
Z Katedry Fizjologii Roślin Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UMCS
Kierownik: prof. dr Adam Paszewski
i z Zakładu Fizjologii Roślin Akademii Rolniczej im. K. Timiriazjewa w Moskwie
Kierownik: prof. dr Iwan Gunar

Aleksiej SINIUCHIN, Jan STOLAREK

**O przewodzeniu prądów czynnościowych przez wiązki przewodzące
dyni zwyczajnej (*Cucurbita pepo*).**

**О распространении токов действия по проводящей системе
стебля тыквы**

**The Conduction of Action Currents by the Conducting Bundles
of the Stem of the Pumpkin (*Cucurbita pepo*)**

Wzrost i rozwój organizmu roślinnego w warunkach ciągle zmieniającego się środowiska jest możliwy tylko przy zgodnym funkcjonowaniu jego komórek i stałym podtrzymywaniu równowagi między rośliną a środowiskiem. Koordynacja procesów endogennych i ustalanie równowagi ze środowiskiem są ściśle związane z pobudliwością, która z kolei wiąże się z wytwarzaniem różnicy potencjałów bioelektrycznych.

W pierwszych pracach z elektrofizjologii roślin wykazano, że słabe i krótkotrwałe prądy pobudzają tkanki roślinne (19), ale przy dłuższym ich działaniu wrażliwość tkanek zmniejsza się. Lewakowski (19) doszedł do wniosku, że silne prądy przy krótkotrwałym działaniu wywołują skurcz protoplastów u roślin, powodując utratę wrażliwości na powtórny bodziec elektryczny.

Stosunkowo dużo prac poświęcono badaniu zależności bioprądów od stanu fizjologicznego rośliny, wieku i warunków zewnętrznych. W r. 1873 Burdon-Sanderson odkrył w liściach rośliny owadożerne *Dionaea muscipula* zjawisko przemieszczania się prądu elektrycznego towarzyszące pobudzeniu liści. Później z podobnym zjawiskiem zetknięto się u innych roślin i zaczęto je systematycznie badać (40, 3, 4, 27, 28, 29, 23, 24, 12, 33, 35). Z polskich badaczy zmiany bioprądów u roślin rzędu

mikrowoltów po raz pierwszy obserwował A. Paszewski w r. 1959 (29).

J. Bose w r. 1913 (3, 4) wykazał zupełną słusność twierdzeń Du Bois-Raymonda i Pflüggera ustalonych na tkankach zwierzęcych i w odniesieniu do roślin. Sumowanie bodźców podprogowych przez rośliny obserwował m. in. Gerhand i Ehrig (11). Kwasow w r. 1949 wykazał, że bioprądy powstające w łądygach zwykłych roślin charakteryzują się podobnymi prawidłowościami jak i bioprądy tkanek zwierzęcych.

Odkrycie polaryzacji elektrycznej tkanek roślinnych pod działaniem światła (38) i przy zmianie położenia organu rośliny w przestrzeni (3, 4, 5) dało podstawę Chołodnemu (8) i Wentowi (39) do opracowania teorii tropizmów. Następnie badaniu polarności elektrycznej tkanek roślinnych poświęcone były prace Lunda (25), Schranka (31), Tauca (36), Okamoto (26), Siniuchina i Stolarka (34).

Chołodnyj (8) podaje, że liście i korzenie reagują na silne zmiany wilgotności wyraźnymi zmianami biopotencjałów. Działanie narkotyków i głodzenie roślin osłabiają lub zupełnie przerywają wytwarzanie bioprawd. Potencjały bioelektryczne zmieniają się również pod działaniem jonów H^+ i OH^- (1), promieni jonizujących (16), naturalnych i sztucznych stymulatorów wzrostu (18, 32) i wielu innych czynników. W plazmodium śluzowców (17, 36) i u roślin wyższych obserwowano rytmiczne zmiany potencjałów bioelektrycznych (9). Kostojanc (19) twierdzi, że takie podstawowe procesy fizjologiczne, jak pobudzenie, następujące po nim hamowanie, sumowanie bodźców podprogowych, przechodzenie pobudzenia lokalnego w rozprzestrzeniające się i powstawanie prądów czynnościowych po zadrażnieniu, istniały jeszcze przed morfologicznym zróżnicowaniem tkanek nerwowych.

Chociaż prac z dziedziny elektrofizjologii pobudzenia jest stosunkowo niewiele, jednak na ich podstawie można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Pobudzenie komórek charakteryzuje się zmianą potencjału bioelektrycznego.
2. Pobudzona część tkanki staje się elektryczna względem niepobudzonych części tkanki.
3. Stopień pobudzenia jest proporcjonalny do siły bodźca nadprogowego.
4. Po pobudzeniu następuje okres refrakcyjny, w czasie którego wrażliwość tkanki na bodziec maleje.
5. Skuteczność drażnienia określa się szybkością wzrostu natężenia bodźca; bardzo powolny wzrost intensywności bodźca zewnętrznego nie powoduje pobudzenia.

W związku z tym, że większość badań elektrofizjologicznych przeprowadzono na tzw. roślinach czułych (*Mimosa*, *Drosera*, *Desmodium*) nasze badania idą w kierunku wyjaśnienia prawidłowości przebiegu procesów elektrycznych u zwykłych roślin.

MATERIAŁ I METODA

Badania przeprowadzono w Zakładzie Biofizyki Akademii Rolniczej w Moskwie. Pracownia była podwójnie ekranowana siatką mosięzną i zaopatrzona w stabilizatory, prostowniki, filtry itd. Obiektem doświadczalnym była dynia zwyczajna (*Cucurbita pepo*). Potencjały mierzono przy pomocy wzmacniacza prądu stałego i nie polaryzujących się elektrod chlorowo-srebrowych lub kalomelowych kontaktowanych z rośliną przy pomocy elektrolitycznych mostów agarowych (10, 32).

Rośliny drażniono 1N roztworem KCl. Każdy pomiar wykonano w 25—37 powtórzeniach.

REZULTATY I DYSKUSJA

Przeprowadzone doświadczenia wykazały, że reakcja rośliny na bodziec zależy od miejsca i sposobu pobudzenia. Przy drażnieniu kontaktowym najczulszy jest system korzeniowy (ryc. 1), najmniej czułą — łodyga. Średnia szybkość przewodzenia prądów czynnościowych przy zadrażnieniu systemu korzeniowego wynosiła ok. 40 cm/min., podczas gdy przy zadrażnieniu wiązki przewodzącej łodygi wynosiła ona tylko od 0,2 do 10 cm/min. Różna jest także ilość wytwarzanych impulsów — w pierwszym przypadku w ciągu 30 min. powstaje ich 10—11, a w drugim — 7—9. Amplituda jest wyższa w pierwszym przypadku (tab. 1).

Tab. 1. Charakterystyka prądów czynnościowych wytwarzanych przez różne części rośliny dyni *Cucurbita pepo* przy pobudzeniu 1N chlorkiem potasu.

Characteristics of the action currents by the different parts of the plant of *Cucurbita pepo* while exciting with 1N solution of potassium chloride.

Miejsce drażnienia	Sposób drażnienia	Szybkość przewodzenia impulsów cm/min.	Ilość impulsów	Amplituda mV
Korzeń Wiązki przewodzące	kontaktowe	40,0	10,0	12,0
podstawy łodygi	kontaktowe	0,2	9,0	7,8
Wiązki przewodzące wierzchołka łodygi	kontaktowe	0,99	7,0	5,0

Należy zaznaczyć, że poszczególne odcinki łodygi różnią się reakcją bioelektryczną. W rezultacie pobudzenia kontaktowego wiązki przewodzącej chlorkiem potasu u podstawy łodygi, powstaje fala pobudzenia, przebiegająca z szybkością 0,2 cm/min. Wytwarza się wówczas w czasie 30 min. 9 impulsów o amplitudzie 7,8 mV. Analogiczne zadrażnienie przy wierzchołku łodygi powoduje powstanie fali pobudzenia przebiegającej z szybkością 0,99 cm/min., a ilość impulsów spada do 7, amplituda — do 5 mV.

Zmiana szybkości i ilości impulsów jest prawdopodobnie uwarunkowana różną przepuszczalnością i asymetrią jonową poszczególnych odcinków wiązki przewodzącej.

Po iniekcji KCl do wiązki przewodzącej u podstawy łodygi wytwarza się fala pobudzenia przemieszczająca się z szybkością 8,24 cm/min., a ilość impulsów wzrasta do 10. Jednocześnie amplitudą impulsów wzrasta do 13,8 mV, tzn. prawie 2 razy.

Analogiczny zabieg przy wierzchołku rośliny powoduje wzrost szybkości rozprzestrzeniania się fali pobudzenia, ale liczba impulsów spada do 4. Można to objaśnić uszkodzeniem młodych wiązek przewodzących podczas iniekcji jak również różną czułością tkanek łodygi.

Badanie reakcji poszczególnych części łodygi (pociętej na 5 odcinków) na drażnienie chlorkiem potasu na przekroju poprzecznym części bazalnych wykazało, że istnieje tendencja do zmniejszania się ilości przebiegających impulsów w miarę przechodzenia od niższych do wyższych części łodygi.

Zgodność rezultatów otrzymanych przy drażnieniu wiązki na przekroju poprzecznym części bazalnych odcinków łodygi i przy iniekcji KCl do wiązek przewodzących u podstawy i przy wierzchołku całej rośliny pozwala przypuszczać, że zaobserwowana zdolność pośrednich części łodygi do wytwarzania bioprądów czynnościowych i stosowana metoda są miarodajne.

Warto rozpatrzyć przemieszczanie się fali pobudzenia w kierunku bazopetalnym. Zagadnienie to było badane na poszczególnych odcinkach łodygi i okazało się, że roślina jest zdolna do przewodzenia prądów czynnościowych w tym kierunku. Poszczególne części łodygi różnią się zdolnością do generowania prądów czynnościowych. Najmniej aktywnym pod tym względem okazał się wierzchołek łodygi. Chlorek potasu nanoszono na części odcinków łodygi. Po zadrażnieniu łodygi w ciągu 30 min. zarejestrowano tylko jeden impuls. W miarę zbliżania się do podstawy łodygi ilość impulsów wzrasta, osiągając 10, a przy szyjce korzeniowej znowu spada do 4. Szybkość przewodzenia fali pobudzenia w kierunku bazopetalnym jest u podstawy ok. 2 razy mniejsza niż w kierunku akropetalnym. Analogiczna zależność szybkości przewodzenia prądów czyn-

nościowych od kierunku występuje u całej rośliny przy drażnieniu mechanicznym lub termicznym (tab. 2).

Należy zaznaczyć, że czas trwania impulsu wynosi w skrajnym wypadku kilka sekund, a szybkość jego przewodzenia znacznie przewyższa szybkość przewodzenia asymilatów w roślinach, która wg K u r s a n o w a (1960 r., 20) wynosi od 30 do 70 cm/godz.

Tab. 2. Szybkość przewodzenia prądów czynnościowych w kierunku akro- i bazopetalnym w cm/min.).

Speed of the conduction of action currents in the acropetal and basopetal directions (in cm/min.).

Sposób drażnienia	Miejsce drażnienia	Kierunek bazopetalny	Kierunek akropetalny
1N KCl	podstawa łodygi	1,0	1,9
Mechaniczny	łodyga	96,0	129,0
Termiczny	liść	47,0	69,0

Zwykle przy drażnieniu chlorkiem potasu po 30 min. wiązki przewodzące już nie generowały prądów czynnościowych. Możliwe, że jest to związane z adaptacją rośliny do danego bodźca lub przy jego dłuższym działaniu z nastąpieniem hamowania parabiologicznego. W pierwszym przypadku po utracie zdolności wytwarzania prądów czynnościowych pod działaniem danego bodźca pojawiają się one znowu na skutek działania innego bodźca lub tego samego, ale działającego na inne miejsce tkanki. W drugim przypadku, tj. hamowania parabiologicznego, nie można osiągnąć powstawania prądów czynnościowych przez działanie nowych bodźców.

Należy teraz scharakteryzować rozprzestrzeniające się prądy czynnościowe. Przede wszystkim stwierdzono, że dla następujących po sobie impulsów charakterystyczne są zmiany amplitudy. Grupę impulsów, u których amplituda zmienia się od pewnej wielkości początkowej do końcowej nazwano „pakunkiem” impulsów tworzących serię. Reagując na drażnienie, roślina wytwarza w jednej serii szereg „pakunków”, które charakteryzują się ilością wchodzących weń impulsów, amplitudą, czasem powstawania. W przeprowadzonych doświadczeniach obserwowano serie składające się z 2—4 takich „pakunków”, pojawiających się rytmicznie; najmniejszą ilość tych grup impulsów w serii obserwowano przy pobudzeniu wierzchołka łodygi. Ilość impulsów wchodzących w skład „pakunków” jest stała i wynosi 3. Uwzględniając to, że we wszystkich doświadczeniach użyto jako bodźca chemicznego chlorku

Tab. 3. Charakterystyka „pakunków” impulsów prądów czynnościowych dyni (*Cucurbita pepo*) w zależności od sposobu i miejsca drażnienia.
Characteristics of the „packets” of impulses of *Cucurbita pepo* depending on the location and the method of administering the stimulus.

Charakterystyka serii	Podstawa łądygi		Wierzchołek łądygi	
	Drażnienie kontaktowe	iniekcja	Drażnienie kontaktowe	iniekcja
Ilość impulsów	9,0	10,0	7,0	4,0
Ilość „pakunków”	3,0	4,0	3,0	2,0
Ilość impulsów w „pakunku”	3,0	3,0	3,0	2,0

potasu, można przypuścić, iż „pakunek” serii stanowi tę grupę impulsów, która charakteryzuje działanie tej substancji i możliwe, że roślina w ten sposób „poznaje” charakter danego bodźca (tab. 3).

Ze względu na charakter przewodzenia prądów czynnościowych „pakunki” można podzielić na dwa typy: 1) zmniejszanie się amplitudy od maksymalnej wielkości pierwszego impulsu do minimalnej ostatniego, 2) początkowy wzrost amplitudy, następnie jej spadek.

Najczęściej występowały grupy impulsów pierwszego typu, stanowiły one 55%. Jeśli chodzi o „pakunki” drugiego typu, to przy pobudzeniu przez drażnienie kontaktowe lub iniekcję chlorku potasu stanowią one 45%. Przy uszkodzeniu mechanicznym tkanek szczególnie młodych ilość „pakunków” drugiego typu wynosi tylko 25%. „Pakunki” drugiego typu

Tab. 4. Czas pojawienia się „pakunków” impulsów prądów czynnościowych w zależności od ich kolejności następowania po sobie przy drażnieniu 1 N chlorkiem potasu.

Dependence between the period at the end of which the next impuls occurs and the first „packet” impulses in a serie.

Kolejność następowania po sobie „pakunków”	Pobudzenie u podstawy łądygi		Pobudzenie u wierzchołka łądygi	
	kontaktowe	iniekcja	kontaktowe	iniekcja
I — II	1 min. 43 sek.	1 min. 48 sek.	1 min. 05 sek.	3 min. 27 sek.
I — I	1 min. 47 sek.	2 min. 05 sek.	1 min. 45 sek.	4 min. 02 sek.
I — II	1 min. 19 sek.	1 min. 08 sek.	1 min. 26 sek.	1 min. 11 sek.
II — II	1 min. 34 sek.	—	—	—

przy wszystkich sposobach drażnienia mają większą ilość impulsów i większą sumę ich amplitud w porównaniu z pierwszym typem.

Typ pierwszego „pakunku” w serii określa czas t pojawienia się następnego „pakunku” prądów czynnościowych w serii (tab. 4). Ustalono, że t pojawienia się „pakunku” pierwszego typu za „pakunkiem” typu drugiego jest zawsze mniejsze niż t pojawienia się „pakunku” typu pierwszego za tymże „pakunkiem”. t jest tym mniejsze im mniejsza jest różnica między amplitudą pierwszego i ostatniego impulsu serii. Okresów t jest mniej, wówczas gdy „pakunek” typu drugiego następuje po sobie; t jest tym krótsze im mniejsza jest różnica między ostatnim impulsem poprzedniego „pakunku” i pierwszym następnego (tab. 5).

Tab. 5. Zależność t od wielkości amplitudy prądów czynnościowych wchodzących w skład poszczególnych „pakunków” serii.

The dependence of t in the amplitude of impulses of the action currents.

Charakterystyka „pakunku”	Drażnienie u podstawy łodygi (mV)		Drażnienie u wierzchołka łodygi (mV)	
	kontaktowe	iniekcja	kontaktowe	iniekcja
Suma amplitud impulsów poprzedniego „pakunku” przy: t mniejszym od 1 min.	38,9	19,3	15,6	15,0
t większym od 1 min.	41,6	29,7	24,2	12,0
Różnica amplitud pierwszego i ostatniego impulsu poprzedniego „pakunku” przy: t mniejszym od 1 min.	9,0	5,5	2,2	2,0
t większym od 1 min.	12,4	9,4	9,0	4,0

Ostatnie impulsy, pojawiające się przy drażnieniu chlorkiem potasu, charakteryzują się dużą wartością i spadkiem amplitudy. W ostatnich „pakunkach” impulsy pojawiają się wolniej niż w pierwszych, co wskazywałoby na zjawisko zmęczenia u roślin.

Prawdopodobnie suma amplitud prądów czynnościowych w poszczególnych grupach impulsów charakteryzuje ilość pobudzenia zdolnego do wytworzenia i utrzymania określonych zmian w procesach fizjologicznych w organizmie.

W doświadczeniach bez dostrzegalnego uszkodzenia rośliny odchylenia sumy amplitud prądów czynnościowych w poszczególnych „pakunkach” od ich wielkości średniej nie przewyższają 11%. Przy podrażnieniu alteracyjnym tkanek wierzchołka odchylenia te dochodzą do 36% (tab. 6).

Tab. 6. Zmiana sumy amplitud prądów czynnościowych „pakunków” przy różnych sposobach pobudzenia.

The variation of the sum of current actions of the „packets” generated using the different methods of the stimulation.

Sposób drażnienia	Średnia sumy amplitud potencjałów czynnościowych „pakunków” (mV)	Odchylenia od wielkości średniej (%)
Drażnienie kontaktowe wiązki przewodzącej przy podstawie	30,6	8,5
Drażnienie kontaktowe wiązki przewodzącej przy wierzchołku	19,3	4,4
Iniekcja do wiązki przewodzącej przy podstawie	20,5	11,7
Iniekcja do wiązki przewodzącej przy wierzchołku	15,5	33,5
Drażnienie dolnego końca odcinka górnej części łądygi	18,6	38,6
Drażnienie górnego końca odcinka górnej części łądygi	17,0	51,8

Charakterystyka „pakunków” prądów czynnościowych wytwarzanych tak przy pobudzeniu części górnej łądygi, jak i dolnej jest analogiczna. W wypadku odchylenia sumy amplitud impulsów prądów czynnościowych „pakunków” od wielkości średniej, dochodzącego do 36% u ostatnich „pakunków” serii obserwujemy tendencję do wzrostu sumy amplitud impulsów prądów czynnościowych. Możliwe, że w danym wypadku mamy do czynienia z uszkodzeniem sprzężenia zwrotnego przy alteracji i naruszeniu koordynacji procesów endogennych (Scott 30).

WNIOSKI

Na podstawie przedstawionego materiału doświadczalnego można stwierdzić, że:

1. Różne odcinki tkanek przewodzących dyni są zdolne do wytwarzania i przewodzenia prądów czynnościowych zarówno w kierunku akrojak i bazopetalnym.

2. Rośliny wyższe posiadają mniej lub więcej zróżnicowane drogi przewodzenia prądów czynnościowych i charakteryzują się istnieniem refrakcyjności. Szybkie przewodzenie prądów czynnościowych i krótki czas ich trwania świadczy o częściowym pobudzeniu dróg przewodzących bez głębokich i długotrwałych zmian procesów fizjologicznych.

3. Prądy czynnościowe wytwarzane pod wpływem chlorku potasu rozprzestrzeniają się „pakunkami” w określonych seriach. Te „pakunki” charakteryzują się określoną ilością impulsów i statycznością ich amplitudy. Wobec zmienności organizmu roślinnego wymienione parametry ulegają silnym zmianom w wyniku naruszenia procesów endogennych.

PIŚMIENNICTWO

1. Aloszin S. N., Jastriebow M. T.: Izmienienija zariada kornia pszenicy w prisutswii aluminiya i fosfat jonow. Dokł. A N SSSR, t. 70, nr 3, 1950.
2. Boncz-Brujewicz A. J.: Zastosowanie lamp elektronowych w fizyce doświadczalnej. Warszawa 1957.
3. Bose J. C.: Nervous Mechanisms of Plants. London 1913.
4. Bose J. C.: Researches on the Irritability of Plants. London 1913.
5. Brauner A.: Zur Theorie des goelektrischen Effekts. Protoplasma, vol. 20, 1933.
6. Burdon-Sanderson J.: Über elektrische Vorgänge im Blätter der *Dionaea muscipula*. Zbl. med. Wiss, Bd. 35, 1873.
7. Burdon-Sanderson J.: Note on the electrical phenomena which accompany irritation of the leaf of *Dionaea muscipula*. Proc. Roy. Soc., vol. 21, 1873.
8. Chołodnyj N. G.: Izbrannyje trudy. t. 1, 2, Kijew 1956.
9. Chwiedielidze M. A.: K woprosu o bioelektriczeskich potencjalach rastienij. Usp. Sowr. Biol., t. 46, wyp. 1, 1958.
10. Curtis H. J. Bioelectrical Measurements, in Biophysical Research Methods. New York-London 1950.
11. Gerhand K., Ehrig H.: Die Summation unterschwelliger Reize. Biol. Zentr., Bd. 76, 4, 1957.
12. Gunar I. I.: Problema rozdrażimosti rastienij i dalniejszeje rozwitije fizjologii rastienij. Izw. T. S. Ch. A, wyp. 2, 1953.
13. Gunar I. I., Siniuchin A. M.: Elektrofizjologiczeskaja charakteristika razdrażimosti rastienij, Izw. T. S. Ch. A., wyp. 4, 1959.
14. Gunar I. I.: Wlijanije tokow diejstwija na krugoweje dwizenije protoplazmy kletok nitelży. Izw. T.S.Ch. A., 1960.
15. Howink A. L.: The conduction of excitation in *Mimosa pudica*. Rec. Trav. Bot. Neerl, vol. 32, 1935.
16. Jones M. W., Kivel B., Bless A. A.: The bioelectric potential of seeds as a function of growth and of X-ray dosage. Plant Physiol., 26, 1, 1950.
17. Kenyon N., Abe S.: Bioelectric phenomena and protoplasmic flow. J. Colloid Sci., Vol. 5, 1950.
18. Klaczko-Gurwicz G. L.: Wlijanije geteroauksina, gidrochinona i pierekusi wodoroda na bioelektriczeskij potencjal tkaniej lista. Biofizika, t. 3, wyp. 3, 1958.
19. Kosztójanc Ch. S.: Osowy sprawnitelnoj fizjologii, t. 3, Moskwa 1957.
20. Kursanow A. Ł.: Wzaimoswiaz fizjologiczeskich processow w rastienii, Moskwa 1960.
21. Kwasow D. G.: Materiały k fizjologii razdrażimosti rastitielnych kletok. Ucz. Zap. L. G. U., 99, 1949.
22. Lewakowski N. O.: O dwizenii razdrażonnych organow rastienij, Charkow 1867.

23. Lous S. N.: Studies on turgor movements and action currents of *Mimosa pudica*. Minneapolis 1939.
24. Lou Tchen-cho: O pieriedacze dwiżenija elektriczskim tokom u rastienij, Zur. Obszcz. Biol., 19, 5, 1958.
25. Lund E. J.: Bioelectric Field and Growth. Texas 1947.
26. Okamoto N.: On the excitation phenomena in embryonic plants of *Vigna sesquipedalis* caused by electric stimuli and presence of polarities concerning the excitability. Bot. Mag., vol. 68, 803, Tokyo 1955.
27. Osterhout W. J. V.: Electrical phenomena in large plant cells. Physiol. Rev., Vol. 16, 1936.
28. Osterhout W. J. V.: Some ways to control bioelectrical behaviour. Cold Spring Harbor Symposia, vol. 4, 1936.
29. Paszewski A.: The application of the electroencephalograph for the measurements of changes of electric potential differences in plants. Acta. Soc. Bot. Pol., vol. 28, 2, 1959.
30. Scott B. J. H.: Electric oscillations generated by plant roots and a possible feedback mechanism responsible for them. Austr. Journal of Biol. Scie., vol. 10, 2, 1957.
31. Schrank A. R.: Electrical polarity and auxins. Plant Growth Substances, Virginia 1957.
32. Sinjukhin A. M.: Rolul modifcaritor potentialului de oxidoreducere de regenerare a plantelor, Analele Romino-Soviet, 1, 1959.
33. Siniuchin A. M., Zubariw W. A.: O ritmiczeskich izmianianijach skorosti dwiżenija protoplazmy kletok nitelny pri wozbużdienii jonami kallija. Dokl. AN SSSR, t. 129, 2, 1959.
34. Siniuchin A. M., Stolarek J.: Izmienienije ritmiczeskich kolebanij bopotentcjalow w ontogenezie koleoptilia kukuruzy. Dokl, A N SSSR, t. 137, 2, 1961.
35. Siniuchin A. M.: Active role of protoplasm in the creation of membrane potential. International Biophysics Congress, Stockholm 1961.
36. Tauc L.: Phenomenes bioelectriques observés dans le plasmode du myxomycete (*Physarum polycephylum*). Journ. Physiol., vol. 46, 2, 1954.
37. Umrath K.: Über elektrische Potential und Über den Erregungsvorgang bei dem Myxomiceten *Physarum polycephylum*. Protoplasma, Bd. 42, 3, 1953.
38. Waller A. D.: Action electromotrice des feuilles vertes sous l'influence des la lumière rouge, bleue et verte. C. Rend. Sci. Biol., vol. 52, 1900.
39. Went F. W.: Growth Hormones in the Higher Plants. Ann. Rev. Biochem., vol. 8, 1939.
40. Wjaziemski T. J.: Elektrizieskije jawlenija rastienij. Moskwa 1901.

РЕЗЮМЕ

Статья содержит краткий литературный обзор работ по электрофизиологии растений, связанных с вопросами возбуждения растительных тканей и результаты опытов по изучению проводимости токов действия, вызванных $\ln KCl$, по проводящей системе тыквы.

Для исследований биоэлектрических потенциалов применялись неполяризующиеся хлорсеребряные или каломельные электроды, присоединенные к усилителю постоянного тока с входным сопротив-

лением порядка 10^{10} ом. Электроды приводились в контакт с растением через агаровые мостики. Установлено, что ответная реакция растения зависит от способа и места раздражения. При контактном возбуждении наиболее чувствительной частью растения является корневая система, наименее чувствительной — стебель. Средняя скорость проведения тока действия при возбуждении корневой системы около 40 см/мин., тогда как при контактном возбуждении проводящего пучка стебля она составляет 0,2—10 см/мин. Различно также количество генерируемых токов действия: в первом случае за 30 минут наблюдается их 10—11 а во втором случае их 7—9. Кроме того амплитуда импульсов больше в первом случае (табл. 1).

Установлена различная скорость распространения токов действия при возбуждении $1n$ раствором KCl в направлении акропетальном 0,2 см/мин. при 9 импульсах за тридцать минут, а в базипетальном — 0,99 при 7 импульсах за тридцать минут при амплитуде 5 мв. При инъекции хлористого калия в проводящий пучок у основания волна возбуждения распространяется со скоростью 8,24 см/мин. при количестве импульсов до 10 с амплитудой 13,8 мв; в случае инъекции у вершины повышается скорость и амплитуда, но уменьшается число импульсов до 4-х.

Наименее активна при возбуждении акропетальная часть стебля — 1 импульс за 30 минут, у основания за это же время появляется 10 импульсов, у самой верхушки корневой шейки — 4.

Скорость распространения волны возбуждения в базипетальном направлении примерно в два раза меньше чем в акропетальном (табл. 2).

После 30 минут токи действия исчезали, что явилось следствием адаптации растения к действию данного раздражителя или же парабитического торможения.

Установлено, что токи действия, вызванные хлористым калием распространяются „пакетами“ в определенных сериях. Эти „пакеты“ характеризуются определенным количеством токов действия, и стабильностью их амплитуды. Найдены две группы импульсов, названных „пакетами“ и предполагается, что с помощью таких „пакетов“ растение „опознает“ раздражитель (табл. 3).

Найдена взаимосвязь между характером первого „пакета“ импульсов серии ответной реакции и временем появления последующих импульсов (табл. 4).

При нарушении целостности растительного организма указанные показатели сильно колеблются вследствие, по — видимому, нарушения внутренних взаимосвязанных процессов.

SUMMARY

The first part of the paper discusses the most important publications dealing with the electrophysiology of plants and with the excitation of plant tissues. The second part contains the results of experiments intended to throw light on the conduction of action currents created under the influence of 1n solution of potassium chloride in the conducting bundles of the stem of a pumpkin (*Cucurbita pepo*).

For measuring the bioelectrical potentials we used non-polarising silver chloride or calomel electrodes connected with a d.c. amplifier with an input resistance of the order of 10^{10} ohms. The electrodes were connected to the plant by means of electrolytic agar-agar blocks. We established that the reaction of the plant to the stimulus depends on the location of the stimulus and method of administering it. With contact stimulation, the most sensitive part of the plant is the root system, the least sensitive part is the stem.

The average speed of conduction of excitation given by irritation of the root system was about 40 cm/min. When the conducting bundles are irritated, this speed is 0.2—10 cm/min. The number of the created impulses of action current also varies: in the first case 10—11 impulses occurred in 30 minutes, in the second, 7—9. Besides this, the amplitude of the impulses is higher in the first case (Fig. 1).

We also established the differences in the conduction of action current when stimulated by 1n KCl; in the akropetal direction 0.2 cm/min., the number of impulses being 9 in a 30-minute period, with an amplitude 7.8 mV, and in the besopetal direction 0.99 cm/min., the number of impulses being 7 in a 30 minute period. When potassium chloride was injected into the conducting bundles at the base of the plant the excitation wave had a speed of 8.24 cm/min., the number of impulses being 10 and the amplitude 13.8 mV. When KCl was injected into the apex of the plant the speed and amplitude increased but the number of impulses decreased to 4.

The least active part of the plant, after excitation, is the acropetal section of the stem — 1 impulse in a 30-minute period, while in this time 10 impulses occurred at the base of the plant and 4 at the root neck.

The speed of conduction of the excitation waves in the basopetal direction is about half the speed in the acropetal direction (Table 2).

After 30 minutes the action currents faded, which appears to be consequence of the plants' adapting itself to the given stimulus, or the result of the occurrence of parabiologic slowing down. We established that the action currents created by the action of potassium chloride

are conducted in „packets” in defined series. They are characterized by the number of incoming impulses of action currents and the static nature of their amplitudes.

Two groups of impulses, called „packets”, were found, and we suppose that with the help of such „packets” the plant „recognises” the stimulus (Table 3).

We also discovered a dependence between the first „packet” of impulses in a series, and the period at the end of which the next impulses appear (Table 4).

When the coordinated activity of the plant organism is injured the characteristics described change considerably as a result of damage to the internal processes which are all closely interconnected.

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE - SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. XIV

SECTIO C

1959

12. W. Anasiewicz i B. Miczulski: Obserwacje nad wzrostem młodych zaskrońców (*Natrix natrix* L.) wylęgłych i hodowanych w warunkach terrariowych.
Observations on the Growth Rate of *Natrix natrix* L. Hatched and Reared under Artificial Conditions.
13. K. Modrzevska: Morfologia ucha zewnętrznego.
Morphology of the External Ear.
14. D. Fijałkowski: Rezerwat leśny „Bachus” koło Chełma.
Das Waldreservat „Bachus” bei Chełm.
15. D. Fijałkowski: Kłóć wiechowata *Cladium mariscus* (L.) Pohl. w województwie lubelskim.
Binsen-Schneide *Cladium mariscus* (L.) Pohl. in der Wojewodschaft Lublin.
16. K. Izdebski: Analiza biometryczna drzewostanów w rezerwacie leśnym na Bukowej Górze pod Zwierzyńcem.
Biometric Analysis of the Trees in the Forest Reservation on the Bukowa Góra near Zwierzyńiec.
17. K. Kozak: Stanowiska zimoziołu północnego (*Linnaea borealis* L.) na Roztoczu Środkowym.
Standorte der *Linnaea borealis* L. im Hügelland des mittleren Roztocze.
18. Z. Wierzchowski i M. Bubicz: Karotenoidy owoców berberysu zwyczajnego.
Carotenoids of the Berries of *Berberis vulgaris*.
19. E. Gawroński: Efekt mitogenetyczny drożdży *Saccharomyces cerevisiae* Hansen rasy piekarnianej „AS”.
A Mitogenetic Effect of the Yeast *Saccharomyces cerevisiae* Hansen, the Strain of Baker's Yeast, „AS”.
20. A. Paszewski: Influence of an Enzyme Extract from the Larvae of *Galleria mellonella* together with Penicillin or Sulphathiazole on the Growth of *Mycobacterium tuberculosis* 607.
Wpływ wyciągu enzymatycznego z larw *Galleria mellonella* oraz penicyliny względnie sulfatiazolu na wzrost prątków *Mycobacterium tuberculosis* 607.

1. K. Strawinski: *Hemiptera-Heteroptera* spotykane pod kamieniami.
Hemiptera-Heteroptera Found under Stones.
2. B. Miczulski: Badania nad ryjkowcami (*Curculionidae*) występującymi na uprawach rzepaku w okolicach Lublina. Skład jakościowy i ilościowy ryjkowców oraz dane fenologiczne.
Investigations on *Curculionidae* Found on *Brassica napus* L. in the Environs of Lublin. Qualitative and Quantitative Composition of *Curculionidae* and some Phenological Data.
3. T. Ziarkiewicz: Badania nad wrażliwością na barwy owadów (*Coleoptera* i *Lepidoptera*) występujących na rzepaku.
Investigation on Colour Sensitivity in Insects (*Coleoptera* and *Lepidoptera*) Found on *Brassica napus* L.
4. J. Piasecka: *Hemiptera-Heteroptera* łąk nadleśnictwa Janów Lubelski.
Hemiptera-Heteroptera Found on the Meadows of Janów Lubelski Situated in the Close Vicinity of Forests.
5. Z. Cmoluch: *Brachysomus strawiński* n. sp. (*Coleoptera*, *Curculionidae*).
6. M. A. Alikhan: The Experimental Study of the Chemotactic Basis of Host-Specificity in a Phytophagous Insect, *Aphis fabae* Scop. (*Aphididae*: *Homoptera*).
Studia eksperymentalne nad chemotaktycznymi podstawami fagizmu u *Aphis fabae* Scop. (*Aphididae*. *Homoptera*).
7. A. Cmoluchowa: Obserwacje nad *Hemiptera-Heteroptera* Ogrodu Botanicznego Uniwersytetu MCS w Lublinie.
Observations on *Hemiptera-Heteroptera* of the Botanical Garden of the Maria Curie-Skłodowska University, Lublin.
8. J. M. Pętał: Dane do morfologii i biologii niektórych gatunków z rodzaju *Nabis* Latr. (*Hem.-Heter.*).
Data Concerning the Morphology and Biology of some Species Belonging to *Nabis* Latr. (*Hem.-Heter.*).
9. A. Anasiewicz: Obserwacje nad występowaniem przadki pierścienicy (*Malacosoma neustria* L.) na porzeczce czarnej (*Ribes nigrum* L.).
Observations on the Occurrence of the Lackey Moth (*Malacosoma neustria* L.) on Black Currant Plants (*Ribes nigrum* L.).
10. R. Giering: Histologiczna budowa mózgu *Cicadetta adusta* (Hag.) (*Homoptera*, *Cicadidae*).
Histological Structure of the Brain of *Cicadetta adusta* (Hag.) *Homoptera*, *Cicadidae*.
11. W. Stojalowska: Badania nad *Polydesmus complanatus* (L.) (*Diplopoda*) w hodowli.
Some Notes on *Polydesmus complanatus* (L.) (*Diplopoda*) under Rearing Conditions.
12. E. Gawroński: Rozpuszczalne frakcje humusu ekskrementów dżdżownicy *Allolobophora caliginosa* Sav.
Soluble Fractions of the Humus of the Excreta of *Allolobophora caliginosa* Sav.

UNIWERSYTET MARII CURIE-SKŁODOWSKIEJ

BIURO WYDAWNICTW

LUBLIN

Plac Litewski 5

POLOGNE

Adresse: