

二酸化窒素接触による農作物の可視被害

市川 信雄* 山上 良明*
長谷部 俊雄* 黒川 春一*

農作物14種類を供試し、自然光型人工気象室内で4~24 ppmの二酸化窒素を短時間接触させ、可視被害の発現状態を検討した。その結果、可視被害は各作物とも共通に葉部、とくに中位葉に多発し、他の部位には認められなかった。その発現症状は急性型の可視障害に属し、多くは葉脈間、葉縁、葉先などに不定形の小煙斑となって発現し、最初、灰緑色を呈し、やがて脱水症状を伴って、ネクロシスを起して灰白~暗赤色を示した。接触ガス濃度の高低によって供試作物の煙斑発現の難易に差異を認めたので、これを基準としてNO₂に対する相対的感受性を三群に区分したところ、アルファルファ、赤クローバ、小豆、菜豆の4作物が高感受性を示した。ガス接触による葉身の全窒素(T-N)はすべてのガス接触で、また、NO₃-N、NO₂-Nは高濃度ガス接触でそれぞれ高まる傾向にあった。とくに、高感受性の作物ではNO₂-Nの上昇が大きい傾向を示し、感受性と葉中のNO₂-N集積との間に密接な関連性がうかがえた。

I 緒 言

大気汚染は昔、「煙害」といわれ、その被害も局地的なものであり、大気中へ放出される汚染物質としては硫酸酸化物が有名であった。しかし、近年は経済の高度成長過程において、産業活動の活発化、モーターゼーションの進展、あるいは人口の都市集中化などを背景に大気汚染状態は広域的なものになると同時に発生源の多様化によって多種の汚染物質が確認されるようになり、これら種々の汚染物質について人間や植物に対する影響も含め、その対策が問題となってきた。

筆者らは今後、予想される大気汚染の進行に備え、本道独自の資料を集積するため1973年以来、大気汚染物質による農作物影響として二酸化硫黄(以下SO₂とする)について検討を進め、作物の種類別にその可視被害の発現症状をまとめると共に、相対的感受性の区分を行った³⁾。本報では引続き、一次汚染物質の一つである窒素酸化物に着目

し、その植物影響、とくに可視被害について検討しようとした。

窒素酸化物は化学工場や自動車の排気、石炭の燃焼などにより大量に発生し、大気中で光化学反応に関与し、低濃度でも作物に被害を及ぼすオゾン(O₃)、パン(PAN)などを生ずる原因物質として注目されている。窒素酸化物のうち、問題となるのは一酸化窒素(NO)と二酸化窒素(以下NO₂とする)であり、とくにNO₂はNOより毒性が強いため窒素酸化物の接触影響を研究する際の対象物質となっている。

従来、NO₂はSO₂に見られるような局地的な汚染はなく、また、SO₂より毒性が弱いこともあって被害が殆んど発見しなかったため、NO₂による植物影響の研究例は非常に少なかった。1970年代になって、研究は漸く本格的になり、数ppm~数10ppmの高濃度・短時間接触の影響として、Taylor, Maclean¹⁴⁾、藤原・石川¹⁾、松島⁷⁾などによる植物間の比較やVan Haut¹⁵⁾の光条件の違いによる影響についての報告が見られるようになった。しかし、最近では大気中のNO₂濃度が徐々に高まる傾向にあり、NO₂単独による汚染や複合汚染が懸念され、低濃度(0.3~0.5 ppm)の長期間接触、また、オゾ

1981年11月30日受理

* 北海道立中央農業試験場, 069-13 夕張郡長沼町

ン、SO₂など他の物質との複合接触による影響などが研究されている。

これら既往の研究には本道で栽培されている農作物や牧草の可視被害や感受性に関したものは僅かであり、しかも作物の種類が少ない。そこで、筆者らは道内の主要作物、牧草の可視被害症状や感受性の差異を把握するためNO₂の接触試験を実施した。その結果、若干の知見を得たのでここに報告する。

II 試験方法

最初、予備接触として短時間のガス接触によって農作物に可視被害を発現させるガス濃度を検索するため、7種の農作物を供試し、2~9.5ppmのNO₂を断続的に接触して、ある程度、煙斑の発現するガス濃度を推定した。この結果をもとに本試験ではすべての供試作物に可視被害を発現させ、その症状を把握することを主な目的としたガス接触(実験I)を実施したのち、更に、高感受性の作物を選択するためのガス接触(実験II)も行った。

1. 供試作物の栽培法

1/5000 a-ワグネルポットにテンボロン(土壤改良剤)を混合した土壤(褐色低地土)を充填し、三要素(N, P₂O₅, K₂O)を各0.5g/pot施用したのち、供試作物を播種し、ガス接触到供するまでの20~90日間、ガラス室内で栽培した。ただ、トマト、ナスは播種箱内で発芽させたのち、ポリ鉢(0.8ℓ容)に鉢上し、N, P₂O₅, K₂Oを鉢当たり各0.2, 0.4, 0.2g施用した。各実験に供試した農作物および品種名、ガス接触時の生育状況は表1に示した。

2. ガス接触方法

実験は図1に示すような温湿度制御付自然光型グロスキャビネット(2m×2m×高さ1.8m=7.2m³)内にポット栽培した供試作物を入れ、1台を対照区、他の2台をガス接触区として実施した。キャビネット内のガス濃度制御は100%NO₂を原ガスとし、流量計を通したのち、キャビネットの床面下に流し込み、送入空気(1,000ℓ/毎分)で希釈し、NO₂自動測定機(化学発光法)と一部比色法³⁾でキャビネット内のガス濃度を測定しながら一定濃度を保つようにガスの送入量を調節した。接触ガス濃度は実験Iの場合、24, 10ppm、実験

IIの場合、8, 4ppmとそれぞれ2段階を設けた。なお、詳細なガス接触条件は表2に示した。

表1 供試作物の栽培日数と生育

供試作物名	品 種 名	実 験 I		実 験 II	
		栽培日数 (日)	生 育	栽培日数 (日)	生 育
アルファルファ	サラナック	56	11 節	61	13 節
小 豆	宝 小 豆	33	本葉3葉	38	本葉4葉
赤クローバ	ハミドリ	56	草丈35cm	61	—
菜 豆	大正金時	27	本葉2葉	32	本葉4葉
ソ バ	ぼたんソバ	27	本葉6葉	32	本葉7葉
大 豆	トヨスズ	27	本葉2葉	32	本葉4葉
チ モ シ ー	センボク	56	草丈55cm	61	—
水 稲	キタヒカリ	60	茎数14	65	茎数22
キュウリ	黒さんご	34	本葉4葉	39	本葉6葉
オーチャード グ ラ ス	キタミドリ	56	草丈60cm	61	—
ト マ ト	栄 寿	83	本葉12葉	88	本葉14葉
て ん 菜	モノヒル	76	本葉10葉	81	本葉10葉
トウモロコシ	ク ロ ス ム	27	本葉6葉	32	本葉7葉
ナ ス	一 富 士	83	本葉7葉	88	本葉7葉

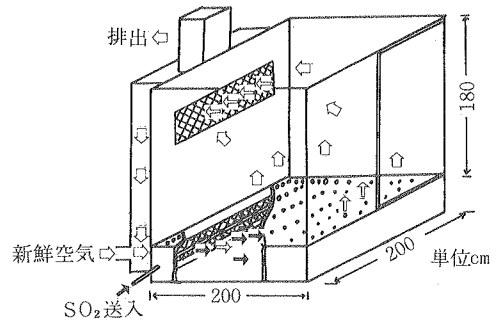


図1 ガス接触装置

表2 ガス接触条件

実 験	処 理	NO ₂ 濃度 (ppm)	接触時間 数(時間)	温度 (℃)	湿度 (%)	ガス接触時期
実験I	対 照	—	—	23.0	79.0	1979年 7月22日 11~12時
	高濃度ガス	24.0**	1.0			
	中濃度ガス	10.0	1.0			
実験II	対 照	—	—	23.0	77.0	1979年 7月27日 11~15時
	中濃度ガス	8.0	2.0			
	低濃度ガス	4.0	4.0			

* 誤差±30%

** 比色法にて測定

3. 可視被害調査

可視被害はガス接触の翌日に肉眼観察で調査し、被害率 = (総被害葉数/総葉数) × 100 と平均被害度でその程度を表わした。平均被害度は葉身の被害面積を 5 段階 (0, 1~25, 26~50, 51~75, 76~100%) に分け、それぞれ 0, 1, 2, 3, 4 の指数を与え、その指数に該当する葉の枚数を n_0 , n_1 , n_2 , n_3 , n_4 とし、下記の式より算出した。煙斑の色はマンセル色帳の色標で示した。

$$\text{平均被害度} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4}{4(n_1 + n_2 + n_3 + n_4)}$$

4. 葉の窒素分析

全窒素 (T-N) の分析には乾燥試料を供し、ケルダール法によった。硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) と亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) は -30°C に保存した試料に 10 倍量の 0.067M- NH_4Cl 緩衝液 (pH=9.7) を加え、3 分間ブレンドした抽出液 (口液) について測定した。¹¹⁾

III 試験結果

1. 可視被害症状

NO_2 接触による可視被害は各作物とも共通的に葉部に発現し、しかも急性型に属したのに対し、茎部、葉鞘部には殆んど被害が認められなかった。可視被害は上・下位葉に比べ中位葉に発現しやすく、最初、一部の葉脈間組織が不定形に破壊され、葉の表面が灰緑色に変色し、やがて脱水症状を伴ってネクロシスを起すと同時に被害面積が拡大する過程をとり、作物に特有の症状を示した。ガス濃度が異なった場合、煙斑発現の難易や被害の強さは相違するものの、被害症状、発現の葉位、葉身の煙斑発現位置などはほぼ類似した傾向にあったので、24 ppm NO_2 接触における症状を基準として供試作物の可視被害症状を表 3 にまとめた。また、一部の作物については写真 1~8 にも示した。

これらより可視被害症状の特徴を概括すれば、葉身での煙斑発現位置は平行脈を有する水稻、トウモロコシ、チモシー、オーチャードグラスの場合、多くは葉身先端から中央部の葉脈間に発現する傾向にあった。また、掌状葉脈を有するキュウリ、ソバ、羽状葉脈を有する大豆、菜豆、小豆、てん菜、トマト、ナス、赤クローバ、アルファルファなどでは葉身先端や葉縁のほか、中央部の葉

脈間など葉全体に認められ、一定の傾向を示さない場合が多かった。ただ、展開直後葉や未開葉では葉身先端部に発現する様相を示した。

煙斑の色調は橙色~黄褐色を呈する傾向にあり、作物の種類別ではアルファルファ、小豆、菜豆、キュウリ、ソバは灰白色~明黄褐色の比較的明るい色、大豆、水稻、オーチャードグラス、チモシー、トウモロコシは橙色、ナス、トマト、赤クローバ、てん菜は褐色~暗褐色の暗い色を示した(表 3)。また、赤クローバでは老葉が橙色、若葉が暗赤色と葉の老若によって煙斑の色調が異なった。

2. 煙斑発現の難易と被害程度

4 段階のガス濃度を設定し、2 回のガス接触実験を試みた結果、煙斑発現は表 4 に示すように 24 ppm 接触では全供試作物に、8~10 ppm 接触では 7~8 種類、4 ppm 接触では 4 種類に、それぞれ認められ、高濃度ガスほど多種類の作物に煙斑が発現する傾向にあった。供試作物を種類別にみれば、アルファルファ、小豆、赤クローバ、菜豆は可視被害を最も受け易く、4 ppm 接触で煙斑が認められた。また、ソバ、大豆、チモシー、水稻、キュウリは 8~10 ppm のガス接触で煙斑が認められたのに対し、オーチャードグラス、トマト、てん菜、トウモロコシ、ナスは被害を受け難く、24 ppm 接触条件下で始めて煙斑が発現した。

つぎに、被害程度を葉の被害率(図 2)、平均被害度(図 3) でみれば、両者とも接触ガス濃度の低下に伴って減少する傾向にあり、両者の間に有意な正の相関関係 ($r = 0.703^*$) が認められた。これは高濃度ガスでは被害葉が多く、かつ、葉身全体に煙斑が拡がり、低濃度では被害葉は少なく、しかも葉身の一部にしか煙斑が発現しないことを示唆している。

作物種類間の被害程度(24ppm接触)は被害率ではアルファルファ、小豆、赤クローバ、ソバ、チモシー、オーチャードグラス、トマトが他作物より高く、平均被害度では低濃度で煙斑が発現した作物ほど、おおむね高い傾向にあった。また、煙斑が始めて発現したガス濃度別に作物間の比較を行なうと、4 ppm 接触で煙斑が認められた 4 作物の場合、アルファルファ > 小豆 > 赤クローバ > 菜豆の順に被害は軽微になった。8~10 ppm 接触ではソバ ≒ 大豆 > チモシー ≒ 水稻 ≒ キュウリの傾向

表3 二酸化窒素接触による可視被害

供試作物	被害 (煙斑発生位置, 症状, 色など)
アルファルファ	煙斑は葉縁や葉脈間に発現する。激しい場合、葉全体が冒されたり、葉身中央部にも小斑が認められた。その色は灰白色～淡黄色(2.5Y8/2～2.5Y8/4)を呈した。
小豆	被害は中肋部を除き葉全体が冒されカールして巻き込むもの、葉脈間や葉縁に小斑が発現するものなどがあり、にぶい黄橙(10YR7/2)を呈した。
菜豆	小豆とはほぼ類似した症状を示したが、煙斑は黄橙～明黄褐色(10YR7/8～7/6)を呈した。
キュウリ	不定形の煙斑が葉全体に散在し、明黄褐～黄褐色(10YR7/6～5/6)を呈した。
ソバ	黄褐色～明褐色(10YR6/6～7.5YR 5/8)の不定形な煙斑が葉の先端や中央部の葉脈間に散在。また、側脈の基部から葉縁や葉先に拡大するものもある。
大豆	楕円形や不定形の煙斑が主に葉脈間に散在し、それが黄橙～橙色(10YR8/6～7.5YR6/8)を呈した。また、激しい被害の場合、側脈に沿って葉縁から中肋に向かって拡がっていた。
水稲	被害は葉身先端から中央にかけての葉脈間に帯状に発現した。その色は明黄褐～橙色(10YR7/6～7.5YR6/8)を呈した。また、葉脈間に帯状に小斑が散在する場合もあった。
オーチャードグラス チモシー	煙斑は葉身先端～中央部にかけての葉脈間に帯状に発現した。その色は橙色(5YR6/6～7.5YR7/6)であった。また、水稲同様、先端～中央部までの葉身全体が冒される場合があった。
トウモロコシ	煙斑は葉身先端から中央部に発現する。とりわけ、先端、葉縁で著しく、橙色(2.5YR7/8)を呈した。
ナス	不定形の煙斑が葉脈間に不規則に散在し、にぶい褐色(7.5YR6/3)を呈した。
トマト	煙斑は葉縁や先端から中央部に向かって拡がり、橙色(7.5YR6/4)を呈した。また、若い葉では先端部に多発し、暗褐色(7.5YR3/3)を呈し、カールした。
赤クローバ	煙斑は中肋の両側や側脈に沿って発現し、橙色(7.5YR7/6)を呈する。若葉では暗赤色(10R5/4)であった。
てん菜	外葉では一部の葉脈間に明黄褐色(10YR7/6)の不定形の煙斑が散在するのに対し、内葉では葉の先端部に発現し褐～暗褐色(7.5YR4/3～3/2)を呈した。

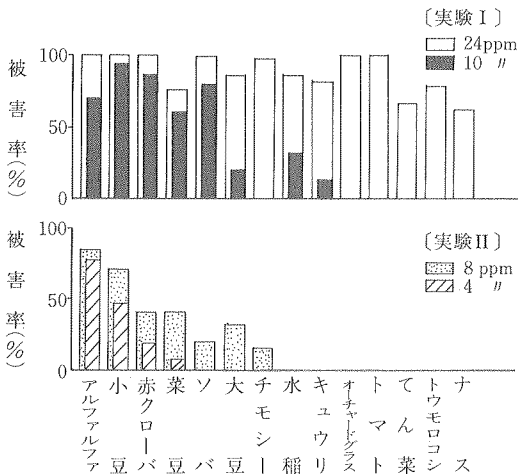


図2 供試作物葉の被害率

にあり、また、24 ppm 接触ではトマト≒オーチャードグラス< てん菜≒トウモロコシ≒ナスの様相を示した。葉別別では図4に示す様に、てん菜の場合、上位葉で被害が激しいのに対し、トウモロコシでは上・下位葉に比べて中位葉で著し

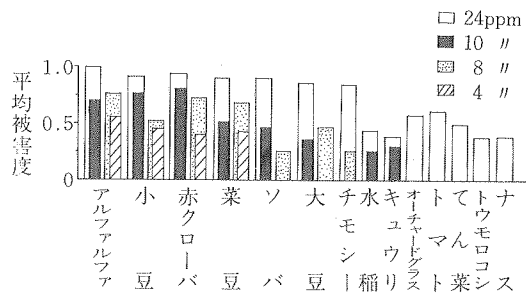


図3 被害葉の平均被害度

い被害を受けた。他の作物はトウモロコシと同傾向であった。

このように作物の可視被害は低濃度ガス接触によって煙斑が発現しやすい作物ほど著しく、とくにマメ科作物(大豆を除く)で激しい傾向にあり、また葉の老若によっても被害の程度が異なることが明らかになった。

3. NO₂に対する相対的感受性

NO₂に対して感受性の大きい作物は低濃度のガ

表 4 供試作物の煙斑発現

供試作物	実験 ガス 濃度	実験 I		実験 II	
		24ppm	10ppm	8 ppm	4 ppm
アルファルファ		+	+	+	+
小豆		+	+	+	+
赤クローバ		+	+	+	+
菜豆		+	+	+	+
ソバ		+	+	+	-
大豆		+	+	+	-
チモシー		+	-	+	-
水稲		+	+	-	-
キュウリ		+	+	-	-
オーチャードグラス		+	-	-	-
トマト		+	-	-	-
てん菜		+	-	-	-
トウモロコシ		+	-	-	-
ナス		+	-	-	-

注) +, -は煙斑発現の有無を示す

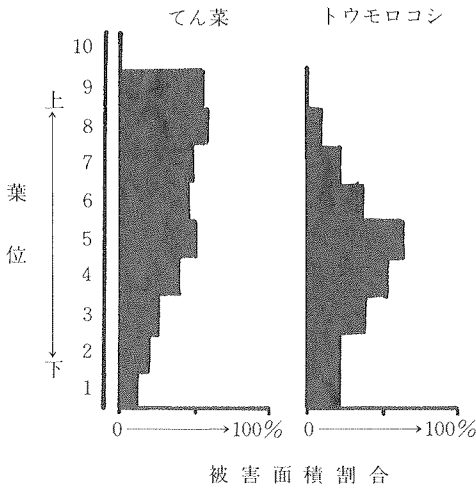


図 4 葉位別の被害程度(24ppm接触)

ス接触でも煙斑が発現しやすいと考えられるので、感受性の程度をガス接触処理による煙斑発現の難易によって区分した。すなわち、煙斑の発現が4 ppm-4 hrs のガス接触で認められた作物を感受性「大」とし、4 ppm-4 hrs 接触で発現せず、8 ppm-2 hrs や10 ppm-1 hr のガス接触で認められたものを感受性「中」、24 ppm-1 hr のガス接触で始めて煙斑が発現したものを感受性「小」として供試作物を三群に区分し、表 5 に示した。なお、

同一グループ内では被害の激しい作物を優先的に記載した。

この結果、高感受性のグループにはアルファルファ、小豆、赤クローバ、菜豆などマメ科作物が含まれているのに対し、感受性「中」や「小」のグループには各種の作物が含まれ、一定の種間差が認められなかった。

4. 葉身の窒素含有率変化

ガス接触による可視被害が葉部に集中したことから NO₂が気孔を経て葉内に吸収され、葉身の窒素含有率に影響を及ぼすことが当然、考えられたので、葉身のT-N、NO₃-N、NO₂-N 含有率を調査し、表 6 に示した。

この表より NO₂接触による各形態の窒素変化についてみれば、T-N はアルファルファのように含有率の低下する作物や赤クローバ、菜豆、チモシー、てん菜、ナスのようにガス濃度によってその影響が異なる場合も見受けられるが、全体とし

表 5 NO₂に対する相対的感受性

感受性の区分	供試作物名
大	アルファルファ、小豆、赤クローバ、菜豆
中	ソバ、大豆、チモシー、水稲、キュウリ
小	トマト、オーチャードグラス、トウモロコシ、てん菜、ナス

表 6 葉身の窒素含有率 (実験 1)

供試作物名	T-N (%)			NO ₃ -N(×10ppm)			NO ₂ -N(ppm)		
	対照	ΔN		対照	ΔN		対照	ΔN	
		24ppm	10ppm		24ppm	10ppm		24ppm	10ppm
アルファルファ	2.7	-0.7	-0.5	50	131	-14	2	36	3
小豆	3.3	0.3	0.4	15	34	30	3	20	12
赤クローバ	4.5	-0.1	0.2	59	29	15	2	3	10
菜豆	4.1	-0.3	0.3	25	39	20	7	45	-1
ソバ	3.4	0.2	0.4	10	93	2	5	32	-1
大豆	4.5	0.1	0.3	79	125	119	3	58	2
チモシー	2.9	-0.3	0.1	76	22	94	3	2	2
水稲	4.3	0.2	0.2	5	4	2	2	3	1
キュウリ	2.2	0.8	0.1	48	112	22	2	12	2
トマト	1.2	0.4	0.6	6	5	3	2	9	1
てん菜	3.0	0.3	-0.2	23	4	5	5	6	20
トウモロコシ	3.6	0.1	0.1	135	283	227	5	0	-3
ナス	3.6	0.3	-0.4	17	1	-7	6	4	-2

注) ΔN: ガス区と対照区との濃度差

てNO₂接触によってT-N含有率は上昇する傾向にあった。NO₃-N、NO₂-N含有率はT-N含有率と同様、NO₂接触によって高まる様相にあった。この傾向はNO₂-Nに比べNO₃-Nの方が、また、ガス濃度別では高濃度(24 ppm)の方が顕著であった。なお、表示しなかったが、8 ppmや4 ppmのNO₂接触でもT-Nは高まる傾向にあり、また、NO₃-N、NO₂-Nは8 ppm接触において僅かに高まるのに対し、4 ppm接触では判然としなかった。したがって、ガス接触によってT-Nは上昇し、NO₃-N、NO₂-Nは高濃度ガス(8~24 ppm)の短時間接触の場合、葉身に集積するものと考えられる。

つぎに、被害発現との関連でみると、24 ppm接触において、被害の著しかったアルファルファ、小豆、菜豆、大豆、ソバなどでNO₂-Nの増加量が多い傾向にあり、被害発現と葉身のNO₂-N集積の関連性が窺えた。しかし、T-NやNO₃-Nについては判然としなかった。

IV 考察および論議

1. 可視被害

一般に大気汚染物質の中でガス状のものは主に葉の気孔から植物体内に吸収されるため、植物体になんらかの影響を与える。とくに汚染物質のうちSO₂、O₃、PAN、NO₂、F(フッ素)などは葉部に可視被害をもたらすことが知られている。^{10,12)}

NO₂の毒性はSO₂やO₃に比べ弱いため、NO₂の短時間接触による可視被害は高感受性の植物で2~3 ppm程度で初めて認められるが¹³⁾、大部分の植物では10~数10 ppm以上の濃度でなければ発現しない。^{2,7,15)}可視被害は初期に水浸状やワックス処理状の様相を示し、その後、ネクロシスを起し、灰白色~淡褐色の煙斑となり、時には水浸状斑点として認められるが、ガス接触を中断すれば消失し、外観的に発現しない場合もあるといわれている。^{2,9,10,12)}

本試験では4 ppm以上のガス濃度で短時間の接触実験を試みたが、10 ppm以下では可視被害の発現しない作物も見受けられるのに対し、24 ppmではすべての供試作物に急性害が発現した。その被害は活動葉で著しく、未成熟葉や老葉でやや軽微であり、症状は葉全体の葉脈間にわたって不定形で灰緑色の煙斑が生じ、やがてネクロシスを起

し、その部分が灰白色~暗赤色を示した。なお、発現初期の水浸状斑点やワックス処理状の症状は確認できなかった。このように作物の可視被害発現濃度やその症状については既往の文献^{2,4,9,10,12)}とほぼ一致する傾向を示した。

つぎに、NO₂接触による可視被害症状を既報³⁾のSO₂による症状と比較すれば、トウモロコシ、小豆などではSO₂の場合、葉脈間に斑点状の小斑が多発したのに対し、NO₂の場合、葉全体が被害を受けるものがあるなどの相違点が見られたが、これは実験に用いた両ガスの濃度差異による毒性の強弱によるものと解釈される。このように若干の相違点はあるが、煙斑の発現葉位、葉内の発現位置、症状の特徴などはほぼ類似した傾向を示し、可視的にNO₂とSO₂の被害を区別することは不可能と思われた。

前述のように両ガスによる可視被害症状はかなり類似しているとはいえ、一般にSO₂による被害は晴天に多く発現し、NO₂では日照不足でも容易に発現すること、また、被害の受け易い作物(高感受性の作物)は両者によって異なることなど被害発現に際しての対象要因や植物の抵抗性に相違点が認められることは可視被害発現の機作が両者でやや異なることを示し、被害判定に役立つ点でもある。

さて、実際には、NO₂による植物の被害例は殆んどなく、僅かに街路樹の例が報告されているのに過ぎない。⁷⁾農業面では特殊なものとして、そ菜の施設栽培での事例がある。この場合、窒素肥料が過剰に施用され、しかも土壌条件が不良であれば、分解過程でNO₂が発生して施設内の空気を汚染し、栽培作物に可視被害をもたらすといわれている。⁴⁾したがって、本試験に供試した作物のうち、トマト、ナス、キュウリの可視被害症状は施設栽培内のガス障害を判定するに際しての一助となると考えられる。

2. 感受性の区分

一般に論じられている作物の感受性は可視被害の程度、いわゆる葉に現われる煙斑の発現を基準としている。本試験でも可視被害発現の難易によって供試作物を三群に区分した。大気汚染による可視被害の発現は汚染物質の濃度と接触時間の積(ドーズ)に関係があるものの、高濃度・短時間接触による場合、接触時間よりもガス濃度の影

響が大きいと考えられるので、本試験の感受性区分の基準はある程度、接触ガス濃度の高低によって区分したいといえよう。

NO₂に対する作物の感受性の大小は Taylor, Maclean¹⁴⁾、藤原²⁾、松島⁷⁾の報告例の中でも相違が認められ、また、本試験とも幾分異なった結果が得られている。この感受性の分類に差異をもたらす要因としては供試作物の品種、生育ステージ、栄養状態など作物側の特性ばかりでなく、光、温度、湿度などの気象条件があり、更に、区分する際の基準が挙げられる。藤原²⁾は本試験と類似した分類基準を採用して、20~50ppmNO₂に日中30分~2時間接触させ、煙斑の発現のしやすさとその程度で区分し、また、松島⁷⁾は13~15 ppm NO₂で害徴の発現するまでの接触時間によって分類している。

本試験による農作物の感受性区分を既往の文献^{2,7,14)}と比較すれば、菜豆、ソバ、大豆、オチャードグラス、てん菜、トウモロコシはほぼ妥当であるものの、水稻、キュウリは幾分異なり、また、本試験で感受性「小」を示したトマト、ナスは既往の文献では感受性「大」であり、大きく異なった。

このように本試験によるNO₂に対する農作物の感受性区分は既往の文献と若干異なるものの、新たにアルファルファ、赤クローバ、チモシー、小豆を加えた区分であり、道内の主要な農作物を供試する場合に有効な情報を提供するものと思われる。また、ガス濃度の高低による被害発現の難易を基準にしたことから一時的な高濃度汚染に対する被害徴候を観察するうえでの指標植物の選択に充分役立つと考えられ、特に、感受性「大」になったアルファルファ、赤クローバ、小豆、菜豆などがNO₂の可視被害判定の指標作物として適当と認められた。

3. 葉のNO₂吸収

一般に気孔より吸収されたNO₂は葉の細胞液中で硝酸や亜硝酸イオンになり、硝酸・亜硝酸還元酵素によってアンモニアに還元され、グルタミンやグルタミン酸を経てアミノ酸な蛋白質まで窒素が取り込まれるという。¹⁷⁾また、過剰吸収した場合、可視被害発現の要因になることが考えられ、加藤ら⁵⁾は明条件に比べ暗条件下で可視被害が発現しやすく、この要因として暗条件下では亜硝酸還

元酵素の活性が劣り、NO₂-Nの集積が起るためとしている。

本試験のように可視被害の著しかった8~24 ppm接触で、葉部にNO₃-N、NO₂-Nの集積傾向が認められたことは一時的に多量のNO₂を吸収した場合、硝酸・亜硝酸還元酵素での還元作用に限界があることを示唆している。また、可視被害の激しい作物ほどNO₂-Nの集積が多いことは感受性と亜硝酸還元酵素の間に密接な関係があることを示唆し、高感受性の作物ほど酵素活性が劣るものと考えられる。NO₂に対する感受性はNO₂を葉中に取り込む能力と葉中の亜硝酸除去能力の強さに支配され、前者が低いか、もしくは後者の強いものがNO₂に対して抵抗性の大きい植物であることが示唆されており、¹⁶⁾感受性と酵素活性の関係は今後の検討課題であると思われる。

さて、吸収されたNO₂に対し、硝酸・亜硝酸還元酵素が十分に働けば大気中のNO₂が順調に葉中で同化され、アミノ酸や蛋白質の窒素源になり、T-N含有率の高まることが考えられる。

本試験ではすべてのガス接触でT-Nが上昇する傾向にあり、葉に取り込まれたNO₂はある程度同化されることが窺えた。葉中のNO₂同化と生育の関係について、松丸らは⁶⁾は窒素濃度の異なる水耕液で栽培されたトマト、ヒマワリ、トウモロコシに0.3ppmNO₂を昼夜連続して14日間接触したところ、各作物とも大気中のNO₂を葉中に取り込み蛋白源まで同化するが、その生育は施肥窒素の濃度にかかわらず、いずれの作物ともほぼ抑制されたと報告している。また、窒素の同化量は測定してないけれど、0.3~0.6 ppmのNO₂接触によって水稻の生育収量は逆に増加するという報告¹⁾もある。このようにNO₂接触が作物の生育収量に及ぼす影響については一定の結論がなく、今後、検討すべき課題である。

以上、NO₂の高濃度・短時間のガス接触による可視被害について、被害症状、感受性の大小、葉身の窒素変化などを検討した結果、被害は葉部に発現し、作物特有の症状を示した。この特徴はSO₂接触による症状にはほぼ類似し、両者の肉眼的な識別は殆んど不可能であった。また、接触ガス濃度の高低による可視被害発現の難易を感受性の大小とみなし、供試作物を三群に分類したところ、アルファルファ、小豆、赤クローバ、菜豆が高感受性

の作物になり、一時的な高濃度汚染を監視する場合の指標作物として適当と考えられた。さらに、ガス接触による葉身の窒素含有率の変化により、可視被害の発現するような高濃度ガス接触でも葉中に取り込まれた NO_2 はある程度、同化される可能性のあること、また、8~24 ppm接触では葉中に $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の集積が見られ、とくに $\text{NO}_2\text{-N}$ の集積は可視被害発現の要因になることを示唆した。

今後の大気汚染のすう勢として低濃度の汚染物質による植物影響が重要視されることは必至である。したがって、低濃度ガスの長期間接触を実施し、葉中の窒素同化を主体にして生育、収量、品質などに及ぼす影響を検討して行く必要がある。

謝 辞

本稿のとりまとめに当り御校閲をいただいた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に感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 藤原 喬, 石川春彦, “窒素酸化物の2, 3植物に及ぼす影響”. 大気汚染研究, 7, 234 (1972).
- 2) 藤原 喬, “窒素酸化物の植物に及ぼす影響について”. 公害と対策, 9, 253—257 (1973).
- 3) 市川信雄, 長谷部俊雄, 高尾欽弥, 山上良明, “二酸化硫黄接触による農作物の可視被害”. 北海道立農試集報, 44, 90—101 (1980).
- 4) 加藤俊博, 橘 昌司, 位田藤久太郎, “被覆下における有害ガスによる作物の障害に関する研究 I. 亜硝酸ガスによるそ菜の障害とその感受性に影響する諸条件”. 生物環境調節, 12, 87—92 (1974).
- 5) 加藤俊博, 橘 昌司, 位田藤久太郎, “被覆下における有害ガスによる作物の障害に関する研究 II. 亜硝酸ガスによる作物の障害の機作について”. 生物環境調節, 12, 103—107 (1974).
- 6) 松丸恒夫, 白鳥孝治, 戸塚 績, 米山忠克, “大気中窒素酸化物の作物に及ぼす影響. 第1報—作物の二酸化窒素吸収の重窒素法による解析”. 千葉県農試報告, 20, 89—94 (1979).
- 7) 松島二良, “窒素酸化物の植物におよぼす影響”. 大気汚染研究, 8, 234—242 (1973).
- 8) 日本分析学会関東支部編, “公害分析指針(大気編 1—b)”. 46, 共立出版 (1973).
- 9) 日本公衆衛生協会編, “大気汚染の植物影響に関する調査報告書”. 日本公衆衛生協会, 1977. p.31—38.
- 10) 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).
- 11) 作物分析法委員会編, “栄養診断のための栽培植物分析測定法”. 養賢堂, 1975. p.227—233.
- 12) 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.
- 13) Taylor, O.C.; Eaton, F.M. “Suppression of plant growth by nitrogen dioxide”. Plant. Physiol. 41, 132—135 (1966).
- 14) Taylor, O.C.; Maclean, D.C. “Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation.” A Pictorial Atlas, E2, Air Pollution Control Assoc. 1970.
- 15) Van Haut, H. “Kurzzeitversuch zur ermittlung der relativen phytotoxizität von stickstoffdioxid”. Staub-Reinhalt. 35, 187—193 (1975).
- 16) 米山忠克, 笹川英夫, 戸塚 績, 山本幸男, “高等植物の生長におよぼす二酸化窒素の影響, 5, 草本植物による ^{15}N の吸収, 亜硝酸の蓄積, 亜硝酸還元酵素活性の変化”. 国立公害研究特別研究報告, 2 (R—2—78), 103—110 (1978).
- 17) 米山忠克, “高等植物による大気二酸化窒素の吸収と代謝”. 国立公害研報告, 10 (R—28—81), 343—350 (1979).

Visible Injury to Crops as a Result of Fumigation with NO₂ Gas

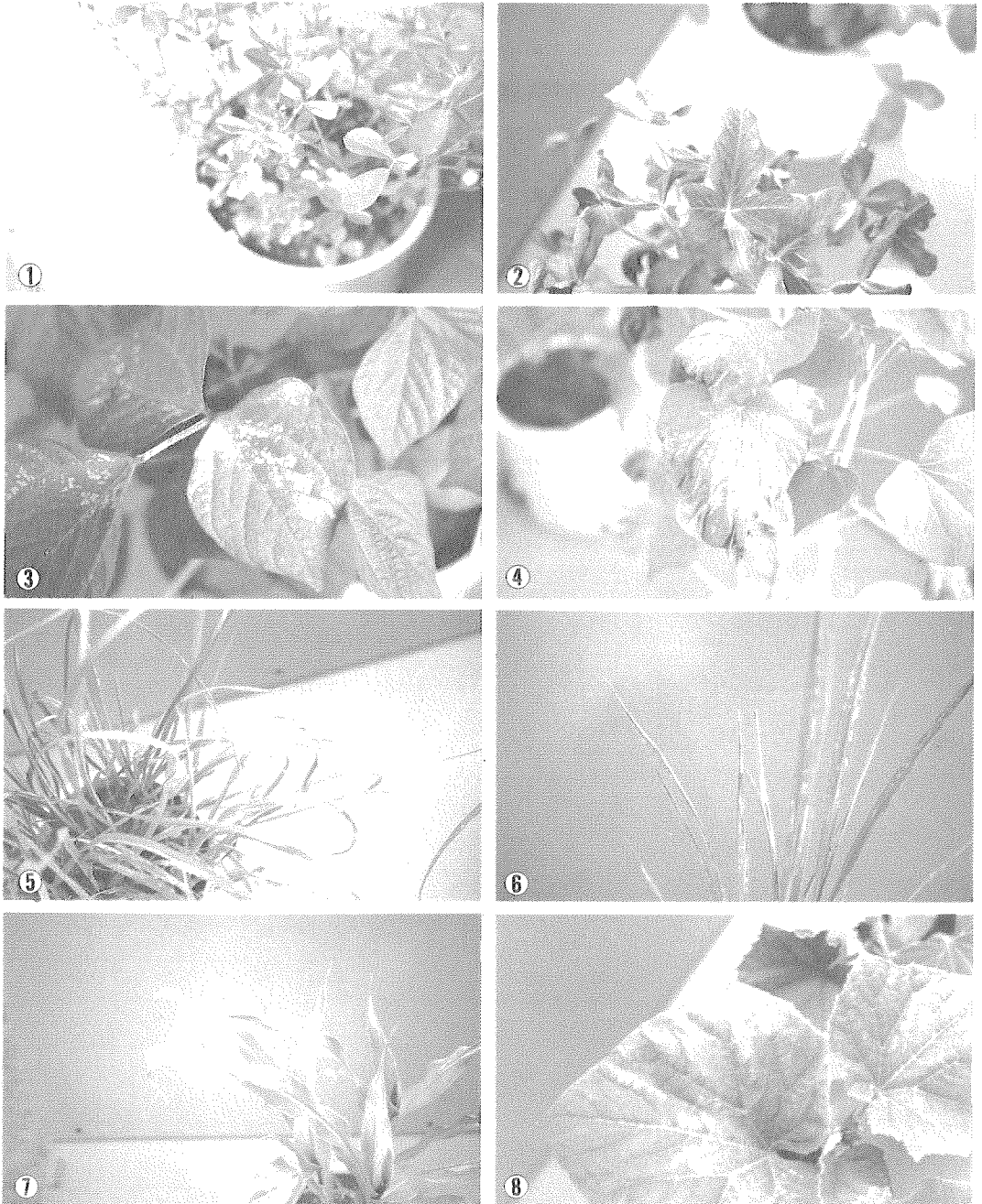
Nobuo ICHIKAWA*, Yoshiaki YAMAGAMI*, Toshio HASEBE*, Haruichi KUROKAWA

Summary

Fourteen types of crops were subjected to fumigation with 4~24 ppm NO₂ gas for short periods in a chamber with controlled and natural light to examine the occurrence of visible injury in the crops. The injuries were observed in the leaves of the test crops, particularly in the middle-level leaves, yet there was hardly any injury to the stems. The symptoms of the injuries were generally acute. Some of the injuries were destructive necrosis extending throughout the entire leaf except for the veins, but most of them consisted of spots of necrosis which appeared among the leaf veins. The injured spots were at first silvergreen, then became dehydrated and necrosed, turning to silverwhite or dark red. In each of the types of test crops, the number of chlorosis spots increased as the NO₂ level in the fumigation gas increased but the symptoms of the injuries, the position of affected leaves on the stem, and the area of each leaf in which the necrosis spots appeared, were independent of the NO₂ levels in the fumigation gas. However, the appearance of necrosis spots after fumigation with NO₂ gas varied among the fourteen types of test crops used according to the level of concentration of the gas which came in contact with the leaves. From this, test crops can be classified into three groups having different levels of sensitivity to NO₂. Four pulse crops including alfalfa, small red beans, red clover and beans represented the group with high sensitivity to NO₂. The fumigation with NO₂ gas affected the N content of the leaves. The total N content was increased throughout the range of NO₂ levels and the content of NO₃-N and NO₂-N also rose at relatively high NO₂ fumigation gas levels. In particular, the NO₂-N content increased considerably in the crops with high NO₂ sensitivity. This suggests that there is a relationship between sensitivity to NO₂ and the NO₂-N content of the leaves.

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

二酸化窒素接触による農作物の可視被害



二酸化窒素接触による可視被害症状

- | | | |
|-------------|------------|---------------------------------|
| ①：アルファルファ | 10ppm－1 hr | 葉緑，葉脈間に淡褐色の煙斑(接触終了1日後) |
| ②：赤クローバ | 10ppm－1 hr | 葉緑，葉脈間に暗褐色の煙斑(接触終了2hrs後) |
| ③：小豆 | 10ppm－1 hr | 葉脈間に不定形な煙斑が散在(接触終了1日後) |
| ④：ソバ | 10ppm－1 hr | 激しい場合，葉脈間全体が冒され垂れ下る。(接触終了2hrs後) |
| ⑤：オーチャードグラス | 20ppm－1 hr | 葉身先端～中ほどに煙斑発現(接触終了2hrs後) |
| ⑥：水稲 | 20ppm－1 hr | 先枯れや葉脈間に小斑が散在(接触終了1日後) |
| ⑦：トウモロコシ | 20ppm－1 hr | 葉身先端～中ほどが冒される(接触終了1日後) |
| ⑧：キュウリ | 20ppm－1 hr | 葉脈間に褐色の煙斑(接触終了2hrs後) |