

ヨウ化メチル及びリン化水素くん蒸に対する青果物の耐性

相馬幸博*・小川 昇**・谷川展暁・川上房男¹⁾

横浜植物防疫所調査研究部

¹⁾ 日本くん蒸技術協会

Quality Tolerance of Fresh Fruits and Vegetables to Methyl Iodide and Phosphine Fumigation. Yukihiro Soma, Noboru Ogawa, Nobuaki Tanigawa and Fusao Kawakami¹⁾ (Research Division, Yokohama Plant Protection Station, 1-16-10 Shin-yamashita, Naka-ku, Yokohama 231-0801, Japan. ¹⁾ Research Laboratory, Japan Fumigation Technology Association). *Res. Bull. Pl. Prot. Japan* 43: 1-7 (2007).

Abstract: To confirm the quality tolerance of fresh fruits and vegetables to methyl iodide and phosphine fumigation, 18 commodities were fumigated with methyl iodide at 15°C with 0.1 t/m³ of loading at 30 g/m³ for 2 hours and at 48.5 g/m³ for 3 hours and with phosphine at 0.5 g/m³ and 2 g/m³ for 24 hours, respectively. In methyl iodide fumigation, no chemical injury was observed on peach, cherry, strawberry, pumpkin or tomato, while clear symptoms of chemical injuries were observed on apple, persimmon, grape, pear, banana, melon, asparagus, lettuce, celery, okra and young soybean. In phosphine fumigation, no injury was observed on any of the 18 commodities except for strawberry and peach with symptoms of discoloration, persimmon with acceleration of maturity and banana with delay of maturity. Phosphine may be an acceptable fumigant for fresh fruits and vegetables.

Key words: fumigation, methyl iodide, phosphine, fresh fruit and vegetable, chemical injury

緒 言

臭化メチルは、モントリオール議定書締約国会合においてオゾン層破壊物質に指定されて以来、その使用が制限されている。現在、特例として、検疫や不可欠用途の土壌、穀類等にはその使用が認められているが、近い将来、さらに使用規制が強化される可能性が高く、代替剤の開発が急務となっている（楯谷，2000）。

検疫における臭化メチル代替剤の開発試験は、これまで穀類、木材、梱包材等を対象に、フッ化スルフルル、リン化水素、メチルイソチオシアネート、ヨウ化メチル及びこれらの混合ガスが用いられ、多くの試験が実施されている。しかし、これら代替剤の果実及び野菜類に対する試験は少なく、ナシ（二十世紀）果実に対するリン化水素くん蒸（松岡ら，2002；相馬ら，2002）、クリ果実に対するヨウ化メチルくん蒸（相馬ら，2005）事例があるのみで、多種類の青果物に対して適用が可能かどうか明確にされていない。

そこで、これまで実施されたヨウ化メチル及びリン化水素くん蒸による殺虫試験データから、薬量、温度、くん蒸時間等のくん蒸条件を設定し、両薬剤で青果物をくん蒸し、薬害耐性を調査した。また、比較対照として臭化メチルくん蒸も実施した。これらの結果を併せて報告する。

材料及び方法

1. 供試青果物

供試青果物は Table 1 のとおりで、果実 10 品目、野菜 8 品目の合計 18 品目をを用いた。くん蒸前日に市場から入手し、くん蒸温度に保管した。

2. くん蒸剤及びくん蒸条件

ヨウ化メチル (CH₃I) は、沸点 42.5°C、蒸気圧 50 kPa (20°C)、液体比重 2.28、許容濃度 2 ppm (米国 ACGIH TLV-TWA)、オゾン破壊係数 0.02 で、劇物に指定されているくん蒸剤である。くん蒸条件は、木材害虫やクリ果実の害虫に対して臭化メチルと同等の殺虫効果を示した（相馬ら，2005）ことから、検疫くん蒸における臭化メチル薬量基準を参考に、15°C、30 g/m³、2 時間及び 48.5 g/m³、3 時間に設定した。

リン化水素は、沸点 -87.7°C、爆発限界 1.8%、許容濃度 0.3 ppm (米国 ACGIH TLV-TWA) で、毒物に指定されているが、発生剤であるリン化アルミニウム剤は特定毒物の指定を受けている。世界中で使用されている歴史のあるくん蒸剤があるが、近年、庫外投薬機が開発されたことにより、短時間でリン化水素の発生が可能となった。くん蒸条件は、ナシ（二十世紀）に付着するハダニ類の試験（相馬ら，2002）から、15°C、0.5 g/m³ 及び 2.0 g/m³、24 時間のくん蒸条件を設定した。

また、比較のための臭化メチルは、検疫くん蒸基準（青果物）の 48.5 g/m³、3 時間を適用した。

* 現在、横浜植物防疫所塩釜支所八戸出張所

** 現在、横浜植物防疫所業務部

Table 1. Species, variety, production area, weight of test commodities.

Commodities	Variety	Production area	Average weight per minimum unit	Edible portion (g/100 g) ¹⁾			Others	
				Moisture	Protein	Lipid		
Fruits	Apple	Fuji	Nagano	327 g	84.9	0.2	0.1	Cultivation by unbagged method
	Persimmon	Fuyu	Ehime	277 g	83.1	0.4	0.2	
	Grape	Kyoho	Yamanashi	488 g	83.5	0.4	0.1	
	Japanese pear	Kosui	Ibaraki	315 g	88.0	0.3	0.1	
	Peach	Hakuho	Fukushima	250 g	88.7	0.6	0.1	
	Cherry	Satonishiki	Yamagata	6.6 g	83.1	1.0	0.2	
	Orange	Navel	USA	210 g	86.8	0.9	0.1	
	Pineapple	Smooth cayenne	Philippines	1.6 kg	85.5	0.6	0.1	
	Banana	Cavendish	Philippines	3.0 kg	75.4	1.1	0.2	Immature banana
	Strawberry	Tochiotome	Tochigi	7.4 g	90.0	0.9	0.1	
Vegetables	Melon	Amus	Chiba	1.1 kg	87.9	1.0	0.1	
	Pumpkin	Bocchan	Kanagawa	450 g	86.7	1.6	0.1	
	Tomato	Momotaro	Chiba	196 g	94.0	0.7	0.1	
	Okra	—	Thailand	9 g	90.2	2.1	0.2	
	Asparagus	—	Akita	25 g	92.6	2.6	0.2	
	Lettuce	—	Shizuoka	197 g	95.9	0.7	0.1	
	Celery	—	Shizuoka	1.4 kg	94.7	1.0	0.1	
	Young soybean	—	Shizuoka	4.8 g	71.7	11.7	6.2	Greenhouse cultivation

¹⁾ Standard tables of food composition in Japan (2005).

3. くん蒸

くん蒸は、15℃の定温庫内に設置した内容積約30 lのアクリル樹脂製のくん蒸箱（ガス投薬、攪拌、採取、排気装置及び圧力・温度測定用の孔付き）に青果物をそれぞれ約3 kg（収容比0.1 t/m³）収容し、ヨウ化メチルはバイアルピンに充填した液体を、リン化水素はボンベに充填された濃度10%（窒素充填）のガスを、臭化メチルはボンベに充填された液化ガスを一定量注射器で採取してくん蒸箱に注入する方法で行った。

くん蒸中のガスの攪拌は、ヨウ化メチル及び臭化メチルくん蒸では常時行い、リン化水素は投薬後10分間だけ行った。ガス濃度の測定は、ヨウ化メチル及び臭化メチルくん蒸では投薬15分、30分、1時間、2時間及び3時間後にガスクロマトグラフ（FID GC-14B, 島津）で、また、リン化水素くん蒸では投薬1時間後、4時間後及び24時間後にガスクロマトグラフ（TCD GC-14B, 島津）でそれぞれ測定した。くん蒸中の温度は、自動温度記録計（Hybrid Recorder AH, チノ）で測定した。くん蒸後は、排気装置を用いて1時間排気した。

4. 薬害調査

くん蒸終了後、青果物をカートンボックスに入れ、15℃に7～14日間保管した。薬害調査は、外観（果皮、茎葉等の変色、斑点、萎凋、腐敗、脱粒等）、内部（果肉、茎葉内部等の変色、腐敗等）及び食味（風味、味の変化）について実施した。外観は、2, 3, 5, 7, 10, 14日後に、内部と食味は、3日後（全体の1/4～1/3程度）と7日後（全体の1/4～1/3程度）に調査したが、バナナ（くん蒸後に追熟処理）については熟度を考慮して日数を調整した。また、カボチャ、オクラ、アスパラガス及びエダマメは、加熱前後の外観の変化と加熱後の食味調査を実施した。

調査結果の判定は、対照区と比較し薬害発生のないもの（○）、やや差は認められるが気にならないもの（△）、一部の個体に薬害が認められるもの（▲）、薬害が全体に発生したもの（●）の4つに分類した。

結果及び考察

1. くん蒸中及びくん蒸終了時のガス濃度

ヨウ化メチル及び臭化メチル 48.5 g/m³、15℃、3時

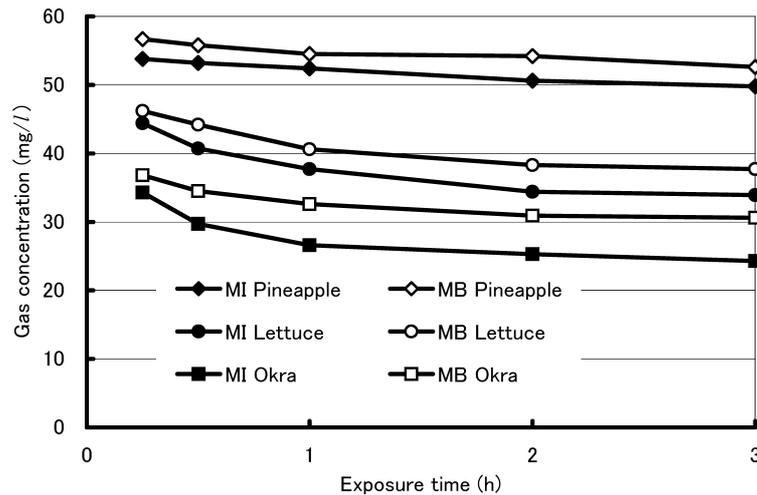


Fig. 1 Progressive gas concentrations for fresh fruits and vegetables fumigated at 48.5 g/m^3 of methyl iodide and methyl bromide for 3 hours at 15°C with 0.1 t/m^3 loading.

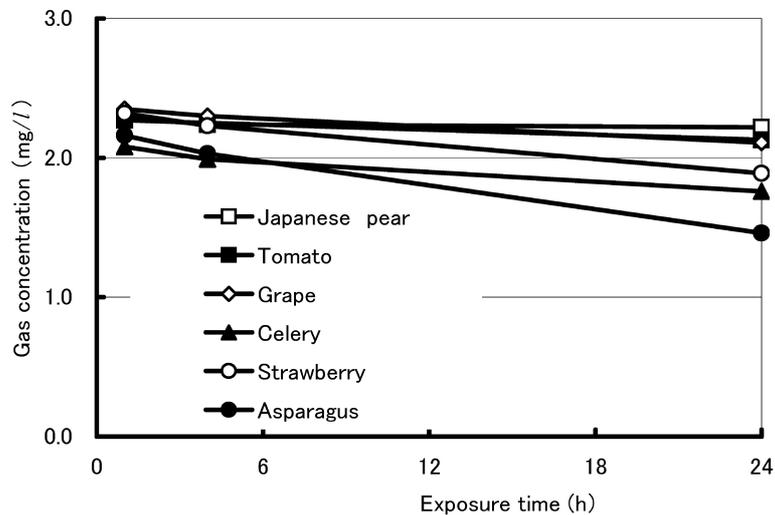


Fig. 2 Progressive gas concentrations for fresh fruits and vegetables fumigated at 2 g/m^3 of phosphine for 24 hours at 15°C with 0.1 t/m^3 loading.

間くん蒸におけるガス濃度の経時変化を代表的な品目で示すと Fig. 1 のとおりである。また、リン化水素 2.0 g/m^3 , 15°C , 24 時間くん蒸におけるガス濃度の経時変化を代表的な品目で示すと Fig. 2 のとおりである。

ヨウ化メチル及び臭化メチルのガス濃度は、投薬初期（15 分後）から品目間における差が大きく、パイナップルは高く、レタスは中程度で、オクラは低かった。この品目間の差は、くん蒸終了時（3 時間後）まで続いた。すなわち、収着性の大きい品目は投薬直後からガス濃度が低い傾向があり、くん蒸直後にガスが急激に植物体に吸着されるものと考えられる。また、ヨウ化メチルは、いずれの品目でも臭化メチルよりも収着性が大きい傾向があり、その差はくん蒸直後よりも 3 時間後で拡大する傾向が見られた。

リン化水素くん蒸中のガス濃度は、投薬初期（1 時間後）では品目間にほとんど差が認められず、すべて 2

mg/l 以上の高い濃度を示した。ガス濃度は、時間の経過とともに低下し、品目間でやや差が生じたものの、アスパラガス以外の品目については、24 時間後も 2 mg/l 前後の高い濃度を維持しており、青果物類に対するリン化水素の収着性は比較的小さいものと考ええる。

ヨウ化メチル及び臭化メチルくん蒸におけるくん蒸終了時のガス濃度及びガス残存率（ $100 \times \text{くん蒸終了時のガス濃度} \text{ mg/l} / \text{投薬量} \text{ g/m}^3$ ）は、Table 2 のとおりである。また、リン化水素くん蒸におけるくん蒸終了時のガス濃度及びガス残存率は、Table 3 のとおりである。

ヨウ化メチルくん蒸（ 30 g/m^3 及び 48.5 g/m^3 ）におけるくん蒸終了時のガス残存率から、ガス収着性の比較的小さい（ガス残存率の平均が 85% 以上）品目は、リンゴ、カキ、ブドウ、ナシ、オレンジ、パイナップル、メロン及びトマトの果実、果菜類に多く、ガス収着性の大きい（ガス残存率の平均が 60% 未満）品目は、

Table 2. Residual gas concentrations and residual gas ratios in methyl iodide and methyl bromide fumigation¹⁾.

Commodities	Methyl iodide				Methyl bromide	
	30 g/m ³ ·2 hrs		48.5 g/m ³ ·3 hrs		48.5 g/m ³ ·3 hrs	
	2 hours mg/l	Residual gas ratio ²⁾ %	3 hours mg/l	Residual gas ratio ²⁾ %	3 hours mg/l	Residual gas ratio ²⁾ %
Apple	28.8	96.0	44.3	91.3	56.3	116.1
Persimmon	28.1	93.7	41.8	86.2	50.4	103.9
Grape	28.3	94.3	43.4	89.5	43.4	89.5
Japanese pear	29.2	97.3	47.7	98.4	47.0	96.9
Peach	22.4	74.7	36.1	74.4	38.5	79.4
Cherry	—	—	35.5	73.2	37.7	77.7
Orange	30.4	101.3	50.5	104.1	52.9	109.1
Pineapple	31.5	105.0	49.8	102.7	52.6	108.5
Banana	21.8	72.7	36.9	76.1	42.2	87.0
Strawberry	19.8	66.0	30.5	62.9	36.3	74.8
Melon	30.3	101.0	50.4	103.9	49.4	101.9
Pumpkin	23.9	79.7	41.5	85.6	41.7	86.0
Tomato	28.7	95.7	45.9	94.6	44.8	92.4
Okra	14.9	49.7	24.3	50.1	30.6	63.1
Asparagus	16.8	56.0	25.3	52.2	33.5	69.1
Lettuce	22.0	73.3	33.9	69.9	37.7	77.7
Celery	19.8	66.0	32.0	66.0	35.4	73.0
Young soybean	18.1	60.3	27.1	55.9	31.5	64.9

¹⁾ Fumigation was conducted at 15°C with 0.1 t/m³ loading.

²⁾ 100×gas concentration at the end of fumigation (mg/l)/applied dose (g/m³).

Table 3. Residual gas concentrations and residual gas ratios by doses in phosphine fumigation.

Commodities	0.5 g/m ³		2.0 g/m ³	
	24 hours mg/l	Residual gas ratio ²⁾ %	24 hours mg/l	Residual gas ratio ²⁾ %
Apple	0.46	92.0	2.03	101.5
Persimmon	0.47	94.0	1.84	92.0
Grape	0.47	94.0	2.11	105.5
Japanese pear	0.53	106.0	2.22	111.0
Peach	0.41	82.0	1.97	98.5
Cherry	0.42	84.0	1.96	98.0
Orange	0.49	98.0	2.13	106.5
Pineapple	0.53	106.0	2.24	112.0
Banana	0.48	96.0	2.14	107.0
Strawberry	0.46	92.0	1.89	94.5
Melon	0.50	100.0	2.22	111.0
Pumpkin	0.28	56.0	1.77	88.5
Tomato	0.50	100.0	2.13	106.5
Okra	0.42	84.0	2.04	102.0
Asparagus	0.19	38.0	1.46	73.0
Lettuce	0.40	80.0	2.08	104.0
Celery	0.33	66.0	1.76	88.0
Young soybean	0.31	62.0	1.63	81.5

¹⁾ Fumigation was conducted at 15°C for 24 hours with 0.1 t/m³ loading.

²⁾ 100×gas concentration at the end of fumigation (mg/l)/applied dose (g/m³).

オクラ、アスパラガス及びエダマメであった。臭化メチルくん蒸も同様の傾向を示したが、ヨウ化メチルよりも収着性は小さい傾向を示した。臭化メチルは蛋白質と親和性が高い (Gibich and Pedersen, 1963) とされ、蛋白質含有量の高いオクラ、アスパラガス及びエダマメで収着量が多かったが、ヨウ化メチルも同様の傾向を示し

た。

リン化水素くん蒸 (0.5 g/m³ 及び 2.0 g/m³) におけるくん蒸終了時のガス残存率から、ガス収着性の比較的大きい (ガス残存率の平均値が 60% 未満) 品目はアスパラガスのみで、0.5 g/m³ の区ではガス残存率が 38% まで低下した。その他の品目は、すべて 85% 以上 (ガ

ス残存率の平均値)でガス収着性は小さかった。リン化水素は水分の多い生植物類には収着されにくいとされているが、くり果実は特異的に収着性が大きいことが報告されている(相馬ら, 2005)。アスパラガスもくり果実と同様に収着性が大きい植物であることが明らかとなった。

2. ヨウ化メチル及びリン化水素くん蒸による薬害の発生状況

ヨウ化メチルくん蒸による薬害の発生状況は Table 4、リン化水素くん蒸による薬害の発生状況は Table 5 に示したとおりである。それぞれに比較用として臭化メチルくん蒸による薬害の発生状況を示した。

ヨウ化メチルくん蒸ではモモ、サクランボ、イチゴ、カボチャ及びトマトに薬害の発生は認められなかった。薬害発生の軽微なものはオレンジ、パイナップルで、オレンジは14果中の1~2果の果皮に数ミリ程度の目立たないピットング症状が認められた。パイナップル(48.5 g/m³・3時間区)では果皮に近い果肉に不明瞭な変色部分が認められたが、供試数(1区当たり2果)が

少なかったため確認が必要である。その他の果実及び野菜類には Fig. 3 (48.5 g/m³・3時間区)に示したような明確な薬害が認められた。薬害症状の特徴は次のとおりで、30 g/m³・2時間区は、48.5 g/m³・3時間区よりも症状はやや軽減された。

リンゴ: 9果中1~4果で果実内部の蜜の部分が暗褐色に変色(0.5~3.5 cm)した。

カキ: 9果中5~9果で果実が熟し柿状に軟化し、果色もやや退色した。

ブドウ: 果実の10~60%程度が房から脱粒した。

ナシ: 9果中7~9果で果肉に同心円状の薄い暗褐色~暗褐色に変色した。

バナナ: 果皮がまだら状に褐変した。

メロン: 果皮の縦縞に沿って筋状に褐変し、日数の経過とともに腐敗症状を呈した。

オクラ: 縁の稜線、先端部がやや黒変し、全体に黒ずんだような症状となった。

アスパラガス: 茎の中央部表面がしわ状に萎凋し、茎の内部が空洞化した。

レタス: 葉全体が赤褐色~褐色に変色した。

Table 4. Chemical injuries of fresh fruits and vegetables fumigated with methyl iodide and methyl bromide¹⁾.

Commodities	Methyl iodide						Methyl bromide		
	30 g/m ³ ・2 hrs			48.5 g/m ³ ・3 hrs			48.5 g/m ³ ・3 hrs		
	Skin	Pulp	Taste	Skin	Pulp	Taste	Skin	Pulp	Taste
Apple	○	▲	○	○	▲	○	○	▲	○
Persimmon	△	△ ³⁾	○	△	▲ ³⁾	○	△	▲ ³⁾	○
Grape	○	▲ ⁴⁾	○	○	▲ ⁴⁾	○	○	▲ ⁴⁾	○
Japanese pear	○	▲	▲	○	●	▲	○	▲	▲
Peach	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Cherry	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Orange	△	○	○	△	○	○	△	○	○
Pineapple	○	○	○	○	△	○	○	○	○
Banana ²⁾	▲	○	○	●	▲	▲	▲	○	○
Strawberry	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Melon	△	○	○	▲	○	○	▲	○	○
Pumpkin	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Tomato	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Okra	△	○	○	▲	○	○	▲	○	○
Asparagus	▲	○	○	▲	○	○	▲	○	○
Lettuce	▲	●	○	▲	●	○	●	●	○
Celery	△	●	○	△	●	○	△	●	○
Young soybean	●	○	○	●	○	○	●	○	○

¹⁾ Chemical injury was evaluated after storing for 3-5 days at 15°C.

Degree of chemical injury: ○: no injury △: slight injury ▲: heavy injury on apart ●: heavy harm

²⁾ Fumigation was conducted before ripening treatment of fruit.

³⁾ Acceleration of softness.

⁴⁾ The ratio of falling-off the bunch is higher than those of untreated fruit.

Table 5. Chemical injuries of fresh fruits and vegetables fumigated with phosphine¹⁾.

Commodities	Phosphine						Methyl bromide		
	0.5 g/m ³ ·24 hrs			2.0 g/m ³ ·24 hrs			48.5 g/m ³ ·3 hrs		
	Skin	Pulp	Taste	Skin	Pulp	Taste	Skin	Pulp	Taste
Apple	○	○	○	○	○	○	○	▲	○
Persimmon	○	△ ³⁾	○	○	△ ³⁾	○	△	▲ ³⁾	○
Grape	○	○	○	○	○	○	○	▲ ⁴⁾	○
Japanese pear	○	○	○	○	○	○	○	▲	▲
Peach	○	△	▲	○	△	▲	○	○	○
Cherry	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Orange	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Pineapple	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Banana ²⁾	○	○	○	○	△ ⁵⁾	○	▲	○	○
Strawberry	△	○	●	△	○	●	○	○	○
Melon	○	○	○	○	○	○	▲	○	○
Pumpkin	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Tomato	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Okra	○	○	○	○	○	○	▲	○	○
Asparagus	○	○	○	○	○	○	▲	○	○
Lettuce	○	○	○	○	○	○	●	●	○
Celery	○	○	○	○	○	○	△	●	○
Young soybean	○	○	○	○	○	○	●	○	○

¹⁾ Chemical injury was evaluated after storing for 3–5 days at 15°C.

Degree of chemical injury: ○: no injury △: slight injury ▲: heavy injury in a part ●: heavy injury

²⁾ Fumigation was conducted before ripening treatment of fruit.

³⁾ Acceleration of softness.

⁴⁾ The ratio of falling-off the bunch is higher than those of untreated fruit.

⁵⁾ Delay of maturity.

セロリ：茎の根本が黄変又は褐変した。

エダマメ：赤褐色状の斑点が莢全体に発生した。

また、薬害の程度にやや差があるものの、臭化メチルくん蒸についても同様の症状が認められたことから、これら2つのくん蒸剤は植物体に対し、非常によく似た作用を示しているものと考えられる。ヨウ化メチルくん蒸では、多くの青果物に障害が発生することが明らかとなったが、供試した青果物が臭化メチルくん蒸で障害の発生し易いものを多く選択したことも要因の1つと考える。くん蒸中のガス収着性（濃度の低下）と障害発生に明確な関係は認められなかったが、野菜類では収着性が高かったオクラ、アスパラガス及びエダマメに明瞭な障害が認められた。

リン化水素くん蒸ではリンゴ、ブドウ、ナシ、サクランボ、オレンジ、パイナップル、メロン、カボチャ、トマト、オクラ、アスパラガス、レタス、セロリ及びエダマメに薬害の発生は認められなかった。薬害発生の軽微なものはカキ、バナナで、カキは果皮等に変色はないものの、対照区に比較し早く熟度（軟化）が進む傾向が

あった。反対に、バナナは熟度の進行が遅れる傾向（2.0 g/m³）があった。明確な薬害が発生したのはイチゴ及びモモで、イチゴは果色に光沢を生じ、本来の風味が失われ、味の変化が認められた。モモは果肉がやや退色し、味の変化した果実が認められた。また、アスパラガスは、ガス収着性が特異的に大きかったが、障害は認められなかった。

以上の結果から、ヨウ化メチルくん蒸では、多くの青果物（18品目中、11品目）に障害が認められ、その品目及び症状とも臭化メチルくん蒸に類似していた。しかし、モモ、サクランボ、イチゴ、カボチャ及びトマトでは、障害が認められず、臭化メチルと同様のくん蒸方法が利用できる可能性がある。また、本試験では、くん蒸後に15°Cで保管したが、品目に合った保管条件下では障害の状況が異なることが考えられる。ヨウ化メチルは、殺虫効果、化学的特性も臭化メチルと類似しており、臭化メチルと同様のくん蒸条件、くん蒸施設が使用できることがメリットである。

リン化水素くん蒸では、多くの果実、野菜に対して障

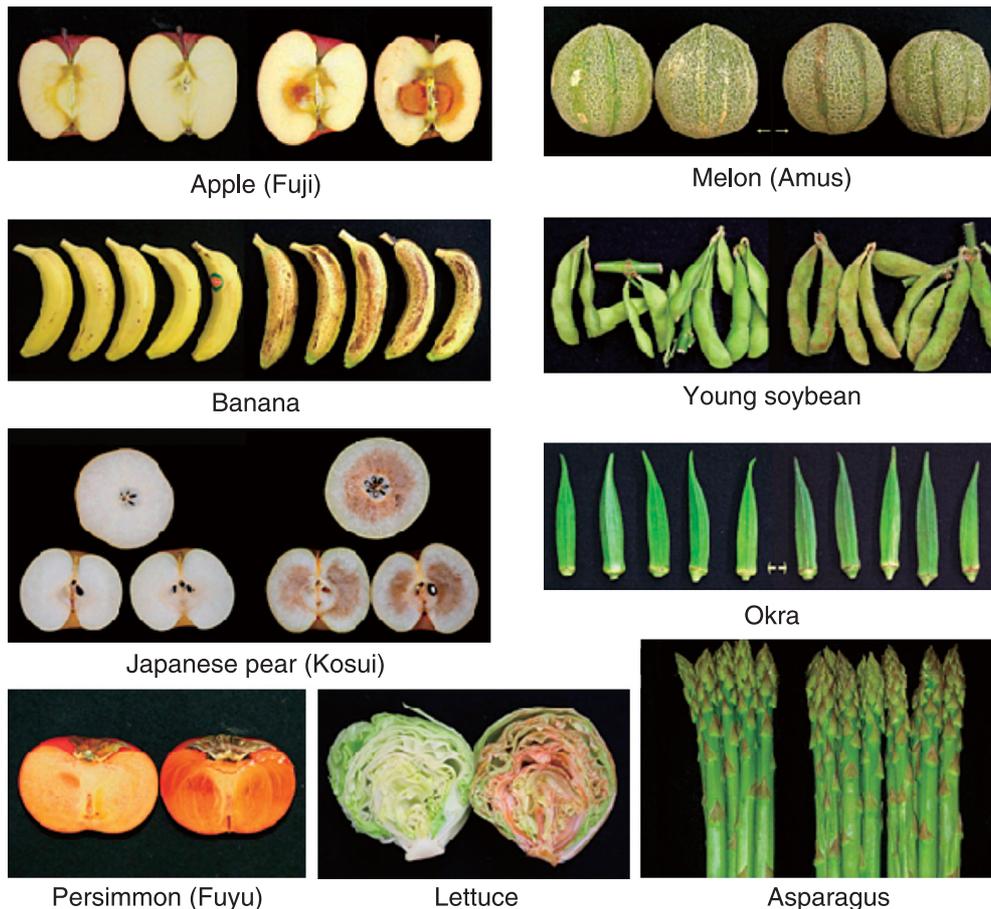


Fig. 3. Chemical injuries of fresh fruits and vegetables by methyl iodide fumigation (Left: Control, Right: Fumigation).

害が発生しないことが確認された。相馬ら (2002) は、ナシのくん蒸にリン化アルミニウム投薬機を利用しており、本装置が青果物のくん蒸に使用できることが確認されている。しかし、リン化水素は銅製品を腐食することが知られており、施設の一部改造が必要になる。また、本剤は、一部の害虫に効果が低いことが報告 (相馬ら, 2000, 2005) されており、今後、青果物の種類、害虫の種類とくん蒸条件 (温度、薬量、時間) との組合せを検討する必要がある。

リン化水素くん蒸で障害が認められたモモ、イチゴは、ヨウ化メチルくん蒸では障害が認められず、両くん蒸剤による障害は青果物の種類で相反する傾向が認められた。これは、特記すべき結果であり、両くん蒸剤を利用することにより、適用範囲は臭化メチルよりも広くなることが考えられる。

引用文献

- Gibich, J. and J. R. Pedersen (1963) Bromide Levels in Mill Fractions of Unfumigated and Fumigated Wheat. *Cereal Science Today*. 8(10): 345.
- 松岡郁子・相馬幸博・三角 隆・内藤浩光・川上房男 (2002) リン化水素くん蒸による二十世紀梨の消毒試験. 1. 二十世紀梨の薬害耐性とカンザワハダニの殺虫効果. 植防研報 38: 5-8.
- 相馬幸博・三角 隆・内藤浩光・川上房男 (2000) 臭化メチル及びリン化水素くん蒸に対する数種果実の耐性とリン化水素くん蒸に対するモモシクイガの殺虫効果. 植防研報 36: 1-4.
- 相馬幸博・松岡郁子・内藤浩光・土屋芳夫・三角 隆・川上房男 (2002) リン化水素くん蒸による二十世紀梨の消毒試験. 2. 投薬機を利用したリン化アルミニウム剤によるくん蒸試験. 植防研報 38: 9-12.
- 相馬幸博・三角 隆・小川 昇・内藤浩光 (2005) 3種くん蒸剤によるクリシギゾウムシ *Curculio sikkimensis* の殺虫試験. 植防研報 41: 9-14.
- 楯谷昭夫 (2000) 臭化メチルの使用規制に関する国際的な動きと代替方法の開発について. 日くん協だより 60: 3-15.