Dalsze badania reakcji fotoperiodycznej siewek modrzewia (*Larix europaea* D. C.)

*Further Researches on the Photoperiodic Reaction in Seedlings of the
European Larch (*Larix europaea* D. C.)*

W. ŻELAWSKI

WSTĘP

W poprzednio opublikowanej pracy (Żelawski 1956) podano pierwsze wyniki naszych badań dotyczących rytmiki rozwojowej rośliny drzewiastej w związku z reakcją fotoperiodyczną pędu wegetatywnego jedno- i dwuletnich siewek modrzewia (*Larix europaea* D. C.).

Najważniejszym rezultatem tej pracy było poznanie istotnych warunków przebiegu rocznego cyklu rozwojowego siewek, co umożliwiło dość znaczne skrócenie tego cyklu w warunkach laboratoryjnych, przez odpowiednią zmianę stosunków fotoperiodycznych. Hodując rośliny przy nieprzerwanym oświetleniu przez 3—4 tygodnie od skielkowania przyspieszano ich wzrost (pędzenie), a następnie przez skrócenie dnia uzyskiwano w krótkim czasie — po upływie około 3 tygodni — wykształcenie pączka szczytowego i zwykle objawy stanu spoczynku. Rośliny pozostające w okresie spoczynkowym zdołano pobudzić do rozwoju pączków działaniem nieprzerwanego światła i ciepła w ciągu 2—3 tygodni. Użytkano w ten sposób zamknięty cykl rozwojowy modrzewia (odpowiadający całorocznemu cyklowi w naturze) — w czasie około 2 miesięcy. W wyniku dalszych doświadczeń siewki modrzewia pięciokrotnie powtórzyły cały cykl wegetowania w niespełna 11 miesięcy.

Drugim istotnym wynikiem naszych badań było stwierdzenie faktu, że kształtowanie elementów drewna późnego w rocznym słoju przyrostowym jest również silnie związane z długością oświetlenia dziennego.

Jednakże istnieje jakaś zasadnicza różnica w sposobie reagowania na długość dnia merystemu pierwotnego i wtórnego. Pod nieprzerwanym oświetleniem, które nie sprzyja ani tworzeniu się pączka szczytowego, ani powstawaniu komórek drewna późnego, po pewnym czasie jednak

wykształca się (nie zawsze zresztą normalny) pączek szczytowy; natomiast na przekroju poprzecznym strzałki nie tworzą się wyraźne elementy drewna późnego, jakie powstają u siewek w naturze lub przy sztucznie skróconym — do dwóch miesięcy — cyklu wegetowania. Fakty te wskazują na jakościową różnicę obu tych reakcji, jakkolwiek zarówno zakładanie pączka szczytowego, jak i różnicowanie słoja przyrostowego drewna zależą od długości dnia.

W dotychczasowej pracy nie zajmowaliśmy się badaniem istoty zaobserwowanych zjawisk i jakkolwiek przejawy reagowania roślin drzewiastych na długość dnia nazywaliśmy reakcją fotoperiodyczną (w oparciu o literaturę), to jednak byliśmy raczej skłonni przypuszczać, że fotoperiodyzm roślin zielnych, z którym związane jest przejście rośliny w fazę generatywną i fotoperiodyzm „dojrzewania pędów wegetatywnych“ u drzew, od którego zależy wstąpienie w stan spoczynku, są to w istocie swej zjawiska odmiennego charakteru.

Jeżeli jednak pod pojęciem fotoperiodyzmu rozumieć zmianę typu różnicowania się merystemów wywołaną działaniem odpowiedniego następstwa światła i ciemności, to wówczas można postawić pytanie, czy pomiędzy fotoperiodyzmem drzew i roślin zielnych istnieje jakieś bliższe podobieństwo, czy też wstępowanie roślin drzewiastych w stan spoczynku pod działaniem krótkich dni — jest jedynie rezultatem skrócenia czasu trwania fotosyntezy w warunkach krótkiego dnia i związanej z tym zmiany procesów biochemicznych w roślinie. W tym drugim wypadku byłoby to więc zjawisko zupełnie odmiennego charakteru, mające z fotoperiodyzmem jedynie tyle wspólnego, że wywołuje je ten sam czynnik zewnętrzny — zmieniająca się długość dnia. Uzyskane poprzednio wyniki nie pozwalały rozstrzygnąć tej kwestii, a od jej rozwiązania zależy, przecież kierunek dalszych badań, zmierzających do wyjaśnienia mechanizmu całokształtu tych procesów, które za M o s z k o w e m (1932) określaliśmy ogólnym pojęciem „jesiennego dojrzewania pędu wegetatywnego“.

W niniejszej pracy postawiliśmy sobie za cel:

1) Sprawdzenie wyników poprzednich badań; przede wszystkim chodziło o to, czy siewki poddane oddziaływaniu fotoperiodycznemu w lepszych warunkach oświetlenia zareagują tak samo, jak przy stosowanej poprzednio intensywności oświetlenia — około 1000 luksów.

2) Rozstrzygnięcie kwestii, o ile zaobserwowane przez nas zjawiska są typowymi przejawami reakcji fotoperiodycznej, a o ile są one uwarunkowane różnicami czasokresu fotosyntezy (u roślin rosnących przy nieprzerwanym świetle i przy krótkim dniu). Chodziło przy tym o wyjaśnienie, czy stwierdzona poprzednio zależność działalności miazgi od zmiany długości dnia jest także jednym z przejawów reakcji fotoperiodycznej pędu wegetatywnego rośliny drzewiastej, czy też odmienną w warun-

kach krótkiego dnia działalność kambium uznać należy za rezultat ograniczenia fotosyntezy.

W niezbyt licznych, znanych z literatury pracach dotyczących fotoperiodyzmu u drzew nie zajmowano się interesującą nas tutaj kwestią. Dlatego pominiemy omówienie literatury przedmiotu, tym bardziej, że uczyniliśmy to w poprzedniej pracy. Wspomnieć należy jedynie o badaniach K r a m e r a (1936, 1937), i M a t z k e g o (1936), którzy obserwując wpływ światła latarni ulicznych na wzrost i drewnienie pędów roślin drzewiastych, stwierdzili pewne opóźnienie procesu zrzućania liści i wstępowania w stan spoczynku w oświełlonych, nawet słabym światłem, częściach korony.

METODA BADAŃ I OPIS WYKONANYCH DOŚWIADCZEŃ

Obiektem naszych doświadczeń był modrzew europejski z tych samych względów, o których była mowa w poprzedniej naszej pracy. Nasiona użyte do badań pochodziły z terenów lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie. Odznaczały się one wysoką — jak na ten gatunek — zdolnością kiełkowania, sięgającą około 50%.

Badania wykonano w szklarni, w której zainstalowano system lamp żarowych o mocy 300 watt każda.

Zdecydowano się na oświełlenie żarowe ze względu na możliwość osiągnięcia wyższych intensywności światła niż przy użyciu lamp jarzeniowych oraz ze względu na korzystniejszy dla fotosyntezy skład spektralny światła żarówek¹.

Lampy rozmieszczono szeregowo w odległości 1 metra od siebie i na wysokości 50 cm ponad roślinami. Silniejszych żarówek nie można było zastosować z powodu obawy przed nadmiernym nagrzewaniem się roślin, a dużej ilości słabszych żarówek nie użyto, gdyż konstrukcja takiego urządzenia zasłoniłaby zbytńio dostęp światła dziennego, na którym nam szczególnie zależało. Klosze do lamp miały taki kształt, aby jak najmniej zasłaniały naturalne światło dzienne, a równocześnie, aby snop światła sztucznego kierowany w dół rozpraszal się możliwie równomierńie na powierzchni stołu.

Dzięki tej instalacji elektrycznej osiągnano w szklarni, bezpośrednio pod lampą (na wysokości roślin), następujące intensywności światła (grudzień—styczeń):

¹ Podstawę projektu instalacji stanowiły prace Moszkowa (1953), Klesznina (1954), Lemana (1955) i Gonczarowa (1955).

w nocy (samo światło żarowe)	1200—1300 luksów
w południe w dzień pochmurny (światło naturalne + żarowe)	3000—4000 „
w południe w dzień pogodny (światło naturalne + żarowe)	6000—7000 „

W lutym i w pierwszych dniach marca intensywność światła wynosiła:

w południe w dzień pochmurny	3000— 5000 luksów
w południe w dzień słoneczny (w cieniu)	8000—10000 „
w południe w dzień słoneczny (w słońcu) ²	ponad 15000 „

Ilość dni pochmurnych i pogodnych zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Ilość dni pogodnych, pochmurnych i o pogodzie zmiennej
w czasie przeprowadzania doświadczeń

Okresy odpowiadające poszczególnym etapom przeprowadzonych doświadczeń	Ilość dni pogodnych	Ilość dni pochmurnych	Ilość dni o pogodzie zmiennej
1.12 — 30.12	7	18	5
31.12 — 21.1 (I doświadczenie)	9	8	5
22.1 — 10.2	11	6	3
11.2 — 4.3 (II doświadczenie)	10	8	4

Takie warunki oświetlenia — jak wynika z ostatnio opublikowanych danych L e m a n a (1955) — wystarczają do wyhodowania w okresie zimy normalnych siewek roślin drzewiastych, które ogólnie biorąc są w młodości bardziej cieniowytężałe niż warzywa i inne rośliny uprawne. Dla większości drzew wystarcza w tym okresie światło o natężeniu 1500—3000 luksów, a modrzew i inne gatunki światłolubne zadowolają się już 5—6 tysiącami luksów, przy czym ważniejsza od intensywności światła jest długość dnia. Na podstawie wyników własnych badań oraz danych z literatury L e m a n dochodzi do wniosku, że do hodowli

² Różnice intensywności światła na wprost lampy i na skraju stołu, na którym stały doniczki, sięgały w nocy 400—500 luksów, a w dzień nie przekraczały 200 luksów. Starano się ten wpływ wyeliminować przez stałe przestawianie wazonów.

szklarniowej siewek gatunków drzewiastych w zimie wystarcza dodatkowe światło żarowe o intensywności 1000 do 1500 luksów.

Zastosowanie takiego dodatkowego sztucznego oświetlenia w szklarni pozwoliło nam w okresie miesięcy zimowych wyhodować rośliny, które tylko nieznacznie różniły się od rosnących w naturze i miały taki wygląd, jaki osiągają w lesie, gdy rosną w ocienieniu (pod drzewostanem). W ciągu lutego zewnętrzne objawy etiolacji wskutek zwiększenia się nasłonecznienia ustąpiły zupełnie.

Natężenie światła mierzono fotometrami produkcji krajowej (Radiofon-Warszawa) oraz dla kontroli — dodatkowo luksomierzem, wypożyczonym z Głównego Urzędu Miar.

W doświadczeniach naszych, poza nieprzerwanym oświetleniem, na które składało się naturalne światło dzienne i światło żarowe (w dzień) oraz samo światło żarowe (w nocy), stosowaliśmy krótki, dwunastogodzinny dzień bądź przez przysłanianie roślin skrzynkami z listewek obitymi czarnym papierem, bądź wprost przez gaszenie światła i zasunięcie kotary oddzielającej rośliny innych kombinacji, oświetlanych bez przerwy.

Fotoperiod dwunastogodzinny w doświadczeniach z krótkim dniem stosowano ze względu na wyniki poprzednich badań, które ustaliły, że pęd wegetatywny modrzewia reaguje w zasadzie jednakowo na skrócony dzień w granicach długości fotoperiodu od 9 do 15 godzin.

Temperatura powietrza w szklarni wynosiła przeciętnie 22°C, przy czym średnia dobową temperaturę maksymalną sięgała w okresie trwania badań 26°C, a minimalna 17°C. Na skraju stołu było zwykle o około 2°C mniej niż w bezpośrednim zasięgu działania żarówki. Pomiary były robione codziennie przy pomocy termometrów minimalnych i maksymalnych. W pewnych okresach używano termografu w celu zorientowania się w przebiegu dobowym temperatury w poszczególnych wariantach doświadczenia.

Wilgotność powietrza była stosunkowo wysoka — od 65 do 85% (przeciętnie od 70—80%). Mierzono ją przy pomocy hygrografu włosowego.

Siewki hodowano w glinianych, nie polewanych wazonach, o pojemności około 600 ml, wysokości 10 cm i górnej średnicy wewnętrznej 11 cm. Aby zapewnić roślinom obecność właściwych gatunków symbiotycznych, użyto do doświadczeń gleby leśnej, sprowadzonej z okolic Zalesia Górnego pod Warszawą, spod kilkudziesięcioletnich modrzewi. Wazony napełniono mieszanką ziemi próchnicznej (2/3) i gliniasto-piaszczystej (1/3), pobranej z głębszych warstw tego samego profilu glebowego. W ten sposób przygotowana gleba miała maksymalną pojemność wodną 28%. W każdym wazonie znajdowało się 700 g gleby (wazony nabijano przy wilgotności 3%).

Wilgotność gleby utrzymywano przeciętnie na poziomie 50% pojemności wodnej. Podlewano wazon-y do 60% i nie dopuszczano do obniżenia się wilgotności poniżej 40%. Ze względu na niebezpieczeństwo fu-zariozy w połowie czasu trwania doświadczenia obniżono nieco poziom wilgotności gleby we wszystkich wazonach, podlewając je do stałej wagi, obliczonej dla 50% pojemności wodnej.

Nasiona, moczone przez 3½ godziny, przed wyłożeniem na kielkownik traktowano przez 10 minut 0,5-procentowym roztworem formaliny. Wysiewano jedynie nasiona nadkielkowane, po 10 sztuk na wazon. Gdy siewki zakorzeniły się i rozwinęły liścienie, przerzedzono je do 5 sztuk na wazon.

W przeciwieństwie do poprzednich doświadczeń tym razem szkody od fuzarium były nieznaczne.

Zasadnicze doświadczenie, które z jednej strony miało na celu sprawdzenie dawniejszych wyników naszych badań, a z drugiej — danie odpowiedzi na postawione we wstępie pytanie — „fotosynteza czy fotoriodyzm“ — miało następujący przebieg: Wszystkie rośliny wysiane w ostatnich dniach listopada „podpędzono“ pod nieprzerwanym światłem przez okres 30 dni. Od 30 grudnia 1955 zróżnicowano w poszczególnych kombinacjach warunki oświetlenia według następującego schematu:

I. Nieprzerwane oświetlenie przez cały czas trwania doświadczenia (n. o.)

II. Dwunastogodzinny dzień (światło naturalne + elektryczne), noc przez gaszenie światła (k. d.)

III. Dwunastogodzinny dzień (światło naturalne + elektryczne), noc przez zasłanianie skrzynką z czarnego papieru (kd-d)

IV. Dwunastogodzinny dzień (światło naturalne + elektryczne), w nocy słabe światło (10 luksów) pod skrzynką z białego papieru (kd-d + 10 l)

V. Dwunastogodzinny dzień (światło naturalne + elektryczne), w nocy słabe światło (70 luksów) pod skrzynką z białego papieru (kd-d + 70 l)

VI. Dwunastogodzinny dzień (wyłącznie światło elektryczne) noc w ciągu dnia przez zasłanianie skrzynką z czarnego papieru (kd-n)

VII. Dwunastogodzinny dzień (wyłącznie światło elektryczne), noc w ciągu dnia, oświetlona słabym światłem (70 luksów) pod skrzynką z białego papieru (kd-n + 10 l)

VIII. Dwunastogodzinny dzień (wyłącznie światło elektryczne), noc w ciągu dnia, oświetlona słabym światłem (70 luksów) pod skrzynką z białego papieru (kd-n+70 l).

Warianty, w których rośliny otrzymywały krótki dzień z samego światła elektrycznego (zasłanianie na dzień i odsłanianie w nocy), założono w celu zorientowania się, jak dalece niska intensywność światła (za-

stosowana w poprzednich naszych badaniach) mogła wpłynąć na wyniki doświadczeń.

W tych wariantach, w których przedłużano roślinom dzień do 24 godzin słabym światłem — 10 lub 70 luksów, używano takich samych skrzynek jak do skracania dnia, lecz obitych białym papierem i kalką rysunkową. Potrzebne natężenie światła osiągnęto, dobierając odpowiednią ilość warstw papieru.

Intensywność światła dodatkowego (10 i 70 luksów) dobrano w ten sposób, aby jak najbardziej ograniczyć fotosyntezę. Wyszliśmy przy tym z założenia, że jeżeli kształtowanie pączka szczytowego i wstąpienie w stan spoczynku zależy tylko od długości czasu roboczego liści i związanej z tym ilości asymilatów, to ograniczenie fotosyntezy przez 12 godzin na dobę znacznie poniżej punktu kompensacyjnego³ powinno wywołać reakcję roślin, siewki powinny się tak zachować, jak przy krótkim dniu. O ile zaś jest to typowy przejaw fotoperiodyzmu, wówczas przeciwnie — nawet tak słabe światło powinno przeszkodzić reakcji, siewki powinny rosnąć bez przerwy i nie wstępować w stan spoczynku, tak jak pod nieprzerwanym światłem. Kryterium, które miało zadecydować o fotoperiodycznym charakterze badanych zjawisk, byłyby zatem — podobnie jak u roślin zielnych krótkiego dnia — brak reakcji w warunkach dnia przedłużonego słabym światłem.

Dwa warianty intensywności światła nocnego (10 i 70 luksów) zastosowaliśmy dlatego, że nie wiadomo było dotąd, jak słabe światło dodatkowe może jeszcze wywołać tego rodzaju efekt u siewek modrzewia.

Doświadczenie to przeprowadzono na roślinach czterotygodniowych; charakterystykę wyjściowego materiału roślinnego podano w tabeli 4 i 5.

W każdej kombinacji było po 12 wazonów, z czego po 4 wazonu sprzątnięto po 12 dniach oddziaływania fotoperiodycznego, po 7 wazonów pod koniec oddziaływania fotoperiodycznego, po 22 dniach, a po jednym pozostawiono do czasu rozwinięcia pączków pod nieprzerwanym oświetleniem i wzięto potem do badań anatomicznych.

Jeżeli chodzi o przebieg temperatury i wilgotności powietrza w poszczególnych kombinacjach, to różnice były nieznaczne. Zasłanianie roślin skrzynkami obitymi papierem podnosiło nieco wilgotność powietrza, tak że wynosiła ona przeciętnie 80—90% (w porównaniu ze średnią w szklarni 70—80%). Natomiast temperatura utrzymywała się na jednakowym poziomie we wszystkich kombinacjach z wyjątkiem kombinacji II (kd), gdzie w nocy było zwykle o około 2—3°C mniej niż pod skrzynką.

³ Dokładnych danych odnośnie położenia punktu kompensacyjnego u modrzewia w literaturze nie znaleźliśmy. Szennikow (1950) podaje około 200 luksów, nie powołując się przy tym na źródła; poza tym nie wiadomo, do jakiej temperatury odnoszą się te dane.

Z tych względów przy analizie wyników trzeba wziąć pod uwagę, że dla doświadczeń kombinacji „dziennych“ właściwą kontrolę stanowi wariant III (kd — d), a dla wariantów „nocnych“ — kombinacja V (kd — n).

W drugiej połowie lutego 1956 powtórzono pierwsze doświadczenie na starszych wiekiem roślinach. Wprowadzono już tylko trzy kombinacje, a mianowicie nieprzerwane oświetlenie, krótki dzień (pod skrzynką czarną) i dzień przedłużony do 24 godzin światłem 10 luksów (pod skrzynką białą), tzn. odpowiedniki kombinacji I, III i IV z pierwszego doświadczenia. Oddziaływaniu fotoperiodycznemu poddano siewki starsze wiekiem, bardziej wyrosnięte, wyhodowane poprzednio pod nieprzerwanym oświetleniem przez okres 11 tygodni. Skracanie dnia rozpoczęto w dniu 11.2. Chodziło nam o stwierdzenie:

1. Czy zdolność do fotoperiodycznej reakcji utrzymuje się u siewek modrzewia, hodowanych pod nieprzerwanym oświetleniem również w późniejszym okresie ich wzrostu.

2. Czy okres oddziaływania fotoperiodycznego potrzebny do wywołania reakcji oraz przebieg zjawiska jest u starszych wiekiem siewek taki sam, jak u kilkutygodniowych.

3. Czy powtórzą się wyniki pierwszego doświadczenia, jeśli chodzi o przebieg przyrostu masy organicznej w trzech podstawowych wariantach (patrz rozdział następny).

Temperatura i wilgotność powietrza w tym drugim doświadczeniu utrzymywały się prawie na tym samym poziomie, co poprzednio. Oświetlenie wskutek zwiększenia się intensywności światła naturalnego oraz długości dnia było tym razem znacznie korzystniejsze. Aby zmniejszyć do minimum różnice oświetlenia w dni pochmurne i pogodne, zainstalowano w czasie trwania tego drugiego doświadczenia dodatkowe lampy, które zapalano w wypadku niskiej intensywności światła naturalnego.

W każdej kombinacji było tym razem po 6 powtórzeń i jak poprzednio po 5 roślin w wazonie. Charakterystykę roślin, z którymi przeprowadzono doświadczenie, podano w tabeli 6 i 7.

Po 22 dniach oddziaływania fotoperiodycznego sprzątnięto wszystkie wazony, pozostawiając jedynie pod nieprzerwanym oświetleniem rośliny przeznaczone do badań anatomicznych.

Obok tego podstawowego doświadczenia założono jeszcze inne, które miało dostarczyć dodatkowych dowodów na potwierdzenie naszej hipotezy roboczej. Polegało ono na traktowaniu roślin krótkim fotoperiodem, przy czym w piątej godzinie nocy następowała krótka, pięciominutowa przerwa (polegająca na działaniu silnego światła, zwykle około 4—6 tysięcy luksów). Ze względów technicznych były to rośliny, które otrzymały 12 godzin światła sztucznego w nocy, a zasłanianie były na dzień skrzynką obitą czarnym papierem. Moment krótkiego działania światła

dobrano tak, aby wypadał w 17 godzinie (licząc od 1 godziny dnia), bowiem poprzednie nasze badania wykazały, że już 17-godzinny dzień u siewek modrzewia działa jak nieprzerwane oświetlenie. Również i w tym wypadku zastosowano więc kryterium takie, jak dla reakcji fotoperiodycznej wielu roślin zielnych — krótkiego dnia. Brak reakcji byłby dowodem fotoperiodycznego charakteru zjawiska, chociaż założenie pączka w tych warunkach nie byłoby jeszcze zaprzeczeniem tej tezy, ponieważ 5 minut światła mogłoby się okazać dla modrzewia zbyt krótkotrwałym działaniem, aby przeszkodzić reakcjom dokonującym się w ciemności.

Poza omówionymi wyżej doświadczeniami badano jeszcze zachowanie się pod nieprzerwanym oświetleniem 25 siewek, którym starano się ograniczyć fotosyntezę przez 12 godzin w ciągu doby nie przez obniżenie intensywności światła w nocy, lecz przez zmniejszenie zawartości CO_2 w powietrzu. Rośliny umieszczano na ten czas pod kloszem szklanym, w którym znajdowały się naczynia ze stężonym ługiem. W tym wypadku założenie pączka szczytowego (mimo światła) byłoby bezspornym dowodem uzależnienia tego procesu od fotosyntezy, choć z drugiej strony brak reakcji nie dowodziłby jeszcze fotoperiodycznego charakteru zjawiska.

Badania anatomiczne drewna przeprowadzono na materiale roślinnym pochodzącym ze wszystkich kombinacji wykonanych doświadczeń (dodatkowe wazony). Aby uzyskać wyraźną granicę słoja przyrostowego, wszystkie rośliny po okresie oddziaływania fotoperiodycznego odstawiono na przeciąg kilku tygodni pod nieprzerwane oświetlenie. W tym czasie wykształciły się już pierwsze warstwy komórek drewna wczesnego następnego cyklu i można było dokładnie wyśledzić, czy pod wpływem zmiany długości dnia wystąpiło zróżnicowanie elementów drewna wczesnego i późnego.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Przeprowadzone doświadczenia potwierdziły wyniki naszych poprzednich badań. Rośliny potraktowane krótkim, dwunastogodzinnym dniem w niedługim czasie wykształciły pączek wierzchołkowy, przy czym zjawisko wystąpiło niemal u wszystkich roślin jednocześnie. W kombinacji II (k. d.) i III (k. d—d) pierwsze pączki zaobserwowano w 15 dniu oddziaływania fotoperiodycznego a w 19 dniu u wszystkich roślin wykształciły się one już zupełnie wyraźnie. Jedynie u roślin traktowanych krótkim dniem w nocy (k. d—n) reakcja przeciągnęła się o 3 dni (tabela 2).

Pod nieprzerwanym światłem pączek szczytowy nie wykształcił się i rośliny rosły stale wytwarzając nowe liście.

Okres spoczynkowy siewek, które pod wpływem oddziaływania fotoperiodycznego wstąpiły w ten stan w siódmym tygodniu życia, trwał

Tabela 2

Ilość pączków szczytowych zaobserwowana w ostatnich dniach oddziaływania fotoperiodycznego w poszczególnych kombinacjach z krótkim dniem w I doświadczeniu

Dzień oddziaływania fotoperiodycznego	Dzień światło nat. + elektr. noc przez gaszenie światła	Dzień światło nat. + elektr. noc przez zasłanianie czarną skrzynką	Dzień w nocy (samo światło elektr. — noc przez zasłanianie czarn. skrz.
	(k.d.)	(k. d-d)	(k. d-n)
15	6	1	4
16	12	1	4
17	19	8	5
18	31	29	7
19	35	35	12
20			16
21			29
22			35

k.d.

n.o.

n.o.

k.d.

Ryc. 1. I doświadczenie — siewki modrzewia po 12 dniach oddziaływania fotoperiodycznego (po lewej) w porównaniu z rosnącymi pod nieprzerwanym oświetleniem

w warunkach nieprzerwanego światła przez 2—4 tygodnie⁴, po czym nastąpił drugi cykl wegetacyjny. Rośliny te poddane powtórnie oddziaływaniu fotoperiodycznemu w okresie od 12.3 do 3.4 po raz drugi wstąpiły w stan spoczynku. Potwierdza to również nasze wyniki wskazujące na możliwość sztucznego skrócenia cyklu życiowego modrzewia i wielokrotnego jego powtórzenia w ciągu roku.

⁴ Na uwagę zasługują dość duże różnice w terminach rozwijania pączków przez poszczególne rośliny — zjawisko, którego przyczyn na razie nie zdołaliśmy ustalić.

Najbardziej interesujące wyniki osiągnięto w kombinacji IV (kd—d + 10 l), V (kd—d + 70 l), VII (kd—n + 10 l) i VIII (kd—n + 70 l), w których przedłużano roślinom dwunastogodzinny dzień słabym światłem. Okazało się, że takie przedłużenie dnia działa zupełnie podobnie jak nieprzerwane oświetlenie, tzn. uniemożliwia roślinie założenie pączka szczytowego. Zarówno światło nieco silniejsze — około 70 luksów, jak i bardzo słabe — 10 luksów, użyte jako przedłużenie dwunastogodzinnego dnia daje jakościowo ten sam efekt.

Wynik ten potwierdził się również w następnym doświadczeniu, przeprowadzonym na roślinach starszych wiekiem i w korzystniejszych warunkach oświetlenia (tabela 3).

Tabela 3

Ilość pączków szczytowych zaobserwowana
w ostatnich dniach oddziaływania fotoperio-
dycznego w kombinacji z krótkim dniem
w II doświadczeniu

Dzień oddziaływania fotoperiodycznego	Dzień światło nat. + elektr. noc przez zasłanianie czarn. skrz. (kd-d)
16	3
17	8
18	27
19	30

Po okresie oddziaływania fotoperiodycznego siewki rosnące w wazonach dodatkowych umieszczono na powrót pod nieprzerwanym oświetleniem. Zachowały się one następująco:

- I dośw. komb. II (kd), III (kd—d), VI (kd—n) — rozwinęły pączek po upływie 2—3 tygodni,
komb. IV (kd d + 10 l), V (kd—d + 70 l), VII (kd—n + 10 l) i VIII (kd—n + 70 l) — kontynuowały wzrost bez przerwy.
- II dośw. komb. II (kd—d) — rozwinęły pączek po upływie 2 tygodni,
komb. III (kd—d + 10 l) — kontynuowały wzrost bez przerwy.

W doświadczeniu, w którym rośliny otrzymywały pięć minut światła w piątej godzinie nocy, prawie wszystkie siewki zachowały się tak, jak gdyby znajdowały się przez cały czas pod nieprzerwanym oświetleniem. Tylko dwie siewki w jednym wazonie (na ogólną ilość 35 sztuk) wykształciły po trzech tygodniach pączek szczytowy, który zresztą rozwinął się stosunkowo szybko już po 10 dniach. Pozostałe, mimo iż takie oddziaływa-

n.o. *k.d.* *kd-d* *kd-d 10l*

Ryc. 2. I doświadczenie — siewki modrzewia pod koniec okresu oddziaływania fotoperiodycznego (po 22 dniach);

kd-d+70l

kd-n

kd-n+10l

kd-n+70l

poszczególne kombinacje w kolejności takiej jak podano ich opis w tekście i w tabelach

nie fotoperiodyczne przedłużono o dalszych 6 tygodni (razem 9 tygodni), nie wykazały reakcji. Bardzo szybkie rozwinięcie się dwóch wykształconych pączków (nie pod nieprzerwanym światłem, lecz dalej w tych samych warunkach) wskazuje, że mamy tu do czynienia z faktem nietypowej reakcji — podobnie jak w doświadczeniach z poprzedniej pracy, w których traktowano rośliny niedostateczną ilością krótkich fotoperiodów. Można zatem uznać zachowanie się tych dwóch roślin za przypadek, który może mieć swe źródło w przyczynach ubocznych; np. nie jest wykluczone, że pięciominutowa przerwa w nocy stanowi dolną granicę, poniżej której modrzew już nie reaguje na takie „zdłużenie dnia“*.

Rośliny, które znajdowały się przez cały czas pod nieprzerwanym światłem i na 12 godzin w ciągu doby umieszczane były pod szklanym kloszem, gdzie przy pomocy stężonego ługu starano się ograniczyć ilość CO_2 w powietrzu, również nie wykształciły pączka szczytowego.

Nie można zaprzeczyć, że zarówno w doświadczeniach z przedłużaniem dnia słabym światłem (zwłaszcza przy 10 luksach), jak i w kombinacji, w której noc przerywano na 5 minut silnym światłem, fotosynteza w ciągu 12 godzin na dobę praktycznie równała się zeru. Dlatego też reakcji pędu wegetatywnego rośliny drzewiastej na zmianę długości dnia nie można uznać za rezultat ograniczenia fotosyntezy w miarę skracania dnia. Przeciwnie, porównanie przebiegu zjawiska zakładania się pączka szczytowego przy dwóch różnych intensywnościach oświetlenia podczas fotoperiodu (kombinacja $kd-d$ i $kd-n$) wskazuje, iż w lepszych warunkach oświetlenia (a więc niewątpliwie przy intensywniejszej fotosyntezie w ciągu dnia) reakcja jest nawet nieco wcześniejsza i bardziej równomierna (tabela 2).

Biorąc pod uwagę całość kształt przeprowadzonych doświadczeń i ich zbieżne wyniki sądzymy, że można uznać za udowodniony typowo fotoperiodyczny charakter tych zjawisk, które obserwujemy na pędzie wegetatywnym rośliny drzewiastej pod działaniem krótkich dni.

O ile reakcję fotoperiodyczną rośliny ujmować zgodnie z tym, co powiedzieliśmy we wstępie, to wówczas uzyskane wyniki pozwolą doszukiwać się daleko idącej analogii pomiędzy reakcją fotoperiodyczną pędu wegetatywnego rośliny drzewiastej a fotoperiodyzmem roślin zielnych, u których — jak wykazały liczne badania — słabe światło w nocy lub krótka przerwa w okresie ciemności uniemożliwia niekiedy lub opóźnia

* Jest to jednak zagadnienie wymagające specjalnych badań. Jego rozwiązanie wykraczałoby poza cel, jaki sobie postawiliśmy. Naszym zadaniem było jedynie wykazać, czy w ogóle przerywanie nocy przeszkodzi reakcji fotoperiodycznej pędu; takie krótkotrwałe przerywanie nocy nie może przecież wpłynąć istotnie na ogólną wielkość asymilacji w ciągu doby.

kwitnienie roślin krótkiego dnia, a sprzyja wstąpieniu w fazę generatywną — roślin długiego dnia.

Porównanie wyników I i II doświadczenia pozwala stwierdzić, że reakcja fotoperiodyczna siewek modrzewia, wyrażająca się założeniem pączka szczytowego, przebiega zupełnie podobnie przy oświetleniu (w czasie foto-

Ryc. 3. Siewki rosnące przy krótkim dniu, którym noc przerywano 5 min. światła (zdjęcie po 22 dniach oddziaływania fotoperiodycznego)

periodu) wyłącznie sztucznym, jak również przy świetle naturalnym o mniejszej lub większej intensywności, uzupełnionym (w zimie) światłem żarowym. Podobnie nie obserwuje się żadnych różnic w przebiegu zjawiska u siewek w wieku 4 lub 11 tygodni, które różniły się znacznie pod względem masy i wielkości aparatu asymilacyjnego przed rozpoczęciem oddziaływania fotoperiodycznego. Fakty powyższe potwierdzają wynik poprzedniej pracy i bynajmniej nie przeczą результатам doświadczeń, w których badano wpływ bardzo niskiej intensywności światła w czasie krótkiego fotoperiodu. Takie głodujące rośliny nie założyły pączka, co świadczy, iż poniżej pewnego poziomu działalności fotosyntetycznej krótki dzień nie wywołuje efektu fotoperiodycznego. Jednakże przy dostatecznym oświetleniu (już powyżej 700 luksów, jak wykazały poprzednie nasze badania) niezależnie od stopnia wypłonięcia siewek reakcja przebiega normalnie.

Po stwierdzeniu omówionych wyżej faktów dotyczących charakteru reakcji fotoperiodycznej siewek modrzewia przystąpiliśmy do bliższego zbadania zależności pomiędzy procesami wzrostu i różnicowania się pączka szczytowego. Już pobieżne obserwacje przebiegu wzrostu na wysokość wskazywały na wyraźne zahamowanie tego procesu u roślin traktowanych krótkim dniem. Jednakże z dotychczasowych obserwacji nie można było ustalić, czy zahamowanie wzrostu spowodowane jest tylko ograniczeniem fotosyntezy w warunkach krótkiego dnia, czy też istnieje jakaś określona

współzależność pomiędzy tym procesem a procesami różnicowania się komórek stożka wzrostu. W tym celu po zakończeniu doświadczeń materiał roślinny ze wszystkich kombinacji doprowadzono do stanu powietrznie suchego i poważono. Wyniki — po opracowaniu statystycznym — zestawiono w tabelach 4 i 6.

Ryc. 4. Po prawej — te same siewki co na ryc. 3, po 9 tygodniach oddziaływania fotoperiodycznego (z 5 min. przerwą w nocy), po lewej — odpowiadające im wiekiem siewki z nieprzerwanego oświetlenia (u jednych i drugich pączki się nie wykształciły)

Doświadczenie I dało następujący wynik: obok nieistotnych różnic pomiędzy kombinacjami II (k. d), III (kd—d), VI (kd. n), VII (kd—n + 10 l) i VIII (kd—n + 70 l) wystąpiła zrozumiała różnica pomiędzy roślinami rosnącymi pod nieprzerwanym światłem (n. o.) i przy krótkim dniu (kd) (znacznie przekraczająca przedział ufności) oraz dość istotna różnica kombinacji IV (kd. d + 10 l) i V (kd-d + 70 l) w porównaniu z II (kd) i III (kdd). Świadczy to o wyraźnym zahamowaniu wzrostu siewek znajdujących się na krótkim dniu i o stosunkowo intensywnym przyroście masy tych roślin, które otrzymywały w nocy tylko 10 lub 70 luksów światła. Nie osiągnęły one co prawda w tym doświadczeniu takiej masy, jak siewki kontrolne rosnące cały czas przy nieprzerwanym świetle, lecz wykazały przyrost znacznie większy niż rośliny przy krótkim dniu. W analogicznych wariantach „nocnych“ (które otrzymywały samo światło elektryczne) podobne różnice nie wystąpiły.

Tabela 4

Świeża masa części nadziemnej oraz powietrznie sucha masa części nadziemnej i korzeni roślin z I doświadczenia (średnio w jednym wazonie w mg)

Numer kombinacji	Charakterystyka kombinacji	Świeża ma- sa części nadziemnej	Sucha masa			Świeża ma- sa części nadziemnej	Sucha masa			Reakcja fotoperio- dyczna	
			części nadziem.	korzenie	Razem		części nadziem.	korzenie	Razem		
0	Materiał wyjśc. (przed rozpoczę- ciem oddziaływa- nia fotoperiod.)	160	35	11	46	Po 12 dniach oddziały- wania fotoperiodycznego (średn. z 4 powtórzeń)					Po 22 dniach oddziaływania fotoperiodycznego (średnia z 7 powtórzeń)
I	Nieprzerwane oświetlenie	390	88	18	106	700	157	41	198	—	
II	Krótki (12 godz.) dzień światło nat. + elektr. noc przez gaszenie światła	330	65	18	83	410	92	29	121	+	
III	Kombinacje „dziennie” (światło naturalne + elektr.)	Krótki dzień — noc przez zasłanianie skrzynką z czarn. pap.	310	55	14	69	390	82	21	103	+
IV		Krótki dzień — noc słabe świat. (10 lx) pod skrz. z biał. pap.	380	76	15	91	600	118	27	145	—
V		Krótki dzień — noc słabe świat. (70 lx) pod skrz. z biał. pap.	330	62	13	75	610	116	25	141	—
VI	Kombinacje „nocne” (wyłącznie światło elektryczne)	Krótki dzień — noc przez zasłan. skrz. z czarnego papieru	310	58	11	69	420	81	17	98	+
VII		Krótki dzień — noc słabe świat. (10 lx) skrz. z biał. papieru	330	62	14	76	440	80	15	95	—
VIII		Krótki dzień — noc słabe św. (70 lx) skrz. z biał. papieru	320	62	13	75	420	78	19	97	—
Przedział ufności (p = 5%)		80	12	6	15	80	18	8	23		

Tabela 5

Ilość szpilek i wysokość części nadziemnej u roślin z I doświadczenia

Nr komb.	Charakterystyka kombinacji		Ilość szpilek (wraz z liścieniami)		Wysokość części nadziemnej w mm	Reakcja fotoperiodyczna
0	Materiał wyjściowy (przed rozpoczęciem oddziaływania fotoperiodycznego)		15		30	
			Po 12 dniach oddziaływania fotoper.	Po 22 dniach oddziaływania fotoper.	Po 22 dniach oddziaływania fotoperiodycznego	
I	Nieprzerwane oświetlenie		28	34	41	—
II	Krótki dzień (światło natur. + elektr.) noc przez gaszenie światła		24	23	32	+
III	Kombinacje dzienne (światło nat. + elektr.)	Krótki dzień czarna skrzynka	22	24	34	+
IV		Krótki dzień biała skrzynka — 10 lx	30	36	52	—
V		Krótki dzień biała skrzynka — 70 lx	29	35	46	—
VI	Kombinacje nocne (światło elektr.)	Krótki dzień czarna skrzynka	24	26	39	+
VII		Krótki dzień biała skrzynka — 10 lx	25	29	44	—
VIII		Krótki dzień biała skrzynka 70 lx	24	27	38	—
Przedział ufności ($p = 5\%$)			2	2	5	

Z danych tabeli 6 widać, iż w II doświadczeniu dynamika wzrostu siewek była podobna jak w kombinacjach „dziennych“ I doświadczenia. Powtórzyło się znowu to samo zjawisko: siewki, które znajdowały się na dwunastogodzinnym dniu przedłużonym do 24 godzin słabym światłem (10 luksów), osiągnęły większą masę niż na krótkim dniu. Zgodne wyniki obu doświadczeń pozwalają przypuszczać, że zjawisko to nie jest przypadkowe.

Analiza danych tabeli 5 i 7, dotyczących dynamiki tworzenia się nowych szpilek w poszczególnych wariantach I i II doświadczenia również wykazuje duże i bardzo istotne różnice pod tym względem u siewek rosnących przy krótkim dniu i przy przedłużonym dniu.

Ryc. 5. II doświadczenie — siewki modrzewia po 22 dniach oddziaływania fotoperiodycznego

Widać więc, że proces powstawania nowych liści oraz ich wzrostu w tych warunkach (noc oświetlona słabym światłem) nie ulega zahamowaniu (inaczej niż przy krótkim dniu) i dlatego w tym samym czasie tworzy się większy aparat asymilacyjny. Z tych względów rośliny obu wariantów różnią się między sobą jakościowo i są zupełnie nieporównywalne pod względem produkcji masy organicznej.

Równocześnie wyjaśnia się kwestia, iż zahamowanie wzrostu w warunkach krótkiego dnia nie jest wynikiem ograniczenia fotosyntezy, gdyż w takim wypadku obserwowaloby się to samo zjawisko również przy krótkim fotoperiodzie przedłużonym słabym światłem w nocy. Stwierdzić natomiast trzeba istnienie wyraźnej zależności pomiędzy procesami wzrostu i różnicowania się pączka szczytowego: gdy stożek wzrostu nie

Tabela 6

Świeża masa części nadziemnej oraz powietrznie sucha masa części nadziemnej i korzeni roślin z II doświadczenia (średnio w jednym wazonie w mg)

Nr komb.	Charakterystyka kombinacji	Świeża masa części nadziemnej	Sucha masa		Reakcja fotoperiodyczna
			części nadziemnej	korzenie	
0	Materiał wyjściowy (przed rozpoczęciem oddziaływania fotoperiodycznego)	1260	386	152	+
Po 22 dniach oddziaływania fotoperiod.					
I	Nieprzerwane oświetlenie	2530	652	266	—
II	Krótki dzień, noc pod skrzynką z czarnego papieru	2040	576	287	+
III	Krótki dzień noc światło 10 lx pod skrzynką z białego papieru	2760	666	267	—
	Przedział ufności ($p=5\%$)	320	55	40	

różnicuje się na pączek, wówczas pęd rośnie dalej i tworzą się nowe szpilki (o ile oświetlenie w ciągu fotoperiodu jest dostateczne); zapoczątkowanie procesu kształtowania pączka wiąże się natomiast z zahamowaniem wzrostu. Mechanizm działania fotoperiodycznego, które powoduje zmianę typu różnicowania się komórek merystemu wierzchołkowego (zahamowanie wzrostu i przyspieszenie rozwoju), pozostaje nadal kwestią otwartą.

Brak istotnych różnic suchej masy i ilości szpilek u siewek z poszczególnych kombinacji „nocnych“ (które w okresie oddziaływania fotoperiodycznego otrzymywały samo światło żarowe) daje się wytłumaczyć niską intensywnością światła w czasie krótkiego fotoperiodu. Najprawdopodobniej ta niska intensywność oświetlenia była czynnikiem ograniczającym wzrost roślin znajdujących się na przedłużonym dniu.

Zwrócić należy jeszcze uwagę na różnice w suchej masie i ilości szpilek u roślin pod nieprzerwanym oświetleniem i przy dniu przedłużonym słabym światłem. O ile w pierwszym doświadczeniu, przeprowadzonym w okresie 30.12—21.1, różnice te były istotne, o tyle w drugim doświadczeniu, w którym oddziaływanie fotoperiodyczne wypadło na okres 11.2—4.3, przyrost masy organicznej i dynamika tworzenia nowych liści były

Tabela 7

Ilość szpilek i wysokość części nadziemnej u roślin z II doświadczenia

Nr komb.	Charakterystyka kombinacji	Ilość szpilek wraz z liśćniami	Wysokość części nadziemnej w mm	Reakcja fotoperiodyczna
0	Materiał wyjściowy przed rozpoczęciem oddziaływania fotoperiodycznego	56	64	
		Po 22 dniach oddziaływania fotoperiodycznego		
I	Nieprzerwane oświetlenie	97	95	—
II	Krótki dzień (noc pod skrz. z czarnego papieru)	74	83	+
III	Krótki dzień (noc światło 10 lx pod skrz. z białego papieru)	101	103	—
	Przedział ufności ($p = 5\%$)	7	9	

w obu kombinacjach takie same. Ponieważ to drugie doświadczenie wykonano w znacznie korzystniejszych warunkach naturalnego oświetlenia dziennego, narzuca się wniosek, iż nieprzerwane oświetlenie stosowane w szklarni odbija się efektywnie na przyroście suchej masy jedynie

Ryc. 6. Wierzchołek rosnącej siewki widzimy z góry; pączka szczytowego nie ma, widoczne nowe powstające igły

Ryc. 7. Wierzchołek siewki po 22 dniach traktowania krótkim dniem; wyraźnie wykształcony pączek szczytowy

w skromniejszych warunkach świetlnych. Powyżej pewnej granicy intensywności światła dziennego przedłużenie dnia do 24 godzin światłem około 1200 luksów nie wpływa już efektywnie na przyrost masy, ale podobnie jak słabe światło uniemożliwia reakcję fotoperiodyczną rośliny.

Warto jeszcze zaznaczyć, iż różnice w ilości suchej masy u roślin traktowanych krótkim fotoperiodem i nieprzerwanym światłem zaznaczają się już stosunkowo wcześniej. W naszym doświadczeniu, u roślin ściętych w dwunastym dniu oddziaływania fotoperiodycznego, różnica była już istotna. Świadczy to o bardzo raptownym reagowaniu rośliny na zmianę długości dnia. Tworzenie się i wzrost nowych liści ulega zahamowaniu przed upływem pierwszych 12 dni oddziaływania fotoperiodycznego. Różnice wzrostu siewek na wysokość w poszczególnych wariantach doświadczenia podano w tabeli 5 i 7.

Badania anatomiczne przekrojów poprzecznych strzałki również potwierdziły nasze dawniejsze wyniki. Pod działaniem krótkiego dnia występuje zróżnicowanie słoja na drewno wczesne i późne, podczas gdy w warunkach nieprzerwanego oświetlenia obserwuje się obraz mniej lub bardziej jednolitych komórek „wiosennych“. Po zmianie fotoperiodu następuje dość nagle zmiana wielkości komórek i grubości ich ścian, dzięki czemu tworzy się niemal ostra granica pomiędzy drewnem wczesnym i późnym.

Badania przekrojów drewna siewek hodowanych w warunkach dwunastogodzinnego dnia, przedłużonego do 24 godzin słabym światłem, nie dały jednak jednolitego obrazu. Materiał zebrany z tych doświadczeń wymaga jeszcze bardziej szczegółowych badań anatomicznych i wyniki ich zostaną podane w oddzielnej publikacji. Niemniej już obecnie wydaje się bardzo prawdopodobne, że zróżnicowanie się słoja przyrostowego nie jest bezpośrednio związane z reakcją fotoperiodyczną rośliny, jakkolwiek w silnym stopniu zależy od długości dnia. W tych wariantach doświadczenia, jak również w kombinacji, w której krótki dzień „przedłużano“ 5 min. światła w piątej godzinie nocy — wykształciły się komórki drewna „letniego“, chociaż obraz nie był tak typowy, jak przy krótkim dniu.

Wydaje się więc, że przyrost na grubość i kształtowanie słoja drewna przebiega w znacznym stopniu niezależnie od przyrostu na wysokość, który, jak wykazaliśmy poprzednio, reaguje w sposób typowy dla zjawisk fotoperiodycznych. O kierunku działalności komórek merystemu wtórnego, która zmienia się raczej pod względem ilościowym niż jakościowym, decyduje prawdopodobnie ilość substancji odżywczych, nagromadzonych w procesie fotosyntezy.

Za słusznością powyższej tezy przemawia fakt tworzenia się u drzew „pozornego“ słoja w tym samym okresie wegetacyjnym, gdy roślina wskutek żeru owadów pozbawiona zostaje liści i następnie regeneruje je. Ponadto obserwowana w naszych doświadczeniach nagle zmiana wielkości i światła komórek, następująca po nagłej zmianie fotoperiodu, w porównaniu ze stopniowym przechodzeniem komórek drewna wczesnego w póź-

ne, co obserwuje się w naturze, gdzie długość dnia zmienia się stopniowo — przemawia również za uzależnieniem tego procesu od zaopatrzenia miazgi w produkty asymilacji.

Przyjęcie takiego założenia, o ile znajdzie ono potwierdzenie w dalszych badaniach, pozwoliłoby zrozumieć fakt większej podatności działalności merystemu wtórnego w porównaniu z merystemem pierwotnym na zmianę warunków zewnętrznych, o którym była już mowa poprzednio.

WNIOSKI

1. Wykazano powtórnie, że modrzew reaguje na skrócenie fotoperiodu już jako czterotygodniowa siewka, dzięki czemu można skrócić jego cykl życiowy (odpowiadający 12 mies. cyklowi w naturze) prawie do dwóch miesięcy. Reakcja starszych wiekiem siewek jest taka sama.

2. Uzyskano wyniki, które pozwalają przyjąć, iż reakcja fotoperiodyczna pędu wegetatywnego rośliny wyhodowanej przy sztucznym oświetleniu o stosunkowo niskiej intensywności (około 1000 luksów) nie różni się jakościowo od tejże reakcji u siewek rosnących w warunkach oświetlenia bardziej zbliżonych do naturalnych.

3. Na przebieg reakcji fotoperiodycznej siewek modrzewia, poczynając od wieku 3 do 4 tygodni, nie mają wpływu różnice wielkości aparatu asymilacyjnego i masy organicznej roślin, które poddaje się oddziaływaniu fotoperiodycznemu.

4. Udowodniono, że reakcja pędu wegetatywnego siewek modrzewia na krótki dzień jest typowym zjawiskiem fotoperiodycznym.

5. W warunkach dnia krótkiego przedłużonego słabym światłem (lub krótkim okresem silnego światła w nocy) nie ulega zahamowaniu proces powstawania i wzrostu nowych liści; rośliny zachowują się podobnie, jak przy nieprzerwanym oświetleniu. Natomiast w tych warunkach — przy braku pełnej ciemności w ciągu nocy — jest wyraźnie uniemożliwione normalne różnicowanie się stożka wzrostu w kierunku wykształcenia pączka szczytowego. Zbadanie przyczyn współzależności tych dwóch wzajemnie wykluczających się procesów pozostaje nadal kwestią otwartą.

6. O ile przyjąć, że podstawowym kryterium rozwoju jest zmiana typu różnicowania się komórek merystemów, to w naszych warunkach doświadczeń pod wpływem oddziaływania krótkim dniem następowało przyspieszenie rozwoju i zahamowanie wzrostu, podczas gdy pod nieprzerwanym oświetleniem (zarówno 1000, jak i 10 luksów w nocy) obserwowano stosunki odwrotne. W tych kombinacjach, w których w okresie oddziaływania fotoperiodycznego rośliny otrzymywały w „dzień“ samo światło sztuczne, a fotoperiod przedłużano słabym światłem, zostały zahamowane nie tylko procesy rozwojowe (różnicowanie się pączka szczy-

towego), ale także uległy wydatnemu zwolnieniu procesy wzrostowe (różnicowanie się i wzrost nowych liści).

7. Potwierdza się bardzo silna zależność procesu różnicowania się słoja drewna od długości dnia. W warunkach skróconego fotoperiodu tworzą się wyraźne elementy drewna późnego, podczas gdy pod nieprzerwanym oświetleniem wielkość i kształt komórek są mniej więcej wyrównane. Jednakże na podstawie dotychczasowych badań nie można zdecydowanie odpowiedzieć na pytanie, o ile proces różnicowania się komórek na drewno wczesne i późne związany jest z reakcją fotoperiodyczną pędu wierzchołkowego rośliny. Wydaje się jednak bardzo prawdopodobne, że istotne znaczenie ma tutaj zaopatrzenie kambium w asymilaty i — choć stwierdzono zależność tego procesu od długości dnia — nie jest on typowym zjawiskiem fotoperiodycznym.

Składam serdeczne podziękowania prof. drowi K. Bassalikowi za cenne wskazówki w pracy oraz prof. dr H. Bireckiej za bezpośrednią pomoc w zorganizowaniu i przeprowadzeniu badań jak również przy opracowywaniu materiału. Dziękuję także mgr inż. T. Wodzickiemu za udział w pracach technicznych związanych z zakładaniem i prowadzeniem doświadczeń.

*Zakład Fizjologii Roślin SGGW
w Warszawie*

(Wpłynęło dn. 17.IV.1956 r.)

SUMMARY

The results obtained in the course of the present stage of investigations can be summarized as follows:

1. The response of larch seedlings to a shortday photoperiod already 4 weeks after germination has been confirmed once again. Owing to this circumstance the life cycle, lasting 12 months in nature, can be reduced almost to 2 months. The response of older seedlings is the same.

2. From the evidence obtained it is possible to assume that the photoperiodic response of vegetative shoots of plants grown in artificial light of relatively low intensity (about 1000 lux) does not differ in respect to quality from the response of seedlings grown under light conditions more approaching natural ones.

3. Beginning from the 3-rd or the 4-th week after germination the photoperiodic reaction in larch seedlings remains unaffected by the differences in the size of the assimilation apparatus and the organic mass of the plants submitted to photoperiodic treatment.

4. It has been shown that the response of the vegetative shoots of larch seedlings to shortday treatment is typically photoperiodic in character.

5. Under shortday conditions when the day is supplemented by a low intensity light (or a short interval of strong light during the night) the process of the formation and development of new leaves is not inhibited. The plants behave similarly as under conditions of continuous light. However, when the conditions are such that there is no complete darkness during the night the normal differentiation of apical meristems

aiming at the development of an apical bud is made impossible. The principle underlying the relationship between these two processes, which mutually exclude each other, remains as yet unexplained.

6. If the change of the differentiation type of meristematic cells is accepted as the main criterion of development, then under the experimental conditions here described exposure to shortday periods accelerates development and inhibits growth, whereas, under conditions of continuous light (both in light intensity of 1 000 lux and 10 lux throughout the night) the opposite is true. When experimental conditions are arranged so that during the period of photoperiodic treatment the plants are given in „day time“ artificial light only and the photoperiod is supplemented with light of low intensity the developmental processes (the differentiation of the apical bud) are stopped and the growth processes (the differentiation and growth of new leaves) are greatly reduced.

7. The strong dependence of the differentiation of wood ring on the daylength has been confirmed once more. Under shortday conditions distinct elements of late wood are formed, whereas, in continuous light the size and the shape of cells are approximately uniform. However, on the basis of the present results it is impossible to answer definitely the question of whether the process of cell differentiation into early and late xylem is related with the photoperiodic response of apical shoots of plants. It seems very probable that, although the dependence of this process on daylength has been demonstrated, the supply of assimilates to the cambium is here really significant and consequently the character of the process would not be typically photoperiodic.

LITERATURA

- Gonczarow B. P., 1955, Primienienije elektriczeskogo oswieszczenia dla wyraszcziwania rannich owoszczej, Gos. Izd. Siel-Choz. Lit., Moskwa-Leningrad.
- Klesznin A. F., 1954, Rastienije i swiet, tieoria i praktika swietokultury rastienij, Izd. A. N. SSSR, Moskwa.
- Kramer P. J., 1936, Effect of variation in length of day on growth and dormancy of trees, Plant Physiology 11.
- Kramer P. J., 1937, Photoperiodic stimulation of growth by artificial light as a cause of winter killing, Plant Physiology 12.
- Leman W., 1955, Wyraszcziwanije siejancew drewiesnych porod pri elektriczestom oswieszczenii, Trudy Inst. Fizj. Rast. im. Timiriazewa 10.
- Matzke E. B., 1936, The effect of street lights in delaying leaf-fall in certain trees, Amer. Journ. Bot. 23.
- Moszkow B. S., 1932, Fotoperiodizm drewiesnych porod i jego prakticzeskije znaczenije, Trudy po prakt. bot. gen. i siel., Soc. rast. 2.
- Moszkow B. S., 1953, Wyraszcziwanije rastienij na iskusstwiennom oswieszczenii, Sielchozgid.
- Szennikow A. P., 1952, Ekologia roślin, PWRiL, Warszawa.
- Zelawski W., 1956, Badania rocznej rytmiki rozwojowej rośliny drzewiastej ze szczególnym uwzględnieniem reakcji fotoperiodycznej siewek modrzewia (*Larix europaea* D. C.), Acta Soc. Bot. Pol. 25 (2): 245—284.