

施設栽培における花香物質の設置がセイヨウミツバチの 訪花促進に及ぼす影響

宮本雅章*・久保良平^{2*}・手塚俊行^{3*}・小野正人^{2*}・佐々木正己^{4*}・小泉丈晴

要 旨

施設栽培の花粉媒介昆虫として利用されるセイヨウミツバチの放飼初期の訪花促進を図るため、セイヨウミツバチが生得的に好むとされる花香成分（フェニルアセトアルデヒド、リナロール）の溶液の利用を検討した。ナスの栽培ハウスにフェニルアセトアルデヒドの溶液を設置したところ、蜂群（6群）は放飼当日から翌日に訪花活動を開始し、訪花活動の開始にかかる日数のばらつきが少なかった。イチゴの栽培ハウスにリナロールの溶液を設置したところ、蜂群（4群）の訪花開始は、無処理区の蜂群よりも早かった。これらのことから、フェニルアセトアルデヒド、リナロールの溶液をハウス内に設置することで、放飼初期のセイヨウミツバチによるナス、イチゴへの訪花を促進できることが示唆された。

結 言

セイヨウミツバチは花粉媒介昆虫として、イチゴやナス等の施設栽培に広く利用されている。しかし、栽培施設での利用では、働き蜂が明るい方向へ向かって天井等にぶつかり、疲れ切るまで飛び続ける¹⁾等、放飼初期の混乱による蜂群の消耗や訪花活動の遅れといった問題がしばしば観察される。その対策のひとつとして、これまでに筆者等は、給餌器の設置による混乱軽減と訪花促進に効果的な方法²⁾を開発している。この手法では、給餌器の利用により、混乱状態の働き蜂に糖液を給餌する等、採餌活動を活発にさせることで、混乱軽減と訪花促進を図っている。なお、この手法の開発過程では、当初、セイヨウミツバチが生得的に好むとされる花香物質を給餌器に付けることで、働き蜂の給餌器への誘引を促すことを検討していた。しかし、その結果、働き蜂が給餌器へ誘引されるよりも早く、作物への訪花活動を開始する現象がしばしば観察された。

そこで、本研究では、給餌器の利用ではなく、セイヨウミツバチが生得的に好むとされる花香成分の溶液の設置が、栽培施設内における放飼初期の訪花

活動に及ぼす影響を検討した。その結果、ナスの栽培ハウスでは、ナスの花香にマイナー成分として含まれ³⁾、かつ、セイヨウミツバチが生得的に好む花香成分のひとつとされるフェニルアセトアルデヒド（久保、未発表）を、イチゴの栽培ハウスでは、イチゴの花香にマイナー成分として含まれ、かつ、セイヨウミツバチが生得的に好む花香成分のひとつとされるリナロール（久保、未発表）を利用したところ、訪花促進の効果を得られたので報告する。

なお、本研究は新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「ミツバチ不足に対応するための養蜂技術と花粉交配利用技術の高度化」の助成を受けて実施した。

試験方法

1 セイヨウミツバチが生得的に好む花香物質の設置が訪花活動に及ぼす影響

1) フェニルアセトアルデヒドの溶液の設置がナスへの訪花開始に及ぼす影響

試験は半促成作型のナスを栽培している群馬県農業技術センター内のフッ素樹脂展張鉄骨ハウス（約100 m²×軒高230cm、天窗に目合い3.6mm、側窓に目合い0.4mmのネットを展張）2棟で実施した。ナスの

* 現 群馬県西部農業事務所

^{2*} 玉川大学学術研究所ミツバチ科学研究センター

^{3*} 株式会社 アグリ総研

^{4*} 玉川大学（名誉教授）

品種には「式部」(台木:「トレロ」)を供試し、栽植様式は畦幅180cm、株間50cmとした。試験時のナスは、4本に仕立てた主枝から発生した側枝が開花時に摘心され、収穫後に更新剪定されている状態であった。

試験区は、ハウスの1棟を花香物質設置区、もう一方を対照区とし、セイヨウミツバチ(以下ミツバチ)の蜂群を放飼した。花香物質設置区では、フェニルアセトアルデヒドの2mmol/L溶液を脱脂綿に湿らせて、20mL容量の瓶に差し込んだものを巣箱の前方1m程度周辺の地面に設置した。フェニルアセトアルデヒドの溶液の作製には、乳化剤としてTween80を使用した。溶液の匂いは実験者が鼻を近づけると容易に匂いを感じとれる程度とした。対照区には、水をフェニルアセトアルデヒドの溶液と同様に設置した。なお、フェニルアセトアルデヒドの溶液と対照区の水は、乾き次第、随時補充し、また、メッシュの袋を被せ、働き蜂の誘引による吸汁を防いだ。ミツバチの巣箱は試験前日の夕刻に巣門を開けてハウスに設置し、翌朝、放飼した。なお、放飼前日の天気予報から、働き蜂の飛翔の著しい抑制が予想される天候不良日の放飼は避けた。

試験は2011年5月9日、15日、23日、27日、31日、6月8日の6回実施した。なお、蜂群は同作型のナスに訪花経験のない巣板3~4枚規模の群から、同規模の群を選定し、試験日ごとに更新した。また、試験区のハウスは試験日ごとに交換した。調査は、ナスへの訪花開始までの日数とし、9時、11時、13時、15時、17時にハウス内を見回り、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訪花開始とした。

2) リナロールの溶液の設置がイチゴへの訪花開始に及ぼす影響

試験は促成作型のイチゴを栽培している群馬県農業技術センター内のフッ素樹脂展張鉄骨ハウス(約150m²×軒高230cm、開口部に目合い0.4mmのネットを展張、イチゴの栽植面積は約60m²)2棟で実施した。イチゴの品種には「やよいひめ(群馬県育成品種)」を供試し、栽植様式は畦幅120cm、株間25cm、2条植えとした。試験時のイチゴは頂花房から第一腋花房の開花中であった。

試験区は、ハウスの1棟を花香物質設置区、もう一方を無処理区とし、ミツバチの蜂群を放飼した。花香物質設置区では、リナロール1.8%溶液を湿らせた脱脂綿(約4×4cm)をポリエチレン袋(約6×

8.5cm)に入れ、袋の上部に紐を通す穴を開けて、巣箱の頭上、約1mに吊り下げた。これは、試験「1-1)」による設置方法では、栽培管理作業時に溶液を入れた瓶の転倒等に注意が必要であったため、汎用的な設置方法として検討した。リナロールの溶液の作製では、プロピレングリコール等により乳化した(㈱アグリ総研試作)。溶液の匂いは実験者が袋に鼻を近づけると容易に匂いを感じとれる程度とした。処理の比較は無処理区とした。ミツバチの巣箱は試験前日の夕刻に巣門を開けてハウスに設置し、翌朝、放飼した。なお、放飼前日の天気予報から、働き蜂の飛翔の著しい抑制が予想される天候不良日の放飼は避けた。

試験は2012年11月16日、22日、12月1日、6日の4回実施した。なお、蜂群は同作型のイチゴに訪花経験のない巣板3~4枚規模の群から、同規模の群を選定し、試験日ごとに更新した。また、試験区のハウスは試験日ごとに交換した。調査は、イチゴへの訪花開始までの日数とし、9時、11時、13時、15時にハウス内を見回り、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訪花開始とした。

2 花香物質の種類がセイヨウミツバチの採餌活動に及ぼす影響

試験は群馬県農業技術センター内の何も栽培していないガラス温室(約150m²×軒高230cm、開口部に目合い0.4mmのネットを展張)2棟で実施した。

試験区は、温室の1棟を花香物質設置区、もう一方を対照区または無処理区とし、ミツバチの蜂群を放飼した。各試験区には、砂糖水(50%)の餌場をミツバチの巣箱から約3~10mの範囲で5カ所、地面に設置した。餌場は黄色い花卉の造花の中心部に砂糖水を含ませた脱脂綿を差し込む構造とした。花香物質設置区では、フェニルアセトアルデヒド、リナロール、ゲラニルアセトン、ミルテノールの溶液を試験日ごとに設置した。なお、ゲラニルアセトンはナスの主要な花香成分であり³⁾、ミルテノールはイチゴの主要な花香成分である(久保、未発表)が、両成分ともミツバチが生得的に好む花香成分ではないとされている(久保、未発表)。フェニルアセトアルデヒド、ゲラニルアセトンおよびミルテノールの試験では、それぞれ2mmol/L溶液を脱脂綿に湿らせて、20mL容量の瓶に差し込んだものを巣箱の前方2m程度周辺の地面に設置した。溶液の作製には、乳化剤としてTween80を使用した。各溶液の匂いは実験者が鼻を近づけると容易に匂いを感じとれる程度とし

た。処理の比較は対照区として、水を各花香成分の溶液と同様に設置した。各花香成分の溶液と対照区の水は、乾き次第、随時補充し、また、メッシュの袋を被せ、働き蜂の誘引による吸汁を防いだ。リナロールの試験では、試験「1-2)」で使用した溶液を試験「1-2)」と同様に巣箱の上部に吊り下げた。処理の比較は無処理区とした。ミツバチの巣箱は試験前日の夕刻に温室に設置し、試験当日の8時または9時に放飼した。なお、放飼前日の天気予報から、働き蜂の飛翔の著しい抑制が予想される天候不良日の放飼は避けた。

試験は、フェニルアセトアルデヒドでの調査を2011年9月27日、30日、10月20日に、ゲラニルアセトンの調査を11月11日、14日、18日に、ミルテノールの調査を11月21日、25日に、リナロールの調査を2012年11月15日、20日、12月10日、13日に実施した。なお、蜂群は試験日ごとに本実験未使用の巣板2~3枚規模の群から、同規模の群を選定

し、試験日ごとに更新した。また、試験区の温室は試験日ごとに交換した。調査は、餌場での砂糖水の摂取開始日時とし、放飼から1時間おきに5分間ずつ観察した。

結 果

1 セイヨウミツバチが生得的に好む花香物質の設置が訪花活動に及ぼす影響

1) フェニルアセトアルデヒドの溶液の設置がナスへの訪花開始に及ぼす影響

ミツバチによるナスへの訪花開始までの日数は、試験区間に有意差は認められなかったが、花香物質（フェニルアセトアルデヒド溶液）設置区では、各試験日とも対照区に比べて、同日あるいは早く、訪花が始まった（表1）。また、対照区では訪花開始までの日数が、放飼当日から4日後であったが、花香物質設置区では放飼当日から1日後となり、ばらつ

表1 フェニルアセトアルデヒドの溶液の設置がセイヨウミツバチによるナスへの訪花開始に及ぼす影響

試験区	試験日ごとの訪花開始までの日数						平均値 (日数)	等分散の F検定 (分散比)	
	2011年								
	5月9日	5月15日	5月23日	5月27日	5月31日	6月8日			
花香物質設置区 (フェニル アセトアルデヒド)	1	0	0	1	1	0	0.5	0.117*	
対照区	3	4	0	2	2	0	1.8		
2元配置分散分析	試験区間 $F=4.706^{n.s.}$								
	放飼日間 $F=1.529^{n.s.}$								

注) 1区当たりナス栽培ハウス1棟 (100 m²)、試験日ごとに蜂群を1群放飼
 表中の数値は放飼後のセイヨウミツバチがナスへ訪花を開始するまでの日数
 花香物質設置区はフェニルアセトアルデヒドの2mmol/L溶液を設置、対照区は水を設置
 等分散のF検定により、*は5%水準で有意差があることを示す
 2元配置分散分析により、n. s. は5%水準で有意差がないことを示す

表2 リナロールの溶液の設置がセイヨウミツバチによるイチゴへの訪花開始に及ぼす影響

試験区	試験日ごとの訪花開始までの日数				平均値 (日数)	等分散の F検定 (分散比)
	2012年					
	11月16日	11月22日	12月1日	12月6日		
花香物質設置区 (リナロール)	2	0	0	0	0.5	0.343 ^{n.s.}
無処理区	5	2	1	3	2.8	
2元配置分散分析	試験区間 $F=22.091^*$					
	放飼日間 $F=7.545^{n.s.}$					

注) 1区当たりイチゴ栽培ハウス1棟 (150 m²)、試験日ごとに蜂群を1群放飼
 表中の数値は放飼後のセイヨウミツバチがイチゴへ訪花を開始するまでの日数
 花香物質設置区はリナロールの1.8%溶液を設置
 等分散のF検定により、n. s. は5%水準で有意差がないことを示す
 2元配置分散分析により、*は5%水準で有意差があり、n. s. は5%水準で有意差がないことを示す

表3 フェニルアセトアルデヒドの溶液の設置がセイヨウミツバチの採餌活動に及ぼす影響

試験区	試験日ごとの採餌開始日数および時刻		
	2011年9月27日	9月30日	10月20日
花香物質設置区 (フェニルアセトアルデヒド)	12:00	12:00	16:00
対照区	15:00	14:00	3日間採餌なし

注) 1区当たりガラス温室1棟 (150 m²)、試験日ごとに蜂群を1群放飼
 表中の数値は放飼後 (午前8時に放飼) のセイヨウミツバチが温室内に設置した砂糖水の餌場に採餌を開始した日数と時刻 (時刻のみは当日)
 花香物質設置区はフェニルアセトアルデヒドの2mmol/L溶液を設置、対照区は水を設置

表4 リナロールの溶液の設置がセイヨウミツバチの採餌活動に及ぼす影響

試験区	試験日ごとの採餌開始日数および時刻			
	2012年11月15日	11月20日	12月10日	12月13日
花香物質設置区 (リナロール)	2日後の14:00	翌日の10:00	15:00	翌日の14:00
無処理区	3日間採餌なし	翌日の10:00	2日後の11:00	3日間採餌なし

注) 1区当たりガラス温室1棟 (150 m²)、試験日ごとに蜂群を1群放飼
 表中の数値は、放飼後 (午前9時に放飼) のセイヨウミツバチが温室内に設置した砂糖水の餌場に採餌を開始した日数と時刻 (時刻のみは当日)
 花香物質設置区はリナロールの1.8%溶液を設置

表5 グラニルアセトンの溶液の設置がセイヨウミツバチの採餌活動に及ぼす影響

試験区	試験日ごとの採餌開始日数および時刻		
	2011年11月11日	11月14日	11月18日
花香物質設置区 (グラニルアセトン)	2日後の12:00	12:00	14:00
対照区	3日間採餌なし	13:00	13:00

注) 1区当たりガラス温室1棟 (150 m²)、試験日ごとに蜂群を1群放飼
 表中の数値は放飼後 (午前8時に放飼) のセイヨウミツバチが温室内に設置した砂糖水の餌場に採餌を開始した日数と時刻 (時刻のみは当日)
 花香物質設置区はグラニルアセトンの2mmol/L溶液を設置、対照区は水を設置

表6 ミルテノールの溶液の設置がセイヨウミツバチの採餌活動に及ぼす影響

試験区	試験日ごとの採餌開始日数および時刻	
	2011年11月21日	11月25日
花香物質設置区 (ミルテノール)	14:00	13:00
対照区	12:00	13:00

注) 1区当たりガラス温室1棟 (150 m²)、試験日ごとに蜂群を1群放飼
 表中の数値は放飼後 (午前8時に放飼) のセイヨウミツバチが温室内に設置した砂糖水の餌場に採餌を開始した日数と時刻 (時刻のみは当日)
 花香物質設置区はミルテノールの2mmol/L溶液を設置、対照区は水を設置

きが有意に小さく、安定して訪花が始まった。

2) リナロールの溶液の設置がイチゴへの訪花開始に及ぼす影響

花香物質（リナロール溶液）設置区では、無処理区に比べて、イチゴへのミツバチの訪花が有意に早く始まった（表2）。なお、訪花開始までの日数のばらつきは、花香物質設置区では放飼日から2日後、無処理区では1日後から5日後の訪花開始であったが、試験区間に有意差は認められなかった。

2 花香物質の種類がセイヨウミツバチの採餌活動に及ぼす影響

ミツバチが生得的に好む花香成分のひとつとされるフェニルアセトアルデヒドの溶液の設置では、各試験日において対照区よりも早くミツバチが餌場を発見し、砂糖水の採餌を開始した（表3）。また、リナロールの溶液の設置では、2回目の試験日において無処理区と同等の早さの採餌開始であったが、他の3回の試験では、無処理区よりも早くミツバチが餌場を発見し、採餌を開始した（表4）。

ミツバチが生得的に好む花香成分ではないとされるゲラニルアセトンとミルテノールの溶液の設置では、対照区よりも餌場での採餌開始が遅れる場合もみられた（表5、6）。

考 察

ミツバチを目標とする花に誘引する方法のひとつとして、ナサノフ腺のフェロモンや女王物質の合成品による誘引剤の利用があり、これらの誘引剤をリンゴやセイヨウナシ、スイカ等の果樹園や畑に散布することで、訪花蜂数の増加や着果が向上する⁴⁾こと等が知られている。しかし、この方法をハウスナス栽培で試したところ、ハウス内を飛翔する蜂数は多くなるものの、訪花を早く開始させる効果はみられなかった（宮本私信）。そのため、栽培施設内での訪花促進では、まず、ミツバチに施設内の花を餌として認識させることが重要と考えられた。このことから、働き蜂に目標とする花の香りを砂糖水の報酬と連合学習させることで、訪花を促進する方法³⁾が開発されているが、この方法は花香成分を添加した餌を巣箱内で摂取させるため、餌の要求量の低い蜂群の場合には効果が安定しづらい等の課題がある。

花の香りは、花粉媒介者を誘引するための植物からの化学的な情報伝達手段であり、ミツバチは訪花の手がかりのひとつとしてしていると考えられている。

本研究で用いたフェニルアセトアルデヒドとリナロールは、ヨウシュナタネ*Brassica napus*の花香成分のうち、ミツバチがその花を認識するうえで重要な役割をもつ成分のひとつとされている⁵⁾。また、本花香成分は昆虫触角電位増幅装置付きガスクロマトグラフを用いた実験において、明確な触角応答を示し、誘引試験においても有意な誘引性が得られている（久保、未発表）。これらから、ミツバチにとってフェニルアセトアルデヒドとリナロールは生得的に好む花香成分と考えられる。そこで、ナスのハウスにフェニルアセトアルデヒドの溶液を設置したところ、ミツバチの訪花開始までの日数にばらつきが少なくなり、また、イチゴのハウスにリナロールの溶液を設置したところ、訪花開始が早くなり、いずれの場合も訪花が大きく遅れることはなく、訪花促進の効果がみられた。このことから、フェニルアセトアルデヒド、リナロールの花香物質をハウス内に設置することで、ミツバチは餌となる花の存在を結びつける匂いを認知し、花の探索とナスあるいはイチゴへの訪花が促進されたと考えられた。なお、今回、各花香成分の溶液の作製に使用した乳化剤の匂いは、いずれもミツバチにとって生得的に好む匂いではないことが確認されている（久保、未発表）。一方、今回使用した各花香成分の溶液濃度や設置方法には根拠はなく、今後、より効果的な溶液濃度や設置方法の検討が必要である。

花香物質の種類がミツバチの採餌活動に及ぼす影響を砂糖水の餌場を用いて検証したところ、フェニルアセトアルデヒドとリナロールでは、餌場の砂糖水への採餌が促進されたが、ゲラニルアセトンとミルテノールでは、餌場での採餌が対照区よりも遅れることもあり、採餌の促進効果は判然としなかった。ゲラニルアセトンとミルテノールの花香成分は、昆虫触角電位増幅装置付きガスクロマトグラフを用いた実験において、触角応答を示さず、また、誘引試験においても有意な誘引性が認められず（久保、未発表）、ミツバチにとって生得的に好む花香成分ではないと考えられる。これらのことから、ミツバチが生得的に好む花香成分のひとつとされるフェニルアセトアルデヒド、リナロールの溶液を設置することで、ミツバチによる採餌の促進効果があることが示唆された。なお、ナス、イチゴとも、主要な花香成分はミツバチが生得的に好む香りではないと考えられるため、香りの面からのミツバチの誘引性は低いと思われるが、ナスの花ではフェニルア

セトアルデヒド³⁾、イチゴの花ではリナロール (久保、未発表) 等のマイナー成分が、誘引にわずかながら関わっていると考えられる。なお、フェニルアセトアルデヒドはイチゴの花のマイナー成分にも含まれている (久保、未発表)。これらを考慮し、本研究ではナスの栽培ハウスにはフェニルアセトアルデヒド、イチゴの栽培ハウスにはリナロールを選定して検討したが、匂いを付けていない単なる砂糖水の餌場に対する試験においても、両花香物質の設置ではミツバチによる採餌活動が早まった。そのため、設置する花香物質がミツバチにとって生得的に好む香気成分であれば、訪花の目標とする作物の花香成分には関わらず、訪花の促進に効果があると思われる。今後、ミツバチが生得的に好むとされる他の花香成分の検討により、より安定的な効果を得られる成分が選定されることも期待される。

本研究では、ミツバチが生得的に好む花香成分のひとつとされるフェニルアセトアルデヒド、リナロールの溶液を栽培施設内に設置することで、放飼初期のミツバチによるナス、イチゴへの訪花を促進できることが示唆された。この手法を給餌器の利用によるミツバチの混乱軽減と訪花促進の方法²⁾と組み合わせることで、蜂群の消耗を軽減するとともに、より効果的な訪花の促進が期待される。一方、簡易な訪花促進方法として、ミツバチを栽培施設に導入する際に、ミツバチが生得的に好むとされる香気成分を放っている花の鉢植え等を設置することも効果

的と考えられる。なお、ミツバチを利用する際は、管理の基本事項⁶⁾を守ることが重要である。

引用文献

- 1) 下鳥喜工. 1981. 栃木県におけるイチゴのハウス栽培とミツバチ. ミツバチ科学. 2: 57-60
- 2) 宮本雅章ら. 2017. 給餌器の利用が施設栽培におけるセイヨウミツバチの混乱軽減に及ぼす効果. 群馬県農業技術センター研究報告. 14: 39-46
- 3) 宮本雅章ら. 2009. 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; III. 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. 日本応用動物昆虫学会誌. 53: 21-28
- 4) Delaplane, K. S. and D. F. Mayer. 2000. Crop Pollination by Bees. CABI Publishing Co. New York. 344pp
- 5) Blight et al. 1997. Identification of floral volatiles involved in recognition of oilseed rape flowers, *Brassica napus* by honeybees, *Apis mellifera*. Journal of Chemical Ecology. 23: 1715-1727
- 6) みつばち協議会 (園芸農家向けマニュアル作成検討委員会) 編. 2011. ミツバチにうまく働いてもらうために; 施設園芸農家向け花粉交配 (ポリネーション) 用ミツバチの管理マニュアル. みつばち協議会. 東京. 11pp

(Key Words: Honeybee, floral scent, flower-visiting, eggplant, strawberry)

Effectiveness of Installing Solution of Floral Scents on Promotion of Flower-visiting by the Honeybees in the Greenhouse Culture

Masaaki MIYAMOTO, Ryohei KUBO, Toshiyuki TEZUKA, Masato ONO, Masami SASAKI, and Takeharu KOIZUMI

Summary

Honeybees, *Apis mellifera*, are used as a pollinator in greenhouse cultures. To promote initial flower-visiting of honeybees, solutions containing floral scent components (phenylacetaldehyde and linalool) innately preferred by honeybees were installed into greenhouse. After installing a solution containing phenylacetaldehyde in an eggplant cultivation house, honeybees (six colonies) started to visit eggplant flowers until the following day. Further, starting days of flower-visiting had small variation among colonies. Also, after installing a solution containing linalool in a strawberry cultivation house, honeybees (four colonies) started earlier to visit strawberry flowers than intact colonies. These results suggest that using solution of floral scents (phenylacetaldehyde, linalool) promotes initial flower-visiting of honeybees in the eggplants or strawberries greenhouse.