

WYKORZYSTANIE FILMU DO BADAŃ DYNAMIZMU GEOTROPICZNYCH RUCHÓW ROŚLIN PO WYLEGANIU

Bogusław Molski

Instytut Biologii Roślin SGGW, Warszawa

WSTĘP

Dokumentacja wzrostu i ruchu roślin bez zakłócania ich procesów fizjologicznych jest jednym z trudniejszych problemów metodologicznych w badaniach przyrodniczych. Wynika to przede wszystkim z bardzo powolnych, trwających godziny, a nawet całe dni zmian w objętości i położeniu poszczególnych części rośliny, praktycznie niemożliwych do zauważenia przez człowieka na podstawie obserwacji oraz trudnych do pomiarów i dokumentacji bez dotykania danej rośliny. Wprawdzie już Darwin (1) dokonał doskonałych obserwacji ruchu roślin, jednakże polegały one na okresowych obserwacjach i rejestracji poszczególnych pozycji rośliny. Dopiero zastosowanie filmu i zdjęcia wykonywane w odstępach jedno- lub kilkuminutowych umożliwia dokładną rejestrację i obserwację nie tylko położenia poszczególnych części rośliny w danym czasie, ale także współzależność ruchów wielu części rośliny jednocześnie.

Dzięki zastosowaniu filmu przeprowadzono wiele badań nad ruchem pędu w czasie wzrostu, kiełkowaniem roślin oraz wzrostem korzenia. Zastosowanie zdjęć poklatkowych umożliwia badanie dziennej rytmiki ruchu i wzrostu [2], toteż filmowanie poklatkowe uważa się za najlepszą metodę do dokładnego badania przebiegu rytmiki ruchu roślin przy geotropicznej restoracji wzrostu pionowego po wyleganiu.

METODA

Badania rytmiki podnoszenia się roślin po wyleganiu przeprowadzono na pszenicy, życie, kukurydzy, goździkach i pomidorach. Badano pomidory posiadające liście i stożki wzrostu oraz pozbawione liści i wszelkich stożków wzrostu, zarówno głównych jak i bocznych, znajdujących się w kątach liści. Rośliny wysiewano, bądź też przesadzano po wykiełkowaniu do wazonów 10-litrowych, a następnie przez umieszczenie w specjalnych stojakach przechylano tak, by pędy główne znalazły się w położeniu równoległym do powierzchni ziemi.

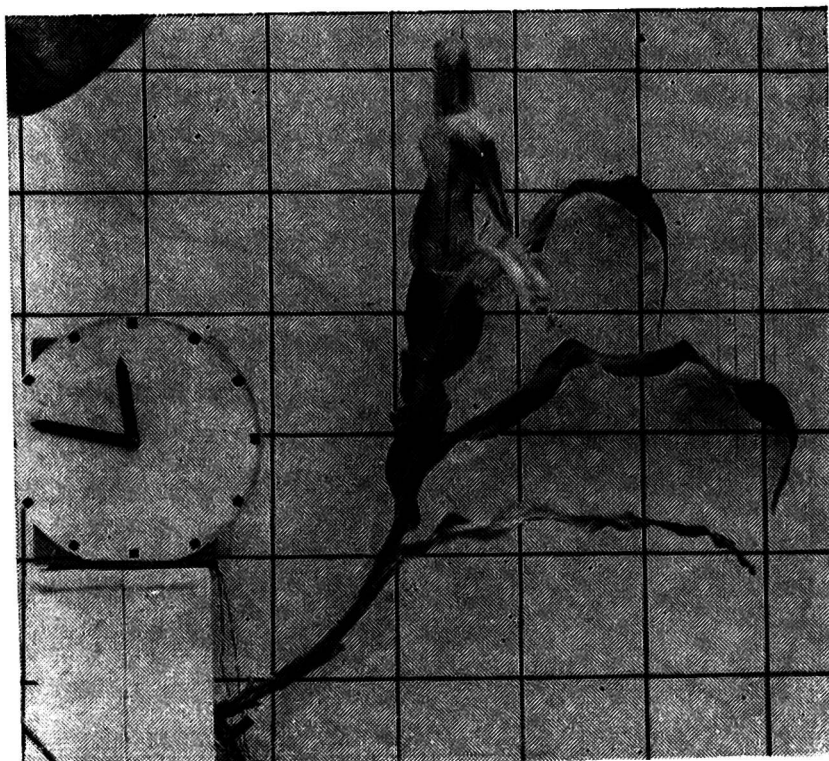
Rośliny znajdowały się na tle ekranu pomalowanego na biało plakatową farbą nie dającą odblasku, z naniesioną na niej siatką czarnych pionowych i poziomych pasków, orientujących położenie pędu roślin względem powierzchni ziemi. Tuż obok rośliny na tle ekranu ustawiony był zegar określający aktualny czas, tak że przy dokonywaniu zdjęcia w jednym i tym samym kadrze filmu znajdowała się roślina na tle ekranu, ukazującego położenie zdejmowanej rośliny względem powierzchni ziemi oraz czas zdjęcia z dokładnością do jednej minuty.

Zdjęcia robiono kamerami filmowymi 16 mm produkcji NRD — Pentaflex oraz produkcji czechosłowackiej — Admira 16. Zdjęcia poklatkowe naświetlano co jedna, dwie lub trzy minuty, w zależności od szybkości podnoszenia się roślin. Odmierzanie czasu między poszczególnymi zdjęciami oraz impuls do wyzwiania kamery uzyskiwano z urządzenia firmy Zeiss oraz oryginalnego urządzenia [4], polegającego na wykorzystaniu zegara sygnalizacyjnego, dającego impulsy co jedna minuta. Zegar ten napędzał jednocześnie zegary określające czas oraz kamerę robiącą zdjęcia w przypadku jednoczesnego odstępu czasu między poszczególnymi zdjęciami. W przypadku dłuższych odstępów czasu (dwóch lub więcej minut) impuls z zegara sygnalizacyjnego przechodził przez wybierak telefoniczny, który redukował ilość impulsów przekazywanych do spustu kamery.

W pierwszym sezonie wegetacyjnym w r. 1969 zdjęcia wykonano w szklarni w naturalnych warunkach świetlnych, z tym jednak, że na kilka sekund przed zdjęciem włączały się reflektory, które oświetlały filmowane rośliny. Reflektory te wyłączały się po zrobieniu zdjęcia. W celu uzyskania właściwej ekspozycji zmieniano przysłonę obiektywu kamery zgodnie ze wskazaniem światłomierza, w miarę zmieniania się nasilenia naturalnego oświetlenia, związanego z różnym położeniem słońca oraz zachmurzeniem. W drugim sezonie wegetacyjnym w r. 1970 filmowano całkowicie w sztucznym oświetleniu jarzeniowym.

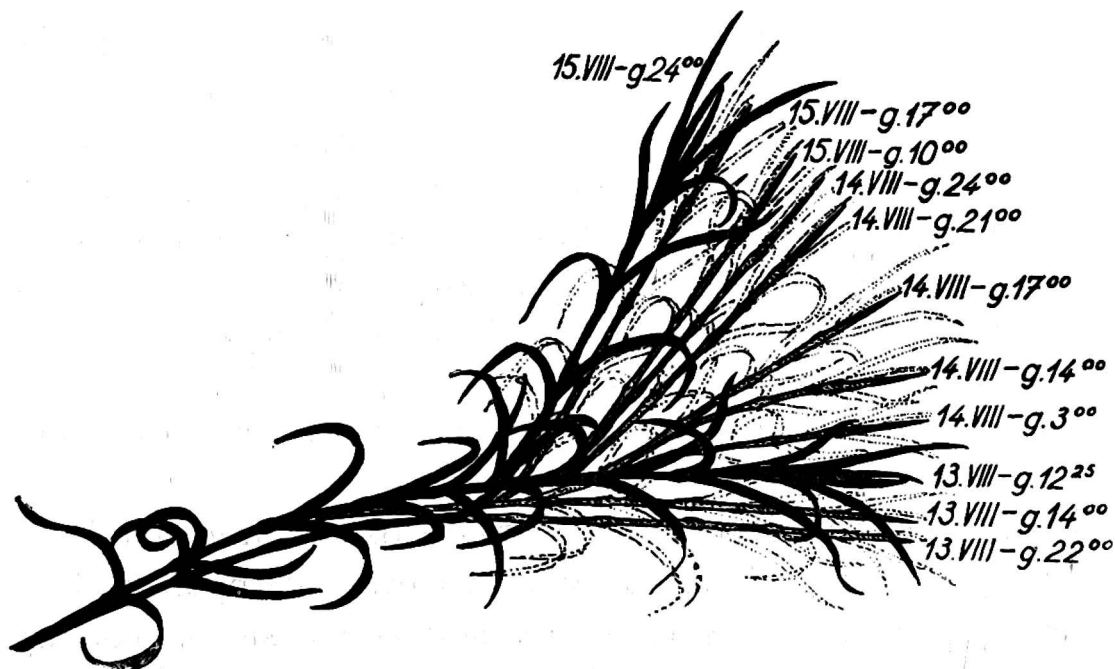
Zdjęcia po wywołaniu służyły jako podstawowa dokumentacja. W miarę zmiany położenia roślin, przerysowywano je na arkuszach kalki milimetrowej z oglądanych kolejno kadrów filmu. Do tego celu służył normalny projektor filmowy, w którym zmieniono jedynie oświetlenie na słabsze (zasilane z akumulatora) i wyłączono mechaniczny przesuw filmu. Rysunki, na których zaznaczone było położenie rośliny względem zasadniczych poziomej i pionowej linii, oznaczających usytuowanie względem powierzchni ziemi, stanowiły podstawę do obliczenia różnic w kącie pochylenia roślin w miarę upływu czasu. Na podstawie tych danych można było wykreślić krzywą obrazującą dynamikę ruchu geotropicznego roślin po wylegnięciu.

Całe stanowisko, gdzie filmowano podnoszące się rośliny, składało się z ekranu, zegara wskazującego czas zdjęcia, kamer filmowych, akumulatorów zasilających zegary oraz skrzynki z wybierakiem redukującym

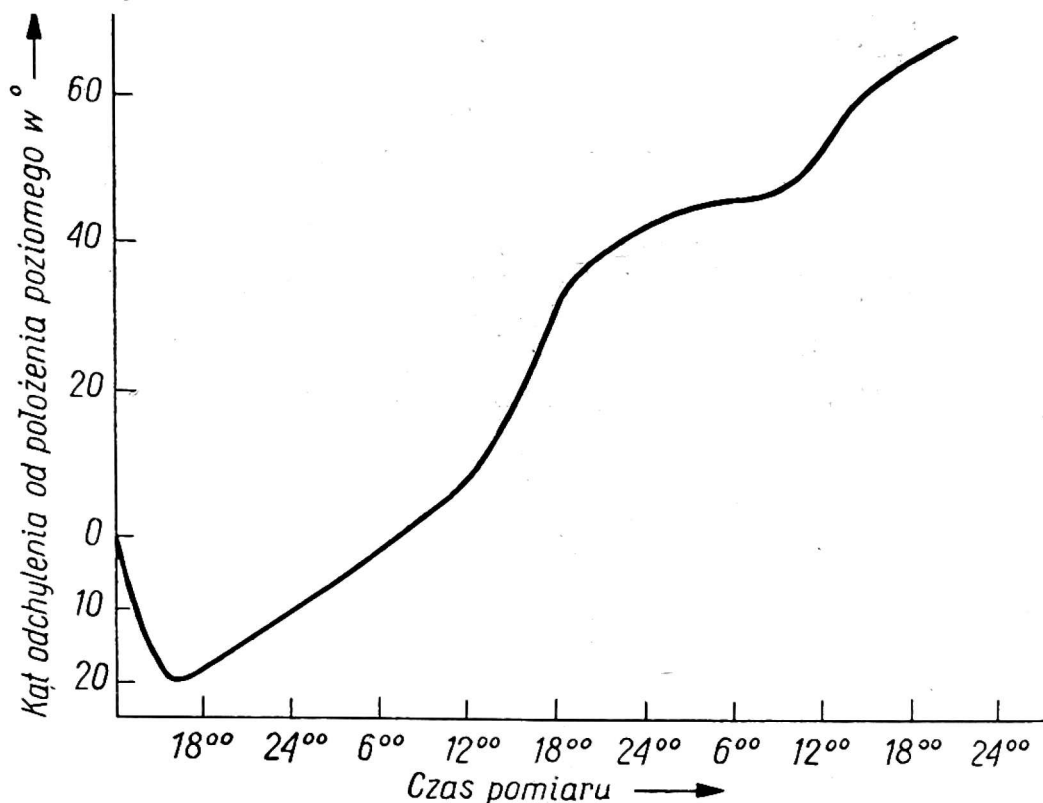


Rys. 1. Kadr filmu z widoczną rośliną, ekranem (siatka pionowych i poziomych linii) oraz z zegarem wskazującym aktualny czas

część impulsów z zegara sygnalizacyjnego, urządzenia Zeissa, zegara sygnalizacyjnego i urządzenia oświetlającego filmowane rośliny. Przedstawione rysunki ilustrują: pojedynczy kadr filmu (rys. 1) z jednoczesną rejestracją rośliny, siatki na ekranie oraz zegara wskazującego aktualny czas; dane otrzymane z odczytanych zdjęć o pozycji rośliny w różnych okresach czasu przedstawia rys. 2, a rys. 3 — wykres otrzymany z kolejnych odczytów, obrazujący dynamikę podnoszenia się rośliny. Jak widać z rysunku początkowo roślina opadała w dół przez 4 godziny, następnie zaczęła się podnosić do góry. Ruch ten jednak nie był płynny, co wskazuje przebieg krzywej położenia pędu w różnych okresach czasu. Trzeciego dnia roślina osiągnęła w zasadzie położenie pionowe pędu.



Rys. 2. Pozycja badanej rośliny otrzymana z analizy kolejnych zdjęć filmu (przy poszczególnych pozycjach podano datę i godzinę)



Rys. 3. Dynamika geotropicznego ruchu łodygi goździka (odchylenie od położenia poziomego) oraz czas pomiaru

WYNIKI

Metoda zdjęć poklatkowych do badania ruchów geotropicznych roślin przy restoracji pędu do położenia pionowego okazała się całkowicie dobra i dająca pełny materiał dokumentacyjny dla wykreślenia krzywych, charakteryzujących dynamikę procesu podnoszenia się pędu. Odstępy czasu między poszczególnymi zdjęciami, trwające od jednej do trzech minut okazały się wystarczające, aby pokazać ten ruch rytmicznie i płynnie dla wszystkich rodzajów roślin.

Analiza poszczególnych zdjęć i kolejne pomiary kąta położenia pędu podnoszącej się rośliny, dokonywane na małym ekranie przy pomocy zwykłego projektora oraz przy zmniejszeniu oświetlenia do zwykłej żarówki samochodowej, zasilanej z akumulatora i przesuwaniu klatka po klatce ręcznie są całkiem możliwe, bez uciekania się do specjalnych urządzeń. Niemniej jednak wykorzystanie zwykłego stolika montażowego z ręcznym (klatka po klatce) przesuwaniem filmu oraz z takim oświetleniem, by dawało dość jasny obraz, może w pełni służyć do wszystkich pomiarów i nanoszenia na schematy analizowanych ruchów lub wzrostu rośliny.

Bardzo istotnym zagadnieniem jest takie ustawienie urządzeń i badanych roślin, by uniezależnić się od wpływu ewentualnych ruchów kamery. Nie pozycja kamery, lecz elementy składające się na badany proces winny dawać wszelkie potrzebne dane. Dlatego też, badając jakikolwiek ruch roślin czy też wzrost, należy rejestrować na jednym i tym samym

zdjęciu wszelkie podstawowe elementy składowe, tak by każde zdjęcie dawało wszystkie niezbędne dane. W opisywanych tu doświadczeniach, polegających na badaniu dynamiki odkształcania się pędów z położenia poziomego do pionowego, konieczne było rejestrowanie trzech elementów: po pierwsze — na zdjęciu musiała być badana roślina, znajdująca się w określonym położeniu w przestrzeni; po drugie — jednocześnie była tam siatka pionowych i poziomych linii ustawionych prostopadłe i równoległe względem powierzchni ziemi, tak że nawet bez względu na pewne niewielkie ruchy kamery (choć takie powinny być wykluczone przez sztywne i trwałe zamocowanie) zdjęcie rejestrowało daną roślinę na tle siatki wykazującej jej dokładne położenie względem poziomu; po trzecie — w tym samym kadrze filmu rejestrowany był czas dokonania zdjęcia. W ten sposób trzy niezbędne elementy: roślina, geotropiczne położenie jej w przestrzeni oraz czas były rejestrowane na jednym i tym samym zdjęciu. Dzięki temu każdy kadr filmu stanowił samodzielny dokument bez konieczności dokładnego ustawiania kamery, gdyż minimalne poruszenie się jej przy zmianie filmu lub przestawieniu przysłony nie ma praktycznego znaczenia na dokładność rejestracji. Gdyby jednak kamera decydowała o położeniu rośliny i liniami odniesienia były tylko wyłącznie ramki kadru, wtedy trudno byłoby mieć pewność co do aktualnego położenia rośliny i minimalne nawet różnice w jej położeniu mogłyby wypaczać badany obraz. Oczywiście przy kręceniu filmów popularno-naukowych nie mają takie szczegóły dużego znaczenia i wtedy z pewnością znacznie lepiej jest zdejmować ruch, czy wzrost rośliny na naturalnym tle, lecz przy badaniach naukowych konieczne jest zdejmowanie rośliny na tle ekranu z dokładnym układem odniesienia, najczęściej pionowych i poziomych linii, mogących określić dokładnie położenie poszczególnych części rośliny w trakcie filmowania.

W czasie dokonywania zdjęć największą trudność sprawiało oświetlenie i praktycznie do końca trwania badań nie zostało ono rozwiązane zadowalająco. Najlepiej z punktu widzenia technicznego byłoby robić zdjęcia w oświetleniu sztucznym ciągłym i tak w zasadzie postępuje się praktycznie w wielu przypadkach zdjęć poklatkowych roślin dla celów popularno-naukowych. Niemniej jednak wiadomo powszechnie, że większość organizmów żywych zachowuje rytmikę dobową oraz określony fotoperiodyzm i zaburzenie zmian dobowych w oświetleniu może wpłynąć na przebieg wzrostu i rozwoju badanej rośliny.

W pierwszym roku prowadzenia badań zastosowano technikę robienia zdjęć w naturalnych warunkach w szklarni, jednakże trzeba było na czas ekspozycji wzmacniać oświetlenie włączaniem dwóch reflektorów fotograficznych dających rozproszone światło. W nocy tylko to oświetlenie służyło do robienia zdjęć. Rozwiązanie takie w zasadzie było najgorszym rozwiązaniem, gdyż pomimo regulowania co kilkanaście minut przysłony

obiektywu, zgodnie z aktualnymi pomiarami światłomierzem w czasie oświetlenia roślin, nie udało się zachować równomiernego naświetlenia taśmy filmowej, a dodatkowe włączenie reflektorów w nocy niwelowało znaczenie okresowej ciemności z punktu widzenia fotoperiodyczności [3, 5]. Dlatego też metodę tę po zapoznaniu się z jakością taśmy filmowej uznano za niekorzystną i zaniechano jej stosowania. Niemniej jednak należy podkreślić, że taśma filmowa nadawała się w pełni do analizy naukowej ruchu roślin i z każdego kadru można było odczytać położenie rośliny, choć przy wyświetlaniu ciągłym filmu na ekranie widać było silną pulsację jasności obrazu, z tym że w nocy następowało przyciemnienie, a w dzień rozjaśnienie (na kopii pozytywowej), co utrudniało oglądanie filmu. Na materiale negatywowym światła te można by wyrównać przy kopiowaniu.

W roku następnym, z braku obiektywów automatycznie regulujących przysłonę, zdecydowano się robić zdjęcia w świetle sztucznym przy całkowitym zaciemnieniu pomieszczeń.

Jedynym wyjściem z tych trudności wydaje się robienie zdjęć w dwóch różnych warunkach: w oświetleniu sztucznym w pomieszczeniach zaciemnionych oraz w naturalnym oświetleniu, np. w hali wegetacyjnej przy zastosowaniu obiektywu z automatyczną regulacją przysłony, działającej na podstawie fotoopornika. Niemniej jednak nie wydaje się prawdopodobne, aby bez dodatkowego oświetlenia w nocy wszystkie kadry filmu były czytelne. Mimo to choćby nawet trzecia część materiału filmowego (to jest ta robiona w nocy) była w ogóle nieczytelna, to i tak mogłaby ona spełnić funkcję kontrolną, to znaczy wykazać, czy procesy przebiegające w nieprzerwanym oświetleniu odbiegają w sposób istotny od równoległych doświadczeń w naturalnym oświetleniu.

Metoda zdjęć poklatkowych w pełni wykazała swoją przydatność do badania geotropicznych ruchów roślin. Należy przypuszczać, że można ją też zastosować do wszelkich innych ruchów związanych z foto- i chemotropizmami. Każdy z kadrów, jeśli jest właściwie zaplanowany, to znaczy, jeśli w polu widzenia znajdują się punkty lub linie odniesienia oraz czas dokonywania zdjęcia, mogą być następnie materiałem wyjściowym do dokonywania analiz i wykreślenia funkcji analitycznie przedstawiającej badane procesy. Należy jednak nadal pracować nad metodą dokonywania zdjęć w naturalnych warunkach świetlnych przez dobór odpowiednich obiektywów oraz właściwego materiału filmowego. Jednym z rozwiązań może być użycie błysku skorelowanego z otwarciem się kamery dla dokonywania zdjęć w nocy, lecz i takie krótkotrwałe oświetlenie, przypominające raczej naturalne oświetlenie towarzyszące burzom podczas wyładowań atmosferycznych, powtarzające się periodycznie, nawet co kilka minut, mogą mieć zasadniczy wpływ na fotoperiodyczne właściwości wzrostu roślin i nie mogą być użyte w badaniach, gdzie fotoperiodyzm może mieć zasadniczy wpływ na przebieg danego procesu.

STRESZCZENIE

Wzrost roślin jest jednym z trudniejszych zjawisk do bezpośredniej obserwacji przez człowieka. Jedynie metoda dokonywania zdjęć filmowych, analizowanych następnie klatka po klatce, może tu mieć zastosowanie. Toteż chcąc badać dynamikę podnoszenia się roślin po wyleganiu przyjęto filmowanie poklatkowe. W badaniach tych ujęto różne gatunki roślin (pszenicę i żyto, pomidory i goździki) w różnych fazach wzrostu i rozwoju.

Chcąc zapewnić rejestrację jak największej liczby danych na jednej klatce, filmowano badaną roślinę na tle białego ekranu z czarnymi liniami pionowymi i poziomymi oraz tarczę zegara wskazującego czas robienia zdjęć. Dzięki temu z każdego kadru filmu można było odczytać pozycję rośliny względem powierzchni ziemi o określonej godzinie.

Po wywołaniu filmu i wstępnej analizie ruchu rośliny, przerysowywano z kolejnych klatek położenie rośliny wraz z podstawowymi liniami pionowymi i poziomymi dla ich usytuowania zarówno w stosunku do powierzchni Ziemi, jak i wzajemnie w stosunku do siebie oraz mierzono kąty odkształceń. Pomierzone kąty oraz czas trwania między jednym i drugim pomiarem służyły do wykreślenia krzywych, które stanowiły podstawowy materiał porównawczy dynamiki ruchu geotropicznego roślin po wyleganiu.

Do realizacji badań wykorzystano kamery filmowe: Pentaflex i Admira (16 mm), urządzenia do zdjęć poklatkowych produkcji NRD — Zeissa oraz specjalne urządzenie pomysłu dr. J. Tarłowskiego. Zdjęcia zrobione w odstępach 1, 2 i 3 minut w zależności od szybkości przebiegu podnoszenia się roślin. W pracy przedstawiono również trudności techniczne związane z odpowiednim skorelowaniem oświetlenia, w tym również w warunkach oświetlenia naturalnego z przysłoną obiektywu w trakcie robienia zdjęć.

LITERATURA

1. Darwin C., Darwin F.: The Power of Movement in Plants. 1880, John Murray, 592.
2. Head G. C.: Studies of Diurnal Changes in Cherry Root Growth and Nutational Movements of Apple Root Tips by Time-lapse Cinematography, Annals of Botany, N. S., 1965, V. 29, nr 114, 219-224.
3. Molski B., Żelawski W.: Wstępne badania anatomiczne procesu kształtowania się drewna późnego w słoju rocznym siewek modrzewia (*Larix europaea* D.C.) w związku z warunkami długości oświetlenia dziennego. Acta Soc. Bot. Pol., 1958, V. 27, nr 1, 83-101.
4. Tarłowski J.: Próba zastosowania metody filmowej do analizowania ruchów roślin. Acta Soc. Bot. Pol., 1968, V. 37, nr 2, 67-76.
5. Wodzicki T.: Investigation on the kind of *Larix polonica* Rac. wood formed under various photoperiodic conditions. II. Effect of different light conditions on wood formed by seedlings growing in greenhouse. Acta Soc. Bot. Pol., 1961, V. 30, nr 1, 111-131.

*Б. Мольски*ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИНОФИЛЬМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДИНАМИЗМУ
ГЕОТРОПИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ РАСТЕНИЙ ПОСЛЕ ПОЛЕГАНИЯ

Р е з ю м е

Для исследования динамики поднимания растений, после полегания, принято киносъёмку отдельными кадрами, как наилучший метод регистрации отдельных положений растения во время его движения из положения горизонтального в вертикальное. В этих исследованиях применялись такие растения как: пшеница, рожь, помидоры и гвоздика, в разных фазах роста и развития.

Для зарегистрирования самого большого количества данных на одном и том же кадре одновременно сделано снимок исследуемого растения на фоне белого экрана с черными вертикальными и горизонтальными линиями (по отношению к поверхности земли), а также циферблат часов, показывающих время, в котором сделано снимки.

Благодаря этому из одного и того же кадра кинофильма можно было определить положение растения по отношению к поверхности земли в определенное время, а два снимки лежащие рядом давали возможность определить путь, какой прошло растение в определенное время независимо от того как точно работали устройства, нажимающие спусковую кнопку камеры.

Измеренные углы и время между одним и другим измерением дали возможность начертания кривых, которые были основным сравнительным материалом динамики геотропического движения после полегания.

Во время реализации исследований использовано кинокамеры производства ГДР Pentaflex и Чехословакии Admira (16 мм.). Снимки производились каждые 1, 2, 3 минуты в зависимости от скорости поднятия растений. В работе представлены также технические затруднения связанные с соответственной корреляцией освещения, в том условиях естественного освещения, с диафрагмой объектива во время снимков.

*B. Molski*USE OF MOVIE TO INVESTIGATE THE DYNAMICS OF GEOTROPIC
MOVEMENTS OF PLANTS AFTER LODGING

S u m m a r y

For investigating the dynamics of plant erection after lodging frame filming has been assumed as the best recording method of particular positions of plant during its erection movement. In these investigations different plants were used (cereals — wheat and rye, vegetables — tomatoes, flowers — carnations) at their different growth and development phases.

To record maximum number of data, in the same film frame, the investigated plant was filmed simultaneously against a white screen with black vertical and horizontal lines (in relation to earth surface) as against a watch face indicating the exact time of filming. Owing to that it was possible to read at a defined hour from one and the same film frame, the plant position against the earth surface, while two adjacent frames enabled to determine the distance covered by the given plant over the defined time, irrespective of exactness of the devices pressing the kamera release.

After film development and preliminary analysis of plant movement, the plant positions were measured. The measured angles and the time intervals between particular measurements served to plot the curves, constituting a basic comparative material of the geotropic movement dynamics of plant after lodging.

In the course of investigations the film cameras Pentaflex (made in the GDR) and Admira 16 mm (made in Czechoslovakia), were used. The shots were made in the 1-, 2- and 3-minute intervals, depending on the erecting rate of plants. In the paper also technical difficulties are discussed, connected with adequate lighting correlation, including natural light conditions, with shading lens in the course of filming.