

NUTRITION & HEALTH

ROCZNIK 10, Nr 1 (37) • CALIVITA® INTERNATIONAL – POLSKA • Styczeń 2007

Prof. Garban Zeno, PhD

Departament Biochemii – Biologii Molekularnej – Żywienia Człowieka

Wydział Technologii Żywienia

Timisoara – Rumunia

LIQUID CHLOROPHYLL NOWOŚĆ W ODŻYWIANIU

WSTĘP

Zieleń jest dominującym kolorem wegetacji przez znaczną część okresu wzrostu. Charakterystyczny zielony kolor roślin to efekt barwnika chlorofilu, który w znacznych ilościach obecny jest w liściach roślin. Chlorofil nazwano „Płynnym Słońcem”, ponieważ absorbuje energię słoneczną. Jest takie powiedzenie, które brzmi: „Zielone wnętrze, czyste wnętrze”.

Żyjące organizmy należą do Królestwa roślin zbudowane są z różnych typów komórek, które można podzielić na dwie ogromne grupy: pierwsza jest odpowiedzialna za wszystkie czynności metaboliczne rośliny, podczas gdy druga jest metabolicznie nieaktywna i służy raczej do przewodzenia płynów przez roślinę lub jako mechaniczna podpora. Metabolicznie aktywne komórki (komórki mięsiste) zawierają wszystkie biochemiczne ważne organelle komórkowe. Plastydy to charakterystyczne dla komórek roślinnych organelle – a dokładniej, stanowią rodzinę organelli mającą za prekursora proplastydy, z których rozwijają się: chloroplasty, chromoplasty, amyloplasty i etioplasty.

Chloroplasty, zawierające aparat fotosyntetyczny, są zazwyczaj zielone. Znajdują się głów-

nie w komórkach liści, lecz są również obecne we wszystkich innych zielonych tkankach. Wszystkie chloroplasty zawierają barwnik chlorofil. Jego nazwa pochodzi od starożytnych wyrazów greckich: *chlorós* = zielony i *phýllon* = liść. Barwniki są chemicznymi związkami, które odbijają tylko pewną długość fali światła widzialnego. Sprawia to, że wydają się „kolorowe”. Kwiaty, koralowce, a nawet skóra zwierząt zawiera barwnik, który nadaje im własne barwy. Ważniejsza, niż odbicie światła jest zdolność pigmentów do pochłaniania fal o pewnych długościach. W fazie jasnej fotosyntezy wyróżnia się trzy podstawowe klasy barwników: chlorofile – zielonkawe pigmenty; karotenoidy – zwykle czerwone, pomarańczowe lub żółte barwniki; zaliczamy tutaj dobrze znany karoten, który nadaje kolor marchewce; fikobiliny – rozpuszczalne w wodzie barwniki, obecne w cytoplazmie lub w stromie chloroplastu; występują tylko u sinic (*Cyanobacteria*) i krasnorostów (*Rhodophyta*). Wszystkie te pigmenty to chromoproteidy (kompleksy barwnik-białko), posiadające komponentę białkową i niebiałkową (prostetyczną).

CHLOROFIL STRUKTURA CHEMICZNA

Chlorofil, grupa prostetyczna specjalnej klasy fitochromoproteidów, jest zielonkawym barwnikiem. W chemii organicznej, chlorina jest dużym heterocyklicznym pierścieniem aromatycznym, składającym się – w rdzeniu – z czterech pierścieni pirolowych (zwanymi A, B, C, D), zespolonych mostkami metinowymi. Do struktury chloriny doczepia się pierścień E, tworząc ostatecznie makrocykliczną cząsteczkę *phorbine*.

W naturze występują dwa ważne chromoproteidy zawierające w swojej strukturze pirol. Są to: *phorbine* – obecna w królestwie roślin, będąca makrocykliczną cząsteczką z 5 pierścieniami aromatycznymi i jonem magnezu (Mg^{2+}) w centrum oraz porfiryne – obecna w królestwie zwierząt cząsteczka makrocykliczna, składająca się z 4 pierścieni aromatycznych, mających w centrum jon żelaza (Fe^{2+}). *Phorbine* jest częścią struktury chlorofilu, podczas gdy porfiryne jest częścią struktury hemoglobiny z krwi. *Phorbine* posiada różne łańcuchy boczne, zawierając zwykle długi łańcuch fitolowy. Do tej grupy prostetycznej jest dołączony swoisty łańcuch białkowy.

W 1915 roku dr Richard Willstätter zdobył nagrodę Nobla za odkrycie chemicznej struktury chlorofilu – siatki atomów węgla, wodoru, azotu i tlenu, otaczającej pojedynczy atom magnezu. Piętnaście lat później, w 1930 roku dr Hans Fisher otrzymał nagrodę Nobla za rozwikłanie struktury chemicznej hemoglobiny. Był zdziwiony odkryciem, że przypominała budowę chemiczną chlorofilu. Hemoglobina (składająca się z hemu i globiny) jest barwnikiem nadającym erytrocytom ich czerwony kolor, podobnie jak chlorofil jest pigmentem, który nadaje roślinom zieloną barwę. Gdy dr Fisher oddzielił hem od związanej z nim cząsteczki białkowej, zaobserwował główną różnicę pomiędzy nim a chlorofilem. W przypadku hemu centralnym jonem jest Fe^{2+} , związany z porfiryne, a w przypadku cząsteczki chlorofilu centralnym jonem jest Mg^{2+} , przyczepiony do *phorbine*. W cząsteczce chlorofilu Mg^{2+} jest połączony z układem porfirynowym wiązaniami koor-

dynacyjnymi – w roślinach, w których zawartość tego jonu jest wysoka, około 6% całkowitej ilości Mg^{2+} jest związana z chlorofilem. Tylakoid – stabilizowany przez Mg^{2+} – jest ważny dla skuteczności fotosyntezy, zezwalając na wystąpienie fazy przejścia. Prawdopodobnie największe ilości Mg^{2+} są pobierane przez chloroplasty podczas indukowanego światłem rozwoju z proplastydu do chloroplastu czy też tioplastu do chloroplastu. Wówczas synteza chlorofilu i biogeneza stosu błon tylakoidu absolutnie wymaga dwuwartościowych kationów. Zagadnienie, czy Mg^{2+} jest zdolny przechodzić do i poza chloroplasty po fazie początkowego rozwoju, było przedmiotem wielu sprzecznych doniesień. Deshaies i wsp. (1984) odkryli, że Mg^{2+} przemieszczał się z i do chloroplastów, wyizolowanych z młodych roślin grochu, lecz Gupta i Berkowitz (1989), używając chloroplastów starego szpinaku, nie byli w stanie powtórzyć tych wyników. Deshaies i in. oświadczyli w swoim referacie, że chloroplasty starego grochu wykazywały mniej znaczące zmiany w zawartości Mg^{2+} , niż te używane do stworzenia ich konkluzji. Być może względny odsetek niedojrzałych chloroplastów obecnych w preparatach mógłby wyjaśnić te obserwacje.

Stan metaboliczny chloroplastów zmienia się w zależności od pory dnia. Podczas dnia chloroplast aktywnie zbiera energię świetlną i przekształca ją w energię chemiczną. Pod wpływem światła dochodzi do zmian w składzie chemicznym stromy, co wywołuje aktywację wciągniętych w to procesów metabolicznych. Jony H^+ usuwane są ze stromy (zarówno do cytoplazmy, jak i lumenu), prowadząc do alkalicznego pH. W procesie elektroneutralizacji jony Mg^{2+} (wraz z jonami K^+) są usuwane z lumenu do stromy, by zrównoważyć przepływ jonów H^+ . Ostatecznie, grupy tiolowe enzymów są redukowane w wyniku zmian stanu redox składników stromy. Przykładem enzymów, aktywowanych w odpowiedzi na te zmiany są: 1,6-bisfosfataza fruktozy, bisfosfataza sediheptulozy i karboksylaza rybulozo-1,5-bisfosforanowa. Jeśli enzymy te zostaną pobudzone podczas ciemności, mógłby wystąpić nieekonomiczny obieg produktów i substratów.

Można wyróżnić dwie klasy enzymów, które w stromie chloroplastu wchodzić podczas fazy świetlnej w reakcje z Mg^{2+} . Po pierwsze, enzymy w procesie glikolitycznym najczęściej oddziałują z dwoma atomami magnezu. Pierwszy atom jest allosterycznym modulatorem aktywności enzymów, podczas gdy drugi tworzy aktywną część cząsteczki enzymu i bezpośrednio bierze udział w reakcji katalitycznej. Do drugiej klasy enzymów należą te, w których Mg^{2+} tworzy kompleksy z nukleotydami di- i trifosforanów (ADP i ATP), a chemiczne zmiany pociągają za sobą transfer fosforylowy. Mg^{2+} mogą również odgrywać rolę w utrzymaniu struktury tych enzymów (np. enolaza).

Początkowo zakładano, że chlorofil jest pojedynczym składnikiem, lecz w 1864 roku Stokes wykazał metodą spektroskopii, że chlorofil jest mieszaniną. W 1912 roku Willstätter i wsp. przedstawili, że chlorofil jest mieszaniną dwóch składników, rozpuszczalnych w tłuszczach: chlorofilu a i chlorofilu b.

Obecnie wiadomo, że istnieje kilka typów chlorofilu, z najważniejszym chlorofilem a. Według danych z literatury tworzy on kompleksy chlorofilowo-białkowe, określane jako CP1, CP47 i CP43. Jest to cząsteczka, która umożliwia proces fotosyntezy poprzez transport pobudzonych elektronów na cząsteczki, które wytworzą cukry. Wszystkie rośliny, algi i sinice, w których zachodzi proces fotosyntezy, zawierają chlorofil a. Chlorofil ten jest obecny we wszystkich fotosyntetyzujących organizmach eukariotycznych, a ze względu na jego główną rolę w centrum reakcji, jest niezbędny w procesie fotosyntezy. Drugim rodzajem chlorofilu jest chlorofil b, który pojawia się tylko w „zielonych algach” i w roślinach. Te dwa typy chlorofilu tylko nieznacznie różnią się w składzie bocznego łańcucha (w „a” jest to – CH_3 , w „b” jest to – CHO). Obie formy chlorofilu są bardzo skutecznymi fotoreceptorami, ponieważ zawierają sieć występujących na przemian wiązań pojedynczych i podwójnych. Te dwa rodzaje chlorofilu uzupełniają się wzajemnie w pochłanianiu światła słonecznego. Rośliny mogą uzyskać całkowite zapotrzebowanie na energię z zakresu pasma

niebieskiego i czerwonego. Jednak, nadal istnieje ogromne pasmo widma, pomiędzy 500-600 nm, w zakresie którego jest pochłanianie bardzo mało światła. Jest to światło w zakresie widma zielonego, a ponieważ jest ono odbijane, jest to przyczyna, dla czego rośliny wydają się zielone. Chlorofil tak silnie pochłania światło, że może maskować inne, mniej intensywne barwy. Większość z tych bardziej delikatnych kolorów (z cząsteczek takich jak karoten czy kwercetyna) jest widocznych dopiero jesienią, gdy w liściach rozkładana jest cząsteczka chlorofilu - wtedy zielony kolor blaknie, niejako odsłaniając pomarańczowe i czerwone karotenoidy. Trzecia powszechna postać chlorofilu zwana chlorofilem „c”, występuje tylko u członków fotosyntetyzującej Chromisty (*Chromista*), jak również *Dinoflagellates*.

Głównym procesem z udziałem chlorofilu jest fotosynteza, ważny biochemiczny proces, podczas którego rośliny, algi, *protists* oraz niektóre bakterie przekształcają energię słoneczną w energię chemiczną, używaną do przeprowadzenia reakcji syntezy, takich jak wytwarzanie cukrów czy wiązanie azotu do aminokwasów. Ostatecznie, prawie wszystkie żyjące organizmy zależą od energii wytwarzanej w procesie fotosyntezy, sprawiając, że jest on niezbędny do zachowania życia na ziemi. Jest również odpowiedzialny za wytwarzanie tlenu, stanowiącego znaczną część atmosfery ziemskiej.

Największy wkład w poznanie mechanizmów fotosyntezy mają następujący naukowcy: najslawniejszy angielski chemik Joseph Priestley; francuski chemik Antonie Lavoisier; holenderski fizyk Jan Ingenhousz; dwaj chemicy pracujący w Genewie – Jean Senebier, szwajcarski pastor i Theodore de Saussure; niemiecki chirurg, Julius Robert Mayer, który rozpoznał, że rośliny przekształcają energię słoneczną w chemiczną.

MOLEKULARNE KOMPLEKSY CHLOROFILU

Chlorofil i chlorofiliny są w stanie tworzyć mocne kompleksy z pewnymi substancjami chemicznymi, o których wiadomo lub przypuszcza

się, że są przyczyną raka. Są to m. in. poliaromatyczne węglowodory (obecne w dymie tytoniowym), niektóre heterocykliczne aminy (znajdujące się w gotowanym mięsie) i aflatoksyna B₁ (AFB₁). Mocne związanie chlorofilu lub chlorofiliny z tymi potencjalnymi karcinogenami może zaburzać ich wchłanianie z przewodu pokarmowego i zmniejszać ilość, która dosięgnie wrażliwe tkanki.

Chlorofiliny są jednymi z najsilniejszych antyoksydantów, jakie kiedykolwiek badano. Udowodniono, że chlorofilina może *in vitro* neutralizować kilka fizycznie istotnych oksydantów, a niektóre wyniki badań na zwierzętach sugerują, że suplementacja chlorofilu może zmniejszać uszkodzenie oksydacyjne indukowane chemicznymi czynnikami rakotwórczymi i promieniowaniem.

CHLOROFILIE, CHLOROFILINY A PREWENCJA NOWOTWORÓW

Eksperymentalne badania wykazały, że chlorofilina wykazuje również aktywność przeciwnowotworową. Wiadomo, że zanim niektóre substancje chemiczne (zwane również prokarcinogenami) zainicjują rozwój raka, muszą najpierw zostać zmetabolizowane do aktywnych karcinogenów, które są w stanie uszkodzić DNA czy inne specyficzne molekuly we wrażliwych tkankach. Do aktywacji niektórych prokarcinogenów wymagane są pewne enzymy z rodziny cytochromu P450, dlatego ich zahamowanie może zmniejszyć ryzyko wystąpienia niektórych typów chemicznie indukowanych nowotworów. Badania *in vitro* wskazują, że chlorofilina może obniżyć aktywność enzymów cytochromu P450. Faza II biotransformacji pobudza eliminację potencjalnie szkodliwych toksyn i karcinogenów z organizmu. Według nielicznych wyników badań na zwierzętach chlorofilina może zwiększać aktywność enzymu fazy II – reduktazy chinonu.

Inne prawdopodobne wyjaśnienie mechanizmu przeciwnowotworowego niektórych pochodnych chlorofilu jest takie, że działają one jak substancje „przechwytyjące” (interceptory),

zablokowując absorpcję aflatoksyn i innych składników rakotwórczych z żywności. Gdy chlorofilina jest podawana razem z karcinogenem, tworzy z nim odwracalny kompleks. Właściwości te potwierdzają wyniki badań naukowych. Wykazano również, że podobne cechy demonstrował również chlorofil wobec wszystkich testowanych karcinogenów. Możliwym mechanizmem wyjaśniającym „przechwytyjące” właściwości chlorofiliny jest tworzenie złożonych, niekowalencyjnych wiązań pomiędzy karcinogenem a chlorofiliną. Im silniejsze tworzenie kompleksów, tym mniejsze ilości chlorofiliny są potrzebne do przechwycenia karcinogenu. Tworzenie kompleksu jest możliwe dzięki hydrofobowym interakcjom na powierzchni chlorofiliny i składnika. Innym sposobem ukazania „przechwytyjącego” działania chlorofilu i jego pochodnych jest pułapka cząsteczkowa, która sprawia, że karcinogen staje się niezdolny do atakowania komórek. Pułapka zmniejsza dostępność karcinogenu do organizmu, który w mniejszym stopniu jest narażony na działanie substancji rakotwórczych. W jednym szczegółowym badaniu na pstrągu tęczowym (*Salmo gairdneri*) wydawało się, że chlorofil pełnił swoje funkcje tylko wtedy, gdy był obecny w diecie w tym samym czasie, co substancja rakotwórcza. Wydaje się, że mechanizm „przechwytyjącego” składnika chlorofilu będzie można wykorzystać u ludzi.

Aflatoksyna B₁ (AFB₁) to wątrobowy karcinogen, wytwarzany przez pewne gatunki grzybów. Jest obecna w spleśniałych ziarnach i roślinach strączkowych, takich jak kukurydza, orzeszki ziemne, soja. W ciepłych, wilgotnych regionach z nieodpowiednimi warunkami magazynowania ziaren, wysoka zawartość AFB₁ w żywności jest związana ze zwiększonym ryzykiem rozwoju raka wątroby. W wątrobie, AFB₁ jest metabolizowana do karcinogenu, który jest w stanie związać się z DNA i wywołać mutację. W modelach zwierzęcych podawanie chlorofilu jednocześnie z ekspozycją na pokarmową AFB₁ w znaczący sposób zmniejszało liczbę uszkodzeń DNA w wątrobach pstrągów tęczowych i szczurów, induk-

wanych AFB₁ oraz w zależności od dawki chlorofilu hamowało rozwój raka wątroby u pstrągów.

CHLOROFILINY A PROCES DETOKSYKACJI

Chlorofiliny odgrywają również ważną rolę w odtruwaniu środowiska wewnętrznego organizmu, w celu zachowania zdrowia i życia. Wewnętrzna detoksykacja oznacza wszystkie procesy, które neutralizują, przekształcają czy usuwają toksyny z organizmu poprzez jeden lub więcej następujących układów:

- oddechowy
- pokarmowy
- moczowy
- skóra, gruczoły potowe, łojowe i łzy
- limfatyczny

Wątroba – jeden z najważniejszych narządów w organizmie, który bierze udział w odtruwaniu czy usuwaniu substancji obcych lub toksyn. Zadaniem glutationu, najbardziej bogatego w grupy sulfhydrylowe w organizmie, jest chelatowanie i detoksykacja metali ciężkich. Wykazano, że rtęć i ołów tworzą kompleksy z glutationem, które są usuwane z organizmu głównie za pomocą żółci, zmniejszając tym samym ilość dostępnego glutationu. Metionina jest głównym źródłem siarki w cysteinie. Hepatocyty (komórki wątrobowe) z trudem pobierają cysteinę, natomiast metionina jest pobierana łatwiej i następnie przekształcana do S-adenozylometioniny, homocysteiny, cystationiny i cysteiny. Komórki wątrobowe wykorzystują metioninę do wzrostu i proliferacji. Uzależnienie wzrostu raka lub guzów od obecności metioniny jest sztucznym warunkiem, spowodowanym przez wcześniejszą niewydolność mechanizmów transsulfuracji i transmetylacji. Zatem, jeśli dostępność metioniny jest obniżona, nie tylko dojdzie do zaburzenia zdolności odtruwających wątrobę, lecz również będzie mniej dostępnego glutationu do tworzenia kompleksów z obcymi substancjami. Wyniki badań wskazują, że niedobór metioniny

sam w sobie może wywołać raka wątroby bez obecności substancji rakotwórczych, jak również może ułatwić metalom ciężkim wywołanie toksycznych skutków.

Okrężnica jest kanałem ściekowym naszego organizmu. Jeśli nie jest oczyszczana, „odpady” z całego organizmu nie zostaną usunięte. Tkaniki organizmu nie pozbędą się produktów ubocznych, jeśli nie pracuje okrężnica. Układy fizjologiczne są połączone. Gdy okrężnica zostaje opróżniona, organizm zaczyna „wyciągać” toksyny ze wszystkich możliwych miejsc. Zanieczyszczenia z okrężnicy mogą „przelekać” i zanieczyszczać inne narządy. Można wtedy leczyć te narządy naturalnymi metodami – ale tylko z częściowym efektem – ponieważ są one stale zakażane lub podrażniane przez trucizny z okrężnicy. „Zaczopowana” okrężnica tworzy uchyłki, które są wpukleniami w ścianie okrężnicy, zawierającymi materiał kałowy. Zbyt długo zalegający materiał kałowy zaczyna „przelekać” do organizmu i wywołuje stan, nazywany *autointoksykacją*. Kieszonki jelitowe „przepuszczają” ropę, krew i substancje kałową z powrotem do strumienia krwi. Gdy organizm jest zatruty, komórki nie mogą otrzymywać składników odżywczych z krwi, ponieważ otaczający komórki płyn śródmiąższowy jest zatykany przez „odpady” z wolno płynącej limfy. Wewnętrzne zatrucie wywołuje również depresję i niezdrowe myśli. Jest to błędne koło. Większość osób, zamiast oczyścić swoje jelita, w celu ukrycia swojego nieprzyjemnego zapachu, używa kadzideł, odświeżaczy powietrza, dezodorantów, proszku do stóp, płynów i odświeżaczy do ust, past do zębów, perfum i wody kolońskiej. Jeśli okrężnica nie zostanie oczyszczona, inne narządy nie mogą pozbyć się swoich produktów ubocznych. Jeśli osoba nie oczyści jelit, to pomimo usunięcia blaszek miażdżycowych z naczyń – pojawiają się one ponownie w organizmie. Dopóki nie zostanie oczyszczona okrężnica, naczynia nigdy nie odzyskają pełnego zdrowia.

Głównym zadaniem nerek jest zachowanie na stałym poziomie objętości i składu płynu ze-

wnątrzkomórkowego. Muszą to zrobić wbrew zmieniającemu się na zewnątrz środowisku i dostarczanym płynom. Częścią tego zadania – ale tylko częścią – jest usuwanie z organizmu niektórych produktów ubocznych przemiany materii, których komórki nie mogą już dalej rozłożyć. Zatem, głównym zadaniem nerek nie jest wydalanie, ale regulowanie. Nerki w mniejszym stopniu kontrolują wodę wewnątrzkomórkową, ponieważ jeśli nerki wykonują swoją pracę w odpowiedni sposób, każda komórka (w dużej mierze jednostka autonomiczna) weźmie lub odrzuci z płynu zewnątrzkomórkowego to, co potrzebuje lub nie. Nerki zachowują to wszystko, czego w danym momencie potrzebujemy, nawet więcej – pozwalają nam na swobodę nadmiaru. Tak jest, pozwalają nam przyjąć więcej, niż potrzebujemy z konieczności – np. wody i soli i wydzielają dokładnie tyle, ile nie jest w danej chwili wymagane. Ostatecznie, nerki chronią objętość płynów w naszym organizmie, jak również ich skład. Według niektórych ocen składamy się prawie $\frac{3}{4}$ z wody, tak więc w dosyć prosty sposób – ważąc się każdego dnia – można ocenić precyzyjnie, z jaką nerki osiągnęły ten wynik. Pomimo różnic w diecie, ćwiczeń czy spożycia płynów, liczby pozostają stałe. Nerki wykonują swoje zadania z dokładnością do 1%, nigdy nie gorszą niż 5%, nawet w różnorodnych warunkach. Jeśli nerki nagle zawodzą, śmierć następuje po kilku dniach, m.in. dlatego, że niektóre nagromadzone produkty przemiany materii są toksyczne dla serca, które przestaje pracować. Bardziej interesujący jest sposób, w jaki nerki mogą przystosować się, by zwolnić destrukcję wywołaną dysfunkcją, tak że można przeżyć nawet przy 5% całkowitej funkcji nerek. Nerka ma większą pojemność rezerwową w obliczu choroby niż np. serce czy płuca.

Układ limfatyczny – woda stanowi ok. 50-60% całkowitej masy ciała. $\frac{1}{3}$ płynów naszego organizmu to płyn zewnątrzkomórkowy. Krew to tylko ok. 9% wszystkich płynów organizmu, a 62% to płyn wewnątrzkomórkowy. Oznacza to, że ok. 27% naszych płynów stanowi limfa. Każ-

da komórka w organizmie ma kontakt z płynem śródmiąższowym, który składa się zarówno z substancji pochodzących z krwi, jak i z komórki. Około 90% wody i małych molekuł wchodzących do płynu śródmiąższowego z krwi jest z powrotem wchłaniane przez lokalne naczynia krwionośne. Pozostałe 10% wody, małych molekuł, białko, inne obecne w płynie śródmiąższowym duże cząsteczki zbierają się w sieć cienkich naczyń, tworząc limfę. W naszym organizmie znajduje się 3 razy więcej limfy niż krwi. Limfa poprzez drobne kanaliki odżywia nawet komórki kostne. Kiedy produkty uboczne przemiany materii opuszczają komórki organizmu, to zbierane są przez krew i limfę.

Naczynia limfatyczne łączą się w większe przewody, które z powrotem uchodzą do strumienia krwi. Naczynia te są ułożone wzdłuż tkanki mięśniowej, która pompuje przez nie limfę. Układ limfatyczny zbiera toksyny ze wszystkich komórek organizmu, dlatego jego prawidłowe funkcjonowanie jest niezwykle ważne dla zdrowia całego organizmu. Tak jak powietrze dookoła nas jest w ciągłym ruchu, tak również limfa otaczająca komórki jest w stałym ruchu. Komórki są w stanie lepiej funkcjonować, mając dookoła świeżą limfę wypełnioną właściwym stężeniem wodoru, tlenu, glukozy i wszystkich innych składników odżywczych. Zastawki, otwierające się tylko w jednym kierunku, znajdują się we wszystkich kanałach limfatycznych. W dużych naczyniach zastawki można spotkać co kilka milimetrów, w mniejszych są ułożone znacznie gęściej. Kiedy naczynia limfatyczne wypełniają się limfą, mięśnie gładkie w ścianie naczynia automatycznie się kurczą.

Ponadto, każdy segment naczynia limfatycznego pomiędzy następującymi po sobie zastawkami działa jak oddzielna automatyczna pompa. Tzn., wypełnienie segmentu wywołuje skurcz i płyn jest przepompowywany przez zastawkę do następnego segmentu limfatycznego. Limfa wypełnia kolejny segment i kilka sekund później, on również kurczy się. Proces ten jest kontynu-

owany wzdłuż całego układu limfatycznego, aż wreszcie płyn z przewodu piersiowego wpada z powrotem do strumienia krwi do żyły głównej prawej na wysokości dolnej części obojczyka. Gdy świeże dostawy substancji odżywczych zastąpią produkty uboczne komórek – toksyny, bakterie, wirusy, trucizny, produkty rozpadu – komórki są zdrowsze i my również. Usunięcie białek z przestrzeni śródmiąższowej jest absolutnie niezbędną funkcją, bez której moglibyśmy umrzeć w ciągu 24 godzin. Okrężnica jest głównym narządem, poprzez który z limfy są usuwane substancje śluzowate.

Gdy system limfatyczny zapełnia się substancjami śluzowatymi, powstaje takie ciśnienie, które jest odczuwalne przez cały organizm. Zaczyna się napięciem w mięśniach, które ze wzrostem ciśnienia stają się bolesne. Jedną z funkcji gorączki jest rozrzedzenie limfy, poprawiając jej zdolność do przepływu przez ściany okrężnicy. Jeśli okrężnica nie może poradzić sobie z niezbędnym tempem oczyszczania limfy, wtedy zamiast niej organizm używa do tej pracy wątroby. Toksyny pobrane przez wątrobę są wydzielane jako elementy żółci. Gdy wypływ żółci staje się nadmierny, wtedy żółć cofa się do żołądka, wywołując mdłości. Większość traw jest oczyszczaczami limfy, z tego to powodu chore zwierzęta jedzą trawę. Możemy sobie uświadomić, jakie mogą pojawić się problemy, kiedy okrężnica jest zablokowana. Gdy się to stanie, produkty uboczne wracają do układu limfatycznego. Jeśli sytuacja ta trwa przez dłuższy czas, produkty uboczne cofają się do tkanek i może pojawić się choroba. Proces ten może wpływać na każdą część organizmu, ponieważ system limfatyczny obsługuje wszystkie komórki organizmu.

Możemy pozbyć się toksyn również poprzez pocenie się, np. podczas ćwiczeń. Nasze zatoki i skóra również mogą być dodatkowym narzędziem eliminacyjnym, za pomocą którego nadmiar śluzu czy toksyn może być uwolniony, odpowiednio poprzez przekrwienie zatok czy wysypki skórne.

Dlaczego tak ważne jest zapewnienie dobrze funkcjonującego systemu oczyszczającego organizm?

Codziennie jesteśmy narażeni na toksyny i to nie tylko ze źródeł zewnętrznych, lecz również z wewnętrznych. Tak więc, możemy stwierdzić, że zewnętrzne (egzogenne) i wewnętrzne (endogenne) źródła zatruwają lub zanieczyszczają nasz organizm. Stan homeostazy oznacza, że nasz organizm pozostaje w równowadze wewnętrznej. Ta równowaga zostaje zaburzona, kiedy spożywamy więcej, niż możemy wykorzystać lub spożywamy określone substancje, które są toksyczne. Toksyczność substancji może zależeć od dawki, częstotliwości podania czy siły toksyny. Substancja ta może wywołać natychmiastowy lub szybki początek objawów, tak jak czyni to wiele pestycydów i niektóre leki; możliwe jest również – i zdarza się to o wiele częściej, że negatywny wpływ ujawni się dopiero po dłuższym okresie, tak jak np. ekspozycja na azbest prowadzi do raka płuc.

Co to jest toksyna?

W zasadzie jest to każda substancja, która wywołuje podrażnienie i/lub poważne skutki w organizmie, zaburzając nasze biochemiczne czy narządowe funkcje. Może to wynikać z leków, które mają działania niepożądane czy z wzorów fizjologicznych, które są inne od naszych zwykłych funkcji. Wolne rodniki wywołują stan zapalny, przyspieszony proces starzenia i zwyrodnienie tkanek organizmu. Negatywne „etery”, psychiczne i duchowe wpływy, wzorce myśli i negatywne emocje – również mogą być toksynami – zarówno jako stresory, jak i poprzez zmianę normalnej fizjologii organizmu i prawdopodobnie wywołanie swoistych objawów.

W XXI. wieku toksyczność jest znacznie większym zmartwieniem, niż kiedykolwiek dotąd. Codziennie jesteśmy narażeni na coraz nowsze i silniejsze substancje chemiczne, zanieczyszczenie powietrza i wody, promieniowanie i energię nuklearną. Połykamy nowe chemikalia, używa-

my duże ilości różnych leków, spożywamy więcej cukru i rafinowanej żywności oraz sami nadużywamy różnych środków stymulujących i uspokajających. W efekcie wzrasta również ilość wielu chorób. Nowotwory i choroby sercowo-naczyniowe to dwie najważniejsze z nich. Kolejne to: zapalenie stawów, alergie, otyłość i wiele problemów skórnych. Ponadto, szeroki zakres objawów, takich jak bóle głowy, uczucie zmęczenia, kaszel, problemy żołądkowo-jelitowe czy wynikające z osłabienia odporności, również można powiązać z zatruciem organizmu.

Najczęstsze mechanizmy ekspozycji na czynniki toksyczne: inhalacje (palenie, zanieczyszczenie powietrza, wypełnienia amalgamatowe zębów), droga doustna (pozostałości chemiczne w żywności, substancje chemiczne w wodzie, leki), iniekcje (szczepionki, tatuaże), absorpcja (substancje chemiczne z materiałów syntetycznych, farb, plastików, pestycydy i nawozy chemiczne, rozpylane na trawnikach) i napromieniowanie (zdjęcie rentgenowskie, elektrownie jądrowe, przeprowadzanie prób nuklearnych, telefony i nadajniki komórkowe, monitory komputera i telewizyjne, urządzenia mikrofalowe, sieć wysokiego napięcia, transmisja radiowa i satelitarna). Większość leków, sztuczne dodatki do żywności i alergeny mogą tworzyć toksyczne elementy w organizmie. W rzeczywistości, każda substancja w określonych warunkach może być toksyczna.

Nasz organizm wytwarza toksyny również podczas swoich normalnych, codziennych funkcji. Aktywność biologiczna, komórkowa i fizyczna wytwarza substancje, które powinny zostać usunięte. Wolne rodniki są biochemicznymi toksynami. Inne są wynikiem fermentacji, procesów gnilnych i jęlczenia nie strawionego pokarmu, jak również odwodnienia i zaburzeń odżywiania. Ta endogenna toksyczność może być również efektem działania egzogennych toksyn, które powodują niedożywienie i zaburzenia trawienia w wyniku uszkodzenia układu nerwowego, immunologicznego i enzymatycznego. Kiedy substancje te nie są usuwane, mogą wywołać podrażnienie lub zapalenie komórek

i tkanek, hamując normalne funkcje na poziomie komórkowym, narządowym i całego organizmu. Różne drobnoustroje, grzyby i pasożyty również wytwarzają metaboliczne produkty uboczne, z którymi musimy sobie poradzić. Nasze myśli i emocje oraz stres sam w sobie generuje zwiększoną toksyczność biochemiczną. Właściwy poziom eliminacji tych toksyn jest niezbędny dla zdrowia. Najwyraźniej, prawidłowo funkcjonujący organizm został stworzony do utrzymywania toksyn na pewnym poziomie; problem jest z nadmiernym przyjmowaniem czy wytwarzaniem toksyn lub zaburzeniem procesów eliminacji.

Do najbardziej powszechnych objawów zatrucia zalicza się: bóle głowy, uczucie zmęczenia, dolegliwości ze strony błon śluzowych, zaburzenia trawienia, objawy alergiczne oraz nadwrażliwość na chemiczne, zapachowe i syntetyczne czynniki środowiska.

Odrutowanie pociąga za sobą zmiany w sposobie odżywiania i stylu życia, ponieważ metody te obniżają ilość przyjmowanych toksyn i poprawiają ich eliminację. Unikanie substancji chemicznych różnego pochodzenia, przetworzonej żywności, cukru, kawy, alkoholu, tytoniu i leków minimalizuje obciążenie toksynami. Kolejne kroki w procesie detoksykacyjnym to picie odpowiednich ilości wody, zwiększenie błonnika poprzez włączenie do diety większych ilości owoców i warzyw czy stosowanie naturalnych suplementów diety.

CHLOROFILINY WEWNĘTRZNY DEZODORANT

Chlorofiliny mogą być stosowane jako wewnętrzny dezodorant. Badania naukowe przeprowadzone w latach 40. i 50. XX w. ujawniły, że chlorofil stosowany powierzchniowo wykazywał właściwości dezodorujące na brzydko pachnące rany. Na podstawie tych obserwacji, klinicyści zaczęli stosować chlorofil w postaci doustnej u pacjentów z kolonostomią i ileostomią w celu kontroli fekalnego zapachu. Opublikowane opisy kilku przypadków wskazują, że doustne przyj-

mowanie chlorofilu zmniejszyło subiektywne oceny woni moczu i kału u osób nie kontrolujących czynności fizjologicznych.

CHLOROFILINA A PROCES GOJENIA RAN

Przeprowadzone w latach 40. badania wskazywały, że roztwór chlorofiliny spowalniał wzrost niektórych gatunków bakterii beztlenowych *in vitro* i przyspieszał gojenie ran u zwierząt eksperymentalnych. Na ich podstawie zaczęto stosować zewnętrznie maści i roztwory chlorofilu w leczeniu trudno gojących się ran u ludzi. Na podstawie serii dużych niekontrolowanych badań u pacjentów z trudno gojącymi się ranami, takimi jak owrzodzenia w przebiegu żylaków i odleżyn donoszono, że zewnętrznie stosowany chlorofil przyspieszał proces gojenia bardziej skutecznie, niż inne powszechnie używane leki. W późnych latach 50. chlorofilina była dodawana do maści zawierającej papainę i mocznik, używanych do chemicznego opracowania ran w celu zmniejszenia miejscowego zapalenia, przyspieszenia gojenia i kontrolowania nieprzyjemnego zapachu.

Chlorofilina sodowo-miedziowa jest czynnikiem przyspieszającym proces gojenia o ustalonym już historycznym znaczeniu. Wydaje się, że główną zaletą chlorofiliny jest fakt, że jest substancją antykoagulacyjną i przeciwzapalną, ponieważ zezwala na przedłużone użycie składników proteolitycznych – papainy i mocznika, które mogą z drugiej strony wywoływać zapalenie i hemaglutynację kapilar. Korzystne wyniki badań klinicznych prawdopodobnie są spowodowane faktem, że maść proteolityczna (zawierająca papainę, mocznik i chlorofilinę) gruntownie oczyszcza ranę ze wszystkich martwiczych tkanek, a następnie utrzymuje optymalne krążenie i drenaż, zezwalając na pełną dostępność do tkanek hematologicznych i odżywczych elementów.

Smith sugeruje, że kluczem do korzystnych właściwości chlorofiliny jest metaboliczny antagonizm, za pomocą którego są modyfikowane wzrost i aktywność zakażających bakterii. Mo-

dyfikacja prowadzi do zmniejszenia toksyczności pewnych bakteryjnych produktów metabolicznych. Równocześnie, chlorofilina sprzyja lub pobudza proliferację prawidłowych komórek, co w efekcie przyspiesza proces gojenia się ran. Ponadto, za właściwości kontrolujące woń odpowiedzialne jest działanie bakteriostatyczne chlorofiliny. Względnie mniejszą rolę w tym procesie odgrywa adsorpcja wonnych składników.

CHLOROFILINA A SUPLEMENTY DIETY

Liquid Chlorophyll jako suplement diety zawiera chlorofilinę (sól sodowo-miedziową chlorofilu), uzyskaną z lucerny siewnej, która jest skoncentrowanym źródłem chlorofilu „a” i „b”.

Lucerna siewna jest jedną z najbardziej badanych roślin i jednym z najlepszych źródeł białka, chlorofilu, karotenu, witaminy A (retinolu), D (kalcyferolu), E (tokoferoli), B₆ (pirydoksyny), K (filochinonów) i kilku enzymów trawiennych. Dzięki głębokiemu systemowi korzeniowemu, który zezwala na dobrą absorpcję składników mineralnych, lucerna jest dobrym źródłem wapnia, magnezu, fosforu, żelaza, potasu i pierwiastków śladowych. Kultury środkowo-europejskie przez długi okres czasu używały lucerny jako paszy dla koni, zapewniających zwiększoną szybkość i siłę zwierząt. Nazwali ją „Alfalfa”, co oznacza – ojciec wszystkich pokarmów”. Lucerna była używana przez wieki przez ludzi całego świata w celu ogólnego wsparcia i odmłodzenia. Badania sugerują, że może unieczynniać w wątrobie i jelicie cienkim chemiczne kancerogeny pokarmowe, zanim będą miały szansę wyrządzić jakąkolwiek szkodę organizmowi. Pomaga usunąć toksyny i neutralizować kwasy. Bogata w chlorofil i składniki odżywcze, alkalizuje i odtruwa organizm, zwłaszcza wątrobę.

Należy zaznaczyć, że chlorofilina to mieszanina sodowo-miedziowych soli, uzyskiwanych z chlorofilu. Podczas syntezy chlorofiliny, atom magnezu, znajdujący się w centrum pierścienia,

jest zastępowany atomem miedzi a łańcuch fitolowy zostaje usunięty. W przeciwieństwie do rozpuszczalnego w tłuszczach chlorofilu, chlorofilina jest rozpuszczalna w wodzie. Naukowcy nie są pewni, jaka ilość chlorofilu (i czy w ogóle) przedostaje się do krwioobiegu. Z drugiej strony cząsteczki chlorofiliny są w stanie „podróżować” po całym organizmie, ponieważ atom magnezu został zastąpiony atomem miedzi. Miedź, podobnie jak żelazo, jest nośnikiem tlenu. W rzeczywistości, cząsteczka chlorofiliny jest praktycznie identyczna z cząsteczką hemu, obecną w naszej krwi.

Chlorofilina posiada silne alkalizujące właściwości na poziomie przewodu pokarmowego, może przynosić korzyści pacjentom cierpiącym na reumatoidalne zapalenie stawów, pomaga usunąć nieprzyjemny zapach ciała i nieświeży oddech, łagodzi ból gardła, poprawia krążenie krwi, zmniejsza niestrawność oraz uczucie zmęczenia. Posiada silne antybakteryjne i przeciwzapalne działanie, wzmacnia odpowiedź immunologicz-

ną, optymalizuje i utrzymuje dobry stan zdrowia. Spośród innych jej zalet można jeszcze wymienić wiele innych, np.: wzmacnia komórki przed atakami bakterii, przyspiesza gojenie ran, jest pomocna w leczeniu wrzodów żołądkowych oraz ułatwia regularne wypróżnianie się.

Naturalny chlorofil nie jest toksyczny. Działanie toksyczne nie jest też przypisywane chlorofilinie, pomimo że już od ponad pięćdziesięciu lat jest stosowana u ludzi. Przyjmowana doustnie chlorofilina może spowodować zielone zabarwienie moczu lub kału, a także żółte lub czarne zabarwienie języka. Sporadycznie donoszono o bieguncie przy doustnym podawaniu. Może również być przyczyną fałszywie dodatniego wyniku testu na krew utajoną. Nie należy stosować produktu w czasie ciąży oraz karmienia piersią, ponieważ bezpieczeństwo chlorofilu czy chlorofiliny nie było testowane na tej grupie osób. U myszy chlorofilina łagodziła niektóre działania uboczne cyklofosfamidu. Nie zanotowano przypadków przedawkowania.

PIŚMIENNICTWO:

1. Ainge G., McGhie T. – Color in Fruit of the Genus Actinidia: Carotenoid and Chlorophyll Compositions. *Journal of Agricultural and Food chemistry.*, 2002, 50, 117-121.
2. Arbogast D., Bailey G., Breinholt V., Hendricks J., Pereira C. – Dietary Chlorophyllin Is a Potent Inhibitor of Aflatoxin B1 Hepatocarcinogenesis in Rainbow Trout. *Cancer Research.*, 1995, 55, 57-62.
3. Berkowitz G.A., Wu W. – Magnesium, potassium flux and photosynthesis. *Magnesium Research*, 1993, 6, 257-265.
4. Black C.B., Cowan J.A. – Magnesium – dependent enzymes in nucleic acid biochemistry. pp. 513-517, in *The Biological Chemistry of Magnesium*, (J.A. Cowan, ed.), New York VCH 1995.
5. Buchanan B.B. – Role of light in the regulation of chloroplast enzymes, *Ann.Rev.Plant Physiol.*, 1980, 31, 341-374.
6. Bulychev A.A., Vredenberg W.J. – Effect of ionophores A-23187 and nigericin on the light induced redistribution of magnesium potassium and hydrogen ions across the thylakoid membrane. *Biochimica et Biophysica Acta.*, 1976, 449, 48-58.

7. Cano M. – HPLS Separation of Chlorophyll and Carotenoid Pigments of Four Kiwi Fruit Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*, 1991, 39, 1786-1791.
8. Chernomorsky S., Poretz R., Segelman A. – Effect of Dietary Chlorophyll Derivatives on Mutagenesis and Tumor Cell Growth. *Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis.*, 1999, 79, 313-322.
9. Cowan J.A. (ed.) – The Biological Chemistry of Magnesium, (J.A. Cowan, ed.), New York VCH, 1995.
10. Dean J.R. – Atomic Absorption and Plasma Spectroscopy. John Wiley & Sons, Chichester, 1997.
11. Demmig B., Gimmler H. – Effect of divalent cations on cation fluxes across the chloroplast envelope and on photosynthesis of intact chloroplasts. *Zeitschrift fur Naturforschung*, 1979, 24C, 233-241.
12. Deshaies R.J., Fish L.E., Jagendorf A.T. – Permeability of chloroplast envelopes to Mg^{2+} . *Plant Physiology.*, 1984, 74, 956-961.
13. Dorenstouter H., Pieters G.A., Findenegg G.R. – Distribution of magnesium between chlorophyll and other photosynthetic functions in magnesium deficient 'sun' and 'shade' leaves of poplar. *Journal of Plant Nutrition*, 1985, 8, 1088-1101.
14. Fork D.C. – The control by state transitions of the distribution of excitation energy in photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1986, 37, 335-361.
15. Garban Z. „Biochemistry: Comprehensive Treatise (in romanian), Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1999.
16. Garban Z., Garban Gabriela „Human Nutrition, Vol.I (in romanian), 3rd edition, Ed.Orizonturi Universitare, Timisoara, 2003.
17. Goodwin T.W., Mercer E.I. „ Introduction to Plant Biochemistry, 2nd edition, Pergamon Press, Oxford-New York-Toronto-Sydney-Paris-Frankfurt, 1983.
18. Gupta A.S., Berkowitz G.A. – Development and use of chlorotetracycline fluorescence as a measurement assay of chloroplast envelope-bound Mg^{2+} . *Plant Physiology*, 1989, 89, 753-761.
19. Hainer R.M. – Studies of copper chlorophyllin-odorant systems. *Science.*, 1954, 119(3096), 609-610.
20. Heldt H.W., Werdan K., Milovancev M., Geller G. – Alkalization of the chloroplast stroma caused by light-dependent proton flux into the thylakoid space. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1973, 314, 224-241.
21. Hind G., Nakatani H.Y., Izawa S. – Light-dependent redistribution of ions in suspensions of chloroplast thylakoid membranes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1974, 71, 1484-1488.
22. Huber S.C., Maury W.J. – Effects of magnesium on intact chloroplasts. *Plant Physiology* , 1980, 65, 350-354.
23. Ishijima S., Uchibori A., Takagi H., Maki R., Ohnishi M. – Light-induced increase in free Mg^{2+} concentration in spinach chloroplasts: Measurement of free Mg^{2+} by using a fluorescent probe and intensity of stromal alkalinization. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2003, 412, 126-132.
24. Iyengar G.V., Kollmer W.E., Bowen H.J.M. – The Elemental Composition of Human Tissues and Body Fluids. (Weinheim, Verlag Chemie, New York,1978.
25. Kaiser W.M. – Effects of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiologia Plantarum*, 1978, 71, 142-149.
26. Katy J.J., Shipman L.L., Norris J.R. „Structure and function of photoreaction-centre chlorophyll, pp.1-34, in *Chlorophyll Organisation and Energy Transfer in Photosynthesis*, Ciba Foundation Symposium 61, (Wolstenholme G., Fitzsimons D.W., eds.), Excerpta Medica, Amsterdam-Oxford-New York, 1979.

27. Konrad M., Schlingmann K.P. – Gudermann T. – Insights into the molecular nature of magnesium homeostasis. *American Journal of Physiology: Renal physiology*, 2004, 286, F599-605.
28. Krause G.H. – Light-induced movement of magnesium ions in intact chloroplasts. Spectroscopic determination with Eriochrome Blue SE. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1977, 460, 500-510.
29. Kurvits A., Kirkby E.A. – The uptake of nutrients by sunflower plants (*Helianthus annuus*) growing in a continuous flowing culture system, supplied with nitrate or ammonia as a nitrogen source. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 1980, 143, 140-149.
30. Lu Y.-K., Chen Y.-R., Yang C.-M., Ifuku, K. – Influence of Fe- and Mg-deficiency on the thylakoid membranes of a chlorophyll-deficient ch5 mutant of *Arabidopsis thaliana*. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 1995, 36.
31. Maguire M.E., Cowan J.A. – Magnesium chemistry and biochemistry. *BioMetals*, 2002, 15, 203-210.
32. Marschner H. – Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press, San Diego, 1995.
33. Portis A.R. – Evidence of a low stromal Mg²⁺ concentration in intact chloroplasts in the dark. *Plant Physiology*, 1981, 67, 985-989.
34. Sarkar D., Sharma A., Talukder G. – Chlorophyll and chlorophyllin as modifiers of genotoxic effects. *Mutation Research.*, 1994, 318, 239-247.
35. Schultz G.S., Mast B.A. – Molecular analysis of the environment of healing and chronic wounds: cytokines, proteases, and growth factors. *Wounds*, 1998, 10(Suppl F),1F-9F.
36. Scott B.J., Robson A.D. – Distribution of magnesium in subterranean clover (*Trifolium subterranean* L.) in relation to supply. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1990, 41, 499-510.
37. Scott B.J., Robson A.D. – Changes in the content and form of magnesium in the first trifoliolate leaf of subterranean clover under altered or constant root supply. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1990, 41, 511-519.
38. Sharkey T.D. – Photosynthetic carbon reduction. pp. 111-122, in *Photosynthesis: A Comprehensive Treatise* (A. Raghavendra, ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
39. Shaul O. – Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *BioMetals*, 2002, 15, 309-323.
40. Smith L.W., Sano M.E. – Chlorophyll: an experimental study of its water-soluble derivatives. The effect of water-soluble chlorophyll derivatives and other agents upon the growth of fibroblasts in tissue culture. *J Lab Clin Med.*, 1944, 29, 241-246.
41. Smith L.W. – Chlorophyll: an experimental study of its water-soluble derivatives. Remarks on the history, chemistry, toxicity, and antibacterial properties of water-soluble chlorophyll derivatives as therapeutic agents. *J Lab Clin Med.*, 1944, 29, 647-653.
42. Taiz L., Zeinger E. – Plant Physiology. Benjamin/Cummings Publ. Co. Inc., Redwood City, 1991.
43. Wu W., Peters J., Berkowitz G.A. - Surface charge-mediated effects of Mg²⁺ on K⁺ flux across the chloroplast envelope membrane are associated with the regulation of stromal pH and photosynthesis. *Plant Physiology*, 1991, 97, 580-587.

Tłumaczenie: lek. med. Małgorzata Miktus