

Aus dem Institut für Ackerbau und Pflanzenzüchtung  
der Agrarwissenschaftlichen Universität Keszthely  
Lehrstuhl für Botanik und Pflanzenphysiologie  
(Leiter des Lehrstuhles: Prof. Dr. I. Karpati)

## **Der Einfluß von Schwefeldioxid auf den Schließungsmechanismus der Stomata**

Von Gyula Borka

Mit 7 Tabellen

(Eingegangen am 24. September 1979)

### **E i n f ü h r u n g**

Der sich in der Luft befindliche Schwefel kann in Form von gasförmigem  $\text{SO}_2$  durch die Stomata oder in Form von Sulfationen, die sich im Wasser der Zellwände lösen, in die Pflanzen eindringen. Die Pflanzen sind befähigt, den Schwefel in beiden Formen innerhalb ihres Schwefelmetabolismus zu nutzen (MacLeod et al. 1961).

Wenn diese Ionen jedoch in Konzentrationen oberhalb des Normalwertes auftreten, schädigen sie den Stoffwechsel der Pflanzen. Die Zellen besitzen in gewissen Grenzen eine Pufferkapazität, durch welche die durch die Dissoziation von  $\text{H}_2\text{SO}_3$  und  $\text{H}_2\text{SO}_4$  zustandekommende Säurewirkung neutralisiert werden kann; wirken allerdings größere Mengen Schwefel ein als benötigt, kommt es zum Kollaps der Gewebe, und es bilden sich an den Pflanzen bifaziale, interkostale Nekrosen (Weigl und Ziegler 1962).

### **V e r s u c h s d u r c h f ü h r u n g**

Wir führten die Versuche mit in Klimakammern aufgezogenen Luzerne- und Rotkleepflanzen in Gewächshausgefäßen durch.

Die Evapotranspiration stellten wir durch Auswiegen der Gefäße fest, die Öffnung der Stomata mit Hilfe des Porometers (Kanemasu et al. 1969) und die Wasserhaltefähigkeit der Gewebe durch Messung des Gewichtsverlustes kreisförmiger Blattauschnitte mit einer Torsionswaage. Das Schwefeldioxid wurde in den Klimakammern durch Reaktion von wasserfreiem  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  mit konzentrierter Schwefelsäure freigesetzt.

### **A u s w e r t u n g d e r E r g e b n i s s e**

Bei der Untersuchung des Transpirationsverlaufes war auffällig, daß sich die Spaltöffnungen bei Luzerne- und Rotkleepflanzen bei einer Konzentration von 1 ppm  $\text{SO}_2$ , wenn sie vom Licht ins Dunkle gebracht wurden, auch im Dunkeln erst dann schlossen, nachdem es schon zu einem erheblichen Wasserverlust gekommen war. So erhöhte sich unter diesen Umständen die Transpiration in den ersten zwei Stunden im Vergleich zu den Kontrollpflanzen wesentlich (Tab. 1 und 2).

Als Folge davon trat eine Störung im Wasserhaushalt der Pflanzen auf, da einerseits die Wasseraufnahme mit der erhöhten Wasserabgabe nicht Schritt halten konnte – auch dann nicht, wenn der Boden genügend aufnahmefähiges Wasser enthielt – andererseits verringerte sich die Wasserhaltefähigkeit der Zellen und Gewebe in starkem Maße (Tab. 3).

Tabelle 1. Wirkung von 1 ppm SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> auf die Evapotranspiration der Luzerne im Dunklen in Abhängigkeit von Behandlung und Zeit (g/Gefäß)

unbehandelte Pflanzen		behandelte Pflanzen	
Stunden	Evapotranspiration	Stunden	Evapotranspiration
1	5,50	1	7,20
2	3,73	2	8,03
3	2,93	3	5,77
4	2,00	4	3,97
5	1,70	5	1,80
6	1,60	6	1,13*
7	1,50	7	0,10
8	1,60	8	0,10
9	1,60	9	0,10
10	1,37	10	0,10
11	1,37	11	0,10
12	1,27	12	0,10

SD 5 % 0,14

\* kritischer Wassermangel

Tabelle 2. Wirkung von 1 ppm SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> auf die Evapotranspiration des Rotkleees im Dunklen in Abhängigkeit von Behandlung und Zeit (g/Gefäß)

unbehandelte Pflanzen		behandelte Pflanzen	
Stunden	Evapotranspiration	Stunden	Evapotranspiration
1	6,23	1	8,67
2	5,03	2	9,03
3	2,70	3	7,20
4	2,07	4	4,13
5	1,87	5	2,80
6	1,73	6	2,00
7	1,50	7	1,37
8	1,43	8	0,70*
9	1,30	9	0,10
10	1,17	10	0,10
11	1,17	11	0,10
12	1,07	12	0,10

SD 5 % 0,40

\* kritischer Wassermangel

Tabelle 3. Wirkung von SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> auf den Verlauf des Wasserverlustes der Blätter von Luzerne und Rotklee in mg

Minuten	Luzerne		Rotklee	
	Kontrollpflanzen	behandelte Pflanzen	Kontrollpflanzen	behandelte Pflanzen
10	21	29	24	31
20	18	34	23	39
30	13	26	17	30
40	11	10	14	10
50	9	4	10	7
60	7	3	8	2
insgesamt:	79	106	96	119

Fünf bis sieben Stunden nach Beginn der Behandlung schlossen sich auch die Stomata der behandelten Pflanzen, und die Transpiration stimmte im wesentlichen mit der Transpiration der Kontrollpflanzen überein (Tab. 4 und 5). Wegen des erheblichen Turgorverlustes verringerte sich die Transpiration weiter, und nach sechs bis acht Stunden stellte sich bei den Pflanzen ein kritischer Wassermangel ein (Tab. 1 bis 3).

Die Wasserhaltefähigkeit der Luzerne war geringer als die des Rotklee, darum kam der kritische Wassermangel bei den Pflanzen hier schneller zustande (Tab. 3).

Ebenso transpirierten aber auch die Pflanzen, die zwölf Stunden lang mit 1 ppm  $\text{SO}_2$  behandelt und mit 30 000 Lux beleuchtet wurden, bei ungestörtem Wassernachschub 30 % mehr als die Kontrollpflanzen (Tab. 6 und 7).

Daraus schluffolgerten wir, ähnlich wie andere Autoren (Cecil und Wake 1962; Zelitch 1965; Jacobsen und Hill 1970; Wellburn et al. 1972), daß das in die Gewebe diffundierende  $\text{SO}_2$  einesteils mit den Enzymen, die für die Schließung der Stomata verantwortlich sind, interferiert, zum anderen, daß durch die geöffneten Stomata schnell eindringendes Gas bestimmte Enzyme der Zellen im Mesophyll der Blätter inaktiviert, andere aktiviert. Außerdem bewirkt  $\text{SO}_2$  neben der allgemeinen Steigerung der Permeabilität der Plasmamembranen in der Ultrastruktur der Zellen Zersetzungen, durch die in den Plasmaorganellen die Einheit von Struktur und Funktion aufgelöst wird.

Tabelle 4. Wirkung von 1 ppm  $\text{SO}_2/\text{m}^3$  auf die Öffnung der Stomata der Luzerne zwei Stunden nach Lichtentzug

Versuch	Kontrollpflanzen	behandelte Pflanzen
1	13,4 s · cm <sup>-1</sup>	21,4 s · cm <sup>-1</sup>
2	12,8 s · cm <sup>-1</sup>	20,8 s · cm <sup>-1</sup>
3	11,9 s · cm <sup>-1</sup>	21,6 s · cm <sup>-1</sup>
4	13,4 s · cm <sup>-1</sup>	21,7 s · cm <sup>-1</sup>
5	11,4 s · cm <sup>-1</sup>	21,6 s · cm <sup>-1</sup>
6	12,3 s · cm <sup>-1</sup>	21,8 s · cm <sup>-1</sup>
7	12,0 s · cm <sup>-1</sup>	21,4 s · cm <sup>-1</sup>
8	12,0 s · cm <sup>-1</sup>	21,3 s · cm <sup>-1</sup>
9	13,1 s · cm <sup>-1</sup>	21,2 s · cm <sup>-1</sup>
10	12,8 s · cm <sup>-1</sup>	22,0 s · cm <sup>-1</sup>
Durchschnitt:	13,71 s · cm <sup>-1</sup>	21,48 s · cm <sup>-1</sup>

Tabelle 5. Wirkung von 1 ppm  $\text{SO}_2/\text{m}^3$  auf die Öffnung der Stomata von Rotklee zwei Stunden nach Lichtentzug

Versuch	Kontrollpflanzen	behandelte Pflanzen
1	14,8 s · cm <sup>-1</sup>	29,1 s · cm <sup>-1</sup>
2	14,7 s · cm <sup>-1</sup>	28,7 s · cm <sup>-1</sup>
3	14,6 s · cm <sup>-1</sup>	28,7 s · cm <sup>-1</sup>
4	14,8 s · cm <sup>-1</sup>	28,9 s · cm <sup>-1</sup>
5	13,9 s · cm <sup>-1</sup>	28,4 s · cm <sup>-1</sup>
6	13,9 s · cm <sup>-1</sup>	28,1 s · cm <sup>-1</sup>
7	14,8 s · cm <sup>-1</sup>	28,1 s · cm <sup>-1</sup>
8	14,5 s · cm <sup>-1</sup>	29,3 s · cm <sup>-1</sup>
9	14,3 s · cm <sup>-1</sup>	29,1 s · cm <sup>-1</sup>
10	14,2 s · cm <sup>-1</sup>	28,9 s · cm <sup>-1</sup>
Durchschnitt:	14,45 s · cm <sup>-1</sup>	28,73 s · cm <sup>-1</sup>

Tabelle 6. Wirkung von 1 ppm SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> auf die Evapotranspiration der Luzerne im Licht in Abhängigkeit von Behandlung und Zeit (g/Gefäß)

unbehandelte Pflanzen		behandelte Pflanzen	
Stunden	Evapotranspiration	Stunden	Evapotranspiration
1	7,97	1	8,97
2	8,00	2	9,97
3	7,87	3	10,87
4	8,10	4	7,47
5	7,73	5	5,20
6	8,00	6	4,73
7	7,53	7	3,83
8	7,60	8	2,90
9	8,00	9	1,00*
10	8,67	10	0,10
11	7,70	11	0,10
12	8,07	12	0,10

S<sub>D</sub> 5 % 0,16

\* kritischer Wassermangel

Tabelle 7. Wirkung von 1 ppm SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> auf die Evapotranspiration des Rotklee im Licht in Abhängigkeit von Behandlung und Zeit (g/Gefäß)

unbehandelte Pflanzen		behandelte Pflanzen	
Stunden	Evapotranspiration	Stunden	Evapotranspiration
1	7,33	1	8,00
2	7,00	2	8,67
3	8,00	3	10,03
4	8,00	4	11,37
5	8,00	5	11,00
6	7,67	6	7,47
7	7,60	7	4,97
8	8,00	8	3,77
9	7,53	9	1,37
10	8,13	10	0,93*
11	7,83	11	0,10
12	7,83	12	0,10

S<sub>D</sub> 5 % 0,24

\* kritischer Wassermangel

Darauf sind auch der bei Einwirkung von SO<sub>2</sub> auftretende schnelle und irreversible Kollaps der Mesophyllzellen, die Plasmolyseerscheinungen sowie der in der gesamten Pflanze sich einstellende kritische Wassermangel zurückzuführen.

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Ergebnisse unserer Versuche zusammenfassend kann festgestellt werden, daß das Absterben von Pflanzen, die Schwefeldioxiدينwirkungen ausgesetzt sind, neben der direkten Schädigung im Stoffwechsel, durch die schädigenden und irreversiblen Veränderungen im Wasserhaushalt der Pflanzen zustande kommt.

## S c h r i f t t u m

- Cecil, R., and R. G. Wake: The reactions of inter and intrachain disulphide bonds in protein with sulphite. *Biochem. J.* **82** (1962) 401.
- Jacobsen, J. S., and A. C. Hill: Sulphur dioxide. In: Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation. A Pictorial Atlas (ed. by Jacobsen and Hill), Pub. Air Poll. Control Assoc., Pittsburg 1970.
- Kanemasu, E. T., et al.: Design, Calibration, and Field Use of Stomatal Diffusion Porometer. *Plant Physiology* **44** (1969) 881.
- MacLeod, R. M., et al.: Purification and properties of hepatic sulfite oxidase. *J. biol. Chem.* **236** (1961) 1841.
- Weigl, J., und H. Ziegler: Die räumliche Verteilung von  $^{35}\text{S}$  und die Art der markierten Verbindungen in Spinatblättern nach Begasung mit  $^{35}\text{SO}_2$ . *Planta* **58** (1962) 435.
- Wellburn, A. R., et al.: Effects of  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_2$  polluted air upon the ultrastructure of chloroplast. *Environ. Pollut.* **3** (1972) 37.
- Zelitch, I.: The relation of glycolic acid synthesis to the primary photosynthetic carboxylation reaction in leaves. *J. biol. Chem.* **240** (1965) 1869.

Doz. Dr. Gyula Borka,  
Agrarwissenschaftliche Universität, Keszthely,  
Lehrstuhl für Botanik und Pflanzenphysiologie  
H - 8360 Keszthely  
Deak Ferenc utca 16  
VR Ungarn