

大気汚染と作物に対する影響

—園芸作物を中心として—

埼玉県園芸試験場化学部 渋 川 三 郎

1. は じ め に

正常な大気中に含まれている成分以外の物質が含まれている場合、あるいは、ある成分の含量が異常に多くなった場合、大気が汚染されているという。古い型の大気汚染といえば、鉱山の製錬所や化学工場から大気中に排出される特定の成分（汚染物質）によるものであり、発生源が固定しているのでその影響は局地的であった。ところが、近年みられるような諸産業の画期的な発展と、自動車の急激な増加により発生源も固定発生源のほかに移動発生源も加わって影響の及ぶ範囲は広域化し、汚染物質の種類もふえ、その上汚染物質が互に作用し合うというように複雑化してきている。これに伴い大気汚染による農作物の被害も広い地域で、多くの種類に、いろいろなタイプの症状がみられるようになった。

本稿では、古くから知られている大気汚染物質についてはすでに多くの図書・文献があるのでその概略のみ記し、最近注目を浴びてきた光化学スモッグの農作物に及ぼす影響を中心に述べてみたい。

2. 大気汚染物質の種類

植物に影響を及ぼす大気汚染物質をその障害の内容から化学的に分類すると、次のようになる（山添・1975）。

① 酸化的障害を与えるもの……オゾン，PAN

およびその同族体，二酸化窒素，塩素など。

② 還元的障害を与えるもの……二酸化硫黄アルデヒド類（ホルムアルデヒド，アクロレインなど），硫化水素，一酸化炭素など。

③ 酸性障害を与えるもの……フッ化水素，四フッ化ケイ素，塩化水素，三酸化硫黄，硫酸ミスト，硝酸ミスト，シアン化水素など。

④ アルカリ性障害を与えるもの……アンモニアなど。

⑤ その他有機系のガス……エチレン，プロピレン，ブチレン，アセチレンなど。

⑥ 固体の粒子状物質……ばいじん，粉じん（ダスト），浮遊粒子物質（カドミウム，鉛のような金属ヒュームまたはその酸化物などの微粒子）など。

3. 各汚染物質の影響

(1) フッ素化合物

フッ素は活性高く，反応性に富むため単体のガスとして存在することはまれで，主としてフッ化水素の形で存在する。フッ化水素は化合力の強い物質であるため，農作物に対する影響は非常に大きい。

フッ化水素による被害発生機構は，気孔から侵入したガスが柔細胞間げきを通して導管に達してフッ化水素酸となり，蒸散流によって葉の先端や葉縁に運ばれ，その部分の細胞を侵すと考えられている。

表-1 フッ化水素に対する植物の感受性

(Thomas ら, 1956)				
高	中		低	
(1類)	(3類)	(4類)	(5類)	
グラジオラス	トウモロコシ	ツ ツ ジ	フウリンソウ	キンギョソウ
ア ン ズ	コ シ ョ ウ	バ ラ	カ シ ワ	スイートピー
ソ バ	キ イ チ ゴ	ライラック	マツ (古葉)	シャクナゲ
コ ケ モ モ	ヨ メ ナ	アルファルファ	ト マ ト	ヒャクニチソウ
チューリップ	ダ リ ア	インゲンマメ		カンキツ類
サ ク ラ	ベ チ ュ ニ ア	ニ ン ジ ン	(6類)	ニセアカシア
カ ラ マ ツ	ク ロ ー バ	レ タ ス	ワ タ	タ ン ポ ポ
(2類)	オ オ ム ギ	ホ ウ レ ン ソ ウ	タ バ コ	モ ミ
モ ロ コ シ	ア マ	コ ム ギ	セ ロ リ	
サ ツ マイ モ	オ ー ト ム ギ	オ オ バ コ	キ ュ ウ リ	
モ モ	ラ イ ム ギ		カ ボ チ ャ	
イ チ ゴ	リ ン ゴ		キ ャ ベ ツ	
ブ ド ウ	カ エ デ		カ リ フ ラ ワ	
ア イ リ ス	ク ワ		ナ ス	
イ ネ	ヤ ナ ギ		タ マ ネ ギ	
マツ (若葉)	ベ ゴ ニ ア		ダ イ ズ	
	ハ コ ベ		キ ク	

ど強くはないが、二酸化硫黄よりは数倍の影響をもつといわれている。

葉の気孔から吸収された塩素は、強い酸化作用によって葉緑素を分解し、まず葉の先端や周縁にクロロシスを生じ、次第に全面に及んでゆく。高濃度の場合には、葉脈間にネクロシスの発生が認められる。

塩素に対する植物の一般的な感受性は、表

症状は、最初葉の先端や周縁に油浸症状が現われ、次第に黄白化し、さらに褐色となる。被害部分と健全部分の境界に暗褐色の線が明瞭にみられるのが特徴とされる。

被害は1ppm以下で容易に起り、とくに敏感なグラジオラスでは1ppb以下でも被害が出るという報告もある。

フッ化水素に対する植物の感受性を表-1に示す。

(2) 塩 素

塩素の植物に対する影響力は、フッ化水素は

表-2 塩素に対する植物の感受性

(Heck ら, 1970)		
高	中	低
アルファルファ、リンゴ、ソバ、クリ、コスモス、カラシナ、タマネギ、サクラソウ、ダイコン、バラ、ヒマワリ、チューリップ	ツツジ、インゲンマメ、キュウリ、ダリア、ゼラニウム、ブドウ、モモ、ペチュニア、マツ、カボチャ、トマト	ベゴニア、ナス、ツガ、オリーブ、カタバミ、コショウ、アカザ、ダイズ、イチイ

-2に示す通りである。

(3) エ チ レ ン

エチレンは一種のホルモンの作用があり、葉の上偏生長、開花異常、落果、早期落葉、生長抑制など各種の障害を与えるとされている。最近わが国でも、スイカ、キュウリの雄花の雌花化、スイカ、エンドウの花器の萎凋、スイカ、ゴマの異常落花などが報告されている。

エチレンは石油化学工業の原材料として大きな用途をもつため、各地の石油コンビナートには大規模なエチレン工場があり、また自動車の排ガス中にも含まれるなど今後農作物に対する

影響が懸念される汚染物質の一つである。

(4) 硫黄化合物

硫黄を燃焼することによって生ずる物質であるが、大気汚染として代表的なものは二酸

表-3 エチレンに対する植物の感受性

(Heck ら, 1970)

高	中	低
洋ラン (カトレヤなど) カーネーション, パラ, スイートピー, トマト, キュウリ, エンドウ, サ ツマイモ, モモ, ワタ	ツツジ, ニンジン, ダイ ズ, カボチャ, クチナシ, ヒイラギ	フダンソウ, キャベツ, クローバ, チシャ, タマ ネギ, ハツカダイコン, オートムギ

細胞は壊死してネクロ
シス症状を示す。被害
の出現する葉は、生長
段階でいえば新しい成
熟葉にもっとも出やす
く、古い葉では感受性
低く、若く新しい葉は

化硫黄 (亜硫酸ガス) と硫酸ミストである。

二酸化硫黄の被害発生の機作については、幾
つかの説があり、葉面の気孔や水孔から取りこま
れた二酸化硫黄は、孔辺細胞から内部に溶け込
み、酸化されて硫酸塩となり、同化・呼吸・蒸
散などの生理作用に影響を及ぼすという硫酸生
成説や、植物体内で生成された遊離酸素やアル
デヒド類と結合して生ずる 2-オキシスルホン
酸説などが著名である。

被害症状は、葉脈間に斑点状のクロロシスや
褐色の煙斑を生じ、さらに被害が激しくなると

極端な濃度を除いて感受性はない。

各植物の感受性については、二酸化硫黄の指
標植物として著名なアルファルファを基準にし
た比較値を表-4 に示す。

硫酸ミストの生成は次のようである。大気中
の二酸化硫黄が酸化されて三酸化硫黄となり、
三酸化硫黄は空気中の水分と結びついて硫酸に
なる。硫酸は吸湿性の強い物質であり、硫酸の
分子のまわりに空気中の水蒸気が集まり微細な
水滴ができる。これが硫酸ミストである。

植物の被害は、水滴が葉上に沈着してネクロ

シス斑や小さな丸い斑
点を生ずる。

表-4 二酸化硫黄に対する植物の感受性

高	中	低
アルファルファ 1.0	カリ フ ラ ワ 1.6	グラジオラス 1.1~4.0
オ オ ム ギ 1.0	パ セ リ 1.6	カ ン ナ 2.6
ワ タ 1.0	テ ン サ イ 1.6	バ ラ 2.8~4.3
ラ イ ム ギ 1.0	タ ン ポ ポ 1.6	ジャガイモ 3.0
コ ス モ ス 1.1	ト マ ト 1.3~1.7	カ エ デ 3.3
スイートピー 1.1	ナ ス 1.7	タ マ ネ ギ 3.8
ハツカダイコン 1.2	リ ン ゴ 1.8	ライラック 4.0
レ タ ス 1.2	キ ャ ベ ツ 2.0	トウモロコシ 4.0
サ ツ マ イ モ 1.2	エ ン ド ウ 2.1	キ ュ ウ リ 4.2
ハウレンソウ 1.2	ア ジ サ イ 2.2	ヒ ヨ ウ タ ン 5.2
インゲンマメ 1.1~1.5	ニ ラ 2.2	キ ク 5.3~7.3
ブ ロ ッ コ リ 1.3	ベ ゴ ニ ア 2.2	セ ロ リ 6.4
オ オ バ コ 1.3	ブ ド ウ 2.2~3.0	カンキツ類 6.5~6.9
カ ボ チ ャ 1.1~1.4	モ モ 2.3	マスクメロン 7.7
カ ラ ス ム ギ 1.3	ア ン ズ 2.3	
ヒ マ ワ リ 1.3~1.4	ニ レ 2.4	
ク ロ ー バ 1.4	ア イ リ ス 2.4	
フ ダ ン ソ ウ 1.3~1.5	ア ラ ム 2.5	
ニ ン ジ ン 1.5	ポ プ ラ 2.5	
カ ブ 1.5		
コ ム ギ 1.5		

(5) 窒素化合物

高い温度で物が燃え
るとき、空気中の窒素
が酸化されて一酸化窒
素を生ずる。したがっ
て、工場のボイラーや
自動車の排気ガスなど
から多量に排出される。
一酸化窒素は酸化され
て二酸化窒素になる。
両者とも植物に対する
影響は比較的小さいが、
汚染物質としては重要
視される。それは光化

O¹ gara による測定値より抜粋、アルファルファを基準とした指数を示す。

学スモッグの要因物質

表-5 二酸化窒素に対する植物の感受性

(Taylor ら, 1970)

高	中	低
インゲンマメ, レタス, カラシ, タバコ, ヒマワ リ, ツツジ	ライムギ, オレンジ, タンポポ, ハコベ	アスパラガス, アカザ, ヒース

の一つであるからである。

二酸化窒素の被害症状は二酸化硫黄に似ており、褐色の斑点を生じたり、周縁部にクロロシスを現わしたりする。二酸化窒素に対する植物の感受性の比較例を表-5に示す。

(6) オキシダント

昭和45年7月、東京立正高校に発生した光化学スモッグ事件以来光化学スモッグは大きな社会問題となったが、その後、その発生地域は東京、大阪の大都市周辺を中心に、次第に全国的規模に拡がりつつある(表-6)。

質の総称である。

オキシダントの発生機構については諸説があるが、複雑なので省略する。いずれにしても、工場のボイラーや自動車のエンジンなど高温で燃焼する際に生ずる一酸化窒素と、ガソリン・重油などの燃焼によって生ずる炭化水素・窒素化合物などが太陽の紫外線の照射を受けて光化学反応を起し、オゾンやPANs(PAN及びその同族体の総称)を生成するということである。

オキシダントの組成は勿論一定したものではな

光化学スモッグの指標とされるオキシダントとは、オゾン, PAN(パーオキシアセチルナイトレート)およびその同族体のような酸化力の強い物

表-6 オキシダント注意報発令回数の推移 (環境庁大気保全局調べ)

年	昭和45年	46	47	48	49	50
都府県						
宮城				3		3
福島			16	21	14	17
茨城				10	10	6
栃木				1	4	11
群馬		23	15	45	29	44
埼玉		19	21	28	26	33
千葉		33	33	45	26	41
東京	7	11	31	30	26	27
神奈川				8	15	6
静岡		1	5	8	2	6
愛知			4	6	7	
三重				4	4	4
滋賀				7	17	11
京都		4	18	26	27	23
大阪		7	19	23	19	10
兵庫			1	6	3	9
奈良			1	1	1	
和歌山			3	14	16	5
岡山				9	18	4
広島					5	1
山口					2	2
徳島				1	4	1
香川			2	22	13	1
愛媛						
合計	7	98	176	328	288	265

いが、一般にはオゾンが約90%で主成分を占め、残りが窒素化合物, PANsその他から成っているとされている。

オキシダントによる植物の障害は、オキシダントの主成分であるオゾンによる障害と、PANによる障害とがあり、障害を受けやすい植物の種類、障害の症状、障害の発生部位など大きく異なる点がある。

1). オゾン型

オゾン型被害の発生経過は次のようである。オキシダントに接触した当日あるいは翌朝(オキシ

ダントの濃度と関係がある）、成熟葉の葉脈間が光沢を失った濃緑色となり、不定型の水浸斑が現われる。そして太陽光線がその部分に強く当たると次第に緑色を失いながら斑点部分が陥没し、やがて脱水漂白斑へと進行する。2～3日で症状は安定するが、漂白斑の色は黄白色から黄褐色へとやや濃さを増してゆく。被害の激しい場合には、脱水漂白斑は大型化し、葉の裏面にまで症状が現われる。

オゾン型被害の特徴は、その被害が葉の表面（表側）に集中することであり、被害部の断面を顕微鏡で観察すると、葉の表面の表皮細胞直下にある柵状組織が破壊されていることが分る。これは、クロロフィルに富む柵状組織にオゾンの吸収が多いためとされている。

もう一つの特徴は、葉位によって被害の程度に差があることである。被害は、生産的代謝が最も活発である成熟直後の葉に著しく、老葉や未成熟葉には少ない（この現象は二酸化硫黄や二酸化窒素の場合と類似している）。とくに展開したばかりの若い葉は感受性が低く、高濃度のオキシダントでも被害はみられない。なお、葉の重なり合った部分や、濃い日蔭にある葉は被害を受けにくい。

野菜類のような一年生の農作物の被害はよく見受けられるが、永年生のものについてはケヤキ、ポプラのような樹木の被害がよく知られている。同じ永年生の作物の果樹では、ブドウが弱いとされているが、わが国では大きな被害を受けたという報告はない。ナシについては、昭和50年に三重県で発生した報告がある（松島・1975）。それによれば、被害には品種間差が認められ、「新水」、「八幸」、「幸水」が弱く、とくに「新水」の被害が大きかった。被害症状は、枝の基部数葉が急激に黄変したり、主

脈の両側に赤色の条が現われるが斑点はみられず、いわゆる慢性型の症状であった。

オゾン型の被害を受けやすい園芸作物としては、ハウレンソウ、コマツナ、サントウサイ、サラダナ、カブ、ハツカダイコン、ダイコン、ニンジン、ゴボウ、ネギ、ニラ、インゲン、ササゲ、トマト、メロン、ブドウ、アサガオなどが挙げられる。

2) . P A N 型

オキシダント中に含まれる量は僅かであるが、PAN型の被害も野菜・花き類にはしばしば見ることができる。

PAN型被害の特徴の第一は、被害の現われる面がオゾン型とは対照的に、葉の裏面であるということである。従って、葉を裏返して観察しないと見逃してしまうことがある。症状の発生経過は、最初葉の裏面に水浸状の不定型の斑点が発現し、やがて葉脈間が陥没してその部分が金属性のような光沢を帯びた銀灰色（シルバリング）あるいは褐色（ブロンジング）を呈する。さらに被害が進むと、葉の表側までクロロシスあるいはネクロシスが生ずる。被害葉の断面を顕微鏡で観察すると、葉の裏面に接する海綿状組織が集中的に破壊されているのが分かる。

第二の特徴として、被害の発生する葉位もまたオゾン型と対照的である。すなわちオゾン型より若い葉（未成熟葉）が侵されやすく、成熟葉の被害は小さい。

また、葉位によって葉身上に現われる被害症状の位置が異なることがある。たとえば、ある葉では葉身の先端附近に、その隣りの葉では葉身の中央部に、次の葉では葉身の基部に、それぞれの主脈に対して直角に帯状に被害が発生するという現象である。

被害の発生しやすい時期は、わが国では高温

期の7～8月は少なく、4～6月や9月とやや気温の低い時期に多くみられる。しかし、白花系のペチュニアのようにPANに特異的な感受性を示す植物では、盛夏期においても被害が認められる。

PAN型の被害を受けやすい園芸作物としては、フダンソウ、サラダナ、レタス、ハウレンソウ、インゲン、トマト、ペチュニア、ダリアなどがある。

なお、上に述べたオゾン型、PAN型の被害症状はきわめて典型的なものであり、現実には作物の種類、オキシダントの濃度、その他いろいろな条件によって多くの症状を呈する。このように多種多様な症状を整理するため、一都六県光化学スモッグ植物影響調査グループが提案している分類（試案）について紹介する。

① 標準被害症状

- a. 白色小斑点型……葉表面に白色の微細な斑点が現われる。葉肉組織の分化している植物では、棚状組織が破壊されている。この型はオゾン被害の典型的な型である。アサガオ、ハウレンソウ、カブ、ダイコン、ハツカダイコン、コマツナ、サントウサイ、フダンソウ、キュウリ、トマト、ゴボウ、エンドウなど。
 - b. 白色大斑点型……葉表面に白色の粟粒～米粒程度の円型斑点が現われる。斑点部分の組織破壊の状況は、白色小斑点型と同様である。タバコなど。
 - c. 白色条斑型……葉表面の葉脈に沿って白色の小型棒状斑点又は連珠状斑点が現われる。斑点部分は陥没することがある。トウモロコシなど。
 - d. 褐色小斑点型……葉面に褐色の微細な斑点が現われる。ときには黒味を帯びることがある。ササゲ、インゲン、トマトなど。
 - e. 褐色大斑点型……葉の表面に褐色の粟粒～米粒程度の円型斑点が現われる。斑点部分は陥没することがある。タバコなど。
 - f. 褐色不定形型……葉脈間又は葉脈部などが変色している。サトイモ、ラッカセイなど。
 - g. 色素型……オキシダント暴露数日後に徐々にアントシアンなどの色素が発現して、赤紫色又は赤褐色を呈する。インゲン、アサガオ、ハツカダイコンなど。
 - h. 光沢型……葉の裏面の被害部分が陥没し、その外皮が白色又は褐色の光沢を現わす。主としてPANによる被害といわれている。ペチュニア、トマト、タバコ、フダンソウ、インゲン、ハウレンソウなど。
- #### ② 激しい被害症状
- a. 脱水型……葉肉部が広い部分にわたって組織破壊し、脱水状態となる。この場合、白色となるものと、褐色となるものがある。アサガオ、ハウレンソウ、コマツナ、サントウサイ、ダイコン、ネギ、カブ、フダンソウ、トマト、キュウリ、タバコなど。
 - b. 巻葉型……急激な脱水現象にともなって、葉が上方あるいは下方に巻く型である。アサガオ、インゲン、パレイショなど。
 - c. 欠落型……被害を受けた葉肉部が崩壊し、脱落して穴があいた型である。アサガオ、サトイモ、タバコなど。
 - d. 落葉型……オキシダント発生後短期間のうちに落葉する型である。緑葉のまま落葉するものと、変色または斑点をともなって落葉するものがある。アサガオ、ラッカセイ、ケヤキ、ポプラなど。

最後に、大気汚染物質と植物被害の特徴を要約すると、表-7の通りである。

表-7 大気汚染物質と植物被害の特徴

汚染物質	発生源	被害症状	影響を受ける葉	影響を受ける葉組織	被害いき値		
					p p m	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	時間
オゾン (O_3)	炭化水素と窒素酸化物との光化学反応	斑点, 漂白白点, 着色, 成長抑制, 早期落葉, 針葉樹の葉の先端が褐色化しネクロシス	古葉から若葉に進行	棚状組織	0.03	70	4
パーオキシアセチルナイトレート (PAN)	オゾンと同じ	裏葉の光沢化, 銀色化, ブロンズ化	若葉	海綿状組織	0.01	250	6
二酸化窒素 (NO_2)	動力装置と内燃機関の石炭, 油, ガス, ガソリンの高温燃焼	葉脈細胞や葉の縁に近い所の不規則な白か褐色の崩壊した組織	中葉	葉肉	2.5	4700	4
二酸化硫黄 (SO_2)	石炭, 燃料油, 石油	漂白白点, 葉脈と縁の間に漂白域, クロロシス, 成長抑制, 早期落葉, 収穫の減少	中葉	葉肉	0.3	800	24
フッ化水素 (HF)	肥料製造, アルミニウム還元, 鉍石溶融, 窯業工場	葉の先端と縁に日焼け, クロロシス	成熟葉	表皮と葉肉	0.1 (ppb)	0.2	5週間
塩素 (Cl_2)	貯蔵塩素のガスもれ, 塩酸ミスト	葉脈と先端と縁の間に漂白, 落葉	成熟葉	表皮と葉肉	0.10	300	2
エチレン (CH_2)	暖房用の石炭, ガス, 油の不完全燃焼, 自動車排ガス	花の萼片の枯れ, 葉の奇型化, 花の落下, 花の開花不良	(花)	すべて	0.05	60	6

Air Pollution Injury to Vegetation (1970)

昭和50年度秋冬作芝生関係

除草剤試験成績概要

財団法人 日本植物調節剤研究協会

昭和50年度芝生関係除草剤委託試験成績検討会は、昭和51年6月15日、東京(国立教育会館)において開催、試験関係者等19名、委託関係者(会社)22名参集し、除草剤7剤(23点)につ

いて、成績報告後、質疑応答が行なわれ、慎重な検討が行なわれた。
その判定結果は次表のとおりである。