

原著論文

イチゴの促成栽培における、花卉が完全に開く前にミツバチが訪花するために生じる雌ずいの損傷とそれに伴う奇形果発生、ならびに花粉媒介昆虫としてのヒロズキンバエの利用

西本登志・皆巳大輔*・安川人央**・堀川大輔***・
東井君枝****・矢奥泰章*****・佐藤卓也*****・吉田裕一*****

Malformed Fruit Incidence in Greenhouse Strawberries Caused by Young Pistil Injury from Flower Visiting of Honey Bees before Full Bloom and Use of Blowfly *Lucilia sericata* as a Pollinator

Toshi NISHIMOTO, Daisuke MINAMI, Hitoshi YASUAKAWA, Daisuke HORIKAWA,
Kimie TOU, Yasuaki YAOKU, Takuya SATO and Yuichi YOSHIDA

Summary

In a greenhouse where honey bees had been released, we confirmed that honey bees often visit breaking buds of strawberry 'Asukarubi' and 'Kumaken-I-548' and injure young immature pistils. Such flowers consequently developed into malformed fruits. When honey bee bud-visitation was disturbed by covering until full bloom in the same greenhouse, the malformed fruit incidence was decreased considerably. When 300 *Lucilia sericata* pupae were applied weekly in a 130-m² greenhouse growing 'Asukarubi', 'Fukuoka S 6', 'Kaorino', 'Kotoka', 'Kumaken-I-548', 'Marihime', 'Nyoho', 'Oishi berry', 'Sachinoka', and 'Yumenoka', the pollination efficiency was comparable to that of the honey bee, but malformed fruit incidence was lower in all cultivars than that in same-sized greenhouses in which honey bees had been released.

Key Words: maggot therapy, pistil, unfertilization, varietal difference

緒言

イチゴ (*Fragaria × ananassa* Duch.) の促成栽培では受粉促進を目的にセイヨウミツバチ (*Apis mellifera* Linnaeus, 以下, ミツバチ) の放飼が行われているが, 奈良県内の 'アスカルビー' の生産者からはミツバチの過剰訪花 (宮本, 2012) が奇形果の発生を促すとの指摘がある。また, 奈良県農業総合センター (現在, 農業研究開発センター) と岡山大学農学部 of イチゴ栽培圃場では, 花卉が完全に開く前の 'アスカルビー' の花にミツバチが訪れる (第 1 図) ために

雌ずいが傷つけられて黒変し, 肥大後に奇形果となることが観察されている。さらに, 筆者ら (未発表) は, ミツバチを放飼するハウスでの栽培試験において, 例年, 受精不良のために果床の一部が肥大しない奇形果の発生が, '熊研い 548' で著しく多いことを確認しているが, その原因は明らかでない。

一方, 近年, 受粉用ミツバチの不足がしばしば生じており, 購入・借入価格の上昇により, イチゴの生産費用が年々増大する傾向にある。また, 冬季に低温寡日照となる地域では, 厳寒期の低温と紫外線不足のためにミツバチの活動が阻害され, 受精不良

*奈良県中部農林振興事務所

**奈良県東部農林振興事務所

***奈良県農林部担い手・農地マネジメント課

****奈良県マーケティング課

*****なら食と農の魅力創造国際大学校

*****株式会社ジャパンマゴットカンパニー

*****岡山大学大学院環境生命科学研究科

本研究の一部は, 生研支援センターの革新的技術開発・緊急展開事業 (うち地域戦略プロジェクト) 「冬季寡日照地域のイチゴ栽培におけるミツバチの補完ポリネーターとしてのビーフライ (ヒロズキンバエ) の利用」において実施し, 園芸学会平成 24 年度秋季大会, 園芸学会平成 25 年度秋季大会および園芸学会平成 26 年度秋季大会において発表した。

による奇形果が多発している。さらに、当該地域では、厳寒期に換気が行われにくく、施設内の二酸化炭素濃度が外気よりも低下し光合成速度が著しく低下するため、光合成促進を目的とした二酸化炭素施用技術の普及が進んでいる。しかし、二酸化炭素施用が主として灯油やLPガスを燃料とする発生機を用いて行われるために、燃焼ガス成分の影響でミツバチの活動が阻害されることがある。その他に、イチゴに散布された農薬や圃場近辺での剪定枝の焼却で生じる煙などしばしばミツバチの活動を阻害する。このような受粉用ミツバチの利用上の問題を解決するために、ヒロズキンバエ (*Lucilia sericata*, ビーフライ, (株) ジャパンマゴットカンパニー) を花粉媒介昆虫として利用することが試みられている(花田ら, 2016)。受粉用のヒロズキンバエは、マゴットセラピー用のハエの幼虫(三井ら, 2005; 岡田, 2013)を生産供給する(株) ジャパンマゴットカンパニーが2012年より販売を行っており、イチゴのほか、マンゴーなどの生産現場での利用が徐々に増加している(佐藤, 未発表)。

本研究では、①‘アスカルビー’におけるミツバチの訪花回数と果実の形状の関係、②花弁が完全に開く前のミツバチの訪花に起因する奇形果の発生頻度の品種間差異、③イチゴの花粉媒介昆虫としてのヒロズキンバエの有用性、を明らかにすることを目的に試験を実施した。



第1図 花弁が完全に開く前の‘アスカルビー’の花に訪れるミツバチ(2012年2月24日撮影)

Fig. 1. Honey bee flower visitation before full bloom in strawberry ‘Asukarubi’ (February 24, 2012)

材料および方法

試験は橿原市四条町の奈良県農業研究開発センター(2014年3月までは奈良県農業総合センター)内のパイプハウス内で行った。イチゴの栽培作型は促成栽培とした。換気扇を用いて25°C設定で換気した。土耕栽培は無加温とし、高設栽培ではハウス内気温が8°Cを下回らないように加温機を稼働させた。その他の栽培管理は奈良県の慣行法(奈良県農業技術センター, 2014; 信岡・東井, 2012)に従って行った。花を袋で覆う処理では、対照区も含めて、花卉が見えて雌ずいが見えない花を対象とした。花に被せる袋は12 cm角の菓包紙で作製し、蕾に被せる際にはミツバチが侵入できないよう袋の開口部をまち針で留めた。また、果実の形状調査では、受精不良のために果床の一部が正常に肥大していない果実のうち、開花時に花床先端部の雌ずいが未成熟であるために生じる奇形(吉田ら, 1987)、いわゆる先青や先つまりと呼ばれる奇形だけを生じている果実は先青果として区別した。奇形果率と先青果率は、調査日ごとの各処理区的全調査果実数に基づき算出した。

試験1. 花弁が完全に開いた後のミツバチの訪花回数が‘アスカルビー’の果実発育に及ぼす影響

2011年9月に高設栽培ベンチに‘アスカルビー’とイチゴ実生苗を定植した6.5 m×45 mのパイプハウス(以下、ハウス1)を供試した。10月に、巣箱が5枚のミツバチの巣箱をハウス内に1個設置した。また、11月から灯油燃焼方式の二酸化炭素施用を行ったが処理開始前に打ち切り、電照は行わなかった。

2012年3月23日から25日に‘アスカルビー’の28個の蕾に袋を被せた。3月24日から27日に、花弁が完全に開いた20花について、ミツバチの訪花回数に差異が生じるように袋を着脱した。20花の訪花回数は、最小で3回、最大で121回とした(第1表)。訪花回数は、花に飛来したミツバチの延べ匹数とし、花での滞在時間は考慮しなかった。また、残りの8花については、花弁が完全に開いた日に袋を外さずに指で弾き振動を与え、その後も袋を外さなかった。4月8日に果実の形状を調べた。

試験2. 花弁が完全に開く前のミツバチの訪花が‘アスカルビー’と‘古都華’の果実発育に及ぼす影響

試験1で用いたハウス1と、2011年9月に高設栽培ベンチに‘アスカルビー’と‘古都華’を定植し

た 6.5 m×20 m のパイプハウス (以下、ハウス 2) を供試した。ハウス 2 における栽培管理の方法はハウス 1 と同様とした。ハウス 1 において 2012 年 4 月 8 日に 'アスカルビー' の 20 個の蕾に袋を被せた。また、ハウス 2 において 4 月 6 日と 8 日に、'アスカルビー' の 30 個の蕾と '古都華' の 33 個の蕾に袋を被せた。袋は、花卉が完全に開いた 4 月 9 日～15 日に除去し、花卉が完全に開いた日 (以下、開花日) を記入した札 (提札 18-101, ササガワ (株)) を付けた。対照として、袋を被せる処理を行った日に、ハウス 1 では 'アスカルビー' の 28 個の蕾に、ハウス 2 では 'アスカルビー' の 33 個の蕾と '古都華' の 34 個の蕾に、それぞれ札を付けて、後日、開花日を記入した。5 月 7 日に果実の形状を調べた。'アスカルビー' では、調査した果実を、ハウスと開花日により、ハウス 1 の①4 月 9 日～10 日、②4 月 11 日～12 日、③4 月 13 日～15 日、ならびにハウス 2 の④4 月 9 日、⑤4 月 10 日、⑥4 月 11 日～14 日の 6 つに分けて奇形果率を算出した。また、'古都華' では、調査した果実を、開花日により①4 月 9 日、②4 月 10 日、③4 月 11 日～12 日の 3 つに分けて奇形果率を算出した。

試験 3. 花卉が完全に開く前のミツバチの訪花が '福岡 S6 号'、'熊研い 548'、'女峰' および 'おい C ベリー' の果実発育に及ぼす影響

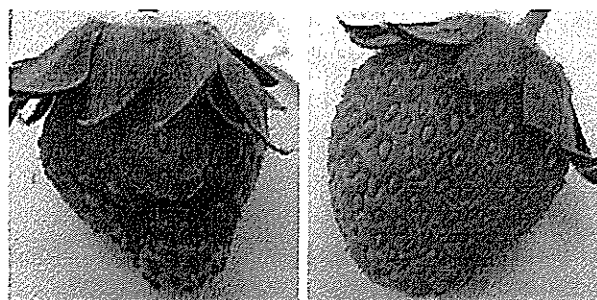
6.5 m×20 m のパイプハウス 2 棟を供試し、イチゴの栽培法は土耕栽培とした。品種は、'福岡 S6 号'、'熊研い 548'、'女峰' および 'おい C ベリー' を供試した。2012 年 9 月に定植し、いずれのハウスにも、'熊研い 548' は 32 株からなる区画を、他の品種は 16 株からなる区画を、2 つずつ設けた。これら品種のほかに 3 品種のイチゴを混植した。いずれのハウスにも 10 月に巣枠が 5 枚のミツバチの巣箱を 1 個設置した。2 棟のハウス内における品種の配置とミツバチ巣箱の設置位置は同一とし、11 月から 3 月までは灯油燃焼方式の二酸化炭素施用を行い、電照は行わなかった。

2013 年 2 月 26 日から 3 月 5 日に、各区画の 8～21 個の蕾に袋を被せ、花卉が完全に開いた 2 月 28 日から 3 月 12 日に袋を除去し、開花日を記入した札を付けた。対照として、2 月 26 日から 3 月 5 日に各区画の 6～38 個の蕾に札を付けて、後日、開花日を記入した。4 月 1 日に果実の形状を調べた。

'熊研い 548' のみを対象として、2013 年 4 月 8

日に、各区画の 13～20 個の蕾に袋を被せ、花卉が完全に開いた 4 月 9 日から 12 日に袋を除去し、開花日を記入した札を付けた。対照として、4 月 8 日に各区画 13～22 個の蕾に札を付けて、後日、開花日を記入した。5 月 2 日に果実の形状を調べ、奇形果は果実表面の陥没を伴う著しい奇形と陥没のない軽微な奇形とに区別した (第 2 図)。

いずれの試験においても、各区画における奇形果率を算出した。



第 2 図 イチゴ '熊研い 548' の果実で観察された著しい奇形 (左) と軽微な奇形 (右)

Fig. 2. Remarkably malformed fruit (left) and slightly malformed fruit (right) of strawberry 'Kumaken-I-548'

試験 4. 花粉媒介昆虫の違いがイチゴの収穫量と奇形果発生に及ぼす影響

6.5 m×20 m のパイプハウスを 2 棟供試し、イチゴの栽培法は土耕栽培とした。'アスカルビー'、'福岡 S6 号'、'かおり野'、'古都華'、'熊研い 548'、'まりひめ'、'女峰'、'おい C ベリー'、'さちのか' および 'ゆめのか' を供試し、2013 年 9 月 18 日に定植した。それぞれのハウスにおける供試株数はいずれの品種も 32 株とし、8 株からなる区画を 4 つ設けた。2 棟のハウス内における品種の配置は同一とした。一方のハウスには 10 月 25 日からほぼ 7 日間隔で、ヒロズキンバエの蛹 (ビーフライ, (株) ジャパンマゴットカンパニー) が 300 匹入ったプラスチック製容器を、ふたを除いて置き、他方のハウス内には、2013 年 10 月 26 日に巣枠が 5 枚のセイヨウミツバチの巣箱を設置した。二酸化炭素施用と電照は行わず、'アスカルビー' は、花房の伸長を促すために第 1 花房の出蕾時に 10 ppm のジベレリン (ジベレリン協和粉末, 三井化学アグロ (株)) 溶液を株当たり 5 mL 噴霧した。

収穫開始後は 2014 年 4 月 18 日まで、概ね 3 回/週 の頻度で、収穫したすべての果実の数と重量ならびに奇形果と先青果の数を調査し、区画ごとに集計した。

試験5. ヒロズキンバエ放飼ハウスにおける花卉が完全に開くまでの蕾への覆いが‘熊研い548’の果実の形状に及ぼす影響

試験4と同一の圃場において‘熊研い548’を供試した。2014年3月16日から4月4日に、8株で構成される各区画の18~21個の蕾に袋を被せ、花卉が完全に開いた3月17日から4月7日に袋を除去し、開花日を記入した札を付けた。対照として、3月16日から4月4日に各区画の14~25個の蕾に札を付けて、後日、開花日を記入した。4月19日から27日に果実の形状を調べ、奇形果は果実表面の陥没を伴う著しい奇形果および陥没のない軽微な奇形果に区別し、各区画における奇形果率を算出した。

結果

試験4を除き、調査対象とした果実に先青果は認められず、奇形果以外はすべて果床が正常に肥大している正常果であった。

試験1. 花卉が完全に開いた後のミツバチの訪花回数が‘アスカルビー’の果実発育に及ぼす影響

イチゴ‘アスカルビー’におけるミツバチの訪花回数と肥大後の果実の形状を第1表に示した。袋を外さなかった花は全て正常果となった。ミツバチが訪花した20花のうち4花は奇形果となった。また、そのうち3花は、訪花当日に雌ずいの部分的な黒変あるいは褐変が観察された。一方、正常果の訪花回数は3~121回と幅広く、訪花回数が果実形状に及ぼす影響は判然としなかった。

試験2. 花卉が完全に開く前のミツバチの訪花が‘アスカルビー’と‘古都華’の果実発育に及ぼす影響

‘アスカルビー’では、蕾に袋を被せると奇形果率が有意に低下した(第2表)。「古都華」でも同様の傾向があったが、処理区間で有意な差は認められなかった。袋を被せなかった‘アスカルビー’の多くの花では雌ずいの部分的な黒変が観察され、肥大後は果実表面の陥没を伴う奇形果となった(第3図)。袋を被せなかった‘古都華’では、開花時の雌ずいの黒変面積が小さく、果実表面の陥没を伴わない奇形果が発生した(データ省略)。なお、ハウスと開花日により6つに分けた‘アスカルビー’の調査果実数は各6~13であり、開花日により3つに分けた‘古

第1表 イチゴ‘アスカルビー’におけるミツバチの訪花回数と肥大後の果実の形状(2012年)

Table 1. Relation in strawberry ‘Asukarubi’ between the number of times honey bees visited flowers and the shapes of fruits that the flowers became (2012)

訪花回数 ^z	調査花数	果実の形状 ^y
0 ^x	8	正常
3	2	
7	1	
9	3	
14	1	
20	1	
31	1	
32	1	正常
33	1	
34	1	
69	1	
86	1	
102	1	
121	1	
15	1	
22	1	奇形
81	1	
113	1	

^x 2012年3月23日~25日に花蕾に袋を被せ、花卉が完全に開いた3月24日~27日に袋を着脱し、訪花の回数を制限した

^y 奇形は受精不良のために果床の一部が肥大していない形状

^z 開花を認めた3月24日~26日に袋を外さずに指で袋を弾き振動を与えた

都華’の調査果実数は各5~16であった。

試験3. 花卉が完全に開く前のミツバチの訪花が‘福岡S6号’、‘熊研い548’、‘女峰’および‘おいCベリー’の果実発育に及ぼす影響

‘福岡S6号’と‘熊研い548’では、蕾に袋を被せると奇形果率が有意に低下した(第3表)。「女峰」でも同様の傾向があったが、「おいCベリー」では袋による覆いの影響はほとんど認められなかった。また、4月に開花した‘熊研い548’では、著しい奇形果の発生率は、袋を被せることで有意に低下したが、軽微な奇形果の発生率に対する袋による覆いの影響は認められなかった(第4表)。なお、袋を被せなかった‘熊研い548’の多くの花では、試験2の‘アスカルビー’と同様に、雌ずいの黒変が観察され、肥

西本登志ほか：イチゴの促成栽培における，花卉が完全に開く前にミツバチが訪花するために生じる雌ずいの損傷とそれに伴う奇形果発生，ならびに花粉媒介昆虫としてのヒロズキンバエの利用 (5)

第2表 開花までの花蕾への覆いがイチゴ‘アスカルビー’と‘古都華’の果実の形状に及ぼす影響 (2012年)

Table 2. Effects of covering on the flowers until full bloom on the shape of fruits in strawberries ‘Asukarubi’ and ‘Kotoka’ (2012)

品種	袋による花蕾への覆い ^z	奇形果率 ^y (%)
アスカルビー	有	21.6
	無	62.0
	有意性 ^x	**
古都華	有	6.3
	無	26.1
	有意性	NS

^z 2012年4月6日～12日に花蕾を袋で覆い，花卉が完全に開いた4月9日～15日に袋を除去

^y 奇形果は受精不良のために果床の一部が肥大していない果実，奇形果率は果実数に基づき算出

^x 角変換後の数値にWelchのt検定により，**は1%水準で有意差があることを，NSは5%水準で有意差がないことを示す（‘アスカルビー’はn=6，‘古都華’はn=3）



第3図 袋を被せなかった‘アスカルビー’の花で観察された雌ずいの黒変と肥大後の果実の奇形 (撮影日 左: 2012年4月10日, 右: 5月7日)

Fig. 3. Injured pistils of strawberry ‘Asukarubi’ with no covering on the flower until full bloom (left, April 10 in 2012), and the malformed fruit that the flower enlarged to (right, May 7 in 2012)

大後は果実表面の陥没を伴う奇形果となった。

試験4. 花粉媒介昆虫の違いがイチゴの収穫量と奇形果発生に及ぼす影響

ミツバチを放飼したハウス（以下，ミツバチ区）における収穫果重は，‘古都華’，‘女峰’および‘さちのか’では，ヒロズキンバエを放飼したハウス（以下，ヒロズキンバエ区）より多かったが，他の7品種では有意な差は認められなかった（第5表）。収穫果数は，‘アスカルビー’ではヒロズキンバエ区がミツバチ区より多く，‘さちのか’ではミツバチ区がヒ

第3表 開花までの花蕾への覆いがイチゴ4品種の果実の形状に及ぼす影響 (2013年)

Table 3. Effects of covering on the flowers until full bloom on the shape of fruits in 4 strawberry cultivars (2013)

品種	袋による花蕾への覆い ^z	奇形果率 ^y (%)
福岡S6号	有	19.7
	無	64.7
	有意性 ^x	*
熊研い548	有	33.8
	無	87.6
	有意性	**
女峰	有	22.6
	無	53.6
	有意性	NS
おいこベリー	有	64.1
	無	73.6
	有意性	NS

^z 2013年2月26日～3月5日に花蕾を袋で覆い，花卉が完全に開いた2月28日～3月12日に袋を除去

^y 奇形果は受精不良のために果床の一部が肥大していない果実，奇形果率は果実数に基づき算出

^x 角変換後の数値にWelchのt検定により，**と*はそれぞれ1%，5%水準で有意差があることを，NSは5%水準で有意差がないことを示す (n=4)

第4表 開花までの花蕾への覆いがイチゴ‘熊研い548’の果実の形状に及ぼす影響 (2013年)

Table 4. Effects of covering flowers until full bloom on fruit shape in strawberry ‘Kumakan-I-548’ (2013)

袋による花蕾への覆い ^z	奇形果率 ^y (%)	
	著しい奇形	軽微な奇形
有	4.9	9.4
無	49.5	13.6
有意性 ^x	**	NS

^z 2013年4月8日に花蕾を袋で覆い，花卉が完全に開いた4月9日～12日に袋を除去

^y 奇形果は受精不良により果床の一部が肥大していない果実，奇形程度は第2図に従い分類，奇形果率は果実数に基づき算出

^x 角変換後の数値にWelchのt検定により，**は1%水準で有意差があることを，NSは5%水準で有意差がないことを示す (n=4)

ロズキンバエ区より多かったが，他の8品種では有意差は認められなかった。平均果重は，‘アスカルビー’，‘福岡S6号’，‘古都華’および‘女峰’ではミツバチ区がヒロズキンバエ区より大きく，‘熊研い548’ではヒロズキンバエ区がミツバチ区より大きかった。先青果率は，‘福岡S6号’ではヒロズキンバエ区がミツバチ区より高かったが，その他の品種では有意差は認められなかった。

全期間平均の奇形果率は、すべての品種において、ヒロズキンバエ区がミツバチ区より有意に低かった。最も長い期間、ヒロズキンバエ区の奇形果率がミツバチ区より低かった品種は‘かおり野’と‘熊研い548’であり、‘アスカルビー’、‘福岡S6号’および‘古都華’では、ヒロズキンバエ区の奇形果率がミツバチ区より低い期間が短かった。(第4図、一部データ省略)。

なお、ヒロズキンバエ、ミツバチともに試験全期間を通じて、特段の活動低下は観察されなかった。

試験5. ヒロズキンバエ放飼ハウスにおける花卉が完全に開くまでの蕾への覆いが‘熊研い548’の果実の形状に及ぼす影響

ミツバチを放飼したハウスでは、蕾に袋を被せない場合に57.4%の果実で著しい奇形が認められたが、袋を被せた場合には全く認められなかった(第6表)。ヒロズキンバエを放飼したハウスでは著しい奇形果の発生は認められず、軽微な奇形果の発生率は、袋の有無にかかわらずミツバチを放飼したハウスより少ない傾向があった。

第5表 花粉媒介昆虫が異なる栽培施設におけるイチゴの収穫果重、収穫果数、平均果重、奇形果率および先青果数率(2013年~2014年、全期間平均)

Table 5. Total weight, total number, average weight and malformation rate of strawberry fruit harvested in the plastic house where blowflies or honey bees were applied as a pollinator (2013-2014)

品種	花粉媒介昆虫	収穫果重 ² (g/株)	収穫果数 ² (果/株)	平均果重 (g/果)	奇形果率 ³ (%)	先青果率 ³ (%)
アスカルビー	ヒロズキンバエ	695	51.0	13.7	21.3	0.4
	セイヨウミツバチ	706	44.7	15.8	32.7	0.3
	有意性*	NS	*	**	*	NS
福岡S6号	ヒロズキンバエ	581	36.6	15.9	11.3	9.8
	セイヨウミツバチ	586	31.1	19.0	30.0	3.8
	有意性	NS	NS	**	**	*
かおり野	ヒロズキンバエ	935	65.2	14.3	10.4	0.5
	セイヨウミツバチ	849	62.1	13.7	60.6	0.4
	有意性	NS	NS	NS	**	NS
古都華	ヒロズキンバエ	641	49.9	12.9	15.5	0.2
	セイヨウミツバチ	726	46.8	15.5	23.1	0.4
	有意性	*	NS	*	*	NS
熊研い548	ヒロズキンバエ	491	32.8	15.2	4.6	0.3
	セイヨウミツバチ	398	31.8	12.6	76.8	0.8
	有意性	NS	NS	*	**	NS
まりひめ	ヒロズキンバエ	661	50.9	13.0	5.4	1.7
	セイヨウミツバチ	630	46.9	13.5	35.6	0.5
	有意性	NS	NS	NS	**	NS
女峰	ヒロズキンバエ	681	77.2	8.9	24.5	1.3
	セイヨウミツバチ	772	75.5	10.2	40.9	0.5
	有意性	*	NS	*	*	NS
おいCベリー	ヒロズキンバエ	594	48.7	12.2	8.3	1.1
	セイヨウミツバチ	632	49.1	12.9	43.7	0.7
	有意性	NS	NS	NS	**	NS
さちのか	ヒロズキンバエ	421	33.3	12.7	3.1	0.9
	セイヨウミツバチ	459	38.8	11.9	39.4	0.9
	有意性	*	**	NS	*	NS
ゆめのか	ヒロズキンバエ	744	55.3	13.5	5.2	9.4
	セイヨウミツバチ	776	54.6	14.3	29.7	12.8
	有意性	NS	NS	NS	*	NS

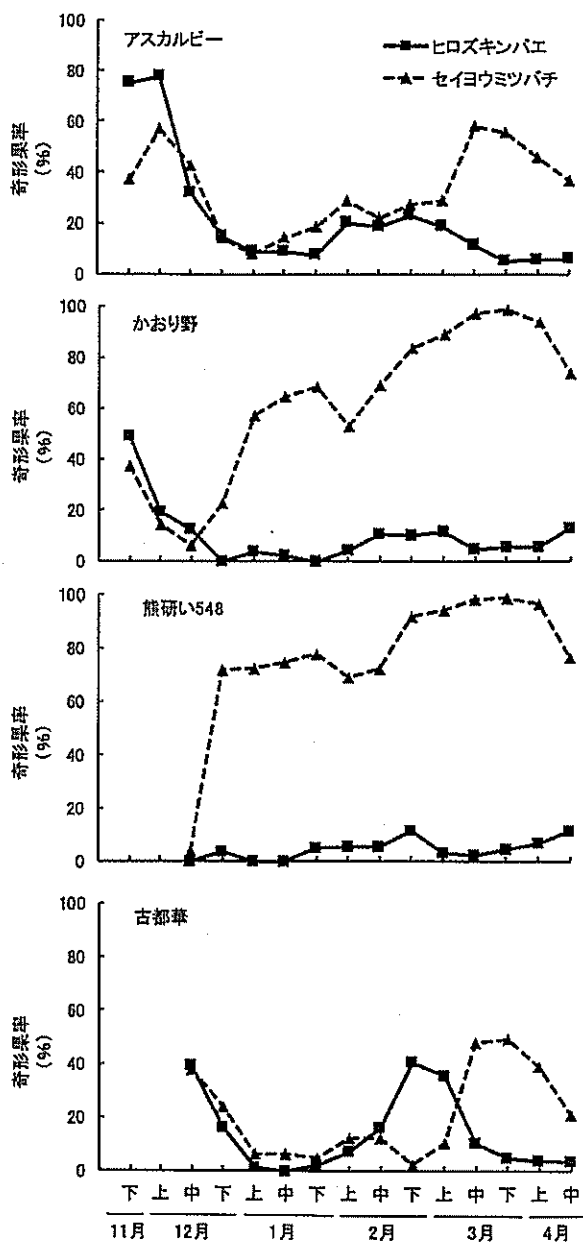
² 収穫期間は2013年11月または12月から2014年4月18日

³ 先青果と先つまり果は除き、果実数に基づき算出

³ 先つまり果を含み、果実数に基づき算出

³ StudentあるいはWelchのt検定により、**と*はそれぞれ1%水準、5%水準で有意差があることを、NSは5%水準で有意差がないことを示す(n=4、奇形果率と先青果率は角変換後の数値を検定)

西本登志ほか：イチゴの促成栽培における、花卉が完全に開く前にミツバチが訪花するために生じる雌ずいの損傷とそれに伴う奇形果発生、ならびに花粉媒介昆虫としてのヒロズキンバエの利用 (7)



第4図 花粉媒介昆虫が異なる栽培施設におけるイチゴの奇形果率の収穫時期別推移 (2013年~2014年)
Fig. 4. Changes of the rates of malformed strawberry fruits harvested in the greenhouse where blowflies or honey bees were applied as a pollinator (2013~2014)

考察

イチゴの受精不良による奇形果発生に関する研究は、ミツバチ利用技術の確立 (阿部, 1972; 川里・赤木, 1971) 以降少なくなったものの、大果系イチゴ‘愛ベリー’の果実先端部の不稔果に関する詳細な

第6表 開花までの花蕾への覆いがイチゴ‘熊研い548’の果実の形状に及ぼす影響 (2014年)

Table 6. Effects of covering on the flowers until full bloom on the shape of fruits in strawberry ‘Kumakan-1-548’ (2014)

交配昆虫	袋による花への覆い ²	奇形果率 ³ (%)	
		若い奇形	軽微な奇形
ヒロズキンバエ	有	0.0	8.1
	無	0.0	13.1
	有意性 ⁴	NS	NS
セイヨウミツバチ	有	0.0	27.4
	無	57.4	21.8
	有意性	**	NS

² 2014年3月16日~4月4日に花蕾を袋で覆い、花卉が完全に開いた2014年3月17日~4月7日に袋を除去

³ 奇形果は受精不良により果床の一部が肥大していない果実、奇形程度は第2図に従い分類、奇形果率は果実数に基づき算出

⁴ 角変換後の数値に、Welchのt検定により、**は1%水準で有意差があることを、NSは5%水準で有意差がないことを示す (n=4)

研究 (吉田ら, 1991a; 吉田ら, 1992; 吉田ら, 1991b; 吉田ら, 1987; 吉田ら, 1991c; 吉田ら, 1991d; 吉田ら, 1991e) に加えて、‘女峰’の花粉稔性 (吉田・谷本, 1999), ‘とちおとめ’の受精能力 (稲葉, 2001), ‘ゆめのか’の先青果 (野田, 2013), ‘さがほのか’における先絞り果 (安部ら, 2012; 岡・中山, 2008), および奇形果発生程度の品種間差異 (樋江井・榊原, 2011) に関する研究などが行われている。しかし、奈良県農業研究開発センターと岡山大学農学部で観察されている、花卉が完全に開く前の‘アスカルビー’の花にミツバチが訪れるために、雌ずいが物理的な障害を受けて黒変し肥大後に奇形果となるという現象に関して、発生頻度や品種間差異の有無を調査した事例は見当たらない。本研究では、花卉が完全に開く前のミツバチの訪花を妨げることで、‘アスカルビー’と‘熊研い548’の奇形果発生が減少することを確認した。一方、‘福岡S6号’, ‘古都華’, ‘女峰’および‘おいCベリー’では有意に減少しなかった。これらのことと、試験4の‘熊研い548’のミツバチ区において12月下旬以降4月中旬まで奇形果が他の品種より多く発生したことから (第4図), 花卉が完全に開く前の、ミツバチの訪花のしやすさ、あるいは雌ずいの傷つきやすさには品種間差異があり、‘熊研い548’はこのような性質のいずれか、あるいは両方を有すると考えられる。樋江井と榊原 (2011) は、ミツバチを放飼する300 m²の施設内で‘ゆめのか’, ‘とちおとめ’, ‘章姫’, ‘さがほのか’, ‘熊研い548’および‘やよいひめ’を促成作型

で栽培して花粉の発芽率と奇形果の発生程度を調査している。そして、①花粉の発芽率は季節変動し、品種間差異が認められた、②‘熊研い548’と‘やよいひめ’で果実の受精不良による奇形果が多発し、特に1月と3月に収穫した‘熊研い548’は奇形果率が85.2%、69.2%と高く、果実の奇形程度が‘章姫’より有意に大きかった、③ミツバチの訪花を妨げて1月と3月に手交配により自家受粉させた結果、受粉時の花粉発芽率と奇形果程度の間には相関が認められなかった、と報告している。さらに、ミツバチによる受粉で‘熊研い548’と‘やよいひめ’に特異的に奇形果が多かったのは、花粉稔性以外の要因が大きく影響しているためであろうと考察しているが、本研究の結果から、樋江井と榊原が試験を行った栽培施設においても、花卉が完全に開く前のミツバチの訪花によって‘熊研い548’の雌ずいが障害を受けていたと推察される。

ヒロズキンバエを花粉媒介昆虫として用いた結果、供試したすべての品種において、全期間平均の奇形果率が低下し、低下の程度は‘熊研い548’と、ミツバチの過剰訪花による奇形果が発生するとされる‘かおり野’（森・北村，2014）において顕著であった（第4図）。Yanagiら（2017）は、ミツバチとマルハナバチを花粉媒介昆虫として用いると他家受粉することがあるが、ヒロズキンバエを用いた場合には自家受粉しかしないと報告している。そのため、試験4のヒロズキンバエ区で認められた奇形果率の収穫時期による差異は、ヒロズキンバエによる受粉効率の時期による変化、または、それぞれの品種における花粉あるいは雌ずいの受精能力の変化によるものと考えられるが、イチゴの開花期間中にヒロズキンバエの活動低下が観察されなかったことから、主として、後者によって引き起こされたと推察される。香川県農業試験場において‘よつぼし’約200株と‘さぬき姫’約1000株を混植したハウスで、‘よつぼし’でミツバチの過剰訪花が原因と考えられる奇形果発生が多かったのが花粉媒介昆虫をヒロズキンバエに替えたところ、‘よつぼし’の奇形果は減少したが‘さぬき姫’の奇形果率が5%から40%程度に増えたという情報が得られている（中條，私信）。混植する品種とその割合によっては、ヒロズキンバエの訪花頻度に品種による違いが生じる場合があると考えられ、今後、混植の事例を収集する必要がある。なお、‘アスカルビー’のヒロズキンバエ区では11月下旬から12月中旬に奇形果発生が多かったが、

‘アスカルビー’の第1花房の上位の花は花梗が短く葉に隠れていることが多く、ヒロズキンバエが訪花し難かった可能性がある。また、‘熊研い548’の平均果重がヒロズキンバエ区でミツバチ区より大きかったのは（第5表）、ミツバチ区で奇形果が多発し果実肥大が劣ったためと考えられる。

奈良県では3a程度の小規模栽培施設に25,000円のミツバチの巣箱を1箱導入しているような事例が多く、今後ミツバチの価格はさらに上昇する可能性が高い。ヒロズキンバエの蛹は1匹当たり2円で販売されており、これまでの研究結果（東井ら，2017a）から7～10日間隔で300匹/aの放飼が必要であると考えられる。別途必要な宅配便による輸送費を共同購入などによって大幅に削減できれば、ヒロズキンバエを代替の花粉媒介昆虫としてミツバチと同等の費用で3～4か月にわたって導入できる。

さらに、ミツバチの過剰訪花による奇形果が発生するとされる‘かおり野’、‘やよいひめ’（宮本ら，2013）、‘よつぼし’（中條，私信）といった品種や、花卉が完全に開く前の訪花によって奇形果が発生する‘熊研い548’や‘アスカルビー’を栽培する場合には、本研究で認められたような奇形果発生の低減効果が期待でき、十分な実用性があると考えられる。

ただし、普及開始後間もないヒロズキンバエは実用上の注意点が十分に解明されていない。最近の研究では、スピノサド水和剤とスピネトラム水和剤は散布後21日以上ヒロズキンバエの活動を阻害することや（東井ら，2017b）、ハウス内の低温（金森ら，2017）と高温（山崎ら，2017）が蛹の羽化を妨げることが示されている。安定した受粉効果が得られるようヒロズキンバエを利用するには、今後、農薬の影響の解明や羽化に関して失敗のない蛹の管理技術の確立のほかに、ヒロズキンバエの活動に影響を及ぼす栽培管理技術の有無を明らかにするなど、一層の研究が必要である。

摘要

セイヨウミツバチを放飼するイチゴの栽培施設において、‘アスカルビー’と‘熊研い548’では、花卉が完全に開く前のミツバチの訪花により雌ずいが障害を受け、肥大後に奇形果となる場合があることを確認した。また、このような現象が起きている施設内では、花卉が完全に開くまでミツバチの訪花を

西本登志ほか：イチゴの促成栽培における、花卉が完全に開く前にミツバチが訪花するために生じる雌ずいの損傷とそれに伴う奇形果発生、ならびに花粉媒介昆虫としてのヒロズキンバエの利用 (9)

妨げると奇形果の発生が明らかに低減した。‘アスカルビー’、‘福岡 S6 号’、‘かおり野’、‘古都華’、‘熊研い 548’、‘まりひめ’、‘女峰’、‘おい C ベリー’、‘さちのか’ および ‘ゆめのか’ を栽培する 130 m² の栽培施設において、概ね 7 日間隔で 300 匹のヒロズキンバエを放飼すると、巣枠 5 枚のミツバチの巣箱を導入した施設と比較して、いずれの品種においても、同等以上の受粉効果が得られ、全期間平均の奇形果率が低かった。

謝辞

‘よつぼし’ に関する貴重な情報を提供下さいました香川県農業試験場中條里映氏に感謝申し上げます。

引用文献

- 安部貞昭, 佐野雅俊, 戸井田雄一, 佐藤如, 豊田朋美, 江藤真美子. イチゴ ‘さがほのか’ における栽培要因が先しぼり果発生に及ぼす影響. 園学研. 2012, 11 (別 1), 396.
- 阿部泰典. ハウスイチゴの受精生理と栽培管理. 農業および園芸. 1972, 47, 1699-1703.
- 花田惇史, 吉田裕一, 佐藤卓也, 後藤丹十郎, 安場健一郎, 田中義行. 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. 園学研. 2016, 15, 161-169.
- 樋江井清隆, 榎原政弘. イチゴ促成栽培における花粉稔性及び奇形果発生の品種間差異. 愛知農総試研報. 2011, 43, 33-39.
- 稲葉幸雄. イチゴ ‘とちおとめ’ の花粉と雌ずいの受精能力. 栃木農試研報. 2001, 50, 51-61.
- 金森健一, 佐々木真一郎, 西本登志, 佐藤卓也, 吉田裕一, 山崎敬亮, 石津文人. イチゴ花粉媒介昆虫としてのヒロズキンバエの羽化に及ぼす栽培環境の影響. 園学研. 2017, 16 (別 2), 204.
- 川里 宏, 赤木 博. イチゴのハウス栽培における受粉用ミツバチの利用法. 農業および園芸. 1971, 47, 1049-1053.
- 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. Diabetic foot に対するウジムシ治療. 脈管学.

2005, 45, 443-450.

- 宮本雅章. “ハチの生態と活用方法”. 最新農業技術野菜 vol.5 イチゴ 促成栽培の新技術. 農山漁村文化協会編. 農山漁村文化協会, 2012, 131-134.
- 宮本雅章, 小泉丈晴, 手塚俊行, 田中栄嗣. 促成イチゴ栽培における花粉媒介昆虫の訪花活動数の適正範囲. 群馬農技セ研報. 2013, 10, 25-30.
- 森 利樹, 北村八祥. “かおり野”. 農業技術大系 野菜編 第 3 巻 イチゴ. 農山漁村文化協会編. 農山漁村文化協会. 2014, 基 267-基 271.
- 奈良県農業技術センター. イチゴ高設栽培 (ピートベンチ栽培) の手引き. 2014.
- 信岡 尚, 東井君枝. “アスカルビー”. 最新農業技術野菜 vol.5 イチゴ 促成栽培の新技術. 農山漁村文化協会編. 農山漁村文化協会. 2012, 217-220.
- 野田和也. イチゴ ‘ゆめのか’ の高設栽培における基肥窒素施肥量の違いと収量, 生理障害果の発生. ながさき普及技術情報. 2013, 33.
- 岡 和彦, 中山敏文. イチゴ ‘さがほのか’ に発生する奇形果 (第 2 報) 施肥法と微量要素肥料の施用が奇形果発生に及ぼす影響. 園学研. 2008, 7 (別 1), 118.
- 岡田 匡. 糖尿病とウジ虫治療 マゴットセラピーとは何か. 岩波書店. 2013. 118 p., (岩波科学ライブラリー 217)
- 東井君枝, 西本登志, 矢奥泰章, 根本明季, 佐藤卓也, 吉田裕一. 施設栽培イチゴに対する花粉媒介昆虫としてのヒロズキンバエの実用性. 園学研. 2017a. 16 (別 1), 320.
- 東井君枝, 西本登志, 根本明季, 厚見治之, 佐藤卓也. イチゴの受粉用ヒロズキンバエに対する薬剤の影響. 園学研. 2017b. 16 (別 2), 433.
- 山崎敬亮, 西本登志, 佐藤卓也, 吉田裕一, 金森健一, 村上健二, 生駒泰基. イチゴ栽培における花粉媒介昆虫ヒロズキンバエの羽化と太陽の直射光との関係. 園学研. 2017, 16 (別 2), 432.
- Yanagi, T., H. Miura, S. Isobe, N. Okuda and Y. Yoshida. Effect of insect pollinator on inbreeding versus outbreeding in open pollinated strawberry seeds. Sci. Hortic. (Amsterdam). 2017, 215, 112-116.
- 吉田裕一, 藤目幸敏, 中條利明. イチゴ ‘愛ベリー’ の花芽発育と奇形果発生に対する温度の影響. 園学雑. 1991a, 60, 575-582.
- 吉田裕一, 藤目幸敏, 中條利明. イチゴ ‘愛ベリー’

- の花芽発育と奇形果発生に対する窒素栄養の影響. 園学雑. 1992, 60, 869-879.
- 吉田裕一, 後藤丹十郎, 中條利明, 藤目幸擴. イチゴ雌ずいの形態と受精能力の開花後の変化. 園学雑. 1991b, 60, 345-351.
- 吉田裕一, 大井美知男, 藤本幸平. 大果系イチゴの奇形果発生に関する研究. (第1報). 奇形果の発生様相と雌ずいの発育について. 農業および園芸. 1987, 62, 1095-1097.
- 吉田裕一, 大井美知男, 藤本幸平. 大果系イチゴ‘愛ベリー’の果実形質, 収量と窒素施肥量, 苗質との関係. 園学雑. 1991c, 59, 727-735.
- 吉田裕一, 鈴田恵, 藤目幸擴, 中條利明. イチゴ花器および果実形質の品種間差異. 園学雑. 1991d, 60, 353-359.
- 吉田裕一, 谷本圭一郎. イチゴ‘女峰’花粉稔性の変化と日射量, 気温並びに体内炭水化物, 無機養分濃度との関係. 岡山大学農学部学術報告. 1999, 88, 39-45.
- 吉田裕一, 時實充洋, 藤目幸擴, 中條利明. イチゴの花芽形成時における雌ずいの分化時期と発育速度の変異. 園学雑. 1991e, 60, 619-625.