

BOŻENA BORKOWSKA

WPLYW GRAWITACJI NA ROŚLINY

Wygląd zewnętrzny roślin jest uwarunkowany działaniem szeregu czynników takich jak: światło, grawitacja, temperatura i inne. Grawitacja jest jednym z silniej działających czynników. Jej wpływ na morfogenezę objawia się w różny sposób. Najlepiej poznany jest wpływ grawitacji na kierunek wzrostu roślin. Grawitacja może poza tym wpływać na intensywność wzrostu i na zawiązywanie pąków kwiatowych.

WPLYW GRAWITACJI NA KIERUNEK WZROSTU

Od dawna znany jest fakt, że kierunek wzrostu pędów i korzeni zależy od grawitacji. Pędy rosną najczęściej w górę wykazując geotropizm ujemny, korzenie rosną natomiast w kierunku do środka ziemi wykazując geotropizm dodatni. Niekiedy kierunek wzrostu równoległy do kierunku grawitacji nazywany jest ogólnie ortogeotropizmem, lub ortotropizmem. Wydaje się jednak, że termin ten wychodzi z użycia.

Niektóre organy roślinne np. pędy boczne i korzenie boczne rosną ukośnie w stosunku do pionu, mówimy wówczas, że są plagiotropiczne lub plagiogeotropiczne. Szczególnym przypadkiem plagiotropizmu jest diageotropizm. Diageotropizm określa wzrost w kierunku horyzontalnym. Taki wzrost wykazują niektóre pędy np. rozłogi roślin. Termin diageotropizm obecnie wychodzi z użycia.

Pędy mogą niekiedy wykazywać tendencję do aktywnego zginania się w dół. Zjawisko to zwane jest epinastią i polega na silniejszym wzroście strony górnej pędu.

Przeciwnościem epinastii jest hyponastia — jest to tendencja pędu do wygięcia się w górę.

U niektórych roślin pnących np. u fasoli występuje szczególny przypadek geotropizmu, jest to geotropizm boczny. W wypadku geotropizmu bocznego silniej rośnie jedna ze stron bocznych np. prawa lub lewa, w wyniku czego rośliny wiją się w prawo lub lewo. Wicie się roślin jest zjawiskiem bardzo skomplikowanym. Z geotropizmem bocznym współdziałają tutaj fototropizm i ruchy nutacyjne.

Niektóre organy grzbietobrzusne mają tendencję do orientowania się w przestrzeni zawsze tą samą stroną do góry. Zjawisko to nazywa się geotorsją (Larsen 1962).

Słowo geotropizm zostało wprowadzone w roku 1868 przez A. B. Franka. Geotropizm jest to reakcja roślin na siłę ciężenia, przejawiająca się utrzymywaniem narządów roślin w określonym położeniu względem kierunku grawitacji. W związku z możliwościami podróży na inne planety być może termin geotropizm będzie zastąpiony bardziej ogólnym terminem: barytropizm (barytēs po grecku znaczy ciężar), podobnie jak heliotropizm został zastąpiony przez fototropizm.

Dowody na to, że wszystkie opisane zjawiska zależą od grawitacji uzyskano przez umieszczanie roślin na klinostacie. Urządzenie to pozwala na wyeliminowanie kierunkowego działania siły ciężkości, oraz w pewnych wypadkach na zastąpienie jej siłą odśrodkową. Doświadczenia przeprowadzane na klinostacie pozwoliły stwierdzić, że rośliny reagują w identyczny sposób na siłę odśrodkową jak i na siłę ciężkości. Ostatnio dzięki użyciu satelitów uzyskano możliwości badania roślin w warunkach nieważkości. Pierwszy amerykański satelita poświęcony głównie badaniom wpływu grawitacji na organizmy roślinne i zwierzęce został wystrzelony 7. IX. 1967, a powrócił na ziemię 10. IX. 1967. Wyniki z przeprowadzonych badań omówiono na konferencji: „Grawitacja i organizmy żywe“, która odbyła się w Tuxedo pod Nowym Jorkiem.

Reakcja roślin na bodziec grawitacyjny jest zjawiskiem niezmiernie powszechnym. Pewną wrażliwość na działanie tego bodźca można zaobserwować już u glonów. Są one jednak znacznie bardziej wrażliwe na działanie światła, aniżeli na działanie grawitacji. Mchy i paprocie są bardziej wrażliwe na działanie grawitacji, aniżeli glony. Wrażliwość na bodziec grawitacyjny wykazują również grzyby z klasy *Basidiomycetes* (grzyby należące do innych klas są zbadane bardzo słabo). Podczas gdy grzybnia jest raczej niewrażliwa geotropicznie, strzępki zarodnikonośne wykazują wyraźnie geotropizm ujemny (G. H. Banbury 1962).

Badania nad geotropizmem zostały zapoczątkowane w ubiegłym wieku i do dzisiaj zainteresowanie nimi nie słabnie. Aby zbadać zjawisko geotropizmu konieczne jest poznanie jego dwóch aspektów: 1. mechanizmu indukcji grawitacyjnej, 2. przyczyn asymetrycznego wzrostu, w wyniku którego powstaje wygięcie geotropiczne.

Jest rzeczą bardzo ważną nie łączyć ze sobą tych dwóch odrębnych zjawisk: geoindukcji i georeakcji. Oba te zjawiska są ze sobą powiązane, jednak georeakcja nie zawsze występuje po geoindukcji, względnie może wystąpić z pewnym opóźnieniem. Na odrębność geoindukcji i georeakcji wykazują liczne doświadczenia wykonane przez Braunera i Hagera (1962). Jeżeli koleoptyle owsa było poddane działaniu bodźca grawitacyjnego w warunkach niskiej temperatury, geoindukcja zachodziła, wygięcie geotropiczne następowało jednak dopiero po przeniesieniu roślin do temperatury pokojowej, w której rośliny mogły rosnąć.

Rośliny posiadają niezmiernie ciekawą i zupełnie jeszcze nie wyjaśnioną właściwość „pamiętania“ bodźca grawitacyjnego przez pewien okres czasu. Rośliny są

również w stanie „pamiętać“ dwa po sobie działające bodźce, przeciwnie skierowane: siewki owsa trzymane w chłodni, znajdujące się w pozycji poziomej były po pewnym okresie czasu odwracane o 180° i trzymane w tej nowej pozycji poziomej przez czas równy poprzedniemu traktowaniu, następnie były wyprostowywane. Po przeniesieniu do temperatury pokojowej rośliny wyginały się najpierw zgodnie z działaniem pierwszego bodźca, następnie zgodnie z działaniem drugiego bodźca i dopiero po tym rosły prosto (Brauner i Hager, 1962 cyt. przez Larsena).

Hager (1966) uważa, że za powstawanie pamięci geotropicznej roślin odpowiedzialne jest IAA. W doświadczeniach swoich wykazał, że w zdekapitowanym koleoptyle, które było poddane poprzecznemu działaniu siły grawitacji, geoidukcja zachodziła, natomiast georeakcję obserwował dopiero po podaniu IAA na ucięty wierzchołek. Hager zjawisko to tłumaczy w następujący sposób: niewielka ilość IAA, która zostaje w zdekapitowanym koleoptyle przesuwa się po położeniu go do strony dolnej. Jest to ilość zbyt mała aby wpłynąć na wzrost, ale może spowodować zmiany w oddychaniu, oraz wpłynąć na aktywność enzymów komórkowych. Enzymy te przez pewien czas są „przywiązane“ do strony dolnej, a rola ich polega na ułatwianiu transportu IAA po tej stronie. Po wyprostowaniu koleoptyle i podaniu IAA, Hager obserwował bowiem silniejszy jego transport po poprzednio dolnej stronie. Większa ilość IAA po tej stronie spowodowała szybszy jej wzrost, w wyniku czego powstało wygięcie.

Indukcja grawitacyjna wykazuje trzy ważne cechy: a) bodziec poniżej pewnego progu nie działa, b) istnieje odwrotna korelacja między siłą i czasem zastosowanego bodźca, c) pewna ilość bodźców poniżej progu działania może się sumować wzbudzając wrażliwość (Wilkins 1966).

ad a) Wielkość siły grawitacji, jaka jest w stanie spowodować powstanie wygięcia geotropicznego jest znacznie niższa od siły grawitacji na powierzchni ziemi. Minimalna siła grawitacji, jaka jest potrzebna dla indukcji grawitacyjnej waha się w zależności od badanego obiektu i warunków, w jakich ten obiekt się znajduje. W ciemności rośliny są bardziej wrażliwe na działanie grawitacji niż w świetle, korzenie są wrażliwsze od pędów. Wg Dedolpha ii. (1966) dla spowodowania wygięcia korzeni i koleoptyle owsa, wystarczała siła odpowiednio 0,06 g i 0,08 g.

ad b) Efektywność zastosowanego bodźca, zależy od iloczynu jego natężenia i czasu działania: im słabszy bodziec, tym dłużej musi działać, aby zaistniała określona reakcja (Wilkins 1966).

ad c) Jeżeli roślina jest zbyt krótko poddawana poprzecznemu działaniu grawitacji, reakcja geotropiczna nie zachodzi. Ta niewystarczająca stymulacja powoduje jednak pewne zmiany, które trwają przez jakiś okres czasu. Następny słaby bodziec dany wkrótce po pierwszym wywoła również pewne zmiany, które zsumują się z pierwszymi. W końcowym efekcie nastąpi reakcja w postaci wygięcia geotropicznego (Wilkins 1966).

Czas, jaki potrzebny jest aby roślina została zaindukowana jest zwany „presentation time“ (czasem prezentacji). Jest on różny dla różnych roślin np. dla paproci

Osmunda regalis 0,4—1,0 min, kolecyptyle owsa 2,5—5,0 min, hypokotyle buraka 15,0—20,0 min (Wilkins 1966).

Aby poznać istotę geotropizmu trzeba odpowiedzieć na pytanie: co jest przyczyną wrażliwości roślin na bodziec grawitacyjny i jakie zmiany zachodzą w roślinie po działaniu tego bodźca.

Jedną z najstarszych teorii, przy pomocy której próbowano wyjaśnić mechanizm geoindukcji, jest teoria statolitowa. Twórcami tej teorii byli Haberlandt i Němec w 1900 r. Wg teorii statolitowej ziarna skrobi znajdujące się w komórce odgrywają rolę narządów równowagi czyli statolitów. W wyniku zmiany pozycji z pionowej do poziomej ziarna skrobi gromadzą się dzięki swojemu ciężarowi na dolnych ścianach komórki, powodując polaryzację. Teoria ta nie jest jednak ogólna dla wszystkich roślin. Istnieją bowiem przypadki, że rośliny nie posiadając skrobi wykazują wrażliwość geotropiczną (np. risomy Marchancji), lub posiadając skrobię nie są wrażliwe geotropicznie (np. pąki maku, formy płaczące niektórych drzew), (Larsen 1962). Dodatkowym argumentem przemawiającym przeciwko statolitowej roli skrobi jest szybkość jej przemieszczania się. Czas jaki jest potrzebny dla przemieszczania się skrobi jest często inny od czasu, jaki jest potrzebny dla geoindukcji. Najbardziej istotne dowody, które z pewnością przyczynią się do uznania teorii statolitowej za nieprawdziwą, zostały dostarczone przez Pickard B. G i Thimanna K. V. (1966). Autorzy ci poprzez podanie roślinom gibereliny i kinetyny powodowali, że w roślinach następował zanik skrobi. Rośliny traktowane reagowały na bodziec grawitacyjny podobnie jak rośliny zawierające skrobię.

Problemem ściśle związanym z teorią statolitową jest zaobserwowane w niektórych wypadkach powstawanie różnicy potencjałów pomiędzy górną i dolną stroną pędu poziomego.

Niektórzy badacze np. Small i Bose (1920), (cyt. Larsen 1962) uważają, że statolity są nośnikami ładunków elektrycznych i w wyniku ich przemieszczania, strona dolna pędu poziomego zostaje naładowana dodatnio, a strona górna ujemnie. Różnica potencjałów pomiędzy górną i dolną stroną powoduje przepływ substancji wzrostowych (typu auksyn) w kierunku strony dolnej, która jest naładowana dodatnio. Większe stężenie substancji wzrostowych po stronie dolnej jest bezpośrednio odpowiedzialne za georeakcję — powoduje bowiem szybszy wzrost komórek strony dolnej pędu, i wolniejszy strony dolnej korzeni, w wyniku czego pęd wygina się w górę, a korzenie w dół.

Zupełnie inny pogląd przedstawili w swoich ostatnich pracach Naqui S. M., Deodolph R. R., i Gordon S. A. (1965). Autorzy ci uważają, że istnienie efektu geoelektrycznego nie jest potrzebne dla powstania wygięcia geotropicznego. W ich doświadczeniach kolecyptyle owsa znajdujące się w warunkach beztlenowych, w których potencjał bioelektryczny nie powstawał, wyginało się podobnie jak w warunkach tlenowych, w których potencjał był bardzo wyraźny.

Ciekawe wyniki dotyczące potencjału geoelektrycznego przedstawił Brauner ii. (1964). W ich doświadczeniach tkanki żywe i martwe szeregu roślin zachowywały się

podobnie. Efekt geoelektryczny powstawał bezpośrednio po zadziałaniu bodźcem grawitacyjnym i zanikał po wyprostowaniu. U niektórych roślin np. u słonecznika zaobserwowano poza tym tzw. „spóźniony efekt geoelektryczny“, który powstawał 5—10 min po wyprostowaniu roślin. Ponieważ zdolność do geotropizmu wykazują tylko rośliny żywe, „pierwotnego efektu geoelektrycznego“ nie można łączyć z georeakcją. Podobnie „spóźniony efekt geoelektryczny“, który zaobserwowano tylko u niektórych roślin, trudno wiązać z powstaniem wygięcia geotropicznego.

W świetle najnowszych badań (Pickard B. G., Thimann K. V. 1966) wydaje się, że geoidukcja składa się z kilku stopni. Pierwotna reakcja roślin na zmianę położenia ma prawdopodobnie charakter czysto fizyczny. Dopiero w późniejszym etapie zmiany fizyczne są przekazane do układu biologicznego, aby w końcowym efekcie doprowadzić do asymetrycznego podziału auksyn. Hipoteza ta w tej chwili jest bardzo ogólna, ale można mieć nadzieję, że w niedługiej przyszłości zostaną dostarczone dowody, które pozwolą na jej rozbudowanie i skonkretyzowanie.

Problemem o wiele prostszym od geoidukcji jest georeakcja. Doświadczenia wykonane przez Thimanna i wsp. (1963) ze znakowanym IAA-C¹⁴ udowodniły, że bezpośrednią przyczyną nierównomiernego wzrostu strony górnej i dolnej pędu poziomego jest znacznie większe stężenie auksyn po stronie dolnej, niż po stronie górnej — po stronie dolnej znajdowało się 60% podanej auksyny, podczas gdy po stronie górnej tylko 40%.

WPLYW GRAWITACJI NA INTENSYWNOŚĆ WZROSTU

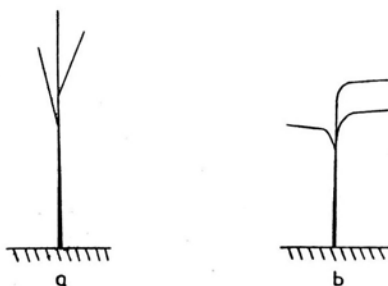
Położenie pędu lub pąka względem grawitacji może wpływać na siłę ich wzrostu. Zjawisko to zostało nazwane przez Wareinga grawimorfizmem. Wydaje się jednak, że pojęcie grawimorfizmu powinno być rozszerzone na wszystkie zjawiska morfogenetyczne wywołane przez grawitację, a więc i na geotropizm.

Przykładem wpływu grawitacji na wzrost, jest znany od dawna fakt słabszego wzrostu pędów drzew owocowych znajdujących się w pozycji poziomej. Zjawisko to jest wykorzystywane w praktyce ogrodniczej. Przyginanie pędów drzew owocowych ma na celu uniknięcie cięcia, oraz w pewnych przypadkach stymulowanie zawiązywania pąków kwiatowych. Pędy poziome, których wzrost jest zahamowany wykazują często tendencję do silniejszego kwitnienia.

Innym przejawem grawimorfizmu są zmiany, jakie zachodzą w korelatywnym hamowaniu pod wpływem bodźca grawitacyjnego. U drzewek pionowych pęd rosnący najwyżej dominuje nad innymi pędami. Pędy wyrastające niżej są prawie zawsze krótsze od pędu szczytowego (ryc. 1a). Jak wykazał Wareing i Nasr (1958), przygięcie pędów do pozycji poziomej powoduje zanik dominowania pędu wierzchołkowego. Wzrost pędu szczytowego i pędów położonych niżej jest bardzo podobny (ryc. 1b).

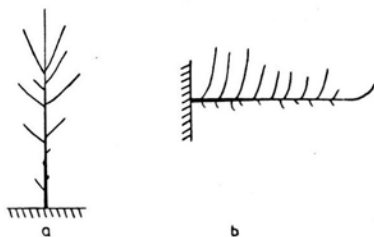
Innym przykładem zmian w korelacjach wzrostowych może być wzrost pędów u drzewek pionowych i drzewek poziomych (ryc. 2a, b).

U drzewek rosnących w pozycji pionowej najsilniejsze pędy znajdują się w pobliżu wierzchołka, im bliżej podstawy tym pędy są słabsze. Pąki położone przy samej podstawie drzewka najczęściej nie wybijają. Po przygięciu drzewek do pozycji poziomej następuje całkowite odwrócenie sytuacji: najsilniejsze pędy wyrastają w pobliżu podstawy drzewka, a pędy wierzchołkowe są silnie zahamowane (ryc. 2a, b), (Wareing P. F., Nasr T. A. A. 1961, Mullins M. G. 1964, Jankiewicz i wsp. 1967).



Ryc. 1. Wpływ przygięcia pędów na ich wzrost: a) pędy nietraktowane — przewodnik dominuje nad pozostałymi pędami; b) pędy przygięte — brak dominowania przewodnika, wszystkie pędy rosną podobnie.

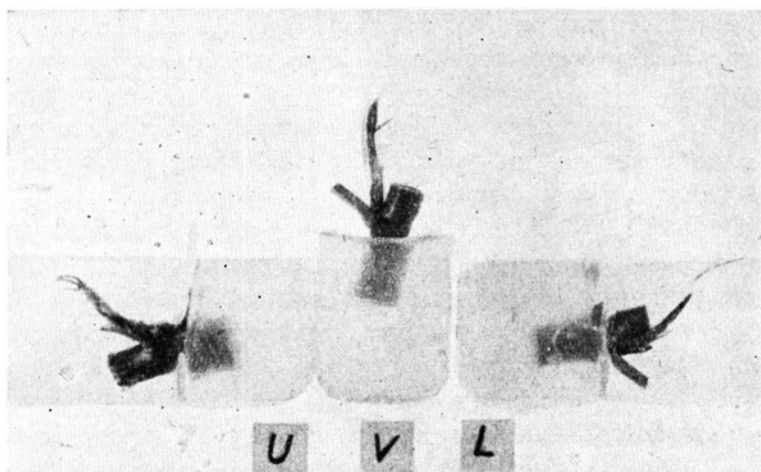
Jak widać na ryc. 2 przygięcie drzewek do pozycji poziomej powoduje jeszcze inne zmiany w korelatywnym hamowaniu. Podczas gdy u drzewek pionowych pędy słabe wyrastają nie tylko w pobliżu podstawy drzewka, ale również wśród pędów



Ryc. 2. Wpływ pozycji drzewka na wzrost pędów: a) drzewko pionowe, b) drzewko poziome

najsilniejszych, u drzewek poziomych rozłożenie pędów jest asymetryczne. Po stronie dolnej drzewka znajdują się tylko pędy słabe, natomiast po stronie górnej prawie wszystkie pędy są silne.

Badanie tego zjawiska rozpoczął Wareing i wsp. około 10 lat temu. Stwierdzili oni, że czynnikiem który wpływa na asymetryczny wzrost pędów jest tylko grawitacja. Nierównomierne oświetlenie strony górnej i dolnej pędu i mechaniczne zgięcie nie wpływa na wzrost pędów po stronie górnej i dolnej. Stopień zahamowania pędów



Ryc. 3. Wpływ położenia pąków na ich wzrost: U) pąk znajdujący się w położeniu górnym L) pąk znajdujący się w położeniu dolnym V) pąk rosnący w normalnej pionowej pozycji

dolnych zależy tylko od kąta, jaki drzewko tworzy z pionem. Pąki dolne rozwijają się najslabiej, gdy kąt ten wynosi 90° . Przy kącie 180° pąki po obu stronach drzewka rozwijają się tak samo (podobnie jak u drzewek znajdujących się w normalnej pozycji pionowej). W badaniach nad przyczynami asymetrycznego wzrostu, sprawą kontrowersyjną stał się problem roli, jaką odgrywają w tym zjawisku pąki górne.

Mullins M. G. (1965a) uważa, że pąki górne hamują wybijanie i wzrost pąków dolnych. Hamująca rola pąków górnych polega prawdopodobnie na produkowaniu przez nie inhibitora, który przemieszcza się i akumuluje po stronie dolnej pędu.

Inną hipotezę postawili Smith H. i Wareing P. F. (1964a). W doświadczeniach tych autorów zahamowanie pąków dolnych wystąpiło nawet wtedy, gdy pąki górne były usuwane. Autorzy ci uważają, że rozwój pąków jest kontrolowany przez mechanizm wrażliwy na położenie roślin względem grawitacji i że mechanizm ten jest ulokowany w samych pąkach i tkance otaczającej.

Sprzeczność ta była przedmiotem badań autorki. W pierwszym etapie doświadczeń została potwierdzona hipoteza Mullinsa, tzn. został wykazany hamujący wpływ pąków górnych na dolne. Było jednak rzeczą bardzo ciekawą, że pąki dolne nawet po usunięciu pąków górnych nigdy nie rozwijały się tak dobrze, jak pąki drzewek pionowych. Wynikałoby z tego, że obecność pąków górnych nie jest jedynym czynnikiem hamującym wzrost pąków dolnych. W dalszych doświadczeniach została potwierdzona hipoteza Wareinga P. F., że w samych pąkach istnieje mechanizm wrażliwy na położenie względem grawitacji. Stwierdzone to zostało na pojedynczych pąkach hodowanych *in vitro*. Wyszczepiane pąki były umieszczane w pozycji poziomej tak, aby znajdowały się w położeniu dolnym L, lub górnym U (ryc. 3).

Okazało się, że jeżeli rozwój pąków nie jest zbyt szybki, to po ułożeniu ich w położeniu dolnym rozwijają się gorzej od pąków znajdujących się w położeniu górnym i od pąków pionowych.

W oparciu o wszystkie doświadczenia wydaje się, że będzie można podstawić taką hipotezę mechanizmu asymetrycznego wzrostu drzewek poziomych: pierwotnym czynnikiem, który zapoczątkowuje powstawanie różnic między pąkami górnymi i dolnymi jest grawitacja. Mechanizm działania grawitacji jest jednak w dalszym ciągu nieznanym. Wystarczy minimalne zahamowanie pąków dolnych spowodowane grawitacją, aby pąki górne uzyskały nad nimi przewagę. W czasie wzrostu przewaga ta zwiększa się w wyniku pobierania przez pąki górne większej ilości substancji pokarmowych, niż przez pąki dolne, oraz być może przez akumulowanie przez pąki dolne substancji hamującej ich wzrost.

W badaniach autorki nad grawimorfizmem zostało potwierdzone istnienie „pamięci grawitacyjnej” roślin. Młode nierozgałęzione drzewka jabłoni przyginane w jesieni (już po zakończeniu wzrostu) na 2 lub 3 miesiące (od IX—X, XI) i po tym wyprostowywane, w następnym roku na wiosnę rozwijały się asymetrycznie. Drzewka te „zapamiętały” więc, że parę miesięcy wcześniej jedna strona była stroną dolną, a druga stroną górną. Jest to tym bardziej ciekawe, że pamięć roślin w badaniach nad geotropizmem była krótkotrwała (rośliny „pamiętały” bodziec do 15 godz.), podczas gdy bodziec wywołujący zjawisko grawimorfizmu rośliny pamiętały przez 4—5 miesięcy.

Wrażliwość na bodziec grawitacyjny jest zależna nie tylko od badanej rośliny, ale również od jej stadium rozwoju. Na przykład drzewka jabłoni były najwrażliwsze na zmianę położenia w okresie pęknięcia pąków. Przygięcie w tym czasie na 1 tydzień dawało taki sam efekt jak przygięcie na 2 tygodnie. W innych terminach przygięcie na 1 tydzień dawało słabszy efekt.

Wpływ grawitacji na organizmy żywe stał się ostatnio bardzo aktualny w związku z projektowanymi lotami na inne planety. Możemy się więc wkrótce spodziewać nowych, interesujących rezultatów.

Instytut Sadownictwa, Skierniewice

LITERATURA

- Banbury G. A. 1962 Geotropism of lower plants, Handbuch der Pflanzenphysiologie, Springer Verlag, Berlin ed. Ruhland, Bd. 17/2, 344—377.
- Borkowska B. 1965. Studies on gravimorphism in apple trees, Final Rep. Am. Prog. FG-Po-111.
- Borkowska B. 1966. Gravimorphism in young apple trees: sensitivity to gravity stimulus during dormancy and growth, Bull. Acad. Polon. Sci. Cl. V. 14: 563—567.
- Brauner L. 1962. Primäreffekte der Schwerkraft bei der geotropischen Reaktion, Handbuch der Pflanzenphysiologie, Springer Verlag, Berlin ed. Ruhland, Bd 17/2: 74—102.

- Brauner L., Dellingshausen M., Böck A., 1964 Neue Versuche zum geoelektrischen Effekt, *Planta* 62: 195—220.
- Brzeziński J. 1910, *Hodowla drzew i krzewów owocowych*. Warszawa, Gebethner i Wolf.
- Dedolph R. R., Breen J. J., Gordon S. A., 1965. Geoelectric effect and geotropic curvature, *Science* 148: 1100—1101.
- Dedolph R. R., Gordon S. A., Oenick D. A., 1966. Geotropism in simulated low-gravity environments, *Am. Jour. Bot.* 53: 530—533.
- Fisher J. E. 1957. Effect of gravity on flowering of soybeans, *Science* 125: 396.
- Gillespie B., Thimann K. V. 1963. *Plant Physiology* 38: 214—225. Transport and distribution of auxin during tropistic response. I Lateral migration of auxin in geotropism.
- Hager A. 1966. Das Geotropische „Gedächtnis“ der Pflanzen, Referat na Zjeździe: „Regulatory Wzrostu Roślin“, Rostock — Kühlungsborn.
- Jankiewicz L. S., Srzednicka W., Borkowska B. 1967. Gravimorphism in the poplar (*Populus* sp.), *Bull. Acad. Polon. Sci. Cl. V.*, 15: 111—113.
- Juniper B. E., Groves S., Schachar B. L., Audus W. J., 1966. Root cap and the perception of gravity, *Nature* 209: 93—94.
- Kaldewey H., 1962. Plagio- und Diageotropismus der Sprosse und Blätter einschliesslich Epinastie, Hyponastie, Entfaltungsbewegungen. *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, Springer Verlag, Berlin ed. Ruhland, Bd 17/2: 200—321.
- Kato T., Ito H., 1962. Physiological factors associated with the shoot growth of apple trees. *Tohoku Jour. Agr. Res.* 13: 1—21.
- Larsen P. 1962. Geotropism. An introduction. *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, Springer Verlag, Berlin ed. Ruhland 17/2: 34—73.
- Leach R. W. A., Wareing P. F., 1967. Distribution of auxin in horizontal woody stems in relation to gravimorphism, *Nature* 214: 1025—1027.
- Lyon C. J. 1965. Action of gravity on basipetal transport of auxin. *Plant Physiol.* 40: 953—961.
- Longman K. A., Wareing P. F., 1958. Effect of gravity on flowering and shoot growth in Japanese Larch (*Larix leptolepis*), *Nature* 182: 379—381.
- Longman K. A., Nasr T. A. A., Wareing P. F., 1965. Gravimorphism in trees 4. The effect of gravity on flowering, *Ann. Bot.* 29: 459—473.
- Mullins M. G. 1965a, Lateral shoot growth in horizontal apple stems, *Ann. Bot.* 29: 73—78.
- Mullins M. G. 1965b, The gravitational response of young apple trees. *Jour. Hort. Sci.* 40: 237—247.
- Naqvi S. M., Dedolph R. R., Gordon S. A., 1965, Auxin transport and geoelectric potential in Corn coleoptile section, *Plant Physiol.* 40: 966—969.
- Nasr T. A. A., Wareing P. F., 1961. Studies of flower initiation in black currant I and II. *Jour. Hort. Sci.* 36: 1—10, 11—17.
- Pickard B. G., Thimann K. V. 1966. Geotropic response of wheat coleoptiles in absence of amyloplast starch, *Jour. Gener. Physiol.* 49: 1065—1086.
- Smith H., Wareing P. F., 1964a, Gravimorphism in trees. 2. The effect of gravity on bud break in Osier willow. *Ann. Bot.* 28: 283—295.
- Smith H., Wareing P. F. 1964b. Gravimorphism in trees. 3. The possible implication of root factor in the growth and dominance relationships of the shoots. *Ann. Bot.* 28: 297—309.
- Smith H., Wareing P. F., 1966. Apical dominance and the effect of gravity on nutrient distribution. *Planta* 70: 87—94.
- Wareing P. F., Nasr T. A. A., 1958. Gravimorphism in trees. Effect of gravity on growth, apical dominance and flowering in fruit trees. *Nature* 182: 379—381.
- Wareing P. F., Nasr T. A. A., 1961. Gravimorphism in trees. 1. Effect of gravity on growth and apical dominance in fruit trees. *Ann. Bot.* 25: 321—340.
- Wilkins M. B. 1966. Geotropism *Ann. Rev. of Plant Physiol.* 17: 379—485.
- Westing A. H. 1964. Geotropism its orienting force. *Science* 144: 1341.