

Studia nad zmianami geotropizmu

u Paramaecium aurelia.

Przez

Jana Sosnowskiego.

Wniesiono na posiedzeniu Wydziału d. 6 marca 1899; ref. czł. Cybulski.

I. Ogólne uwagi o wrażliwości protoplazmy.

Wrażliwość żywej protoplazmy na różne bodźce, to jest zmiany w środowisku, stanowi jedną z cech zasadniczych, wyróżniających organizmy od innych tworów przyrody. Jednakże wiadomości nasze nie sięgają pod tym względem tak daleko, jakby się z powodu ważności zagadnienia można było spodziewać. Wiemy, na przykład, że wrażliwość danego ustroju podlega zmianom, prawa jednak tej zmienności nie są jeszcze poznane, wskutek czego pożądane są nawet drobne obserwacje, o ile tylko mogą się przyczynić do wyjaśnienia tej kwestyi.

Zjawiska wrażliwości, a więc i wszelkie „tropizmy“, zależą, ogólnie biorąc, od charakteru wywołującego je czynnika, oraz od chwilowego stanu protoplazmy. Stan zaś jej może zależeć od wewnętrznej organizacyi zmieniającej się do pewnego przynajmniej stopnia, podczas rozwoju osobnika, niezależnie od środowiska, oraz od jego wpływu, to jest od działających na protoplazmę bodźców w najobszerniejszym tego słowa znaczeniu. Teoretycznie przeto rzeczy biorąc, należy przypuszczać, że wszelka zmiana którejkolwiek z trzech powyższych zmiennych, t. j. czynnika wywołującego reakcyę w protoplazmie, chwilowego stanu jej rozwoju, oraz sumy warunków środowiska, musi pociągnąć za sobą

zmianę wrażliwości całego organizmu. Kwestya, czy wymagania teoryi dadzą się stwierdzić doświadczalnie, została w zasadzie już rozstrzygnięta twierdząco. Jednakże prawie wszystkie znane nam pod tym względem fakty zostały poznane tylko mimochodem, dotychczas w literaturze nie spotkałem się zaś z pracą, któraby miała na celu wszechstronne zbadanie tego zagadnienia.

Przechodząc do doświadczeń, mających na celu uzasadnienia powyższych rozumowań, będę szukał przykładów pomiędzy zjawiskami „tropizmów“ jako najbliższych właściwego tematu pracy niniejszej.

Wiadomo, że natężenie tropizmu (jak i innych objawów wrażliwości) zależy od natężenia wywołującego je bodźca. Jeżeli dany czynnik, wywołujący tropizm, nie dochodzi do pewnego minimum natężenia, to jego wpływ, objawiający się jako tropizm, nie istnieje wcale, w miarę wzmaganія się pierwszego, drugi wzrasta również, lecz tylko do pewnych granic, poczem słabnie albo nawet całkowicie zmienia swój charakter i z dodatniego staje się ujemnym lub odwrotnie. Jako przykład można przytoczyć znane doświadczenia Pfeffera ¹⁾ nad chemotropizmem ciałek nasiennych paproci. Wykrył on mianowicie, że kwas jabłkowy w roztworach bardzo rozcieńczonych (poniżej 0·001%) nie wywiera na spermatozoidy żadnego wpływu; roztwory więcej skoncentrowane wywołują w ciałkach nasiennych paproci chemotropizm dodatni, który wzrasta stale wraz ze zwiększaniem się koncentracji kwasu aż do pewnego maximum, poza którym występuje chemotropizm ujemny.

Zwróćmy się obecnie do zbadania wpływu, jaki wywierać może na objawy tropizmu druga zmienna, t. j. specyficzna organizacja protoplazmy. Należy tu przedewszystkiem cały szereg faktów dowodzących, że jednakowe bodźce na różne organizmy w jednakowych warunkach różnie oddziałują. Są to jednak rzeczy zbyt dobrze znane, ażeby nad nimi dłużej się rozwodzić; przechodzę przeto do innego punktu zajmującej nas kwestyi, mianowicie do tych wpływów, jakie na charakter tropizmu wywierać mogą zmiany protoplazmy, od których zależy ontogeneza osobnika. Ta strona zagadnienia jest bardzo mało zbadana, jakkolwiek jej znaczenie teoretyczne jest z wielu względów bardzo ważne. (Loeb ²⁾), więc stwierdził, że heliotropizm danego zwierzęcia występować zwykł tylko w pewnej epoce jego istnienia. Naprzykład gąsienice u *Porthesia Chrysorrhoea* okazują silny heliotropizm dodatni tylko zaraz

¹⁾ Groom und Loeb. Ueber den Heliotropismus der Nauplien von *Balanus perforatus* und die Tiefssewanderungen pelagischer Thiere. Biol. Ctrbl. 1891. Bd. X.

²⁾ Groom und Loeb. Nachtrag der Abhandlung „Ueber den Heliotropismus der Nauplien ...“ Biol. Ctrbl. Bd. X. 1891.

po wyjściu z oprzędu, dopóki nie zaczną się żywić. Skrzydlate samce i samice mrówek ulegają heliotropizmowi dodatniemu tylko w porze godowej. Dzięki temu autorowi, wiemy, iż nawet kierunek tropizmu ulegać może zmianom w różnych epokach rozwoju zwierzęcia. Tak larwy much, oraz wielu innych owadów, posiadają heliotropizm ujemny, dojrzałe zaś osobniki — dodatni.

Przykłady powyższe dostatecznie wyjaśniają zajmującą nas kwestyę; niewiele zresztą więcej przytoczyćby ich można.

Pozostaje jeszcze rozpatrzeć wpływ warunków otoczenia na charakter tropizmu.

Pierwsze obserwacye pod tym względem zawdzięczamy Strassburgerowi¹⁾, który wykrył, że przez odpowiednie podwyższenie temperatury można wywołać wpływ u *Haematococcus*, *Ulothrix* i w. i. heliotropizm dodatni zamiast ujemnego, podczas gdy obniżenie temperatury wywołuje skutek wprost odwrotny. Następnie Stahl²⁾ dowiódł, iż światło wpływa na charakter geotropizmu kłączów u *Adoxa moschatellina*, *Circaea lutetiana* i *Trientalis europaea*, oraz korzeni pochodnych wielu roślin wyższych. Podobne zjawiska Noll³⁾ nazwał „Heterogene Induction“; w tej jego rozprawie znaleźć można całą, tu się odnoszącą literaturę botaniczną.

U zwierząt sprawa ta jeszcze mniej jest zbadana niż u roślin. W powyżej cytowanej pracy Loeb⁴⁾ wspomina (str. 41), że gąsienice u *Porthesia Chrysorrhoea* tylko wtenczas wykazują geotropizm, jeżeli przez pewien czas są wystawione na działanie światła; na str. 115 (l. c.) znajdujemy wzmiankę, że wiele innych zwierząt zachowuje się w sposób podobny. Następnie⁵⁾ i⁶⁾ tenże badacz znalazł, że heliotropizm dodatni larw u *Balanus perforatus*, *Chtamalus stellatus* i *Lepas pectinata* pod działaniem dostatecznie silnego światła przechodzi w ujemny; w cie-

¹⁾ Jennings. Studies on Reaction to Stimuli in Unicellular Organism. I. Reaction to chemical, Osmotic and Mechanical Stimuli in the Ciliate Infusoria. Journ. of Physiol. Vol. XXI, 1897.

²⁾ Jensen. Ueber den Geotropismus niederer Organismen. Pflüger's Archiv. Bd. 53, 1893.

³⁾ Loeb. J. Der Heliotropismus der Thiere und seine Uebereinstimmung mit dem Heliotropismus der Pflanzen. Würzburg, 1890.

⁴⁾ Loeb. J. Ueber künstliche Umwandlung positiv heliotropischer Thiere in negativ heliotropische Pflügers Arch. Bd. 53, 1893.

⁵⁾ Massart. Recherches sur les Organismes inférieurs. Bull. de l'Acad. royale de Belgique 8me Serie. Vol. XXII. 1891.

⁶⁾ Noll. Ueber heterogene Induction. Leipzig, 1892.

ności zaś znów powraca. Tenże autor ¹⁾ wykrył zmiany, jakim podlega heliotropizm larw u *Polygordius* i u niektórych dokładniej nieokreślonych Copepoda pod wpływem innych równocześnie na organizm działających bodźców. Mianowicie podwyższenie temperatury, również jak i zmniejszenie koncentracji wody morskiej, zawierającej zwierzęta, wywołują heliotropizm ujemny u tych osobników, które własnowolnie (spontan) stały się dodatnio heliotropijnymi, wzmagają zaś natężenie heliotropizmu ujemnego u tych osobników, które go już posiadają. Obniżanie zaś temperatury oraz zwiększanie koncentracji wody wywołują zjawiska odwrotne.

II. Zjawiska geotropizmu u *Paramecium aurelia*.

Dopiero przed kilku laty Massart ²⁾ i Jensen ³⁾ odkryli geotropizm u wielu istot jednokomórkowych. Nader dokładne badania Jensena dowiodły przytem, iż w grupie orzęsków (Ciliata) spotykamy jedynie geotropizm ujemny. Od owego czasu w pracowni fizyologicznej w Jenie posługiwano się stale tą własnością wymoczków, ażeby zawierający je płyn pozbawić innych domieszek i tworów znajdujących się w wodzie z akwaryum. W tym celu nalewamy na dno rury, długiej około metra a szerokiej na 2 ctm., nieco płynu z wymoczkami, a następnie dolewamy do pełna czystej wody. Po kilku minutach wymoczeki zgromadzają się na górnej powierzchni płynu, wszelkie zaś nieczystości opadają na dno. Doświadczeniom podobnym, jak mnie poinformował prof. Verworn, towarzyszą często pewne nieprawidłowości, które modyfikują przebieg zjawisk; specjalnie zaś zauważono, że osobniki *Paramecium aurelia* zamiast podnosić się do góry, zbierały się niekiedy na dnie rurki. Podobne przypadki tłumaczono sobie wraz z Jensenem (l. c. str. 438—439) w ten sposób, iż inne zjawiska, termotropizm, tigmotropizm lub chemotropizm maskować mogą działanie geotropizmu.

Powtarzając przed niedawnym czasem w innym zupełnie celu doświadczenia powyższe, zwróciłem uwagę na te właśnie nieprawidłowości, które odrazu zrobiły na mnie wrażenie, że w pewnych warunkach występuje geotropizm dodatni zamiast opisanego przez Jensena (l. c.)

¹⁾ Pfeffer. Ueber chemotactische Bewegungen von Bakterien, Flagellaten und Volvocineen. Unters. aus d. bot. Inst. zu Tübingen. Bd. II.

²⁾ Stahl. Einfluss des Lichtes auf den Geotropismus einiger Pflanzenorgane. Ber. der deutsch. botan. Gesell. Bd. II.

³⁾ Strassburger. Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwarmsporen. Jena 1878.

ujemnego. Ze względu na teoretyczne poglądy przytoczone we wstępie, kwestya wydała mi się nader ciekawą i zacząłem ją badać.

Przedewszystkiem trzeba było ostatecznie stwierdzić, czy wspomniane nieprawidłowości wywołuje dotąd nieznaną geotropizm dodatni, co dało się osiągnąć przez staranne usunięcie możliwości wystąpienia wszelkich innych tropizmów. W danym przypadku mogły wchodzić w grę jedynie tigmotropizm, chemotropizm i termotropizm, gdyż heliotropizm stanowczo, reotropizm zaś prawdopodobnie u *Paramecium* nie istnieje.

Co się tyczy termotropizmu, to apriori wydało mi się nieprawdopodobne, żeby on właśnie mógł zgromadzać zwierzęta na dnie próbówki (doświadczenie moje, o ile o tem specjalnie nie wspominam, robiłem w zwykłych próbkach chemicznych) choćby dlatego, że wymoczki w temperaturze nie przechodzącej $+28^{\circ}\text{C}$. dążą zawsze do miejsc cieplejszych, (termotropizm dodatni) a zatem do górnych warstw płynu. Pragnąc jednak usunąć wszelką możliwość objawów termotropizmu, wszystkie płyny używane do badań ogrzewałem do temperatury panującej w pokoju; prócz tego podczas doświadczenia mierzyłem niejednokrotnie temperaturę różnych warstw cieczy w rurce, co ostatecznie przekonało mnie, iż różnice temperatury nie istniały, a więc termotropizm nie grał żadnej roli w omawianej sprawie.

Przyczynę owego zbierania się wymoczków na dnie próbówki można by upatrywać w zjawiskach tigmotropizmu, przypuszczając mianowicie, iż w pewnych warunkach występuje on u *Paramecium* silniej niż normalnie. Osobniki takie czepiają się różnych zawieszonych w cieczy nieczystości i wraz z niemi opadają na dno, podczas gdy osobniki normalne płyną ku górze, dzięki geotropizmowi ujemnemu. Wystarcza jednak rzucić okiem na próbówkę, w której odbywa się doświadczenie, ażeby uznać takie tłumaczenie zjawisk za bezzasadne, gdyż wymoczki płyną ku dołowi z przednim końcem zwróconym w tymże kierunku i zupełnie niezależnie od zawieszonych w cieczy nieczystości. Filtrując zresztą płyn przez kilkakrotnie złożony jedwab, można zatrzymać na tkaninie wszystkie domieszki martwe, podczas gdy zwierzęta z łatwością przez nią przechodzą; rezultat jednak doświadczenia pozostaje zupełnie taki sam, jak w płynie niefiltrowanym.

W celu usunięcia chemotropizmu, starannie mieszałem zawartość próbówki, ażeby w ten sposób wciągnąć równomierność koncentracji w całej warstwie cieczy. Następnie, pragnąc ostrożność pod tym względem posunąć jak najdalej, usuwałem także dostęp powietrza do próbówki za pomocą warstwy oliwy. Zachowując te wszystkie ostrożności,

dostrzegałem jednak wciąż, że wymoczki pochodzące z pewnych hodowli stale zbierały się na dnie, z innych zaś na powierzchni cieczy.

Ażeby ostatecznie się upewnić o istnieniu geotropizmu dodatniego, chwyciłem pojedyncze osobniki za pomocą rurki włoskowatej i wpuszczałem je do probówki z wodą wodociągową, ogrzaną do temperatury pokoju. Osobniki okazujące wyraźny geotropizm ujemny, wpuszczone do czystej wody, po kilkunastu sekundach stale ustawiały się pionowo, płynęły z jednostajną szybkością (przeciętnie 2 centymetry na 10 sekund), zwracając się przednim końcem ku górze. Dopłynąwszy do powierzchni cieczy, zwracały pod pewnym kątem na dół i po chwili znów płynęły ku górze. Po dłuższym czasie przyczepiały się zwykle do ścianki naczynia.

Całkiem inaczej zachowywały się osobniki pochodzące z hodowli, w których można było przypuszczać istnienie geotropizmu dodatniego. Wpuszczone do probówki z wodą, po kilkunastu sekundach ustawiały się one również pionowo, ale ich część przednia zwracała się ku dołowi, i w tym też kierunku zwierzę płynęło tak, iż ostatecznie pozostawało w dolnej części naczynia. Powyższe fakty, zdaniem mojem, zrozumieć można jedynie przypuściwszy, iż u *Paramaecium aurelia* w pewnych warunkach występować może także geotropizm dodatni zamiast ujemnego.

Zachodzi pytanie, jakie warunki wywołują ową zmianę geotropizmu. Przedewszystkiem nasuwa się przypuszczenie, czy w danym przypadku nie odgrywa roli przesunięcie się środka ciężkości zwierzęcia wewnątrz jego ciała; innemi słowy, czy u *Paramaecium*, ulegającego geotropizmowi dodatniemu przednia część ciała nie jest cięższą od tylnej i czy przez to nie jest skierowaną biernie ku dołowi; ponieważ zaś zwierzę normalnie porusza się w kierunku przedniej części, przeto w danym przypadku musiałoby płynąć na dół naczynia. Błędność jednak takiego przypuszczenia wykazał już dostatecznie Jensen (l. c.) co do geotropizmu ujemnego; jego rozumowania i doświadczenia dadzą się zupełnie zastosować także do geotropizmu dodatniego, nie widzę przeto potrzeby dłużej się nad tą kwestyą zastanawiać. Wspomnę tylko, iż obserwując położenie martwych wymoczków w wodzie, nie zdołałem zauważyć żadnych różnic pomiędzy tymi, które posiadają geotropizm dodatni, a tymi, które posiadają ujemny. Również nie byłem w stanie za ich życia stwierdzić żadnych różnic stałych w formie, ani też w nagromadzeniu wodniczków trawiących; wprawdzie osobniki pochodzące z różnych hodowli posiadają kształty nieco odmienne, lecz żadnej zależności od geotropizmu zauważyć się nie udało. Wobec tego, upada przy-

puszczenie, że różnice geotropizmu u *Paramecium* wywołują zmiany względnego ciężaru różnych części ciała wymoczka.

Chcąc poznać warunki, wśród których powstaje geotropizm dodatni, zwróciłem uwagę na same akwaria, z których pochodzące wymoczki ulegały właśnie geotropizmowi dodatniemu. Ku wielkiemu zdziwieniu zauważyłem przytem, iż w akwariach wymoczki głównie znajdują się w wierzchniej warstwie płynu. Należało więc rozstrzygnąć przedewszystkiem, czy owo zbieranie się wymoczków w akwaryum w pobliżu powierzchni cieczy powstaje wbrew geotropizmowi dodatniemu jako skutek braku tlenu w warstwach głębszych, czy też w samym akwaryum panuje stale geotropizm ujemny, dodatni zaś powstaje dopiero po wyjęciu osobników badanych z płynu macierzystego. W celu rozwiązania kwestyi odfiltrowałem nieco wody z akwaryum, będącego w mowie, nasyciłem ciecz równomiernie tlenem przez silne klócenie w próbówce, oraz wpuściłem do niej kilka osobników z tej samej hodowli, które wszystkie okazały geotropizm ujemny. Szereg doświadczeń podobnych upewnił mnie, iż w akwaryum zawsze panuje ujemny geotropizm, dodatni zaś powstawał dopiero podczas opisanych wyżej doświadczeń. Należało więc szukać przyczyny takiej zmiany. Początkowo upatrywałem ją w działaniu wody wodociągowej, którą dolewałem zawsze podczas doświadczeń do cieczy z akwaryum. Nim jednak rozpocząłem szereg odpowiednich prób, przypadek wskazał mi jeszcze inne czynniki, które tu mogą odgrywać rolę. Mianowicie do rury długiej na jeden metr wlałem pewnego razu kilka centymetrów sześciennych płynu z wymoczkami, u których właśnie łatwo było zauważyć zjawiska geotropizmu dodatniego; nim jednak zdążyłem dolać wody wodociągowej, zostałem odwołany w inną stronę i przerwałem doświadczenie. Wróciwszy po kilku minutach, spostrzegłem ku wielkiemu zdziwieniu, iż wymoczki zebrały się na dnie naczynia. Oczywiście zmianę geotropizmu wywołała tutaj nie woda wodociągowa, lecz inny jakiś czynnik, którym mógł być tylko szereg wstrząśnień, t. j. bodźców mechanicznych podczas niezbyt ostrożnego przelewania płynu z akwaryum do rurki. Ażeby się przekonać o słuszności takiego przypuszczenia, napełniłem szereg probówek płynem z będącego w mowie akwaryum, unikając starannie wszelkich wstrząśnień, wymoczki zebrały się na górnej powierzchni płynu. Następnie wstrząsnąłem dość mocno połowę badanych probówek i w nich po uspokojeniu się prądów wymoczki utworzyły zbiorowisko na dnie. Doświadczenia podobne powtarzałem bardzo często z takim samym skutkiem, starannie usuwając termotropizm, chemotropizm i t. d., wobec czego uważam za rzecz dowiedzioną, że bodźce mechaniczne mogą wywoływać geotropizm dodatni u skłonnych ku temu osobników *Para-*

maecium aurelia. Twierdzeniu temu możnaby zarzucić, że silne wstrząśnienia działają osłabiająco na ruch rzęs u wymoczków, które dzięki temu biernie opadają na dno; wystarcza jednak zwrócić uwagę na badane osobniki, oraz w rurce z podziałką zmierzyć szybkość ich ruchu, ażeby przekonać się, że tłumaczenie podobne nie zgadza się z rzeczywistością.

Wymoczki, które w warunkach powyższych zebrały się na dnie probówki, nie pozostają tam zbyt długo, lecz po kilku lub kilkunastu minutach wraca znowu geotropizm ujemny, i zwierzęta przenoszą się do górnej warstwy płynu. Zbiorowisko na dnie rurki trwa przytem ceteris paribus tem dłużej, im silniejszym wstrząśnieniem ulegały wymoczki.

Przenoszeniu się zwierząt z dolnej części naczynia do górnej towarzyszą niekiedy nader interesujące zjawiska, które będą opisane dokładniej w końcu pracy niniejszej.

Wobec faktów powyższych wydało mi się bardzo prawdopodobne przypuszczenie, że zmiany temperatury mogą również wywoływać geotropizm dodatni, i pod tym względem rozpocząłem szereg doświadczeń, uwieńczonych skutkiem pomyślnym.

Cheąc zaznajomić czytelnika z metodą badania, opiszę jedno z nich szczegółowo, co jest poniekąd konieczne do krytycznej oceny otrzymanych wyników. Duże naczynie szklane wypełnione wodą ogrzałem do $+ 30^{\circ}\text{C}$., mieszając płyn w celu doprowadzenia go do jednakowej temperatury. Następnie umieściłem w nim probówkę z wymoczkami, u których podejrywałem skłonność do geotropizmu dodatniego. Rzeczywiście w parę chwil po wstawieniu probówki do ciepłej kąpeli mogłem już zauważyć, że wymoczki rozsiane początkowo równomiernie w całym płynie, lub też zebrane w jego górnej części zbiegały na dno naczynia, a po kilku minutach znowu przeniosły się do wierzchniej warstwy cieczy i tam pozostały. Wystarcza teraz ochłodzić probówkę ze zwierzętami do temperatury pokoju, aby módz doświadczenie powtórzyć znowu z rezultatem pomyślnym.

Rozbierając krytycznie metodę powyższych doświadczeń, przede wszystkim zarzucić jej można to, że po zanurzeniu do ciepłej kąpeli probówki, powstają silne prądy, z których jeden dąży w środku probówki od góry ku dołowi, drugi zaś bliżej ścian posiada kierunek odwrotny. Mimowoli przeto nasuwa się pytanie, czy zbiorowisko wymoczków na dnie rurki nie jest jedynie wynikiem owych prądów, innemi słowy, czy zwierzęta nie są biernie uniesione przez prąd, zstępujący na dół naczynia.

Tłumaczenie takie napotyka jednak odrazu na nieprzezwyciężone trudności, gdyż niepodobna zrozumieć, dlaczego tylko prąd zstępujący

może porwać z sobą wymoczkę, wstępujący zaś nie jest w stanie tego uczynić. Pragnąc jednak sprawę rozstrzygnąć bezpośrednio doświadczalnie, odfiltrowałem nieco wody z akwaryum, ogrzałem do $+ 30^{\circ}\text{C}$, i wpuściłem do niej kilka wymoczków schwytych za pomocą rurki włoskowatej. Jakkolwiek prądy w tych warunkach prawie nie istniały, wymoczkę jednak wykazały geotropizm dodatni, podczas gdy bez ogrzewania w identycznych warunkach płynęły zawsze ku górze.

Następnie wziąłem ciecz z akwaryum, w którym wymoczkę posiadały nader silnie rozwinięty geotropizm ujemny, i wypełnioną nią próbkę wstawiłem również do wody mającej $+ 30^{\circ}\text{C}$. Prąd środkowy uniósł rzeczywiście część osobników ku dołowi, lecz po kilku chwilach już zdażyły one ustawić się pionowo i popłynąć ku górze częścią z prądem wstępującym, częścią nawet przeciw zstępującemu, co raz jeszcze stwierdza, że w omawianych doświadczeniach prądy bez udziału geotropizmu dodatniego nie są w stanie wytworzyć zbiorowiska wymoczków na dnie naczynia.

Teoretycznie pozostaje jeszcze zarzut, iż termotropizm powoduje zbieranie się zwierząt na dnie naczynia; lecz w opisanych powyżej doświadczeniach z pojedynczymi osobnikami był on całkowicie usunięty, z drugiej zaś strony pomiary temperatury za pomocą czułego termometru rtęciowego wewnątrz rurki podczas wszystkich doświadczeń dowiodły, iż termotropizm w omawianych zjawiskach roli grać nie może, gdyż po ustaniu prądów (wymoczkę jeszcze czas jakiś pozostają na dnie!) temperatura w różnych warstwach badanej cieczy bywa jednakowa.

Wobec tych wszystkich faktów nie może, zdaniem moim, ulegać wątpliwości, że podwyższenie temperatury wywołać może u *Paramaecium aurelia* geotropizm dodatni trwający parę minut; przytem wysokość temperatury, w której geotropizm ujemny przechodzi w dodatni, różną jest w różnych hodowlach. W notatkach moich znajduję $+ 24^{\circ}\text{C}$ jako najniższą temperaturę, w której obserwowałem to zjawisko; następnie mam zanotowane $+ 30^{\circ}$ $+ 32^{\circ}$ $+ 36^{\circ}$ $+ 37^{\circ}$ i t. d. Istnieją jednak hodowle wymoczków, z tak silnym geotropizmem ujemnym, że za pomocą wysokiej temperatury wcale nie można u nich wywołać dodatniego. Działanie jednak temperatury o wiele jest silniejsze od działania bodźców mechanicznych, gdyż tam, gdzie ostatnie żadnego już nie wywierają wpływu, pierwsza z łatwością zamienia geotropizm ujemny na dodatni; z drugiej zaś strony u tych wymoczków, które pod wpływem wstrząśnięć zbierają się na dnie naczynia, geotropizm dodatni występuje już pod wpływem temperatury stosunkowo niskiej. Dalsze zaś doświadczenia wykazały, że uprzednie oziębienie cieczy z wymoczkami nie wywiera żadnego wpływu na wysokość temperatury, potrzebnej

do wywołania geotropizmu dodatniego, innymi słowy, jeżeli na przykład wymoczki z hodowli, o temperaturze wody $+15^{\circ}\text{C}$, zmieniają znak swego geotropizmu w $+30^{\circ}\text{C}$, to po uprzednim oziębieniu do $+8^{\circ}$ zjawisko występuje również w $+30^{\circ}$.

Bodźce mechaniczne i termiczne mogą się sumować w swem działaniu; te mianowicie wymoczki, które podległy silnym wstrząśnieniom, tworzą *ceteris paribus*, pod wpływem wysokiej temperatury gęstsze i dłużej istniejące zbiorowisko na dnie naczynia, a nawet, jakkolwiek trudno jest to orzec z wszelką pewnością, zdaje się, iż minimum temperatury potrzebnej do wywołania geotropizmu dodatniego obniża się pod wpływem wstrząśnień o jakiś jeden stopień.

Teoretycznie nader ważne wydało mi się zbadanie wpływu obniżania temperatury na geotropizm. Przeprowadzone pod tym względem doświadczenia nie wydały jednak tak jasnych rezultatów jak poprzednie może w skutek tego, że wymoczki poruszają się nader wolno w temperaturze niskiej (w doświadczeniach moich była ona doprowadzana do $+2^{\circ}$) i o wiele łatwiej dają się unosić nawet słabym prądom. Z drugiej strony nie udało mi się przez obniżanie temperatury zniszczyć albo nawet osłabić działania bodźców mechanicznych, jak tego spodziewałem się ze względu na zjawiska sumowania się wpływu wstrząśnień i wysokiej temperatury.

Prądy elektryczne stałe i przerywane, jak się okazało z licznych doświadczeń, nie wywierają żadnego wpływu na zjawiska geotropizmu.

Pozostaje jeszcze jedna strona kwestyi, mianowicie wpływ zmian chemicznych w cieczy zawierającej wymoczki. Pod tym względem pozostaje jeszcze wiele do zrobienia, z powodu zupełnej nieznamomości spraw chemicznych w akwaryum. W przyszłości może uda mi się zakomunikować rezultaty dalszych co do tego poszukiwań; tymczasem podam nieco zebranych faktów.

Dodanie kwasu solnego lub ługu sodowego w ilości 0.5, 1, 2, 3 cm^3 0.5% roztworu na 20 cm^3 płynu z wymoczkami, może w pewnych hodowlach wywołać chwilowy geotropizm dodatni. W celu możliwie dokładnego wymieszania płynów, a równocześnie uniknięcia silnych wstrząśnień, postępowałem w taki sposób. Na dno próbówki wlewałem odpowiednią ilość kwasu lub zasady, następnie w ciecz wstawiałem koniec pipetki, którą czerpałem wymoczki z akwaryum, i wypuszczałem powoli jej zawartość. Wywołany w ten sposób geotropizm dodatni trwa *ceteris paribus* tem dłużej, im większą ilość kwasu lub zasady użyto do doświadczenia.

Co się tyczy siły działania kwasów i zasad, to zajmuje ona miejsce pośrednie między siłą bodźców mechanicznych i termicznych, innymi

słowy, za pomocą kwasów lub zasad można wywołać geotropizm dodatni we wszystkich hodowlach, które reagują w sposób wyżej opisany na bodźce mechaniczne, z drugiej strony pod wpływem kwasów i zasad zjawisko występuje nie wszędzie tam, gdzie wysoka temperatura wywołać je może.

Dolanie wielkiej ilości wody wodociągowej do płynu z akwaryum wywołuje odrazu geotropizm dodatni u wymoczków bardzo do tego skłonnych; u innych zmiana geotropizmu występuje dopiero po krótszym lub dłuższym czasie (pół godziny, trzy kwadransy, godzina i t. d.). Początkowo przeto w tym przypadku tworzy się zbiorowisko wymoczków u powierzchni cieczy i dopiero później przenosi się ono na dno próbówki. W innych znowu akwaryach dodanie nawet wielkiej ilości wody nie jest w stanie wywołać geotropizmu dodatniego i wymoczki nawet po kilkunastu godzinach stale znajdują się na powierzchni cieczy. Jeżeli jednak teraz przeniesiemy je do innej próbówki i poddamy działaniu bodźców mechanicznych lub nowych zmian chemicznych w cieczy, zbiorą się one na dnie, jakkolwiek zaraz po wyjęciu z macierzystego akwaryum w żaden sposób nie można ich było do tego zmusić, a siostrzyce ich, przebywające w akwaryum wciąż posiadają uparty geotropizm ujemny.

W ten sam sposób jak woda czysta działają roztwory żelatyny, cukru, preparatu zwanego nutrozą, nawet pozostawienie wymoczków czas dłuższy w małej ilości wody z akwaryum.

Z doświadczeń powyższych wynika, że różnorodne zmiany chemiczne w cieczy zawierającej wymoczki mogą wywołać chwilowy geotropizm dodatni u wymoczków skłonnych ku temu, u innych zaś po dłuższym działaniu wywołują ową skłonność. Sztuczne zaś usunięcie istniejącej już skłonności ku geotropizmowi dodatniemu nie udało mi się dotychczas, jakkolwiek zmianę taką często obserwowałem w akwaryach.

Pozostaje mi się w kilku słowach omówić kwestję, co wywołuje zwykle ową wspomnianą nieraz różną skłonność do zmiany geotropizmu u *Paramecium aurelia*. Na zasadzie rozumowań przytoczonych we wstępie wywnioskować łatwo, iż przyczyny szukać trzeba w warunkach życia wymoczków lub też w zmianie organizacji ich protoplazmy, gdyż siła ciężkości, wywołująca geotropizm, pozostaje niezmienna. Kwestyta w stosunku do pierwotniaków nabiera znaczenia pierwszorzędowego, gdyż wiąże się z pytaniem, czy pierwotniaki wogóle przechodzą cykl rozwoju, za który uważałyby można szereg pokoleń od jednej kopulacji

do drugiej. Póki jednak zbadać się nie uda zmian chemicznych, zachodzących w cieczy w akwaryum, oraz warunków kopulacji wymoczków, póty rozstrzygnąć się nie da stanowczo, co właśnie wywołuje zauważone przeze mnie w różnych akwaryach odmienne zachowanie się wymoczków. Prawdopodobieństwo jednak, zdaniem mojem, leży po stronie wpływu warunków środowiska na plazmę wymoczków, gdyż trudno przypuścić, iżby w danem akwaryum wszystkie osobniki równocześnie znajdowały się w jednym stadyum rozwoju, z drugiej strony za pomocą zmian chemicznych w płynie zawierającym *Paramecia* (str. 11) udało mi się wywołać skłonność do geotropizmu dodatniego u tych osobników, które przedtem wcale jej nie posiadały.

~~~~~

Podczas studyów powyższych zwróciło uwagę moją pewne zjawisko, które właściwie nie jest wynikiem geotropizmu, może jednak modyfikować wpływ tego ostatniego, i dla tego pragnąłbym zwrócić na nie uwagę. Często mianowicie zauważyć można, iż wymoczki tworzą na dnie próbówki gęste zbiorowisko, odgraniczone z wierzchu nader wyraźną powierzchnią kulistą (fig. 1). Zbiorowisko takie wznosi się nade powoli ku górze, zachowując ciągle ową ostrą wierzchnią granicę; wewnątrz niego zwierzęta poruszają się we wszystkich kierunkach, na górnej zaś powierzchni wydają się jakby przyciągane tajemniczą siłą. Czasem pojedynczy osobnik próbuje przekroczyć granicę i popłynąć ku górze, w teje jednak chwili zawraca i łączy się z towarzyszymi. Najprawdopodobniwszem tłumaczeniem tych zjawisk wydał mi się obserwowany przez Jennings'a<sup>1)</sup> u *Paramecium aurelia* chemotropizm dodatni do słabego roztworu kwasu węglowego, ujemny zaś do roztworu skoncentrowanego. Wymoczki zebrane na dnie próbówki wydzielają kwas węglowy, który je łączy niewidzialnymi węzły. Woda zaś nasycona do pewnego stopnia kwasem węglowym posiada inne napięcie powierzchni niż warstwy wyżej leżące, tworzy przeto ową powierzchnię kulistą, poza którą wymoczki przejść, dzięki chemotropizmowi, nie mogą. W miarę wytwarzania się coraz większych ilości kwasu węglowego, przenika on do coraz wyżej leżących warstw wody, dokąd przenoszą się i wymoczki, częścią, dzięki geotropizmowi ujemnemu, który już zdążył zjawić się na miejsce dodatniego, częścią zaś może, dzięki chemotropizmowi uje-

<sup>1)</sup> Jennings Studies on Reaction to stimuli in Unicellular organism. I Reaction to chemical, osmotic and Mechanical stimuli in the Ciliate Infusoria Journ of Physiol. Vol. XXI, 1897.



mnemu; do niższych warstw płynu, obecnie zawierających już kwas węglowy w koncentracji zbyt wysokiej. Dzięki temu, zbiorowisko wymoczków podnosi się coraz wyżej i wyżej, idzie to jednak nader powoli, wobec czego zbiorowisko takie może znajdować się jeszcze na dnie próbówki, podczas gdy w naczyniach sąsiednich, gdzie taki chemotropizm z przyczyn poniżej opisanych nie zjawił się, geotropizm dodatni dawno ustąpił już miejsca ujemnemu.

Profesor Winkelman, z którym sprawę omawiałem z fizycznego punktu widzenia, zgodził się na takie pojmowanie rzeczy.

Pragnąc dowiedzieć, że mamy w opisanem zjawisku rzeczywiście z kwasem węglowym do czynienia, dodałem do płynu z wymoczkami nieco kwasu rosolowego, który nie jest dla nich szkodliwym. O zmianach zabarwienia jednak w tem właśnie miejscu, gdzie znajdują się wymoczki, nie powiedzieć się nie da, gdyż z powodu odbijania się światła od ich ciał, płyn wydaje się biały. W tych jednak warstwach płynu, skąd wymoczki już ustąpiły, stwierdzić mogłem odbarwienie się kwasu rosolowego.

Co się tyczy warunków, w których występuje będące w mowie zjawisko, to przedewszystkiem zauważyć trzeba, iż nie występuje ono nigdy, skoro ilość osobników *Paramecium* w próbówce jest zbyt małą, gdyż wydzielają one zbyt mało kwasu węglowego. Nie jestto jednakże jedyny czynnik warunkujący zjawisko, gdyż często zauważyć można, iż w jednej próbówce tworzy się takie wyraźnie odgraniczone zbiorowisko, w innej zaś, zawierającej taką ilość osobników, pływają one bez wszelkiej prawidłowości w dolnej części cieczy. Porównyując takie naczynia, zauważyłem, że w pierwszych leżało na dnie nieco nieczystości z akwaryum, w drugich zaś dno było zupełnie czyste. Wobec tego, zdaniem mojem, kwestyę można wytłumaczyć w sposób następujący: skoro wymoczki, dzięki geotropizmowi dodatniemu, zbiorą się blisko dna, na którym leży nieco nieczystości, wtenczas, dzięki tigmotropizmowi, obsiadają one odpadki, co łatwo przez obserwacyą stwierdzić można, i zbierają się w ten sposób możliwie najgęściej, co znakomicie sprzyja wytworzeniu się odpowiedniej koncentracji kwasu węglowego. Rzeczywiście staranne usuwanie z dna próbówki wszelkich osadów pozwalało prawie zawsze uniknąć owego prawidłowego zbiorowiska, skoro zaś na dno wsypałem nieco piasku, zjawisko występować zwykło w całej swej mocy.

---



Za miły obowiązek poczytuję sobie wyrazić publicznie wdzięczność moją Akademii Umiejętności w Krakowie, która przyznaniem stypendyum imienia ś. p. Zenona Pileckiego umożliwiła mi studyowanie w zamierzonym celu. Również pragnę podziękować profesorowi Verwornowi, który pozostawił mi do rozporządzenia wszystkie środki zakładu fizyologicznego w Jenie, oraz profesorowi Stahlowi, który z nadzwyczajną uprzejmością dostarczał mi wskazówek co do odpowiedniej literatury botanicznej.

---

## Przegląd literatury.

---

1. Groom und Loeb. Der Heliotropismus der Nauplien von *Balanus perforatus* und die Tiefseewanderungen pelagischer Thiere. Biol. Centrbl. Bd. X, 1891.
2. Groom und Loeb. Nachtrag der Abhandlung „Ueber den Heliotropismus von *Balanus perforatus* ...“ Biol. Centrbl. Bd. X, 1891.
3. Jennings. Studies on Reactions to stimuli in Unicellular Organism. I Reaction to Chemical, Osmotic and Mecanical stimuli in the Ciliate Infusoria. Journ. of Physiol. Vol. XXI. 1897.
4. Jensen. Ueber den Geotropismus niederer Organismen. Pflüger's Archiv Bd. 53, 1893.
5. Loeb J. Der Heliotropismus der Thiere und seine Uebereinstimmung mit dem Heliotropismus der Pflanzen. Würzburg, 1890.
6. Loeb. Ueber künstliche Umwandlung positiv heliotropischer Thiere in negativ heliotropische. Pflüger's Arch. Bd. 53, 1893.
7. Massart. Recherches sur les organismes inférieurs. Bull. de l'Acad. royal de Belgique. 3-me série Vol. XXII, 1891.
8. Noll. Ueber heterogene Induction. Leipzig, 1892.
9. Pfeffer. Ueber chemotactische Bewegungen von Bakterien, Flegellaten und Volvocineen. Unters. aus d. botan. Inst. zu Tübingen, Bd. II.
10. Stahl. Einfluss des Lichtes auf den Geotropismus einigen Pflanzenorgane Ber. d. deutsch. botan. Gesell. Bd. II.
11. Strassburger. Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärmosporen. Jena, 1878.

