

Instytut Fizyki UMCS
Zakład Fizyki Ogólnej

Jadwiga SKIERCZYŃSKA, Edward ŚPIEWŁA,
Ryszard ŻOŁNIERCZUK, Jan SIELEWIESIUK,
Anna WARDAK, Wojciech ZARĘBSKI

**Zależność oporu elektrycznego błony komórkowej
i soku wakuolarnego komórek *Characeae* od okresu wegetacji**

Зависимость электрического сопротивления мембраны и клеточного сока клеток
Characeae от периода вегетации

The Dependence of the Electrical Resistance of the Cell Membrane
and the Cell Sap of *Characeae* on the Season

Podczas badań parametrów elektrycznych komórek *Characeae* (5, 6, 7) zauważono, że w okresie jesiennym błona komórkowa posiada stosunkowo wysoki opór. Ponieważ w znanej nam literaturze nie ma wzmianek o zależności oporu elektrycznego błony od okresu wegetacji, postanowiliśmy przebadać, czy obserwowany wzrost oporu jest wynikiem występowania takiej zależności.

Praca niniejsza zawiera wyniki pomiarów przeprowadzonych w latach 1969—1972. Przedstawiono w niej wartości oporu błon komórek *Chara brauni*, *Nitella flexilis* i *Nitellopsis obtusa*, pochodzących z różnych części roślin (dane z r. 1970 i 1971) oraz wartości oporu błon komórkowych i oporu właściwego soku komórek *Nitellopsis obtusa* z roślin pobieranych z jeziora w różnych okresach wegetacji (dane z r. 1972).

METODA POMIARU

Pomiary oporu przeprowadzono zarówno metodą elektrod zewnętrznych, jak i mikroelektrod cieczowych wprowadzanych do wodniczki. Dokładne opisy tych metod podane były w uprzednich publikacjach (6, 7). Większość przedstawionych danych pochodzi z pomiarów wykonanych prądem stałym. Przy stosowaniu prądu zmiennego wartość oporu wyliczano z krzywej zależności impedancji od częstości przy założeniu, że modelem błony jest oporowo-pojemnościowy element RC (5,7). Opór właściwy soku komórkowego określano bądź z pomiaru oporu podłużnego żywych komórek, bądź też mierząc opór elektryczny wyciśniętego soku (8)*. Zarówno w hodowli laboratoryjnej, jak i podczas pomiarów, komórki utrzymywane były w wodzie z jeziora o koncentracji podstawowych jonów: K — 0,7 mg/l, Na — 2,6 mg/l, Ca — 27 mg/l, Cl — 5 mg/l.

* Oporem podłużnym nazywamy opór, jaki prądowi przepływającemu wzdłuż komórki stawia jej odcinek o długości 1 cm.

Przy opisie wartości oporu jednostkowego błony komórkowej τ [$k\Omega cm^2$] i oporu właściwego cytoplazmy — ρ [Ωcm] zastosowano następujące symbole:

- r_M — opór jednostkowy błony otrzymany metodą mikroelektrod przy zastosowaniu prądu stałego;
- r_{M-} — opór jednostkowy błony otrzymany metodą mikroelektrod przy zastosowaniu prądu zmiennego;
- r_m — opór jednostkowy błony dla prądu stałego otrzymany metodą elektrod zewnętrznych;
- r_{m-} — opór jednostkowy błony dla prądu zmiennego otrzymany metodą elektrod zewnętrznych;
- ρ — opór właściwy soku komórkowego wyliczony z pomiarów oporu podłużnego, przeprowadzonych prądem zmiennym, metodą elektrod zewnętrznych;
- ρ_0 — opór właściwy soku wyciśniętego z komórki.
- S. E. — błąd standardowy.

WYNIKI POMIARÓW

Badania przeprowadzono na roślinach pochodzących z hodowli laboratoryjnej. Pomiar oporu jednostkowego błony komórkowej metodą elektrod zewnętrznych (r_{m-}) wykonane były we wrześniu 1970 r; natomiast metodą mikroelektrod wprowadzanych do wodniczki (r_{M-}) — w październiku 1971 r. Wartości średnie oporu otrzymane dla kolejnych komórek branych od wierzchołka rośliny zestawiono w tab. 1. Dane te wykazują, że komórki znajdujące się w pobliżu wierzchołka mają opór błony niższy o ok. 20% od oporu błony komórek niżej położonych.

Tab. 1. Opór jednostkowy błon komórek pobieranych z różnych części roślin
The unit resistance of the membrane of the cells taken from various parts of plants

Materiał Material	r_{M-} ($k\Omega cm^2$) kolejne komórki od wierzchołka rośliny The succeeding cells from the top of the plant			Materiał Material	r_{m-} ($k\Omega cm^2$) kolejne komórki od wierzchołka rośliny The succeeding cells from the top of the plant	
	1	2	3		1	3
<i>Chara brauni</i>	28,3	32,0	32,5	<i>Chara brauni</i>	46,7	41,0
<i>Chara brauni</i>	29,0	36,4	32,0	<i>Chara brauni</i>	91,6	102,6
<i>Nitella flexilis</i>	27,0	43,0	46,0	<i>Chara brauni</i>	48,3	66,3
<i>Nitella flexilis</i>	33,0	39,7	40,5	<i>Chara brauni</i>	47,5	54,5
<i>Nitella flexilis</i>	40,6	46,0	44,6	<i>Nitellopsis obtusa</i>	9,5	15,9
<i>Nitella flexilis</i>	36,0	40,2	55,0	<i>Nitellopsis obtusa</i>	16,6	31,6
Wartości średnie Mean values	32,3	39,5	41,8	Wartości średnie Mean values	43,4	52,0
Błąd standardowy (S. E.) Standar error (S. E.)	2,2	2,2	3,5	Błąd standardowy (S. E.) Standar error (S. E.)	11,9	12,3

Przeprowadzając porównanie parametrów elektrycznych komórek pobieranych z jeziora w różnych okresach, starano się brać zawsze do badań trzecią lub czwartą komórkę od wierzchołka rośliny. Wartości oporu błon mierzono w latach 1969—1970 oraz w r. 1972. Jak widać z danych zawartych w tab. 2 i 4, średnie wartości oporu uzyskane w czerwcu i sierpniu zawierają się w granicach 16—24,5 k Ω cm², a uzyskane we wrześniu i październiku — w granicach 28—70 k Ω cm².

Tab. 2. Opór jednostkowy błon komórek *Nitellopsis obtusa* i *Chara brauni*
The resistance of the membrane of *Nitellopsis obtusa* and *Chara brauni*

1969					1970				
Materiał Material	Miesiąc Month	r_M (k Ω cm ²)	S.E.	Rozrzut Range (k Ω cm ²)	Materiał Material	Miesiąc Month	r_M (k Ω cm ²)	S.E.	Rozrzut Range (k Ω cm ²)
<i>Nitellopsis obtusa</i>	VI	16 (5) *	2,5	11—20	<i>Chara brauni</i>	początek (beginning) VIII	20,2 (6)	2,2	10— 26
	X	28 (7)	3,2	17—36		koniec (end) VIII	23,7 (5)	3,0	11— 32
<i>Chara brauni</i>	VI	24,5 (7)	2,9	14—32		IX	44,0 (6)	6,7	20— 66
	X	37 (17)	3,5	19—45		X	70,0 (14)	5,5	32—108

- * W nawiasach podano liczby badanych komórek.
- The examined cell numbers are given in brackets.

Tab. 3. Koncentracja jonów w soku komórek *Nitellopsis obtusa*
The concentration of the ions in the cell sap of *Nitellopsis obtusa*

Data Date	K (mM)	Na (mM)	Ca (mM)	Cl (mM)
21—26 VI 1972	131,0	19	7,6	165,2
5 VII 1972	109	16,2	7,4	136,3
22 VII 1972	125,2	16,0	5,6	153,0
12 IX 1972	133,3	4,4	6,3	149,0
14 X 1972	86,6	4,9	4,8	100,1

Pomiary koncentracji jonów w soku komórkowym przeprowadzono w ciągu r. 1972 na komórkach pobieranych z jeziora.* Stwierdzono, że koncentracja jonów Ca, K, Na i Cl w miesiącach jesiennych obniża się. Szczególnie silnie się to zaznacza u jonów potasu (tab. 3).

Obserwacje kontrolne oporu błony i soku komórkowego przeprowadzono na komórkach wyrosłych w hodowli laboratoryjnej w temp. 18—20°C. Pomiarzy kontrolne miały na celu sprawdzenie m.in., czy zmiany oporu błony komórkowej są wynikiem zmian temperatury. Pomiarzy wykazały, że wartość oporu

* Pomiarzy zostały wykonane w Instytucie Chemii UMCS.

Tab. 5. Wartości oporu jednostkowego i oporu właściwego soku komórek *Nitellopsis obtusa* (z kultury laboratoryjnej)
The values of the resistance of the cell membranes and the specific resistance of the cell sap of *Nitellopsis obtusa*
(from the laboratory culture)

Data Date	r_m (k Ω cm ²)	S.E. (k Ω cm ²)	Rozrzut Range (k Ω cm ²)	ρ_s (Ω cm)	S.E. (Ω cm)	Rozrzut Range (Ω cm)	ρ_0 (Ω cm)	S.E. (Ω cm)	Rozrzut Range (Ω cm)
8 VII 1972	7,5 (5)*	2,6	3,2—18,6	61,1 (4)	—	44,3—73,3	122,3 (4)	—	106—127
22 VII 1972	11,0 (5)	1,3	7—15,4	67,2 (4)	—	60,5—69,7	83,0 (4)	—	75,7—90,0
5 VIII 1972	14,8 (5)	5,5	5,2—36	88,9 (8)	11,4	78,3—115,5	95,9 (8)	7,4	84,4—108,5
18 VIII 1972	—	—	—	80,8 (8)	8,3	67,6—94,7	103,6 (8)	12,5	85,7—120,1
15 IX 1972	9,4 (5)	1,5	6,6—16	69,7 (3)	—	60,1—87,1	87,3 (3)	—	82,4—92,1
17 X 1972	14,5 (5)	2,4	12,7—16	—	—	—	—	—	—
25 XI 1972	25,9 (5)	5,1	13,5—40	—	—	—	—	—	—

* W nawiasach podano liczby badanych komórek.
• The examined cell numbers are given in brackets.

blony otrzymana w okresie jesiennym w październiku ($r_m = 25,9 \text{ k}\Omega\text{cm}^2$) jest znacznie wyższa od wartości otrzymanych w miesiącach letnich. Obserwowany wzrost oporu błony komórek pobieranych z jeziora w jesieni nie był zatem wywołany zmianami temperatury (tab. 5).

DYSKUSJA

Jak wynika z tab. 1—5, zarówno wartości oporu właściwego soku komórkowego, jak i wartości oporu błony komórkowej nie ulegają w okresie wzrostu rośliny istotnym zmianom i wynoszą odpowiednio $14 \text{ k}\Omega\text{cm}^2$ (średni opór jednostkowy błony wyliczony dla 129 komórek) i $66 \Omega\text{cm}$ (średni opór właściwy soku wyliczony dla 78 komórek). Natomiast w okresie spoczynku dla roślin z jeziora we wrześniu opór błony osiąga wartość ok. 100% wyższą od tej, którą wykazywał w okresie wzrostu rośliny. Opór właściwy soku komórek badanych w tym okresie ma wartości niższe o ok. 25% od średnich wartości rejestrowanych w czasie wzrostu roślin. Zarejestrowane obniżenie oporu właściwego jest prawdopodobnie związane z obniżeniem koncentracji jonów potasu (tab. 3).

Otrzymane wyniki wykazują, że po zakończeniu okresu wzrostu rośliny parametry elektryczne jej komórek ulegają zmianie; komórki przechodzą do stanu, który prawdopodobnie w sposób zasadniczy różni się od tego, jaki jest właściwy okresowi wzrostu. Na podstawie otrzymanych danych można ponadto wnioskować, że obserwowane w różnych laboratoriach rozbieżności w wartościach oporu błon (1, 2, 3, 4, 9), sięgające niejednokrotnie kilkuset procent, przypuszczalnie nie są spowodowane różnicą w okresach wegetacji badanych roślin, lecz wpływem innych, bliżej nie określonych czynników (wykrycie czynnika powodującego tak silne zmiany oporu, a zatem w bardzo istotny sposób wpływającego na transport jonów przez błonę, wyjaśniłoby wiele zagadnień dotyczących badań nad właściwościami i funkcjonowaniem błony komórkowej).

PIŚMIENICTWO

1. Blinks L. R.: The Direct Current Resistance of *Nitella*. *J. Gen. Physiol.* 13, 495 (1929—1930).
2. Mac Robbie E., Dainty J.: Ion Transport and Electrical Potentials in Plant Cells. *J. Gen. Physiol.* 43, 335 (1958).
3. Paszcwski A., Stolarek I., Gębal T.: Ionic Relations and Electrophysiology of Single Cells of *Characeae*. Investigation of Electric Potentials and Resistance in Cells of *Nitellopsis obtusa*. *Acta Soc. Bot. Pol.* 37, 327 (1968).
4. Skierczyńska J.: Some of the Electrical Characteristics of the Cell Membrane of *Chara australis*. *J. exp. Bot.* 19, 389 (1968).
5. Skierczyńska J., Bulanda W.: Investigations of the Impedance of Single Plant Cells. *Studia Biophysica* 21-22, 219 (1970).
6. Skierczyńska J., Żołnierczuk R., Spiewła E., Bulanda W., Przygodzka A.: Measurements of Membrane Resistance of *Characeae* with External Electrodes and Microelectrodes. *J. exp. Bot.* 23, 591 (1972).
7. Skierczyńska J., Żołnierczuk R., Bulanda W.: Impedance of *Nitellopsis obtusa* Cells at Low Frequencies. *J. exp. Bot.* 24 38—46 (1973).
8. Skierczyńska J., Siewewiesiuk J., Przygodzka A., Wawrzyszuk M., Żołnierczuk R.: Pomiar oporu właściwego soku komórek *Characeae*. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio AA* (w druku).
9. Walker A. A.: The Electric Resistance of the Cell Membranes in a *Chara* and a *Nitella* Species. *Austr. J. biol. Sci.* 13, 468 (1960).

РЕЗЮМЕ

Величина сопротивления клеточной мембраны и клеточного сока почти не изменяются во время вегетации растения и соответственно составляют 14 ком см^2 (среднее сопротивление, рассчитанное для 129 клеток) и $66 \text{ ом} \cdot \text{см}$ (среднее удельное сопротивление, рассчитанное для 78 клеток).

После окончания вегетационного периода сопротивление мембраны возрастает приблизительно на 100%, а удельное сопротивление сока уменьшается приблизительно на 25%. Изменение сопротивления сока, вероятно, связано с уменьшением концентрации ионов K^+ в соке.

SUMMARY

The values of the resistance of the cell membrane and the cell sap do not change remarkably during the vegetation and are equal to $14 \text{ k}\Omega\text{cm}^2$ (the mean of the membrane resistance for 129 cells) and $66 \Omega\text{cm}$ (the mean of the specific resistance of the cell sap for 78 cells), respectively.

When the period of growth was finished, the membrane resistance increases by about 100% and the specific resistance of the cell sap decreases by about 25%. The latter change is probably connected with the decrease in the concentration of the K ions in the cell sap.

