

KRYSTYNA JURAJDA

## ZNACZENIE WAPNIA DLA GLONÓW

Szereg badań przeprowadzonych w ostatnich latach dowodzi niezbicie, że glony są roślinami wymagającymi wapnia, jednak zapotrzebowanie na ten pierwiastek jest bardzo niskie i nieraz trudne do wykazania (O'Kelley 1968). To było prawdopodobnie główną przyczyną, dla której Molish (1895), Benecke (1898), Loew (1925) (cyt. wg Stegmana 1940), Mainx (1926) (cyt. wg Warén 1933) utrzymywali, że glony są roślinami mogącymi żyć bez wapnia. Pringsheim (1926), stosując czyste kultury glonów i mchów, badał czy wapń jest pierwiastkiem potrzebnym do wzrostu tych organizmów. W wyniku swoich dociekań stwierdził, że istnieje związek pomiędzy zapotrzebowaniem na wapń a systematycznym położeniem badanej rośliny. Pominąwszy *Cyanophyta* niższe formy roślinne nie wymagały tego pierwiastka do swojego wzrostu.

Uspeński (1927) był zdania, że wapń pośrednio wpływa na rozmieszczenie glonów w zbiornikach naturalnych. Według cytowanego autora występowanie glonów uzależnione jest od ilości dostępnego dla nich żelaza w danym zbiorniku. Zwiększenie zawartości wapnia powoduje podwyższenie pH, a tym samym wytrącenie żelaza z roztworu. To pociąga za sobą zahamowanie rozwoju glonów wymagających stosunkowo dużych ilości żelaza. Lund (1965) uważa za mało prawdopodobne, aby istniało ograniczenie produktywności glonów w zbiornikach naturalnych z powodu braku wapnia, aczkolwiek ilość tego pierwiastka wpływa na zestaw gatunkowy. Autor podaje przykłady glonów żyjących w jeziorach o bardzo dużej zawartości wapnia i w jeziorach o minimalnej ilości wapnia, jednak przeważająca ilość gatunków żyje w wodach o różnym stopniu stężenia tego pierwiastka. Wielu badaczy jest zwolennikami podziału wyróżniającego kalcifile i kalcifoby (Lund 1965). Badając ugrupowania ekologiczne glonów w torfowisku Chlebowo Gołowin (1964) podaje pięć zasadniczych grup obejmujących między innymi formy wybierające środowisko zdecydowanie alkaliczne (alkalobionty) oraz środowisko kwaśne (alkalifile).

Obserwacje przyrody zmusiły wielu badaczy do bliższych rozważań nad rolą wapnia w rozwoju komórek glonów. Tifany (1924) (cyt. wg O'Kelley i Herndon 1961) zauważył degenerację kolonii *Spirogyra*, *Cladophora* i *Cylindrocapsa* po prze-

niesieniu ich do pożywki bez wapnia. Nieco później Warén (1933) podkreślił specyficzne znaczenie wapnia dla podziału komórek *Micrasterias*. Brak wapnia w pożywce powodował znaczne opóźnienie podziału komórek macierzystych, zmiany w ściankach komórek i pewnych cech morfogenetycznych. Zdaniem Stegmana (1940) skrajny brak wapnia w środowisku hamuje całkowicie wzrost *Chlorella*. Jako dawkę optymalną dla rozwoju tego glonu autor podaje  $0,15 \mu\text{g Ca}/150 \text{ ccm}$  zaznaczając, że najmniejszą wrażliwość na wapń wykazywał badany glon przy pH 5,8. Ostatnie badania potwierdzają, że *Chlorella* jest glonem wymagającym znikomych dawek wapnia. Analizy chemiczne wykazały, że nadmiar wapnia w pożywce nie wpływał na zawartość wapnia w komórce *Chlorella pirenoidosa* (nadal była niska) (Gerloff, Fishbeck 1969). Brak wapnia w pożywce powoduje zanikanie kolców u *Scenedesmus*. Efekt ten został zniesiony przez dodanie do pożywki Ca EDTA lub Fe EDTA (Trainor 1969). Jednakże autor ten zaobserwował znacznie szybsze tworzenie się kolców u komórek potomnych *Scenedesmus* po dodaniu do pożywki wapnia w formie jonowej. Badania te zostały potwierdzone przez Skinder (1970) która wyjaśniła opierając się na swoich wynikach doświadczeń i doniesieniach wielu cytowanych autorów, że wapń w postaci jonowej jest znacznie korzystniejszy dla rozwoju komórki *Oscillatoria sancta* aniżeli wapń podany w formie Ca EDTA lub łącznie z humianem. Według Skinder (1970), szereg autorów wykazało zdolność chelatyzowania wapnia przez związki próchniczne, podkreślając równocześnie, że wapń w tego rodzaju kompleksie jest mało dostępny dla glonów.

Kylin & Das (1967) podali, że komórki *Scenedesmus* wymagały  $10^{-3} \text{ mM Ca}$ , aby utrzymać prawidłowy wrzecionowaty kształt. Niższe od optimum koncentracje wapnia w pożywce wywoływały u *Scenedesmus* zmianę wrzecionowatego kształtu komórek na kulisty lub elipsoidalny, a także postępujące zmniejszanie rozmiarów komórek (Kylin & Das 1967, Kylin 1967, Gaurangakumar 1968). Soeder (1967) zaobserwował w komórkach *Chlorella fusca* hodowanej w pożywce bez wapnia uszkodzenie tonoplastu powodujące mieszanie się zawartości wakuoli i protoplazmy. To z kolei prowadziło do naruszenia prawidłowego rozwoju cyklu komórki glonu. Zdaniem Soeder (1967) oraz Gaurangakumar (1968) nie tylko brak wapnia w pożywce, ale również długo trwający jego niedostatek powodują zahamowanie wyzwalania autospor, aż do zaniku tego procesu, silną depresję wzrostu oraz desynchronizację kultury. Prawidłowy cykl rozwoju komórek *Chlorella fusca* i wyzwalanie autospor stwierdzono przy dawce  $3,4 \cdot 10^{-5} \text{ g. at. Ca/l.}$ , natomiast optimum wapnia dla wzrostu populacji było 10-krotnie niższe (Soeder 1967). Wyżej uorganizowane glony *Sphaeroplea* i *Hydrodictyon* wykazywały znacznie wyższe zapotrzebowanie na wapń niż poprzednio wymieniane glony, dawka optymalna wynosiła  $1-2 \cdot 10^{-4} \text{ g. at. Ca/l}$  (Frank 1962).

Wśród wielu badań nad glonami spotyka się próby zastępowania wapnia przez stront. Walker (1953) (cyt. wg Soeder 1967) z powodzeniem wprowadzał stront zamiast wapnia do pożywki. W doświadczeniach O'Kelley i Herdnon (1961) *Protosiyhon* wyzalał zoospory tylko wtedy, gdy w pożywce łącznie z innymi niezbędnymi do życia pierwiastkami znajdował się wapń. Ten sam glon umieszczony w pożywce, w której wapń zastąpiono przez stront nie wytwarzał pływek. Bardziej

wnikliwe badania przeprowadzone przez O'Kelley i Deason (1962) wykazały znacznie korzystniejsze działanie wapnia aniżeli strontu na produkcję zoospor oraz rozrost *Protosiphon*. Z doświadczeń Soeder (1967) przeprowadzonych z *Chlorella fusca* wynika, że dla całkowitego cyklu rozwojowego wapń może być zastąpiony przez stront, natomiast wapń jest niezbędny dla wzrostu komórki, ukształtowania autospor i ich wyzwalania. Kylin & Das (1967) stwierdzili, że wapń i stront wywierają podobny wpływ na morfogenezę *Scenedesmus*, ale nie udowodniono tego przy każdym poziomie wapnia i strontu. Wollenweider (1950) w hodowli *Oscillatoria rubescens* i *Ankistrodesmus falcatus* z powodzeniem zastępował częściowo wapń przez stront. Wydaje się słuszne mniemanie, że sprawa ewentualnego zastąpienia wapnia przez stront czy to w procesie wzrostu, czy innych procesach fizjologicznych jest niedostatecznie wyjaśniona i wymaga dalszego badania.

Niektórzy badacze zwrócili uwagę na współdziałanie wapnia i magnezu. Lundegårdh (1932) stwierdził podobieństwo fizjologicznego działania tych dwóch pierwiastków. Dociekania Nicholas (cyt. wg Gerloff i Fishbeck 1969) dowodzą, że magnez jest wymagany przez mikroorganizmy w stosunkowo dużych ilościach i jest go zazwyczaj w pożywkach więcej niż wapnia. Provasoli (cyt. wg Gerloff i Fishbeck 1969) zauważył u glonów morskich znaczną wymiennność między wapniem i magnezem. Również w komórkach glonów stwierdza się ilościową przewagę magnezu nad wapniem co wynika z badań Gerloff i Fischbeck (1969). Autorzy ci stosowali pojęcie krytycznych koncentracji (wprowadzone przez Urlicha 1952) dla oceny ilościowego zapotrzebowania na wapń, magnez i potas u czterech gatunków zielenic i dwóch gatunków sinic. Krytyczne stężenie jest to minimalna koncentracja pierwiastka w komórkach, która zabezpiecza optymalny ich wzrost. Stężenia pierwiastków powyżej tego stężenia stanowią konsumpcję luksusową i nie zostają zużyte do wzrostu. Należy zaznaczyć, że u wszystkich badanych glonów koncentracje krytyczne magnezu znacznie przewyższały koncentracje krytyczne wapnia. Krytyczne koncentracje magnezu u badanych glonów były z reguły podobne do przeciętnych wartości występujących u roślin uprawnych i wahały się w granicach 0,15—0,30% suchej masy wyłączając *Scenedesmus*, u którego stężenie magnezu wynosiło 0,05%.

Frank (1962) przeprowadziła szereg badań nad wpływem  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4^{---}$ ,  $\text{K}^+$  u *Hydrodictyon reticulatum* i *Sphaeroplea annulina* oświetlając kultury przez 12 godzin. Analizy chemiczne wykazały, że jony  $\text{Ca}^{++}$  i  $\text{PO}_4^{---}$  pod wpływem światła wytrącały się z roztworu osadzając się w ściankach komórek glonów, w ciemności były z powrotem wprowadzone do roztworu. Autorka przypuszcza, że jedną z przyczyn jest zmiana pH w komórkach — światło powoduje podwyższanie pH co sprzyja osadzeniu się fosforanu wapnia w ściankach komórki. Spadek pH w ciemności jest przyczyną rozpuszczania tego związku. Przeprowadzone przez autorkę badania mikroskopowe wykazały u *Sphaeroplea* gruby osad fosforanu wapnia w ściankach komórki. Bisalputra (1963) podaje, że wapń pojawia się w pektynie ściany komórkowej.

Kylin (1967) potwierdził badania Frank (1962). Badał on przemieszczanie się jonów  $\text{Rb}^{++}$ ,  $\text{Cs}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Sr}^{++}$  na świetle i w ciemności, w obecności jonów  $\text{PO}_4^{---}$

w pożywce, w komórkach *Scenedesmus quadricauda* hodowanych uprzednio na pożywce pozbawionej fosforu. Autor wykazał szczególnie korzystny wpływ jonów  $\text{PO}_4^{---}$  na akumulację  $\text{Ca}^{++}$  i  $\text{Sr}^{++}$ . Równocześnie autor stwierdził, że wystarczą minimalne dawki światła, aby zwiększyć akumulację  $\text{Ca}^{++}$  i  $\text{Sr}^{++}$ .

Metaboliczne pochłanianie wapnia (charakteryzujące się zależnością od światła) oraz sorbcję wapnia związaną z obecnością jonów  $\text{PO}_4^{---}$  stwierdza również Dvorák i in. (1966). Te dwie formy sorbcji ustalono w wyniku doświadczeń z następującymi glonami: *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella pirenoidosa* i *Coccomyxa solirinae*. Autorzy badali również pobieranie jonów  $\text{PO}_4^{---}$  w kulturze oświetlonej w pożywce pozbawionej wapnia i zaopatrzonej w wapń. Stwierdzili znacznie wyższe pobieranie jonów  $\text{PO}_4^{---}$  w obecności wapnia w pożywce.

Zagadnienie wpływu wapnia na przyswajanie fosforanów i zawartość ATP w komórce rozpatrywał Gaurangakumar (1968). Przy braku wapnia w pożywce przyswajanie fosforanów w przeliczeniu na suchą masę zmniejszało się, a zawartość ATP zwiększała się. Na uwagę zasługuje fakt, że pobieranie fosforanów w pożywce z wapniem i bez wapnia w przeliczeniu na jednostkę suchej masy nie zmieniała się w ciągu cyklu rozwojowego. Działanie światła wywierało istotny wpływ na zawartość ATP, którego było dwa razy mniej w ciemności.

Powyższe zjawiska wyjaśniają częściowo doniesienia Muszyńskiej (1970). Reakcje komórek na brak wapnia są związane z brakiem tego pierwiastka jako aktywatora wielu reakcji enzymatycznych. Jony wapnia odgrywają istotną rolę w enzymatycznej hydrolizie reszt fosforanowych. ATP-aza, która jest zależna od jonów  $\text{Mg}^{++}$  aktywowana jest także przez jony  $\text{Ca}^{++}$ . Jony dwuwartościowe, a więc i jony  $\text{Ca}^{++}$  są aktywatorami peptydaz (Dwyer; cyt. wg Muszyńskiej 1970), amylaz oraz fosfotaz (Krebs, Meyer, Fischer, Imanishi, Huston, Andrzejczuk-Hybel, Schaub, Ermini, Wolf, Adolph; cyt. wg Muszyńskiej 1970).

Mimo tak licznych badań nad zagadnieniem wpływu wapnia na glony kwestia ta pozostaje nadal otwarta. Dogłębnego zbadania wymaga sprawa zróżnicowanego wymagania w stosunku do wapnia przez poszczególne gatunki glonów. Nie jest także jednoznacznie wyjaśniona specyficzna rola wapnia w poszczególnych procesach fizjologicznych tych roślin.

## LITERATURA

- Bisalputra T., Weier T. E., 1963. *The cell wall of Scenedesmus quadricauda*. Am. J. Bot. 50, 1011—1019.
- Dvorák M., Dvoráková-Hladká J., Fialová S., 1966. *Sorption of some Ions by Algae Related to their Trophic Conditions*. Biol. Plant. 6, 362—380.
- Frank E., 1962. *Vergleichende Untersuchungen zum Calcium-, Kalium- und Phosphathaushalt von Grünalgen*. I. Flora 152, 139—156.
- Frank E., 1962. *Vergleichende Untersuchungen zum Calcium-, Kalium- und Phosphathaushalt von Grünalgen*. II. Flora 152, 157—167.
- Gerloff G. C., Fishbeck K. A., 1969. *Quantitative cation requirements of several green and blue-green algae*. J. Phycol. 5, 109—114.

- Das Gaurangakumar, 1968. *The influence of calcium on development, phosphate, assimilation and ATP level in synchronized cultures of Scenedesmus*. Svensk Bot. Tidskr. 62, 448—456. Referatiwnyj Žurnal (Bot.) 1969. 8.
- Golowin S., 1964. *Glony torfowiska Chlebowo (pow. Oborniki, woj. poznańskie)*. Frag. Flor. et Geob. 10, 121—169.
- O'Kelley J. C., 1968. *Mineral nutrition of algae*. Ann. Rev. Plnt. Physiol. 19, 89—112.
- O'Kelley J. C., Deason T. R., 1962. *Effect of nitrogen, sulfur and other factors on zoospore production by Protosiphon botryoides*. Am. J. Bot. 49, 771—777.
- O'Kelley J. C., Herndon W. R., 1961. *Alkaline earth elements and zoospore release and development in Protosiphon botryoides*. Am. J. Bot. 48, 796—802.
- Kylin A., 1967. *Ion Transport in P-Deficient Scenedesmus upon Readitions of Phosphate in light and darkness II. Uptake of Rb<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup> and Sr<sup>+</sup>*. Z. Pflanzenphysiol. 56, 81—90.
- Kylin A., 1967. *Investigations in sulfur metabolism, ion translocation, energy transfer and morphogenesis of Scenedesmus*. Svensks Bot. Tidskr. 61, 15—23. Referatiwnyj Žurnal. 1967. 11.
- Kylin A., Das Gaurangekumar, 1967. *Calcium and strontium as micron trients and morphogenetic factors for Scenedesmus*. Phycol. 6. 201—210.
- Lund J. W. G., 1965. *The ecology of the freshwater phytoplankton*. Biol. Rev. 40, 231—293.
- Lundegårdh H., 1932. *Die Nährstoffaufnahme der Pflanze*. Jena.
- Muszyńska G., 1970. *Jony w katalizie enzymatycznej*. Postępy Biochemii, 16, 67—88.
- Pringsheim E. G., 1926. *Über das Ca-Bedürfnis einiger Algen*. Planta, 2, 555—567.
- Skinder N., 1970. *Hamujące działanie humianu sodowego na liczebność populacji Oscillatoria Sancta*. Praca doktorska.
- Soeder J. C., Thiele D., 1967. *Wirkungen des Calcium-Mangels auf Chlorella fusca (Shihira et Kraus)*. Z. Pflanzenphysiol. 57, 339—351.
- Stegmann G., 1940. *Die Bedeutung der Spurenelemente für Chlorella*. Zeitschr. f. Bot. 35, 385—422.
- Trainor F. R., 1969. *Scenedesmus morphogenesis Trace elements and spine formation*. J. Phycol. 5, 185—190.
- Uspeński E. E., 1927. *Eisen als Faktor für die Verbreitung niederer Wasserpflanzen*. Jena.
- Warén H., 1933. *Über die Rolle des Calciums im Leben der Zelle auf Grund von Versuchen an Micrasterias*. Planta 19, 1—45.