

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 栄養条件および土壌還元が作物の亜硫酸ガス 被害に及ぼす影響

馬場 起・酒井 慎吾

一般に大気汚染による作物の被害の発生は、作物の育つ環境条件によって大きく左右される。前報においては土壌水分が作物の亜硫酸ガス被害に大きく影響し、大麦、水稲等の亜硫酸ガス被害は、気孔の開度と密接な関係をもつばかりでなく、ガス処理による葉の組織汁液の酸化還元電位 (Eh) および pH の低下とも密接な関係のあることが認められた (馬場・酒井 1975)。

カリの不足が作物の SO_2 被害を著しくすること (米丸 1916, 前野 1961), チッ素の欠乏が樹木の SO_2 被害を大きくすること (井上 1973) 等が指摘されているが、作物の栄養条件と SO_2 被害との関係については明らかでない点が多い。著者らはチッソ、リン酸およびカリの不足等の栄養条件を異にして育てた大麦および水稲ならびに土壌の還元程度を異にして育てた水稲について、葉の SO_2 ガス被害が葉の組織汁液の Eh と密接な関係のあることを認めたので、その結果を報告する。

本研究に当り有益な助言を頂いた山添文雄、太田保夫、稲田勝美、津野幸人、谷山鉄郎の諸氏に感謝するとともに実験に協力した田辺佳代子、森永信子両氏に感謝する。

実 験 方 法

実験材料の養成は、昭和48年秋から49年夏にわたり、大麦は温室で、水稲はガラス室で行なった。

栄養条件を異にする大麦の実験では、供試材料は11月20日育苗用バットに播種し、砂耕培養法で育てた苗を12月10日に2千分の1アールポットに3本ずつ移植し、水耕培養を行なった。

栄養条件を異にする水稲の実験では、5月24日水田土壌をつめた育苗箱に播種し、水苗代状態で育て、根をよく洗滌した苗をフタ板に2個の小形ザルをはめこんだ2千分の1アールポットに、小ザル当り2本ずつ移植し、水耕培養を行なった。供試品種は、大麦はキカイハダカ、水稲はヤマビコである。

大麦、水稲ともに第1表の組成の培養液 (C濃度) を供試し、移植後しばらくは全区同一組成の培養液 (第1表の標準区) で育て、生育の中期以後は第1表の各区の組成の培養液にかえて育てた。

第1表 培養液（標準濃度C）の組成（成分 mg/l）

成分(塩類) 区別	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	FeO	MnO	B
	NH ₄ NO ₃	Na ₂ HPO ₄	K ₂ SO ₄	MgSO ₄	CaCl ₂	Fe-Citrate	MnCl ₂	H ₃ BO ₃
標準(N)	20.0	10.0	25.0	10.0	5.0	3.0	1.0	0.2
1/2 N	10.0	"	"	"	"	"	"	"
2 N	40.0	"	"	"	"	"	"	"
-P	20.0	0	"	"	"	"	"	"
-K	"	10.0	0	"	"	"	"	"

作物の生育に応じて培養液の濃度を調節し大麦では、移植後2週間は1/4濃度、その後は1/2C～C濃度を、出穂期以後は1/2C～1/4C濃度を用いた。水稻では、移植後1週間は1/4C、その後は1/2C～C濃度を、出穂期以後は1/2C～1/4Cを用いた。

水耕液の取換えは大麦では、冬季は2週間に1回、3月以後は週1回、水稻では、全期間週1回行なった。

土壌の還元に関する水稻の実験では、水田土壌をつめた5千分の1アールポットに栄養条件に関する実験に供試したのと同じ苗を3本宛移植した。肥料は、化成肥料（15：15：15）を元肥として1gを施用、追肥には8月5日に0.2gを施用した。

土壌還元区では、土壌の酸化還元電位を低くするために、可溶性デンプンを8月15日に1ポットに3g、8月25日に2gを施用した。可溶性デンプンの分解を促進するために同時に硫酸0.2gを施用し、同量の硫酸を標準区にも施用した。供試品種は、土壌還元および硫化水素による根腐れに弱いといわれる水稻農林22号と強いといわれる農林37号である（馬場1938）。

亜硫酸ガス（SO₂）処理法は、第1報と同じで、大麦の実験では、亜硫酸溶液をガス処理箱内に蒸発させる方法、水稻の実験では、亜硫酸ガスに通気して発生したSO₂ガスに空気を混じて稀釈し処理箱に通ずる方法である（馬場・酒井1975）。

SO₂ガス処理に供試した材料は、大麦の場合は、各区の最長稈6本ずつ2組をとり、これを200mlの三角フラスコの水中に挿したの、水稻の場合は、稲株をザルに植えたままフタ板からとりはずし、培養液を入れた1ℓ容量の容器に移したものである。

葉（葉身）の組織汁液のEh、pHの測定法、浸潤法による気孔開度の測定法、SO₂ガス被害による葉身の被害面積の調査法はいずれも第1報と同じである（馬場・酒井1975）。葉の組織汁液のパeroxidase活性を測定したが、測定法は金沢・瓜谷氏らの方法によった（Kanazawa, Shichi, Uritani 1965）。

実 験 結 果

1. 栄養条件が作物の亜硫酸ガス被害に及ぼす影響

(1) 大 麦

チッソ、リン酸、カリとSO₂ガス被害との関係をしらべるために、生育の中期以後第2表のような区別を設けて水耕培養した材料につき、3月20日ガス処理を行なった。

SO₂ガス処理時間は3時間、温度15～18°C、湿度60～70%、日照約8,000ルクス、

葉の SO₂ 被害（白化した葉面積/全葉面積×100%）は、ガス処理 2 日後供試全茎の第 1～第 4 葉につき調査した（第 2 表）。

SO₂ ガス処理直前、処理直後に葉身の組織汁液の Eh₆, pH を求めた。供試葉は 3 本の茎からとった第 1～3 葉の 3g である。

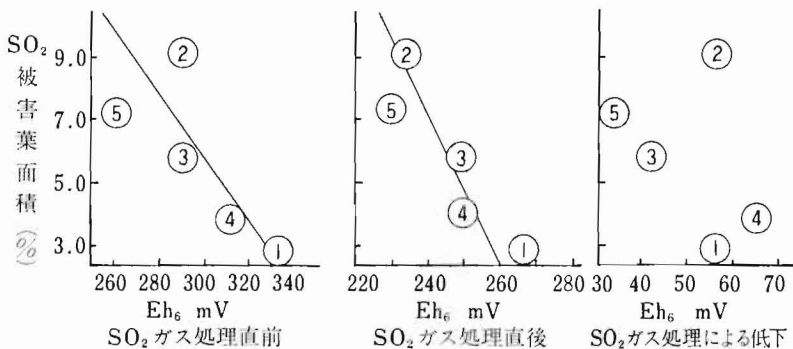
実験結果は、第 3 表のように SO₂ ガス処理により葉の組織汁液の Eh₆, pH は低下したが、ガス処理前、処理後を通じて標準区は他区にくらべて Eh₆ の高いことが認められる。

第 3 表 栄養条件を異にする大麦における SO₂ ガス処理による葉の組織汁液の Eh, pH の変化

区 別	ガス処理直前		ガス処理直後		Eh ₆ の低下 mV A ₁ —A ₂	pH の低下 B ₁ —B ₂
	Eh ₆ mV A ₁	pH B ₁	Eh ₆ mV A ₂	pH B ₂		
1. 標準 (N)	330	6.05	274	5.95	56	0.10
2. 1/2 N	293	5.94	238	5.77	55	0.17
3. 2 N	294	5.91	252	5.80	42	0.11
4. -P	316	5.76	251	5.70	65	0.06
5. -K	263	6.10	230	6.02	33	0.08

つぎにガス処理前およびガス処理後の葉の組織汁液の Eh₆, pH と葉の SO₂ 被害との関係をしらべると、第 1 図のようにガス処理直前およびガス処理直後の葉の組織汁液の Eh₆ と SO₂ 被害葉面積 (%) との間に関係が認められ、ことに処理後の Eh₆ と被害葉面積 (%) との間に有意の負の相関 (5% レベル) が認められた。

しかし葉の組織汁液の pH と被害葉面積 (%) との間には関係が認められなかった。



第 1 図 栄養条件を異にした場合の葉の組織汁液の Eh と被害葉面積 (%) との関係 (大麦)

(注) 表中の番号は第 2 表の区番号

(2) 水 稲

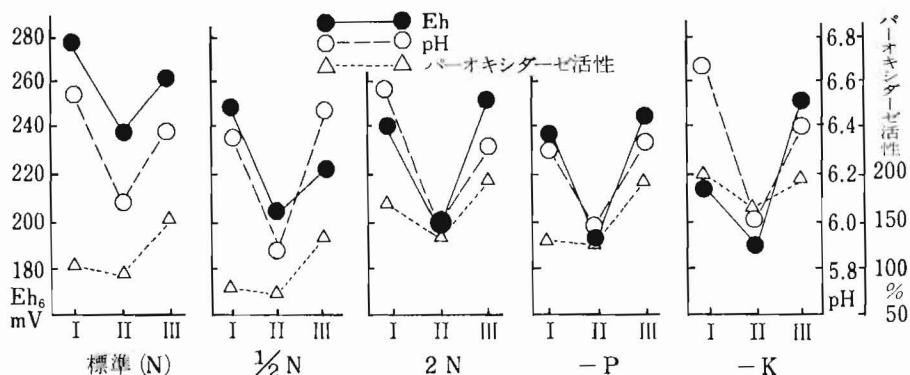
水稲の実験では、第4表の生育を示す水稲について、8月26日5時間のSO₂ガス処理を行なった。温度約29°C、湿度約85%、日照約8,000ルクス、SO₂濃度約25 ppm。

第4表 SO₂ガス処理に供試した水稲の生育状況およびSO₂による葉の被害

区 別	草 丈 cm	1 株 茎 数	1 茎 当 生 存 葉 数	気 孔 開 度	SO ₂ 被 害 葉 面 積 %
1. 標準 (N)	79.3	16.0	5.4	1.81	11.1
2. 1/2 N	78.5	6.0	5.1	1.96	16.5
3. 2 N	79.6	18.5	5.2	1.98	19.1
4. -P	71.6	10.5	7.8	1.91	22.1
5. -K	57.2	13.5	4.0	1.82	17.8

(注) 1) 生育は8月25日調査。SO₂被害面積%は8月28日調査。 2) 1茎当生存葉数は最長稈10本の平均値。 3) 気孔の開度は8月25日11~12時最長稈4本の第1~3葉の平均値。 4) SO₂被害面積は全茎第1~4葉の平均値。

SO₂ガス処理直前、処理直後および処理48時間後の葉の組織汁液のEh₆ pHを測定した結果は第2図のように、葉の組織汁液のEh₆ pHはガス処理により急速に低下したが、48時間後には再び上昇した。

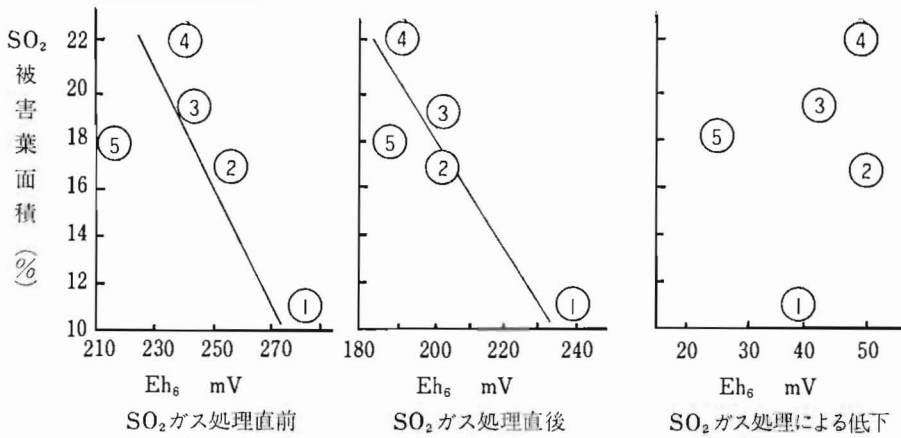


第2図 SO₂ガス処理による葉の組織汁液のEh, pHおよびパーオキシダーゼ活性の変化(水稲)

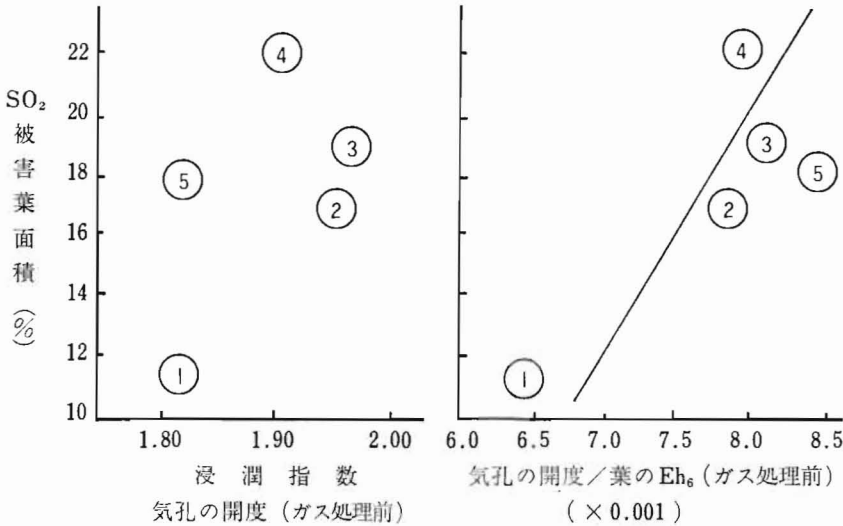
(注) 1) I. SO₂ガス処理直前 II. SO₂ガス処理直後 III. SO₂ガス処理48時間後
2) パーオキシダーゼ活性は標準区Iの値に対する%

葉の組織汁液のEh₆はガス処理直前、処理直後ともに標準(N) > 1/2N, 2N > -P, -Kであり、標準区が最も高かった。なお葉の組織汁液のパーオキシダーゼ活性は、第2図のようにガス処理により低下したが、処理48時間後には再び上昇した。

つぎに葉の組織汁液のEh₆および気孔開度とSO₂被害面積(%)との関係を探ると第3,4図のようにSO₂ガス処理直前およびガス処理直後の葉の組織汁液のEh₆ならびに気孔開度とSO₂被害面積(%)との間に関係が認められ、ことにガス処理直後の葉の組織汁液のEh₆とSO₂被害面積(%)との間に負の有意の相関(5%レベル)が、また気孔の



第3図 栄養条件を異にした場合の葉の組織汁液の Eh と被害葉面積 (%) との関係 (水稲)
 (注) 図中の番号は第4表の区番号



第4図 栄養条件を異にした場合の気孔開度および葉の組織汁液の Eh と被害葉面積 (%) との関係 (水稲)
 (注) 第3図の注参照

開度/葉の組織汁液の Eh_s (ガス処理前) と SO₂ 被害葉面積 (%) との間にも有意の正の相関 (5% レベル) が認められた。

2. 土壌の還元が水稲の亜硫酸ガス被害に及ぼす影響

第5表に示された土壌ポット栽培の水稲について SO₂ ガス処理を行った。

第5表から両品種ともに、土壌にデン粉を施用して土壌の酸化還元電位 (Eh) を低下させた土壌還元区では、標準区にくらべて硫化水素による根腐れに伴う黒根の%が高く、吸水障害による単位葉面積当蒸散量および気孔開度が少なく、草丈、莖数、生存葉数が減少したと考えられる。

第5表 SO₂ ガス処理に供試した水稻の生育状況および SO₂ ガス処理による葉の被害

区 別	草 丈 cm	1 株 茎 数	1 茎 当 生 存 葉 数	黒 根 %	気 孔 開 度	単 位 葉 面 積 蒸 散 量 %	SO ₂ 被害葉 面 積 %	
農林 22号	標準 (1)	91.3	5.33	2.9	10.5	0.76	100	25.3
	土壤還元 (2)	88.9	4.33	2.7	21.0	0.63	89	31.3
農林 37号	標準 (3)	82.8	6.67	3.9	3.5	0.70	103	12.6
	土壤還元 (4)	82.3	6.00	3.8	5.0	0.64	94	14.7

(注) 1) 生育は9月7日, 生存葉数は最長稈8本の平均値, 2) 気孔開度は9月4日11~12時および9月8日11~12時測定, 第1~2葉の平均, 3) 葉面蒸散量は9月8日12~13時測定, 第1~2葉の平均値, 4) 被害葉面積%はSO₂ガス処理日(9月9日), 処理2日後調査, 全茎第1~2葉の平均値

またこれら土壤還元に伴う悪影響は, 土壤還元や硫化水素に対する抵抗力の大きい農林37号はその小さい農林22号にくらべて少ないことが認められる。

9月9日4時間SO₂ガス処理を行った。温度25~26°C, 湿度約85%, 日照約8,000ルクス, SO₂濃度約35ppm。水稻の生育時期は農林22号は穂揃7日後, 農林37号は穂揃3日後である。

SO₂ガス処理前後の葉の組織汁液のEh₆, pHおよびガス処理によるEh₆, pHの低下は第6表の通りである。

第6表 土壤還元程度を異にする水稻品種におけるSO₂ガス処理による葉の組織汁液のEh, pHの変化

区 別	SO ₂ ガス処理直前		SO ₂ ガス処理直後		Eh ₆ の低下 mV A ₁ -A ₂	pH の低下 B ₁ -B ₂	C/A ₁ (×0.001)	
	Eh ₆ mV	pH A ₁	Eh ₆ mV	pH B ₂				
農林 22号	標準 (1)	218	6.42	189	6.10	29	0.32	3.49
	土壤還元 (2)	163	6.50	125	6.04	38	0.46	3.87
農林 37号	標準 (3)	237	6.40	190	6.03	47	0.37	2.95
	土壤還元 (4)	239	6.61	187	6.06	52	0.55	2.68

(注) Cは第5表の気孔の開度値

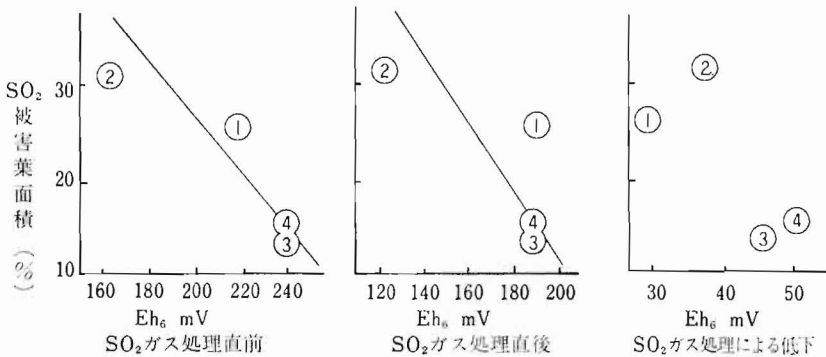
これまで農林37号は農林22号にくらべて葉の組織汁液のEh₆が高く, 土壤還元および硫化水素による根腐れに抵抗力が大きいといわれているが(馬場・稲田1955, 馬場1958), 第6表のSO₂ガス処理直前およびガス処理直後の葉のEh₆においても同じ傾向が認められた。

SO₂ガス処理により葉の組織汁液のEh, pHが低下したが, いずれの品種においても, 土壤還元区が標準区より葉のEh₆, pHの低下が大きく, SO₂被害葉面積(%)が大であった(第5,6表)。

葉の組織汁液のEh₆, pHとSO₂被害葉面積(%)との関係を求めると, 第5図のように, SO₂ガス処理直前および処理直後の葉のEh₆とSO₂被害葉面積(%)との間に関係が

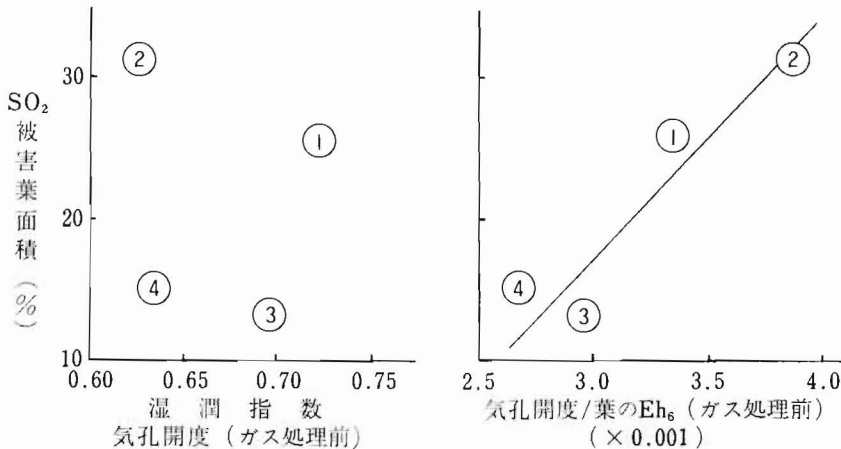
認められ、ことにガス処理直前の葉の組織汁液の Eh_6 と SO_2 ガス被害葉面積(%)の間には負の有意の相関(5%レベル)が認められた。しかし葉の組織汁液の pH と被害葉面積(%)の間には関係が認められなかった。

また気孔開度(ガス処理前)と葉の SO_2 被害との間には関係が認められなかったが、気孔開度(ガス処理前)/ガス処理前の葉の組織汁液の Eh_6 と SO_2 ガス被害葉面積(%)の間には正の有意の相関(5%レベル)が認められた(第6図)。したがって土壌の還元程度および品種を異にする場合においても、葉の SO_2 被害は、気孔開度およびガス処理前の葉の Eh_6 値と密接な関係があると思われる。



第5図 土壌還元程度および品種を異にした場合の葉の組織汁液の Eh_6 と被害葉面積(%)との関係(水稻)

(注) 図の番号は第5表の区番号



第6図 土壌還元程度および品種を異にした場合の気孔開度および葉の組織汁液の Eh_6 と被害葉面積(%)との関係(水稻)

(注) 第5図の注参照

考 察

水稻についてリン酸、カリ、マグネシウム、マンガンの欠乏およびチッソの多用等で葉の組織汁液の Eh_6 が低下することが知られているが(馬場 1958)、本研究でも大麦、水稻

についてチッソ、リン酸、カリの不足およびチッソの多用で、葉の組織汁液の E_h が低下することが認められ、また葉の組織汁液の低下に平行して SO_2 ガス被害が増大することがわかった。

前報の土壌水分と SO_2 ガス被害との関係の実験において、気孔開度のほかガス処理による葉の組織汁液の E_h の低下と葉の SO_2 被害との間に密接な関係が認められたが（馬場・酒井 1975）、栄養条件を異にする水稻の本実験においては SO_2 ガス処理直前、直後の葉の組織汁液の E_h と葉の SO_2 被害との間には関係が認められたが、葉の組織汁液の E_h の低下および気孔の開度と葉の SO_2 被害との間に関係が認められなかった。しかし気孔の開度/ SO_2 処理直前の葉の組織汁液の E_h と葉の SO_2 被害との間に密接な関係が認められた。

土壌の還元程度および品種を異にした実験においても気孔の開度/ガス処理直前の葉の組織汁液の E_h と葉の SO_2 被害との間に密接な関係が認められた。

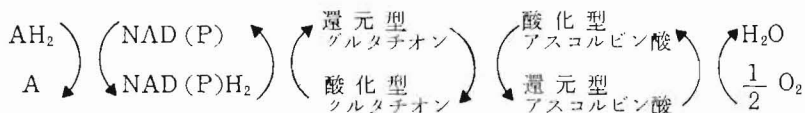
これらの事実を通覧すると、気孔の開度ばかりでなく、葉の組織汁液の E_h も葉の SO_2 ガス被害と密接な関係をもち、すなわち葉の E_h の高いことが SO_2 ガス被害の発生を軽減するように作用していると推測される。

土壌還元区では標準区にくらべて水稻は根の障害に伴う吸水障害、ひいて気孔開度の減少が著しく、 SO_2 ガスの葉内侵入は少なくなったと考えられるが、同時に葉の E_h が著しく低下し、葉の SO_2 被害が増大した。これは、土壌還元の増大に伴う葉の E_h への影響が、気孔開度の減少の影響より大きくて、葉の SO_2 被害が増大することになったと推測される。

水稻では、土壌還元や硫化水素による根腐れに抵抗力の大きい農林 37 号はその小さい農林 22 号にくらべて葉の E_h が高く、 SO_2 による葉の被害が少なかったが、このことは水稻の品種間においても、葉の生体酸化還元電位が SO_2 ガス抵抗力に関係があることを示唆している。

若干の植物には次のような呼吸系があると考えられている。

脱水素酵素—NADP—グルタチオン—アスコルビン酸—アスコルビン酸化酵素—酸素
（馬場 1957, 1958）



（三宅・宇野 1972）。

一般に生体酸化還元電位 (E_h) はアスコルビン酸およびグルタチオンの酸化型/還元型比と密接な関係があり、葉位、器官、日変、日射、栄養条件を異にする場合ならびに品種の根腐れ抵抗力を異にする場合の葉の生体 E_h はアスコルビン酸およびグルタチオンの(還元型)/(酸化型+還元型)の比で大きく影響をうける。この2つの比のいずれかまたは両者が大きくなれば E_h が低下し、反対に小さくなれば E_h が上昇する。すなわち植物生体 E_h は植物体内外の要因によって変化し、上記のような呼吸系の支配をうけながら調節維持されていると考えられる（馬場 1957）。

したがって還元物質である SO_2 ガスが植物体内に侵入した場合にもこれら酸化還元物質や呼吸系と影響しあいながら被害が現れると考えられる。なお SO_2 ガスは酸化酵素により酸化されることが推測されているが(米丸 1916)、本研究でも SO_2 ガス処理を受けた場合、葉の Eh_0 , pH の変化とパーオキシダーゼ活性の推移が平行していることは、パーオキシダーゼによる SO_2 の酸化の可能性を示唆しているように思われる。

摘 要

大麦および水稲について、チッソ、リン酸、カリの不足およびチッソの過剰等の栄養条件および土壌の還元が葉の SO_2 ガス被害発生に及ぼす影響ならびに被害発生の機作について研究を行った。その結果はつぎの通りである。

1) 栄養条件のいかんにかかわらず、 SO_2 ガス処理によって葉の組織汁液の酸化還元電位(葉の Eh_0)および pH は低下した。

チッソ、リン酸、カリの不足およびチッソの過剰は、 SO_2 ガス処理前およびガス処理直後の葉の Eh_0 を低下するとともに葉の SO_2 被害を増大した。この場合ガス処理直前または直後の葉の Eh_0 と葉の SO_2 被害との間に密接な関係が認められた。また水稲では、葉の気孔の開度(ガス処理前)/ガス処理前の葉の Eh_0 と SO_2 による葉の被害との間に密接な関係が認められた。

2) 土壌還元程度および品種のいかんにかかわらず SO_2 ガス処理によって水稲の葉の Eh_0 と pH は低下した。

デン粉を施用して土壌の還元を著しくした場合には、 SO_2 ガス処理による水稲の葉の Eh_0 の低下は大きくなるとともに葉の SO_2 被害の発生が多くなった。この場合ガス処理直前の葉の Eh_0 と葉の SO_2 被害との間に密接な関係が認められた。

また硫化水素による根腐れに抵抗力の大きい農林 37 号は抵抗力の小さい農林 22 号にくらべて SO_2 ガス処理前およびガス処理直後の葉の Eh_0 が概して高く、 SO_2 ガスによる葉の被害の発生も少なかった。この場合にも、気孔の開度(SO_2 ガス処理前)/ SO_2 ガス処理前の葉の Eh_0 と SO_2 による葉の被害との間に密接な関係が認められた。

3) 以上の事実から栄養条件および土壌の還元程度を異にした場合ならびに水稲品種を異にした場合において、葉の組織汁液の酸化還元電位の高いことが、葉の SO_2 ガス被害の発生を少なくするように作用したと推測される。

文 献

1. 馬場 赴・稲田勝美, 1954. 水稲の組織汁液の酸化還元電位について, その 1. (講演要旨), 日作紀 23: 73.
2. 馬場 赴・稲田勝美, 1955. 水稲の組織汁液の酸化還元電位について, その 2. 日照及び水温が酸化還元電位に及ぼす影響, その 3. 酸化還元電位の生育時期による変化, その 4. 水稲葉の酸化還元電位の品種間差異, 日作紀 23: 187—191.
3. 馬場 赴・稲田勝美, 1956. その 5. アスコルビン酸及びグルタチオン酸化還元電位との関係, 日作紀 25: 75—77.
4. 馬場 赴, 1957. 水稲の根腐れ抵抗性, その 2 農業技術 12(3): 97—101.

5. 馬場 赴. 1958. 水稻の胡麻葉枯病及び秋落の発生機構に関する栄養生理的研究. 農技研報告 D (7) : 1—157.
6. 馬場 赴・酒井慎吾. 1975. 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 (2) : 87—96.
7. 井上敏雄. 1973. 亜硫酸ガスによる樹木の被害. 植物防疫 27 (6) : 224—228.
8. 前野道雄. 1961. 農産物の煙害について. 神奈川県大気汚染調査研究報告 4 : 141—157.
9. 三宅嘉之・宇野良男. 1972. タバコの体内のグルタチオン濃度とオゾンによる生理障害発生との関連について. 宇都宮こぼこ試報告 11 : 15—22.
10. Kanazawa Y., Shichi H. & Uritani I. 1965. Biosynthesis of peroxidases in sliced or black rot-infected sweet potato roots. *Agr. Biol. Chem.* 29 (9) : 840—847.
11. 米丸忠太郎. 1916. 亜硫酸瓦斯の植物に及ぼす障害作用について. 農事試報告 42 : 1—102.