

二酸化硫黄接触による農作物の可視被害

市川 信雄* 長谷部俊雄*
高尾 欽弥** 山上 良明*

Visible Injury to Crops due to Sulfur Dioxide Fumigation

Nobuo ICHIKAWA, Toshio HASEBE, Kinya TAKAO
and Yoshiaki YAMAGAMI

46種類の作物を供試し、ビニールハウス内で0.3~0.9ppmの二酸化硫黄を接触させ、可視被害の発現状態を検討した。その結果、可視被害は葉部、とくに中~下位葉に発現し、特有の煙斑症状を示したのに対し、莖部、花部、莢、子実、果実には認められなかった。その発現症状は葉肉細胞が破壊され、灰緑~灰白色、灰褐色、黒褐色、褐色などの煙斑を生ずる急性害と葉身全体や葉脈間の一部が黄化する慢性害に大別でき、多くは急性害であった。煙斑は0.3ppmの二酸化硫黄接触では発現しない作物も相当数あったが、0.7~0.9ppm接触ではほとんどの作物に発現した。そこで、煙斑発現までの接触時間の長短をもとに供試作物の二酸化硫黄に対する相対的感受性の程度を三群に区分した。一方、ガス接触によって作物体内の硫黄含有率は高まり、とくに煙斑が発現した葉部の上昇が顕著であり、これが煙斑発現の主因と考えられた。

I 緒 言

近年、公害問題の一つとして大気汚染物質（オキシダント、硫黄・窒素酸化物、塩素、フッ素、炭化水素等）による植物被害が注目されるようになった。

これら汚染物質の一つである二酸化硫黄は、水に溶けやすく無色で刺激臭を示し、その植物影響は古くから鉱山の製錬所や化学工場から出る排煙による被害（煙害）として知られている。その研究は19世紀ドイツに始まり、第一次大戦後、主流はアメリカ、カナダに移り、O'gara¹⁰、Thomas

^{12,13,14}、Katz⁶らによって正確な条件のもとに接触実験が開始された。わが国では1927年に米丸¹⁶が初めて二酸化硫黄に関する報告を発表したが、その後、30年余りはこの種の研究はほとんど見受けられなかった。しかし、1960年代に至り、高度経済成長に伴う工業化の進展や規模拡大による工場からの排煙による二酸化硫黄の植物影響が問題化すると共に、再び二酸化硫黄接触による被害兆候、被害発現の要因や機作、農作物の感受性（煙斑発現のしやすさ）、被害鑑定法など、とくに可視被害に関する研究が盛んに行われるようになった。更に、最近では二酸化硫黄、窒素酸化物、オゾン、PAN等の複合汚染や不可視害（被害兆候を現わすまでに至らないが生理的・生化学的に障害を受けて生育不振となり、収量に悪影響を及ぼす害）に関する研究も進められている。

現在、本道では大気汚染物質による植物被害は未だ顕在化していないが、今後、予想される大規

1980年7月3日受理

* 北海道立中央農業試験場, 069-13, 夕張郡長沼町

** 同上(現北海道立天北農業試験場, 098-57, 枝幸郡浜頓別町)

模工業基地開発や人口の都市集中化などによる大気汚染の進行に備え、本道独自の研究資料の蓄積が要望され、かかる事情を背景に道立中央農業試験場において1973年以來、一次汚染物質の一つである二酸化硫黄接触による農作物影響試験が進められるようになった。既往の研究の中には二酸化硫黄に対する植物の感受性や被害兆候を種類別にまとめたもの^{8,9,11,14,16}が多く見受けられるけれど、本道で栽培されている農作物、牧草、果樹に関するものは意外に少ない。そこで、著者らは大気汚染による植物影響を究明する前段階として、まずこれらの作物の可視被害兆候や感受性を把握するため、1973年度より5年間にわたり二酸化硫黄接触試験を実施し、若干の知見を得たのでここに報告する。

謝 辞

本稿を草するに当り、中央農業試験場環境保全部長南松雄博士、同化学部長奥村純一博士、同環境保全第二科長黒川春一の各氏には御校閲、御指導を賜わった。また、野菜類の栽培に際しては化学部土壤肥料第一科相馬暁研究員の御協力を得た。ここに深く謝意を表する。

II 試験方法

この試験では農作物について種類別のガス接触影響を比較しようとするのもあって、道内で栽培されている牧草、畑作物、野菜、水稻、果樹など46種類の農作物を供試したが、ガス接触施設の関係上、さらには栽培作物の種類が多岐にわたることもあって1回のガス接触到これらの供試作物をすべて供試するのが困難であったので、試験を供試作物の種類によって実験I、実験IIに分けて行った。

1. 供試作物の栽培法

実験Iでは水稻、畑作物(12種類)、牧草(8種類)、果樹(1種類)について沖積土壌を充填した1/5000 a-ワグネルポット(施肥はN, P₂O₅, K₂Oで各0.5g/pot)で、夏季接触の場合は50~60日間、秋季接触の場合は35~45日間それぞれガラス室内で栽培し、ガス接触試験に供した。実験IIでは野菜類(24種類)を播種箱内で一定期間生育させたのち、粗粒火山性土壌、沖積土壌、ピートモスの等量混合床土を充填した1.2ℓ容ポット(施肥はN, P₂O₅, K₂Oで床土1ℓ当り240mg, 600mg, 240

mg)に鉢上げし、播種後より50~90日間温室内で栽培し、ガス接触試験に供した。なお、イチゴ、りんご、アスパラガスは二年生苗を使用した。両実験に供試した作物及び品種名は後述する図-2, 3, 4に示すとおりである。

2. ガス接触施設及び方法

ガス接触試験にはビニールハウス(長さ11m, 幅4m, 容積83m³)2棟を用い、1棟をガス接触区、他を無接触(対照)区とした。ハウス内のガス発生、除去および濃度維持のための施設と機器を模式図(図-1)のように配置した。まず、100%SO₂液化ガスの一定量を空気で希釈したのちハウス内に送入し、ハウス前部ファンで、更に外気と二次希釈すると同時にハウス内に拡散させ、後部ファンで浄化(活性炭フィルター)排出した。この方法によるとガス濃度はガス送入口から4~9mの範囲で均一になるため、この部分にポット栽培した供試作物を置き、一方でこの附近の大気中のガス濃度をSO₂自動分析記録計(導電率法)で連続的に測定し、所定のガス濃度になるように送入する原ガス量を調節しながら日中のみガスを送入した。

各実験のガス接触条件は表-1に示すとおりであり、ガス濃度についてみれば、実験Iでは全供試作物に可視被害を発現させると同時にガス濃度差異による供試作物の可視被害の相違を検討するために0.3ppmとより高濃度の0.9ppmで接触を実施した。また、実験IIでは最初0.7ppmで接触を試みたが、とくに感受性の区分に際し懸念が生じたため、さらに0.33ppm, 0.65ppm, 0.88ppmと順次濃度を高めた接触も実施した。

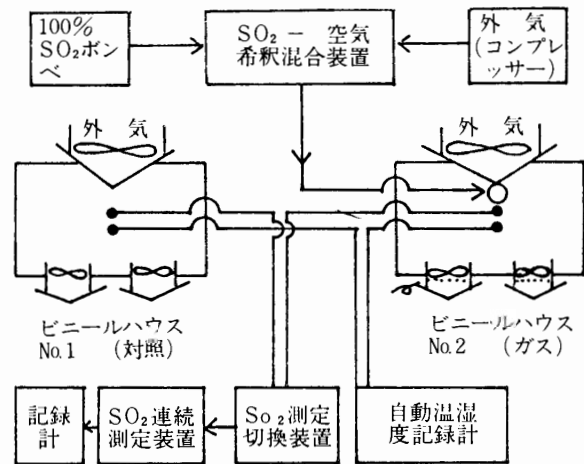


図-1 二酸化硫黄接触試験装置

表-1 二酸化硫黄接触の諸条件

実験区別	接触試験	接触時期	ガス濃度(1時間値, ppm)		接触時間数 (hrs)	温度(℃)
			変化	平均値		
実験I	48年秋 0.3ppm	9月22日 ~ 10月11日	0.30~0.36	0.33	113	13~30
	49年夏 0.3 "	6月23日 ~ 7月15日	0.26~0.33	0.28	113	16~35
	49年秋 0.3 "	9月18日 ~ 10月6日	0.28~0.33	0.30	113	14~35
	50年夏 0.9 "	6月17日 ~ 7月16日	0.78~1.05	0.87	54	25~36
実験II	51年夏 0.7ppm	6月8日 ~ 6月21日	0.68~0.76	0.70	53	17~29
	52年夏 $\left\{ \begin{array}{l} 0.33\text{ppm} \\ + \\ 0.65 \text{ " } \\ + \\ 0.88 \text{ " } \end{array} \right.$	6月20日 ~ 6月25日	0.31~0.34	0.33	36	20~30
		6月26日 ~ 6月28日	0.63~0.66	0.65	15	20~28
		6月29日 ~ 7月12日	0.85~0.91	0.88	60	20~32

3. 硫黄分析

供試作物の全硫黄分析は重量法とLeco製硫黄分析装置¹⁵⁾により行い、含有率はS%として示した。

III 試験結果

1. 可視被害症状

二酸化硫黄接触による可視被害症状は0.3ppmガス接触では発現しない作物もあったが、0.7~0.9ppmガス接触ではほとんどの作物に認められたので、主要な作物についてその特徴を表-2、写真1~6に示した。両実験とも可視被害としての煙斑(細胞組織が破壊された部分)は主に葉身に認められ、茎、莢、花、子実、果実には発現しなかった。その発現は0.3~0.33ppmガス接触では比較的緩慢であるのに対し、これより高濃度ガスでは急激であった。しかし、ガス濃度が異なっても被害症状、煙斑発現の葉位、葉身における発現部位などは類似していた。

煙斑の発現特徴を実験条件別に概観すれば、実験Iでは最初生理活性が旺盛な主稈の中位葉に多発し、激しくなると上、下位葉や分枝葉にも発現した。葉身における発現の部位はイネ科牧草、水稻、えん麦、タマネギ等、つまり平行脈を有する作物では葉身の先端部に発現し、葉脈に沿って次第に葉身基部に拡大した。網状脈を有する作物のうち豆類、馬鈴薯、りんごは主に葉脈間にソバ、ホウレン草、てん菜は葉脈間及び葉縁の両方にみられた。また、アルファルファ、赤クローバ、白クローバのマメ科牧草は、まず、葉縁に発現し、やがて葉身基部に広がる傾向にあった。煙斑の色は細胞組織が不定形に破壊された直後、灰緑色を

呈し、やがてネクロシスを起こし、イネ科牧草、菜豆類、アルファルファ等では白~灰白色、クローバ及びデントコーン、りんご、ソバ等では褐色、てん菜、大豆、馬鈴薯、水稻等では灰~黒褐色を呈した。葉の表裏についてみれば、煙斑はすべての作物で葉の表面に発現したが、小豆のように葉の裏面の方がより鮮明な場合もあった。

実験IIではアスパラガス以外は羽状及び掌状葉脈を有する作物であり、葉身の至る所に煙斑が見受けられ、イチゴ、ニンジン、ゴボウ等は葉縁に、キュウリ、ナス、キャベツ等は葉脈間に、トマト、ハクサイ、ナンバン、ミツバ等は葉縁と葉脈間にそれぞれ主として発現(初発)する傾向にあった。また、煙斑はネクロシスを生じた時点で、実験Iと同様に白色、褐色、黒褐色などを呈したが、大半は褐色~橙色を帯びていた。アスパラガスは擬葉の先端に発現し、激しくなればさらに中間まで拡大し、擬葉全体がカールする場合があり、ほぼイネ科牧草の発現経過に類似していた。葉位別にみれば、ナンバン、ピーマンで上位葉に発現するが、多くは中~下位葉に見受けられ、実験Iで中位葉に多発したのに対し、やや異なった傾向を示した。

一方、煙斑が発現しない場合でもガス接触終了時点で葉全体あるいは葉脈間、葉縁部に鮮明なクロロシス症状を生ずることが多く、この傾向は作物別では豆類、カボチャ、キュウリ、メロン、スイカ、キャベツ、セルリーなどで、また葉位別では下位葉が目立った。

2. 可視被害(煙斑)の発現

実験I、IIにおける各作物の可視被害発現までのガス接触延時間を図-2、3、4に示すと共に以

表-2 二酸化硫黄接触による農作物の可視被害(実験 I, IIの抜粋)

作物名	被害(煙斑発生部位、症状、色など)
ソバ	中位葉葉脈間、葉縁部に初発。上位葉では葉縁、下位葉では葉脈間に発生することが多い。煙斑色は初発時、鉛色、その後灰黄、にぶい黄、赤黄色に変色。
アルファルファ	中位葉が受け易い。煙斑は葉縁部から葉内に拡大することが多い。その色は灰緑、黄緑から灰黄に変化する。
イネ科牧草 (オーチャードグラス ケンタッキーブルーグラス トールフェスク、チモシー ペレニアルライグラス)	多くは葉身先端に発現する。激しい時に葉身中ほどにも見られる。その症状は葉縁、先端部全体がしおれ灰緑、灰黄になるもの、葉脈間に灰色、灰黄、にぶい黄、黄赤色の煙斑が発生し、時にカールする。
水稲	葉身先端の葉脈間に黄緑、灰白色、褐色の斑点。激しい時は黒褐色の条斑になり基部まで拡大。被害は展開直後の上位葉が激しい。
スイートコーン デントコーン	葉身先端から中ほどの細網脈上及び葉脈間ににぶい黄緑から黄色の斑点。葉身の先枯れもある。
小豆	中位葉に被害発生多い。葉脈間に灰白色、黄褐色の不定形の斑点。
りんご	葉脈間に淡褐色の不定形煙斑として現われ、新梢の中間部の葉に被害発生が多い。
レタス	葉先(水孔)が黒褐色を帯び、又は葉肉が犯され黄緑ないし灰褐、褐色を呈する。
イチゴ	中位葉葉脈間、葉縁に発現。初発は淡い黄緑や赤紫色の小斑であるが、その後、鮮明な黄赤色に変わる。
ナス	中位葉葉周縁が薄灰緑に脱色し、その後、褐色に変わる。
ナンバン	上・中位葉葉脈間、葉縁に褐色の小斑が多数散在。激しい時は葉全体がカールし、又は垂れ下がる。
ブロッコリー	中位葉に被害発現多い。症状は葉脈間に薄緑又は、にぶい緑から褐色を呈し、小斑になるもの、葉全体を冒されるものがある。
ハクサイ	中・外位葉の葉脈間、葉縁に発現。症状は組織が破壊され、灰緑ないし灰色を呈するが、激しい時には灰褐色になる。
ニンジン	展開直後の葉、中位葉の葉周縁が灰緑色ないし褐色、黄赤色を帯びる。下位葉は葉縁の退色が著しい。
ミツバ	葉縁、葉脈間に灰緑の不定形で発現し、その後、白味を帯びる。葉縁では時に褐色から黒褐色を呈する。
春菊	初発は中・下位葉先、葉縁に灰緑色を呈して発現することが多く、激しい時には葉の中央部まで犯され、しおれ垂れ下ったり、黄褐色や、にぶい黄赤色を呈してカールするものがある。

下に実験別に作物種類間の差異を述べると次のようである。

〔実験 I〕 0.3ppm ガス接触の場合、煙斑の発現はソバ、アルファルファが早く、牧草類やホーレン草がこれらに続き、スイートコーンはやや遅れた。オーチャードグラス、小豆、高級菜豆では煙斑が発現する場合としない場合があったけれど、発現した場合、オーチャードグラスは上記の牧草類と、また小豆、高級菜豆はスイートコーン

とほぼ同時期であった。延113時間の接触後でもペレニアルライグラス、りんご、水稻、菜豆、てん菜には煙斑は認められず、葉脈間にクロロシスを生ずるに留まった。各作物の可視被害発現(初発)までの接触時間は三回にわたる接触実験の結果によると、実験のたびにやや相違する傾向を示した。49年度の実験でも秋季接触より夏季接触の場合に短時間で煙斑が発現しており、季節(光、温湿度など)によるガス接触の影響が異なるといえる。

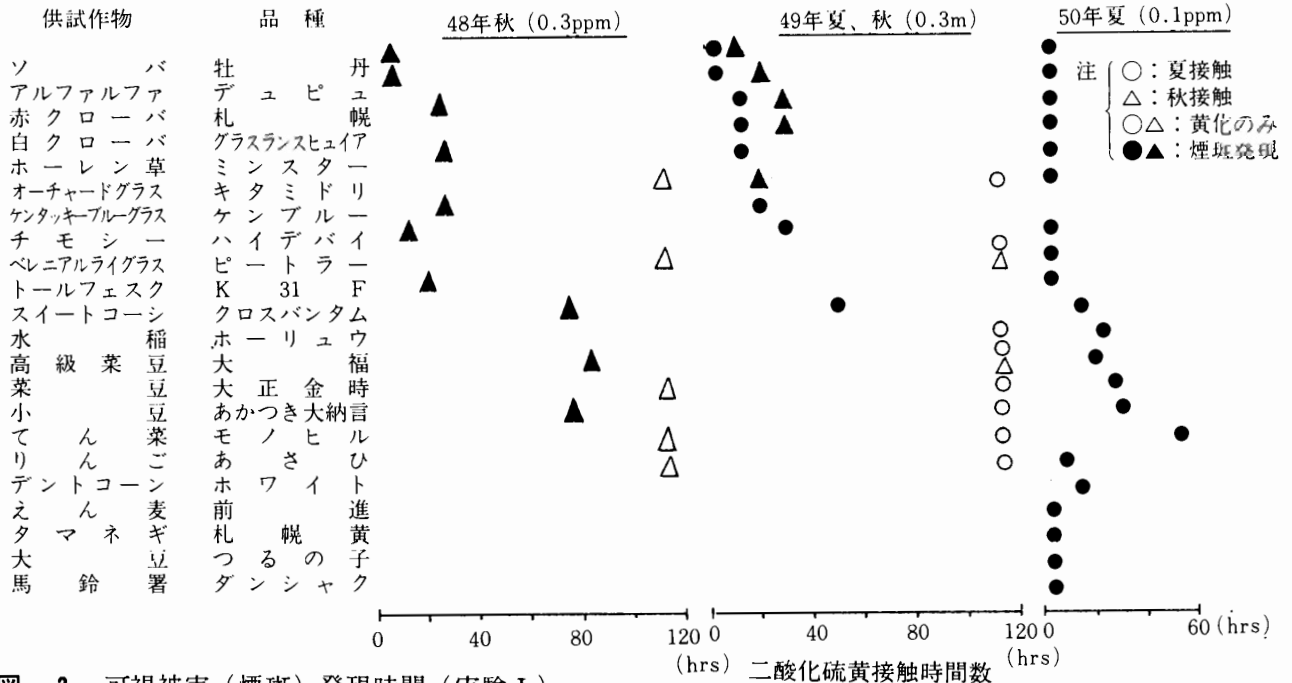


図-2 可視被害(煙斑)発現時間(実験 I)

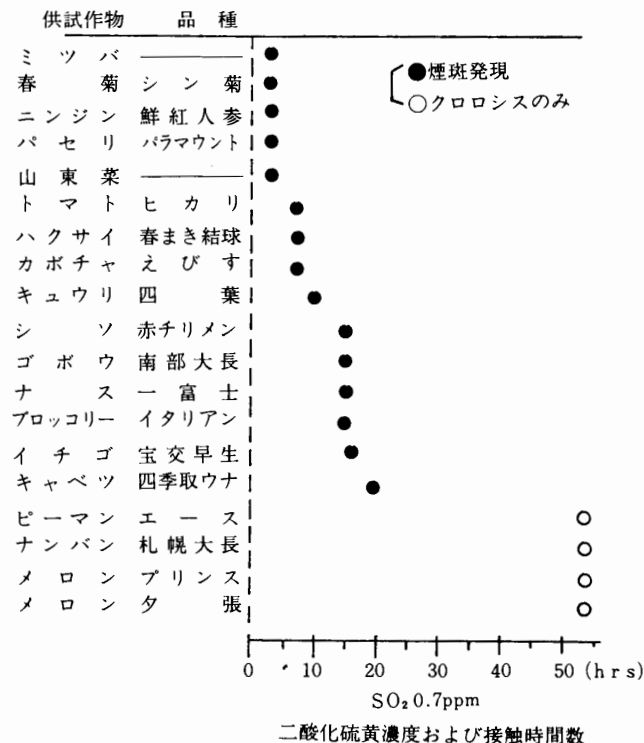


図-3 可視被害(煙斑)発現時間(実験 II)

0.9ppm ガス接触の場合、54時間の接触で供試作物22種類すべてに煙斑の発現をみた。作物別に煙斑発現の遅速をみると、0.3ppm ガス接触で煙斑が比較的早く発現したソバ、ホーレン草、牧草、それに新たに供試したえん麦、馬鈴薯、大豆などで早く(接触3.5時間後)、これらに続いてりんご(接触6.0時間後)、スイートコーン、デントコーン、高級菜豆、菜豆、水稻(接触16~22時間後)、小豆(接触30時間後)、てん菜(接触54時間後)にそれぞれ煙斑が発現した。

〔実験 II〕 0.7ppm ガス接触の場合、煙斑の発現はミツバ、春菊、ニンジン、パセリ、山東菜で早く(接触3.5時間後)、続いてトマト、ハクサイ、カボチャ、キュウリ(接触7~10時間後)、シソ(赤チリメン)、ゴボウ、ナス、ブロッコリー、イチゴ(接触15時間前後)、キャベツ(接触19時間後)と順次遅れた。ピーマン、ナンバンについては接触

10時間頃に薄緑の小斑が見受けられたが、ガス接触による被害かどうか判然としなかった。また、メロンは葉が黄化するのみで煙斑は発現しなかった。0.33ppm+0.65ppm+0.88ppm ガス接触の場合、前頃の0.7ppm ガス接触実験では接触ガスが高濃度のため接触10時間以内に供試野菜の約5割に煙斑が発現し、ガスに対して高感受性を示す野菜間では的確な感受性の差異を把握できなかった。このため、これらの作物について感受性を細区分すると共に、煙斑が発現しなかったり、判然としなかったメロン、ピーマン、ナンバンの可視被害を発現させるためにガス濃度を0.33ppm, 0.65ppm, 0.88ppm と順次高めて再度ガス接触を実

施した。この結果、0.7ppm ガス接触に供試した作物について煙斑発現の順位をみると、0.7ppm 接触に比べニンジン、ナス、パセリの発現がやや遅いものの、他は両接触ともほぼ同様な結果を示した。ただ、0.7ppm 接触で被害が明らかでなく、感受性の判定が困難であったメロン、ピーマン、ナンバンのうちピーマン、ナンバンに可視被害を発現させることができ、ナンバンよりピーマンの方が高感受性を示すことが明らかになった。新たに供試した野菜類の煙斑発現はレタス、シソ(チリメン青)が早く、続いてエンドウ、アスパラガス(新茎)であり、カリフラワーはこれより遅れた。なお、アスパラガスで煙斑が発現した茎(新茎)

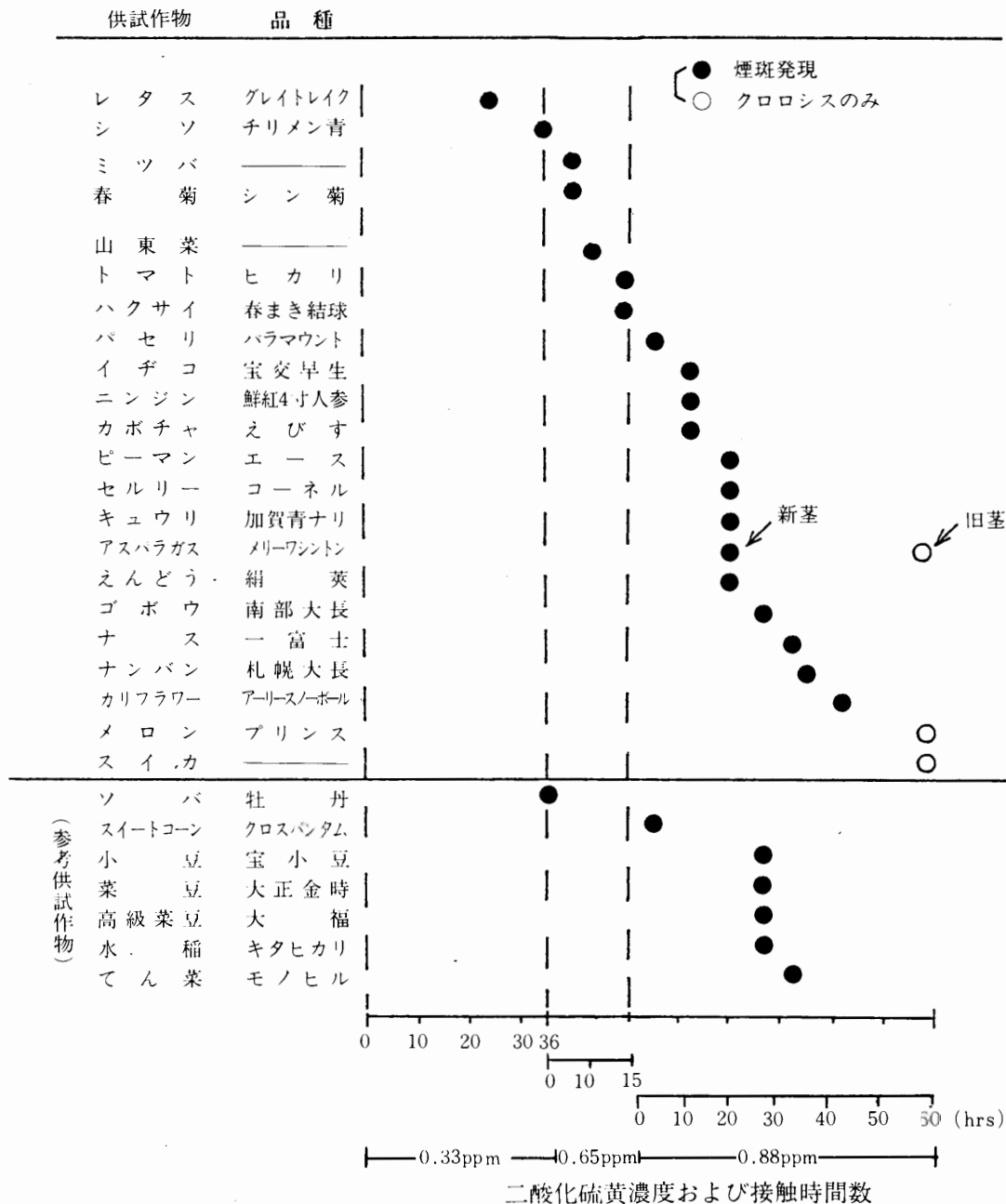


図-4 可視被害(煙斑)発現時間(実験II)

はガス接触中に生長したもので、接触時に既にあった茎(旧茎)には煙斑が見受けられなかった。これは生育ステージの早い段階で被害を受け易いことを示唆し、ガス接触影響が生育ステージによって相違することが伺われた。この実験では実験 I に用いた 7 種の作物を比較のために供試した結果、レタス、シソ(チリメン青)はソバとイチゴ、キュウリ、ピーマン、ゴボウ等はスイートコーン、豆類、水稻等と、また、ナス、ナンバンはてん菜とそれぞれほぼ同時期に煙斑の発現が見られた。

3. 二酸化硫黄に対する相対的感受性

同一濃度のガス接触では高感受性の作物ほど短時間の接触で可視被害が発現すると考えられるので、感受性の程度を可視被害発現までのガス接触時間数の長短によって分けた。まず、実験 I の場合、0.9ppm ガス接触において接触3.5時間で煙斑が発現したものを感受性「大」とし、接触6~30時間までを「中」、それ以降に発現したものを「小」、また、感受性「大」のうち、0.3ppm 接触においてとくに被害発現の早いものを「極大」として供試作物を4.群に区分し、表-3に示した。

実験 II の場合、0.7ppm ガス接触実験では接触3.5時間と接触15.5時間を、また、0.33ppm+0.65

ppm+0.88ppm 接触実験では〔0.33 ppm (36時間)+0.65ppm (10時間)〕と〔0.33ppm (36時間)+0.65ppm (15時間)+0.88ppm (26.5時間)〕を基準とし、感受性を「大」、「中」、「小」に分け、さらに感受性「小」には0.33ppm+0.65ppm+0.88 ppm ガス接触で可視被害の発現しない作物も加えて3群に区分した。なお、両接触実験で感受性の程度が異なる作物(パセリ、ニンジン、ピーマン、ナンバン、イチゴ、ナス)は0.33ppm+0.65ppm+0.88ppm 接触の接触時間数を基にした。この結果、供試作物の感受性は表-4のように区分できた。この中でアスパラガスの新茎は旧茎より、またシソのチリメン青は赤チリメンより高感受性を示しており、同一作物でも生育ステージや品種間で感受性に違いのあることが考えられた。

4. ガス接触による作物体の硫黄含有率変化

実験 I に供試した一部の作物について部位別の硫黄含有率をみれば(表-5)、ガス接触によって各部位とも一様に高まるものの、その増加程度は部位によって異なり、可視被害の発現した葉部(葉身)で著しく、茎部、莢部、花・種実部では僅少であった。したがって、とくに含有率の増加が顕著であった葉身を対象として0.3ppm 及び0.9 ppm ガス接触(実験 I)における硫黄含有率の変

表-3 供試作物の相対的感受性(実験 I)

感受性の区分	作物名
極大	ソバ、アルファルファ
大	ホーレン草、赤クローバ、白クローバ、ケンタッキーブルーグラス、トールフェスク、チモシー、オーチャードグラス、えん麦、ペレニアルライグラス、大豆、タマネギ、馬鈴薯
中	水稻、りんご、スイートコーン、デントコーン、小豆、菜豆、高級菜豆(大福)
小	てん菜

表-4 供試作物の相対的感受性(実験 II)

感受性の区分	作物名
大	レタス、シソ(チリメン青)、春菊、山東菜
中	トマト、ハクサイ、パセリ、イチゴ、ニンジン、カボチャ、ピーマン、セルリー、キュウリ、ゴボウ、アスパラガス(新茎)、エンドウ、ブロッコリー、シソ(赤チリメン)
小	キャベツ、カリフラワー、アスパラガス(旧茎)、ナス、ナンバン、メロン、スイカ

化をみた。0.3ppm ガス接触（表-6）において、ソバからスイートコーンまでの6作物は煙斑発現後、数時間経過し、ネクロシスを生じた時点の試料についての分析値であり、またペレニアルライ

表-5 部位別の硫黄含有率
(48年秋季0.3ppm SO₂)

作物名	部位*	T - S (%)		
		ガス区**	対照区	ガスによる増加
ソバ	上位葉	1.181	0.254	0.927
	下位葉	1.077	0.353	0.724
	茎	0.083	0.078	0.005
	花・実	0.189	0.167	0.022
アルファルファ	葉	1.742	0.332	1.410
	茎	0.178	0.087	0.091
赤クローバ	葉	0.761	0.097	0.664
	茎	0.114	0.065	0.049
高級菜豆 (大福)	上位葉	0.601	0.271	0.330
	下位葉	0.447	0.248	0.199
	茎	0.372	0.328	0.044
	莢	0.223	0.200	0.023
小豆	葉	0.495	0.267	0.228
	茎	0.367	0.357	0.010

* 葉部は葉身,上,下位葉は草丈の中央にて区分。
** ソバは接触65時間,他は113時間後の値。

グラスからてん菜までの7作物は煙斑を認めないが、クロロシスを生じていた接触終了時点の試料についての分析値である。煙斑が比較的早く発現したソバから赤クローバまでは接触時間の長いほど増加量が大きい傾向にあるのに対し、白クローバ、スイートコーン、それに煙斑の認められない作物を含めた比較では必ずしも傾向的なものは見られなかった。また、単位時間当りの硫黄含有率増加量（硫黄吸収速度）は感受性「大」を示す作物（ソバ、ホーレン草、アルファルファ、赤クローバ、白クローバ）で大きな値を示した。0.9ppm ガス接触（表-7）では煙斑発現時点の硫黄含有率であり、ガス接触による葉身の硫黄の増加量は作物によって様々であった。なお、煙斑発現までの接触延時間数と硫黄含有率増加量との間に有意な正の相関(r=0.919**)を示したが、吸収速度との間に判然とした関係は得られなかった。

両実験において煙斑が発現した葉身の硫黄増加量や硫黄吸収速度を接触ガス濃度間で比較すれば、増加量は長時間接触した0.3ppm ガス接触の方が多く、吸収速度は高濃度の0.9ppm ガス接触で大きい傾向にあった。

なお、0.7ppm ガス接触では煙斑の発現が早い作物で吸収速度が大きい様相を示した。

表-6 葉身の硫黄含有率

(49年夏季0.3ppm SO₂)

作物名	接触時間 (時) (t)	T - S (%)			吸収速度 (A/t×100)
		ガス区	対照区	ガスによる* 増加(A)	
ソバ	12	0.623	0.482	0.141	1.175
ホーレン草	22	0.564	0.401	0.163	0.741
アルファルファ	44	1.013	0.380	0.633	1.439
赤クローバ	44	0.666	0.165	0.501	1.139
白クローバ	44	0.476	0.241	0.235	0.534
スイートコーン	93	0.427	0.203	0.224	0.241
ペレニアルライグラス	113	0.385	0.218	0.167	0.148
オーチャードグラス	113	0.386	0.108	0.278	0.246
水稲	113	0.348	0.115	0.233	0.206
大福 (上位葉)	113	0.768	0.512	0.256	0.227
大福 (下位葉)	113	0.618	0.476	0.142	0.126
菜豆	113	0.706	0.480	0.226	0.200
小豆	113	0.612	0.366	0.246	0.218
てん菜	113	0.704	0.450	0.254	0.225

* ガス区-対照区

表-7 葉身の硫黄含有率(煙斑発現時点)

(50年夏季0.9ppm SO₂)

作物名	接触時間(時)(t)	T - S (%)		吸収速度 (A/t×100)
		対照区	ガスによる* 増加(A)	
ソバ	3.5	0.321	0.062	1.771
ホーレン草	3.5	0.303	0.054	1.543
アルファルファ	3.5	0.700	0.041	1.171
赤クローバ	3.5	0.261	0.114	3.257
白クローバ	3.5	0.291	0.133	3.800
ペレニアルライグラス	3.5	0.224	0.057	1.629
チモシー	3.5	0.155	0.064	1.829
オーチャードグラス	3.5	0.184	0.082	2.343
トールフェスク	3.5	0.281	0.057	1.629
えん麦	3.5	0.333	0.054	1.543
タマネギ	3.5	0.357	0.130	3.714
馬鈴薯	3.5	0.937	0.180	5.143
大豆	3.5	0.098	0.056	1.600
スイートコーン	16.5	0.152	0.151	0.915
デントコーン	16.5	0.109	0.156	0.946
水稲	22.0	0.342	0.212	0.964
高級菜豆	22.0	0.198	0.120	0.546
菜豆	22.0	0.186	0.263	1.196
小豆	30.0	0.170	0.522	1.740
てん菜	54.0	0.337	0.847	1.569

* ガス区-対照区

IV 考察および論議

1. 可視被害の型

一般に大気汚染物質による農作物被害は肉眼的に判別できるものと、肉眼的に異常が認められないが、作物の光合成や体内代謝の攪乱など生理的障害に留まるものとに大別され、それぞれ可視被害及び不可視被害と呼んでいる。可視被害は被害が発現する過程によって、さらに急性型、慢性型、両者のまじった混合型に区分されている⁹⁾。急性型は被害の発現進行が急激であり、原因となった汚染物質によって特有の症状(煙斑)を示す。慢性型は被害の進行が緩やかで葉の黄化、異常及び早期落葉、生育不良など生理的障害が特徴である。本試験において葉部に発現した被害によって、これらの型を具体的に説明すれば、0.9ppm, 0.7ppm, 0.33ppm+0.65ppm+0.88ppm ガス接触の被害は特有の害徴を呈し、ほとんどが急性型であった。メロン、スイカ、0.3ppm ガス接触のてん

菜などの害徴は慢性型の典型的なものであり、0.3ppm ガス接触の高級菜豆、菜豆、小豆などのように被害発現の遅い作物やキュウリ、カボチャの下位葉などのものは混合型といえる。なお、低濃度ガス(0.3ppm)接触の小豆のように葉の表面よりも葉の裏面の被害が鮮明な場合もあったが、大部分の被害は葉の表面に発現し、しかもその症状にガス濃度差異が認められないことはガスが比較的高濃度のため発現した被害の多くが急性型に属したためであろう。

本論文では個々の作物につき二酸化硫黄接触による可視被害症状の特徴を述べるとともに、葉の形態に応じ煙斑の発現部位に違いのあることを示したが、これらは既往の文献^{9,11)}とほぼ一致する結果であった。

2. 感受性の区分

両実験において、供試作物の二酸化硫黄に対する感受性を可視被害発現までのガス接触時間数の長短により「大」、「中」、「小」に分け、前掲の表

-3, 4にまとめた。0.33ppm+0.65ppm+0.88 ppm ガス接触の際に表-3の感受性区分の中から各群の代表的作物7種類を選び、野菜類の煙斑発現時間と比較検討したところ、これらの作物は実験IIでも実験Iと同様の感受性グループに含まれる接触時間帯に煙斑が発現し、両実験の感受性区分に著しい相違が認められないので表-3, 4を一括して妥当性があると考えられる。この時、表-3の感受性「極大」のソバ、アルファルファは「大」として取り扱うのが適当であろう。

二酸化硫黄に対する植物の感受性区分はO'garaのデータを基にThomasらがまとめたもの¹⁴⁾が有名であり、本試験の区分と比較すれば、感受性「大」の作物が「小」に属するという極端な相違はないが、若干異なった傾向が見受けられる。この理由として、彼等の実験が乾燥地域で実施されたものであるほか、区分する基準の相違が挙げられる。すなわち、彼等は各作物について可視被害が初めて発現するガス濃度を求め、これを感受性が最も高いアルファルファについて、1時間接触で被害が最初に発現した濃度(1.25ppm)で除した値を基準に区分を試みており、本試験の可視被害発現までの接触時間の長短による区分とは異なっている。

このように二酸化硫黄に対する植物の感受性区分に関する報告は環境や植物自身の要因に加え、区分に際しての基準が異なることもあって、結果に違いの生ずることが予想される。本試験では施設の関係上、先に述べた様な感受性を左右する条件をすべて一律にすることが困難であったほか、一接触試験に一ガス濃度しか設定し得なかったという制約があった。しかし、この感受性の区分表は数回の接触結果を集約化したものとして、道内の主要作物の二酸化硫黄に対する感受性を比較する場合に一助となるものである。また、大気環境の監視の一手段として植物指標を用いる考え方があり、この場合にある種の汚染にとくに感受性の高い植物を指標植物というが、この指標植物を選定するに当たっても本試験の結果が役立つものといえる。

3. 硫黄吸収

一般に二酸化硫黄は炭酸ガスと同様に主として気孔より葉内に吸収され、過剰の硫黄酸化物として葉内に蓄積するといわれている¹⁵⁾。本試験にお

いてもガス接触による硫黄含有率の増加量は葉部で著しく高く、その他の部位では変化が少ない。このため葉部の硫黄含有率や葉部と茎部の硫黄含有率の比などはガス接触の有無を判定する際に役立つ点と考えられる。この場合、藤原²⁾も指摘しているように被害発現時の硫黄含有率はガス濃度によって異なるということは注意すべき点である。本試験でも0.3ppm接触の各作物葉の含有率増加は0.9ppm接触の約1.5~15倍にある。0.3ppm接触の試料採取時期は煙斑が褐変した時点であるが、煙斑発見後、数時間で大幅な含有率の上昇は考えられず、藤原が述べている様に高濃度ガスに比べ低濃度ガスではより高い含有率で始めて被害が発現する可能性が考えられた。

感受性の大小はガスが葉内に侵入する際の難易と気孔より吸収されたのち、可視被害が発現するまでの硫黄吸収許容量に関係があり、低濃度ガスでは吸収量が、高濃度ガスでは吸収速度がそれぞれ大きな要因になると考えられる⁴⁾。

本試験では0.3ppmガス接触で比較的早期に被害が発現した場合や0.9ppmガス接触の場合に被害発現までの接触時間の長い作物ほど硫黄含有率の増加量が大きかった。なお、吸収速度は低濃度接触に比べ高濃度接触で、また感受性「大」の作物で大きな値を示す場合があった。しかし、作物種類間の感受性差異のすべてを硫黄の吸収速度と吸収量だけで説明することは今回の試験結果だけでは困難であり、今後、吸収された硫黄の形態変化や気孔の開閉に及ぼす影響などを含め、総合的に検討する必要があると考える。

4. 可視被害発現に影響を及ぼす要因

実験Iのなかで0.3ppmのガス接触を3回実施したが、そのたびに作物葉の被害発現時間が異なった。この場合、被害の発現は晴天で高温の日早く、また、供試作物の品種が同じで生育ステージがほぼ同程度のものを用いたにもかかわらず、夏季接触に比べ低温で日射の弱い秋季接触の場合に被害の発現が遅かった。更に、実験IIでシソについてチリメン青と赤チリメンの両品種で、また、アスパラガスのように同一株でも新茎と旧茎でそれぞれ可視被害発現に遅速がみられた。

大気汚染物質による可視被害の発現にはガス濃度、接触時間、接触時の気象条件(光、温度、湿度など)が支配的に働くけれど、さらに作物自身

の被害を受ける難易（感受性の大小）が問題になる。この作物の感受性の大小は品種，生育段階，栄養状態によっても当然異なることが考えられる^{1,3,5,7)}。今後，ここで得られた知見をもとに可視被害と環境要因との関係を可視被害の発現し易い作物を中心に検討してゆく必要があると考える。

以上，作物は二酸化硫黄を気孔から吸収し，葉内に硫黄を蓄積するため，葉身に作物特有の可視被害が発現する。この被害は急性，慢性および両者の混合した型の三つのタイプに分けることができ，急性型の可視被害発現のしやすさを感受性とみなし，作物の種類別に感受性の差異を明らかにした。この中で，可視被害発現にはガス濃度と共にガス接触時の環境（気象条件）や作物自体の生育ステージ，品種などの要因が影響することや感受性の区分は指標作物を選定する際に役立つことなどを示唆した。指標作物としては感受性の大きい作物，すなわちソバ，アルファルファが適当であり，栽培や可視被害の判定のしやすさを考慮すれば，ソバがより好ましいと考えられる。一方，ガス接触による葉の硫黄吸収を可視被害発現の難易から検討したいが，接触時の気象条件との関係については明らかにできなかった。

したがって，今後は日射量や温湿度の制御ができる接触施設を用いて，本試験より多くのガス濃度差異を設けた接触実験を繰返して実施し，可視被害に及ぼす環境要因の影響，葉の硫黄吸収と可視被害の関係，被害鑑定法，さらには不可視害などの検討を行う必要がある。

引用文献

- 1) Brewer, R. F., Guillemet, F. B., Crevling, R. K. "Influence of N-P-K fertilization on incidence and severity of oxidant injury to mangels and spinach". *Soil. Sci.* **92**, 289~301 (1963).
- 2) 藤原 喬. "大気中の低濃度 SO₂ 吸収による植物の硫黄蓄積と徴候発現". *日植病報*, **34**, 336~341 (1968).
- 3) 藤原 喬. "大気中の SO₂ に対するブドウの障害感受性について". *園学誌*, **39**, 219~223 (1970).
- 4) 井上敏雄. "亜硫酸ガスによる樹木の被害". *植物防疫*, **27**, 224~228 (1973).
- 5) Juhren, M., Noble, W., Went, F. W. "Effects of temperature, photoperiod, and light intensity during growth of the test-plants." *Plant. Physiol.* **32**, 576~586 (1957).
- 6) Katz, M. "Sulfur dioxide in atomosphere and its relation to plant life." *Ind. Eng. Chem.* **41**, 2450~2465 (1949).
- 7) Macdwell, D. H. "Predisposition of tabacco to ozone damage". *Can. J. Plant Sci.* **45**, 1~12 (1965).
- 8) 松島二良, 原田 学. "果樹の低抗性ならびに柑橘類の落葉および生育に及ぼす影響". *三重大学報告*, **30**, 11~32 (1964).
- 9) 農林水産技術会議事務局監修. "大気汚染による農作物被害症状の標本図譜". 関東五県, 1976.
- 10) O'gara, P. J. "Sulfur dioxide and fume problems and solutions". *Abstract in Ind. Eng. Chem.* **14**, 744 (1922).
- 11) 大気汚染研究全国協議会第7小委員会編 "大気汚染植物被害写真集". 日本公衆衛生協会, 1973.
- 12) Thomas, M. D., Hill, G. R. "Relation of sulfur dioxide in the atomosphere to photosynthesis and respiration of alfalfa". *Plant Physiol.* **12**, 309~383 (1937).
- 13) Thomas, M. D., Hendricks, R. H., Hill, G. R. "Sulfur metabolism of plants. Effect of sulfur dioxide on vegetation". *Ind. Eng. Chem.* **42**, 2231~2235 (1950).
- 14) Thomas, M. D., Hendricks, R. H., "Effect of air pollution". *Air pollution hand book*. Magil, P. L. and Holen, F. R. ed. McGraw-Hill, 1956, p 9-7-9-9.
- 15) 山添文雄, 真弓洋一. "大気汚染による植物被害の鑑定法に関する研究". *農研報告*, **B27**, 1~60 (1975).
- 16) 米丸忠太郎. "亜硫酸ガスの植物に及ぼす障害作用について". *農業試報*, **27**, 1~102 (1927).

Visible Injury to Crops due to Sulfur Dioxide Fumigation

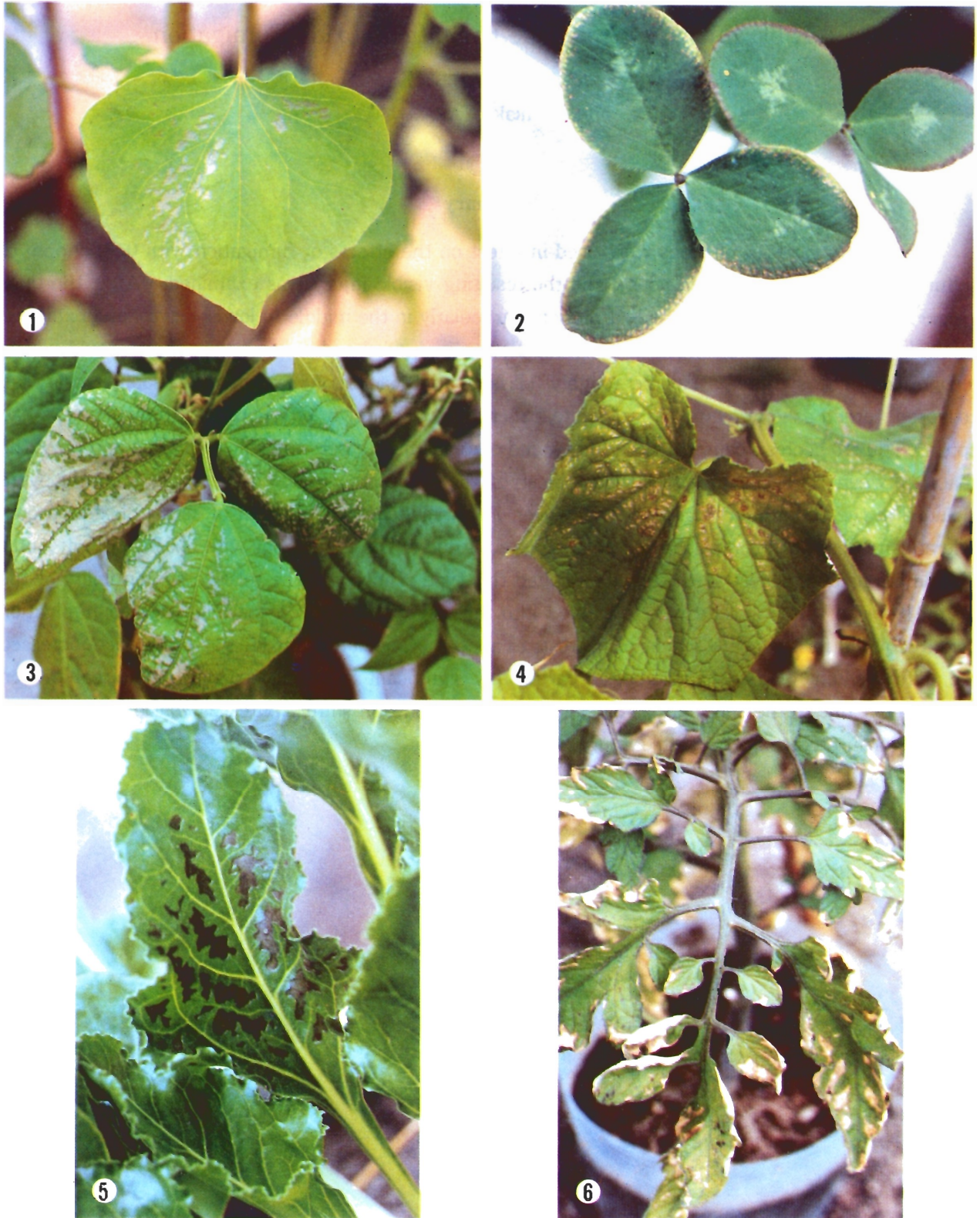
Nobuo ICHIKAWA,*Toshio HASEBE,*Kinya TAKAO**
and Yoshiaki YAMAGAMI*

Summary

Forty-six varieties of crops were used in a test on the effects of fumigation with 0.3–0.9 ppm of sulfur dioxide in a plastic green house, and the resulting visible injury was examined. After the tests visible injury was recognized in the leaf portion, particularly in the middle to lower leaves, and exhibited particular symptoms. In contrast, in the stem, flower, pod, seed and fruit portions injury could not be recognized. The symptoms can be roughly classified into acute injury where mesophyll cells had collapsed, turned ashen green to ashen white, ashen brown or brown, or where dark brown specks had appeared due to necrosis caused by the fumes, and chronic injury where the whole leaf or a portion of the space between the veins was yellowed. Most of the symptoms revealed in the leaf portion were included in the acute injury category. However, in fumigation with 0.3 ppm of sulfur dioxide, a considerable number of the crops showed no acute specks due to the fumes, but with 0.7–0.9 ppm of sulfur dioxide fumigation, almost all the crops exhibited this type of injury. The relative susceptibility of the tested crops to sulfur dioxide were classified into three groups based on the length of the fumigation period required for the acute specks of necrosis to appear. The sulfur dioxide gas fumigation increased the sulfur content of the tested crops, a particularly significant increase occurring in the leaf portion where injury due to the sulfur fumes appeared. This increase in sulfur content is considered to be the main factor in producing the visible injury.

*Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13, Japan

**Hokkaido Prefectural Tenpoku Agricultural Experiment Station, Hamatonbetsu, 098-57, Japan.



二酸化硫黄接触による可視被害症状

写真-①:	ソバ	0.3ppm-20hrs後	葉内に淡い鉛色の煙斑
写真-②:	赤クローバ	0.3ppm-50hrs後	葉縁に褐色の微細斑点
写真-③:	菜豆	0.9ppm-47hrs後	展開直後葉の葉縁、葉脈間が灰白に脱色
写真-④:	キュウリ	0.7ppm-32hrs後	葉脈間に褐色の小斑散在
写真-⑤:	てん菜	0.9ppm-54hrs後	葉脈間に不定形な黒褐色の煙斑
写真-⑥:	トマト	0.7ppm-25hrs後	葉縁、葉脈間に褐色の煙斑、激しい時カールする