

数種の貯穀害虫のメチルブロマイドガス に対する感受性の比較*

川 本 登・故山 崎 正 吾

渡 辺 睦 雄**・高 田 昌 稔**

横浜植物防疫所調査課

Comparative Studies on the Susceptibility of Various Stored Grain Insects to Methyl Bromide

By

Noboru KAWAMOTO, Shōgo YAMASAKI,

Mutsuo WATANABE and Masatoshi TAKADA

Research Division, Yokohama Plant Protection Station

I. ま え が き

メチルブロマイドは貯穀害虫のくん蒸剤として一般に使用されているが、确实なくん蒸効果を取めるための条件を検討しようとする場合に、それらの諸条件の基礎的研究が甚だ少ないことを痛感する。たとえば、くん蒸剤と昆虫の感受性、温度やくん蒸時間との関係、くん蒸剤の作用機構、あるいはガスの拡散、浸透、収着等幾多の問題が残されている。

筆者らは感受性の問題を取り上げ、メチルブロマイドガスと虫の種類、態および温度との関係について試験を行なった。

この試験は最初故吉田貞一技官が企画され、その後を筆者らが計画実施したものであるが、協同研究者の1人である山崎正吾技官は本文の完成を見ずして逝去されたのはまことに残念であった。

II. 材料および装置

A. 供試虫の種類および飼育方法

供試虫の種類とそれらの産地は第I表に示すとおりである。

供試虫の飼育は温度 28°C、関係湿度 70~80 % に保

持した飼育室で行なった。飼育器はガラス製径 10 cm、高さ 4.2 cm の腰高シャーレーを用い、中央に径 3.1 cm の円孔のあるふたでおおい、その円孔にはろ紙をはって飼育器内の湿度の調節をはかるようにした。

B. くん蒸装置

使用したくん蒸箱はとくに試験用として設計製作したもので、その規格は次のようである。内容積 0.278 m³、床はホーロー製でガラス以外の部分は 18 ステンレスを用い、側面、上面および扉は厚さ 5 mm の二重ガラス張りとして気密や断熱をはかっている。各部分の接合箇所は合成樹脂が充てんされ、扉は耐酸性ゴムパッキングで気密化されている。設備にはアンプルカッター、ガス採集装置、扇風機および恒温装置等が付設されている。

III. 試験方法

A. くん蒸方法

供試虫を入れる容器は、成虫の場合は、直径 3 cm、長さ 15 cm の両切ガラス管を用い、その両端を綿布で被った。蛹、幼虫、卵の場合は径 9 cm の小型シャーレーを使用した。

試験区の反復は成虫は 1~2 回、その他では 2 回行ない、対照区には各供試虫とも 3~4 区分をとり平均した。

くん蒸方法は、温度を 20°C または 30°C (いずれも ±1.5°C) に保ち、2 時間のくん蒸とした。

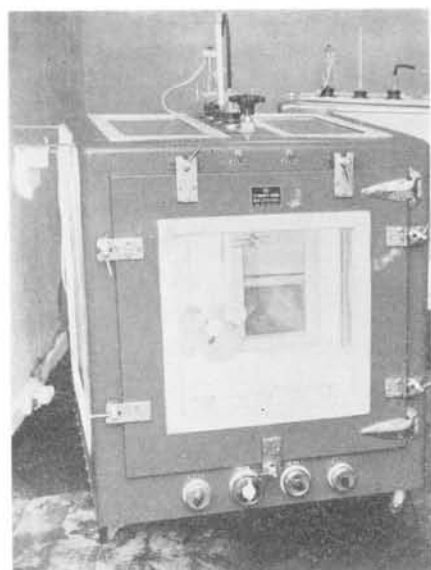
使用したメチルブロマイドのアンプルは当所で所定量

* 本報告の一部は応用動物昆虫学会大会 (1956) において発表した

** 現在農林省農政局植物防疫課
(1962 年 3 月受領)

第 I 表 供試虫の種類と産地

種 名	産 地
コクゾウ <i>Sitophilus oryzae</i> LINNÉ	内地, 1948 年以來調査課において累代飼育
グラナリアコクゾウ <i>S. granarius</i> LINNÉ	アルゼンチン, 1948 年以來調査課において累代飼育
コクヌストモドキ <i>Tribolium castaneum</i> HERBST	内地, 1948 年以來調査課において累代飼育
インゲンゾウムシ <i>Acanthoscelides obtectus</i> SAY	アメリカ, 1952 年以來調査課において累代飼育
ブラジルマメゾウムシ <i>Zabrotes subfasciatus</i> BOHEMAN	ビルマ, 1955 年以來調査課において累代飼育
アズキゾウムシ <i>Callosobruchus chinensis</i> LINNÉ	京大系統, 調査課において累代飼育
ヨツモンマメゾウムシ <i>C. maculatus</i> FABRICIUS	香港, 1955 年以來調査課において累代飼育



第 I 図 試験用くん蒸箱

のものを自作して用いた。

B. ガス濃度

くん蒸中のガス濃度は予備試験の結果次のことが判明したので薬液の秤量値の 94 % を純濃度として用いた。

(1) 薬液をアンプルで投薬した場合は、使用した濃度範囲では薬液は瞬時に気化し、アンプル内のガスの圧力と扇風機の使用によってガスは速やかに均一に拡散すること。

(2) 薬液の純度を分析した結果では 96 % であるが、くん蒸箱内のガスを投薬 5 分後に化学分析した結果では、秤量値の 94 % が見出されること。

(3) 時間が経過しても、くん蒸物が極少量であり、2 時間以内のガスの減少量は分析の誤差範囲として無視しうる程度であること。

C. 生死の判定と死亡率の計算

くん蒸後飼育室に移したテスターは第 II 表のように

第 II 表 供試虫の種類、態、供試虫数ならびに生死の調査方法

種 名	stage	供 試 時 期	1 区 の 供試虫数	試験 回数	飼 料	調査時期	調査方法
コクゾウ	成 虫	羽化後 10~15日	100	31	玄 米	くん蒸後 7日	生死数
グラナリアコクゾウ	成 虫	羽化後 10~20日	100	33	玄 米	7日	生死数
	蛹	産卵後 29~35日	—	32	玄 米	14日	羽化数
コクヌストモドキ	成 虫	羽化後 10~25日	50	29	砕 米	3日	生死数
	幼 虫	3~4令	50	31	砕 米	7日	生死数
	卵	産卵後 3~6日	—	14	砕 米	21日	ふ化数
インゲンゾウムシ	成 虫	羽化後 1~2日	50	45	アズキ	3日	生死数
ブラジルマメゾウムシ	成 虫	羽化後 1~2日	100	52	アズキ	3日	生死数
アズキゾウムシ	成 虫	羽化後 1~2日	100	38	アズキ	3日	生死数
	卵	産卵後 1~2日	70	20	アズキ	35日	羽化数
ヨツモンマメゾウムシ	成 虫	羽化後 1~2日	100	44	アズキ	3日	生死数
	蛹	産卵後 22日	70	35	アズキ	14日	羽化数
	幼 虫	産卵後 15日	70	32	アズキ	21日	羽化数
	卵	産卵後 1~2日	70	40	アズキ	35日	羽化数

第III表 メチルプロマイド2時間くん蒸における貯蔵害虫の
各態の 20°C と 30°C の LD₅₀ と LD₉₅

種	類	温 度	濃度死亡率回帰直線方程式	LD ₅₀	LD ₉₅
コクゾウ	成虫	20°C	$Y=4.7557+0.5622(x-7.4465)$	mg/l 7.88	mg/l 10.81
		30	$=5.2286+0.6348(x-5.1733)$	4.81	7.40
グラナリアコクゾウ	成虫	20	$=5.0203+0.5493(x-7.4990)$	7.46	10.46
		30	$=5.0540+0.8230(x-5.3402)$	5.28	7.27
	蛹	20	$=5.1685+0.1698(x-13.7315)$	12.55	22.43
コクヌストモドキ	成虫	20	$=4.8986+0.3106(x-18.2094)$	18.54	23.83
	幼虫	20	$=4.9322+0.1184(x-19.0276)$	19.60	33.49
	卵	20	$=4.9141+0.4766(x-9.4092)$	9.59	13.04
インゲンゾウムシ	成虫	20	$=5.0704+0.3410(x-12.4385)$	12.23	17.06
		30	$=4.6025+1.3011(x-5.9925)$	6.30	7.56
ブラジルマメゾウムシ	成虫	20	$=4.9935+0.4505(x-11.5692)$	11.58	15.23
		30	$=4.6144+1.0379(x-5.8906)$	6.26	7.85
アズキゾウムシ	成虫	20	$=5.1442+0.4535(x-7.1649)$	6.85	10.48
		30	$=5.3557+0.6192(x-5.5545)$	4.98	7.64
	卵	20	$=4.8998+0.5486(x-6.3321)$	6.51	9.51
ヨツモンマメゾウムシ	成虫	20	$=5.1647+0.5184(x-8.0603)$	7.74	10.92
		30	$=5.2214+0.6276(x-5.6681)$	5.32	7.94
	蛹	20	$=4.9362+0.2202(x-10.8781)$	11.17	18.64
		30	$=4.8980+0.3524(x-8.1506)$	8.44	13.11
	幼虫	20	$=4.7398+0.2562(x-8.9285)$	9.94	16.37
		30	$=5.1700+0.3805(x-7.4710)$	7.02	11.35
	卵	20	$=4.5216+0.3577(x-7.6739)$	9.01	13.61
		30	$=5.1118+0.7944(x-4.9295)$	4.79	6.86

それぞれの適期に取り出して生死の状態を調べた。

死亡率を求めるにあたり、成虫は針で刺げきしても全く動かぬものを死虫とし、死亡率は Moore & Bliss の補正式によって求めた。蛹と幼虫は羽化数を、卵はふ化数をそれぞれ対照区と比較して次式によって計算した。

$$\text{死亡率} = 100 - \frac{(\text{試験区の羽化} \cdot \text{ふ化数}) \times 100}{(\text{対照区の羽化} \cdot \text{ふ化数})}$$

これらの死亡率から Bliss の Probit 法、[河野 (1951), 鳥居 (1954), Bliss (1940)] によって濃度死亡率回帰直線方程式および LD₅₀ と LD₉₅ を計算した。しかしながら筆者らの試験結果では、薬量の対数値をとるよりも薬量そのものを横軸にとる方がよく適合したので、薬量の実数値を用いて計算を行なった。

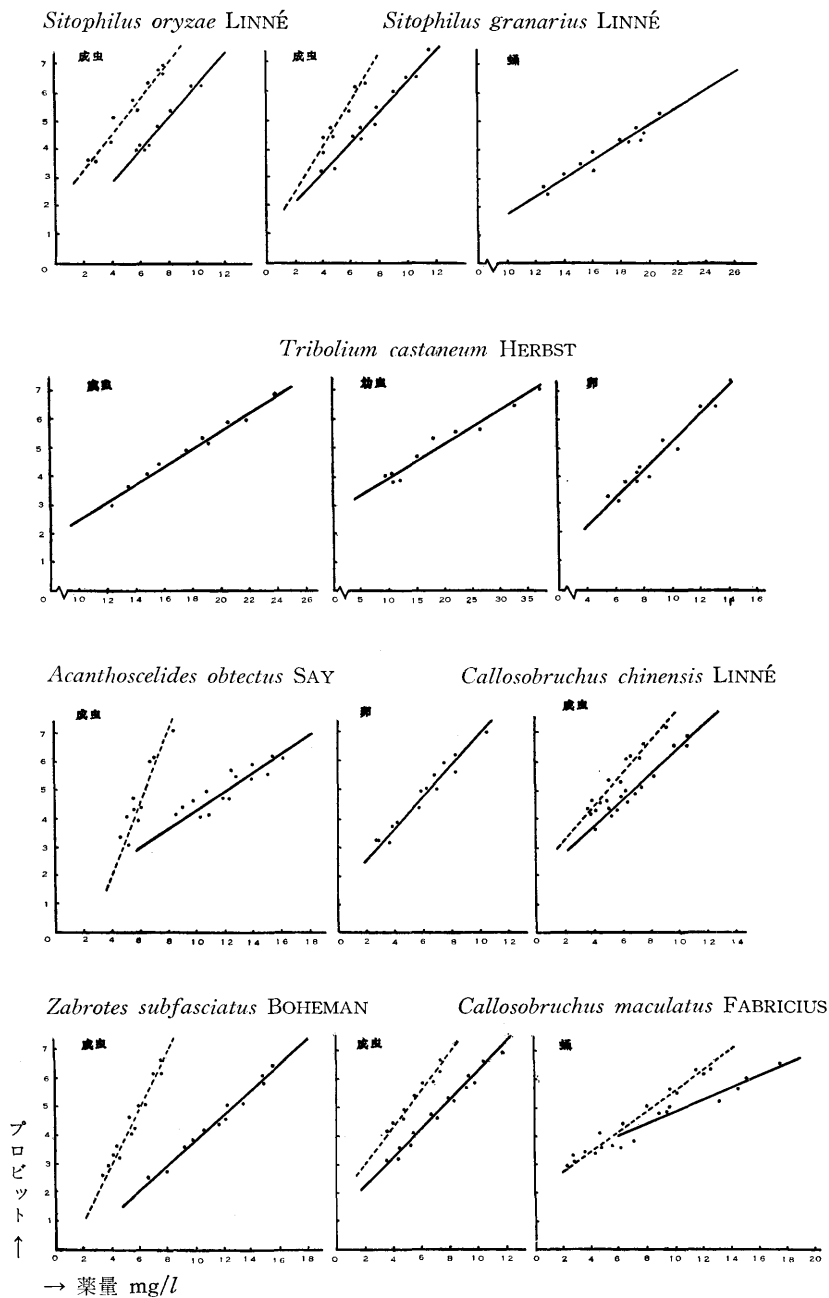
IV. 試験結果及び考察

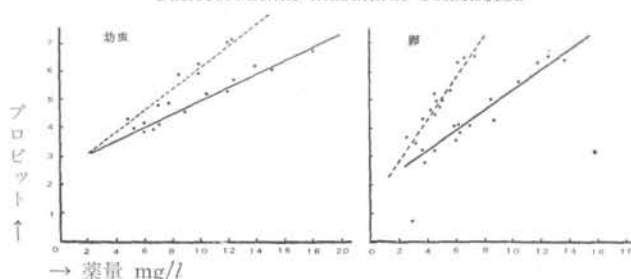
A. 種類による感受性の相違

供試した種類の中では、コクヌストモドキの感受性が特に低く、ついでインゲンゾウムシとブラジルマメゾウムシがやや似た値を示して低く、グラナリアコクゾウ・コクゾウ・ヨツモンマメゾウムシ・アズキゾウムシはそれぞれ高い感受性を示した。

筆者らの試験ではコクヌストモドキはグラナリアコクゾウやコクゾウの感受性の約 1/2 であったが、LINDGREN ら (1951) によればグラナリアコクゾウの抵抗性はコクゾウの約 2 倍で、コクヌストモドキはさらに強いと報告されており、SHEPARD ら (1937) はグラナリアコクゾウはコクゾウより強いがその差はあまり大きくないと述べ、この点では筆者らの試験結果とはほぼ同じ傾向で

第 II 図 メチルプロマイド 2 時間くん蒸における貯穀害虫の各態の
温度 20°C と 30°C の濃度死亡率回帰直線
実線は 20°C, 破線は 30°C



Callosobruchus maculatus FABRICIUS

あった。

またマメゾウムシ類について LINDGREN ら (1954) と比較すれば、ブラジルマメゾウムシではほぼ同じ値を示したが、インゲンゾウムシでは回帰直線の傾斜がゆるく、薬量を増加しても死亡率はそれほど高くない。しかし筆者らの試験ではそのような傾向はなかった。

B. 態による感受性の相違

各供試虫の態による感受性の差は次のような傾向を示した。

コクヌストモドキ：幼虫<成虫<卵

ヨツモンマメゾウムシ：蛹<幼虫<成虫<卵

これらの結果を考察すると、メチルブロマイドに対する感受性は、いずれの供試虫についても蛹がもっとも低く、次いで幼虫が低く、卵と成虫は比較的似ているが、一般には卵の感受性がもっとも高かった。たとえば各供試虫の 20°C における LD₉₅ をみると、グラナリアコクゾウの成虫は蛹の 2.2 倍、ヨツモンマメゾウムシでは、卵は蛹、幼虫にくらべそれぞれ 1.4, 1.2 倍であった。ただしコクヌストモドキの成虫は卵に比較してはるかに感受性が高く (1.8 倍)、他の供試虫と若干異っていた。

一般にくん蒸剤の効果は、その虫の呼吸量に密接な関係があるといわれている SUN (1946)。しかしくん蒸剤の種類によっては、殺虫効果は各態の呼吸量に比例せず、むしろ異った結果をうることもあることも報告されている。たとえばコクヌストモドキの呼吸量は卵<蛹<幼虫<成虫の順序であるといわれているが、SHEPARD ら (1937, 39) が、ヒラタコクヌストモドキを使用してメチルブロマイドによるくん蒸を行なった結果では、卵より成虫の方が抵抗性が大きかったと述べている。筆者らの試験結果でも前述のように卵の感受性が高かったが、これはメチルブロマイドのように浸透性の強いガスでは、昆虫の気門の他に直接体表面からの浸透拡散が行なわれるからであろうと想像される。

C. 温度による感受性の相違

くん蒸時の温度が高ければ昆虫の呼吸量や化学反応の関係からも少ない薬量で死亡するであろうことは容易に想像され、SHEPARD (1937, 39) もコクヌストモドキやグラナリアコクゾウについて報告している。筆者らの結果でも、いずれの供試虫においても温度の影響を強く受けて 20°C の場合に比べて 30°C の致死濃度は低くなっている。しかしその影響は次項で述べるように供試虫の種類、態によって異なった型を示している。

D. 濃度死亡率回帰直線

筆者らは今までの考察によって、昆虫の種類—温度—薬量の三者は死亡率に対して密接な関係のあることを示した。この関係をさらに回帰直線について検討すれば、本試験の結果は次のように三つの型に大別されることが推定された。

(1) 20°C と 30°C の直線が比較的平行している区、
いいかえれば温度の影響のみが強く現われた区

コクゾウの成虫、ヨツモンマメゾウムシの成虫と卵

(2) 回帰直線の傾斜が異っている区、すなわち温度と薬剤効果が相対的に現われている区

アズキゾウムシの成虫、ヨツモンマメゾウムシの幼虫

(3) 傾斜角度のいちぢるしく急な区、前記 (2) の効果の一者または両者がきわめて大きい区

インゲンゾウムシの成虫、ブラジルマメゾウムシ、ヨツモンマメゾウムシの卵。

以上のように昆虫の種類によって、あるいは態によって回帰直線の傾斜が異なるということは、(2) で述べたように温度、薬剤その他の効果が総合されてある函数によって増加していることであろう。この関係については今後さらに検討を加えたい。

E. 供試虫の感受性の相違

従来報告、原田ら (1952)、松山ら (1952)、BOND ら (1961)、FISK ら (1938)、JEFFERSON (1943)、JONES (1938)、KENNAGA (1961)、LINDGREEN ら

(1932, 51, 54), MACHIE (1938), PIPER ら (1938), SHEPARD ら (1937, 39) に比して筆者らの試験の抵抗性や感受性の順位が異なったのは、供試虫の飼育方法 [たとえば飼料や温湿度 (斎藤 (1950))] や試験方法が異なるため、あるいは供試虫の strain の問題であるのか検討を要する。

このことは輸入検疫における消毒の積算毒数の算定に際して重要な問題である。

V. 要 約

貯穀害虫に対するメチルブロマイドくん蒸において、供試虫の種類、態および温度における感受性の相違や関係について試験を行なった。

供試虫として、コクゾウ、グラナリアコクゾウ、コクヌストモドキ、インゲンゾウムシ、ブラジルマメゾウムシ、アズキゾウムシ、ヨツモンマメゾウムシ、の7種類の成虫とそれらの一部の蛹、幼虫および卵を使用した。

各実験値の検討を Bliss のプロビット法によって求めたところ、薬量は対数値より実数値を用いた方がより適合した回帰直線を得たので、この方程式から LD_{50} および LD_{95} を算出した。

(1) 種類による感受性の相違

成虫の感受性ではコクヌストモドキがきわめて低く、ついでインゲンゾウムシ、ブラジルマメゾウムシが低い値を示し、グラナリアコクゾウ、コクゾウ、ヨツモンマメゾウムシ、アズキゾウムシは同じような値で感受性の高いことを示した。

(2) 各態間の感受性の相違

いずれの供試虫においても蛹の感受性がもつとも低く、一般に卵がもっとも高かった。なお、この傾向は温度が 20°C でも 30°C でもだいたい同じであった。

コクヌストモドキでは幼虫<成虫<卵

ヨツモンマメゾウムシでは蛹<幼虫<成虫<卵

の順であった。

(3) 温度による感受性の相違

温度による感受性は 20°C より 30°C の場合が高く、その比率は供試虫の種類や態によって異なり、インゲンゾウムシの成虫、ブラジルマメゾウムシ、ヨツモンマメゾウムシの卵がもっとも感受性が高く、ついでアズキゾウムシの成虫およびヨツモンマメゾウムシの幼虫であった。これらの結果は濃度死亡率回帰直線が平行するものの、大きく交差するもの、およびその中間という三つの型にわかれて現われた。

VI. 文 献

- 松山良三・松島健一 (1952) 高温時におけるメチルブロマイドによる貯穀害虫の燻蒸試験, 横浜植物防疫所, 植物検疫資料第7号 (とう写)
- Bliss, C. I. (1940) The relation between exposure time, concentration and toxicity in experiments on insecticides. *Ann. Ent. Soc. Amer.* 33, 721~766.
- Bond, E. J. (1961) *Manual of fumigation for insect control*. London pp. 289.
- Fisk, F. W. and H. H. Shepard (1938) Laboratory studies of methyl bromide as an insect fumigant. *Jour. Econ. Ent.* 31: 79~84.
- 原田豊秋・三井英三 (1952) 新くん蒸剤メチルブロマイドに関する研究. 食糧研究所報告. 第2報, 6~104, 第3報, 7~35.
- Jones, R. M. (1938) Toxicity of fumigant- CO_2 mixtures to the red flour beetles. *Jour. Econ. Ent.* 31: 298~308.
- Jefferson, R. W. (1943) Influence of carbon tetrachloride on the toxic efficiency of certain volatile organic compounds. *Jour. Econ. Ent.* 36: 253~259.
- 河野達郎 (1951) Bliss のプロビット法による薬量死亡率曲線の計算. 防虫科学 16: 62~74.
- Kennaga, E. E. (1961) Time, temperature and dosage relationships of several insecticidal fumigants. *Jour. Econ. Ent.* 54: 537~542.
- Lindgreen, D. L. and H. H. Shepard (1932) The influence of humidity of the effectiveness of certain fumigants against the egg and adults of *Tribolium confusum* Duv. *Jour. Econ. Ent.* 25: 248~253.
- Lindgreen, D. L. and L. E. Vincent (1951) Relative toxicity of fumigants to *Tribolium confusum* and *Sitophilus granarius* in wheat. *Jour. Econ. Ent.* 44: 975~979.
- Lindgreen, D. L., L. E. Vincent and H. E. Krohne (1954) Relative effectiveness of ten fumigant to adults of eight species of stored product insects. *Jour. Econ. Ent.* 47: 923~926.
- Machie, D. B. (1938) Methyl bromide its expectancy as a fumigant. *Jour. Econ. Ent.* 31: 70~79.
- Piper, W. R. J. and R. H. Davidson (1938) Methyl bromide vapor against five species of stored product

insects. Jour. Econ. Ent. 31: 460~461.

斎藤哲夫 (1950) 昆虫の燻蒸剤に対する抵抗性に及ぼす栄養状態の影響について. 防虫科学. 15: 53~61.

Shepard, H. H., D. L. Lindgreen and E. L. Thomas (1937) The relative to toxicity of insect fumigants. Minn. Agr. Exp. Sta. Tect. Bull. 70, 120 pp.

Shepard, H. H., and W. B. Albert (1939) Further studies of methyl bromide as an insect fumigant. Jour. Econ. Ent. 32: 854~859.

Sun. Y. P. (1946) An analysis some important factors affecting the results of fumigation tests on insects. Univ. Minn. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 177, 104 pp.

鳥居敏雄・高橋睦正・土居一郎 (1954) 医学生物学のための推計学, 東京大学出版会 390 pp.

Summary

In the methyl bromide fumigation of stored product, insects studies were made on the susceptibility as to the insect species, their stages and the different temperatures, and the corresponding LD₅₀ and LD₉₅ were measured.

The test insects include the adults of *Sitophilus orizae* LINNÉ, *S. granarius* LINNÉ, *Tribolium castaneum* HERBST, *Acanthoscelides obtectus* SAY, *Zabrotes subfasciatus* BOHEMAN, *Callosobruchus chinensis* LINNÉ, *C. maculatus* FABRICIUS and the pupae, larvae and eggs of some of these species. The results are

given as follows.

Of all the species tested, *Tribolium castaneum* was the most resistant, followed by *Acanthoscelides obtectus* and *Zabrotes subfasciatus*, while the relatively higher susceptibility was observed with *Sitophilus granarius*, *S. oryzae*, *Callosobruchus maculatus* and *C. chinensis*.

Throughout the species tested, the pupal stage was the least, and the eggs were the most susceptible to methyl bromide. For instance, the ranking in susceptibility of the stages of *Callosobruchus maculatus* was egg>adult>larva>pupa.

Higher temperature increased the susceptibility, but the degree of its influence varied with the pests and their stages. The adults of *Acanthoscelides obtectus* and *Zabrotes subfasciatus*, the eggs of *Callosobruchus maculatus*, the adults of *Sitophilus granarius*, *Callosobruchus chinensis* and *C. maculatus* were increasingly more resistant at 30°C than at 20°C in the order mentioned.

In comparing the dosage-mortality regression lines at 20°C and 30°C, it was found that the susceptibility of the test insects as to the increase in temperature could be roughly divided into the following three patterns, in either, the parallel type, the crossing type and the intermediate type.