

ムギ類の光合成速度に及ぼす二酸化硫黄の影響

長屋祐一*・安尾正和・谷山鉄郎

(三重大学)

要旨: 大気汚染の作物に対する不可視障害は、見かけの光合成速度を低下させ、これが中心的な役割となり減収へ結びつくと考えられている。そこで、ムギ類 4 種合計 67 品種を供試し、二酸化硫黄処理が見かけの光合成速度に及ぼす影響を種類別に評価した。穂ばらみ期後期の個体に二酸化硫黄を約 $2.6 \text{ mg SO}_2 \text{ m}^{-3}$ (約 1.0 ppm) を含む空気中で 30 分処理し、その後約 30 分間清浄な空気中で置換した。この一連の操作における二酸化硫黄処理前、処理中および処理後の光合成速度を連続測定した。二酸化硫黄によりすべてのムギ類の光合成速度は低下し、その割合を示す阻害率はハダカムギ 45.6% > コムギ 38.6% > 六条オオムギ 31.5% > 二条オオムギ 28.4% の順に大きくなった。処理後光合成速度は徐々に増加したが、処理前の値までは回復しなかった。処理前光合成速度に対する割合で示される回復率は、種類、品種による相違は小さく 90% 前後の値を示した。以上より二酸化硫黄の影響はムギ類の種類毎に異なり、特にハダカムギで光合成速度の阻害が著しいことがわかった。今後は二酸化硫黄に対する耐性がムギの種類や品種により異なる要因を解析する必要がある。

キーワード: オオムギ, 光合成, コムギ, 二酸化硫黄, 二条オオムギ, ハダカムギ, 六条オオムギ.

国連環境計画 (UNEP) によると、大気汚染物質を監視する優先順位は、二酸化硫黄 + 浮遊微粒子, オゾン, 窒素酸化物, 鉛, 二酸化炭素, 一酸化炭素, アスベスト (石綿) と報告され (河村 1988), 二酸化硫黄は大気汚染物質として最重要視されている。わが国の場合、二酸化硫黄を始めとする硫黄酸化物による大気汚染は、四日市公害に代表されるように 1960 年から 1970 年代にかけて激増したが、その後対策がとられ、1990 年ではその濃度は当時に比べ 1/5~1/8 程度の 0.01 ppm 以下に低下した (注: 環境庁 1995, 環境白書一各論一)。しかしながら、中国・韓国を始めとする東アジアの経済発展は著しく、とくに 1987 年で比較すると中国の二酸化硫黄の排出量は、日本の 114 万トン/年、韓国の 129 万トン/年であるのに対して、1999 万トン/年である (坂本 1994)。Ichikawa and Fujita (1995) によれば、現在日本で測定される人為起源の硫酸イオンの湿性沈着量に及ぼす中国と朝鮮半島からの寄与率は、それぞれ約 50% と約 17% であると報告されている。つまり、将来的に日本を含め東アジアの大気環境は、自国からの排出量に加え東アジア各国からの長距離移流拡散を含め、広域的な汚染となって大気環境が悪化する可能性がある。その被害は局地的な高濃度汚染による大気汚染特有の可視被害もさることながら広域的な比較的低濃度汚染による不可視障害と考えられる。

谷山 (1972) の二酸化硫黄による水稻や裸麦、ナタネなどの作物の不可視障害を実証した研究によると、不可視障害の原因は、光合成速度の低下・気孔の開鎖と呼吸速度の昂進であり、これらは乾物生産量を低下させ減収へつながるものと報告した。そこで、本報告ではきたるべき二酸化硫黄の濃度上昇に備えて、また中国や韓国など東アジア地域でも栽培されている主要な穀物であるムギの種類別、品種別の二酸化硫黄に対する耐性について光合成速度から評

価を行った。4 種類のムギすなわちコムギ、二条オオムギ、六条オオムギ、ハダカムギを供試し、二酸化硫黄処理前、処理中と処理後の光合成速度をそれぞれ連続測定した。

材料と方法

1. 実験材料

供試材料は第 1 表に示すようにコムギ (*Triticum aestivum* L.) (29 品種), オオムギは六条オオムギ (*Hordeum hexastichum* L.) (10 品種), 二条オオムギ (*Hordeum distichum* L. emend. Lam) (8 品種), ハダカムギ (*Hordeum vulgare* L. emend. Lam) (20 品種) の合計 67 品種を用いた。種子は六条オオムギ、二条オオムギは比重 1.12, コムギ、ハダカムギは比重 1.20 の塩水選を行った後、催芽させ、水田土壌 8 リットルに化成肥料 (N:P₂O₅:K₂O=10:6:8) 10 g を混和・充填したペーパーポットに、1995 年 12 月 7 日に播種しガラス室内で育成した。移植は 1996 年 1 月 12 日に化成肥料 (同上) 5 g と水田土壌を全層混和した 1/5000 a 畑作用ワグナーポットに移植し、野外で生育させた。追肥は 1996 年 3 月 1 日に化成肥料 (同上) をポット当たり 2 g 与えた。

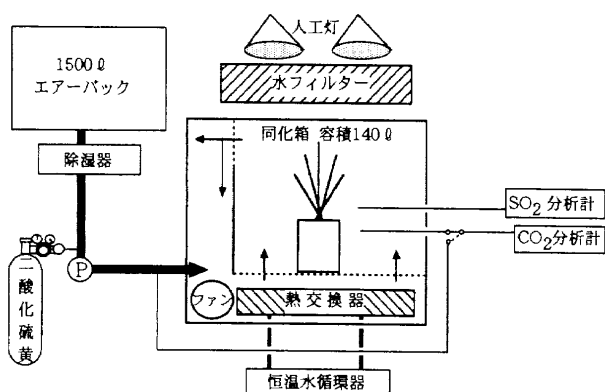
2. 二酸化硫黄処理と見かけの光合成速度の測定

(1) ガス交換測定装置

第 1 図に示すように、1/5000 a ワグナーポットが入る個体用同化箱 (140 L) に、穂ばらみ期後期から出穂直前までの個体を挿入し、均一に光が十分当るように株を広げた。ポットに含まれる土壌の水分と二酸化炭素の放出を防ぐため土壌表面をパラフィンで覆った。同化箱内の環境は、光源としてメタルハライドランプ (東芝製: M1000B-J/BU) を用い、10 cm の流水フィルターで熱線を除去し

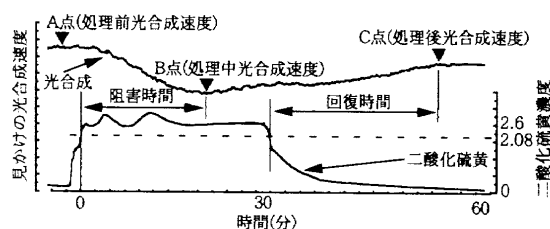
第1表 供試品種と阻害率,

品種名	阻害率 (%)	品種名	阻害率 (%)	品種名	阻害率 (%)
コムギ (<i>Triticum aestivum</i> L.)					
アブクマワセ	42.2	ヒヨクコムギ	25.1	農林 20 号	40.3
アイラコムギ	32.9	ホクシン	38.5	農林 61 号	44.1
チホクコムギ	33.8	伊賀筑後オレゴン	28.2	農林 74 号	38.1
チクゴイズミ	38.9	キヌイロハ	47.7	Roselln	44.9
Chinese Spring	28.7	キタカミコムギ	49.3	シラサギコムギ	30.1
ダイチノミノリ	41.3	コユキコムギ	47.8	シロガネコムギ	41.1
江島神力	45.4	ミクニコムギ	29.5	新中長	37.9
Egret	47.8	農林 4 号	35.5	しゅんよう	38.3
フクホコムギ	32.4	農林 10 号	32.8	ゼンコウジコムギ	26.7
Gamenya	46.8	農林 13 号	53.2		
六条オオムギ (<i>Hordeum hexastichum</i> L.)					
アズマムギ	33.2	ハヤミオオムギ	33.0	ナトリオオムギ	37.0
べんけいむぎ	33.8	カトリムギ	30.1	サツキムギ	30.1
ドリルムギ	32.7	ムサシノムギ	27.8	横綱	29.3
はがねむぎ	28.0				
二条オオムギ (<i>Hordeum distichum</i> L. emand. Lam.)					
あまぎ二条	23.9	九州二条 12 号	44.1	ニシノゴールド	22.9
アサカゴールド	27.6	ミカモゴールド	22.9	タカホゴールド	32.3
九州二条 11 号	25.2	ミサトゴールド	27.9		
ハダカムギ (<i>Hodeum vurgare</i> L. emand. Lam.)					
赤神力	45.4	一早生	37.4	サヌキハダカ	42.2
ベニハダカ	49.8	香川裸 1 号	46.5	シラタマハダカ	52.1
坊主	41.7	改良坊主	41.5	白珍子	43.2
愛媛裸 1 号	36.9	クロシオハダカ	52.3	実喰在来	39.5
愛媛裸 2 号	42.0	ミナミハダカ	54.7	スマレ糯	50.3
ハシリハダカ	37.4	露 54 号	53.0	ユウナギハダカ	49.1
ヒノデハダカ	51.7	佐賀大粒	44.1		



第1図 光合成速度・二酸化硫黄濃度同時測定装置の模式図。
P; 送風ポンプ、図中の矢印は空気の流れを示す。

た後、植物体上部で $2000 \mu\text{Em}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上とし光飽和を保った。同化箱内の気温は $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度は 65~80% になるように、同化箱内の熱交換器の水温ならびに除湿器の露点温度を制御した。導入空気は 1500 L のエアーバックに貯留した後、除湿を行い同化箱へ導いた。流量は同化箱入り口と同化箱内の二酸化炭素濃度の差が 40 ppm 程度になるように調節し、毎分 20 L から 40 L で同化箱内へ導いた。同化箱に導入する空気と同化箱内の空気の二酸化炭素濃度を赤外線式ガス分析計（島津製作所、IRA-102）で測定し、データは 5 秒毎に記録した。光合成速度の算出



第2図 二酸化硫黄処理前後における光合成速度と処理濃度の経時変化

は常法（古川 1981）に従った。

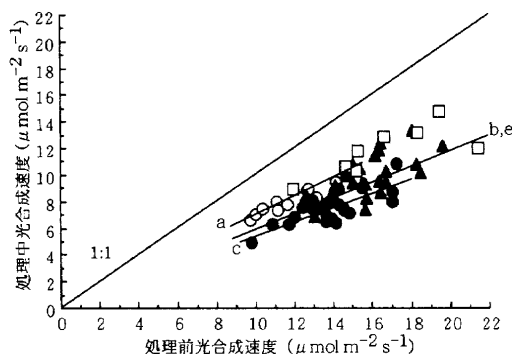
(2) 二酸化硫黄処理

第1図に示した同化箱を二酸化硫黄処理にそのまま用いた。二酸化硫黄濃度は同化箱内の植物体近傍でサンプリングを行い、紫外線けい光分析計（MEASUREMENT CONTROLS CORPORATION, ML9850 型）で計測した。同化箱内の二酸化硫黄と二酸化炭素の濃度変化の一例を第2図に示した。実験の手順は、供試材料を同化箱に挿入してから 30 分以上順化させた後、処理前光合成速度（第2図の A 点）を測定した。その後、二酸化硫黄による処理を手動で行い、濃度は 3 分以内に約 $2.6 \text{ mg SO}_2\text{m}^{-3}$ （約 1.0 ppm）まで濃度を上昇させた。その濃度が約 $2.06 \text{ mg SO}_2\text{m}^{-3}$ （約 0.8 ppm）に達した時点処理開始時刻として、その時刻から 30 分間約 $2.6 \text{ mg SO}_2\text{m}^{-3}$ （約 1.0 ppm）を保持した。すべての供試 67 品種は見かけの光合

成速度が低下し、大部分が30分以内に第2図のB点で安定した。この最も低下した光合成速度を処理中光合成速度とし、処理開始から光合成速度が最も低下するまでの時間を阻害時間とした。30分間処理した後、二酸化硫黄の供給を停止した。同化箱内は清浄な空気と置換され、二酸化硫黄供給を停止してから30分間（処理開始から60分間）測定を行った。同化箱内の二酸化硫黄濃度は、供給停止から10分後には約 $0.91 \text{ mg SO}_2 \text{ m}^{-3}$ （約 0.35 ppm ）、20分後には約 $0.55 \text{ mg SO}_2 \text{ m}^{-3}$ （約 0.21 ppm ）、30分後には約 $0.16 \text{ mg SO}_2 \text{ m}^{-3}$ （約 0.06 ppm ）と低下した。二酸化硫黄が減少するにつれて、見かけの光合成速度は回復し、最も回復し安定したC点（第2図）を処理後光合成速度とした。この回復に要する時間を回復時間とした。つまり第2図では、二酸化硫黄の供給を止めた後、その濃度が約 $2.08 \text{ mg SO}_2 \text{ m}^{-3}$ （約 0.8 ppm ）になった時刻から第2図のC点までの時間である。実験は1品種につき4反復とした。

3. 気孔測定

処理終了後ただちに生育の揃っている分けつを4本選び、その止葉4枚と上位第2葉4枚の計8枚について、表



第3図 処理前光合成速度と処理中光合成速度との関係。シンボルは六条オオムギ (○), コムギ (▲), ハダカムギ (●), 二条オオムギ (□) を示す。以下の有意な相関が見られた。

- a: 六条オオムギ: $y = 0.683x$, $r = 0.92$ ($P < 0.001$, $n = 10$)
 b: コムギ: $y = 0.615x$, $r = 0.69$ ($P < 0.001$, $n = 29$)
 c: ハダカムギ: $y = 0.543x$, $r = 0.76$ ($P < 0.001$, $n = 20$)
 e: 全品種こみ: $y = 0.616x$, $r = 0.76$ ($P < 0.001$, $n = 67$)

側の葉身中央部付近の気孔を瞬間接着剤法（広瀬ら 1992）によって型をとった。そして川満ら（1996）の方法を参考にして、気孔密度ならびに孔辺細胞長（長軸）の観察を行った。その調査数は1品種あたり4ポット、1ポットあたり止葉4枚・上位第2葉4枚、葉身1枚あたり4視野調査し、視野の合計は止葉、上位第2葉とも64視野であった。

結 果

1. 処理中光合成速度

処理前光合成速度は第2表に示すように、高い順に二条オオムギ≧コムギ>ハダカムギ>六条オオムギとなり種類間に差があった。

約 $2.6 \text{ mg SO}_2 \text{ m}^{-3}$ の30分処理によって、すべての品種で光合成速度は低下した（第3図）。それらの低下程度を比較するために、次式により阻害率を求めた。

$$\text{阻害率}(\%) = (\text{処理前光合成速度} - \text{処理中光合成速度}) / (\text{処理前光合成速度}) \times 100$$

阻害率は種類によって異なり、最も阻害が著しかったのはハダカムギの45.5%で、以下コムギ>六条オオムギの順となり二条オオムギでは28.4%と小さかった（第2表）。

処理前光合成速度が高いもののほど処理中光合成速度も相対的に高い傾向がみられ、両者の間には有意な直線関係が認められた（第3図）。また、処理前光合成速度が等しくても、ハダカムギに比べ六条オオムギ、二条オオムギの処理中光合成速度は高い傾向にあった。

2. 処理後光合成速度

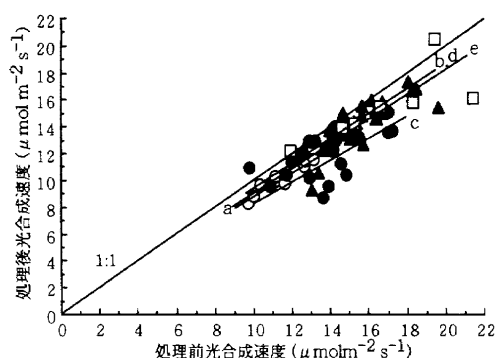
すべての品種は二酸化硫黄処理が終了し、その濃度が低下するにつれて、全品種の光合成速度は増加した。最大に回復した時点の処理後光合成速度（第2図のC）は処理前光合成速度に比べると小さく、十分には回復しなかった（第4図、第2表）。ムギ類全体について、処理前光合成速度と処理後光合成速度の間には直線関係が認められ、その回帰直線の傾きとして示される回復率は全品種平均で89.4%であった。回復率における種類間の相違は阻害率に比べると小さかった。

第2表 ムギ類の光合成速度に及ぼす二酸化硫黄の影響。

ギの種類	見かけの光合成速度 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			阻害率 (%)	回復率 (%)	阻害時間 (s)	回復時間 (s)	総合評価 ¹⁾ (%)
	処理前	処理中	処理後					
コムギ	15.6a	9.6b	14.2d	38.6b	91.3a	1320b	1460b	78.5b
六条オオムギ	11.2c	8.0cd	10.3c	31.5a	88.5a	1280b	1580a	81.2ab
二条オオムギ	16.6a	11.8a	15.3ad	28.4a	93.1a	1580a	1580a	84.3a
ハダカムギ	13.8b	7.5d	11.9b	45.5c	86.8a	1160b	1550a	73.7c

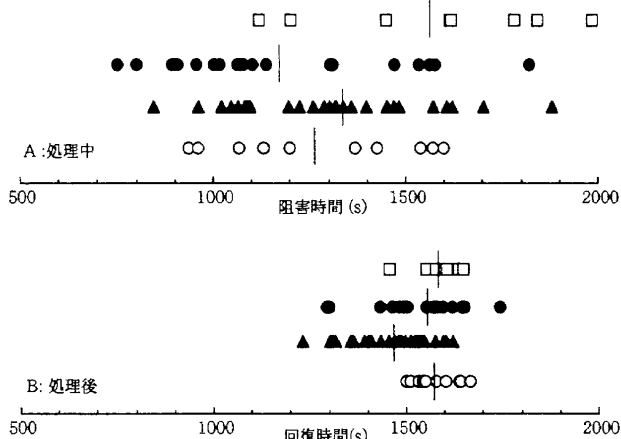
1);本文参照。

同一記号の付いた値間には5%水準の有意差がない（ダンカンの多重検定による）。



第4図 処理後光合成速度と処理前光合成速度との関係。
シンボルは第3図と同様。以下の有意な相関が見られた。

- a: 六条オオムギ: $y = 0.885x$, $r = 0.97$ ($P < 0.001$, $n = 10$)
 b: コムギ: $y = 0.911x$, $r = 0.81$ ($P < 0.001$, $n = 29$)
 c: ハダカムギ: $y = 0.854x$, $r = 0.46$ ($P < 0.05$, $n = 20$)
 d: 二条オオムギ: $y = 0.914x$, $r = 0.68$ ($P < 0.05$, $n = 8$)
 e: 全品種こみ: $y = 0.894x$, $r = 0.85$ ($P < 0.001$, $n = 67$)



第5図 二酸化硫黄処理による光合成速度の阻害時間と回復時間。

シンボルは第3図と同様。阻害時間、回復時間の説明は本文および第2図を参照。バーは種類ごとの平均値を示す。

3. 処理中光合成速度ならびに処理後光合成速度が安定するまでの時間

二酸化硫黄処理による光合成速度の低下がみられたが、最も低下するまでの時間(阻害時間)が品種ごとに異なっていることが観察された。そこで、その結果を第5図のAに示した。最も敏感な品種はハダカムギのスミレ糯で750秒であった。最も鈍感な品種は二条オオムギの九州二条12号で1990秒であった。種類別の平均時間は、二条オオムギの1580秒と最も長く、コムギ>六条オオムギ>ハダカムギの順に短くなった(第2表、第5図)。

次に同化箱内の二酸化硫黄濃度が約 $2.08 \text{ mg SO}_2 \text{ m}^{-3}$ (約0.8 ppm) になった時点から最も光合成速度が増加する点(第2図のC点)までの回復時間を第5図Bに示した。最も速やかに高い光合成速度に達したのは、コムギのアイラコムギの1230秒、最も時間のかかったのはハダカ

第3表 ムギ類の気孔密度と孔辺細胞長。

ムギの種類	気孔密度 (個/mm ²)		孔辺細胞長 (μm)	
	止葉	第2葉	止葉	第2葉
コムギ	62.7bc	51.8b	38.4a	41.4a
六条オオムギ	68.4ab	55.3b	30.6c	30.9bc
二条オオムギ	60.7c	54.4b	32.8b	29.4c
ハダカムギ	73.4a	61.8a	30.9c	32.5b

同一記号の付いた値間には5%水準の有意差がない(ダンカンの多重検定による)。

ムギのナトリオオムギで1670秒であった。種類別の平均時間は、二条オオムギの1590秒が最も長く、六条オオムギ>ハダカムギ>コムギの順に短くなった(第2表)。

4. 気孔測定と孔辺細胞長

種類別の気孔密度は止葉ではハダカムギが73.4個/mm²と最も多く、ついで六条オオムギ>コムギ>二条オオムギであり、第2葉ではハダカムギ>六条オオムギ>二条オオムギそしてコムギの順であった。止葉の孔辺細胞長はコムギの38.4 μm、順に二条オオムギ>ハダカムギ>六条オオムギであり、第2葉も同様な順位であった(第3表)。

考 察

作物の大気汚染被害には2つの型がある。一方は葉・茎・花などに大気汚染特有の被害が見られるもので可視被害(Thomas and Hill 1937)と言われる。他方は大気汚染特有の可視被害が作物に確認されないにもかかわらず作物の生育が悪く、収量が低下するもので不可視障害(Stoklasa 1923)と言われるものである。これまでの種々の植物に対する二酸化硫黄感受性の差異は可視被害によって区別されてきた。たとえば、Thomas and Hendricks (1956)は二酸化硫黄によるクロロシスやネクロシスの発生割合を利用して最も弱いものをアルファルファ(指数=1)として、オオムギ(指数=1)、エンバク(指数=1.3)、コムギ(指数=1.5)、ニラ(指数=2.2)、キュウリ(指数=4.2)と表わしている。Threshow (1970)は二酸化硫黄に鋭敏な植物として、農作物ではアルファルファ、オオムギ、エンバク、コムギ、ライムギとしている。また水稻では幼植物を利用して、可視被害程度から判断した品種間差異が報告され、北方の品種に感受性が高いものが多いと報告している(Fujinuma and Aiga 1980, 大村ら 1978)。ムギでは品種別の可視被害について明らかにされていない。

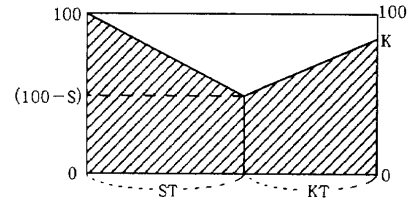
村田(1980)や武田・宇田川(1976)はコムギと六条オオムギの光合成速度を比較した結果、六条オオムギに比べコムギの方が高いことを認めている。本報告の処理前光合成速度を種類毎に比較すると、コムギ>ハダカムギ>六条オオムギ(第2表)の順で同様な結果が認められた。またムギ類の光合成速度は穂ぞろい期まで高く、出穂後登熟に

伴い急速に低下する（武田・宇田川，1976）。したがって、本実験で測定を行った穂ばらみ期はムギ類の光合成速度や大気汚染の影響を評価するのに適切であると考えられた。

馬場・酒井（1976 a, b）によると異なった土壤水分や施肥条件で栽培したオオムギは、二酸化硫黄による可視被害程度が異なると報告しているの、供試材料は、水管理、施肥を適切に行い健全に栽培された。また、処理の前日にはポットに十分灌水し、処理当日の土壤水分を一定に保った。つまり供試材料としたムギは、窒素栄養状態、土壤および植物体内の水分条件が、光合成速度や気孔開度に影響を及ぼすような条件下ではなかった。

本報告で行った実験結果から、約 30 分間の二酸化硫黄処理によって見かけの光合成速度は処理前にくらべ、供試したムギ類全体でみると、約 40% 阻害された（第 3 図）。谷山（1972）が提案した「光合成速度が 10% 阻害された時点で被害有りとする基準」と比べると被害有りと判断できる。また、その阻害率は、ムギの種類によって異なった（第 3 図、第 2 表）。次に、二酸化硫黄濃度が低下すると、光合成速度の回復が認められたが、完全には回復しなかった（第 4 図）。

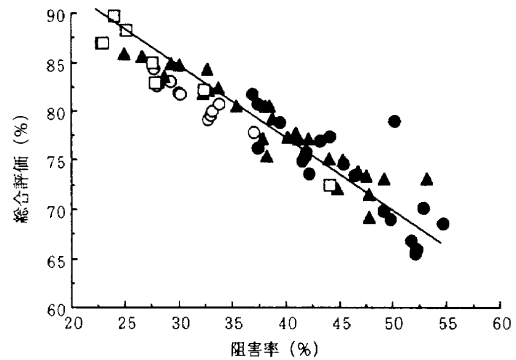
いままでの研究は不可視障害の指標として阻害率を用いた場合が多い。しかし、阻害率のみでなく、阻害されていく過程、回復程度やその過程も考慮しないと、その後の生育・収量等の不可視障害に結びつく可能性を論ずる上で不十分だと考えた。そこで、本実験で得られた阻害率、回復率、阻害時間、回復時間を用いて、第 6 図のような考え方で二酸化硫黄が光合成速度に与えた影響を総合的に評価しようとした。総合評価の値が高いものが二酸化硫黄の耐性があると言える。ムギの種類別の総合評価は最も高いのが二条オオムギで順に六条オオムギ>コムギそして最低がハダカムギとなった（第 2 表）。またこの総合評価と阻害率との間には、有意な負の相関がみられた（第 7 図）。松岡（1978）はポット栽培した水稻を用いて二酸化硫黄 1 ppm・1 時間処理を行いその後、1 時間たっても完全に回復しなかったとしている。一方、谷山（1972）は、二酸化硫黄処理後 24 時間たつとほぼ完全に回復したと報告している。このような二酸化硫黄による光合成速度の可逆的反応はルビスコの活性部位に対する二酸化硫黄と二酸化炭素の拮抗的阻害として説明されている（Ziegler 1972）。本報告では、処理後 24 時間たつ時点での光合成速度の測定を行っていないが、予備試験では処理後 7 日目において可視被害はみられなかった。この結果ムギ類では、阻害率がわかれば、その後の回復過程を含めた二酸化硫黄の影響が推定できることが示唆された。第 1 表に供試品種とともに、阻害率を並記した。全品種では、ミカモゴールドとニシノゴールド（ともに二条オオムギ）が阻害率 22.9% と最も低く、ミナミハダカの阻害率 54.7% が最も高かった。二条オオムギに属する品種は九州二条 12 号を除くと、ハダカムギに属する品種に比べて明らかに阻害率は低かつ



第 6 図 総合評価の概略図。

阻害率、回復率、阻害時間、回復時間を S, K, ST, KT とすると、次の式で二酸化硫黄が光合成速度に与えた影響を総合評価 (%) とした。

$$\text{総合評価} = \frac{(\text{斜線の部分})}{100 \times (ST + KT)} \times 100$$



第 7 図 阻害率と総合評価との関係。

シンボルは第 3 図と同様。y = 101.5 - 0.61 x, r = 0.93 (P < 0.001, n = 67)

た。六条オオムギに属する品種は、ハダカムギと二条オオムギの間にほぼまらばら分布した。しかし、コムギは農林 13 号のように阻害率 53.2% のものから、ヒヨクコムギの 25.1% のものまで品種間差が大きかった。つまり二酸化硫黄の光合成作用に及ぼす影響は、ハダカムギが最も強く影響を受け、ついでコムギ>六条オオムギ>二条オオムギの順と言って良いだろう。作物学的にはオオムギは六条オオムギと二条オオムギとに大別され、ともに穎が穎果に癒着していない場合をハダカムギと区別している（星川 1991）。従来の研究ではオオムギをまとめて一つとして論じている場合が多いが、区別して論ずるべきであろう。

二酸化硫黄は気孔を通り葉に取り込まれる。本実験の結果から葉の気孔密度はハダカムギが最も多かった（第 2 表）。気孔密度×孔辺細胞長を気孔の葉面積に占める割合（川満ら 1996）と仮定し止葉と第 2 葉の平均値を用いて計算すると、コムギ 2270, ハダカムギ 2140, 六条オオムギ 1900, 二条オオムギ 1781 であった。総合評価では低い値となり、阻害率が高かったハダカムギの気孔密度や気孔密度×孔辺細胞長値が高い値であったことから、二酸化硫黄に対する耐性との関わりが考えられる。気孔は孔辺細胞を動かし気孔開度を変化させ大気を取り込みを調節する。本報告では気孔開度ならびに気孔コンダクタンス、蒸散速度などの測定をしていないので、大気汚染物質による気孔開度への影響は不明である。しかし一般に二酸化硫黄は低濃

度であれば気孔を閉じ、高濃度であれば気孔そのものを破壊する(谷山 1972, 古川 1979)。本実験で用いた二酸化硫黄の濃度では可視被害がみられないのと、二酸化硫黄処理終了後光合成速度が可逆的に変化している。このような場合、二酸化硫黄は気孔開度よりも葉内での光合成代謝系に大きな影響をあたえたもの(古川 1979)と判断するのが適当と考える。

以上、本報告で、ムギ類のなかで特にハダカムギが他のオオムギやコムギに比較して、二酸化硫黄に対する耐性が明らかに低いことを明らかにできた。しかし、その理由として気孔密度との関与が示唆されたが充分に関連づけられなかった。また、同じ種類であっても品種によって耐性がかなり異なったこともわかったが、その理由も解析できていない。今後、これらの諸点を明らかにしていく予定である。

引用文献

- 馬場勉・酒井慎吾 1976a. 作物の大気汚染被害の発生機構に関する生理的研究. 第1報 土壤水分が作物の亜硫酸ガス被害に及ぼす影響. 農学研究 55: 87—96.
- 馬場勉・酒井慎吾 1976b. 作物の大気汚染被害の発生機構に関する生理的研究. 第2報 栄養条件および土壤還元が作物の亜硫酸ガス被害に及ぼす影響. 農学研究 55: 189—198.
- Fujinuma, Y. and I. Aiga 1980. Selected rice (*Oryza sativa* L.) strains as an indicator plants for air pollution. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud. 11: 255—262.
- 古川昭雄 1979. 高等植物の光合成に対する SO_2 の影響. 国立公害研究所研究報告 10: 333—341.
- 古川昭雄 1981. 光合成・呼吸速度の測定. 植物の生産過程測定法. 共立出版, 東京. 37—38.
- 広瀬竜郎・伊豆田猛・三宅博・戸塚績 1992. 瞬間接着剤を用いた気孔の型取り観察法. 日作紀 61: 159—160.
- 星川清親 1991. オオムギ. 新編食用作物. 養賢堂, 東京. 253.
- Ichikawa, Y. and S. Fujita 1995. An analysis of wet deposition of sulfate using a trajectory model for East Asia. Water, Air and Soil Pollution 85: 1927—1932.
- 川満芳信・縣和一・比屋根真一・村山盛一・野瀬昭博・新城長有 1996. 葉身のガス交換速度と気孔との関係. 第1報 イネ科 C3, C4 植物の気孔密度および孔辺細胞長. 日作紀 65: 626—633.
- 河村武 1988. 大気環境. 河村武・岩城英夫編集, 環境科学 I-自然環境系. 朝倉書店, 東京. 13—21.
- 松岡義浩 1978. 水稻の二酸化硫黄障害とその機作に関する研究. 千葉農試特報 7: 1—63.
- 村田吉男 1980. 光合成の種間差. 宮地重遠・村田吉男編, 光合成と物質生産. 理工学社, 東京. 444—447.
- 大村武・佐藤光・菅原淳 1978. 二酸化イオウに対するイネの抵抗性についての品種間差異. 国立公害研究特別研究成果報告 2: 135—144.
- 坂本和彦 1994. 深刻化するアジアの環境問題—東アジアの大気汚染と酸性雨—. エネルギーと資源 15: 582—588.
- Stoklasa, J. 1923. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabriksexhalationen, Urban und Schwarzenberg, Berlin. 1—487.
- 武田元吉・宇田川武俊 1976. 麦類の光合成に関する生態学的研究. 第3報 同化諸器官の光合成能力の生育時期別変化. 日作紀 45: 357—368.
- 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. 三重大農報 44: 11—130.
- Thomas, M.D. and G.R. Hill 1937. Relation of sulphur dioxide in the atmosphere to photosynthesis and respiration of alfalfa. Plant Physiol. 12: 309—383.
- Thomas, M.D. and R. Hendricks 1956. Effect of Air Pollution on Plants. In Air pollution handbook, P.L. Magill, F.R. Holden and C. Ackley eds., McGraw-Hill, New York. 9-1—9-44.
- Treshow, M. 1970. Environment & plant response, McGraw-Hill, New York. 245—266.
- Ziegler, I. 1972. The effect of SO_3^{--} on the activity of ribulose-1, 5-diphosphate carboxylase in isolated spinach chloroplasts. Planta 103: 155—163.

Effects of Sulfur Dioxide on Apparent Photosynthetic Rate in Winter Cereals: Yuichi NAGAYA*, Masakazu YASUO and Tetsuro TANIYAMA (*Fac. of Bioresources, Mie Univ., Tsu 514-8507, Japan*)

Abstract: Invisible injury caused by air pollution is known to make photosynthesis decrease, and thus yields decrease. The purpose of this investigation was to make clear the effects of sulfur dioxide on winter cereals, which included 4 species and 67 cultivars. Sulfur dioxide was supplied at the rate of $2.6 \text{ mg SO}_2 \text{ m}^{-3}$ (about 1.0 ppm v/v) for 30 min and then displaced with clean air for 30 min. The apparent photosynthetic rate of individual plants was continuously measured at the booting stage of each cultivar. In all plants, apparent photosynthetic rates were depressed by the application of sulfur dioxide. The magnitude of the depression in apparent photosynthesis was observed in the following order: naked barley, 45.6% > wheat, 38.6% > six-rowed barley, 31.5% > two-rowed barley, 28.4%. Nearly 90% of recovery in apparent photosynthesis was observed for all entries. In conclusion, injurious effects of sulfur dioxide on apparent photosynthesis were different among species of winter cereals. Naked barley was most susceptible to SO_2 stress, and two-rowed barley was most tolerant.

Key words: Naked barley, Photosynthesis, Six-rowed barley, Sulfur dioxide, Two-rowed barley, Wheat.