

果菜類の交配におけるマルハナバチの利用

池田 二三高・忠内 雄次

1987年にセイヨウオオマルハナバチ（ツチマルハナバチ）*Bombus terrestris* のコロニーが初めてベルギーにおいて市販されて以来、ヨーロッパではトマトを初めとする農作物のポリネーターとして急速に普及した（Griffiths, 1990）。わが国には1991年12月に初めて試験的に導入され、トマトでは、交配の省力、外観や品質の向上など結果が良好であったことから1992年の秋には市販が開始された（岩崎, 1995）。その後トマトを中心に普及しているが、それ以外の農作物においても実用性が検討されている。ここでは、これまでの果菜類の交配において試験された成果やそれに関連した問題点などについて述べる。

I 果菜類における使用

1 トマト

a. 着果と果実肥大

導入当初は、トマトの栽培ハウスにおいて働き蜂が全ての花に均一に訪花できるかについて関心がもたれた。つまり、ハウス内での訪花の



図1 トマトの花に訪花中のマルハナバチの働き蜂

かたより、着花位置による訪花の差が懸念されたが、1992年1月31日に静岡県磐田郡の農家温室800m²のトマト栽培ハウス（品種「ハウス桃太郎」3.3株/1m²植え）においてマルハナバチ1コロニー（外役活動個体約25頭）を導入して、1日間訪花させて調査した結果では、開花中の花には全て均一に訪花し（図1）、花にはすべてバイトマークが発生した。これは、その後マルハナバチ導入農家でも同様の結果であり、訪花の不均一性については問題は生じていない。

着果率については、1992年9月上旬～10月

表1 9～10月に開花した各花房の着果状況（1992年）

試験区	第3段花房		第4段花房		第5段花房		第6段花房	
	着果数 (個)	着果率 (%)	着花数 (個)	着果率 (%)	着果数 (個)	着花率 (%)	着果数 (個)	着果率 (%)
ハチ交配	4.5	73	5.5	87	6.5	78	6.2	72
ホルモン処理	4.9	82	6.1	84	5.8	76	5.3	83
併用	4.8	85	5.4	85	5.1	80	5.7	70

注) 開花期間は1992年9/4～10/15

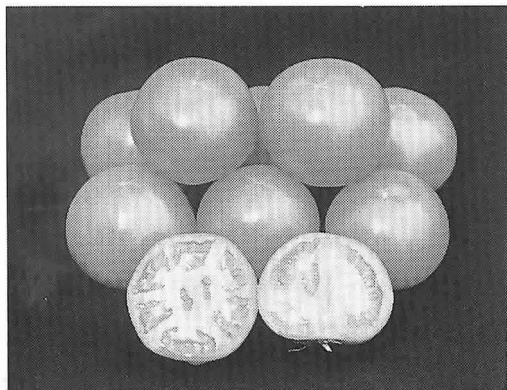


図2 マルハナバチが交配した果実は種子が形成され、ゼリー部も多くなって充実し果形も整う

中旬までに開花した第3～6段花房の着果調査結果では、マルハナバチによる交配は植物ホルモン剤散布と比べて9月上旬の第3花房は低かった(表1)。これは、開花時の高温による花粉の発芽不良が大きな原因と考えられるが、そのほかの時期は同等であり、従来の植物ホルモン剤散布の技術から変更できる技術であった。

一般に果実の肥大や着色は、有種子果の方が無種子果より遅くなることが知られているが、マルハナバチ交配によるトマトは当然種子数が多いので数日間収穫時期が遅延することが明らかになった(表2)。出荷計画を詳しくたてる場合には事前に検討が必要である。

b. 果実の形状および品質

マルハナバチによる交配区、従来の開花時の植物ホルモン剤散布区、両者の併用区を設けて果実品質を調査した結果、マルハナバチ区は、種子の充実した空洞果の少ない果実となり外観は向上した(図2)。酸度およびビタミンCの含有量は多く、糖度(Brix)にはふれがみられた(表3)。しかし、糖度の増加の条件となる種子が形成されてゼリーの多い果実になるので、今後の栽培改善で糖度の増加が期待される。なお、1992年の抑制トマトで日持ちの調査をしたところ、収穫6日後の果実の糖度はマルハナバチ区では収穫後も減少せず安定し、果実硬度も高く食味も良好であった(表4)。その後の一連の試験、ミニトマトにおける試験、各地での試験成績や農家の使用実績からもほぼ同様の結果となり、トマトにおけるマルハナバチの利用は急速に普及した。

c. 花粉の発芽

トマトの花粉が正常に成長するために必要な気温はほぼ13～30℃の範囲とされている。この範囲以外でも開花は行われるが、発芽可能な花粉は形成されないので、結実には植物ホルモン剤の散布が必要である。特に、近年の栽培品種について、高温時の花粉発芽の検討は少ないが、1994年に静岡県農業試験場で行なった試験を表5に示した。この結果、品種間差意があ

表2 収穫個数より推定した各花房の収穫最盛期(1992年)

試験区	各花房の収穫最盛期(月/日)			
	3段	4段	5段	6段
ハチ交配	11/20	11/25	12/13	12/20
ホルモン処理	11/14	11/19	12/5	12/16
併用	11/14	11/21	12/9	12/18

表3 マルハナバチ交配が着果および品質に及ぼす影響(1992年)

処 理 区	着花数 (個)	着花数 (個)	着果率 (%)	空洞果※ 発生率 (%)	比 重	Brix	酸 度 (%)
マルハナバチ区	5.2	1.8	93	0	1.06	6.3	0.59
マルハナバチ +ホルモン区	—	—	—	—	1.09	5.9	0.43
ホルモン区	5.0	4.0	80	33	1.07	5.9	0.35

(注) 各処理区とも着果は10株調査

果実品質は平均気温20℃の室内に2日間放置後10果調査

※のマルハナバチ区は18個、ホルモン区は28個調査

表4 トマト果実貯蔵6日後の品質変化(1992年)

処 理 区	果実硬度 ¹⁾		糖 度 (Brix)		滴定酸度 ²⁾	
	外果皮付き硬度 (kg/cm ²)	果皮硬度 ³⁾ (kg/cm ²)	果皮	子室組織	果皮 (%)	子室組織 (%)
ハチ交配	0.46±0.01	0.36±0.03	5.5±0.4	5.1±0.2	0.40±0.04	0.78±0.11
ホルモン処理	0.39±0.04	0.27±0.03	4.7±0.4	4.9±0.3	0.38±0.05	0.59±0.14

平均±SD

注) 貯蔵条件: 温度 20℃, 湿度 60%, 品質: 「ハウス桃太郎」

1) ユニバーサル硬度計の円錐型で1果につき2カ所測定, 2) クエン酸換算 3) 外果皮除去後測定

るものの、夏期の高温はいずれの品種においても花粉の発芽には障害が大きかった。ただし、小出(1994)のミニトマトにおける報告では、7～10月の高温時の花粉発芽率がほぼ50～60%でも着果率はほぼ100%であったことから、花粉の発芽率と着果率の関係については更に検討が必要である。

また、夜間の低温も花粉の発芽に大きく影響する。この影響について室井(1993)が品種「ハウス桃太郎」で検討した結果は表6のとおりで、厳冬期の夜温管理は12～14℃が望ましいと述べている。

トマトは開花していれば植物ホルモン剤の散布により着果率は向上するため、現在のように栽培地域は拡大したが、マルハナバチによる交配を前提にして花粉の発芽を考慮すると、栽培適温が限定されることになり今後の栽培の課題となっている。

d. 高温対策

表5 花粉発芽率の品種間差(1994年)

品 種	花粉発芽率 (%)	
	9月13日	10月25日
桃太郎	59.5	93.0
強力麗玉	50.4	92.6
ハウス桃太郎	—	89.6
サンロード	28.4	88.6
TVR-2	42.5	76.5
桃太郎8	—	51.2
ファーストパワー	6.7	49.7
.....		
ベベ	54.8	70.7
ミニキャロル	59.2	60.0

注) 温度条件:

9月平均(最高41.7℃, 最低24.1℃),

10月平均(最高36.2℃, 最低19.3℃)

マルハナバチは低温には強く、晴天では5～7℃より訪花活動を開始し、15～25℃の範囲では最も訪花活動が旺盛となるが、高温には弱く30℃以上では訪花活動は低下し、35℃以上では訪花活動は停止するとともに巣内の幼虫などが死亡し、コロニーは崩壊する。従って、6～7月に訪花を必要とする栽培型では日中の高温対策が必要である。この場合、巣そのものをハウス外に出すか、ハウス内に穴を掘って巣を地下に収納する。1994年8月に静岡県農業試験場のガラス温室で地下50cmに巣箱を収納をした時、ハウス内気温より巣箱周辺気温は5～10℃低下した。同様の結果は小出(1994)、藤本(1994)も報告しているので高温時の巣の管理には有効である。

e. 農業資材の紫外線除去フィルムの影響

マルハナバチの行動は、ミツバチと異なり紫外線域の波長を特に利用していないので、ハウスに使用される各種の紫外線除去フィルム下でも正常に訪花、帰巣ができる(西口, 1994)。なお、紫外線除去フィルムが極端に汚れている場合には曇天や雨天時に訪花活動が低下することがあるが、実用上は問題はない。

アルミ蒸着フィルムをマルチするとマルハナ

表6 夜温が花粉発芽率に及ぼす影響

夜 温 度 (℃)	花粉発芽率 %
8	3.3
10	34.7
12	46.7
14	61.6

注) ハウス桃太郎

(室井, 1993)

表7 農薬散布後にマルハナバチを放飼してもよい安全日数(1995年)

薬剤の種類	安全日数	薬剤名(処理濃度)
土壌処理剤	14日後から放飼可能な薬剤	オルトラン粒剤 (定植時植え穴処理 1g/1株)
液剤散布	1日(翌日)後から 放飼可能な薬剤	アブロード水和剤 1000倍
		オレート乳剤 100倍
		マブリック水和剤 1000倍
		サンマイトフロアブル 1000倍
		ケルセン乳剤 2000倍
	4日後から放飼可能な薬剤	ピラニカ EW 1000倍
		ジブロム乳剤 1000倍
	10日後から放飼可能な薬剤	DDVP乳剤(50%) 1000倍
		オルトラン水和剤 1000倍
	21日後から放飼可能な薬剤	トレボン乳剤 1000倍

バチに対する影響は強く、定植時に全面に敷いた場合には、定植後7～14日後までは巣外活動は完全に停止することがあるので注意が必要である。この場合、取り除くか黒マルチで一時的に覆うことにより正常な訪花活動が再開する。また、トマトの生育が進み繁茂してマルチが隠れれば訪花活動は可能になる。

f. 農薬の影響

ヨーロッパ諸国のトマト栽培では害虫防除に天敵が使用されているので、化学農薬の散布は非常に少ないが、わが国のトマトの害虫防除はほとんどが化学農薬に依存している。このためマルハナバチの導入に際して農薬の影響が大きかったためトマトの主要農薬について調査を行

った。マルハナバチの農薬の影響については松浦(1992)の試験方法に準じて安全な日数を求めた。1993～1995年にかけて、最低気温が13℃以上に管理された静岡県農業試験場及び農家のトマトにおいて行なった試験結果は、表7のようであった。

殺菌剤については影響のある薬剤はなく、散布翌日の導入で差し支えがない。しかし、殺虫剤では、長期間影響のある種類もあり、使用にあたっては十分の注意が必要である。また、農薬の影響は作物や栽培時の温度などにより変化することがあるので、表7の日数は他の作型や他の作物に適用するとは限らないので注意が必要である。

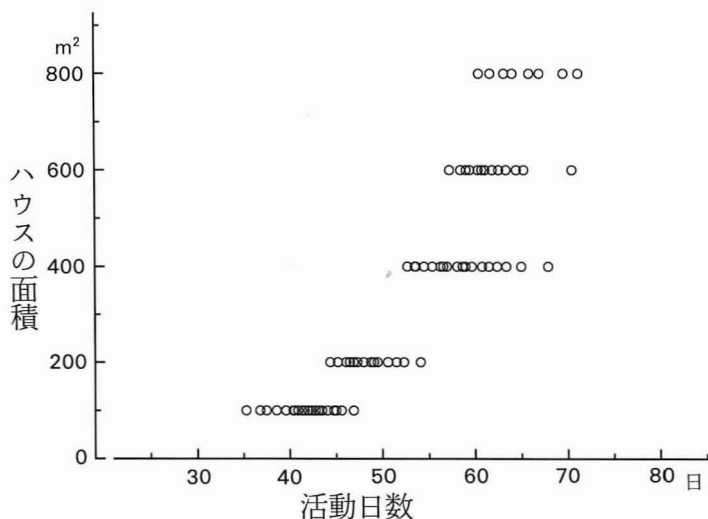


図3 ハウスの面積とマルハナバチの訪花活動日数(日)



図4 イチゴに訪花中のマルハナバチの働き蜂

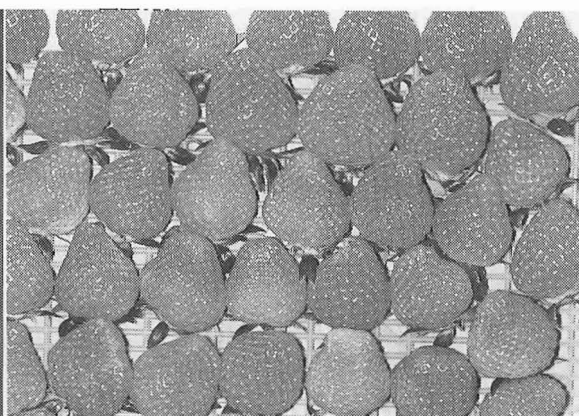


図5 マルハナバチが交配した果実は果皮も健全で果形も整う

g. コロニーの寿命

わが国で市販されているマルハナバチの巣箱には1コロニーが入っているが、購入時の働き蜂の数は50～100頭であり、ハウスに導入直後から10～20頭が訪花活動を行う。ハウスの環境が良好で花粉量が多ければ働き蜂は急速に増加するが、逆の場合には停滞や減少となる。働き蜂の増加には諸条件があり、ハウス内環境においてはコロニーとしての寿命は野外より短い。

ヨーロッパにおいては温室そのものが大規模であり、トマトでは1haに5～10コロニーが導入され1コロニーの交換は60日以上である。日本の施設は数100m²の単位が多いため、1施設1コロニーでは必然的に短命となる。1992～1994年にかけて、静岡県農業試験場や農家において抑制トマトの様々な面積のハウスに導入した71コロニーの交換日を記録して整理すると、図3の通りであった。コロニーの終期には、訪花活動をする働き蜂の個体数が減り、それにともないトマトの花ではバイトマークの減少となる。しかし、巣箱内には雄蜂や栄養不足で育ちが悪く巣外活動のできない小型の

働き蜂などが多数生存して、一見して正常のコロニーと見誤ることもある。そこで、バイトマークを調査して、ほぼ50%を割った時点のコロニーの寿命として交換した。

この結果、100m²のハウスでは45日前後と短命であるが、面積が広がるほど長くなり、800m²の場合には60～70日となった。マルハナバチの販売メーカーの保証する「10a内に1コロニーの導入で訪花活動45日間」は妥当な数字であり、45日以上訪花活動を期待するならばハウス面積は200m²以上が必要である。

2 イチゴ

静岡県農業試験場において品種「女峰」を栽培中の100m²のビニルハウスに、マルハナバチ1コロニーを1992年3月27日～4月13日まで放飼し自由に訪花させた。ハウスの一部5m²の株全体を#300の白色寒冷紗で覆って働き蜂の訪花を阻止し、収穫時に奇形果や重量について調査を行った。放飼中の栽培気温は10～28℃であった。

その結果を表8に示した。マルハナバチ訪花区は寒冷紗被覆区と比較して、奇形果の発生は

表8 イチゴにおける交配結果 (1992年)

区	正常果数	奇花果数	総重量
マルハナバチ放花区	83 個	3 個	1170g
訪花阻止の放任区	12	35	432

(注) 4月22日から5月7日まで収穫の10株当たりの数字

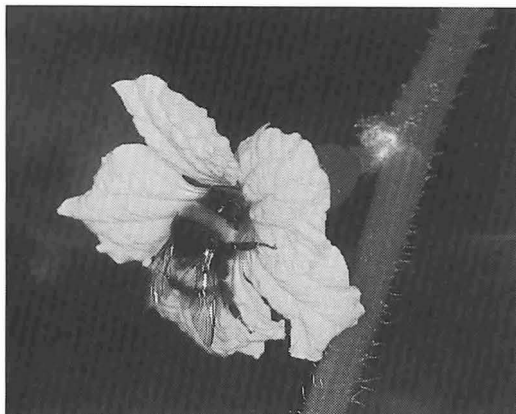


図6 メロンに訪花中のマルハナバチの働き蜂

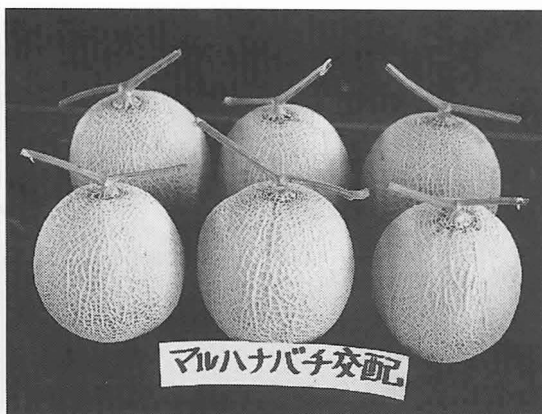


図7 マルハナバチが交配した果実は果頂部の傷もなく果形も整う

少なく、収穫量は多くいずれも優れた結果となった。マルハナバチの訪花時間は、作物によって異なり、トマトでは数秒であるがイチゴやメロンでは長く数10秒に及ぶことが多い。また、イチゴでは、働き蜂は脚部の花粉籠に花粉を集めるほか、花上で体を回転させて体全体の毛に花粉をつけて集めることもある(図4)。このため、花器の一部に傷がつき、果皮に傷が生じるのではないかと導入をためらう農家もあるが、試験結果では外観は良好であり(図5)、ヨーロッパでも同様に問題にはなっていない。

また、ミツバチの活動が制約される曇天や雨天でも正常に活動するのでイチゴのポリネーターとしては有効であるが、ミツバチより1コロニーの寿命が短命であることと高価なため、1コロニーの適正面積や経済性も未検討であり、農家でも普及していない。

3 温室メロン

静岡県農業試験場において、品種「アールスフェボリット春系F1」を栽培中の66m²のガラス温室にマルハナバチ1コロニーを、1992年4月27日開花初期から5月7日の開花終期まで自由に訪花させた(図6)。対象として同一条件の他の温室は開花中の5月1日～10日に

人工交配を行った。その結果を表9に示した。マルハナバチ訪花区は、結果率、重量、糖度(Brix)、形状、ネットなどいずれも人工交配区と比較してほぼ同等であった(表9)。また、懸念された果頂部付近の果皮の傷もなく外観は良好であった(図7)。放飼期間中の気温はほぼ22～33℃に経過したが、働き蜂の訪花活動は高温時を除いてはほぼ正常であり、雄花及び雌花に均等に訪花した。30℃を超えると訪花活動は行いが、活動個体数は著しく減少した。なお、別の試験において一次的に40℃に上昇した日があったが、こうした高温時には働き蜂は花や葉裏で静止する個体が多く、その翌日から働き蜂は著しく減少した。この高温が原因で働き蜂や幼虫などの多くが死亡したものと推定された。温室メロンでの導入は、高温対策が可能な低温期に限定して使用した方が無難である。

ハウスメロンでの試験は未検討であるが、一般にハウスメロンの栽培温度は温室メロンより低く、マルハナバチの活動には支障が少ないこと、1棟の栽培面積が広いことなどマルハナバチの活動には有利と考えられる。

4 ナス

ヨーロッパでは、ナス栽培においても交配は

表9 温室メロンにおける交配結果(1992年)

区	調査株数	雌花数	結果率	平均重量	糖度(Brix)	果形	ネット
マルハナバチ交配区	15本	43コ	100%	1550g	14.2	優	優
人工交配区	15	45	100	1510	14.3	優	優

(注) 重量、糖度は10果の平均

全てマルハナバチを利用している。わが国での試験例は少ないが、三原（1995）は促成栽培（品種「筑陽」、最低気温 10℃）でマルハナバチによる交配を検討した結果、1～4 月は植物ホルモン剤散布より収量、品質ともに劣ったが気温の上昇する 5 月以降はほぼ同一になったことを報告している。

この原因は、低温による花粉の成熟や果実肥大が阻害されたとしている。夜温を 15℃以上にした栽培条件での試験例はないので、今後の検討が必要である。

Ⅱ 果菜類におけるポリネーターとしての評価

わが国の施設栽培のトマトやナスにおいては、開花期に植物ホルモン剤を散布して着果率を高める栽培方式が確立している。この技術により栽培期間や栽培地域の拡大が図られたが、処理に多くの労力が必要なことと、トマトでは空洞果の発生しやすいなどの欠点もある。

植物ホルモン剤の散布作業時間は、静岡県における抑制栽培の丸玉トマト（5 段花房栽培）では合計 60 時間にのぼり、全作業間の 4～6%，ミニトマトでは同 90 時間で 10～12%に相当するが、植物ホルモン剤は定期的な散布が必要となるため実際には心理的に拘束される時間は非常に多い。マルハナバチによる交配は、一切の交配作業から開放されることになり大幅な省力となる技術である。また、わが国でのトマトの市場評価は、形状評価の比率が非常に高く、消費者は食味良好なトマトを求めているが、マルハナバチ交配のトマトはこうした点を全て満足できることになり、これまでの栽培技術では改善できなかった点が一挙にできることになった。

一方、トマトは、高温期や低温期の栽培では花粉は発芽障害をうけやすいため、マルハナバチは全ての作型には導入できない。この場合、導入時期を限定した使用や栽培温度をマルハナバチに合わせるなど、経済性を考慮した使用方法の検討が必要である。

イチゴでは、現行のミツバチと同様の交配の

成果がえられた。特にマルハナバチは雨天時でも確実に訪花活動を行うので増収も期待できるが、適正な導入数や 1 作期間を通じた経済性など多くの検討事項が残されている。

温室メロンでも現行のミツバチと同様の交配の効果が得られた。各種のメロンにおいても、マルハナバチの放飼期間中の温度管理に十分注意すれば実用性は高いと思われるが、価格の面で普及されていない。

また、温室メロンに代表されるように、開花期間が 1～2 週間と短期の作物では現行より小さいコロニーで十分と思われるので、この巢の使用方法和経済性についても検討が残されている。

そのほか、ナスやピーマンでの使用が考えられるが、前述のナスの試験例に見られるように、低温期の栽培では、品質及び収量向上のため栽培気温を上げる必要性が指摘されており、それにとまなう経済性の検討も必要である。

一方、マルハナバチに対する農薬の影響は非常に大きい。ヨーロッパの施設園芸では、害虫の防除は全て天敵により行われているためマルハナバチの導入時から支障は少なかった。わが国でもこの新しいポリネーターの使用により必然的に農薬の使用を控えることになり、天敵による防除への関心が高まるものと期待するが、当面は農薬の使用は避けられないのが現状である。農薬の影響についての試験例は少ないので、今後ミツバチと同様に詳しい試験が必要である。

この様に、わが国の農作物の栽培では栽培時の気温や農薬散布などマルハナバチの訪花活動を阻害する要因が大きいので、導入には多くの条件がある。しかし、マルハナバチは雨天時も活動し、全ての顕花植物への訪花が可能などミツバチより訪花性は優れているので、今後は果菜類のほかに、アブラナ科野菜などの採種や果樹のポリネーターにも導入が更に拡大するとと思われる。

わが国では、マルハナバチの導入はトマトでは急速に図られたが、この大きな要因として、植物ホルモン剤散布の省力以外に、マルハナバ

チ交配のトマトは、果実の形状や品質の向上があり市場性が高まったことも上げられる。現状のナスやピーマンに見られるように、品質の向上が期待できない作物への導入は遅れているが、今後の労力不足が益々深刻となる中では、交配の省力はやはり重要な問題点であり、マルハナバチの導入は徐々ではあるが前進するものと思える。

(〒438 磐田郡豊田町富丘 678-1

静岡県農業試験場)

参考文献

- 池田二三高, 忠内勇次. 1992. 農業および園芸 67: 1213-1219.
- 岩崎正男. 1995. ミツバチ科学 16(1): 17-23.
- Griffiths, S. B. D. 1990. Grower. Nove. 15th. pp. 15-17.
- 藤本豊秋. 1994. 第3回マルハナバチ利用技術研究会資料. pp. 15-18.
- 小出哲哉. 1994. 農耕と園芸 11: 80-83.
- 松浦誠. 1992. 平成4年度一般委託試験成績(IV)殺虫剤関係. pp. 575-584.
- 三原順一. 1995. 第4回マルハナバチ利用技術研究会資料. pp. 27-30.
- 室井栄一. 1993. 第2回マルハナバチ利用技術研究会資料. pp. 16-20.
- 西口郁夫. 1994. 農薬ガイド 71: 5-7.
- IKEDA, FUMITAKA and TADAUCHI, YUJI. Application of bumble bees as pollinators on fruit-vegetables. *Honeybee Science* (1995) 16 (2): 49-56. Shizuoka Agricultural Station. 678-1, Tomioka, Toyoda, Iwata, Shizuoka, 438 Japan.
- The application of bumble bees (*Bombus terrestris*) was examined as the pollinator of tomato, melon and strawberry in protected houses.
- Especially in tomatoes, some satisfactory results were obtained. In tomatoes using bumble bees, all of the labor of pollination did no need in comparison with the treatment of plant hormone. The puffy fruits decreased and the figure of fruits was uniform because of increasing seeds and jelly in a fruit. The acid and vitamin C contained in fruits increased, but Brix was not stable.
- Bumble bees visited also flowers of strawberry and melon. The surfaces of both fruits were not injured by them, and the quality of fruits was excellent.

編集委員会から

本論文で取り扱われているマルハナバチ *Bombus terrestris* は「ツチマルハナバチ」と呼ばれることもあるが、当研究施設では以前より本種の和名として「セイヨウオオマルハナバチ」を採用しているので、これにならった。また本文中では単にマルハナバチとしたが、本論文ではいずれも花粉媒介のために輸入、利用されているセイヨウオオマルハナバチを示す。

