

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

## **Die Wirkung von Ruß- und Schwefeldioxidemissionen auf wichtige Stoffwechselforgänge und den Ertrag der Kartoffel**

Von Gyula Borka und Katalin Sardi  
Mit 4 Tabellen  
(Eingegangen am 24. September 1979)

### **Einführung**

Von den festen Luftverunreinigungen sind Ruß und Flugasche die wichtigsten. Sie entstehen in erster Linie bei der Energie- und Wärmegewinnung auf Kohlebasis. Aus ähnlichen Quellen stammen auch die gasförmigen Verunreinigungen, von denen das Schwefeldioxid ernste Probleme hervorruft.

Es ist, wie für die meisten Emissionsstoffe, auch für Ruß, Flugasche und Schwefeldioxid typisch, daß sie nicht nur in unmittelbarer Nähe der Emissionsquelle, sondern auch in weiterer Entfernung von ihr auftreten und in der Vegetation erhebliche Schäden verursachen. Beobachtungen zeigten, daß wir noch in 1-2,5 km Entfernung von der Emissionsquelle in Windrichtung in der Nähe der Bodenoberfläche mit 1,4-1,8 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> rechnen können.

Betriebe, die große Mengen an SO<sub>2</sub> ausscheiden, versuchen durch hohe Schornsteine und Einbau von Filtern die hohen Belastungswerte zu verringern. Im Gegensatz dazu treten aber trotzdem in anhaltend belasteten Gebieten wesentliche Schäden bei Feldkulturen auf.

Schwefeldioxid beeinflusst zahlreiche Stoffwechselforgänge direkt ungünstig: Photosynthese (Tanaka et al. 1974), Wachstum (Cathey und Heggstad 1973), Eiweißsynthese (Arndt 1970), Trockensubstanzproduktion (Berényi 1955), Wasserhaushalt (Borka et al. 1977) und schließlich kommt die sich summierende Schädwirkung in der Minderung von Qualität und Quantität des Ertrages zum Ausdruck.

Ruß kann sich in bedeutenden Mengen auf den Blättern der Pflanzen absetzen, wo er die Oberfläche überzieht und die Spaltöffnungen verstopft. Die Folge davon sind Störungen der Photosynthese, des Wasserhaushaltes, des Wärmehaushaltes usw. (Polyak und Duda 1969; Borka 1978).

Noch größeren und bleibenden Schaden erleiden die Pflanzen, wenn SO<sub>2</sub> und Ruß gemeinsam einwirken. Solche synergistischen Emissionswirkungen untersuchten mehrere Autoren (Hodges et al. 1971; Tingey und Reinert 1975; Jacobson und Calavito 1976).

Im Verlaufe der Untersuchungen ergab sich auch die Tatsache, daß einzelne Pflanzensorten bzw. -sorten auf die verschiedenen Verunreinigungen unterschiedlich reagie-

ren. So ist z. B. die Resistenz gegenüber  $\text{SO}_2$  bei Spinat, Kartoffel und Tomate vererbbar (Ryder 1975).

Der Normalwert für den  $\text{SO}_2$ -Gehalt der Luft beträgt  $0,15 \text{ mg/m}^3$  in geschützten Gebieten und  $0,5 \text{ mg/m}^3$  im allgemeinen.

Nach den Messungen des ungarischen Institutes für physikalische Atmosphärenforschung tritt in der Umgebung des Wärmekraftwerkes „Gagarin“ in Windrichtung jährlich 49mal eine Belastung über den Normalwert auf. Nach den Untersuchungen mehrerer Autoren beeinflusst eine solche  $\text{SO}_2$ -Konzentration die Feldkulturen eindeutig ungünstig (Zahn 1970; Unsworth et al. 1972; Borka 1977). In der Literatur fehlen jedoch sowohl ausländische als auch heimische Untersuchungen, bei denen die Entwicklung, das Wachstum und die hauptsächlichlichen Stoffwechselprozesse der Pflanzen während der gesamten Vegetationsperiode untersucht wurden und die Belastung unterschiedlich ist. Ein besonderes Problem in der Praxis besteht darin, daß die Qualitäts- und Quantitätsveränderungen des Ertrages der meisten Feldkulturen noch nicht bekannt sind. So bleiben viele Streitfragen zwischen den landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften, den Industriebetrieben und der Versicherungsgesellschaft offen.

Zur teilweisen Klärung des Problemes untersuchten wir während der gesamten Vegetationsperiode Wachstum, Entwicklung und wichtige Stoffwechselvorgänge sowie Menge und Qualität des Ertrages bei Kartoffelpflanzen.

### Versuchsdurchführung

Als Versuchspflanzen benutzten wir die Kartoffelsorte „Somogyi Gyöngye“. Es wurden folgende Behandlungen vorgenommen:

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| A – Ruß                   | 1. $7 \text{ g/m}^2$ und Monat                           |
|                           | 2. $15 \text{ g/m}^2$ und Monat                          |
|                           | 3. $30 \text{ g/m}^2$ und Monat                          |
| B – $\text{SO}_2$         | 4. $1 \text{ mg/m}^3$                                    |
| C – Ruß und $\text{SO}_2$ | 5. $15 \text{ g/m}^2$ und Monat und $1 \text{ mg/m}^3$ . |

Für die Versuche mit Ruß benutzten wir einen Braunen Waldboden. Es wurden Versuche im Gewächshaus in Gefäßen und im Freiland auf Kleinparzellen mit  $\text{SO}_2$  und Ruß oder nur mit  $\text{SO}_2$  in Klimakammern in vierfacher Wiederholung durchgeführt.

Die Behandlung mit Ruß erfolgte aller drei Tage in den frühen Morgenstunden und abends bei relativer Windstille so, daß die Menge des sedimentierten Rußes auf den Versuchspflanzen mit der auf den Pflanzen der Umgebung des Wärmekraftwerkes „Gagarin“ abgesetzten Rußmenge übereinstimmte.

Zum genauen Vergleich benutzten wir zum Teil aus der Literatur bekannte Methoden (Klincsek 1975), zum Teil simulierten bzw. reproduzierten wir die in der Praxis vorkommende Verunreinigung mit Hilfe von mikroskopischen Aufnahmen.

Die Stoffwechseluntersuchungen begannen wir 12 Tage nach der ersten Behandlung und führten sie während der ganzen Vegetationsperiode fort.

Die Atmungsintensität maßen wir mit dem Warburg-Gerät (Kováč 1958), das lösliche Eiweiß bestimmten wir mit Hilfe der Folin-Reaktion (Fletcher und Osborne 1966), den Chlorophyllgehalt der Blätter mit dem Photospektrometer (Bruisma 1963), die Aktivität des Enzyms Katalase nach Frenyó (Frenyó 1962); die Öffnung der Stomata wurde mit dem Porometer bestimmt (Kanemasu et al. 1969), der Stärkegehalt nach Maercker auf der Basis des spezifischen Gewichtes. Den Wasserhaushalt der Pflanzen untersuchten wir gravimetrisch durch Auswiegen der Gefäße.

### Ergebnisse und Auswertung

Der Chlorophyllgehalt der Blätter sank durch den Einfluß von  $\text{SO}_2$  am Anfang der Vegetationsperiode (37tägige Behandlung) um 17 %, in der Mitte (60tägige Behandlung) um 21 % und am Ende (90tägige Behandlung) um 26 %. Der Karotinoidgehalt verringerte sich in geringerem Maße, aber mit gleicher Tendenz (Tab. 1).

Das Sinken des Chlorophyllgehaltes ist nicht nur auf die Wirkung des  $\text{SO}_2$  als Stoffwechselgift zurückzuführen, sondern wird auch durch den ständigen Turgormangel, der sich bei  $\text{SO}_2$ -Einwirkung einstellt, und den damit verbundenen gestörten Wärmehaushalt, hervorgerufen. Bei den mit  $\text{SO}_2$  behandelten Blättern war die Transpiration durch das Offenhalten der Spaltöffnungen um 41 % erhöht (Tab. 2).

Die Behandlung mit Ruß veränderte den Chlorophyllgehalt in ähnlicher Weise, jedoch in geringerem Maße. Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen Verunreinigungsmenge und Absinken des Chlorophyllgehaltes (Tab. 1).

Der Wasserhaushalt der Pflanzen wurde bei den mit Ruß behandelten Pflanzen durch das Verstopfen der Spaltöffnungen gestört (Tab. 2). Die aus diesem Grund verringerte Transpiration wirkt sich wegen der fehlenden Temperaturregelung schädlich aus. Die Temperatur der behandelten Blätter lag im Sommer an heißen Tagen um 17–18 % höher als die Temperatur der Kontrollblätter unter gleichen Bedingungen und verursachte so ein regelrechtes Versengen. Diese große Temperaturerhöhung wird nicht nur durch die behinderte Transpiration bewirkt, sondern ist auch eine Folge davon, daß die mit schwarzem Ruß bedeckten Blätter die Sonnenstrahlen sammeln und sich so stärker erwärmen.

Bei gemeinsamer Einwirkung von Ruß und  $\text{SO}_2$  sinkt der Chlorophyllgehalt am deutlichsten (Tab. 1). Die Transpirationsintensität jedoch liegt hier zwischen den Werten der Einzelbehandlung und denen mit beiden Verunreinigungsstoffen (Tab. 2).

Tabelle 1. Einfluß von  $\text{SO}_2$  und Ruß auf den Chlorophyllgehalt der Blätter von Kartoffelpflanzen, bezogen auf die Kontrollpflanzen (in %)

Behandlung		Vegetationsperiode		
		Beginn	Mitte	Ende
1. Ruß	7 g/m <sup>2</sup> und Monat	97	93	93
2. Ruß	15 g/m <sup>2</sup> und Monat	97	90	87
3. Ruß	30 g/m <sup>2</sup> und Monat	96	90	86
4. $\text{SO}_2$	1 mg/m <sup>3</sup>	83	79	64
5. Ruß und $\text{SO}_2$	15 g/m <sup>2</sup> Monat sowie 1 mg/m <sup>3</sup>	81	72	59

Tabelle 2. Einwirkung von  $\text{SO}_2$  und Ruß auf die Transpiration von Kartoffelpflanzen, bezogen auf die Kontrollpflanzen (in %)

Behandlung		Transpiration
1. Ruß	7 g/m <sup>2</sup> und Monat	89
2. Ruß	15 g/m <sup>2</sup> und Monat	80
3. Ruß	30 g/m <sup>2</sup> und Monat	60
4. $\text{SO}_2$	1 mg/m <sup>3</sup>	141
5. Ruß und $\text{SO}_2$	15 g/m <sup>2</sup> Monat sowie 1 mg/m <sup>3</sup>	117

Atmungsintensität und Katalase-Aktivität sanken bei der Kartoffel durch Einwirkung der Verunreinigungen eindeutig ab. Dies ist bei der Behandlung mit Ruß und  $\text{SO}_2$  am deutlichsten: hier sind bereits die in der Mitte der Vegetationsperiode gemess-

Tabelle 3. Einfluß von Ruß und SO<sub>2</sub> auf die Atmungsintensität und die Katalase-Aktivität der Blätter von Kartoffelpflanzen, bezogen auf die Kontrollpflanzen (in %)0)

Behandlung		Atmungsintensität Vegetationsperiode			Katalase-Aktivität Vegetationsperiode		
		Beginn	Mitte	Ende	Beginn	Mitte	Ende
1. Ruß	7 g/m <sup>2</sup> und Monat	94	90	87	97	93	90
2. Ruß	15 g/m <sup>2</sup> und Monat	81	79	72	89	94	81
3. Ruß	30 g/m <sup>2</sup> und Monat	79	70	67	80	76	70
4. SO <sub>2</sub>	1 mg/m <sup>3</sup>	74	69	61	77	70	69
5. Ruß und SO <sub>2</sub>	15 g/m <sup>2</sup> Monat sowie 1 mg/m <sup>3</sup>	67	59	50	71	68	62

Tabelle 4. Einfluß von SO<sub>2</sub> und Ruß auf den Ernteertrag der Kartoffel, bezogen auf die Kontrollpflanzen (in %)0)

Behandlung		Ertrag
1. Ruß	7 g/m <sup>2</sup> und Monat	97
2. Ruß	15 g/m <sup>2</sup> und Monat	90
3. Ruß	30 g/m <sup>2</sup> und Monat	83
4. SO <sub>2</sub>	1 mg/m <sup>3</sup>	46
5. Ruß und SO <sub>2</sub>	15 g/m <sup>2</sup> Monat sowie 1 mg/m <sup>3</sup>	9

senen Werte niedriger als die Werte, die bei der Einzelwirkung von Ruß oder SO<sub>2</sub> am Ende der Vegetationsperiode gemessen wurden (Tab. 3).

Die größte Auswirkung hatte die Verunreinigung auf den Ertrag der Kartoffel. So erhielten wir zum Beispiel bei den mit Ruß und SO<sub>2</sub> behandelten Pflanzen pro Pflanze zwei bis drei 20–30 g schwere Kartoffelknollen, dies ist weniger als 10 %, bezogen auf die Kontrollpflanzen (Tab. 4).

Die Emissionsstoffe beeinflussen auch die Qualität der Kartoffel ungünstig, so den Stärkegehalt. Mit steigender Rußverunreinigung verringerte sich der Stärkegehalt um 7–9 %.

### Zusammenfassung

- Aus den Ergebnissen unserer Untersuchungen können wir feststellen, daß
- der Chlorophyllgehalt der Blätter bei Einwirkung von SO<sub>2</sub> sinkt und das Absinken zur Menge und zur Einwirkzeit von SO<sub>2</sub> im Verhältnis steht;
  - bei Behandlung mit Ruß und Flugasche der Chlorophyllgehalt der Blätter im Verhältnis zur Verunreinigung sinkt, aber in geringerem Maße als bei SO<sub>2</sub>-Behandlung;
  - sich durch Einwirkung von SO<sub>2</sub> die Spaltöffnungen der Blätter nachts nicht schließen können, weshalb die Transpiration wesentlich erhöht ist;
  - die Behandlung mit Ruß durch Verstopfen der Stomata nicht nur die Transpiration ungünstig beeinflusst, sondern auch den Gasaustausch und den Wärmehaushalt der Pflanzen;
  - die Atmungsintensität und die Katalase-Aktivität bei allen Behandlungsarten, insbesondere bei der Behandlung mit SO<sub>2</sub> und Ruß, zurückgehen;
  - auch der Knollenertrag und der Stärkegehalt durch die Verunreinigung wesentlich, besonders bei der gemeinsamen Behandlung mit SO<sub>2</sub> und Ruß, sinken.

### Schrifttum

- Arndt, U.: Konzentrationsänderungen bei freien Aminosäuren in Pflanzen unter dem Einfluß von Fluorwasserstoff und Schwefeldioxid. *Staub* 30 (1970) 256–259.
- Berényi, D.: A szennyezett városi levegő csökkenti a termést. *Időjárás* 59 (1955) 64.
- Borka, Gy.: Levegőszennyeződés hatása a növények élettani folyamataira. *MCNTI*. 1 (1977) 127–139.
- Borka, Gy., et al.: Cementgyári por hatása a buzafajták fejlődésére, növekedésére és főbb anyagcsereélettani folyamataira. *A Keszthelyi Agr. Egyetem Közleményei* 20 (1977) 1–11.
- Borka, Gy.: SO<sub>2</sub> hatása a transzspirációra. XIII. Biol. Vándorgyűlés előadásainak ismertetése, Budapest (1978).
- Bruisma, J.: The Quantitative Analysis of Chlorophylls in Plant Extracts. *Photochem. and Photobiol.* 2 (1963) 231–243.
- Cathey, H. M., and H. E. Heggstad: Effects of Growth Retardants and Fumigations with Ozone and Sulfur Dioxide on Growth and Flowering of Willd. *Horticultural Science* 98 (1973) 3–7.
- Fletcher, R. A., and D. J. Osborne: Gibberellin, as a Regulator of Protein and Ribonucleic Acid Synthesis During Senescence in Leaf Cells. *Canad. J. of Botany* 44 (1966) 739–745.
- Frenyó, V.: Neues Verfahren zur Feststellung der Katalase-Aktivität von Pflanzen im freien Feld. *Annal. Univ. Sci., Budapest* 5 (1962) 131–136.
- Hodges, G. H., et al.: Susceptibility of Wisconsin Havana Tobacco Cultivars to Air Pollutants. *J. Amer. Soc. of Agronomy* 63 (1971) 107–111.
- Jacobson, J. S., and L. J. Colavito: The Combined Effect of Sulfur Dioxide and Ozone on Bean and Tobacco Plants. *Environmental Exp. Bot., Oxford* 16 (1976) 277–285.

- Kanemasu, E. T., et. al.: Design, Calibration, and Field Use of a Stomatal Diffusion Porometer. *Plant Physiology* 44 (1969) 881-885.
- Klincsek, P.: Az emberi környezetet és a növényvilágot veszélyeztető cementpor. *Buvár* 30 (1975) 348-351.
- Kovács, A.: A kísérleti orvostudomány vizsgáló módszere. Akadémiai Kiadó. Budapest 1958.
- Polyák, D., and L. Duda: A mátravidéki hőerőmű pernyéjének anyagi természete. *Kertészeti Egyetem Közleményei* 33 (1969) 211-224.
- Ryder, E. J.: Selecting and Breeding Plants for Increased Resistance to Air Pollutants. *Environmental Pollution* 122 (1975) 75-84.
- Tanaka, H., et al.: Experimental Studies on SO<sub>2</sub> Injuries in Higher Plants. *Water, Air and Soil Pollution* 3 (1974) 11-16.
- Tingey, D. T., and R. A. Reinert: The Effect of Ozone and Sulfur Dioxide Singly and in Combination on Plant Growth. *Environmental Pollution* 122 (1975) 117-125.
- Unsworth, M. H., et al.: Stomatal Responses to Sulfur Dioxide. *Nature* 239 (1972) 458-459.
- Zahn, R.: Wirkung von Kombinationen unterschwelliger und toxischer Schwefeldioxid-Dosen auf Pflanzen. *Staub* 30 (1970) 162-164.

Dr. Gyula Borka und Katalin Sárdi  
Agrarwissenschaftliche Universität, Keszthely  
Lehrstuhl für Botanik und Pflanzenphysiologie  
H - 8361 Keszthely  
Deák Ferenc utca 16  
VR Ungarn