

# くん蒸による青果物の薬害

森 武雄・川本 登・小田 保\*

農林省横浜植物防疫所調査課

## Studies on the Fumigation Injuries of Fruits and Vegetables

By

Takeo MORI, Noboru KAWAMOTO and Tamotsu ODA

Research Division, Yokohama Plant Protection Station

### 目 次

- I. ま え が き
- II. 材料および方法
- III. 結 果
  - 1. くん蒸中のガス濃度
  - 2. methyl bromide 大気圧および減圧くん蒸によるジャガイモ、モモ、温州ミカンおよびリンゴの薬害
  - 3. ethylene dibromide 大気圧および減圧くん蒸によるジャガイモ、モモ、スモモおよびトマトの薬害
  - 4. methyl bromide および ethylene dibromide くん蒸によるマンゴーの薬害
  - 5. methyl bromide くん蒸によるレモンの薬害
  - 6. 青酸ガスおよび methyl bromide くん蒸によるバナナの薬害
  - 7. くん蒸後果皮に薬害症状を発生するに要する日数
  - 8. methyl bromide によりくん蒸したジャガイモ、モモ、温州ミカンおよびリンゴの呼吸
  - 9. methyl bromide によりくん蒸したジャガイモおよびリンゴの methyl bromide 吸収量
  - 10. methyl bromide によりくん蒸した温州ミカンおよびリンゴ果汁の遊離酸、還元糖および蔗糖含量
  - 11. methyl bromide によりくん蒸したリンゴ

の aldehyde および alcohol 含量

- 12. methyl bromide によりくん蒸したリンゴの aldehyde の定性的検出
- 13. methyl bromide によりくん蒸したリンゴの揮発性酸含量

### IV. 考 察

### V. 摘 要

### VI. 文 献

Summary

## I. ま え が き

青果物のくん蒸については、わが国では諸外国とくにアメリカ合衆国に比べて十分な研究がなされていない。これは今まで植物検疫上、その必要性が少なかった理由によるものであると考えるが、最近の経済の発展に伴って青果物の輸入量も増加し、検疫消毒の件数もふえていくばかりでなく、輸出品の見かえりとして東南アジア諸国から輸入禁止南方果実の解禁を要請されるなど、この分野の研究が望まれる情勢となってきた。そこで、一般的な青果物であるジャガイモ、モモ、温州ミカン、リンゴ、スモモおよびトマトと近年多量に輸入されているレモン、バナナおよび philippine から解禁を要請されているマンゴーについて、青果物の一般的くん蒸剤である methyl bromide, ethylene dibromide および青酸ガス（以下それぞれ MB, EDB, HCN）によって生じる薬害の諸様相を調査した。減圧くん蒸はガスの浸透性の増大により、青果物内部に生息する害虫に対して殺虫効果が増し、薬量を軽減し、くん蒸時間を短縮することができ、また、薬害の面からくん蒸不可能なものについても応用できる可能性が考えられるのであわせて実験を行った。

\* 現在 国際課  
(1962年2月受領)

この試験を行なうにあたって種々ご指導ご協力をいただいた当所調査課長川崎倫一氏をはじめ同課の諸氏ならびに当所国際課伊藤信一氏ほかの諸氏に感謝の意を表する。

## II. 材料および方法

### 1. 供試青果物

ジャガイモ (男爵) — 神奈川県産, 掘取り後1週間以内の塊茎

モモ (大久保) — 山梨県産, 完熟に近い果実  
温州ミカン — 愛媛県産, 完熟に近い果実

リンゴ (国光) — 秋田県産完熟に近い果実

スモモ (サンタローザ) — 山梨県産, 果皮の大部分が緑色の未熟果

トマト (世界一) — 神奈川県産, 完熟に近い果実

マンゴー (Carabao) — philippine 産, 完全に緑色, あるいは果皮の一部がやや黄色がかった未熟果

レモン — アメリカ合衆国産,

バナナ (Grovemitchel) — Panama 産, 果皮が緑色の未熟果

いずれの種類も1区10個あてとしたが, マンゴーは1区20個とした。バナナは1区2~3房(1房の果数, 15本前後)とし倉庫くん蒸の場合は1枝(15房前後)をビニール袋に入れたまま供試した。

### 2. くん蒸剤およびくん蒸方法

MB, EDB, HCN を用い, 大気圧と減圧で2時間くん蒸した。但し HCN の場合のみ1時間とした。

くん蒸剤, くん蒸方法および供試果の種類の組合わせは下記の通りである。

#### M B

大気圧くん蒸 — ジャガイモ, モモ, 温州ミカン, リンゴ, マンゴー, レモン, バナナ

減圧くん蒸 — ジャガイモ, モモ, 温州ミカン, リンゴ

#### EDB

大気圧くん蒸 — ジャガイモ, モモ, スモモ, トマト, マンゴー

減圧くん蒸 — ジャガイモ, モモ, スモモ, トマト

#### HCN

大気圧くん蒸 — バナナ

これらの材料のうち, ジャガイモ, モモ, スモモ, トマトは夏季に 30°C で, 温州ミカンとリンゴは冬季に 13°C で, バナナは冬季に室温 (10~20°C) でくん蒸し,

試験期間中は室温に置いた。マンゴーは夏季に 30°C でくん蒸し, 半数 (1区10個) は室温に置き, 残りの半数 (1区10個) は 10°C で貯蔵した。レモンは薬害と温度の関係を調べるため, 春季に 10°C, 20°C, 30°C の3種の温度でくん蒸し, 試験期間中もくん蒸温度に置いた。

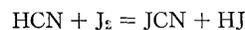
大気圧くん蒸では, MB の場合は容積約 26 l の硝子製くん蒸瓶と容積約 278 l のくん蒸箱 (内壁面はステンレスおよび硝子製) を併用した。(くん蒸瓶の場合は薬量に応じて瓶を減圧し, 大気圧に房るまで MB ガスを送入した。くん蒸箱の場合は所定量の薬液入アンプルを箱内で破碎した。EDB くん蒸ではくん蒸箱を用い箱内で所定量の薬液を加熱してガス化させた。HCN くん蒸はポット法によりくん蒸箱と 22.7 m<sup>3</sup> および 58 m<sup>3</sup> の鉄筋コンクリート倉庫で行なった。

減圧くん蒸では容積 295 l の SK 式真空消毒機を用いた。投薬直前の圧力を 10~30 mmHg としたが機の気密が完全でないためくん蒸中 20~30 mmHg/hr. の割合で圧力が上昇した。MB の場合は減圧後所定量の薬液入アンプルを破碎し, EDB の場合は減圧後所定量の薬液を機内の受器に注入し加熱してガス化させた。

投薬後 20 分間 fan でガスを攪拌した。ただし HCN 倉庫くん蒸は, 58 m<sup>3</sup> 倉庫ではくん蒸中 12 インチの家庭用扇風機1台で攪拌したが, 22.7 m<sup>3</sup> 倉庫では攪拌を行なわなかった。

### 3. ガス濃度の測定法

MB ガスの測定には干渉計型ガス分析計による方法と試料ガスの一定量を取り, 吸収液に吸収分解させて, Volhard 法による分析を併用した。EDB ガスは MB ガスの場合と同様な方法で化学分析した。吸収液として MB の場合は 5%, EDB の場合は 75% の monoethanolamin の methyl alcohol 溶液を用いた。HCN の測定は Wieland 氏の方法によった。これは下記の反応に基づき, 一定量の J<sub>2</sub> 液中に J<sub>2</sub> 殿粉の青藍色が消失するまで試料ガスを吹込み, J<sub>2</sub> の量と吹込んだガスの容積からガス濃度を決定する方法である。



### 4. 薬害の調査法

薬害は外観と食味について調査した。

外観の調査は食味の調査を行なうまで実施した。

食味についてはモモ, スモモおよびトマトはくん蒸後4日目, 温州ミカンは 17~21 日目, リンゴは 41~45 日目, レモンは 10~13 日目に調査した。またマンゴーの室温貯蔵区は4日目, 10°C 貯蔵区は 10°C に10日間

貯蔵後2日間室温に置いて黄熟させた後調査し、バナナはくん蒸後2~3日目に専門業者の室に1週間入れて黄熟させた後に調査した。試食には当課の職員があたり、味、香りについて調査した。

以上のほか MB くん蒸したものについて食味調査後つぎの測定を行なった。

5. 呼吸量の測定

ジャガイモ、モモ、温州ミカンおよびリンゴについてくん蒸後一定期間毎に材料を容積約6lのデシケーターに入れて密閉し、一定時間後に干渉計型ガス分析計で器内の炭酸ガス濃度を測定し、材料の排出した炭酸ガス量を求めた。

6. MB 吸収量の測定

ジャガイモおよびリンゴについてこの測定を行なった。ジャガイモの場合は各区から正常なものあるいは薬害の軽微なもの3個、リンゴの場合は各区から6個あてをとり、おのおの縦に切断し、その1/4片あてを供試し、処理区と無処理区の Br 含量の差を求めて MB 量に換算した。Br の分析は GERHARDT ほか (1951) の記載した方法によった。

7. 遊離酸、還元糖および蔗糖含量の測定

温州ミカンとリンゴについて、これらの測定を行なった。前者は各区腐敗していない果2~3個、後者は前記 MB 吸収量で述べた切断果の1/2片あてを供試し、果汁を搾りとり、遠心分離した後上澄液を濾過し、濾液について遊離酸は常法で、還元糖は Lehmann-Maquene-Schoorl 法で測定した。蔗糖の場合は転化した後同様の方法で総還元糖量を測定し、還元糖量をさし引いて転化糖量を求め、これに0.95を乗じて蔗糖量とした。なお遊離酸はミカン場合はくえん酸、リンゴの場合はりんご酸、還元糖はいずれも d-glucose として計算した。

8. aldehyde および alcohol 含量の測定

この測定はリンゴを用いて行なった。前記 MB 吸収量で述べた切断果のおのおの1/8片あてをとり、さらに細分して水蒸気蒸留に付し、留液の一部をとり、aldehyde は Ripper 氏法により、alcohol は Filder 氏の方法により測定した。

aldehyde の定性的検出—くん蒸後約2ヵ月目にリンゴを果頂部から縦に切断し、切断面を Schiff 試薬に短時間浸漬し、その面を上に向けて放置して変色状態を観察した。aldehyde が存在するときはその部分が赤変する。

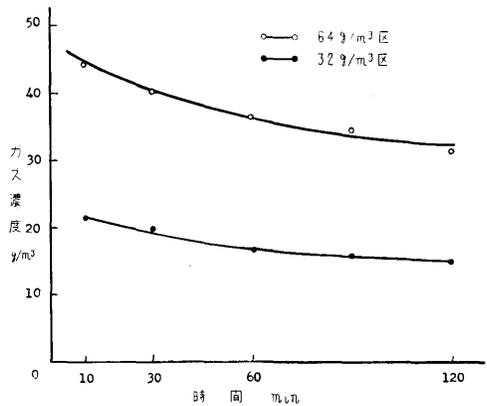
9. 揮発性酸含量の測定

リンゴを用いてくん蒸後約10週間目に各区から1個あてをとり常法により測定した。

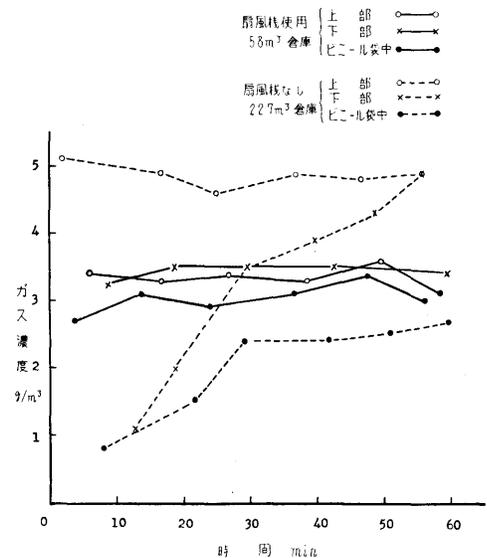
III. 結 果

1. くん蒸中のガス濃度

MB は大体所定濃度を示し、容器や材料によるガスの収着は少なく、くん蒸終了時の濃度は投薬直後の約95%であった。これに対し、EDB は収着性が非常に大きく、投薬10分後の濃度は所定濃度の約70%、終了時は約55%でその減少度は薬量の多い区ほど大きい傾向があった。その一例を第1図に示す。EDB 減圧くん蒸の48g/m<sup>3</sup>および64g/m<sup>3</sup>の両区は加熱時間不足のため完全に気化せず、ガス濃度は大気圧の同薬量区よりか



第1図 ethylene dibromide ガス濃度の経時変化



第2図 倉庫くん蒸における青酸ガス濃度の経時変化

なり低かった。

くん蒸箱による HCN くん蒸では、終了時のガス濃度は投薬直後よりわずかに低く、平均濃度は所定濃度の70~80%であった。HCN 倉庫くん蒸では第2図に示すように、扇風機を用いなかった場合のガス濃度は、倉庫上部は投薬直後から終了時までほぼ一定であり、下部は投薬直後は低く漸次上昇して、1時間後に上部濃度と一致した。ビニール袋中は最も低く、漸次上昇したが1時間後でも上部の約1/2の濃度であった。これに反し扇風機を使用した場合は、ビニール袋中が僅かに低い傾向があったが、投薬直後に均一になり、終了時までほとんど変化しなかった。

## 2. methyl bromide 大気圧および減圧くん蒸によるジャガイモ、モモ、温州ミカンおよびリンゴの薬害

くん蒸により下記の薬害症状を発生したが、くん蒸方法の相違による薬害症状の差異は認められなかった。

ジャガイモ：最も典型的な症状は褐色ないし黒褐色の斑点であった。軽度のものは径0.2~2cmのものが1個体に数個発生する程度で、重症になるとこれらの斑点

が拡大して表皮の全面に広がった。これらのいもの内部は症状に応じて斑点下の皮層部のみ黒褐色に変色しているものから髓周辺部、中心髓部あるいは全面変色しているものもあった。表皮の一部がそのままあるいは飴色に変色して軟腐する症状もあったがこれは斑点と併発することが多かった。このような症状はくん蒸によりいもの組織の一部が弱まり、或種の細菌が繁殖することにより生じたものと思われる。これらは内部も乳色ないし乳黄色となりぶよぶよに腐敗した。また大部分の斑点発生部位から汁液を浸出したが、薬害症状のないものでもこの現象を示すものがあつた。

モモ：少薬量では果皮の赤色部が広がり濃色化し、果肉も赤味を増してやや軟化したすが、薬量が多いと径1~2cmのやや陥没した褐色の斑点を生じ、それがひどくなると全表面に広がって腐敗した。

温州ミカン：径2~5mmの黒褐色の斑点を生じ、ひどくなるとこれらの斑点が拡大して網目状に連なった。このような果の果肉は赤味が薄れてやや黄色がかった。

リンゴ：果皮が全面的に褐変して軟化し、重症のものは腐敗した。また果皮の一部が褐色斑点状にやや陥没し

第1表 methyl bromide 大気圧および減圧くん蒸によるジャガイモ、モモ、温州ミカンおよびリンゴの薬害発生状況

薬量 (g/m <sup>3</sup> )	くん蒸 方法 種類	大 気 圧				減 圧										
		ジャガイモ	モモ	ミカン	リンゴ	ジャガイモ	モモ	ミカン	リンゴ							
8																
16				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
32				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
48			△	△	○	○	○	○	△	△	○	○	△			
56								○								
64			△	×	○	○	○	△	○	△	×	○	○	○	×	×
80			×		○	○	○	△	○			○	○	△	×	×
96		○	×	×	○	○	○	△		×	×	○	○	△		
104									×							
128		○	×	×	○	○	○	×	×	×	×	○	○	×	×	×
160		○	×	×	○	○	△	×	×			△	○	×	×	×
192		○			△	○	×	×				×	○	×	×	×
240		△			○	○	×	×				×	○	×	×	×
288		×														
336		×	×													

註 1. 薬害の程度。○—なし、△—軽微、×—明瞭、××—重症

2. モモ、ミカン、リンゴの項の左側は外観、右側は食味について示した。

て軟化する症状があり、ひどくなると全果皮の1/2に及んで腐敗した。これらの症状は併発することが多かった。果皮に薬害症状を示したものは、果肉の維管束の部分が褐変し、ひどいものは果肉全体が褐変した。果皮に異常がないものでも維管束の部分が褐変したものがあつた。

処理により果皮あるいは果肉に薬害症状を呈した果は食味も明らかに異常であつたが、薬害症状がなくても食味が変化した果があり、食味の変化は外面的薬害症状に先行することを示した。味の異常は甘酸味の増減、苦味、渋味の発生あるいは刺激性や特異な味の出現などについて認められたが、しかしこれらのうちとくに明瞭に変化したものを指摘することは困難であつた。香りの変化は果特有の香りの喪失や異常な臭気の発生により示され、一般に味の変化と併行した。

薬害発生程度は第1表に示すとおりで、薬害に対する安全限界薬量はジャガイモは大気圧で192 g/m<sup>3</sup>、減圧で80 g/m<sup>3</sup>、モモは大気圧、減圧とも32 g/m<sup>3</sup>（ただし大気圧は推定）、温州ミカンは大気圧160 g/m<sup>3</sup>、減圧128 g/m<sup>3</sup>、リンゴは大気圧48 g/m<sup>3</sup>、減圧32 g/m<sup>3</sup>である。ジャガイモ、ミカンおよびリンゴでは減圧くん蒸は大気圧くん蒸よりも薬害を発生し易く、とくにジャガイモとリンゴではこの傾向が強かつた。

### 3. ethylene dibromide 大気圧および減圧くん蒸によるジャガイモ、モモ、スモモおよびトマトの薬害

MBの場合と同様くん蒸方法の相違による薬害症状の差異は認められなかつた。ジャガイモとモモの薬害症状はMBによるそれと若干異なり、一般にMBの場合のような明瞭な薬害斑点を生ずることが少なかつた。

ジャガイモ：目部にやや陥没した1~3 mmの褐色の小斑を多数発生した。MBの場合に似た1~2 cmの大きさの斑点も若干発生したがその大きさのままでは拡大しなかつた。斑点下の皮層部のみが褐変した。

モモ：色沢があせ、0.2~1 cmの鉛色の斑点を若干生じたものがあつた。

スモモ：無処理区は完熟して赤色となつたが処理区は薬量の少ない区を除いて果皮と果肉が暗赤色となつて軟化した。

トマト：大気圧の薬量の多い区に果がやや軟化し、花梗部付近に割目を生じた個体があつたが一般にほとんど異常が認められなかつた。

どの種類も食味についてはMBの場合と同様の結果であつた。

薬害発生程度は第2表に示すとおりで、MBの場合より少ない薬量で薬害を発生した。くん蒸方法の相違による薬害発生程度の差異は認められなかつた。薬害に対する安全限界薬量はジャガイモは8 g/m<sup>3</sup>以下、モモは大気圧で8 g/m<sup>3</sup>、減圧では食味に変化を認めたが16 g/m<sup>3</sup>、32 g/m<sup>3</sup>の食味の変化が軽微であつたことから考えて8 g/m<sup>3</sup>付近であらうと思われる。スモモ、トマトは大気圧・減圧ともに16 g/m<sup>3</sup>であつた。

### 4. methyl bromide および ethylene dibromide くん蒸によるマンゴーの薬害

室温貯蔵した果：全区ほとんど黄熟軟化したが、EDB処理区は薬量が増すに従つて熟度の進行がやや抑制され、薬量の多い区には0.1~0.5 mmの小黒斑を多数生じた。MB処理区は無処理との差異を認められなかつた。全区にかなり多数の炭疽病斑を発生したが、発生程

第2表 ethylene dibromide 大気圧および減圧くん蒸によるジャガイモ、モモ、スモモおよびトマトの薬害発生状況

薬量 (g/m <sup>3</sup> )	くん蒸方法 種類	大 気 圧								減 圧							
		ジャガイモ		モモ		スモモ		トマト		ジャガイモ		モモ		スモモ		トマト	
		左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右		
8		×	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	○	○	○	○	
16		×	○	△	○	○	○	△	×	○	△	○	○	○	○	×	
32		×	△	△	△	×	○	×	×	○	△	×	×	○	×	×	
48		×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	
64		×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×	×	×	×	×	

註 1. 薬害の程度。○—なし、△—軽微、×—明瞭、××—重症

2. モモ、スモモ、トマトの項の左側は外観、右側は食味について示した。

度は無処理と変らなかった。食味は MB, EDB 処理区とも薬量の多い区は若干影響を受けたように思われるが明瞭ではなかった。薬害発生程度は第3表のとおりであり安全限界薬量は MB は 32 g/m<sup>3</sup>, EDB は 16 g/m<sup>3</sup>であった。

10°C で貯蔵した果: 無処理区はほぼ完全に黄熟したが、処理区は MB, EDB とも薬量が多くなるに従って熟化が遅れ、薬量の多い区ではかなりの緑色部分を残した。炭疽病斑の発生は 10°C 貯蔵中はかなり抑制されたが、2 日間の室温貯蔵中に全果に発生した。また、冷蔵庫の故障で一時 10°C 以下の低温に遭遇したため全区に褐色しみ状の凍害斑を生じたが、これらも薬量に比例して多く発生した。両処理区とも薬量が多い区では EDB くん蒸室温貯蔵の場合と同様の小薬害斑点を多数生じ

第3表 methyl bromide および ethylene dibromide くん蒸した後室温貯蔵したマンゴの薬害発生状況

薬量 (g/m <sup>3</sup> )	くん蒸剤			
	MB	E D B		
項目	食味	薬害斑	熟度の遅れ	食味
8		○	○	○
16	○	○	○	○
32	○	○	△	
48	△	△	△	△
64	△	×	△	△
80	△			

註 薬害の程度, ○—なし, △—軽微, ×—明瞭

第4表 methyl bromide および ethylene dibromide くん蒸した後 10°C で貯蔵したマンゴの薬害発生状況

薬量 (g/m <sup>3</sup> )	M				B			
	薬害斑	熟度の遅れ	炭疽病斑	凍害斑	薬害斑	熟度の遅れ	炭疽病斑	凍害斑
8					○	○	○	○
16	○	○	○	○	○	△	△	△
32	○	△	△	△	○	△	△	△
48	○	×	△	△	△	×	△	×
64	△	×	×	△	×	×	×	×
80	×	×	×	×				

註 薬害の程度, ○—なし, △—軽微, ×—明瞭, ただし薬害斑を除く項目については無処理区との比較で示す。

た。

食味は MB の 48, 80 g/m<sup>3</sup> 区および EDB の 48 g/m<sup>3</sup> 区ではわずかに変化したように思われるが明瞭ではなかった。薬害発生程度は第4表のとおりで、安全限界薬量は MB は 16 g/m<sup>3</sup>, EDB は 8 g/m<sup>3</sup> であった。

5. methyl bromide くん蒸によるレモンの薬害

各温度処理区とも薬量の多い区では果皮に径 3~5mm の褐色斑点を生じ、全果あるいは大部分の果が腐敗した。果皮に薬害症状を生じた区の果汁は舌を刺すような異常な味であったが、薬害症状が現われない区は食味にも異常が認められなかった。第5表に示すように安全限界薬量は 10°C では 96 g/m<sup>3</sup>, 20°C では 64 g/m<sup>3</sup>, 30°C では 32 g/m<sup>3</sup> であり処理温度が高いほど少ない薬量で薬害を発生した。

第5表 methyl bromide くん蒸によるレモンの薬害発生状況

薬量 (g/m <sup>3</sup> )	10		20		30	
	外観	食味	外観	食味	外観	食味
8					○	○
16			○	○	○	○
32	○	○	○	○	○	○
64	○	○	○	○	△	×
96	○	○	△	×	×	×
144	△	×	×	×		
192	×	×				

註 薬害の程度, ○—なし, △—軽微, ×—明瞭

**6. 青酸ガスおよび methyl bromide くん蒸によるバナナの薬害**

無処理区は完全に黄熟して軟化したが、HCN 処理区は薬量に比例して熟度の進行が遅れ、薬量の多い区ではほとんど緑色のままであった。また果皮の一部がしみ様に淡黒褐色ないし淡黒色になった果や、果皮が部分的にやや陥没してその部分が黒褐色となった果を生じた。これらの斑点の発生程度もまた薬量に比例した。

MB 処理区は果皮の色沢がなくなり茶褐色ないし黒褐色を呈した。

HCN 処理により熟度の進行が遅れた果は、熟度に応じて酸味、渋味が強く、未熟な味であった。MB 処理区は甘味が薄れ、渋味を発生した。

薬害発生程度は第6表および第7表のとおりで、HCN 処理区では、同国産同一種のもので輸入時期の異なる第1回試験区と第2回試験区では薬害発生程度が非常に異なり、安全限界薬量は第1回試験区では  $10 \text{ g/m}^3$  であ

**第6表** 青酸ガスくん蒸によるバナナの薬害発生状況

薬量 ( $\text{g/m}^3$ )	試験 No.	1			2		
		薬害斑	熟度の遅れ	食味	薬害斑	熟度の遅れ	食味
1.3		○	○	○	○	○	○
2.5		○	○	○	○	○	○
5.0		○	○	○	○	○	○
7.5		○	○	○	△	△	△
10		○	○	○	×	×	△
15		×	×	×	×	×	×
20					×	×	×

註 1. 薬害の程度。○—なし、△—軽微、×—明瞭、××—重症  
2. 倉庫くん蒸したものは正常であった。薬量はいずれも  $6 \text{ g/m}^3$  (HCN)

**第7表** methyl bromide くん蒸によるバナナの薬害発生状況

薬量( $\text{g/m}^3$ )	項目	
	外 観	食 味
48	×	△
96	×	×
160	××	××

註 薬害の程度。△—軽微、—明瞭、××—重症

ったのに対して第2回試験区では  $5 \text{ g/m}^3$  であった。しかし倉庫くん蒸を行なったバナナはいずれも正常であった。

MB では供試薬量中最も少ない  $48 \text{ g/m}^3$  でも明瞭な薬害を発生した。

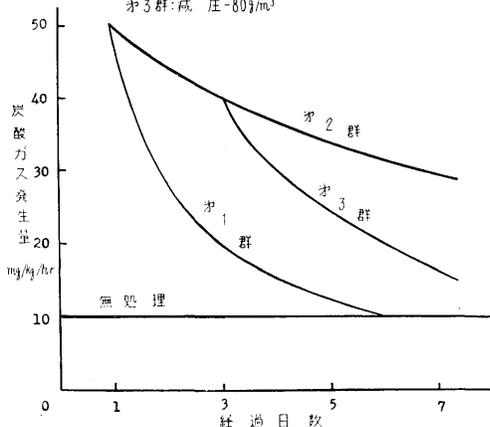
**7. くん蒸後果皮に薬害症状を発生するに要する日数**

一般に多い薬量でくん蒸し、薬害が激しいものほど薬害症状が早く現われた。また、MB 処理は EDB 処理よりも薬害症状の発現が若干早い傾向があったが、青果物の種類により早く発生するものと日数を要するものがあった。この日数は第8表に示すように大部分は4日以内であったが、温州ミカン、レモンおよびリンゴは10日ないしそれ以上の長期間を要した。くん蒸温度による影響はほとんど認められなかった。

**8. methyl bromide によりくん蒸したジャガイモ、モモ、温州ミカンおよびリンゴの呼吸量**

炭酸ガス排出量は、ジャガイモでは第3図に示すように無処理区は  $10 \text{ mg/kg/hr}$ 。前後でほぼ一定していたが、処理区は無処理区に較べてくん蒸後1時間目はやや高く、1日目には約4~6倍に及ぶ最高の呼吸量を示した。それ以後は減少し5~7日で正常の呼吸に戻るものとその中間を示すものの3群に分かれた。これら各群は薬害を発生しなかった区、薬害を発生した区およびその中間の薬量区とそれぞれ一致した。

ホ1群: 大気圧-96, 128, 166, 192 $\text{g/m}^3$  減圧-56 $\text{g/m}^3$   
ホ2群: 大気圧-240, 288, 336 $\text{g/m}^3$  減圧-104, 128 $\text{g/m}^3$   
ホ3群: 減 圧-80 $\text{g/m}^3$



**第3図** methyl bromide によりくん蒸したジャガイモの炭酸ガス発生模式図

第8表 くん蒸した青果物が薬害症状を発生するに要する日数

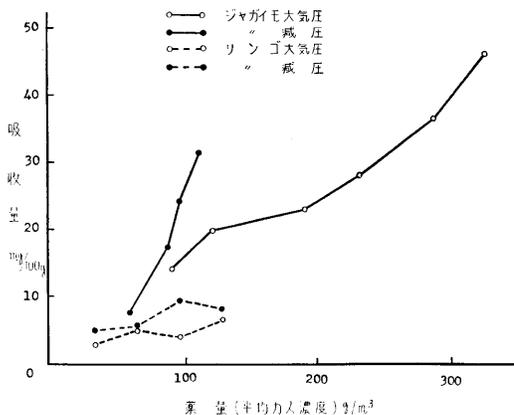
青果物	薬剤	くん蒸温度(°C)	貯蔵温度(°C)	薬害発生に要する日数
ジャガイモ	M B	30	30前後	1~2日
〃	E D B	〃	〃	多薬量—3~4日, 少薬量—6~7日
モモ	M B	〃	〃	1~2日
〃	E D B	〃	〃	2日
温州ミカン	M B	13	10前後	約2週間
リンゴ	〃	〃	〃	一般に2週間以上, 減圧多薬量—5~6日
スモモ	E D B	30	30前後	2日
トマト	〃	〃	〃	3~4日
マンゴー	M B	〃	10	3~4日
〃	E D B	〃	30前後	3~4日
〃	〃	〃	10	3~4日
レモン	M B	30	30	10日前後
〃	〃	20	20	10日前後
〃	〃	10	10	10日前後
バナナ	H C N	10~20	20前後	3日
〃	M B	13	10前後	2日

モモではくん蒸後1時間目には薬量に比例して呼吸量が多くなる傾向が認められ、薬量の多い区は無処理区(80~100 mg/kg/hr)の約2倍であったが、1日目にはほぼ平常に復した。

温州ミカンおよびリンゴでは処理の影響を認めることができなかった。

#### 9. methyl bromide によりくん蒸したジャガイモおよびリンゴの methyl bromide 呼吸量

第4図に示すように MB 吸収量はほぼ薬量に比例し、同薬量では減圧くん蒸が大気圧くん蒸より多かった。



第4図 methyl bromide によりくん蒸したジャガイモおよびリンゴの methyl bromide 吸収量

#### 10. methyl bromide によりくん蒸した温州ミカンおよびリンゴの遊離酸, 還元糖および蔗糖含量

第9表に示すように各区の含量に若干の差があったが、薬量との関係はとくに認められなかった。リンゴの大気圧—200, —240 g/m<sup>3</sup> 区および減圧—128, 200 g/m<sup>3</sup> 区は蔗糖含量が少なかったが、これは薬害が激しくて腐敗した個体が多かったことに原因すると思われる。

#### 11. methyl bromide によりくん蒸したリンゴの aldehyde および alcohol 含量

第10表に示すように aldehyde 含量は大気圧では 128 g/m<sup>3</sup> 区まで、減圧では 64 g/m<sup>3</sup> 区までは無処理区と差異がなく、これら以上の高薬量区では増加し、大気圧では 240 g/m<sup>3</sup>、減圧では 66 g/m<sup>3</sup> 以上の区は著しく増加した。alcohol 含量も aldehyde と同様の傾向が認められた。

#### 12. methyl bromide によりくん蒸したリンゴの aldehyde の定性的検出

第11表に示すように、反応の明瞭に現われたのは大気圧では 80 g/m<sup>3</sup> 以上、減圧では 32 g/m<sup>3</sup> 以上の区で、とくに維管束およびその周辺が強く着色しており、大気圧—128, 240 g/m<sup>3</sup> 区および減圧—80, 96 g/m<sup>3</sup> 区のように維管束が褐変しているものではこの傾向が強かった。

第9表 methyl bromide によりくん蒸した温州ミカンおよび  
リンゴ果汁の遊離酸，還元糖および蔗糖含量

果 区	項 目	温 州 ミ カ ン			リ ン ゴ		
		遊離酸 mg/cc (くえん酸)	還元糖 mg/cc (d-glucose)	蔗糖 mg/cc	遊離酸 mg/cc (りんご酸)	還元糖 mg/cc (d-glucose)	蔗糖 mg/cc
大気圧一無処理		7.0	32.0	57.8	3.2	81.7	26.6
	16	7.9	32.8	57.8			
	32	6.7	31.9	50.8	4.5	95.8	27.0
	64				4.0	85.6	27.6
	80	7.9	35.8	49.8			
	96				4.0	84.2	29.4
	128	7.4	27.6	43.4	4.2	85.0	28.0
	160				4.8	89.1	32.0
	200	6.0	35.7	47.5	3.3	71.2	19.4
	240				2.6	74.9	14.8
減 圧一無処理		5.8	30.9	47.0	3.9	85.5	23.7
	32	8.1	31.9	55.2	5.2	87.9	28.4
	64	8.1	36.9	53.0	3.8	78.1	22.2
	80				4.6	82.8	28.8
	96	7.9	19.4	44.0	4.0	79.7	25.6
	128				3.2	83.4	13.5
	200	7.0	26.8	43.1	4.3	94.3	15.8
	240	8.8	34.8	47.1			

第10表 methyl bromide によりくん蒸した  
リンゴの aldehyde および alcohol 含量

果 区	項 目	aldehyde mg/100 g (acetaldehyde)	alcohol mg/100 g (ethyl alcohol)
		大気圧一無処理	0.60
	32	0.42	10
	64	0.64	
	96	0.62	
	128	0.53	
	160	1.2	
	200	4.4	134
	240	19.6	435
減 圧一無処理		0.59	
	32	0.43	
	64	0.49	
	80	1.4	
	96	24.1	210
	128	34.4	356
	200	24.9	240

第11表 methyl bromide によりくん蒸した  
リンゴの Shiff 試薬に対する反応強度

果 区	項 目	果の薬害発生状況	反応強度
		大気圧一無処理	正 常
	16	//	—
	48	//	—
	80	//	++
	128	果肉の維管束若 干褐変	++++
	160	正 常	++
	240	果皮に斑点，果 肉の維管束褐変	++++
減 圧一無処理		正 常	—
	16	//	—
	32	//	+
	48	//	++
	64	//	+++
	80	果皮に斑点，果 肉の維管束褐変	++++
	96	//	++++
	200	果皮，果肉とも 褐変	++++

第12表 methyl bromide によりくん蒸したリンゴの揮発性酸含量

項目 区	果の薬害発生状況	揮発性酸 mg/100 cc (さく酸)	N/10 NaOH による揮発性酸滴 定値の遊離酸滴定値に対する%
大気圧—無処理	正 常	4.2	1.2
減圧— 48	〃	5.5	1.4
64	果肉の維管束僅かに褐変	3.0	1.1
80	〃 若干褐変	6.3	3.2
80	果皮、果肉とも褐変	21.4	6.3
96	果肉の維管束、果核の周辺褐変	11.3	4.1
128	果皮、果肉とも褐変	31.5	9.4
160	果皮、果肉とも褐変、軟化腐敗	8.2	2.5

### 13. methyl bromide によりくん蒸したリンゴ果汁の揮発性酸含量

第12表に示すように、果皮あるいは果肉に薬害を呈したものは、揮発性酸含量あるいは遊離酸中に占める揮発性酸の比率が著しく増加した。

## IV. 考 察

くん蒸中、ガスはくん蒸容器や被くん蒸物に到着されてガス濃度を減ずる。その程度はくん蒸剤により非常に異なり、筆者らの試験ではMBは小さく、EDBは極めて大きく、HCNはその中間であった。被くん蒸物の量がくん蒸容器の空間に対し占める割合(貨物比)が大きいときはガスの減少度はとくに大きく、SHAWほか(1954)によれば、マンゴーのEDBくん蒸で貨物比が33%の場合、2時間くん蒸後のガス濃度は理論濃度の僅かに11%であったと云う。また、HCNのように水溶性のくん蒸剤も青果物の量が多いときはガスが青果物に吸収されてガス濃度はかなり著しく低下するものと思われる。殺虫効果と同様、薬害の有無は空間濃度により定まるものであるから、同じ薬量でくん蒸しても貨物比が異なれば結果は異なる。

HCN倉庫くん蒸でガスを攪拌しない場合は、MBの場合とは逆にガス濃度は初め上部が高く下部が低くなる。HCNガス比重が空気より小さく、また、ポット法でくん蒸したためガスが加温されたことが原因と思われるが、ガスを速やかに均一化させるためには攪拌が必要であることがわかる。

表皮の薬害症状はくん蒸剤や青果物の種類により若干異なるが、熟度の進行または遅延、斑点の発生および変色に大別される。一般に斑点の発生と変色が典型的薬害症状で、熟度の変化はより低濃度で現われ、青果物の種類によっては現れない場合もある。また、ジャガイモ

やマンゴーの場合のように、直接的薬害でなくても、環境に対する生理的抵抗性が弱まり、病害や生理的障害を生じまたは増加する場合もある。

多くの文献では外観の調査によってのみ薬害の有無を決定しているが、この調査結果においては、大部分の青果物では果皮に薬害症状の現われない薬量でも食味が変化した。このことが最も顕著であったのは、MBによりくん蒸したリンゴとEDBによりくん蒸したトマトで、リンゴに例をとれば、果皮に薬害症状を示さなかった最多薬量は大気圧では128 g/m<sup>3</sup>、減圧では64 g/m<sup>3</sup>であるに対し、果皮、食味とも正常であった場合の最多薬量は大気圧では48 g/m<sup>3</sup>、減圧では32 g/m<sup>3</sup>であった。また、柑橘類およびリンゴはくん蒸してから薬害症状を現わすまでの期間が長く、リンゴの少量薬量区ではとくに長期間を要したので、調査時期により結果にかなりの変動があるように思われる。したがって、薬害の有無の決定にはこれらの要素を充分考慮に入れねばならないと考える。くん蒸剤に対する各種青果物の安全および薬害発生限界薬量を、食味も考慮してまとめると第13表のとおりである。この表に示す通りEDBはMBより薬害を発生し易いくん蒸剤である。しかしどちらが適当なくん蒸剤であるかは対象害虫に対する殺虫効果と関連して定められるべきで、たとえば、ミカンコマエの寄生しているマンゴーに対しては、その強力な殺虫力から考えてEDBがMBより優れたくん蒸剤であると考えられる。

MBくん蒸ではジャガイモなど3種は、減圧くん蒸が大気圧くん蒸よりも薬害を発生し易かったが、これはそれらのMB吸収量の多寡によるものであろう。青果物のMB吸収量は薬量やくん蒸時間に比例し、品種間の抵抗性の差あるいは青果物の生理的状態の相違による抵抗性の差がMB吸収量に比例的であることは、ジャガイモについてLUBATTIほか(1948)、柑橘類について

第13表 各くん蒸剤およびくん蒸方法に対する各青果物の安全および薬害発生限界薬量

青果物	くん蒸温度 (°C)	貯蔵温度 (°C)	M B		E D B		HCN
			大気圧	減圧	大気圧	減圧	大気圧
ジャガイモ(男爵)	30	30前後	192—240	80—104	8>	8>	
モモ(大久保)	//	//	32—48	32—48	8—16	8—16	
温州ミカン	13	10前後	160—192	128—160			
リンゴ(国光)	//	//	48—64	32—48			
スモモ(サンタローザ)	30	30前後			16—32	16—32	
トマト(世界一)	//	//			8—16	8—16	
マンゴー(carabao)	//	//	32—48		16—32		
//	//	10	16—32		8—16		
レモン	//	30	32—64				
//	20	20	64—96				
//	10	10	96—144				
バナナ(grovemitchel)	10—20	20前後	48>				5—7.5

註1. 薬量単位は  $g/m^3$

2. 左—安全限界, 右—薬害発生限界

LINDGEN ほか(1951)により, そしてリンゴについて PHILLIPS ほか(1938)により論ぜられている。青果物の種類により, 両くん蒸方法による薬害の差が異なるのは, 果皮の物理的・化学的特質に基づくガス浸透性の難易に関係があると思われる。一方, EDB の場合には両くん蒸方法による薬害の差がほとんど認められなかった。このことは薬害発生限界薬量が低い割合に試験区の薬量の幅を広くとりすぎたことに原因があるものと考えられるが, もし EDB の性質によるものならば減圧くん蒸に有利なくん蒸剤と云うことができる。この点についてはさらに究明する予定である。

くん蒸温度と青果物の薬害の関係についての報告は少ないが, 川崎ほか(1961)によれば, ジャガイモの MB くん蒸で同程度の薬害を発生するためには  $20^{\circ}C$  では  $30^{\circ}C$  の場合より2倍のくん蒸時間を要したと云う。レモンの場合も高温になるほど薬害が発生し易く, 第13表のような限界薬量となった。青果物の種類により温度の影響も異なると思われるが, 一応の目安になると思われる。

同じ薬剤で同一条件でくん蒸しても, 青果物の生理的条件が異なると薬害の発生状況は異なる。この生理的条件としては果の熟度の相違(KNOTT ほか(1941)—トマト, EAKS ほか(1955)—アボカド, PHILLIPS ほか(1938)—リンゴ, 川崎ほか(1961), LUBATTI ほか(1948)—ジャガイモ), 摘果(掘取り)からくん蒸までの期間の長短(PHILLIPS ほか(1938)—リンゴ, 川崎ほ

か(1961), LUBATTI ほか(1948)—ジャガイモ), 生産地の相違による果の組成の相違(LINDGEN ほか(1951)—柑橘)および果の大小(川崎ほか(1961), LUBATTI ほか(1948)—ジャガイモ)などがあげられる。HCN によりくん蒸した輸入時期の異なるバナナの薬害発生程度が非常に違っていたが, 果の条件がどのように異なるか不明であるのでその原因は追求できない。しかし, このように差が大きい場合もあることは実際くん蒸において考慮せねばならない問題である。

川崎ほか(未発表)は MB によりくん蒸した未熟なトマトはくん蒸後の貯蔵温度が高い場合は正常に完熟するが低いと着色しない場合のあることを指摘した。MB および EDB によりくん蒸したマンゴーは,  $30^{\circ}C$  と  $10^{\circ}C$  の貯蔵では,  $10^{\circ}C$  の薬害発生限界薬量が1段階低かった。 $10^{\circ}C$  の貯蔵期間が長かったことも一因と思われるが, 貯蔵温度の相違も関係しているように思われる。

青果物はくん蒸すると一般に呼吸が促進され, その程度が薬害に関係があると思われる場合がある。川崎ほか(1959)によれば MB および EDB によりくん蒸したモモは呼吸が促進され, KNOTT ほか(1941)によれば未熟なトマトの呼吸は MB くん蒸で促進され, 累積呼吸量の多いものほど果の熟化が促進された。EAKS ほか(1955)によれば MB, EDB および ethylene chlorobromide でくん蒸したアボカドが薬害を発生するかどうかは, くん蒸後1日目の呼吸量が無処理の2倍以上になるかどうかで判定されると云う。また, PHILLIPS ほか

か(1938)は摘果後間もないリンゴはMBくん蒸で呼吸が促進されるが、一定期間経たものはほとんど影響されないことを示した。筆者らの試験でも温州ミカン、リンゴでは影響が認められなかったが、ジャガイモとモモはMBくん蒸で呼吸が促進され、とくにジャガイモでは薬害と密接な関係があることを示したのでこのような場合の青果物の生理的条件を調査することは興味あることと思われる。

MBによりくん蒸した温州ミカンおよびリンゴの遊離酸、還元糖および蔗糖含量は無処理との差が認められなかったので、味覚に感ぜられた甘酸味の変化はこれら物質の増減によるものではないと思われる。

リンゴの aldehyde, alcohol および揮発性酸含量は薬害を発生したものに多かった。あるいは、腐敗と関連して発生したものかもしれないが、薬害を発生しなかった薬量の少ない区の果でも無処理より多くの aldehyde が検出されたので、微妙な食味の変化とこれら物質の蓄積に何らかの関係があるように思われる。またこれらは呼吸と密接な関係のある物質であるから、呼吸と関連して薬害との相関も考えられる。

## V. 摘 要

ジャガイモ、モモ、温州ミカン、リンゴ、スモモ、トマト、マンゴー、レモンおよびバナナを methyl bromide, ethylene dibromide および青酸ガスにより大気圧と減圧でくん蒸し、薬害発生状況およびそれに関連のある数種の項目について調査した。

くん蒸容器や被くん蒸物のガス取着は ethylene dibromide が最も大きくてくん蒸中ガス濃度は著しく低下したが、methyl bromide では少なく、青酸ガスはその中間であった。

ポット法による青酸ガス倉庫くん蒸でガスを攪拌しない場合は、ガス濃度ははじめは上部が高く下部が低く1時間後に等しくなったが、バナナの包装ビニール袋中は常に低かった。これに反し、扇風機で攪拌した場合は速やかに均一になった。

表皮の薬害症状はくん蒸剤や青果物の種類により若干異なったが、熟度の進行または遅延、斑点の発生および変色に大別された。

青果物の種類により、くん蒸してから薬害症状を発生するまでの期間に長短があり、柑橘類とリンゴは長期間を要した。

食味は一般に表皮に薬害を発生する薬量よりもより少ない薬量で変化したので、食味の変化も考慮して薬害発

生限界薬量を決定した。

ジャガイモ、モモおよびマンゴーは、ethylene dibromide でくん蒸した場合は methyl bromide の場合よりも少ない薬量で薬害を発生した。

methyl bromide でくん蒸したジャガイモ、モモ、温州ミカンおよびリンゴのうちモモを除く3種は、減圧くん蒸では大気圧くん蒸よりも少ない薬量で薬害を発生した。大気圧くん蒸の場合よりも減圧くん蒸ではこれらにより多くの methyl bromide を吸収したことによるものと思われる。一方、ethylene dibromide ではジャガイモ、モモ、スモモおよびトマトのいずれもくん蒸方法の相違による薬害発生程度の差が認められなかった。

methyl bromide でくん蒸したレモンは、温度が高いほど少ない薬量で薬害を発生した。

30°C で methyl bromide および ethylene dibromide によりくん蒸したマンゴーを、10°C で貯蔵した場合は室温(30°C前後)に貯蔵した場合よりも少ない薬量で薬害を発生した。

青酸ガスでくん蒸した、輸入時期の異なるパナマ産バナナの薬害発生限界薬量に大きな差があった。おそらくこれは果の生理状態の相違によるものであろうと推察される。

ジャガイモおよびモモの呼吸は methyl bromide くん蒸により促進され、とくにジャガイモの呼吸の経時変化は薬害の有無と密接な関係があった。

methyl bromide でくん蒸した温州ミカンおよびリンゴ果汁の遊離酸、還元糖および蔗糖含量は無処理との間に差が認められなかったため、味覚に感ぜられた甘酸味の変化はこれら物質の増減によるものではないと思われる。

methyl bromide でくん蒸したリンゴの aldehyde, alcohol および揮発性酸含量は薬害を発生した果に多く、薬害の発生と関連があるものと思われる。

## VI. 文 献

- Eaks, L. L. and W. B. Sinclair (1955) Respiratory response of avocado fruits to fumigation effective against the eggs and larvae of fruit flies. J. Econ. Ent. 48: 369-372.
- Filder, J. C. (1934) CXLIX. Studies in zymasis. VII. The estimation of the ethyl alcohol and acetaldehyde content of apples. Biochem. Jour. 28: 1107-1102.
- Gerhardt P. D., D. L. Lindgren and W. B. Sinclair (1951) Methyl bromide fumigation of walnuts to

control two lepidopterous pests, and determination of of bromine residue in walnut meats. *J. Econ. Ent* 44: 384-389.

川崎倫一・田口俊郎・井上 駿 (1961) Methyl bromid くん蒸によるジャガイモ塊茎の薬害に関する研究. 植物防疫所調査研究報告 1: 54-83.

Knot, J. E. and L. L. Clypool (1941) Some responses of tomato fruits to methyl bromide fumigation. *proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 38: 501-506.

Labatti, O. F. and B. Smith (1948) Determination of fumigant XX. Sorption of methyl bromide by potatoes. *J. Soc. Chem. Ind.* 66: 347-354.

Lindgren, D. L. and W. B. Sinclair (1951) Tolerance of citrus and avocado fruits to fumigants effective against the oriental fruit fly. *J. Econ. Ent.* 44: 980-990.

Phillips, W. R., H. A. U. Monro and C. E. Allen (1938) Some observations on the fumigation of apples with methyl bromide. *Sci. Agr.* 19: 7-20.

Ripper, M. (1900) Eine allgemein anwendbare massanalytische Bestimmung der Aldehyde. *Monatsh. Chem.* 21: 1078-1085.

Shaw, J. C. and F. Lopez, D. (1954) Ethylene dibromide as a fumigant for mangoes infested with the mexican fruit fly. *J. Econ. Ent.* 47: 891-893.

湯川新太郎 (1939) 毒瓦斯及び試験法, 広川書店 東京 434 pp.

### Summary

Potatoes, apples, mandarine oranges, plums, tomatoes, mangoes, lemons and bananas were fumigated with methyl bromide, ethylene dibromide and hydrogen cyanide under the atmospheric and vacuum condition. The results of the investigations on the fumigation injuries are summarized as follows.

A great amount of ethylene dibromide was sorbed by the fumigant and commodities, thus leading to a remarkable decrease in gas concentration during the fumigation, whereas the sorption of methyl bromide and hydrogen cyanide was little and moderate, respectively.

When the gas was not circulated in the warehouse fumigation with hydrogen cyanide under the pot method, the gas concentration of the upper space was considerably higher at first than that of the floor level, but became

uniform after one hour. The inside of the packing vinyl bag of bananas, however, always gave lower concentration than that of the floor level outside.

Though some differences were noted in the injury symptoms depending upon the fumigants and commodities, they could be classified into the accelerated or retarded after-ripening, the appearance of spots on the skin, and the discoloration of the commodities.

The time required for the initial appearance of injuries after the fumigation also varied with the commodities, and citrus and apple, among others, needed longer intervals.

The visual injuries above-mentioned were generally preceded by the change or the deterioration of taste and flavor at lower dosage levels. The limit injury dosage of each commodity, therefore, was measured by taking the taste and flavor fully into consideration.

Ethylene dibromide induced the injuries to potatoes, peaches and mangoes at lower dosage than methyl bromide.

Potatoes, apples and mandarine oranges were more susceptible to methyl bromide under the vacuum fumigation than the atmospheric fumigation. This seems to be due to the greater amount of methyl bromide absorbed under the vacuum fumigation than the atmospheric fumigation. In their susceptibility to ethylene dibromide, however, potatoes, peaches, plums and tomatoes showed no remarkable difference between the vacuum and the atmospheric fumigation.

The injuries of lemons caused by methyl bromide became severer in proportion to the rise in the fumigation temperature.

Mangoes stored at 10°C after the fumigation with methyl bromide or ethylene dibromide more readily produced the visual injury symptoms than those stored at room temperature (about 30°C) after the same treatment.

A great variation in the susceptibility to hydrogen cyanide was found among the bananas imported at different dates from Panama, thus indicating many physiological factors involved in the mechanism of fumigation injuries.

The respiration of potatoes and peaches was accelerated by methyl bromide. Especially, the respiratory

behavior of potatoes appears to have a close correlation with their injuries.

No influence of methyl bromide fumigation was found on the contents of free acid, reducing sugar and sugar in the sap of mandarine oranges and aples. Thus it seems that the change or the deterioration of the taste of these two fruits is not due to the increase or the decrease of these compounds.

Higher contents of aldehyde, alcohol and volatile acid was obtained from the apples injured by methyl bromide. This also indicates the possibility of these compounds being involved in the mechanism of the outbreaks of the fumigation injuries.

### 図版説明

1. methyl bromide によるモモの斑点。左から無処理, 大気圧 80 g/m<sup>3</sup>, 減圧96 g/m<sup>3</sup>, 大気圧 160 g/m<sup>3</sup>
2. methyl bromide によるリンゴの斑点。左無処理。右上大気圧 200 g/m<sup>3</sup>, 右下大気圧 240 g/m<sup>3</sup>
3. methyl bromide および ethylene dibromide によるマンゴの葉害。左無処理, 中 ethylene dibromide 64 g/m<sup>3</sup>, 右 methyl bromide 80 g/m<sup>3</sup>。大斑は炭疽病斑, 小斑は葉害斑, 薄黒しみ状斑は凍害斑。
4. ethylene dibromide によるジャガイモの斑点。64 g/m<sup>3</sup>
5. methyl bromide によるジャガイモの斑点。右上無処理, 右下減圧 104 g/m<sup>3</sup>, 左上大気圧 288 g/m<sup>3</sup>, 左下大気圧 336 g/m<sup>3</sup>。
6. 青酸ガスによるバナナの変色。右上無処理, 右下 10 g/m<sup>3</sup>, 左上 30 g/m<sup>3</sup>, 左下 20 g/m<sup>3</sup>

