (水野ら, 2010). その中の一つであるヒロズキンバエ (*Phaenicia sericata* Meig.) は, 糖尿病性壊疽患者に対するマゴットセラピーに用いられており (三井ら, 2005), (株) ジャパンマゴットカンパニーは, このヒロズキンバエの人工飼育技術を確認して, 医療用に供給している. 女王蜂の供給を輸入に頼る部分の大きいミツバチに対して, ヒロズキンバエは国内で生産できるため, より安定的な供給が可能と考えられる. また, ヒロズキンバエは日本全土に分布する在来生物であるため, 生態系への影響を考慮する必要がない. さらに, ハチ類と比較して幅広い温度条件下で活発に活動するため, 施設栽培の多様で過酷な環境条件に対応する能力を持つと考えられている (ジャパンマゴットカンパニー, 2015). 実際に, イチゴの施設栽培において, 野焼きの煙でミツバチが活動を停止する様な条件下でもヒロズキンバエは活発に活動し, 盛んに訪花することが確認されている (吉田, 未発表). これらのような特徴から, ヒロズキンバエはハチ類に代わる花粉媒介昆虫として, 様々な施設栽培作物に利用できる可能性が高い.

ハエ類は, 動物の糞や腐熟した肉などを餌として幼虫が成長する種が多い (福田, 1960) ため, 衛生害虫に分類されることが多い (末永, 1959). しかし, ヒロズキンバエはハチ類のように人に危害を加える毒針を持たず, 衛生的に人工飼育されたサナギは手軽に利用可能であるため, 農業生産の広範囲な場面で利用できる可能性がある. サナギを搬入するだけで利用可能であるため, 作物の開花期に合わせて, 導入時期や導入数を調整することが容易なうえ, ミツバチのように, 巢内での繁殖を考慮する必要がないため, 病虫害防除に使用する農業に関する制約が少ないと考えられる.

本研究は, ミツバチに代わり得る新たな農業用の花粉媒介者として, ヒロズキンバエの実用性を調査することを目的とした. 著者の一人である佐藤が, 農水省の補助金を受けて行った市場調査によって, マンゴーやメロン (*Cucumis melo* L.) など開花期の短い作物では農業使用上の制約が少ない点が, ナス (*Solanum melongena* L.) やトマト (*Solanum lycopersicum* L.) では活動可能温度域が広い点が, 新たな花粉媒介昆虫として特に大きく期待されるとの結果が得られている (未発表). 本研究では, イチゴに対する受粉効果を検証するとともに, 昆虫の訪花による振動が主たる受粉効果を持つナス科野菜と, イチゴと同様に昆虫の送粉が主たる効果を持つメロンについての利用可能性を明らかにすることを目的とした.

材料および方法

1. イチゴ

2011 年, 2012 年, 2013 年の各年 9 月中旬に, 岡山大学実験圃場の面積 90 m² (6 m × 15 m) の無加温ハウスに定植したイチゴの株を用いて, ヒロズキンバエ (以降ハエとする) による受粉効果を調査した. 各年畝幅 110 cm の畝を 5 畝立て, シルバーマルチで覆った. 植物は株間 20 cm で 1 畝につき約 120 株を 2 条植えた. 元肥は施用せず複合液肥 OK-F-1 (N-P₂O₅-K₂O = 16-10-14, OAT アグリオ (株)) 180 g を週に 1 回, 液肥混入器とマルチ下に敷設した灌水チューブを用いて施用した. ハエは直径 8 cm の円形の透明プラスチックケースに, サナギの状態で入ったものを搬入した. 当初はプラスチックケースを直接畝の上に置いたが, ハウス内で徘徊性のクモ類が大量に増殖し, サナギを食害し羽化を阻害することが確認された後は, 天井からひもで地面から約 1.5 m の高さに吊り下げた. 搬入後, 毎日プラスチックケース内を観察し, ケース内に 1 頭以上の成虫が観察できた日をハエの羽化開始日とした. いずれの品種も 8 花/果房となるよう摘花した. 振動による受粉を避けるため, 開花日の記録および花のラベルは, 開花当日の午前 10 時まで (開葯前) に行った. いずれの調査日も, 5 ~ 20 花をラベルした. 果実が成熟した段階で収穫して, 瘦果と果床の発育程度によって正常果と受精不良果に分類した. 一部に不受精の瘦果があっても, ほぼ均一に肥大した果実は正常果に分類した.

1) ミツバチとの受粉効果の比較

2010 年秋に購入し, 夏越ししたミツバチの巣箱 (7 枚型木箱入り 4 枚群 + 1, (有) 間室養蜂場) をイチゴの開花に合わせ, 2011 年 11 月中旬に搬入した. この巣箱を, 12 月 19 日までハウス北西端に置いた高さ 23 cm のコンテナ上で管理した. 12 月 20 日早朝にハウス内にミツバチが飛行していないことを確認してから, 巣箱をハウスから搬出した. ミツバチ搬出翌日の 12 月 21 日にハエのサナギ 3000 頭を, 3 つのプラスチックケースに分けて搬入し, ハウス内の異なる畝の上に置いた. ハエの飛行が確認できなくなった 2012 年 1 月 20 日に再びミツバチの巣箱を搬入した. ‘紅ほっぺ’ を供試し, ミツバチ搬出前 (2011 年 12 月 15 ~ 19 日), サナギの 80% 程度が空になった後 (2011 年 12 月 27 日 ~ 2012 年 1 月 4 日), ハエの飛行頭数減少後 (2012 年 1 月 12 ~ 15 日), ミツバチ再搬入後 (2012 年 1 月 22 ~ 26 日) に分けて, それぞれの期間中に咲いた花をラベルし, 成熟した果実を評価した.

2) 受粉効果の品種比較

品種による受粉効果の差についても調査するため, ‘さがほのか’, ‘紅ほっぺ’, ‘福岡 S6 号’ の 3 品種を用いて調査した. 2012 年 11 月 12 日までミツバチを放飼し, 11 月 10 日および 11 月 15 日にハエのサナギをそれぞれ 1000 頭ずつハウスに搬入した. ハウス内でハエの飛行が確認で

きなくなった12月10日に再びミツバチを搬入した。各品種11月9日, 14日, 20日, 30日, 12月3日, 7日, 12日に開花した花をラベルし, 成熟した果実の正常果率を調査した。

3) 複数回放飼による受粉効果の変化

‘さがほのか’は2013年10月26日から11月11日まで, ‘さちのか’と‘福岡S6号’は11月7日から11月20日まで, それぞれ毎日開花当日の花をラベルし, 成熟した果実の形態を評価した。ハエのサナギは10月28日, 11月3日, 11月9日, 11月16日にそれぞれ400頭ずつ搬入し, 11月8日には, アブラムシ類防除を目的として, ミツバチに対して長期間悪影響を及ぼす殺虫剤ペルメトリン(アディオン乳剤3000倍液, 住友化学(株))10Lを散布した。その結果ハエはほぼ全頭死滅し, 翌日から飛行はまったく観察されなくなった。

上記の3品種について, 2014年2月7日から5月7日まで2~4日ごとに開花当日の花をラベルし, 成熟した果実の形態を評価した。ハエのサナギを2月12日, 26日, 3月3日, 24日, 28日, 4月3日, 7日に400頭ずつ搬入した。このうち3月3日および3月24日に搬入したものはほとんど羽化せず, 3月28日に搬入したものはまったく羽化しなかった。徘徊性のクモ類の食害を避けるために, 4月3日以降はサナギ入りのプラスチックケースをハウス内に吊り下げたところ, その後は盛んに羽化することが確認された。4月15日にアザミウマ類防除のため, 殺虫剤スピノサド(スピノエース水和剤5000倍液, ダウ・ケミカル日本(株))10Lを散布したところ, 翌日ハウス内でハエが飛行する姿は観察されなくなった。その後, 放飼頭数によるおおよその受粉効果の差異を推定するため, 4月24日から5月3日まで3日間ごとに4回, 100頭ずつ搬入した。

4) 花粉の稔性調査

2014年2月28日および4月10日に‘さがほのか’, ‘さちのか’, ‘福岡S6号’の開花前日の花を, 内側が雌ずいに触れないように薬包紙で作成した袋で被覆し, 被覆1週間後に薬包紙ごと花を手で振動させることで花粉を採取した。花粉は両日ともに, 各品種異なる株由来の4~5花から採取した。乾燥花粉を酢酸カーミンで染色し, 光学顕微鏡を用いて100または200倍で観察した。染色されなかった花粉, 小さい, あるいは形が不整形な花粉を異常花粉として, 正常花粉率を記録した。

2. トマト, ナスおよびメロンへのヒロズキンバエの受粉効果

2013年は, イチゴと同じ無加温ハウスでナスおよびメロンを, 岡山大学農学部附属山陽圏フィールド科学センター内のガラス温室でトマトをそれぞれ栽培し, これらの果菜類に対するハエの受粉効果を調査した。無加温ハウスについては畝幅180cmの畝を3畝立て, そのすべてをシルバーマルチで覆った。ハウス東西両端の2畝にメロンを,

中央の畝にナスを定植した。

1) メロン

‘パパイヤ’および‘ラブコール’(いずれも愛三種苗(株))の2品種を供試した。2013年の3月5日に播種し, 4月13日に定植した。株間40cm, 1条植えて各品種32個体ずつ定植し, 主枝を第4節で摘心, 子づる2本仕立ての立体栽培を行った。各子づるの第11~13節の孫づるのみを残し, 他の孫づるはすべて取り除いた。残した孫づるの第1節に着生した雌花を調査対象とし, 第2節で摘心した。すべての子づるを第22~24節で摘心した。それぞれの雌花には, 人工交配区, ハエ受粉区(以下放任区とする), 袋かけ区を設け, ‘パパイヤ’についてはさらに4-CPA(トマトーン, 石原産業(株))処理区を設けた。人工交配は別個体由来の雄花を摘み取り, その葯を雌花の柱頭にこすりつけることで行った。4-CPA処理は4-CPA 300 ppm液を, 開花前の雌花の花梗部に噴霧した。人工交配および4-CPA処理は, 開花当日の午前10時までにを行った。袋かけ区はハエの訪花を防ぐために, 開花1~2日前の雌花を約2mm目合いのネット(ストッキングタイプ水切り袋, 日本技研工業(株), 以降ネットとする)で覆った。放任区は無処理とした。処理による着果負担の偏りを防ぐため, 同一の子づるに着生する雌花には, 互いに異なる処理を行った。調査対象は5月16日から5月23日までの間に開花した雌花とし, それ以降に開花したものはデータに含めなかった。

2) ナス

‘とげなし千両’および‘SL紫水’(いずれもタキイ種苗(株))の2品種を供試した。2013年1月9日に播種, 3月4日にナス‘耐病VF’(タキイ種苗(株))を台木として接ぎ木し, 4月12日に20個体ずつ株間60cm, 条間40cmで2条植えた。主枝一本仕立てとして切り戻し整枝を行い, 6月4日から6月9日までに開花した花を調査対象とし, 振動受粉区, 放任区, 袋かけ区の3処理区を設けた。株の振動による受粉を避けるため, 調査対象の花はすべて開花前にラベルを行った。振動受粉区は開花当日の花のがく部分を, 2, 3度指で軽くはじいた。袋かけ区は開花前の蕾で, 花卉が見えるようになったものをネットで覆った。放任区は無処理とした。各処理区3~5花の反復を設け, 果実は開花後30日以上が経過し, 果皮のつやがなくなり始めた時点で収穫した。着果率と成熟果の種子数を記録した。

これらのメロンおよびナスの開花に合わせ, ハエを5月10日, 17日, 6月2日, 6日, 10日に, サナギの状態では1000頭ずつハウスに搬入した。サナギ入りのプラスチックケースは, いずれもナス‘とげなし千両’と‘SL紫水’の境界に当たる植物群落内の畝上に設置した。

3) トマト

‘シンディースイート’((株)サカタのタネ)を, 2013年春季(播種:2012年12月28日, 定植:2013年2月6日)

と、秋季（播種:2013年7月18日、定植:2013年8月8日）に、吉田ら（2010）と同様の方法で12 cm黒ポリポット（培地容量600 mL）に植え付けて栽培した。秋季には‘桃太郎ファイト’（タキイ種苗（株））を供試品種に加え、‘シンディースイート’と同様の方法で栽培した。処理区として4-CPA処理区、振動受粉区、放任区、袋かけ区の4処理区を設け、各処理区3個体ずつ供試した。‘シンディースイート’は、1果房当たり8花、‘桃太郎ファイト’は1果房当たり3花になるよう、それぞれ摘花した。4-CPA処理区は開花中の果房に1度だけ4-CPA 15 ppm液を噴霧した。振動受粉区は開花している果房がある限り、2～3日ごとに株全体を振動させた。放任区は着果促進に関する処理は行わなかった。袋かけ区は開花前の果房を摘蕾して花数を調整した後、ネットで全体を被覆した。春季は、‘シンディースイート’の第1～9果房を、秋季は‘シンディースイート’の第1～5果房、および‘桃太郎ファイト’の第1～3果房をそれぞれ調査対象とし、果房ごとの着果率を記録した。着果率は、収穫果数を摘花処理時に残した花数（‘シンディースイート’:8花、‘桃太郎ファイト’:3花）で除することで算出した。ハエを、春季は3月29日から5月17日までの間、2週間ごとに、秋季は9月3日から9月25日までの間、4～5日ごとに、それぞれ3000頭ずつサナギの状態ハウスに搬入した。いずれも一度の搬入につき、1000頭ずつ入ったプラスチックケースを3つ、互いに2 m以上離して、調査個体群落内の床面に設置した。

結 果

1. イチゴ

1) ミツバチとの受粉効果の比較

12月15日から12月19日までのミツバチ放飼期間中に開花した‘紅ほっぺ’では約80%が正常果であった（第1図）。12月20日にミツバチを搬出し、その翌日12月21日にハエ3000頭を搬入したところ、搬入2日後から羽化が始まった。ハエの羽化開始日については、いずれの実験においてもほぼ搬入当日または翌日と大きなばらつきは認められなかった。このため、以降、搬入当日から翌日までに羽化開始したものについては羽化開始日に関する記述を省略した。ハエ搬入後7日目から14日目までに開花した花は正常果率が約70%であり、 χ^2 検定の結果 $P \approx 0.363$ となり、ミツバチとはほぼ同等の効果があると判断された。しかし、搬入後3週間が経過した1月12日から1月15日までに開花した花は、正常果率が40%未満となり、正常果率は有意に低下した。ハエの飛行が確認されなくなった1月20日に再びミツバチを搬入したところ、1月22日から1月26日までに開花した花は80%以上が正常果となった。

2) 受粉効果の品種比較

ミツバチ放飼期間中は全品種で受精不良果が現れなかった（第2図）。ハエを11月10日と11月15日にそれぞれ1000頭ずつ搬入したところ、ミツバチと同等の効果が約2

第1図 ミツバチとハエによる受粉が‘紅ほっぺ’の正常果率に及ぼす影響（2011–2012）

白の三角はミツバチの搬出日（12/20）および搬入日（1/20）を示し、黒の三角はハエのさなぎ3000頭を搬入した日（12/21）を示す

²異なる文字間に、 $P < 0.05$ で有意差があることを示す（カイ二乗検定による逐次比較）

第2図 ‘さがほのか’（○）, ‘紅ほっぺ’（□）, ‘福岡S6号’（△）の正常果率の推移（2012）

黒の三角はハエのさなぎ1000頭を搬入した日（11/10）および11/15）を示し、白の三角はミツバチの搬出日（11/12）および搬入日（12/10）を示す

週間継続し、11月30日までに開花した花はいずれの品種についても受精不良果が発生しなかった。しかし、搬入後約3週間が経過した12月3日には‘福岡S6号’で正常果率の低下が見られ、約17%が受精不良果となった。一方で、‘紅ほっぺ’と‘さがほのか’では搬入後3週間以上経過しても受精不良果が発生しなかった。また、ミツバチを12月10日に再度搬入したところ、‘福岡S6号’において搬入3日前に開花した花でもすべて正常果となった。

3) 複数回放飼による受粉効果の変化

10月下旬から開花が始まった‘さがほのか’ではハエの受粉効果が高く、安定していた（第3図）。ハエ搬入前およびペルメトリン散布後に開花した花では正常果率が30%未満であったが、搬入2日後に羽化が始まってからペルメトリン散布までの間に開花した花はほぼすべてが正常果であった。また羽化開始1日前に開花した花から正常果

第3図 ‘さがほのか’ (○), ‘さちのか’ (□), ‘福岡 S6 号’ (△) の正常果率の推移 (2013)

黒の三角はハエ 400 頭を搬入した日を示し、三角形と点線で結ばれた黒丸はそのハエが羽化を開始した日を示す。× は殺虫剤 (ペルメトリン) を散布した日を示す

率は 80% を越えていた。

‘さちのか’ ではペルメトリン散布前日に開花した花の正常果率は 90% 以上であったが、ハエの飛行が確認されなくなった散布翌日に開花した花は正常果率が 30% 以下に低下した。11 月 9 日に搬入したハエ (以後ハエ 11/9-400 とする) は羽化が搬入 4 日後からとなり、それまでより遅かった。ハエ 11/9-400 の羽化が始まる 3 日前に開花した花から正常果率は 60% を越えたが、11 月 16 日に搬入したハエ (以後ハエ 11/16-400 とする) の羽化が始まるまでに開花した花は、正常果率は高くとも 70% 程度にとどまった。ハエ 11/16-400 の羽化が始まった 11 月 18 日以降は徐々に受粉効果が高まり、正常果率は 80% を越えた。

‘福岡 S6 号’ においてもペルメトリン散布後急激に正常果率が低下した。ハエ 11/9-400 が羽化しても直ちに正常果率は上昇せず、ほぼ 30% 前後で推移した。ハエ 11/16-400 の羽化開始以降に開花した花の正常果率は、徐々に高くなり、11 月 26 日に開花した花は 80% が正常果となった。

2 月から 5 月に開花した花の正常果率の変化を第 4 図に示した。2 月 12 日に搬入したハエ (以降ハエ 2/12-400 とする) は羽化が遅く、2 月 19 日に羽化を開始した。このハエを搬入した 2 月 18 日までに開花した花はいずれの品種も正常果率は 40% 以下であった。‘さがほのか’ と ‘さちのか’ は、ハエの羽化開始当日から受粉効果が現れ、‘さがほのか’ においては 2 月 22 日に開花した花の 90% が正常果となった。一方で、‘福岡 S6 号’ は羽化が始まって直ちに受粉効果は現れず、羽化が始まってから 3 日後の 2 月 22 日に開花した花から正常果率が徐々に高くなり始めた。ハエ 2/12-400 による受粉効果は 3 月 1 日以降急激に低下し、3 月 4 日に開花した花は全品種で正常果率が 30% 未満となった。3 月 3 日、24 日、28 日に搬入したハエは、ほとんど羽化せず、3 月 3 日から 28 日の間はハエ

の訪花がほとんど確認できなかった。この期間に開花した花の正常果率はいずれの品種も 0 ~ 40% と非常に低く推移した。

12 月以降、ハウス内ではコモリグモ科 (*Lycosidae*) を中心に徘徊性のクモ類が大量に発生していた。羽化しなかったサナギは内部が空洞になっており、これらのクモ類がハエのサナギを捕食していた可能性が考えられた。実体顕微鏡下で観察したところ、クモ類の食害痕と思われる傷が確認された。このため以降のハエは、ハウス天井からひもでサナギ入りのプラスチックケースを吊り下げてクモ類から隔離した。すると 4 月 3 日に搬入したハエ (以降ハエ 4/3-400 とする) は、搬入当日から羽化を始め、翌日にはハウス内でハエが盛んに飛行して訪花する姿が観察された。その結果、4 月 2 日に開花した花の正常果率は 3 品種とも 60% 以上となり、‘さがほのか’ では 4 月 5 日に開花した花のすべてが正常果となった。ハエ 4/3-400 がまだ死滅していない 4 月 7 日に、さらに 400 頭のハエを搬入したところ、翌日 4 月 8 日から羽化を始め、その後も順調に羽化した。‘さちのか’ と ‘福岡 S6 号’ においては 4 月 7 日までに開花した花の正常果率は 70% 前後にとどまっていたが、4 月 10 日に開花した花はこれらの品種でもすべてが正常果となった。その後、4 月 14 日に開花した花でも全品種で正常果率は 100% となった。4 月 15 日のスピノサド散布によりハエの飛行数が急激に減少し、4 月 23 日に開花した花は 3 品種ともすべてが受精不良果であった。

その後、4 月 24 日から 3 日ごとに 100 頭ずつのハエを搬入したところ、4 月 27 日に開花した花は全品種で正常果率が 60% 以上となった。‘さがほのか’ と ‘福岡 S6 号’ では 5 月 4 日まで受粉効果の上昇が見られ、5 月 7 日には効果の低下が認められた。一方、‘さちのか’ は 4 月 27 日に開花した花で正常果率が 80% となり、その後受粉効果

第4図 ‘さがほのか’ (○), ‘さちのか’ (□), ‘福岡 S6 号’ (△) の正常果率の推移 (2014)

グラフ上部の三角はハエを搬入した日を示し、黒い三角は400頭を搬入して順調に羽化したもの、白い三角は400頭を搬入して羽化率が悪かったもの、灰色の三角は100頭を搬入して順調に羽化したものを示す。また×は殺虫剤(スピノサド)を散布した日を示す

第1表 イチゴ花粉の稔性の品種間差異 (2014)

品種	正常花粉率 (%)		
	2月28日	4月10日	平均
さがほのか	52.5	50.0	51.7 a ^y
さちのか	88.5	87.4	88.0 b
福岡 S6 号	73.1	78.7	75.9 b
平均 ^z	72.7	76.7	

酢酸カーミンで採集した花粉を染色し、光学顕微鏡を用い、倍率100または200倍で観察した。形が不整形、あるいは小さな花粉を異常花粉とし、正常花粉率を算出した。各処理区で4-5のサンプルを用い、3度カウントした平均値

^zF-testにより $P < 0.05$ で調査日間に有意差なし(アークサイン変換後二元配置分散分析)

^yTukey's HSD testにより、同一列内の異なる文字間に $P < 0.05$ で有意差あり(アークサイン変換後二元配置分散分析)

がわずかに低下し始めた。

4) 花粉の稔性調査

正常花粉率は、‘さちのか’と‘福岡 S6 号’は70%以上と高かった(第1表)。一方、‘さがほのか’は50%程度と他の品種に比べ有意に低かった。採取日による正常花粉率の差は小さかった。

2. トマト、ナスおよびメロンへのヒロズキンバエの受粉効果

1) メロン

5月10、17日に搬入したハエはいずれも順調に羽化し、調査対象とした雌花の開花期(5月16～23日)には、ハウス内で飛行中のハエが多数観察された。羽化直後は雄花が盛んに咲いているにも関わらず、積極的に花に飛来する様子は観察できなかった。しかし羽化後数日経つと、雄花の花弁の表面を歩き回る姿がしばしば観察された。雌花への訪花も雄花と同程度に観察されたが、柱頭部に頭をうずめて花蜜を吸うような姿を観察することはできなかった。

第2表 ハエを放飼したハウス内での雌花への処理がメロン‘パパイア’と‘ラブコール’の着果率に及ぼす影響

処理区	‘パパイア’		‘ラブコール’	
	処理果数(個)	着果率(%)	処理果数(個)	着果率(%)
袋かけ	47	0.0 c ^x	56	0.0 b
ハエ(放任)	46	0.0 c	56	1.8 b
人工交配 ^z	46	39.1 b	56	58.9 a
4-CPA ^y	47	100.0 a	—	—

^z4-CPA 300 ppm 液を開花前の雌花の花梗部に噴霧した

^y別個体由来の雄花を摘み取り、その葯を雌花の柱頭にこすりつけた

^x同一列内の異なる文字間に $P < 0.05$ で有意な差があることを示す(カイ二乗検定による総当たり比較)

‘パパイア’において4-CPA処理区はすべて着果した(第2表)。一方、袋かけ区は両品種ともにまったく着果しなかった。人工交配区は‘パパイア’で39.1%、‘ラブコール’で58.9%と、両品種で6割にも満たなかった。放任区で着果したのは、両品種合わせて‘ラブコール’における1果のみであった。

2) ナス

実験を通してハエがナスの花に飛来する姿は観察できなかった。着果率は両品種ともに、最も小さかった袋かけ区でも50%以上となった(第3表)。着果率が100%となったのは‘SL紫水’の振動受粉区のみであった。いずれの品種においても、平均種子数は放任区と袋かけ区に有意な差は認められなかった。一方振動受粉区は他処理区よりも有意に平均種子数が多く、放任区の5倍以上となった。

3) トマト

春季も秋季も、ともにハウス内でハエをまったく観察できない日はなかった。羽化後は、トマト群落内を盛んに飛び回る姿も観察されたが、訪花する個体を確認することは

第3表 ハエを放飼したハウス内での花への処理がナス ‘とげなし千両’ と ‘SL 紫水’ の着果率および種子数に及ぼす影響

処理区	‘とげなし千両’			‘SL 紫水’		
	処理花数 (個)	着果率 ² (%)	種子数 (個)	処理花数 (個)	着果率 (%)	種子数 (個)
袋かけ	4	50.0	197 b ^x	4	50.0	202 b
ハエ (放任)	4	75.0	201 b	5	60.0	146 b
振動受粉 ²	3	66.7	1384 a	3	100.0	771 a

² 開花当日の花のがく部分を2, 3度指で軽くはじいた² 着果率は $P < 0.05$ で処理区間に有意差なし (カイ二乗検定による総当たり比較)^x Tukey's HSD test により, 同一列内の異なる文字間に $P < 0.05$ で有意差あり

第4表 ハエを放飼したガラス温室内で, 果房への処理がトマト ‘シンディースイート’ と ‘桃太郎ファイト’ の着果に及ぼす影響

処理区	春季	秋季	
	‘シンディースイート’	‘シンディースイート’	‘桃太郎ファイト’
袋かけ	72.4 b ^x	21.3 d	35.6 b
ハエ (放任)	82.2 ab	53.0 c	29.8 b
振動受粉 ²	89.9 a	67.4 b	52.0 ab
4-CPA ²	87.2 a	87.7 a	70.1 a

数値は果房ごとの着果率 (%) を算出し, それらを平均した値

² 開花している果房がある限り2~3日ごとに株全体を振動させた² 第3花開花中の果房に1度だけ4-CPA 15 ppm 液を噴霧した^x アークサイン変換後, Tukey's HSD test により, 同一列内の異なる文字間に $P < 0.05$ で有意差あり

できなかった. 第4表に示したとおり, 春季の‘シンディースイート’の着果率は, 袋かけ区を除く3処理区で80%以上になった. 4-CPA 処理区, 振動受粉区, 放任区の間に有意差は認められなかったが, 袋かけ区は, 4-CPA 処理区および振動受粉区と比較して有意に着果率が低かった. 一方, 秋季の‘シンディースイート’の着果率は4-CPA 処理区>振動受粉区>放任区>袋かけ区となり, すべての処理区間で有意な差が認められた. 80%を越えたのは4-CPA 処理区のみで, 袋かけ区はその1/4にも満たなかった. 秋季の‘桃太郎ファイト’は, 放任区と袋かけ区でほぼ同等の着果率となり, これらはともに4-CPA 処理区よりも有意に低かった.

考 察

本研究では主要な果菜類で, 施設栽培においてハチ類が受粉に利用されているナス, トマト, メロンおよびイチゴについて調査したが, イチゴ以外は, ヒロズキンバエによる明確な受粉効果は得られなかった.

メロンについては人工交配区の着果率が高かった‘ラブコール’においても60%未満と, ‘パパイヤ’の4-CPA 処理区と比較すると高い数値ではなかったが, 放任区と袋かけ区の着果率がほぼ0であったことから, ハエによる受粉効果はほとんどないと考えられた (第2表).

ナスでは, 着果率に関して, ‘とげなし千両’, ‘SL 紫水’の両品種に共通した一定の傾向は見られなかった (第3表). 一方, 種子数についてはいずれの品種においても放任区は振動受粉区と比較して有意に小さく, 袋かけ区との間に有意な差が認められなかった. 以上のことから, ナスにおいては, ハエによる実用的な着果促進効果を得ることは困難だと考えられる.

トマトについて, 春季の‘シンディースイート’では, 放任区の着果率が4-CPA 処理区や振動受粉区と同等となったため, ハエによる受粉効果を得られる可能性が期待された. しかし, 秋季は‘シンディースイート’, ‘桃太郎ファイト’いずれにおいても, 放任区の着果率は4-CPA 処理区より30%以上小さくなり, その差は有意であった. さらに, 放任区の着果率が, 振動受粉区より大きくなることもなかったことに加え, 秋季の‘シンディースイート’を除いて, 放任区と袋かけ区の間, 着果率の有意な差は認められなかった (第4表). トマトについても受粉効果がある可能性は否定できない. しかし, 実験を通して, ハエがトマトの花に飛来する姿もまったく観察されなかったことから, 実用的な着果促進効果は期待できないと考えられる. 秋季の‘シンディースイート’において, 袋かけ区の着果率が放任区よりも有意に小さくなった. 袋かけ処理に当たっては, 開花前の果房を, ネットの内側が花に触れないよう被覆した. しかし, 果房の発育に伴い, 花がネット内側に触れていたことが着果へ何らかの負の影響を及ぼした可能性がある.

以上のように, メロン, ナス, トマトにおいてはヒロズキンバエによる明確な受粉効果は認められなかったことから, ミツバチに代わる花粉媒介者としての利用の実用性は小さいと考えられた.

イチゴにおいては, 品種により若干の違いがあるものの, 西本ら (2012, 2014) も述べているとおり, ヒロズキンバエの放飼によって正常果率が向上し, 花粉媒介者として十分な実用性を期待できることが明らかになった. ハエは羽化開始直後から盛んにイチゴの花に飛来し, 3週間程度で効果の低下が認められたが, 低温期には2週間以上にわたってミツバチと同等の受粉効果が維持された (第2図). 継続的に利用する場合は, 2週間ごとに搬入することで安定した効果が得られると考えられる. また, 搬入から羽化

までに数日かかる場合があることを考慮すると、最初の搬入は開花開始の数日前に行うのが望ましいといえる。

搬入するサナギの数に関しては、面積 90 m² のハウスを用いた場合、‘さがほのか’では 400 頭でも十分な効果があった（第 3 図）。一方で、‘さちのか’と‘福岡 S6 号’は‘さがほのか’と比較して正常果率が劣った。2012 年には 1000 頭、2014 年には 400 頭を 2 回連続（4 月 3 日、7 日）で搬入した場合には‘さがほのか’と同時に開花した花はほとんどが正常果となったことから、これらの品種においては 400 頭では安定した受粉効果を得るには不十分であったと考えられる。

11 月 8 日のベルメトリン散布直後に搬入したハエ（11/9-400）は羽化が遅れ、その後の正常果率も比較的低く推移した。正確な羽化率の調査は行っていないが、羽化したハエの個体数不足以外に、ベルメトリンによる忌避効果がハエの訪花を抑制した可能性についても考慮する必要があるだろう。ただし、1 週間後に搬入したハエ（11/16-400）は搬入 2 日後に羽化が始まり、羽化開始後は正常果率が高く推移した。ミツバチには長期間悪影響が残るとラベルに明記されているベルメトリンであっても、1 週間余りでハエに対する悪影響はほぼ消失したと推察された。

2014 年 4 月 15 日に散布したスピノサドは、散布 2 日後にはミツバチを導入可能とされている（ダウ・アグロサイエンス日本、2015）。このスピノサドの散布によって、それ以前に搬入していたハエの受粉効果は急激に低下した（第 4 図）。農業に対するハエの反応については、今後検討を重ねる必要があるだろう。

イチゴハウス内において、ハエを放飼した場合、受精不良果発生率が品種によって異なり、ハエの受粉効果には明らかな品種間差があることが報告されている（西本ら、2014）。本実験において、‘福岡 S6 号’は 2012 年、2013 年いずれにおいても他品種に比べ正常果率が低かった。しかし、実験を通して比較的正常果率の高かった‘さがほのか’より‘福岡 S6 号’のほうが花粉稔性は高かった（第 1 表）。ハエやミツバチは砂糖のみよりも、アミノ酸を含む糖の混合物を好む傾向があり、これらの昆虫は花蜜中のアミノ酸を識別できる可能性がある（Gardener・Gillman, 2002）。また、サトイモ科（*Araceae*）やラン科（*Orchidaceae*）の一部の種は、腐肉や糞を好むハエを引き寄せるために悪臭を放つこと（ハーレー、2011）、*Usia bicolor* Macquart やヒツジキンバエ（*Lucilia cuprina* L.）の訪花行動は、花卉の色（Fukushi, 1989）や形（Johnson・Dafni, 1998）に影響されることが知られている。ハエの訪花頻度の品種間の違いについては十分な調査ができていないが、ハエの味覚や臭覚、視覚にかかわる情報はハエの訪花活動に大きく影響すると考えられ、人間には知覚できない香気成分や、花蜜の組成に対するハエの嗜好性が、品種間の受粉効果の違いに影響している可能性が考えられる。

ハエの搬入を繰り返すうちに、ハウス内でのクモ類の増

加が確認された。クモ類としては徘徊性のコモリグモ科が最も多く、しばしばハエの死骸を運ぶ姿が観察され、エサとして利用していたと推察された。クモ類は捕食対象に消化液を注入し、液体にして飲み込む性質がある（オトゥール、1987）。羽化しなかったサナギの一部を実体顕微鏡で観察したところ、食害痕とみられる穴の存在が確認され、サナギを入れたプラスチックケースを天井から吊り下げることで、羽化率が高くなったことから、2014 年 2～3 月に羽化率が低下した原因は、クモ類による食害と考えられた。一方、クモ類が大量に発生している間、アブラムシ類やハダニ類などがほとんど確認されなかった。クモ類はゴキブリやダニを捕食する益虫としての働きを持つ（国見、1994）ことが知られている。水田や一部の露地野菜については天敵としてのクモ類を調査した事例（小林・柴田、1973）があるが、施設栽培で天敵として評価した研究例はない。ハエの搬入はハウス内でのクモ類の増殖を促し、間接的に減農薬につながる可能性があり、ハウス内の生物相の変化についても今後検討する価値があると考えられる。

本実験におけるハエの行動に注目すると、ナス、トマトではハエの訪花は観察されず、メロンでは羽化後数日経つと、花に飛来する姿が散見されたものの、柱頭付近を盛んに動き回ることにはなかった。これらの果菜類とは対照的に、イチゴにおいては、ハエは羽化直後から盛んに訪花し、多い時には同時に 5 頭以上のハエが 1 つの花の上を動き回る姿が観察された。ハエの花に対するこのような反応の違いの要因の一つに、花蜜の有無が挙げられる。イチゴは花蜜を有するが、ナスおよびトマトの花は比較的花蜜に乏しい（みつばち協議会、2011）ことから、ハエは花蜜の有無を識別し、花蜜を求めてイチゴの花に飛来していると推察される。メロンの花は、イチゴと同様に花蜜を有する（みつばち協議会、2011）が、ハエの訪花がイチゴほど盛んでなかったのは、上述した花蜜の組成や分泌量の違いなどが影響しているのかもしれない。以上のように、ハエを花粉媒介者として利用するためには、対象植物の花が豊富な花蜜を有することが必要である可能性が高い。イチゴ以外の果菜では、この条件を満たす作物は見当たらないが、施設栽培の果樹では、マンゴー以外にもヒロズキンバエを花粉媒介者として利用できる可能性があり、今後検討する必要があると考えられる。

摘 要

近年、受粉用ミツバチがしばしば不足し、果実を中心に園芸作物の生産コスト増大や品質低下を引き起こしている。その解決策の一つとして、医療用の無菌ウジ増殖技術を応用して生産したヒロズキンバエについて、施設栽培作物の花粉媒介昆虫としての実用化の可能性を検討した。イチゴ、トマト、ナスおよびメロンを対象として、開花期にヒロズキンバエをハウス内に放飼し、着果率や果実形態の比較によって、各作物への受粉効果を調査した。トマト、

ナスおよびメロンにおいては、明確な着果促進効果は得られなかった。一方、イチゴでは、ハエは羽化直後から盛んに花に飛来する姿が観察され、ハエ搬入前と比較して受精不良果発生率は大きく低下した。ただし、90 m² 当たり400 頭の搬入では品種によって効果が不十分であった。しかし、1000 頭搬入した場合は、ミツバチと同等の効果が得られたことから、ヒロズキンバエはミツバチの代替ポリネーターとして十分利用可能であると考えられた。

引用文献

- ダウ・アグロサイエンス 日本. 2015. 農業・芝・緑地用製品. スピノエース顆粒水和剤. <<http://www.dowagro.com/jp/ryosho/prod/spinoacedf.htm>>.
- 福田通男. 1960. 農村の各種発生源附近で採集したハエ蛹の季節的消長. 長崎大学風土病紀要. 2: 281–286.
- Fukushi, T. 1989. Learning and discrimination of coloured papers in the walking blowfly, *Lucilia cuprina*. J. Comp. Physiol. A. 166: 57–64.
- Gardener, M. C. and M. P. Gillman, 2002. The taste of nectar—a neglected area of pollination ecology. OIKOS. 98: 552–557. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2002.980322.x. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0706.2002.980322.x/full>>.
- Garibaldi, L. A., I. Steffan-Dewenter, R. Winfree, M. A. Aizen, R. Bommarco, S. A. Cunningham, C. Kremen, L. G. Carvalheiro, L. D. Harder, O. Afik, I. Bartomeus, F. Benjamin, V. Boreux, D. Cariveau, N. P. Chacoff, J. H. Dudenhöffer, B. M. Freitas, J. Ghazoul, S. Greenleaf, J. Hipólito, A. Holzschuh, B. Howlett, R. Isaacs, S. K. Javorek, C. M. Kennedy, K. M. Krewenka, S. Krishnan, Y. Mandelik, M. M. Mayfield, I. Motzke, T. Munyuli, B. A. Nault, M. Otieno, J. Petersen, G. Pisanty, S. G. Potts, R. Rader, T. H. Ricketts, M. Rundlöf, C. L. Seymour, C. Schüepp, H. Szentgyörgyi, H. Taki, T. Tschardtke, C. H. Vergara, B. F. Viana, T. C. Wanger, C. Westphal, N. Williams and A. M. Klein. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. Science 339: 1608–1611.
- Goulson, D. 2010. Impacts of non-native bumblebees in Western Europe and North America. Appl. Entomol. Zool. 45: 7–12.
- ハーレー マデリン, 2011. 世界で一番美しい花粉図鑑. p. 109. 武井摩利 訳. 創元社. 大阪.
- ジャパンマゴットカンパニー. 2015. 安全で清潔な受粉ができるビー・フライ. <<http://www.japan-maggot.com/>>.
- JATAFF (公益社団法人農林水産・食品産業技術振興協会). 2015. 釣り餌の商虫列伝. 商虫列伝 (2) 養殖もの. <<https://www.jataff.jp/konchu/bait/10.html>>.
- Johnson, S. D. and A. Dafni. 1998. Response of bee-flies to the shape and pattern of model flowers: implications for floral evolution in a Mediterranean herb. Functional Ecology. 12: 289–297.
- 小林森巳. 1972. 訪花昆虫増殖利用保護に関する研究. シマハナアブ (*Eristalis cerealis* Fabricius) の人工増殖. 岩手園試報. 2: 1–27.
- 小林四朗・柴田広秋. 1973. 水田とその周辺におけるクモ類の個体群変動, 害虫の生態的防除と関連して. 応動昆. 4: 193–202.
- 国見裕久. 1994. 害虫の天敵としてのクモ. p. 309. 動物たちの地球. 3. 昆虫. 朝日新聞社. 東京.
- みつばち協議会編. 2011. みつばちにうまく働いてもらうために. p. 1–15. みつばち協議会 (社団法人日本養蜂はちみつ協会内). 東京.
- 光畑雅宏. 2014. マルハナバチの利用. p. 459–462. 農業技術体系野菜編. 2. トマト. 農文協. 東京.
- 三井秀也・川畑拓也・黒子洋介・鶴垣伸也・大澤 晋・藤井泰宏・石野幸三・河田政明・佐野俊二. 2005. Diabetic foot に対するウジムシ治療. J. Japan Coll. Angiol. 45: 443–450.
- 宮本雅章. 2012. ハチの活用方法. p. 139–141. 農業技術体系野菜編. 3. イチゴ. 農文協. 東京.
- 水野宗衛・吉田忠晴・清川一真・佐々木正己. 2010. マンゴー ‘アーウィン’ における3種ハナバチの訪花特性および受粉効果. ミツバチ科学. 27: 123–132.
- 西本登志・皆巳大輔・東 君枝・安川人央・矢奥泰章. 2014. 花粉媒介昆虫の違いがイチゴの収穫量と奇形果率に及ぼす影響, 並びに開花までの花蕾への覆いが ‘熊研い548’ の果実の形状に及ぼす影響. 園学研. 13 (別2): 446.
- 西本登志・皆巳大輔・安川人央・吉田裕一. 2012. セイヨウミツバチの訪花がイチゴ ‘アスカルビー’ と ‘古都華’ の果実の形状に及ぼす影響. 園学研. 11 (別2): 433.
- オトゥール クリストファー. 1987. 動物大百科. p. 153. 小野展嗣 訳. 矢島 稔 編. 平凡社. 東京.
- 末永 敏. 1959. ハエ類の生態的研究. 2. ゴミ箱から発生するハエ類について. 1: 77–84. 長崎大学風土病紀要.
- 田中 肇. 1994. 花粉学辞典. p. 216–217. 日本花粉学会編. 朝倉書店. 東京.
- van der Sluijs, J. P., N. Simon-Delso, D. Goulson, L. Maxim, J. M. Bonmatin and L. P. Belzunces. 2013. Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services. Curr. Opin. Environ. Sustain. 5: 1–13.
- Yan, P. 2009. Effect of feeds in developing the hypopharyngeal gland of nosema-free nurse bees for escorting queen honey bees (*Apis mellifera*) during export. Ph. D. Thesis. BSc Murdoch Univ. Murdoch.
- 米田昌浩・土田浩治・五箇公一. 2008. 商品マルハナバチの生態リスクと特定外来生物. 応動昆. 52: 47–62.
- 吉田裕一・松野大樹・後藤丹十郎・高田圭太. 2010. 根域制限栽培におけるトマトの生育・収量と果実品質. 岡山大農センター報告. 32: 9–14.