Próba zastosowania metody filmowej do analizowania ruchów roślin

*Application of filming method to measure the movements
of plants*

J. TARŁOWSKI

WSTĘP

W badaniach ruchów roślin do niedawna najczęściej stosowano metodę rejestracji polegającą na przenoszeniu przy pomocy układu dźwigni ruchu badanego organu na bęben samopisu (Pfeffer, 1907). Szczytowym osiągnięciem w doskonaleniu tej metody była aparatura Bose'go (1918, 1919), pozwalająca uzyskiwać milionowe powiększenia obserwowanych ruchów. Zastosowana po raz pierwszy przez C. i F. Darwinów (1880) metoda polegająca na rysowaniu kolejnych faz ruchu znalazła pełne rozwinięcie i udoskonalenie w pracach A. Tronchet (1942; A. Tronchet, J. Tronchet, 1944, 1946) i jego współpracowników. Dzięki zastosowaniu odpowiednio ustawionych zwierciadeł i pryzmatów Abbe'go autorzy ci oznaczając w określonych odstępach czasu (zazwyczaj 5 min.) położenie ruchomego wierzchołka w stosunku do nieruchomej podstawy uzyskują bardzo precyzyjne krzywe ruchu organu w trzech płaszczyznach. Jednak i ta metoda wymaga przywiązywania i usztywniania podstawy ruchomego organu.

Rejestrowanie kolejnych faz ruchów roślin w stanie nienaruszonym umożliwiła dopiero metoda filmowa. Film poklatkowy pozwala obserwować wielokrotnie z dowolnym przyspieszeniem nawet najbardziej złożone ruchy roślin. Metoda ta od lat stosowana w badaniach mających na celu ustalenie lokalizacji, ogólnego charakteru, jakościowych reakcji ruchowych na różnorodne oddziaływania, nie znalazła jednak dotychczas szerszego zastosowania przy „ilościowym” badaniu ruchów roślin. Fakt ten wiąże się z trudnościami, jakie nastroczą badaczowi próby wykreślenia krzywych ruchu na podstawie filmowego obrazu.

Celem niniejszej pracy było zbadanie możliwości zastosowania metody filmowej do wykreślenia dokładnych krzywych ruchu roślin.

METODYKA I STOSOWANA APARATURA

Materiał roślinny

Wszystkie doświadczenia wykonano na młodych roślinach fasoli szparagowej 'Saxa' (*Phaseolus vulgaris* var. *nanus* Mertens) uprawia-

nych w kulturze wodnej na pełnej pożywce wg Bassalika (Tarłowski, 1956). Od chwili napełnienia nasion rośliny hodowano w piwnicy całkowicie odciętej od naturalnego światła. W pomieszczeniu tym wahania temperatury i względnej wilgotności powietrza były bardzo nieznaczne. Szczegółowe wartości tych wahań podano przy opisie doświadczenia.

Oświetlenie roślin podczas wykonywania zdjęć

W omawianym niżej doświadczeniu rośliny przebywały w całkowitej ciemności przerywanej jedynie w momentach wykonywania zdjęć błyskami zielonego światła. Źródłem światła białego była żarówka 500 W o bańce matowej z reflektorem zwierciadlanym. Lampę umieszczano w skrzyni nieprzezroczystej, której jedną ze ścian bocznych stanowiło naczynie z plexiglasu (4 mm) o wymiarach 20×20 cm wypełnione roztworem wodnym 140 g CuCl_2 i $14,5 \text{ g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ na 1 litr, w warstwie 10 mm.

Przepuszczalność tego filtra oznaczono spektrofotometrem SF—4. Filtr przepuszcza światło widzialne w zakresie od 485 do 585 nm. Przepuszczalność powyżej 50% mieści się w zakresie od 519 do 566 nm, zaś maksimum przypada na 552 nm.

Jak wykazały wstępne badania błysk światła, przechodzącego przez ten filtr (przy odległości źródła od obiektu — 1 m), trwający $1/25$ sek. był wystarczający dla uzyskania dostatecznie krytych zdjęć na błonie o czułości 19/10 DIN przy diafragmie 1:2,8. Rośliny fasoli hodowane w ciemności i poddawane w ciągu 7 dni co 6 min. takim błyskom nie wykazywały żadnego wygięcia fototropicznego w kierunku źródła światła.

Kamera filmowa i automat do wykonywania samoczynnych zdjęć poklatkowych

W badaniach stosowano kamerę ADMIRA 16 A Electric. Obiektyw Openar 1:1,8/20. Błony: Agfa Umkehr-Film Isopan ISS 19 DIN produkcji VEB-Wolfen (NRD).

Źródłem impulsów elektrycznych był zegar sterujący, typ ZS-2 zasilany prądem $24\text{V}=\text{}$, dający co minutę 10-sekundowe napięcie na wybierak telefoniczny o 25 kontaktach. Odpowiednie łączenie kontaktów wybieraka z elektromagnesem uruchamiającym spust kamery umożliwiało uzyskiwanie zdjęć co 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 20, 21, 24 i 25 minut. Długość błysku regulowano przy pomocy przekaźnika czasowego. W polu widzenia kamery obok badanych roślin umieszczano zegar dla pomiaru czasu oraz licznik 4-cyfrowy rejestrujący poszczególne klatki.

Sposoby wykreślania krzywych ruchów badanych roślin

Jak wspomniano na wstępie najpoważniejszą przeszkodą w wykorzystywaniu kinematograficznej rejestracji ruchów roślin stanowi trudność wykreślania krzywej ruchu na podstawie kolejnych zdjęć. Przy wykreślaniu niżej przytoczonych krzywych stosowano dwie metody.

Pierwsza z nich polegała na mierzeniu pod mikroskopem przy powiększeniu $40\times$ (okular z podziałką mikrometryczną) odległości obserwowanych ruchomych punktów rośliny od stałego nieruchomego punktu obrazu. Uzyskane w ten sposób wartości przeliczone na wielkość naturalną (z dokładnością do 0,5 mm) nanoszono na oś rzędnych wykresu. Metoda ta była jednakże niezwykle pracochłonna.

Druga metoda pozwoliła wielokrotnie przyspieszyć proces kreślenia krzywej i wyeliminować przeliczenia związane ze zmniejszeniem obrazu na klatce i powiększeniem mikroskopu. Mianowicie krzywą w skali dowolnie ustalonej kreślono z obrazu rzucanego przez projektor filmowy.

Aby zmniejszyć szybkość przesuwania się taśmy w projektorze wyeliminowano bezpośredni napęd silnika. Przy pomocy silnika o zredukowanej liczbie obrotów oraz przekładni pasowej uzyskano ruch taśmy z prędkością 1 klatki co 15 sek., tzn. w ciągu 15 sek. obraz każdej klatki był trzykrotnie rzutowany na ekran. Aby przy tak powolnym ruchu taśma nie uległa przepaleniu w projektorze zastosowano żarówkę 12 V 90 W oraz filtr szklany odcinający czerwoną część widma.

Obraz badanej części rośliny rzutowano na biały ekran osadzony na ruchomej osi ustawionej w płaszczyźnie obrazu tak, że przy pomocy pokrętki ekran mógł być przesuwany zgodnie z ruchem rośliny w kierunku poziomym lub pionowym. Na tej samej osi osadzono dźwignię zakończoną piórkiem przylegającym do papieru nawiniętego na bęben kimografu. Ekran ustawiano w takiej odległości od projektora, aby uzyskiwać dwukrotne powiększenie sfilmowanego obrazu. Szybkość obrotów bębna kimografu dobrano w ten sposób, aby przy przesunięciu taśmy filmowej o 1 klatkę papier umocowany na bębnie przesunął się o 1 mm. W środku ekranu wyrysowano krzyż. Projektor ustawiano tak, aby krzyż na ekranie pokrywał się z obserwowanym ruchomym punktem rośliny (np. wierzchołkiem pędu). Po uruchomieniu projektora i kimografu kreślenie krzywej ograniczało się do ręcznego naprowadzania centralnego punktu ekranu na obserwowany punkt ruchomy rośliny.

O dokładności tej metody świadczy fakt, że uzyskiwane przy jej pomocy krzywe pokrywały się z krzywymi uzyskiwanymi metodą pomiarów dokonywanych pod mikroskopem.

Oczywiście, krzywe otrzymywane opisanymi sposobami nie odpowiadają bezwzględny wartościom przemieszczenia obserwowanego punktu w przestrzeni. Odpowiadają one jedynie przemieszczeniom rzutu

obserwowanego punktu na płaszczyznę prostopadłą do osi optycznej kamery filmowej w czasie wykonywania zdjęć. O przydatności uzyskiwanych w ten sposób krzywych ruchu roślin będzie mowa niżej.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Celem przedstawienia możliwości praktycznego zastosowania opisanej metodyki przytoczono jedno z 7 doświadczeń wykonanych w 1965 r. Wybrano tu celowo doświadczenie prowadzone w ciemności (6—65), tzn. w takich warunkach, w których dotychczas stosowane metody ścisłego pomiaru ruchów są zupełnie nieprzydatne.

Przygotowanie roślin i warunki doświadczenia

Wysterylizowane sublimatem nasiona namoczono 18.8.65. Po 2 dniach, kiedy korzonki miały długość 12—15 mm, rośliny przesadzono do 2-litrowych prostokątnych kuwet szklanych na pożywkę i umieszczono w ciemności.

Odległość źródła światła od roślin wynosiła 110 cm a zielonego filtru — 100 cm. Wszystkie operacje związane z ustawianiem kamery i roślin dokonywano przy zielonym świetle (żarówka 6,3 V, 0,3 A, warstwa filtru ciekłego 15 mm).

Zdjęcia rozpoczęto 24,8 o godz. 17,34, a zakończono 1,9 o godz. 0,35. W ciągu tego okresu temperatura otoczenia obniżyła się z 20 do 16°C. Uwzględniając fakt, że spadek ten odbywał się w ciągu 7 dni można sądzić, że zmiany temperatury nie wywarły istotnego wpływu na reakcje roślin. Szczegółowy obraz zmian temperatury w okresie od 26.8 do 1.9 przedstawia ryc. 2. Wprawdzie niedosytu wilgotności powietrza nie oznaczano w sposób ciągły, a tylko w momentach oznaczonych na ryc. 2 strzałkami, to jednak wahania były również bardzo nieznaczne i zamykały się w granicach 6,8—5,7 mb.

Pomiar wzrostu hypokotyli

W ciągu pierwszych dwóch dni doświadczenia wzrost roślin polegał przede wszystkim na wydłużaniu się hypokotyli, oraz na podnoszeniu się i prostowaniu liścieni. Żadnych uchwytnych ruchów nutacyjnych rośliny nie wykazywały.

Rycina 1 przedstawia przebieg wydłużania się hypokotyli trzech roślin w okresie od godz. 18 dnia 24.8. do godz. 17 dnia 26.8. Długość hypokotyli mierzono pod mikroskopem z kadrów filmu co godzinę (tzn. co 10 kadrów) i po przeliczeniu na wielkość naturalną nanoszono na oś rzędnych. Obok krzywych wzrostu przedstawiono w skali ryciny wygląd mierzonych roślin na początku i w końcu pomiaru.

Ryc. 1. Krzywe wzrostu badanych roślin w okresie od 24.8.1965 godz. 18 do 26.8.1965 godz. 17. Wysokość roślin mierzona co godzinę z kadrów filmu przy pomocy mikroskopu przy 40-krotnym powiększeniu

Growth curves of the investigated plants for the period August 24, 6 p.m. to Aug. 26, 5 p.m. The height of the plants measured every hour from the film frames with the aid of a microscope at 40× magnifications

Jak widać z wykresu przyrost długości roślin odbywał się regularnie i nie wykazywał żadnej uchwytnej rytmiki dobowej lub też rytmiki o krótszym okresie. Można jedynie stwierdzić, że poczynając mniej więcej od godz. 12 dnia 25.8 wszystkie krzywe wznoszą się nieco szybciej niż w początkowym okresie. Jest to prawdopodobnie związane z faktem, że w tym samym czasie stwierdzono wyprostowywanie się hypokotyli i podniesienie wygiętych poprzednio do dołu liścieni.

Pomiary ruchów nutacyjnych

Rycina 2 przedstawia przebieg ruchów tych samych 3 roślin w ciągu następnych sześciu dni (oraz zmiany temperatury w otoczeniu). Tak jak na rycinie poprzedniej na osi odciętych odkładano czas. Kolejne doby oddzielono pionowymi prostymi. Krzywa ruchu każdej rośliny obejmująca jedną dobę składa się z 240 punktów mierzonych dla każdej klatki filmu. Na oś rzędnych nanoszono wielkości wychyleń w płaszczyźnie obrazu wybranego punktu każdej rośliny, przy czym wychylenia w lewo odkładano zgodnie z rosnącymi wartościami rzędnych, zaś w prawo — z malejącymi. Wielkość rzeczywistych odchyień przedstawia skala z lewej strony ryciny. Przerwy w ciągłości krzywych spowodowane są bądź to zmianą taśmy filmowej, bądź też wyjściem mierzonego punktu na roślinie poza klatkę. W dolnej części ryciny oznaczono strzałkami wszystkie momenty, w których obserwator przebywał w kabinie. Poza tymi terminami kabina była zamknięta i odcięta od jakichkolwiek bodźców zewnętrznych.

Wyraźne rytmicznie powtarzające się ruchy nutacyjne wszystkich trzech badanych roślin rozpoczynają się pod koniec pierwszej doby (dn. 26.8 godz. 18) mniej więcej w momencie oznaczonym strzałką. Ruchy te u rośliny nr 1 i 2 trwają około 38 godzin, zaś u rośliny nr 3 trwają znacznie dłużej — niemal do końca trzeciej doby, choć już pod koniec drugiej doby ich amplituda wyraźnie maleje. W następnym okresie u wszystkich trzech roślin w ciągu trzeciej i czwartej doby nie obserwuje się ruchów nutacyjnych. Wznowione zostają wyraźnie pod koniec piątej doby u roślin nr 1 i 2 mniej więcej w momencie zaznaczonym strzałką, przy czym trwają one nieprzerwanie do końca obserwacji przez około 30 godzin. Natomiast roślina nr 3 nie wykazuje w tym czasie ruchów nutacyjnych.

Tabela 1 — Table 1

Średnia częstotliwość obrotowych ruchów nutacyjnych

Mean length of periods of circum nutation movements of young bean plants growing in darkness interrupted every 6 min. by flashes of green light

Nr rośliny Plant No.	Średnia z obrotów Average of rotation	Dni i godz. obserwacji Observation period days, hours	Częstotliwość w min. i sek. Length of periods in min. and sek.	% od Σ Percentage of total	Odchylenie w % od Σ Percentual deviation from total
3	8	27; 20.18—28; 16.54	155' 15"	85,68	—4,32
1	10	30; 19.42—31; 22.18	159' 36"	98,36	—1,64
3	8	26; 19.18—27; 16.36	159' 45"	98,45	—1,55
4*	10	30; 20.24—31; 23.18	161' 24"	99,47	—0,53
2	9	30; 20.12—31; 20.30	162' 36"	100,25	+0,25
4	11	27; 19.12—29; 01.48	166' 54"	102,86	+2,86
1	6	27; 05.44—28; 22.00	171' 00"	105,39	+5,39
1—4	62		162' 25"	100,00	—

* Rośliny nr 4 nie uwzględniono w innych zestawieniach, gdyż w niektórych okresach doświadczenia jej część wierzchołkowa nie mieściła się w ramach kadrów filmu.

Plant no. 4 was not taken into account in all the figures because in some periods of the experiment its apical part did not fit into the film frame.

Ruchy przedstawione na wykresie w postaci sinusoidy były w rzeczywistości ruchami obrotowymi wierzchołka rośliny wokół osi głównej (co z łatwością można stwierdzić podczas projekcji filmu). U wszystkich roślin badanych w tym i w innych doświadczeniach ruchy te — jeśli patrzeć na rośliny z góry — były wykonywane zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara.

Okres pełnego obrotu był u wszystkich badanych w tym doświadczeniu roślin dość podobny (tab. 1) i nie zależał w sposób uchwytany od niewielkich zmian temperatury. W zestawieniu uwzględniono tylko te odcinki

Ryc. 2. Krzywe ruchów wierzchołków epikotyli trzech etiolowanych siewek fasoli w ciągu 6 dni obserwacji: 26—31.8.1965. Strzałki w dolnej części ryciny oznaczają momenty przebywania obserwatora w kabinie. Krzyżykami + oznaczono przebieg temperatury

Curves of movement of the tips of the epicotyls of three etiolated bean seedlings in the course of 6 days of observation (26—31 Aug., 1965). The arrows in the lower part of the figure denote the moments of presence of the observer in the booth. Crosses denote the course of temperature

krzywych ruchu, w których można było ściśle ustalić początek i koniec pełnego obrotu.

Na podstawie danych zebranych w omawianym doświadczeniu nie sposób ustalić przyczyn powodujących pojawianie się i zanikanie omawianych ruchów. Wprawdzie dwukrotnie w ciągu doświadczenia (dn. 26.8 godz. 18 i dn. 30.8 godz. 18,30) początek ruchów zbiega się w czasie z momentem wejścia obserwatora do kabiny, lecz pozostałe trzykrotnie zaznaczone strzałkami momenty nie wywoływały żadnych uchwytnych reakcji. Można więc przypuszczać, że obserwowane ruchy nutacyjne pojawiały się i zanikały niezależnie od obserwatora.

DYSKUSJA

Według oceny prof. Lucien Baillauda (1962 a, 1962 b), autora monografii o autonomicznych ruchach łodyg i wąsów oraz o ruchach roślin powojowych, filmowanie ruchów pozwala jedynie uzyskiwać dowód istnienia ruchu, ustalić jego ogólny charakter oraz lokalizację, nie pozwala natomiast dokładnie badać ich cech.

Nie ulega wątpliwości, że metoda projekcji ortogonalnej, stosowana przez szkołę cytowanego we wstępie A. Troncheta daje nieocenione usługi w przypadku krótkotrwałych obserwacji prowadzonych przy nieprzerwanym oświetleniu. Pomijając fakt, że cytowany autor w omawianiu zasady metody wskazuje na szereg możliwości powstawania błędów, jest ona zupełnie nieprzydatna przy badaniach ruchów roślin w oświetleniu przemiennym lub w ciemności. Może najmniej istotnym zarzutem jest przywiązywanie „nieruchomej” podstawy ruchomego organu. Bowiem jeśliby metodą Troncheta pomiary wykonywać jednocześnie nie dla jednego punktu a dla kilku, to można by obyć się bez przywiązywania rośliny, które może być przyczyną zniekształcenia ruchu.

O niedocenianiu techniki filmowej przez autorów metody projekcji ortogonalnej świadczy fakt, że od momentu nakręcenia pierwszego filmu w 1958 r. o ruchach liści zarodkowych fasoli na nieprzerwanym świetle (Tronchet A., 1958) do dziś opublikowano zaledwie kilka komunikatów donoszących o stosowaniu techniki filmowej, mającej na celu tylko wstępne obserwacje rodzaju i charakteru ruchu (Tronchet A., 1962, 1963, Tronchet A., Tronchet J., Bressot J., Marchand G., Blanc B., 1961). Natomiast do dziś stosują oni metodę projekcji ortogonalnej do badania i mierzenia ruchów obrotowych. Np. współpracowniczka prof. Baillauda, Arlette Claire (1965) stosuje tę metodę do badania zależności między długością ruchomego odcinka łodygi *Ipomoea purpurea* a długością periodu. W ostatniej pracy (Claire A., 1966) przykleja ona do skręcającej się łodygi tej rośliny paski brystolu i twierdzi że nie ma to żadnego wpływu na przebieg ruchu.

Jak dotychczas jedynie Arnal wykorzystał w pełni możliwości, ja-

kie daje filmowanie ruchów. Jego badania nad nutacyjnym ruchem coleoptile pszenicy (Arnald C., 1955) wniosły wiele światła w to zagadnienie właśnie dzięki wykorzystaniu możliwości dokonywania dokładnych pomiarów co 5 minut jednocześnie na wielu nutujących siewkach nieprzerwanie przez wiele (29) godzin. Dokładność pomiarów do 1/4 mm była możliwa ze względu na drobne wymiary filmowanych roślin. Wykonanie takiego doświadczenia metodą projekcji ortogonalnej jest praktycznie niemożliwe. Rzut poziomy i pionowy Arnald uzyskał w nader prosty sposób, stosując lustro ustawione pod kątem 45°.

Oczywiście przy dokładnym badaniu i mierzeniu ruchów dużych roślin czy licznych organów wykorzystanie metody filmowej może nastroczać szereg trudności. Jednak sprawą badacza jest takie wyreżyserowanie filmu, aby spełnił on stawiane mu wymagania.

Niezaprzeczalną zaletą metody filmowej jest możliwość utrwalenia kolejnych faz ruchu na taśmie, co pozwala wielokrotnie i wielostronnie opracowywać uzyskany materiał. Nie do pogardzenia jest również możliwość absolutnie jednoczesnego mierzenia współrzędnych poszczególnych faz ruchu dla wielu punktów ruchomych lub też wykonywanego w wielu powtórzeniach.

Następną zaletą jest możliwość dokonywania pomiarów bez jakiegokolwiek mechanicznego drażnienia ruchomego organu. Zaletę tą w pełni docenił Arnald (Arnald C., Gebhardt U. 1955) wykazując, że wyniki pomiarów przyrostu na długość odcinków coleoptile dokonywane przy pomocy linijki milimetrowej i przez odczytywanie z taśmy filmowej znacznie się różnią.

Na koniec warto zwrócić uwagę na fakt, że metoda filmowa w porównaniu z metodą projekcji ortogonalnej posiada jeszcze jedną niebagatelną przewagę. Mianowicie daje możliwość mierzenia ruchów, jeśli nie w absolutnej ciemności to w warunkach ciemności przerywanej błyskami światła zielonego, nie wywierającego jak się wydaje wpływu na przebieg ruchu. Jak to wykazał Arnald (1958) oraz jego współpracownica Gebhardt (1962) nawet tak napozór autonomiczne ruchy jak nutacje coleoptile mają zupełnie inny przebieg w ciemności i na świetle.

Na podstawie powyższych rozważań można przypuszczać, że opisana metoda ułatwi w dalszych badaniach uzyskanie w zakresie fizjologii ruchów roślin nowych faktów, których ustalenie przy pomocy dotychczas stosowanych metod było utrudnione lub niemożliwe.

Nie bez znaczenia jest również fakt, że ogólny koszt całej stosowanej w opisanym doświadczeniu aparatury nie przekracza 8000 zł, co umożliwia jej zastosowanie w każdej pracowni.

Pani prof. dr H. Bireckiej wyrażam serdeczne podziękowanie za przejrzenie manuskryptu i poczynienie cennych uwag krytycznych.

STRESZCZENIE

W pracy opisano prostą aparaturę do filmowania wzrostu i ruchów roślin z częstotliwością od 1 do 25 klatek na minutę. Na przykładzie pomiarów wzrostu i ruchów nutacyjnych etiolowanych siewek fasoli (rosnącej w ciemności przerywanej co 6 minut błyskami zielonego światła — maximum przepuszczalności 552 nm) przedstawiono metody wykreślania współrzędnych ruchomego punktu w płaszczyźnie obrazu jako funkcji czasu: 1. mikrometrycznie i 2. półautomatycznie podczas zwolnionej projekcji filmu.

Pierwsza metoda polega na mierzeniu przy pomocy mikroskopu współrzędnych ruchomego punktu rośliny bezpośrednio z kolejnych kadrów filmu.

Druga metoda polega na wykreślaniu drogi, jaką przebywa w płaszczyźnie obrazu filmowego badany ruchomy punkt rośliny. Drogię tę rysuje na obracającym się bębnie kimografu piórko sprzężone z ruchomym ekranem podczas zwolnionej projekcji filmu. (Szybkość projekcji: 1 kadr na 15 sekund).

Badane w ciągu 7 dni w opisanych warunkach siewki fasoli wykonywały ruchy obrotowe wokół osi pionowej rośliny. Czas trwania jednego pełnego obrotu był u badanych roślin stały i wynosił średnio 162 minuty (± 9 minut).

Przedyskutowano przydatność metody filmowej do tego rodzaju badań.

Zakład Fizjologii Roślin PAN
Warszawa

(Wpłynęło dn. 14.3.1967 r.)

SUMMARY

A simple apparatus is described for filming the growth and movements of plants at a rate of 1 to 25 frames/minute. The methods of tracing the coordinates of a moving point in the picture plane as a function of time (1) micrometrically and (2) semiautomatically during slow film projection are presented on the example of measurements of the growth and nutation movements of etiolated bean seedlings (grown in darkness interrupted every 6 minutes by flashes of green light — maximum at 552 nm).

The first method consists in measurement by means of the microscope of the coordinates of a moving point of a plant directly from the successive frames of the film.

The second method consists in tracing the path of the given moving point of the plant in the plane of the filmed picture. This path is traced on a revolving kymograph drum by a pen connected with the moving screen during slow projection of the film (projection rate: 1 frame/15 sec).

The bean seedling investigated for 7 days under the above described conditions performed rotary motions around the vertical axis of the plant. The duration of one full revolution was constant in the plants examined and on the average lasted 162 minutes (± 9 min.).

The usefulness of the filming method for this kind of studies is discussed.

Department of Plant Physiology,
Polish Academy of Sciences,
Warszawa

(Entered: March 14, 1967)

LITERATURE

- Arnal C., 1955, Rev. gén. Bot. 62:661—666.
- Arnal C., 1958, Ann. sci. Univ. Besançon Sér. 2. Bot., fasc. 12:59—61.
- Arnal C., Gebhardt U., 1955, Rev. gén. Bot. 62:597—608.
- Baillaud L., 1962, Handbuch der Pflanzenphysiologie 17:562—715.
- Bose J. C., 1918, Life movements in plants, vol. I. pp. 251, Calcutta.
- Bose J. C., 1919, Life movements in plants, vol. II: 255—597, Calcutta.
- Claire A., 1965, C. r. Acad. Sc. Paris, sér. D. 261:3660—3663.
- Claire A., 1966, C. r. Acad. Sc. Paris, sér. D. 262:759—762.
- Darwin C. and Darwin F., 1880, The power of movement in plants, London, John Murray.
- Gebhardt U., 1962, Planta 59:29—37.
- Pfeffer W., 1907, Abh. Kgl. sächs. Akad. Wiss. Leipzig. Math-physik. Kl. 30:259—472.
- Tarłowski J., 1956, Acta Soc. Bot. Pol. 35:401—408.
- Tronchet A., 1942, Ann. Univ. Lyon, Sér. III, Sci. nat. 3:27—44.
- Tronchet A., 1958, Ann. sci. Univ. Besançon, Sér. 2. Bot. fasc. 12:41—42.
- Tronchet A., 1962, Bull. Soc. histoire natur. Doubs. Nr. 64, fasc. 1:11—12.
- Tronchet A., 1963, Bull. Soc. histoire natur. Doubs. Nr. 65, fasc. 3—4:45—46.
- Tronchet A., Tronchet J., 1944, Bull. mens. Soc. linn. Lyon. Nr. 1: 8—13; Nr. 2: 19—23.
- Tronchet A., Tronchet J., 1946, Ann. sci. Franche-Comté. 1:57—69.
- Tronchet A., Tronchet J., Bressot J. M., Marchand G., Blac B., 1961, Ann. sci. Univ. Besançon. Sér. 2. Bot. fasc. 17:3—26.