香料に対するノシメダラメイガの嗅覚反応 (予報)

田村 正人^{*1} 宮嶋 弘衛^{*2}Olfactory Responses to Flavour Substances on Larvae of Indian-meal moth,
Plodia interpunctella Hübner (preliminary report)Masato TAMURA^{*1} and Hiroe MIYAJIMA^{*2}

(*1Tokyo University of Agriculture:

1-1, Sakuragaoka 1-chome, Setagaya-ku, Tokyo;

*2National Institute of Hygienic Sciences:

18-1, Kamiyoga 1-chome, Setagaya-ku, Tokyo)

The chemotaxis of the larvae of the Indian-meal moth, *Plodia interpunctella* Hübner were examined by means of the Y-tube olfactometer (Fig. 1).

The experiments herein reported, in which about 50 odourous chemicals chosen were tested, have demonstrated the following point regarding attraction and repellency to the Indian-meal moth.

A definite amount of chemicals (0.01 cc for liquids or 10 mg for solids) suspending in 100 cc distilled water was tested. From the results obtained chemicals were classified into attractants (+), repellents (-), and ineffective substances (±). The power of attraction or repellency of the substance tested is represented by the following ratio:

$$I = \frac{(A-R) \times 100}{N} \quad (I: \text{index} \quad A: \text{odorous side} \quad R: \text{odorless side} \quad N: \text{total})$$

A and R are the numbers of the larvae traveled to the odorous and odorless sides respectively, when 3 hours passed after the start of the test, and 20-40 indicates the total number of larvae tested in two or three times replicated (Table 1).

The results obtained are as follows.

Attractive flavour substances: Iso-amyl propionate, citral, ethyl cinnamate.

Repellent flavour substances: Allyl cyclohexyl propionate, eugenol, iso-amyl formate, decyl aldehyde, diacetyl, jasminal, linalol, ethyl iso-valerate, citronellal, isoamyl iso-valerate.

は し が き

ノシメダラメイガ *Plodia interpunctella* は菓子・食品・貯蔵穀物などの主要害虫として広く知られている¹⁻⁶⁾。これを防除する際、とくに、ただちに食用とする食品類では、風味、毒性などの関係から薬剤の使用を制限される場合がある。その対策として、森⁷⁻⁹⁾ 後閑¹⁰⁾ は減圧による殺虫法を詳しく報告している。

筆者らは、本種の食性、とくに食物認知、あるいは寄主選好のメカニズムを究明し、それを防除に応用しようと考えている。昆虫の宿主の発見、認知には主として視覚の因子と嗅覚の因子が関与するが、今回はとくに後者について研究した。

昆虫の嗅覚反応、趨化性、誘引物質等に関しては、Barrow¹¹⁾、McIndoo¹²⁻¹⁵⁾、Ballov¹⁶⁾、Folson¹⁷⁾ などの実験以来、今日までに数多くの研究がなされている¹⁸⁻²⁹⁾。

わが国でも、小林³⁰⁾の赤星椿象の趨化性をはじめとして、農業害虫については鎗木³¹⁾、望月³²⁾、杉山³³⁻³⁵⁾、Munakata³⁶⁾、笹本³⁷⁻³⁸⁾が研究を行ない、石井³⁹⁻⁴¹⁾はアズキゾウムシ (*Callosobruchus chinensis* Linné) の寄主決定機構やヨツボシクサカゲロウの誘引物質の研究を行ない、松沢⁴²⁾はアオムシコマユバチの嗅覚反応を実験した。果実吸蛾類に関しては宗像⁴³⁾ほか⁴⁴⁻⁴⁷⁾により、カイコについては Watanabe⁴⁸⁾、Ito⁴⁹⁾、Hanamura⁵⁰⁻⁵¹⁾、平尾⁵²⁻⁵⁴⁾が、衛生昆虫については池田⁵⁵⁻⁵⁶⁾、Okada⁵⁷⁾、北岡⁵⁸⁾、Tsuji⁵⁹⁻⁶¹⁾、林⁶²⁾が、

*1 東京農業大学: 東京都世田谷区桜ヶ丘 1-1-1

*2 国立衛生試験所: 東京都世田谷区上用賀 1-18-1

森林昆虫については安永ら^{63~65)}の報告がある。しかしノシメダラメイガについては、わずかに鈴木⁶⁶⁾のコクゾウ被害米に対する嗅覚反応に関する実験報告があるのみである。

筆者らは、香料を用いて、ノシメダラメイガ幼虫の誘引物質および忌避物質の探索実験を行なった。まだ不十分な点も多いが、これまでの結果をとりまとめ報告したい。

材料および方法

1. 嗅 覚 計

McIndoo^{13, 67)}の Y 字管型嗅覚器を少し改変して使用した (Fig. 1)。大別して Y 字管 (A) とサイフォン (B) の部分よりなる。

2. 実験方法

サイフォン (d) の中の水 (e) が排水管 (f) より流出する圧力によって、太さ約 3cm の Y 字管内の空気が吸引管 (g) を伝って流れるため、香料 (a) もその方向に流れ、C に放った昆虫が反応を示す仕組みである。b 点には Control として蒸留水を含んだ脱脂綿を置いて、Y 字管の一方の腕は空気のみ通過するようにした。なお実験中は Y 字管を暗幕でおおった。空気の流れは線香の煙で確かめた。

Fig. 1. Y-tube olfactometer

A: Y-tube B: siphon

a: flavour vessel b: control vessel c: insect room d: bottle e: water f & g: vinyl pipe

3. 供 試 虫

当研究室において、米ヌカで累代飼育中の 4~5 令の健康で均一な幼虫を用いた。1 回の実験には 10~20 個体ずつ供試したが、実験による幼虫疲労を考慮して、一度用いた個体は使わなかった。

4. 実験期間と温度

実験は 1968~1969 年、6~10 月、ノシメダラメイガが多量に発生し、活動する時期に行ない、実験期間中の温度範囲は、おおむね 20~30° であった。温度の高低によって幼虫の活動性に差があるのではないかと考えた

ので、元村⁶⁸⁾の方法による温度反応に関する実験を行なったが、これらの温度範囲では、とくに目立った活動性の差が認められなかった。

5. 香料の種類および濃度

59 種の香料 (Table 1) をマイクロシリンジで各々液体は 0.01 ml, 個体は 10mg 相当を 100ml の蒸留水に希釈して、濃度を約 10,000 倍とし、脱脂綿にしみこませて A (flavour vessel) に置いた。これらの濃度は人間の嗅覚にも十分感じられるにおいである。

6. 効果の判定

あらかじめ、香料を用いずに 30 個体につき 3 回ずつの予備テストを行ない、 χ^2 検定の結果、ランダムに分散することがわかったので本実験を行なった。左右交互に 2~3 回同一実験をくり返した。実験開始より 3 時間後の幼虫の移動によって反応率 (においの方向に移動した昆虫を陽性、においのない方向に移動した昆虫を陰性、どちらにも移動しなかったものを不反応とした)、および反応指数 $I = \frac{(A-R) \times 100}{N}$ (ただし I: 反応指数, A: においの方の昆虫数の合計値, R: 新鮮空気の方の昆虫数の合計値, N: 供試昆虫数)などを求め一応の判定の標準とした。Y 字管はにおいが残らないように毎回洗剤で十分洗浄した。

実験結果

実験の結果は Table 1 に示した通りで、全体的にみると誘引よりも忌避的な反応が多く認められた。さらに、反応の強弱はあるが、毎回同一の傾向を示したものは、わずか 17 種の香料で、その他 42 種の香料に対しては、2~3 回の実験のうち、1回は異なる (相反する) 傾向が認められたので、今後なお実験をくり返す必要が感じられた。

全回とも同一傾向を示した。これら 17 種の香料だけについて、さらに χ^2 検定を行なって、誘引または忌避反応についての信頼限界を求めた (Table 2)。 χ^2 検定の結果、さらに terpineol, ionone, geraniol, methyl acetate が脱落し、95% 以上の信頼限界で誘引性が認められたものは *iso*-amyl propionate, citral, ethyl cinnamate の 3 種で allyl cyclohexyl propionate, eugenol *iso*-amyl formate, decyl aldehyde, diacetyl, jasminal, linalol, ethyl *iso*-valerate, citronellal, *iso*-amyl *iso*-valerate の 10 種の香料に対して忌避的反応が認められた。もっとも顕著な忌避性を示したものは *iso*-amyl formate であった。

考 察

Ballov¹⁶⁾ はマメコガネ (*Popillia japonica*) が geraniol と eugenol の混合物に対して強い走化性をもつことを発見した。しかしノシメダラメイガ幼虫はこれらに対してはいずれも忌避的反応を示した。杉山ら^{33~35)}によればヤサイゾウムシ (*Listroderes obliquus*) のふ

Table 1. Attractivity Test of Flavour Substances on Larvae of Indian meal moth

No.	Flavour substances	Accordance of tests	No. of insects	No. of tests	Response (%) ^{*1}			Index ^{*2}
					+	-	±	
1.	Hydroxy citronellal		40	3	65.0	2.5	32.5	32.5
2.	Geranyl formate		40	3	57.5	0	42.5	15.0
3.	Citronellyl acetate		40	3	47.5	2.5	50.0	- 2.5
4.	Terpineol	○	40	3	50.0	2.5	47.5	2.5
5.	Terpinyl acetate		40	3	45.0	7.5	47.5	- 2.5
6.	Ethyl acetate		20	2	30.0	25.0	45.0	-10.0
7.	Ethyl phenylacetate		30	3	36.7	6.7	56.7	-20.0
8.	Allyl cyclohexylpropionate	○	30	3	23.3	0	76.7	-53.3
9.	Geranyl acetate		30	3	46.7	3.3	50.0	- 3.3
10.	iso-Amyl propionate	○	30	3	70.0	0	30.0	40.0
11.	Jasminal	○	30	3	26.7	0	73.3	-46.7
12.	Ethyl butyrate		30	3	70.0	0	30.0	40.0
13.	Ionone	○	30	3	33.3	13.3	53.3	-20.0
14.	Benzyl propionate		30	3	40.0	3.3	56.7	-16.7
15.	Linalyl acetate		30	3	50.0	10.0	40.0	10.0
16.	Butyl acetate		30	3	40.0	23.3	36.7	3.3
17.	Methyl salicylate		30	3	36.7	10.0	53.3	-16.7
18.	Citral	○	30	3	70.0	0	30.0	40.0
19.	Phenylethyl acetate		30	3	56.7	10.0	33.3	23.3
20.	Citronellol		30	3	30.0	30.0	40.0	-10.0
21.	iso-Amyl acetate		30	3	56.7	10.0	33.3	23.3
22.	Eucalyptol		30	3	46.7	3.3	50.0	- 3.3
23.	8-Nonalactone		30	3	46.7	10.0	43.3	3.3
24.	Butyric acid		30	3	40.0	20.0	40.0	0
25.	Butyl butyrate		30	3	40.0	3.3	56.7	-16.7
26.	iso-Eugenol		20	2	45.0	10.0	45.0	0
27.	α-Ionone		30	3	36.7	10.0	53.3	-16.7
28.	p-Methyl acetophenone		30	3	50.0	13.3	36.7	13.3
29.	Eugenol	○	30	3	30.0	3.3	66.7	-36.7
30.	Undecalactone		30	3	53.3	0	46.7	6.7
31.	iso-amyl formate	○	30	3	13.3	0	86.7	-73.3
32.	Allyl iso-thiocyanate		30	3	43.3	0	56.7	-13.3
33.	Decyl aldehyde	○	30	3	26.7	10.0	63.3	-36.7
34.	Anisaldehyde		30	3	60.0	0	40.0	20.0
35.	Geraniol	○	30	3	40.0	0	60.0	-20.0
36.	Diacetyl		30	3	23.3	3.3	73.3	-50.0
37.	Benzaldehyde		30	3	30.0	6.7	63.3	-33.3
38.	Cinnamyl alcohol		30	3	36.7	3.3	60.0	-23.3
39.	iso-Butyl phenyl acetate		30	3	23.3	0	76.7	-53.3
40.	Ethyl caproate		30	3	36.7	13.3	50.0	-13.3
41.	Methyl anthranilate		30	3	46.7	0	53.3	- 6.7
42.	Ethyl oenanthate		30	3	43.3	10.0	46.7	- 3.3
43.	Allyl caproate		30	3	40.0	3.3	56.7	-16.7

(continued)

Table 1.

(continued)

No.	Flavour substances	Accordance of tests	No. of insects	No. of tests	Response (%) ^{*1}			Index ^{*2}
					+	-	±	
44.	Ethyl acetophenone		30	3	40.0	0	60.0	-20.0
45.	Cinnamyl acetate		30	3	36.7	23.3	40.0	- 3.3
46.	<i>dl</i> -Menthol		30	3	63.3	0	36.7	26.7
47.	Linalol	○	20	2	20.0	5.0	75.0	-55.0
48.	Caproic acid		20	2	50.0	0	50.0	0
49.	Benzyl acetate		20	2	55.0	0	45.0	10.0
50.	Citronellyl formate		20	2	20.0	10.0	70.0	-50.0
51.	Ethyl cinnamate	○	20	2	70.0	10.0	20.0	50.0
52.	Dimethyl anthranilate		20	2	40.0	0	60.0	-20.0
53.	Acetophenone		20	2	25.0	15.0	60.0	-35.0
54.	Methyl acetate	○	20	2	35.0	20.0	45.0	-10.0
55.	<i>iso</i> -Amyl <i>iso</i> -valerate	○	20	2	15.0	5.0	80.0	-65.0
56.	Cinnamic aldehyde		20	2	25.0	5.0	70.0	-45.0
57.	Ethyl <i>iso</i> -valerate	○	20	2	20.0	0	80.0	-60.0
58.	Benzyl alcohol		20	2	30.0	5.0	65.0	-35.0
59.	Citronellal	○	20	2	20.0	0	80.0	-60.0

^{*1} +: positive - : negative ±: indifferent^{*2} $I = \frac{(A-R) \times 100}{N}$ (I: index A: odorous side R: odorless side N: total)Table 2. χ^2 -test

Flavour substances	χ^2	"a" from χ^2 -table	Effectiveness ^{*3}
Terpineol	0.05	0.9 $\chi_a > 0.8$	
Allyl cyclohexyl propionate	8.53	0.01 $\chi_a > 0.001$	R
<i>iso</i> -Amyl propionate	4.80	0.05 $\chi_a > 0.02$	A
Jasminal	6.53	0.02 $\chi_a > 0.01$	R
Ionone	1.38	0.3 $\chi_a > 0.2$	
Citral	4.80	0.05 $\chi_a > 0.02$	A
Eugenol	4.17	0.05 $\chi_a > 0.02$	R
<i>iso</i> -Amyl formate	16.13	0.001 χ_a	R
Decyl aldehyde	4.48	0.05 $\chi_a > 0.02$	R
Geraniol	1.20	0.3 $\chi_a > 0.2$	
Diacetyl	7.76	0.01 $\chi_a > 0.001$	R
Linalol	6.37	0.02 $\chi_a > 0.01$	R
Ethyl cinnamate	5.56	0.02 $\chi_a > 0.01$	A
Methyl acetate	0.25	0.7 $\chi_a > 0.5$	
<i>iso</i> -Amyl <i>iso</i> -valerate	8.89	0.01 $\chi_a > 0.001$	R
Ethyl <i>iso</i> -valerate	7.2	0.01 $\chi_a > 0.001$	R
Citronellal	7.2	0.01 $\chi_a > 0.001$	R

^{*3} A: attractant R: repellent

化幼虫では天然に存在するカラシ油類である allyl, benzyl, 2-phenylethyl iso-thiocyanate と 6 種の合成 iso-thiocyanate 計 9 種類のカラシ油すべてに誘引性が認められた。しかし、その誘引力にはかなりの差があり、一般に CH_2 基数の多いものほど誘引力が強い傾向がある。またセリ科精油成分では、anethole, 1-linalool α -limonene その他 3 種の単一成分およびカラウエー、コリアンダー、セロリ、パセリなどの種子油、p-cymene には誘引性があり、p-cymene によく似た香気をもつ thymol, carvacrol には誘引性がない。成虫においても同様のことが認められ、しかも強い連続的な反応を示す。これらの事実は、ヤサイゾウムシが広食性であるにもかかわらず、特定の植物群を特徴づけている特殊な揮発性物質を、その寄主発見や摂食の開始の刺激として役立てているという。一方、狭食性昆虫では、イネに含まれるニカメイチュウ (*Chilo suppressalis*) の誘引物質は p-methyl acetophenone でこれを Munakata ら³⁶⁾ は “Oryzanone” と命名した。β-methyl acetophenone はノシメダラメイガ幼虫に対しては誘引、忌避が明りょうではなかった。また、カイコガ (*Bombyx mori*) 幼虫に対して、Watanabe ら⁴⁸⁾ は β,γ-hexenol, α,β-hexenal がよく誘引力を発揮すること、したがって老熟幼虫は hexenal に誘引されることを、また畑中ら⁶⁹⁾ は β-γ-hexenol の幾何構造と誘引性との関係を調べ、3-cis-hexene-1-ol がもっとも誘引性が強いと報告した。つづいて Hamamura ら⁵⁰⁻⁵¹⁾ は, citral, linalol, linalyl acetate, terpenyl acetate 等テルペン類の誘引性が強力であることを報告した。このような関係はノシメダラメイガについては不明である。平尾ら⁵⁴⁾ は約 200 種の物質についてカイコ幼虫の誘引性のテストを行なった。これによると、石油類やピネン、ハッカ、樟脳、アミン類などは忌避的に作用するが、他の多くのものが誘引性を示すこと、また geraniol が比較的強力で、Hamamura ら⁵⁰⁻⁵¹⁾ の報告した citral や linalyl acetate に匹敵し、これより強力なものとして脂肪酸エステルがあった。なかでも n-butyl propionate が最高の誘引性を示すという。以上のようにこれまでの多くの研究報告と筆者らの結果とを比較すると、わずかに citral がノシメダラメイガ幼虫に対しても、カイコ同様強い誘引性を示したことで一致している以外は、大部分異なった結果が得られた。これは昆虫の種類によって嗅覚能力が異なるためと思われるが香料の濃度によっても誘引、忌避が逆転することがある⁵⁴⁾ ので、くわしくは今後の研究にまちたい。

稿を終るに臨み、日頃、いろいろご指導いただき、また本文をご校閲いただいた東京農業大学教授沢田玄正博士、香料を提供して下さった高砂香料 (株) および増田香料 (株) ならびに実験の一部を手伝っていただいた東京農業大学学生、斎藤佐市君、須藤作次君、見

城英世君に対し深謝する。

なお、本研究は日本食品衛生学会の研究費によっておこなったものである。ここに記して謝意を表する。

文 献

- 1) 佐藤 覚: “植物防疫資料” p. 3 (1950) 農林省農政局。
- 2) 桐谷圭治: 応動昆. 1, 8 (1957).
- 3) 桐谷圭治: 大阪植物防疫 7, 1 (1959).
- 4) M. E. Tzanakakis: Hilgardia 29, 205 (1959).
- 5) G. C. Williams: Ann. Appl. Biol. 53, 459 (1964).
- 6) 生沢万寿夫, 他 7 名: “食品害虫” (1969) 光琳書院。
- 7) 森 八郎: 応動. 15, 86 (1944).
- 8) 森 八郎: 同上. 17, 83 (1952).
- 9) 森 八郎: 同上. 17, 111 (1953).
- 10) 後閑暢夫, 山中 浩, 藤田節也: 応動昆. 1, 209 (1957).
- 11) W. M. Barrows: J. Expt. Zool. 4, 515 (1907).
- 12) N. E. McIndoo: ibid. 16, 265 (1914).
- 13) N. E. McIndoo: J. Econ. Ent. 19, 545 (1926).
- 14) N. E. McIndoo: J. Agr. Res. 33, 1095 (1926).
- 15) N. E. McIndoo: ibid. 46, 607 (1933).
- 16) C. H. Ballou: J. Econ. Ent. 22, 289 (1929).
- 17) J. W. Folsom: ibid. 24, 827 (1931).
- 18) 斎藤哲夫: 植物防疫 13, 1 (1959).
- 19) 平野千里: 生物科学 12, 104 (1960).
- 20) 石井象二郎: “新農薬研究法” p. 500 (1960) 南江堂。
- 21) 井上雄三: “新農薬創製法” p. 356 (1965) 南江堂。
- 22) 松本義明: 植物防疫. 19, 1 (1965).
- 23) 斎藤哲夫: “農薬の生物検定”. p. 204 (1965) 南江堂。
- 24) 林屋慶三: 防疫科学 31, 137 (1966).
- 25) 和田弘次郎: 化学と生物 5, 698 (1967).
- 26) 林屋慶三: 植物防疫 23, 344 (1967).
- 27) H. H. S. Bovingdon: Ann. Appl. Biol. 46, 47 (1958).
- 28) A. J. Thorsteinson: Ann. Rev. Ent. 5, 193 (1965).
- 29) S. D. Beck: ibid. 10, 207 (1965).
- 30) 小林貫一: 応動. 8, 177 (1936).
- 31) 鍋木外岐雄, 他 6 名: 農事改良資料 140, 159 (1939).
- 32) 望月正己: 応用昆虫 7, 165 (1952).
- 33) 杉山章平, 松本義明: 農学研究 45, 5 (1957).
- 34) 杉山章平, 松本義明: 同上. 46, 150 (1958).
- 35) 松山章平, 松本義明: 同上. 47, 141 (1959).

- 36) K. Munakata, et al: Bull. Agr. Chem. Soc. Japan 23, 64 (1959).
- 37) 笹本 馨: 応動昆. 2, 88 (1958).
- 38) 笹本 馨: 同上. 4, 115 (1960).
- 39) 石井象二郎: 応用昆虫 1, 269 (1939).
- 40) 石井象二郎: 農技研報. C. 1, p. 185 (1952).
- 41) 石井象二郎: Japanese J. Appl. Ent. Zool. 8, 334 (1964).
- 42) 松沢 寛: 香川大農紀要. 3, 45 (1958).
- 43) 斎藤哲夫: 応動昆第4回シンポジウム要旨 p.30 (1960).
- 44) 松沢 寛: 同上 p. 34 (1960).
- 45) 宗像 桂: 同上 p. 47 (1960).
- 46) 斎藤哲夫: 応動昆第5回シンポジウム記録 p. 32 (1961).
- 47) 斎藤哲夫, 宗像 桂, 弥富喜三: 果実吸蛾類の防除に関する研究 p. 91 (1962) 日本植物防疫協会.
- 48) T. Watanabe: Nature 182, 325 (1958).
- 49) T. Ito: ibid. 192, 951 (1961).
- 50) Y. Hamamura, K. Naito: ibid. 190, 879 (1961).
- 51) Y. Hamamura, et al.: ibid. 194, 754 (1962).
- 52) 平尾常雄, 石川誠男: 日蚕誌. 33, 277 (1964).
- 53) 平尾常雄, 石川誠男: 同上. 34, 15 (1965).
- 54) 石川誠男, 平尾常雄: 蚕試誌. 20, 21 (1965).
- 55) 池田安之助: 防虫科学 24, 83 (1959).
- 56) 池田安之助: 同上 24, 86, (1959).
- 57) T. Okada: Japanese J. Appl. Ent. Zool. 6, 216 (1962).
- 58) 北岡茂男, 森井 勤, 小管正徳: 衛生動物 16, 244 (1965).
- 59) H. Tsuji: Jap. Jour. Sanit. Zool. 16, 255 (1965).
- 60) H. Tsuji: ibid. 17, 89 (1966).
- 61) H. Tsuji, S. Ono: ibid. 20, 240 (1970).
- 62) 林 晃史, 甘日出正美: 衛生動物 17, 68 (1966).
- 63) 安永邦輔, 大島康義, 鯉塚昭三: 日農化誌. 36, 802 (1962).
- 64) 安永邦輔, 大島康義, 木下良郎: 同上. 37, 642 (1963).
- 65) 安永邦輔: 森林防疫ニュース 13, 15 (1964).
- 66) 鈴木信輔: 松虫 3, 115 (1949).
- 67) 杉山章平: “昆虫実験法” p. 325 (1959) 日本植防協会.
- 68) 元村 勲: 生態学研究 4, 250 (1948).
- 69) 畑中顯和, 大野 稔: 応動昆第5回シンポジウム要旨 p. 42 (1960).