Z badań nad mechanizmem działania ultradźwięków

I. Wpływ ultradźwięków na wczesne fazy kiełkowania,
zawartość związków fosforu i aktywność β -glicerofosfatazy

Research on the mechanism of action of the ultrasounds

I. The influence of ultrasounds on the early stages of germination, the phosphorus compounds content and β -glycerophosphatase activity

B. HALICZ, W. MACIEJEWSKA-POTAPCZYKOWA, K. ZALESKA

Zagadnienie ultradźwięków i ich zastosowanie w technice ma już bogatą literaturę i stanowi ugruntowaną dziedzinę badań (U ber, 1950; Berg man, 1954). Mniej spostrzeżeń poczyniono w zakresie nauk biologicznych, szczególnie w przedmiocie działania ultradźwięków na rośliny wyższe.

Gdy Istomina i Ostrowski (cyt. Hesse, 1952) ogłosili, że przez nadźwiękowanie bulw i nasion ziemniaka oraz nasion grochu uzyskali znaczny przyrost plonów, zdawało się, że ultradźwięki otworzą nowe możliwości wydatnego wpływania na rozwój roślin przez nadźwiękawianie materiału przedsiwonego.

Jednakże późniejsze badania nie dały jednoznacznych wyników. Obok rezultatów świadczących o pozytywnym wpływie ultradźwięków (R u b a n i D o ł g o p o ł o w, 1952; B a c h m a n, 1960; A u g u s t i n - B a c h m a n o w a, 1961 i in.) można zanotować wiele uwag krytycznych (B r ü n e r i R i n d f l e i s c h, 1947; H e s s e, 1952; G r z e s i u k i R e j o w s k i, 1957; A d a m c z y k, 1962), nie potwierdzających w całej rozciągłości dodatniego wpływu ultradźwięków na rozwój, a zwłaszcza na plony roślin.

Ogromna rozbieżność danych dotyczących wpływu ultradźwięków na zwiększenie lub zmniejszenie plonów skłoniła nas do podjęcia bardziej szczegółowych badań nad działaniem energii ultraakustycznej na nasiona i początkowe fazy rozwoju kiełkujących roślin.

Należy podkreślić, że większość początkowych obserwacji była przede wszystkim natury morfologicznej. Szukano potwierdzenia stymulującego działania ultradźwięków na szybkość kiełkowania, wzrost i rozwój roślin, zwiększenie masy plonów. Później uwaga badaczy skierowana została na zmiany fizjologiczne i biochemiczne, zachodzące w roślinach pod wpływem energii ultraakustycznej.

W tym kierunku podjęte zostały badania niniejszej pracy, której celem było zbadanie wpływu ultradźwięków na:

- 1) pęcznienie i kiełkowanie nasion,
- 2) intensywność pobierania tlenu przez kiełkujące nasiona,
- 3) zawartość związków fosforu i aktywność jednego z enzymów związanych z metabolizmem związków P, mianowicie β -glicerofosfatazy, u niektórych roślin.

MATERIAŁ I METODY

Do doświadczeń użyto kwalifikowanych nasion krokoszu (*Carthamus tinctorius* L.), fasoli (*Phaseolus vulgaris* odm. „Bomba“ i „Pinto“) oraz słonecznika (*Helianthus annuus* L.).

Nasiona kiełkowano na kiełkowniku Jacobsena i w termostacie przy temperaturze 25°C w szalkach Petriego na bibule filtracyjnej. Do nadźwiękawiania nasion używano generatora produkcji krajowej o częstotliwości 800 kHz i maksymalnej średnicy intensywności powierzchniowej $\pm 4 \text{ W/cm}^2$, z urządzeniem Zeissa do przekazywania ultradźwięków o dnie kwarcowym i pojemności 125 ml.

Pomiary pochłaniania tlenu wykonano metodą manometryczną przy zastosowaniu aparatu Warburga. Energię kiełkowania obliczono wzorem Piepera (Dorywański, Wojciechowski, 1959).

Rozfrakcjonowanie związków fosforu na 4 frakcje: kwasorozpuszczalną, lipidową, KRN i KDN wykonano metodą Ogura i Rosen zmodyfikowaną przez Holden (1952).

Zawartość fosforu w poszczególnych frakcjach oznaczano metodą kolorymetryczną opisaną przez Holden i Pirie (1955b), stanowiącą modyfikację klasycznej metody Kuttnera i Lichtensteina.

Aktywność β -glicerofosfatazy w 10-dniowych epikotylach fasoli oznaczano metodą Holden i Pirie (1955a).

OPIS DOŚWIADCZEŃ

1. Pęcznienie nasion. Losowo wybrane próbki nasion fasoli (odm. „Bomba“) o masie $30 \pm 0,1 \text{ g}$ przetrzymywano w wodzie przez czas nadźwiękawiania (10, 20, 30 min.) i po zewnętrznym osuszeniu bibułą ważono w odstępach godzinnych (1—10) i po 24 godz. Nasiona rozłożone były na bibule filtracyjnej w szalkach Petriego, do których kilkakrotnie dolewano po 3 ml wody destylowanej (22°C). Kontrolą były analogiczne próbki, przetrzymywane w wodzie przez czas nadźwiękawiania. Wyniki podano w tabeli 1 (średnie z 5 powtórzeń). Od początku doświadczenia widoczne było zwiększone pobieranie wody przez nasiona nadźwiękowane, ale różnice te malały już po upływie kilku godzin.

Tabela 1 — Table 1

Przebieg pęcznienia nasion fasoli

Water absorption by bean seeds

Liczba godzin Hours		Czas nadźwiękowania (w minutach) Time for treatment with ultrasounds (in minutes)								
		10			20			30		
		przyrost masy Weight increase	d — k	d/k	przyrost masy Weight increase	d — k	d/k	przyrost masy Weight increase	d — k	d/k
1	k *	0,35	1,70	5,8	1,12	0,98	1,8	0,73	1,79	3,4
	d **	2,05			2,10			2,52		
2	k	1,67	2,45	2,4	2,71	1,25	1,4	2,15	2,55	2,1
	d	4,12			3,96			4,70		
3	k	2,88	3,17	2,1	4,47	2,15	1,4	3,52	3,25	1,9
	d	6,05			6,62			6,77		
4	k	4,40	3,60	1,9	6,21	2,64	1,4	5,50	3,47	1,6
	d	8,00			8,85			8,97		
5	k	6,25	3,65	1,5	7,95	3,11	1,3	7,32	3,70	1,5
	d	9,90			11,06			11,02		
6	k	8,63	3,17	1,3	10,15	3,60	1,3	9,02	3,80	1,4
	d	11,80			13,75			12,82		
7	k	10,30	3,35	1,3	11,52	3,95	1,3	11,44	3,53	1,3
	d	13,65			15,47			14,97		
8	k	12,17	2,65	1,2	13,11	4,19	1,3	13,02	3,53	1,2
	d	15,35			17,30			16,55		
9	k	15,50	2,55	1,1	16,55	4,05	1,2	16,41	3,17	1,1
	d	18,05			20,60			19,58		
10	k	14,80	2,05	1,1	15,07	4,05	1,2	14,69	3,42	1,2
	d	16,85			19,12			18,11		
24	k	25,85	1,46	1,05	26,67	2,13	1,07	25,00	2,60	1,1
	d	27,31			28,80			27,60		

* Kontrola — Control.

** Doświadczenie — Experiment.

2. K i e ł k o w a n i e. Próbkę nasion krokoszu (3×100 nasion) poddano ultrasonacji w ciągu 20 minut i wyłożono do skielkowania. Dane (tab. 2) wskazują wyraźnie na zwiększenie energii kiełkowania nasion nadźwiękowanych i przyspieszenie procesu ich rozwoju w porównaniu z kontrolą. Stymulujący wpływ ultradźwięków zaznaczył się jednakże tylko w czasie trzech pierwszych dni.

Wyniki przytoczonych doświadczeń, przemawiających za stymulującym działaniem ultradźwięków na proces pęcznienia i kiełkowania nasion, nasuwają przypuszczenie, że mogą tu wchodzić w grę czynniki

Tabela 2 — Table 2

Przebieg kiełkowania nasion krokoszu (*Carthamus tinctorius*)The course of germination of *Carthamus tinctorius* seeds

Czas nadźwiękowania — 20 min.

Time for treatment with ultrasounds — 20 minutes

Procent skielkowanych nasion po upływie dni Germinating seeds in % after days											Energia kiełkowania Germination energy dni/nas. — days/sec.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Doświadczenie Experiment	—	1	53	28	5	2	—	3	—	—	3,7
Kontrola Control	—	3	30	33	14	11	1	1	—	1	4,1

o charakterze traumatogennym, choć niekoniecznie muszą to być uszkodzenia mechaniczne łupiny nasiennej lub zarodka. Nawet i takie działania, które w sposób widoczny nie uszkadzają komórek, wpływają na przebieg procesów przemiany materii, aktywizują je w postaci wzmożonej wymiany gazowej i wydzielania ciepła (Eberhardt, 1960). Fakty te poddyktowały dalszy tok doświadczenia.

3. **Pobieranie tlenu.** Losowo wybrane nasiona fasoli (odm. „Bomba“) w próbkach po 5 szt. poddano ultrasonacji w przeciągu 10, 15, 20 i 30 min., pozostawiając dla kontroli próbki bez nadźwiękowania. Nadźwiękowane nasiona rozłożono w szalkach Petriego na wilgotnej bibule i przechowywano w termostacie w temp. 25°C. Pomiaru O_2 pobieranego przez kiełkujące nasiona wykonano w aparacie Warburga po upływie 24, 48 i 72 godzin. Na zamieszczonym wykresie podano średnie z 15 powtórzeń (ryc. 1).

Przebieg doświadczenia potwierdził w zasadzie postawione wyżej założenie, że ultradźwięki działają stymulująco na wymianę gazową. Wpływ ten różnicuje się zależnie od czasu działania; przy 30-minutowej ultrasonacji zaznaczyło się działanie hamujące.

Stwierdzenie wpływu ultradźwięków na zwiększenie intensywności procesów oddechowych, przejawiające się we wzmożonym pobieraniu O_2 , nasunęło przypuszczenie, że u roślin wyrosłych z nasion poddanych ultrasonacji muszą zachodzić zmiany w ich składzie chemicznym. Wiadomo, że intensywniejsze oddychanie wiąże się ze wzmożonym pobieraniem wody i niektórych związków mineralnych. Wiadomo również, że pod wpływem ultradźwięków substancje o dużym znaczeniu biologicznym ulegają różnym przemianom chemicznym, których podstawą są procesy utleniania i redukcji, a także przegrupowania wewnątrzcząsteczkowe. Dlatego też

wydawało się celowe przebadanie wpływu ultradźwięków na zawartość związków fosforu w roślinach wyrosłych z nasion poddanych ultrasonacji.

Próbki nasion słonecznika poddano nadźwiękowieniu w ciągu 1, 2,5, 5, 10 i 15 min. Nasiona kontrolne i nasiona nadźwiękowane wysiano na poletkach doświadczalnych metodą losowanych bloków w 5 powtórzeniach (w sumie 30 poletek). Pod koniec wegetacji zebrano liście i wysuszone je w temp. 105°C. Jednocześnie odważono 6 g świeżych liści i suszono je w naczynku wagowym do stałej masy. Masa świeżych liści odpowiadała w tym przypadku masie 1,336 g liści wysuszonych. Odważka 1,336 g rozdrobnionych i wymieszanych liści stanowiła materiał wyjściowy do oznaczania zawartości związków fosforu.

Nasiona fasoli (odm. „Pinto”) nadźwiękowiono w podobny sposób, a następnie wysiano w szklarni do piasku uprzednio przemytego wodą. Piasek z nasionami umieszczono na siatkach do upraw hydroponicznych w ten sposób, ażeby korzenie kiełkujących roślin mogły zanurzyć się w pożywce. Pożywka o składzie: 5 g KNO_3 , 2,5 g K_2SO_4 , 1,25 g MgSO_4 , 1,25 g NaCl , 2,5 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ i 5 kropli 5% cytrynianu żelaza na 5 l wody znajdowała się pod siatkami w kuwetach plastikowych.

U badanych roślin nie zauważono żadnych zmian morfologicznych.

Po upływie miesiąca zebrano wycinki części nadliściennowych (chodziło o te same fragmenty roślin) zarówno z roślin kontrolnych, jak i na-

Ryc. 1. Pomiary tlenu pobieranego przez kiełkujące nasiona, które poddawano ultrasonacji w przeciągu 10, 15, 20 i 30 minut, po upływie: a — 24, b — 48 i c — 72 godzin.

A — kontrolne; B — nadźwiękowane

Measurements of oxygen uptake by germinating bean seeds ultrasonicated for 10, 15, 20, 30 minutes after: a — 24 hrs, b — 48 hrs, c — 72 hrs. A — control, B — ultrasonicated seeds

Tabela 3 — Table 3

Zawartość związków fosforu poszczególnych frakcji w liściach słonecznika wyrażona w mg % w stosunku do świeżej masy

Fractionation of phosphorus compounds in sunflower leaves in mg % of fresh matter

	Fracje fosforu ekstrahowane Extractant	P w liściach nadźwiękowionych w ciągu P in leaves submitted to the action of ultrasounds for								
		O (kontrola) O (control)			5'			15'		
I	O.2.N HClO ₄ kwasorozpuszczalny związany P ortofosforan	26,4	25,25	23,9	22,5	20,91	21,28	15,85	19,3	17,0
	O.2 N-HClO ₄ acid soluble bound P orthophosphate	51,3	52,4	52,8	50,7	51,12	51,32	60,93	59,3	59,3
II	Etanolem-eterem (3:1) P lipidowy	14,5	14,0	13,2	10,5	11,0	10,38	13,1	13,4	12,0
	Ethanol-Ether (3:1) lipid P									
III	N-HClO ₄ w temp. pokojowej KRNP	7,12	7,0	6,96	6,82	6,75	7,01	6,56	7,58	7,1
	N-HClO ₄ room temperature RNAP									
IV	N-HClO ₄ 37°C KDNP	2,4	2,32	2,3	2,18	2,33	2,39	2,16	2,11	2,23
	N-HClO ₄ 37°C DNAP									
	Razem Total	101,72	100,97	99,16	92,70	92,11	92,38	98,6	101,69	97,63

dźwiękawianych przez okres 5, 10, 15 i 20 minut. Do oznaczeń zawartości P używano 6 g świeżej tkanki, co odpowiadało zazwyczaj 1—3 odcińkom. Oznaczania wykonano na materiale z dwóch hodowli założonych w tych samych warunkach.

Wyniki tych doświadczeń zebrane są w tabeli 3, 4 i 5. Wartości podane w zestawieniach stanowią średnie z 3 oznaczeń.

Największą zawartość P zaobserwowano w I frakcji. Zawartość ta stanowi przeszło połowę całkowitej ilości P.

Wyraźnych różnic pomiędzy zawartością P I frakcji w liściach kontrolnych i nadźwiękowionych nie zaobserwowano. Istnieją wprawdzie pewne odchylenia, np. spadek zawartości P związanego i przyrost zawartości P nieorganicznego, całkowita jednak ilość P I frakcji utrzymuje się prawie na jednym poziomie.

Pozostałe frakcje związków fosforu stanowią ten sam procent w stosunku do P całkowitego zarówno w liściach kontrolnych, jak i nadźwiękowionych.

Tabela 4 — Table 4

Zawartość związków fosforu poszczególnych frakcji w siewkach fasoli wyrażona w mg %
w stosunku do świeżej masy

Fractionation of phosphorus compounds in bean seedlings in mg % of fresh matter

Frakcje fosforu ekstrahowane Extractant	P w siewkach fasoli nadźwiękowionych w ciągu P in bean seedlings submitted to the action of ultrasounds for									
	o (kontrola) O (control)		5'		10'		15'		20'	
I O. 2 N HClO ₄ P kwasorozpuszczalny ortofosforan N-HClO ₄ acid soluble bound P orthophosphate	13,7	21,3	12,07	22,17	11,0	22,0	8,65	21,65	11,09	20,03
	45,8	55,4	44,96	55,83	44,63	56,2	52,5	63,05	55,25	67,4
II Etanol — eter (3:1) P lipidowy Ethanol — Ether (3:1) lipid P	10,043	11,15	9,0	12,8	10,3	13,0	10,75	13,8	10,23	10,2
III HClO ₄ w temp. pokojowej KRNP N-HClO ₄ room temperature RNAP	8,08	8,14	7,9	8,03	8,05	8,2	8,05	7,7	7,05	7,03
IV HClO ₄ 37°C KDNP NLHClO ₄ 37°C KDNP	2,4	2,3	2,24	2,9	2,55	2,4	2,3	2,53	2,4	2,34
Razem Total	80,023	38,29	76,17	101,73	76,55	101,84	82,254	106,73	86,02	107,27

Stwierdzono znaczną różnicę w zawartości P nieorganicznego w siewkach, których nasiona nadźwiękawiano przez 15 i 20 minut. Zawartość ta była o 14—20% wyższa w porównaniu z zawartością P nieorganicznego w siewkach kontrolnych i krócej nadźwiękowionych.

W pozostałych frakcjach nie zaznaczyły się różnice pomiędzy zawartością P. Również nieznacznym zmianom uległa zawartość P całkowitego w materiale kontrolnym i nadźwiękowionym.

Oznaczenia P w siewkach wykonano na dwu oddzielnych hodowlach. Prawdopodobnie dlatego istnieje pewna różnica w wynikach, szczególnie dotyczących 1 i 2 frakcji. Jednak przyrost P nieorganicznego w przypadku hodowli I i II jest jednakowy.

Tabela 5 — Table 5

Aktywność β -glicerofosfatazy w siewkach fasoli
 β -glycerophosphatase activity of bean seedlings

Czas nadźwiękawiania w minutach Time for treatment with ultrasounds in minutes	Ilość mg/l P nieorganicznego odszczepionego od β -glicerofosforanu Na w ciągu Amount in mg/l of inorganic P liberated from sodium β -glycerophosphate				Aktywność enzymatyczna w jednostkach na 1 g świeżej masy Enzyme activity units/g fresh weight
	O (kontrola) (control)	30'	60'	120'	
O (kontrola) (control)	6,34	13,1	28,82	42,25	0,736
	6,52	11,1	25,31	41,003	0,816
15'	6,27	10,34	17,62	38,88	0,569
	6,34	10,83	20,42	35,4	0,660
20'	6,14	8,58	12,43	22,29	0,401
	6,10	6,34	13,58	21,35	0,432

Aktywność β -glicerofosfatazy była niższa w roślinach nadźwiękowionych niż kontrolnych o 20—40%, przy czym obniżenie tej aktywności zaznaczało się proporcjonalnie do czasu nadźwiękowania.

Najniższą aktywność enzymu zaobserwowano w siewkach wyrosłych z nasion nadźwiękawianych przez 20 minut.

DYSKUSJA

Z współczesnych biofizycznych metod badawczych ultradźwięki stosowane są niezbyt często, a wyniki uzyskane z doświadczeń odznaczają się dużą rozbieżnością. Częściowo położyć to można na karb różnic metodycznych. Zasadnicza trudność polega na tym, że w używanych generatorach ultradźwięków nie można określić dokładnie dawki energii, którą pobiera roślina podczas ultrasonacji. Nieporównywalne są „intensywności“ działania (W/cm^2) różnych generatorów, ponieważ drgania płytki kwarcowej są nierównomierne, a w ośrodku rozchodzenia się fal ultrakustycznych powstają zjawiska interferencji i odbicia od ścian naczynia, powietrza i powierzchni nadźwiękawianego obiektu. Różne są rozmiary obiektów (owoców, nasion, kiełków) poddawanych ultrasonacji, co znacznie różnicuje efektywność jej działania (Limar, 1960, 1961; Gruszwicki i Limar, 1961). Niemniej ważne znaczenie ma różnica wrażliwości roślin na działanie ultradźwięków. Elpinier (1960) określa działanie ultradźwięków na komórki jako swoiste uszkodzenie o charakterze biologicznym i chemicznym. Doświadczenia prowadzone pod wpływem działania mechanicznego na zmiany aktywności procesów

fizjologicznych wykazały, że nawet tak słabe bodźce jak zginanie lub wstrząsanie liścia (Kahl, 1951), które nie wywołują żadnych zewnętrznych oznak uszkodzenia mechanicznego, powodują jednak zmiany strukturalne protoplazmy i związane z tym przejściowe stany patologiczne. Reakcją rośliny na zachwianą w ten sposób równowagę jest wzrost przepuszczalności dla gazów i wzmożone procesy przemiany materii w komórce. Podobne skutki wywiera promieniowanie krótkofalowe (Hagen, Langendorf, 1960), bodźce elektryczne i infekcje wywołane przez pasożyty (Eberhardt, 1960).

Skutki działania ultradźwięków ogólnie dają podobny obraz. Wyrażają się one zmianą zdolności pęcznienia nasion i przyspieszeniem procesu pochłaniania wody przez materiał nadźwiękowany. Odnosi się to głównie do początkowej fazy pęcznienia, ponieważ szybkość pobierania wody maleje w dalszych godzinach i zbliża się do całkowitego wyrównania różnic pod tym względem pomiędzy nasionami nadźwiękowionymi i kontrolnymi. Powstaje pytanie, w jakim stopniu przyczyniają się do powyższych zjawisk mniej lub więcej wyraźne uszkodzenia łupiny nasiennej, a w jakim zmiany strukturalne protoplazmy i jej stanu koloidalnego.

Zmiany w pobieraniu wody łączą się z uruchomieniem zespołów enzymów uczestniczących w procesach oddechowych i wpływają na wzmożenie pobierania tlenu przez nadźwiękowane nasiona. Zjawiska te są wyraźnie widoczne w początkowej fazie kiełkowania i — w pewnych granicach dawki — w zwiększonej energii (nie siły!) kiełkowania nasion. Chociaż wyniki te zgodne są w zasadzie z analogicznymi doświadczeniami przeprowadzonymi przez innych autorów (Hesse, 1952; Augustin-Bachmanowa, 1961), to jednak musimy stwierdzić, że różnice wywołane ultrasonacją są niewielkie, rzędu zaledwie kilku procent. Wydaje się konieczne przeprowadzenie tych badań na obszerniejszym liczebnie materiale z uwagi na jego zmienność biologiczną i niejednorodność pola ultradźwiękowego. Możliwość pochłaniania przez nasiona tej samej próbki różnych dawek energii zwiększa wydatnie rozrzut wyników i utrudnia ich statystyczne opracowanie. Z tego względu można zgodzić się z Hessem (1952), że mniejszy rozrzut wyników otrzyma się przy dłuższych czasach nadźwiękowania nasion i odpowiednio słabszych dawkach energii.

Przy ogólnym sformułowaniu wyników działania ultradźwięków na kiełkujące nasiona, stwierdzającym ich stymulujący wpływ na początkową fazę rozwoju, nasuwa się szereg dalszych pytań natury bardziej szczegółowej, odnoszących się do mechanizmu działania ultradźwięków, ich wpływu na procesy enzymatyczne itp.

W badaniach niniejszych stwierdzono znaczny wzrost zawartości P nieorganicznego w siewkach fasoli nadźwiękowanych przez 15 i 20 minut. Pojawienie się P nieorganicznego I frakcji (przy zachowaniu stałej zawartości P związanego) nasunęło przypuszczenie, że pod wpływem

ultradźwięków uaktywnia się enzym z grupy fosfataz, rozszczepiający estry fosforanowe.

Dla sprawdzenia powyższej hipotezy przebadano aktywność β -glicerofosfatazy w roślinach kontrolnych i tych, u których zaobserwowano najwyższy przyrost P nieorganicznego w stosunku do pozostałych frakcji.

Sławiński (1960) pisze, że ultradźwięki wywołują w roztworach fermentów podobne procesy, jakie obserwujemy w nadźwiękowionych białkach, a więc redukcję, dezintegrację, denaturację. Pociągać to może za sobą wzmoczenie lub osłabienie biologicznej aktywności enzymów. Elpinier (1960) wiąże podwyższenie aktywności fermentów z wpływem ultradźwięków na submikroskopową strukturę powierzchniowych warstw protoplazmy, na których zaadsorbowane są enzymy. Tak np. inwertaza, związana ściśle ze strukturą ścianek komórkowych drożdży (*Endomyces magnusii*), zwiększa swą aktywność pod wpływem ultradźwięków.

W pracy niniejszej aktywność β -glicerofosfatazy pozostawała w stosunku odwrotnie proporcjonalnym do przyrostu P nieorganicznego. Zwiększenie zawartości P nieorganicznego przy jednoczesnym obniżeniu aktywności enzymu można by w tym przypadku wytłumaczyć odwracalnością reakcji enzymatycznych. Enzymy katalizują nie tylko procesy rozszczepiania odpowiednich związków, ale także przyspieszają reakcje włączania się fosforanów lub innych związków nieorganicznych podczas syntezy biomakrocząsteczek. W polu ultradźwiękowym obniża się prawdopodobnie aktywność fosfomonoesteraz. Enzymy te katalizują reakcje z substratami następującego typu:

względnie katalizują proces odwrotny. Aktywność tej grupy enzymów przebadano na przykładzie β -glicerofosfatazy przy zastosowaniu β -glicerofosforanu sodu jako „sztucznego“ substratu. Należy jednak zaznaczyć, że w materiale biologicznym występuje na pewno szereg innych substratów podlegających działaniu tej grupy enzymów.

Obniżenie aktywności enzymów lub całkowitą ich inaktywację w polu ultradźwiękowym stwierdziło wielu autorów: Oparini i Tielman (1954), Elpinier i Zorina (1959), Elpinier i Gierasimowa (1952).

Do enzymów inaktywujących się w polu ultradźwiękowym należą: katalaza, peroksydaza, aminaza, diastaza, depolimeraza KDN oraz szereg enzymów proteolitycznych. Natomiast danych dotyczących wpływu ultradźwięków na aktywność fosfataz nie znaleziono dotąd w dostępnej nam literaturze.

O udziale enzymu w procesie nagromadzenia się P nieorganicznego I frakcji (kwasorozpuszczalnej) może świadczyć i to, że przyrostu fosforanu nieorganicznego nie zaobserwowano w materiale wysuszonym, w którym procesy enzymatyczne przestały już zachodzić.

Mechanizm działania ultradźwięków na fermenty nie został dotychczas wyjaśniony i dlatego ostateczne wnioski dotyczące tego zagadnienia można by wyciągnąć dopiero po przebadaniu większej ilości roślin nadźwiękowionych w różnych warunkach.

Katedra Ewolucjonizmu

(Wpłynęło: dn. 21.6.1963)

i

Katedra Fizjologii Roślin

Uniwersytetu Łódzkiego

STRESZCZENIE I WNIOSKI

Celem niniejszej pracy było przebadanie wpływu ultradźwięków na pęcznienie i kiełkowanie nasion, pobieranie tlenu, zawartość związków fosforu oraz aktywność β -glicerofosfatazy u niektórych roślin.

Stwierdzono, że ultradźwięki stymulują pęcznienie nasion fasoli i kiełkowanie nasion krokoszu. Efekty te można jednak było obserwować tylko podczas początkowych etapów tych procesów.

Wpływ ultradźwięków na zwiększenie pobierania tlenu przez nasiona fasoli związany jest również z najwcześniejszym stadium kiełkowania. Efekt ten okazał się raczej krótkotrwały i malejący z czasem.

Pod działaniem ultradźwięków zwiększała się zawartość fosforu całkowitego i ortofosforanów w siewkach fasoli. Aktywność β -glicerofosfatazy u roślin potraktowanych ultradźwiękami obniżała się o 20—40% w stosunku do kontroli.

SUMMARY

This paper deals with the influence of ultrasounds on the activation of water absorption and germination of seeds, oxygen consumption, the phosphorus compounds content and β -glycerophosphatase activity in some plants.

It was found that ultrasounds stimulate water absorption by germinating seeds of *Phaseolus* and seed germination of *Carthamus*. This effect however was observed exclusively during the initial stages of these processes.

The influence of ultrasounds on the increase of oxygen consumption was also connected with the primary stage of germination. This effect showed to be rather temporary and decreasing with time.

Total phosphorus and orthophosphate were increased by ultrasounds in bean seedlings.

The activity of β -glycerophosphatase in plants affected by ultrasounds was 20—40% lower than in controls.

LITERATURA

- Adamczyk Z., 1962, Zesz. Nauk. U.Ł. Ser. II, (13):119.
- Augustin-Bachmanowa S., 1961, Hod. Rośl. Aklimat., Nasienn. 5, (2):277.
- Bachman S., 1960, Gaz. Cukrown. 9:285.
- Bergmann L., 1954, Der Ultraschall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik, Zürich.
- Brünner H., Rindfleisch H., 1947, Naturwiss. 34.
- Dorywalski J., Wojciechowicz M., 1959, Metodyka oceny nasion, s. 92.
- Eberhardt F., 1960, W Handbuch der Pflanzenphysiologie, herausgegeben von W. Ruhland, Bd. XII, T. 2:388.
- Elpinier J. E., 1960, w Fizikochemiceskije i strukturnyje osnovy biologiceskich jawlenij, Izd. A.N. SSSR.
- Elpinier J. E., Gierasimowa A. B., 1952, D.A.N. SSSR 86(4):797.
- Elpinier J. E., Zorina O. M., 1959, Biochimija 24(5):817.
- Gruszwickij I. W., Limar R. S., 1961, Bot. Żurn. 46, (9):1282.
- Grzesiuk St., Rejowski A., 1957, Post. Nauk Roln. 4, (3):3.
- Hagen U., Langendorff H., 1960, w Handb. der Pflanzenphysiologie herausgegeben von W. Ruhland, Bd. XII, T. 2:334.
- Hesse R., 1952, Flora, Bd. 132:567.
- Holden M., 1952, Biochem. J. 51:433.
- Holden M., Pirie N. W., 1955a, Biochem. J. 60:39.
- Holden M., Pirie N. W., 1955b, Biochem. J. 60:53.
- Kahl H., 1951, Planta 39:346.
- Limar R. S., 1960, Bot. Żurn. 45(8).
- Limar R. S., 1961, Bot. Żurn. 46(8):1165.
- Oparin A. J., Gielman N. S., 1954, D.A.N. SSSR, 44:537.
- Ruban E. L., Dołgopółow N. N., 1952, D.A.N. SSSR 84(3):623.
- Sławiński P., 1960, Kosmos, Ser. A. (1):17.
- Uber F., 1950 (red.), Biophysical Research Methods, rozdz. IX (przekł. ros.).