

Zur Bedeutung von Antitranspirationsmitteln für tropische Kulturpflanzen

Von

LORE STEUBING, REIMER HERRMANN und RICHARD MICHLER

Mit 5 Abbildungen

Resumen

Para encontrar los efectos de algunas sustancias químicas sobre la economía hídrica del vegetal, se fumigaron en experimentos de campo e invernadero plantas de *Trifolium repens*, *Phaseolus vulgaris* y *Manihot esculenta* con soluciones de 0,1—0,5 % Octadecanol, 15 % Triton 500 (ya usado en Colombia como insecticida) y con una emulsión de 1 % Aceite y otra de 10 % Cresopinol. Todas estas sustancias produjeron, sobre los vegetales sujetos a investigación, una disminución en la pérdida de agua, la que se hizo notoria por un decrecimiento de la transpiración y de la velocidad del transporte hídrico a través del tallo, también por una disminución del déficit de saturación y un aumento del valor pomométrico y de la temperatura de las hojas. Una fumigación de aceite únicamente, produjo en la mayoría de los casos infiltraciones bastante fuertes. Después del tratamiento con Cresopinol aparecieron bastantes áreas necróticas. Con Octadecanol se disminuyó en la forma más efectiva la transpiración (pérdida de agua), mientras que el Triton tomó una posición intermedia.

Summary

The influence of different foliar sprays as antitranspirants (solutions of Octodecanol 0.1—0.5 % and some substances which are commonly used in Colombia as pesticides such as Triton 15 %, Cresopinol 10 %, oil emulsion 1 %) have been tested on *Trifolium repens*, *Phaseolus vulgaris* and *Manihot esculenta* under field and under glass-house conditions. The water loss of these plants decreased considerably after application. A remarkable reduction of the speed of water transport in the stem could be measured as well as a decline of both transpiration and water deficit of the leaves. Decrease of leaf temperatures and porometer values have been observed. Octodecanol was most efficient, followed by Triton 500. A spray of oil caused infiltration and toxic effects; the same influences have been noted after application of Cresopinol, but somewhat less frequently.

Zusammenfassung

In Freiland- und in Gewächshausversuchen wurden 0,1—0,5 %ige Lösungen von Octadecanol sowie das in Kolumbien zur Schädlingsbekämpfung eingesetzte

Triton 500 (etwa 15 %ig), ferner eine Ölemulsion (1 %ig) und Cresopinol (10 %ig) auf ihre Bedeutung für den Wasserhaushalt von Pflanzen geprüft. Die aufgesprühten Lösungen bzw. Emulsionen bewirkten bei allen Testpflanzen (*Trifolium repens*, *Phaseolus vulgaris* und *Manihot esculenta*) eine Verringerung der Wasserabgabe, die sich in einer Senkung von Transpiration und Geschwindigkeit des aufsteigenden Wassertransportes im Sproß, einer Verminderung des Sättigungsdefizits sowie in einer Erhöhung des Porometerwertes und der Blatttemperatur bemerkbar machten. Ein Aufsprühen von Öl allein führte meist zu starken Infiltrationen. Auch nach einer Cresopinol-Behandlung traten vielfach starke Nekrosen auf. Die stärkste Drosselung der pflanzlichen Wasserverluste wurde durch Octadecanol erreicht, während Triton eine Mittelstellung einnahm.

Einleitung

In heißen Ländern, in denen große Anbauflächen bewässert werden müssen, wird nach Mitteln zur Einschränkung der Wasserverluste von Boden und Pflanzen gesucht. So existieren bereits eine Reihe von Angaben über eine erfolgreiche Bodenbehandlung mit Hexadecanol, bei der eine merkliche Senkung der Evaporation eintrat (LEMON 1956, OLSØN et al. 1962). Auf dicht bewachsenem Boden vollzieht sich der Wasserverlust in erster Linie durch die pflanzliche Transpiration. Diese läßt sich durch eine Reihe von Antitranspirationsmitteln senken. Als solche kommen nach DAVENPORT (1967) Substanzen in Betracht, die einen Filmüberzug der Blätter ergeben oder aber über biochemische Reaktionen den Turgor der Zellen beeinflussen und damit auf die Stomatabewegung einwirken. Voraussetzung für den Erfolg solcher Versuche wird stets sein, daß das Antitranspirationsmittel nicht phytotoxisch wirkt, impermeabel für Wasserdampf ist und doch die Diffusion von CO₂ und O₂ keine stärkere Behinderung erfährt (GALE 1961, SLATYER & BIERHUIZEN 1964). GALE (1967) konnte zeigen, daß ein Antitranspirationsmittel, das noch wasserdampfdurchlässig ist, u. U. sogar zu einer Erhöhung der Wasserabgabe führt, wenn nämlich der Spaltenschluß durch das aufgesprühte Mittel mechanisch erschwert wird.

Bei den in tropischen Ländern oft sehr großflächig angebauten Kulturen findet vielfach eine Herbizid- und Insektizidbehandlung von Flugzeugen aus statt. Es besteht durchaus die Möglichkeit, daß einigen solcher handelsüblichen Spritzmitteln bereits eine leicht transpirationssenkende Wirkung zukommt, handelt es sich doch vornehmlich um Mittel, die einen Überzug auf den behandelten Blättern ergeben und somit Schädlingen das Eindringen erschweren.

Wir prüften zunächst, in welchem Umfang das Antitranspirationsmittel Octadecanol zu einer Transpirationssenkung führt. Außerdem wurde das in Kolumbien von Flugzeugen aus versprühte Mittel Triton 500 samt einer Ölsuspension sowie Cresopinol als Testsubstanzen verwendet.

Untersuchungsmaterial und Versuchsmethodik

Als Testpflanzen wurden bei unseren Experimenten in Giessen für Freilandversuche *Trifolium repens* verwendet, die feldmäßig in 2 faktoriellen Blockanlagen mit jeweils 4 Wiederholungen angebaut wurden. Gewächshausversuche unter kontrollierten klimatischen Bedingungen fanden mit der bereits häufiger für ähnliche Fragestellungen verwendeten *Phaseolus vulgaris* statt.

In Kolumbien wurde die Wirkung transpirationshemmender Substanzen auf *Manihot esculenta* geprüft.

Bestimmt wurden die Blattemperatur und die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes nach der thermoelektrischen Methode (MICHLER & STEUBING 1968). Die Transpiration wurde nach der Momentanmethode (STOCKER 1929) und Aussagen über die Öffnungsweite der Stomata mittels des Seifenblasenporometers (RASCHKE 1965) gewonnen. Das Sättigungsdefizit der Blätter ließ sich nach CATSKY (1962) und der pF-Wert des Bodens nach MCQUEEN & MILLER (1966) ermitteln.

Freiland- und Gewächshausversuche in Giessen

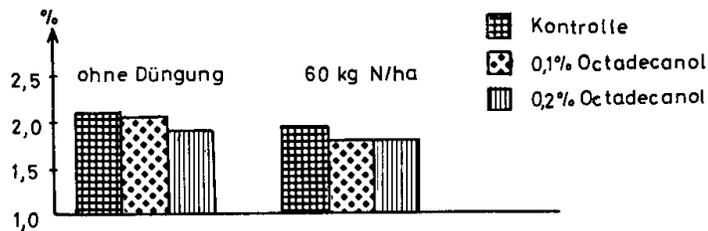
Im gemäßigten Klima wird das Einsetzen von Antitranspirationsmitteln nur dann sinnvoll sein, wenn im Hochsommer mit einer längeren Dürreperiode gerechnet werden kann. Es vermag allerdings, wie die Befunde eines regenreichen Sommer bei uns zeigten, ein aufgesprühtes Mittel wie Octadecanol auch in einem feuchten Sommer von Bedeutung zu sein: Durch den wachsartigen Überzug auf den Blättern, der durch die Besprühung erreicht wird, wurde nämlich der Schädlingsbefall mit Mehltau stark reduziert. So hoben sich bei unseren Feldversuchen die besprühten Kleeparzellen deutlich von den unbehandelten Kontrollen ab. Offenbar hatte das auf den Pflanzen haftende Sprühmittel den Schädlingen ein Eindringen in den Wirt erschwert.

An warmen Sommertagen kann eine Besprühung mit Octadecanol u. U. zu einer erheblichen Transpirationssenkung führen, wie Abb. 1 zeigt. Im vorliegenden Falle waren die Kulturen 4 Wochen vor der Messung zum ersten Male mit einer 0,1%igen bzw. 0,2%igen Lösung von Octadecanol unter Zusatz des Netzmittels Tween 20 besprüht worden. Weitere Besprühungen erfolgten 14 Tage und 2 Tage vor den Transpirationsmessungen. Die später durchgeführten Bestimmungen der Trockensubstanz ergaben keine gesicherten Unterschiede zwischen den einzelnen Parzellen, wohl aber war der Rohaschegehalt der Trockensubstanz sowohl in der gedüngten als auch in der ungedüngten Parzelle durch Sprühung mit Octadecanol signifikant vermindert.

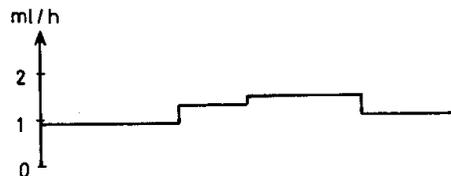
Dieses Freilandergebnis ließ sich durch Gewächshausversuche ergänzen, bei denen *Phaseolus vulgaris* als Testpflanze diente. Für die Ver-

TRIFOLIUM REPENS

Rohaschegehalt
(in % des Trockengewichtes)



Evaporation



Transpiration

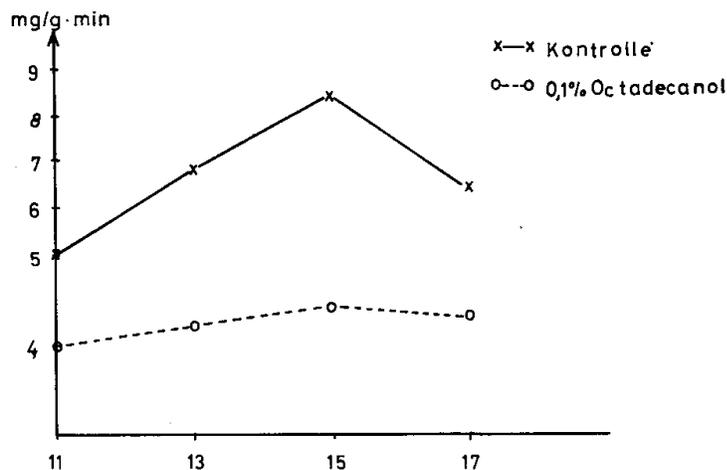


Abb. 1. Transpiration und Rohaschengehalt von *Trifolium repens* mit und ohne Octadecanolbehandlung.

suche wurden Pflanzen verwendet, die in Mitscherlichgefäßen bei 50 % und bei 100 % Wasserkapazität (WK) angezogen worden waren. Einen Tag vor der eigentlichen Messung wurden die Testpflanzen mit 0,5 %igen Lösungen von Triton 500, Cresopinol und Octadecanol, die Kontrolle mit aqua dest. gründlich besprüht. Bei dem seitlichen Ansprühen wurden vielfach nicht nur die Blattoberseiten, sondern auch die Unterseiten be-

netzt. Am Versuchstag betrug die mittlere Temperatur im Gewächshaus 25°C, die rel. Feuchte 66% und die Strahlung 0,18 Kcal. Die pF-Werte lagen bei den Kontrollen, die eine Wasserversorgung von 50% WK erhalten hatten, um 1,9, bei den auf volle WK gegossenen Pflanzen um 1,75. In welchem Umfang die pF-Werte des Bodens durch die verschiedenartige Behandlung der Pflanzen beeinträchtigt worden waren, ließ sich nicht eindeutig feststellen, da die Wüchsigkeit der Pflanzen in den einzelnen Gefäßen dafür nicht einheitlich genug ausfiel. Besonders in den auf halbe Wasserkapazität gegossenen Gefäßen war aber die Tendenz eines Absinkens der Boden-Saugwerte bei den besprühten Pflanzen unverkennbar.

Abb. 2 gibt die Meßwerte für die Transpiration und für die Geschwindigkeit des Wassertransportes in *Phaseolus vulgaris* wieder. Aus der Abbildung geht hervor, daß die aufgesprühten Mittel zu einer Verminderung der Wasserabgabe führten, wobei das wachsartige Octadecanol den höchsten, Triton den geringsten Effekt besaß, während Cresopinol eine Mittelstellung einnahm. Die genannte Abstufung gilt sowohl für die Ergebnisse der Transpirations- als auch der Messung der Steiggeschwindigkeit des Wassers in den Leitungsbahnen. Es fällt auf, daß der Abfall im Wassertransport und die Drosselung der Transpiration bei Bezug auf die Kontrolle oder auch bei einem Vergleich zwischen den auf

PHASEOLUS VULGARIS

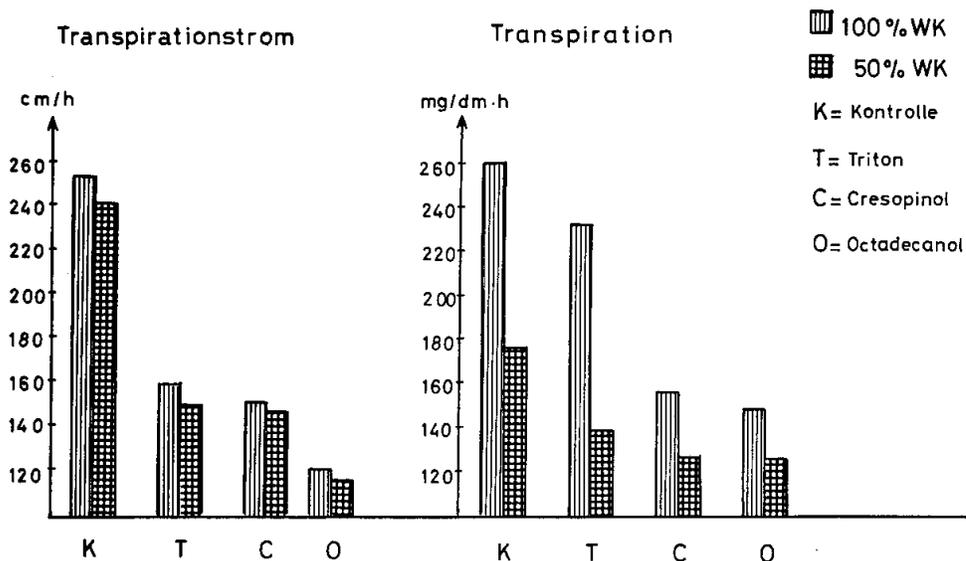


Abb. 2. Transpiration und Geschwindigkeit des Wassertransportes im Sproß von *Phaseolus vulgaris* nach vorangegangener Besprühung mit destilliertem Wasser oder mit Lösungen.

Durchlauf und den auf 50% WK gegossenen Pflanzen nicht in gleicher Größenordnung erfolgte. Hierbei ist zu bedenken, daß die thermoelektrische Messung der Geschwindigkeit des Transpirationsstromes nicht an den gleichen Pflanzen vorgenommen wurde, an denen die Transpirationsbestimmungen erfolgten, die ja jeweils mit Blattverlusten verbunden sind.

Freilandversuche in Santa Marta/Kolumbien

Vom Instituto Colombo-Alemán in Santa Marta als Basisstation aus wurden von uns Untersuchungen zum Wasserhaushalt von *Manihot utilissima* in der Zone des trockenen Dorngehölzes durchgeführt. Die stärkereichen Knollen dieser Euphorbiacee sind eine wichtige Nahrungsquelle für die ärmere Bevölkerung. Maniok gedeiht am besten bei einer Jahresmitteltemperatur von 20°C und hoher Boden- und Luftfeuchtigkeit (ESDORN 1961). Maniok-Anpflanzungen finden sich aber auch im trockenen Gebiet des Dornbusches, wo zur Sicherung guten Ertrags bisweilen eine Bewässerung notwendig wird. Dies ist besonders dort der Fall, wo die Kulturen — wie unsere Testpflanzen — auf etwas versalzten Böden stocken. Abb. 3 verdeutlicht, daß bereits eine kurzfristige Bewässerung die Bodensaugkraft merklich herabsetzt und damit die Wasserversorgung der Pflanzen verbessert. So wurde bei unserer Messung am 5. 4. 1968 an der Bodenoberfläche der unbewässerten Kulturen ein pF-Wert von 4,9 und damit eine Bodensaugkraft von fast 90 atm gemessen, während gleichzeitig an der Bodenoberfläche der kurz zuvor für etwa 3 Stunden bewässerten Kulturen ein pF-Wert von 3,4 und damit eine Saugkraft von nur 4 atm ermittelt wurden. Bei den sehr hohen Saugwerten, die ohne Bewässerung in diesem Gelände auftreten, fanden sich keine Saugwurzeln nahe der Bodenoberfläche, wohl aber waren sie zahlreich in einer mittleren Tiefe von 10 cm. Hier herrschten an unserem Meßtage am unbewässerten Standort nur noch 38 atm, die in 40 cm Tiefe bereits auf 8 atm abgesunken waren. Die osmotischen Werte der Maniok-Blätter lagen sowohl bei den bewässerten als auch bei den unbewässerten Kulturen über 40 atm. Damit übertrafen sie aber auch die Bodensaugwerte im Bereich der Rhizosphäre. Die osmotischen Werte der bewässerten Kulturen lagen selbstverständlich etwas niedriger als die der trocken gehaltenen Pflanzen (KREEB 1964). Die unterschiedliche Bodenwasserversorgung spiegelt sich auch in der Transpiration der Maniok-Pflanzen, im Porometerwert und der Geschwindigkeit des Transpirationsstromes wider: so führt eine Bewässerung zu höherer Transpirationsleistung, höherer Geschwindigkeit der Wasserströmung und längeren Porometerzeiten. Es war nun zu prüfen, ob die starke Reaktion von *Manihot* auf eine Änderung der Bodenwasserversorgung auch auftritt, wenn die Diffusion des Wasserdampfes durch die Stomata durch Besprühen mit Antitranspirationsmitteln oder mit Herbiziden und In-

MANIHOT ESCULENTA

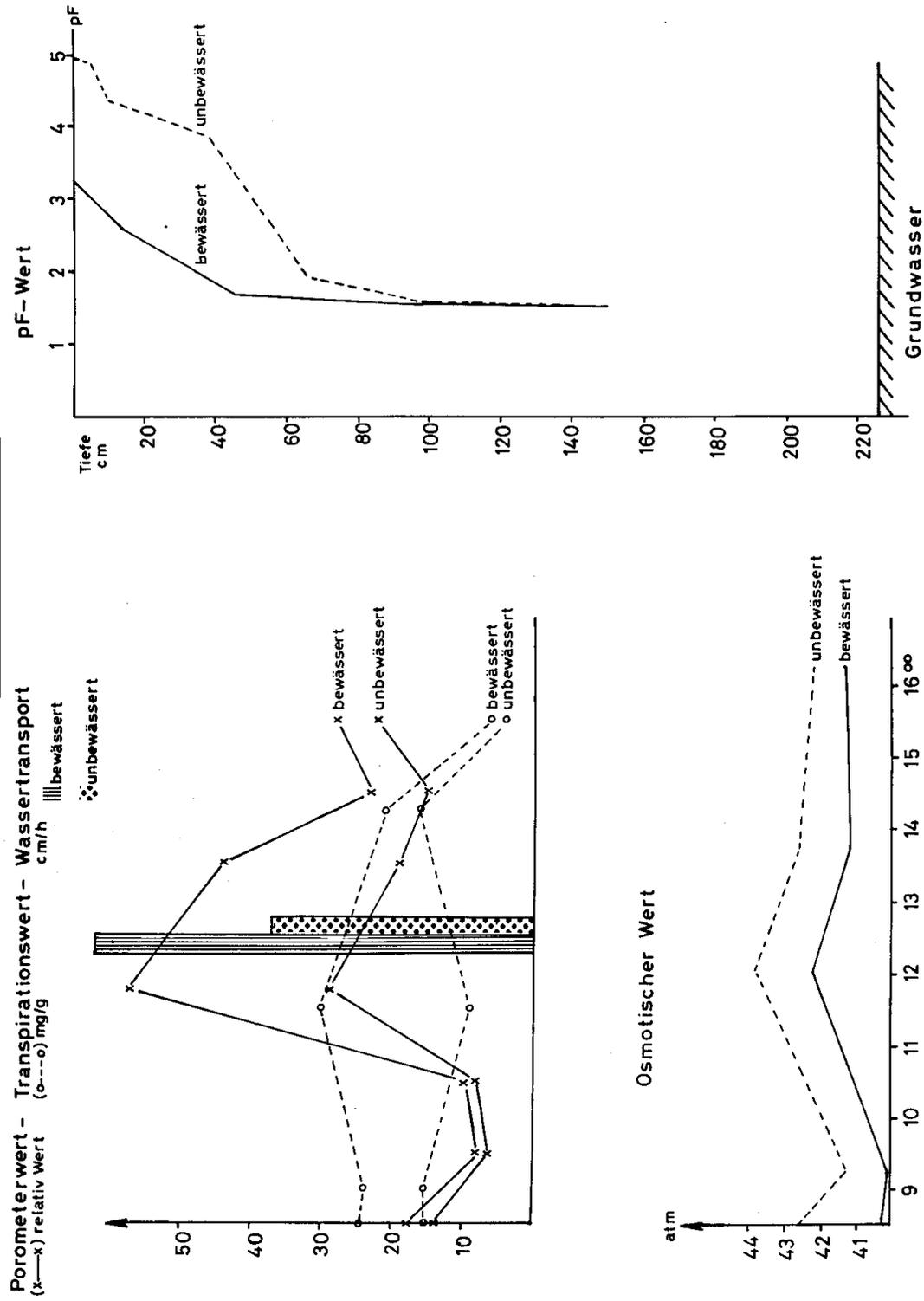


Abb. 3. Porometer-, Transpirations-, osmotischer Wert und Geschwindigkeit des Wassertransportes sowie pF-Werte bei bewässerten und unbewässerten Kulturen von *Manihot esculenta*.

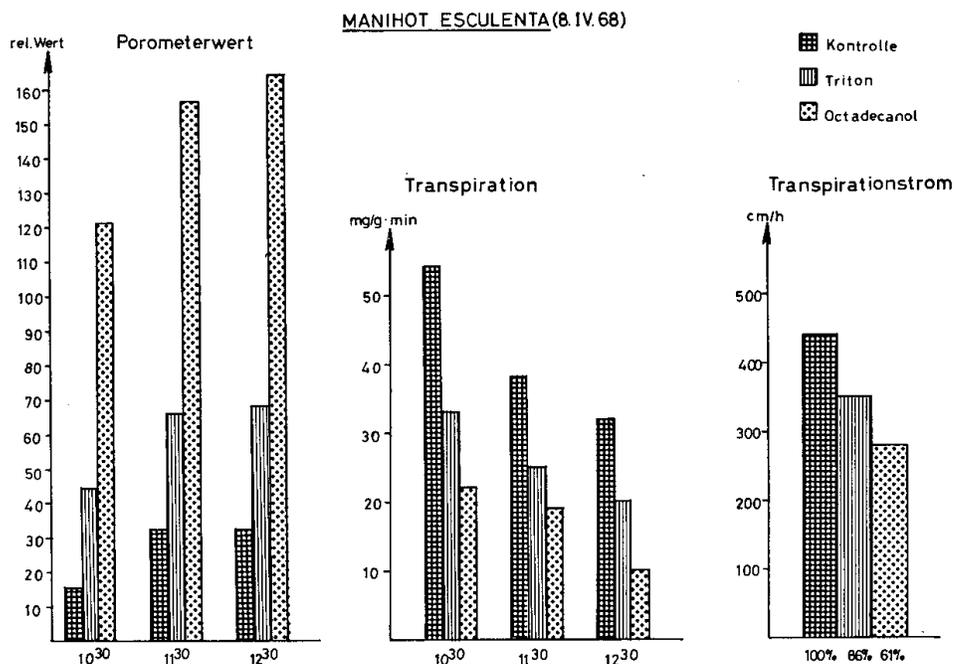


Abb. 4. Porometerwert, Transpiration und Geschwindigkeit des Wassertransportes bei behandelter und unbehandelter *Manihot esculenta*.

sektiziden behindert wird. Abb. 4 gibt die erzielten Resultate: einen Tag vor der eigentlichen Messung wurden die Testpflanzen mit 0,1%iger Lösung von Octadecanol sowie mit 0,5%iger Lösung von Triton unter Zusatz einiger Tropfen Öl gründlich besprüht. (Auch hier griff die Benetzung teilweise von der Blattoberfläche auf die Unterseiten über.) Während der Messung stiegen die Lufttemperaturen von 31,4 auf 33,8°C an, die Evaporation betrug pro Stunde 0,72 bis 0,81 ml, die Windgeschwindigkeit schwankte zwischen 0,5 und 0,8 m/sec, und die Strahlung lag bei 1,25 bis 1,48 Kcal. Die relative Luftfeuchtigkeit betrug 49—53%. Auch bei diesen Untersuchungen besaß Octadecanol wieder den stärksten Effekt und bewirkte eine Verringerung der Wassertransportgeschwindigkeit im Sproß um 86%. Durch eine entsprechende Tritonbehandlung wurde dagegen nur eine Verminderung um 61% erreicht. Die Transpirations- und Porometerwerte ließen ebenfalls deutlich die Art der jeweiligen Vorbehandlung der Testpflanzen an der Differenz der Werte gegenüber den unbehandelten Kontrollen erkennen.

Ergänzende Untersuchungen im Jahre 1969 beschränkten sich auf Messungen der Blattertemperatur und des Sättigungsdefizits der Maniokblätter. Gleichmaßen wie im Vorjahre wurden auch die Pflanzenblätter am Abend vor der Messung mit den zu prüfenden Substanzen besprüht. Zusätzlich zu den bisher verwendeten Mitteln wurde noch eine 1%ige Ölsuspension eingesetzt. Die in Abb. 5 dargestellten Meß-

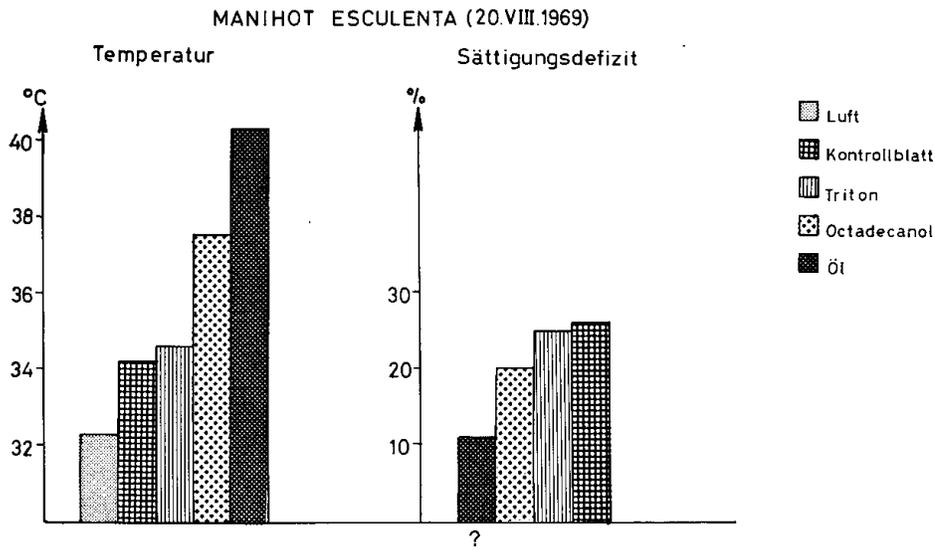


Abb. 5. Luft- und Blattoberflächentemperaturen sowie Wassersättigungsdefizit der Blätter von *Manihot esculenta* nach verschiedener Behandlung.

ergebnisse lassen erkennen, daß sich bei allen behandelten Pflanzen eine deutliche Erhöhung der Blattoberflächentemperaturen und eine Senkung des Wasserdefizits in den Blättern ergab. Die höchsten Differenzen gegenüber den Kontrollen traten nach einer Ölbesprühung auf. Gleichzeitig führte diese aber zu starken Infiltrationen und später zu deutlichen Nekrosen. Die Aufsättigung der Blätter blieb daher auch unvollständig.

Diskussion der Ergebnisse

Die geprüften Substanzen besaßen bei allen Testpflanzen, unter Freiland- und unter Gewächshausbedingungen, im gemäßigten und im heißen Tropenklima einen deutlichen Einfluß auf den Wasserhaushalt. Bei einem Aufsprühen der Lösungen wird natürlich in erster Linie die Blattoberfläche benetzt, so daß die nach Abtrocknen der Lösungen verbleibenden Überzüge vor allem die kutikuläre Transpiration beeinträchtigen. Bei dem intensiven Besprühen mit kleinen Handspritzen wird allerdings auch die Blattunterseite — zumindest teilweise — benetzt, wodurch dann die Spaltöffnungen ebenfalls betroffen werden und sich damit der Diffusionswiderstand des Blattes weiter erhöht (HUNT & IMPENS 1968). Da die Benetzung der Blattunterseiten sehr ungleich war, fand damit auch eine sehr unterschiedliche Drosselung der Wasserabgabe bei einem Vergleich verschiedener Blätter untereinander statt. So konnten bei Verwendung des gleichen Antitranspirationsmittels die Werte für verschiedene Blätter bei Transpirations- oder Porometermessungen um mehr als

100% voneinander abweichen, und nur durch eine große Zahl von Kontrollmessungen lassen sich dann Aussagen über die Wirksamkeit eines Sprühmittels machen. Aber auch Blätter, die keiner Behandlung unterworfen und unmittelbar aufeinanderfolgend am Sproß inseriert waren, wiesen verschieden hohe Wassertransportgeschwindigkeit im Blattstiel auf, für die wohl die jeweilige Blattstellung und die Größe der besonnenen Blattfläche wesentlich sein dürften (Tab. 1).

Tabelle 1. Geschwindigkeit des Wassertransportes in den Stielen aufeinanderfolgender Blätter von *Manihot esculenta*.

Blatt Nr.	Steiggeschwindigkeit cm/h		
	1	328	326
2	102	105	106
3	124	125	118
4	220	215	207

Um brauchbare Resultate über die Beeinflussung des Wasserhaushaltes durch eine bestimmte Behandlung der Pflanzen zu erhalten, scheint am sinnvollsten von den hier verwendeten Methoden die thermoelektrische Messung des Wassertransportes zu sein. Allerdings müssen die Thermolemente nahe an der Basis des Sprosses angebracht werden. Man erhält dann ein Integral über die Wasserversorgung der gesamten Blattmasse, nicht aber Zufallswerte für Einzelblätter.

Die bereits von anderen Autoren angegebene Senkung der Transpiration durch Antitranspirationsmittel (STODDART & MILLER 1962, SLATYER & BIERHUIZEN 1964a) führt zugleich zu einer Erhöhung der Blattemperatur, die auch bei unseren Pflanzen deutlich wurde. Nach SLATYER & BIERHUIZEN (1964b) wird durch Reduktion der Transpiration um 50% eine Temperaturerhöhung von 4°, bei völliger Drosselung der Wasserabgabe eine solche von 8—9° erzielt. Bei Maniok fand durch eine Besprühung mit Öl die stärkste Senkung der Transpiration bei gleichzeitig starkem Anstieg der Blattemperatur statt. Da nach dieser Behandlung Nekrosen auftraten und die Blätter einen Tag später völlig verwelkt waren, ist von einer solchen Ölbesprühung abzuraten. In all unseren Versuchen ließen sich die besten Resultate mit Octadecanol erzielen. Aber auch dem bereits zur Schädlingsbekämpfung im Einsatz befindlichen Triton 500 kommt für eine Senkung der pflanzlichen Wasserverluste durchaus eine Bedeutung zu.

Schrifttum

- CATSKY, J.: Water saturation deficit in the wilting plant. — Biol. Plant., 4, 306—311, Praha 1962.
 DAVENPORT, D. C.: Effects of chemical antitranspirants on transpiration and growth of grass. — J. Exper. Bot., 18, 332—347, Oxford 1967.

- ESDORN, I.: Die Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen der Weltwirtschaft. — G. Fischer Verlag, Stuttgart 1961.
- GALE, J.: Studies on plant antitranspirants. — *Physiol. Plant.*, **14**, 777—786, Copenhagen 1961.
- GALE, J. & POLJAKOFF-MAYBER: Plastic films on plants as antitranspirants. — *Science*, **156**, 650—652, Washington 1967.
- HUNT, L. A. & IMPENS, I. I.: Use of antitranspirants in studies of the external diffusion resistance of leaves. *Oecologia Plantarum* **3**, 1—6, Paris 1968.
- KREEB, K. H.: Ökologische Grundlagen der Bewässerungskulturen in den Subtropen. — G. Fischer Verlag, Stuttgart 1964.
- LEMON, P. C.: The potentialities for decreasing soil moisture evaporation loss. — *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **20**, 120—125, Baltimore 1956.
- MCQUEEN, I. S. & MILLER, R. F.: Calibration and evaluation of wide range method for measuring moisture stress in field soil samples. *Sympos. on water in the unsaturated zone*. Wageningen, June 1966.
- MICHLER, R. & STEUBING, L.: Thermoelektrische Messung der Geschwindigkeit des Transpirationsstromes in krautigen Pflanzen. — *Flora*, **157**, 477—486, Stuttgart 1968.
- OLSEN, S. R.; WATANABE, F.; CLARK, F. & KEMPER, W.: Effect of hexadecanol and octadecanol on the efficiency of water use and growth of corn. — *Agron. J.*, **54**, 544—545, Baltimore 1962.
- RASCHKE, K.: Das Seifenblasenporometer zur Messung der Stomataweite an amphistomatischen Blättern. — *Planta*, **66**, 113—120, Berlin, Heidelberg, New York 1965.
- SHIMSHI, D.: Effect of soil moisture and phenylmercuric acet upon stomatal aperture, transpiration and photosynthesis. — *Plant Physiol.*, **38**, 713—721, Lancaster 1963.
- SLATYER, R. O. & BIERHUIZEN, J. F.: Effect of several foliar sprays on transpiration and water use efficiency of cotton plants. — *Agricultural Meteorology*, **1**, 42—53, Amsterdam 1964.
- The influence of several transpiration suppressants on transpiration, photosynthesis and water use efficiency of cotton leaves. — *Aust. J. Biol. Sci.*, **17**, 131—146, Melbourne 1964.
- STODDART, E. M. & MILLER, P. M.: Chemical control of water loss in growing plants. — *Science*, **137**, 224—225, Washington 1962.
- STOCKER, O.: Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Transpiration und Evaporationsgröße. — *Ber. dt. bot. Ges.*, **47**, 126—136, Berlin 1929.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. L. STEUBING, Lehrstuhl Botanik II, Botanisches Institut, 6300 Giessen, Senckenbergstraße 17—21.

Dr. R. HERRMANN, Geographisches Institut, 6300 Giessen, Landgraf-Philipp-Platz 2.

Dr. R. MICHLER, 7026 Bonlanden, Hohe-Straße 6.