

Methyl Bromide くん蒸によるジャガイモ塊茎の 薬害に関する研究*

川崎 倫一・田口 俊郎・井上 駿**

横浜植物防疫所調査課

Studies on the Injuries of Methyl Bromide Fumigation on Potato Tubers

By

Rin-ichi KAWASAKI, Tosi-ro TAGUCHI and Susumu INOUE

Research Division, Yokohama Plant Protection Station.

目 次

- I 緒 言
- II 材料および方法
- III 試験結果
 - 1 くん蒸条件がいもに及ぼす影響
 - A ガス濃度と薬害の関係
 - B くん蒸時間と薬害の関係
 - C くん蒸温度と薬害の関係
 - D くん蒸湿度と薬害の関係
 - E ガス拡散の差異が薬害発生に及ぼす影響
 - 2 生理的、物理的条件を異にするジャガイモに対するくん蒸の影響
 - A いもの休眠の段階と薬害の関係
 - B いもの品種と薬害の関係
 - C 掘取時期およびその後の経過日数を異にするいもの薬害
 - D 発芽抑制剤処理いもに対するくん蒸の影響
 - E 線虫防除栽培いもに対するくん蒸の影響
 - F 傷いもに対するくん蒸の影響
 - G いもの大きさと薬害の関係
- IV 総合考察

V 要 約

VI 引用文献

Summary

I 緒 言

くん蒸による青果物の薬害に関する研究は、柑橘類、リンゴ、トマト、パパイア、ジャガイモ等に対する methyl bromide, ethylene dibromide, その他のくん蒸剤の影響について PHILLIPS (1939), LUBATTI ほか (1948), FREZAL ほか (1951), BLACKITH (1950, 1952-a, b), LINDGREN (1953), GRUNBREG ほか (1956) をはじめ多くの研究者によって報告されている。しかしこれらの研究は主としてくん蒸剤の毒力と薬害の関係について究明しているに過ぎず、供試材料についてのぎん味を加えたものは少ない。筆者らの知る限りにおいては、わずかに KNOTT ほか (1941) が methyl bromide くん蒸によるトマトの薬害についてくん蒸後の貯蔵温度条件との関係を明らかにし、SOUTHWICK (1945) はリンゴの熟度と methyl bromide の薬害との関係およびくん蒸後の呼吸量の変化を追求しているに過ぎない。従って供試材料の有する生物学的条件およびくん蒸中の諸条件を解析し、その相互関係を明らかにし、さらに薬害症状の観察から薬害発生機構の解明にまで至る一連の薬害研究をおこなうことは重要な意義があると考えられる。

そこで筆者らはジャガイモガ *Phthorimaea operculella* ZELLER の緊急防除のさいに薬害を生じて問題となっているジャガイモを供試材料として、薬害発生に

* 本報告の一部は応用動物昆虫学会大会において発表した (1958, 1959)。

** 現在農技研経営土地利用部 (1960年2月受領)

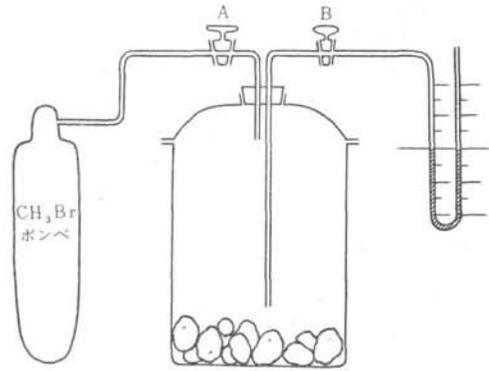
関与する諸条件およびその相互関係についての究明を試みた。これらの一連の研究が methyl bromide による青果物の薬害発生機構の解明、ひいては薬害防止の方法を考案するに当り、その一助ともなれば幸である。

本文に入るに先立ち、試験を実施するにあたって、終始ごべんたつを頂いた横浜植物防疫所長岩佐竜夫氏、同所前調査課長岩切麟氏、神戸植物防疫所長八木次郎氏、前門司植物防疫所長故河合克巳氏に深甚なる感謝の意を表す。また供試ジャガイモは群馬県婦恋村農協、長野県朝日村農協、長崎県愛野町農協、長野県八ヶ岳原々種農場の各所の御好意によって寄贈していただいた。ここに記して厚く感謝する次第である。

II 材料および方法

材料はジャガイモの塊茎*で品種は品種間の比較試験を除いては男爵を使った。いもの大きさは10個当り総重量各区平均大いものが1.4~1.8kg、中いものが0.8~1.2kg、小いものが0.5~0.6kgで、供試数は1区1回について10個とし3回反復試験をおこなった。供試いものは、10°Cおよび20°Cの薬害試験のほかは原則として28~30°C恒温室にくん蒸前後保存した。

供試薬剤は methyl bromide (CH_3Br , B. P.: 3.5°C, S. G.: 1.72) を用い、くん蒸器はくん蒸時間を一定とし薬量を変える場合が容量27~28lのガラス製くん蒸びん、薬量を一定としくん蒸時間を変える場合は2.7m³の実験用くん蒸箱をそれぞれ使用した。前者の投薬方法は所定の薬量に応じてびん内を減圧し、常圧になるまでボンベから完全にガス化した methyl bromide を注入した。その測定方法は薬量を圧力に換算し、U字管の液柱によって測定した(第1図)。しかし、びん内においてガスと空気の間温度差があるとガス濃度の不均一化のおそれがあるので正確なガス濃度の測定の便宜も兼ねてびんのコックA, B間にフイゴをつなぎ、50回反復してガスを循環させた。ガス濃度の測定は、ガス採集管を連結し、一定量のガスを採取して monoethanol-amine 2~2.5mlを入れて2時間放置してから500ml三角フラスコに流し込み、蒸留水で洗浄し、その水を加えたものについてVOLHARD法(松山, 1951)によって定量したBr量から methyl bromide 量を算出した。後者は低温下で所要量をアンプルに封入したものをくん

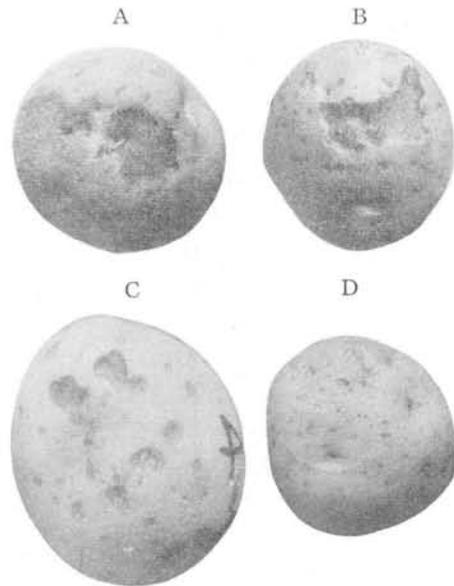


第1図 くん蒸びんを使用した場合の投薬方法

蒸箱中で切断するかまたはボンベから一定量のガスを試葉びんに取り、くん蒸箱に押し入れた。くん蒸開始後はファンによってガスの均一化をはかり、開始5~30分後および開放5~30前に干渉型ガス検定器によって濃度を測定した。くん蒸温度は特に記入のない限り、すべて30°Cとした。

なお、本研究においては濃度と薬害の関係についての試験以外は、薬量をジャガイモガ防除のため最適薬量とされている48g/m³とし、くん蒸時間を変えた。

薬害調査は斑点の発生状況および幼芽の生死についてくん蒸後3日目および7日目におこなった。前者は斑点を大(1cm²以上)、中(0.1cm²~1cm²)、小



第2図 methyl bromide くん蒸による薬害斑点
A, B: 大斑 C: 中斑, 小斑 D: 点状小斑

* 以下いものと略す。

(0.1 cm² 以下)の3段階に分けて記録し、斑点がいちじるしく大きな場合にはいもの表面積に占める斑点の割合も調査した(第2図参照)。後者は芽の伸長程度により次の如く3段階に区分した。

- 1: 点状に発芽したものから葉部のみ露出しているものまで含む
 - 2: 茎部が現われはじめているが、着色していないもの(伸長程度 1~2 mm)
 - 3: 茎部が着色したもの(伸長程度 2 mm 以上)
- 上記のくん蒸による影響については死(芽全体が枯死したもの)、先枯(芽の先端が褐変したもの)、生の3区分で調査した。ただし茎期の進んだいもについては芽の大きさを区分した調査はおこなわなかった。その他の方法については個々の項において詳述することとする。

III 試験結果

1 くん蒸条件がいもに及ぼす影響

ジャガイモが methyl bromide くん蒸によって薬害を生じるようになるには、いもの作用点に毒性を発揮するのに必要な量の methyl bromide が物理化学的にあるいは生理的に侵入していなければならない。そこでまず第1段階として、くん蒸中の諸条件すなわちガス濃度、くん蒸時間、温度、湿度などと薬害発生程度の関係について試験をおこなった。

A ガス濃度と薬害の関係

くん蒸剤の毒力は濃度と時間によって決定されるが、この両者の関係について昆虫を材料として次のごとき関係式が提唱されている(SUN, 1946 より引用)。

$$CT=K \quad (\text{KUIGHT ほか, 1921})$$

$$CT^X=K \quad (\text{MOORE, 1936})$$

$$(C-C_0)^nT=K \quad (\text{BLISS, 1940})$$

C; 最初の薬量, T; 曝露時間,

C₀; 終了時の薬量

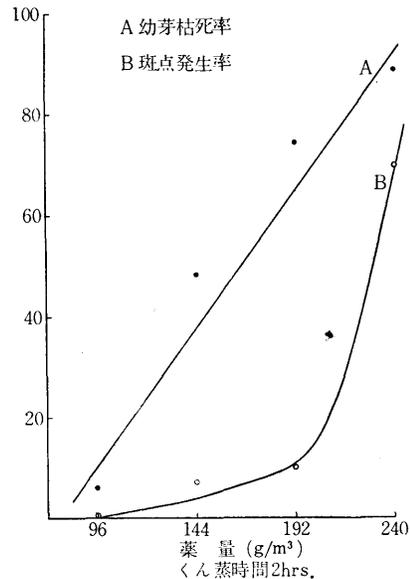
X, n, k; 定数

そこでいもにおける場合のこの関係を明らかにし、あわせてガス攪拌の不備によるガス濃度不均一な場合のいもへの影響、ガス濃度均一の場合の薬害発生限界くん蒸時間を知るために次のごとき試験を行なった。

材料は長野県産の萌芽期の大いもを用い、取扱いを便利にするために芽かきをして使用した。幼芽は新たに伸長した芽数を含んだことと、2芽か単なる枝分れかの識別が困難であったため、正確な調査はできな

かった。処理区*は薬量を 96, 144, 192, 240 g/m³ とし、くん蒸時間は2時間とした。

薬害斑点**の発生は無処理区および 96 g 区においては全く認められず、144 g 区においても約 7% の個体に現われたにすぎないが、240 g 区においては急激に増加して 70% に達した(第3図)。第3図から 30 °C 2時間のくん蒸では 192 g 区と 240 g 区の間には斑点発生率の境界があることがわかる。試験後の日数と薬害の関係は 144 g 区、192 g 区には3日後と7日後の間に差がほとんど認められなかったが、240 g 区においては斑点発生いも数に約2倍の開きが生じた。



第3図 薬量の増減と斑点の発生および幼芽枯死との関係

第1表はこれらのくん蒸によって生じた供試いも1個当りの斑点数と大きさを表示したものである。斑点数は濃度が高くなるに従って増加しているが、1個体に5個以上の斑点は発生しなかった。

斑点の大きさについては、くん蒸3日後にはいずれの処理区にも大斑は発生せず、中、小斑のみであったが、くん蒸7日後になると小斑は中斑に、中斑は大斑に拡大進展し、特に 240 g 区においていちじるしくその数が増加した。なお、本試験においては、斑点の発生が目部(芽のある部分)に多く、くん蒸7日後の調

* 96 g/m³-2 hrs 区, 144 g/m³-2 hrs 区…を 96 g 区, 144 g 区…と略す。

** 以下たんに斑点または大斑, 中斑, 小斑と呼称する。

第1表 斑点の大きさと数

処 理	斑点の 大きさ 斑点数	3日後		7 日 後		
		中	小	大	中	小
144 g 区	1 ~ 2	1	1	1	1(1)*	
192 g 区	1 ~ 2	1	2	1	3(3)	1
240 g 区	3 ~ 4		1			2
	1 ~ 2	4	6	9(7)	10(5)	7(3)

* 斑点発生総いも数 (目部に発生した個数)

査においては全斑点数の 54% に及んでいた点が注目された。これは供試いもの萌芽が相当に進行していて、生理作用が活潑になっていたことに起因するものと思われる。

前述の如く供試いものは芽かきをして使用したため、くん蒸による幼芽の生死調査に問題はあがるが、傾向としては、144 g 区から顕著となり、240 g 区になると約 90% に達し、この濃度の範囲では薬量の増加とともにほぼ直線的な増加を示した(第3図)。これに対して先枯率は低濃度の方が高率で、枯死率とは逆の関係を示した。

以上の結果をまとめると次の如くなる。

すなわち、30°C でくん蒸時間を2時間とし薬量を変化させた場合、

96 g 区：斑点は全く発生せず、くん蒸の影響はわずかに幼芽枯死によってのみ知ることができる。

144, 192 g 区：斑点の発生率は 10% 以下であり、薬害程度は比較的軽微である。

240 g 区：斑点の発生率および幼芽の枯死率は急増して 70% 以上の個体および芽がおかされ、顕著な薬害症状を呈する。

B くん蒸時間と薬害の関係

材料は広島県産の萌芽期の大いもを用い、処理区*は薬量を 48 g/m³ とし、くん蒸時間を 2, 4, 6, 8, 10, 12 時間とし、くん蒸後は 26~27.5°C で保存した。

ガス濃度は必要濃度の 70~80% でかなりの低下を示した。

典型的な薬害症状は斑点の発生によって識別されるが、その発生いも数は第2表に示すようにくん蒸時間の延長に従って増加し、2, 4, 6 hrs. 区においては斑点発生いも数が極めて少ないが、8 hrs 区から急激な増加を示した。

* 48 g/m³-2 hrs 区, 48 g/m³-4 hrs 区……を 2 hrs 区, 4 hrs 区……と略す。

第2表 くん蒸時間と斑点発生いも数の関係 (くん蒸7日後)

処 理	供試個数	斑点発生 いも数
2 hrs 区	30	5
4 hrs 区	30	5
6 hrs 区	30	6
8 hrs 区	30	19
10 hrs 区	30	24
12 hrs 区	30	23
無処理区	20	3

第3表 くん蒸時間の差による斑点の大きさおよび数

処 理	斑点の 大きさ 斑点数	3日後の斑点 発生いも数			7日後の斑点 発生いも数		
		大	中	小	大	中	小
2 hrs 区	1 ~ 2	2	3	1	4		
4 hrs 区	3 ~ 4						1
	1 ~ 2	2	1	5	2	1	2
6 hrs 区	11以上						1
	5 ~ 10			1			
	1 ~ 2	5	2		1	3	4
8 hrs 区	11以上			3			1
	5 ~ 10			1			1
	3 ~ 4		1	6	1	2	2
	1 ~ 2	4	4	6	6	5	4
10 hrs 区	11以上		2	10			1
	5 ~ 10			3			11
	3 ~ 4		2	2			2
	1 ~ 2	1	5	4	12	8	3
12 hrs 区	11以上		1	7			1
	5 ~ 10			2			10
	3 ~ 4		2	3			2
	1 ~ 2	9	6	6	10	2	1
無処理区	3 ~ 4						1
	1 ~ 2	1	1	1	1	2	

次に斑点の大きさと数の差異を表示すれば第5表のようになる。すなわち、くん蒸時間が長くなるにつれて小、中斑より大斑が現われ、斑点数も次第に増加した。2 hrs 区は無処理区とほぼ等しく、8, 10, 12 hrs 区においては大、中、小各斑点が1~2ヶから多数(大斑は融合してしまうためいも1個体につき5個以上は区別できない)にまでわたって出現した。くん蒸後の経過日数による相違は6時間以上の長時間区において認められ、3日目から7日目になると小斑が中斑に、中斑が大斑に移行し、斑点数も増加した。この

ような斑点の発生、進行には2つの型が見られ、その1つは初期に小斑が多数発生し、それが融合して中斑、大斑になる型で、他は1小斑が拡大して大斑になる型である。

くん蒸時間が8時間以上の区においては斑点がいのもの表面の大半をおおうものが現われた(第4表)。この斑点の色は褐色、黒褐色を呈しているが、変色箇所が柔軟となって汁液が流出するようになると黒変した。

第4表 長時間区の斑点量(くん蒸7日後)

処 理	1 個体中の 変色割合	斑点の色調			
		黒 いも数	変 いも数	褐 いも数	変 いも数
8 hrs 区	全 体 1/3			1 3	
10 hrs 区	1/3			1	
12 hrs 区	全 体 2/3 1/2 1/3	4 2 2 2			

くん蒸によりいのもの幼芽は成長点の部分から漸時黒変して枯死する。その過程を時間的に追跡すると、くん蒸直後は薬害症状が現われず、1日後になると先枯となり2日後に枯死芽が現われる。そして3日後から7日後には極く少数の芽が死に移行するのみで逆にこの期間に新しい幼芽が発芽してくるため、枯死率は7日後では減少した。3日後の幼芽枯死・先枯率を第5表に示す。くん蒸時間と幼芽枯死率はほぼS字曲線の関係を示した。また2hrs区の前死芽はすべて新たにその部分の目(いの目は多くの場合3個の芽が並んで発芽し、中央の芽が優勢で、健全な伸長を遂げると両側の芽は自然に退化する)の未発達芽が伸長し、6hrs区および8hrs区では1部の目が代償発育し、10, 12hrs区になると全芽が死滅する個体が現われた。しかもそれらの個体では調査期間中に芽の新生が認められなかった。芽の大きさとくん蒸による枯死の関係は、3芽(Ⅱ項で述べた大きさが3のもの、以下これに準ずる)が最も感受性が強く、続いて2芽、1芽の順を示した。

以上の薬害発生状況の結果をまとめれば次のとおりである。

2, 4, 6 hrs 区: 斑点発生いも数が少なく、斑点を生じたいもは中、小斑が1~2個発生した場合がほと

第5表 くん蒸時間を変えた場合の幼芽の生死(くん蒸3日後)

処 理	芽の大きさ 生 死	芽の大きさ			
		3	2 (単 位)	1 (%)	計
2 hrs 区	死 先枯	0 3.5	0 11.0	0.6 7.6	0.6 22.1
4 hrs 区	死 先枯	1.6 7.0	0 11.9	4.3 11.4	5.9 30.3
6 hrs 区	死 先枯	0 0	2.2 1.1	32.2 6.1	34.4 7.2
8 hrs 区	死 先枯	2.9 0	7.4 4.0	52.0 5.7	62.3 9.7
10 hrs 区	死 先枯	0.7 0	4.0 0	63.8 3.3	68.5 3.3
12 hrs 区	死 先枯	0 0	5.8 0	82.1 1.7	87.9 1.7
無処理区	死 先枯	0 0	0 0	0 0	0 0

んどであった。

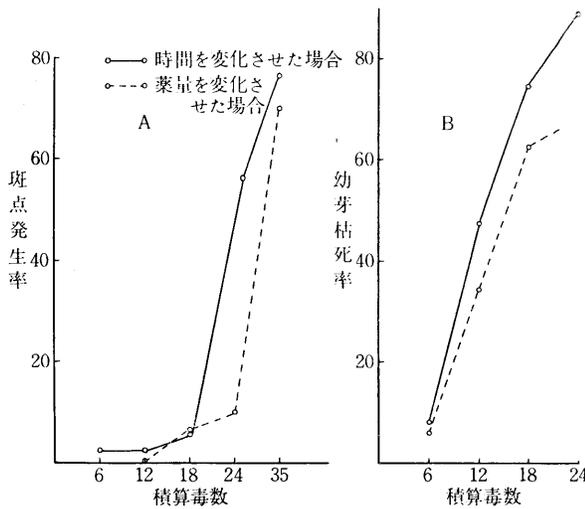
8 hrs 区: 斑点発生いも数が一段と増加し、供試個数の1/3~2/3を示し、しかも大斑が現われはじめ、1個体中1/3以上に及ぶ褐斑も3~4個に認められ、相当進行した薬害症状を呈した。

10, 12 hrs 区: 斑点発生いも数は供試個数の2/3~5/6となり、いの大半を占める黒色斑発生個体も増加した。

さらに短時間くん蒸(6時間以内)と長時間くん蒸(8時間以上)の斑点を質的に比較してみると、前者においては斑点が表層のみで、methyl bromideの影響が弱い組織の破壊が局部的に停止したが、後者は変色斑がいのもの中心部にまで及んでおり、くん蒸3日後では組織の破壊が停止するに至らなかったものと思われる。

次に斑点の発生と幼芽の生死の関係について見ると、前者は8hrs区から顕著に発生したが、枯死芽は6hrs区から急増し、幼芽枯死が斑点発生に先行する結果を示した。また幼芽が伸長発達していればいるほど薬害を受けやすく、これは大きな芽ほど生理活動が活潑なことによると思われる。一般に目の部分に斑点が発生しやすい傾向にあることも、部分的ないもの代謝活動の強弱に起因していると考えられる。

本試験と前項の試験いもは、産地、休眠期段階、大きさ等を異にするため、厳密な比較検討は困難と思わ



第4図 薬害発生と濃度・時間積の関係

れるが一応積算毒数(薬量×くん蒸時間)を基礎として整理してみると第4図のようになる。この図からいものくん蒸の場合にも薬量とくん蒸時間の積はおよそ一定になることが推察される。以上の試験の範囲においては、同一積算毒数でもくん蒸時間を変えた場合よりも薬量を変えた場合の方が斑点が小さく、少ないが、幼芽の枯死は高率を示した。しかし、このことが短時間高濃度くん蒸の特徴であるものかどうかは不詳である。

C くん蒸温度と薬害の関係

薬剤の毒作用に及ぼす温度の影響についてはすでに多数の研究がなされており、一般にある一定温度範囲においては VAN'T HOFF の Q_{10} の法則が適用されている。青果物は高温下においては毒作用を受けやすいが、いもの場合は薬害発生に関与する他の要因、とくにいも自体が持っている感受性の強弱如何によっては低温でもかなり薬害を生じることが想定される。

そこで、20°C および 10°C において温度と薬害およびいもの茎期との関係について調査をおこなった。

a. 20°C くん蒸における 萌芽期いもの薬害: 材料は長野県産の芽かきをした大いもを用いた。供試いものは幼芽が伸長し過ぎ(3~4 茎期) 試験用としてやや不適當であったが、20°C で保存して供試した。処理はくん蒸時間を 6, 8, 10, 14, 18 時間とし、20°C でくん蒸した。くん蒸開始 30 分後のガス濃度は全処理区とも所要量を示した。

くん蒸の結果斑点を生じたいも数は 6 hrs 区にな

く、8 hrs 区は 3%, 10 hrs 区は 20% と比較的 low rate を示したが 14, 18 hrs 区においては 90% 以上を示し明瞭な薬害発生は 12 時間附近から起ると推定された。

次に斑点の大きさおよび発生数を各処理間で比較すると第6表のようになる。8, 10 hrs 区は斑点が小さく、数も少ないが、14 hrs 区になると中斑が最も多く、斑点数は 3~4 個のものが多かった。小斑を多数発生した個体や中斑を 5~10 個発生した個体も現われた。

いもの表面積に対して斑点の総面積の占める割合といも数の関係は第7表のようになる。14 hrs 区は斑点面積が 1/32 以上の個体が 50% で、しかもそのうち 40% は斑点面積が 1/16 以上の個体であったが、18 hrs 区になると 1/16 以上の個体が 83% となり、うち 50% の個体に 1/3 以上におよぶ大斑を生じた。

以上の結果を前述の 30°C の場合と比較してみると、斑点発生いも数は、30°C の 4 hrs 区が 20°C の

第6表 20°C でくん蒸したいもの斑点の大きさおよび数

処 理	斑点の 大きさ 斑点数	3日後の斑点 発生いも数			7日後の斑点 発生いも数		
		大	中	小	大	中	小
10 hrs 区	3~4			1			1 2
	1~2	1	1	2	3	3	3
14 hrs 区	11以上			3			1
	5~10			2		2	
	3~4	2	4	1	1	3	5
	1~2	10	12	4	17	17	7
18 hrs 区	11以上			1			
	5~10		2	2			2
	3~4	14	10	3	6*	8*	2*
	1~2	8	10	2	21	7	4

* 7日後には斑点が融合したため数は減少した

第7表 20°C における長時間くん蒸区の斑点(くん蒸7日後)

表面積に対する 割合	いも数	
	14 hrs 区	18 hrs 区
1/2 以上	1	11
1/2 ~1/3	1	6
1/4 ~1/8	3	2
1/9 ~1/15	1	3
1/16~1/32	9	3
計	15 個	25 個

8 hrs 区に、6 hrs 区が 10~12 hrs 区にそれぞれ相当し、同数の葉害発生個体を生ずるには低い方が高い方の2倍のくん蒸時間を要した。しかし斑点の大きさと数についてみると、温度差による上記の関係は認められず、30°C の 6~8 hrs 区が 20°C の 10 hrs 区に相当し、斑点の面積では 30°C の 12 hrs 区が 20°C の 14~18 hrs 区と同程度であった。従ってこの場合同程度の葉害を発生させるくん蒸時間は 3~4 時間の長短があるに過ぎず、葉害程度には斑点発生いも数に認められるような関係がなかった。これは供試いもの休眠期段階の差異によるものと思われる。そこで、両者の呼吸量について比較してみると、30°C における供試いもの呼吸量*は 3.88 mg (per kg. hr) であったのに対し、本試験においては 4.55 mg と逆に高くなっている。このことから、1~2 茎期のいもを 20°C でくん蒸すれば上記の結果より葉害発生程度が軽くなるものと推定される。

20°C でくん蒸したいもの枯死芽は 6 hrs 区が約 1/3, 8, 10 hrs 区になると 1/2 以上に達した(第8表)。この結果を 30°C における場合と比較してみると、ほとんど差異が認められなかった。このことは、

第8表 20°C くん蒸における幼芽の生死
(くん蒸3日後)

処 理	枯死 (%)	先枯 (%)
6 hrs 区	27.2	12.0
8 hrs 区	52.8	9.4
10 hrs 区	71.5	9.5
14 hrs 区	100	0
18 hrs 区	100	0
無処理区	0	7.9

幼芽の萌芽進行程度がかなり違い、この試験では幼芽の動きが活潑なために methyl bromide の影響が強かったためと思われる。

b 10°C くん蒸における萌芽期いもの葉害：材料は神奈川県産萌芽期(4 茎期)の大きいを用いた。くん蒸温度は 10°C、保存は常温(2.5~13.5°C)でおこなった。処理はくん蒸時間を 12, 16, 20, 24 時間とした。

くん蒸開始直後のガス濃度は各区とも 48 g/m³ 前後を保持した。本報で使用したくん蒸箱は容積も小さく、ファンも使用したが、低温くん蒸におけるガスの拡散について予備試験をおこない、箱内上下の濃度を

時間的に追跡した結果、濃度差が最も大きいのは2時間後(約 3%)で5時間以降は均一となった。この程度の差は試験にほとんど影響を与えないと考えられる。

斑点の発生状況は第9・10表に示すとおりであるが、10°C における葉害発生限界は知ることができなかった。すなわち、斑点発生いも数は 12 hrs 区で 87%, 20 hrs 区では 100% に達し、大、中斑の発生数も極めて多かった。これを 30°C および 20°C の場合と比較してみると、斑点発生いも数は 20°C の場合とほぼ同数であったが、斑点の大きさと発生数はむしろ本試験の方が多く、葉害症状は進んでいた。これは供試いもの茎期が進み、呼吸作用が旺盛で生理的にも葉害を受けやすく、従って低温でもいもが methyl bromide を多量に吸収し葉害を生じたためと考えられる。石田ほか(1955)によれば、48 g/m³-17時間以下のくん蒸では肉眼的に大きな変化が現われていないが、これは供試材料の茎期が異なることに起因すると推察される。

本試験の結果、くん蒸によるいもの葉害に関与する要因として、いも自体の感受性が温度条件より強く関係することもあることが推定された。

第9表 10°C でくん蒸したいもの斑点発生状況
(くん蒸7日後)

処 理	斑点の 大きさ 斑点発 生いも数	斑 点 数			発生部位別 いも数	
		大	中	小	頂部	匍 枝 附 着 部
12 hrs 区	26	32	39(1)*21(2)	6	0	
16 hrs 区	28	28	36	17(4)	6	6
20 hrs 区	30	35	20(2)	11(3)	4	2
24 hrs 区	30	39	9	0(1)	6	5

* () 内は斑点数が多いためかぞえられなかったいも数

第10表 10°C くん蒸で発生した斑点面積と
いも数の関係(くん蒸7日後)

処 理	いもの表面に占める斑点の割合				合計
	3/5 以上	1/2~ 1/3	1/4~ 1/7	1/8~ 1/16	
12 hrs 区	5	8	4	2	19
16 hrs 区	6	7	1	4	18
20 hrs 区	13	10	2	1	26
24 hrs 区	15	9	2	3	29

* 測定法は Southwick (1945) による。

D くん蒸湿度と薬害の関係

高湿度条件下でおこなわれるくん蒸においては、methyl bromide が水に 0.09% (20°C) 溶解するといわれているので、いものガス吸着量も増加して薬害が発生しやすくなると思われる。そこで湿度が薬害発生におよぼす影響について試験をおこなった。

材料は群馬県産の萌芽期中のいもを用い、湿度条件を次の3区に分け、常湿区は1回、他は2回反復試験をおこなった。

(1) 常湿区

(2) ぬれいも区：くん蒸 30 分前に供試いもを水中に浸し、水滴を軽く拭き取り、直ちにくん蒸する。

(3) 高湿区：くん蒸箱に供試いもと大型シャーレに水を入れて併置し、関係湿度 80% 付近でくん蒸する。

なおくん蒸時間は 2, 4, 6 時間の3区とした。

くん蒸開始直後のガス濃度は、ぬれいも区および高湿区はほぼ所要量を示したが、常湿区は約 16% ほど高かった。くん蒸湿度は常湿区が 38~44%、高湿区が 76~83% を示した。なおぬれいも区は湿度を測定しなかったが、常湿区よりやや高い程度と推定される。

くん蒸による斑点は 6 hrs 区においてのみ発生した。湿度条件で比較すると、ぬれいも区の湿度が常湿区に近いと思われるにもかかわらず常湿区の斑点発生数が多く、常湿区のくん蒸濃度は高湿区より高いにもかかわらず高湿区は他のいずれの区よりも斑点発生個体が多く、また中、大斑も生じた (第 11 表)。

湿度条件の違いが幼芽の生死に与えた影響は、各処理区ともに高湿区の方が枯死芽が多く、高湿度くん蒸は幼芽枯死率を増加させる傾向を示した。しかも

第 11 表 湿度条件の異なるくん蒸による斑点の発生状況 (6 hrs 区, くん蒸 7 日後)

湿度区分	反復回数	斑点数		斑点の大きさ別発生いも数		
		斑点発生いも数	斑点数	大 1~2	中 1~2	小 1~5
常 湿 区	1	3			1	2
	2	1				1
ぬれいも区	1	0				
	2	0				
高 湿 区	1	5	1	2		3
	2	7	5	5		4

2 hrs 区および 4 hrs 区では差がなかったが、6 hrs 区になると高湿区がぬれいも区の約 2 倍の枯死率を示した (第 12 表)。幼芽は発育の進んだ芽ほど抵抗力が弱い傾向を示したが、高湿区の幼芽枯死率は芽の大きさにかわらずいずれもぬれいも区よりも高かった。先枯率は湿度条件によって差が見られなかった。

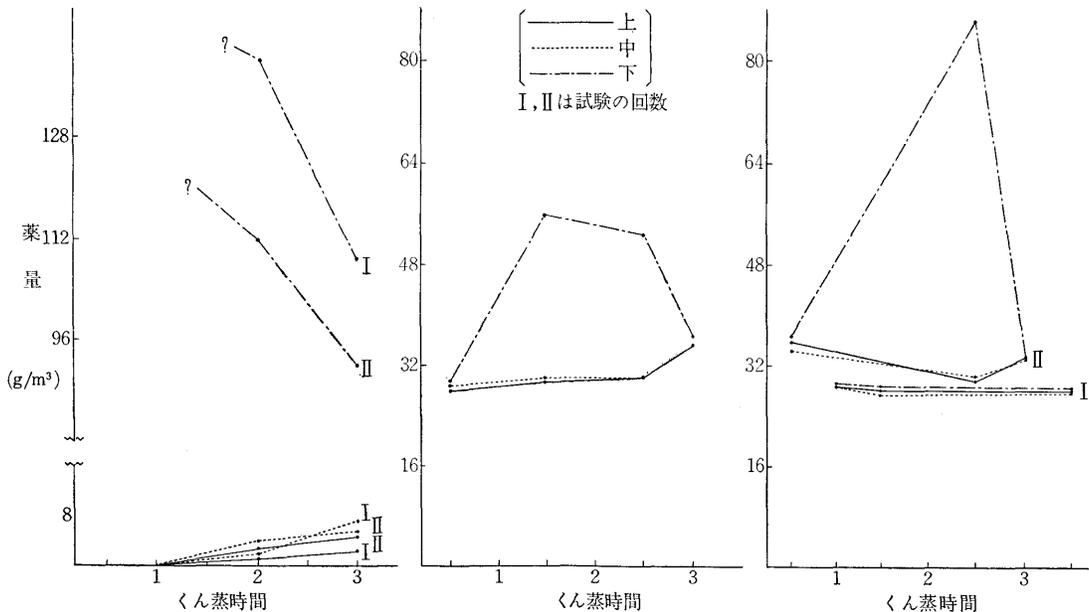
坂村 (1951) によれば種々の物質が植物体内に侵入するには、ガス体で呼吸を媒介とするかまたは水に溶解して、水を媒体として吸収されるかのいずれかであり、水分を吸収する細胞は、水を液体のみならず水蒸気の形で吸収するという。このことは高湿度条件下のくん蒸が薬害を起しやすいということを示唆するものと思われ、以上の実験結果との一致は興味深い。

E ガス拡散の差異が薬害発生に及ぼす影響

一般に閉鎖系内で行なわれるくん蒸のさいのガス濃度の分布は均一でなければならないが、ファン使用の有無、くん蒸剤、気温、建造物の構造などの条件如何によってかなりの濃度のむらを生ずることが考えられる。そこで濃度のむらが内部の積み荷の状態によってどのような位置に生じ、その濃度差はどの位かを知るために、14 m³ のくん蒸庫において常温 (12~21°C)

第 12 表 くん蒸中の湿度条件が幼芽生死に及ぼす影響 (くん蒸 3 日後)

処 理	幼芽の 生死(%)	常 湿 区				ぬ れ い も 区				高 湿 区			
		3	2	1	計	3	2	1	計	3	2	1	計
2 hrs 区	死				0			0.9	0.9			1.0	1.0
	先枯	3.7	3.7	1.8	9.2		2.9	1.9	4.8	2.0	4.0	1.5	7.5
4 hrs 区	死	15.5	4.9	4.9	25.3	4.4	2.8	1.2	8.4	5.9	3.4	1.0	10.3
	先枯	1.0	6.8		7.8	1.6	4.4	3.2	9.2	5.4	4.4	2.9	12.7
6 hrs 区	死	11.1	20.3	10.2	41.6	13.3	15.0	6.2	24.5	11.9	33.5	23.9	69.3
	先枯		12.0	6.5	18.5	0.4	23.9	2.7	27.0		3.7	1.8	5.5
無処理区	死				0				0				0
	先枯		1.8	0.9	2.7				0				0



第5図 くん蒸庫内のガス濃度の分布

(1) ファンなし, からくん蒸 (2) ファン使用, からくん蒸 (3) ファン使用, 満庫通路つき

で 48 g/m^3 -3時間のくん蒸をおこない、庫内各位置における濃度変化を測定した。なおそのさい、積み荷は輸送箱を用いた。調査結果は第5図のとおりである。これをいものくん蒸に適用すれば、くん蒸庫の下部はファンを使用しない場合薬害を発生するに十分な濃度であり、ファンを使用した場合でも 80 g/m^3 で薬害発生限界薬量に近かった。 10°C 以下の低温においてはさらにガスの拡散が悪く、薬害発生の危険性は一段と高まることが予想される。吉田ほか (1955) は模型サイロにおけるくん蒸試験において、ファンを使用しない場合には底部のガス濃度が極めて高いことを報告し、また渡辺 (1956) は、くん蒸開始 3~5 時間後に最も上下の差を生じ、下部は上部のほぼ 5~8 倍の濃度に達し、24 時間後に至りはじめて均一な濃度分布を示したと報告している。これらの報告からも methyl bromide の拡散はファンを使用しない場合に極めて遅く、下部に高濃度のガスが停滞していることが知られる。また開缶のさい噴出するガスが気化熱をうばうため凍結して孔が塞がれ徐々に気化して停滞する場合も観察されている。

2 生理的、物理的条件を異にするジャガイモに対するくん蒸の影響

一般に薬害発生の原因として生植物では被くん蒸物自体の生理状態が関与することは苗木類の青酸ガスくん蒸で知られている (MOORE ほか, 1917)。ジャガイモは収穫後の貯蔵期間の長い作物で、貯蔵中の生理的变化も知られているが (田川ほか, 1949-a, b), そのような変化に伴って毒物に対する感受性も当然変化すると思われる。そこで、薬剤に対するいもの感受性を左右すると思われる栽培学的、作物学的条件および貯蔵中の代謝生理と methyl bromide による薬害の関係を研究した。

A いもの休眠の段階と薬害の関係

ジャガイモはその特性として収穫後ある一定期間発芽せず (真性休眠期), その後適当な条件を与えれば徐々に萌芽する。川上 (1948) によれば真性休眠期間は品種および貯蔵環境によってかなり違うが、ほぼ 30~40 日間といわれる。APPLEMAN ほか (1926), SINGH ほか (1937) 等の研究によれば、真性休眠期のいもの代謝活動は萌芽期のいものよりはるかに低いという。従って methyl bromide に対して抵抗力が比較的強いと考えられるので、その症状や発生限界を明らかにするため次の如き試験をおこなった。

材料は群馬県産の大きいもおよび小さいもで真性休眠期

第13表 真性休眠期のいもの斑点発生いも数

処 理	大, 小さいも, 各々の 供試個数	3日後の斑点発生いも数		7日後の斑点発生いも数	
		大きいも	小さいも	大きいも	小さいも
6 hrs 区	30	1		5	6
8 hrs 区	20	1	2	2	3
10 hrs 区	20	15	18	16	18
12 hrs 区	30	23	20	26	27
無処理区	20				2

第14表 真性休眠期のいもの斑点の大きさおよび数

処 理	供 試 個 数	斑点の 大きさ 斑点数	3日後の斑点発生いも数						7日後の斑点発生いも数						
			大きいも			小さいも			大きいも			小さいも			
			大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	
6 hrs 区	30	1~2	1						4						6
8 hrs 区	20	1~2	1						2						3
10 hrs 区	20	11以上	3						1						3
		5~10	9						4						2
		3~4	1						1						5
		1~2	5	4	5	4	1	6	10	9	9	9	10	4	
12 hrs 区	30	11以上	6						3						6
		5~10	1						4						
		3~4	6						1						4
		1~2	8	7	8	9	6	5	12	13	8	15	10	7	
無処理区	20	1~2													1

のものを用い、処理区はくん蒸時間を2, 4, 6, 8, 10, 12時間とした。くん蒸開始5分後のガス濃度は理論値の82% (平均) でかなり低かったが、萌芽期いもの試験(1-A)と比較するには望ましい薬量であった。

斑点を生じたいものは、2, 4 hrs 区には認められず、6, 8 hrs 区ではくん蒸7日後に10~20%程度にすぎなかった。しかし、10, 12 hrs 区になると急激に増加して80~90%に達した(第13表)。処理3日後より7日後は5~10%の増加を示し、また大きいもより小さいもの斑点発生率が高かった。斑点の大きさは第14表に示したように、6, 8 hrs 区では小斑を生じた個体のみであったが、10, 12 hrs 区になると中斑、大斑が発生した。

10, 12 hrs 区において、いも1個体における斑点の大きさのいもの表面積中に占める割合、およびいも数の関係は第15表のとおりである。すなわち、10 hrs 区は供試個数の1/2、12 hrs 区では2/3が表面積の3%以上に斑点を生じ、その数は供試個数のほぼ70~80%を占めた。いもの表面積の1/3以上におよぶ大

第15表 長時間くん蒸区における斑点面積と
いも数の関係(くん蒸7日後)

処 理	供試個数	斑点の割合	大きいも	小さいも				
10 hrs 区	大:20 小:20	1	3	1				
		1/2 ~1/3			3	3		
		1/4 ~1/8					2	5
		1/9 ~1/15						
1/16 ~1/32	12個	2						
12 hrs 区			大:30 小:30	1	3	2		
				1/2 ~1/3			3	7
				1/4 ~1/8				
	1/9 ~1/15	1		1				
1/16 ~1/32	21個		3					

斑は10 hrs 区で15~20%、12 hrs 区で20~30%の個体に発生した。

以上の結果をいもの内部組織の薬害観察を加えて要約すれば次の如くなる。

2, 4, 6, 8 hrs 区：斑点は発生しないかまたは少数の個体に小斑が1~2個現われる程度で、しかも斑点は表皮か皮層部で停止し、内部の組織に侵入せず薬害

は軽度であった。

10, 12 hrs 区：斑点は大, 中, 小のいずれも生じ, その数も多く1個の大半が黒褐変したような個体も現われ, 薬害は内部組織に進展して中心部に達した。

特に注目されることは, 萌芽期いもの薬害の発生率はくん蒸時間の延長に従って漸進的に増加したが, 真性休眠期のいもではその上昇状況がいちじるしく異なり, 8 hrs 区と 10 hrs 区の間には斑点発生率で 60% の開きを示した。くん蒸時間が2時間延長されるか短縮されるかによってこのような相違を示した原因が, 皮層部の抵抗力かまたは生理的不感受性によるかを明らかにするためにくん蒸により斑点を発生した個体と発生しなかった個体の methyl bromide 吸収量を測定した。その結果同一処理区内では各個体により差のないことが判明したので, 休眠期いもの methyl bromide 抵抗性は外皮よりも 髄部の感受性の強弱に基づくと判った。

真性休眠期のいもは大いもより小さいの方が薬害が

激しかったが, これは両者ともに休眠期として生理的に同一段階にあるため, 単位重量当りの呼吸量の高い(著者; 未発表) 小さいものがガスの吸収量も多く, 薬害を起しやすかったためと考えられる。

B いもの品種と薬害の関係

ジャガイモの生理生態的特性は品種によって異なり, 特に休眠期間の長短はその差がいちじるしい。LUBATTI ほか (1948) によれば, methyl bromide に対する抵抗性は Glad stone および Majestic が強く, Sharpes Express, Duke of York および Greet Scot は弱いという。また抵抗力の強い品種は発芽が遅く,* 組織の酸化が早く, コルク層が厚く, Lipoid が少なかったと報告している。SMITH (1926) は休眠期のいもの呼吸量と貯蔵条件や ethylene chlorhydrin 処理との関係についての報告で, White Rose は Irish Cobbler より呼吸量が高く休眠期が長かったと述べている。これらの事実から品種によって, methyl bromide 感受性も当然違うと考えられるので以下のよう

第 16 表 3 品種における点状小斑発生数の個体間の分布

[3 日 後]

処 理	品 種	3 個所30個の 合計小斑数	1 個のいもに生じた斑点数(3 個所計)					3 個所の最大最小斑点数の差															
			1~5	6~10	11~15	16~20	21以上	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
4 hrs 区	雲仙	289	6*	10	10	3																	
	橋	329	5	6	16	2	1	4	7	4	4	4	3										
	男爵	74	10	3	1			6	10	9		3	2										
6 hrs 区	雲仙	366	1	8	17	3	1	1	9	6	5	6	1										
	橋	427	4	4	17	8	1	4	6	7	6	6	1										
	男爵	68	4	3	2			1	2	1	2	2											
8 hrs 区	雲仙	338	5	8	12	3	2																
	橋	471	14	3	10	15	2	1	7	6	8	2	4	2									
	男爵	111	5	4	2			2	5	4	5	7	4	1	1								

[7 日 後]

4 hrs 区	雲仙	347	6*	6	11	7																	
	橋	362	2	8	13	7		1	3	4	4	8	5	1	2	2							
	男爵	93	7	6		1		2	1	5	2	2	1	1									
6 hrs 区	雲仙	371	1	8	17	4		4	7	8	3	3	4										
	橋	432	5	3	17	10		5	12	6	4	2		1									
	男爵	81	5	1	4			1		2	5	1		1									
8 hrs 区	雲仙	388	2	7	12	7	2																
	橋	362**	1	10	10	8	1	3	3	4	5	8	2	4	1								
	男爵	105**	7	10				1	4	4	3	4		1									

* いもの個数を指す ** 大斑発生のため小斑と重複し, その数は減少

* 恐らく真性休眠期が長いことを意味すると思われる。

な試験をおこなった。

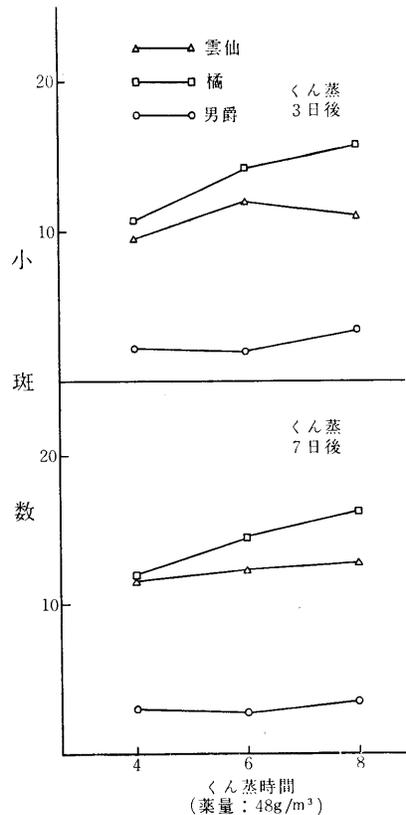
材料は長崎県産“橘”，“雲仙”，岩手県産“男爵”の3品種で，いずれも萌芽期中いもを用いた。処理区は薬量一定区（ $48\text{g}/\text{m}^3$ ）とくん蒸時間一定区（2時間）を設け，前者のくん蒸時間を4，6，8時間，後者の薬量を48，96，144，192gとし，後者は1回だけ試験をおこなった。この試験では特に前項までに述べたものと異なったタイプの斑点，すなわちいもの皮目部に径およそ1~3mmの小斑*が多数発生したので，次のような調査をおこなった。点状小斑は直径を測り，小斑数はいもの頂部，副枝附着部およびその中間部の各々から約 2cm^2 の円形中に入る数をかぞえた。

くん蒸開始直後のガス濃度は所要量の85~97%を示し，くん蒸温度は $30\pm 0.5^\circ\text{C}$ 保った。

くん蒸の結果，点状小斑の発生は薬量 $48\text{g}/\text{m}^3$ の各区のみに認められた。点状小斑の大きさや発生数についてみると，4hrs区より6，8hrs区の小斑が大きく，しかも発生数が多かった。4hrs区の小斑の大きさはほとんどが直径2mm前後，6，8hrs区は直径3mm以上で，調査期日による相違は少なかった。品種間で比較すると，いずれの処理区も“雲仙”と“橘”に点状小斑発生いも数も多く，“男爵”はそれらよりも約50%少なかった。また他の2品種に比べて点状小斑も小さく数も少ないものが相当数見られた。このような点状小斑の発生数と1塊茎中に分布する小斑の粗密は第16表に示すとおりである。

点状小斑数は各処理区とも“橘”が最も多く，“男爵”は他の2品種の1/4~1/6で，小斑数の少ない個体が多かった。この関係を比較するために1個当りの平均値を見ると，第6図に示すとおり3品種間の差異は明らかで特に“男爵”と他の2品種の差は顕著であった。次に第16表から一個体中の小斑の分布状態を見ると，いもの調査部位における斑点数の差の分布が0~1（均等に散在）の場合が認められず，2~4を平均として6~9附近にまで分布しているので，かなり集中的に分布するといえる。そこで調査部位と点状小斑数の関係を見ると，頂部に最も多い場合が88.3%を占め，中間部と副枝附着部は少なく，点状小斑は頂部に多発する傾向が認められた。

なお，“雲仙”と“橘”の2，4hrs区の皮目部から無色透明な汁液が浸出して，水滴状に附着した。この汁液はやや粘重で，強い甘味をもっており“男爵”を



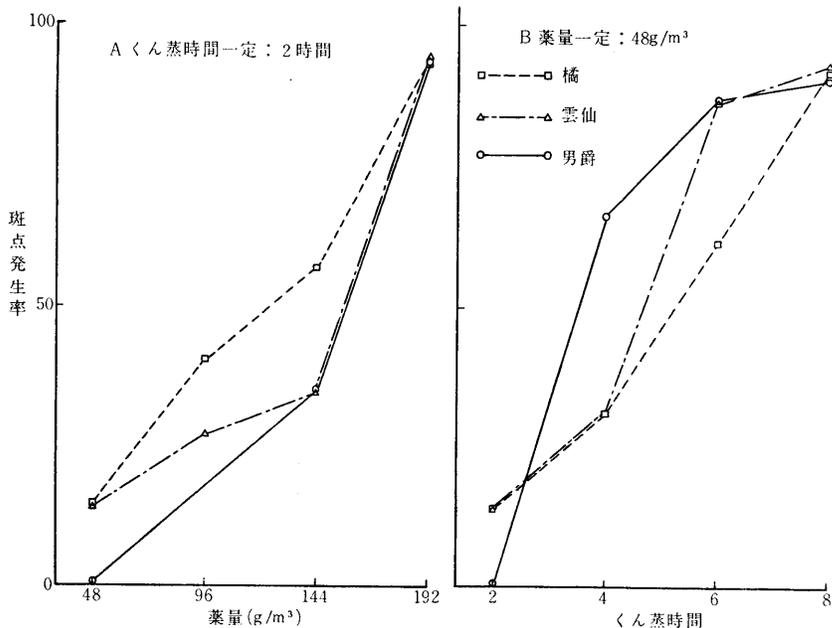
第6図 点状小斑発生数の品種間差異 (30個の平均)

除く品種のほとんど全個体に発生したが，6，8hrs区は浸出する汁液が褐色となり腐敗臭をともっていた。

斑点は全処理区に発生し，初発生積算毒数は100以下で，薬量の増加または時間の延長に従って漸時増加した（第7図）。これを品種間で比較すると，時間一定各区と薬量一定各区のいずれも，“雲仙”と“橘”が“男爵”に比べて薬害を起しやすく，斑点発生率が高かった。192g区と8hrs区は同程度の斑点発生率を示した。

次に薬害症状の軽重を知るため，斑点の大きさおよび発生数を第17表に示す。斑点の発生数は毒力の強さにもなって増加し，時間一定各区は薬量一定各区の1/2以下の斑点数であった。調査日による斑点の大きさや数の差異も明瞭で，特に大斑，中斑の拡大進展はいちじるしかった。3品種間では2hrs区と96g区の“男爵”が，他の2品種に比べて斑点数が少なかったほかは，各処理区ともに“男爵”がいずれの斑点

* 以下，点状小斑と呼称する。



第7図 斑点発生率の品種間差異

第17表 3品種間における斑点の発生状況

[薬量一定処理区]

処 理	品 種	3 日 後			7 日 後			汁液流出個数		
		大 斑 斑点数	斑 面積 (cm²)	中斑数	小斑数	大 斑 斑点数	斑 面積		中斑数	小斑数
2 hrs 区	雲仙 橘 男爵							4 7		
4 hrs 区	雲仙 橘 男爵	2		1	15 6 58	2 4 6	18 10 16	4 5 118	15 21 2	
6 hrs 区	雲仙 橘 男爵	20	29	4 4 39	223	16 6 73	38 10 178	45 41 175	16 29 1	
8 hrs 区	雲仙 橘 男爵	5 34	11 51	59 23 47	30	87 77 70	276 255 257	144 98 44	96	19 11 2

[時間一定処理区]

96 g 区	雲仙 橘 男爵	2		5 4	6 1	1	24	4 9	8 20 3	3 11 3
144 g 区	雲仙 橘 男爵	3		2 10	1 7	1 2 2	2 32	4 2 9	3 6 1	6 14
192 g 区	雲仙 橘 男爵	1 8	2 48	7 37 7	40 61 5	13 12 25	34 32 125	22 42 12	47 50	6 15 4

数も多かった。“雲仙”と“橘”の間には差異が認められなかった。

3品種の幼芽枯死率と先枯率は第18表に示すとおりであり、2hrs区の幼芽枯死率は“男爵”が最も低い、積算毒数の増加にともなう幼芽枯死率の変動は3品種間で、明確な相違は認められなかった。先枯率

第18表 幼芽枯死率の品種間差異 (くん蒸3日後)

[薬量一定処理区]

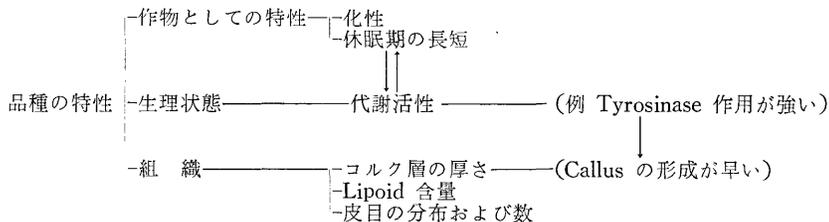
処 理	雲 仙		橘		男 爵	
	死 (%)	先枯 (%)	死 (%)	先枯 (%)	死 (%)	先枯 (%)
2 hrs 区	4.8	9.6	9.0	14.9	0	22.5
4 hrs 区	76.7	21.5	76.6	22.7	82.8	14.2
6 hrs 区	97.4	2.6	99.4	0.6	100	0
8 hrs 区	100	0	100	0	100	0

[時間一定処理区]

96 g 区	38.2	46.0	41.6	33.3	52.2	20.0
144 g 区	59.9	26.3	53.8	43.1	59.1	26.1
192 g 区	92.7	7.3	86.6	13.4	87.5	1.6
無処理区	2.9	4.8	2.6	1.3	3.8	2.3

は2hrs区を除く各区で“男爵”が最も低かった。また時間一定各区は薬量一定各区に比べて全般に幼芽枯死率が低く、先枯率は高かった。

くん蒸にさいして生じる薬害症状の軽重が品種によって異なる原因として品種の特性と薬剤感受性の関係が考えられる。品種の特性としては第8図のような諸点があげられるが、このうち真性休眠期の長短は品種によって違うことが知られており、品種間で休眠の段階が不揃いになるため特定の品種のみに薬害を生ずることは十分推察される。休眠の深さはいもの生理作用と密接な関係があり、“橘”がほかの2品種よりも呼吸量が高かったことは、休眠が浅いことを意味し、そのため薬害が顕著に生じたものと思われる。



第8図 methyl bromide の感受性を左右する品種の性質

第19表 3品種の methyl bromide くん蒸による薬害の差異

品 種	点状小斑	普通 斑 点		幼芽枯死 初発生濃度 (時間)
		初発生濃度 (時間)	発生状況	
雲 仙	甚	低(短)	中	低(短)
橘	甚	低(短)	中	低(短)
男 爵	少	高(長)	甚	高(長)

積算毒数の増加による幼芽枯死率の変化は各品種間に差がない

くん蒸による品種の薬害発生の難易を比較するため試験結果を整理すると第19表のようになる。これら3品種はいずれも掘取後4、5ヶ月以上を経過し、真性休眠期を終り萌芽期に入っていると思われるが、掘取後の貯蔵環境によって生ずる休眠の長さや深さの違いについては十分検討することができなかった。

試験の結果は、“雲仙”と“橘”が薬害を起しやすかったが、坂本(私信による)の薬害発生事例調査によれば、“農林一号”は5.6%，“橘”は11.9%のいもに薬害を発生したのに対し、“雲仙”は35.4%で薬害発生量が最も多かったという。従って“雲仙”と“橘”は本質的に methyl bromide に対して弱い組織的、生理的性質をそなえていることも考えられる。第19表の結果から総合的には“雲仙”と“橘”が“男爵”に比して methyl bromide の影響を受けやすかったと結論される。

C 掘取時期 およびその後の経過日数を異にするいもの薬害

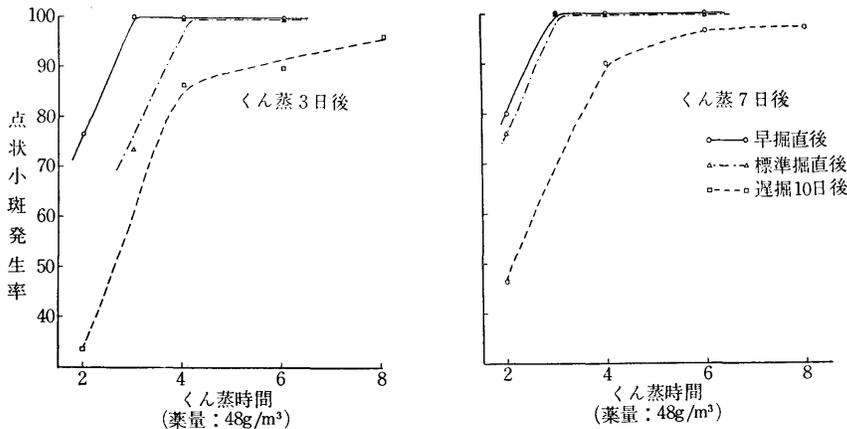
ジャガイモの発育段階による呼吸量、糖量、澱粉量等の変化については、APPLEMAN ほか(1926)、SINGH ほか(1937)、田川ほか(1949-b)によって報告され、未熟ないものは呼吸量が多く、代謝が活潑で含糖量も多いが、完熟し休眠期に入ると呼吸量は低下し、糖が減少し、澱粉が増加するという。ゆえに、この問題と関

連して掘取時期および掘取後の経過期間と methyl bromide 感受性の関係を調査した。

当所隔離圃場に栽培したいもの一部を掘取り、(早掘:ほとんど枯葉がない, 標準掘:葉が1/2以上枯死)直ちにくん蒸をおこない、その後茎葉が枯れてから残りを掘取り、遅掘10日後の試験に用いた。大きさはいずれも中いもで、処理区は供試いもの状態から掘取直後および掘取10日後の2群に分け、前者のくん蒸時間を2, 3, 4, 6時間とし、後者を2, 4, 6, 8時間とした。ガス濃度は2, 3 hrs 区の1部が所要量より

5~9% 高かったほかは投葉量の90~100%を示した。

くん蒸の結果発生した点状小斑の発生率は掘取時期を異にするいもでは少差であったが、掘取後の経過期間では掘取直後にくん蒸したいもが、いずれの区においても高かった(第9図)。とくに短時間くん蒸においてはその差異が大きく、くん蒸時間が長くなるに従って順次差が縮少した。調査期日による相違は少なかった。点状小斑の大きさとは数は第20表に示したごとく、早掘と標準掘の違いは判然としなかった。しかし早掘および標準掘で直後にくん蒸したいもは遅掘で

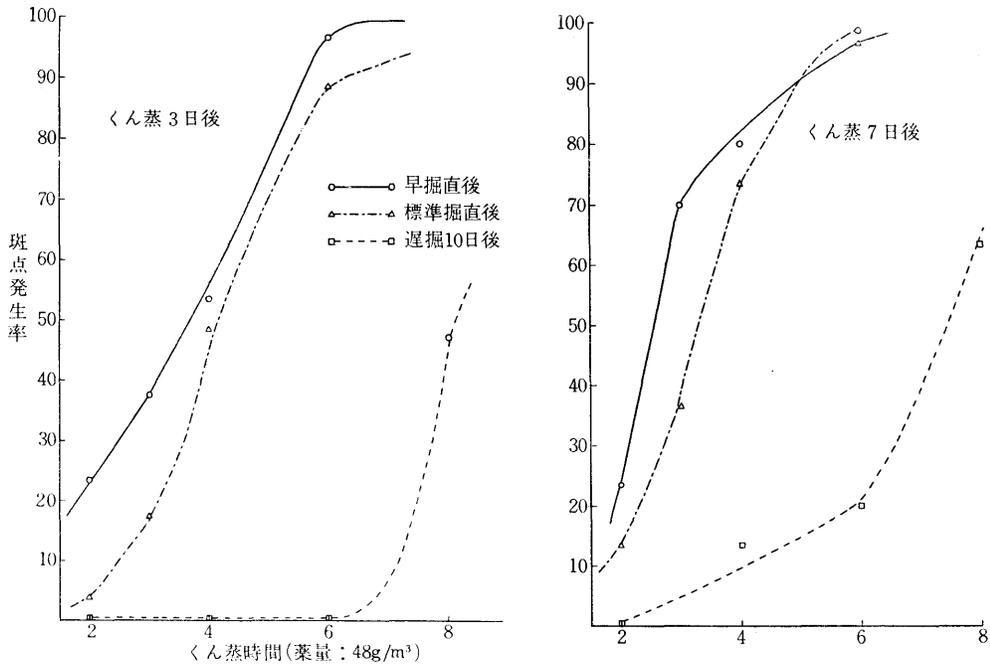


第9図 掘取時期およびその後の経過日数を異にするいもの点状小斑発生率

第20表 点状小斑の大きさおよび数と掘取時期およびその後の経過日数の関係

処 理	処理後の経過日数 斑点の大きさ(経) 掘取時期(掘取後の日数)		点 状 小 斑 発 生 い も 数					
			3 日 後			7 日 後		
			1 mm 以下	2 mm 前後	3 mm 以上	1 mm 以下	2 mm 前後	3 mm 以上
2 hrs 区	早 掘	(0)	12	9*	2*	6	16	2
	標 準 掘	(0)	12	10	0	8	15	
	遅 掘	(10)	6	4		9	5	
3 hrs 区	早 掘	(0)		12	10	2	16	12
	標 準 掘	(0)	5	12	12		22	8
	遅 掘	(10)						
4 hrs 区	早 掘	(0)		14	16		10	20
	標 準 掘	(0)	2	22	6	1	17	12
	遅 掘	(10)	17	6	2	11	10	5
6 hrs 区	早 掘	(0)		5	25		1	29
	標 準 掘	(0)		15	15	1	9	20
	遅 掘	(10)	18	6	2	10	14	4
8 hrs 区	遅 掘	(10)	6	10	13	7	7	15

* 直径 1 mm 以下の小斑も少数含まれた



第 11 図 斑点発生率と掘取時期およびその後の経過日数との関係

第 22 表 掘取時期およびその後の経過日数の異なるもの斑点発生状況

処 理	掘取時期 (掘取後の日数)		処理後日数		7日後の斑点数					
			3日後の斑点数			7日後の斑点数			汁液流出個数	
			斑点の 大きさ		大	中	小	大		中
2 hrs 区	早 標 遅	掘 (0)	1	10	2	2	10	2		
		掘 (0)					4			
		掘 (10)								
3 hrs 区	早 標 遅	掘 (0)		18	5	9	31	1		
		掘 (0)		7		2	16			
		掘 (10)								
4 hrs 区	早 標 遅	掘 (0)	11	55	7	18	49	2		
		掘 (0)	4	26	4	10	43	1		
		掘 (10)					3		1	
6 hrs 区	早 標 遅	掘 (0)	52	86	9	59	58			10
		掘 (0)	31	81		47	57			7
		掘 (10)				1	4	4		
8 hrs 区	遅	掘 (10)	9	34	7	18	29	34		8

て 4, 6 hrs 区に小, 中斑が少数発生したのみであった。

以上の調査で、掘取直後のいもが 48 g/m³-2時間でも薬害を生じたことは注目される。またこのようないもは掘取後ある期間放置してからくん蒸すれば薬害を防止できることも明らかになった。薬害を起しやすい原因としては掘取直後のいもは表皮の Callus が完全

に形成されていないので、ガスの収着量が多いこと、およびいもが匍枝から切離された直後はいもの内部の代謝作用が旺盛で、とくに茎葉が繁茂しているときはいちじるしく、SINGH ほか (1937) が指摘したように掘取時期の呼吸量が休眠期より多く、糖量が減少し澱粉量が増加し、Amylase 作用が一時的に強く生理的

に薬剤に対する感受性が高いためと思われる。生理的に最も抵抗性を示すと思われる時期は掘取 10 日後以降 (真性休眠期) の還元糖の減少した時期 (田川ほか, 1949-a) と考えられる。

点状小斑の発生はしばしば見られる薬害現象で、皮目部に生じる理由は不明であるが皮目部だけに生じるため、ある積算毒数以上では 1 個体当りの発生数が一定となり、普通斑点とはいじむるしくその性質を異にしている。組織上からも点状小斑はすべて表皮でとどまり、皮層部まで達していないことも注目される問題である。掘取直後のいもの斑点発生数は著者らが行なった試験中、最も多く、極めて薬害を起しやすい状態にあったことを示している。

D 発芽抑制剤処理いもに対するくん蒸の影響

近年各種の効果的な発芽抑制剤の出現によって、ジャガイモの貯蔵中の損耗が大巾に軽減され、また適当な令期の種いもを得るのに役立つ。そこで発芽抑制剤処理いもをくん蒸した場合の薬害発生程度を調査した。

材料は前項と同じいもを用い、掘取後に Belvitan K および Maleic hydrazide (M. H.) で標示使用方法に従って処理し、約 50 日間経過させてからくん蒸した。夏の常温で保存したため、発芽抑制効果が Belvitan K には認められたが、M. H. の効果は認められなかった。くん蒸時間は 4, 6, 8 時間の 3 区とし、薬害調査をくん蒸後 7, 14, 21 日目におこなった。くん蒸開始時のガス濃度は各区平均、投薬量の 95% 前後を示した。

くん蒸により斑点を生じたいも数は第 23 表に示したように、Belvitan K 区により多く見られた。しかし、斑点はすり傷の部分にかなり認められたので、発芽抑制剤の影響を知るため調査に当りこのような斑点を除外した。斑点の大きさと数は第 24 表に示した如く、Belvitan K 区に多く、M. H. 区はこれに次いだ。小斑や中斑においてはくん蒸 7 日後以降でも斑点の拡大が認められた。

点状小斑発生いも数は各処理区間においてほとんど差がなく、長時間くん蒸区がわずかに多い程度であったが、発芽抑制剤処理区間においては、普通斑点と同様 Belvitan K 区に発生が多かった。第 25 表は点状小斑発生数の個体間分布状況を示したものであるが、総供試いもの点状小斑合計数は 4, 6 hrs 区においては M. H. 処理いもに多く、8 hrs 区においては Belvitan K 処理いもが多かった。またいも 1 個体内における

第 23 表 発芽抑制剤で処理したいもの斑点発生いも数

処 理	発芽抑制剤の種類	普通斑点発生いも数		
		7 日後	14 日後	21 日後
4 hrs 区	B	13(9)**	19(9)	12(1)
	M	9(6)	17(13)	5(1)
	C	1(1)	10(8)	3
6 hrs 区	B	7(3)	11(2)	11
	M	3(2)	4(3)	9(5)
	C	3(1)	5(2)	5(2)
8 hrs 区	B	22(3)	21	24(3)
	M	11(4)	10(5)	11(3)
	C	7(3)	5(3)	2(2)
無処理区	B	4(4)	8(5)	12(4)
	M		1	4(4)
	C		1	

* B: Belvitan K, M: Maleic hydrazide, C: 無処理

** () 内は斑点発生いも数のうち、すり傷の部分に発生した数

第 24 表 発芽抑制剤で処理したいもの斑点の大きさと数

処 理	発芽抑制剤	斑 点 数					
		7 日 後			14 日 後		
		大	中	小	大	中	小
4 hrs 区	B		1	9	2	13	12
	M		1	3	1	1	6
	C				1		1
6 hrs 区	B	4	6	5(1)*	3	10	14
	M			1		1	
	C	1	1		1		2
8 hrs 区	B	12	20	58(2)	15	28	5
	M	4	2	16(1)	1	7	1
	C		1	9	1		4
無処理区	B					3	1
	M						1
	C						1

* () 内は小斑を多数生じたいも数

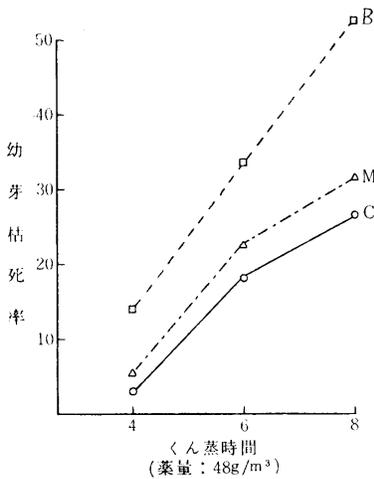
分布についてみると、各処理いもは頂部に発生数が多く集中的な分布を示しているが、無処理いもは散点的な分布を示した。総合的には発芽抑制剤処理いもは無処理いもに対して methyl bromide の薬害を起しやすいといえる。

くん蒸 7 日後の幼芽枯死率は第 12 図に示したように、くん蒸時間が長くなるとほぼ直線的に増加するが、

第25表 発芽抑制剤処理いもの点状小斑発生状況（くん蒸3日後）

処 理	発芽抑制剤の種類	30個の総斑数	1個のいもに生じた斑点数					3個所の最大、最小斑点数の差										
			1~5	6~10	11~15	16~20	21以上	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4 hrs 区	B	142	17	8	2			1	6	6	8	2	2	1				1
	M	163	16	12	1			1	6	11	6	2	2	1				
	C	68	19	3				1	10	7	3		1					
6 hrs 区	B	68	15	3	1			8	3	4	2		1					
	M	114	16	3	1		1	3	6	6	1	2	1				2	
	C	29	11	1				4	6	1	1							
8 hrs 区	B	202	12	14	2	1		6	11	2	2	4	3	1			1	
	M	175	19	8			2	7	10	7	3						1	
	C	59	13	2	1			4	6	4					1		1	
無処理区	B	6		1					1									
	M	8	3					1	1									
	C	2	1						1									

数値はいも数



第12図 発芽抑制剤処理いもの幼芽枯死率 (くん蒸7日後)

特に Belvitan K 処理いもの幼芽枯死率が高かった。全般に良く発達した芽ほど枯死率が高く、先枯率は4 hrs 区の Belvitan K 処理いもが高かったほかはい

ずれも M. H. 処理区、無処理区のいもが高かった。

以上の試験は発芽抑制剤の十分な効果を前提とするには、やや時期が不適当であったが、発芽抑制剤処理と methyl bromide の薬害との関係を総括すると第26表の如くなる。この表で比較的発芽抑制効果が認められた Belvitan K 処理区が M. H. 処理区に比べて薬害が顕著であったことが注目される。しかしくん蒸前処理薬剤の種類如何によって発芽抑制効果に関係なく methyl bromide に対する感受性が低くなることも考えられるので、発芽抑制効果の強弱と薬害をただちに関連させることはできないが、今後の研究にまちたいと思う。なお、上述の如く発芽抑制剤前処理により、薬害症状に差異が見られたが、くん蒸後の呼吸量には相違が認められなかった。

E 線虫防除栽培いもに対するくん蒸の影響

前述の如く特異な薬害症状として認められた点状小斑の発生原因として次のようなことが考えられる。

(1) ゲニ類または外寄生線虫類が寄生した場合は、特にその部分が生理的に活性が高くなって薬害を

第26表 発芽抑制剤処理と薬害の関係

発芽抑制剤の種類	普通斑点*		点状小斑*		幼芽*枯死率	発芽状況*
	発生程度	症状の度合	発生程度	症状の度合		
Belvitan K	1	1	1~2	1	1	1~2
Malec hydrazide	2	2	1~2	2	2	2
無処理	3	3	3	3	3	3

* 薬害の顕著なものから 1, 2, 3 とした

第 27 表 D-D 処理圃場に栽培したいもの点状小斑発生状況

〔 3 日 後 〕

処 理	D-D 処 理	総斑点数 (20個の計)	1 個のいもに生じた小斑数					3 個所の小斑数の 最大, 最小の差										
			1~5	6~10	11~15	16~20	21以上	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10以上	
4 hrs 区	処 理	103	8	6	1		1											
	無処理	82	12	2		2												1
6 hrs 区	処 理	279	1	7	5	3	4	5	4	3	2	1	2	1				2
	無処理	172	6	7	4	1	1	2	6	2	6	1	2	1				

〔 7 日 後 〕

4 hrs 区	処 理	176	4	10	5		1	1	2	3	6	5	1	1	1	2	
	無処理	94	11	3		1	1	5	1	4	4						
6 hrs 区	処 理	295	1	5	5	6	3	1	3	4	3	2	3	1	1		2
	無処理	183	5	7	5	2		1	8	3	3	2	1	1			

数値はいも数

起しやすくなる。

(2) 皮目は気孔に代って通気作用をおこなうことが知られているので、掘取時期または発芽時期のようにいもの生理作用が活潑で呼吸が盛んな場合、皮目部の薬剤に対する感受性は高くなる。

(3) 皮目は methyl bromide をとくに通しやすい。

これらのうち (1) が点状小斑発生の原因となりうるかどうかを見るため次の如き実験をおこなった。

供試いものは殺線虫剤 (D-D) 処理圃場 (30 cm, 千鳥, 4 ml 灌注) および無処理圃場に栽培したいもを用い、掘取後 10 日間以上経過させてから 4, 6 時間のくん蒸をおこなった。くん蒸開始時のガス濃度は各区とも所要濃度を示した。供試いもは、大いもから小さいもまで含まれるので、各区とも大小が均等に分配されるように留意した。試験は 2 回反復しておこなった。

くん蒸による点状小斑の発生状況は第 27 表にみられるように、D-D 処理、無処理のいもに共に同様の症状でほぼ同数の個体に発生したが、点状小斑の大きさや数、あるいは分布の状況を比較してみると、D-D 処理圃場栽培いもの方がやや大きな斑点をより多数発生した。その傾向は 4 hrs 区より 6 hrs 区において顕著であった。1 個のいもにおける点状小斑の分布も D-D 処理圃場に栽培したいもが一面に密に分布しているのに対し、無処理圃場に栽培したいもは部分的で、粗に分布している傾向を示した。くん蒸後の経過

第 28 表 D-D 処理圃場に栽培したいもの斑点発生状況

処 理	D-D 処 理	斑点発生 いも数	3 日後の 斑点数			7 日後の 斑点数		
			大	中	小	大	中	小
4 hrs 区	処 理	5		2	18		4	17
	無処理	6	1	4	18	1	4	17
6 hrs 区	処 理	20	9	11	28	20	11	52
	無処理	19	10	9	31	38	31	27
無処理区	処 理	3						15
	無処理	0						

日数による点状小斑数の増加も前者において顕著に認められたが、以上の結果から点状小斑の発生は外部寄生虫の有無とは関係なく、通気作用をおこなう皮目部に発生し、特に呼吸作用の旺盛な時期に発生しやすいことが明らかになった。

次に斑点発生状況の調査結果をまとめれば第 28 表のようになる。この成績からは、D-D 処理圃場栽培の有無によって斑点発生いも数および大きさ別の斑点数もほとんど差が見られない。従って D-D 処理圃場に栽培したいもの皮目部を除いたほかの組織には D-D 処理の間接的影響が及ばなかったと考えられる。

幼芽の枯死率および先枯率 (第 29 表) についてみると、無処理圃場とは逆に D-D 処理圃場に栽培したいもの幼芽枯死率は高くなっている。この傾向は 4 hrs 区より 6 hrs 区において強かった。この原因については不詳であるが、幼芽は前項で述べたものと同

第29表 D-D 処理圃場に栽培したいもの
幼芽枯死率（くん蒸3日後）

処 理	D-D 処理	死 (%)	先枯 (%)
4 hrs 区	処 理	19.0	12.9
	無処理	13.6	14.8
6 hrs 区	処 理	74.0	11.2
	無処理	43.8	32.7

様のもので、伸長した幼芽は含まれていない。

F 傷いもに対するくん蒸の影響

ジャガイモを傷つけた場合の生理的变化については RICHARDS (1896), PRIESTLEY (1923), 木場 (1958) などによって、熱の発生、負傷部の褐変、呼吸量の増加、Phenol 類の増成、澱粉および糖量の変化などについて報告され、これらの諸変化にともない傷いもの生理は特異性を有すると思われる。そこで傷いもの薬害について明らかにするため、外皮の1部を切断してからの経過日数を変えて、傷面にできる Callus の形成程度の差異と methyl bromide の薬害の関係について実験をおこなった。

材料は群馬県産の萌芽期中のいもを用い、目部を含まない部分を選び、径 3 cm の円形にほぼ形成層に達する深さまで切断した。切断後くん蒸するまでの経過日数を切断直後、1、3、7、10 日目の5段階に区分した。くん蒸時間は切断直後のいもを2時間、そのほかを4、6、8時間とした。くん蒸開始5~10分後のガ

ス濃度は、第1回試験の平均が85.3%、第2回が97.0%、第3回が109.7%であった。

くん蒸により傷面に薬害を生じたいも数は切断直後および1日後のいもが100%、3日後のいもは60~100%、7日後および10日後のいもでは10~30%を示し、それ以降はほぼ一定となった。傷面の薬害症状は第30表に示したように薬害程度が重症の場合は傷面に汁液が流出して雑菌が寄生するが、軽症の場合は表面が黒褐色または暗褐色となり時には亀裂を生じた。切断後の経過日数と薬害発生消長の関係についてみると、切断1日後のいもは全処理区においては全面か中心部が黒褐変し、病菌が発生し、切断3日後のいもは傷面の1部が変色するものから全面が変色するものまでであった。切断7、10日後のいもでは、傷面の変色がほとんど見られなかった。

いもの傷面以外の部分の斑点発生は、4 hrs 区から少数現われ、8 hrs 区になると急激に増加した。同一処理区間における斑点発生いも数の変動は、4、6 hrs 区にはなく、8 hrs 区のみ経過日数が短かいほど薬害を生じたいもが多く、切断1日後処理が77%、3日後が57%、7日後が43%、10日後は27%であった。斑点の大きさと数は第31表に示したように、前述の場合と同様切断後の経過日数による相違は8 hrs 区のみに認められたが、くん蒸3日後では判然とせず、7日後に至って明確な差を示した。なお斑点の発生部位は主として目部において観察された。

第30表 傷面の薬害症状（くん蒸7日後）

処 理	経過日数	褐色~黒褐色変色部					亀裂	汁液 流出	病菌 発生
		一部	半分	全面	中心部	傷周			
2 hrs 区	直 後			29		1	10		5
4 hrs 区	1	5	3	7	13	1			2
	3	6		7	8				
	7	5		2			6		
	10	3	1				3		
6 hrs 区	1			14	11	5		2	12
	3			4	7		13		
	7	11					10		
	10	10	1				4		
8 hrs 区	1			29				9	26
	3	19	1	6	4		9	1	
	7	11		2	1		13		
	10	6	1	6			15		
無処理区								2	

数値はいも数

第31表 傷面以外の部分の葉害一斑点の大きさと数

処 理	切断後 の日数 斑点の 大きさ	3日後の斑点発生いも数				7日後の斑点発生いも数				
		1	3	7	10	1	3	7	10	
		大中小	大中小	大中小	大中小	大中小	大中小	大中小	大中小	
4 hrs 区	1 ~ 2	4				1	2 2		1	
6 hrs 区	5 ~ 10					1				
	3 ~ 4					1				
	1 ~ 2	1 1	2 2	1 7	2 2 2	2 3 1	2 2	1 3 7	2 3 4	
8 hrs 区	11 以上	1				1				
	5 ~ 10	2				1				
	3 ~ 4	1	1 3	2 1	1	3	2	2 1	1	1 1
	1 ~ 2	4 7 7	3 4 7	4 3 5	2 2 3	9 11 8	12 4 7	7 7 7	3 2 3	

第32表 傷いもの幼芽枯死率（くん蒸3日後）

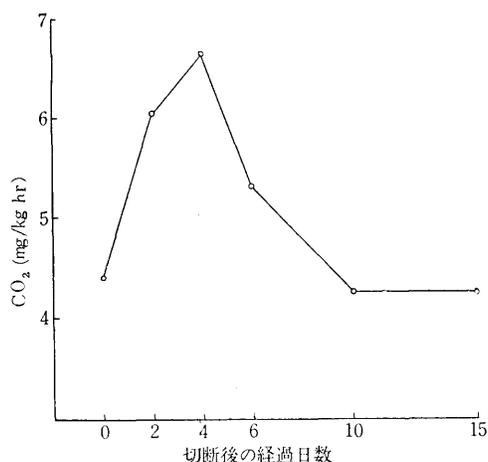
処 理	幼芽の** 生 死	切 断 後 の 経 過 日 数															
		1				3				7				10			
		3*	2*	1*	計	3	2	1	計	3	2	1	計	3	2	1	計
2 hrs 区	死 先枯	(切断直後) { 0 0.3 0 0.3 3.6 7.6 6.0 17.2								(無処理区) { 0 0 0 0 0.3 1.1 0.8 2.2							
4 hrs 区	死 先枯	0.3 0.9 8.1 9.3	4.5 13.1 14.9 32.5	0.3 1.8 4.1 6.2	3.8 7.9 5.9 17.6	0.3 2.7 4.2 7.2	2.7 6.7 8.0 17.4	0.5 2.3 6.1 8.9	0.3 2.7 4.2 7.2	2.7 6.7 8.0 17.4	0.5 2.3 6.1 8.9	2.8 18.6 5.8 27.2					
6 hrs 区	死 先枯	1.2 5.8 18.2 25.2	4.5 12.1 8.8 25.4	0.6 6.2 15.3 22.1	4.7 12.7 11.2 28.6	1.7 10.8 21.2 33.7	2.7 10.4 13.5 26.6	0.5 4.6 13.1 18.2	1.7 10.8 21.2 33.7	2.7 10.4 13.5 26.6	2.1 12.9 12.3 27.3	0.5 4.6 13.1 18.2					
8 hrs 区	死 先枯	6.1 12.5 51.0 69.5	0.6 0 13.9 14.5	3.0 12.9 37.9 53.8	1.9 3.0 11.3 16.2	1.0 7.6 27.0 35.6	1.3 5.8 17.4 24.5	0.5 6.4 23.6 30.5	1.0 7.6 27.0 35.6	1.0 7.6 27.0 35.6	1.0 2.9 15.2 19.1	0.5 6.4 23.6 30.5					

* 芽の大きさ ** 数値は %

切断後の経過日数の異なるいものくん蒸による幼芽の枯死率、先枯率は第32表に示す如く、経過日数の違いにより幼芽枯死率に差を認めたのは8hrs区のみで、経過日数の短かいもほどくん蒸の影響が強く現われた。先枯率の変動には一定の傾向が認められなかった。幼芽の枯死過程、芽の大きさと感受性の関係はIII項1-Bと同様である。

なお、傷いもの生理的变化のうち特に葉害に関係の深い呼吸の増進については古くから知られているので、著者らも本供試いもの呼吸について知るために、健全ないもの1部を切断し、SOUTHWICK (1945)の方法によってその後の経過日数による呼吸量の変化を測定した。その結果、切断することによって一時的に呼吸が旺盛になり、平常の2倍近く呼吸量が増加することがわかった(第13図)。

健全なジャガイモは切断されると、傷面に Callus が形成され、外皮と同様な保護的役割を果すが、完成



第13図 切断後の経過日数にともなう呼吸量の変化

までに7日間前後の日数を要するといわれる(川上, 1948)が本試験の結果を総括的に整理して表示すれば第33表のようになる。すなわち, 傷面の薬害は明らかに Callus が形成されるに従って軽減し, 切断後7日間以上経過させればくん蒸による薬害はほぼ一定となって川上の報告に一致した。これに対して傷面以外の部分の薬害は, 8 hrs 区においてのみ傷面の薬害と同様, 切断後の経過日数とともに減少した。このこと

第33表 Callus の形成程度(傷いも)と薬害の関係

切断後の経過日数 (Callus の形成程度)	試験項目*			
	傷面の薬害	傷面内部の薬害	傷面以外**の斑点	幼芽の**生死
1	1	1	1	1
3	2	2	2	2
7	3	3	3	3
10	3	3	4	4

* 数値は変色, 斑点, 幼芽枯死等の薬害程度の軽重を表し, 1, 2, 3, 4 の順に薬害は軽くなる

** 8 hrs 区の薬害程度を表す

は呼吸量の増加から見ても切断によっても全体に生理的に何らかの影響があり, その結果 methyl bromide 感受性が変化し, 薬害発生程度に影響を与えたことを示すものと思われる。また傷面と, それ以外の部分の薬害に明瞭な相関関係が認められなかったことは, 傷面以外の組織への影響は少なく, 大部分は傷部に集中され傷面の呼吸がとくに盛んになったものと思われる。

次に以上の結果から傷いもが薬害を起しやすい理由を考えれば次の如くである。

(1) 保護組織である表皮が切断により取除かれた場合, Callus が形成されるまでは, 生きた細胞に直接ガスが接するのでガス吸収量が増加する。しかも断面は湿潤なので吸着量も多くなる。

(2) 切断直後から5日頃までは, Callus 形成のエネルギー代謝のため一時的に呼吸が盛んになる。従ってこの時期のくん蒸は生体内に吸入されるガスの量を増加させる。もちろんこの両者の薬害発生よりみた軽重の度合は違っており, その総合力の結果として傷いもの薬害が考察できると思われる。

第34表 大きさを異にするいもの斑点発生状況

処 理	いもの大きさ 斑点の大きさ 斑 点 数	3日後の斑点発生いも数			7日後の斑点発生いも数								
		中いも			中いも								
		大	中	小	大	中	小						
2 hrs 区	3 ~ 4 1 ~ 2	5			3 1			1 2	2 1				
4 hrs 区	11 以上 3 ~ 4 1 ~ 2	2	1	2	1	2	1	2	3				
6 hrs 区	11 以上 5 ~ 10 3 ~ 4 1 ~ 2	1	5	1	1	3	3	2	4	3	1	3	
8 hrs 区	5 ~ 10 3 ~ 4 1 ~ 2	1	7	1	1	9	7	5	3	4	5	1	2
10 hrs 区	11 以上 5 ~ 10 3 ~ 4 1 ~ 2	1	5	4	1	2	5	1	6	5	2	2	3
12 hrs 区	11 以上 5 ~ 10 3 ~ 4 1 ~ 2	1	3	3	4	3	7	1	6	6	1	3	3
無処理区	1 ~ 2	2			2			2					

第 35 表 いもの大きさとくん蒸による斑点発生
いも数の関係（くん蒸7日後）

処 理	中, 小さいも各々の供試個数	斑点発生いも数	
		中いも	小さいも
2 hrs 区	30	3	4
4 hrs 区	30	7	3
6 hrs 区	30	7	4
8 hrs 区	30	11	11
10 hrs 区	30	18	11
12 hrs ×	30	22	16
無処理区	20	2	0

第 36 表 いもの大きさと斑点の面積および
変色の関係（くん蒸7日後）

処 理	1 個体中の変色割合	中いも		小さいも	
		黒変いも数	褐変いも数	黒変いも数	褐変いも数
8 hrs 区	1/2 1/3				2 1
10 hrs 区	全 体 2/3 1/2 1/3		1 1 1	3	
12 hrs 区	全 体 2/3 1/2 1/3	6 1 3		9 1 1	

G いもの大きさと薬害の関係

いもの大きさの違いによる薬害の差異は、休眠期のいもについて、すでに前述した。また LUBATTI ほか (1948) は小さいもほど methyl bromide 収着量が多いと述べている。そこで萌芽期のいもの大きさとくん蒸による薬害の関係を知るために試験をおこなった。

材料は広島県産の中いもおよび小さいもで、処理区、ガス濃度は III 項 1-B に記したとおりである。

大きさの異なるいものくん蒸による斑点の大きさ、いも数、などは第 34~36 表に示すとおりである。くん蒸時間の長短またはくん蒸後の経過日数の違いによる発生傾向は III 項 1-B の場合と同様の結果をえた。本調査においては薬害斑類似の斑点も含んだが (2, 4 hrs 区の斑点), 薬害発生状況の相対的比較に当っては問題はないと思う。いもの大きさによる違いは、2, 8 hrs 区を除く各区において、小さいもより中いもに斑点発生いもが多く、また中斑、大斑の発生数も多かった。しかし、薬害の激しい個体は小さいもにやや多く (第 36 表), くん蒸の影響が強くなると斑点が褐色から黒色に移るのが見られた。以上のように本試験においては休眠期のいもの場合と違って大きないもが薬害を受けやすかったが、同一栽培条件のいもにおいては、幼芽の伸長が大きないもほど早く、従って生理的にも感受性がやや高かったと思われる。

幼芽の生死に関する調査結果は第 37 表に示す如くであり、いもの大きさによる違いは認められず、また

第 37 表 いもの大きさの違いによる幼芽枯死率の差異

処 理	芽の 生死%	中 い も				小 い も			
		3 2 1 計				3 2 1 計			
		3	2	1	計	3	2	1	計
2 hrs 区	死 先枯	1.9	1.3	2.5	2.5				0 2.0
4 hrs 区	死 先枯	3.0	0.6	4.8	5.4	6.3	4.2	4.2	17.9
6 hrs 区	死 先枯		3.4	23.0	26.4	0.9	45.2	45.2	
8 hrs 区	死 先枯		2.8	41.9	44.2	1.5	30.4	31.9	
10 hrs 区	死 先枯		7.8	45.0	52.8	2.5	64.2	66.7	
12 hrs 区	死 先枯		2.6	87.7	90.3		93.8	93.8	
				2.0	2.0		0.8	0.8	

幼芽枯死率は処理区によって一定の傾向が見られなかった。しかし、先枯率は各処理区とも中いもが高かった。

IV 総合考察

従来、methyl bromide くん蒸によるジャガイモの薬害については、断片的な報告にとどまり、薬害発生の主要因と考えられるくん蒸諸条件および栽培条件を含めた作物の特性等の生物学的条件が薬害発生に関して持つ役割については全く解明されていない。筆者らはこの問題の個々の要因に関して試験結果の項において考察したが、ここではこれらを総合して特に重要な相互関係について2~3の考察を加えることにする。

ジャガイモは収穫後の貯蔵期間が長く、その植物学的性質も特殊なため、くん蒸によって薬害を起す要因も極めて複雑と思われる。ここで、薬害発生に関与すると考えられる要因を整理し、その相互関係を考慮してまとめると第14図の如くなる。

くん蒸においてはこれらの諸要因が相互に関連を保ちつつ、ある要因は薬害発生を助長し、ある要因は不

活の状態に置かれ、結果的には両者の均衡の如何によって薬害の有無、さらにその程度が決定すると考えられる。しかし、掘取時期、休眠期段階、くん蒸剤の毒力等はそれはたす作用力が強い場合から弱い場合まで大きな幅を持つ要因であり、薬害発生に関与する諸因子の相互関係は実際には第14図よりもさらに複雑と思われる。

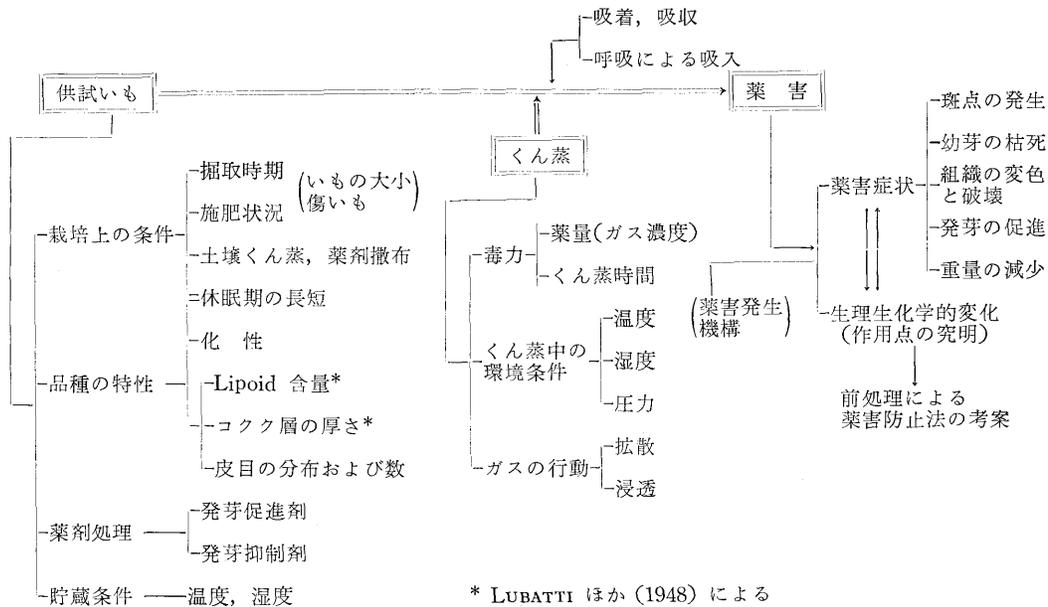
前述の各種の試験はまだ不十分な点も多いが、一応整理すると第38表のようになる。なおこの表に示した薬害発生限界毒力は実用上何ら支障のない少数の幼芽枯死や2~3の小斑の発生は無視し、主として中斑、大斑の発生を指標として便宜上決定したものである。

この表に示したように、ジャガイモは同一くん蒸温度でもいもの状態によって薬害を生じる毒力に 48 g/m^3 時間から 48 g/m^3 -10 時間までの大きな差異が現われることは注目される問題である。またこれを第14図と対比してみると、薬害に関与する要因の軽重が明確になり、いもの状態に関係する因子では掘取時期と品種、くん蒸に関係する因子では薬量、くん蒸時間、くん蒸温度が重要であると考えられる。

第38表 条件を異にするジャガイモの薬害発生限界毒力

休眠期段階 (莖期)	くん蒸 温 度 (°C)	品種 (いもの大きさ), その他	斑点発生限界* 薬量および くん蒸時間	大斑の初発生* 薬量および くん蒸時間
休眠に入る前	30	男爵 (中) 早掘, 直後くん蒸	48-2以下	48-2
"	"	" (") 標準掘, "	48-2	48-3
"	"	" (") 掘取10日後くん蒸	48-5	48-6
"	"	" (大~小) D-D 処理地栽培掘取10日後	48-4以下	48-6
休眠期	"	" (大)	48-6	48-10
"	"	" (小)	48-6	48-10
萌芽期 (1)	"	" (大)	48-4~48-6	48-8
" (1~2)	"	" (中) くん蒸中の湿度 76~83%	48-5	48-6
" (1~2)	"	" (") 切断直後, 切面以外の薬害	48-4以下	48-4
" (1~2)	"	" (") 切断 1~10 後, "	48-4	48-6
" (3)	"	" (")	48-3	48-4, 144-2
" (1~2)	"	橘 (")	48-2	48-6, 96-2
" (")	"	雲仙 (")	48-2	48-4, 144-2
" (3~4)	"	男爵 (大)	144-2	144-2
" (")	"	" (中) Belvitan K 処理	48-4以下	48-6
" (")	"	" (") M. H. 処理	48-4	48-8
" (")	"	" (") 無処理	48-4	48-6
" (")	20	" (大)	48-8	48-10
" (4~5)	10	" (")	—	48-12以下

* $\text{g/m}^3\text{-hrs}$ で毒力を表した



第 14 図 ジャガイモの薬害発生に關与する諸条件の相互關係

本研究は大部分くん蒸温度 30°C でおこなっているため、石田ほか (1955)、浦上ほか (1957) などによっておこなわれた試験に比べると斑点発生限界薬量が少なく、くん蒸時間が短かったが、このような差の一部は供試いもの状態の違いにもよると考えられる。また薬害発生に關与する要因でも、その比重の軽度なものは斑点発生限界薬量およびくん蒸時間を左右せず、単に薬害症状を進行させたとどまった。

次に本研究の結果からいもの収穫後の経過期間にともなう感受性の変化を概括的に述べると、まず掘取直後は最も感受性が高く、薬害を起しやすいが、その後急激に低下し、掘取 10 日後には萌芽期とほぼ同程度の感受性を示し、さらに休眠期に入って最も薬害を起しにくい状態となり、その後萌芽期となって再びやや感受性を示し、萌芽の進行とともに薬害も起しやすい状態となる。従って methyl bromide による最も薬害を起しにくい時期は掘取 2 週間後以降約 1 ヶ月の真性休眠期であると結論される。今後、本研究の結果を發展させ、薬害機構解明のためには生理生化学的变化が追求されなければならないと考える。

V 要 約

methyl bromide くん蒸によるジャガイモの薬害発

生に關与する諸要因を解析し、くん蒸諸条件および栽培条件、作物としての特性等と薬害の關係について究明した。その結果は次のとおりである。

(1) 萌芽期のいもを用い、30°C (以下記入のない限り同じ) でくん蒸時間を 2 時間とし薬量を変えてくん蒸した。その結果、薬害斑点発生率および幼芽枯死率は 96 g 区が 0 : 7.5%, 144 g 区が 7 : 47.6%, 192 g 区が 10 : 74.4% であったが 240 g 区になると 70 : 89.2% と高率を示した。従って 薬害発生境界薬量は 96~144 g の間にあると思われる。

(2) 萌芽期いもを用い、薬量を 48 g/m³ (以下同じ) とし、くん蒸時間を変えて処理した。その結果斑点の初発生くん蒸時間は 4~6 時間であるが、8 時間になると 薬害症状は顕著になり、斑点発生いも数は 30% に及んだ。一方幼芽の枯死は斑点の発生に先行し、2~4 hrs 区は少ないが、6 hrs 区になると 34.4%, 12 hrs 区では 87.9% の枯死率を示した。

(3) 萌芽期いもを用い、20°C で 6~18 時間のくん蒸をおこなった。斑点発生率は 8 hrs 区が 3%, 10 hrs 区が 20%, 14 hrs 区は 90% に達した。幼芽枯死率は 6 hrs 区が 27.2%, 8 hrs 区が 52.8%, 10 hrs 区が 71.5%, 14 hrs 区が 100% を示した。これを 30°C の場合と比較してみると、同数の薬害発生いも数を生

じるのに 20°C は 30°C のほぼ 2 倍のくん蒸時間を要した。

また 10°C におけるくん蒸試験を 4~5 茎期のいもを用いておこなったが斑点発生率は 12 hrs 区で 87% に達し、葉害はいちじるしく、供試いもの状態は温度条件以上に葉害の軽重を左右する場合のあることが判った。

(4) 萌芽期のいもを用い、くん蒸中の湿度条件を 40% 前後と 80% 前後とした結果、高湿区に斑点発生個体が多く、しかも大、中斑が多かった。幼芽の枯死についても同様に高湿区の枯死率が高く、明瞭な相違を示した。

(5) 低温で攪拌装置を使用せずにくん蒸をおこなうとガスの拡散が悪く、特に床面近くはジャガイモの葉害発生に必要な高濃度に達する。

(6) 真性休眠期のいもを用い、2~12 時間のくん蒸をおこなった結果、くん蒸 7 日後の斑点発生は 2, 4 hrs 区においては認められず、6, 8 hrs 区でわずかに 10~20% であったが、10, 12 hrs 区になる急激に上昇して 80~90% を示した。これを萌芽期のいもと比較すると斑点初発生くん蒸時間は前者の方が 2~4 時間長く、明らかに休眠中のいもに抵抗力のあることが判った。

(7) 萌芽期のいもを用いて“男爵”、“雲仙”、“橘”の品種間差異について検討を加えた結果、従来観察されなかった葉害症状として、いもの皮目部のみが小円形に変色する点状小斑の発生が見られた。その発生数は“雲仙”および“橘”に極めて多く見られたが、普通斑点の発生率は初発生葉量またはくん蒸時間ではむしろ低く、葉量の増加またはくん蒸時間の延長にともなう斑点の発生症状は“男爵”の方がいちじるしかった。幼芽枯死率は品種間で差異が認められなかった。

(8) 掘取直後(茎葉の枯死状態により早掘と標準掘に区分)および掘取 10 日後のいもを用いて 2~8 時間のくん蒸をおこなった。その結果、掘取直後のいもは点状小斑発生率が高く、斑点も大きいのが、遅掘・後 10 日間後のいもは発生率が低かった。普通斑点の発生状況も点状小斑と同様の傾向を示し、早掘直後にくん蒸すると斑点を生じやすかった。とくに 2 時間のくん蒸でも葉害を生じたことは注目された。掘取直後のいもが葉害を起しやすい原因としては、Callus の未完成と旺盛な代謝作用によるものと思われる。

(9) 掘取後 Belvitan K および Maleic hydrazide

で処理して約 50 日間貯蔵したいもを用い、くん蒸時間を変えてくん蒸をおこなった。その結果、点状小斑と普通斑点の発生は萌芽抑制剤で前処理したいもに多く、幼芽枯死率も同様の傾向を示し、とくに Belvitan K で前処理したいもは 10~20% 程度高かった。

(10) 点状小斑発生の原因としてダニ類または外寄生線虫類の寄生による生理作用の高揚が考えられるので、D-D 処理地 および 無処理地に栽培したいもを用いて葉害試験をおこなった。その結果、普通斑点の発生状況には差異が認められなかったが、点状小斑発生率と幼芽枯死率は D-D 処理地に栽培したいもの方が高かった。点状小斑は気孔に代って通気作用をおこなう皮目(Lenticel)に発生し、生理作用の旺盛な時期に多発しやすいことが推察された。

(11) 萌芽期のいもを用い、切断後の経過日数を変えることにより、Callus の形成程度を違えて、傷いもの葉害について試験をおこなった結果、Callus が未完成のうちにくん蒸すると切断部に葉害を生じやすことが判明した。しかし 7 日間以上放置し、Callus が完全に形成された後は葉害を防止できる。切断部以外の部分の葉害発生は、Callus の形成段階の異なるいもの間に顕著な相違は認められなかった。

(12) いもの大きさによる methyl bromide 感受性の差異は、休眠期においては小さいもがやや葉害を起しやすく、萌芽期においては大きいもが幼芽の伸長が早いと逆に関与性が高かった。

VI 引用文献

- Appleman, C.O. & E.V. Miller (1926) A chemical and physiological study of maturity in potatoes. J. Agr. Res. 33: 569-77.
- Blackith, R. F. (1950) Susceptibility of seed potatoes to the vapour of methyl bromide. J. Sci. Food Agr. 1: 240.
- Blackith, R. F. (1952-a) Fumigation of agricultural products. III Effect of high doses of methyl bromide vapour on seed potatoes and progeny. J. Sci. Food Agr. 3: 487-91.
- Blackith, R. F. (1952-b) Fumigation of agricultural products. IV Susceptibility of dressed seed potatoes to injury by methyl bromide vapour. J. Sci. Food Agr. 3: 491-3.
- Frezal, P. et al (1951) Action of glycol monochlorohydrin and methyl bromide utilized under

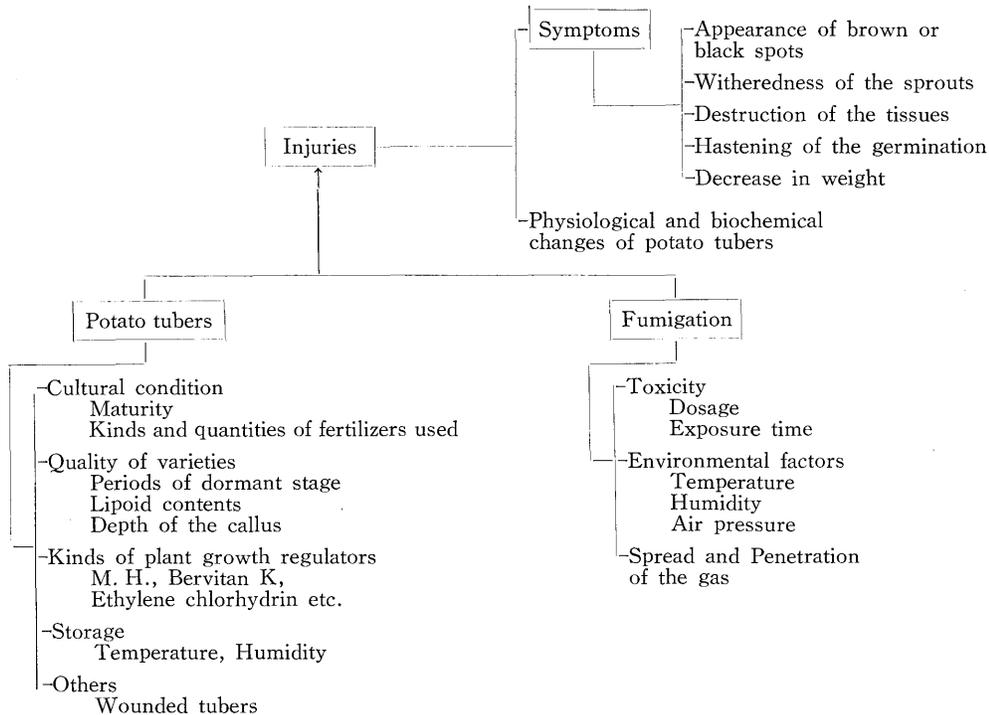
- atmospheric pressure and under partial pressure on the latent period and the germination of seed potatoes. Compt. Rend. Acad. Agr., France 37: 556-61. (Biol. Abst. による)
- Grunberg, A., Polacék, K. & J. Peleg (1956) Fumigation trials with ethylene dibromide for the control of eggs and larvae *Ceratitis capitata* (WIED.) in citrus fruit. Bull. Ent. Res. 46: 803-11.
- 石田栄一, 柏 司, 吉岡謙吾 (1955) 生果実の薬害. 神戸植物防疫情報 No. 90. p. 2.
- 柏 司 (1955) 薬害を防ぐ方法如何. 神戸植物防疫情報 No. 88. p. 4.
- 川上幸治郎 (1948) 馬鈴薯通論. 324 pp, 東京, 養賢堂.
- Knott, J. E. & L. L. Claypool (1941) Some responses of tomato fruits to methyl bromide fumigation. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 38: 501-6.
- 木場三朗 (1958) 負傷植物の治癒反応に関する研究. III 負傷馬鈴薯における Peroxidase, Cytochrome Oxidase および Tyrosinase の活性の変動. 九大農学芸誌 16: 465~72.
- Lindgren, D. L. & W. B. Sinclair (1953) Effect of ethylene dibromide and ethylene chlorobromide fumigation on citrus and avocado fruits. J. Econ. Ent. 46: 7-10.
- Lubatti, O. F. & B. Smith (1948) Determination of fumigant. XX Sorption of methyl bromide by potatoes. J. Soc. Chem. Ind. 66: 347-54.
- 松山良三 (1951) メチルブロマイドガスの検出法並に分析法. 植物検疫資料 (とう写) No. 2. 14 pp.
- Moore, Wm. & J. J. Willaman (1917) Studies in greenhouse fumigation with hydrocyanic acid: physiological effects on the plant. J. Agr. Res. 11: 319-38.
- Phillips, W. R. (1939) Methyl bromide injury to apples. J. Econ. Ent. 32: 144.
- Priestley, J. H. (1923) The healing of wounds in potato tubers and their propagation by cut sets. Ann. Appl. Biol. 10: 96-115.
- Richards, H. M. (1896) The respiration of wounded plants. Ann. Bot. 10: 531-82.
- 坂村 徹 (1951) 植物生理学, 上 587 pp., 下 295 pp., 東京, 裳華房.
- Singh, B. N. & P. B. Mathur (1937) Studies in potato storage: Investigation of physiological and chemical changes during the development and ripening of potato tubers. Ann. Appl. Biol. 24: 469-74.
- Smith, O. (1929) Effect of various treatment on the carbon dioxide and oxygen in dormant potato tubers. Hilgardia 4: 273-306.
- Southwick, F. W. (1945) The influence of methyl bromide on the rate of respiration and softening of apples. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 46: 152-8.
- Sun, Y. (1946) An analysis of some important factors effecting the results of fumigation tests on insects. Minn. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. No. 177. (柏訳, 神戸植物防疫情報 No. 61)
- 田川 隆, 岡沢養三, 酒井隆太郎 (1949-a) 馬鈴薯の生理形態学的研究. 第1報 貯蔵期間中に於ける貯蔵炭水化物の消長並びに塊茎組織の生理的变化に就いて. 北海道採種連資料 No. 4. 17 pp.
- 田川 隆, 岡沢養三, 酒井隆太郎 (1949-b) 馬鈴薯の生理形態学的研究. 第2報 生育期間中に於ける塊茎内貯蔵炭水化物の消長並びに塊茎組織の生理的变化に就いて. 北海道採種連資料 No. 5. 13 pp.
- 浦上山太, 坂本清恒, 佐藤 稔, 中須和俊 (1957) メチルブロマイドによるジャガイモガ被害いものくん蒸試験 (第1報). 門司植物防疫資料 (とう写) No. 20. 120 pp.
- 渡辺睦雄 (1956) 干渉型メチルブロマイドガス検定器. 植物検疫資料 (とう写) No. 47. 21 pp.
- 矢部長順 (1956) ジャガイモガに関する研究. 門司植物防疫資料 No. 16. 57 pp.
- 吉田貞一, 小田 保, 渡辺睦雄 (1955) 模型サイロにおける穀類のメチルブロマイドくん蒸試験. 植物検疫資料 (とう写) No. 45. 16 pp.

Summary

In Japan, the potato tubers produced in the potato tuber moth infesting area are prohibited to be moved from the area by the regulation, unless they have been fumigated with methyl bromide. In this case methyl bromide is used

at the concentration of 3 pounds per 1000 cubic feet of container (48.9 g/m^3) for 2, 3 or 4 hours at the temperature of above 15°C , $15-5^\circ\text{C}$ or below 5°C respectively. In this treatment, methyl bromide injuries have been sometimes recognized on the tubers. Thereupon,

we attempted to make clear the causes of the injuries by means of a series of experiments. The results obtained from the experimental studies are reported here. To show diagrammatically the relation between the gas injury and its causal items, it is as follows.



(A) The symptoms of methyl bromide injuries.

(1) Occurrence of brown or black spots and destruction of tissues; there appear brown or black spots of various sizes on the surface of the fumigated potatoes. They are mostly liable to occur on and around the sprouts. Sometimes we recognized a majority of small spots in the lenticels. In the heavy injury, the tubers begin to corrupt in a few days after the fumigation and the store room is pervaded with rank odors.

(2) Witheredness of the sprouts; in the slight injury, the tip of sprout becomes brownish, but in the heavy one, it withers entirely. In case that small brown spots swarm around a sprout, the sprout usually withers, though the sprouts on the other part of the same tuber are alive. The more the sprouts grow, the more they become susceptible to the fumigant.

(B) Various characters of potato tubers

which refer to the chemical injuries. In these studies we used the Danshaku variety of potato tubers except a few cases and they were usually in the state just after the true dormant stage. Moreover, the temperature at the fumigation and that in the store room were about 30°C .

(1) The potato tubers in true dormant stage; the tubers in true dormancy can not be germinated even in optimum condition. Tubers in the period between 2 and 6 weeks after harvest were most resistant to methyl bromide gas. The marginal toxicity of methyl bromide to the potato in this stage seems to be at the exposure between 8 and 10 hours for 48 grams per cubic metre of dosage of the container.

(2) Difference of susceptibility to methyl bromide gas owing to the varieties of potato; we tested the susceptibility to methyl bromide gas as to 3 varieties Danshaku, Tachibana and Unzen. We found more small brown spots in the lenticels of tubers in the Tachibana and the

Unzen varieties than in the Danshaku variety. In the formers the initial spot appeared at the lesser dosage and shorter exposure than in the latter. But in the fumigation with high concentration or long exposure the Danshaku variety was mostly injured. Mortality of sprouts did not differ among these three varieties.

(3) Maturity of potato tubers and period passed after harvest; immature tubers are more susceptible to methyl bromide gas than mature ones. It seems to be due to the insufficient callus layers in the tuber surface, the higher rate of respiration and more active physiological action. The tubers just after harvest are more susceptible to methyl bromide gas. They are affected by the gas even with 48 grams of dosage for 2 hours. Therefore, in order to prevent the gas injuries on the immature tubers, we must be careful to treat them later than 2 weeks from the time of harvest.

(4) The potato tubers treated with plant growth regulators; potato tubers were treated with Bervitan K and Maleic hydrazide under the ordinary directions and were stored for about 50 days at the Yamato farm in summer. But they could not be restrained in their germination. The tubers treated with these regulators were more susceptible to methyl bromide as compared with the non-treated tubers. It was especially so in the tubers treated with Bervitan K.

(5) The potato tubers cultivated in the soil which had been treated with D-D mixture; the tubers of the potato plants cultivated in the soil which had been treated with D-D mixture, are susceptible to the gas and more small brown spots occurred in the lenticels of their surface than in the control samples. These small spots were found only in the part of lenticels and were apt to occur in case the potato tubers were in the lively stage of metabolism.

(6) Wounded potatoes; potatotubers of which a portion had been cut off were used as the wounded tubers. On the tubers which had been in a little while after a portion had been cut off, the methyl bromide injuries were remarkable. When some fungi had lived on the wounded face there were especially noticeable. In order to prevent the gas injury of the wounded tubers, it might be well to fumigate them about

10 days later after they were wounded. Perhaps new callus will be regenerated in 7 days.

(7) The size of potato tubers; in the same metabolic stage, small tubers were somewhat more susceptible to the gas than large ones, but this effect was slight and negligible.

(C) The environmental factors in fumigation which refer to the methyl bromide toxicities.

(1) Dosage; fumigations of various dosages were carried out for the constant exposure time-2 hours. The rate of potato tubers on which we found small brown spots was 0, 7, 10 or 70% respectively for 96, 144, 192 or 240 grams of dosage per cubic metre. Mortality of sprouts was 7.5, 47.6, 74.4 or 89.2% in the above-mentioned treatment. Marginal dosage at which the gas injury occurred for the exposure time of 2 hours seemed to be 144 grams.

(2) The duration of fumigation; fumigation of various durations were carried out for the constant dosage-48 grams of dosage per cubic metre of container. The initial brown spot appeared on the tuber surface at the exposure of 4-6 hours with the gas. When it was extended to 8 hours, large black spots appeared on the surface and the spoiled tubers amounted to 30% of those tested. Mortality of sprouts was low when they were exposed to the gas for 2 to 4 hours, but it increased abruptly to 34.4% for 6 hours. It is advisable to restrict the exposure time to less than 4 hours.

(3) The temperature in the container; it is said that as the environmental temperature rises by 10°C, the exposure time must be shortened to half the time for the same dosage to obtain the same rate of injury. We obtained nearly the same result to this supposition when potato tubers were fumigated with 48 grams of dosage at 20°C and 30°C.

(4) Humidity in the container; when potato tubers were fumigated under higher humidity, we recognized more brown spots. Mortality of sprouts on the tubers fumigated with 48 grams of dosage for 6 hours indicated 34.5% under the relative humidity of about 40%, but 69.3% under the relative humidity of about 80%.

(5) The spread of the gas; moreover, we discussed in this paper about the matters that special attention must be taken in regard to the spread of gas in case of the fumigation under low temperature.