

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN—POLONIA

VOL. XXVIII, 2

SECTIO C

1973

Instytut Biologii UMCS
Zakład Fizjologii Roślin

Adam PASZEWSKI, Janina GOWIN,
Tadeusz ZAWADZKI

Badanie polarności elektrycznej koleoptili *Avena sativa* L.*

Исследование электрической полярности колеоптилей *Avena sativa* L.

An Investigation of the Electrical Polarity of *Avena sativa* L. Coleoptiles

WSTĘP

Clark (1, 2), Lund (6), Schrank (11, 12), badając koleoptile podają, że wierzchołek koleoptila jest elektroujemny w stosunku do podstawy. Ramshorn (10) stwierdza, że wierzchołek jest elektrododatni względem podstawy.

Lund (6) podjął badania i stwierdził, że wierzchołek koleoptila *Avena* w swej powierzchniowej warstwie zewnętrznej jest elektroujemny względem powierzchniowej warstwy podstawy, natomiast w warstwie wewnętrznej zgrupowania ładunków dodatnich i ujemnych są rozmieszczone odwrotnie. Prace te miały ścisły związek z hipotezą Wenta (14), według którego gradient biopotencjału w roślinie jest przyczyną transportu auksyn (IAA).

Siniuchin i Stolarek (13) podają, że różnica potencjałów w koleoptilu *Zea mays* jest zmienna, a amplituda i okres tych zmian zależą od wieku koleoptila.

Parkinson i Banbury (7, 8, 9) wykazali, że wartości mierzonych biopotencjałów u koleoptili *Avena* przy stosowaniu kontaktów cieczowych zależą od rodzaju i stężenia elektrolitu używanego w pomiarach. Różnice te wykazują jednak prawidłowość, tak że można po-

* Praca subsydiowana przez Komitet Biochemiczny i Biofizyczny PAN.

dać wzór określający różnicę potencjałów w danych warunkach pomiarowych. Podają oni także układ pomiarowy, który ich zdaniem jest optymalny do tego typu pomiarów. Autorzy ci nie stawiają problemu polarności, jednak z podanych przez nich danych wynika, że istnieje stała polarność. Kierunek jej jest jednak trudny do określenia, ponieważ uzyskiwane w badaniach wyniki zależą od warunków, w jakich przeprowadzano pomiar.

Woodcock i Wilkins (15) badając rozkład biopotencjałów w koleoptylach w powiązaniu ze zjawiskiem geotropizmu (tzw. efekt geoelektryczny) wskazują na duże trudności w interpretacji uzyskanych wyników, spowodowane zmianami potencjałów na granicy roślina — kontakt cieczowy i kontakt cieczowy — elektroda. Określenie więc bezwzględnych wartości biopotencjałów występujących w roślinie uwarunkowane jest dokładną znajomością stosowanej metody pomiarowej, tj. możliwością oszacowania tła zniekształcającego wyniki. Omówione dane dotyczące polarności koleoptili uzyskiwane były różnymi metodami i przy zastosowaniu różnego typu elektrod. I tak na przykład Lund (6) stosował elektrody $Zn/ZnSO_4$ — kontakt z koleoptilem uzyskiwał on za pomocą szklanych pierścieni lub pipet przytykanych, wypełnionych roztworem elektrolitu. Schrank (11, 12) używał kapilarnych rurek szklanych wypełnionych 0,1 N roztworem KCl. Połączone one były z miniaturowymi elektrodami kalomelowymi. Graham i Hertz (4, 5) zastosowali drgającą elektrodę złotą, umieszczoną ok. 1 mm od koleoptila (bez styku). Układ taki traktowano jako rodzaj kondensatora płaskiego. Zmiany biopotencjałów koleoptila, jako jednej z okładek kondensatora, można było rejestrować w obwodzie pomiarowym. Woodcock i Wilkins (15) stosowali dwa systemy: pierwszy — to układ kapilar z przepływającym 5 mM roztworem $CaCl_2$ połączony z elektrodami kalomelowymi, tzw. "the flowing solution electrode system", oraz drugi — to kapilary wypełnione 0,1 mM roztworem KCl z wyprowadzeniami w postaci drutu z amalgamatu cynku zanurzonego w 1,5 M roztworze siarczynu cynku.

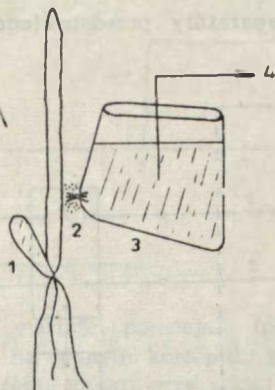
Wyżej wymienieni badacze uważają, że występujące w koleoptylach biopotencjały mają charakter potencjałów dyfuzyjnych (także Dainty, 3). Wskazuje to na konieczność stosowania w pomiarach cieczowych kontaktów w połączeniu z nie polaryzującymi się elektrodami (np. kalomelowymi). Stosowanie jednak tego typu układów związane jest — jak to np. wykazali Parkinson i Banbury (7, 8, 9) — z możliwością popełnienia błędów, innych dla różnych metod i bardzo trudnych do określenia. Można powiedzieć, że do chwili obecnej nie została opracowana standardowa metoda pomiarowa biopotencjałów, która przy-

jęłaby się w elektrofizjologii roślin wyższych, dająca możliwość pewnego oszacowania błędów. W takiej sytuacji omówione wyżej wyniki dotyczące polarności koleoptili, a w szczególności wyniki starsze, można uznać jako dyskusyjne.

W pracy niniejszej podjęto próbę określenia polarności elektrycznej koleoptili *Avena sativa* L. rosnących pionowo i znajdujących się w stanie spoczynkowym z fizjologicznego punktu widzenia. Zastosowano 6 rodzajów makroelektrod pomiarowych.

MATERIAŁ I METODA

Materiał roślinny. Doświadczenia prowadzono na koleoptylach owsa odmiany Udyca Żółty ze zbiorów 1967 r. Pozbawione plewek ziarniaki owsa wysiewano na szalkach Petriego, na wilgotnej ligninie. Koleoptile przez cały okres inkubacji przebywały w komorze we względnie stałych warunkach oświetlenia (stałe, słabe, białe światło od góry), temperatury (22°C) i wilgotności. Po 5 dobach wzrostu 30 mm koleoptile przenoszono kolejno do komory pomiarowej i poddawano pomiarom. Czas adaptacji w komorze wynosił 10 min. Podczas pomiaru korzenie koleoptila zanurzone były w wodzie, koleoptil ustawiony był pionowo.



Ryc. 1. Schemat podłączenia elektrody kalomelowej; 1 — koleoptil, 2 — pędzelek z sierści wielbłądziej, 3 — naczynie z 0,1% roztworem KCl, 4 — elektroda kalomelowa

Diagram of the connexion of a calomel electrode; 1 — coleoptile, 2 — the camel wool pinsel, 3 — vessel with 0.1% KCl solution, 4 — calomel electrode

Elektrody. Kontakt z koleoptilem uzyskiwano za pomocą pary elektrod. Jedna z elektrod była stale uziemiona. Używano 6 rodzajów elektrod: 1) stalowe wkłuwane, 2) srebrne wkłuwane, 3) platynowe wkłuwane, 4) srebrne stykowe, 5) platynowe stykowe, 6) kalomelowe. Elektrody wkłuwane miały kształt igieł o maksymalnym przekroju 0,3 mm. Elektrody stykowe były to druciki zakończone pierścieniem o średnicy wewnętrznej 2,5 mm, zewnętrznej 3,5 mm. Kontakt z ko-

leoptilem uzyskiwano nakładając pierścień na roślinę i wypełniając przestrzeń między rośliną a metalowym pierścieniem 0,03% roztworem KCl. Elektrody kalomelowe podłączano do rośliny za pomocą pędzelków z wełny wielbłądziej. Pędzelki te były mocowane w płaskich naczynkach szklanych wypełnionych 0,03% roztworem KCl w sposób pozwalający na stałe ich zwilżanie (ryc. 1).

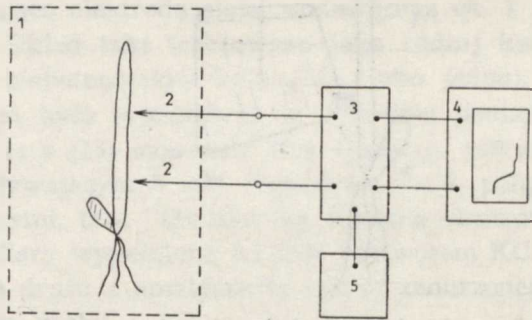
Metoda: W trakcie wykonywania badań koleoptil traktowany był jako źródło napięcia. Każdy koleoptil poddawano dwóm rodzajom pomiarów, które powinny były umożliwić określenie wzajemnego rozkładu ładunków w koleoptilu:

Pomiar A — elektrodę uziemioną przykładano (wkłuwano) do koleoptila w punkcie położonym 5 mm poniżej wierzchołka, drugą natomiast w punkcie odległym 15 mm od wierzchołka.

Pomiar B — przy przyłożonych (wkłutych) elektrodach, jak w pomiarze A, zmieniano układ przez uziemienie elektrody dolnej w stosunku do elektrody górnej.

Stosując kolejno na jednym koleoptilu pomiar A i B, przebadano po 30 sztuk koleoptili, używając każdego rodzaju wyżej wymienionych elektrod. Każdy pomiar trwał 2 minuty. Za wartość zmierzoną biopotencjału brano wartość zarejestrowaną przez pisak po 2 min. pomiaru. Nie starano się uzyskać ścisłych i bezwzględnych wartości biopotencjałów. Jest to bowiem problem — jak wykazano wyżej — nie rozwiązany obecnie. Jakość uzyskanych wyników określono na podstawie regularności i charakterystycznej powtarzalności występującej w seriach pomiarowych. Dopuszcza się 10% błędy w wynikach uzyskanych za poprawne. Przy przyjętej w niniejszej pracy metodzie opracowania wyników nie wpływa to na istotę końcowych wniosków.

Aparatura. Schemat aparatury przedstawiono na ryc. 2.



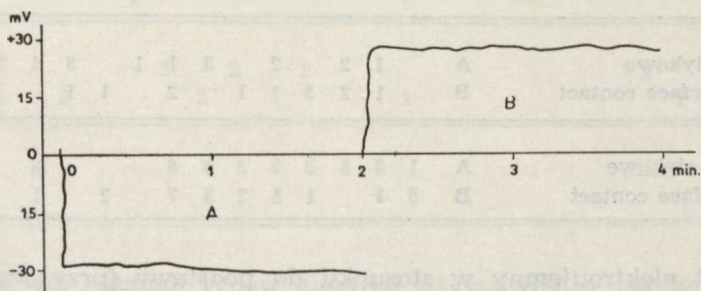
Ryc. 2. Schemat aparatury pomiarowej: 1 — komora pomiarowa z ustawionym koleoptilem, 2 — elektrody pomiarowe, 3 — elektrometr ($R_{me}=10^{14} \Omega$), 4 — rejestrator, 5 — zasilanie

Diagram of the apparatus; 1 — chamber with a coleoptile, 2 — electrodes, 3 — electrometer ($R_{in}=10^{14} \Omega$), 4 — recorder, 5 — feeding

WYNIKI I DYSKUSJA

Obiekt, u którego występuje polarność, np. dipol (ogniwo), charakteryzuje się tym, że posiada dwa bieguny, w których nastąpiło zgro-

madzenie się ładunków przeciwnego znaku. Znając miejsca biegunów, można określić wielkość i kierunek polaryzacji, wykonując elektrometryczny pomiar różnicy potencjałów między tymi punktami, przykładając do pierwszego bieguna elektrodę nie uziemioną lub odwrotnie. W niniejszej pracy wykonywano dwa rodzaje pomiarów na każdym koleoptilu, oznaczone jako pomiar A i pomiar B. W obiekcie o znanej i stałej polaryzacji (np. w ogniwie) wskazania przyrządu pomiarowego przy pomiarze A i pomiarze B będą takie same co do bezwzględnej wartości amplitudy i przeciwne co do znaku. Tak więc określenie wartości i kierunku polaryzacji można uzyskać stosując tylko jeden rodzaj pomiaru. Inaczej przedstawia się sprawa, jeśli badania prowadzi się na materiale biologicznym, a w szczególności na roślinach wyższych. Jest to materiał bardzo słabo zdefiniowany. Kwestia występowania polarności jest dyskusyjna. Dochodzi jeszcze bardzo istotny aspekt stosowania różnych typów elektrod pomiarowych i związanych z tym możliwości uzyskiwania różnych wyników. Tak więc wydaje się, że wykonanie serii pomiarów, np. wyłącznie typu A, nie daje wystarczających danych do określenia polarności koleoptili. Potwierdziły to niniejsze badania (patrz tab. 1).



Ryc. 3. Przykładowe krzywe wartości potencjału (pomiar z zastosowaniem elektrod kalomelowych) uzyskane na jednym koleoptilu przy kolejnym stosowaniu pomiaru A i pomiaru B, odwrócenie znaku przy takiej samej wartości bezwzględnej amplitudy świadczy o istnieniu polarności

Exemplary curves of the potential values (measurement with the use of calomel electrodes) obtained on one coleoptile during the successive measurements A and B; the sign versed at the identical absolute value of amplitude is an evidence of polarity

W poszczególnych rubrykach podano liczbę uzyskanych wyników, np.: przy pomiarach z zastosowaniem elektrod stalowych wkłuwanych uzyskano w dwu pomiarach typu A wartości biopotencjałów zawarte między 0 a 5 mV. Podstawa koleoptila jest zatem elektroujemna w stosunku do wierzchołka, a w pomiarach typu B dwa przypadki świadczą o tym, że wierzchołek jest elektrododatni, i trzy przypadki, że wierz-

Tab. 1. Ilościowe
Quantitative

Rodzaj elektrod Electrode type	Typ	mV															
		0-5		5-10		10-15		15-20		20-25		25-30		30-35		35-40	
		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Stalowe wkłuwane Steel, inserted	A		2	2		2	2	1	2				2				2
	B	2	3	1	4	1	2	1	2		1				1		1
Srebrne wkłuwane Silver, inserted	A	1	2	4	2	3	2	4	3	2	2	1				1	
	B	5	4	2	2	4	1	3		2				2	1		1
Platynowe wkłuwane Platinum, inserted	A				3		5		8		2		5		3		4
	B	1						6				9		7			4
Srebrne stykowe Silver, surface contact	A	1	3			2	2	1	3	1	2		1		2		1
	B	1	2	1	2	2	2	2	3	2	1	1	3	1			1
Platynowe stykowe Platinum, surface contact	A		1	2		2		3	1	1		3	1	2		5	1
	B		1	2	3	1	1		2		1	1			4		4
Kalomelowe stykowe Calomel, surface contact	A	1	3	5	2	3	3	3	6				3				1
	B	5	1		1	5	2	3	7		2		1		1		1

chołek jest elektroujemny w stosunku do podstawy (przy wartościach biopotencjałów od 0 do 5 mV).

Wartości podane w rubrykach A i B są wartościami wybranymi z odpowiednich serii pomiarowych i z reguły nie dotyczą tego samego koleoptila. Przy założeniu, że stwierdzenie: „wierzchołek jest elektrododatni w stosunku do podstawy” jest równoznaczne ze stwierdzeniem: „podstawa jest elektroujemna w stosunku do wierzchołka” i odwrotnie, można dane z tab. 1 przedstawić jak na tab. 2. W tab. 2 nie uwzględnia się wartości biopotencjałów, a jedynie znak + lub - wierzchołka w stosunku do podstawy (metoda obliczeniowa 1).

Tak statystycznie opracowane dane, uwzględniające tylko liczbę przypadków elektrododatności i elektroujemności wierzchołka w stosunku do podstawy, wybrane z danych serii pomiarowych (dla każdego typu elektrod) sugerują, że u koleoptili *Avena sativa* L. zawsze istnieje polarność. Obliczony procentowy rozkład polarności (patrz tab. 2)

zestawienie wyników

list of results

														mV		Suma pomiarów
40—45	45—50	50—55	55—60	60—65	65—70	70—75	75—80	80—85	85—90	90—95	95—100					
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-			
2		2			1	3		1	2	1			2	1	30	
1		1			1	1		1	1			1	4		30	
		1													28	
			1												28	
															30	
3															30	
															30	
			1	3	1	1		1							26	
				1		1			1						27	
1	1				1	2	1						2		30	
		3	2			2		1					1		29	
															30	
															29	

jest różny dla różnych typów elektrod używanych w pomiarach. Interesujący jest fakt, że wyniki dla elektrod stalowych, które uważa się za zupełnie nie nadające się do tego typu pomiarów i wyniki dla elektrod kalomelowych, które uważa się za odpowiednie — są identyczne. Zwraca też uwagę wynik uzyskany dla elektrod platynowych wkłuwanych, z którego wynika, że istnieje 100% polarność (wierzchołek elektrododatni) oraz wynik dla elektrod platynowych stykowych, który też sugeruje niemal 100% polarność odwrotną (wierzchołek elektroujemny). Jak już było wspomniane, wartość tych wyników, w których sumowano pojedyncze pomiary, jest dyskusyjna.

Rozpatrzmy wyniki przy założeniu, że polarność w koleoptilu istnieje wtedy, gdy wykonanie na nim pomiaru A i pomiaru B daje wynik jak na ryc. 3, tzn. wartość amplitudy jest w przybliżeniu jednokowa co do wartości bezwzględnej, a ma kierunek przeciwny. Polarność

Tab. 2. Procentowy rozkład polarnośći koleoptili *Avena sativa* L.*
 Per cent distribution of polarity of *Avena sativa* L. coleoptiles *

Rodzaj elektrod Electrode type	Procent koleoptili wykazujących dany rodzaj polarnośći w stosunku do podstawy Per cent of coleoptiles showing a given kind of polarity in relation to their basal part		Suma pomiarów Sum of measurements
	wierzchołek + top +	wierzchołek - top -	
	Stalowe wkłuwane Steel, inserted	53	
Srebrne wkłuwane Silver, inserted	57	43	56
Platynowe wkłuwane Platinum, inserted	100	0	60
Srebrne stykowe Silver, surface contact	60	40	53
Platynowe stykowe Platinum, surface contact	13	87	59
Kalomelowe stykowe Calomel, surface contact	53	47	59

* Metoda obliczeniowa 1 — Calculation method 1.

nie istnieje, gdy przy pomiarach A i B nie następuje zmiana kierunku wychylenia przyrządu pomiarowego, jak np. na ryc. 4 (metoda obliczeniowa 2).

Wykonano 6 serii pomiarowych po jednej dla każdego typu elektrod. W każdej serii przebadano do 30 koleoptili (patrz tab. 1), stosując na każdym koleoptilu kolejno pomiar A i B. Wyniki przedstawia tab. 3. Z tabeli tej wynika, że w pomiarach wykonanych różnym typem elektrod metalowych stwierdza się całkowity brak polarnośći lub bardzo wysoki procent braku polarnośći. Interesujący jest wynik uzyskany za pomocą elektrod kalomelowych. Stwierdza się istnienie polarnośći w każdym przypadku, przy czym w przybliżeniu połowa koleoptili wykazuje kierunek polarnośći taki, że wierzchołek jest elektrododatni w stosunku do podstawy, a połowa przeciwnie.

Tab. 3. Procentowy rozkład polarności koleoptili *Avena sativa* L.*
 Per cent distribution of polarity of *Avena sativa* L. coleoptiles *

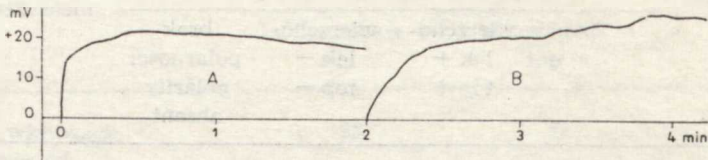
Rodzaj elektrod Electrode type	Procent koleoptili wykazujących dany rodzaj polarności w stosunku do podstawy Per cent of coleoptiles showing a given kind of polarity in relation to their basal part			Suma pomiarów Sum of measurements
	wierzcho- łek + top +	wierzcho- łek - top -	brak polarności: polarity absent	
	Stalowe wkluwane Steel, inserted	10	10	
Srebrne wkluwane Silver, inserted	25	10	65	28
Platynowe wkluwane Platinum, inserted	0	0	100	30
Srebrne stykowe Silver, surface contact	6	13	81	27
Platynowe stykowe Platinum, surface contact	3	10	87	29
Kalomelowe stykowe Calomel, surface contact	43	57	0	29

* Metoda obliczeniowa 2 — Calculation method 2.

Przyjmując, że możliwość stosowania elektrod metalowych w pomiarach biopotencjałów jest z wielu względów dyskusyjna — potwierdza to także niniejsza praca (duży rozrzut wyników — patrz tab. 2 i 3) — należałoby przyjąć warunki uzyskane przy pomocy elektrod kalomelowych. Przemawia za tym także fakt, że tylko w przypadku elektrod kalomelowych uzyskiwano zawsze pomiar zbliżony do przedstawionego na ryc. 3, tj. ta sama wartość bezwzględna amplitudy i przeciwny kierunek oraz zbieżność wyników z wynikami w tab. 2.

Omówione w niniejszej pracy wyniki dotyczyły pomiarów biopotencjałów trwających 2 min. Z innych badań prowadzonych przez nas (nie publikowanych), w których pomiar biopotencjału wykonywany był ciągle przez 4 godziny, wynika, że biopotencjał ulega stałym spontanicznym wahaniom o charakterze sinusoidalnym i częstości kilku wahań

na godzinę. Prawdliwość tę zaobserwowali inni badacze, np. Lund (6). Wahania te wynoszą od kilku do kilkudziesięciu mV i w większości wypadków następuje zmiana znaku, tj. wykres zmian biopotencjału przechodzi przez zero. Wynika z tego, że ten sam koleoptil może wykazywać różny kierunek polarności, w zależności od momentu, w jakim wykonany jest pomiar. Uzyskany wynik (patrz tab. 3, p. 6), mó-



Ryc. 4. Przykładowe krzywe wartości potencjału (pomiar z zastosowaniem elektrod platynowych wkłuwanych) uzyskane na jednym koleoptilu przy kolejnym stosowaniu pomiaru A i pomiaru B, brak odwrócenia znaku wartości potencjału Exemplary curves of the potential values (measurement with the use of platinum inserted electrodes) obtained on one coleoptile during the successive measurements A and B; the sign of the potential value is not versed

wiący, że w danej populacji koleoptili w przybliżeniu połowa osobników wykazuje polaryzację: „wierzchołek dodatni w stosunku do podstawy”, a połowa polaryzację odwrotną, wydaje się potwierdzać przypuszczenia, że w przypadku koleoptili owsa nie można mówić o stałej w czasie i kierunku polaryzacji. Pojedynczy koleoptil wykazuje polarność zmieniającą się wolno w czasie, tak co do wartości, jak i kierunku.

WNIOSKI

1. W pomiarach biopotencjałów należy stosować wyłącznie elektrody niepolaryzujące się, np. kalomelową z kontaktem cieczowym. Elektrody metalowe dają różne wyniki, co może doprowadzić do uzyskiwania artefaktów.

2. Pomiar biopotencjału można uważać za poprawny, gdy przy zmianie układu elektrod (pomiar typu A na pomiar typu B — patrz tekst), uzyska się tę samą wartość bezwzględną amplitudy i przeciwny znak (patrz ryc. 3).

3. U koleoptili *Avena sativa* L. będących w stanie spoczynku istnieje polarność między częścią wierzchołkową a podstawą, nie można jednak mówić o stałej polarności, tj. stałym rozkładzie ładunków między wierzchołkiem a podstawą koleoptila.

4. Prawdopodobnie polarność ta zmienia się wolno w czasie tak co do wielkości, jak i kierunku. Ten sam koleoptil może wykazać różną polarność w zależności od czasu, w jakim jest ona badana.

PIŚMIENNICTWO

1. Clark W. G.: Electrical Polarity and Auxin Transport. *Plant Physiol.* **12**, 409—440 (1937).
2. Clark W. G.: Electrical Polarity and Auxin Transport. *Plant Physiol.* **13**, 529—552 (1938).
3. Dainty J.: Ion Transport and Electrical Potentials in Plant Cells. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **13**, 379—402 (1962).
4. Graham L., Hertz C. H.: Measurements of the Geoelectric Effect in Coleoptiles by a New Technique. *Physiol. Plant.* **15**, 96—114 (1962).
5. Graham L., Hertz C. H.: Measurements of the Geoelectric Effect in Coleoptiles. *Physiol. Plant.* **17**, 186—201 (1964).
6. Lund E. J.: Bioelectric Field and Growth. Univ. of Texas Press, Austin 1947, 24—75.
7. Parkinson K. J., Banbury G. H.: Bioelectric Potentials of Intact Green Plants. I. Measurement of the Bioelectric Potentials of Coleoptiles of *Avena sativa* L., var. "Barnwell". *J. exp. Bot.* **17**, 297—308 (1966).
8. Parkinson K. J.: Bioelectric Potentials of Intact Green Plants. II. Analysis of the Changes in the Measured Bioelectric Potentials of *Avena sativa* L. Coleoptiles Brought About by the Application of the Measuring Contacts. *J. exp. Bot.* **17**, 309—319 (1966).
9. Parkinson K. J.: Bioelectric Potentials of Intact Green Plants. III. Effects of Jacketing a Region of the Plant Tissue Between the Measuring Contacts with Mineral Salt Solutions. *J. exp. Bot.* **19**, 658—666 (1968).
10. Ramshorn K.: Experimentelle Beiträge zur elektrophysiologischen Wachstumstheorie. *Planta* **22**, 737—755 (1934).
11. Schrank A. R.: Changes in Electrical Polarity in the *Avena Coleoptile* as an Antecedent to Hormone Action in Geotropic Response. *Plant Physiol.* **20**, 133—136 (1945).
12. Schrank A. R.: Effect of Mechanical Stimulation on the Electrical and Curvature Responses in the *Avena* Coleoptile. *Plant Physiol.* **20**, 344—358 (1945).
13. Siniuchin A. M., Stolarek J.: Zmniejszenie rytmicznych kolebanij biopotencjałów w ontogenezie koleoptila kukuruzy. *Dokłady Akad. Nauk ZSRR.* **137**, 725—728 (1961).
14. Went F. W.: Eine botanische Polaritätstheorie. *Jahrb. wiss. Bot.* **76**, 528—548 (1932).
15. Woodcock A. E. R., Wilkins M. B.: The Geoelectric Effect in Plant Shoots. I. The Characteristics of the Effect. *J. exp. Bot.* **62**, 156—169 (1969).

РЕЗЮМЕ

Исследовали разницу напряжений у колеоптилей *Avena sativa* L. между его вершиной и основанием. В опытах применяли 6 типов макроэлектродов, проводя для каждого из них серию измерений. Время измерения биопотенциала было равно 2 мин., причем на одном колеоптиле проводили два измерения: в системе А — верхний электрод за-

землен по отношению к нижнему и в системе В — наоборот. Результаты обработаны статистически с учетом направления распределения напряжений в coleoptile. Только в системе растение-жидкостный контакт-каломельный электрод были получены результаты, которые можно принять за правильные. Констатировано, что приблизительно половина данной популяции coleoptилей имеет электроположительную верхушку и отрицательное основание и наоборот.

На основе размеров биопотенциалов можно заключить, что у coleoptиля есть такая полярность, которая произвольно и медленно изменяется как в отношении значения, так и в отношении направления. Постоянной полярности у coleoptиля овса не обнаружено. Один и тот же coleoptиль может иметь разную полярность в зависимости от времени ее измерения.

SUMMARY

The potential differences between the upper and basal parts of *Avena sativa* coleoptiles were examined. Six types of macroelectrodes were used. For each type of the electrodes, measurements of 30 coleoptiles were performed. A single measurement of the biopotential lasted two minutes, with one coleoptile subject to two modes of measurement: in the system A — upper electrode being grounded in relation to the lower one, and in the system B — lower electrode being grounded in relation to the upper one.

The results were statistically worked out on the grounds of the direction of potentials distribution in a coleoptile. Only one type of electrodes in the system: plant-liquid contact-calomel electrode gave results which were assumed as being without artefacts. On this basis the data were obtained, which showed that almost half of a given coleoptile population had an electropositive uppermost part in relation to their basal part, while in the other part, the reverse.

On the basis of other data on biopotential measurements, it can be concluded that there is polarity in coleoptiles, the values and direction of which change spontaneously but slowly. There is no stable polarity in the oat coleoptile. One and the same coleoptile may show different polarity depending upon the time course during which this polarity is examined.