

リンゴ9品種の臭化メチルくん蒸処理が，果実の呼吸，エチレン生成，及び果実内褐変に及ぼす影響

長内敬明・元村佳恵

植物エネルギー工学講座

(2002年10月21日受付)

緒 論

わが国の果樹産業は，国内産果実類の生産の増加と国内における果実消費量の漸減に加えて，輸入果実の増加などによって，果実の国内市場価格が低迷し，生産者も流通業者も，きわめて厳しい状況に直面している。そのため，果樹生産地では高品質果実を諸外国へ積極的に輸出しようとする機運が高まっている。しかし，多くの国では輸入農産物とともに侵入する可能性のある病害虫から自国の農業を保護するため，果実の輸入を制限，または禁止するなどの規制を課している。日本産の果実をこれらの国へ輸出するためには，病害虫の防除のための薬剤処理が必要である。

輸出用リンゴでは一般に臭化メチルくん蒸処理が行われているが，時に果皮障害や果実内褐変の発生が問題となることがある。臭化メチル処理がリンゴ果実に及ぼす影響については，1930年代から多くの報告があり(1, 2, 5, 7, 8, 10)，品種によって障害の発生程度や症状にも差があることが知られている。通常は臭化メチルくん蒸後，果実を輸出用カートンに入れて出荷されることが多い。輸出用カートンの側面には大小12ヶ所の通気孔があり，果実中に残留している臭化メチルの揮散を助けている。近年，輸出量の増加に伴って，臭化メチル処理後もコンテナなどの中で，ある期間は通気性が悪い状態におかれる可能性が高まってきた。

一方，臭化メチルくん蒸によって，呼吸の促進やエチレン生成の抑制が起こることも知られている(2)。臭化メチル処理後，果実が閉塞状態におかれた場合，果実自身のガス交換によって容器内の空気組成が変化し，そのために果実に障害が発生する可能性があると考えられる(9)。従来の研究では果実に障害を出さない範囲で殺虫効果をあげることを目的として，臭化メチルの濃度や処理方法，処理後の取り扱いを検討し，現在のマニュアルが作られている(4)。しかし，流通条件の変化に合わせて，処理方法や処理後の取り扱いについても検討が必要となってくる。

本研究では，臭化メチル処理後，果実を閉塞状態においた場合の果実の反応を調査することを目的として，現在市場で流通している9品種について，臭化メチルくん蒸後の果実を発泡スチロール箱中に密閉した場合の呼吸，エチレン生成，果実品質について調査を行った。

材料及び方法

1. 材料：青森県りんご試験場で栽培している6品種と，弘前大学農学生命科学部附属農場で栽培している3品種を2000年秋にそれぞれの果実を通常の収穫適期に収穫した。収穫直後から0℃に保存し，保存開始からほぼ40～90日後に下記の方法で臭化メチルくん蒸処理を行った。供試品種名，収穫日，臭化メチルくん蒸を行った日などをTable. 1に示した。
2. 臭化メチルくん蒸処理：各品種の果実をFig. 1に示すようなくん蒸装置を用いて，臭化メチル38g/m³で，2時間，15℃でくん蒸処理を行った。この条件は，輸出基準に沿ったくん蒸方法である。臭化メチルくん蒸処理終了後に果実をポリエチレン袋(厚さ0.03mm)にいれ，袋の口を閉じた。これを発泡スチロール製の容器(10kg容・幅41cm×奥行48cm×高さ25cm)に入れ，蓋をして粘着テープで密閉し，0℃で7日間保持した後，15℃に8日間保持した(温度処理)。対照区として，くん蒸なしの果実を上記と同様の包装で温度処理を行った。1箱に果実13個を入れた。
3. 容器内空気組成の分析：くん蒸処理後，3日ごとに容器内の空気組成を，ガスクロマトグラフ装置で分析した。酸素，二酸化炭素分析用カラムとして，Unibeads 1s(太さ0.4cm×長さ100cm)，エチレン，臭化メチル分析用としてキャピラリーカラムGS-Q(太さ0.53mm×長さ30m)を用いた。
4. 果実品質の測定：温度処理終了日に果実を発泡スチロール容器から取り出し，以下の測定を行った。赤道付近の果皮を直径約2cm程度を切除し，硬度計(Penetrometer, Instituto per la Vaorizzazione del

Table 1 Dates of harvest and fumigation of each cultivar.

Cultivar	Date of harvest	Storage period	Date of fumigation	Place of harvest
Iwai	Sept. 8	88	Dec. 6	Hirosaki University ^z
Akane	Sept. 8	88	Dec. 6	Hirosaki University
Tsugaru	Oct. 3	30	Nov. 3	Hirosaki University
Sekaiichi	Oct. 9	45	Nov. 24	Aomori Apple Exp. Sta. ^y
Mutsu	Oct. 16	50	Dec. 6	Aomori Apple Exp. Sta.
Delicious	Oct. 27	30	Nov. 27	Aomori Apple Exp. Sta.
Orin	Oct. 27	46	Dec. 13	Aomori Apple Exp. Sta.
Mellow	Oct. 27	46	Dec. 13	Aomori Apple Exp. Sta.
Fuji	Nov. 6	43	Dec. 18	Aomori Apple Exp. Sta.

^z : Fujisaki Farm of Hirosaki University

^y : Aomori Apple Experiment Station

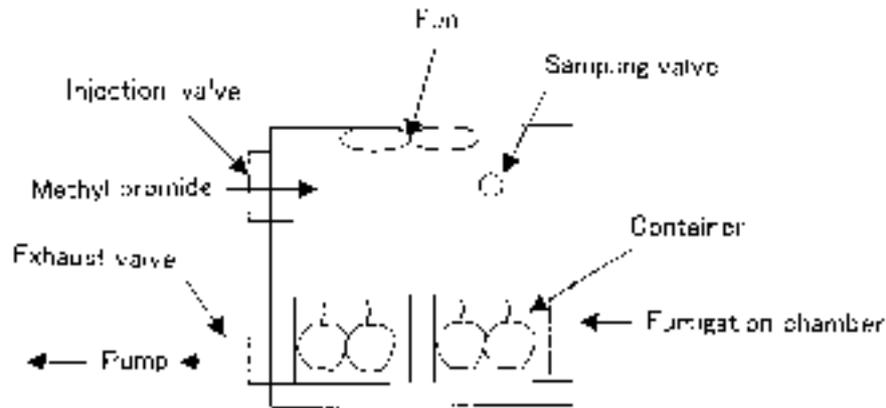


Fig. 1 Illustration of apparatus for fumigation of apple fruit.

Prodotti Agricoli 製)に円筒形プランジャー(太さ11mm×高さ25mm)を装着し、果肉の表面から深さ7mmまでプランジャーを侵入させたときの抵抗を測定し、果肉硬度とした。果実を赤道面で横断し、その断面における褐変の発生状況を観察した。また、横断面の果皮に近い果肉と果芯に近い果肉の色彩を色差計(ミノルタ製, CR-300)で測定した。果汁の可溶性固形物量を糖度計(アタゴ製, N1型)で測定した。また、常法により果汁の滴定酸度を測定した。

結果と考察

1. 臭化メチル処理後の容器内酸素及び二酸化炭素濃度
 供試品種では、容器内の酸素濃度は0 保持期間中も15 保持期間中もわずかに低下傾向が伺えたが、全体としてほぼ一定の値を維持していた(Fig. 2)。臭化メチルくん蒸処理区と無処理区を比べると、'つがる'と'ふじ'の臭化メチルくん蒸処理区で無処理区より高かった。品種間でも酸素濃度に差が見られ、'世界一'と'王林'では1.2~1.4%/100gFW/10Lと、常に高い値を維持していたが、'祝'、'あかね'及び'むつ'では0.8~1.0%/100gFW/10L、その他の品種では0.4~0.6%/100gFW/10Lのレベルであった。この結果は、品種によって密閉状態における酸素吸収力に違いがあることを

示している。

二酸化炭素濃度は、どの品種でも0 保持期間中はほとんど変化がなく、臭化メチルくん蒸処理区と無処理区の間にも差が認められなかった(Fig. 2)。15 処理期間中には臭化メチルくん蒸処理区でも無処理区でも二酸化炭素濃度は上昇し、臭化メチルくん蒸処理区では無処理区よりも高い値で推移した。温度処理終了日の二酸化炭素濃度を見ると、'祝'で最も高く、'あかね'、'むつ'、'Mellow'及び'Delicious'が比較的高く、'世界一'では最も低かった。臭化メチルくん蒸処理区と無処理区の差が大きかったのは、'Delicious'及び'Fuji'であり、'Mellow'及び'祝'でもわずかに差が見られた。

これらの結果は、臭化メチルくん蒸処理に対する感受性が品種によって異なることを示している。また、臭化メチルくん蒸処理によって、果実の二酸化炭素排出が促進されたが、酸素吸収はほとんど影響されなかったことから、臭化メチルくん蒸処理区では、果実の呼吸基質として有機酸が使われた可能性を示唆するものとする。

2. 臭化メチル処理後の容器内エチレン濃度

供試したすべての品種で、臭化メチルくん蒸処理区のエチレン濃度は無処理区より低かった(Fig. 3)。品種間で見ると、比較的にエチレン生成が多かったのは'祝'と'つがる'であり、'あかね'と'世界一'ではほとんど

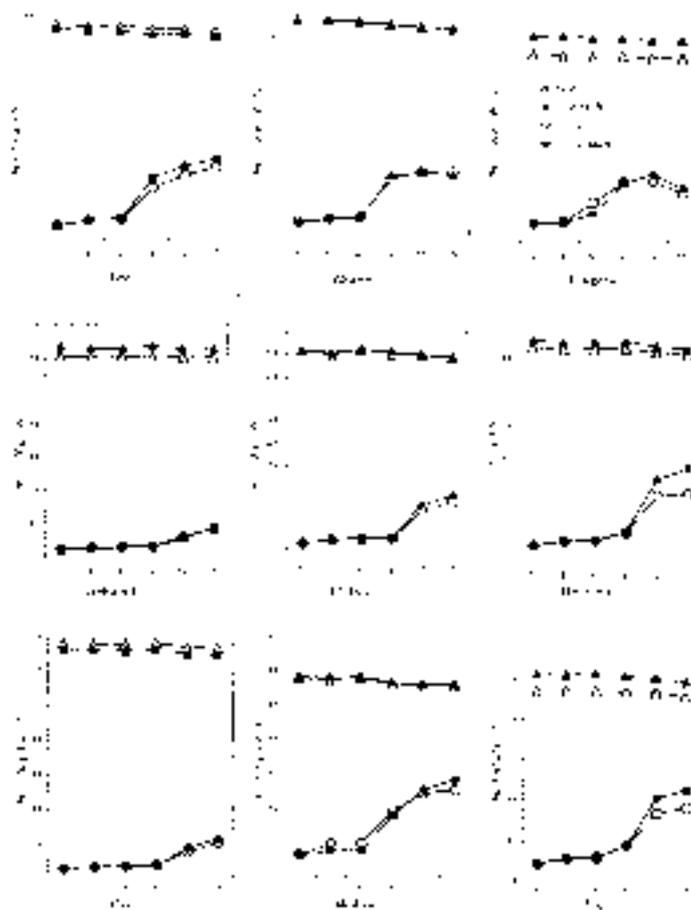


Fig. 2 Effect of methyl bromide fumigation on oxygen and carbon dioxide concentrations in sealed stylofoam box.

検出されなかった。臭化メチルくん蒸処理区と無処理区の差が比較的大きかったのは、'祝'、'Mellow'、'つがる'であった。

リンゴ果実の成熟期の呼吸はクライマクテリック型であり、エチレンによってクライマクテリックの時期が早められることが知られているが、臭化メチルくん蒸処理によって、エチレン生成が抑制されたにも関わらず、二酸化炭素排出量が増加したこと、及びエチレン濃度と二酸化炭素濃度の間には関連性が見出せなかったことから、臭化メチルくん蒸処理による呼吸の促進は、エチレンとは直接関係しない反応と考えられる。

3. 果実内褐変発生状況と果実品質の変化

果実横断面の肉眼による観察では、供試個体数の中で果実内褐変果数は'ふじ'で約50%、'祝'及び'あかね'では80%以上の個体で検出され、その他の品種では認められなかった。しかし、'あかね'及び'祝'では無処理区でも果実内褐変がほとんど全部の個体で認められたので、これらは臭化メチルくん蒸処理によって発生したものであるのではないと考えられた。

臭化メチルくん蒸処理による果肉の色彩変化の有無を

調査することを目的として、果実の横断面を色差計で測定したところ (Table 2)、'ふじ'の臭化メチルくん蒸区では、L値 (明るさ) が無処理区に比べて低く、'ふじ'と'あかね'ではa値 (赤色) が高いことが認められた。'あかね'で臭化メチルくん蒸処理区、無処理区ともにa値が他の品種に比べて高いのは、どちらも褐変していたためと考えられる。'祝'ではa値が処理区、無処理区ともに低かったのは、褐色が非常に薄かったためと考えられる。その他の品種では臭化メチルくん蒸処理区と無処理区の間にはほとんど差が認められなかった。また、色差計による測定で、L, a, b値には品種によって若干の差が見られたが、それは果肉の色彩の品種間差を検知していると考えられる。

これらの結果から、褐変部位では色彩がやや暗くなり、赤味が増すこと、その度合いが褐変の度合いを表す指標となり得ることを示している。品種による果肉の色彩の差や、臭化メチルくん蒸処理による果肉色の変化を色差計によって色彩を測定することによって、数量的に検出できることを示唆している。この方法は、臭化メチルくん蒸処理の場合だけでなく、貯蔵中の果肉色の変化を数量的に把握する手段として利用できる可能性を示唆して

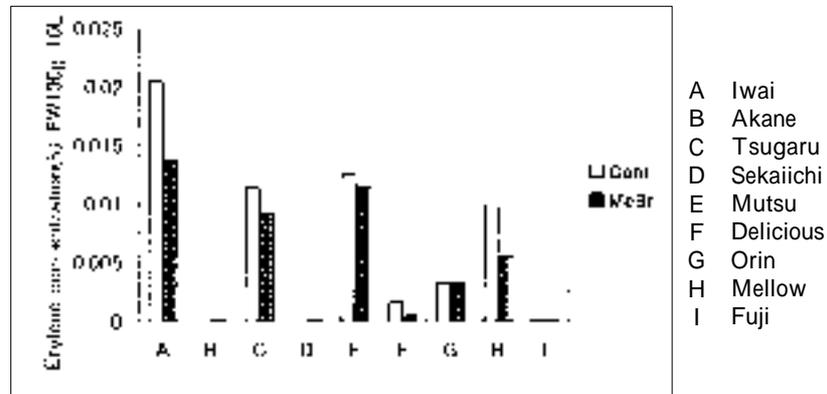


Fig. 3 Effect of methyl bromide fumigation on the ethylene concentration in sealed stylofoam box.

Table 2 Effect of methyl bromide fumigation on the color of the flesh.

Tissue	Cultivar	L value		a value		b value	
		Cont	MeBr	Cont	MeBr	Cont	MeBr
Inner	Iwai	83.1	83.1	- 2.93	- 3.55	17.2	18.0
	Akane	79.6	77.8 *	0	0.95 *	19.0	18.2
	Tsugaru	83.4	81.6	- 2.49	- 3.33	15.7	18.7
	Sekaiichi	83.0	82.5	- 2.75	- 3.00	16.7	16.5
	Mutsu	80.5	81.5	- 2.33	- 3.01	19.7	20.9
	Delicious	73.1	72.0	- 0.82	- 0.82	19.8	19.6
	Orin	80.1	81.4	- 2.91	- 3.21	20.3	18.0
	Mellow	81.9	81.8	- 3.97	- 4.13	21.4	22.1
	Fuji	71.4	62.6 **	- 1.54	0.96 *	25.8	23.1
	Outer	Iwai	83.9	82.4	- 3.02	- 2.89	15.6
Akane		80.2	79.2	0.70	- 0.43	16.1	14.6
Tsugaru		81.0	83.0	- 1.8	- 3.03	18.4	16.5
Sekaiichi		82.3	81.5	- 2.66	- 2.81	15.5	16.3
Mutsu		80.7	81.1	- 3.00	- 3.42	21.6	22.0
Delicious		77.5	76.2	- 1.00	- 0.72	19.7	18.9
Orin		80.3	81.4	- 3.32	- 3.43	18.8	17.0
Mellow		82.8	82.3	- 3.70	- 3.86	21.9	22.6
Fuji		76.5	76.4	- 1.43	- 1.74	23.7	24.0

*,** : significant at 5% and 1% level between control and MeBr by t-test.

Table 3 Effect of methyl bromide fumigation on the sugar and acid contents and flesh firmness.

Cultivar	Sugar content (Brix)		Acid content (%)		Flesh firmness (lb)	
	Cont	MeBr	Cont	MeBr	Cont	MeBr
Iwai	12.8	12.5	0.427	0.476	7.5	6.3
Akane	13.0	12.8	0.537	0.418	9.6	8.0
Tsugaru	14.8	14.3	0.188	0.220	9.1	9.1
Sekaiichi	12.1	12.8	0.189	0.247	10.9	13.1
Mutsu	12.5	12.5	0.421	0.413	10.9	11.4
Delicious	15.5	15.0	0.264	0.292	11.5	12.3
Orin	15.2	15.1	0.214	0.227	11.4	11.0
Mellow	12.9	13.0	0.336	0.369	11.9	11.5
Fuji	14.4	14.1	0.305	0.328	13.4	14.3

Significant difference was not detected between control and MeBr.

いると考える。

果実の糖度，酸度，硬度には臭化メチルくん蒸処理区と無処理区の間には差は認められなかった（Table 3）。今回のくん蒸処理では輸出用のマニュアル通りの方法で処理した場合，処理後，果実を密閉状態においても，15日間という短期間であれば，果実内褐変はほとんど発生しないことが判った。しかし，くん蒸処理後さらに長期間密閉状態が継続した場合については，今後の検討が必要

である。

臭化メチルくん蒸処理果を密閉状態においた場合，果実から排出される二酸化炭素の増加によって，容器内の二酸化炭素濃度の上昇が促進され，高二酸化炭素によって果実内褐変が発生する可能性が指摘されている（3，6）。しかし，本実験の範囲では，二酸化炭素濃度と褐変の発生には関連性が低かったため，高二酸化炭素が褐変発生の原因かどうかは明らかではなかった。臭化メチル

による果実内褐変と高二酸化炭素による果実内褐変の関連性や、品質によって臭化メチルによる果実内褐変の発生状況が異なる理由を解析する必要があると考えられる。

要 約

リンゴ9品種(‘祝’, ‘あかね’, ‘つがる’, ‘世界一’, ‘むつ’, ‘Delicious’, ‘王林’, ‘Mellow’及び‘ふじ’)の果実に通常のマニュアル通りの臭化メチルくん蒸処理を行った後, 果実を発泡スチロール箱に密閉し, 7日間0にその後8日間15に保持したところ, くん蒸区の容器内二酸化炭素濃度は無処理区を上回ったが, エチレン濃度は下回った。臭化メチルくん蒸処理による果実内褐変は‘ふじ’のみに発生した。本実験の結果から, 臭化メチルくん蒸処理後の果実を密閉状態においても, 15日程度の短期間であれば, ‘ふじ’以外の品種では果実内褐変はほとんど発生しないことが判った。臭化メチルくん蒸処理による果実内褐変の発生機構や, 品種によって臭化メチルによる果実内褐変の発生状況が異なる理由を解析する必要がある。

謝 辞

本研究の遂行にあたって 果実材料や装置等を提供し, 多くの有益な助言を下された青森県りんご試験場の研究員達に感謝の意を表す。

引 用 文 献

1. CLAYPOOL L. L., H. M. VINES. 1956. Commodity tolerance studies of deciduous fruits to moist heat and fumigants. *Hilgardia*. 24(12): 297-355.
2. DRAKE, S. R., H. R. MOFFITT, and J. P. MATTHEIS. 1990. Methyl bromide time and temperature of exposure on apple quality. *J. Food. Process Preserve.* 14(2): 85-92.
3. HULME, A. C. 1965. Carbon dioxide injury and the presence of succinic acid in apples. *Nature* 178: 218.
4. 川上房男・相馬幸博. 1991. 臭化メチル処理されたりんご果実の障害発生要因と障害防止. 植防研報. 第27号: 41-46.
5. MEHERIUK, M., A. P. GAUNCE, and V. A. DYCK. 1990. Response of apple cultivars to fumigation with methyl bromide. *HortScience*. 25(5): 538-540.
6. MONNING, A. 1983. Studies on the reaction of krebs cycle enzymes from apple tissue (cv. cox orange) to increased levels of CO₂. *Acta Horticulturae* 138. 113-119.
7. MONRO, H. A. U. 1969. Manual of fumigation for insect control. *FAO Agr. Stud.*, 79: 18-19.
8. O LOUGHLIN, J. B. and J. E. IRESON. 1977. Phytotoxicity of methyl bromide fumigation to a range of apple cultivars. *Aust. J. Exp. Agri. Anim. Husb.* 17: 853-857.
9. 長内敬明・元村佳恵. 2000. リンゴ‘ふじ’(無袋)の臭化メチルくん蒸処理後の包装形態が, 容器内空気組成, 果肉褐変及びフェノール性物質に及ぼす影響. 園学要旨. 平12東北支部: 91-92.
10. RAPON, L. E., G. SINGH, A. N. SPROUL and W. S. GILBELT. 1982. Methyl bromide fumigation and cold storage for disinfestations of Granny Smith apples against Queensland and Mediterranean fruit flies. *Aust. J. Exp. Agri. Anim. Husb.* 22: 116-123.

Influence of Methyl Bromide Fumigation on the Respiration, Ethylene Evolution and Internal Browning of 9 Cultivars of Apples.

Yoshiaki OSANAI and Yoshie MOTOMURA

*Department of Biofunctional Science, Faculty of Agriculture and Life Science,
Hirosaki University, 3 Bunkyo-cho, Hirosaki, Aomori 036 8561, Japan*

SUMMARY

Nine cultivars (' Iwai ', ' Akane ', ' Tsugaru ', ' Sekaiichi ', ' Mutsu ', ' Delicious ', ' Orin ', ' Mellow ' and ' Fuji ') of apple fruit was fumigated with methyl bromide by ordinary method for export of apple fruit, and sealed in stylofoam box for 7 days at 0 °C and then 8 days at 15 °C . In the box included with fumigated fruit, carbon dioxide concentration was higher and ethylene concentration was lower than that included with unfumigated fruit. Internal browning was observed only in fumigated ' Fuji ', and even the fumigated fruits were kept in a sealed box for 15 days in total, it was not appeared in the other cultivars. The reason of the development of internal browning responded to methyl bromide fumigation, varied with cultivars, should be investigated thereafter.

Bull. Fac. Agric. & Life Sci. Hirosaki Univ. No.5 : 33 - 38, 2003