

BADANIA WZROSTU KORZENI W PODZIEMNYM LABORATORIUM Z WYKORZYSTANIEM ZDJĘĆ POKLATKOWYCH

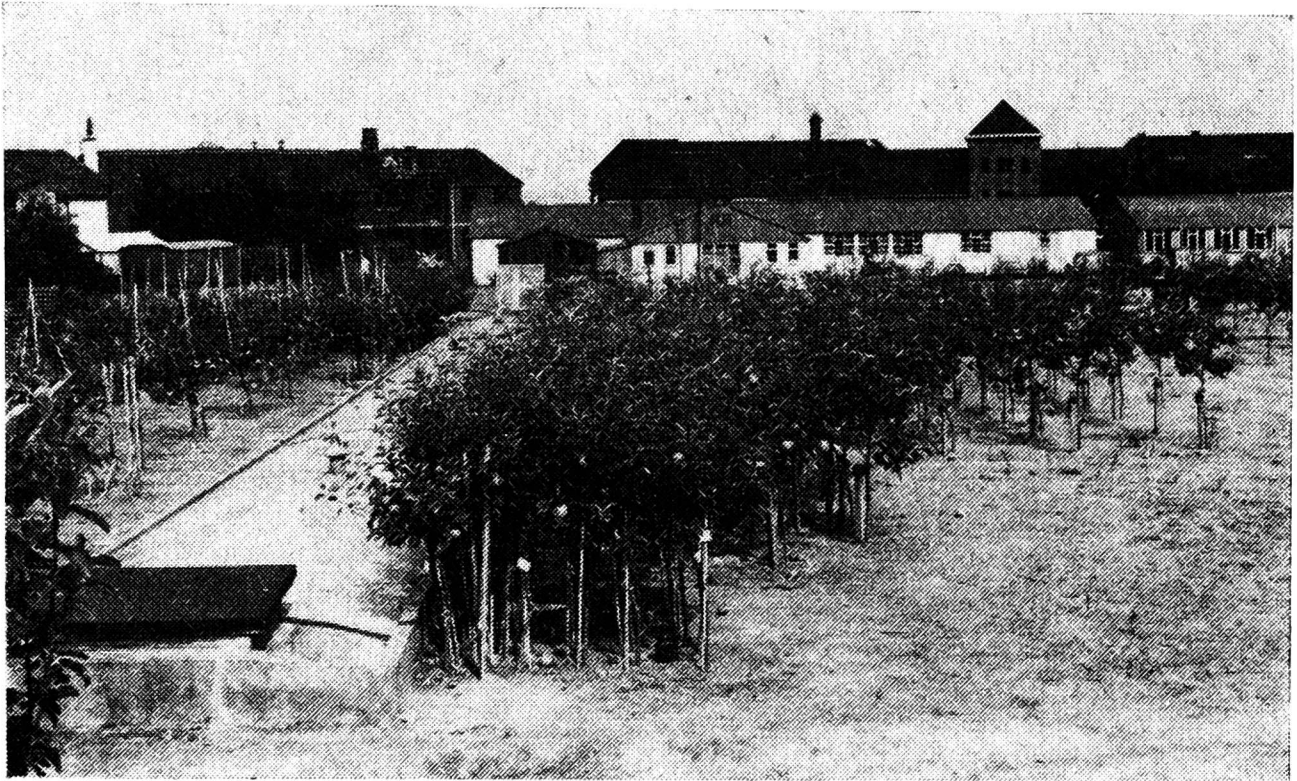
D. Atkinson, J. K. Lewis, E. Y. Jones

East Malling Research Station Maidstone, Kent, U.K.

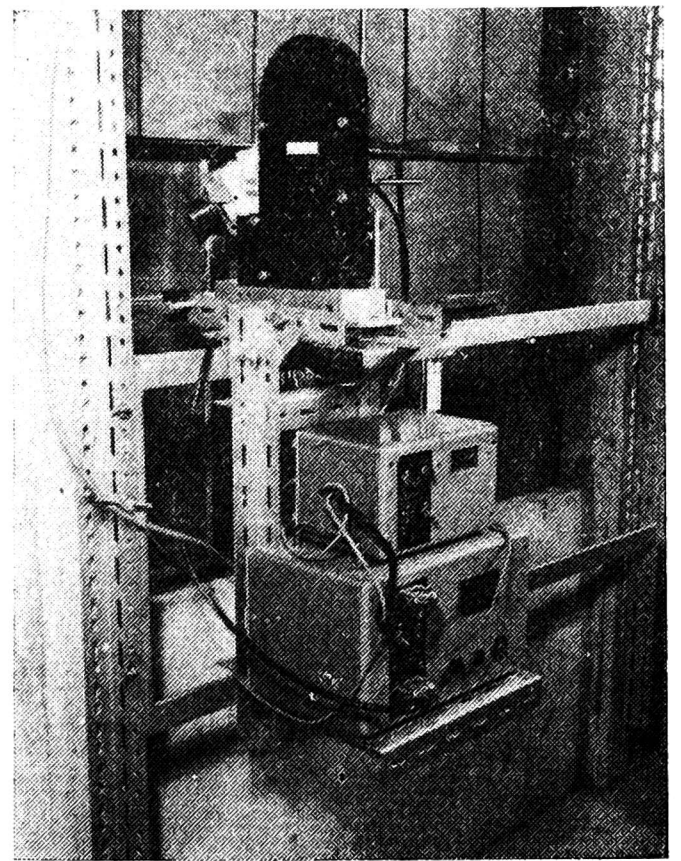
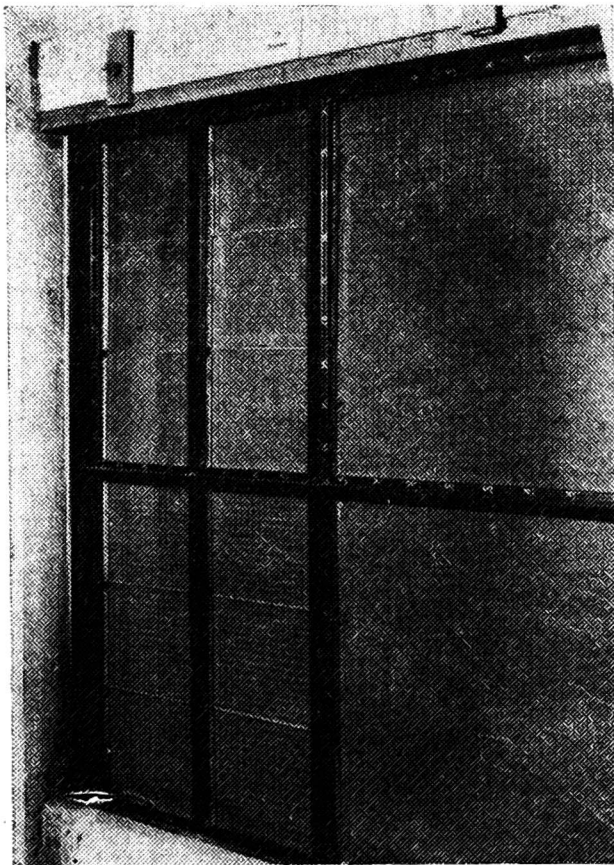
Badania nad wzrostem systemów korzeniowych prowadzone są w East Malling od wielu lat [7, 8]. Obraz kształtu i rozmiarów systemów korzeniowych można uzyskać przez ich odkopanie, lecz wzrost nowych korzeni można obserwować jedynie przez specjalne płyty szklane, umieszczone w glebie. Płyty takie umożliwiają obserwację tych samych korzeni przez dłuższy okres, technika zaś zdjęć poklatkowych zapewnia prowadzenie badań przez rejestrację powolnie zachodzących zmian, nawet w nieobecności obserwatora, a dając trwałą zapis — umożliwia prowadzenie analizy wzrostu również po zakończeniu obserwacji.

METODYKA BADAŃ

Zdjęcia poklatkowe wykonywano w dwóch korzeniowych laboratoriach podziemnych; jedno z nich wybudowano w 1960 r., drugie zaś w 1966 r. Wykopano rów około 2 m szeroki i 2 m głęboki na długości 32 m, zachowując na jednej stronie nie naruszony profil glebowy. Wybudowano system wzmacniający ze słupów betonowych i nadproży oraz całość rowu nakryto dachem opartym na metalowych kształtkach. Ponieważ dach ten wznosił się zaledwie 25 cm nad ziemią, należy uważać, że minimalnie zniekształcał mikroklimat, w jakim rosły rośliny, oraz nie wpływał zasadniczo na glebę. Wygląd zewnętrzny laboratorium pokazano na rysunku 1. Pomiędzy pionowymi słupami umieszczono 48 płyt szklanych, opartych o niską ścianę betonową i przytrzymywanych przy nadprożach odpowiednimi klamrami. Płyty służące do obserwacji składały się ze szkła o grubości 6,4 mm, podtrzymywanego przy glebie żelaznymi ramami o wysokości 122 i szerokości 101 cm (rys. 2). Aby utrzymać dobre przyleganie płyt szklanych do gleby, zachowano 1° ich nachylenia w kie-



Rys. 1. Ogólny widok podziemnego laboratorium korzeniowego w East Malling Research Station. Obok laboratorium drzewa jabłoni, na których prowadzone są obserwacje wzrostu korzeni



Rys. 2. Wygląd ogólny zestawu płyt szklanych służących do obserwacji. Małe szyby widoczne z lewej strony można wyjmować, duże płyty widoczne z prawej wykorzystywane są do filmowania wzrostu. Zaznaczone w szkłe linie służą jako odnośniki przy obserwacjach

Rys. 3. Kamera filmowa firmy Vinten na stanowisku służącym do filmowania wzrostu korzeni

runku korytarza, wykorzystując do uzyskania tego kąta specjalne drewniane listwy i stalowe sprężyny.

Przed zainstalowaniem ram z szybami dokładnie rejestrowano profil glebowy przed każdą z szyb i odcinano około 3-5 cm gleby. Glebę z każdego profilu po odcięciu suszono i oddzielnie przechowywano w celu ponownego uzupełnienia profilu. Po zainstalowaniu płyt szklanych pobraną poprzednio glebę z każdego profilu ponownie wprowadzano pod szkło. Dzięki temu uzyskano bardzo gładką powierzchnię gleby, ściśle przylegającą do szkła. Aby ograniczyć wpływ światła, płyty utrzymywano w ciemności, z wyjątkiem okresów prowadzenia obserwacji lub filmowania. Drzewa posadzono w glebie obok płyt szklanych, tak aby część korzeni rozrosła w kierunku szyb (rys. 1).

Zdjęcia poklatkowe początkowo wykonywano dostosowaną do tego celu 16 mm kamerą filmową Kodak [4]. Później stosowano kamerę filmową Vinten 16 mm (rys. 3).

Przy filmowaniu bardzo istotne jest stabilne utrzymanie kamery filmowej. Zastosowano do tego celu solidną ramę stalową „Dexion”, przymocowaną na stałe żelaznymi śrubami do betonowych słupów laboratorium (rys. 3). Kamerę zainstalowano na wózku, który można przesuwąć wzdłuż laboratorium i w odpowiednich miejscach zamocowywać na stałe (rys. 3).

Filmowany obiekt oświetlono elektroniczną lampą błyskową. Jest to idealne rozwiązanie, gdyż lampa błyskowa nie wytwarza ciepła, ma jednakową intensywność i kolor światła. Trzeba jednak zwracać uwagę, aby uniknąć odbicia światła w szybach, stanowiących ścianę laboratorium. Zagadnienie to można znacznie uprościć, jeśli do tego celu wykorzystamy zestaw błyskowy, zawierający światło typu G.

Przed rozpoczęciem ciągłego filmowania przeprowadzono test monochromatyczny w celu sprawdzenia głębi i ostrości pola, i synchronizacji kamery z lampą błyskową. Jest to szczególnie istotne przy dużych zbliżeniach i trudne do wykonania innymi metodami. Czas ekspozycji również sprawdzano testem monochromatycznym, lecz kiedy wykorzystywano filmy kolorowe (szczególnie filmy odwracalne) do pomiaru czasu ekspozycji używano specjalnego miernika do lamp błyskowych. Wykorzystanie takiego miernika, wyposażonego w czułą, małą szczelinę, umożliwiałoby odczyt poprzez wizjer kamery na szarej karcie testowej. Jednakowe odczyty można uzyskać przez regulowanie odległości między filmowanym obiektem a lampą błyskową.

W trakcie badań częstym problemem było rozregulowywanie się synchronizacji lampy błyskowej na skutek częściowej utraty połączenia lub też uszkodzenia urządzeń regulujących migawkę, powodowanych wilgocią panującą w laboratorium. Trudności te można ograniczyć przez luto-

wanie połączeń, skracanie do minimum ich długości oraz ilości połączeń i regularne przeglądy techniczne urządzeń. Filmowanie w dużych zbliżeniach najlepiej przeprowadzać odpowiednim obiektywem do zdjęć makro.

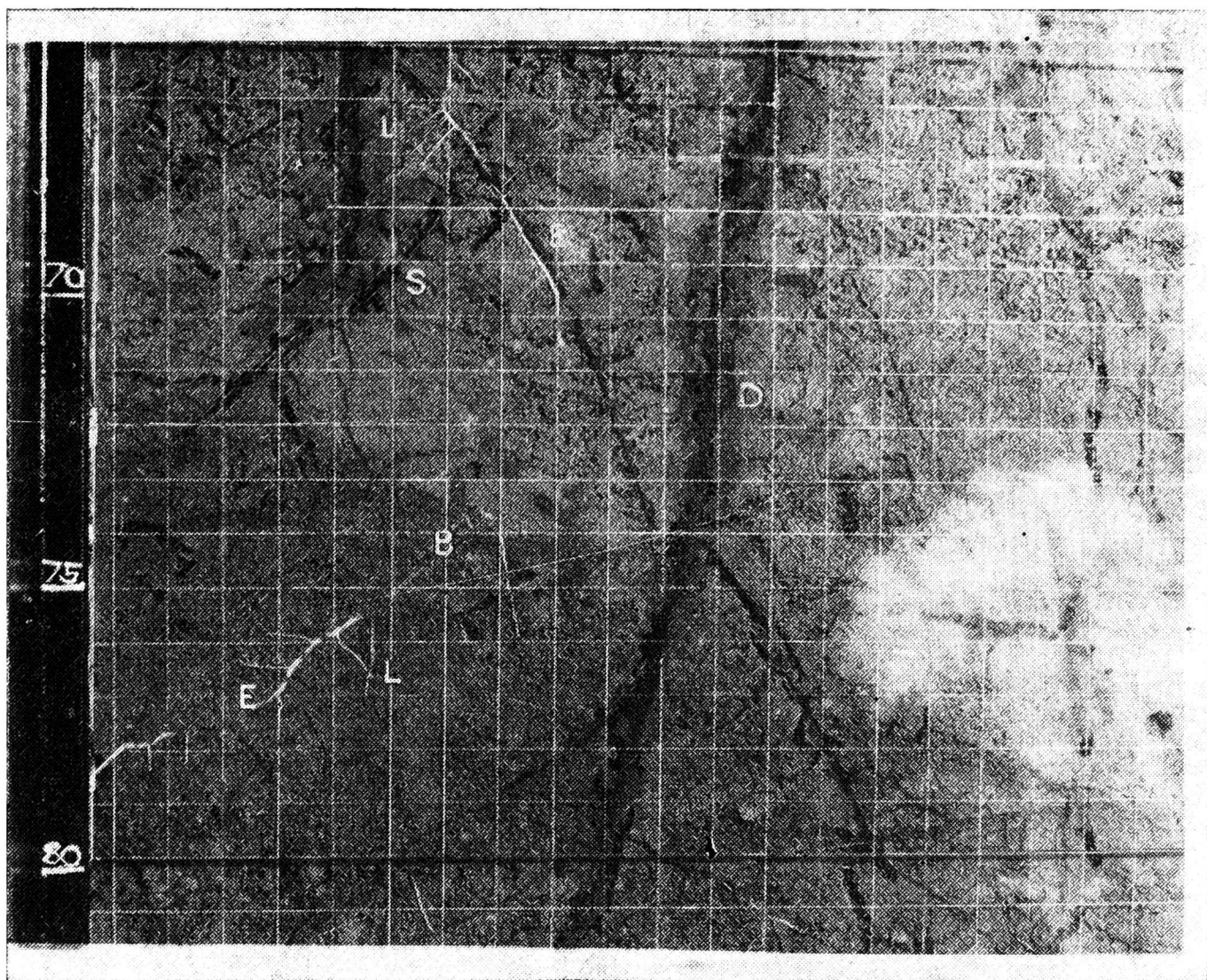
Rodzaj filmu, jaki używano do zdjęć, zależał od celu, jakim miały służyć zdjęcia. Jeśli filmowane zjawiska były trudne do powtórzenia lub film miał być wielokrotnie przeglądany, to najlepsze rezultaty osiągnano wykorzystując kolorowy film negatywowo. Umożliwiało to otrzymywanie dobrej jakości kopii oraz zapobiegało niszczeniu oryginalnego filmowego materiału w wyniku projekcji. Jednakże bardzo pożądane jest umieszczenie na początku filmu kilku klatek ze wskaźnikami koloru. Ogólnie stwierdzono, że film negatywowo ma wiele zalet przewyższających film kolorowy odwracalny, jaki stosowano przez pierwsze kilka lat badań.

WYNIKI I DYSKUSJA

Head [3] i Rogers [6] przedstawili niektóre wyniki badań, uzyskane przy zastosowaniu zdjęć poklatkowych. Analiza zdjęć pozwala na pomiary i opis procesów wzrostu i rozwoju. Szybkość wzrostu korzeni różni się znacznie między poszczególnymi gatunkami. Wiśnie należą do gatunków, u których notowano najszybszy wzrost korzeni, dochodzący do 1 cm dziennie. Dokładniejsza analiza wykazała, że tempo wzrostu korzeni jest szybsze w ciągu nocy niż w ciągu dnia [2] oraz że średnica korzeni zmienia się dość przypadkowo w zależności od cyklu dziennego.

Szczegółowo prześlędzono zmiany, zachodzące na powierzchni korzeni. W miarę jak korzeń przesuwa się wzdłuż pola widzenia na skutek wzrostu, obserwowano zarówno oddzielanie się komórek z czapeczki wzrostu, chroniącej stożek wzrostu korzenia, jak i zdolność czapeczki do odsuwania cząsteczek gleby z drogi wzrostu korzenia. Podczas wzrostu obserwowano, że stożek wzrostu korzenia wykonuje ruchy wahadłowe lub kołujące, tak zwane cyrkumnutacyjne [2]. Ruchy te prawdopodobnie ułatwiają wciskanie się korzenia w glebę.

W miesiącach letnich, po 2-3 tygodniach wzrostu, kora, okrywająca korzenie rozrastającego się systemu korzeniowego jabłoni przyjmuje barwę brązową (rys. 4). Zmiana zabarwienia korzeni w miesiącach zimowych zachodzi znacznie później. Zazwyczaj, choć nie koniecznie, postępuje od części najstarszych korzenia w kierunku stożka wzrostu. Zmiana zabarwienia nie jest procesem postępującym stopniowo, lecz w wyraźnie zaznaczonych odcinkach obserwuje się skokowe zmiany w całych partiach korzenia. Następna zmiana zbrunatnienia korzenia następuje po pewnej przerwie, w trakcie której poprzedni odcinek nadal zmienia bar-



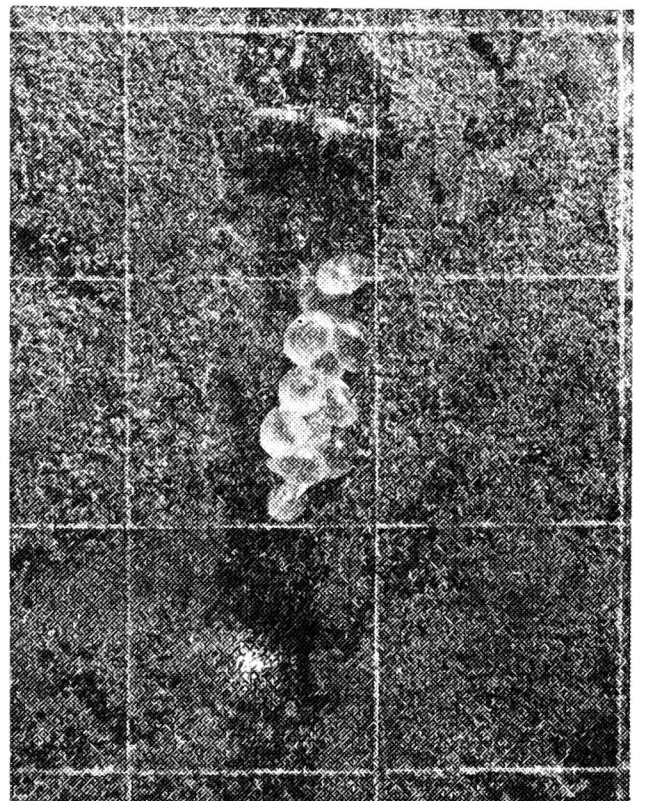
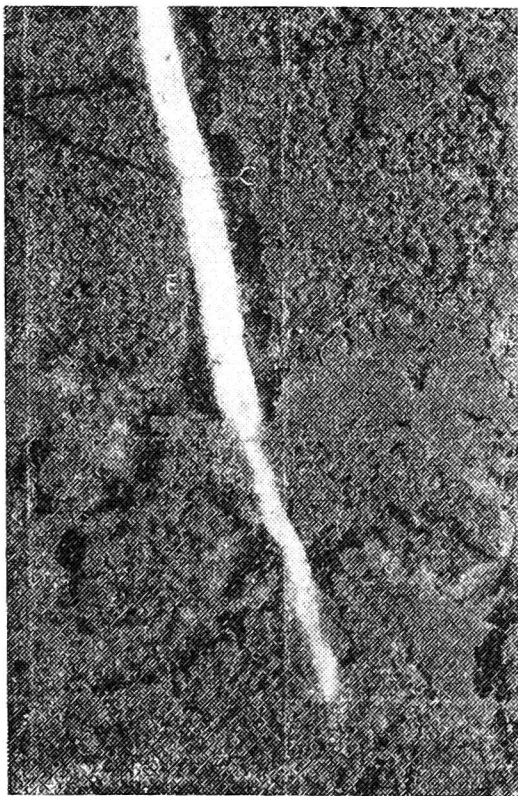
Rys. 4. Rozrastający się system korzeniowy jabłoni; na górze — po 14 dniach wzrostu *E*, na dole po 28 dniach wzrostu. Widoczna jest zmiana zabarwienia korzeni na ciemne *B*. Obydwa korzenie posiadają odgałęzienia boczne *L*, widać również korzenie skorkowaciałe *S* oraz korzenie martwe *D*. Poprzednio wytworzone przez korzenie kanały w glebie są ponownie wykorzystywane przez nowo rosnące korzenie

wę na coraz ciemniejszą. W innych tego samego typu korzeniach, wydłużających system korzeniowy, obserwowano, że powierzchnia zmienia stopniowo barwę na coraz ciemniejszą. Powierzchnia rozgałęzień bocznych korzeni czarnej porzeczki zmienia barwę na brązową bardzo szybko i równocześnie prawie na całej lub na całej długości korzenia. Niektóre z korzeni zachowują wzrost w zredukowanym tempie również w miesiącach zimowych. Inne zatrzymują wzrost na początku lata czy też późną jesienią, zmieniają barwę na brązową prawie aż do stożka wzrostu i rozpoczynają wzrost bądź to w końcu lata, bądź też na wiosnę.

Wiele różnych czynników może wpłynąć na wzrost korzeni. Obserwowano zmniejszenie do połowy tempa wzrostu białych korzeni wydłużających system korzeniowy jabłoni, kiedy wzrost ten przebiegał przez strefę starych korzeni okrytych skorkowaciałą korą. Wszelkie przeszkody,

na jakie natrafia korzeń lub strefy bardzo trudne dla wzrostu, w istotny sposób zmieniają formę korzeni. Obserwowano, że korzenie jabłoni mogą rosnać obok siebie, wzdłuż korzeni traw oraz martwych korzeni jabłoni (rys. 4).

Wokół korzeni jabłoni spotkać można zazwyczaj wiele gatunków fauny glebowej. Aktywność fauny zwiększa się po skorkowaceniu tkanki okrywającej. W wyniku działania różnych niepaszożytniczych nicieni wokół rosnących korzeni tworzy się pusta przestrzeń, często prawie całkowicie oddzielająca korzenie od otaczającej je gleby (rys. 5). Takie działanie nicieni może wpływać w istotny sposób na pobieranie przez korzenie wody i substancji mineralnych. Występująca wokół korzeni fauna wydala odchody na ściany tych kanałów (rys. 5). Wydaliny te mogą wpływać stabilizująco na ściany kanałów, co powoduje, że wiele z tych kanałów utrzymuje się w glebie bardzo długo i często jest ponownie wykorzystywane do wzrostu korzeni (rys. 4). Zazwyczaj nicienie i wazonkowce *Enchytraeidae* są pierwszymi grupami gatunków, występujących wokół korzeni. Przedstawiciele tych gatunków drążą kanały wokół korzeni, umożliwiając tym rozwój owadom z grupy skoczogonów *Collembola* i roztocza *Acarina*, które dalej niszczą korę korzeni. Odchody ich powiększają cząsteczki gleby. W trakcie zdjęć zaobserwowano także rozwój jaj wielu



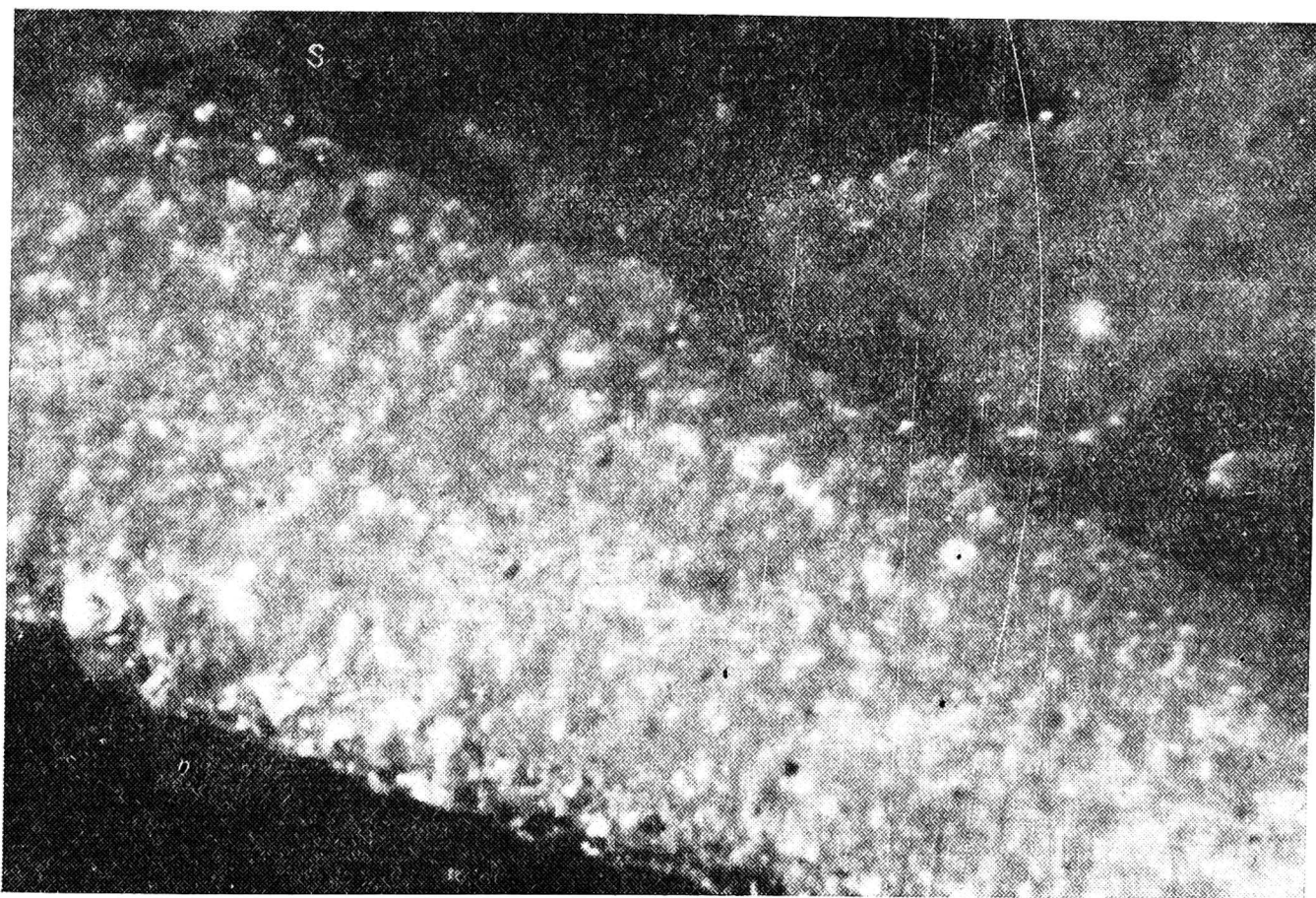
Rys. 5. Korzeń wydłużający system korzeniowy jabłoni. Na zakończeniu widać stożek wzrostu *T*. Obok korzenia wytworzony kanał *C* z osadzonymi w nim odchodami stawonogów *E* glebowych

Rys. 6. Grupa jaj pospolitych ślimaków złożona w starym korytarzu korzeniowym

gatunków fauny glebowej (rys. 6). Rozwój i działania fauny glebowej może prowadzić do całkowitego zniszczenia kory okrywającej korzeń i zupełnego odkrycia walca osiowego korzenia z systemem przewodzącym. Grzyby rozwijające się w glebie występują zarówno wokół korzeni, które już zmieniły barwę na brązową, jak i takich, które zachowują jeszcze biały kolor.

Wytwarzanie włosników u poszczególnych gatunków jest bardzo zróżnicowane. U jabłoni włosniki są bardzo krótkie (poniżej 0,1 mm) i występują mniej lub bardziej równomiernie na całej powierzchni, natomiast u śliw i czarnej porzeczki włosniki są znacznie dłuższe, lecz zazwyczaj występują tylko w otoczeniu cząsteczek gleby.

Na powierzchni korzeni jabłoni [1], w miejscach gdzie włosniki zakończyły już swój wzrost, obserwować można kropelki wydzielin. Kropelki te pojawiają się na szczytach włosników i stopniowo powiększają się. Następnie łączą się ze sobą i tworzą coraz to większe krople, które rozrastając się dalej z czasem tworzą grubą groniastą powłokę wokół korzenia (rys. 7). Po pewnym czasie powłoka ta kurczy się i wreszcie pozostawia na powierzchni korzeni nalot o woskowatym wyglądzie. Zaobser-



Rys. 7. Widok korzenia wydłużającego system korzeniowy jabłoni po około 59 godzinach wzrostu, na powierzchni którego wytworzyły się skupienia kropelek wydzielin wytworzonych na poszczególnych włosnikach. Niektóre z tych skupień wytworzyły już wyraźną błonkę S

wowano, że poszczególne krople dwu- lub trzykrotnie zmniejszają się i powiększają zanim ostatecznie znikną. Trudno na razie o wyjaśnienie tego zjawiska w połączeniu z pobieraniem wody przez korzeń, lecz być może krople wydzielin spełniają funkcję osmometrów.

Tuż przy stożku wzrostu korzeni szybko przyrastających na długość obserwowano gromadzenie się dużych ilości pasożytniczych nicieni, należących do gatunku *Trichodorus viruliferus* [5]. Nicienie te niszczyły powierzchnie korzeni, a czasami powodowały zahamowanie ich wzrostu.

PODSUMOWANIE

Podziemne laboratorium korzeniowe umożliwia filmowanie wzrostu i ruchów korzeni roślin prawie w naturalnych warunkach ich rozwoju oraz występującej wokół nich fauny glebowej. Korzenie, jakie obserwowano w czasie badań, wykazują wszelkie cechy korzeni, jakie uzyskuje się przy bardzo dokładnym płukaniu systemów korzeniowych gleby.

W wyniku montażu różnych sekwencji zdjęć wykonano dwa 20-minutowe filmy: *Korzenie i gleba* (1968) oraz *Korzenie w glebie i ich fauna* (1973).

LITERATURA

1. Head G. C.: Ann. Bot. 28, 495-8, 1964.
2. Head G. C.: Ann. Bot. 29, 219-24, 1965.
3. Head G. C.: 9th Int. Cong. Soil Sci. Trans. 1, 751-8, 1968.
4. Jones E. Y.: Lab. Practise. 14, 590-93, 1965.
5. Pitcher R. S., Flegg J. J. M.: Nature, Lond. 207, 317, 1965.
6. Rogers W. S.: In Methods of Productivity Studies in Root Systems and Rhizosphere Organisms. 176-85 Nauka, Leningrad 1968.
7. Rogers W. S., Booth G. A.: Sci. Hort. 14, 27-34, 1960.
8. Rogers W. S., Head G. C.: In Root Growth. 280-95 Butterworths, London 1968.

Д. Аткинсон, И. К. Левис, Э. Ионес

ИССЛЕДОВАНИЯ РОСТА КОРНЕЙ В ПОДЗЕМНОМ ЛАБОРАТОРИИ

Резюме

Во время опытов велись наблюдения-используя стеклянные плиты — корневой системы плодовых деревьев.

Рост регистрировано с помощью киносъёмки.

Анализ снимков давал возможность наблюдений за ходом роста а также

ведения точных измерений. Темп роста зависит от вида растений, при чем ночью он увеличивается в сравнении с днем. Во время роста конус роста делает колебательные движения что видимо облегчает протискивание сквозь почву. В течении 2-3 недель в летний период первичная кора корня яблони становится коричневым. В зимний период этот процесс происходит позднее. Некоторые из корней медленно растут в течении зимы, другие растут только до начала лета или поздней осени потом становятся коричневыми.

Вокруг корней яблони наблюдается много видов почвенной фауны. Активность фауны увеличивается в период, когда корни становятся коричневыми. Жизненная активность круглых червей частично или полностью сепарирует корнии от окружающей почвы. Отходы представителей фауны укрепляют стены проходов, которые часто используются для роста корней. Почвенная фауна может полностью уничтожить корневую кору.

Изготовлено два фильма 20-минутные: *Корни и почва* (1968) и *Корни в почве и их фауна* (1973).

D. Atkinson, J. K. Lewis, E. Y. Jones

TIME-LAPSE CINEMATOGRAPHIC STUDIES OF ROOT GROWTH USING AN UNDERGROUND OBSERVATION LABORATORY

Summary

The root systems of fruit plants have been studied by observation through glass panels held against the soil. Time lapse cinematography allowed to record slow changes, which can be analysed at any time. Analysis of films enables the process of growth and development to be described and measured. The rate of root growth varies between different species. Detailed analysis showed that the rate of root growth is more rapid during the night than during the day. During growth the root tip shows circumnutation, what probably facilitates penetration. After 2-3 weeks during the summer months, the cortex of extension roots of apple begins to turn brown. The onset of browning is delayed during the winter months. Some roots continue growth at a reduced rate through out the winter months, while others cease growth in either the early summer or late autumn, turn brown almost to the tip and then resume growth in the late summer or spring respectively. Various species of the soil fauna are usually present around apple roots.

Activity increases when the cortical tissue becomes brown. The activity of non — parasitic nematodes around growing roots frequently partially or completely separates the root from contact with the surrounding soil. The activity of the soil fauna results in the deposition of excreta on the walls of the channel. This may help to stabilize these channels which are re-used during subsequent cycles of root growth. The activity of the soil fauna may result in the loss of the cortex leaving an exposed vascular cylinder.

By the compilation of individual sequences two 20 minute films *Roots and the Soil* (1968) and *Soil Roots and their Fauna* (1973) have been produced.