

FILM — SPOSÓB POZNANIA RUCHU ROŚLIN

Jan Calábek

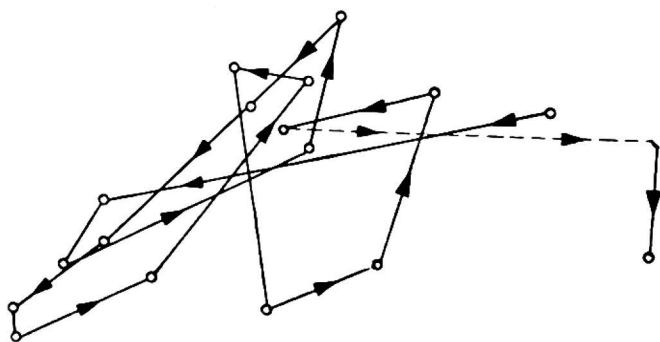
Wyższa Szkoła Rolnicza w Brnie, Czechosłowacja

Wielostronne znaczenie filmu w badaniach naukowych jest obecnie powszechnie doceniane. Fotografia, na podstawie której powstał film, pokazuje zaledwie twarze osób, krajobraz, widok najróżniejszych przedmiotów, tak jak wyglądały w określonej chwili, a nie w ich rzeczywistej dynamice, o której obraz statyczny może nam najwyżej dać niejasne wyobrażenie. Film na odwrót — chwyta nie tylko kształty i rozmiary, ale także cały proces w swej akcji i prawdziwej rzeczywistości. Przy pomocy filmu możemy więc przedstawić cenne zjawiska przyrody, które kiedyś fotografowaliśmy, wydarzenia historyczne, szczytowe osiągnięcia zręczności ludzkiej wykonywane przez sportowca, chirurga, czy też innego mistrza zręczności czy umiejętności.

Dzięki tym walorom pierwszorzędne znaczenie filmu nie zostało wykorzystane nawet w ogólnych zarysach. Podobnie jak w badaniach anatomicznych nie obejdziemy się bez mikroskopu, który powiększa drobne struktury, jak astronomowie nie mogą pracować bez teleskopu, dzięki któremu odległe ciała niebieskie zostają przybliżone, tak bardzo często do badań potrzebna jest kamera filmowa, którą w zależności od potrzeb wykorzystujemy do filmowania bardzo szybkiego, czy też bardzo powolnego ruchu. W tym przypadku mam na myśli szybkość przesuwu taśmy filmowej — szybkie zdjęcia albo poklatkowe.

Od dłuższego czasu obserwuję naturalny lub też autonomiczny i wiążący się ruch roślin. Autonomiczny ruch to ten, który przejawia się jako powolne kiwanie lub też cyrkulacja liści albo łodyg. Wierzchołek rosnącego organizmu roślinnego nie wyciąga się w linii prostej, lecz kiwa się, zakreślając przy tym obwód koła albo elipsy, dokładniej właściwie spirale. Czasami i organizmy, które już nie rosną także nie znajdują się w stanie spoczynku, ale w ustawicznym ruchu. Chodzi tu o ruch autonomiczny, na który nie mają wpływu ani grawitacja, ani światło, ani inne czynniki zewnętrzne. Roślina wykonuje ruchy, jak się domyślamy, przy pomocy jakichś wewnętrznych nie znanych bodźców, których do tej pory jeszcze dobrze nie poznaliśmy.

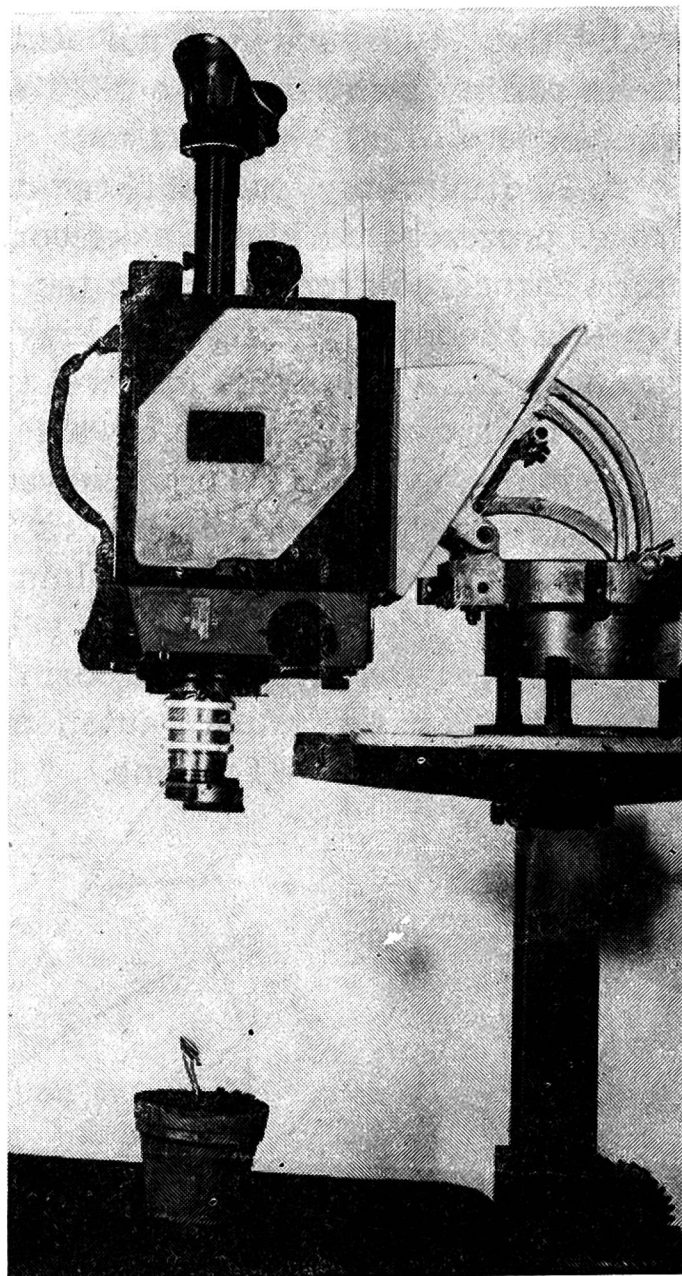
O ruchu tym dokładniej po raz pierwszy mówił Darwin. Nazwał go ruchem cyrkumentacyjnym (cirkumentačním) i opisał jako ruch zupełnie nieprzewidywalny co do niedawna pokutowało w nauce. Rysunek 1 przedstawia jedno z pięćdziesięciu ujęć tego ruchu z obszernej monografii Darwina z r. 1880. Nie należy się dziwić, że jego interpretacja niecałkowicie pokrywa się z rzeczywistością, którą dzisiaj znamy. Powolny ruch roślin jest bardzo trudny do obserwowania gołym okiem, a również i metodą stosowaną przez Darwina. Dopiero uchwycenie tego ruchu przez film okazało się, że jest on prawidłowy i ciągły. Autonomiczne ruchy możemy obserwować na zupełnie młodych roślinach, które wyrosły z nasienia, wydostały się nad ziemię i mają dwa pierwsze listki zwane zarodkowymi.



Rys. 1. Droga ruchu autonomicznego wg Darwina z r. 1880

Te młode rośliny rosną bardzo szybko i wykonują przy tym bardzo wyraźne ruchy autonomiczne. Po kilku dniach część łodygi pod hypokotylem zatrzymuje się we wzroście i w ruchu, rozwija się natomiast część nad hypokotylem. Użycie kiełkującej rośliny przy studiowaniu ruchów autonomicznych jest wygodne dlatego, że młode rośliny łatwo możemy wyhodować z nasion, mocno siedzą w ziemi, a ich wierzchołek może się poruszać jedynie w płaszczyźnie niemal horyzontalnej. Aby ruchy te uchwycić w całej rozciągłości niesfałszowane, kamerę należy umieścić w położeniu prostopadłym (rys. 2).

Przy obserwowaniu ruchów autonomicznych najczęściej używa się pnącza (*Ipomea*), mające hypokotyl długości 2-5 cm. Przy takiej długości wierzchołek wykonuje ruchy wahadłowe albo elipsowate o rozpiętości najwyższej 3 cm. Aby ruch ten uchwycić wyraźnie konieczne jest umocnienie kamery z obiektywem w zasadzie o normalnej ogniskowej na taką odległość od rośliny, aby wierzchołek rośliny w czasie ruchu pokrywał niemal całą klatkę filmową. Klatka filmowa obejmuje wtedy płaszczyznę o szerokości ok. 5 cm. Roślina przy tym została uchwycona w swej naturalnej wielkości. W czasie wzrostu wierzchołek rośliny przybliży się do obiektywu, na skutek czego zdjęcia nie mają tej ostrości, a odchylenia zwiększają się w stosunku do rzeczywistości. Aby tego uniknąć lub też aby miało to miejsce tylko w nieznacznym stopniu, użyto do filmowania obiektywu z długą ogniskową, np. obiektywu o ogniskowej 12 cm. Roślina będąc oddalona od obiektywu o 24 cm mogła być rejestrowana jako mająca normalną wielkość. Przybliżenie rośliny o kilka centymetrów w czasie jej wzrostu nie przyczyniło się do jej zniekształcającego powiększenia na zdjęciach, a tym samym do zwiększenia ruchu; na skutek dużej



Rys. 2. Kamera w czasie filmowania ruchu młodej rośliny

przysłony nie doszło też do nieostrości, co przy stosunkowo długim naświetlaniu było możliwe, a często nawet i nieuniknione.

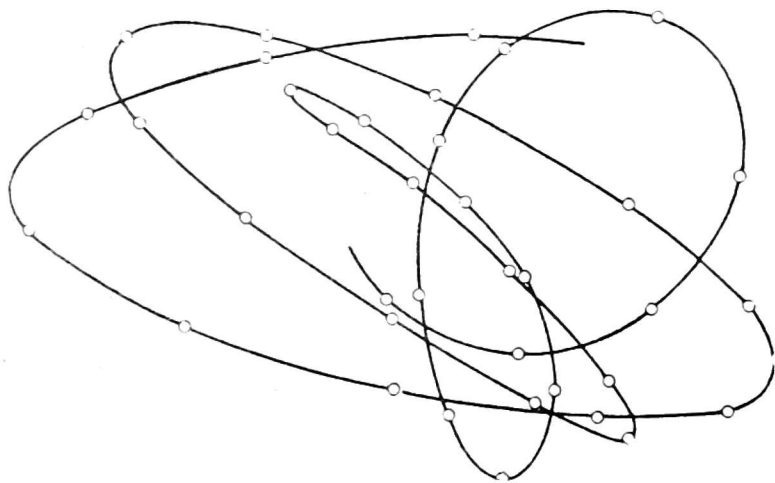
Wolne, autonomiczne ruchy roślin mogą być obserwowane po wykonaniu filmu techniką zdjęć poklatkowych. Różne rośliny mają różną szybkość wzrostu. Wymieniony pnącz — *Ipomea* w czasie ruchów wahań lub też krążeń wraca do swojego poprzedniego położenia przy temperaturze 23°C w ciągu 2 godzin. Szybkość ruchu rośliny zależy w dużym stopniu od temperatury otoczenia.

Przed filmowaniem rośliny, w celu sprawdzenia jej ruchów, jest rzeczą ważną ustalenie częstotliwości poszczególnych zdjęć poklatkowych. Aby częstotliwość tę właściwie ustalić trzeba zdecydować się, w jakim celu robimy film. Są tu dwie różne możliwości:

1. Film będzie się wyświetlać normalnie i wskutek przyspieszenia — oglądać właściwości ruchu roślin jakimi są: szybkość, kierunek, ciągłość, prawidłowość itp. W tym przypadku należy naświetlać poszczególne klatki filmowe przy użyciu *Ipomea* najlepiej co dwie minuty i w ten sposób jeden obrót ruchu rośliny utrwać na 60 klatkach, które następnie można

wyświetlać w ciągu dwu i pół sekundy (24 kl.s). Dzięki temu szybkość ruchu rośliny zwiększa się o 2880 razy i umożliwia łatwe jego obserwowanie.

2. W drugim przypadku, chcąc dokładnie ustalić ruch i wykreślić jego drogę, poszczególne klatki nakręconego filmu wyświetlać należy na papier i zaznaczać kropką zawsze ten sam punkt na zdjęciu. Byłoby jednak zupełnie zbędnym wykreślanie krzywej linii na podstawie sześćdziesięciu punktów. Na wykreślenie krzywej ruchu rośliny wystarczy bowiem dwaście punktów z każdej co czwartej klatki. W tym celu byłoby zbyt wiele trwonić materiał i komplikować sobie odczyt. Wystarczy więc naświetlać poszczególne klatki, np. co 8 minut, a całą krzywą jednego obrotu rośliny zaznaczyć na 1/4 m filmu. W celu przerysowania krzywej używamy wszystkich klatek filmowych. Rysunek 3 pokazuje drogę ruchu rośliny wykonaną w ciągu 8 godzin i wykreśloną podanym wyżej sposobem. Jak widać na rysunku autonomiczne ruchy roślin nie są chaotyczne, ale bardzo prawidłowe i płynne.



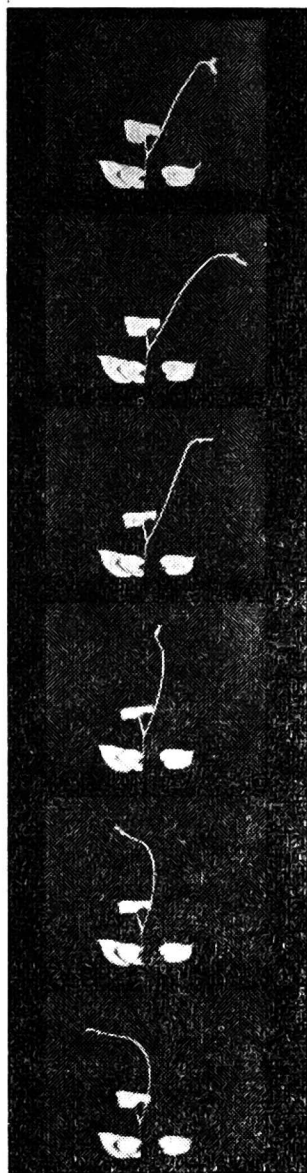
Rys. 3. Droga ruchu autonomicznego wykreślona na zasadzie pozycji określonego punktu na poszczególnych klatkach filmowych

W zależności od wymienionych wyżej dwóch zupełnie różnych celów użycia filmu do badań, należy stosować odmienny sposób filmowania, zwłaszcza gdy stosujemy dość długie przerwy pomiędzy poszczególnymi zdjęciami. Istnieją dwa sposoby przesuwania filmu w kamerze przy zdjęciach poklatkowych co umożliwia zupełnie różna aparatura napędowa.

a. Jeśli chcemy poszczególne zdjęcia wykonać dokładnie sposobem wyżej podanym (patrz punkt 2) roślinę na zdjęciu należy uchwycić w określonej płaszczyźnie bardzo ostro. Osiągniemy to przez krótkotrwałe naświetlenie (np. jedną sekundę) z przerwą dziesięciominutową, po której film przesunie się i naświetli się następna klatka. Gdybyśmy taki film wyświetlali normalnie, nawet gdy poszczególne klatki były fotografowane w krótkim odstępie czasu, np. po jednej minucie, nie otrzymamy ruchu płynnego, a jedynie skaczący obraz.

b. Daleko wygodniejsze jest przy wykonywaniu filmu (w celu normalnego wyświetlania) użycie takiej szybkości kamery, która nie przesuwa filmu po określonym czasie na następną klatkę, ale film zatrzymuje

się tak, jak przy normalnym fotografowaniu, tylko że o wiele dłużej. Przy takim systemie filmowania otrzymujemy zdjęcia w ruchu, ale nie ostre, jednak przy wyświetlaniu nie spostrzega się tej nieostrości, bowiem zwracamy uwagę na ciągły ruch. Różnicę wyników tych dwóch sposobów filmowania bardzo wyraźnie obrazują rys. 4 i 5.



←
Rys. 4. Odcinek filmu rejestrujący wierzchołek rośliny przy krótkim naświetlaniu poklatkowym co kilka minut

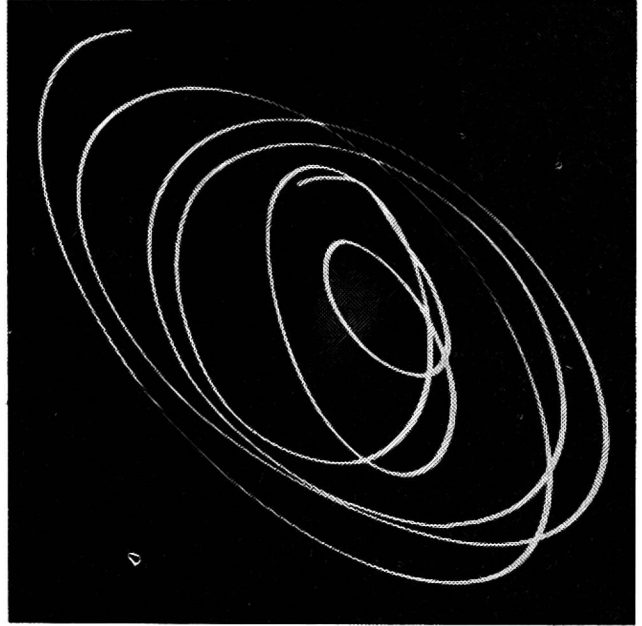
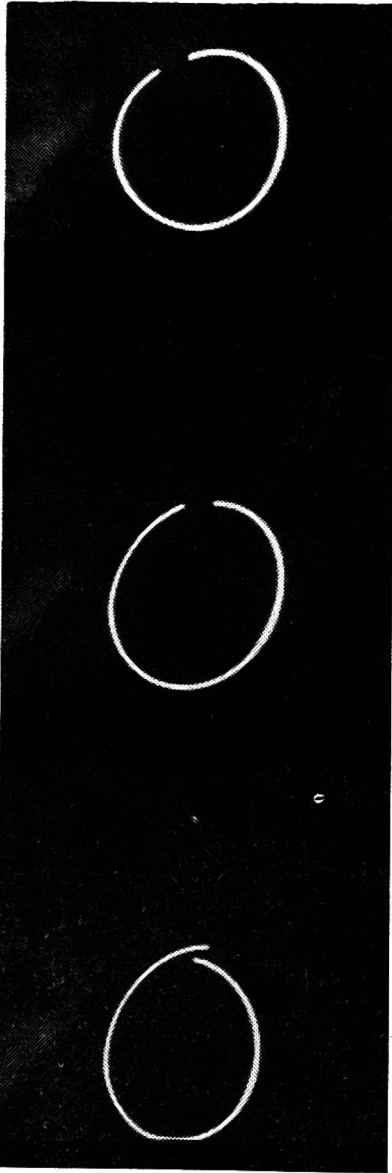


→
Rys. 5. Odcinek filmu rejestrujący ruch rośliny przy długim naświetlaniu każdej klatki, i długimi przerwami przesuwania filmu w kamerze

Konstrukcja krzywej ruchu z poszczególnych klatek filmu wymaga dużego nakładu pracy, szczególnie jeśli chodzi o dłuższe i bardziej skomplikowane krzywe dłużej trwającego zapisu na taśmie filmowej. W czasie pracy nasuwały się wątpliwości, czy rzeczywiście otrzymana prawidłowa krzywa lub ich określone odcinki są prawdziwe, czy też nie powstały one na skutek pewnej niedokładności lub też w czasie przerysowywania. Chcąc rejestrować niesfałszowaną rzeczywistość, a także w celu zmechanizowania, zautomatyzowania i równocześnie uściślenia pracy, zastosowano inny sposób zaznaczania ruchu roślin. Starano się równocześnie o to, aby kamera filmowa w czasie trwającego dłużej naświetlania uchwyciła określony punkt na roślinie i wykreśliła jego drogę wprost na klatce filmowej. Możemy to osiągnąć przez fotografowanie sztucznie naniesionego na roślinę błyszczącego punktu farbą o takim kolorze, na który



Rys. 6. Trzy klatki filmu, na których świecący punkt nakreślił drogę ruchu; każda z klatek po dwugodzinnym naświetlaniu

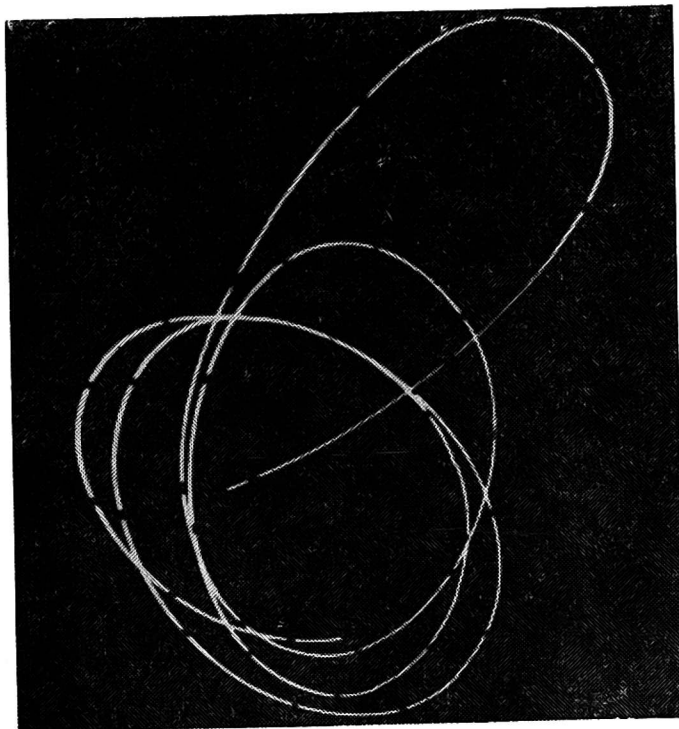


Rys. 7. Droga ruchu autonomicznego zarejestrowana po 12 godzinach naświetlania

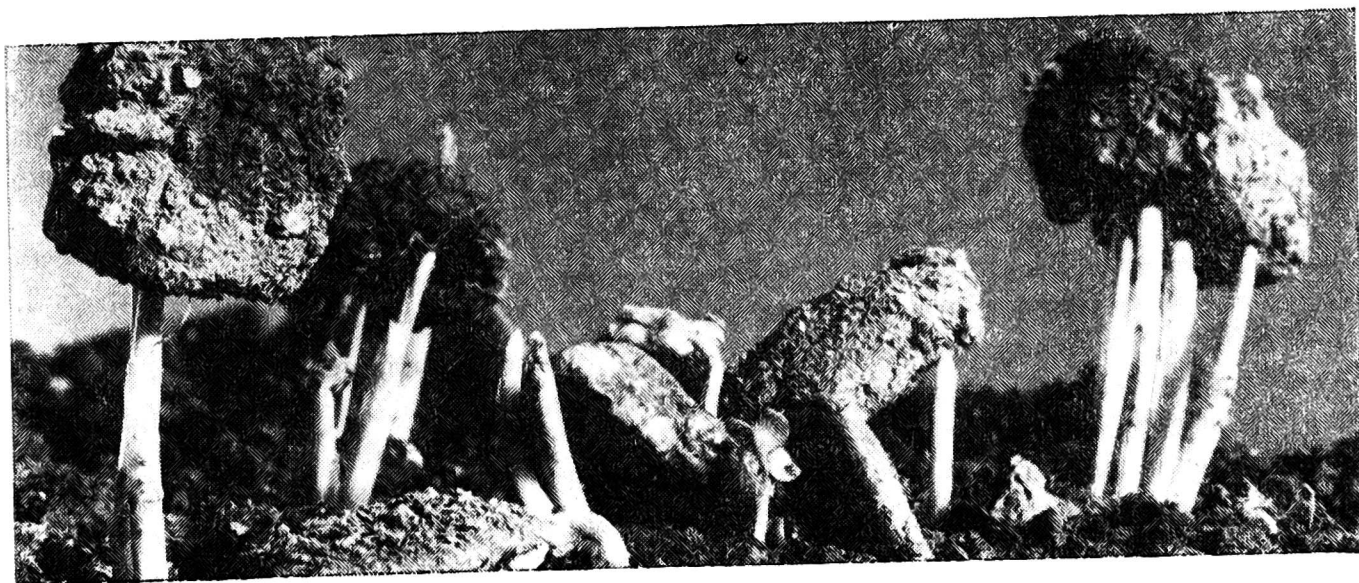
używana przez nas taśma jest bardzo czuła. Bardzo pożytecznym okazał się również sposób przymocowania na szczycie rośliny cienkiego czarnego włosa, długiego na dwa centymetry i zakończonego nieznacznie białą, lśniąca kuleczką, która znajdowała się nad wierzchołkiem rośliny. Kulczkę, którą można by uznać za punkt na roślinie, można było tak oświetlić z boku, że cała roślina pozostała w cieniu. Kamera znajdująca się pionowo nad rośliną filmowała następnie w ten sposób, że poszczególne klatki naświetlone były po kilka minut, a czasami i kilka godzin, dzięki temu droga świecącego punktu była zaznaczona na filmie, zanim się przesunął dalszy kolejny kadr. Mogło się zdarzyć, że znaczna część drogi ruchu nie była naświetlona na jednym, pojedynczym kadrze filmu, a związek poszczególnych kadrów z zależną linią krzywą, wskazującą drogę ruchu rośliny był zawsze łatwy do zaobserwowania. Rysunek 6 przedstawia odcinek filmu, na którym każda klatka naświetlana była 2 godziny. W tym czasie droga ruchu rośliny w przybliżeniu została zamknięta, jak widać to na zdjęciu. Zakończenie drogi ruchu na jednej klatce jest identyczne z początkiem linii na następnej klatce. Rysunek 7 przedstawia drogę ruchu, która została uchwycona na jednej klatce filmowej w ciągu bardzo długiego naświetlania i która równocześnie wykazuje, iż autonomiczne ruchy są rzeczywiście płynne i prawidłowe.

Przy tym sposobie rejestracji drogi ruchu rośliny, zapis był odzwierciedleniem rzeczywistego ruchu. Zachował się kierunek i kształt, jedynie w pewnym stopniu mogła się wydłużyć droga ruchu, która jest uzależniona od odległości kamery od filmowanego przedmiotu i zmniejszenia lub zwiększenia się obrazu w stosunku do pierwszych i ostatnich rejestracji, co jednak da się dość dokładnie określić.

Rys. 8. Droga ruchu rośliny z przerwami co 12 minut



Tam, gdzie droga ruchu jest inna niż obwód koła i podobna raczej do elipsy oraz zmienia się szybkość ruchu rośliny, co właśnie chcemy zarejestrować tak, jak mamy to zaznaczone na przerysowanym z klatek filmowych rys. 3, możemy to uzyskać przez automatyczne zakreślanie drogi ruchu. Wystarczy wtedy, np. po 10 minutach przy pomocy prostego automatycznego urządzenia, zakryć na kilka sekund obiektyw albo przerwać dopływ światła, które oświetla świecący punkt nad rośliną, a otrzymamy przerywaną linię krzywą drogi ruchu, przy czym każdy jej odcinek powinien równać się dziesięciu minutom ruchu rośliny. Wyniki takiego zapisu obrazuje rys. 8. Siłę kiełkowania roślin ilustruje rys. 9.



Rys. 9. Siła kiełkujących roślin

STRESZCZENIE

Autor od 40 lat prowadzi badania ruchu roślin przy pomocy kamery filmowej, stosując zdjęcia poklatkowe. Badał dwa rodzaje ruchu roślin: autonomiczny i wijący.

Autonomiczny, to ten na który nie ma wpływu ani grawitacja, ani światło, ani inne czynniki zewnętrzne. Był on badany przez Darwina i uznany za ruch nieprawidłowy. Uchwycony przez kamerę filmową okazuje się, że jest to ruch prawidłowy i ciągły od najmłodszego okresu rozwoju do starości roślin. Filmowanie odbywało się kamerą wyposażoną w teleobiektyw. Zmiany parametrów rośliny w czasie wzrostu mieściły się w kadrze i nie psuły ostrości. Częstotliwość poklatkowego filmowania zależy od przeznaczenia filmu:

1. Odtwarzanie szybkości, ciągłości i prawidłowości ruchu — filmuje się co 2 minuty. Szybkość ruchu rośliny zwiększano więc prawie 3000 razy.

2. Wykreślenie obrazu ruchu rośliny przez znaczenie kropką tego samego punktu rośliny — wystarczy zdejmować ruch rośliny co 8 minut.

Poruszanie się rośliny można sfilmować przez zastosowanie punktu świecącego na liściu, który na taśmie narysuje krzywą ruchu w czasie filmowania.

Я. Цалябек

КИНОФИЛЬМ ДАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ УЗНАТЬ ДВИЖЕНИЕ РАСТЕНИЙ

Р е з ю м е

Автор на протяжении 40 лет проводит исследования по движению растений, при помощи кинокамеры снимая по отдельным кадрам. Исследовал два вида движения растений: автономический и вьющийся.

Автономическое движение это такое, на которое не оказывает влияния ни гравитация ни свет, ни другие внешние факторы. Оно было исследовано Дарвином и было определено как неправильное движение. Исследования при помощи кинокамеры показали, что это движение является правильным и продолжается от самого раннего до самого позднего периода развития растений. Киносъемку производили кинокамерой с телеобъективом, так чтобы изменения параметров растения во время роста помещались в кадре и не портили резкости. Возвращение к прежнему положению растения при 23°C продолжалось 2 часа. Необходимо было подобрать такие промежутки времени, чтобы при воспроизведении кинофильма с нормальной скоростью можно было наблюдать движение растений. Частота киносъемки по отдельным кадрам зависит от назначения кинофильма.

1. Воспроизведение скорости, продолжительности и правильности движения снимается каждые 2 минуты, будет 60 кадров, а проявление их будет продолжаться 2,5 секунды. Скорость движения растения увеличено почти в 3000 раз.

2. Вычерчение картины движения растения путем проявления и намечение точкой одного и того же пункта растения и в этом случае достаточно снимать движение растения каждые 8 минут.

Движение растения можно снять при помощи светящей точки на листе, который на плёнке начертит кривую движения во время киносъёмки. Благодаря боковому освещению, лист будет затенен, а будет выставлен световой пункт на листе.

J. Calábek

MOVIES AS A METHOD OF STUDYING PLANT MOVEMENTS

S u m m a r y

The author has been carrying out for 40 years the investigations on plant movements using film camera and applying frame picture technique. Two kinds of plant movement were investigated, viz.: autonomic and winding.

Autonomic movement is that on which neither gravity nor light and other external factors exert any influence. This movement was studied by Darwin and recognized by him as irregular one. When caught by film camera, it appeared as a regular one continuing from the earliest growth stage of the plant to its old age.

Filming was carried out by means of the camera equipped with telephoto-lens, in order that any changes of plant growth parameters could be situated within a frame and would not spoil the picture sharpness (large diaphragm is necessary). The return time of plant to its initial position at 23°C was 2 hours. Such time intervals ought to be selected so that at film reproduction at normal speed the plant movements could be observed. The frequency of frame filming depends on movie designation, in particular:

1. Reproduction of speed, continuity and regularity of movements is filmed every 2 minutes, providing 60 frames, whose projection will last 2.5 seconds. The plant movement speed could be thus increased by almost 3000 times.

2. Plotting the plant movement picture by projection and marking the same plant point with a dot at which filming of plant movements every 8 minutes would be sufficient.

The plant movements can be filmed also with application of a luminescent point on a leaf, plotting the movement curve in the course of filming. By lateral lighting the leaf will be shadowed and the bright point on the leaf will be then distinctly visible.