

光化学オキシダントが園芸植物に及ぼす影響

久野 春子

Effects of Photochemical Oxidants on the Horticultural Plants

Haruko KUNO

目 次

緒 言	35
第I章 光化学オキシダントの発生状況と植物被害の立証および被害の特徴	
緒 言	36
1. 都市近郊における大気汚染の発生状況	36
2. 浄化空気室 (Filtered Air Chamber) の機能と効果	39
3. 植物被害の立証	40
4. 植物被害の特徴	41
摘 要	45
第II章 光化学オキシダントに対する指標植物の開発	
緒 言	45
1. オゾンの指標植物—アサガオの被害の特徴と指標性	46
1) アサガオの被害程度と Ox 発生量との関係	46
2) オゾンによるアサガオの被害葉位と葉齢との関係	55
3) アサガオのオゾン感受性に及ぼす窒素, リン酸, 加里施用量の影響	59
2. PAN の指標植物—ペチュニアの被害の特徴と指標性	63
1) ペチュニアの被害の特徴と品種による PAN 感受性の差異	63
2) ペチュニアの被害程度と PAN 発生量との関係	63
3. 市民向け指標植物の利用方法の開発	66
1) アサガオとペチュニアの被害観察方法の検討	66
2) 市民によるアサガオとペチュニアの被害観察の成果	69
摘 要	74
第III章 光化学オキシダントが樹木の成長に及ぼす影響	
緒 言	75
1. 数種樹木の成長に及ぼす影響	76
2. ポプラ挿し木苗の生長, 生理に及ぼす影響	77
1) 浄化空気室法によるポプラ挿し木苗の生長量, 落葉数などの経日, 経年変化	77
2) オキシダントがポプラ挿し木苗の各葉齢のクロロフィル含有率, 光合成・暗呼吸速度および炭水化物・窒素含有率に及ぼす影響	85

3) オゾン処理がポプラ葉の光合成, 光呼吸および暗呼吸速度に及ぼす影響	91
摘要	96
第IV章 光化学オキシダントによるハウレンソウの被害の特徴および品種抵抗性の解明と被害軽減に関する試験	
緒言	97
1. オキシダントによるハウレンソウの被害の特徴	98
1) 可視被害症状の特徴	98
2) 品種による感受性の差異	99
3) 生育ステージによる感受性の差異	99
4) 生育ステージによる葉内成分含有率	102
2. 品種系統によるオキシダント抵抗性の解明	103
1) 12品種の主成分分析による抵抗性要因	103
2) 正逆交雑による抵抗性の特徴	104
3) 感受性品種と抵抗性品種の気孔密度とオゾン処理による気孔拡散抵抗の変化	108
4) 感受性品種と抵抗性品種における葉内の活性酸素防御系酵素活性と活性酸素防御物質の変動	111
(1) 感受性品種と抵抗性品種の酵素活性の比較	112
(2) 高濃度オゾン処理による酵素活性の経時変化	113
(3) 低濃度オゾン長時間処理による酵素活性とアスコルビン酸およびグルタチオン含有量への影響	114
3. 施肥方法によるオキシダント被害軽減に関する試験	117
1) 施肥量によるポット試験	117
(1) 窒素, リン酸, 加里, 石灰各施用量とオゾン被害量	118
(2) 窒素, 加里各施用量による葉内の活性酸素防御物質及び活性酸素防御系酵素活性への影響	119
2) 加里施用量および窒素, 加里追肥による圃場試験	121
3) 追肥による現地実証試験	124
摘要	127
総合考察	128
要約	133
引用文献	136
Summary	142
巻末写真	147

本論文は東京大学審査学位論文(農学博士)である。

緒言

従来、大気汚染というと工場や精錬所など固定発生源から排出される二酸化イオウ、粉塵、一酸化炭素などの汚染物質が中心であった。しかし、1940年代初期、アメリカ合衆国のロスアンゼルスにおいてはじめて光化学スモッグが発生し、1944年に植物葉の裏面に光沢化、銀白色化などの被害¹⁾が観察された。

1950年代に入り、その原因が Haagenn-Smit²⁾によって追求された結果、自動車の排気ガス中の窒素酸化物や炭化水素が関与する光化学反応により大気中に光化学オキシダント（一般にオキシダントと呼ぶ）が生成するためとみなされた。そして、オキシダントの主成分はオゾンであり、約90%を占めると言われ、その他にパーオキシアルナイトレート（PANs）、過酸化物などが挙げられた。それらは強い酸化作用を持つため動物、植物及び諸材料に大きな損害を与えていることがわかってきた³⁾。

1961年、Middleton⁴⁾はオキシダントの植物に対する影響を初めて総説にまとめた。オキシダント暴露及び人工的なオゾン-オレフィン暗反応生成物及び窒素酸化物-オレフィンの光化学反応生成物による処理が植物葉に障害をおこし、組織的生理的に影響を及ぼすと記述している。その後、さらに研究が進み Duggerら⁵⁾は1970年植物の生理、生化学的機構に及ぼすオゾンとPANの影響について総説をまとめている。

一方、わが国においては1970年7月18日東京都杉並区にある立正高校の生徒が目痛み、せきこみ、呼吸困難などを訴えた人体被害が発生し、同時に植物葉に可視被害、異常落葉が起こり⁶⁾、それまでとは違う都市型の大気汚染が急激にクローズアップされた。

この様な事件に先立つ1965年近畿及び北四国の黄色種タバコ産地を中心にタバコ葉に斑点状の可視被害を生じていた⁷⁾。また、東京地域においても農作物のサトイモなどに1967年頃より葉上に褐色斑がみられ、病害とは関係ないために生理的障害とみなされていた。

その後、タバコのいわゆる生理的斑点病は米国で報告されているタバコの Weather Fleck⁸⁾と類似していることから大気中のオキシダントにより惹起された障害であることが日本専売公社岡山タバコ試験場を中心に明らかにされてきた。⁹⁾

タバコ以外の植物については、沢田ら¹⁰⁾が東京の江東地区でツマミナ、ネギ、コマツナ、ホウレンソウに被害

を観察し、オキシダントにより農作物に大きな損害を受けていることが推測されるようになった。東京都全域にわたる調査結果でも各種植物の被害は広域にわたり見られ、我が国におけるオキシダントによる植物被害の立証が急がれた。さらに、オキシダントによる可視被害の特徴やオキシダント発生濃度及び発生時間などと植物の被害の程度との関係が明確になればこれらの植物は大気汚染に対する指標になりうる事が期待された。

この様な状況の中で、1973年から東京都では「指標植物群開発に関する研究」がテーマ化され、東京都農業試験場（東京都立川市）の圃場に我が国で初めての本格的な環境暴露室が設置された。これは、大気汚染物質を除去するための活性炭フィルターを設置したガラス室とフィルターがなく外気を取り入れるガラス室とからなり、両室は大気以外の環境条件を同一にして各種植物の大気汚染の直接的な影響がみられるように設計された。

著者は1973年から各種大気汚染物質と植物の被害の関係を究明するため、本施設を用いて研究を開始し、その研究成果の概要をここに取りまとめた。

第I章では、この施設を用いて各種大気汚染物質の発生状況を明らかにし、植物の可視被害との関係について検討し、また、人工的に合成した汚染物質を植物に暴露して、植物被害の立証を行った。

第II章では、オゾンの指標植物としてアサガオを、また、パーオキシアセチルナイトレート（以下PANと略す）の指標植物としてペチュニアを用いて、これら植物がオキシダントによって受ける被害の特徴と葉齢の生理的な関係を明らかにし、植物の被害程度と汚染量との関係について検討し、指標植物としての有効性を確立した。

これらの結果にもとづいて、指標植物を一般市民の誰でもが利用できるような簡単な方法を考案し、実用化をはかった。

第I、II章の調査を行う過程で環境暴露室内で比較栽培した植物は葉数、草丈、苗高などの成長量及び収量などに両室の差異が明確に現れた。そこで、第III章では樹木が受ける大気汚染の慢性的、長期的な成長抑制について調査し、成長量と年毎のオキシダント汚染量との関係について明らかにした。また、光合成、呼吸速度、体内成分などにオキシダントが及ぼす影響について調べ、成長量の低下の要因を解析した。

第IV章では、ホウレンソウのオキシダント被害の軽減・回避対策試験について述べた。都市近郊で多発する光化学スモッグは都市近郊農業の主要生産を占める野菜類、

特に葉菜類に、大きな影響を及ぼしている。東京都で第2位の耕地面積を持つホウレンソウ¹¹⁾は、毎年春から秋期にかけて葉上にオキシダントによる可視被害を生じ、大きな経済的損失を生じ、栽培を断念する農家もでてい。一方では、最近、高収益をあげる夏どりホウレンソウの栽培技術が導入され始め、夏期に頻発するオキシダントに遭遇する機会も増えた。そこでホウレンソウのオキシダント被害を軽減し回避することが都市農業を維持する上からも重要な課題となった。

先ずオキシダントに対して抵抗性を示すホウレンソウの品種系統を検索し、それらの形態学的、生理・生化学的特性について明らかにし、抵抗性の要因について検討を行った。

一方、栽培技術的に被害を軽減する方法は薬剤散布¹²⁾、浄化施設などがあるが、ここでは施肥による方法を取りあげ、ホウレンソウに増肥あるいは追肥を行い、被害の軽減を試験した。その結果にもとづき農家の畑において現地実証試験を行い、被害の軽減方法を確立した。

本研究は、東京都農業試験場において「大気汚染に対する指標植物群の開発研究」(1973年~1977年)、「大気汚染被害発生限界の解明に関する研究」(1978年~1982年)、「農園芸作物の大気汚染被害軽減、回避技術開発試験」(1983年~1987年)の試験研究にもとづき行ったものである。

本研究の実施にあたり、千葉県農業試験場公害研究室、東京都公害研究所(現環境科学研究所)大気部の方々からは貴重な示唆と助言を賜るとともに、本研究を取りまとめるにあたり、東京大学農学部熊沢喜久雄教授、茅野充男助教授から多大の御指導、御鞭撻を頂きましたことに深甚なる謝意を表します。

指標植物の観察運動に参加された多くの市民の方々、ポプラの穂木を提供していただいた東京大学農学部付属演習林田無試験地の八木喜徳郎講師およびホウレンソウの現地試験にご協力頂いた八王子市の原島勝三氏、立川市の岡部良作氏並びに東京都南多摩及び北多摩農業改良普及所の関係各位、本研究遂行に理解ある配慮を頂いた東京都労働経済局農林水産部の方々、東京都農業試験場の場長ほか各研究員・職員の方々、特に寺門和也主任研究員、鈴木熊吉氏、また調査分析にご協力頂いた東京農工大学元学生、宮田恭和氏、池田明子氏をはじめ多くの皆様に対し、心から感謝の意を表します。

第I章 光化学オキシダントの発生状況と植物被害の立証および被害の特徴

緒言

ロスアンゼルスなど大都市を中心に光化学スモッグに見舞われたアメリカでは、オキシダント(以下Oxと略す)による植物被害の解析がTaylorら¹³⁾、Hillら¹⁴⁾、Memserら¹⁵⁾、Thomsonら¹⁶⁾により行われ、1960年代に多数の論文が報告された。Oxの大部分を占めるオゾンが及ぼす植物被害について可視症状の分類、植物種、品種による感受性の強弱、組織学的特徴などが分かってきた。その後、Ox中にごく微量ではあるがPANの存在がStephensら¹⁷⁾により明らかにされ、Taylorら¹⁸⁾、Duggerら¹⁹⁾により植物のPANの被害が確認され、可視症状、感受性、組織的特徴などについて報告がされた。即ち、オゾンは成熟葉の表面に白色、褐色斑などを生じ、柵状組織の細胞を中心に傷害を与えており、PANは未成熟葉の裏面に光沢、銀白色、青銅色の斑点を生じ、海绵状組織を中心に崩壊することがわかった。

わが国でも1970年前後より都市化の著しい東京の郊外で植物の被害が頻繁に起こるようになり、その原因究明が急がれるようになった。そこで都心から西北西30kmに位置する東京都農業試験場(以下、東京農試と略す)内の圃場に設置された環境暴露室に於て大気汚染物質の濃度を常時観測しながらOx発生時の植物被害についての調査を行った。同時に人工オゾン、PANの単体処理により被害の確認を行って、Oxによる植物被害発生立証を試みた。更に、被害症状の外観上の分類及び感受性の違い、被害葉の組織学的特徴及び組織内酵素活性の消長について調べ、Oxが植物葉に及ぼす被害の特徴について述べる。

1 都市近郊における大気汚染の発生状況

東京農試内の圃場における大気汚染の実態を把握するため、1973年8月から常時観測に入り今日まで測定を継続している。それらの観測値から光化学スモッグの各汚染物質濃度の日内変動、OxとPAN濃度の関係及び1973年から4年間におけるOxとPAN濃度の推移を見た。

(1) 大気汚染物質の測定方法

大気中の各汚染物質は以下の方法で測定を行った。

(a) Ox: 中性ヨウ化カリウム反応による吸光光度法(D.K.K社製GX-6型)

(b) オゾン：ケミルミネッセンス法（D. K. K 社製 GLX-11型），紫外線吸収法オゾン濃度計（DASIBI 社製）

(c) 二酸化イオウ：導電率測定法（D. K. K 社製 GRH-3型）

(d) 窒素酸化物：ザルツマン法（D. K. K 社製 GP-5型），ケミルミネッセンス法（D. K. K 社製）

(e) PAN：ECD 検出器付ガスクロマトグラフ法（柳本社製 GPH-10A型）

(f) 粉塵：散乱光方式（D. K. K 社製 GRH-3型）

(2) 大気汚染の発生状況

(a) 各汚染物質濃の日内変動

図 I - 1 は東京都農業試験場（立川市）の圃場に於

てサンプリングした空気中の大気汚染物質の濃度を経時的に示したものである。窒素酸化物のNOとNO₂濃度は夜間に高く，昼間はOxが発生するにしたがい低下した。

Oxは午前中に濃度が徐々に高くなり昼ごろから午後にかけて最高値を示したのち減少した。PANはOxとほぼ同様な消長を呈したが，5月17日のようにPANが夜間まで比較的高い値を維持する日がしばしば見られ，オゾンと比べてPANは分解しにくい汚染物質であることを裏付けた。一方，5月19日のようにOxよりもPANの方が早く低下する日もあり，他の汚染物質との関係及び気象条件などが複雑に絡み合ってPAN発生・消長の影響を与えているものと考えられる。低濃度ではあるがSO₂の消長はOxとほぼ同様な傾向であった。

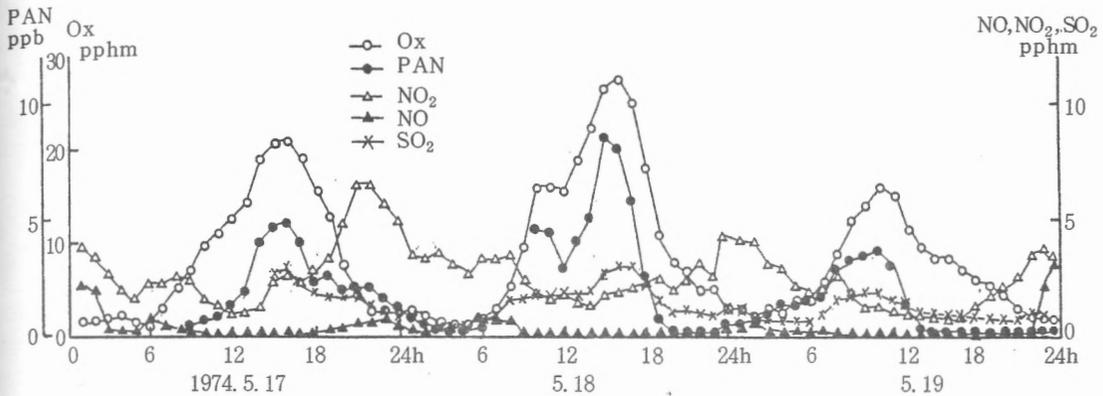


図 I - 1 Ox, PAN, NO₂, NO, SO₂ の 1 時間平均値の経時変化

(b) Ox 濃度と PAN 濃度の関係

Ox と PAN の一時間平均値の日最高値の関係を図 I - 2 に示した。50年7月から10月までに発生した Ox と PAN 濃度の日最高値を見ると高い相関関係が得られ，夏と秋の季節によっても差はほとんどみられなかった。PANがOx中に占める濃度の割合は約2～6%であったが，これらの割合は気象条件及び他の汚染物質との関係で変動する²⁰⁾と言われている。

(c) 4年間のOxとPAN発生パターン

1973年8月から1976年の4年間に発生したOxの7pphm (parts per hundred million) 以上ドースとPANの1ppb以上ドースの10日間の平均値の経時変化を図 I - 3 に示した。一般に，Oxの発生は4月から9月中旬までに多く起こり，PAN濃度も同じ時期に高かった。夏期を中心にOxドースに対するPANドースの割合を見ると，1975年が約2.5%であり，1974年はそれより低く，1976年は逆に高く，Oxに占めるPANの割合が年により変動した。

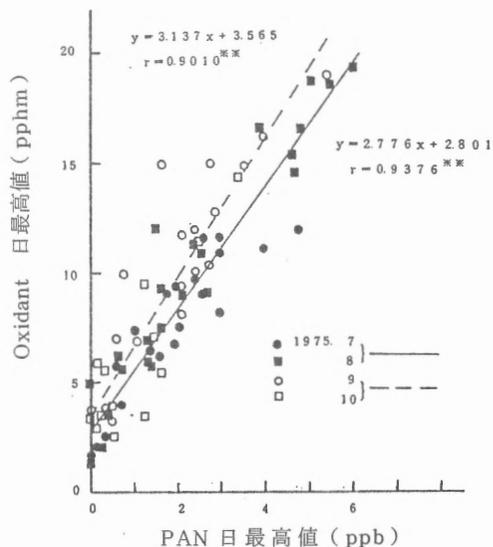


図 I - 2 Ox 日最高値と PAN 日最高値の関係

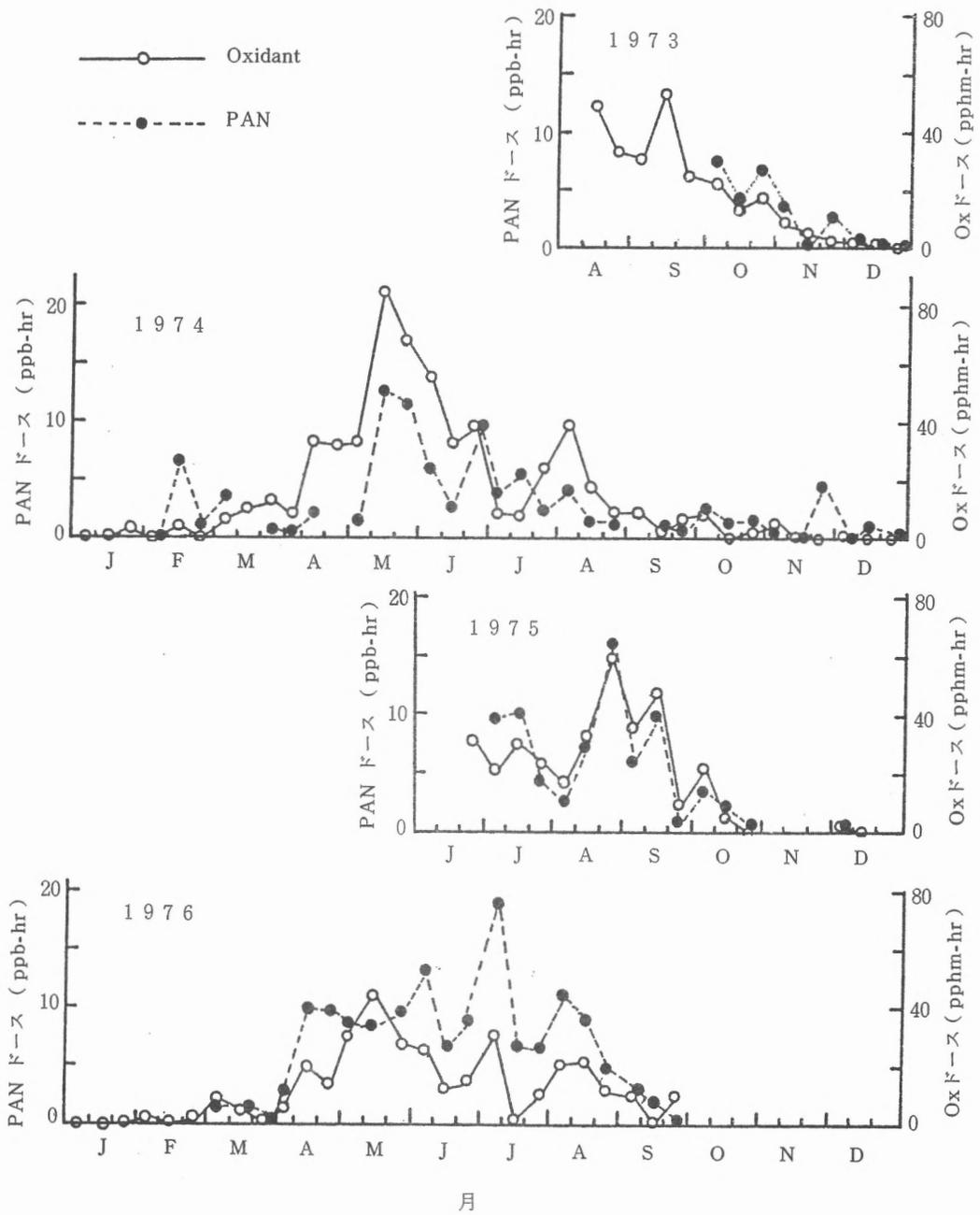


図 I - 3 Ox 7 pphm 以上ドーズと PAN 1 ppb 以上ドーズの10日間毎の平均値の経時変化の年次比較

2 浄化空気室 (Filtered Air Chamber) の機能と効果

(1) 施設の概要

施設はアルミ鉄骨製ガラス室を改良したもので、調査測定室 (各種大気汚染物質の自動測定機器、温湿度測定機などを設置) をはさんで西側に浄化空気室 (Filtered Air Chamber, FACと略す) と、東側に非浄化空気室 (Non-Filtered Air Chamber, n-FACと略す) を配置した (写真 I-1 (巻末に提示))。両室の面積はそれぞれ $5\text{ m} \times 20\text{ m}$ ($5\text{ m} \times 5\text{ m}$ が2室, $5\text{ m} \times 10\text{ m}$ が1室) である。

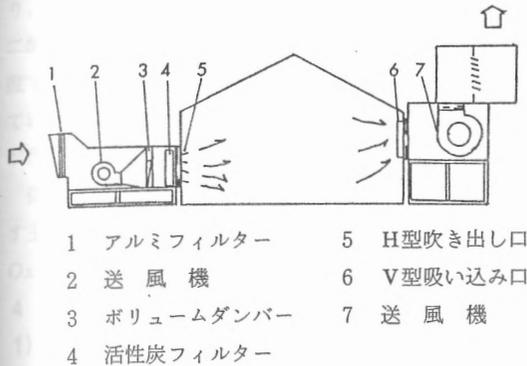


図 I-4 浄化空気室の断面図

図 I-4, 5 に示すように各室とも南側に外気の吸い込み口を、北側に吹き出し口を設け、FACはその両方に、また n-FAC は吹き出し口のみシロッコファン型の送風機を設置した。吸い込み口、吹き出し口には風量、風流調整用のダンパーを取り付け、室内中央部における平均風速は 0.75 m とした。

(2) 大気汚染物質の浄化機能

FACの吸い込み口にはアルミフィルター、フィードンフィルター、活性炭フィルターを取り付け大気汚染物質を除去した。活性炭フィルターの厚さは 10 mm とし、6~10メッシュの活性炭が充填され、大気との接触面積を

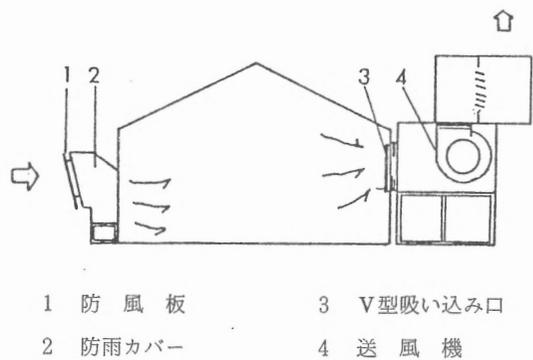


図 I-5 非浄化空気室の断面図

大きくするようにヒダ状にしてある。これらのフィルターを使った汚染物質の浄化効果は表 I-1 に示した。光化学オキシダントの主成分であるオゾン (O_3)、パーオキシアセチルナイトレート (以下 PAN と略す) に対しては約90%の浄化効果を持ち、二酸化イオウ (SO_2)、二酸化窒素 (NO_2) の除去率は50~70%にとどまった。一酸化窒素 (NO) は浄化効果がほとんどなかった。

フィルターの浄化効果は3月にフィルターの洗浄と活性炭の交換を行い、経時変化をみたが、半年経過しても維持されていた。

野外の大気とそれを取り入れた非浄化空気室内のオゾン濃度を表 I-2 に示した。高濃度、低濃度にかかわらず室内のオゾンは差がほとんどみられず、吸い込み口通過によるオゾンの破壊はないものとみなされた。

(3) FAC と n-FAC の温度条件

FAC内の温度は野外に近づけるように、室内空気の換気回数を毎分6回以上とした。両室内は野外の気温よりも約 1°C 高い値を示したが、表 I-3 のように FAC と n-FAC との間では気温差はほとんどなかった。

表 - 1 フィルターによる大気汚染物質の浄化効果の測定例

汚染物質	非浄化空気質	浄化空気室
O_3	13.5 ppbm	1.7 ppbm
"	8.8 "	0.8 "
PAN	12.4 ppb	2.0 ppb
"	5.1 "	1.2 "
SO_2	3.8 ppbm	1.3 ppbm
NO_2	5.3 ppbm	2.9 ppbm
"	3.5 "	2.1 "
NO	5.5 ppbm	5.2 ppbm

表 I-2 野外と非浄化空気室内のオゾン濃度

	1	2	3	4	平均
野 外	12.5	17.5	4.5	3.6	9.5
非浄化空気室	12.0	17.5	4.5	3.7	9.4

(単位:pphm)

表 I-3 浄化空気室と非浄化空気室内の月平均気温

(1975年6~10月)

月	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.
浄化空気室	22.5	25.6	26.5	24.4	16.8
非浄化空気室	22.3	25.5	26.5	24.4	16.8

(単位:℃)

3 植物被害の立証

野外調査により多種類の植物の葉に可視被害が観察された。それらが大気汚染による影響かどうかを浄化空気法及び人工オゾン、PANの単体処理法を用いて検討を行った。

〈方法〉

(1) 供試植物

野外で被害のみられた植物を中心に供試した植物は22科, 47種, 238品種である。

(2) 浄化空気法による比較

浄化空気室と非浄化空気室内に同一の植物を植栽し、その後の可視被害発生状況を調査し、大気汚染物質の測定データとつき合わせ比較検討した。

(3) 人工オゾン、PANの単体処理実験方法

野外でみられた植物の可視被害を再現し被害判定を行うために、浄化空気室内で植物を育成し、人工オゾン、PANを単体処理した。

オゾンは放電型オゾン発生器(日本オゾン社製)を用い、電圧を変化させオゾン濃度(0.15~0.20ppm, 2~3時間)を調整した。

PANの合成は泉川ら²¹⁾の方法にしたがい、亜硝酸エチルと酸素を径20cm×100cmのガラス製反応器で混合し、40Wブラックライト4本で30分間照射した。その後ドライアイス-アセトンで冷却したトラップを通して濃縮した。室温に戻した後、分離カラムPEG600を通し、熱伝導型ガスクロマトグラフ分析計でPANを確認しながらテフロンバックに採取した。PANの赤外吸収スペクトルから濃度を求め、希釈して必要な濃度(約10ppb, 4~5時間)にして植物体に処理した。

〈結果及び考察〉

(1) 可視被害の立証

浄化空気室(FAC)と非浄化空気室(n-FAC)で比較栽培した植物は、FAC内ではどの植物も可視被害を生じなかったが、n-FACではしばしば植物の葉上に可視被害を生じた(写真I-2, I-3)。そのときの大気汚染の発生を見るとOx, O₃, PAN濃度が高く数時間持続していた。被害症状の発生はOx発生日の午後から翌日にかけて葉上に水浸状の初期症状が観察され、2~3日経過すると白色斑、褐色斑などに变化した。

人工オゾン処理をイネ、オクラ、ハツカダイコン、ホ

ウレンソウ、ポプラ、ナシ、クローバーなどについて行った結果、野外及びn-FACと同様な可視被害がみられた(写真I-4)。また、人工PAN処理によっても供試したペチュニア、インゲン、サラダナで野外及びn-FACと同じ可視被害が再現された(写真I-5)。

一方、大気中にはOxと同時に二酸化イオウや窒素酸化物が存在している。二酸化イオウが植物の可視被害を引き起こす濃度を見ると、ソバが0.2ppm、8時間の処理で生じ、アサガオでは0.5ppm、8時間を4日間処理して可視被害を生じると報告されている¹¹⁾。当調査地点の環境値は夏期において最高値を見ても0.03ppmであり、可視被害を起こす濃度には至っていなかった。また、二酸化窒素に対しては敏感なピントビーンで3ppmの濃度で4~8時間処理により可視被害がみられる²²⁾とされている。当地点の二酸化窒素の夏期の環境値は0.1ppmが最高であり、可視被害を生ずる濃度ではなかった。

従って、東京近郊周辺では植物に可視被害を引き起こす主な汚染物質はアメリカのロスアンゼルスと同様に、Ox中のオゾンとPANであると見なされた。

4 植物被害の特徴

1) 植物の被害症状の分類とOx感受性の差

第I章、3で行った供試植物の被害調査結果から、オゾン及びPANによる可視被害の症状による分類と、種、品種によるOx感受性の差による分類を行った。

〈結果〉

(1) オゾン型被害

オゾンによる被害症状を分類すると、①葉の表面に

白色小斑点、②葉の表面に暗褐色小斑点、③葉の表面の漂白化(大型不定形白色斑)、④葉全体の赤色化、⑤早期落葉などであった。

一方、高濃度のオゾンに長時間さらされると、その日の午後水浸症状が葉脈間に現れ、表面から裏面にかけて細胞の脱水が起こった。その様な葉は時間の経過と共に褐色化、黄化さらには巻き葉現象を起こし、早期に落葉した。表I-4に各種植物を被害症状別に記載した。

(2) PAN型被害

PANによる植物被害症状は、高濃度PAN発生日ではその翌朝に葉の脱水によるしおれを呈し、日時の経過とともにその部分はネクロシスとなった。一方、中程度の汚染日では翌日の日中に葉の裏面が光沢化し、時間が経つにしたがって、裏面が主に銀白色を呈する植物と青銅色を呈する植物とに分かれた。それらを表I-5にまとめて示した。

即ち、Oxの主成分のオゾンは葉の表面に斑点状の被害をおこすのに対し、PANは葉の裏面に光沢状の被害をおこすという対称的な特徴をみせた。両者の被害の生じる葉齢をみるとオゾン型被害は成熟葉に出現し、PAN型被害は未成熟葉を中心に生じた。主に、オゾンに感受性のある植物はアサガオ、ポプラ、イネなどであり、PANに感受性のある植物はペチュニア、レタスなどで、オゾンとPANの両方に感受性のある植物はホウレンソウ、インゲン、フダンソウなどであった。

(3) 植物種によるOx感受性の強弱

野外及びn-FACに植栽した植物は同じ濃度のOx

表I-4 オゾン型被害の分類と植物名

種類 症状	農作物	花キ	樹木	雑草
小白色斑	タバコ、アルファルファ、イネ、サツマイモ、ラッカセイ、キュウリ、ソバ、フダンソウ、オクラ、トウモロコシ、ミツバ	アサガオ ヒマワリ	ポプラ ナシ	シロツメクサ ノゲシ ハキダメギク ヒメムカシヨモギ
褐色斑	インゲン、イネ、ジャガイモ、サトイモ、ゴマ、オクラ、スイカ、ダイズ	ミニトマト サルビア	ムクゲ プラタナス クワ、ナシ	タンポポ ノゲシ メヒジワ
漂白化	ハツカダイコン、コカブ、ホウレンソウ、ネギ、パセリ	ベゴニア		
赤色化	ニンジン インゲン(本葉)		ケヤキ	ギンギシ シロツメクサ
早期落葉	インゲン		ポプラ、ナシ ケヤキ	

表I-5 PAN型被害の分類と植物名

症状 \ 種類	農作物	花	雑草
光沢化 → 銀白色	ホウレンソウ フダンソウ レタス, サラダナ	ペチュニア(ホワイトエンサイン, ウェディングデューイなど) ヒマワリ(幼苗)	ハコベ
光沢化 → 青銅色	インゲン フダンソウ レタス サラダナ	ペチュニア(ブルーエンサイン, レッドコロネット, スカー レットエンサインなど) ダリア	

表I-6 Oxに対する植物の感受性程度による分類

感受性の高い植物 (Ox濃度日最高値10pphm以下)	感受性中程度の植物 (Ox濃度日最高値10~15pphm)	感受性の低い植物 (Ox濃度日最高値15~20pphm)
アサガオ(スカーレットオハラ, チェリオ, テンショウハマノシラベ, ハマノナガレ) ペチュニア(ホワイトエンサイン) ポプラ タバコ オクラ フダンソウ ホウレンソウ サトイモ サントウサイ ベゴニア(RI) ラッカセイ ハツカダイコン ハコベ インゲン	ペチュニア(ブルーエンサイン, レッドコロネット) ミツバ ケヤキ イネ ミニチュアトマト キュウリ トマト ムクゲ プラタナス ダリア バレイショ レタス ギシギシ シロツメクサ サラダナ トウモロコシ ヒマワリ	ペチュニア(サーモン, スカーレットエンサイン, ローズエンサイン, グリッターセレクト) ニンジン ソバ ゴマ 西洋タンポポ サルビア パセリ ハキダメギク ヒメムカシヨモギ ノゲシ

に暴露されても種により可視被害の生じるものから全く無いものまであった。また、同一種でも品種の違いにより感受性に差がみられた。各植物の可視被害発生とOx濃度とを比較しながら主な植物についてOxに対する感受性の程度により分類すると表I-6のようになった。

Ox日最高値が10pphm以下で可視被害が生じるアサガオ、ペチュニア(品種-ホワイトエンサイン)、ホウレンソウ、ポプラなどの感受性の高い植物、10~15pphm

のOx濃度で生じるイネ、トウモロコシ、ケヤキなどの中程度の植物及び15pphm以上で生じるタンポポ、ハキダメギクなどの感受性の低い植物に分けられた。

2) Ox被害葉の組織学的特徴

Oxによりいろいろな被害症状を呈した葉について細胞の組織学的な影響をみた。

〈方法〉

供試植物は、アサガオ、ポプラ、イネ、インゲン、

ケヤキ、ナシ、ゴマ、クローバー、ヘチマ、オクラ、ミニトマト、ダイズ、ペチュニア、ハウレンソウ、サラダナである。これらの植物をFACとn-FAC及び圃場に栽培して、被害葉の切片とFAC内の正常葉の切片を作り、それぞれ比較しながら検鏡した。一方、数種植物については、人工オゾン及びPAN処理を行って被害を再現させたのち、被害葉の切片を検鏡し、Ox被害葉と比較検討を行った。なお、切片の染色はチオニンで行った²³⁾。

〈結果及び考察〉

(1) オゾン型被害葉の組織学的特徴

(a) アサガオ：Ox暴露及び人工オゾン処理した植物葉に生じた白色小斑点部分を切片にして検鏡すると、柵状組織の細胞が原形質分離を起こし中央に収縮して変色して、チオニンによって染色された。一方、海綿状組織の細胞及び表皮細胞には変形がみられなかった。しかし、ネクロシス化している部分では、表皮、柵状および海綿状組織が崩壊していた。

(b) ポプラ：Ox被害葉の白色小斑点部分は柵状組織の第2層の細胞が主に崩壊していたが、表皮、海綿状組織の細胞は変形していなかった。一方、褐色斑を形成している部分では、表皮が陥没し、柵状組織の第1、2層の細胞が崩壊し、チオニンによって強く染色された。人工オゾン処理実験で、これらと全く同様な現象を確認できた(写真I-6)。

(c) イネ：赤褐色斑のある被害葉の表面を検鏡すると、気孔の周辺部が褐色化していた。また、葉の切片を見ると、葉緑体が減少し、一部の細胞が褐色化していた。

(d) インゲン：褐色斑の発生した被害葉は柵状組織の細胞が若干変形し、原形質が1ヶ所に固まって、その部分がチオニンで染色された。海綿状組織と表皮細胞には変化がみられなかった。

(e) ケヤキ：赤色化あるいは黄化した葉の切片を見ると、表皮、柵状および海綿状組織の細胞に変化はみられないが、細胞内の葉緑素は退色していた。

(f) ナシ：下位葉あるいは落葉した葉の切片を見ると、主に柵状組織の第1層の細胞が変形し、褐色を呈していた。

(g) シロツメクサ：表面に白色小斑点を生じ、一部分赤色化した葉は、柵状組織の細胞内の葉緑素の減少と、表皮と柵状組織の細胞変形を一部分おこしていたが、海綿状組織に変化はなかった。

(h) ゴマ：表面に褐色大斑点を生じた葉は、柵状組

織の細胞が崩壊し褐色を呈し、チオニンで染色された。一方、ネクロシス部分は全組織とも崩壊変形し、裏面(海綿状組織)の陥没が著しく全体がチオニンで強く染色された。

(i) スイカ：表面に褐色斑を生じた葉は柵状組織の細胞が変形して、チオニンで染色された。

(j) ヘチマ：表面全体に白色小斑点の発生した葉は、柵状、海綿状組織の葉緑体をほとんど消失していたが、細胞は変形していなかった。

(k) オクラ：白色あるいは褐色小斑点のある葉は、柵状組織の葉緑体が消滅し、一部分細胞の変形を起こし、チオニンにより染色された。

(l) ミントマト：褐色不定形斑のある被害葉は、柵状組織の細胞が変形し、褐色を呈していた。

(m) ダイズ：被害葉は柵状組織の葉緑素が退色して、原形質が固まってチオニンによって染色された。

(2) PAN型被害葉の形態的特徴

(a) ペチュニア：葉の裏面が銀白色あるいは青銅色を呈している切片を検鏡すると、海綿状組織の細胞が崩壊し、変形した細胞壁のみが残って、白色化あるいは褐色化して、その被害部分は陥没してチオニンによって染色された。一方、柵状組織に変化はみられなかった。

ネクロシス化した被害葉は、表皮、柵状および海綿状組織の細胞すべてが崩壊しチオニンにより染色された。

なお、ペチュニアの人工PAN処理実験によってこれらの組織学的特徴を再現できた。一方、高濃度の人工オゾン処理によって発生したペチュニアの被害は主に柵状組織の細胞に変化がみられ、明らかにPAN被害と区別できた。

(b) サラダナ：裏面が青銅色化している葉は、海綿状組織の葉緑素の退色と、一部分に細胞の変形がおこりチオニンで染色された。

(c) ハウレンソウ：葉の裏面が銀白色化している切片を見ると、表面の表皮と柵状組織に異状はないが、海綿状組織が崩壊し、細胞壁が変形し陥没して、健全な海綿状組織の約3分の1の厚さになっていた。この陥没部分はチオニンによって染色された(写真I-7)。

数種植物の被害葉の切片を検鏡した結果、オゾンによる被害の特徴は主に①柵状組織の崩壊であり、PANの被害は②海綿状組織の崩壊による陥没であった。一方、細胞の形はほとんど変わらないが③細胞内の葉緑素が消滅している種類がオゾン型被害の中にみられた。すなわち①のタイプを表す植物はアサガオ、ポプラ、インゲン、ナシ、クローバー、ゴマ、スイカ、オクラ、ミニトマト、

ダイズがあり、②のタイプにはペチュニア、ハウレンソウ、サラダナで、③のタイプにはイネ、ヘチマ、ケヤキが分類された。

以上のように我が国でみられたOxによる植物被害の外観的、組織学的特徴はHillら¹⁴⁾、Taylor¹⁸⁾の報告などと同様な結果であり、植物へ影響を及ぼす主な汚染物質はオゾンとPANであることを確認した。

3) Ox被害葉の組織内酵素活性の変化

植物は、感染病、機械的傷害により異常代謝を生じパーオキシダーゼ (PRO)、ポリフェノールオキシダーゼ (PPO) 活性などが高まること²⁴⁾が知られている。

一方、Curtisら²⁵⁾はオゾンにより傷害を受けた植物葉中のPROアイソザイム活性が増加したと報告している。そこで非浄化空気室内 (n-FAC) にて可視被害の生じた数種植物の葉内PROとPPO活性について浄化空気室内 (FAC) の植物と比較しながらOxが葉組織に及ぼす影響を明らかにした。

〈方法〉

供試植物のポプラ、ナシ、ケヤキ、インゲン、アサガオ、イネ、サツマイモは、FACとn-FACに栽培し、凍結マイクロームで葉位別に切片を作った。PPO活性は切片にベンチジンを滴下し、PRO活性はH₂O₂とベンチジンを滴下し²⁶⁾、10分後KCNで反応を停止して染色程度を検鏡した。

〈結果及び考察〉

(1) パーオキシダーゼ活性

(a) ポプラ：FACとn-FACのポプラを葉位別に比較すると、PRO活性による染色の強弱は表I-7のようになった。即ち、オゾンに感受性のない若い葉は、両

区の各組織とも同じ染色程度であった。一方、FACの成熟葉では柵状、海綿状組織とも活性が弱くなる傾向を示したが、n-FACで白色小斑点の生じている成熟葉では柵状組織の崩壊した細胞の周辺で強く染色された。

人工オゾン処理したポプラはn-FACと同様な傾向を示し、被害の発生した葉の柵状組織でPRO活性による強い染色がみられた。

(b) ナシ：徒長枝の下位から第10葉位目の葉のPRO活性による染色程度をみると、FACでは柵状組織の第2層目の細胞と海綿状組織及び表皮細胞で強かったが、n-FACでは、柵状組織の第1層目の細胞も同様に強かった。なお、ナシのOx被害は、柵状組織の第1層目の細胞に多く出現した。

(c) インゲン：FACとn-FACの双葉を比較すると、n-FACの可視被害の発生している葉の方がPRO活性による染色程度は強かった。

(d) アサガオ(スカーレットオハラ)：FACの上位葉とn-FACの被害を受けない上位葉はPRO活性による染色程度にはほとんど差はなかった。一方、下位葉については、FACの柵状および海綿状組織はほとんど染色されなかったが、n-FACの被害葉では、柵状、海綿状組織とも強く染色され、PRO活性が高くなった。

(e) サツマイモ(ベニコマチ)：圃場植栽のサツマイモについてみると、被害のない上位葉は柵状、海綿状組織ともPRO活性による染色はみられなかったが、白色小斑点のある下位葉では、両組織とも染色され、PRO活性が高かった。

(f) イネ(日本晴)：FACとn-FACのイネは、上位葉及び下位葉(n-FACでは可視被害あり)の両方と

表I-7 Ox暴露およびO₃処理されたポプラの葉組織内パーオキシダーゼ活性による染色程度

組 葉令 区 織	オキシダント暴露実験								オゾン処理実験				
	8/18 開葉		8/4 開葉		7/21 開葉		6/9 開葉		上位葉		下位葉		
	f区	n-f区	f区	n-f区	f区	n-f区	f区	n-f区	Cont	O ₂	Cont	O ₃	
表皮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
柵状組織	第1層	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	第2層	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
海綿状組織	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	
可視被害	0	0	0	C ₂	0	C ₅	0	C ₅ N ₃	0	0	0	C ₄	

(f区：浄化空気室 n-f区：非浄化空気室)
(O₃処理 0.2ppm 3時間処理)

もPRO活性による強い染色がみられ、両区間の差は明らかでなかった。

(g) ケヤキ：FACとn-FACの葉はPRO活性による染色程度に明らかな差はみられなかった。

(2) ポリフェノールオキシターゼ活性

ケヤキのPPO活性による染色は上位葉、下位葉ともn-FACの方がFACよりもやや強い傾向であった。ケヤキ以外の供試植物ではPPOによる染色を明瞭に検鏡できなかった。

以上、ポプラ、アサガオ、インゲン、サツマイモ、ナシのOx被害葉は崩壊した組織でPROによる強い染色がみられた。これはOxが葉組織に傷害を与えた結果、PRO活性が促進されておこったものと考えられる。一方、PPOによる染色はケヤキ以外の植物ではみられなかった。したがって、Oxによって影響を受ける組織内酵素のひとつにPROを挙げることができよう。この酵素による染色方法は数種植物を除いてOxによる被害を知る一つの方法として有効であると思われる。

摘 要

光化学オキシダントOxによる植物被害を立証するため、東京農試内に設置した浄化空気室(FAC)と非浄化空気室(n-FAC)を用いて各種植物を栽培した。各大気汚染物質を常時観測しながら、発生濃度、発生時間などと植物の可視被害の有無、特徴などを比較しOxによる植物被害について検討を行った。

(1) 当地にて大気汚染を常時観測した結果、主な汚染物質はOxであり、その大部分はオゾンが占め、Oxの内の2~6%がPANであった。

(2) FACは、活性炭などのフィルターによりOxの約90%を浄化する効果があった。室内の気温は野外より1℃前後高いが、FACとn-FACでは同じであり、植物の比較栽培上支障はなかった。

(3) FAC内に植栽した植物は被害を生じなかったが、n-FAC内では葉上に可視被害がみられた。そのときの大気汚染の発生を見るとOx、O₃、PAN濃度が高かった。一方、人工オゾン及びPAN処理を数種植物に行った結果、野外とn-FACと同様な可視被害がみられた。したがって、植物被害を引き起こす主な汚染物質はOx中のオゾンとPANであるとみなされた。

(4) 植物葉の被害症状を分類すると、オゾンによる被害は成熟葉の表面を中心に白色斑、褐色斑、葉全体の赤

色化などがみられ、主に柵状組織が崩壊していた。一方、PANによる被害は未成熟葉の裏面を中心に生じる光沢化、銀白色斑、青銅色斑であり、主に海綿状組織の崩壊によっておこった。オゾン型被害を呈する植物はアサガオなど42種、PAN型被害はペチュニアなど9種であり、オゾンとPANの両方の被害を呈する植物はホウレンソウなど4種であった。

(5) Oxに対する植物の感受性は種、品種により大きく異なった。Ox 10pphm以下で可視被害の生じるアサガオ、ペチュニア(白花系)などが感受性の高い植物であり、10~15pphmのOxで生じるイネ、トウモロコシなど中程度の植物、15pphm以上で生じるタンポポ、ハキダメギクなどの感受性の低い植物に分けられた。

(6) Oxにより被害を受けた葉の細胞組織はパーオキシターゼ活性により強く染色され、Oxによる被害を確認する一つの方法とみなされた。

第Ⅱ章 光化学オキシダントに対する 指標植物の開発

緒 言

アメリカでは1950年代のOxに関する研究の初期に、人工的に合成した汚染物質を検定するため植物による被害を利用していた。その後、ロスアンゼルスなどではビントビーン²⁷⁾、スズメノカタビラ²⁸⁾、タバコ(Bel W₃)²⁹⁾を各地に配置し、環境大気中のOxをモニタリングし、汚染地図や年ごとの汚染状況を作成した。しかし、Ox濃度と可視被害程度との相関性が低いためOx濃度を正確に知ることは無理であるとされていた。

一方、我が国では、大気、水質などの環境が悪化するにしたがい、身の回りの生物に変化が生じ、それらの生物を通して環境の汚染程度、分布を把握する方法、すなわち指標生物の活用が行われるようになった。埴田³⁰⁾は蘚苔類や地衣類の利用方法を記し、山家³¹⁾はスギの衰退と二酸化イオウによる汚染との関係を調査した。

松中³²⁾は指標生物とその利用方法³²⁾についてまとめ、その中で指標生物法の利点について次のように述べている。
①要因を複合的・総合的にとらえうる。
②広域および長期間にわたり要因の蓄積をも知りうる。
③人間への影響として換算しやすい。
④経済的である。
⑤簡便であり、高度の技術を必要としない。
⑥特定の汚染要因の把握も可能である。
⑦環境美化へも貢献する。そして、環境問

題を考える場合に一般市民の理解、参加、協力は大切なこととし、③④⑤⑦の項目は一般性の点からも指標生物としての利点があると強調している。

一般市民が指標植物を用いる場合、①汚染物質に対して敏感に反応し個体差が少ない。②識別しやすい被害症状を葉に生じる。③広範囲で生育が可能である。④病害虫に強く栽培し易い。⑤調査方法が簡単であることなどが要求されるであろう。

第I章の植物被害の立証を行う中で以上のような特徴をそなえた植物を検索した結果、オゾンの指標植物としてアサガオが、PANに対してはペチュニアが適していると推察された。そこで、アサガオとペチュニアのOx被害の特徴と指標性について検討したのち、それら指標植物を市民が実際に利用できるような簡単な調査方法を作成し普及した。市民が行った観察の結果と成果についても述べることにする。

1 オゾンの指標植物 —— アサガオの被害の特徴と指標性

オゾンに対して敏感に反応し、被害症状の鮮明なアサガオ³³⁾は1973年頃より指標植物として用いられ始めた³⁴⁾。しかし、被害の特徴、被害程度とOx濃度との関係が明らかにされていないために結果の解析に不十分さを残していた。

人工オゾン処理実験からオゾン濃度と処理時間による植物被害程度との関係を調べた報告³⁵⁾はあるが、これらは比較的高濃度域長時間処理で行われている。一般に野外では更に低濃度域で植物被害が生じるとともに、大気中に生じるOx濃度はいろいろなパターンをとり複雑な様相を示す。従って指標植物としてアサガオを用いる場合、野外でのOx汚染程度と被害量との関係を求める必要が生じた。

これらの調査を行っている過程でアサガオはOxに対して特徴ある反応を示した。即ち、若い葉齢の葉には被害がみられないが、中位から下位の葉はOx発生により可視被害を生じたので、それらとアサガオ葉の生理的特徴との関連について調べてみた。

オゾンの指標植物としてアサガオを利用する場合、オゾンに対して葉が敏感に反応し長期間感受性を保つ株を栽培することが必要である。ここではアサガオの肥培管理法について検討を試み、最も高い感受性を示す施肥量を求めた。

1) アサガオの被害程度とOx発生量との関係

アサガオの品種によるOx感受性を調査し、最も敏

感な品種を用いて、Ox汚染程度とアサガオの被害量との関係を検討した。すなわち、アサガオの被害量の表示方法をいくつかあげて、それらの中からOx汚染量と高い相関を示すものを求めた。Ox汚染は日々異なる濃度・時間のパターンを示すが、アサガオが被害を生じる濃度及び持続時間との関係、またOx発生時間帯と被害量との関係、日最高値の出現時刻と被害量との関係などについて統計処理を試みた。

〈材料及び方法〉

(1) 材 料

(a) アサガオのOxにに対する品種間差を比較するため圃場に8品種、スカーレットオハラ、驚娘、夢、天下一、キャロルブルー、芝、東娘、むらさきを地植にし生育させた。

(b) アサガオの品種スカーレットオハラを用いて、1974年から1977年まで毎年5月上旬にビニールポットに播種し、浄化空気室内にて育成した。6月中旬に非浄化空気室内に6株地植にし、堆肥と化成肥料(14, 14, 14,) 1株当たり5gを施用し7月中旬に追肥した。アサガオのつるは伸長するに従って下の方へ移動できるようにビニール製のひもでつるのようにした。腋づるはすべてつみとり、主つる1本のみを伸長させた。

(2) 調査方法

(a) 圃場栽培のアサガオ8品種は7月末から8月中旬までの間に生じたOx被害をまとめて調査した。

(b) 表II-1に示すような調査表を作り、各株ごとに下位葉から上位葉へとOxによる被害の有無を毎日午後2時頃観察した。新しい被害が発生した場合、1番上位の被害葉にはモールで印をつけ、調査表に被害の程度を葉ごとに記入した。被害の程度は1~5の5段階に分けて、一葉中の被害面積が1/4未満を被害度1、1/4~1/2未満を被害度2、1/2~3/4未満を被害度3、3/4~4/4未満を被害度4、全体に被害が及んでいるものを被害度5とした。また、被害の中にネクロシスが存在する場合、Nと表しその被害度を記録した。

次に、日々発生するOx被害をまとめて1週間ごとに調査を行い、前述と同じように各葉ごとに被害度を調査表に記入した。

〈結果及び考察〉

(1) 品種によるOx感受性の差異

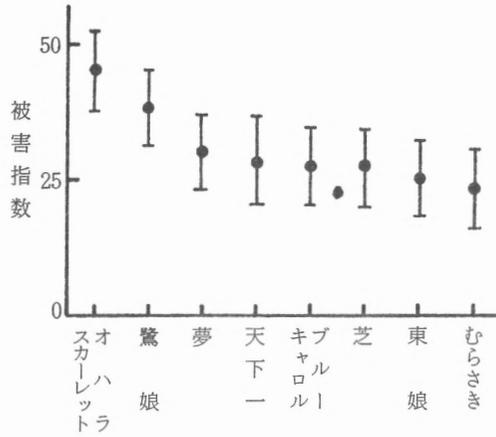
圃場にて栽培した8品種のアサガオが受けたOx被害を調査しその被害指数を比較したのが図II-1である。Oxに一番感受性の高い品種はスカーレットオハラで

表II-1 アサガオの葉位別被害度の調査表(1974. 8. 2-8. 10)

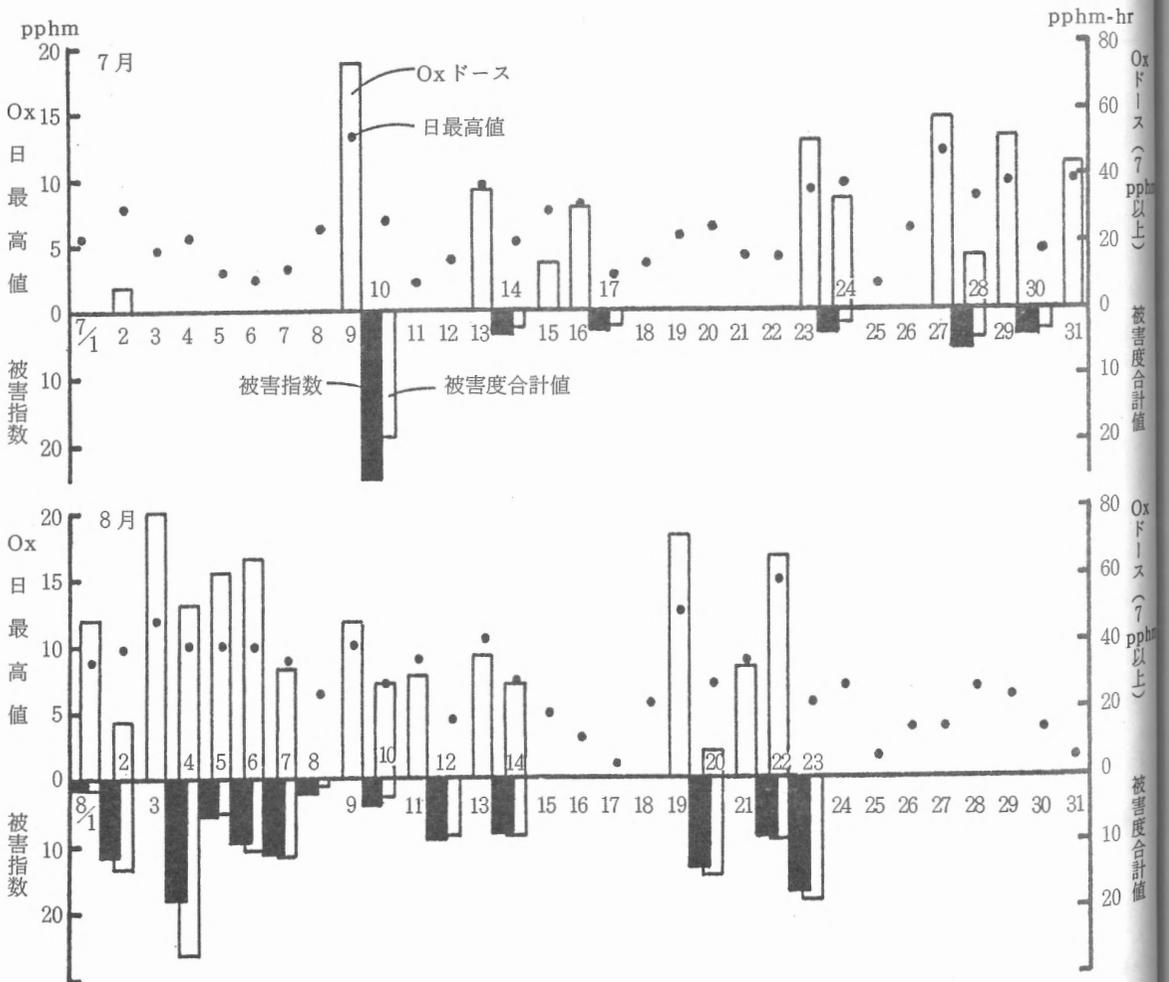
調査月 日	8/2	8/3	8/4	8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10
葉位	双葉								
1	5								
2	5N1			(変化なし)					
3	5								
4	4								
5	5N4								
6	3								
7	欠								
8	5N1								
9	4								
10	2								
11	4								
12	3	3	5N1						
13	4	4	5N3						
14	3	3	5N1						
15	3	3	4N1						
16	3	3	5N2						
17	3	3	4N2						
18	2	2N1	5N1						
19	4	5N2	5N3	5N1					
20	5	5N2	5N3	5N3					
21	2	3N1	5N2	5N3					
22	2	3	5	5N4					
23	2 ⊕	2 ⊕	5	5N4	5N4	5N4			
24	0	0	5	5N4	5N4	5N4			
25	0	0	1 ⊕	5N2	5N1	5N1	5N2	5N2	5N2
26	0	0	0	5N1	5N1	4	4N1	4N1	4N1
27	0	0	0	1 ⊕	3	4	4N1	4N1	4N1
28	0	0	0	0	0	4	4N1	4N1	5N2
29	0	0	0	0	4 ⊕	4	4N1	4N1	5N1
30	0	0	0	0	0	2	2	2	4
31	0	0	0	0	0	欠	欠	欠	欠
32	0	0	0	0	0	2	3	3	3
33	0	0	0	0	0	3 ⊕	3 ⊕	3 ⊕	3 ⊕
34	0	0	0	0	0	0	0	0	1 ⊕
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補：⊕は被害を受けた最上位葉につけたモールの色

Nはネクロシスを表す。



図II-1 Ox感受性に対するアサガオの品種間差



図II-2 1974年7, 8月のOx発生濃度とアサガオの被害発現日

あり、次に驚娘つづいて夢、天下一、芝、キャロルブルー、東娘、むらさきであった。

スカーレットオハラはOxの被害症状が鮮明でわかりやすくOxに敏感に反応するので指標植物として用いるのに適していた。

(2) アサガオの被害発現の特徴とOx発生日

品種スカーレットオハラを用いてOxによる被害を調査した。

表II-1は、Oxが連日のように発生した1978年8月2日から8月10日までの調査表である。新しい葉は1日に1~2枚ずつ展開し葉数の増加がみられ、Ox被害を生じた葉の最上位葉はOx発生日ごとに上位葉へ移動した。また、すでに軽い被害を受けた葉は再びOxが発生すると被害面積を広げた。

以上のような調査表を用いて、1974年の7月と8月の被害発生とOx発生濃度を見ると図II-2のようになった。すなわち、Oxが7pphm以上数時間続いた日、あるいは日最高値が8pphm以上を示した日の翌日に、アサガオはOx被害を発現した。しかし、7月28日と8月2日の日最高値は8pphm以上であったが、7pphm以上のドースが低かったため、翌日の7月29日及び8月3日に被害はみられなかった。

(3) アサガオのOx被害程度とOx発生量との相関関係

アサガオがOxにより生じる被害をOxの汚染量としてどのように反映するかを見るために、先ずアサガオの被害程度の表し方、次にOx発生量の表し方について検討し、それらの相関関係をみた。

(a) アサガオのOx被害程度の表し方

アサガオの被害程度の表し方として以下に9例をあげる。表II-1の調査表より、1974年8月4日の被害を計算例として示した。

X_1 ：被害度合計値

$$\begin{aligned} & 1 \times L_1 + 2 \times L_2 + 3 \times L_3 + 4 \times L_4 + 5 \times L_5 \\ & = 1 \times 4 + 2 \times 4 + 3 \times 3 + 4 \times 0 + 5 \times 1 \\ & = 26 \end{aligned}$$

新たに被害の生じた葉の被害度と、被害度が前回の調査時よりも増大した葉については前回の被害度を差し引いた値とを合計する。

L_1 ：被害度1の葉数、 L_2 ：被害度2の葉数、
 L_3 ：被害度3の葉数、 L_4 ：被害度4の葉数、
 L_5 ：被害度5の葉数、

X_{1+N} ：被害度合計値にネクロシス部分の被害度を加算した値

$$\begin{aligned} & X_1 + (1 \times L_{1N} + 2 \times L_{2N} + 3 \times L_{3N} + 4 \times L_{4N} + 5 \\ & \times L_{5N}) = 26 + (1 \times 6 + 2 \times 2 + 3 \times 1) = 39 \end{aligned}$$

L_{1N} ：ネクロシス被害度1の葉数

L_{2N} ：ネクロシス被害度2の葉数

L_{3N} ：ネクロシス被害度3の葉数

L_{4N} ：ネクロシス被害度4の葉数

L_{5N} ：ネクロシス被害度5の葉数

X_2 ：被害指数

$$\begin{aligned} & \frac{X_1}{(L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) \times 5} \times 100 \\ & = \frac{26}{31 \times 5} \times 100 = 16.8 \end{aligned}$$

被害度合計値を葉数(但し、被害度が増大しない下位葉は徐く)に5倍した値で除して100をかける。

(L_0 ：被害を生じない若い葉の数)

L_{2+N} ：被害度合計値にネクロシス被害度合計値を加算して指数化した値

$$\begin{aligned} & \frac{X_{1+N}}{(L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) \times 5} \times 100 \\ & = \frac{39}{31 \times 5} \times 100 = 25.2 \end{aligned}$$

X_3 ：1株中で最大被害を受けた葉の被害度
5

X_{3+N} ：1株中で最大被害を受けた葉の被害度とネクロシス被害度の合計値
 $5 + 0 = 5$

X_4 ：被害葉率

$$\begin{aligned} & \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5}{L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5} \times 100 \\ & = \frac{12}{31} \times 100 = 38.7 \end{aligned}$$

X_5 ：一葉当たりの平均被害度

$$\frac{X_1}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5} \times \frac{26}{12} = 2.2$$

X_6 ：被害葉数

$$L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 = 12$$

(b) Ox発生量の表し方

アサガオにOx被害が生じた日の前日のOx濃度について次のような8通りの値を算出した。

- Y₁ : 一時間平均値が7pphm以上を示した値を合計したドース
- Y₂ : 一時間平均値が8pphm以上を示した値を合計したドース
- Y₃ : 一時間平均値が9pphm以上を示した値を合計したドース
- Y₄ : 一時間平均値が10pphm以上を示した値を合計したドース
- Y₅ : 一時間平均値の日最高値
- Y₆ : 一時間平均値の日合計値
- Y₇ : 一時間平均値の10時から15時までの合計値
- Y₈ : 一時間平均値の8時から17時までの合計値

(c) アサガオのOx被害程度とOx発生量との相関関係

以上に記載したアサガオの被害程度の9例とOx発生量の8例との間のそれぞれの相関関係を1974年7、8月の調査表を用いて算出し、その相関関係を示したのが表II-2である。まず被害程度を見るとOx発生量と比較的高い相関係数を示したのは被害度合計値(X₁)、被害指数(X₂)および一葉当たりの平均被害度(X₅)であった。しかし、これらにネクロシス被害度を加算すると相関関係が低くなる場合が多かった。ネクロシスはクロ

ロシスに比べて被害発現が緩慢であるためと思われる。また、最大被害葉の被害度(X₃)および被害葉率(X₄)はよい相関が得られず、さらに被害葉数(X₆)は相関がなかった。以上のことから、アサガオの被害程度の表し方として葉に被害を受けた部分の面積、すなわち被害面積の合計値(X₁)、1株中の全葉面積に対する被害面積の割合(X₂)、被害葉の平均被害面積(X₅)で表す方法が適していることがわかった。

次に、X₁、X₂、X₅に対するOx発生量の関係を見ると7pphmおよび10pphm以上のドース(Y₁、Y₄)及び10時から15時までのOx合計値(Y₇)との相関がよかった。このことは7pphm以上のOx濃度が出現する時間帯が10時から15時の間に多いことと関連があると思われる。また、Ox日最高値(Y₅)は被害指数(X₁)との相関がよく、7pphm以上のドースとOx日最高値との相関(r = 0.75***)

が比較的高かったことから予想される。一方、Oxの一時間平均値の日合計値(Y₆)と被害程度との相関は悪かった。これはアサガオ葉が光合成作用をしない夜間のOx値が日合計値に含まれているため極端に相関関係が小さくなったものと思われる。夏期においてアサガオの葉は8時から17時の時間帯には光合成を行っていた。しかし、8時から17時までのOxドース(Y₈)との相関係数が7pphm以上のドース(X₁)より小さいということはアサガオに被害を及ぼす濃度以下のOx値がこの時間帯に含まれているためと考えられる。

表II-2 アサガオの被害程度とOx発生量の相関係数

	X ₁	X _{1+N}	X ₂	X _{2+N}	X ₃	X _{3+N}	X ₄	X ₅	X ₆
Y ₁	0.7474***	0.7009**	0.7213***	0.5930**	0.6076**	0.4792*	0.6258**	0.6801***	0.5567**
Y ₂	0.5909**	0.6033**	0.6481***	0.5706**	0.5588**	0.5006**	0.4414	0.7042***	0.3065
Y ₃	0.5305*	0.5044*	0.5947**	0.4840**	0.4898**	0.3884	0.4322	0.6391***	0.2879
Y ₄	0.7144***	0.6714**	0.7679***	0.6481**	0.6211**	0.5434**	0.5825**	0.7181***	0.4220
Y ₅	0.6622**	0.6533**	0.7136***	0.6717**	0.5159**	0.5497**	0.5142**	0.6521***	0.3191
Y ₆	0.4207	0.4996*	0.3889	0.4680	0.1851	0.1493	0.2580	0.3393	0.1786
Y ₇	0.7305***	0.7056**	0.7297***	0.6349**	0.5634**	0.4952**	0.5535**	0.7138***	0.4505
Y ₈	0.6533**	0.6276**	0.3064	0.5616**	0.4943**	0.3666	0.4708**	0.6578***	0.3896

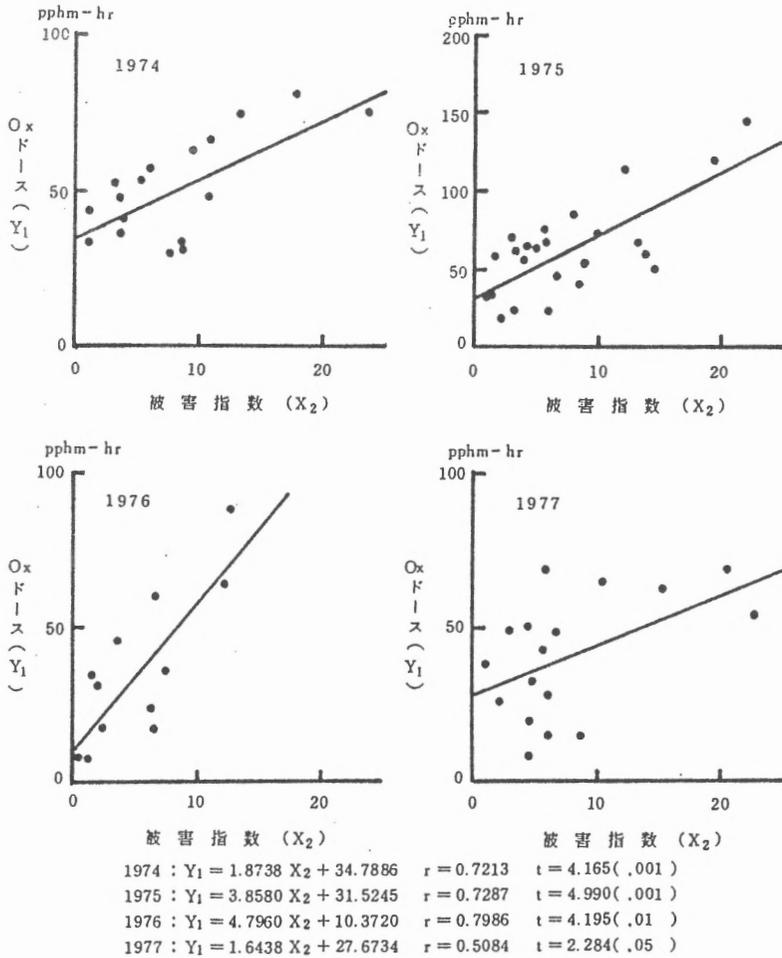
(*** p = 0.001 ** p = 0.01 * p = 0.05)

以上の結果より相関関係の比較的良好被害指数と Ox 7pphm以上ドースについて、1974年から1979年の各年の相関を求めて図II-3に示した。

1975年と1976年の1次相関関係式は1974年と1977年に比べて勾配が高く、アサガオのOxに対する感受性が低い傾向であった。1975年と1976年においてアサガオの生育は、他の年と比べて窒素過多による葉面積の大型化と葉色が濃い特徴を示し、Ox被害の出方が弱い傾向がみられた。これは、(第二章1の3)で後述するアサガオの窒素施用量とOx感受性の試験において窒素多量区のア

サガオが感受性の低下を示したことから推察され、年毎の被害量を比較する場合、栽培条件が均一になるよう注意する必要がある。

なお、以上の相関関係を求める計算をするに当たり、アサガオに初めて発生した被害及び全葉数が15枚に達していないアサガオに生じた被害は著しくかけ離れた値を示したので計算からのぞいた。また、9月以降になると、Ox発生頻度が減少すると共にアサガオのOx感受性が低下した。従って、1次相関関係式は7月と8月を中心に算出した。



図II-3 1974年～1977年におけるアサガオの被害指数と Ox ドース (7pphm以上) の関係

(4) O_x の発生パターンがアサガオの被害発現に及ぼす影響

大気中に生じる O_x は1次汚染物質の量及びその時の気象条件(気温,日照,風速,風向など)により大きく影響され,日々異なった濃度の発生状況を呈する。また,数日間にわたり高濃度の汚染が連続したり,1日間だけ発生したりいろいろな様相を示す。そこで,アサガオの被害程度がこの様な O_x の変動によりどの程度影響を受けるかについて検討を行った。

(a) O_x 日最高値の高低

O_x 発生量についてみると7pphm以上のドースは同じ値であるが日最高値が異なる場合があり,アサガオの被害程度にこの様な差が影響を及ぼすかどうかをみた。1974年及び1975年のデータの中に以上のような例がそれぞれ4及び5組あった。そこで,これらの O_x 発生に相当するアサガオの被害指数を用いて二元配置法による分散分析を行うと表II-3(1)のようになった。両年とも日最高値の高低による被害指数の差は有意ではなかった。したがって,野外で生ずる程度の O_x 濃度範囲では日最高値の高低による差よりもドースによる影響の方が大きいものと思われる。

(b) O_x 最高値の発生時刻

O_x 濃度の日変化を見ると最高値は各年とも12時から14時の間に一番多く出現する。しかし,12時以前,14時以降に発生する日もあり,1975年のデータには O_x ドースが同じ値であるが日最高値が14時以前と14時以降にあらわれた例が6組あった。この分散分析を行うと表II-3(2)に示すように有意差はみられず,日最高値の出現時刻の違いによってアサガオの被害指数は影響されないことがわかった。しかし,1977年8月7日のように日最高値(13.5pphm)の出現時刻が19時という極端に遅い場合,7pphm以上ドースが78pphm-hrでも被害指数は2.2となり,7月14日のドースが65pphm-hrで日最高値(15pphm)が14時に発生したときの被害指数20.6と比較すると著しく低かった。

(c) 被害発現日以前の被害状況

野外で生じる O_x はその時の気象条件などにより1週間高濃度の O_x が続いて発生したり,1日だけの発生であったり様々な様相を示す。そこで,アサガオに被害が生じた日の前日にも被害があった場合と,2日以上前に被害を受けた場合とに分類し,各々の被害指数を同じドースごとに比較した。1974年にはこのような例が4組あり,分散分析を行うと表II-3(3)のようになった。すな

わち,被害を前日に受けた場合と,2日以上前に受けた場合とでは当日の被害に影響を及ぼすという有意差は認められなかった。

次に,アサガオに被害が出現した日の前日あるいは前々日に1日だけ被害があった場合と,前日あるいは前々日以前に2日以上連続してあった場合とに分けてみた。1974年のデータは同じドースでこのような例が4組あった。分散分析を行うと表II-3(4)に示すように有意差がみられ,2日以上連続して被害が生じた場合,アサガオの被害指数は低い値を示すようになることがわかった。

中村ら³⁶⁾はアサガオの感受性葉数は成熟葉の4ないし5枚と報告している。7,8月中のアサガオの展開葉数は1日につき1~2枚であるから連日高濃度汚染が続いた場合, O_x 感受性葉数が減少して,被害程度が小さくなるものと思われる。したがって,アサガオを O_x に対する指標植物として用いる場合,高濃度の O_x が連日発生するときには注意を必要とする。

(5) 一定期間のアサガオの O_x 被害程度と O_x 発生量の相関関係

アサガオに被害が生じた日の前日の O_x 発生量と被害程度との間にはある程度の相関関係が得られたが,連日 O_x が発生するとアサガオの被害程度が低下する傾向がみられた。また, O_x 濃度の比較的低い日の翌日が曇天あるいは雨天のような低照度下ではアサガオは被害を緩慢に生じるため被害程度を正確に把握できなかった。そこで,このような原因による変動を小さくするようにアサガオの被害をまとめて一定期間ごとに調査してみた。1974年7,8月の毎週土曜日に調査を行い,前の週の土曜日から金曜日までの O_x 発生程度との関係について検討した。

(a) 1週間の O_x 被害程度の表し方

アサガオの被害程度の表し方として5例を以下に記し,表II-1の調査表より1974年8月10日(土)の被害程度を計算例として示した。

$X_{(1)}$: 1週間の被害度合計値

$$1 \times L_1 + 2 \times L_2 + 3 \times L_3 + 4 \times L_4 + 5 \times L_5 \\ = 1 \times 3 + 2 \times 5 + 3 \times 6 + 4 \times 3 + 5 \times 4 = 63$$

前の週の土曜日の調査より新たに被害を生じた葉の被害度と前の週の土曜日より被害面積を増大した葉については前回の被害度を差し引いた値とを合計する。

表II-3 二元配置法による分散分析表

(1) Ox日最高値の高低

(1974年)

要因	平方和	自由度	不偏分散	不偏分散比
日最高値の高低	16.245	1	16.245	0.5619
Ox ドース	253.87	3	84.623	2.9273
誤差	86.725	3	28.903	
計	356.84	7		

(1975年)

要因	平方和	自由度	不偏分散	不偏分散比
日最高値の高低	13.689	1	13.689	2.7397
Ox ドース	204.914	4	51.2285	10.2529 ^{**}
誤差	19.986	4	4.9965	
計	238.587	9		

(2) Ox日最高値の発生時刻

要因	平方和	自由度	不偏分散	不偏分散比
日最高値の高低	12.2008	1	12.2008	0.4726
Ox ドース	187.8742	5	37.5748	1.4553
誤差	129.0942	5	25.8188	
計	329.1692	11		

(3) アサガオの前日被害の有無

要因	平方和	自由度	不偏分散	不偏分散比
前日被害	2.645	1	2.645	0.1452
Ox ドース	22.31	3	7.4367	0.4083
誤差	54.645	3	18.215	
計	79.60	7		

(4) アサガオの被害の連続日数

要因	平方和	自由度	不偏分散	不偏分散比
連続日数	66.7013	1	66.7013	29.4975 ^{**}
Ox ドース	142.6938	3	47.5646	21.0346 ^{**}
誤差	6.7838	3	2.2613	
計	216.1788	7		

X₍₂₎: 1週間の被害指数

$$\frac{X_{(1)}}{(L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) \times 5} \times 100$$

$$= \frac{63}{38 \times 5} \times 100 = 32.6$$

X₍₄₎: 1週間の被害葉率

$$\frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5}{L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5} \times 100$$

$$= \frac{23}{38} \times 100 = 60.5$$

X₍₅₎: 1週間の一葉当たりの平均被害度

$$\frac{X_{(1)}}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5} = \frac{63}{23} = 2.7$$

X₍₆₎: 1週間の被害葉数

$$L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 = 23$$

(b) 1週間のOx発生量の表し方

Y₍₁₎: Oxの1時間平均値が7pphm以上を示した値
を調査日の前日までの1週間ごとに合計したドース

Y₍₂₎: Oxの1時間平均値が8pphm以上を示した値
を調査日の前日までの1週間ごとに合計したドース

Y₍₃₎: Oxの1時間平均値が9pphm以上を示した値
を調査日の前日までの1週間ごとに合計したドース

Y₍₄₎: Oxの1時間平均値が10pphm以上を示した値
を調査日の前日までの1週間ごとに合計したドース

Y₍₅₎: Oxの1時間平均値の日最高値(7pphm以上
を記録した値のみ)を調査日の前日までの1週間
ごとに合計する。

Y₍₇₎: Oxの1時間平均値の10時から15時までの日合
計値(日最高値が7pphm以上を記録した日のみ)

を調査日の前日までの1週間ごとに合計する。

Y₍₈₎: Oxの1時間平均値の8時から17時までの日合
計値(日最高値が7pphm以上を記録した日のみ)
を調査日の前日までの1週間ごとに合計する。

(c) 1週間のOx被害程度とOx発生量の相関関係

表II-4にOx被害程度とOx発生量の各々の相関係
数を示した。被害程度の表し方としては被害度合計値
(X₍₁₎)及び被害葉数(X₍₆₎)(図II-4)が高い相
関関係を示し、次に被害葉率(X₍₄₎)がよい相関を示
した。一方、被害指数(X₍₂₎)は被害度合計値と比べ
ると相関関係が小さくなり、1葉当たりの平均被害度
(X₍₅₎)は相関がみられなかった。

被害度合計値と被害葉数との関係に限ってOx発生
量を見ると、7、8、9pphm以上ドース(Y₍₁₎、Y₍₂₎、
Y₍₃₎)、日最高値(Y₍₅₎)、10時から15時及び8時から
17時までのドース(Y₍₇₎、Y₍₈₎)との間で高い相関関
係が得られた。

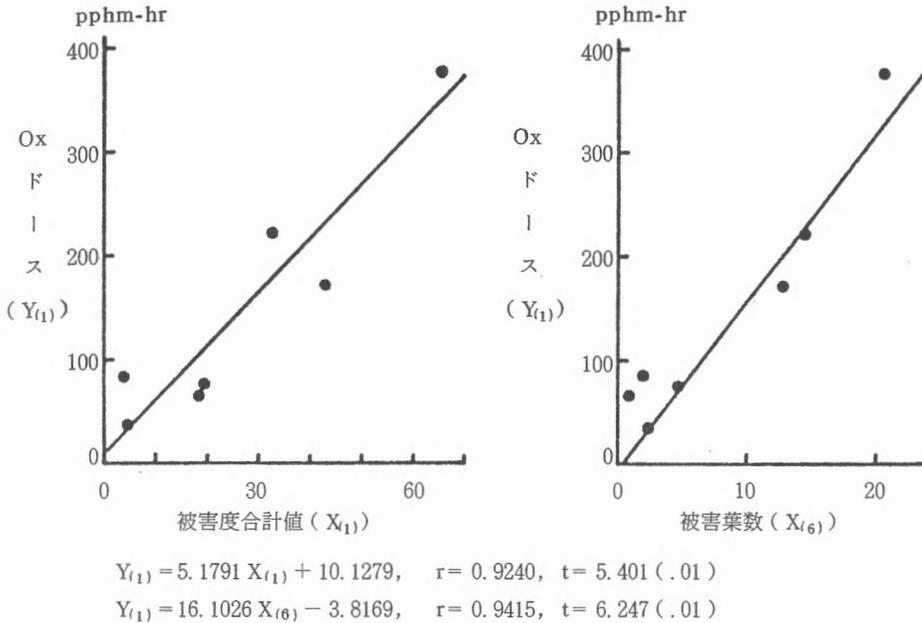
以上のように、一定期間まとめて1ヶ所でアサガオ
の被害調査を行う場合、その期間に生じた被害の被害
度合計値及び被害葉数を算出する方法が適していたが、
地域の異なった数ヶ所で同時に調査を行う場合、生育
速度の違いにより生じるOx感受性葉数の差を考慮し
なければならぬであろう。しかし、毎日の調査に比
べて、1週間に1度の調査で済むため労力的に軽くな
り、広く普及する上で有効であると思われる。

Oshima³⁷⁾はカリフォルニアにおいてピントビーン
を用いて1週間の被害程度と10pphm以上の1週間ご
とのオゾンドースとの間に有意な相関関係を認めてい
るが、本調査からアサガオも1週間の被害をまとめて
調査することによりOx発生程度をある程度把握でき
ることがわかった。

表II-4 1週間毎のアサガオの被害程度とOx発生量の相関係数

	X ₍₁₎	X ₍₂₎	X ₍₄₎	X ₍₅₎	X ₍₆₎
Y ₍₁₎	0.9240 ^{***}	0.7435	0.8183 [*]	0.3059	0.9415 ^{***}
Y ₍₂₎	0.9380 ^{***}	0.7736 [*]	0.8028 [*]	0.4093	0.9026 ^{***}
Y ₍₃₎	0.9506 ^{***}	0.8053 [*]	0.8215 [*]	0.4646	0.9014 ^{***}
Y ₍₄₎	0.8332 [*]	0.8383 [*]	0.7365	0.7433	0.6687
Y ₍₅₎	0.8849 ^{***}	0.6512	0.8357 [*]	0.1289	0.9512 ^{***}
Y ₍₇₎	0.9005 ^{***}	0.6812	0.7765 [*]	0.2469	0.9060 ^{***}
Y ₍₈₎	0.9276 ^{***}	0.7106	0.8068 [*]	0.2747	0.9307 ^{***}

(*** p=0.001 ** p=0.01 * p=0.05)



図Ⅱ-4 1週間毎のアサガオの被害度合計値及び被害葉数とOxドース(7pphm以上)の関係

2) オゾンによるアサガオの被害葉位と葉齢との関係
 中村ら³⁸⁾も指摘しているようにアサガオがオゾンにより被害を生じる葉位は中位から下位の葉であった。そこでアサガオの葉位ごとの葉の気孔開度, 光合成速度, 糖含有率などの生理的特徴を調べ, オゾン感受性を示す葉齢について検討を行った。

〈材料及び方法〉

(1) 材料

アサガオは品種スカーレットオハラを用い, 浄化空気室(FAC)と非浄化空気室(n-FAC)内に地植えし, 実験1と3に使用した。また, 1/5000aワグネルポットにて育成したアサガオは実験2に用いた。地植え栽培の施肥量は化成肥料(N, P₂O₅, K₂O 14, 14, 14)を100g/m²施用し, ポット栽培はポット当たりN 0.6g, P₂O₅ 0.6g, K₂O 0.3gとした。播種は5月中旬に行い, 6月中旬に移植した。

(2) 方法

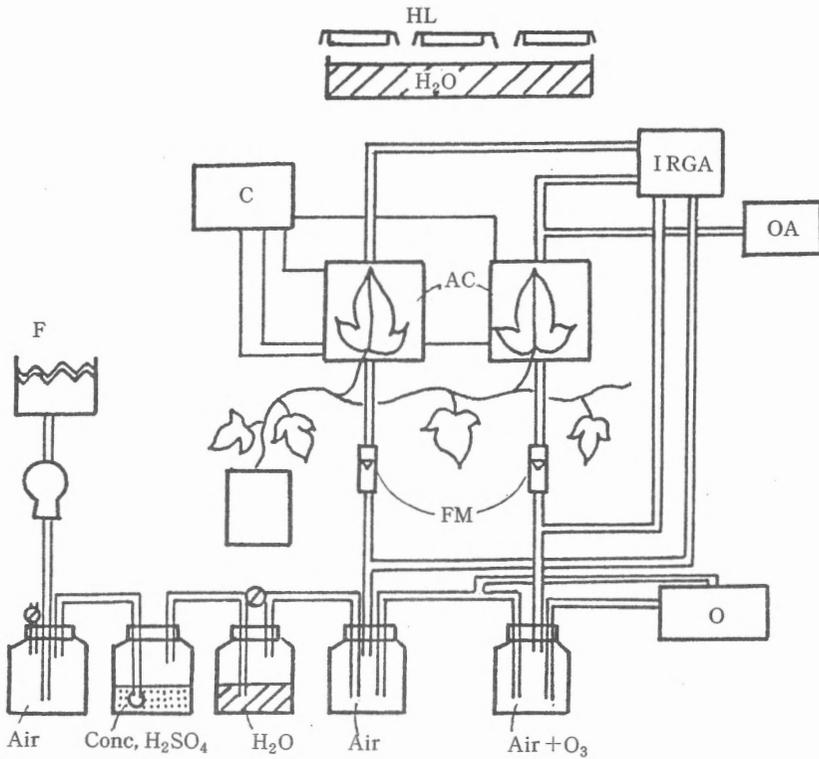
実験1. 全葉数が6, 13, 22, 40枚の生育時期別に葉面積の拡大推移を測定し, また気孔開度はFAC内のアサガオを用いて湿潤法³⁸⁾により葉の表面と裏面を5段階に分けて調査した。一方, 各時期のアサガオがOxにより受ける可視被害をn-FAC内で葉位ごとに調べた。

実験2. 葉位別の光合成・呼吸速度はFAC内のポット植えのアサガオを用い, 同化箱内に着生葉を1枚入れて葉位ごとに測定した。

測定装置の概略は図Ⅱ-5に示した。FAC内の空気をポンプで引いて濃硫酸を通して除湿した空気とその一部の空気を水中を通して加湿し, それらを混合して一定の湿度を保った空気を4l/min.の流量として同化箱へ通した。見かけの光合成速度は同化箱へ入る前の空気と同化箱内の空気のCO₂濃度を赤外線ガス分析計(日立堀場ASSA-2型, 200~400ppm)により測定し, その濃度差よりmgCO₂·dm⁻²·hr⁻¹として求めた。呼吸速度の測定はソーダライムと10%KOH溶液を通して脱炭酸した空気を2l/min.の流量を同化箱に通し暗黒化で行った。

実験3. 葉位別のクロロフィル含有量を測定するために, 1枚の葉を半分に分けて生量を直ちに測定して80%アセトンで抽出したのち, 665, 645mμの吸光度を求めてクロロフィルa, b含有量を計算式より求めた。³⁹⁾

一方, 残りの半分は, 生量と乾量を測定し含水率を求めたのち, 粉末とし可溶性炭水化物の分析試料にした。分析法は⁴⁰⁾, 80%エタノールで抽出して抽出液を減圧濃縮したのち除タンパクを行い, 一部は酸で加水分解したのち, ソモジーネルソン法⁴¹⁾で還元糖と全糖を比色



IRGA: 赤外線ガス分析計 HL: ハロゲンランプ C: クールニクス OA: オゾン分析計
P: ポンプ F: 活性炭フィルター FM: 流量計 O: オゾンナイザー AC: 同化箱

図II-5 光合成測定およびオゾン処理装置の概略図

定量して、全糖から還元糖を引いた値を非還元糖とした。残渣は乾燥したのち、4.5N過塩素酸で抽出して、アンスロン法⁴²⁾を用いて比色定量を行い、デンプン量を求めた。

〈結果〉

(1) 生育経過とOx可視被害の発生葉位

図II-6にアサガオの生育経過に従って調査したOx可視被害と気孔開度、葉面積拡大推移を示した。本葉が6枚位のアサガオ(播種後約1ヶ月)は頂芽より数えて第5位で葉面積の拡大が止まり、気孔開度が大きくなり、Ox被害が生じた。7月上旬には13枚位の葉数となり、頂芽より数えて第9位で葉面積拡大が停止して、気孔開度が最大になり、第9位から下位の葉でOx被害を呈した。7月中旬には22枚位の葉数となり、葉面積は第12位で拡大が止まり、第15位から下位の葉にOx被害が生じた。8月上旬には全葉数が40枚前後となり、葉面積拡大

は第14位ごろで止まり、裏面の気孔開度は第17位以下で大きくなり、Ox被害は第17位以下で生じた。なお、7月中旬以降では開葉した1番上の葉は頂芽より数えて第5、6位であった。

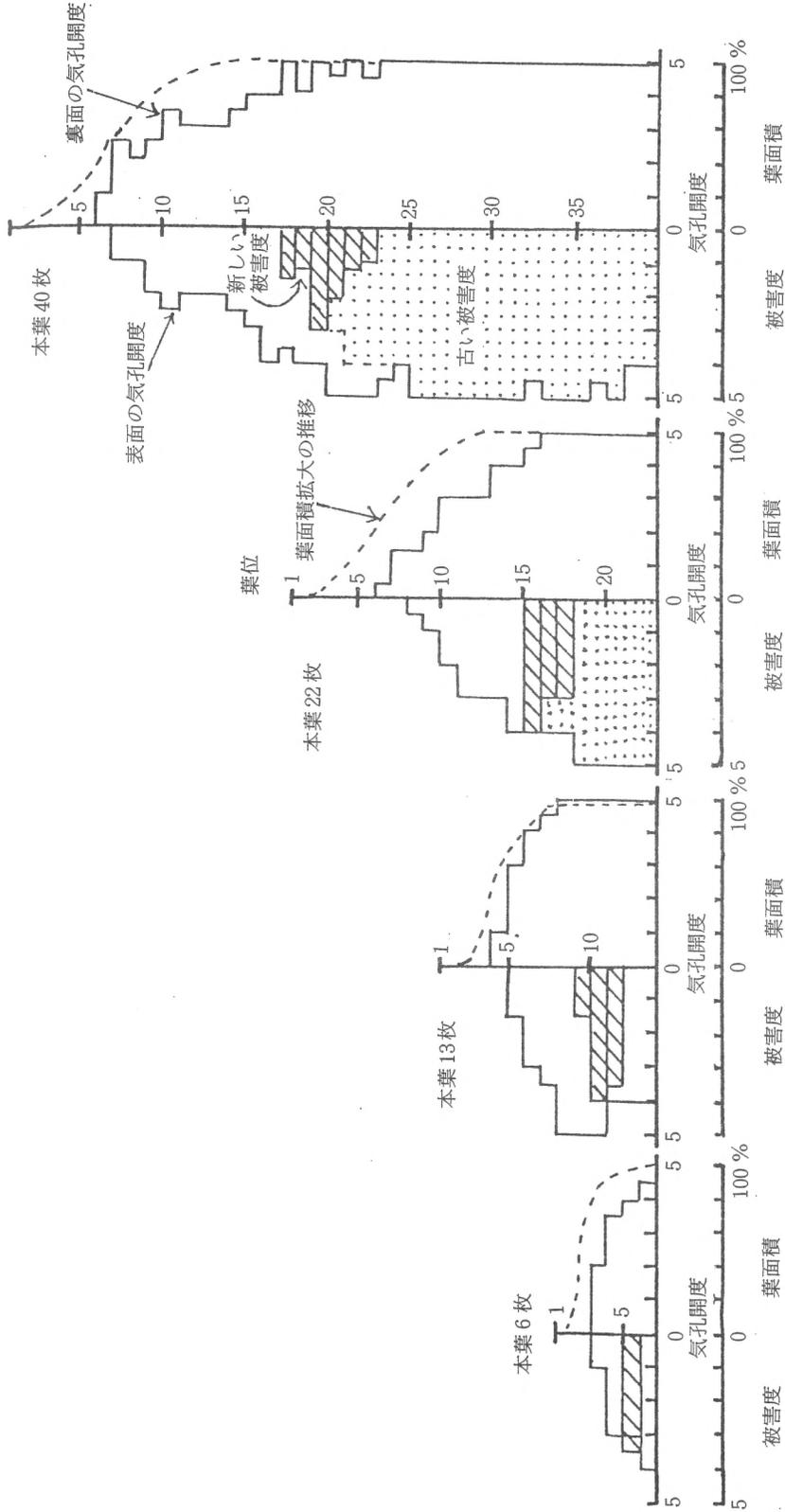
(2) 葉位別光合成・呼吸速度

葉位別光合成・呼吸速度はFAC内にて育成したアサガオを用いた。

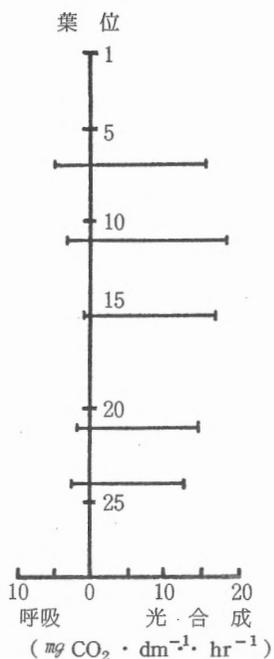
全葉数28枚のアサガオについて頂芽より数えて第7, 11, 15, 21, 24位葉の光合成・呼吸速度を測定し、図II-7に示した。光合成速度は第11位葉が最大であり、その上下の第7位葉と第15位葉でやや低く、下位の第21, 24位葉でさらに低下した。呼吸速度は第15位葉が一番低く、それより上位葉と下位葉が高かった。

(3) 葉位別クロロフィル含有率

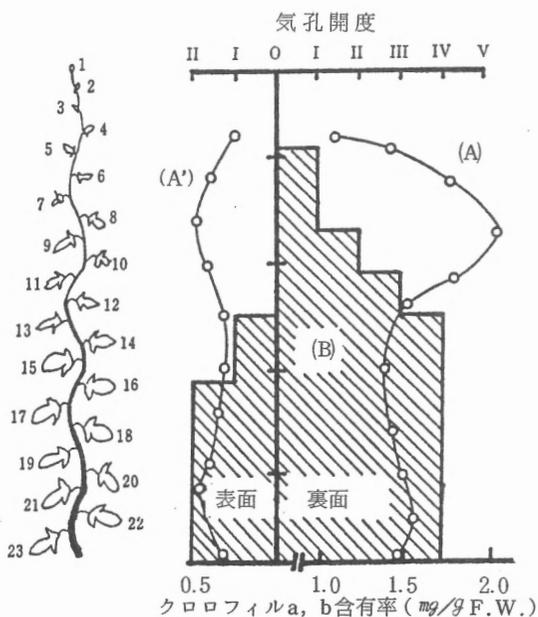
FAC内で育成したアサガオの葉位別クロロフィルa, b含有率を図II-8(A), (A')に示した。クロロフィルa,



図II-6 各生育段階のアサガオの葉位別被害度と気孔開度および葉面積拡大の推移



図II-7 浄化空気室で育成したアサガオの葉位別光合成・呼吸速度



(A)クロロフィルa (A')クロロフィルb (B)気孔開度

図II-8 浄化空気室で育成したアサガオの葉位別クロロフィルa, b含有率と気孔開度

bとも第9位葉まで急激に増加し、それ以下第12位葉まで徐々に減少したのちほぼ一定の値を保った。この葉位別の含有率は生量当たりで求めたが、葉内の含水率は各葉位とも83~85%であり、葉位(第4~27葉位)による含水率の差はほとんどなかった。

(4) 葉位別の糖, デンプン含有率

第II-9図に示すように、FAC内のアサガオの葉位別の還元糖含有率は第5位葉から第9位葉まで急激に増加して最大値を示したのち第11位葉まで減少し、それ以下ではゆるやかに減少した。一方、デンプン含有率は第5位葉から第10位葉まで増加して最大となったのち減少がみられた。非還元糖含有率については、葉位による傾向はみられなかった。

<考察>

アサガオは生育時期により生長速度が異なり、5、6月は緩慢な生長であり葉数も少ないが、7月に入り気温が上昇すると急速に生長を始め、展開葉数は1日当たり1~1.5枚となった。全葉数が6枚という生育初期でもOxによる可視被害は観察されたが、葉面積の拡大が止まり気孔開度も大きくなった葉位で被害を受けることがわかった。また、全葉数が13、22、40枚の時期ではそれぞれ第9、15、17位以下で可視被害が生じたが、葉面積の拡大停止と気孔開度が十分に大きくなった葉位であり、生長速度の差により被害葉位は下位へ移動するという現象がみられた。

全葉数が28枚あるアサガオの葉位別光合成速度は葉面積の拡大が停止する前で気孔開度が2~3と小さい値ではあるが第10位葉前後が光合成速度の最高値となり、クロロフィル含有率の最高値とはほぼ一致した。葉位別の呼吸速度はDickmannら⁴³⁾がポプラで測定した結果と同様であり、展開中の若い葉で高い値となり、成熟すると低くなり老化にともないやや高くなった。

和田ら⁴⁴⁾はタバコについてクロロフィル含有率が葉齢によって異なり、その増加現象が光合成速度の多少をもたらすことを報告している。また、Hopkinson⁴⁵⁾はキュウリの葉齢別による光合成速度並びに葉面積の推移を詳細に調査した結果、光合成速度は葉面積の展開終了よりも前に最大となることを示しており、アサガオも同じ傾向であった。

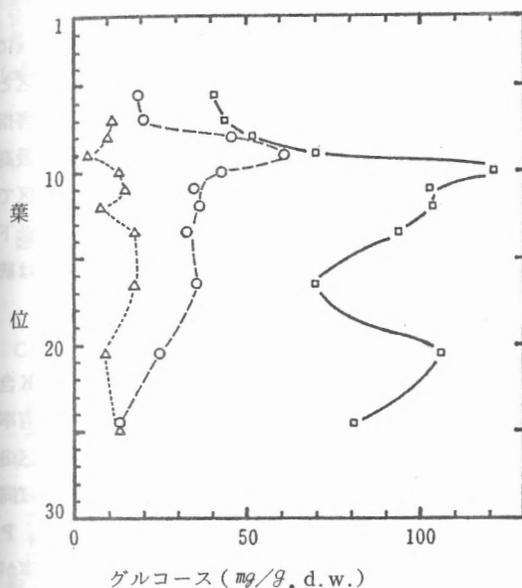
また、図II-9に示したように、アサガオの葉位別還元糖含有率はクロロフィル含有率と同じ傾向を示し、光合成などの代謝活性の推移と関係があると思われる。

Lee⁴⁶⁾は、葉中の糖含有量とオゾン被害との関係につ

いて、タバコを用いて実験したところ還元糖濃度が5 mg/g.d.w. 以下と35 mg/g.d.w. 以上において感受性が低く、高い糖濃度では浸透圧の効果による気孔閉鎖のために被害を受けないのであろうと報告している。

一方、葉の気孔開度とオゾン被害との関係について、Dugger¹⁹⁾は、ピントビーンを用いた実験で気孔開度と葉の被害は関係ないとしているが、タバコについての実験^{47, 48)}ではオゾン被害と気孔開度との間にある程度関係があると報告されている。

松島⁴⁹⁾も述べているように、単に気孔開度だけが被害を発現する要因ではなくて、アサガオ葉は葉面積拡大が止まり、葉位別の光合成速度、クロロフィル、糖、デンプン含有率からみて、葉が成熟し老化が開始する生理的な転換期に相当する葉齢でオゾン感受性は高くなり、被害を生じるものと思われる。



○：還元糖 △：非還元糖 □：デンプン

図II-9 浄化空気室で育成したアサガオの葉位別による還元糖、非還元糖、デンプン含有率

3) アサガオのオゾン感受性に及ぼす窒素、リン酸、加里施用量の影響

アサガオを指標植物として一般に普及する場合、高い感受性を示し被害が均一に出現するような栽培管理法が要求されているが、それらに関する検討は殆んどなされ

ていない。

施用肥料とOx或いはオゾン感受性との関係は、マンゲルとホウレンソウ⁵⁰⁾、タバコ^{51, 52, 53)}、イネ⁵⁴⁾、Lemna minor⁵⁵⁾について報告されているが、植物の種類及び肥料の種類、量により感受性の傾向は異なるようである。アサガオは中村ら³⁶⁾が標準肥料区と少量肥料区を設定し、Ox暴露を行い、施肥量が少なく感受性が低下すると報告している。

ここでは、アサガオについて、窒素、リン酸、加里の各施用量の多少が葉中の各成分に及ぼす影響とOx感受性に与える影響について実験を行い、指標植物に適した肥培管理方法を検討した。

〈材料及び方法〉

(1) 施肥試験区

培養度は5 mmのふるい目を通した赤土とピートモスを7対3の割合に混合して作り、ポットは1/5000aワグネルポットを用いた。

施肥量は表II-5に示すように、ポット当たりN 0.3g, P₂O₅ 0.6g, K₂O 0.3gとしたものを標準とし、他の成分は同量でN量が0, 1/2, 1, 2, 4倍の各試験区(N0区, N2/1区, N1区, N2区, N4区), P₂O₅量が0, 1, 2, 4倍の各試験区(K0区, K1区, K2区, K4区)を設けた。尚、培養土のpHが6.5になるようにCa0は0.236gを、Mg0は同量の0.236gを各ポットに施用した。ポット数は1区につき6ポット作成した。

(2) 材料

品種はスカーレットオハラを用い、1977年6月10日に播種した。苗は本葉が2, 3枚生じた7月6日に上記のポットに移植し、浄化空気室内にて育成した。その後、1区につき4ポットを非浄化空気室に移動し、8月20日から31日まで、大気中に生じたOxに暴露した。

Oxによる可視被害の調査は9月3日に行い、アサガオ葉のOx被害量を葉位毎に6段階(0~5)に分けて被害指数を求めた。また、草丈、全葉数、葉面積(8月下旬にOx感受性を示した葉位の葉4枚の平均値)を測定した。次に、各施肥区のアサガオ葉の体内成分含有率は、浄化空気室内で育成したアサガオを用いOxに感受性を示す葉位4枚について8月31日にサンプリングを行い、分析定量した。なお、浄化、非浄化空気室のアサガオは生育期間中に開業ごとにモールド印をつけておき、8月下旬非浄化空気室でOx被害を受けたと同じ葉位を浄化空気室のOx感受性葉位とした。葉中クロロフィル a, b

表II-5 N, P₂O₅, K₂O 各施用量試験区

(単位: g/ポット)

(1) N施用量試験区(N区)

成分 \ 区	0	1/2	1	2	4
N((NH ₄) ₂ SO ₄)	0.0	0.15	0.3	0.6	1.2
P ₂ O ₅ (Na ₂ HPO ₄)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
K ₂ O(K ₂ SO ₄)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

(2) P₂O₅ 施用量試験区(P区)

成分 \ 区	0	1	2	4
N((NH ₄) ₂ SO ₄)	0.3	0.3	0.3	0.3
P ₂ O ₅ (Na ₂ HPO ₄)	0.0	0.6	1.2	2.4
K ₂ O(K ₂ SO ₄)	0.3	0.3	0.3	0.3

(3) K₂O 施用量試験区(K区)

成分 \ 区	0	1	2	4
N((NH ₄) ₂ SO ₄)	0.3	0.3	0.3	0.3
P ₂ O ₅ (Na ₂ HPO ₄)	0.6	0.6	0.6	0.6
K ₂ O(K ₂ SO ₄)	0.0	0.3	0.6	1.2

はOgawaら⁵⁶⁾の方法を用い、生葉を95%メタノール抽出し分析定量した。他成分については、葉をサンプリング後、直ちに80℃で約2時間加熱しその後40℃にて乾燥し、ボールミルで粉末にした試料を用いて分析した。全窒素(T-N)はセミマイクロケルダール法を、リン(P)はバナドモリブデン酸法、Kは炎光光度法を用いた⁵⁷⁾。炭水化物⁵⁸⁾については、80%エタノールで抽出し蒸留後、水抽液を除タンパクし、還元糖を、一方、加水分解した液は全糖をソモジーネルソン法⁴¹⁾で比色定量した。次に、残渣を4.5N過塩素酸溶液で抽出し、デンプンをアンシロン法⁴²⁾で比色定量した。

〈結果〉

(1) 各施用量試験区の生育量

N, P₂O₅, K₂O 各施用量によるアサガオの生育は、図II-10に示した。N施用量試験区(以下、N区と略す)についてみると、0区は葉数、草丈、葉面積の値が特に

低く、通常の生育ではなかった。1/2区の葉数、草丈は1区に比べて劣るが、葉面積はほぼ同じであった。2区および4区の葉数は1区と殆ど同じ値であったが、草丈はやや高く、葉面積は1区と比較すると大きく、Nの多肥の影響がみられた。P₂O₅ 施用量試験区(以下、P区と略す)では、0区が他区よりも葉数、草丈、葉面積とも低い値であり、2区と4区の葉面積は1区よりも大きかった。K₂O 施用量試験区(以下、K区と略す)は、0区の葉数と草丈が他区に比べて若干低く、2区の葉面積が他区より高い値を示したが、0区から4区間の生育差は少なかった。なお、N, P, K区のそれぞれについて0~4区における区間差は統計的に有意であった。

(2) Oxによる被害量

各施用量試験区のアサガオは8月20, 29, 30, 31日に発生したOx(表II-6)により葉上に白色小斑及び褐色斑の被害を受けた。これらの可視被害葉を指数化し、図II-10の上段に示した。N区は1/2区と1区がOxにより大きな被害を受け被害指数は高い値であり、2区と4区はそれより低く、通常の生育をしない0区の被害指数は特に低い値であった。P区の被害指数は1区が最高で、0区が中間となり、2区と4区が低かった。K区では0区と1区が高い値を示し、2区と4区で次第に低下した。なお、各施肥区とも0~4区における区間差は統計的に有意であった。

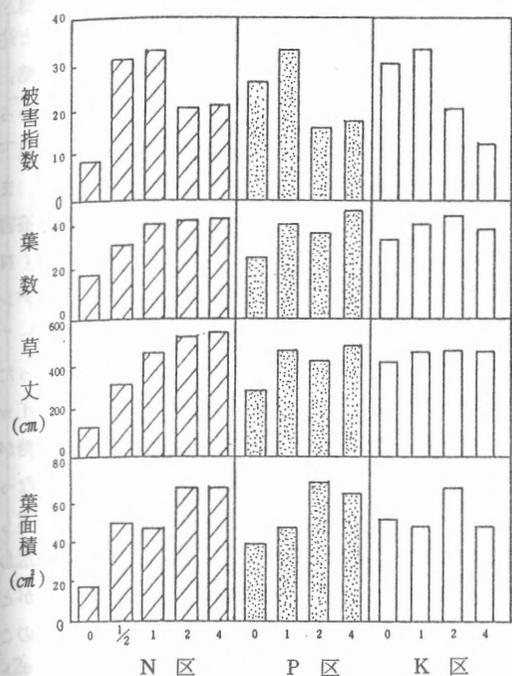
(3) 葉中クロロフィルおよび無機成分含有率

各区のアサガオ葉のクロロフィル及びT-N, P, K含有率は図II-11に示した。N区のクロロフィル含有率は施用量が多くなるに従い高くなり、特に2区と4区の値が高かった。T-N含有率は0, 1/2, 1区ではほぼ同じような値であったが、2, 4区は高い値を示した。P区については0区のクロロフィルおよびT-N含有率が他区よりも高く、この区の葉が濃い緑色を呈していたことを裏づけた。K区においては各区で大きな差はないが

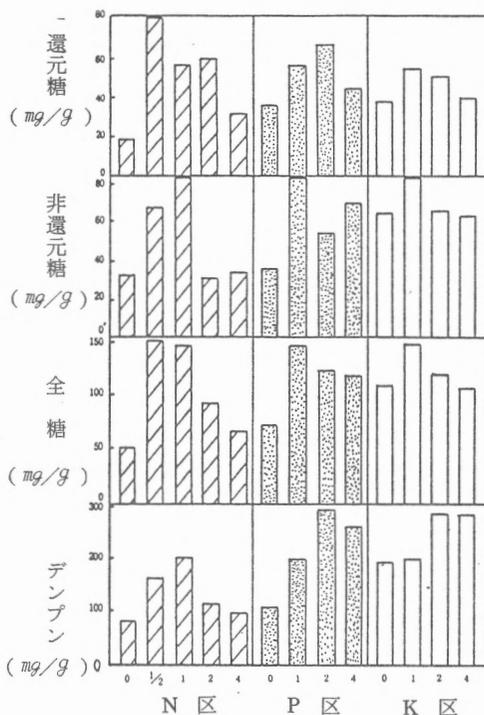
表II-6 アサガオの実験期間に発生したOxの日最高値(7pphm以上が出現した日)と7pphm以上ドース

年 月 日	1977年8月			
	20	29	30	31
日 最 高 値	7.0	19.2	12.0	8.5
7pphm以上ドース	14.0	64.6	69.4	16.0

(単位: pphm-hr)



図II-10 アサガオの各施用量試験区のOx被害指数と生育量



図II-12 アサガオの各施用量試験区の葉中炭水化物含有率

0区でやや高かった。

次にP含有率についてみると、N区では1区が一番低く、0、2、4区は高かった。P区は0、1区に比べて2、4区がやや高い値を示した。

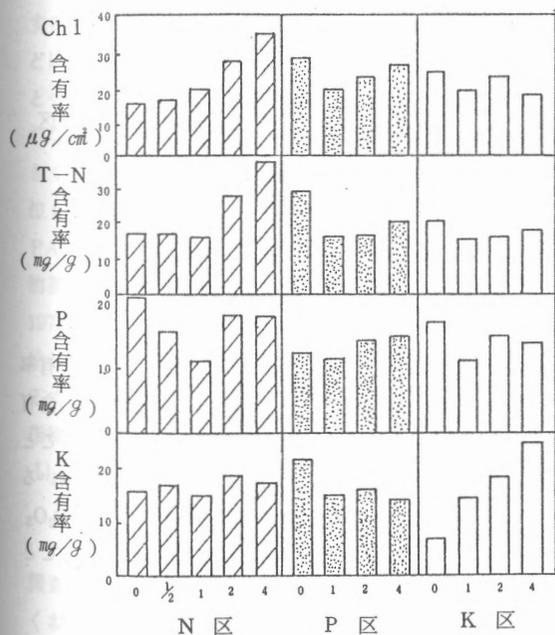
K含有率は、N区で大きな変動はみられないが、K区では施用量が増加するに伴い高くなった。P区については0区で他の区よりも高い値を示した。

(4) 葉中炭水化物含有率

各区の葉中炭水化物含有率は図II-12に示した。N区の還元糖、非還元糖、全糖及びデンプンは1/2区と1区で高い含有率を示し、0区と4区で低かった。また、2区は還元糖だけが高く、他は低かった。P区は0区の還元糖、非還元糖、全糖及びデンプン含有率が低く、2区と4区のデンプン含有率は1区よりも高い値を示した。K区では1区のみ非還元糖、全糖が他の区より高く、2区と4区のデンプン含有率が0区、1区よりも高かった。

〈考察〉

各施用量試験区ごとにアサガオのOx被害指数と生育量、葉中クロロフィル、無機成分、糖及びデンプン含有率との相関関係を表II-7に示した。N区の被害量は葉



図II-11 アサガオの各施用量試験区の葉中クロロフィルおよび無機成分含有率

中P含有率と負の相関があり、非還元糖、全糖、デンプン含有率との間では正の相関関係が得られた。P区については被害量と葉中P含有率との間に負の関係を、またK区ではデンプン含有率との間に負の関係が認められた。

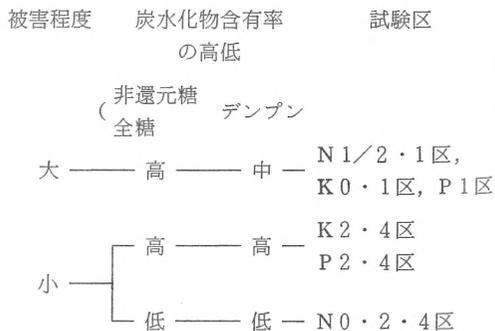
N施用量に関して、Keckら⁵³⁾はピントビーンを用いてN量が多くなるに従いオゾンによる被害程度が低下することを報告した。また、喜田村ら⁵¹⁾はタバコについてN施用量の圃場試験を行ったところ、Ox被害量と葉中T-N含有率との間に負の相関関係を認めている。一方、Leoneら⁵²⁾によるとタバコはN施用量の最適で最もオゾン被害が増大し、少肥と多肥においては被害量が減少したと述べている。本実験のアサガオの場合、N1/2、1区で被害が大きく、N0、2、4区で小さくなり、N施用量の最適および半量でOxに対する感受性が高くなることがわかった。また、極端に生育の悪い0区を除くと、N区の葉中T-Nとクロロフィル含有率が低いと感受性は増大し、逆に高いと感受性が低下する傾向にあった。

P₂O₅ 施用量については、Brewerら⁵⁰⁾がマンゲルを用いて、増肥するとOx被害が減少することを認めている。一方、P₂O₅ 欠乏下で水稻を栽培するとオゾンによる被害が減少すると馬場⁵⁹⁾は報告している。アサガオでは、欠乏のP0区が標準区より感受性が低く、増肥すると感受性が低下した。またN区およびP区でみられたように葉中P含有率が高くなると感受性は低下する傾向であった。

K₂O施用量とオゾン感受性の関係について、浅川ら⁶⁰⁾はK₂Oを欠如した場合のネギとトマトを用いて、その影響を見ている。すなわち、欠乏状態にすると、オゾン感受性が高まり、障害程度は大きくなった。また、Dunningら⁶¹⁾はピントビーンとソイビーンについて、Kの低濃度と高濃度のホーランド水耕液で育成し比較すると、低濃度下の方がオゾンによる被害が大きいことを報告している。本実験でも同様な結果が得られ、標準量と欠乏の区においてアサガオは高い感受性を持つが、2、4倍と施用量が多くなり、葉中K含有率が高くなると感受性が低下した。

一般に、炭水化物含有率はN施用量が多いと減少し、K₂O施用量が多いと逆に増加すると言われている。喜田村ら⁵¹⁾はN少施用の場合、タバコ葉内窒素の欠乏とともに葉の拡大生長の停止及びデンプンの集積が起こり、被害の斑点を誘発しやすくと推定している。一方、Leoneら⁵²⁾は、タバコ葉のN含有率が増加すると炭水化物含有

率は減少すること、また被害との関係では炭水化物が中程度のときに最も被害を受けやすくなり、それより高くても低くても植物葉はオゾンに対して抵抗性をもつと述べている。本実験では、炭水化物を還元糖、非還元糖、全糖、デンプンに分けて分析しているので区別してみると、N区とK区のデンプン含有率は110mg/g.d.w.以下の低濃度において(N0、2、4区)被害が小さく、また250mg/g.d.w.以上の高濃度(K2、4区)でも被害が小さくなったが、それらの中間値では大きい被害(N1/2、1区、K0、1区)がみられた。すなわち、デンプン含有率とOx被害との関係は山型を示し、表II-7の相関関係の符号がN区で正となり、K区で負となったのである。一方、非還元糖をみるとN区は60mg/g.d.w.以上で被害が大きく、正の相関を示したが、非還元糖が同じレベルのK2区とK4区では逆に被害が小さくなった。これらの区では非還元糖のほかにデンプン含有率も高いため炭水化物が非常に高くなり、Oxに抵抗性を示したと思われる。この様な関係は全糖とデンプンがともに高いP2区とP4区においてもみられた。以上のことから、被害程度の大小と炭水化物含有率の関係をまとめると以下ようになった。



即ち、アサガオのOx感受性は葉中N、P、K含有率が高いと低下し、また、糖とデンプンが同時に高い含有率であったり、同時に低い含有率のときに低下することが分かった。従って、アサガオを指標植物として用いる場合の肥培管理方法は標準施肥量を基準とし、N・P₂O₅の欠乏及び多施用、K₂Oについては多施用を避けることが重要である。

表II-7 アサガオのOx被害指数と生育量及び葉中化学成分含有率との関係

		相 関 関 係		
		N区	P区	K区
生 育 量	全 葉 数	0.56	-0.23	-0.33
	草 丈	0.42	-0.17	-0.52
	葉 面 積	0.43	-0.81	-0.17
葉 中 化 学 成 分 含 有 率	クロロフィル	-0.01	-0.43	0.40
	T-N	-0.22	0.02	0.08
	P	-0.95*	-0.91 ^a	-0.10
	K	-0.14	0.21	-0.83
	還 元 糖	0.79	-0.23	0.39
	非 還 元 糖	0.85 ^a	0.34	0.64
	全 糖	0.93*	0.15	0.56
	デ ン ブ ン	0.92*	-0.65	-0.92 ^a

注) *…5%水準で有意, a…10%水準で有意

2 PANの指標植物 —— ペチュニアの被害の特徴と指標性

我が国においては1971年東京の郊外でPANによると思われる被害がペチュニアなどで観察され注目されはじめた。1973年の東京都内におけるペチュニアの被害を調査すると、日比谷公園を始め調布・小金井・小平・立川などに広く分布していた。この様な調査観察を通してみるとペチュニアは激しい被害を呈する品種から全く認められない品種までみられ、PANの感受性が品種によって大きく異なることが明示された。また、被害が出現する葉位もオゾンによる被害と違う様相がみられた。しかし、PANの環境測定がほとんど行われていなかったため植物被害とPAN発生状況との関係は解明されないうた。1973年10月より東京農試内においてPANの環境測定を開始したのを機会にPANによる植物被害、特に敏感に反応するペチュニアを用いて被害の特徴とPANに対する指標性について検討を行った。

1) ペチュニアの被害の特徴と品種によるPAN感受性の差異

ペチュニアの品種についてPANに対する感受性の差を調査し、PAN被害を生じる葉位および葉齢の特徴を見た。

〈材料及び方法〉

(1) 東京農試内の温室でポット栽培されていたペチュニアの11品種について、1974年4月23～24日に発生した

Ox中のPANによる被害を調査した。

(2) 品種、ホワイトエンサインとブルーエンサインを用い、葉位ごとの葉面積拡大の推移とPAN被害の葉位別被害度(0～5)を調査した。

〈結果及び考察〉

(1) ペチュニアの品種別被害状況

表II-8に11品種のペチュニアのPANによる被害指数を示した。被害株率を見ると、ホワイトエンサインのように調査した全株に被害を呈する品種から全く被害のないマスコットローズのような品種まであった。最大被害葉の被害指数により感受性を分けると、高い品種はホワイトエンサイン、ドリームであり、中程度はレッドコロンネット、ブルーエンサイン、ローズエンサイン、低い品種はサーモンエンサイン、サーモンコロネット、ピンクプロフェーションであった。

(2) PAN被害の葉位と葉齢

図II-13に示すように、PANによる被害葉位(対生)は最も感受性の高いホワイトエンサインでは上から数えて2対目から6対目までの葉位の葉表面と裏面に現れ、同じ汚染でも中程度の感受性を示すブルーエンサインは3対目から5対目の裏面のみに現れた。すなわち、これらの葉位は葉面積が拡大しつつある葉であり、そこに被害が集中し、拡大の止まった下位葉はPANに対する感受性がなかった。ペチュニアは開葉してから4日目で第2対目となり葉の先端に被害を生じ、6日目で3対目となり被害も葉の先から中ほどに生じ、さらに10日目で4対目となり葉全体に広がる。そして14日目で5、6対目になると被害も葉の基部のみに生じて、それより下位の葉では被害はみられない(写真II-1)。この様な特徴は合成PANをペチュニアに処理した実験でも認められた。

ペチュニアの2対目の葉に等間隔でます目をつけておくと、葉が成長するにしたがって基部に近い方ほど面積の拡大する様子がみられた(写真II-2)。このことから、PAN被害が葉の先端部から基部へバンド状に移動するのは組織内の齡の進行とPAN感受性部分との間に何らかの関連があるためと思われる。これらの結果はTaylorら¹³⁾が報告したペチュニアの被害の特徴と同様な傾向であり、東京におけるPAN型被害の発生を裏づける根拠にもなった。

2) ペチュニアの被害度とPAN発生量との関係

ペチュニアのPANによる被害を調査し、その被害程度と大気中に生じたPAN濃度、発生時間との関係を求めてペチュニアのPAN指標性について検討した。

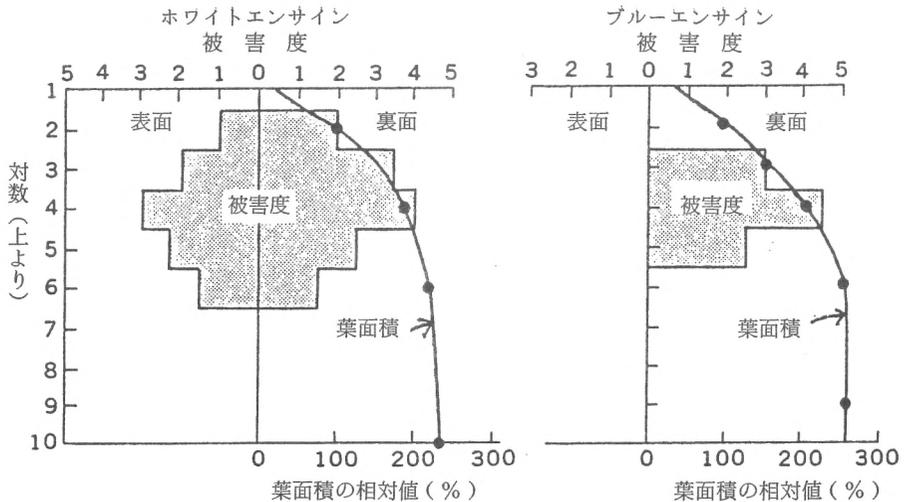
表II-8 ペチュニアの品種別被害状況

品 種 名	調 査 項 目				
	調査株数	被害株率(%)	最大被害葉 の被害指数	被 害 症 状	
				表 面	裏 面
ホワイトエンサイン	50	100	99	白色斑	光沢斑・銀白色斑
ド リ ー ム	50	94	83	褐色斑	光沢斑・銀白色斑
レッドコロネット	50	90	42	褐色斑	光沢斑・青銅色斑
ブルーエンサイン	50	76	39	黄褐色斑	光沢斑・青銅色斑
ローズエンサイン	50	68	30	白色斑	光沢斑・銀白色斑
スカーレットエンサイン	50	68	26	なし	光沢斑・銀白色斑
サーモンエンサイン	41	66	8	なし	光沢斑・銀白色斑
サーモンコロネット	50	30	10	なし	光 沢 斑
ピンクプロフェーション	50	16	5	なし	光 沢 斑
マスコットローズ	50	0	0	なし	なし
グリッターセレクト	50	0	0	なし	なし

$$\text{被害指数} = \frac{\sum_{n=0}^5 n \times \text{調査株数}}{\text{調査株数} \times 5} \times 100 \quad (n: \text{最大被害葉の被害度})$$

1974.4.23 Ox ドース 7pphm以上 53pphm-hr, max 12pphm

1974.4.24 Ox ドース 7pphm以上 74pphm-hr, max 13pphm



図II-13 ペチュニアの葉位別被害度と葉面積拡大の推移

1974.5.23

Ox : 8pphm以上ドース 126pphm-hr max 18.6pphm

PAN: 2ppb以上ドース 33ppb-hr max 6.8ppb

〈材料及び方法〉

- (1) 品種ホワイトエンサインとブルーエンサインは非浄化空気室内に地植えて、1974年4月から8月までの期間毎日調査し、新しく被害が生じているときは、各葉位ごとに被害面積を0～5段階に分けて記録した。
- (2) 品種ホワイトエンサインは非浄化空気室内に地植えて、1975年7月1日から8月10日まで10日間隔でその期間に発生した被害をまとめて調査した。

〈結果及び考察〉

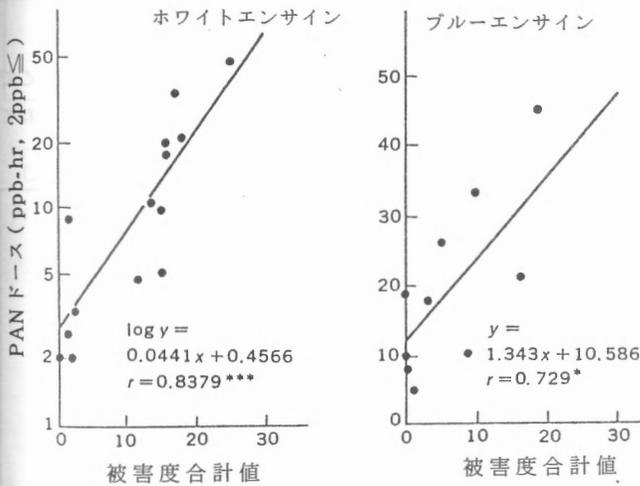
- (1) ペチュニアの被害度とPANドースとの関係

ペチュニアの株ごとの被害度合計値（各葉位ごとの被害度を合計した値）と被害発生の前日のPAN濃度2ppb以上の値を合計したドースとの相関関係を求めると図II-14に示すようになった。感受性が高いホワイトエンサインの被害量は指数曲線的になりPANが高濃度になると被害量に限界がみられたが、片対数式で0.1%の危険率で相関関係が得られた。感受性が中程度のブルーエン

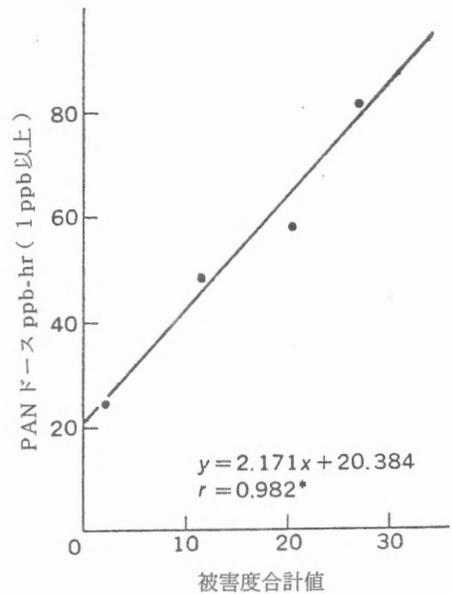
サインは被害の出現にホワイトエンサインの約3倍のPANドース（2ppb以上10ppb-hr）を必要とし、ドースと被害量との相関は5%の危険率で有意となった。したがって、この2品種のうちホワイトエンサインだけに被害症状を認めたときはPAN発生は比較的軽く、ブルーエンサインにも同様に被害を認めたときはかなり高濃度のPANが発生したことを示唆することになる。

ペチュニアのPAN被害はアサガオのオゾン被害に比べて、被害を発現するまでの時間は光条件¹³⁾による天候に左右されやすかった。そこで、被害の調査を10日間まとめて行うことにより、被害が発現するまでの時間的な影響を少なくした。図II-15には10日間ごとの被害度合計値と1ppb以上のPANドースとの関係を示したが、毎日被害を調査した結果よりも高い相関関係が得られた。

以上のことから、ペチュニアの被害は大気中に生じたPANを量的にもある程度とらえることができ、PANの指標植物として有効であるとみなされた。



図II-14 ペチュニア（品種：ホワイトエンサイン，ブルーエンサイン）の被害度合計値とPANドースとの関係



図II-15 10日間ごとのペチュニア（ホワイトエンサイン）の被害度合計値とPANドースとの関係（1975.7.1～8.10調査）

3 市民向け指標植物の利用方法の開発

1970年代、全国の大都市周辺で大気汚染、水質汚染などの公害が大きな社会問題となり、生活環境を守るため市民自らが環境監視に取り組み姿勢が生まれた。その中で植物を使って大気汚染を調べる簡単な方法が市民から求められた。

アサガオとペチュニアは光化学オキシダントの指標植物として適していることから、これらの植物について栽培

管理方法及び被害の観察方法を検討し、普及した。

1) アサガオとペチュニアの被害観察方法の検討

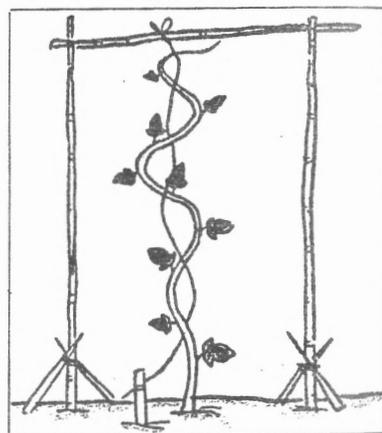
(1) アサガオの栽培管理とオゾン被害の観察方法

アサガオは誰にでも馴染みのある植物で栽培も簡単であり、光化学スモッグ発生の夏期を中心に成長をするためオゾンの指標植物として適していた。そこでアサガオを利用する際の栽培管理方法について以下のように記載し、市民に配布した。↙

● アサガオの栽培管理

1. 大気汚染に敏感に反応する品種スカーレットオハラなどを使います。
2. 五月に入ったら陽当りの良い所を選んで深さ20cm四方ほど土を掘りおこし、2～3粒ずつ種をまき、1cm程度土をかぶせます。
3. 肥料は掘りおこす時に普通の化学肥料(小粒)と油かすなどをそれぞれ大きじ一杯程やりよくかきまぜます。
4. 発芽して本葉が2～3枚出る頃間引いて生育の良いものだけを残します。
5. 気温が高くなるとともに生育は早まりますがつるは1本だけにして他の腋づるは早めに摘みとるようにします。
6. つるはひもにまきつけ観察しやすい高さにも移動できるようにしておく便利です。(右図)

つるの仕立て方



アサガオの観察方法は、最初に、被害の発生を毎日観察する方法を作成したが、被害程度を2段階としたためOx汚染量を把握するには困難であった。また、観察は

毎日行うため市民にとってかなり負担となった。そこで1週間ごとに被害を観察する方法へと2度改良を重ねて以下のような方法を広めた。

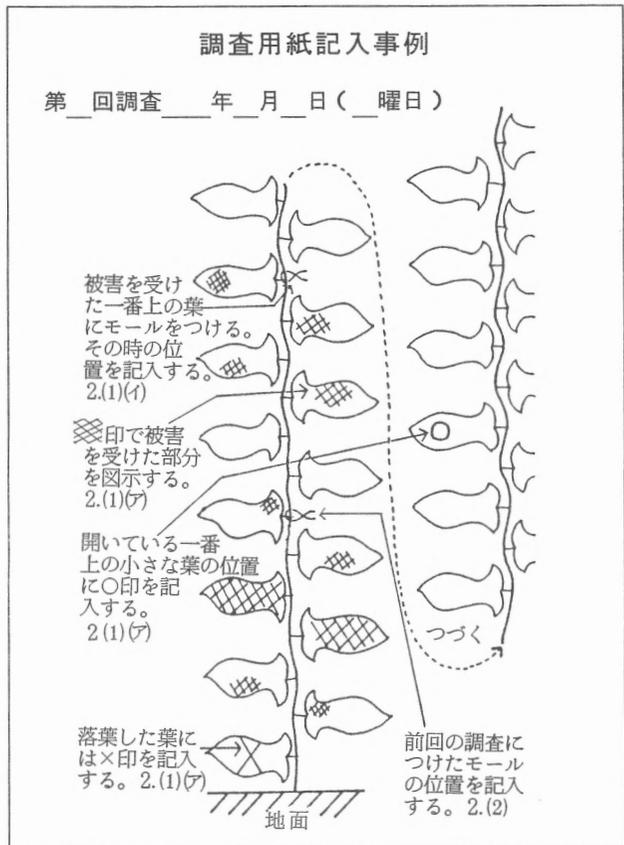
● 観察・調査の方法

1. 観察は定期的(例えば、1週間に1回あるいは2週間に1回と同じ曜日)に行います。アサガオは生育が盛んな7月から8月の時期が観察しやすいでしょう。葉の枚数が10枚以上になったら始めましょう。
2. アサガオが一番大きな被害がでている1株をえらんで「調査用紙の記入事例」をみながら、次のようにすすめてください。
 - (1) 第1回目調査：(ア) つるについている一番下の葉から一番上の小さな葉まで見ます。その中で白色やかっ色の斑点の生じている葉があったら調査用紙に、その被害の大きさ、部分を××××印でかき入れてください。下の方の葉が落ちているときは調査用紙に×印をかいてください。一番上の小さな葉の位置を下からかぞえて調査用紙に○印をかいてください。(これでアサガオの全部の枚数がわかります。)(イ) つぎに被害の生じた葉のうち一番上の葉にモールをつけます。調査用紙にモールの位置を○印でかき入れてください。(次回調査時に目印になります。)
 - (2) 第2回目以降の調査は第1回目と同じ要領でアサガオの葉をしらべ、別の調査用紙に記入して下さい。生長にともない葉の数がふえますので○印が上へ移動します。また、この時も被害を受けた1番上の葉にモール(∞)をつけます。さらに前回つけたモールの位置も○印で記入しましょう。(同じ葉に2つ以上の○印が付く事もあります。)

3. 調査が終わったら、腋芽を摘んで観察中のつるを巻きつけているひもを少し下におろし、次の調査日まで十分に成育できるように整理しておきます。

● まとめ方

1. 調査用紙に図示したアサガオの被害の程度(×印)を葉1枚ずつについて1～5段階に分けます。すなわち葉全体に被害が及んでいる時を5とし、 $\frac{3}{4}$ 以上を4、 $\frac{2}{4} \sim \frac{3}{4}$ を3、 $\frac{1}{4} \sim \frac{2}{4}$ を2、 $\frac{1}{4}$ 以下を1とし、被害のない時を0とします。
2. 葉1枚ずつの被害程度を合計して1株の被害合計値を求めます。
3. 第2回目以降の調査用紙も同様に行いますが、前回調査の被害合計値を差引いた値がその期間の被害の大きさになります。
4. 各期間ごとに比較して、被害合計値の高い期間はオキシダント汚染程度がひどかったことになります。



(2) ペチュニアの栽培管理とPAN被害の観察方法

ペチュニアの栽培管理方法については以下のように記述した。

- (1) 苗は株間50cm程あけて、植え込みます。
- (2) 肥料は植えたあと1週間後に根元に小さじ1杯あたえ、8月のはじめに同じ要領で追肥します。
- (3) ペチュニアはたくさんの枝がでて、大きな株になりますが、自然にまかせた方が良いでしょう。また、咲き終わった花は種子ができないように時々摘み取っておきます。
- (4) 被害は若い葉にでるため、苗は2カ月位で植えかえるかあるいは古枝を折り取って捨て、若い枝を再生させます。

被害の観察方法は、被害を受けやすいホワイトエンサイ
ン(白花)と被害のやや出にくいブルーエンサイン(紫

花)を同じ場所に置いて、被害の有無を○×式で記述す
る品種間差を利用する方法を考案した。↙

【品種間差を利用した○×式の観察方法】

- (1) 観察する枝は比較的元気の良いものを選んで決めておきます。
- (2) その枝について毎日観察して、白花と紫花の両方の葉の表裏面の被害を確めて下さい。
- (3) 被害がでていたら調査用紙(右表)の該当欄に○印を、被害のない場合は×印を記入します。このとき観察する葉は一番ひどく被害を受けた葉について行い、その葉柄にモールをつけます。そのモールは古い被害と新しい被害を区別する目印とします。
- (4) 被害が白花だけか、あるいは白花と紫花の両方に出るかによってPANの発生状況がわかります。また、葉の裏面だけでなく表面にも被害が達している時は高濃度の汚染だったことを意味します。

PANによるペチュニアの被害を
品種間差を利用して○×式で観
察する方法の調査用紙

○：被害あり ×：被害なし

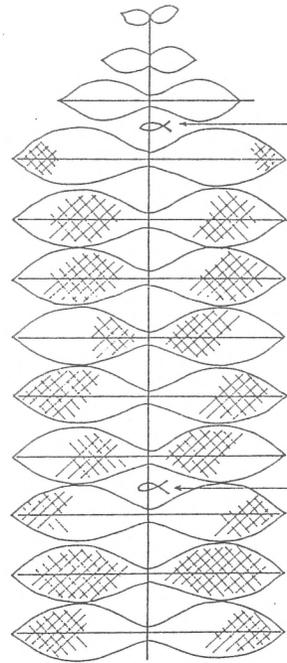
観 察 月 日	時 分	白 花		紫 花	
		表	裏	表	裏
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

以上の方法は市民にとって、ペチュニアの被害の新旧を区別することの困難なこと、及び軽い被害は数日後に症状がはっきりとしてくることなどから、被害の観察日

にずれが生じる。そこで次にホワイトエンサインを用いて、1週間まとめて被害を調査する方法を作成した。

【1週間毎に被害を観察する方法】

- (1) 被害のよく出る枝について観察します。観察は1週間に1回とし、毎週日曜日の午前中に済ませるようにします。
- (2) 観察のコツは次のように(右図の調査事例の用紙を見ながら) (イ) まずはじめに被害が出たかどうか確かめて下さい。(ロ) そして被害が出ていたら被害を受けた一番上の葉の茎にモールで印をつけて下さい。調査用紙にはそのモールの色を に記入します。(ハ) 葉の裏側を観察し、調査用紙のそれぞれの葉に被害の大きさ、被害部分を図示しておきます。その他、気付いた事がありましたら自由に書き込んで下さい。(ニ) 最後に、先週つけたモールの位置と色を調査用紙の に記入します。
- (3) 観察していた枝で被害が出にくくなったり、折れたりした場合は他の枝に変えて同じように観察を続けましょう。



被害を受けた一番上の葉に
モールをつける。
その時のモールの色を記入
する。

今回のモールの色

色

印で被害を受けた
部分を図示する。
(葉の裏側)

前回の調査でつけたモール

月 日

色

そのモールをつけた日付・
色を記入する。

PANによるペチュニアの被害を1週間毎に観
察する方法の調査用紙記入事例

2) 市民によるアサガオとペチュニアの被害観察の成果

東京都立川市において、生活学校に参加する主婦が中心になり、立川市公害監視委員会、立川市環境部公害課、東京農試とが協力して光化学スモッグによるアサガオの被害観察が1974年より始められ、1975年からはペチュニアの被害観察も導入された(写真II-3)。

まず、市民への説明会において、市より配布された苗の栽培管理方法と被害症状の見方、調査方法の説明を行った。調査期間中、調査地点の巡回をしながら被害の観察を指導し植物の生育状況を確認した。調査終了後、結果をまとめるに当たって指導を行い報告書作成の援助をし、市民の報告集会に参加するという形で協力をしてきた。

一方、全国的な組織を持つ婦人団体からも技術協力の要請がなされ、1979年から1981年の3年間、アサガオの全国調査について援助を行った。

以下、市民自らが調査した被害発生結果について概略を述べ、観察運動の成果についてふれてみる。

(1) アサガオの被害観察結果

(a) 立川市の調査例

1974年に立川市民が市内107地点で被害の発生を毎日観察した結果、延被害発生記録回数は318回を数えた。最初の被害発生の記録は6月中旬で以後9月上旬まで19回を記録した(表II-9)。Ox発生と被害の観察記録との関係を見ると、Oxの1時間平均濃度8pphm以上連続3時間を記録し、そのうち少なくとも1回9~10pphmを記録したときにアサガオの被害の発生が観察されている。これは、第二章1の1)の環境暴露室内のアサガオで得られた被害発生濃度よりやや高いが、野外の栽培であるためアサガオの感受性が少し低かったものと思われる。

表II-9 アサガオ被害の月別観察記録状況
(1974.6.15~9.10調査)

月	回数	各月被害発生日	延記録数
6月	6	15.16.20.25.26.29	15
7月	4	9.13.23.27	82
8月	8	3.4.5.6.9.13.19.22	201
9月	1	6	5
	19		318

また、全調査期間を通してみると、被害記録の全くされなかったところは皆無であり、被害は住宅地、農村地区を問わず全市的な広がりをみせていた。

以上のように毎日調査することは市民にとってかなり負担になることから1975年からは1週間ごとにまとめて被害を観察する方法へと換えた。

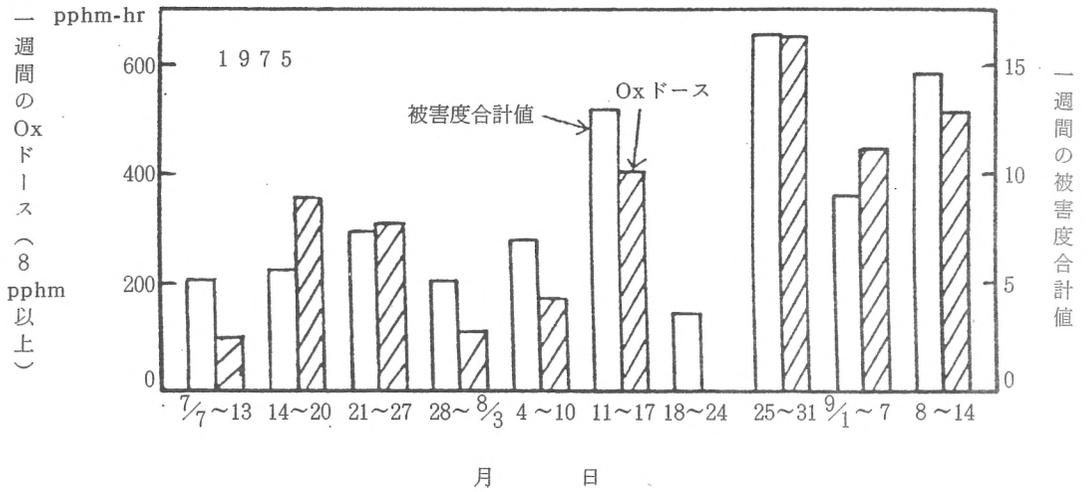
毎週日曜日の午前中に観察することにしたこの方法は先週の日曜日から土曜日までのOxにより生じたアサガオの被害をまとめて記録することになる。1975年の7, 8, 9月中旬までと1976年の7, 8月の期間について1週間ごとのアサガオの被害度合計値とOx 8pphm以上の1週間のドースの推移は図II-16, 17のようである。1975, 1976年ともアサガオの被害度合計値の推移はほぼOxドースの推移と一致しており、Oxドースが高いほど被害度合計値も高いことがわかる。しかし、1976年の7月5日~11日の週ではOxドースは高いにもかかわらずアサガオの被害度合計値は小さい。これは7月上旬におけるアサガオの生育がまだ盛んでないために葉数が少なく、Ox被害を受ける成熟葉の数が少ないために被害度合計値が低くなったと思われる。したがって、育苗の準備を早めに行う必要が生じた。この期間を除いて、被害度合計値とOxドースの相関関係を見ると図II-18のようになり、市民による調査がかなり正確であることを示している。

次に、7, 8月の2ヶ月間に発生したアサガオの1週間ごとの被害度合計値を合計して1975年と1976年とを比較してみると表II-10のようになる。すなわち、1975年の被害度の合計は63.0であり、1976年では37.8となり、1975年の方が被害を受けた程度は大きかった。一方、この2ヶ月間に発生したOxドースをみると、1975年が2102pphm-hr、1976年が1556pphm-hrとなり、Oxの発生程度も1975年の方が高かったことが示された。すなわち、夏期に観察したアサガオの被害度の大きさから、その年の夏期に発生したOxの程度をおおよそ把握することが可能であろう。そこで、毎年同じ観察方法を用いて行えば年間の光化学スモッグの発生程度をアサガオを通して年次別に知ることができると考えられる。

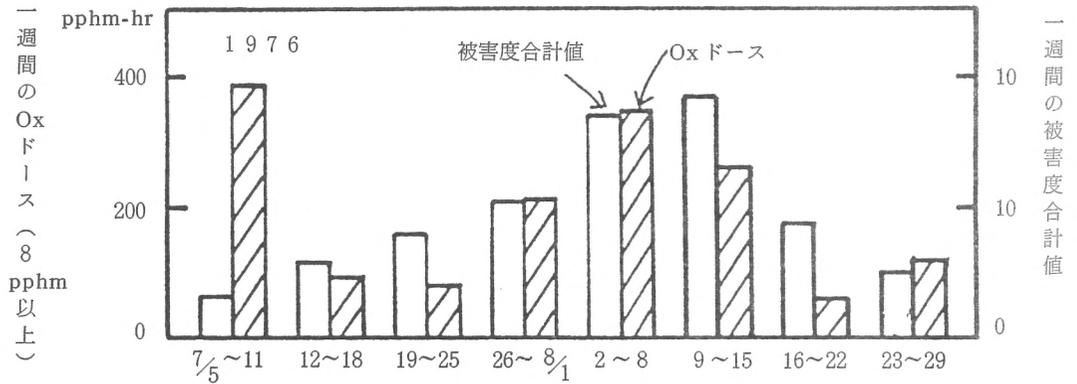
その後、この立川市民の観察運動は規模は小さくなったが、有志により10年間にわたり被害調査が続けられた。

(b) 全国調査の例

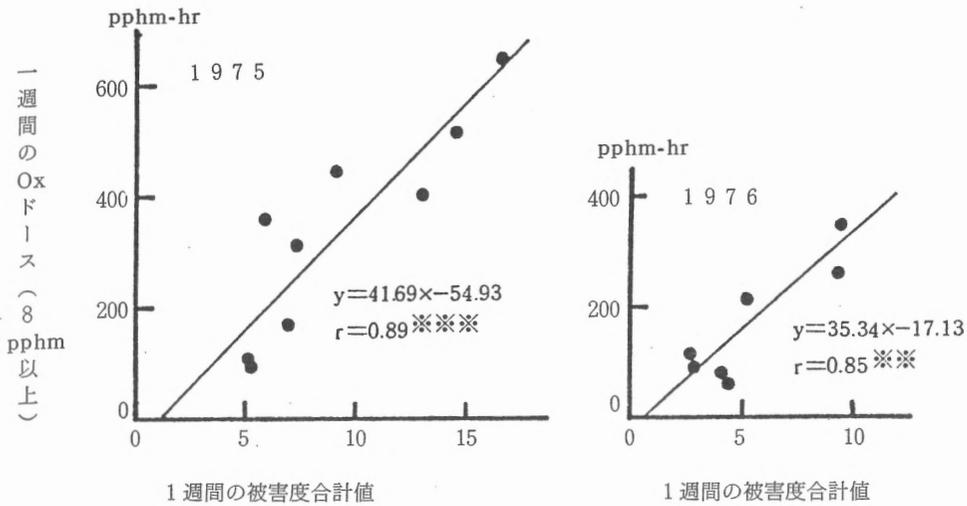
北海道から九州まで、全国22地点で婦人が中心となりアサガオを栽培し、1979年7月から9月上旬までのOxによるアサガオの被害の観察を1週間ごとに行った結果、



図II-16 1975年におけるアサガオの1週間毎の被害度合計値と1週間のOxドース



図II-17 1976年におけるアサガオの1週間毎の被害度合計値と1週間のOxドース



図II-18 1975, 1976年におけるアサガオの1週間毎の被害度合計値と1週間のOxドースとの関係

表II-10 立川市の1週間毎のアサガオ被害度合計値とOxドースの1975年と1976年の比較

〈1975年調査〉

	7/7~13	14~20	21~27	28~8/3	4~10	11~17	18~24	25~31	合計
全葉数	7.5	10.9	17.8	18.9	22.4	25.3	30.7	34.8	34.8
被害度合計値	5.1	5.7	7.3	5.1	6.9	13.0	3.6	16.3	63.0
Oxドース (8ppmh以上)	99	358	311	109	171	403	0	651	2102

〈1976年調査〉

	7/5~11	12~18	19~25	26~8/1	2~8	9~15	16~22	23~29	合計
全葉数	8.7	11.3	18.0	21.4	25.7	29.6	36.5	41.3	41.3
被害度合計値	1.3	2.9	4.0	5.2	8.4	9.2	4.3	2.5	37.8
Oxドース (8ppmh以上)	386	93	82	211	347	260	60	117	1556

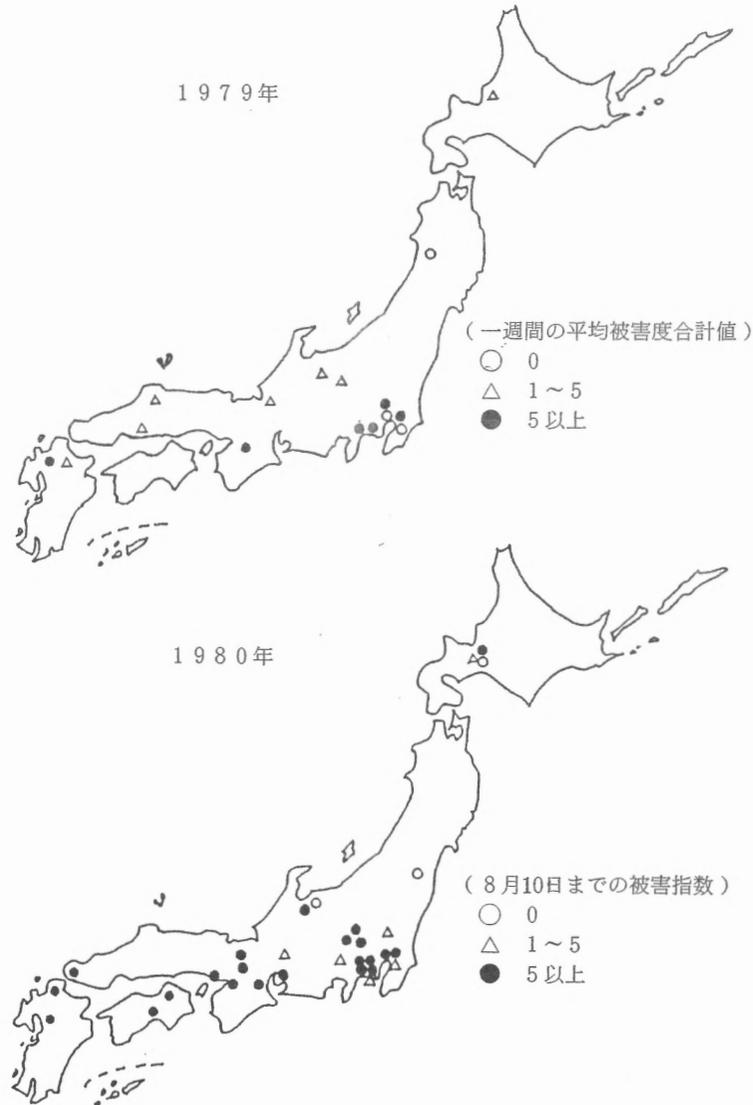
16地点で被害が観察された。地区ごとに1週間の被害度合計値の平均値で示すと図II-19(上図)のようになった。被害度の高い地区は神奈川県横浜市、伊勢原市、千葉県我孫子市、埼玉県鳩ヶ谷市、奈良県奈良市、福岡県福岡市であり、大都市及びその周辺地域で高い濃度のOx

が発生したことが推測された。中程度の被害を生じた地区は札幌市、長野市、広島県五日市町、鳥取県米子市、北九州市であり、Ox汚染は全国的に広がる様相を示した。一方、被害の観察されなかった地点は3ヶ所だけであり、秋田県秋田市、千葉県大網白里町と千葉県市川市であっ

た。秋田市の測定局の7, 8, 9月のOx濃度は環境基準値(Ox 0.06ppm)以下であり⁶²⁾、アサガオに被害を生じる濃度には至っていなかった。大網白里町の近くの一宮町の7, 8月のOx濃度は0.06ppmを越えた日は各々一日だけであり汚染程度は低かった⁶²⁾。しかし、市川市は0.06ppm以上が発生した日は7月に5日間、8月に4日間あり、最高値も各々0.13ppm, 0.14ppmであった⁶²⁾が被害はみられなかった。

次の年の1980年は調査地点数が42ヶ所に増え、そのうちアサガオに被害が観察された地点数は38ヶ所であった。被害のみられなかった4ヶ所のうち3ヶ所は、アサガオ

の生育が非常に悪くOxに対して葉が十分に反応しなかったものと思われる。したがって、北海道、東北地方では他の地域と成長を合わせるために温室内で苗を育成し6月下旬に野外に移植する方法を取り入れることが必要であろう。7月17日から8月10日までに生じた被害指数を地域別にみると、図II-19(下図)のようになった。被害程度の大きい地域は埼玉県、千葉県、神奈川県、愛知県、三重県、京都府、大阪府、山口県、高知県、福岡県であり、中程度は東京都、群馬県、富山県、兵庫県、香川県であり、程度の小さい地域は茨城県、山梨県、岐阜県であった。



図II-19 1979, 1980年におけるアサガオ被害の全国調査

一方、この年の夏は関東以北において冷夏という異常気象に見舞われたため、Oxも7月下旬以降はほとんど発生しない状況であり、7月27日と8月10日の調査では被害は関東地方から北の方で少なかった。しかし、関西から西の方では異常気象現象がなかったため、7月27日と8月10日の調査においても大きな被害が観察された。Oxは気象条件により発生が度々大きく左右されるが、それらの地域的な差をもアサガオ被害を通して把握することが出来た。

以上の全国的なアサガオのOx被害観察結果から、Oxによる大気汚染を見ると太平洋沿岸および瀬戸内沿岸で汚染程度が高く、また、但の地方都市でも汚染が進行していることがうかがえた。

これらの結果は全都道府県と読売新聞社とが主催し、全国中学校理科教育研究会の中学校の先生と生徒が行ったアサガオ被害観察結果⁶³⁾と同様な傾向を示した。

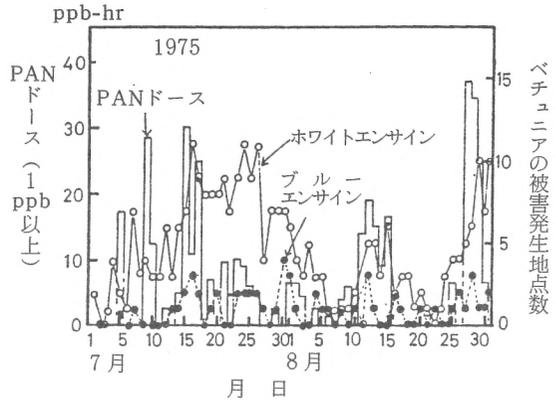
(2) ペチュニアの被害観察結果

(a) 品種間差を利用したOx式の観察結果

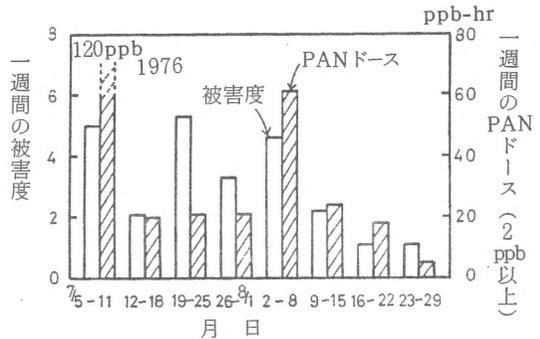
1975年、全国ではじめての試みとして立川市において行われたペチュニアの被害観察は30地点に及び、26地点で被害が記録され立川市全域に及んでいた。7～9月中旬のホワイトエンサイン（白花）の延観察記録数は330回、ブルーエンサイン（紫花）は白花の約1/5の72回を数えた。東京農試で常時測定したPAN発生状況と被害発生の有無を見ると、2 ppb以上で被害の発生がみられ、3 ppbを越えると被害の広がりが見られる。図II-20には7、8月の1日ごとの1 ppb以上のPANドースの推移とペチュニアの被害発生地点数を示した。7月ではPANドースの高い日の数日後に被害の記録地点数が増加しているが、8月では翌日に記録数が多くなり、ペチュニアの被害観察は回を重ねるにつれてPAN発生をかなり正確にとらえている。

(b) 1週間ごとに被害を観察した結果

1976年6月にホワイトエンサインの苗を移植して7、8月に1週間ごとの被害を観察したところ、立川市では22地点で延91回被害が確認された。1週間の被害度合計値とその期間に発生したPANドースを比較してみると第II-21図のようになった。7月上旬と梅雨明けに相当する7月下旬ではかならずしも一致していないが、他の期間ではPAN発生を1週間毎におおよそ把握できた。この様に1週間に発生した被害をまとめて観察すると誤差も少なくなり、市民用の方法として適当であると思われる。



図II-20 立川市におけるペチュニアの被害発生日と被害発生地点数



図II-21 ペチュニアの1週間毎の被害度合計値と1週間のPANドースの推移

立川市以外にも青梅、福生、国分寺、国立、昭島市でペチュニアの観察が行われた。その結果、これらの市の全てにおいて被害の発生を観察し、PANによる汚染は広い地域に及んでいることが確かめられた。

(3) 指標植物を使った観察運動の成果

観察終了後各市民団体は参加者のアンケート、感想文等の集約を行っている。

立川市でのアンケート調査では「あなたはアサガオ観察を行ってどのように感じましたか」という問いに対して「光化学スモッグのおそろしさがわかった。」が39%であり、「大気汚染に強い関心を持つようになった。」が58%という結果が出された。

意見、感想文では、「今まで光化学スモッグと言われても、特別に気にもしていませんでした。しかし、アサガオの観察をするうちに自分の身の回りの植物がこれだけの被害を受けるのを見て、人間や他の生き物はどうなるのだろう……と夏雲を仰いで背筋の寒くなる思いにか

られました。」という主婦の感想や「このようなことは一部の人だけで関心を持っていたのでは問題の解決にならないと思う。多くの人が関心を持つべきだ 毎年新しい人たちが実施することによってPRの一助になると考えます。」「広報等で広く市民に知らせ、この上工場誘致など(市長は)しないように世論をおこす。また、マイカー規制の方向へ役立たせる。高松町大通りの排ガス公害のためPRする。」「行政境界のない空なので広域的に汚染防止に取り組まなければならないと思う。勿論、青空を次代に残すために。」というような意見が数多く寄せられた。

人の目に見えにくい大気汚染というものを植物の葉の被害症状という直接目に見える形にした、すなわち、指標植物の観察は多くの市民に対して、大気汚染問題の関心を高めたり、Oxの広がりなどの認識を深め、より長期間にわたる観察や広域的な運動へと発展させる契機となった。そして市民の生活環境改善の世論をおこす上で指標植物は有効であることが確かめられた。

摘 要

光化学オキシダントに対する指標植物の開発を行った。オゾンに対してはアサガオを、PANに対してはペチュニアを用いて、被害の特徴と指標性について検討したのち、市民が利用できる調査方法を作成し普及した。

1. アサガオのOxに対する指標性を見るために、1974年から1977年までの夏期に東京の立川市で大気中に生じたOxにより被害を受けたアサガオを調査し、Ox発生量とアサガオの被害程度の関係について検討した。

(1) 8品種のアサガオの中でスカーレットオハラがOxに対して1番高い感受性を示した。

(2) Ox 7pphm以上の濃度が数時間続き、日最高値が8pphm以上を示した日の翌日にアサガオは成熟葉に白色小斑点及び褐色斑を生じた。

(3) アサガオの被害度合計値及び被害指数は7pphm以上Oxドース、10時から15時までのOxドースとの間に、また、一葉当たり平均被害度は10pphm以上Oxドース及び10時から15時までのOxドースとの間にそれぞれ相関関係を示した。また、Ox日最高値は被害指数との間に相関関係がみられた。

(4) 新しく発現するアサガオの被害は前の日に2日以上連続して被害が発生していた場合、低い値を示すようになった。

(5) 1週間ごとの被害度合計値及び被害葉数は、1週

間ごとの7, 8, 9pphm以上の各Oxドース、日最高値の1週間ごとの合計値、10時から15時まで及び8時から17時までの1週間ごとのOxドースとの間にそれぞれ高い相関関係があった。すなわち、アサガオは大気中に生じるOx汚染量を葉上に被害として量的にかなり正確に表す植物であり、指標植物として適していた。

2. アサガオがオゾンにより被害を受ける葉位を生育時期別に明らかにし、葉齢の生理的特徴との関係を見た。

(1) 葉数が6, 13, 22, 40枚の各生育時期におけるアサガオはそれぞれ第5, 9, 15, 17位葉以下でOxによる可視被害を生じ、それらの葉位は葉面積の拡大が停止し気孔開度が大きいという特徴がみられた。

(2) 葉位別光合成速度は葉面積の拡大が停止する直前の葉位で一番高く、それより上位及び下位の葉で順次低下した。

(3) 葉位別クロロフィル含有率は葉面積の拡大が停止する前の葉位で最大値を示し、拡大が停止した葉位では低下した。

(4) 葉位別の還元糖とデンプン含有率は葉面積拡大中の葉で高い値を示し、拡大が停止した葉位では低くなった。

以上の葉位別光合成速度、クロロフィル、糖、デンプン含有率からみて、アサガオがオゾンに感受性を示す葉は代謝活性が最大に達した葉よりも下位の葉であり、葉面積拡大が止まり老化が開始する生理的な転換期に相当する葉齢のものと思われる。

3. アサガオを指標植物として普及する場合、高い感受性を示し被害が均一に出現するような肥培管理方法が必要である。そこでアサガオ(品種スカーレットオハラ)のOx感受性に及ぼすN, P₂O₅, K₂O施用量の影響について検討を行った。

(1) アサガオはN欠乏区とN多施用区でOx被害が減少し、標準施肥量及び半量区で感受性が高かった。また、P₂O₅欠乏区と多施用区はOx被害が減少し、標準施肥量で増大した。K₂Oの多施用はOx被害を軽減し、欠乏区と標準施肥量で増大した。

(2) アサガオのN施用区とP₂O₅施用区では葉中P含有率と被害指数との間に負の相関関係があった。N施用区では葉中非還元糖、全糖及びデンプン含有率と被害指数との間にそれぞれ正の相関関係が認められた。一方、K₂Oの多施用区ではデンプン含有率が特に高く、含有率と被害指数との間に負の関係があった。従って、Ox感受性はデンプン含有率が中程度のときに高くなるこ

とが分かった。

(3) 指標植物としてアサガオを用いる場合、肥培管理方法は標準施肥量とし、N、P₂O₅の欠乏及び多施用、K₂Oの多施用を避けることが重要である。

4. 1973年10月よりPANの環境測定を開始し、PANによるペチュニアの被害の特徴と指標性について検討した。

(1) ペチュニアはホワイトエンサインなどのようにPAN感受性の高い品種から、ブルーエンサインなど中程度の品種、サーモンエンサインなど感受性の低い品種および被害皆無の品種まで変化に富んでいた。

(2) PANによる被害を呈する葉位は葉面積が拡大している葉齢のものであった。PAN被害が葉の先端部から基部へバンド状に移動するのは葉組織内の齢の進行と関連がみられた。

(3) ペチュニアの株毎の被害度合計値とPAN濃度2ppb以上ドースとの間には相関関係が認められた。また、中程度の感受性のブルーエンサインは被害の出現にホワイトエンサインの約3倍のPANドースを必要とした。

(4) ペチュニアの被害を10日間ごとにまとめて調査した場合、その期間に発生したPANドースと被害量は高い相関がえられ、ペチュニアはPANの指標植物として有効であった。

5. 市民がアサガオとペチュニアを指標植物として利用する際の調査方法について検討を行い、普及した。

(1) 市民がアサガオとペチュニアを指標植物として用いる場合、誰にでも、どこでも、簡単に大気汚染を監視できる調査方法を作成し普及した。

(2) 立川市民が市内107地点で被害の発生を毎日観察した結果、延被害発生記録回数は318回であり、Ox8pphm以上連続3時間を記録したときにアサガオの被害発生が観察された。

(3) 立川市民による一週間ごとの被害観察の結果、その期間に生じたOxドースとアサガオの被害量は高い相関関係を示した。

(4) 全国組織を持つ婦人団体が行ったアサガオ観察結果から、Ox汚染は太平洋沿岸の大都市及びその周辺地域と瀬戸内地方で高いことが予想され、また地方都市へ広がる様相もみられた。

(5) ペチュニアのPAN品種による感受性差を利用したOx式の調査において、ホワイトエンサインの方がブルーエンサインよりも被害発生回数が多かった。

(6) ペチュニアの被害を1週間ごとにまとめて調査し、

その期間に発生したPANの2ppb以上のドースとの関係を見ると、おおよそのPAN汚染量を市民の調査により把握できることがわかった。

(7) 一般市民による指標植物の観察はOxの発生日と汚染量をほぼ正確につかむことができた。この様な被害観察を通して市民は大気汚染問題に関心を持ち、生活環境改善への意識を向上させる契機となった。

第三章 光化学オキシダントが樹木の生長に及ぼす影響

緒言

第I、II章で述べたように、都市近郊型大気汚染の主成分である光化学オキシダントは多種類の植物に可視被害を及ぼし、その被害範囲も広い地域に及んでいる。この様な被害葉は光合成作用などを低下させ、植物の生長、収量などに及ぼす影響も大きいものと思われる。しかし、生長、収量などの慢性的被害は我々の気付かないうちに徐々に進行しているため社会的経済的にも見失われがちであるが、長期間にわたる汚染は人体の慢性的影響と共に経済的損失及び生態系への影響は膨大なものが予想される。

アメリカでは、大気汚染が生長、収量に及ぼす影響について浄化空気室法を用いて解析を行ってきた。Thompsonら⁶⁴⁾はカリフォルニアでレモン、オレンジ、ネーブルオレンジに対してOxなどの大気汚染が生長、落葉、落果、果実の収量へ大きな影響を及ぼしていると報告している。また、ブドウのクロロフィル含有量が非浄化空気室で著しく減少することを見ている⁶⁵⁾さらに、レモンの蒸散作用、光合成作用が非浄化空気室の方が浄化空気室よりも低い値を示すことを明らかにした⁶⁶⁾

一方、Taylor⁶⁷⁾は人工的に合成したオゾン化ヘキセンの処理実験を行いレモンの生長抑制及び落葉を認め、また、同じ方法を用いてアボガドの実生苗の生長が抑制されたこと⁶⁸⁾を認めている。Millerら⁶⁹⁾はボンデローサパインを使ったオゾン処理実験を行い、光合成量の低下を明らかにし、葉中の炭水化物が変化することを報告している。

我が国においては、Oxの発生する都市近郊地で農作物の収量及び樹木の生長などに及ぼす影響についての実態はほとんど把握されていない。Oxはその年の気象条件などにより発生濃度の高低及び地域的差異など年々変

動する様相を示すが、これらの変動によって植物の生長、収量などが受けている影響も明らかにされていない。この様な長期的な大気汚染環境を知るために草本植物と比べて生育期間の長い樹木の生長を通してその影響を見ることは有効な方法であると思われる。そこで、浄化空気室法を用いて、Oxが数種樹木の生長に及ぼす影響とポプラ挿し木苗の生長に対するOx発生量の年次間の影響を調べるとともに、Oxおよびオゾンによる光合成、呼吸、葉内成分などへの生理的影響についても検討を行った。

1. 数種樹木の生長に及ぼす影響

常緑広葉樹のシイ、シラカシ及び落葉広葉樹のコナラ、クワ、ポプラを浄化空気室と非浄化空気室とで比較栽培を行い、これら樹木の生長に対する環境大気中のOxによる影響について調査した。

〈材料および方法〉

シイは種子を49年4月13日に浄化空気室(以下、浄化区、F.A.区とする)と非浄化空気室(以下、非浄化区、n-F.A.区とする)に60粒づつ播種し育成し、第1回目は49年11月22日、第2回目は51年4月7日に掘取調査を行った。シラカシは種子を50年6月21日に両区に60粒づつ播種し育成したのち、51年4月7日に掘取調査をした。コナラは種子を51年4月16日に両区に36粒づつ播種し育成し、52年4月9日に掘取調査を行った。クワは49年5月2日に苗を両区に5本づつ植栽し11月28日に調査をした。ポプラはOP-226, I214, I45/51の3品種を用い、穂木の重さを揃えて49年4月16日に両区に5本づつ挿し

木し育成し、8月16日及び9月4日に掘取調査を行った。

以上の樹木は生育過程で土壌水分含有率を両区で同一になるようにテンションメーターを設置して散水した。

調査項目は苗高、苗径、全葉数、落葉数、着葉数、葉面積、乾物重である。

〈結果および考察〉

シイ、シラカシ、コナラ、クワの生長量の調査結果は表Ⅲ-1に示した。常緑樹のシイ実生苗は第1回目調査において非浄化区の苗高、全乾物重、着葉数は浄化区100%に対し、各々80.2、90.5、86.0%の生長量であり、苗高と着葉数は危険率5%水準で有意差が認められた。第2回目調査では非浄化区の根元径以外の苗高、全乾物重、着葉数は浄化区よりもやや低い値であったが統計的有意差は認められなかった。シラカシの苗高と根元径及び着葉数は両区で有意差は認められないが、全乾物重は73.3%となり抑制がみられた。落葉樹のクワも同様な傾向を示し、特に全乾物重が73%と抑制された。コナラの苗高、根元径、全乾物重は浄化区100%に対し非浄化区はそれぞれ66.3、74.6、63.6%となり、全体に生長抑制がみられた。これら樹木の可視被害は、クワの下位葉2~3枚で褐色斑を生じたが、シイ、シラカシ、コナラではみられなかった。

ポプラ3品種の生長量は表Ⅲ-2に示した。非浄化区における3品種の苗高、根元径、地上部の乾物重、全葉数は浄化区と比較すると低い値であり、中でも乾物重の抑制割合が大きかった。すなわち非浄化区のOP-226, I214, I45/51の乾物重は浄化区100%に対して各々57、

表Ⅲ-1 浄化区(F.A.)と非浄化区(n-F.A.)における樹木の生長

材料 測定項目	シイ (74.4.13~11.22)			シイ (74.4.13~76.4.7)			シラカシ (75.6.21~76.4.7)			コナラ (76.4.16~77.4.9)			クワ (74.5.2~11.28)		
	F.A.	n-F.A.	%	F.A.	n-F.A.	%	F.A.	n-F.A.	%	F.A.	n-F.A.	%	F.A.	n-F.A.	%
苗高(H)cm	21.2	17.0*	80.2	95.2	91.3	95.9	5.9	5.5	93.2	58.8	39.0***	66.3	272	248	91.2
根元径(D)mm	-	-	-	7.53	7.71	102	3.20	3.11	97.2	6.72	5.01**	74.6	17.4	16.0	92.0
全乾物重(g)	1.99	1.80	90.5	36.7	32.5	88.5	2.02	1.48*	73.3	27.2	17.3*	63.6	245	179	73
着葉数	9.3	8.0*	86.0	43.5	38.5	88.5	6.2	5.8	93.5	-	-	-	△46	40	87
葉面積cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	△312	314	-102

(*** : P = .001 ** : P = .01 * : P = .05)
 (% : n-F.A. / F.A. × 100) △ : 8月16日測定

表Ⅲ-2 浄化区(F.A.)と非浄化区(n-F.A.)におけるポプラ3品種の生長(1974年8月16日測定)

項目	品 種 区	OP-226			I 214			I 45/51		
		F. A.	n-F. A.	%	F. A.	n-F. A.	%	F. A.	n-F. A.	%
苗 高(H) cm		247	187**	76	261	219*	84	295	209**	71
根 元 径(D) mm		13.8	10.1**	73	13.6	10.7**	79	16.1	10.1**	63
地上部の乾物重 g. d. w (9/4測定)		64.2	36.3**	57	71.0	38.9*	55	88.7	34.3**	39
全 葉 数		79.5	62.0*	78	77.0	66.2*	86	79.0	64.6*	82
落 葉 数		7.7	25.0**	325	7.4	37.6**	508	8.3	37.0**	446
葉 面 積 (7/26 展開葉) cm ²		208	166*	80	214	179**	84	218	164**	75

(** : P = .01 * : P = .05)

(% : n-F.A./F.A. × 100)

55, 39%となり浄化区の4割から6割の生長量しかなかった。展開後21日目の葉の葉面積を比較すると非浄化区の3品種は浄化区の各々80, 84, 75%であり8割前後の大ききとなった。一方、ポプラ葉は白色小斑点の可視被害を生じ、非浄化区の落葉数は浄化区の各々、325, 508, 446%であり、3倍から5倍多く落葉した。

本試験を行った1974年から1976年のOx発生量は第1章の図1-3に示したように1974年が一番高く、次が1975年であり、1976年が低い発生状況であったが、樹木の生長量を比較すると落葉樹のポプラとコナラでOxにより大きな影響を受け、クワ及び常緑樹のシラカシ実生苗では中程度であり、シイ実生苗では僅かな影響を受けたように、種により生長抑制に違いがみられた。

2. ポプラ挿し木苗の生長, 生理に及ぼす影響

1) 浄化空気室法によるポプラ挿し木苗の生長量, 落葉数などの経日, 経年変化

浄化, 非浄化空気室内で数種植物を植栽しその生長過程を見た⁷⁰⁾ところ, 大気汚染の影響を長期間にわたって調べるためには樹木が適当であり, 中でも常緑樹よりも落葉樹に大きな影響を与えることがわかった。そこで, ポプラ挿し木苗を非浄化空気室内で植栽し外気を暴露することにより生長量, 展開葉数, 落葉数, 葉面積などが受ける影響を浄化空気室内で育成したポプラと対比しながら調査した。これらの実験は1974年から1978年の5年間に渡って同じ方法を用いて行い, それぞれの年のOx

発生状況の特徴と各年ごとのポプラ挿し木苗の生長量, 可視被害葉の被害指数, 落葉率との関係についても検討を試みた。

〈材料および方法〉

(1) 材 料

冬季に採取して5℃に保存されたポプラ(品種I45/51)の穂木は, 挿し木時に枝の中間部分を長さ7cm, 生重量約7gに切り, 各穂木の生重量を測定したのち, 1昼夜水に浸けて, 浄化区と非浄化区に30本ずつ挿し木を行い地植えとした。なお, 生育期間中の土壤水分含有率はテンションメーターを用いて測定し常に200~250mmHgの範囲内の値を示すように散水して調節をはかった。

(2) 方 法

両区に挿し木したポプラの生育過程について, 苗高, 苗径(根元から5cm上の部位), 全葉数, 可視被害面積, 落葉数, 葉面積などを経時的に調査した。一方, その期間に数回植物体の掘り取り調査を行い, 各器官に分けて乾燥後, 乾物重量を測定した。これらの調査は1974年から1978年の5年間同じ方法を用いて行った。

〈結 果〉

(1) 浄化区と非浄化区のポプラ挿し木苗の生長量の比較
5年間の生育調査の中から1975年のデータを中心に記述する。

(a) 苗高(H), 苗径(D), D²H

図Ⅲ-1に浄化区と非浄化区のポプラの苗高と苗径に