ANNALES

UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA LUBLIN – POLONIA

VOL. XXVI, 27

SECTIO C

1971

Instytut Biologii UMCS Zakład Anatomii i Cytologii Roślin

Józef BEDNARA i Franciszek KADEJ

Szybkość i rozmieszczenie wzrostu w dekapitowanych i normalnych korzeniach Zea mays L.

Скорость роста и ее размещение в декапированных и нормальных корнях Zea mays L.

The Rate and Distribution of Growth in Decapitated and Normal Roots of Zea mays L.

Pierwsze badania wzrostu korzeni, prowadzone przez Duhamela w r. 1758, wykazały, że organ ten rośnie częścią szczytową. Sachs w r. 1873 określił rozmieszczenie stref wzrostu w korzeniu, rysując na powierzchni znaczki i mierząc co pewien czas odległości między nimi. Ustalił w ten sposób, że najszybciej rośnie strefa korzenia położona nieco powyżej szczytu. Wagner w r. 1930 zastosował do badań nad rozmieszczeniem wzrostu metodę analizy kompleksów komórek na materiale utrwalonym. Z jego danych wynikało, że istnieją fluktuacje wskaźnika mitotycznego wzdłuż osi korzenia. Brumfield w r. 1942. opierając się na pomiarach długości komórek epidermy rosnącego korzenia Phleum pratense, wyróżnił w nim trzy strefy wzrostu. Pierwszą, leżącą przy szczycie, strefę o małym wzroście, drugą – przejściowa oraz trzecią – szybkiego wzrostu. W obrębie strefy pierwszej i trzeciej tempo wydłużania jest stałe. Wyniki badań Goodwina i Stepk i w r. 1945, dotyczące również Phleum pratense, wskazują, że tempo wydłużania małych odcinków korzenia zmienia się stopniowo na całej długości strefy wzrostu, osiągając wysokie i wąskie maksimum w odległości ok. 400 µ od szczytu. Długość całej strefy wzrostu wynosiła w przybliżeniu 1000 µ. Hejnowicz w r. 1956 przeprowadził konfrontację dwu ostatnich prac i wykazał, że rozbieżność danych wynika ze specyfiki metod przyjętych przez badaczy oraz częściowo z różnej szybkości wzrostu mierzonych korzeni. Według Hejnowicza tempo wzrostu kolejnych odcinków korzenia *Phleum* zmienia się, stopniowo osiągając szerokie maksimum w odległości 700 μ od szczytu, przy długości strefy wzrostu 1500 μ . Autor ten dostrzega niejednostajność wzrostu korzeni, związaną, jego zdaniem, ze zmianami długości strefy wzrostu lub zmianami tempa wydłużania pewnych jej części (bez zmian długości całej strefy). Erickson i Saxwr. 1956 u *Zea mays* zauważyli zmiany tempa wydłużania małych odcinków w 4 kolejnych półgodzinnych odstępach czasu. Z przedstawionych przez nich danych o rozmieszczeniu wzrostu wynika, że tempo wydłużania małych odcinków korzenia zmienia się wzdłuż całej 10 mm strefy wzrostu, osiągając w odległości 4 mm od szczytu maksimum wydłużania.

Znacznie mniej wiadomo o szybkości wzrostu i rozmieszczeniu tempa wydłużania się korzeni eksperymentalnie uszkodzonych, np. korzeni z odcietym końcem merystemu wierzchołkowego. Są to zazwyczaj obserwacje czynione przy okazji innych badań. Ciesielski w r. 1872, badając zjawisko geotropizmu, zauważył, że odcięta od korzenia niewielka część wierzchołka odtwarza się po kilku dniach. Prantl w r. 1874 i Simon w r. 1904 badali w korzeniach Zea mays i innych gatunków przemiany anatomiczne zachodzące podczas przebiegu regeneracji odciętego merystemu. Simon zauważył, że korzenie w pierwszym dniu po dekapitacji rosną z szybkością właściwą normalnym korzeniom, a w drugim dniu - o połowę wolniej. Nemec w r. 1904 zaobserwował, że po usunięciu części wierzchołka korzeń nie wykazuje reakcji geotropicznej, która pojawia się ponownie po zregenerowaniu brakującej części merystemu. Gautheret w r. 1935, stosując metodę hodowli in vitro, badał szybkość przebiegu regeneracji oraz szybkość różnicowania się komórek w korzeniach dekapitowanych, tak że nie zachodziła w nich regeneracja wierzchołka. Kadej w r. 1956 zaobserwował, że po dekapitacji następuje przejściowe przyspieszenie wzrostu korzeni. Cholodny w r. 1924 przedstawił dane o hamującym działaniu różnych stężeń IAA na wzrost dekapitowanych korzeni. (1) Spurnyw r. 1968, badając siewki Pisum, odcinał 1,3 mm części wierzchołka korzenia, na skutek czego zanikały zarówno okrężne ruchy (nutacyjne) wierzchołka, jak i reakcje geotropiczne. Zdaniem autora, świadczy to o pozbawieniu korzenia ośrodka kierującego poprzez ruchy nutacyjne reakcjami geotropicznymi.

Wszystkie nimal badania nad wzrostem zmierzały do powiązania tego procesu z rolą, jaką w nim spełniają poszczególne części korzenia. Brak jednak danych o szybkości i rozmieszczeniu wzrostu w korzeniu w ciągu dość długiego okresu obserwacji, a także danych o funkcjono-

waniu stref rozmieszczenia wzrostu. Podobnie nie prowadzono ścisłych badań dotyczących szybkości i rozmieszczenia wzrostu w korzeniach pozbawionych części wierzchołka.

W niniejszej pracy porównano szybkość i rozmieszczenie wzrostu w korzeniach normalnych i dekapitowanych w ciągu długiego (ok. 100 godz.) czasu obserwacji, zestawiając uzyskane wyniki z budową anatomiczną korzeni normalnych i regenerujących.

METODY

Do badań użyto wykielkowanych na bibule siewek Zea mays L. z korzeniami o długości ok. 4 cm. Siewki podzielono na 4 grupy, z których grupa A stanowiła kontrolę. W następnych grupach odcinano przy pomocy mikromanipulatora różnej długości części wierzchołka korzenia (ryc. 1), w grupie: B ok. 500-600 μ - czepek do granicy z częścią osiową, C - czepek wraz z ok. 100 μ części osiowej merystemu, D - czepek i ok. 300 μ części osiowej.

U Zea mays podczas kiełkowania wyrasta jeden korzeń, po 3—5 dniach kilka dalszych korzeni. W 2 dni po wykiełkowaniu korzeń pierwszy osiąga długość ok. 4 cm. W takim korzeniu *in tot*o pod mikroskopem zauważa się wyraźną granicę między czepkiem a częścią osiową. Fakt ten pozwala na odcinanie jednakowych części merystemu wierzchołkowego.



Ryc. 1. Schemat wielkości części dekapitowanych czterech grup korzeni eksperymentalnych; A — korzenie kontrolne, B — korzenie z odciętym czepkiem, C korzenie z odciętym czepkiem i 100 μ merystemu osiowego, D — korzenie z odciętym czepkiem i 300 μ merystemu osiowego

Scheme of the size of decapitated parts in four groups of experimental roots; A—control roots, B—roots with a cap cut off, C—roots with a cap and 100 μ of apical meristem cut off, D—roots with a cap and 300 μ of apical meristem cut off Siewki eksperymentalne i kontrolne umieszczano w szklanych prostopadłościennych naczyniach z wodą wodociągową o temp. 25° C, stale lub okresowo napowietrzaną. Wzrost korzeni kontrolnych i dekapitowanych filmowano poklatkowo co 4 min. przez 4,5 doby. Każdorazowo filmowano 2, 3 lub 4 naczynia, w których znajdowało się po 4—6 korzeni. W niektórych powtórzeniach używano aparatu fotograficznego, robiąc zdjęcia co 2, 3 lub 6 godz. Korzenie były hodowane w pokoju bez sztucznego oświetlenia, jedynie podczas robienia zdjęć zapalano 4 żarówki o łącznej mocy 1500 W w odległości ok. 1 m od naczyń z roślinami. Dla określenia wzrostu korzeni wykonano pomiary na obrazach otrzymanych z projekcji poszczególnych klatek filmu lub zdjęć.

Dla porównania danych o szybkości wzrostu z budową anatomiczną sporządzono preparaty korzeni kontrolnych i eksperymentalnych z grupy C. Końce korzeni o długości 12 mm utrwalano 24 godz. w CrAF (0,5-1-20). Do utrwalania brano korzenie w następującym czasie od początku hodowli: O godz., 12 godz., oraz 1, 2, 3, 4, 5, 6 i 7 dni. Skrawki podłużne, grubości 6 μ , uzyskane techniką parafinową, barwiono safraniną O oraz zielenią: jasną albo trwałą (light green albo fast green).

Badanie rozmieszczenia wzrostu w korzeniach prowadzono w oparciu o hodowlę w wyżej opisany sposób, przy czym jednak co 6 godz. powlekano koniec korzenia sproszkowanym węglem drzewnym. Po 6 godz. od naznaczenia fotografowano przez mikroskop powierzchnię rosnącego korzenia z przyklejonymi kawałkami węgla. Na zdjęciach, powiększających 10 × wymiary korzenia, mierzono odległości między kolejnymi punktami i porównywano ich przyrosty.

OBSERWACJE

1. SZYBKOŚĆ WZROSTU KORZENI

Filmy poklatkowe i zdjęcia wskazują na to, że istnieją znaczne różnice pomiędzy wzrostem korzeni kontrolnych i dekapitowanych. W pierwszych 6 godz. od momentu dekapitacji szybkość wzrostu obu grup korzeni była zbliżona. W następnym okresie, od 6 do 18 godz., zaznaczyło się wyraźne zwiększenie przyrostu korzeni, którym odcięto część wierzchołka. Pomiary przyrostu długości wykonano na korzeniach po 18 godz. od czasu dekapitacji. Z obliczeń statystycznych wynika, że istnieje różnica w przyrostach długości każdej grupy korzeni dekapitowanych względem korzeni kontrolnych (ryc. 2). Istotność statystyczną różnicy obliczano testem t Studenta oraz pomocniczo testem C Cochrana i Coxa.

Korzenie kontrolne, hodowane przez 4,5 doby, rosły początkowo z szybkością 1,0—1,8 mm na godz., po upływie 20—30 godz. szybkość wzrostu zwiększała się, osiągając wartość 1,7—2,0 mm/godz. Na przestrzeni 4,5 doby tempo wzrostu poszczególnych korzeni było niejednolite. Obserwowano kolejne, nierówne okresy (trwające od kilku do kilkunastu godzin) szybszego i powolniejszego wzrostu. Pomimo hodowania roślin z korzeniami równej długości w możliwie jednakowych warun-



Ryc. 2. Zestawienie średnich przyrostów długości czterech grup korzeni w czasie 18 godz.; 1 – odchylenie standardowe od średniej w grupie kontrolnej A i grupach dekapitowanych B, C, D

Comparison of mean increases in the length of four groups of roots during 18 hrs; 1-standard deviation from mean in control group A and in decapitated groups B, C, D

kach wahania szybkości wzrostu nie były ze sobą zsynchronizowane (ryc. 3 A). Zmiany szybkości nie były zatem związane z cyklem dobowym.

Pozbawione czepka korzenie grupy B w okresie od ok. 6 godz. po dekapitacji rosły szybciej od kontrolnych. Szybkość ich wzrostu była zawarta w granicach 1,8—2,5 mm/godz. i utrzymywała się przez 3—4 dni, potem ulegała obniżeniu (ryc. 3 B). Korzenie tej grupy również wykazywały wahania szybkości wzrostu, analogiczne do kontrolnych.

Korzenie grupy C (pozbawione czepka i 100 μ części osiowej) rosły w pierwszych 6 godz. z szybkością niewiele większą od korzeni kontrolnych, w następnych 12—18 godz. rosły szybciej — 1,8—2,4 mm/godz. Potem następowało osłabienie wzrostu, mające różną wartość w indywidualnych przypadkach (1,2—0 mm/godz.). Po ok. 3,5 dobach eksperymentu niektóre korzenie stopniowo zwiększały szybkość wzrostu (ryc. 3 C).

Grupa doświadczalna D obejmuje korzenie pozbawione czepka i 300 μ osiowego merystemu. Przez pierwsze 6 godz. korzenie tej grupy rosły niewiele szybciej niż kontrolne (ryc. 3 D). Później szybkość zwiększała się do 1,8—2,0 mm/godz., ale już po 18—24 godz. od dekapitacji gwałtownie spadała. Po dalszych 12—18 godz. korzenie przestały rosnąć.

U poszczególnych korzeni grupy C i D wzrost szybkości wydłużania po dekapitacji nie był jednakowy, a także nie trwał jednakowo długo.



Ryc. 3. Średnie szybkości wzrostu pojedynczych, typowo rosnących, korzeni Zea mays z grupy kontrolnej A i grup korzeni dekapitowanych B, C, D w 6-godzinnych odstępach czasu w ciągu 4,5 doby; 1, 2, 3—korzenie wybrane losowo Mean rates of growth of single typically growing Zea mays roots from control group A and of decapitated roots from groups B, C, D at 6-hour intervals during 4.5 days; 1, 2, 3—the roots selected by chance

Zachodzi tu, jak się wydaje, taka prawidłowość, że jeśli początkowa szybkość wzrostu jest większa, to okres jego przyspieszenia trwa krócej, a jeśli szybkość jest nieco mniejsza, to okres ten utrzymuje się dłużej (ryc. 3 C, D).

2. BUDOWA STREFY MERYSTEMATYCZNEJ

Porównano budowę anatomiczną korzeni kontrolnych i korzeni grupy C (z odciętym czepkiem i 100 μ merystemu osiowego). Te ostatnie regenerowały odciętą część wierzchołka w ciągu kilku dni.

W korzeniu w czasie regeneracji następowały niekiedy zmiany widoczne w części merystemu leżącej w pobliżu strefy wydłużania. Komórki tej części wydłużały się i nabierały cech komórek zróżnicowanych. Podobnemu procesowi podlegały komórki leżące w pobliżu płaszczyzny cięcia (ryc. 4). Długość strefy merystematycznej, która pozostała po dekapitacji, zmniejszała się wtedy o ok. 1/4. Proces różnicowania się i wydłużania komórek tej strefy postępował niekiedy w 2 i 3 dniu regeneracji w kierunku akropetalnym, tak że strefa merystematyczna skracała się o ok. 1/3 początkowej długości (ryc. 4). W przyrannej części szczytowej odbywało się odtwarzanie (regeneracja) nowych histogenów i zaczynało się wyróżnicowywanie centrum konstrukcyjnego wierzchołka. Po 4 dniach regeneracji część szczytowa była zbudowana w sposób zbliżony do normalnego, a strefa merystemu osiowego miała w niektórych korzeniach długość taką, jak odpowiednia strefa w korzeniach kontrolnych. Należy dodać, że niektóre w pełni zregenerowane korzenie były o wiele cieńsze niż kontrolne. W tych przypadkach zmniejszone wymiary miała również strefa podziałowa. Korzenie te nie były porównywalne z kontrolnymi.

3. ROZMIESZCZENIE WZROSTU

W korzeniach napylanych sproszkowanym węglem mierzono odległość między wybranymi grudkami, leżącymi ok. 300 μ od siebie. Następnie po 6 godz. powtórnie mierzono odległości między tymi samymi grudkami węgla. Znaleziono w ten sposób przyrosty długości określonych odcinków korzenia. Wartości wyrażone w procentach przyrostów odcinków w ciągu 6 godz. ilustruje ryc. 5. Punkty wyznaczające krzywą odnoszą się do określonych wydłużających się odcinków korzenia (na krzywej umieszczono punkty nad środkami każdego mierzonego odcinka). Można wyróżnić strefy o szybszym i powolniejszym wzroście odcinków oraz strefę nie rosnącą. W korzeniu szybkość wydłużania się poszczególnych odcinków zmienia się stopniowo. Wyznaczono jednak arbitralnie strefę szybkiego wzrostu. Za jej dolną i gróną granicę przyjęto punkty wskazujące na małe odcinki, które wydłużały się o 100% w ciągu 6 godz.

W korzeniu kontrolnym strefa wierzchołkowa, o długości ok. 1,4 mm (mierzona od granicy części osiowej z czepkiem), rosła względnie powoli. Strefa ta składała się w całości z dzielących się komórek merystema-



Ryc. 4. Porównanie długości komórek; ACE – korzeń kontrolny, BDF – korzeń dekapitowany po 3 dniach regeneracji, X – linia cięcia; AB – odpowiadające sobie odcinki korzeni w odległości 2 mm od linii cięcia, CD – w odległości 1 mm od linii cięcia, EF – wierzchołki korzeni

Comparison of the length of cells; ACE—control root, BDF—decapitated root after 3 days of regeneration, x—the line of cutting; AB—the segments of roots corresponding to each other at a 2 mm distance from the line of cutting, CD— 1 mm from the line of cutting, EF—the apexes of roots

tycznych. W części szczytowej były one jednak mniejsze i dzieliły się intensywniej, a w części bazalnej były większe i dzieliły się wolniej. Strefa wydłużała się w ciągu 6 godz. o ok. 50%. Należało zrezygnować z dokładniejszych pomiarów w obrębie samej strefy z uwagi na złuszczanie się komórek czepka, pokrywających boki korzenia (do wysokości ok. 1 mm), co powodowało odpadanie cząstek węgla. W następnej strefie, o długości 2,5 mm, szybkość wzrostu była większa. W tym czasie cała strefa wydłużała się do 8,0 mm. W obrębie strefy mierzono wydłużanie się 300 μ odcinków. Okazało się, że przyrosty długości były niejednakowe w różnych częściach strefy. Odcinki graniczące ze strefą wierzchoł-



Ryc. 5. Rozmieszczenie szybkości wzrostu w korzeniu; 1 – korzeń kontrolny, 2 – korzeń dekapitowany; I – rozmieszczenie szybkości wzrostu w czasie, II – u'ożenie strefy maksymalnego wzrostu

Distribution of the growth rate in a root; 1—control root, 2—decapitated root; I—distribution of the growth rate in time, II—situation of the zone of maximum growth kową wydłużały się niewiele więcej niż 100%, zaś położone ok. 1,2 mm od granicy ze strefą wierzchołkową miały wzrost o wiele szybszy, w maksimum wynoszący 350%. W dalszej części, bardziej odległej od granicy, następował stopniowy spadek przyrostu aż do 100% na 6 godz. W wyższej strefie korzenia, o długości 1,3 mm, wzrost stopniowo wygasał. W części graniczącej ze strefą szybkiego wzrostu przyrost małych odcinków wynosił nieco mniej niż 100% i stopniowo zmniejszał się w kierunku bazipetalnym. Należy zaznaczyć, że granice stref nie były ostre. Dokładniej daje się jedynie oznaczyć granicę między strefą wierzchołkową a strefą szybkiego wzrostu ze względu na strome wznoszenie się krzywej przyrostów. Granica między strefą szybkiego wzrostu a strefą wzrostu zanikającego jest mniej wyraźna, ponieważ krzywa przyrostów obniża się łagodnie.

Po pierwszym pomiarze przyrostów (po 6 godz.) wyznaczono nowe odcinki między grudkami węgla na przestrzeni ok. 10 mm od wierzchołka korzenia. Ponowne pomiary, dokonane po dalszych 6 godz. wzrostu, wykazały, że w zasadzie wyróżnione strefy wzrostu zachowują się tak samo jak w opisanym okresie 6-godzinnym. W całym doświadczeniu, trwającym 4 dni, wyznaczono i mierzono 16 razy (co 6 godz.) odcinki w strefie wierzchołkowej wydłużającego się korzenia. W tym czasie 4-centymetrowy korzeń wydłużył się do 22 cm. Z wykresu na ryc. 4 wynika, że strefa o słabym wzroście, wyróżniona jako pierwsza, pozostawała cały czas mniej więcej tej samej długości, natomiast strefa szybkiego wzrostu, mająca na początku doświadczenia 2,5 mm, wydłużyła się do 4 mm. Strefa trzecia, gdzie wzrost był powolny, wzrosła z 1,3 mm do ponad 3 mm w starszym korzeniu (ogólna długość rosnącej części wynosiła wtedy ok. 1 cm). Na ryc. 5 widać, że maksimum wydłużania w strefie szybkiego wzrostu pozostawało w przybliżeniu na tej samej odległości od wierzchołka części osiowej korzenia (ok. 3 mm). W poszczególnych strefach, oprócz zmian ich szerokości, można było zaobserwować pewne wahania wielkości przyrostów. W miejscu najsilniejszego wzrostu np. przyrosty 6-godzinne zawierały się w granicach od 450% do 300%. Przedstawiony opis dotyczy jednego korzenia, bardzo podobne wielkości otrzymano przy pomiarach dwu innych korzeni.

4. ROZMIESZCZENIE WZROSTU W KORZENIU DEKAPITCWANYM

Identyczne zabiegi i pomiary jak w odniesieniu do korzeni kontrolnych przeprowadzono z trzema korzeniami dekapitowanymi. Na wykresie I ryc. 5 przedstawiono rezultaty pomiarów jednego korzenia (wyniki pozostałych pomiarów były podobne). Z ryciny tej wynika, że w korzeniu kontrolnym i dekapitowanym zasadnicze kształty krzywych re-

prezentujących procentowe przyrosty poznaczonych odcinków korzenia były zbliżone. Po 6 godz. w korzeniach dekapitowanych można było wyróżnić trzy strefy wzrostu, podobnie jak w korzeniu kontrolnym. Strefa pierwsza, powolnego wzrostu, wynosiła tu ok. 1 mm. Strefa wzrostu szybkiego miała długość ok. 2,4 mm. Znajdował się w niej odcinek o największym wydłużeniu, wynoszącym ok. 500%. Odcinek maksymalnego wzrostu usytuowany był w odległości ok. 2 mm od szczytu zdekapitowanego korzenia. Długość strefy trzeciej, malejącego wzrostu, podobnie jak w korzeniu kontrolnym, wynosiła ok. 1,3 mm.

Po dłuższym czasie od dekapitacji krzywe rozmieszczenia wzrostu korzeni dekapitowanych bardziej różniły się od takich krzywych w korzeniu kontrolnym. Z ryc. 5 wynika, że zwiększyła się szerokość strefy szybkiego wzrostu. Taki obraz utrzymywał się do ok. 36 godz. od chwili dekapitacji, później szerokość strefy szybkiego wzrostu uległa skróceniu, przy jednoczesnym zmniejszeniu szybkości wydłużania. Odcinek maksymalnego wydłużania przesunął się znacznie w kierunku szczytu. W porównaniu z korzeniem kontrolnym odcinek ten leżał ok. 1 mm bliżej wierzchołka części osiowej (ryc. 5). W obliczeniach uwzględnicno fakt, że korzeń dekapitowany miał odcięte 100 μ tkanki powyżej granicy części osiowej. Stan taki utrzymywał się do ok. 80 godz. hodowli, po czym odcinek maksymalnego wydłużania przemieszczał się na odległość 3 mm od szczytu, tzn. taką jak analogiczny odcinek korzenia kontrolnego. Wtedy poszerzały się wszystkie wyróżnione strefy.

OMÓWIENIE WYNIKOW

Uzyskane w niniejszej pracy dane o szybkości wzrostu i rozmieszczeniu tempa wzrostu korzeni kontrolnych są zbliżone do danych Ericksona i Saxa (4). Badacze ci wyznaczyli rozmieszczenie wzrostu w korzeniach Zea mays i stwierdzili, że odcinek najsilniejszego wzrostu znajduje się w odległości ok. 4 mm od wierzchołka. Z pracy naszej wynika, że odcinek znajduje się ok. 3 mm od granicy między czepkiem a częścią osiową korzenia. Długość czepka wynosi ok. 600 µ, pozostała więc różnica nie jest duża i może wynikać częściowo z przyjęcia różnych metod określania rozmieszczenia wzrostu. Uzyskane krzywe charakteryzują rozmieszczeniu wzrostu w 6-godzinnych odcinkach czasu, obejmujących 4 doby wzrostu tego samego korzenia. Różnice w wyglądzie krzywych świadczą o zwiększeniu długości całej strefy wzrostu. Tempo wydłużania małych odcinków owej strefy zmienia się podczas trwania doświadczenia. Zmiany długości całej strefy wzrostu i zmiany szybkości wydłużania małych odcinków korzenia powodują nierównomierny jego wzrost (ryc. 3 A). Podobny fakt istnienia niejednostajnego wzrostu korzenia i zmian długości strefy wzrostu przedstawia Hejnowicz (7) u Phleum. Korzenie, w których odcięto czepek, wykazują znaczne zwiększenie przyrostu w czasie pierwszych 18 godz, po dekapitacji (o 45% w stosunku do kontrolnych). Podobnie zachowuja sie korzenie pozbawione czepka i 100 µ merystemu osiowego oraz czepka i 300 µ merystemu osiowego. Wtedy przyrost jest nieco słabszy i wynosi odpowiednio 32 i 20%. Korzenie z odciętym czepkiem zachowują szybki wzrost przez 3-4 dni, natomiast pozbawione czepka i 100 µ lub 300 µ merystemu osiowego wykazują po 18-24 godz. znaczne zahamowanie wzrostu. Jest ono całkowite i nieodwracalne w przypadku odcięcia 300 µ merystemu. W przypadku odcięcia mniejszej części (100 µ merystemu) korzenie po 3 dniach zwiększają szybkość wzrostu, która powraca do normy po zregenerowaniu wierzchołka korzenia. Przyrost długości korzenia dekapitowanego odbywa się przy równoczesnym skracaniu strefy merystematycznej. Komórki tej tkanki wydłużają sie wielokrotnie i przekształcają w tkanki stałe. Długość merystemu ulega istotnemu zmniejszeniu. Zmiany następują także w wielkości i ułożeniu stref wydłużania. Po dekapitacji w pierwszej fazie ulega wydłużeniu strefa szybkiego wzrostu. Potem skraca się ona, co zbiega się z depresją w przyroście korzenia. Wyróżniony w strefie szybkiego wzrostu odcinek maksymalnego wydłużania przesuwa się po 30 godz. od dekapitacji w kierunku wierzchołka korzenia. Zmiany w długości stref i miejsca maksymalnego wydłużania ulegają cofnięciu w okresie reaktywacji szybkiego wzrostu korzenia, tzn. po regeneracji części szczytowej merystemu.

Autorzy dziękują doc. dr. Bohdanowi Rodkiewiczowi za pomoc w zredagowaniu pracy i za dyskuję wyników.

PIŚMIENNICTWO

- Aberg B.: Auxin Relations in Roots. Ann. Rev. of Plant Physiol., 8, 153-180 (1957).
- 2. Brumfield R. T.: Cell Growth and Division in Living Meristems. Amer. Jour. Bot., 29, 533-543 (1942).
- Ciesielski T.: Untersuchungen über Abwartskrumung der Wurzel. Beitr. z. Biol. d. Pflanz., 1 (2) (1872).
- Erickson R. O., and Sax K. B.: Rates of Cell Division and Cell Elongation in the Growth of the Primary Root of Zea mays. Proc. Amer. Philos. Soc., 100, 499-514 (1956).
- 5. Gautheret R. J.: Recherches sur la culture des tissus végétaux. Paris Librairie E. Le François, 1935.
- Goodwin R. H., and Stepka W.: Growth and Differentiation in the Root Tip of Phleum pratense. Amer. Jour. Bot., 32, 36-46 (1945).
- Hejnowicz Z.: Wzrost i różnicowanie w korzeniu Phleum pratense, I. Rozmieszczenie wzrostu podłużnego w korzeniu. Acta Soc. Bot. Pol., 25 (3), 459– 478 (1956).

- 8. Kadej F.: Przebieg regeneracji wierzchołka korzenia Hordeum vulgare. Acta Soc. Bot. Pol., 25 (4), 682-712 (1956).
 - 9. Nemec B.: Einiges über den Geotropismus der Wurzeln. Beih. Bot. Zbl., 17, 45-60 (1904).
- 10. Prantl K.: Untersuchungen über die Regeneration des Vegetations punktes an Angiospermenwurzeln. Arbeit. d. Bot. Inst. in Würzburg., 1, 546 (1874).
- 11. Sachs J.: Über das Wachstum der Haupt und Neben-Wurzeln. Arb. Bot. Inst., Würzburg, 1 (1873).
- 12. Simon S.: Untersuchungen über die Regeneration der Wurzelspitze. Jahrb. f. Wiss. Bot., 40, 103 (1904).
- Spurny M.: Effect of Root Tip Amputation on Spiral Oscillations of the Growing Hypocotyl with Radicle of the Pea (*Pisum sativum L.*) Biol. Plant., 10 (2), 98-111 (1968).
- 14. Wagner N.: Über die Mitosenverteilung im Meristem der Wurzelspitzen. Planta, 10, 1-27 (1930).

РЕЗЮМЕ

Исследовали рост декапированных и нормальных корней Zea mays L. Исследования проводили на 4 группах корней: А — контрольная. В — лишенная верхушек, С — лишенная верхушек и 100 µ осевой меристемы, D — лишенная верхушек и 300 µ меристемы (рис. 1). Контрольные корни росли в течение 4,5 суток с относительно постоянной скоростью — около 1,7 мм/час, имея, однако, при этом периоды быстрого и замедленного роста. Скорость вытягивания маленьких участков корня при вершине мала, потом быстро увеличивается, дос игая максимума на расстоянии 3 мм от верха осевой части. Выше, на участке в несколько мм. вытягивание уменьшается. Длина отдельных зон. как и скорость роста участков в их пределах уменьшается, что объясняет колебания роста корня. Декапированные корни в течение 18 часов после декапитации росли быстрее, чем контрольные. Средний прирост был больше для группы В на 45%, для С на 32%, для D на 20% (рис. 2). Это говорит о том, что отсечение части меристемы возбуждающе действует на вытягивание корня.

В корнях групп С и D после 18—24 часов наступает замедление роста, причем для корней группы D оно является полным и неизбежным (рис. 3, С, D). Корни группы С приблизительно после 3 дней замедления роста проявляют постепенное его увеличение. Скорость роста возвращается иногда к норме после 4 дней от момента декапитации, т.е. тогда, когда наступает регенерация меристемы. Быстрый рост длины корня происходит при одновременном уменьшении зоны меристемы, клетки которой вытягиваются и преобразовываются в постоянные ткани. Длина меристемы подвергается тогда существенному уменьшению. Изменения скорости роста связаны с видом зон роста. После декапитации зона быстрого роста подвергается вытягиванию, потом наступает ее уменьшение, что совпадает с периодом замедления роста (рис. 5). Выделенный в зоне быстрого роста участок максимального вытягивания передвигается тогда в направлении вершины корня. Уменьшение длины зоны быстрого роста и перемещение места максимального вытягивания возобновляется после регенерации верхней части меристемы и реактивации быстрого роста, тогда, как отношения длин зон, так и их положение относительно вершины являются подобными к контрольным корням.

SUMMARY

The growth of decapitated and control roots of Zea mays L. was examined. Investigations comprised 4 groups of roots: A — control, B — roots without a cap, C — roots without a cap and 100 μ of apical meristem and D — roots without a cap and 300 μ of meristem (Fig. 1).

The growth rate of control roots was, on average, relatively stable (about 1.7 mm/hr) during 4.5 days. However, the periods of growth were unequal. The rate of elongation of small segments of roots was small in the zone near the apex; then it was quickly increasing coming up to maximum about 3 mm from the border line of axial part. Going higher, the elongation was diminishing in the segment of a few mm. The length of individual zones and the growth rate of segments within the zones was changing, which explains the fluctuations in the growth rate of roots. During the first 18 hrs following decapitation, each group of decapitated roots was growing quicker in comparison to control roots. Mean increases were greater of about 45% in the group B, 32% in C and 20% in D (Fig. 2). Thus, the cutting off a part of meristem had a stimulating effect on the elongation of root. After 18-24 hrs, in the roots C and D there was observed the inhibition of growth which was complete and irreversible for roots D (Fig. 3 C D). The roots C, on the other hand, started to grow after about 3 days of growth inhibition.

The growth rate was sometimes back to normal after 4 days following decapitation, that is when there occurred the regeneration of meristem. Quick increase in the length of root took place with a simultaneous shortening of meristem zone which cells grew longer. At that time the length of meristem diminished significantly. Changes in the rate of growth were correlated with the appearance of growth zones. After decapitation the zone of quick growth became longer and afterwards shorter which coincided with the period of growth inhibition (Fig. 5). At the same time the segment of maximum elongation differentiated

384

in the zone of quick growth, shifted to the apex of root. The shortening of the zone of quick growth and the change of the place of maximum elongation went back after the regeneration of apical part of meristem and the reactivation of quick growth. Then the relations between the length of zones and their situation against the apex were similar to those in the control root.

Papier druk. sat. III kl. 80 gFormat B5 (70×100)Stron druku: 15Annales UMCS, Lublin 1971Drukarnia Uniwersytecka w LublinieZam. nr 12 z dnia 18.I.1971950+50 egz. A-7Maszynopis otrzymano 18.I.1971Druk ukończono 25.VIII.71

maining signification of the second second second second second second

Suited to de calle de la company a discription de la company de la provincia de la company de la compa de la company de la compa

天臣的派人君父

305