

Stärkebildung ausbleibt. Coleuspflanzen, welche mit 30 mg Simazin AS pro Pflanze behandelt worden waren, zeigten noch drei Tage später eine normale Stärkebildung, am 4. Tag eine deutliche Abnahme und vom 6. Tag an keine Stärke mehr. Bei *Tropaeolum majus* erfolgt die Reaktion viel rascher. 15–20 cm hohe Pflanzen, welche ebenfalls mit 30 mg AS pro Topf behandelt worden waren, zeigten schon am ersten Tag nach der Behandlung keine Stärke mehr und 5 Tage später bereits starke Nekrosen.

Diese Versuche lassen die Frage offen, ob die verwendeten Herbizide bei der Zuckerbildung oder erst bei der Stärkeakkumulation eingreifen. Ein weiterer Versuch zeigte aber eindeutig, dass der Eingriff schon bei der Zuckerbildung erfolgt: werden nämlich stärkefreie Coleusblätter im Dunkeln auf einer Lösung von 0,125 mol Saccharose schwimmen gelassen, so wird auch in Gegenwart von Simazin Stärke gebildet.

COOKE³ stellte für CMU fest, dass dieses Herbizid ebenfalls die Photosynthese stört, und zwar bereits bei der Hill-Reaktion eingreift. Untersuchungen von EXER mit Simazin (l.c.) und ähnlichen Triazinen⁴ haben ergeben, dass auch diese die Hill-Reaktion hemmen. Somit gehen CMU und Simazin in ihrer phytotoxischen Wirkung, mindestens in bezug auf die CO₂-Assimilation, durchaus parallel.

In diesem Zusammenhang sei noch auf die Arbeiten von JENSCH⁵ und FRIEDHEIM⁶ hingewiesen, welche zeigen, dass zwischen Harnstoffen und Triazinen auch auf anderen Gebieten auffallende Parallelitäten bestehen, zum Beispiel bezüglich ihrer Wirkung auf Bakterien und Protozoen (Trypanosomen).

A. GAST

Forschungslaboratorien der J. R. GEIGY AG., Basel,
2. Dezember 1957.

Summary

Experiments with *Coleus Blumei* and *Tropaeolum* showed that triazine compounds inhibit the photosynthesis, and, consequently, prevent the accumulation of starch. The chloroplasts of starchfree coleus leaves kept on a solution containing sugars and simazine are able to form starch again.

³ A. R. COOKE, Weeds 4, 397 (1956).

⁴ B. EXER (noch unveröffentlichte Resultate).

⁵ H. JENSCH, Angew. Chemie 50, 891 (1937).

⁶ E. A. H. FRIEDHEIM, US 2 415 554.

Über Pflanzenwachstumsregulatoren

Der Einfluss von Simazin auf den Pflanzenstoffwechsel*

Beim Kohlensäurestoffwechsel der Pflanze sind drei Reaktionsgruppen zu unterscheiden:

1. Die Photolyse des Wassers (Hillreaktion);
2. Die Atmung;
3. Die Assimilation der Kohlensäure.

Gewisse Strukturähnlichkeiten des Herbizids Simazin (2-Chlor-4,6-bis-äthylamino-1,3,5-triazin, früher G 27692) mit Flavinadenin-dinukleotid veranlassten uns, Untersuchungen mit Flavinfermenten aufzunehmen. Es wurde

besonders die Aktivität der DPNH-Oxydase untersucht, entweder direkt durch Verfolgung der Extinktionsabnahme bei 340 m μ oder durch Messung der Reduktion von zugegebenem Cytochrom c oder Dichlorphenol-indophenol². Diese Reaktionen konnten durch Simazin nicht beeinflusst werden.

Ein weiterer Beweis für das einwandfreie Funktionieren der Atmungskette ist der unveränderte Sauerstoffverbrauch von ungewaschenen Chloroplastensuspensionen (Spinat) in Anwesenheit von Hemmstoff (Warburgversuche).

In diesem Zusammenhang sind vielleicht noch die Versuche von HEIM *et al.*³ zu erwähnen. Das Herbizid AT (3-Amino-1,2,4-triazol) reduziert den Katalasegehalt der behandelten Pflanzen. Gesättigte Simazinslösungen lassen hingegen keine Hemmung der Chloroplastenkatalase erkennen.

Eine Hemmung der Hillreaktion durch Äthyl- und Phenylurethan ist schon 1940 von HILL und SCARISBRICK⁴ beobachtet worden. Ein bedeutend wirksameres Harnstoffderivat, das CMU (1,1-Dimethyl-3-parachlorphenyl-Harnstoff) wurde 1956 von COOKE⁵ beschrieben. CMU bewirkt eine Abnahme der Kohlehydrate in behandelten Versuchspflanzen (siehe auch Arbeit GAST⁶).

Aus diesen Gründen lag es nahe, die Versuche von COOKE zu wiederholen. Für das Studium der Hillreaktion verwendete dieser Autor den von HORWITZ⁷ vorgeschlagenen Redoxfarbstoff Janusgrün. Es zeigte sich in unseren Versuchen, dass technisches Janusgrün zuerst mit Äther extrahiert und dann an Aluminiumoxyd chromatographiert werden musste, um damit brauchbare Resultate zu erhalten. Gleichzeitig haben wir auch die ganze Methode näher untersucht.

Werden alle anderen Faktoren, wie Belichtungszeit, Chlorophyllkonzentration usw. konstant gehalten, so ist die Menge des gebildeten Diäthylsafranins von der eingesetzten Menge Janusgrün abhängig. Es wurde diejenige Janusgrünkonzentration ermittelt, bei welcher am meisten Diäthylsafranin erhalten wird. Wir konnten nachweisen, dass die Hillreaktion auch von Simazin gehemmt wird. COOKE konnte mit 10⁻⁷ m CMU die Hillreaktion fast vollständig unterdrücken. Wir benötigten dagegen für eine 50%ige Hemmung 8 \times 10⁻⁷ m CMU oder 7 \times 10⁻⁷ m Simazin. Diese Differenz beruht wahrscheinlich auf der Anwesenheit von Begleitstoffen des Janusgrün, welche die Wirkung von Simazin oder CMU verstärken. Wir haben im Ätherextrakt des technischen Farbstoffes solche Hemmstoffe nachweisen können. Eine analoge Potenzierung der Hemmung haben wir auch mit Strychnin beobachtet. Dieses Alkaloid ist ein Aktivator der Hillreaktion (MACDOWALL⁸). Im Vergleich zu den Kontrollen ohne Strychnin werden mit alkaloidhaltigen Ansätzen bei gleicher Simazinkonzentration die stärkeren Hemmungen erzielt. Um diese durch den unphysiologischen Redoxfarbstoff bedingten Effekt auszuschalten, wurden Versuche mit dem natürlichen Wasserstoffakzeptor DPN (Diphosphopyridinnukleotid) aufgenommen. SAN PIETRO

¹ K. H. BÄSSLER und K. LANG, Arch. exp. Path. Pharmacol. 229, 568 (1956).

² H. B. BURCH, O. H. LOWRY, A. M. PADELLA und A. M. COMBS, J. biol. Chem. 223, 29 (1956).

³ W. G. HEIM, D. APPLEMAN und H. T. PYFROM, Amer. J. Physiol. 186, 19 (1956).

⁴ R. HILL und R. SCARISBRICK, Proc. Roy. Soc. London B 129, 238 (1940).

⁵ A. R. COOKE, Weeds 4, 397 (1956).

⁶ A. GAST, Exper. 14, 134 (1958).

⁷ L. HORWITZ, Plant Physiol. 30, 10 (1955).

⁸ F. D. H. MACDOWALL, Plant Physiol. 24, 462 (1949).

* 4. Mitteilung (siehe vorstehende Arbeit von A. GAST und nachstehende Arbeit von W. ROTH).

und LANG⁹ fanden, dass belichtete Chloroplasten unter anaeroben Bedingungen DPN zu DPNH reduzieren können. Wir konnten zeigen, dass auch dieser Prozess mit Simazin hemmbar ist. Die für eine 50%ige Hemmung benötigte Inhibitormenge musste im Vergleich zur Janusgrünmethode weiterhin erhöht werden, wobei jedoch für diese Versuche dichtere Chloroplastensuspensionen eingesetzt wurden. Diese Technik ermöglichte es uns, den Angriffspunkt des Simazins innerhalb der Hillreaktion etwas genauer zu lokalisieren. Bei konstanter Inhibitor- und DPN-Konzentration verhält sich die Hemmung der Hillreaktion umgekehrt proportional zur verwendeten Chlorophyllmenge. Umgekehrt lässt sich die Hemmung bei konstanter Hemmstoff- und Chlorophyllkonzentration nicht durch die Variation der DPN-Konzentration beeinflussen. Simazin und DPN treten somit nicht miteinander in Konkurrenz.

Die Maispflanze ist gegenüber Simazin weitgehend resistent¹⁰. Nach ROTH¹¹ beruht diese Tatsache auf der Fähigkeit des Maises, Simazin enzymatisch abzubauen. Isolierte Maischloroplasten erweisen sich im Hilltest nach unseren Versuchen als gleich empfindlich wie Spinatchloroplasten.

Eine ausführliche Beschreibung der Methoden wird an anderer Stelle erscheinen.

B. EXER

Forschungslaboratorien der J. R. GEIGY AG., Basel, den 2. Dezember 1957.

Summary

Simazin inhibits the Hill reaction, i.e. the use of light energy for the synthesis of energy-rich compounds. Isolated maize (corn) and spinach chloroplasts are, when analyzed in the Hill reaction, equally sensitive to the inhibitory action of Simazin. Furthermore, it does not influence the activity of catalase, nor does it inhibit respiration.

Competitive inhibition of DPN is not seen in the presence of Simazin. On the other hand, this compound appears to interfere directly with the intermediate steps needing chlorophyll.

⁹ A. SAN PIETRO und H. M. LANG, *Science* 124, 118 (1956).

¹⁰ A. GAST, E. KNÜSLI und H. GYSIN, *Exper.* 12, 146 (1956).

¹¹ W. ROTH, *C. R. Acad. Sci. (Paris)* 245, 942 (1957).

Substances régulatrices de la croissance végétale*

Etude de l'action de la Simazine sur la physiologie d'Elodea

Afin de préciser l'action phytotoxique de la Simazine – substance herbicide¹ –, une série d'expériences a été entreprise avec Elodea. Cette plante complètement submergée se prête particulièrement bien à l'étude des échanges gazeux et de l'action des substances en solution.

Méthode expérimentale. Les échanges gazeux sont analysés d'après la méthode indiquée par PAECH et SIMONIS².

* 5^e communication (voir les travaux précédents de A. GAST et B. EXER).

¹ A. GAST, E. KNÜSLI et H. GYSIN, *Exper.* 12, 146 (1956). – C. BARTLEY, *Agric. Chem.* 12, 34 (1957).

² K. PAECH et W. SIMONIS, *Stoffwechselphysiologie der Pflanzen* (Berlin 1952).

Des récipients de verre blanc d'un contenu de 100 cm³ sont utilisés comme suit:

récipient 1: eau;

récipient 2: deux rameaux d'Elodea immergés dans l'eau;

récipient 3: deux rameaux d'Elodea immergés dans une solution aqueuse de Simazine (2000 µg/l).

Une série d'essais comporte deux jeux des récipients 1 à 3; un jeu est exposé à la lumière du jour, l'autre est mis à l'obscurité. Après un temps donné, l'oxygène contenu respectivement dans l'eau et dans la solution de Simazine est dosé par la méthode iodométrique de WINKLER³. Le poids sec des plantes est déterminé à 110°C.

Le bilan de O₂ est exprimé en milligrammes de O₂ produit (+) ou utilisé (–) pendant 1 h/g de poids sec d'Elodea; il se calcule par différence 1° entre la teneur en oxygène dans l'eau (récipient 1) et celle de l'eau avec Elodea (récipient 2), 2° entre la teneur en O₂ du récipient 1 et celle de la solution de Simazine avec Elodea (récipient 3).

Influence de la Simazine sur l'assimilation chlorophyllienne et la respiration

Les échanges chlorophylliens et respiratoires sont étudiés d'une part dans l'eau, d'autre part dans la solution aqueuse de Simazine.

Dans le Tableau ci-dessous sont groupées les valeurs déduites d'une série de mesures, prise parmi une dizaine qui ont été effectuées et qui donnent des résultats conformes.

Tableau I

Exposition	Milieu	Bilan de O ₂ (mg)*
lumière . . .	eau	+ 2,21
	solution de Simazine	– 0,22
obscurité . .	eau	– 0,81
	solution de Simazine	– 1,32

* mg de O₂/g de poids sec d'Elodea/h.

On constate les faits suivants:

1° dans la solution de Simazine le bilan de O₂ est négatif à la lumière; ce qui montre que l'assimilation chlorophyllienne est inhibée.

2° à l'obscurité, l'utilisation d'oxygène est plus importante dans la solution de Simazine; pour le rameau immergé dans cette solution, l'activité respiratoire serait donc plus intense.

Réversibilité de l'action physiologique de la Simazine

Des rameaux d'Elodea sont immergés dans la solution de Simazine (2000 µg/l); après 48, 96 et 336 h respectivement, ils sont lavés à l'eau courante et immergés à nouveau dans l'eau pour l'évaluation du bilan de O₂. Les résultats sont groupés dans le Tableau II.

Ces résultats montrent que l'effet de la Simazine est réversible. En ce qui concerne l'assimilation chlorophyllienne, la restauration est totale après 96 h, mais pour une durée prolongée, 336 h par exemple, la restauration n'est plus que partielle.

³ L. W. WINKLER, *Z. anal. Chem.* 53, 665 (1914).