

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. XIX, 6

Fizyka
SECTIO AA

1964

Z Katedry Ogólnej Wydziału Mat. Fiz. Chem. UMCS w Lublinie
Kierownik: prof. dr Armin Teske

Z Katedry Fizjologii Roślin Wydziału Biologii i Nauki o Ziemi
Kierownik: prof. dr Adam Paszewski

Antoni BOROWSKI, Ewa JUŚKO,
Jadwiga SKIERCZYŃSKA

Badanie zjawisk bioelektrycznych metodą kondensatorową

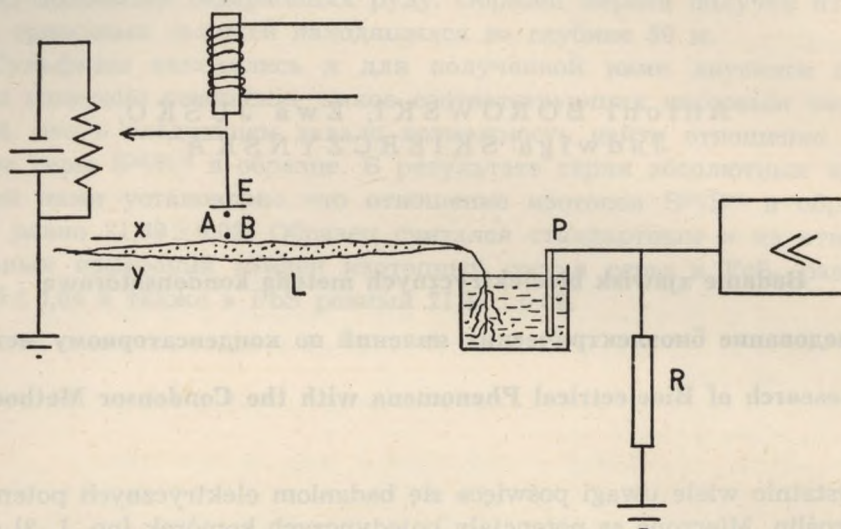
Исследование биоэлектрических явлений по конденсаторному методу

Research of Bioelectrical Phenomena with the Condensor Method

Ostatnio wiele uwagi poświęca się badaniom elektrycznych potencjałów roślin. Mierzone są potencjały pojedynczych komórek [np. 1, 2] oraz całych tkanek [np. 3, 4]. Pomiar potencjałów pojedynczej komórki realizowany jest za pomocą mikroelektrod wprowadzanych do jej wnętrza. Przy badaniu tkanek mierzone są potencjały powierzchniowe; elektrody doprowadza się do zetknięcia z powierzchnią w taki sposób, aby uzyskać możliwie dobry kontakt elektryczny, nie uszkadzając przy tym powierzchni tkanki. W ostatnich latach do pomiaru potencjałów elektrycznych roślin zastosowano kondensatorową metodę Kelvina. Jedną z podstawowych zalet tej metody jest możliwość stosowania jej wszędzie tam, gdzie wymagany jest pomiar potencjału bez zetknięcia elektrody pomiarowej z rośliną. Metoda Kelvina w fizyce i chemii stosowana była od dawna do badania między innymi prac wyjścia oraz kinetyki procesów powierzchniowych [5, 6, 7]. Zasada pomiaru napięcia metodą kondensatorową jest prosta. Z badanego przewodnika i elektrody, względem której ma być określany potencjał tworzymy kondensator; okładki jego spinamy oporem R . Jeżeli między okładkami tego kondensatora istnieje w stanie równowagi różnica potencjałów, to przy zmianach jego pojemności (np. przez oddalanie i zbliżanie jednej z okładek) w obwodzie będzie płynął prąd. Po przyłożeniu napięcia dokładnie kompensującego tę różnicę potencjałów, przy zmianach pojemności prąd w obwodzie nie wytwarza się. Kondensatorową metodą Kelvina Graham i Hertz [8, 9],

badali efekt geoelektryczny, w naszym laboratorium metodę tę zastosowano do badania procesu pobudzania rośliny.*

Na ryc. 1 pokazany jest schemat wejściowego obwodu stosowanej przez nas aparatury. Badana roślina L i płytki E przymocowana do membrany głośnika tworzą kondensator. Jeżeli między okładkami tego kon-

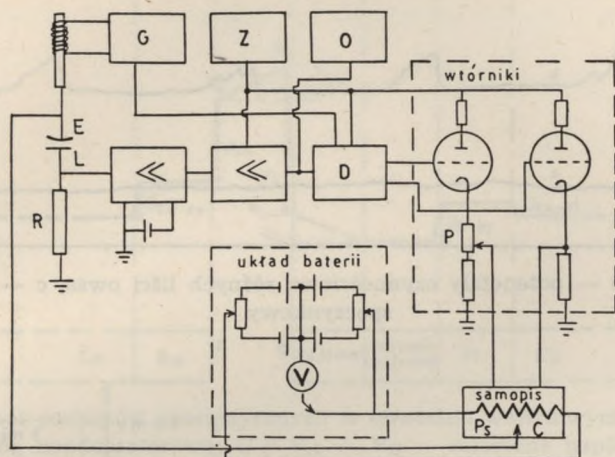


Ryc. 1. Schemat obwodu wejściowego; L — badany liść, E — wibrująca złota elektroda, A, B — punkty, między którymi mierzono różnicę potencjałów, P — platynowy drut, R — opór $5 \cdot 10^3 \Omega$, x, y — elektrody do pobudzania liścia

densatora, czyli między punktami A i B , leżącymi tuż w pobliżu powierzchni, istnieje różnica potencjałów, to przy wibracji płytki E , na skutek zmian pojemności kondensatora EL , zmienia się wielkość ładunku znajdującego się na jego okładkach i przez opór R przepływa prąd elektryczny. Kompensację oraz rejestrowanie różnicy potencjałów, jaka istnieje między okładkami kondensatora EL przeprowadzono automatycznie, za pomocą specjalnie dostosowanego do tego celu samopisu. Na potencjometr P_s samopisu (ryc. 2) podawane było napięcie z układu baterii. Układ ten zmontowano w taki sposób, aby na każdą końcówkę potencjometru można było podawać dowolny potencjał zawarty między -3 V i $+3\text{ V}$ i dzięki temu dowolnie zmieniać w tych granicach zakres podawanej na potencjometr różnicy potencjałów. Impulsy napięć, powstające na oporze R przy wibracji płytki E , były wzmacniane $\sim 10^5$

* Z pracami L. Grahama i C. H. Hertza [8, 9] autorzy niniejszego artykułu zapoznali się już po przeprowadzeniu podanych w tej pracy pomiarów.

razy i przekazywane na detektor fazowy; z detektora poprzez dwa wtórniki katodowe przechodziły do samopisu. Dochodzący do samopisu impuls powodował uruchomienie silnika połączonego z suwakiem C. Suwak C przesuwał się do takiego położenia, w którym pobierane z potencjometru

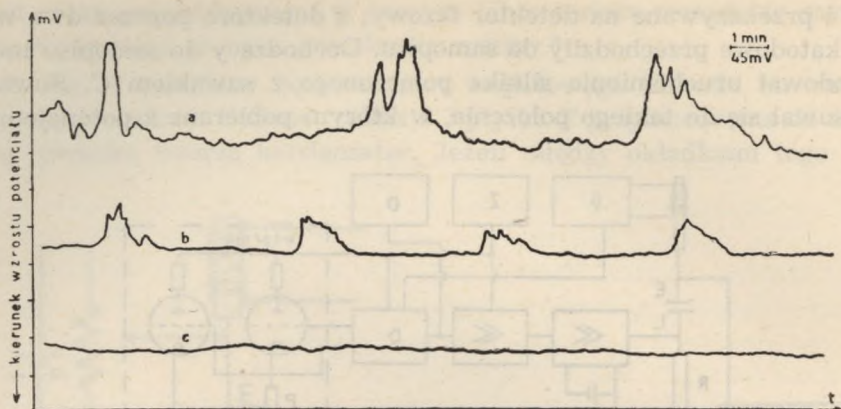


Ryc. 2. Schemat blokowy aparatury pomiarowej; G — generator, Z — zasilacz, O — oscylograf, D — detektor fazowy, P, Ps — potencjometry, C — suwak, E, L, R — patrz ryc. 1

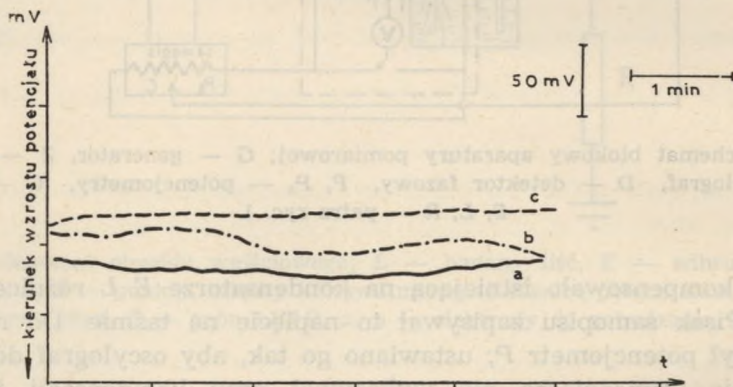
napięcie kompensowało istniejącą na kondensatorze $E L$ różnicę potencjałów. Pisak samopisu zapisywał to napięcie na taśmie. Do regulacji zera służył potencjometr P; ustawiano go tak, aby oscylograf dołączony do wyjścia wzmacniacza nie wykazywał przy kompensacji istnienia impulsów. Czułość aparatury — pracowano przy częstotliwości 300 Hz i powierzchni elektrody $1,5 \times 1,5$ mm — wynosiła 6 mV.*

Za pomocą wyżej opisanej aparatury mierzono potencjał „czynnościowy” młodych liści owsa. Liście pobudzone były polem elektrycznym przykładanym do płytek $x y$ (ryc. 1). Natężenie pola zmieniano w granicach 1 000—2 000 V/cm, czas działania pola nie przekraczał kilku sekund. Niejednokrotnie uzyskiwane zmiany potencjału miały bardzo rytmiczny przebieg. Na ryc. 3 pokazano kilka zapisów takich zmian. Czas trwania pobudzenia był różny, często wynosił kilka godzin. W celu porównania na ryc. 3c i ryc. 4 podano zapis potencjału liści nie pobudzonych (potencjał spoczynkowy). Zaobserwowano, że liście są niejednakowo

* W tej chwili przy tej samej częstotliwości i powierzchni elektrody aparatura ma czułość 3 mV. Zwiększenie czułości uzyskano poprzez zmianę pewnych elementów konstrukcyjnych obwodu wejściowego; napięcie kompensujące jest teraz podawane na roślinę, a sygnał na wzmacniacz pobierany z elektrody wibrującej.



Ryc. 3. a, b — potencjały czynnościowe różnych liści owsa, c — potencjał spoczynkowy



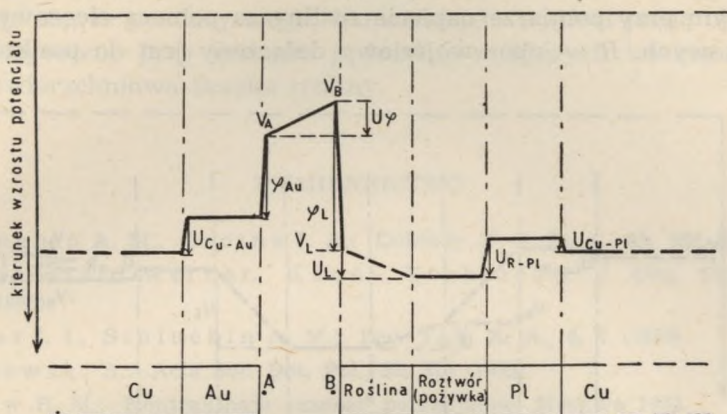
Ryc. 4. Potencjały spoczynkowe w różnych punktach liścia; a — 2 cm od korzenia, b — 5 cm od korzenia, c — 6,5 cm od korzenia

podatne na działanie pola elektrycznego; mimo stosowania silnych pól niektórych liści nie udało się w ogóle pobudzić. Ponowne pobudzenie tego samego liścia można było uzyskiwać dopiero po dłuższym okresie „odpoczynku” rośliny. Kilkakrotnie powtarzane pobudzenie czyniło liść coraz mniej podatnym na działanie pola.

Mierzone metodą kondensatorową zmiany potencjału w procesie pobudzenia miały w zasadzie przebieg podobny do uzyskiwanych metodą elektrod stykowych. Należy jednak tu podkreślić, że każdą z tych metod mierzy się inną różnicę potencjałów.*

* Nie jest wykluczone, że fakt ten był jednym z powodów, iż wartości efektu geoelektrycznego uzyskane metodą kondensatorową znacznie różniły się od wartości uzyskanych metodą elektrod stykowych [8].

Przeanalizujemy dokładniej napięcie mierzone metodą kondensatorową. Rozkład potencjałów w poszczególnych elementach obwodu wyjściowego przedstawia ryc. 5. Strzałki na rycinie oznaczają, w jaki sposób



Ryc. 5. Schemat poziomów energetycznych w obwodzie wejściowym przy pomiarze napięcia metodą kondensatorową; $U = V_A - V_B$ — mierzone napięcie*, U_L — napięcie na badanym odcinku rośliny (łącznie ze spadkiem potencjału na granicy zetknięcia rośliny z cieczą), V_L — wartość potencjału wewnątrz rośliny — tuż w pobliżu powierzchni — w miejscu, nad którym umieszczona jest wibrująca elektroda, φ_{Au} , φ_L — całkowite potencjały wyjścia elektronu ze złota i rośliny, U_{R-Pt} — różnica potencjałów na granicy faz roztwór platyna, U_{Cu-Pt} , U_{Cu-Au} — różnica potencjałów na złączach Cu-Pt i Cu-Au, A, B — patrz ryc. 1

obliczane są napięcia: od potencjału fazy znajdującej się przy ostrzu strzałki odjęto potencjał fazy znajdującej się przy jej podstawie.

Jak widać z ryciny

$$U\varphi = \varphi_L \pm U_L - U_{R-Pt} + U_{Cu-Pt} - U_{Cu-Au} - \varphi_{Au}$$

Ponieważ podczas badanych procesów z wielkości występujących po prawej stronie równania ulegały istotnym zmianom tylko wartości potencjałów na roślinie, to

$$U\varphi = \varphi_L + U_L + Const$$

Mierząc zmiany $U\varphi$, czyli

$$\Delta U\varphi = U\varphi_2 - U\varphi_1$$

otrzymamy

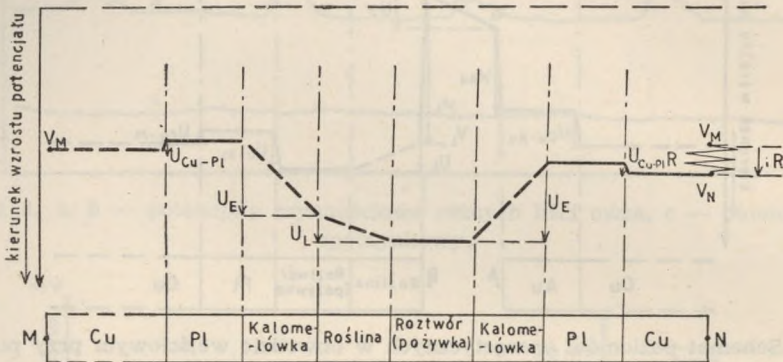
$$\Delta U\varphi = \Delta\varphi_L + \Delta U_L \dots \dots \dots (1)$$

Jeżeli* przez analogię do terminologii fizycznej potencjał wyjścia elek-

* Jeżeli napięcie kompensujące przykładane do platyny jest < 0 , to znaczy, że $V_A > V_B$ i $U\varphi > 0$; jeżeli przykładane napięcie jest > 0 , to $U\varphi < 0$.

tronu z obiektu biologicznego nazwalibyśmy biopotencjałem wyjścia, to — jak widać ze wzoru (1) — z pomiarów potencjału metodą kondensatorową uzyskuje się sumę zmian biopotencjału i biopotencjału wyjścia.

W celu porównania na ryc. 6 podano rozkład potencjałów w obwodzie wejściowym przy pomiarze napięcia rośliny za pomocą cieczowych elektrod stykowych. R — opór wejściowy dołączony jest do punktów M N



Ryc. 6. Schemat poziomów energetycznych w obwodzie wejściowym przy pomiarze napięcia elektrodami cieczowymi; $i R = V_N - V_M$ — mierzone napięcie (*jak na ryc. 5), R — opór wejściowy wzmacniacza, U_E — spok potencjału na elektrodzie kalomelowej (łącznie z różnicą potencjałów na złączu Hg — Pl i niewielkim potencjałem dyfuzyjnym na granicy KCl — żywka), M , N — punkty, do których dołączono opór R , pozostałe oznaczenia jak na ryc. 5

i zamyka obwód. Opór ten jest duży w porównaniu z oporem pozostałej części obwodu (R_w) i natężenie prądu płynącego w obwodzie jest bardzo małe, toteż 1) przyjmuje się, że różnice potencjałów na granicach faz oraz wartość U_L są takie same jak na ryc. 5, gdy $i = 0$, 2) zaniedbuje się (ponieważ są bardzo niewielkie) spadki potencjału na jednorodnych częściach przewodników łączących roślinę z oporem R . W przedstawionym obwodzie siła elektromotoryczna, czyli suma skoków potencjałów na granicach faz (U_L możemy traktować jako pewien wypadkowy potencjał międzyfazowy) redukuje się — jak to widać z ryc. 6 — do wartości U_L .

$$U_L = i R_w$$

gdzie $i R$ — mierzone napięcie.

Ponieważ $R \gg R_w$, to $U_L \approx i R$

$$\text{oraz } U_L \approx i R \quad \dots \dots \dots (2),$$

czyli mierzone zmiany napięcia są zmianami biopotencjału.

Określając jednocześnie zmiany napięcia metodą kondensatora wibrującego ($\Delta U\varphi$) i cieczowymi elektrodami stykowymi (ΔU_L) można

z tych dwu równoległe przeprowadzanych pomiarów uzyskać, korzystając ze wzorów (1) i (2), wartość zmian biopotencjału wyjścia ($\Delta\varphi_L$). Takie równoległe pomiary napięć mają być przeprowadzone w naszym laboratorium w najbliższym czasie.

Wydaje się, że pomiary zmian biopotencjału wyjścia mogą okazać się bardzo pożyteczne przy badaniu procesów, w których istotną rolę odgrywa powierzchniowa tkanka rośliny.

PIŚMIENNICTWO

1. Siniuchin A. M., Ozolna I. A.: Doklady T. S. X. A., **89**, 268 (1963).
2. Loewenstein Werner., Kanno Yoshinobu: J. Gen. Physiol., **46**, 1123 (1963).
3. Gunar I. I., Siniuchin A. M.: Izv. T. S. X. A., **4**, 7 (1959).
4. Paszewski A.: Acta Soc. Bot. Pol., **28**, 373 (1959).
5. Carew B. M.: Kontraktnaja raznost' potencjałow. Moskwa 1955.
6. Skierczyńska J.: Postępy Fizyki, **10**, 569 (1959).
7. Skierczyńska J.: Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio AA, **XVII**, 127 (1962).
8. Graham L., Hertz C. H.: Physiologia Plantarum, **15**, 96 (1962).
9. Graham L., Hertz C. H.: Physiologia Plantarum, **17**, 186 (1964).

РЕЗЮМЕ

Построено установку к исследованию электрических потенциалов растений по конденсаторному методу и использовано ее к измерению потенциалов действия молодых листьев овса.

Листья возбуждались электрическим полем. Потенциал возбуждаемых листьев — исследуемый как функция времени — выказывал очень сильные периодические изменения.

Проведено сравнительный анализ электрических напряжений измеряемых как по конденсаторному методу, так и по методу прикасающихся электродов и выказано, что каждым из этих методов измеряется другая разность потенциалов.

SUMMARY

An apparatus was constructed for research of electrical potentials of plants with the condenser method used for measuring the action potentials of new oats leaves.

The leaves were stimulated with an electrical field. The potential of stimulated leaves, considered as a function of time, showed very strong periodical fluctuations.

A comparative analysis was made of the voltages which were measured by the condensor method and by the method of contact electrodes. The results showed variations in the differences of the potentials measured by each method.