

かもしれない除草剤使用技術上の問題点を若干の事例を参考にしながら解説した。除草剤は文明の利器であると共に凶器でもある。その適正な使用は、水稻作の安定生産を前提としなければならない。雑草害の要防除水準を科学的に明確化し、雑草害の起こらない事を前提として、

凶器としてのデメリットの出ない除草剤の使用を中心としながらも、積極的に他の雑草防除手段の導入、開発を通して、総合的な防除技術の方向を指向することが、今後の雑草防除技術において要請される事であろう。そのために、本稿が少しでも役立てば幸いである。

光化学スモッグと野菜に対する影響

千葉県農業試験場公害研究室 松丸恒夫

1. はじめに

昭和45年（1970）7月18日、東京都杉並の東京立正高校事件を契機に社会問題化した光化学スモッグは、各地に大きな波紋を巻き起こした。これより一年程前の昭和44年（1969）頃から、千葉県下では広域に亘ってネギ・サトイモ・トウモロコシなどの農作物に原因不明の特異的な異常枯損障害が認められ、その後の調査によってこれらの障害が光化学スモッグによるものであることが確認された。

現在では、光化学スモッグによる汚染は全国的な規模の広がりを示し、昭和49～51年（1974～1976）の3カ年をかけて実施された“アサガオによる光化学スモッグ観察全国調査”の調査結果では、北海道・青森・岩手・鳥取・島根・熊本・沖縄の7道県を除く全国40都府県で、アサガオの葉に光化学スモッグの被害が認められている。

2. 光化学スモッグ

L. H. Rogers は、スモッグをロンドンスモッグとロスアンゼルススモッグの2つのタイプに分類した（第1表）。

ロンドンスモッグはばい塵、二酸化硫黄（SO₂）を主成分とする冬型の汚染で、原因は工場や家庭用暖

第1表 スモッグのタイプ

（千葉県 過去5カ年）

	ロサンゼルス・スモッグ	ロンドン・スモッグ
発生時の気温	75～90°F	30～40°F
発生時の湿度	70%以下	85%以上（+霧）
逆転の種類	沈降性逆転	放射性逆転
風速	5マイル/時以下	無風
スモッグ最盛時の視程	1.6 km～0.8 km以下	100m以下
最も発生しやすい月	8月、9月	12月、1月
使用されている主な燃料	石油系燃料	石炭および石油系燃料
主な成分	オゾン、有機物、亜硝酸ガス、一酸化炭素	硫化物、粒状物質、一酸化炭素
反応の型	光化学的+熱的	熱的
化学的反應	酸化	還元
最多発生時間	日中	早朝
人に対する主な影響	短時間の眼の刺激	気管支の刺激

房に使用した石炭などから発生するばい煙によるものである。特にロンドンでは、名物の霧とばい煙が混合して、地表部付近に停滞するような状況を示し、1952年と1962年には死者合計数千人を出すような事態を招いている。ちなみに、この時の SO_2 濃度はピーク時に0.70ppm以上を記録している。

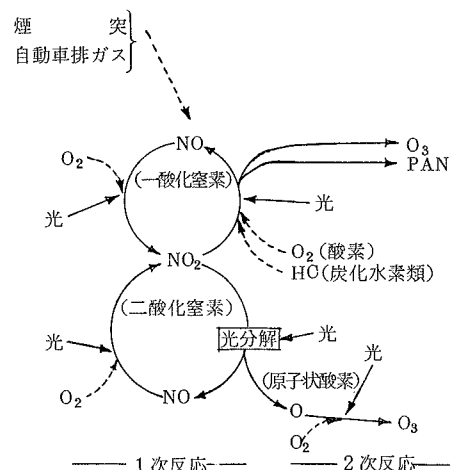
それに対してロスアンゼルススモッグは、オゾン(O_3)を主成分とするオキシダントによる夏型の汚染である。ロスアンゼルスでは、1940年代にこのタイプのスモッグが問題になり始め、1949年には莫大な農業被害(被害総面積1万エーカー以上、被害総金額約50万ドル)が起きていることが確認されている。

ここでこれから述べようとする光化学スモッグは、ロスアンゼルススモッグのタイプに属すものである。

光化学スモッグの主成分であるオキシダントとは、オゾン(O_3)、二酸化窒素(NO_2)、PANs(Peroxy acetyl nitrate 及びその同族体)、ホルムアルデヒド、アクロレインなどの強酸化性物質の総称である。このうち全体の80~90%をオゾンが占めると言われている。

その発生機構についてはまだ結論は出ていないが、おおよそ第1図に示したような経過をとるものとされている。簡単に言うと、オキシダントは工場や自動車から排出された窒素酸化物(NO_x)や炭化水素などの一次汚染物質が大気中で太陽光の紫外線をうけて生成するもので、一般に二次汚染物質と言われている。

現在は光化学スモッグの1つの指標としてこのオキシダント濃度を採用していて、日本では人体影響などを考慮して、オキシダント濃度0.15ppm(1時間平均値)で光化学スモッグ注意報、0.30ppmで同警報を発令して注意を呼びか



煙突などから排出された一酸化窒素は大気中の酸素と光化学的に反応して二酸化窒素になり、それが炭化水素の含まれる大気中で光化学的に反応してオゾンやPANができる。二酸化窒素の一部は光分解されて発生機の酸素を生じ、これもオゾンの生成に加わる。

第1図 大気中におけるオゾン(O_3)、パン(PAN)の生成模式図

けるようになっているが、光化学スモッグの本場のロスアンゼルスでは1963年以降に、オゾン濃度で0.50ppm以上という高濃度を何度か記録している。

3. 光化学スモッグによる野菜の被害

(1) 光化学スモッグの発生と気象

一年のうち光化学スモッグの高濃度汚染が最も発生し易いのは、梅雨の晴れ間(6月、7月)と梅雨明けから8月にかけてであるが、その前後の4月、5月や9月、10月にも高濃度汚染はしばしば見られる。しかし、冬期には、光化学スモッグの発生は、ほとんど認められていない(第2表)。

光化学スモッグの原因物質である窒素酸化物や炭化水素などの排出量は、大都市や工業地帯では年間を通じてほぼ一定している。それにもかかわらず、光化学スモッグの発生が季節によって異なっているのは、その発生条件に気象要

第2表 光化学スモッグ注意報の月別発令状況

(千葉県 過去5ケ年)

	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	計
昭和51年	1	6	2	4	4	1	3	21
50年	0	3	4	7	11	7	1	33
49年	2	6	5	4	5	3	1	26
48年	1	3	2	9	10	3	0	28
47年	1	1	6	4	6	1	2	21
計	5	19	19	28	36	15	7	129

第3表 光化学スモッグの発生条件

(河村：公害と対策8 (1972))

	東 京	ロスアンゼルス
発生最盛期	6月～8月中旬	8月～9月
気圧配置の パターン	大部分は前線の変動，高・低気圧の通過など気圧配置の変動が大きい。 つゆの中休み，つゆ明け期：梅雨前線の南北変動や消長に支配され，東 谷傾向で北陸方面から南下する高気圧の前面で発生。盛夏期：北緯35度 線に，東西にのびる高圧帯に入り，気圧傾度がきわめて弱いときおよび 高圧帯が弱まり北日本を通る気圧の谷の後面に入るとき。	太平洋東部の停滞性 高気圧（高圧滞）に おおわれるときで， パターンの変動が小 さい
逆 転 層	移流（前線）性および沈降性	沈降性
気 温	24℃以上	24～32℃
風速（現地）	4 m/s未満	3 m/s以下
湿 度	<70%（9時）以降漸減	<70%
視 程	<2～3 km（丸の内）	0.8～1.6 km
日 射	14時まえ少なくとも2～3時間	
付近海水温	やや高い（東京湾7月：24～25℃）	低い
そ の 他	オキシダント高濃度域は海風前線の移動によく対応（海風域内で高濃度 となる）。	左に同じ

因が大きい役割を果しているからである。光化学スモッグが発生するための気象要因とその条件については，第3表のとおりで，これによると汚染発生の前提として，まず一定の気圧配置を構成し，逆転層の形成が必要条件となっている。その他の要因としては，日射と気温及び風速が重要な役割を果している。

(2) 可視被害と不可視被害

一般に光化学スモッグによる植物被害は，可視被害（visible injury）と不可視被害，(invisible injury)の大きく2つに分けられる。可視被害とは，光化学スモッグの汚染をうけることにより，葉に斑点を生じたり，細胞が壊死（ネクロシス）したりして，目にみえる害徴が発現することを言う。特に汚染の濃度が高い場合に，害徴が短時間（1～3日）で急激に発現するの

で，急性被害と言っている。

不可視被害とは，光化学スモッグの汚染をうけることにより，光合成，呼吸，体内代謝，酵素活性などの生理作用が阻害されることで，これらの現象が肉眼で識別できないのでこう呼んでいる。その他に，低濃度の汚染を長期間受けた時にみられる生育抑制，黄化現象（クロロシス）などを慢性被害と言い，これらは広い意味での可視被害に含まれる。

以上の被害の分類のうち，不可視被害，慢性被害については，まとまった報告がほとんどなく，不明確な点も多いので，本稿では主として可視被害（急性被害）について述べることにする。

(3) 野菜の光化学スモッグ被害

前述したように光化学スモッグの汚染は4月

第4表 作物別オキシダント感受性の差

	作物名	オキシダント日最高濃度
大	ハウレンソウ ハツカダイコン サントウサイ 春まきネギ	0.07～0.08 ppm 以上で時には被害が発現し、0.12～0.15 ppm 以上では、ほとんどすべての場合に被害が発現する。
中	サトイモ コマツナ フダンソウ トウモロコシ	0.09～0.12 ppm 以上で時には被害が発現し、0.16～0.19 ppm 以上ではほとんどすべての場合に被害が発現する。
小	ワケギ エダマメ サラダナ	0.11～0.12 ppm 以上で時には被害が発現し、0.20 ppm 以上ではほとんどすべての場合に被害が発現する。

(東京都農試)

第5表 PANに対する各作物の感受性

大	中	小(耐性大)
ピントピーン フダンソウ レタス カラシナ マカラスムギ トマト	オオムギ オンサイ カエンサイ ニンジン ハウレンソウ コムギ	ハツカダイコン ブロッコリー トウモロコシ キュウリ タマネギ

(Tayler ら, 1970)

から10月まで、一年のうち半分以上の期間に認められる。従ってその期間中に栽培されていて、且つオキシダント感受性の高い作物は光化学スモッグ被害が現われる可能性があるわけである。一般に野菜類は、オキシダント感受性が高く、これまで筆者らのグループで被害を確認したものだけでも20数種類に及んでいる。なかでも葉菜類は、収穫期に被害を受けると商品価値を失ない、その損害量は非常に大きくなる。ロスアンゼルスにおける1949年の光化学スモッグによる農業被害も、その9割以上が野菜類であった。

野菜類のオキシダント感受性の評価については、普通被害の発現程度と測定されたオキシダント濃度との関係から割り出されているが、作物の生育状況、気象条件、土壌条件などによって多少変化する。ネギ・ハウレンソウなどの特

に感受性の高いと言われている作物は、オキシダント濃度0.07～0.08 ppm(日最高値、1時間平均値)で被害が発現すると言われている。また他の野菜類でも多くのものは0.10～0.15 ppmの濃度で容易に被害が発現する(第4表、第5表)。オキシダント濃度0.15 ppmというのは、光化学スモッグ注意報の発令基準であって、この濃度以下でも野菜類に容易に被害が発現するということは注目する必要がある。

(4) 被害症状

現在までの数多くの野菜類に光化学スモッグの被害が確認されているが、その被害症状は作物により様々で、且つ特徴的である。ここでは、そのうちの主な作物について、一般的な症状を簡単に記す。なお、作物によっては、二つ以上の症状が別々に発現したり、混在したりすることがある。

被害症状の分類については“大気汚染と作物に対する影響”(「植調」第10巻第5号)を参考にさせていただきたい。

① ハウレンソウ：最初は葉表面に水浸状の微細な斑点が現われ、時間の経過とともに斑点部分が陥没し、やがて白色化する。症状は2～3日で安定する。また被害が甚しい時には斑点がくっついて大きな壊死斑となる。概して剣葉のものに被害が出易く、丸葉のものの被害は軽い。このタイプの症状はオゾン被害の典型的なもので、ほとんどの作物がこのタイプに属する(白色小斑点型)。

ダイコン・ハツカダイコン・カブ・コマツナ・ハクサイ・メロン・ニンジン・ゴボウ・キュウリ・トマトなど。

② ネギ：最初は葉先が青いまま萎えたようになり、1～2日後に白色化する。または葉先部分に微細斑点が現われ、1～2日で大型白

色斑へ進行する。また被害の発現には方向性がある。感受性は若い株程高く、上から2～3葉に被害が出易い。一般に“ネギの葉先枯”とも言われている（白色小斑点型）。

③ トウモロコシ：中下位葉の葉脈間に小型棒状あるいは数珠状の白色条斑が現われる。被害が軽い時は細胞が破壊されず、葉緑体の失われた脱色斑（クロロシス）にとどまる。また出穂期以降は感受性が低下する。スイートコーン類の感受性が高いが、Mg欠乏でも類似のクロロシス症状が現われるので注意する必要がある（白色条斑型）。

④ インゲン：葉表面に褐色もしくは黒色の微細な斑点が発現する（褐色小斑点型）。

トマト・スイカ・ダイズなど。

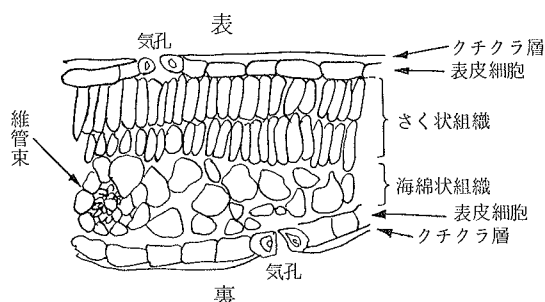
⑤ サトイモ：症状にはいくつかのタイプがあるが、一般的には葉の表面の葉脈部に沿って葉肉部が褐色羽毛状に変色する。被害の激しい時は被害部が縞状に連結する。別のタイプとしては、葉脈部の表面が褐色あるいは濃い暗紫色を呈する。被害の現われ易い葉位は展開葉の上から第2葉で、未展開葉、展開第1葉にはほとんど被害は現われない。

白芽系の品種の感受性が高く、類似症状には汚斑病がある（褐色不定形型）。

⑥ 光沢型：比較的若い葉の裏面の葉脈間に大型で不定形の銀白色または褐色味のある光沢症状が現われる。顕著な陥没斑となるので、葉脈が浮きあがるように見え、被害部と対応する表面の葉肉部は黄白化する。一般にPAN型の被害と言われている。

フダンソウ・レタス・ハウレンソウ・インゲン・キュウリなど。

⑦ 色素型：光化学スモッグの汚染をうけることにより、葉にアントシアンなどの色素が現



第2図 植物の葉の一般的構造

われて、赤褐色あるいは赤紫色を呈する。

インゲン・ハツカダイコンなど。

以上の被害症状のうち、①～⑤はオゾン型の被害と言われており、被害が葉の表面に現われる。その理由はオゾンが、葉の表面に存在するさく状組織を主として破壊するからである（第2図）。それに対して⑥の光沢型の被害は、PANによる被害といわれているが、葉の海綿状組織が破壊された結果、葉の裏側に現われるわけである（第6表）。

第6表 野外被暴植物の検鏡結果

調 査 植 物	外観症状	組 織 変 化 の 特 徴	
		被害部位	細胞変化
ハウレンソウ	漂 白 斑	さ く 状	崩 壊
サントウサイ	〃	〃	〃
コ マ ツ ナ	〃	〃	〃
コ カ ブ	〃	〃	〃
ハ ナ ヤ サ イ	え そ 斑	葉 肉	着 色
ダ イ コ ン	漂 白 斑	さ く 状	崩 壊
ハツカダイコン	〃	〃	〃
ダ イ ズ	斑 点	〃	着 色
イ ン ゲ ン	え そ 斑	〃	〃
ア サ ガ オ	漂 白 斑	〃	崩 壊
ベ チ ュ ニ ア	え そ 斑	海 綿 状	〃
サ ラ ダ ナ	斑 点	さ く 状	〃
トウモロコシ	〃	表皮・葉肉	着 色
サ ト イ モ	え そ 斑	さ く 状	崩 壊
ネ ギ	漂 白 斑	〃	〃

（東京都公害研年報、1973）

(5) 被害の判定方法

前節で述べた光化学スモッグの被害症状は部分的には、ダニ、アブラムシなどの食害とか、ある種の要素欠乏によるクロロシスなどと類似した症状を示すことがある。そのため現地に発生した農作物の被害が光化学スモッグによるものであることを明らかにするためには、下記の諸点に注意して、他の類似症状との誤認を避ける必要がある。

① 被害症状の特徴が前述の作物別被害症状と合致すること。

② 高濃度オキシダントの発生した当日あるいは翌日から、葉面に水浸状斑や軽い脱色斑が現われ、数日で特徴的な光化学スモッグの被害症状へ移行し固定する、という被害発生経過をたどること。

③ 被害症状は広域にわたり、同時にしかも突発的に発生して、その分布はかたよらないこと。

④ 被害株の生育状況が正常であること。被害の発生し易い葉位はオゾン型の被害では成熟直後の同化の最も盛んな葉位、PAN型の被害ではそれよりやや若い葉位で、未展開葉や老化葉には被害が発生しにくい。

⑤ 周辺の他の植物にそれぞれのオキシダント感受性に応じた被害が発生すること。しかし、ホウレンソウ・ネギなどの感受性の高い作物に被害が見られても、周辺の他の植物に異常の認められないことがある。

⑥ 他の原因（生理障害、病虫害など）による類似症状でないことを確認すること。

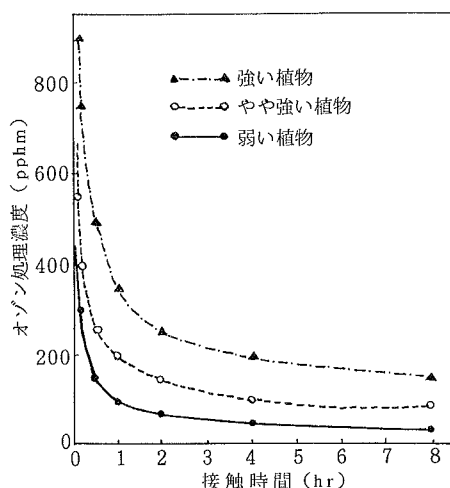
以上の点に注意して観察した上で、更に確認事項として、光化学スモッグの発生状況を調査することによって農作物の被害が光化学スモッグによるものかどうか一層確実になる。すなわ

ち、農作物の被害が発現した日から逆のぼって数日間のオキシダント濃度を調査して、被害の発現するのに必要な濃度を確認することである。

4. 被害発現に影響を与える要因

(1) オキシダント濃度と接触時間

一般には、オキシダント濃度が高い程、また接触時間が長い程、被害は大きくなるということが言える。この両者の関係を定量的に表わす場合には、第3図に示したように、同程度の被害を生じるためのオゾン（オキシダント）濃度



第3図 同程度の可視障害を生じるオゾン濃度と接触時間との関係（Heck, 1968）

と接触時間との関係が双曲線で示されることが多い。このことを簡単に言うと、オキシダント濃度と接触時間とは相反する関係にあり、高濃度では短時間で、低濃度では長時間かかって同程度の被害を生ずるということである。

また双曲線的な関係から、〔濃度〕×〔接触時間〕の値はほぼ一定である。ふつうこの値をドース（dose）と言っており、オキシダント感受性の高いホウレンソウやネギでは40～50ppm・hrのドースで被害が発現する。

(2) 光条件

作物にとって強い光は、オキシダントの感受性を高める役割を果たしている。言いかえると、光が強くなる程作物のオキシダント被害は大きくなる。その原因は、光が作物の気孔を開放し、オキシダントの侵入を容易にするためと考えられる。

光の色については、PANによるマメの被害が青色の420～480nmの光で大きく、赤色の640nmの光の場合の数倍になったという報告がある。

(3) 温度条件と湿度条件

温度については、おおむね高温条件の方が被害が大きくなると言われている。またオキシダントの汚染を受ける前の温度条件も感受性に影響を与えるということで、低温で育成された作物よりも、高温で育成された方がオキシダント感受性が高くなること、高温で育成された作物が低温におかれると感受性は増大するが、その反対では感受性が低下することが報告されている。

大気中の湿度については、高い程オキシダント感受性が高まり、被害が出易くなる。

(4) 土 壌 条 件

土壌条件のうちでは土壌水分の多少、過不足がオキシダント被害の発現に影響を与える最も重要な因子である。すなわち、水分が不足状態になると被害が出にくくなり、作物にとって好適な水分条件の時に被害を受け易くなる。

また肥料養分の多少もオキシダント感受性に影響を与えるが、これに関しては一定の結論が得られていない。一般には多窒素条件下では、感受性が高まると言われている。

土壌PHについては、PH 5～7の間では正常な感受性を示すが、PHが上昇すると感受性が低下するようである。

(5) 共存する他の大気汚染物質の影響

実際の大気汚染は単一の汚染物質のみが存在することはなく、様々な排出施設から排出される汚染物質による複合型の汚染状況となっている。このように2種類以上の大気汚染物質が共存する時、その相互作用が作物にどのような影響を与えるかが問題となる。相互作用には相乗作用（互いの作用が強められる）、相加作用（互いの作用は変らない）、相殺作用（互いの作用が弱められる）の3通りが考えられるが、この中では相乗作用に最も注目する必要がある。しかし、実際にはこれらの作用がどのような形で現われるかを定めることは非常にむずかしい。ここでは1例としてO₃、NO₂、SO₂ 3種類の汚染物質が共存する場合のエンドウの被害程度の差について、第7表に示した。

第7表 汚染物質共存のエンドウに対する影響

汚 染 物 質 (ppm)			障害程度 (%)
SO ₂	NO ₂	O ₃	
0	0	0.11	2.0
0	0.21	0	0
0	0.22	0.11	2.7
0.10	0	0	0
0.10	0	0.10	11.6
0.10	0.20	0	0
0.11	0.21	0.11	17.9

備考) 20℃、湿度70%、31klux で5時間(11時～16時)接触し、翌日に障害程度(葉面破壊率)を調べた。藤原(1973)。

5. 被害回避対策

これまで述べてきたように、現在では多くの野菜類に光化学スモッグによる可視被害が発生しているが、その被害回避対策という事になると現段階では、農業上の実用的な方法は見あたらない状態である。しかしながら、試験研究レベルでは実用化を目指した被害軽減対策という事で、二、三の方面からのアプローチが行われているので、ここでは農業技術的な被害回避対策の基本的な考え方について述べたい。

その第1の方法は、農作物などの被害を受ける側に、光化学スモッグに対する抵抗性をもたせることである。具体的には、現在の品種の中から抵抗性あるいは耐性のある種類を選び、転換を計ること、もしくは抵抗性をもつ新しい品種を育成することである。

第2の方法は、気象条件、土壌条件、農作物の生理的条件などで光化学スモッグに対する感受性が変化することを利用する方法である。この性質・特徴を、新しい栽培技術、肥培管理技術に導入し、栽培期間中に抵抗性の高い状態にしておく方法である。

3番目の方法としては、被覆剤、抗毒剤などの薬剤を利用することにより、光化学スモッグによる影響を軽減させる方法である。

以上述べた3つの方法のうち、現在最も試験されていて、実用化に近い所にあるのは、第3番目の方法の薬剤による光化学スモッグ被害軽減対策であろう。この方法の試験研究の具体的な成果については別の機会に譲るとして、薬剤の効果について簡単に紹介すると、OEDグリーン、トップジンM、ピペロニルブトキサイド、

ベンズイミダゾールなどの葉面散布によって、ハウレンソウ・ダイコン・ネギなどの光化学スモッグの被害が1/2以下に軽減されるという報告がある。

6. お わ り に

光化学スモッグによる農作物の被害、特に最も顕著に認められる野菜の被害について、まだ不可視被害や被害の経済的損失量など、多くの未解決の問題が残っていて、これからの研究が待たれている。

また被害回避対策についても、農業技術的なアプローチはなされてはいるもの、まだ試験研究の段階で実用化には至っていない。しかしながら、現在進められている被害回避の対策試験はあくまでも被害軽減のための対策であって、この方策によって被害が防止できる訳ではない。すなわち、光化学スモッグを含む大気汚染や、その他の公害について、その根本的な回避対策は、汚染源からの汚染物質の排出を規制することであるという事実を、我々は充分認識していなければならない。

外 国 文 献 抄 録

Observation on the influence of
orchard soil management on simazine
movement

D. FTAKINSON and J. G. ALLEN
(East Malling Research Station,
Maidstone, Kent, ME196 BJ U. K.)

若いリンゴの果樹園で、除草剤 simazine を全面さんぶおよび条畦さんぶにて施し、simazine が樹園内にてどのような動きをするかをしらべ

るために実験を行った。

材料および方法

1972年12月、1.4 × 1.4 mに定植したリンゴの果樹園に除草剤の全面施用区と慣行による広幅条畦施用区を設けた。果樹園は北面の緩傾斜地である。試験区は、隣接する3列の中で7本の果樹を包括し、3ブロックとした。

全面施用は1973年と'74年に4月中旬に Paraquat 1.12kg/ha と simazine 2.25kg/ha