

Wpływ humianu sodowego oraz zbliżonych substancji na oddychanie korzeni i nasion

Über den Einfluss der Huminstoffe auf die Atmung der Wurzeln und der Samen

STEFAN GUMIŃSKI

W pracy ogłoszonej wraz z mymi współpracownikami w r. 1955 wykazalem, iż korzenie badanych przez nas roślin poddane działaniu humianu sodowego i równocześnie gorzej zaopatrzone w tlen oddychają nie mniej, a nawet bardziej intensywnie aniżeli korzenie roślin kontrolnych, pobierających więcej tlenu. Miarą intensywności oddychania w naszych doświadczeniach była ilość dwutlenku węgla wydzielana przez korzenie. Fakt, że pod wpływem humianu sodowego korzenie roślin, przy zmniejszonym pobieraniu tlenu, wydzielają nie mniej, lecz więcej dwutlenku węgla, stanowi dowód, że humian zastępuje wolny tlen w procesie oddychania. Teoretycznie zjawisko to można tłumaczyć chinonową budową związków huminowych. Tłumaczenie to przyjmuję tak na podstawie wyników licznych badaczy chemicznej budowy związków próchniczych (co do których odsyłam zainteresowanych do referatu prof. Wojciechowskiego), jak też i na podstawie własnych badań fizjologicznych ogłoszonych w r. 1953.

Ewentualny zarzut, że wzmożenie wydzielania dwutlenku węgla nastąpiło nie z powodu swoistego działania humianu, lecz na skutek ograniczenia dostępu tlenu i było jedynie wyrazem kompensacji energetycznej przy oddychaniu śróddrobinowym upada, gdyż wyniki dalszych naszych badań wykazały, iż korzenie badanych gatunków roślin na ograniczenie stężenia tlenu w pożywce reagują bądź natychmiastowym spadkiem intensywności oddychania (wydzielania CO_2), bądź też utrzymują wydzielanie dwutlenku węgla przez kilka dni na tym samym poziomie. Nigdy natomiast obniżenie stężenia tlenu nie powoduje zwiększenia ilości wydzielonego CO_2 (Gumiński i wsp. 1957).

Teoria zastępowania w procesie oddychania wolnego tlenu przez humian tłumaczy bardzo dobrze wyniki poprzednich naszych doświadczeń wegetacyjnych. Wykazały one, iż stymulujący wpływ humianu zarówno na glony, jak i rośliny wyższe występuje bardzo silnie w kulturach nie wietrzonych, a maleje lub nawet zupełnie zanika przy dobrym wietrzeniu pożywki (1950). Następnie stwierdziliśmy, że identyczny efekt fizjologiczny jak humian

wywołują wyciągi wodne z liści roślin tych gatunków, które zawierają określone wielofenole. Także i syntetycznie sporzązone „sztuczne humiany”, otrzymane drogą utlenienia i polimeryzacji p-chinonu, gallotaniny, a także kwasu gallusowego, wykazały podobną do humianu naturalnego aktywność fizjologiczną. Wszystkie te substancje stymulują bardzo silnie wzrost siewek pomidorów w kulturach nie wietrzonych, natomiast przy dobrym wietrzeniu kultur działanie ich zanika (Gumiński 1953a, 1953b).

Ponadto stwierdziliśmy, że istnieje korelacja pomiędzy wrażliwością danego gatunku (odmiany) rośliny na niedostatek tlenu w pożywce i wielkością efektu stymulacyjnego humianu we wzroście badanych roślin (Gumiński i współpr. 1957).

Wyniki wspomnianych prac skłaniają mnie do przyjęcia tezy, iż humian, dzięki swej budowie chinonowej, staje się akceptorem wodoru w procesie oddychania korzeni. Wyłania się przy tym kwestia, czy akceptacja ta jest odwracalna, czy też nieodwracalna. Teoretycznie humian można uważać za odwracalny układ oksydoredukcyjny. Wskazują na to wyniki badań Zetschego i Reinhardta (według Laatscha 1944). Autorzy, stosując redukcję związków próchnicznych wodorem *in statu nascendi*, otrzymali zredukowaną leuko-próchnicę, która następnie pod działaniem tlenu powietrza utleniała się samoczynnie do ciemnej próchnicy.

Christie (1953) przeprowadziła doświadczenia nad wpływem związków próchnicznych na oddychanie nasion pszenicy i wykazała, że nasiona te pod wpływem próchnicy intensywniej oddychają, czego miara jest silniejsze pochłanianie tlenu. Wyniki te Christie interpretuje właśnie w ten sposób, że wielofenole próchnicy fungują w procesie oddychania jako odwracalny system oksydoredukcyjny.

Ostatnio Gumińska (1958), opierając się na wynikach prac naszych oraz Christiego, przeprowadziła badania nad wpływem naturalnego humianu sodowego oraz „humianu” syntetycznego, sporządzonego z para-chinonu (przez utlenienie i polimeryzację), a także nad wpływem wyciągów wodnych z liści, zawierających wielofenole na kielkowanie nasion oraz na ich oddychanie. Doświadczenia przeprowadzone były w różnych warunkach tlenowych i wykazały, że wpływ humianu naturalnego, sztucznego, jak też i wyciągów z liści zawierających utlenione wielofenole, uwidacznia się w złych warunkach tlenowych i zupełnie zanika w dobrych. Stymulacja kielkowania licznych gatunków nasion przy niedostatku tlenowym była bardzo silna. W ten sposób autorka uzyskała doskonały test do oznaczenia aktywności fizjologicznej związków próchnicznych — odpowiedź otrzymuje się po kilku dniach. Okazało się przy tym, że przez zastosowanie humianu można wydatnie wzmaczyć siłę i energię kielkowania nasion, które ją częściowo utraciły podczas przechowywania.

Równolegle badania przeprowadzone przez Gumińską nad oddychaniem kiełkujących nasion pszenicy wykazały, że wpływ próchnicy przy dobrym dostępie powietrza jest bardzo niewielki i przy zastosowaniu mniej czułych metod nie da się uchwycić, natomiast przy braku tlenu jest silny i wyraża się bardzo wzmożonym wydzielaniem dwutlenku węgla. Autorka poddawała nasiona pszenicy kiełkowaniu w atmosferze azotu i stwierdziła, że podczas gdy nasiona kontrolne kiełkowały w kilkunastu procentach, to równocześnie nasiona moczone w humianie kiełkowały w kilkudziesięciu procentach, przy czym wydzielanie przez nie dwutlenku węgla było dwukrotnie silniejsze (Gumińska 1958).

W świetle wyników prac omawianych w tym referacie należy przyjąć, że utlenione związki próchnicze (huminy) stymulują oddychanie korzeni i nasion roślin przede wszystkim w warunkach niedostatku tlenowego, fungując jako akceptory wodoru; mogą też być pomocne przy oddychaniu i w obecności tlenu jako odwracalne układy oksydo-redukcyjne — wtedy jednak ich rola jest praktycznie znikoma. Łatwo to sobie wytlumaczyć konkurencją układu cytochromy — oksydaza cytochromowa w stosunku do układu wielofenole — oksydaza wielofenolowa. W obecności tlenu bowiem enzymy żelazowe mają przewagę nad enzymami miedziowymi. W związku z tym należy za miarę stymulacji oddychania, wywołanej przez związki próchnicze, brać nadwyżkę wydzielania dwutlenku węgla, a nie pochłaniania tlenu.

ZUSAMMENFASSUNG

Zahlreiche Vegetationsversuche mit Wasserkulturen der Tomaten erwiesen, dass die stimulierende Wirkung des Natriumhumats auf das Wachstum der Pflanzen nur bei Mangel an Sauerstoff in der Nährlosung hervorzu treten vermag (Gumińska 1950). In gut gelüfteten Wasserkulturen wurde keine oder nur unbedeutende Wirkung des Humats bemerkt; in nicht gelüfteten Kulturen wurde dagegen eine verblüffende Wirkung festgestellt.

Da unter solchen Bedingungen die Aschenelemente des Humats wirkungslos bleiben, ergab es sich, dass der physiologische Effekt der Humate den organischen Verbindungen dieser Substanzen zu zuschreiben ist. Demgemäß wurde in einer Reihe von Versuchen die chemische Natur der stimulierenden Substanzen erforscht (S. Gumińska i Z. Gumińska 1953).

In Beachtung der Tat, dass das Humat nur bei Sauerstoffmangel wirkte, kam in erster Linie der Gehalt des Humus an Redoxvitaminen in Frage. In den durchgeföhrten Versuchen blieben aber die Vitamine der Gruppe B und auch die L-Ascorbinsäure wirkungslos. Kein einziges Vitamin und auch alle insgesamt vermochten die Pflanzen bei Sauerstoffmangel nicht zu stimulieren. Dagegen konnten die wässerlichen Auszüge von Buchen- und

Eichenblättern denselben physiologischen Effekt, wie das Natriumhumat, ausüben. Kleine Mengen dieser Auszüge, sowie des Natriumhumats, ermöglichen den Pflanzen eine gute Vegetation in nie gelüfteten Wasserkulturen. Auszüge von Blättern anderer Pflanzengattungen wie *Cyperus esculentus*, *Syringa vulgaris*, Tomaten, Buxbaum vermochten diesen Effekt nicht auszuüben.

Die chemische Analyse der Auszüge gab den Hinweis, dass in unseren Versuchen die Polyphenole, als physiologisch wirksame Redoxverbindungen, eine Rolle spielen könnten. Die Eichenblätter erhalten nämlich Gallussäure, die Buchenblätter Pyrokatechin, Hydrochinon und vielleicht auch Pyrogallol. Da es seit Ellers Arbeiten (1920—1922) bekannt wurde, dass die Huminsäure einen chinoiden Bau aufweist, lag der Gedanke nahe, dass alle unsere physiologisch wirksamen Substanzen als Chinonderivate im Atmungsprozesse als Wasserstofffakzeptoren dienen und in dieser Weise den Luftsauerstoff ersetzen.

Als Konsequenz dieser Arbeitshypothese wurden aus verschiedenen Polyphenolen künstliche „Humate“ hergestellt und in Vegetationsversuchen gebraucht. Es ergab sich also, dass die humusanähnlichen Substanzen (Produkte der Oxydation u. Polymerisation des p-Chinons und auch der Gallussäure) imstande sind, ähnlich wie das natürliche Humat, ein üppiges Wachstum der Tomatenpflanzen in nie gelüfteten Wasserkulturen zu ermöglichen.

Alle diese Befunde wiesen indirekt hin, dass sowohl die natürlichen, als auch die künstlichen Humusstoffe, in dieser Weise auf die Pflanzen wirken, dass sie die Atmung ihrer Wurzeln beeinflussen. Um sich direkt davon zu überzeugen, wurden spezielle Versuche angelegt, in deren der Gaswechsel der atmenden Wurzeln bestimmt wurde. Die Versuchspflanzen (Weizen, Mais und Tomaten) verweilten in den von Lundegårdh beschriebenen (1935) Apparate 48 Stunden lang; dann bestimmte man, mittels des Barytwassers, die Menge der in die Lösung ausgeschiedenen Kohlensäure, und, nach der Winklerschen Methode, die Menge des verbrauchten Sauerstoffes. Die Abrechnung erfolgte, damit man von den gefundenen Werten die Mengen derselben Gase in den Kontrollen (ohne Pflanzen) subtrahierte. Es ergab sich, dass die Zugabe kleiner Mengen von Natriumhumat zum Leitungswasser, in welchem die Wurzeln atmeten, die die Ausscheidung der Kohlensäure erhöhte und der Atmungsquotient stieg (S. Gumiński, W. Czerwiński, E. Unger i A. Bacowa 1955).

Ausserdem wurden spezielle Versuche durchgeführt, um die Empfindlichkeit der Getreidegattungen für die stimulierende Wirkung des Humats zu vergleichen. Wir haben gefunden, dass die untersuchten Gattungen eine deutliche Korrelation zwischen der Empfindlichkeit an Sauerstoffmangel (in der Nährlösung) und der Reaktionsfähigkeit auf die Wirkung des Hu-

mats aufweisen (S. Gumiński, A. Bacowa, M. Sumara, S. Szczerbicka 1957).

Letzten wurde die Wirkung des natürlichen Humats sowie den chemisch ähnlichen Stoffen (oxydierter und polymerisierter Polyphenole bzw. Chinone) auf die Keimung der Samen erforscht (Z. Gumińska 1957). Die in den Humatlösungen gequollenen Samen verschiedener Gattungen von Pflanzen erwiesen eine hohe Stimulation ihrer Keimungskraft. Dieser Effekt trat aber nur bei Sauerstoffmangel hervor — beim guten Sauerstoffzutritt dagegen blieb der Stimulationseffekt aus. Auch manche schlecht aufbewahrten Samen, mit verminderter Keimungsfähigkeit wurden, unter dem Einfluss des Humats, in der Keimung stark gefördert. Ein Keimungsversuch in Stickstoffatmosphäre zeigte, dass unter dem Einfluss des Humats, die Weizensamen ohne Sauerstoff imstande sind zu keimen. Unter diesen Bedingungen stieg die Atmungsintensität der stimulierten Samen, im Verhältniss zu der Kontrolle, stark.

Es wird also angenommen, dass das Humat im Atmungsprozess als Wasserstofffakzeptor dient und in dieser Weise den atmosphärischen Sauerstoff ersetzt.

Ob das Humat als reversibler Wasserstoffträger eine Rolle spielen kann ist, meiner Ansicht nach, fraglich. Christiewa hat in seinen Versuchen gefunden, dass die Gerstensamen, unter dem Einfluss des Humats, mehr Sauerstoff bei der Atmung verbrauchen. Sie hat jedoch lediglich bei guten Sauerstoffverhältnissen gearbeitet und hat die Kohlensäureausscheidung nicht bestimmt. Aus den, oben beschriebenen, Versuchen von Gumińska geht aber hervor, dass der Einfluss des Humats auf die keimenden Samen ohne Sauerstoffzutritt erheblich stärker ist als bei Anwesenheit des Luftsauerstoffs und, dass dieser Einfluss nur durch die Kohlensäurebestimmung zu erfassen ist. Ich meine, dass bei Anwesenheit des Luftsauerstoffs die Konkurrenz des enzymatischen Systems Cytochrome-Cytochromoxydase zu stark ist und, dass, unter diesen Umständen, die Rolle der Polyphenole beziehungsweise des Humats unbedeutend wird.

LITERATURA

1. Christiewa L. A., 1953, *Poczwowiedienije* 10: 46—56.
2. Eller W., Koch A., 1920, *Ber. Deutsch. chem. Ges.* 53: 1469—76.
3. Gumiński S., 1950, *Act. Soc. Bot. Pol.* 20: 589—620.
4. Gumiński S., Gumińska Z., 1953, *Act. Soc. Bot. Pol.* 22: 46—63.
5. Gumiński S., Gumińska Z., 1953, *Act. Soc. Bot. Pol.* 22: 771—785.
6. Gumiński S., Czerwiński W., Unger E., Bacowa A., 1955, *Act. Soc. Bot. Pol.* 24: 723—731.
7. Gumiński S., Czerwiński W., Unger E., Skrabka H., 1957, *Act. Soc. Bot. Pol.*, 26: 631—645.
8. Laatsch W., 1944, *Dynamik d. Deut. Acker- u. Waldböden*, Dresden — Leipzig
9. Lundegardh H., Burström H., 1935, *Biochem. Ztschr.* 227: 223—249