

ソバ幼植物を用いた大気汚染 検出用植物計の開発とその応用例

津野幸人^{*}・佐藤亨^{**}・喜安光男^{**}

Hytometer of Buckwheat as an Indicator of Air Pollution

Yukindo TSUNO*, Tōru SATO** and Mitsuo KIYASU**

**Division of Arid Land Agro-ecology, Sand Dune Research Institute, Faculty of Agriculture, Tottori University.*

***Laboratory of Crop Science, Faculty of Agriculture, Ehime University.*

Summary

It is well known that the growth of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) is resistant to inferior environmental conditions, but very sensitive to a polluted atmosphere. It is possible that buckwheat has favorable characteristics as a hytometer for measuring air pollution.

Young plants of buckwheat were grown in small cups in a water culture. Plant having three leaves were transferred to different places, both in an air polluted area and in an un-polluted area, for a period of 7 days, in order to compare the Relative Growth Rate (RGR) at their setting places. The buckwheat hytometer for measuring air pollution, utilized the following samples for statistical significance: 20 plants with 4 cups per one place according to their coefficient of variance of dry matter weight per pot.

It was observed that the RGR showed the values of 20-27% per day in an un-polluted place and of 12-18% per day in a polluted place. The results of growth analysis based on dry matter increment after placement showed that the RGR depression was mainly owing to a decrease in the Net Assimilation Rate and the Leaf Area Ratio was not sensitive for a polluted atmosphere. The Net Assimilation Rate depends on photosynthetic activity of leaves, therefore, the NAR depression may be due to an inhibition of photosynthesis by polluted air.

1. 緒言

大気汚染の甚だしい工業地帯においては、樹木の衰弱は著しく、また農作物の収量低下は定着化した

かに見うけられるのである。しかも、大気汚染による環境悪化はわれわれの日常生活のうち随所に見られるのであるが、それを証明することの困難さの故に、汚染監視機器の測定値を信頼して環境評価をお

※農学部砂丘利用研究施設 乾植生態部門
※※愛媛大学農学部作物学研究室

こなっているのが一般の現状である。

煙害による作物被害の観察、ならびに有害ガスの処理による作物被害の再現という実験に従事してきて、はじめて知り得たことは、現在の環境基準に定められた濃度範囲以下での大気汚染質の短時間処理では作物被害は生じないということである。しかし、各地における作物被害は汚染質濃度が基準値以下の場合においても、しばしば発生している。この事実をつきつめて考えてみると、次のような結論に達する。

現在実施されている理・化学的な大気汚染の測定法にはいくつかの問題点がある。すなわち、①主として汚染物質の平均濃度を測定している。②局所的汚染をとらえ難いしくみになっている。③単一物質を対象に測定しているので、複合汚染がとらえにくい。④生物への影響をただちに判定し難い。⑤測定器具には高価なものが多いので、設置する台数には経済的制約がある。ということである。そこで、大気汚染を敏感に検知する有効な植物計 (Phytometer) を開発したならば、上に述べた問題点の大部分は解決できるであろう。

植物計による環境評価の思想は古く、今世紀初頭における Bonner, Clements Goldsmith, の業績⁸⁾が有名である。彼等の考えは環境測定は単に物理化学的な計器だけでは不十分であり、植物の反応を通して環境評価がなされなければならない、とする立場にたつ。さらに、この思想の源流をたどれば指標植物の考えにたどりつくことができる。すなわち、生態学的立地の測定にあたって、“自然の植生やある種の植物を環境評価に利用しよう”とするものである。大気汚染が環境問題で重要な意味あいを持つ今日、“指標生物”さらにはこの思想の延長としての“植物計”による環境評価の具体的な提案は、むしろおそきに失した感じがしないでもない。

さて、大気汚染検出用植物計であるが、それには最低限つぎの資格を満足させるものでなくてはならぬ。①大気汚染に敏感な植物であること。②病虫害が少なく栽培が容易である。③日照、気温の変化に鈍感であって、生長率に季節的な変動の少ない植物であること。かような見地からいろいろな植物を検討していった結果、現在のところソバを用いるのが最も好ましいとの結論に達したのである。以下その経過について説明していこう。

2. 植物計の構造

ソバが大気汚染に敏感であることは、すでに藤原³⁾の報告によっても明らかである。ここで、1 ppmのSO₂ガスを30分間各種作物の幼植物に処理して、光合成能力の低下と葉に現れる煙斑を調査した結果を第1表に示した。同表で明らかなどおり、ソバはゴ

第1表 1 ppmSO₂ガス30分処理による幼植物の光合成能力低下と葉の被害率

作物名	※葉の被害率%	1 Potあたりの光合成(相対値)%				
		処理前	処理後時間			
			5	24	48	
ナス	0	100	34.6	94.6	130.0	
インゲン	0	100	23.4	81.7	120.0	
水稲	1	100	1.5	79.2	100.0	
ダイズ	20	100	43.9	64.8	81.9	
アサガオ (浜の粧)	40	100	0.8	67.0	95.4	
ゴマ	60	100	-10.7	9.1	51.6	
ソバ	80	100	-55.1	17.3	55.1	
アサガオ (ヘブンリーブルー)	90	100	-8.4	54.2	57.3	

注 (1) 葉の被害率(%) = $\frac{\text{葉の被害部面積}}{\text{全葉面積}} \times 100$

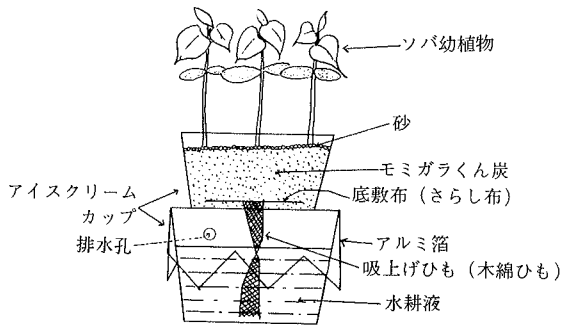
(2) 光合成(相対値)(%) = $\frac{\text{処理前光合成量}}{\text{処理後光合成量}} \times 100$

(2) 測定時照度 30~60 Klux
測定時温度 27~34℃

※処理48時間後の調査

マ、西洋アサガオ (ヘブンリーブルー) とともに光合成能力の低下、ならびに、煙斑による葉の被害率ともに大である。とくに、ソバは処理5時間後における光合成の低下は著しく、-55.1%と呼吸作用が光合成を上廻っている。また、48時間後においても処理前の51.6%にしか光合成は回復していない。この点からみて、ソバ幼植物は、さきにも述べた大気汚染に敏感な植物であると言う第1の資格を満すことになる。周知のとおりソバの栽培地域は極めて広く春ソバ、夏ソバ、秋ソバと品種が分化しているが、これらは主として日長反応の差異に由来するものであって、温度に対しては非常に広い適応性をもち、

冬および早春、晩秋を除けばほとんどの時期においてソバは栽培することが出来る。特に幼植物を満足に育てるのが目的であれば、暖地においては5月から11月までの長い期間において栽培が可能である。また、病虫害が少なく、特に粗放栽培に堪える性質が強いので、特別な栽培技術を用いなくても手軽に育てることが出来るのもソバの大きな特徴である。我が国におけるソバの栽培地は山間部であるので日照不足、あるいは早冷などは常時遭遇しているが、それでもソバは満足な生育をとげ、なおかつ、湿潤な年、干ばつ年においてもある程度の収量を確保する強靱な作物である。これらの点を考えると、さきあげた第2、第3の資格は十分満たされると考えられるのである。しかし、植物計として適当であるかどうかについて、なお詳細な検討を要するので以下に述べるような試験をおこなった。



第1図 植物計の構造

先づ、植物計の構造であるが、それは第1図に示されるとおりである。すなわち、直径10cm程度の大小二つのアイスクリムカップを用意する。そして図の如く上下2段に組合せるのであるが、上のカップは小さめの約4cm程度の深さのもの(容積200ml)下のものは約10cm程度の深さのもの(容積440ml)を用いる。上のカップにはよく水洗したモミガラくん炭をつめるのである。なお、栽培養液を自動的に供給するために、養液の吸上げひもを上カップより下カップへたらし、上カップにおいて、吸上げひも上端をさらし布で出来た円形の底敷布で覆い、その上にモミガラくん炭をつめるのである。こうする

ことによって、養液は毛管現象によって自動的に吸あげられ上のカップへ供給される。そして、上のカップに一斉に発芽させたソバの苗を4ないし6個体植付けるのである。植付けの時期は、双葉が完全に展開し、本葉が1ないし2枚出た時期が最も適当である。そして、それを5日ないし7日、等しい条件の場所で管理し、旺盛な生長を開始したことをみとどけてから、それぞれの測定地点へ移すのである。なお、ソバの株基がゆるんで植物体がぐらつくときは、こまかい砂をうすく、くん炭表面に敷いて株基をおさえ固定することが望ましい。測定の手順を述べると、まず、測定地点へ移す際に数点のポットからソバを抜き取り、全乾物重(W_1)および葉面積(F_1)を調査する。そして、所定の地点へ植物計をおき、7~10日間そのままおいたのちに回収する。そして前回同様に全乾物重(W_2)と葉面積(F_2)を調査する。設置時を t_1 とし、回収時を t_2 とすれば、相対生長率(RGR)とその構成因子である純同化率(NAR)、葉面積比(LAR)は次式で求められる。

$$RGR = \frac{\log W_2 - \log W_1}{t_2 - t_1} \times 100 \quad (\%/day)$$

$$NAR = \frac{\log F_2 - \log F_1}{F_2 - F_1} \times \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad (mg/cm^2/day)$$

$$LAR = \frac{\log W_2 - \log W_1}{W_2 - W_1} \times \frac{F_2 - F_1}{\log F_2 - \log F_1} \quad (cm^2/mg)$$

ただし、logは自然対数

一般に一年生草本植物の相対生長率の最高値は約20%前後であるといわれている。

国際生物事業計画で Murata and Togari ⁷⁾ のグループは日本各地においていろいろの作物を用いて相対生長率を調査している。その最高値を調べてみると、水稻が最高で28.5%、そして、ヒマワリの16%が最低であって、大豆、トウモロコシはその範囲のなかにおさまっているのである。次項で見られるとおりソバにおいても、この数値には他の作物と変わりなく正常な状態で栽培された場合は約18%から27%の範囲の値を示すのが普通のようなものである。

なお、ここで測定の精度をきめる上に重要であるのは、測定形質の変異係数である。8月26日および9月28日に測定したものについて、ポット間の変異係数を求めてみたのが第2表である。これによると

第2表 測定形質の変異係数(CV, %) (1971)

	8月26日		9月28日			
	無肥料	施肥	戸外		ガラス室	
			対照	遮光	対照	遮光
乾物重	8.11	9.07	6.73	8.76	5.39	10.68
葉面積	8.22	10.07	7.60	7.24	7.11	8.56
葉数	6.90	3.96	7.52	8.48	4.88	10.22
供試ポット数	4	4	5	5	5	5

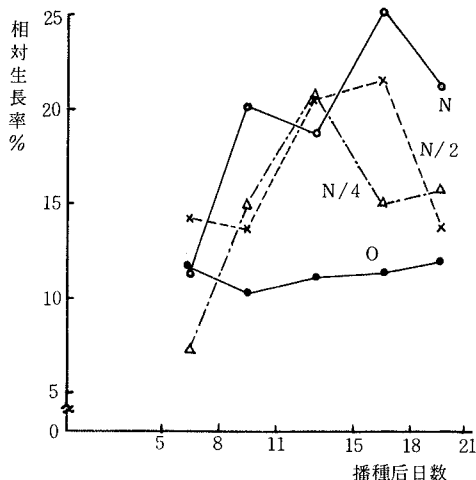
乾物重の変異係数は、最高11%、最低5%程度であって、この値は一般の圃場に育ったものよりは著しく低く、植物計ではかなり均一に生育させることが出来る。葉面積の変異係数も、やはり7%から10%の範囲内であり、乾物重よりもやや少ない変異係数値を示すのである。したがって、大よその値であるが、相対生長率に20%程度のひらきのある場合は高い精度をもって、その得られた2地点間の値に環境的な差異のあることを指摘しても、大きなあやまりをおかさないと判断出来る。

3. 生長率の変動性の検討

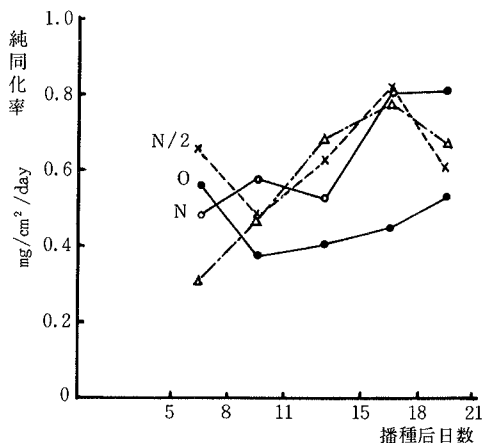
(a) 生育にともなう変化

第1図に示した植物計で栽培したソバ幼植物の相対生長率の生育にともなう変化を検討した。

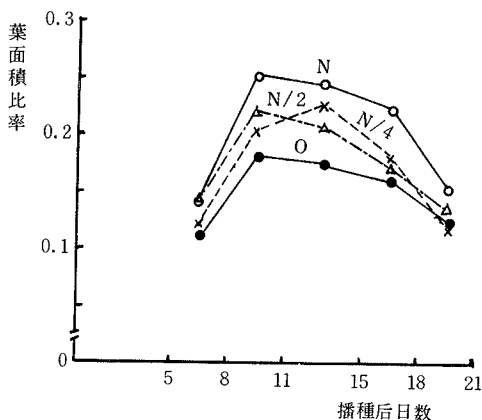
第2図は、播種後5日から21日までの間において、3日間隔で相対生長率の時期的な変化の調査結果を示したものである。N区およびN/2区の傾向をみ



第2図 相対生長率の時期的変化と肥料条件の影響(1971)
O: 無肥料, N: 大塚ハウス肥料800倍液
N/2: 同1,600倍液, N/4: 3,200倍液



第3図 純同化率の時期的変化と肥料条件の影響
(注) 記号は第2図と同じ (1971)

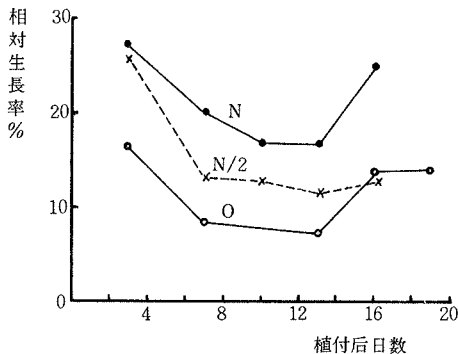


第4図 葉面積比率の時期的変化と肥料条件の影響
(注) 記号は第2図と同じ (1971)

ると、播種後1週間から18日にかけて相対生長率は増加していく傾向を示すが、20日を過ぎるとやや低下するようである。相対生長率は、純同化率と葉面積比率の積として表示できる。そこで、両者の時期的な変動を示したのが第3図と第4図である。純同

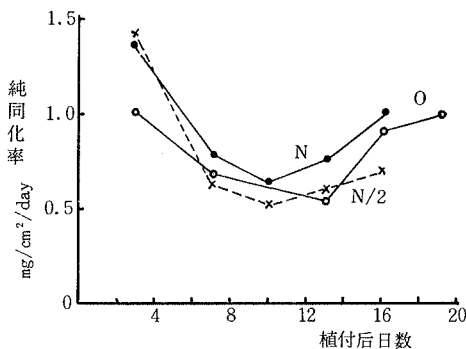
化率は、始めに低くて、播種後18日にかけて増加していく傾向を示す。他方、葉面積比率は、播種後6日頃から急増して、10日頃最高値に達し、しばらくその値を保持し、やがて低下していく。第3図と第4図の傾向が複合して第2図の如き生長率が得られるのである。したがって、相対生長率が播種後20日付近で低下するのは、葉面積比率の低下に原因するものと考えられる。

なお、この傾向を1972年においても確かめた。その結果は、5、6、7図に示してある。1972年の横軸は前年と異なり、植え付け後日数で示してある。無肥料であるO区を除いて、傾向を一般化すると、相対生長率は植え付け後4日付近で20~27%の高い値を示し、その後、なだらかに低下し、そこで再び上昇してのちに低下するという傾向を示している。純同化率をみると、植え付け後3日頃に最高値があ

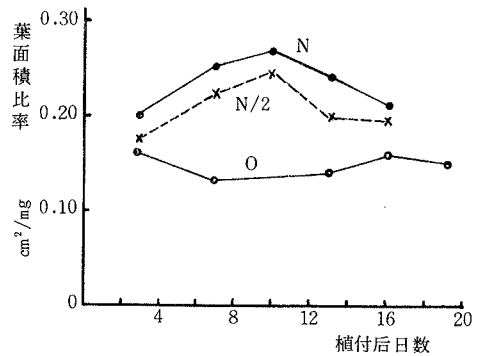


第5図 相対生長率の時期的変化と肥料濃度の影響 (1972)

注) 播種: 7月26日, 植付: 8月1日
調査期間: 8月1日より



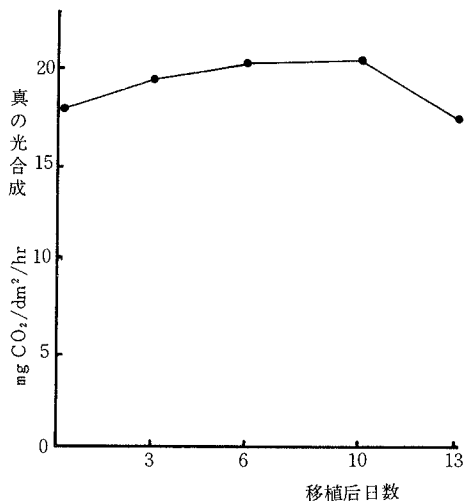
第6図 葉面積比率の時期的変化と肥料濃度の影響 (1972)



第7図 葉面積比率の時期的変化と肥料濃度の影響 (1972)

って、それ以後は漸減していくようである。葉面積比率は、前年の傾向とほぼ似かよった単頂曲線で示されるような経過をたどるものと推察できる。

両年の結果を通覧して言えることは、植え付け後日数で1週間から約2週間の範囲であれば、相対生長率は、20%前後の値を示し、ほぼ正常な値を示すものである。それ故、実際の測定に当たっては、この期間を選んで測定を実施するのが適当である。



第8図 真の光合成作用の時期的変化
注) 播種7月12日, 移植7月17日

純同化率の基本になるものは光合成能力であるが、ソバ幼苗植物全体の光合成能力を移植後二週間にわたって追跡した結果を第8図にあげている。これで見ると、光合成能力は約20mg/100cm²/hrであって、一般の草本性植物の値よりは、やや低い値で経過しているようである。しかし、植え付け直後も、また13

日後においても、その値に大差がなく、フラットな経過をしていることが注目される。ソバの相対生長率は、さきあげた他の作物と比較しても、さして低い値とは考えられない。しかし、光合成能力は、他の作物よりもやや低めと判断されるが、その反映としての純同化率も、いくぶん他の作物より低めである。しかし、葉面積比率は、他の作物よりもかなり高い値を示しており、この点がソバの相対生長率を高く維持している原因となっている。

後述する如く、測定期間におけるソバの葉面積比率の変動幅は比較的少なく、相対生長率の低下は、もっぱら純同化率の低下に起因している。この点がソバを植物計として使用する場合の、最も大きな特徴であることを念頭に入れておきたい。

(b) 肥料条件による変動

肥料条件によってどのように相対生長率が変動するかを検討した。実際問題として、1週間程度の栽培であれば、下カップに培養液を350ml満たしておけば、水分補給の意味での養液の補給を行なう必要はないのであるが、問題は、その内容である無機塩類が作物に吸収されて濃度が低下することが考えられる。肥料濃度と相対生長率の関係を調べるための試験は、第2図から第7図までで示したように、N区、N/2区、N/4区、およびO区(1972年はN/4区なし)で構成されている。Nは大塚ハウス肥料の800倍の濃度、N/2はその1/2、N/4は標準(N)の1/4である。O区は無肥料で、水道水のみで栽培

として、さらにN区よりも高い肥料濃度区をもうけたが、相対生長率はN区と大差なかった。このようなことからして、下カップに入れる養液濃度は、1週間程度の栽培であれば、大塚ハウス肥料の600~800倍液でじゅうぶんであろうという結論を下したのである。

(c) 環境条件による変動

測定場所の違いによって、植物計の置かれた環境は、微妙に異なることが予想される。環境条件の差異を強く受けるようであれば、この種の植物計としては失格である。最も望ましいのは、環境条件の差異による影響がなく、大気汚染だけを敏感にキャッチしてくれるものが理想であることはいうまでもない。

そこで相対生長率に及ぼす高温と日照不足の影響を調査した。高温の場合は、ガラス室に置いたものであって、最高気温の平均は、34.2℃である。これに対する対照区として、戸外に置いたものは、最高気温の平均値が、30.3℃であり、約4℃の差異がある。最低気温は両者ともほとんど一致していた。このような温度差が、相対生長率にどのように影響するかを第3表で見よう。

まず対照区の戸外とガラス室での相対生長率を比較すると、前者が22.2で、後者が20.4であり、大差のない値である。遮光区を両条件で比較してみても大差のない値である。全般的に見れば、戸外対照区が最も高い値を示し、高温条件下で、しかも遮光条

第3表 相対生長率に及ぼす高温と遮光の影響 (1971)

項 目	戸 外		ガ ラ ス 室	
	対 照	遮 光	対 照	遮 光
相 対 生 長 率 %/日	22.2	20.2	20.4	18.5
純 同 化 率 mg/cm ² /日	0.823	0.682	0.692	0.600
葉 面 積 比 率 cm ² /mg	0.266	0.297	0.296	0.311

注) 最高気温 最低気温 遮光率=50%
戸 外 30.3 21.3
ガラス室 34.2 21.4

した場合である。水道水のみで栽培した場合は、図を見ても明らかのように、相対生長率及び純同化率、葉面積比率ともに最低である。両年を通じて言えることは、肥料が少ないとやはり相対生長率も低い値を示している。ここにはあげなかったが、予備試験

件という環境が、やや相対生長率を引き下げているようである。この場合でも、葉面積比率は、相対生長率と相反する値をとるが、純同化率が引き下げられて、相対生長率が下がったことがうかがわれるのである。葉面積比率の増大によって純同化率の低下

を補い、相対生長率をほぼ一定値に保とうとする傾向がみうけられる。次に、この植物計を用いて、実際に空気清浄な場所と、空気の汚染した場所で測定を行ない、相対生長率を比較することにした。

まず測定場所としては、空気の清浄な場所として、愛媛大学農学部のある場所を選んだ。一番町

る。これらの地区での測定結果を第4表で検討しよう。

まず相対生長率は樽味が18.7%であるのに対して、一番町が15.6、大可賀が13.1である。この場合でも葉面積比率は、ほとんど三地区に変化はなく、純同化率のみ、相対生長率の順位に従って低下している。

第4表 乾物増加量および生長解析 (1971)

調 日 (月・日)	場 所	乾 物 重 mg/plant	変異係数 (CV) %	乾 物 増加量 mg/plant	相対生長 率 %・日	純同化率 mg/cm ² /日	葉面積比 率 cm ² /mg
5.17	樽 味 町	22.8	—	—	—	—	—
5.24	樽 味 町	84.4	5.8	61.6	18.7	0.756	0.247
	一 番 町	68.0	19.1	45.2	15.6	0.652	0.239
	大 可 賀	57.3	9.9	34.5	13.1	0.531	0.246

注) 1地点に6ポットを配置、1ポット5本植え。

は、松山市でも最も交通のふくそうした所であり、排気ガスによって植物被害の発生が予想できる場所である。大可賀とあるのは、この地区は化学工場が密集し、常習的に作物被害の発生している地区であ

そこで測定終了時に植物計を同化箱に入れて光合成能力を測定した。その結果は第5表にまとめてある。同表で明らかとなり、葉面積当たり光合成速度は、樽味が11、一番町がこれとほとんど変わらない

第5表 測定終了時の光合成率および呼吸率 (1971)

場 所	光 合 成 速 度		呼 吸 率 mg CO ₂ /plant /hr
	mg CO ₂ /plant /h	mg CO ₂ /dm ² /h	
樽 味	2.52	11.26 (100%)	0.683
一 番 町	2.23	10.20 (91)	0.494
大 可 賀	0.78	5.97 (53)	0.432

注) 48 Klux, 28°C May 24, 1971

第6表 測定地区別の乾物重および相対生長率 (1972)

場 所	乾物重 mg	葉面積 cm ²	相対生長 率	純同化 率	葉面積比 率	大 汚 染	備 考
伊予農業高校 (W ₁)	207	51	—	—	—	なし	伊 予 市
伊予農業高校 (W ₂)	1,064	217	23.4	1.065	0.219	なし	〃
松 前 町 (W ₂)	916	208	21.2	0.902	0.235	軽	工 場 附 近
大 可 賀 (W ₂)	784	161	19.0	0.858	0.221	甚	工 場 前
松山市一番町 (W ₂)	637	135	16.0	0.706	0.225	甚	交 さ 点

注) 2ポット8本につき調査、単位は第4表に同じ。期間8月23日～8月30日

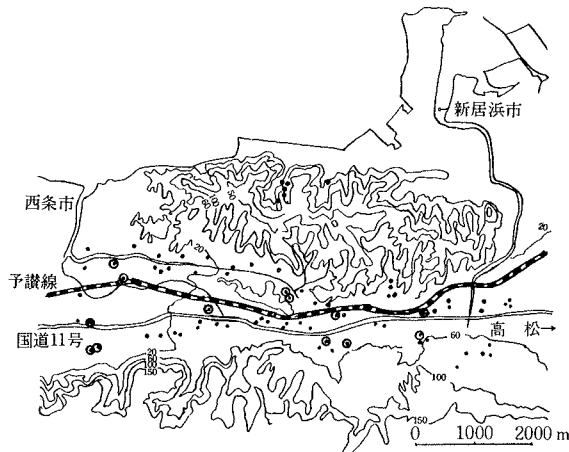
10であるのに対し、大可賀は約6と半分程度に低下している。呼吸率もまた同様に低下している。このことより考えて、大可賀における相対生長率の低下は、光合成能力の損失に起因するものと考えられ、不可視的障害の存在を証明するものである。

同様の調査を1972年においてもひきつづき行なってみた。その結果は第6表にまとめてある。空気清浄な場所として伊予農業高等学校の校庭を選び、次に松前町にある工場周辺を選んだ。この場所の空気汚染程度は軽度であると判断できる。さらに、大可賀、松山市一番町はともに、空気汚染程度が甚だしい所である。これらの地点の相対生長率を比較してみると、この場合は松山市一番町のみが16%と低い値を示しており、大可賀の場合は19%であって、伊予農業高等学校の23%と大差のない値である。このように、大気汚染は、特定場所に常習的に発生するのではなくて、測定時期、時間、天候の状態によって複雑な様相を呈するようである。それ故、この種の植物計による測定は、根気強く、かつ広範囲に実施されなければならない。

4. 植物計の応用例

(a) 新居浜・西条地区における測定例

さて、今まで述べて来た植物計が、はたして、かなり広い地域において大気汚染の実態をとらえ指標性を発揮しうるかどうかが、を検討するために、1971年8月6日から8月13日にかけて西条市から新居浜市にかけて、約170個の植物計を第9図の如き地点に配置した。



第9図 植物計の配置点

1地点には2ポットを置いた。さらに詳しく第9図について説明すると、国道11号と予讃線が平行して走っている地帯は、いわゆる従来もしばしば大気汚染による作物被害が認められた所であって、主にタバコ葉、水稻等において被害の報告が多い。また、新居浜市と西条市の中間の海岸よりの谷あいには配置したところは、大気汚染のために、住民が立ちのいた川鍋地区である。新居浜市海岸には、各種工場が密集しており、西条市には、四国電力発電所の煙突があり、いづれも大気汚染の原因となる可能性のあるものである。

これらの地点から得られた植物計を、松山市の愛媛大学農学部へ持ちかえり、ただちに可視的障害(いわゆる煙斑)の有無を確認し、つづいて相対生長率を測定するため、葉身とそれ以外の部分に分ち、葉面積の測定、乾物重の測定をそれぞれおこなった。煙斑を認めた植物計は川鍋地区、予讃線および国道11号線の沿線、そして、中萩駅周辺の谷あいが多かった。ところで、相対生長率の低下地点であるが、相対生長率12%以下の値を示した地点は第9図に2重丸で示した地点であって、国道11号線および予讃線沿線に集中していた。川鍋地区における植物計は、煙斑は認めたが生長率においてはさほど劣ってはいなかった。

ここで、相対生長率、葉面積、純同化率、葉面積比率等を6段階に階級分けをして、それぞれにおける頻度分布を調査した。階層分けの基準は第7表に示した通りである。そこで、煙斑の認められたポット群を被害群とし、無被害ポット群と各種測定値の頻度分布を第8表で比較してみよう。

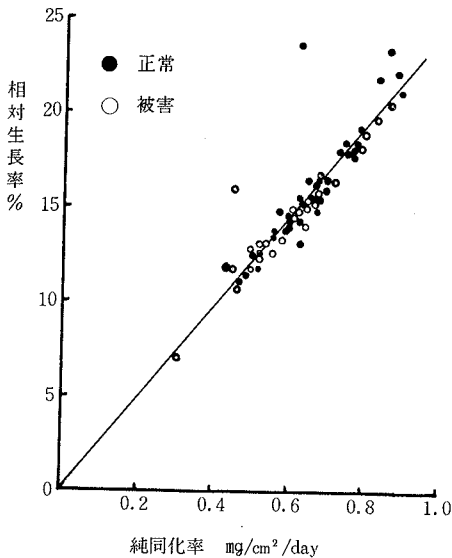
まず、相対生長率は被害群においては3・4の階級にピークがあるが、無被害群は3・4・5の範囲に分布し、明らかに平均値でみれば相対生長率は被害区の方が低い。つぎに、葉面積の展開量をみると、被害群では階級2にピークがあり、無被害群もやはり2にピークがあるが、3にもまたがって分布している。純同化率は被害群は1・2・3の階級に多く分布し、無被害群は2・3・4に多く分布し、ほとんどその差異を認めることが出来ない。前述の如く、ソバを用いた植物計の大気汚染による相対生長率の引き下げは、純同化率の低下に起因するものである。このような見地に立って相対生長率と純同化率との関係を求めてみると第10図の如く、両者は直線的な

第7表 調査項目の階級区分および単位

項目	階級区分						単位
	1	2	3	4	5	6	
相対生長率	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	mg/mg/day, %
葉面積	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	cm ² /plant
純同化率	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	$\times 10^{-1}$, mg/cm ² /day
葉面積比率	18-20	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	$\times 10^{-2}$, cm ² /mg

第8表 煙斑の認められたポット群と無被害ポット群における各種測定値のひん度分布の比較 (1971)

階級	相対生長率		葉面積		純同化率		葉面積比率	
	被害	無被害	被害	無被害	被害	無被害	被害	無被害
1	3.8	—	15.4	6.8	23.2	11.4	3.8	4.6
2	11.5	13.6	57.7	45.4	26.9	25.0	—	6.8
3	34.6	31.8	15.4	27.3	26.9	34.1	42.4	27.3
4	34.6	27.3	11.5	11.4	11.5	18.2	53.8	50.0
5	15.5	15.9	—	2.3	11.5	9.1	—	9.1
6	—	11.4	—	6.8	—	2.2	—	2.2
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



第10図 純同化率と相対生長率との関係(1971)

注) 被害は葉に煙斑の発生したもの

関係にあり、相対生長率は純同化率に一義的に支配されていることがわかるのである。このことは、純同化率の低下は可視的障害、いわゆる煙斑の発生、お

よび光合成能力の低下と云う不可視的障害とが重複して、純同化率の低下の原因をなしているのであって、両者を分離することはできない。この調査でいえることは、工場に隣接した地点に必ずしも相対生長率の低い植物計を見出すことは出来なかった。むしろ、煙のたちこめやすい谷間において純同化率の低下が著しいのである。工場等から発生する大気汚染物質の停滞と、さらに列車の汽関車および国道を通行する自動車の排気ガス等の重複汚染によって、局所的に汚染濃度が高まり、植物の生長率を引き下げていると云う実態がうかがえるのである。相対生長率の内容を詳細に吟味すると、松山市の樽味町においては、相対生長率が22~23%であるのに対し、新居浜市の低い値は12%程度、西条市のそれは10%程度であって、明らかに相対生長率に差があるのである。ところが、新居浜市においても局所的には19~20%の値を示す地点もあり、大気汚染の実態の複雑さを物語っているのである。

(b) 松山市西部における測定例

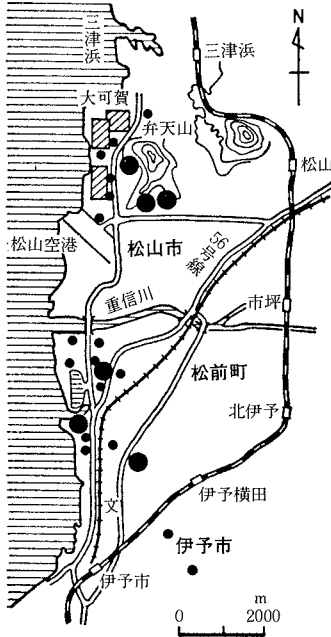
1972年には、前年新居浜市、西条市で実施したものと同様の目的をもって、松山市西部海岸の工場地

帯を含む地区に植物計を配置し、大気汚染と植物計の生長率との関係を把握しようとした。植物計の配置地点は、第11図（左）に示した通りであって、測定期間は6月23日から6月30日までである。同図に、この調査結果で相対生長率18%以下であった地点を太い黒丸で示した。図で明らかな通り、弁天山西側

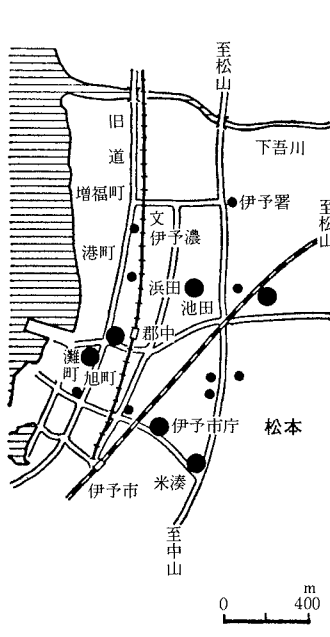
のねらいは主として自動車、列車等の交通機関の排煙による大気汚染を検知しようとしたものである。その結果は第11図（右）に示した通りであって、空気清浄とみなされる伊予農校では相対生長率23.4%であるのに対し、18%以下の地点は同図に太い黒丸で示したとおり、やはり交通の最も多い地点に

現われ、特にそれは市街地に限らず農村部においても国道沿いの地点、あるいは交差点等において低い相対生長率が認められるのである。このように道路沿線においては、交通機関の排煙による汚染がかなり進行しており、それによって植物の生長が衰退していることが推察出来るのである。ここで、純同化率と相対生長率との関係を第11図のデータより求めてみると、すでに示した第10図の結果と全く同様であって、ソバの植物計の相対生長率の低下は、葉面積比率の低下によるものではなくて、純同化率の低下によるものであることが重ねて証明出来たのである（図省略）。

松山市周辺
(1972年6月23日～30日)



伊予市周辺
(1972年8月23日～30日)



第11図 ソバ幼植物を用いた大気汚染検出用植物計の配置地点およびその相対生長率18%以下の地点

● 配置地点, そのうち相対生長率18%以下の地点 ●

および南側の地点における相対生長率の低い場所は、しばしば作物被害（果樹・水稲）の認められるところであって、この場合は植物計が大気汚染を感知したものと判断出来る。また、松前町においても工場周辺と、交通のひんばんな道路沿では生長率の低い地点もある。ちなみに、この場合空気清浄とみなされる伊予農業高等学校の校庭での植物計の相対生長率は22.5%であった。最も低い値を示したのは南黒田と筒井の10%ないし14%であった。

(c) 伊予市を中心とした小区画への適用例

前述した2例は、かなり広範囲な地点で大気汚染をとらえようとした例であるが、ここでは愛媛県伊予市において、小範囲における大気汚染の実態を知るため植物計を第11図（上）の位置に配置した。こ

5. 結 論

環境条件の評価を指標生物で行なおうという思想はなにも目新しいものではないが、大気汚染あるいは、環境の悪化の程度を指標生物によって評価しようという考えは、まさに今日的な意義があるといえる。指標生物による環境評価の論理を延長していけば、本報告で示したような、植物計の思想に到達するはずである。大気以外の条件を均しくしておいて、大気汚染のみを感知出来るような構造の植物計を開発したならば、その有用さは計り知れないものがある。本報告で示したソバの幼植物の生長率を用いた植物計は、ある程度このような期待にこたえ得るものであることが上述の結果より結論出来る。すなわち、二重構造の容器の上段にソバを栽培し、これに自動的に養液が供給出来るようにしておけば、測定中の管理に人手を要することがなく、日照と温度条件等について若干の考慮をはらって設置場所を選定すれば、あとはただ植物がその生長によって、大気汚染度を表示してくれる。両年

の結果によって明らかな如く、ソバの相対生長率の低下は、純同化率の低下によって惹起されることは明らかとなった。このことの意味は、大気汚染による光合成能力の抑制と、さらに大気汚染が進んだ場合煙斑が発生して、光合成面積を欠損させるという二つの悪因子の重複が相対生長率の低下を来たすのである。特に可視的障害の認められない場合においても、光合成機能の低下という側面を通じて、植物の生長率は低下していくのである。

指標植物を用いて大気汚染を検出しようとする作業は、すでにオランダ²⁾、アメリカ⁴⁾などで実施されている。また、わが国でも近年アサガオを用いて光化学スモッグを全国的な調査が試みられている⁵⁾。これらはいずれも可視的障害の発現によって大気汚染をとらえようとするものである。Thomas¹⁰⁾¹¹⁾はアルファルファに対するSO₂処理実験の結果から、光合成能力の低下は煙斑によって、光合成に参加する葉面積が減少することに原因を求めているが、谷山⁹⁾の成績および本研究の第1表の結果からみて、大気汚染物質による不可視的障害の存在は動かすことのできぬ事実である。本方法では可視的、不可視的障害の総合的影響を生長率の低下からとらえようとするものである。ここで用いた手法はイギリス系の生長解析法¹¹⁾¹²⁾を採用した。すでに述べたとおり大気汚染は純同化率を引き下げ、それが相対生長率低下の主因となることが明らかとなった。

実際に本法を適用するには葉面積と乾物重の調査が煩雑であるので、生体材料をポリエチレン袋に収容し、生体重でもって相対生長率を算出することも可能である。調査個体数は変異係数を15%とみて、信頼度95%、目標精度を5%におけば15個体の調査でよいことになる⁶⁾。それ故に1ポット当り5本植とすれば1測定地点に4ポットを配置して全材料(20本)を一まとめにして調査すればよい。

摘 要

1. ソバ幼植物を第1図に示した容器で栽培し、これを空気清浄な地点と汚染地域に配置して、その相対生長率を比較することによって、大気汚染の程度を判定しようとした。

2. 空気清浄な環境のもとでは、ソバ幼植物は本葉2葉展開後7~10日間において、相対生長率20~27%を示し、これに対する温度、日照の影響は比較的少ないものと考えられる。

3. 大気汚染により相対生長率は引き下げられたが、これは葉面積比率よりも、純同化率の低下に原因している。

4. 測定の基本をまとめると次のとおりである。本葉2葉展開したソバ4~5本を1ポットに育て、これを7~10日間所定地点において乾物重(または生体重)を調査し、相対生長率を計算する。1地点には4ポット配置することが望ましい。また、標準培養液組成をppmで示せばN-60, P-30, K-60であり、これより30%増のものを用いてもよい。

引 用 文 献

- (1) Blackman, V. H. (1919) The compound interest law and plant growth. *Ann. Bot.* 33; 353-360.
- (2) Ender, F. (1968) Air pollution. *Ist. European Congr. Influence on plants and animals.* Wageningen. p. 245.
- (3) 藤原 喬 (1968) 大気中の低濃度SO₂吸収による植物の硫黄蓄積と徴候発現, *日植病報* 34; 336-341.
- (4) Jacobson, J. S. and W. A. Feder (1974) A regional network for environmental monitoring: Atmospheric oxidant concentrations and folian injury to Tobacco indicator plants in the eastern

- United states. Univ. Massachusetts Bulletin,
No. 604(1974).
- (5) 松中 昭一 (1975) 指標植物, 講談社
- (6) 松島 省三 (1957) 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究, 農技研報, A 5:1-271.
- (7) Murata, Y. and Y. Togari (1975) Crop productivity and solar energy utilization in various climates in Japan. JIBP. Synthesis. Vol. II.
- (8) 竹内 亮 (1936) 植物利用環境測定法, 養賢堂
- (9) 谷山鉄郎 (1972) 作物の亜硫酸ガス障害の実態とその機構に関する研究, 三重大農学術報
- No.44:11-130.
- (10) Thomas, M. D. and R. G. Hill (1935) Absorption of sulfur dioxide by alfalfa and its relation to leaf injury. Plant physiol. 10:291-307.
- (11) _____ (1937) Relation of sulfur dioxide in the atmosphere to photosynthesis and respiration of alfalfa. Plant Physiol. 12:309.
- (12) Watson, D. C. The physiological basis of variation in yield. Advances in Agronomy 4:101-145.