

西条柿の送粉ハナバチ類について

林 晴樹・清水加耶・宮永龍一*

Pollinating Bees of Oriental Persimmon Cultivar, ‘Saijo’ (*Diospyros kaki*) in Shimane, Japan

By Haruki HAYASHI, Usun SHIMIZU-KAYA and Ryoichi MIYANAGA*

Abstract Oriental persimmon, *Diospyros kaki*, belonging to family Ebenaceae is a popular fruit in Japan. Some leading cultivars are widely grown in the country. ‘Saijo’ is a commercially important cultivar mainly produced in Chugoku region, western Japan. Although the oriental persimmons are classified as being dioecious, ‘Saijo’ normally sets only female flowers and consequently, pollinators which transfer pollen from pollinizer trees to ‘Saijo’ are required to enhance fruit quality and quantity. Whilst the introduced honeybee, *Apis mellifera* is assumed to be an effective pollinator in orchards, the contribution of wild bees might be also important. In this study, we investigated the composition and abundance of the wild bee assemblage in the orchard of ‘Saijo’ where some ‘Zenjimaruru’ trees, a pollinizer cultivar, were planted in Shimane, western Japan over peak blooming season and compared the pollination efficiency (i.e., number of flowers visited per unit time, time spent per flower) of predominant flower visitors with introduced *A. mellifera*, as well as related pollen transport traits (i.e., number of pollen grains on the body surface). Twelve species of wild bees were collected in total, of which only 4 species were collected from ‘Saijo’. *Bombus ardens ardens* was the most dominant visitor to both ‘Saijo’ and ‘Zenjimaruru’. The number of flowers visited within 1 minute by 2 major flower visitors, *B. ardens ardens*, and *Xylocopa appendiculata cicutivolans* were higher than that visited by *A. mellifera*. Both *B. ardens ardens* and *X. appendiculata cicutivolans* captured on ‘Zenjimaruru’ carried large amounts of pollen grains on their body surface. The amount of pollen grains was high in *B. ardens ardens* captured on ‘Saijo’ flowers, whereas it was low in *X. appendiculata cicutivolans*.

Key words: foraging behavior, foraging rate, flower handling time, pollination efficiency, *Bombus*, *Apis*

はじめに

カキノキ科は2亜科4属およそ700種からなる。熱帯・亜熱帯地域を中心にアフリカ、東南アジア、南アメリカにかけて広く分布している (WALLNÖFER, 2001)。最も多くの種で構成されるカキノキ属 (*Diospyros*) は、アジア太平洋地域で高い種多様性を示すものの (DUANGJAI *et al.*, 2020)、日本からは8種が知られているのみである (大場・秋山, 2016)。

カキノキ *Diospyros kaki* THUNB は東アジア原産の落葉高木で、果実が食用となることから世界各地の温帯および亜熱帯地域で栽培されている。日本には1000年以上前に中国大陸から渡来し、野生化したものと推測されている。その後、交雑や品種改良が進んだ結果、明治末期には1000品種が記

島根大学大学院自然科学研究科

* 投稿責任者

録されている (YAMADA, 1993).

カキノキ属は基本的には雌雄異株とされているが、栽培品種の多くが雌花のみを着生する「雌個体」か、同一個体で雌花と雄花を着生する「雌雄異花同株個体」で構成される (赤木, 2017). 雌花のみを着生する品種の栽培園では、着果安定のため花粉源として雄花を有する「受粉樹」を混植し、受粉を促すことが一般的である. カキノキの送粉昆虫群集に関しては、三浦 (1982), NIKKESHI *et al.* (2019), NAKAMURA *et al.* (2020), KAMO *et al.* (2022) の報告がある.

島根県ではカキを果樹主要品目に位置付け、栽培振興を図っている. 主要品種は「西条」で、その栽培面積は日本でもっとも広い. 「西条」では雄花の着生はきわめてまれで、一般的には「非雄花着生品種」とされている (江角ら, 2015). 本研究では「西条」の生産に寄与している野生送粉者を明らかにするため、出雲市福富町のカキ栽培園において「西条」とその受粉樹である「禅寺丸」の訪花昆虫相を調査した. また、主要訪花種の送粉能力を送粉昆虫として栽培園に導入されているセイヨウミツバチ *Apis (Apis) mellifera* のそれと比較した.

材料および方法

1. 調査地の概要

調査は出雲市東福町の山間のカキ栽培園において、2019年5月24日から30日に実施した. 調査した栽培園では、受粉樹として「禅寺丸」、栽培品種として「西条」のほか、「富有」が植栽されていた. このうち「西条」の植栽面積は40a、植栽本数は236本であった. 受粉樹である「禅寺丸」は、「西条」および「富有」の園地周辺にそれぞれ11本と7本が植栽されていた.

2. 訪花昆虫相

各品種の訪花昆虫相を明らかにするため、2019年5月24日から30日にかけてサンプリング調査を行なった. サンプリングはハナバチ類を対象とし、24日から27日は「禅寺丸」、29日から30日は「西条」で実施した. 開花の最盛期は「禅寺丸」が26日、「西条」が29日と推定された. サンプリングは捕虫網を用いた任意採集により、調査日の午前9時から午後6時に行った. 栽培園には送粉昆虫としてセイヨウミツバチ (以下、セイヨウ) が導入されていた. これについては訪花個体数のみをカウントしたが、一部は後述する体表面の花粉粒数調査のため採集した. サンプリングした個体は研究室に持ち帰り乾燥標本とした. 標本の同定は村尾竜起博士 (株式会社地域環境計画) に依頼した.

調査地における訪花昆虫群集の種構成を解析するため、各種の95%信頼度における母集団出現率を定法 (佐久間, 1964) により推定した. 用いた近似式は以下のものである.

$$\text{母集団出現率} = (n/N \pm 2\sqrt{n(N-n)/N^3}) \times 100$$

ここで N は得られた総個体数、 n は当該種の個体数である. 算出した母集団出現率の下限値が平均出現率 ($1/S \times 100$; ただし S は総種数) を超える種を優占種とした.

3. 訪花効率

訪花ハナバチ類の訪花効率を明らかにするため、訪花頻度の高い種について「花上滞留時間」と「訪花速度」を測定した. 「花上滞留時間」とは訪花者が一つに花に到達してから離れるまでの時間、すなわち訪花者が花上で採餌に費やした時間を示し、「訪花速度」とは単位時間あたりの訪花花数を示す. 後者については、飛翔と訪花を繰り返すハナバチ類を追跡し、最初の訪花から見失うまでの時間をストップウォッチで計測するとともに、この間に訪れた花数をカウントして得た

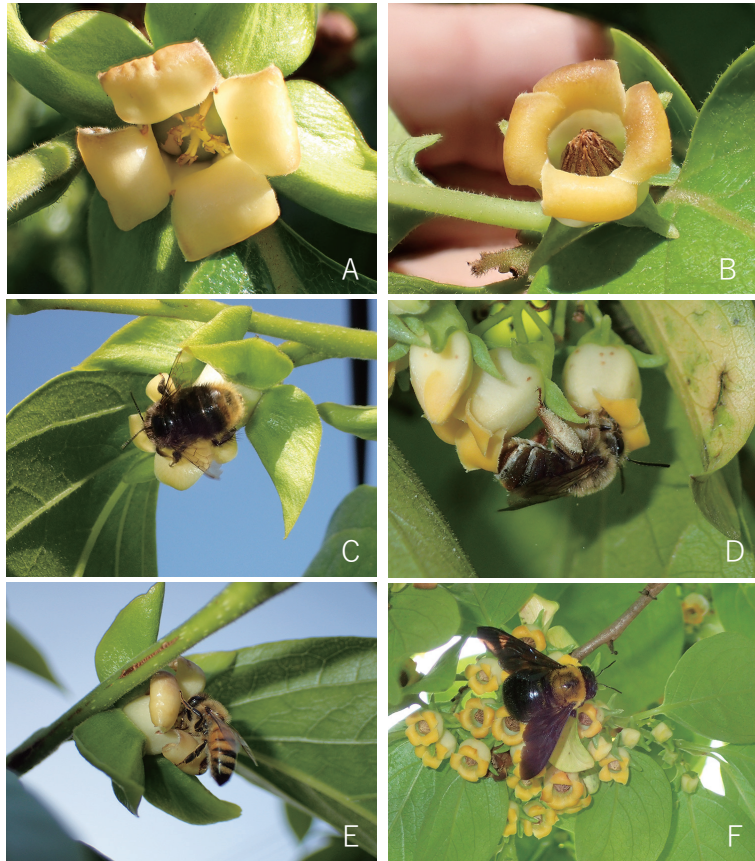


図1. カキノキの花と主要訪花ハナバチ類。
A: 雌花(西条), B: 雄花(禅寺丸), C: コマルハナバチ, D: ニッポンヒゲ
ナガハナバチ, E: セイヨウミツバチ, F: キムネクマバチ

「訪花花数/秒」をもとに、1分間あたりの訪花花数を算出して示した。これらの調査とあわせて、訪花頻度の高い種については花上での訪花行動を観察・記録した。

「西条」および「禅寺丸」は下向きに開花する釣鐘状の花を着生する。固い花冠の奥に報酬形質である花蜜を分泌する蜜腺や花粉を放出する雄ずいがある(図1)。花冠開口部からこれら報酬形質へ素早くアクセスできるかどうか、送粉効率に大きく影響することが予想されたため、両品種の花冠開口部のサイズと主要訪花ハナバチ類の体サイズ(頭幅)を比較した。開口部のサイズの測定にあたっては、花卉が完全に展開した花を選んだ。開口部の形状は、「西条」では概ね四角形、「禅寺丸」では四角形から楕円形であったことから(図1)、四角形の場合は長辺、楕円形の場合は長径の長さを測定した。

4. 送粉者の体表面上の花粉粒の分布

訪花ハナバチ類の花粉運搬能力を明らかにするため、「西条」および「禅寺丸」花上でサンプリングした主要訪花種について、乾燥標本の体表面上に付着していたカキノキ属の花粉粒をカウントした。実体顕微鏡下で面相筆を用いて体表面から拭き取った花粉粒を、乳酸を滴下したスライドガ

表1. 西条および禅寺丸で採集したハナバチ類の種別個体数.

科名	種名	品種	
		西条	禅寺丸
Colletidae	<i>Hylaeus (Nesoprosopis) floralis</i> (SMITH)		
ムカシハナバチ科	スミスメンハナバチ	0	1
Andrenidae	<i>Andrena (Melandrena) watasei</i> COCKERELL		
ヒメハナバチ科	ワタセヒメハナバチ	0	3
Halictidae	<i>Lasioglossum (Lasioglossum) proximum</i> (SMITH)		
コハナバチ科	ズマルツヤコハナバチ	0	3
	<i>Lasioglossum (Leuchalictus) mutilum</i> (VACHAL)		
	サビイロカタコハナバチ	0	6
Megachilidae	<i>Megachile (Xanthosarus) willughbiella sumizome</i> HIRASHIMA et MAETA		
ハキリバチ科	スミゾメハキリバチ	1	0
Apidae	<i>Xylocopa (Alloxylocopa) appendiculata circumvolans</i> SMITH		
ミツバチ科	キムネクマバチ	3	82
	<i>Ceratina (Ceratina) japonica</i> COCKERELL		
	ヤマトツヤハナバチ	0	1
	<i>Nomada japonica</i> SMITH		
	ダイミョウキマダラハナバチ	0	1
	<i>Eucera (Synhalonia) nipponensis</i> (PÉREZ)		
	ニッポンヒゲナガハナバチ	7	37
	<i>Bombus (Pyrobombus) ardens ardens</i> SMITH		
	コマルハナバチ	24	132
	<i>Bombus (Bombus) ignitus</i> SMITH		
	クロマルハナバチ	0	3
	<i>Apis (Apis) cerana japonica</i> RADSZKOWSKI		
	ニホンミツバチ	0	2
合計	個体数	35	271
	種数	4	11

ラスに移して封入し、プレパラートとした。光学顕微鏡下でプレパラートに含まれる花粉粒数をカウントした。計数は1種につき、4~5個体用いて行った。

標本が後脚に花粉荷を保持していた場合は、ピンセットを用いてこれを除去したのち、2-5 ml 乳酸中に懸濁した。懸濁液を血球計算盤に滴下し、計算盤上の0.001 ml の領域に含まれる花粉粒数を光学顕微鏡下でカウントした。この作業を1種につき10回反復し、得られた平均花粉粒をもとに花粉荷に含まれる総花粉粒数を推定した。

結果

1. 訪花ハナバチ相

調査期間中に「西条」および「禅寺丸」で採集したハナバチ類は5科12種306個体であった(表1)。その内訳を科別にみると、ミツバチ科が7種292個体(セイヨウを除く)、ハキリバチ科が1種1個体、コハナバチ科が2種9個体、ヒメハナバチ科が1種3個体、ムカシハナバチ科が1種1個体で、ミツバチ科が全体の95.4%(292/306)を占めた。なお、両品種でカウントしたセイヨウの訪花個体数は、合計591個体であった。採集種数および個体数をカキの品種別にみると、「西条」が4種35個体であるのに対し、「禅寺丸」が11種271個体であった。両品種で共通していたのは、コマルハナバチ *Bombus ardens ardens* (以下、コマル)、ニッポンヒゲナガハナバチ *Eucera (Synhalonia) nipponensis* (同、ヒゲナガ)、キムネクマバチ *Xylocopa (Alloxylocopa) appendiculata circumvolans* (同、キムネ) の3種であった。

採集されたハナバチ類のうち採集個体数が多い上位種の優占状況を見るために、佐久間(1964)

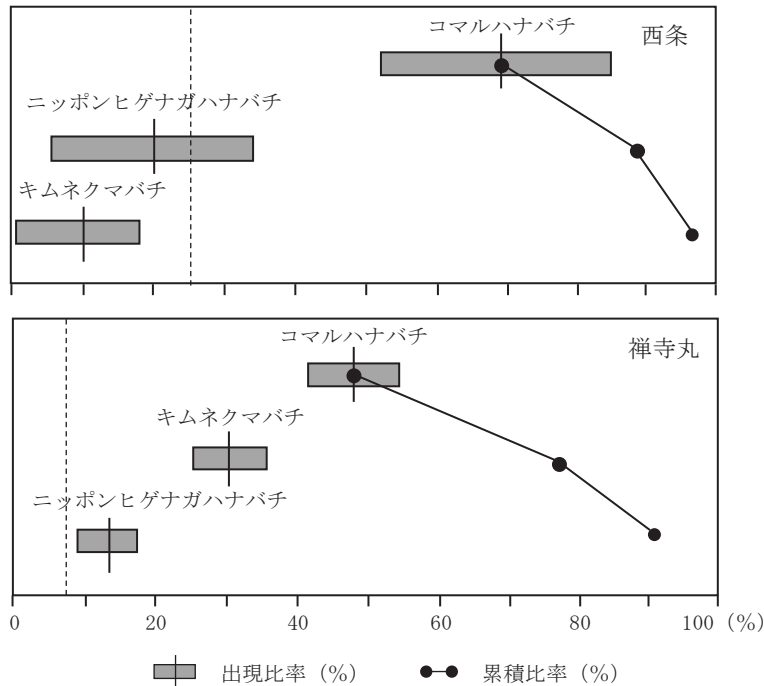


図2.「西条」(上)および「禅寺丸」(下)における主要訪花ハナバチ類の出現比率と累積比率(平均出現率は点線で示す).

の百分率法をもちいて抽出した結果を図2に示した. 本図にはそれぞれの種が占める個体数の百分率とその上下信頼区間(95%)を示してある. その下限が平均出現率(総個体数/総種数)を超えた種を優占種とした. これに該当するものは、「禅寺丸」ではコマル, ヒゲナガ, キムネの3種, 「西条」ではコマルの1種のみであった.

2. 訪花効率と訪花行動

「西条」におけるヒゲナガ, コマル, キムネの滞留時間の平均はそれぞれ 9.5 ± 4.9 秒(N=10), 8.3 ± 4.7 秒(N=35), 7.0 ± 3.0 秒(N=19)で, 後二者はそれぞれセイヨウミツバチ(以下, セイヨウ)の 15.0 ± 8.8 (N=32)よりも有意に短い値となった(図3左上, Tukey HSD, $p < 0.05$). 一方, 「禅寺丸」における滞留時間の平均はセイヨウ, ヒゲナガ, コマル, キムネの順にそれぞれ 9.0 ± 2.9 秒(N=10), 7.8 ± 3.6 秒(N=18), 6.9 ± 2.7 秒(N=12), 5.5 ± 4.2 秒(N=10)で, 種間に有意な違いは認められなかった(図3右上).

訪花速度について見ると, 「西条」ではキムネ, コマル, セイヨウ, ヒゲナガの順にそれぞれ平均 5.3 ± 1.5 個(N=5), 4.9 ± 1.8 個(N=33), 3.1 ± 1.3 個(N=27), 2.9 ± 0.5 個(N=6)で, キムネとセイヨウ, コマルとセイヨウ, コマルとヒゲナガの間で有意な違いが認められた(図3左下, Tukey HSD, $p < 0.05$). 「禅寺丸」ではキムネ, ヒゲナガ, セイヨウ, コマルの順に 11.6 ± 2.6 個(N=9), 7.2 ± 1.9 個(N=13), 4.7 ± 1.7 個(N=14), 4.7 ± 1.0 個(N=7)で, キムネと他3種およびヒゲナガとコマルの間で, それぞれ有意な違いが認められた(図3右下, Tukey HSD, $p < 0.05$).

ヒゲナガ, コマル, セイヨウは, いずれも訪花した際に, 花冠の縁などに脚をかけて体を保持し, 頭部あるいはその一部を花冠内に挿入しつつ採餌を行った(図1 C~E). 雌花(西条)に訪花した

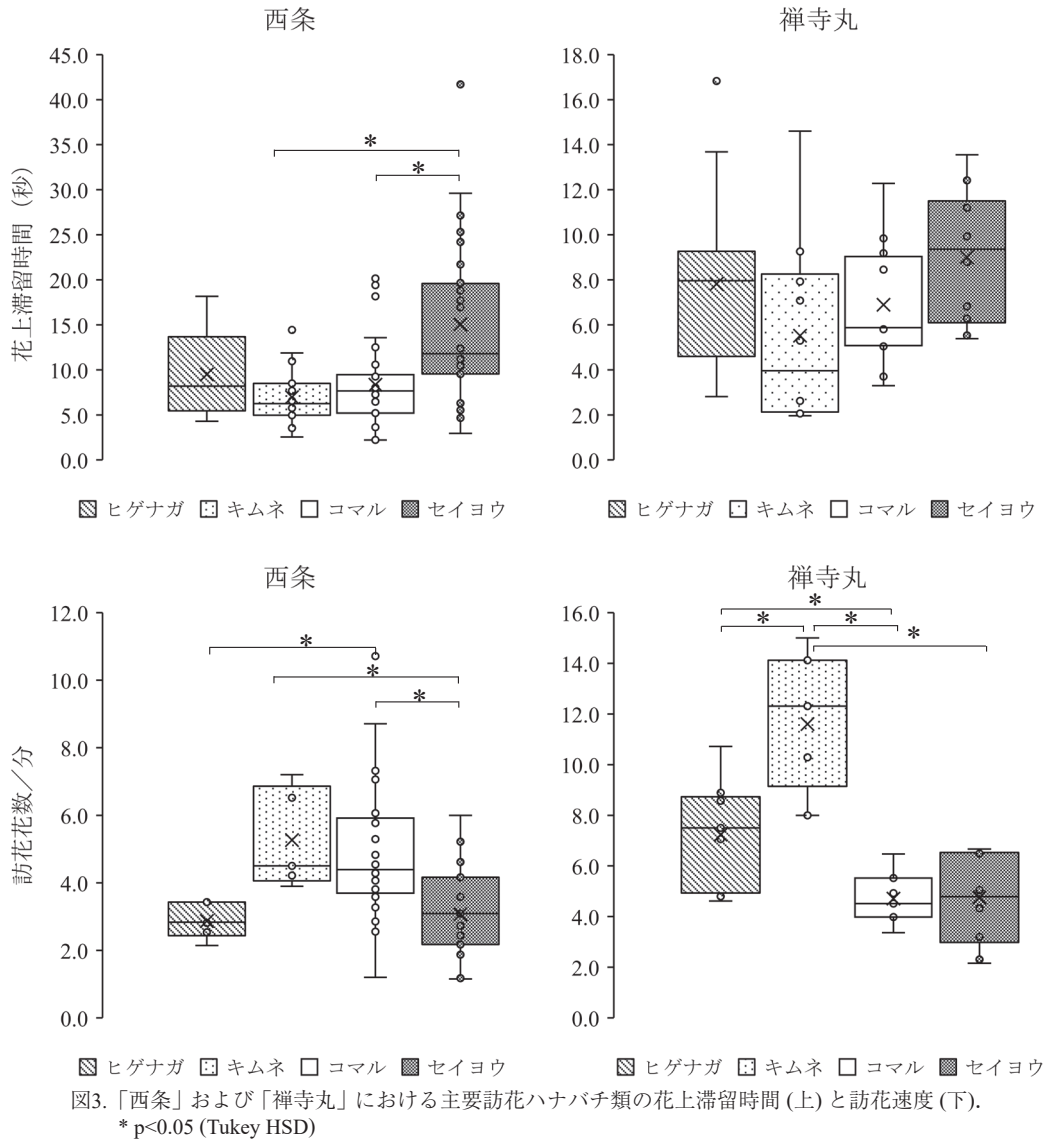


図3.「西条」および「禅寺丸」における主要訪花ハナバチ類の花上滞留時間(上)と訪花速度(下).
* p<0.05 (Tukey HSD)

際は、頭部を軸として花上で体を回転させ、同じ花冠内の複数の蜜腺から次々と吸蜜していた。結果として、柱頭にはおもに頭部および胸部の腹面が接触していた。ただし、キムネは花冠口に対して頭幅が大きいため(表2)、頭部を挿入することができず、口吻を伸ばして花冠外から吸蜜を行った(図1下)。また、キムネが雄花(禅寺丸)に訪れた際には、花冠口の下方にぶら下がって体を保持しつつ、胸部飛翔筋を震わせて葯から花粉を放出させる「振動採粉(sonication)」を行うことが観察された。

3. 体表面の花粉粒数

図4に「禅寺丸」および「西条」花上で採集したヒゲナガ、キムネ、コマル、セイヨウの花粉付着数を品種間で比較した結果を示した。「西条」で採集した個体に付着していた花粉は園内の「禅

表2. 主要訪花ハナバチ種の頭幅と「西条」および「禅寺丸」の花冠口長.

種名または品種名	頭幅または花冠口長 (mm)	N
<i>Eucera (Synhalonia) nipponensis</i> ニッポンヒゲナガハナバチ	4.2±0.1	10
<i>Xylocopa (Alloxylocopa) appendiculata circumvolans</i> キムネクマバチ	7.3±0.3	10
<i>Bombus (Pyrobombus) ardens ardens</i> コマルハナバチ	3.8±0.2	10
<i>Apis (Apis) mellifera</i> セイヨウミツバチ	3.7±0.1	10
西条	4.9±0.7	12
禅寺丸	3.6±0.5	10

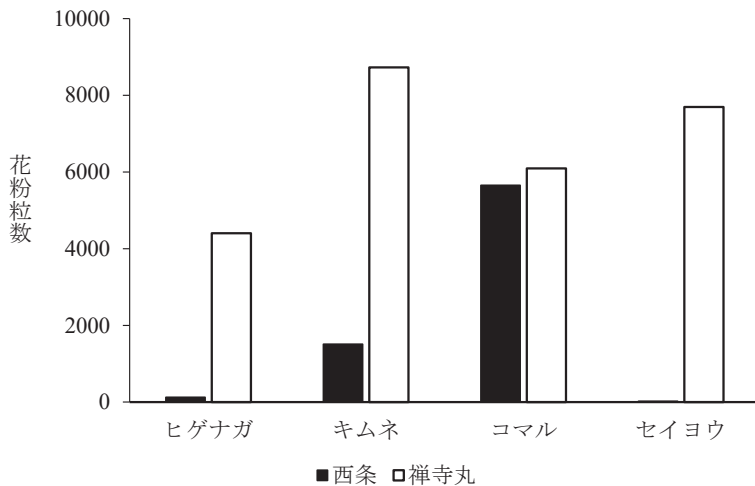


図4. 「西条」および「禅寺丸」で採集した主要訪花ハナバチ類の体表面上の平均花粉粒数.

寺丸」に由来するものとみなした. まず「禅寺丸」についてみると, 花粉粒の付着数はキムネで最も多く, その平均は 8272.4 ± 8468.8 粒 ($N=5$) であった. 次いでセイヨウ (7696.0 ± 7683.2 粒, $N=4$), コマル (6094.8 ± 5525.9 粒, $N=5$), ヒゲナガ (4403.4 ± 4180.7 粒, $N=5$) の順であった. 付着数に種間で有意な違いは認められなかった (図4, ANOVA, $p=0.068$). 一方, 「西条」で最も多くの花粉粒が付着していたのはコマルで, 付着数の平均は 5653.5 ± 6403.3 粒 ($N=4$) であった. 次いでキムネ (1507.5 ± 2363.5 粒, $N=4$), ヒゲナガ (123.8 ± 129.1 粒, $N=5$), セイヨウ (22.2 ± 15.5 粒, $N=4$) の順であった. 付着数はコマルできわめて多く, セイヨウできわめて少ない結果となったが, 種間で有意な違いは認められなかった (ANOVA, $p=0.75$).

考 察

本調査地ではコマルハナバチ *Bombus ardens ardens*, ニッポンヒゲナガハナバチ *Eucera (Synhalonia) nipponensis*, キムネクマバチ *Xylocopa (Alloxylocopa) appendiculata cicumvolans* が、「西条」および受粉樹である「禪寺丸」の主要訪花昆虫であることが示された。なかでもコマルは両品種で優占種であった。本種は典型的な早期出現・短期営巣型のマルハナバチで、本州では3月に創設メスが営巣活動を開始し、6月には新女王とオスが出現、7月にはコロニーの活動が終了する。カキノキの開花期は真社会性期の中頃にあたり、多くのワーカーが採餌活動を行っていたことが、最優占種となった理由の一つと考えられる。

本種がカキノキの主要送粉昆虫であることについては、すでに NIKKESHI *et al.* (2019) および NAKAMURA *et al.* (2020) の報告がある。また、セイヨウミツバチ *Apis (Apis) mellifera* との比較において、本種は訪花頻度(単位時間あたりの採集個体数あるいは目撃数)が高いことに加え、体表面上の花粉粒数がきわめて多いことから、より有効な送粉者であることが示唆されている(NIKKESHI *et al.*, 2019)。その一方で、KAMO *et al.* (2022) はコマルとセイヨウの1回訪花あたりの柱頭花粉付着数を実測し、両者で大きな違いはなく、ともに20~30粒程度であることを示している。これは雌花に訪花した際に、柱頭にふれる部位が限定されていることによるものと考えられる。実際に「西条」ではセイヨウ、コマルともに主として顔面と胸部の腹面が柱頭に触れており、このような部位の花粉粒数が実際の送粉能力を評価するうえで重要になるものと考えられる。

コマルのカキノキの送粉者としての有効性を訪花行動から見ると、本種の「西条」における「花上滞留時間」はセイヨウよりも有意に短く、「訪花速度」は速かった。このことはコマルがセイヨウよりも、限られた開花期間のなかでより多くの花を訪れる能力があることを示唆している。キムネもコマルと同様、「西条」における「花上滞留時間」および「訪花速度」はセイヨウと有意に異なり、さらに「振動採粉」が観察された「禪寺丸」の「訪花速度」はコマル、セイヨウの2倍以上に達した。本種がコマルより効率的な送粉者となりうることを示唆しているが、その一方で、本種の「西条」、すなわち雌花への訪花頻度はきわめて低くかった。体サイズが大きく、口吻の長い本種にとって、雌花は必ずしも好適な蜜源ではないのかもしれない。

謝 辞

野外調査に協力いただいた恩田秀樹氏(カキ園園主)、澤村信男氏(島根県農業技術センター)、首藤裕貴氏(島根大学生物資源科学部、当時)、大松勇司氏(島根大学生物資源科学部、同)、ハナバチ類を同定いただいた村尾竜起博士(株式会社地域環境設計)に深くお礼申し上げる。

引用文献

- 赤木剛士, 2017. 柿の性決定機構から考える種子植物の性. 植物の生長調整, **57**: 31–38.
- DUANGJAI, S., S. RUEANGRUEA, T. PHUTTHAI, D. MIDDLETON & S. SUDDEE, 2020. *Diospyros phuwuaensis* (Ebenaceae), a new species from North-Eastern Thailand. *Thai Forest Bul.*, **48**: 34–44.
- 江角智也・渡辺 諄・小杉友華菜・大畑和也・板村裕之, 2015. カキ‘西条’における雄花の発見. 島根大学生物資源科学部研究報告 **20**: 3–8.
- KAMO, T., A. NIKKESHI, H. INOUE, S. YAMAMOTO, N. SAWAMURA, S. NAKAMURA & S. KISHI., 2022. Pollinators

of Oriental persimmon in Japan. *Appl. Ent. Zool.*, **57**: 237–248.

三浦 正, 1982. 西条カキ園における訪花昆虫群集の日変化について. 島根大農研報 **16**: 166–171.

NAKAMURA, S., S. YAMAMOTO, N. SAWAMURA, A. NIKKESHI & T. KAMO, 2020. Pollination effectiveness of European honeybee, *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae), in an Oriental persimmon, *Diospyros kaki* (Ericales: Ebenaceae), orchard. *Appl. Ent. Zool.*, **55**: 405–412.

NIKKESHI, A., H. INOUE, T. ARAI, S. KISHI & T. KAMO, 2019. The bumblebee *Bombus ardens ardens* (Hymenoptera: Apidae) is the most important pollinator of Oriental persimmon, *Diospyros kaki* (Ericales: Ebenaceae), in Hiroshima, Japan. *Appl. Ent. Zool.*, **54**: 409–419.

大場秀章・秋山 忍, 2016. カキノキ科カキノキ類論説. *J. Jpn. Bot.*, **91**: 293–313.

佐久間昭 (1964) 生物検定法：その計画と分析. 東京大学出版会.

WALLNÖFER, B., 2001. The biology and systematics of Ebenaceae: a review. *Ann Naturhist. Mus. Wien*, **103**: 485–512.

YAMADA, M., 1993. Persimmon Breeding in Japan. *JARQ* **27**: 33–37.

(2023年2月27日受領, 2023年3月16日受理)