

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

水野 宗衛・吉田 忠晴・清川 一真・佐々木 正己

マンゴー (*Mangifera indica* L.) はウルシ科に属し、北部インドからミャンマーにかけての地域を原産地とする熱帯果樹である。日本では食文化の多様化に伴い、マンゴーやライチなどの熱帯果樹の消費が拡大されている。特定果樹生産動態等調査によれば、マンゴーの栽培状況は平成元年で栽培面積は 103 ha、出荷量 176 t であったが、2004 年度には栽培面積が 305 ha、出荷量は 2,017 t と大幅に増加し、今後の出荷量の増大が期待されている（農林水産省生産局果樹花卉課, 2006）。生産地は沖縄県、鹿児島県および宮崎県で完熟果や高品質の果実が生産され、市場では高価に取引されている。

マンゴーの花は両性花、雄花からなる複総状花序であり、開花期間中に、1 花序当たり 2,000 ~ 20,000 花の小花を形成するが、わずか 2 ~ 3 個程度の着果であり、結果率の極めて低い果樹である。しかも着果した果実は無種子果となることが多い。無種子果は果実重 100 g 前後と小果となり、有種子果の 200 ~ 500 g に比べ商品価値が低いという問題点がある（佐々木, 1995）。

商品価値の高い有種子果をより多く生産させるためには、受粉率を上げることが重要である。石畑（2000）はマンゴーは花床に蜜を分泌するが、その蜜を求めて、ミツバチ、スズメバチ、チョウ、アリ、アザミウマ等が訪花し花粉媒介者として受粉を助けていると述べ、安富（2000）は開花期間中に、積極的にハチやハエ類をハウス内に導入すべきであると述べている（図 1）。また Litz（1997）はスズメバチ、ハナバチ、アリそして大型のハエは受粉にもっとも有効であると述べている。現在沖縄県



図 1 マンゴーの花で吸蜜するニホンミツバチ

の栽培地ではホホジロオビキンバエやゲンロクニクバエを開花期間中に放飼している。佐々木ら（1998）は受粉遮断区で着果したすべての果実には種子が形成されなかったが、セイヨウミツバチをハウス内に放飼することで、果実肥大の優れる有種子果が多数形成され、収量が増加すると報告している。

そこで本試験では、昆虫を利用したマンゴーの安定果実生産を目的として、セイヨウミツバチ、ニホンミツバチ、クロマルハナバチをハウスに導入し、各昆虫の訪花特性を把握するとともにマンゴーの受粉および種子形成に及ぼす影響について調査した。

材料および方法

本研究は、玉川大学農学部付属熱帯植物機能開発施設（鹿児島県坊津町）の 2 連棟ビニールハウス（シラス土壌客土 4.8 a）および単棟ハウス（黒ボク土壌客土 2.4 a）に栽培されて

いる6年生‘アーウィン’樹を用いて、2005年に実施した。ハウス内は気温が5℃になるとボイラーが作動するように温度管理した。2連棟ハウスは二分し、それぞれにセイヨウミツバチ *Apis mellifera* とニホンミツバチ *A. cerana japonica* の巣箱を1箱ずつ、単棟ハウスにはクロマルハナバチ *Bombus ignitus* の巣箱を1箱設置した。セイヨウミツバチ、ニホンミツバチは2005年4月15日から5月26日まで、クロマルハナバチは2005年4月21日から5月30日まで導入した。巣箱内の室温が極端に上昇しないように、日よけ用のスレート板をそれぞれの巣箱上部に置き、ハウスの隅に置いた。

各ハウスの開花状況を把握するため、標準的な花房各3花房、計9花房を抽出し、小花の着生状態、形態および開花推移について、先端部、中央部、基部に3等分し調査した。また花の形態は雌ずい、雄ずいが各1本の小花を両性花、雄ずいのみ的小花を雄花、雌ずいが2本以上または無雄ずいあるいは2本以上含まれていたものを奇形花と分類し、セイヨウミツバチ区およびニホンミツバチ区では2005年4月5日から5月25日まで、クロマルハナバチ区では2005年4月10日から6月3日まで、調査を行った。それぞれの区では、開花最盛期の2005年4月27日から5月1日までの5

日間、各ハウスから代表的な1花房を選び、6～18時までビデオカメラを用い撮影し、1花房あたりの訪花頭数ならびに採餌行動時間を調査した。また、2005年5月3日および5月4日の2日間の晴天日、5月5日および5月6日の2日間の雨天にビデオカメラで各ハナバチの巣門を6～18時まで撮影し、1日あたりのセイヨウミツバチ、ニホンミツバチおよびクロマルハナバチの出巣頭数を調査した。さらに、各区における1花房あたりの結果数および種子の有無を確認するため各ハウスから無作為に5花房ずつ選び、樹上完熟落果後、結果数および種子の有無を確認し、1花房中における有種子果率（有種子果数／1花房中の結果数×100）を算出した。

本研究に用いたニホンミツバチ（1箱：5枚巢板群、約8000匹）は2002年から玉川大学ミツバチ科学研究センターで採蜜行動を良く行い、巢板上で落ち着いた行動をとり、管理しやすいように選抜された蜂群を供試した。セイヨウミツバチ（1箱：4枚巢板群、約8000匹）は花粉媒介用として熊本県八代市の福田養蜂場から購入した。クロマルハナバチ（1箱：約500匹）は農業用の花粉媒介昆虫として一般に市販されているクロマルハナバチ（商品名：ナチュポール・ブラック、アリスタライフサイエンス株式会社、約500匹）を用いた。

表1 各処理区における花房部位別、両性花、雄花、奇形花の開花割合および小花数

花房部位	セイヨウミツバチ区	ニホンミツバチ区	クロマルハナバチ区
先端部	両性花 (%)	63.1	53.7
	雄花 (%)	26.3	39.1
	奇形花 (%)	10.6	7.2
	小花数 (個) *	326.7 ± 22.9	488.3 ± 215.7
中央部	両性花 (%)	41.7	32.2
	雄花 (%)	49.9	61.1
	奇形花 (%)	8.4	6.6
	小花数 (個) *	554.7 ± 182.8	831.3 ± 44.7
基部	両性花 (%)	29.6	32.9
	雄花 (%)	60.6	60.5
	奇形花 (%)	9.8	6.6
	小花数 (個) *	1042 ± 329.7	1803 ± 1315.9
花房全体	両性花 (%)	38.8	36.0
	雄花 (%)	51.7	57.3
	奇形花 (%)	9.5	6.7
	小花数 (個) *	1923.3 ± 135.0	3122.7 ± 1544.7
			3152.7 ± 460.5

* 平均値 ± 標準偏差

結果および考察

開花調査

各ハウスにおける花房部位別、両性花、雄花、奇形花の開花割合および小花数を表1に示した。両性花開花割合は花房先端部でいずれの区でも50%以上であったが基部ほど低い傾向を示したが、雄花は先端部より基部で多くなる傾向を示した。

花房全体ではセイヨウミツバチ区とニホンミツバチ区のハウスで雄花が50%以上であったが、クロマルハナバチ区のハウスでは両生花が雄花よりも多い傾向を示した。

安富（2000）は‘ヘーデン’における気温と各花型の開花割合を調査したところ、両性花の開花割合は15℃～20℃で24.8%，20～25℃で28.4%，25～30℃で63.0%であり、低温下で發育した花房は両性花率が低くなり、開花期間が長くなると報告している。さらに山下・小川（1998）は‘アーウィン’樹を用い30℃の高夜温処理をしたところ花房中央部、基部で両性花形成率が増加したと報告している。佐々木（2002）は冬季10℃以上になるように管理したハウス栽培の3年生‘アーウィン’樹を用い、3月下旬から4月下旬にかけて両性花と雄花の開花割合を調査したところ、先端部では両性花が85%，雄花が13%，中央部では両性花が54%，雄花で43%，基部では両性花で39%，雄花で56%，花房全体では両性花で59%，雄花が37%となり両性花が多く着生していたと報告している。水野ら（2004）は4年生‘アーウィン’樹を用い、3月12日から5月24日にかけて両性花と雄花の開花割合を調査したところ両性花が37%，雄花が57%であった。また、水野ら（2001）は10年生の‘金煌’樹を用い、3月14日から5月7日にか

て両性花と雄花の開花割合を調査したところ、両性花は32.2%，雄花は67.2%であった。いずれの調査においても冬季のハウス内気温を5℃以上で管理していたため、室温が全体的に低く、両性花の開花割合が低くなったと推察できる。クロマルハナバチ区のハウスでは両性花が高い割合を示したが、これは他のハウスに比べ花房の生長が遅かったため、生長促進を目的として、3月上旬よりハウスの温度を高め管理したことにより、両性花が多く着生したと考えられた。

Litz（1997）は両性花と雄花の出現割合には環境や栽培条件が影響を及ぼすと報告している。本試験においてセイヨウミツバチ区およびニホンミツバチ区のマンゴー樹はシラス土壤に植栽されていたため樹勢は悪く、クロマルハナバチ区では黒ボク土壤に植栽されているため樹勢は旺盛であった。この土壤条件の違いも両性花の開花割合の違いの一因と考えられた。

各ハナバチの訪花と出巢状況

4月27日から5月1日の6時～18時における平均気温とセイヨウミツバチ、ニホンミツバチおよびクロマルハナバチの訪花数を表2に示した。調査期間中はニホンミツバチの訪花数がもっとも多く、次にセイヨウミツバチ、クロマルハナバチの順になった。いずれのハナバチも晴天時の平均訪花数は雨天時の平均訪花数に比べ多かった。晴天時における平均訪花数はニホンミツバチがセイヨウミツバチの約2倍と多い傾向がみられた。雨天時ではセイヨウミツバチとニホンミツバチでは大きな差はみられなかった。クロマルハナバチは巣箱内の個体数が少なく他の訪花昆虫と単純に比較することはできないが、晴天時における平均訪花数に対して雨天時は15%程度の訪花数であった。

表2 1 花房に訪花した各ハナバチ平均訪花数（頭）と当日の気象について

	4月27日	4月28日	4月29日	4月30日	5月1日	平均
セイヨウミツバチ区	663	720	821	665	288	631.4
ニホンミツバチ区	1148	1558	1271	721	455	1030.6
クロマルハナバチ区	98	14	79	22	9	69.6
平均気温（℃）	19.8	23.5	25.3	20.8	21.4	22.2
天候	晴天	晴天	晴天	雨天	雨天	

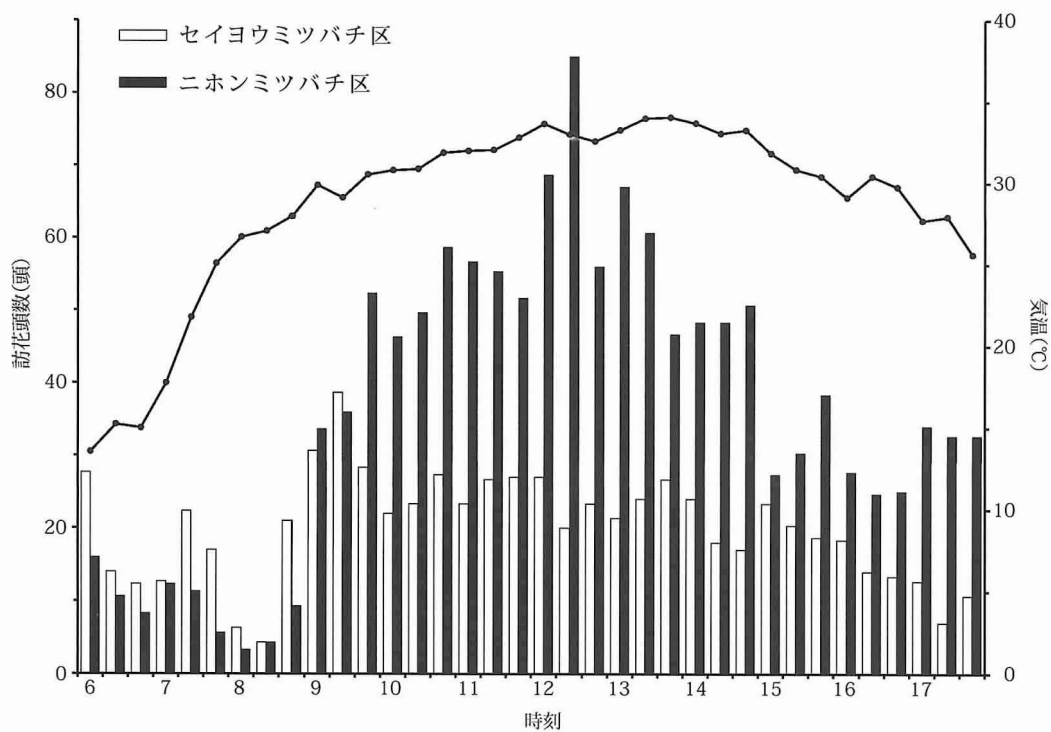


図2 晴天日における各ハナバチの時刻別訪花頭数推移

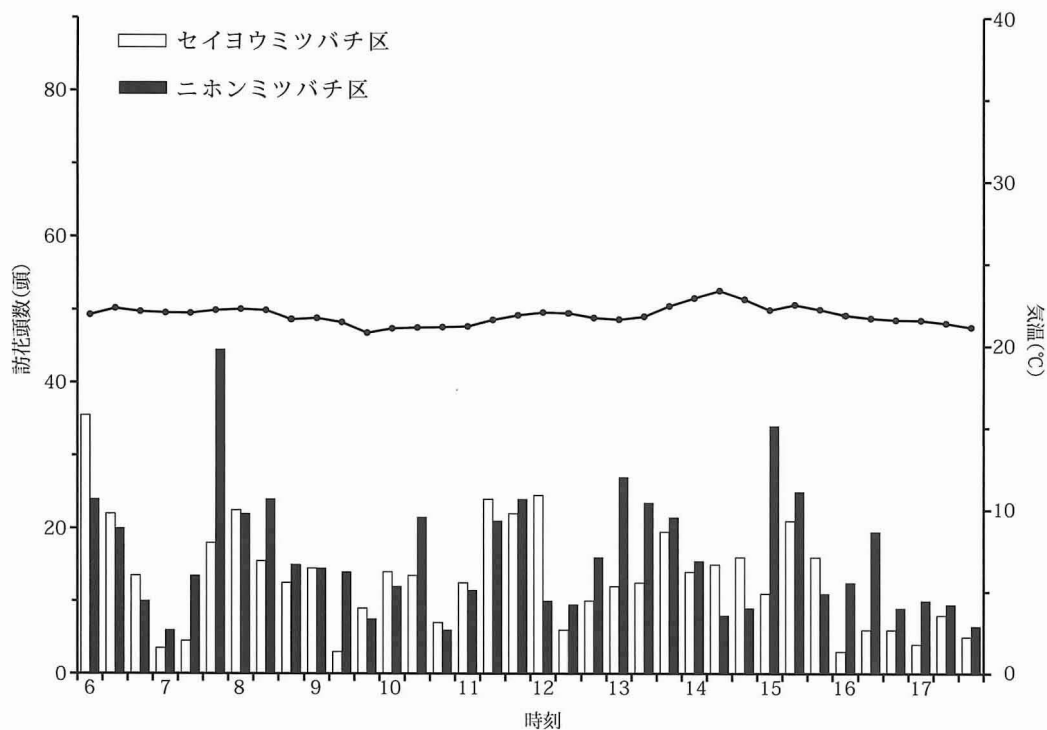


図3 雨天日における各ハナバチの時刻別訪花頭数の推移

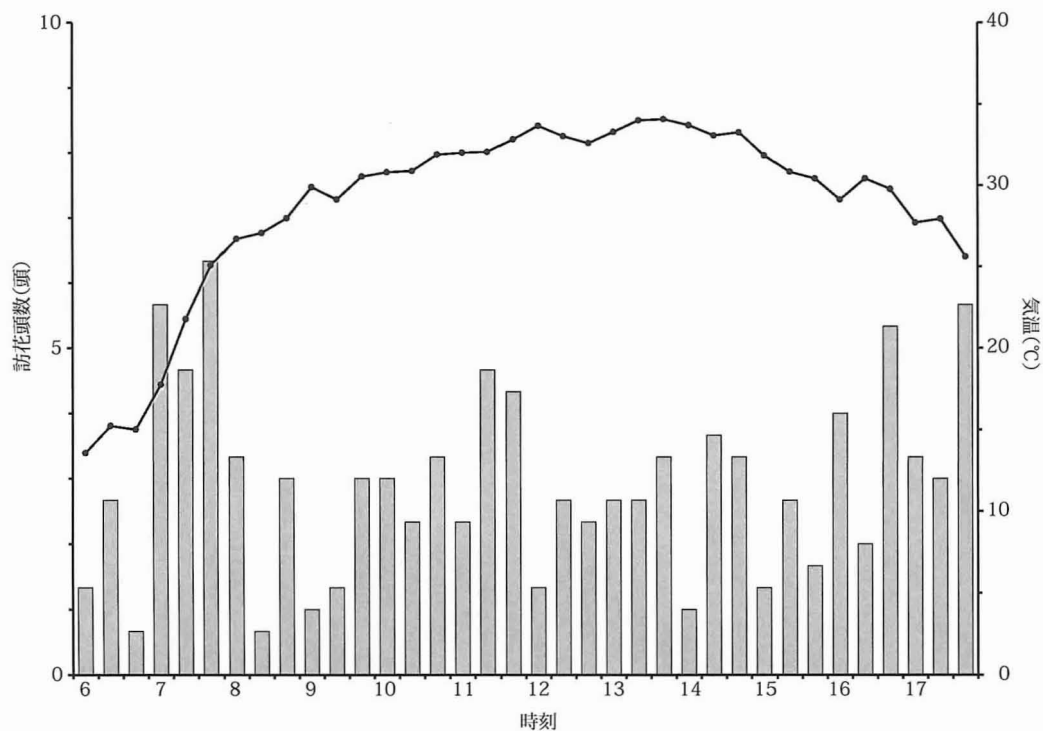


図4 晴天日におけるクロマルハナバチの時刻別訪花頭数の推移

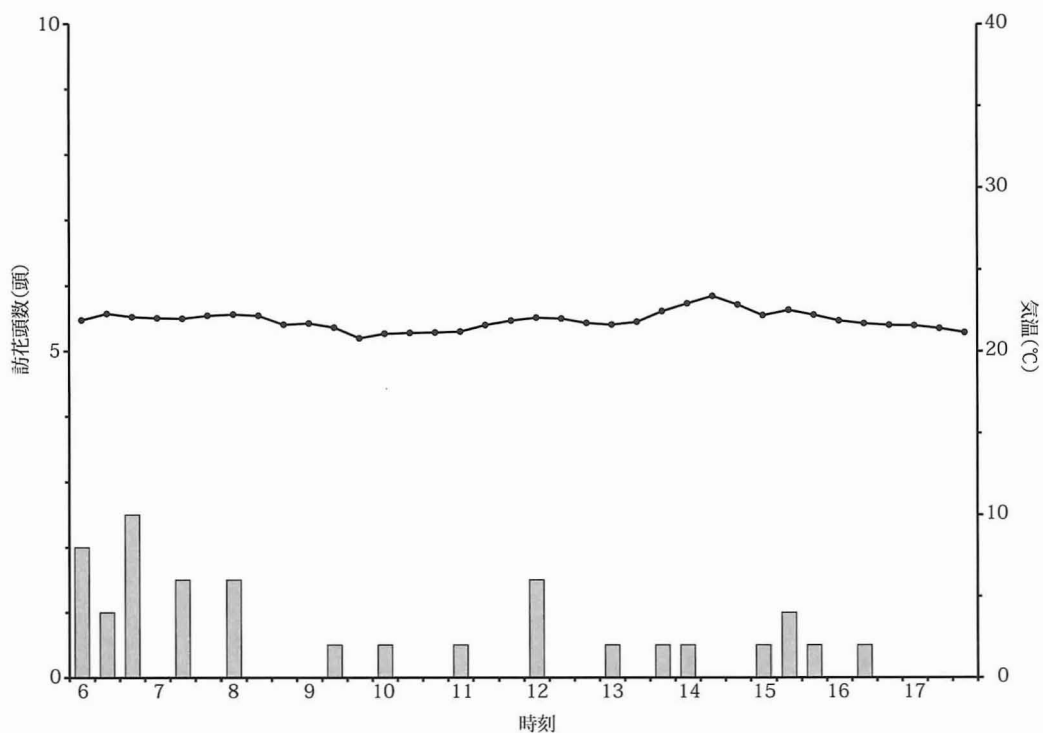


図5 雨天日におけるクロマルハナバチの時刻別訪花頭数の推移

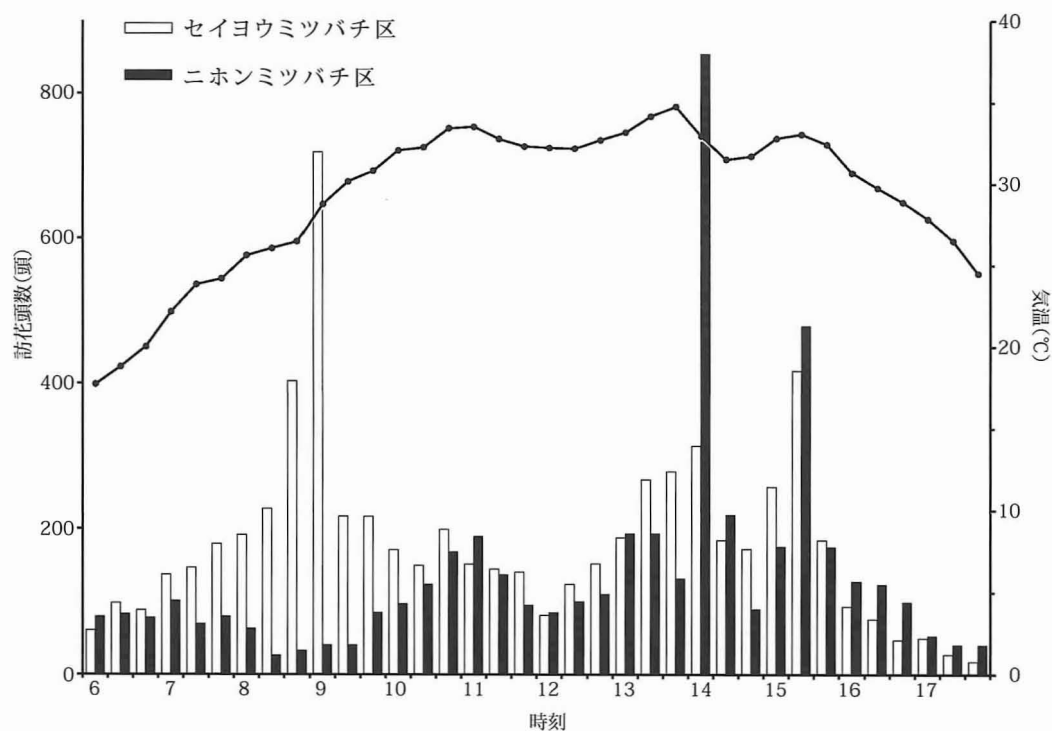


図6 晴天日における各ハナバチの時刻別出巣頭数の推移

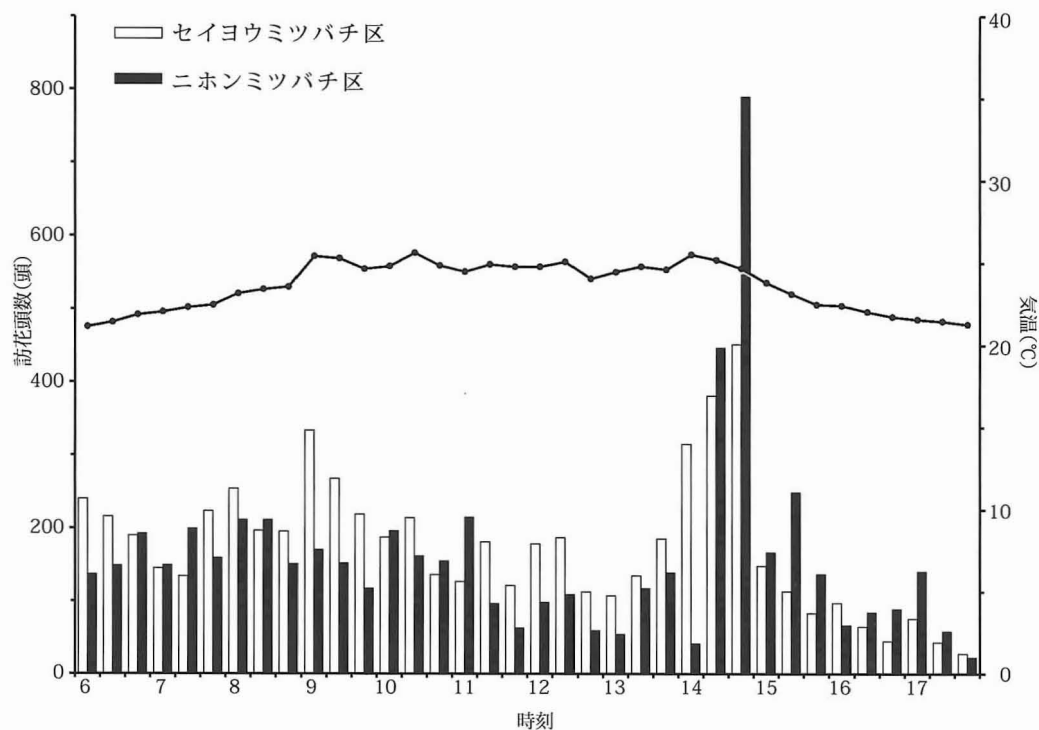


図7 雨天日における各ハナバチの時刻別出巣頭数の推移

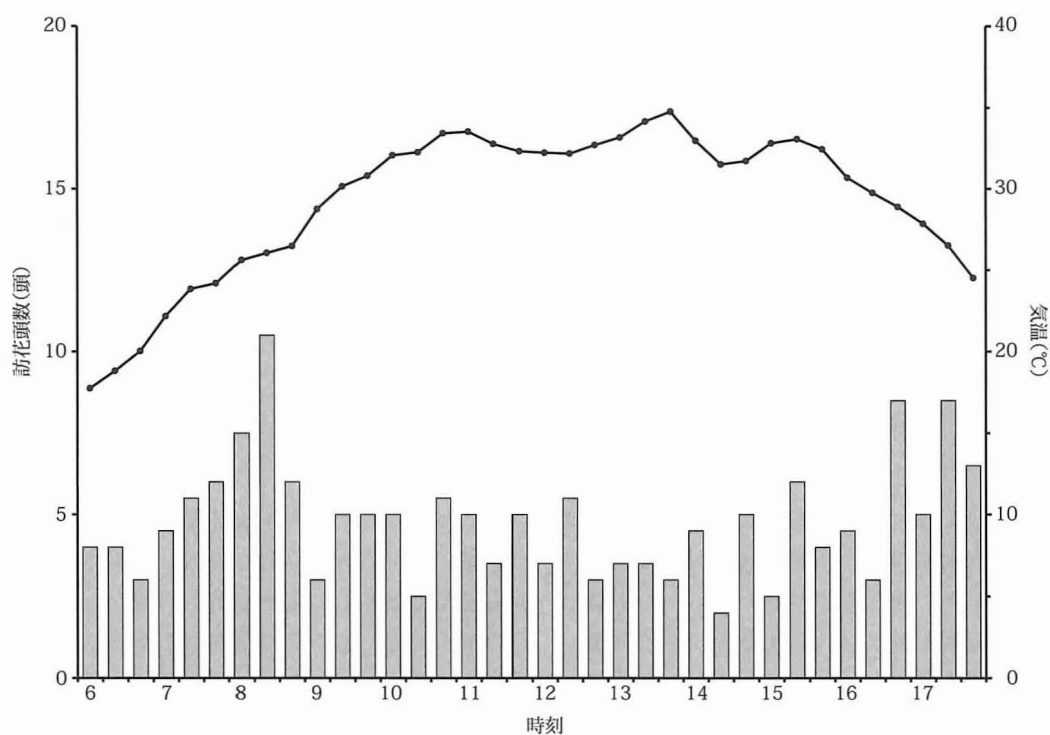


図8 晴天日におけるクロマルハナバチの時刻別出巣頭数の推移

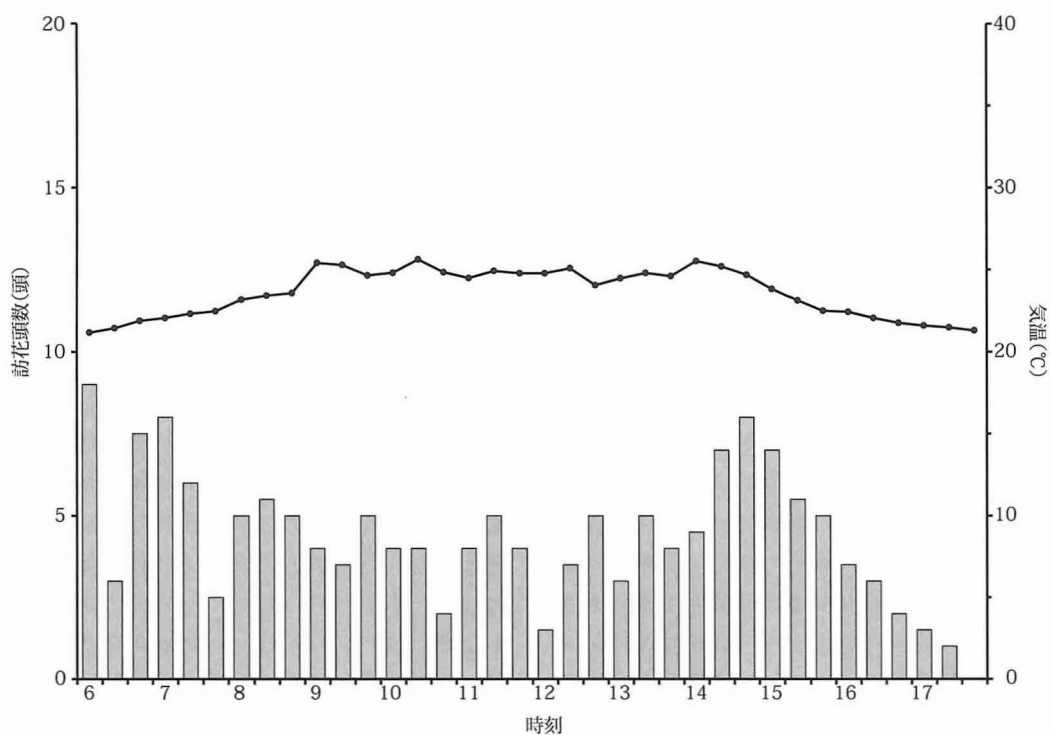


図9 雨天日におけるクロマルハナバチの時刻別出巣頭数の推移

表3 1花房に訪花したハナバチ1頭あたりの採餌時間(秒)と当日の気象について

	4月27日	4月28日	4月29日	4月30日	5月1日	平均
セイヨウミツバチ区	110.3	117.2	148.8	97.3	57.9	106.3
ニホンミツバチ区	56.5	48.7	88.7	76.4	65.8	67.2
クロマルハナバチ区	26.2	25.8	33.7	22.8	9.3	23.6
平均気温(℃)	19.8	23.5	25.3	20.8	21.4	22.2
天候	晴天	晴天	晴天	雨天	雨天	

表4 各ハナバチの出巢頭数(頭)と当日の気象について

	5月3日	5月4日	5月5日	5月6日	平均
セイヨウミツバチ区	7599	5546	6002	6656	6450.8
ニホンミツバチ区	5575	4206	4203	7318	5325.0
クロマルハナバチ区	155	190	194	120	164.8
平均気温(℃)	24.4	24.6	22.1	22.2	23.3
天候	晴天	晴天	雨天	雨天	

各ハナバチにおける晴天および雨天時の時間別平均訪花頻度と平均気温について図2～5に示した。晴天時ではセイヨウミツバチは6時から訪花が始まり、9時過ぎにピークを迎えた後、徐々に減少した。ニホンミツバチはセイヨウミツバチと同様に6時から訪花が始まり、一時減少したが9時から増加し始め、12時過ぎに訪花のピークを迎えその後次第に減少した(図2)。雨天時はセイヨウミツバチ、ニホンミツバチともに6時から訪花を開始したが、晴天時のように訪花のピークはみられなかった(図3)。一方、晴天時におけるクロマルハナバチは朝の6時から訪花が始まり、7時過ぎにピークを迎えた後、夕方まで増減を繰り返しながら推移した(図4)。雨天時には訪花数は激減し、ときどき訪花する程度であった(図5)。

松田(2000)は、セイヨウミツバチおよびニホンミツバチは25℃で最も訪花活動が活発となり、20℃以下および30℃以上になると訪花活動が鈍り、35℃の高温下では著しく訪花活動が低下すると述べている。また、松浦(1999)は、ミツバチは気象条件により活動の制約を受けやすく、雨天、曇天、早朝や夕刻、15℃以下の低温時には訪花活動をしないか著しく少ないが、マルハナバチは低温活動性で6～8℃でも活動し、ミツバチの活動しない日の出前の早朝や夕刻、雨天、曇天にも活動すると報告している。本試験では晴天時においてセイヨウミツバチの訪花数は、午前中にピークがあ

り、ニホンミツバチでは気温が30℃以上の正午頃にピークがみられており、気温が高くても訪花数は多く、異なる傾向を示した。Sasaki(1990)は、花が特定の時刻に蜜を出す場合、ミツバチはこれを学習し、訪花は蜜量と密接な関係があると述べている。また、水野ら(2004)が以前に行ったニホンミツバチの訪花数調査では、午前と午後に訪花ピークを示し、訪花数は気温だけでなく開花状況や蜜量、品種などによって変動することを観察している。

本試験では蜜量の調査は行わなかったが、気温や天候により訪花数が変動するだけでなく、開花状況や蜜量などの要因もセイヨウミツバチおよびニホンミツバチの訪花数に影響することが推察された。雨天時では、いずれの区においても訪花活動は減少し、松浦(1999)、松田(2000)と同様な結果を示した。松浦(1999)はマルハナバチはミツバチに比べて低温活動性で、雨天や曇天でもよく働くと報告しているが、今回の試験では雨天時におけるクロマルハナバチの訪花数は、晴天時の15%程度と激減した。訪花したハナバチ1頭あたりの採餌時間と当日の天候を表3に示した。採餌時間はおおむねセイヨウミツバチが一番長く、次いでニホンミツバチ、クロマルハナバチの順となったが、ニホンミツバチは天候に比較的左右されず、採餌行動を行う傾向を示した。各ハナバチの花房上での採餌行動時間の合計(受粉の可能性を示す時間)である総合採餌時間(平均訪花

表5 各ハナバチ区における結果数、有種子果率（％）および果実重割合（％）

	1 花房当たり				果実重割合（％）		
	結果数 （個）	有種子果数 （個）	無種子果数 （個）	有種子果率 （％）	< 100g	100~199g	> 200g
セイヨウミツバチ区	3.4	2.0	1.4	69.0	17.6	35.3	47.1
ニホンミツバチ区	2.6	1.8	0.8	71.7	15.4	38.5	46.2
クロマルハナバチ区	3.0	1.6	1.4	59.3	40.0	26.7	33.3

数×平均採餌時間）を比較すると、セイヨウミツバチでは 18.64 時間、ニホンミツバチでは 19.23 時間、クロマルハナバチは 0.46 時間となり、ニホンミツバチが最も採餌行動時間が長かった。セイヨウミツバチは採餌時間は長いが訪花数は少なく、ニホンミツバチは採餌時間は短い、訪花数が多く、総合採餌時間は長かった。クロマルハナバチは訪花数、採餌時間ともに極めて少ない値であった。

各ハナバチの出巢頭数と当日の天候について表 4 に示した。1 日の出巢頭数はセイヨウミツバチがニホンミツバチよりも多く、次いでクロマルハナバチであった。訪花数は天候の影響を受けて変動したが、出巢頭数はいずれの区においても晴天時と雨天時の間には大きな差はなく推移していた。各ハナバチの時刻別平均出巢頭数と平均気温について図 6～9 に示した。晴天時でのセイヨウミツバチの出巢は 6 時から始まっており、徐々に増加し、9 時にピークを迎えた。ニホンミツバチでは 6 時から出巢が始まり、増減を繰り返しながら 14 時にピークを迎えた（図 6）。これは晴天時における平均訪花数のピークの時間帯と近似しており、出巢頭数が多いときに訪花数も多いことがわかった。一方、雨天時のセイヨウミツバチは 14～15 時にかけて、ニホンミツバチは 14 時 20 分～15 時にかけて出巢頭数が増加していたが、雨天時の平均訪花数にはピークがみられず（図 7）、出巢頭数に対して訪花数は少なかった。クロマルハナバチは、晴天時では夕方まで増減を繰り返しながら推移し（図 8）、晴天時の平均訪花数のピークと近似しており、出巢頭数が多いときに訪花数も多いことがわかった。雨天時では訪花数はバラバラで、出巢頭数が多い割りに訪花数は少なかった（図 9）。

訪花昆虫が受粉に及ぼす影響を調査するため

各ハナバチ区における結果数、有種子果率、果実重別の割合について調査した（表 5）。1 花房における結果数はセイヨウミツバチ区で 3.4 個、ニホンミツバチ区で 2.6 個、クロマルハナバチ区で 3.0 個となった。有種子果率はニホンミツバチ区で 71.7％、セイヨウミツバチ区で 69.0％、クロマルハナバチ区で 59.3％となった。

全結果数に占める 200 g 以上の果実の割合はセイヨウミツバチ区で 47.1％、ニホンミツバチ区で 46.2％、クロマルハナバチ区では 33.3％であり、セイヨウミツバチ区およびニホンミツバチ区では 200 g 以上の果実が多く結果した。しかしクロマルハナバチ区では 100 g 未満の果実の占める割合が多かった。佐々木ら（1993）は、ミツバチが結果に及ぼす影響を調査したところ、有種子果率は 1991 年において受粉遮断区で 0.5％、ミツバチ導入区で 53％となり、1992 年では受粉遮断区で 1％、ミツバチ導入区で 31％であったと報告している。また、水野ら（2004）が以前に行った試験では、ニホンミツバチ区で、有種子果率は 52.6％を示した。本試験ではセイヨウミツバチ区およびニホンミツバチ区において有種子果率は上述の報告より高くなり、クロマルハナバチ区においても高い値を示していたが、特にニホンミツバチおよびセイヨウミツバチ区では、200 g 以上の果実割合が高く、花粉媒介者として有効であると考えられた。しかし、有種子果率の向上が期待できる訪花昆虫を導入しても、なお無種子果が結果することが多い。米本・樋口（2003）は、マンゴーは自家不受精の品種が多く、他家受精が行われないとほとんど落果し、自家受粉では幼果が落果しやすいと述べている。また山下ら（1992）は、人工受粉で‘アーウィン’×‘アーウィン’の自家受粉および‘アーウィン’×

‘キーツ’の他家受粉を行ない、後者において花粉の付着、発芽、花粉管伸長が優れていたことから、‘アーウィン’の自家不和合性の可能性を示唆している。これらの報告から、‘アーウィン’では訪花昆虫を導入するとともに異品種を混植して他家受粉を促進させることが、有種子果率の向上や安定した果実生産のために必要であると示唆された。

謝辞

本研究実施に際しご協力いただいた滝沢弘徳氏に深く感謝の意を表します。なお、本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会研究費補助金（課題番号 16580040）によって実施されたものである。

（水野¹・吉田²・清川³・佐々木^{1,2} 1: 玉川大学農学部, 2: 玉川大学ミツバチ科学研究センター, 〒194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1, 3: 玉川大学付属熱帯植物機能開発施設 〒898-0211 鹿児島県南さつま市坊津町久志 880）

引用文献

- 石畑清武. 2000. 熱帯果樹 マンゴー 栽培の新技术. 斯文堂, 鹿児島. 46 pp.
- Litz R.E.. 1997. The mango botany, production and uses. CAB International, London. 565 pp.
- 松田儀四郎. 2000. 施設と園芸 109: 65-67.
- 松浦誠. 1999. 昆虫農業技術研究所研究資料 25: 67-78.
- 水野宗衛・脇孝一・奥穂積・清川一真・島田恵. 2001. 玉川大農研報 41: 21-35.
- 水野宗衛・宮里啓作・吉田忠晴・奥穂積・清川一真. 2004. 玉川大農研報 43: 44: 29-38.
- 農林水産省生産局果樹花き課. 2006. 平成 16 年産特産果樹生産動態等調査. pp. 97-98.
- 佐々木勝昭. 1995. 農耕と園芸 2: 192-195.
- 佐々木勝昭. 2002. 近畿大学農学部博士学位論文.
- 佐々木勝昭・伊藤卓爾・吉田保治・苦名孝・藤澤由枝・宇都宮直樹. 1993. 園学雑 62 (別 1): 88-89.
- 佐々木勝昭・竹林晃男・宇都宮直樹. 1998. 熱帯農業 42: 159-162.
- Sasaki, M. 1990. Adv. Invertebr. Reprod. 5: 503-508.
- 山下研介・小川秀一. 1998. 熱帯農業 42: 153-158.
- 山下研介・船川友幸・中野剛. 1992. 園学雑 61 (別 2): 152-153.
- 安富徳光. 2000. 果樹園芸大百科 17 熱帯特産果樹. 農文協, 東京. pp. 171-187.
- 米本仁巳・樋口浩和. 2003. 熱帯農業 47: 142-148.

SOE MIZUNO¹, TADAHARU YOSHIDA², KAZUMA KIYOKAWA³, MASAMI SASAKI^{1,2}. Pattern of visiting flowers and pollination efficiency of three kinds of bees on 'Irwin' mango fruits grown in plastic greenhouses. *Honeybee Science* (2006/2010) 27(3/4): 123-132.

1: Faculty of Agriculture, 2: Honeybee Science Research Center, Tamagawa University, Machida, Tokyo, 194-8610 Japan; 3: Tamagawa University Experimental Farm, 880 Kushi, Bounotsu-cho, Minami-Satsuma-shi, Kagoshima, 898-0211 Japan.

The pollination efficiency of two species of honeybees and bumblebees (*Bombus ignitus*) was compared for 'Irwin' mango fruits grown in plastic greenhouses. The ratio of perfect bisexual flowers of 'Irwin' mangoes exceeded 50% in the distal part of the panicles, but tended to decrease toward the proximal part. The number of staminate flowers tended to increase in the proximal part. On fine days, visiting frequency of Japanese honeybees (*Apis cerana japonica*) to flowers in a panicle was twice as high as that of European honeybees (*A. mellifera*), while no differences were noted on rainy days. The number of bumblebees that visited the flowers on rainy days was only about 15% of the number on fine days. On the other hand, the duration of foraging of European honeybees was the longest on a panicle, followed by that of Japanese honeybees and bumblebees. Japanese honeybees commonly moved from flower-to-flower, while European honeybees tended to stay on the same flower panicle. Although the foraging duration of European honeybees was shorter on rainy days, the effect of the weather conditions on the foraging duration in Japanese honeybees and bumblebees was not significant. No differences were detected in the number of bees leaving the hives on fine and rainy days. The seeded fruit ratio was high with all three pollinators: 71.7% for Japanese honeybees, 69.0% for European honeybees and 59.3% for bumblebees. Although a larger number of fruits weighed more than 200 g with European and Japanese honeybee pollinators, bumblebee pollinators produced many small fruits weighing less than 100 g. The results showed that both European and Japanese honeybees are effective pollinators for the production of large mango fruits.