

論文

花粉とミツバチとの関係についての研究

Studies on the relationship between pollen grains
and honey bees

鈴木 光・岩波 洋造・岡田 一次

まえがき

実験材料と方法

花粉は植物の雄性生殖細胞である。したがって、動物における精虫に相当するものであるが、植物は動物のように動くことはできないから、生殖に際して自然界の中の動いているもの、たとえば風、川の流れ、動物などの助けを受けて、雄性生殖細胞である花粉を雌性の生殖細胞に近づけ、受精を行なわせる。

自然界で動いていて、植物の生殖を助けているものの中で、もっとも代表的なものは、昆虫のミツバチであろう。ミツバチが植物の生殖に有益である理由の一つは、ミツバチがミツや花粉を巣に貯えるために、ひんぱんに花を訪れることにあるが、さらにミツバチは、ある期間、同種の花に通いつめるという習性をもっている。花から帰ったミツバチは、他のハチに踊りによって花のありかやその香りを知らせるから、ハチたちは一せいに花の方に向かって飛んでゆく。ハチミツの採取にあたって、アカシアミツ、レニゲミツ、ミカンミツなどが得られるのは、こうしてミツバチが集中的に同種の花からミツを集めるからである。こうして、ミツバチは花粉を同種の花の雌ずいに付着させることによって、結実を有効的に行なわせるのに役立っている。

これに対して蝶などの他の昆虫類は、花から花へと飛びあわいてミツを吸っているから、花粉はしばしば異なる種類の花に運ばれる。その結果、種子形成がおこらない無駄な受粉が行なわれることが多い。したがって、昆虫類の中でも、ミツバチはもっとも自然の植物の繁殖に役立っていると考えられる。

筆者らは、ミツバチがミツや花粉を巣に運ぶ現象に興味をもち、種々の面から調査を行なっているが、花粉とミツバチとの関係は、ただ花粉がハチの体について雌ずいに運ばれるというだけではなく、両者の間には大へん密接な関係があることがわかったので、これらの結果について報告する。

今回の実験に使用された花の種類は以下の通りである。

Brassica campestris (ナタネ)
Thea sinensis (チャ)
Camellia japonica (ツバキ)
Portulaca grandiflora (マツバボタン)
Coreopsis lanceolata (オオキンケイギク)
Narcissus tazetta (スイセン)
Helianthus annuus (ヒマワリ)
Cactaceae (サボテン)
Macleya cordata (タケニグサ)
Yucca (キミガヨラン)

ミツバチ (*Apis mellifera*) は玉川大学養蜂場で得た働きばちを主に用いたが、花粉荷については花畑に飛来したミツバチについて調べた。

室内の実験は、金網のしきり (約 $50 \times 25 \times 25$ cm) の中にミツバチを放し飼いとし、ガーゼにハチミツを含ませたものを餌とした。蜜胃中の糖を調べる実験で、sucrose を吸わせる必要があったが、ふつうミツバチは sucrose だけが与えられた場合、それを吸おうとしない。しかし、glucose といっしょに与えたり、餌を長時間与えないでおいだ後に sucrose を与えると、これを吸って蜜胃中に入れた。

糖の検出にはペーパークロマトグラフを使った。花粉を 80% alcohol ですりつぶした上澄液を、東洋濾紙 No. 50 に与え、Buthanol: Acetic acid: Water (4:1:1) で 24 時間展開した後に、ベンチジン呈色剤で発色させた。ミツの場合は、約 20 倍に水でうすめてから濾紙に与えた。

アミノ酸の検出にあたっては、そのままでは花粉もミツも糖の濃度が高すぎるので、イオン交換樹脂 (Amberlite-IR-20) にアミノ酸だけを吸着させ、アンモニア水で洗い落して、薄層クロマトグラフによって調査した。この場

合の展開剤はB:A:W(4:1:1), 呈色剤はニンヒドリンの0.2% ethanol 溶液を使った。今回の実験ではアミノ酸の種類をきめるのが目的ではないために、二次元展開法はとらず、7時間の一次展開によった。

クロマトグラムは、グラフ用紙に各スポットの位置と大きさを移しとったが、糖の場合には、さらに濾紙をパラフィンに浸して透明化した後に、Self recording densitometer にかけて、スポットの濃度差を記録した。

実験結果

1. 花粉荷の形成について

花に飛来するミツバチは、花からミツを吸って蜜胃中に貯えるほかに、花粉を集めてこれをダンゴ状にかため、後脚の花粉かご(pollen basket)に入れて巣にもち帰る。このダンゴ状の花粉塊を花粉荷、または花粉だんご(pollen load)とよんでいる。

花粉荷は通常直径2mm くらいの大きさをもっているが、花粉をただよせ集めて押しかためるだけでは、このような塊りをなさない。これについては、従来、ミツバチが花のミツを使って花粉をかためていると推測されていた。筆者らはまず、このことを確かめるために、花粉の糖と、花のミツの糖の組成のちがう花をえらび、花粉の糖、ミツの糖、花粉塊の糖のそれぞれをクロマトグラフで調べ、三者のクロマトグラムを比較してみた。

マツバボタン、タケニグサの花粉粒内の糖は、ほとんど sucrose のみである (Fig. 4 参照) が、マツバボタンの花のミツの糖組成は、

glucose と fructose である。ところが、マツバボタン、チャおよびタケニグサの花から、花粉荷をもって飛び立ったミツバチをつかまえ、その足から花粉荷をとり、その糖組成をみると、sucrose, glucose, fructose とから成っていることがわかった。Fig. 2 はマツバボタンについての結果を示している。タケニグサについてはミツをとることができなかったが、チャについてはマツバボタンとまったく同様の結果が得られた(データ省略)。これらの結果を Densitometer で記録した像でみると、さらに明瞭にわかる。

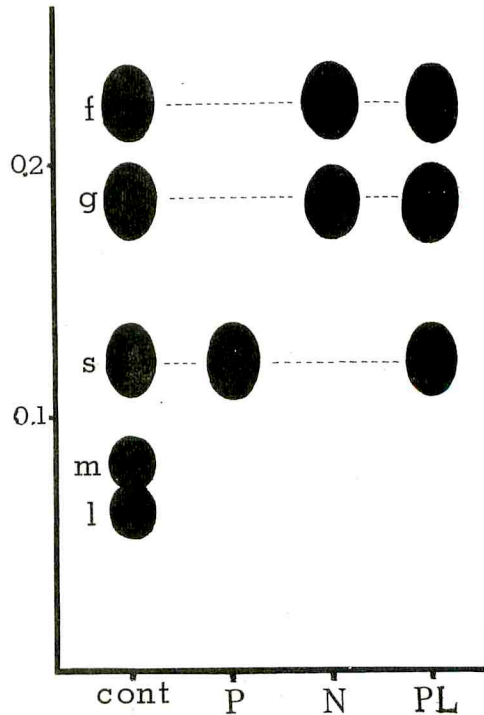


Fig. 2 マツバボタンの花粉とハチが作ったマツバボタンの花粉荷の糖の組成の比較

(f - fructose, g - glucose, s - sucrose, m - maltose, l - lactose)

P — マツバボタンの花粉
N — マツバボタンの蜜の糖
PL — マツバボタンの花粉荷の糖

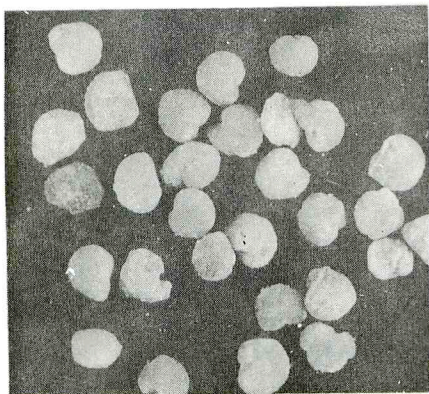


Fig. 1 ミツバチが作った花粉荷の写真 (左の目盛は1 mm)

すなわち、Fig. 3 は花粉荷が、花粉とミツとをあわせたものであることを示している。

花粉荷の大きさや重量については、すでに何人かの研究者¹⁾²⁾によって調べられているが、

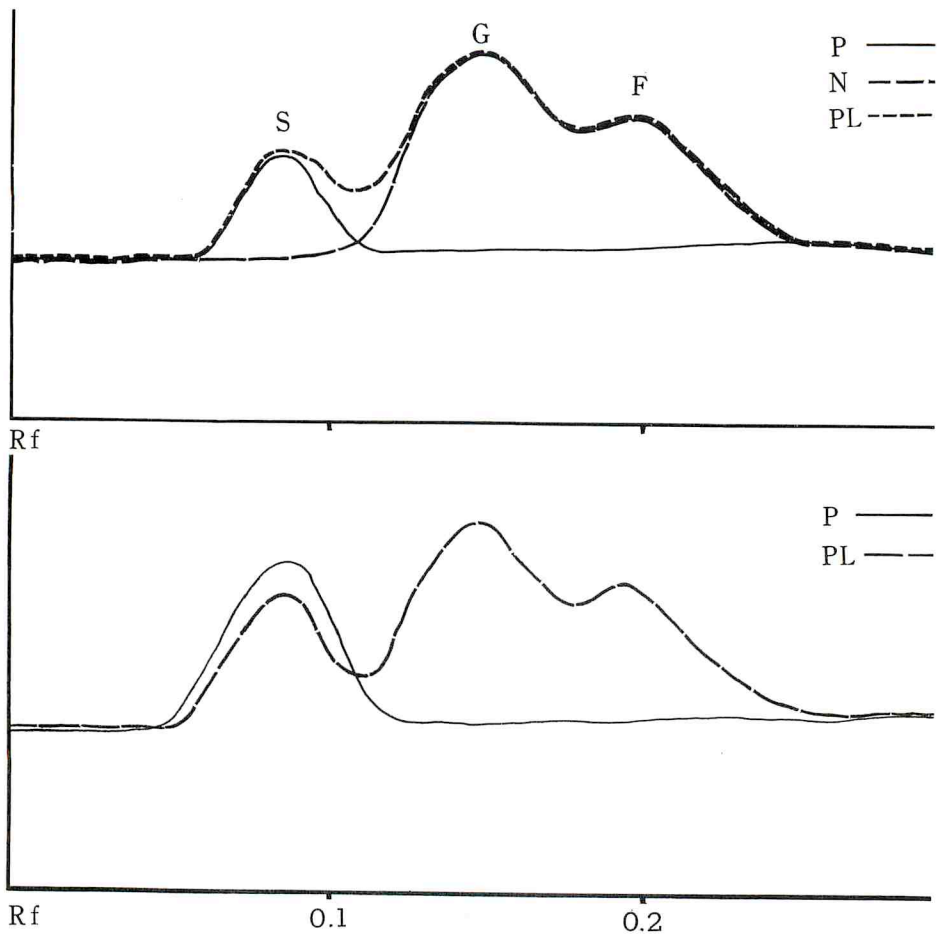


Fig. 3 花のミツ, 花粉, 花粉荷中の糖組成

花のミツと花粉の糖が一しょになって花粉荷の糖になることを示している。

S—sucrose, G—glucose, F—fructose

P—花粉, N—花のミツ, PL—花粉荷

上—マツバボタン, 下—タケニグサ

そのデータは、ハチの個体、研究者の別によってかなりちがっているようである。これはミツバチが花の種類、その時の状態、採取時刻によって、異なる大きさの花粉荷を作るからであ

ろう。

筆者らは次の状態のもとで花粉荷の重量と、ミツバチの重量を測定した。

花粉荷の種類	採取場所	時刻	天候	備考
チャ	横浜市富岡町の茶畑	午前 11 時	晴	花から巣に帰ろうとするとき
マツバボタン	玉川学園花壇	10 時	晴	＃
タケニグサ	玉川学園・巣箱の入口	10 時半	薄曇	巣にもどってきたとき
チャ・サザンカ(混合)	＃ . ．＃	午後 2 時	晴	＃

10 ~ 14 匹のミツバチから花粉荷をとり、その重量（両脚についている）を測ったが、その要約が Table 1 に示されている。

Table 1 花粉荷とそれを運んだミツバチの重量 (mg)

花粉荷の種類	花粉荷の重量			ミツバチの重量		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均
チャ	24.8	19.2	21.8	88.2	65.5	76.4
マツバボタン	14.4	7.2	9.4	76.5	64.8	70.7
タケニグサ	37.8	13.0	24.5	78.4	67.0	72.4
チャ・サザンカ	25.6	19.4	21.4	89.4	73.4	83.4

これらの実験結果から、70 ~ 80 mg のミツバチが、20 mg 以上の花粉を運んでいることがわかるが、ハチの重量の中には蜜胃中のミツの目方が含まれている。このことを考慮に入れて表中の数字をみると、重量の大きなミツバチが小さな花粉荷を運んでいることになるが、その意味については後に考察する（考察の項参照）。表中のマツバボタンの場合は、花畑でハチを採

取したため、ハチがその後にさらに花粉を集める可能性があり、そのために花粉量が少なくなっているものと思われる。

2. 花粉とミツの中の物質

花粉やハチミツの中には、糖以外のいろいろの物質が含まれているが、花のミツの中には糖とわずかの無機物のみで、有機物はほとんど含まれていない。

花粉が他の細胞に比して、とくに多くの物質をもっているのは、花粉が葯から出るときに、母体からはなれて単独に生活するための貯蔵物質を貯えているからである。花粉粒内の貯蔵物質の主なるものは、糖、アミノ酸、ホルモン類などであるが、花粉粒中にはこれらの物質が異常なほど多量に含まれているために、一部の人は人間が花粉を食べることをすすめたり、花粉入りの食薬品を作って販売したりしているほどである^{3), 12)}。

花粉粒内の糖の組成は、花の種類や花粉の成熟度によってちがっている⁴⁾が、Fig. 4 は、いろいろの花粉の開花当日の新鮮な花粉粒内の糖の組成を示している。

これらのクロマトグラムをみると、花粉の中の糖は花粉の種類によってその組成がちがいが、sucrose だけのもの、sucrose を多く

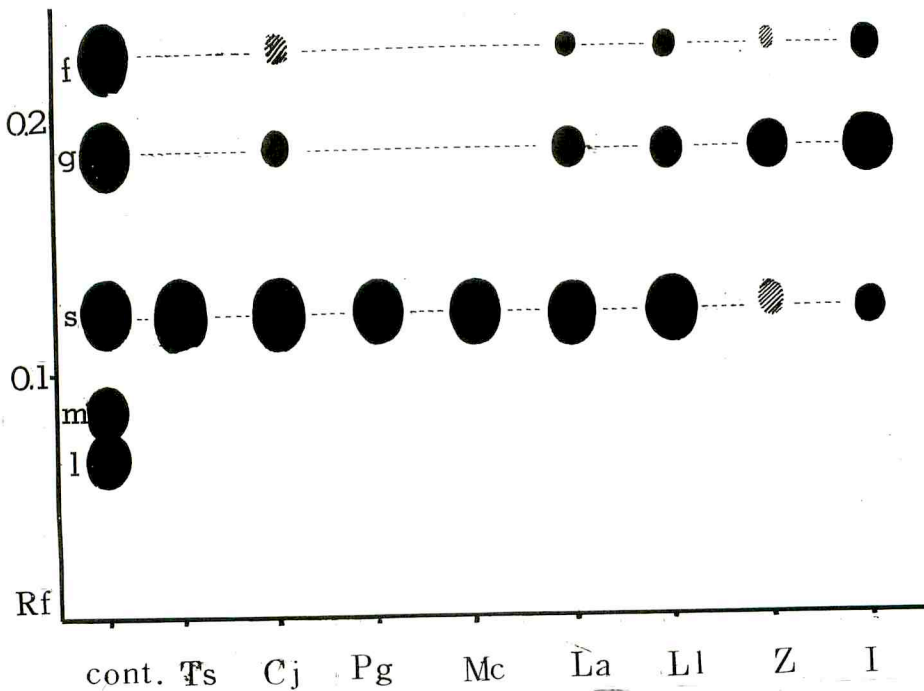


Fig. 4 いろいろの花粉の糖組成の比較

Ts — チャ, Cj — ツバキ, Pg — マツバボタン
 Mc — タケニグサ, La — ヤマユリ, Ll — テッポウユリ
 Z — トウモロコシ, I — ホウセンカ

もち glucose, fructose をもつもの, glucose を多くもち, sucrose, fructose をもつもの, fructose と glucose を多くもち, sucrose が少ないものなどいろいろであることがわかる。

アミノ酸は花粉の中に必ず含まれていて, 花の種類によって4~19種類がみられている^{9),10)} 今回の調査でも花粉粒中のアミノ酸についても調べた。そのデータは省略するが, ただこの調査を通じて, 花粉粒中のアミノ酸の特徴の一つとして, proline が他の細胞よりもとくに多いように思われた。このことは他の研究者によってもたしかめられている¹¹⁾

ホルモン類については今回は調べなかったが, Riboflavin, Nicotinic acid, Pantothenic acid, Piridoxine, Biotin, Inositol などが知られているが, 中でも nicotinic acid の含量が多い³⁾といわれている。

花のミツの糖は, 植物の種類によっていろいろであるが, sucrose を主としたものと,

glucose と fructose を主としたもの, 3つの糖がほぼ等量に含まれているもの3種があるようである。いろいろの花からミツをとって, これをクロマトグラフで調べると多くのミツには, 以上の3種のほかに, さらに少量の未知の糖物質が含まれていた (Fig. 5)。

花のミツの糖組成は, 花の成熟度によって変化する可能性があるが, 今回のものは開化日の昼頃の花ミツについて調べられたものである。

ハチミツの糖はハチが集める時期や花の種類によってちがうが, glucose, fructose が主で, sucrose は他の2つにくらべてあってもごく少量である。また, 花のミツの中にはアミノ酸はないが, ハチミツの中にはかなり多量のアミノ酸が含まれている。ミツバチの巣の中からハチミツをとり, これを薄層クロマトグラフで調べたところ, 少なくとも15種類以上のアミノ酸が検出できたし, ミツバチの蜜胃中のミツの中にも13種類のアミノ酸が含まれていた (Fig. 10 参照)。

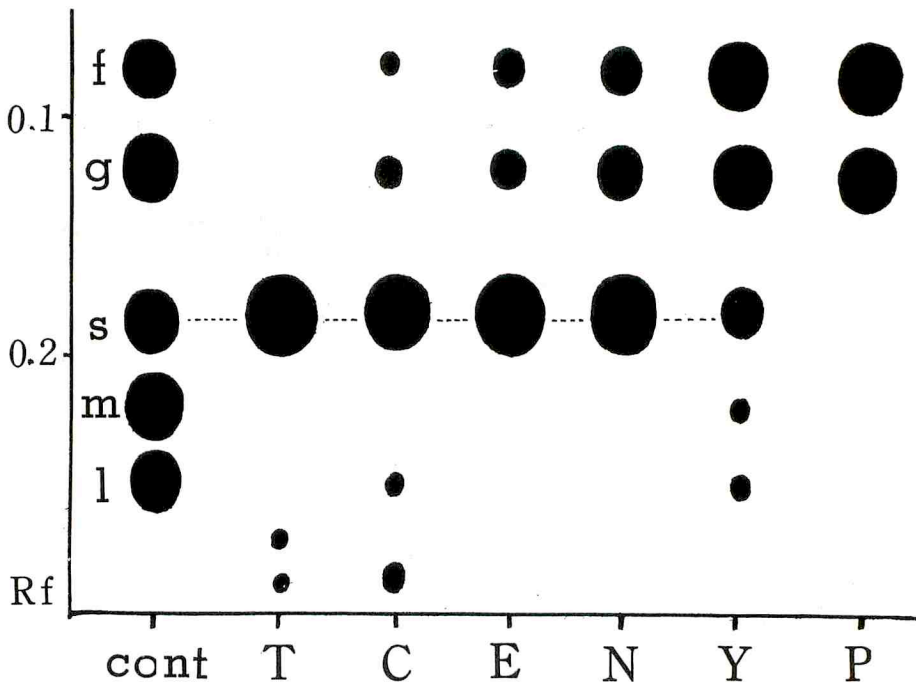


Fig. 5 いろいろの花ミツの糖の組成
T—チャ, C—ツバキ, E—チューリップ, N—スイセン
Y—コッカ, P—マツバボタン

3. 花粉粒内の物質の浸出

花のミツと, ミツバチが巣に貯えたミツとの間には, 物質的にかなり大きなちがいがみられることは前記の通りであるが, この変化は花のミツがハチに吸われてから, 巣に貯えられる間

におこなわれると考えられる。

この変化は, ハチの体内にある間に, ハチから出される酵素などの物質によっておこると考えることもできるが, ハチミツの中には大量の花粉が含まれているから, このような変化がお

こることは、花粉に原因があると考へても、それはど不自然ではないであらう。現にハチミツの中には1♀中に何万粒もの花粉粒が含まれてゐるし、ミツバチの蜜胃中にも、ハチミツの中以上に多数の花粉粒がみられる。

また、ミツバチの糞の中にも、大量の花粉が含まれてゐるが、これらの花粉は、通常外膜が破れず、花粉粒の原形をとどめてゐる。そこで膜が破れなければ、花粉粒内の物質が吸収されないのではないかと疑問がもたれる。

そこで筆者らは、花粉粒の膜が破れない状態において、花粉粒内の物質が外に出ることができかどうかをみるための調査を行なつた。

a) 酵素の流出

花粉は一種の細胞であるから、細胞質をもち、原形質膜をもつてゐる。原形質膜は通常半透性をもつから、細胞中の高分子の物質(酵素、アミノ酸、糖など)は簡単には外に出ないのがふつうである。ところが、葯から出た花粉粒はかなり脱水状態にあるために、吸水直後はその半透性が不完全であるから、たとえば人工培養において、培養基に花粉をまくと、花粉粒内の物質は、かなり培養基の培養液中に流出する¹³⁾。しかし、これらの花粉は、時間とともに次第に半透性が完全となり、吸水力に助けられて発芽し、花粉管をのぼす¹³⁾。ところが、花粉が水の中に沈むと、呼吸が阻害され、そのために花粉は生きていられなくなる。すると花粉の原形質膜の半透性は失なわれ、花粉粒内に貯えられた物質は溶液中に流出する。したがって、ハチミツ中においても、その中に含まれてゐる花粉粒から、粒内のいろいろの物質が流出することは当然予想されるが、筆者らはまず、sucrose 分解酵素(invertase)の流出に関する実験を試みた。

0.1 M と 1 M の濃度の sucrose 液を 5ml ずつ別々に試験管にとり、この中にミツの中にある時と同じように 0.1 ♀ ずつの花粉を入れて全体に拡散させた。0.1 M の sucrose 液中の花粉は吸水しすぎて内容物が吐出するが、1 M の sucrose 液中の花粉は、逆に脱水状態になって膜は破れない。もし 1 M の sucrose 液の sucrose が fructose と glucose とに分解されれば、花粉粒内から invertase が液中に流出したことになる。

Fig. 5 はヤマユリの花粉を含む 0.1 M, 1 M の両液が、32°C の下で 1 時間、2 時間、3 時間、4 時間の後に、糖組成がどのように変わるかを調べた結果である。0.1 M の sucrose 液に花粉を入れたとき(内容物が吐出したとき)の方が、その速度は早かったが、1 M の sucrose 液に花粉を入れたとき(膜は破れず、むしろ原形質分離に近い状態のとき)においても、明らかに sucrose は消失し、glucose と fructose とがあらわれてきた。このことは明らかに、花粉粒内の

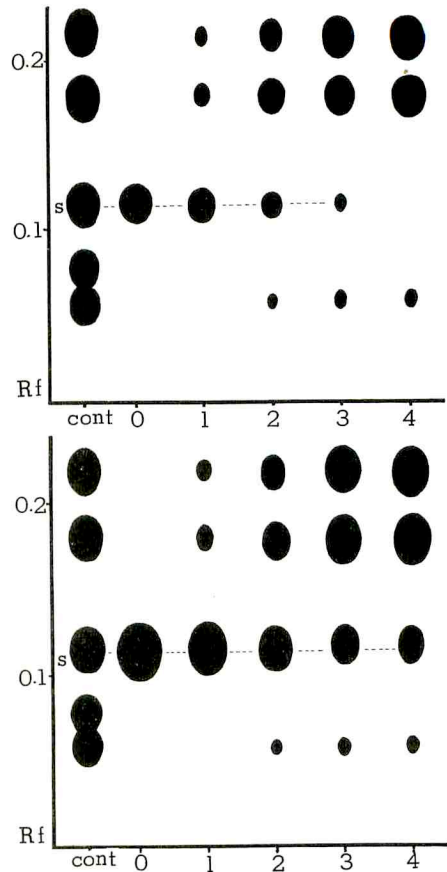


Fig. 5 sucrose 液に花粉(ヤマユリ)を入れたときの sucrose 液の変化
 上— 0.1 M sucrose 液
 下— 1 M sucrose 液
 s …… sucrose の位置

invertase が、花粉の膜を通して、溶液中に流出したことを示している。

こうして、sucrose 分解酵素は、花粉の膜が破れなくても、花粉粒外に出ることがわかったが、花粉粒の膜が破れて物質が流出した場合には、当然のことながら、sucrose の分解速度は、膜が破れない場合よりも早く行なわれた。他のいろいろの花粉についても同様の結

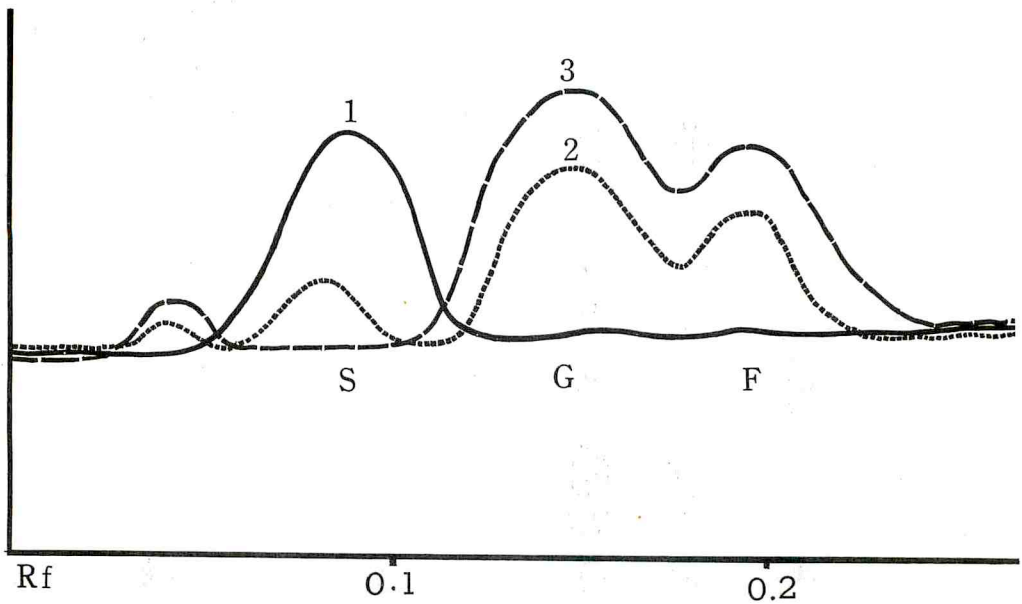


Fig. 6 sucrose 液中にヤマユリの花粉を加えたときの糖の変化
 (Densitometer による記録)
 1 — 40分後, 2 — 5時間後, 3 — 10時間後
 (S — sucrose, G — glucose, F — fructose の位置)

果が得られたが, Fig. 6 は sucrose 液にヤマユリの花粉を加えたときの, sucrose 分解の様子を Densitometer の図によって示している。時間の経過とともに, sucrose が消失し, glucose と fructose が増加する様子が明らかにわかる。このように, 花粉粒内に含まれている invertase のような高分子の物質が, 膜を通して粒外に流出するとすれば, 他の物質, たとえばホルモン, アミノ酸なども当然流出する筈である。

b) アミノ酸の浸出

1 M の glucose 溶液 (5 ml) 中に, 0.1 g の花粉を入れ, 24 時間後に, 溶液中に

出てくるアミノ酸を調べた。この場合も花粉粒の膜は破れなかったが, 溶液中に少なくとも 12 ~ 13 種類のアミノ酸が検出された。

Fig. 7 がその様子を示している。

これらのアミノ酸が花粉粒内から浸出したものであることはまったく疑いないが, このクロマトグラムをみると花粉粒中に多くみられる Proline がとくに多いことを示している。これは花粉が原形質膜の半透性を失ったとき, 粒内のアミノ酸を一様に外に出していることを示している。したがってハチミツ中の花粉からも, これと同様にして粒内の物質がハチミツ中に出ていると考えなければならないであろう。

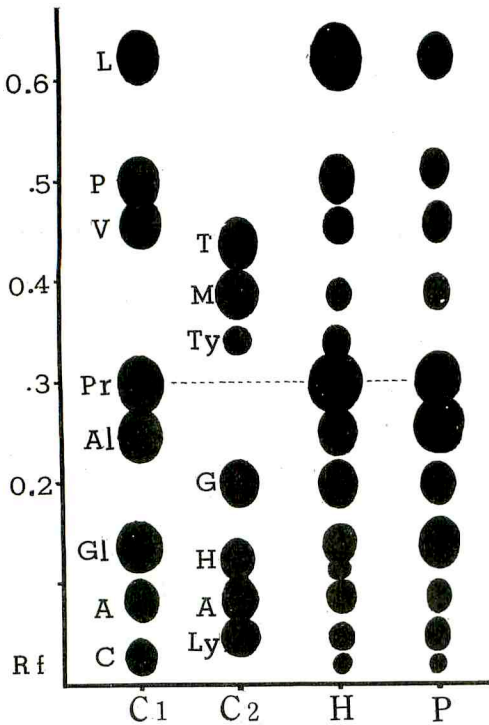


Fig. 7 sucrose の液の中に入れた花粉から外に出るアミノ酸
 H—サボテンの花粉を入れたもの
 P—マツバボタンの花粉を入れたもの
 C1, C2—アミノ酸溶液(control)
 Pr……proline

4. 蜜胃中の糖液の変化

以上の実験によって、糖液中の花から、いろいろの物質が外に出ることがわかったが、花のミツがハチの蜜胃中に吸い込まれたとき、ハチの体からも酵素などの物質が出るかどうかを調べる実験を行なった。

ミツバチを、5~6匹ずつを4群に分け、餌を与えずに30℃の下に30時間おいた。このようにしておかれたミツバチは、やがて生理的飢餓の状態におち入り、次第にその動きがよくなる。このような状態のミツバチの蜜胃は、ほとんど空の状態になる。こうして生理的飢餓の状態になった各群のハチに、それぞれ以下の糖液を与えた。

- I 群 — glucose(1M)
- II 群 — sucrose(1M)
- III 群 — xylose(1M)・sucrose(1M)

IV 群 — glucose(1M)・sucrose(1M)

V 群 — xylose(1M)・glucose(1M)・sucrose(1M)

ミツバチがこれらの糖液を蜜胃中に吸い込み、身動きができないようになって(約20分後)から、5分、30分、5時間、24時間後に、それぞれハチの蜜胃中から、ガラスの細管で糖液を吸いとり、クロマトグラフによってミツの糖組成を調べた。

その結果は、Iでは変化がみられず、II~Vでは sucrose が減少し、glucose と fructose とが増加した。Xyloseは分解されなかったが、いずれも lactose より Rf 値のひくい未知の糖が生じていた。Fig.8 は24時間後のクロマトグラムの様子を示している。

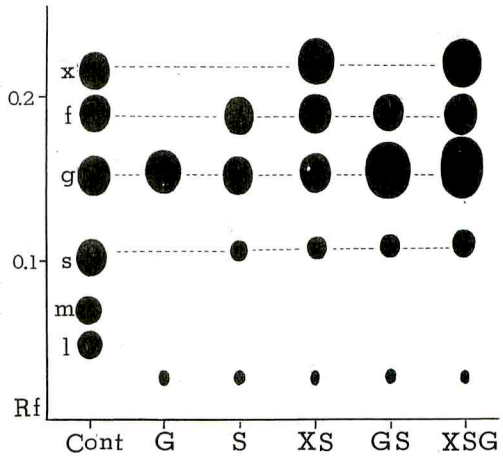


Fig. 8 ミツバチの蜜胃中に入れたいろいろの糖の変化(24時間後)

ハチに吸わせた糖の種類

- G—glucose, S—sucrose,
- XS—xylose と sucrose の2種類,,
- GS—glucose と sucrose の2種類,
- XSG—xylose, sucrose, glucose の3種類

また、蜜胃中に sucrose を入れたときの、sucrose の分解過程の様子をFig.9に示した。こうして sucrose は、ハチの体内から分泌される酵素によって glucose と fructose とに分解され、なお未知の糖を生じた。この未知の糖は、sucrose 液に花粉を加えたときにも生じたが、後者のものは前者にくらべて、Rf 値がさらにひくかった (Fig.6 参照)。この未知の糖は、5時間後

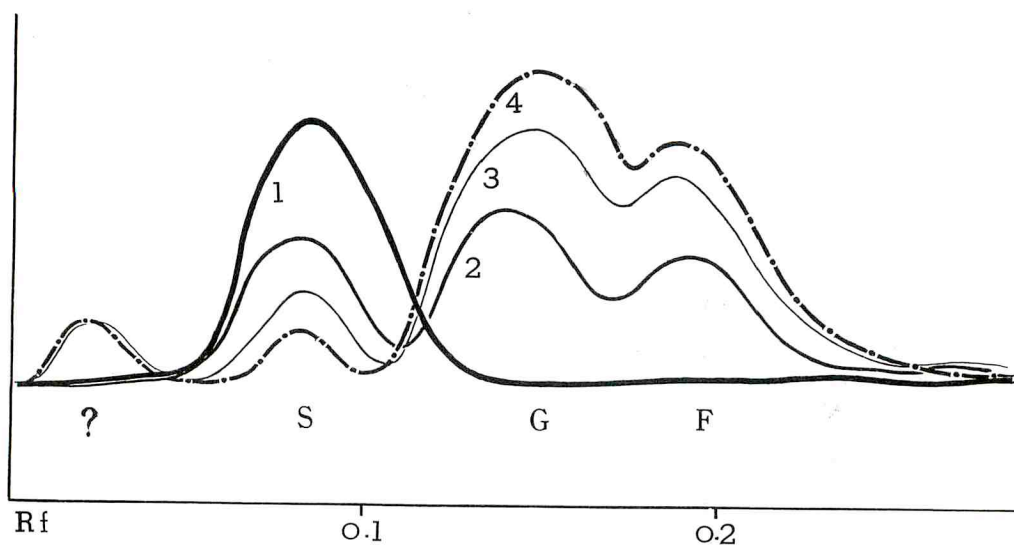


Fig. 9 ハチの蜜胃中の sucrose の変化 (Densitometer による記録)
 (1-5分後, 2-2時間後, 3-5時間後, 4-24時間後)
 S-sucrose, G-glucose, F-fructose, ?...不明の糖

と 24 時間後とでその量が変わらないことから、糖の分解産物ではなく、ハチの体から分泌されたものではないかと考えられる。

この実験の結果から、ハチの体からも invertase などの酵素が出されていることがわかるが、Fig. 8, Fig. 9 にみられるように、最後まで sucrose が残っていることは、ハチの体内における分解能力が、それほど強くないことを示している。しかも、この実験でミツバチが、生理的飢餓の状態にした後に sucrose 液を与えた筈であるが、全体の 27% にあたる 7 匹のハチの蜜胃中の糖液の中にごくわずかではあるが花粉粒が見いだされた。このことは、生理的飢餓の状態になったミツバチの蜜胃の中に、なおわずかの花粉が残されていることを示している。

ともかくこの実験で、ハチの蜜胃中で sucrose が分解されることがわかったので、次にこれと同じ方法で、蜜胃中にアミノ酸が分泌されているかどうかを調べた。

5. 蜜胃中に出るアミノ酸

前記同様の方法で、ハチを生理的飢餓の状態にして、蜜胃中の物質を失わせ後に糖液を与え、その糖液中にアミノ酸があらわれてくるかどうかをみた。

Glucose (1M) を吸ったミツバチを 5 時間放置した後、蜜胃中から糖液をとり、イオン交換樹脂にアミノ酸を吸着させて、薄層クロマトグラフで調べた。これと同時に、ミツバチ

の巣から得たハチミツ (レンゲミツ) 中のアミノ酸を同様の方法で調べ、両者の糖の濃度を同じくしたときのアミノ酸のクロマトグラムを Fig. 10 に示した。これらのクロマトグラムを比べてみると、ハチミツの中には多量のアミノ酸が含まれているが、ハチに吸わせた糖液中にもアミノ酸が含まれていることがわかる。ただしその量は、ハチミツのそれよりはるかにひくく、また、アミノ酸の種類もちがっているようである。前記のとおり、この実験ではアミノ酸の種類調査が目的ではなく、ただその流出の確認が目的であったために、一次展開によって調べたから、アミノ酸の種類についてくわしくはみてはいないが、たとえばハチの蜜胃中のアミノ酸は、Proline と Alanine がほぼ等量であるに対して、ハチミツのアミノ酸は Proline がとくに多くなっている。細胞中に含まれるいろいろのアミノ酸の中で Proline が多いことは、花粉粒中に含まれるアミノ酸組成の一般的な特徴である。

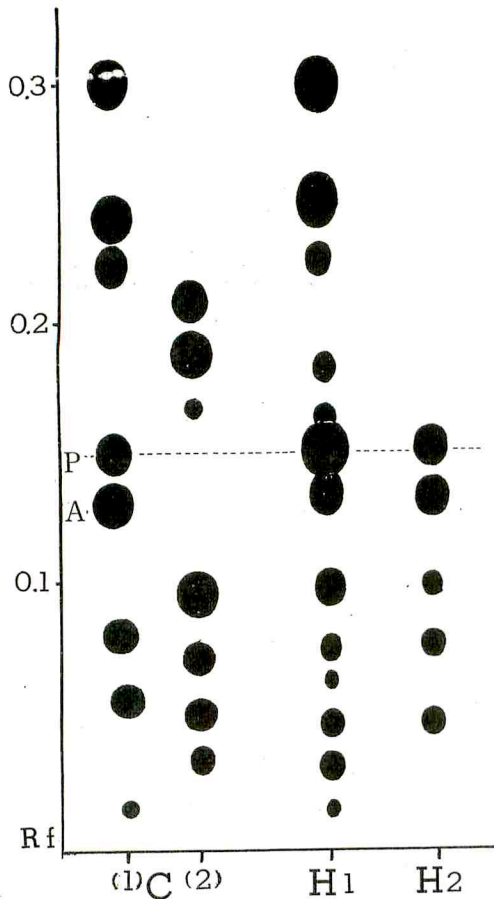


Fig. 10 蜜胃中に出るアミノ酸 (H₂) とハチミツの中に含まれているアミノ酸 (H₁)
 C-アミノ酸液(control)
 P-Proline,
 A-Alanine

考 察

筆者らは花粉とミツバチとの関係について、いろいろの面から調査を行なったが、その結果両者の間には、大へん密接な関係があることがわかった。

まず、花のミツと花粉、および花粉荷の糖組成を調べることによって、ミツバチが花粉荷を作るとき、花粉を花のミツでかためていることがわかった。これは、花粉がばらばらでは巣に

運びにくいから、花のミツでだんご状にかためて両脚の花粉かご (pollen sack) に入れるのであるが、巣に貯えられたこの花粉荷を作るために使われた花のミツは、そのまま幼虫が発育するときの炭水化物源となるであろう。

花粉荷の重量は、それを集めるミツバチの状態、一日のうちの採取時刻によって、かなり異なるようである。かって Ribbons¹⁾ は、ミツバチの花粉荷の目方は 8.4 ~ 22 mg であるとのべ、比較的最近岡田²⁾ は 2.1 ~ 19.8 mg (平均 7.6 mg) であると報じた。今回の実験では、花の種類、重量の測定時 (花から飛びたつときと巣に帰ってきたとき) などをかえて調べたが、その結果マツバボタンでは 7.2 ~ 14.4 mg (平均 9.4 mg)、チャでは 19.2 ~ 24.8 mg (平均 21.8 mg)、さらにタケニグサでは 13.0 ~ 37.8 mg (平均 24.5 mg) と、かなり前記のものよりは高い値が得られた。花粉は新鮮のときと、時間を経過したときとで水分含量が大へん異なるから、測定の仕方によってもその重量はちがうが、今回の調査では、花粉荷を採取した直後に測定した。

花粉荷の重量と、それを運んでいたミツバチの体重との関係を見ると (Table 1)、たとえばタケニグサの花粉 24.5 mg を運んだミツバチの体重は 72.34 mg、チャの花粉 21.5 mg を運んでいたミツバチの体重は 82.8 mg であった。したがって、重いハチが少しの花粉を運び、軽いハチが重い花粉荷を運んでいたことになるので、一見理くつに合わないと思われるが、ミツバチの体重の中には、蜜胃中の花のミツの目方も含まれているので、次のように考えれば、このことは理解できる筈である。

タケニグサの花もチャの花も、沢山の花粉を作るが、タケニグサの花はミツをあまりもっていない。これに対してチャの花は、こぼれるほど大量のミツを作っている。そこでミツバチは、タケニグサでは花粉の採取を主として重い花粉荷を作り、チャの場合はミツを多くもつために軽い花粉荷を作って、これらを巣に運んでいるのであろう。ちなみにハチの体重 (ミツをも含めた) と花粉荷の目方を合わせた全体の重量をくらべると、タケニグサ 97 mg、チャ 104 mg と、かなり近い重量になる。

花のミツの糖組成は、花の種類によってちがっている。MAURIZIO⁵⁾ は花のミツが sucrose のみのもの (Rhododendron ferrugineum)、sucrose, glucose, fructose のもの (Prunus avium)、glucose, fructose のもの (Brassica Napus) などを見ているが、筆者らも花のミツの糖組成を調べ、ほとんど sucrose のみのもの (チャ)、glucose と fructose のみで sucrose のないもの (マツバボタン) のほか、多くの花のミツは sucrose を主として glucose と fructose とをもってい

ることを知った。ところがハチミツの中の糖は、fructose と glucose が主で、sucrose はごくわずかにすぎない。

このような糖組成のちがいは、花のミツがーたんミツバチの体内に入って巣に貯えられる間におこるもので、さらにハチミツの中には、花のミツにみられないアミノ酸などの有機物が混入している。今回の実験結果によって、これらの sucrose 分解酵素、アミノ酸などの有機物が、ハチからだけでなく、ハチミツ中の花粉からきていることが明らかにされた。

ハチの体から酵素が出ることについては、すでにいろいろの実験でたしかめられている。たとえば MACRIJIO^{6),7)}は、ミツバチの咽頭腺、腸などの抽出液を sucrose などの糖液に加え、それが分解されることをみているし、さらに同氏は、ハチの飼料として sucrose, sucrose + 花粉 を別々に与えると、花粉を与えたときの方が分解能力が高くなったとべている。しかしこの場合、ミツバチが花粉をたべたために酵素を多く作ったのか、または花粉粒内の酵素が分解に使われたのかについては不明である。筆者らは今回、生理的飢餓の状態に達したハチに sucrose を吸わせ、直接蜜胃中から液をとって、その変化をクロマトグラフで調べた。その結果、sucrose 液はややひくい速度ではあるが蜜胃中で glucose と fructose とに分解され、さらに未知の糖類が生じていることを知った。これらの事実は、たしかにミツバチの体内において、ミツの sucrose を分解して glucose と fructose とにかえるための酵素が分泌されていることを示している。さらに最近、岡田ら⁸⁾は、蔗糖を餌として与えたときに巣に貯えられるハチミツの糖組成を調べ、20時間後のハチミツが sucrose 27%, glucose 20%, fructose 24%であることをみた。ただ、この場合 sucrose がかなり残っているから、いわゆるハチミツとしての規格の中には入らないといえる。

ハチミツの中に花粉が含まれていることは周知の事実であるが、その中の花粉の量は、採取された季節や、巣箱の位置によって大きなちがいがある。たとえば岡田は10♀のハチミツ中に189,900個の花粉が含まれていたことを報告⁸⁾している。今回の調査でもハチミツ中の花粉の数が調べられたが、この値よりはかなりひくかった。しかし、ハチミツの中には必ず大量の花粉が含まれていたし、ミツバチの蜜胃の中にも多数の花粉が含まれていた(データ省略)。そこで、ハチミツ中に花粉が含まれていることの意味を調べるために、花のミツと花粉との関係について、ミツバチの体とは一応きはなして実験的な調査を行なった。

ハチミツの蜜胃のかわりに試験管を用い、花のミツのかわりに sucrose 液を用いた。そ

の液の中に花粉を加えて、糖液の変化を調べた。その結果、試験管中でも、sucrose は glucose と fructose とに分解され、またその液の中に多量のアミノ酸が出現した。しかもそのアミノ酸の種類は、ハチミツ中のアミノ酸に似ていた。たとえばハチミツ中に多い Proline が多くみられた。これらの事実は、糖液中に含まれている花粉粒の中から、sucrose 分解酵素(invertase)、アミノ酸などが浸出することを示している。

花粉は葯から出るとき、発芽のために必要な物質(糖、澱粉、酵素、アミノ酸、ホルモン類)をその中に貯えて出てくる^{4),9),10)}。もちろん sucrose 分解酵素も花粉粒中に含まれている⁴⁾が、自然において受粉したり、人工培養されたりする場合には、花粉粒内の物質は、半透性をもつ原形質膜があるために、花粉粒外に出ることはない。しかし、高濃度の液の中に入れられた場合は、原形質分離をしたり、呼吸ができなくなったりして、花粉の細胞は原形質膜の半透性を失ってしまう。半透性を失った細胞においては、物質の出入りは自由に行なわれるから、花粉粒内の物質は外液中に浸出する。

こうして sucrose 液中に花粉を入れると、その花粉粒内の物質は周りの液の中に移るが、花のミツの中に花粉が入った場合にも、まったくこれと同様のことがおこるであろう。したがって、いわゆるハチミツ中に含まれているいろいろの物質は、その中に入っている花粉に由来しているものが少なくないと考えられる。ハチミツ中のアミノ酸の量が、ミツバチの蜜胃中のアミノ酸よりはるかに多く、またその組成もちがっていることや、蜜胃中における sucrose の分解よりも、sucrose 液に花粉を入れたときの分解の方が強力であることなどの今回の実験結果、および sucrose だけを吸わせたときに、ハチが巣に貯えたハチミツ中の sucrose は30%近くが分解されずに残ること¹¹⁾などは、いずれもハチミツ中に含まれている花粉の重要性を示している。

花粉粒内からの物質の浸出は、花粉の膜が破れることなく行なわれるから、物質の浸出後も花粉の形は残っている。もともと花粉粒の外膜は、大へん化学的に安定していて、たとえばそれを王水で煮てもこわれぬし、地中に何千年も姿をとどめている¹¹⁾。もちろん、動物の消化器官の中を通っても分解されない。したがって、ミツバチの糞の中からも、多数の花粉が見いだされるが、この場合花粉の形は残っていても、花粉の物質はミツバチに吸収されたと考えてよいであろう。

以上いろいろの事実から、筆者らは、ハチミツと花のミツとはまったく別のものであって、いわゆるハチミツとは、ハチが花のミツを原料として、自分の力および花粉を使うことによって、自分たちの幼虫を育てるために、とくに作

り出した栄養剤であると結論したい。
筆者らは、ほかに花粉荷の発芽力の減退、たとえば人工的に花粉をかためて花粉荷を作り、その発芽力の変化や、人工ハチミツの可能性などについても調べているが、これらについては、別の機会にまとめて報告する予定である。

今回の調査をするにあたり、ミツバチの採取など、多くの助力を得た玉川大学農学部竹内一男氏に感謝の意を表するとともに、花粉の材料を与えられた江の島植物園、大船フラワーセンターの方々に厚く御礼申し上げる。

要 約

花粉とミツバチとの関係についていろいろの面から調査した結果の中で、とくに花粉荷のでき方、ハチミツ中の花粉に関する実験結果の報告である。

- 1) ミツバチは花粉を花のミツでかためて花粉荷を作っていることがわかった。
- 2) 花粉粒中の糖の種類は、花粉の種類によって異なり、sucrose だけのもの(マツバボタン、タケニグサなど)、sucrose を主として glucose, fructose をもつもの

(ツバキ、ユリの類)、glucose を主としてわずかの sucrose, fructose をもつもの(トウモロコシ、ホウセンカなど)などがみられた。

3) 花のミツの糖の種類は、花の種類によって異なり、ほとんど sucrose だけのもの(チャ)、sucrose, fructose, glucose のもの(ツバキ、チューリップなど)、ほとんど glucose と fructose だけのもの(マツバボタン)などがみられた。

4) sucrose 液中に花粉を入れると、sucrose が glucose と fructose とに分解した。

5) sucrose 液中に花粉を入れると、その液中に花粉のアミノ酸が浸出した。

6) ミツバチの蜜胃中に sucrose, glucose, xylose など入れると、sucrose だけが分解された。

7) ミツバチに glucose 液を吸わせると、その中にわずかのアミノ酸が出てきた。

8) ミツバチは花のミツをただ巣に運んで貯えるだけではなく、花のミツを原料とし、自分の力および花粉を使って、栄養剤としてのハチミツを作り出して巣に貯えていると考えられる。

引 用 文 献

- 1) RIBBANS, C. R. (1953) The behaviour and social life of honeybee.
- 2) 岡田一次 (1963) ミツバチの花粉だんご. 生物教材の開拓 3.
- 3) McCOMICK, M. (1960) The golden pollen. Washington.
- 4) IWANAMI, Y. (1959) Physiological studeis of pollen. Jour. Yokohama City Univ., C-34.
- 5) MAURIJIO, A. (1965) Honigentstehung-Honigreifung. Deutsche Bienenwintschafft, 16. 9.
- 6) MAURIJIO, A. (1965) Zuckerabbau unter der Einwirkung der Invertierenden Fermente in Pharynxdrüsen und Mitteldarm der Honigbiene. Ann. Abeille, 8. 2.
- 7) MAURIJIO, A. (1965) Ibid. Ann. Abeille, 8. 3.
- 8) 岡田一次・岡厚生・杉山厚子 (1968) ミツバチによる糖類の転化と蜂蜜中の花粉粒数について. 玉川大農研報, 7. 8.
- 9) 沢田義康 (1960) 花粉の生理・形態学的研究. 18, 植雑, 73.
- 10) BIEDERDORF, F. W., GROSS, A. L. and WEICHLIN, R. (1961) Free amino acid content of pollen. Ann. Allergy, 19.

- 11) 田口裕子, 松室秀夫 (1968) ミツバチの蜂蜜 (II. 遊離アミノ酸組成)
玉川大農研報, 7. 8.
- 12) 岩波洋造 (1964) 花粉学大要 東京.
- 13) 岩波洋造 (1968) 花粉の生理学的研究 XVI 横浜市大紀要.

Summary

- 1) The authors experimented on the relationship between pollen and honey bees from various points.
- 2) The mean weight of two pollen loads carried by a honey bee was 21.8 mg (*Tea sinensis*) and 24.5 mg (*Macleya cordata*) and there was the inclination that honey bees having much nectar in their honey sacks made the smaller pollen loads.
- 3) It was found that the honey bees added the flower nectar to collected pollen when they made their pollen loads.
- 4) The kinds of sugar in flower nectar or pollen grain are varied, for instance, the nectar of *Tea sinensis* or *Portulaca grandiflora* has only sucrose and glucose and fructose are not found but the pollen of *Tea sinensis* or the nectar of *Portulaca grandiflora* has glucose and fructose and sucrose was not found.
- 5) It was found that some kinds of enzymes such as invertase and many kinds of amino acids such as proline diffused out of pollen grains when the pollen grains were immersed into high concentration of sugar solution just resembled as flower nectar.
- 6) The authors concluded that honey bees made the honey nutritious food of their own by adding pollen substances to flower nectar.