

*Kinga Tataruch*  
Katedra Chemii Ogólnej  
Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

# Kapsułkowanie – metoda stabilizacji witaminy A w technologii wzbogacania żywności

## Streszczenie

Technologia wzbogacania produktów żywnościowych bioaktywnymi składnikami, takimi jak witaminy, ze względu na ich dużą wrażliwość na warunki fizykochemiczne w procesie wytwarzania żywności funkcjonalnej wymaga opracowania nowych i innowacyjnych metod. Niekorzystne działanie czynników temperaturowych, wysokiego ciśnienia, czy też czynników utleniających może powodować obniżenie biologicznej aktywności oraz chemiczną degradację bioaktywnych komponentów. Jednym z wyzwań stawianych technologii wzbogacania żywności jest opracowanie odpowiedniej formułacji rozpuszczalnej w tłuszczach witaminy A. Poszukiwanie nowych nośników witaminy A jest niezwykle ważne ze względu na jej ograniczoną stabilność, nierozpuszczalność w wodzie oraz toksyczny wpływ nadmiaru witaminy na organizm.

W niniejszej pracy podjęto próbę scharakteryzowania właściwości i roli witaminy A jako dodatku bioaktywnego w technologii wzbogacania żywności. Szczególną uwagę zwrócono na potencjalne metody stabilizacji retinolu udoskonalające jego właściwości funkcjonalne.

**Słowa kluczowe:** witamina A, stabilność, kapsułkowanie, wzbogacanie żywności.

## 1. Wprowadzenie

Współczesna nauka dostarcza szerokiego zakresu informacji o roli poszczególnych składników pokarmowych w odniesieniu do zdrowego stylu życia i zapo-

bieganiu chorobom cywilizacyjnym. W odpowiedzi na wymagania coraz bardziej świadomych konsumentów, przemysł spożywczy oprócz rozwoju sensorycznej strony produktów mocniej koncentruje uwagę na ich walorach zdrowotnych oraz możliwości wzbogacenia ich o nowe składniki odżywcze. Najnowsze innowacyjne rozwiązania w technologii wytwarzania żywności umożliwiają redukcję niepożądanych składników pokarmowych na rzecz wzbogacania jej w biokomponenty, wykazujące pozytywny wpływ na zdrowie [Hsieh i Offori 2007, s. 65–73].

Wzrastające zainteresowanie wpływem spożywanych pokarmów na zdrowie człowieka przyczyniło się do zastosowania w przemyśle spożywczym nowej generacji substancji dodatkowych (tak zwane dodatki funkcjonalne, bioaktywne i odżywcze), które wzbogacają pokarm w niektóre składniki odżywcze. Kontrolowana zawartość składników odżywczych w żywności odgrywa ważną rolę ze względu na ich wpływ na stan zdrowia człowieka. Nadmiar bądź ich niedobór bywa przyczyną wielu zaburzeń procesów fizjologicznych. Nie bez znaczenia jest również ich zróżnicowana biodostępność w zależności od postaci w jakiej występują.

Technologia wzbogacania produktów żywnościowych bioaktywnymi składnikami, takimi jak: witaminy, mikro- i makroelementy, przeciwutleniacze oraz składniki odżywcze, wymaga opracowania nowych i innowacyjnych metod, ze względu na dużą wrażliwość powyższych składników na warunki fizykochemiczne w procesie wytwarzania żywności funkcjonalnej. Niekorzystne działanie czynników temperaturowych, wysokiego ciśnienia, czy też czynników utleniających może powodować obniżenie biologicznej aktywności oraz chemiczną degradację bioaktywnych komponentów.

W produkcji żywności funkcjonalnej, w której stosuje się dodatki bioaktywne, nanotechnologia stwarza ogromne możliwości wytwarzania materiałów o kontrolowanej strukturze i zaprojektowanych właściwościach fizycznych, chemicznych i biologicznych. Obecnie prowadzonych jest wiele badań dotyczących opracowania nowych technologii kapsułkowania, dostarczania oraz uwalniania składników odżywczych z wykorzystaniem nowych materiałów strukturalnych [Sekhon 2010, s. 1–15; Weiss, Takhistov i McClements 2006, s. 107–116].

Poszukiwanie nowych, skutecznych nośników dla dodatków funkcjonalnych oparte jest na kilku podstawowych założeniach. Systemy transportujące składniki odżywcze powinny dostarczać bioaktywnych cząsteczek do miejsc ich działania. Ich główną funkcją jest ochrona zamkniętego składnika przed chemiczną i biologiczną degradacją podczas procesów technologicznych, w trakcie przechowywania oraz transportu do miejsc ich działania. Dodatkowo w sposób kontrolowany powinny uwalniać składniki funkcjonalne przy zmieniających się wartościach pH, siły jonowej czy temperatury. Nośniki witamin, które mogą być potencjalnie dodawane do żywności, powinny być nietoksyczne, bezpieczne, a także przyswa-

jalne przez organizm. Nośniki jak również ich poszczególne komponenty powinny zostać zatwierdzone przez Komitet Naukowy ds. Żywności.

Intensywne badania nad poszukiwaniem systemów transportujących składniki odżywcze i dodatki bioaktywne doprowadziły do opracowania skutecznych metod projektowania i przygotowywania stabilnych i efektywnych preparatów. Technologia nano- i mikrokapsułkowania, znana i wykorzystywana od wielu lat w przemyśle farmaceutycznym i chemicznym jest obecnie stosowana w przemyśle spożywczym do zamykania i dostarczania składników odżywczych, enzymów, komórek i biododatków poprzez ich zamykanie w nano- i mikrokapsułkach. Kapsułkowanie polega na tworzeniu kapsułki (otoczki) wokół stałych lub płynnych składników aktywnych (stanowiących rdzeń kapsułki) i umożliwia ich wprowadzenie do produktów żywnościowych oraz ich kontrolowane uwalnianie w określonym czasie i określonej objętości [Champagne 2007, s. 184–190; Dłużewska 2008, s. 30–35; Gibbs *et al.* 1999, s. 213–224; Janiszewska i Witrowa-Rajchert 2006, s. 40–45; Pothakamury i Barbosa-Canovas 1995, s. 397–406].

Rozwój technik oraz metod kapsułkowania funkcjonalnych składników odżywczych przyczynił się do udoskonalenia i unowocześnienia procesów technologicznych przygotowywania funkcjonalnych nośników w przemyśle spożywczym. Do układu cząstek będących nośnikami substancji odżywczych należą mikrokapsułki, nanokapsułki oraz liposomy. Obecnie do ich produkcji wykorzystuje się procesy (1) tworzenia zasocjowanych koloidów, takich jak micelle i pęcherzyki surfaktantowe czy dyspersje lipidowe [Garti *et al.* 2005, s. 206–218] (2) tworzenia kompleksów inkluzyjnych z cyklodekstrynami [Górska i Kozłowska 2008, s. 80–84] (3) powstawania dwu i trójfazowych nanoemulsji [Garti i Benichou 2004, s. 353–412] oraz (4) przygotowywania nano i mikrocząstek polimerowych [Bodmerie i McGinity 1987, s. 279–812]. Wspomniane wyżej nośniki mogą być wytwarzane: w drodze koacerwacji, ekstruzji, polimeryzacji, inkluzji, z wykorzystaniem suszenia rozpyłowego [Dłużewska 2008, s. 30–35; Samborska 2008, s. 62–69] oraz technologii liposomowej [Taylor *et al.* 2005, s. 587–605].

Jednym z wyzwań stawianych technologii wzbogacania żywności jest opracowanie odpowiedniej postaci rozpuszczalnej w tłuszczach witaminy A oraz jej prowitaminy. Poszukiwanie nowych nośników witaminy A jest niezwykle ważne, ze względu na jej ograniczoną stabilność, nierozpuszczalność w wodzie oraz toksyczny wpływ nadmiaru witaminy na organizm.

W niniejszej pracy scharakteryzowano właściwości i rolę witaminy A jako dodatku bioaktywnego w technologii wzbogacania żywności. Dodatkowo zaprezentowano i omówiono metody stabilizacji układów retinolowych z wykorzystaniem technologii kapsułkowania.

## 2. Witaminy – funkcjonalne dodatki do żywności

Witaminy są grupą organicznych substancji odżywczych występujących w małych ilościach w pożywieniu i niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Witaminy są katalizatorami reakcji biochemicznych, wchodzi w skład enzymów złożonych, są również niezbędne do wzrostu i zachowania wszystkich funkcji życiowych organizmu [Marks 1979]. W trakcie ewolucji zwierzęta utraciły zdolność do syntezy większości witamin, dlatego też witaminy muszą być w niewielkich ilościach dostarczane z pożywieniem. Niektóre witaminy wytwarzają zwierzęta z odpowiednich związków pochodzenia roślinnego, takie związki nazywane są prowitaminami. Niedobory witamin spowodowane nieprawidłowym odżywianiem, jak również upośledzeniem procesu ich prawidłowego wchłaniania z pokarmu mogą być przyczyną objawów chorobowych. Także przedawkowanie niektórych witamin, szczególnie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach takich jak: witamina A lub D, może być przyczyną wystąpienia objawów toksycznych.

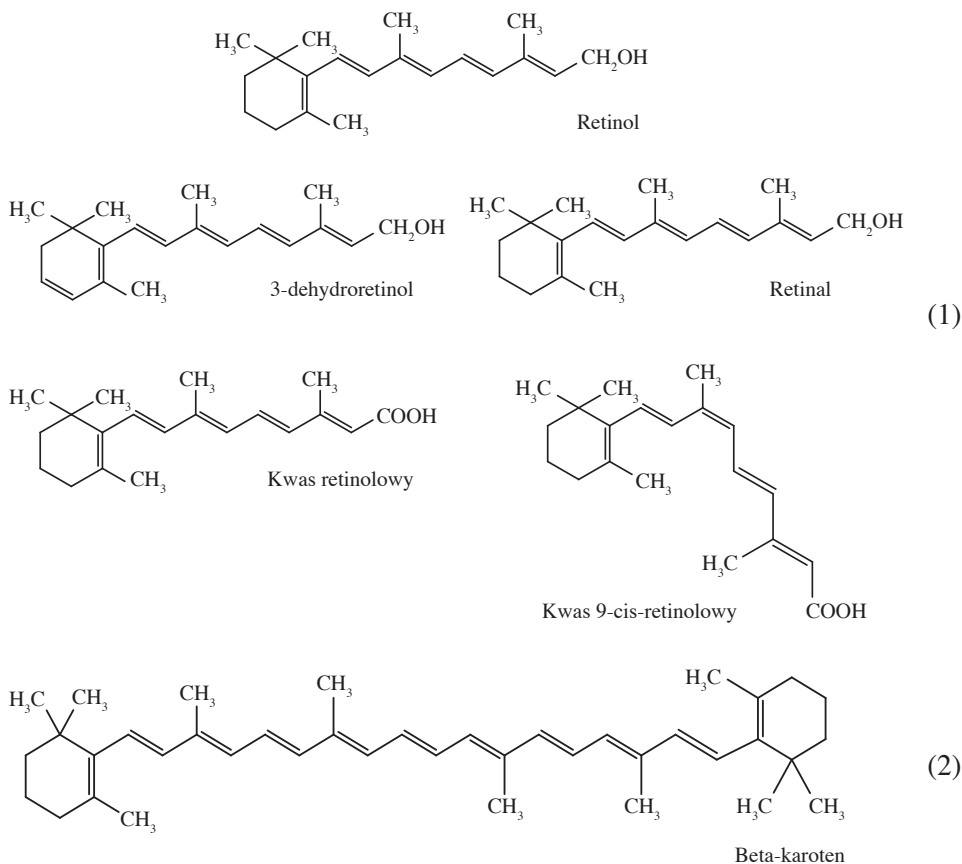
Niedoborom witamin w organizmie zapobiega spożywanie różnorodnych pokarmów bogatych w witaminy. Zawartość witamin w surowcach oraz produktach żywnościowych jest jednym z głównych wskaźników ich jakości oraz prawidłowości stosowanych zabiegów technologicznych. Obecnie na szeroką skalę wykorzystywany jest proces wzbogacania żywności w witaminy, praktyki te stosuje się w celu zwiększenia zawartości naturalnie obecnych w składnikach odżywczych witamin [Świdorski i Waszkiewicz-Robak 2005, s. 20–22].

Ze względu na bardzo zróżnicowaną budowę chemiczną większość witamin wykazuje odmienną wrażliwość na czynniki środowiskowe, w jakich występują, oraz w jakich są przechowywane. Przygotowywanie użytkowych preparatów witaminowych odgrywa istotną rolę w technologii wzbogacania żywności. Złożoność oraz koszt takich procesów może być ważnym czynnikiem ich użyteczności i popularności przemysłowej. Przy opracowywaniu odpowiednich procesów formulacyjnych zwraca się uwagę na możliwość zwiększenia stabilności cząsteczek witamin oraz poprawy ich biodostępności.

## 3. Witamina A

Aktywność witaminy A wykazuje wiele związków strukturalnie spokrewnionych. W organizmie zwierzęcym oraz produktach pochodzenia zwierzęcego są to tak zwane retinoidy – retinol (witamina A<sub>1</sub>) oraz jego pochodne: retinal, 3-dehydroretinol (witamina A<sub>2</sub>) oraz kwas retinolowy. W roślinach, grzybach oraz produktach spożywczych pochodzenia roślinnego występują karotenoidy, związki, które są prekursorami witaminy A. Najlicniejszą grupę karotenoidów, stanowią karoteny

$\alpha$ ,  $\beta$  oraz  $\gamma$ , które są prowitaminami witaminy A i w organizmie ludzkim są przekształcane do formy aktywnej witaminy.  $\beta$ -karoten i inne karotenoidy prowitaminowe po rozszczepieniu przez jelitową dioksygenazę karotenową, tworzą retinal, który ulega redukcji do retinolu, a następnie estryfikacji i wydzieleniu w chylomikronach razem z estrami utworzonymi z retinolu zawartego w pożywieniu. Wzory strukturalne witamin z grupy A (1) oraz  $\beta$ -karotenu (2) są następujące:



Retinal, czyli aldehyd retinalowy, uczestniczy w procesie widzenia, spełniając rolę grupy prostetycznej dla wyspecjalizowanych, wrażliwych na światło białek opsynowych. W siatkówce oka tworzy receptory odpowiedzialne za proces widzenia nocnego, dziennego i rozróżniania kolorów: rodopsynę (w pręcikach) i jodopsynę (w czopkach). Proces ten oparty jest na reakcji izomeryzacji całkowicie-trans-retinolu (*all-trans-retinol*) do 11-cis-retinolu, który w kolejnej reakcji utleniany jest do 11-cis-retinalu. Produkt reakcji utlenienia reaguje z resztą lizyny cząsteczki opsyny, tworząc rodopsynę. Absorpcja światła przez rodopsynę powoduje izomeryzację

postaci 11-cis do całkowicie-trans oraz zmianę konformacyjną opsyny. W rezultacie retinal odłącza się od białka, inicjując powstawanie impulsu nerwowego.

Witamina A nazywana jest często witaminą wzrostową ze względu na rolę kwasów retinolowych w regulacji procesów wzrostu, rozwoju i różnicowania komórek i tkanek. Kwas retinolowy odgrywa ważną rolę w syntezie hormonów oraz regulacji ekspresji genów poprzez łączenie się z receptorem jądrowym w sekwencji odpowiedzi hormonalnej [Murray, Granner i Rodwell 2006].  $\beta$ -karoten ma szczególne znaczenie jako naturalny antyutleniacz mogący chronić przed chorobami serca i regulować system immunologiczny [Minguez-Mosquera, Hornero-Mendez i Perez-Galvez 2002].

Niedobór witaminy A jest główną przyczyną ślepoty i stanowi problem o zasięgu światowym. Pierwszymi objawami niedoboru tej witaminy jest utrata rozróżniania koloru zielonego, a następnym zaburzenia adaptacji do słabego oświetlenia oraz kurza ślepotą (upośledzenie widzenia nocnego). Dłużej trwający niedostatek jest przyczyną suchości spojówek prowadzący do keratynizacji rogówek i ślepoty. Ze względu na rolę witaminy A w różnicowaniu komórek układu immunologicznego nawet łagodne niedobory są przyczyną zwiększonej podatności na infekcje.

Ze względu na ograniczoną możliwość ustroju do metabolizowania witaminy A oraz jej lipofilowy charakter, nadmiar witaminy może być toksyczny dla organizmu. Znaczne nagromadzenie witaminy A jest uważane za stan patologiczny. Duże stężenie witaminy we krwi, szczególnie jej wolnej formy niezwiązanej z nośnikiem białkowym osocza wywołuje bóle głowy, nudności i brak apetytu. Powoduje również wzrost ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego, prowadzi do zaburzenia homeostazy wapniowej oraz pojawienia się zmian skórnych (sucha, łuszcząca się skóra, łysienie) [Binkley i Kruger 2000, s. 138–144].

#### 4. Chemiczna niestabilność witaminy A

Retinol, jego pochodne oraz karoteny stanowią grupę hydrofobowych związków organicznych rozpuszczalnych w rozpuszczalnikach organicznych oraz lipidach. Układ sprzężonych wiązań podwójnych w cząsteczkach związków z grupy witaminy A oraz jej prowitaminy uwrażliwia cząsteczki na działanie wielu czynników fizykochemicznych oraz wpływa na ich stabilność chemiczną i przechowalniczą. Witamina A wykazuje dużą wrażliwość na obecność tlenu oraz światła (szczególnie światła o długości fali poniżej 415 nm), które katalizują procesy oksydacyjnej degradacji oraz izomeryzacji wiązania podwójnego [Carlotti, Rossatto i Gallarate 2002, s. 85–94]. Duża dawka światła uaktywnia dodatkowe procesy fotochemiczne prowadzące do dimeryzacji oraz polimeryzacji cząsteczki retinolu. W wysokiej

temperaturze obserwujemy rozkład witaminy, a w środowisku kwaśnym jony wodorowe uaktywniają wiązania podwójne, ułatwiając utlenienie cząsteczki retinolu [El-Agamey *et al.* 2004, s. 37–48].

## 5. Technologie stabilizacji witaminy A

Dodawanie do żywności lub stosowanie w jej produkcji składników odżywczych, takich jak witaminy, musi spełniać wymagania zawarte w obowiązujących przepisach, które w krajach Unii Europejskiej są regulowane przyjętą dyrektywą 2006/1925/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 20 grudnia 2006 r. w sprawie dodawania do żywności witamin i składników mineralnych oraz niektórych innych substancji [Dziennik Urzędowy UE 2006]. Przepisy niniejszego rozporządzenia zaliczają witaminę A do istotnych składników odżywczych oraz dopuszczają jej dodawanie do żywności w postaci czterech form chemicznych, a mianowicie: retinolu, octanu retinyłu, palmitynianu retinyłu oraz jej prowitaminy  $\beta$ -karotenu.

Witamina A jest substancją nierozpuszczalną w wodzie, co znacznie ogranicza możliwość jej zastosowania jako dodatku funkcjonalnego do żywności, dlatego też w celu zwiększenia jej biodostępności poszukuje się nowych metod formulacji tej witaminy. Dodatkowo ze względu na dużą niestabilność cząsteczek retinoidów istnieje potrzeba zamykania witaminy A w nośnikach, w celu ochrony białej cząsteczki przed degradacją chemiczną i biologiczną. Stosowane powszechnie metody oraz warunki procesów technologicznych, jakim poddaje się produkty spożywcze oraz warunki ich przechowywania, wpływają na tempo przemian aktywności biologicznej witaminy A. Witamina A w nadmiarze może być toksyczna, potrzebne są zatem układy o kontrolowanym sposobie dostarczania witaminy do organizmu, które stopniowo uwalniałyby witaminę A.

Bezpieczne stosowanie witaminy A w przemyśle spożywczym wymaga zatem zapewnienia stabilności i odpowiedniej trwałości witaminy A w złożonych matrycach artykułów spożywczych. Poniżej zaprezentowano krótki przegląd technologii stabilizacji witaminy A.

### ***Kapsułkowanie liposomowe***

Technologia liposomowa oferuje nowoczesne rozwiązania dotyczące zastosowania liposomów w przemyśle spożywczym, między innymi umożliwia zamykanie składników odżywczych oraz ich uwalnianie w odpowiednim i określonym czasie. Liposomy są dobrze zdefiniowanymi strukturami pęcherzykowymi, utworzonymi z naturalnych, nietoksycznych składników (głównie fosfolipidów soi i jaja), co wpływa na ich atrakcyjność jako nośników składników odżywczych. Liposomy posiadają zdolność do kapsułkowania nierozpuszczalnych molekuł,

takich jak witaminy, poprzez ich solubilizację we wnętrzu hydrofobowej warstwy lipidowej.

Potencjał aplikacyjny liposomów w przemyśle spożywczym został starannie omówiony w pracy T.M. Taylora i współautorów [2005, s. 587–605]. Autorzy wykazali zdolność liposomów do stabilizacji i ochrony cząsteczek witamin w produktach żywnościowych, w tym formy aldehydowej witaminy A (retinalu).

W swoich pracach S. Ko i S.C. Lee [2010, s. 6158–6161] oraz S.C. Lee i współautorzy [2002, s. 358–363] przedstawiają zastosowanie technologii liposomowej do uzyskiwania stabilnych układów retinolowych. Badania wykazały zwiększony poziom stabilności dla witaminy A zamkniętej w zawieszynie liposomowej i poddanej działaniu czynników destabilizujących (temperatura i promieniowanie UV) w porównaniu z wolną formą retinolu w identycznych warunkach eksperymentalnych [Ko i Lee 2010, s. 6158–6161]. Ponadto zbadano wpływ pH oraz obecności antyoksydantów na proces degradacji retinolu w pęcherzykach liposomowych. Dowiedziono, że w pH od 7 do 11 retinol zamknięty w liposomach wykazuje znacznie wolniejszy stopień degradacji aniżeli wolny retinol lub retinol z dodatkiem  $\alpha$ -tokoferolu [Lee *et al.* 2002, s. 358–363].

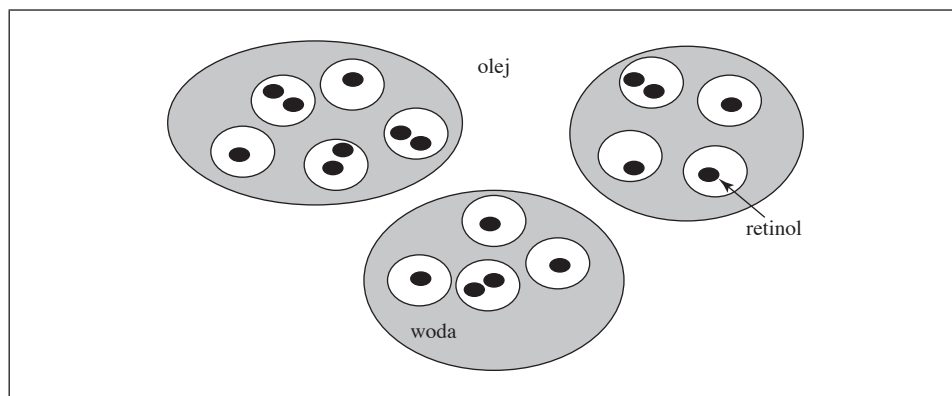
### **Układy emulsyjne**

W przemyśle spożywczym w celu ułatwienia przyswajania hydrofobowych substancji smakowych, zapachowych oraz witamin przygotowuje się mikroemulsje spożywcze [Garti i Benichou 2004, s. 353–412; Garti i *et al.* 2004, s. 183–190]. Mikroemulsje to termodynamicznie stabilne dyspersje oleju w wodzie lub wody w oleju tworzące się spontanicznie w obecności surfaktantów. Układy te charakteryzuje duża powierzchnia międzyfazowa oraz zdolność solubilizacji substancji biologicznie aktywnych.

Technologia tworzenia stabilnych emulsji typu olej w wodzie (O/W), woda w oleju (W/O) oraz emulsji podwójnej typu olej–woda–olej (O/W/O) okazała się niezwykle skuteczną metodą na zwiększanie stabilności i biodostępności witaminy A [Yoshida *et al.* 1999, s. 1–6]. Zaprezentowane wyniki wykazały wysoką efektywność zamykania retinolu w badanych emulsjach oraz największą efektywność stabilizacyjną emulsji typu O/W/O.

O. Kislitza, O. Manaenkov i A. Savin [2009, s. 24–26] zaproponowali nową metodę otrzymywania trwałych emulsji typu O/W zbudowanych z fazy olejowej zdyspergowanej w wodnym roztworze alginianu sodu. Poprzez zainicjowanie procesu sieciowania alginianu, krople oleju przekształcono w mikrokapsuły z rdzeniem zawierającym octan retinolu. W prezentowanych badaniach określono wpływ czynników fizykochemicznych (promieniowanie UV, temperatura, dodatek metali ciężkich, obecność tlenu cząsteczkowego) na proces kapsulacji octanu retinolu oraz jego stabilność w polimerowych nanocząstkach. Przeprowadzone





Rys. 1. Schemat dystrybucji retinolu w emulsji typu O/W/O

Źródło: opracowanie własne.

doświadczenia dowiodły, że proces kapsulacji zwiększa stabilność białczastej i może stanowić skuteczną metodę ochrony niestabilnej witaminy A przed czynnikami degradującymi [Kislitza, Manaenkov i Savin 2009, s. 24–26].

### **Kompleksy inkluzyjne z cyklodekstrynami**

Spośród wielu technik kapsułkowania, inkluzja cząsteczkowa cieszy się coraz większym uznaniem. Największą zaletą tej techniki jest zapewnienie wysokiej stabilności podatnym na utlenienie składnikom odżywczym poprzez ich włączenie w struktury cyklodekstryn [Górska i Kozłowska 2008, s. 80–84]. Cyklodekstryny stanowią grupę cyklicznych oligosacharydów powstających podczas enzymatycznej hydrolizy skrobi i charakteryzujących się właściwościami kompleksującymi. Powierzchnia cyklodekstryn ma charakter hydrofilowy, dlatego są one rozpuszczalne w wodzie, natomiast wewnątrz ma charakter hydrofobowy. Kompleksowanie molekuł przez cyklodekstryny następuje poprzez niekowalencyjne wiązania pomiędzy inkludowaną cząsteczką a wnęką cyklodekstryn. W trakcie powstawania trwałego kompleksu inkluzyjnego (typu „gospodarz–gość”) nie tworzą się i nie ulegają zerwaniu żadne wiązania o charakterze kowalencyjnym.

Od czasu odkrycia cyklicznych oligosacharydów, rozpoczęto próby modyfikacji właściwości witamin, poprzez ich kompleksowanie z cyklodekstrynami. Hydrofilowe cząsteczki cyklodekstryn tworzą z lipofilową i labilną cząsteczką kwasu retinowego rozpuszczalne w wodzie kompleksy. Proces inkludowania zwiększa ponadstukrotnie rozpuszczalność kwasu retinowego, poprawia stabilność oraz przyswajalność biologiczną witaminy A [Qi i Shieh 2002, s. 133–136].

Efektywne wykorzystanie procesu inkluzji do ochrony retinoidów przed fotomeryzacją oraz fotodestrukcją zostało zaprezentowane w pracach E. Semenova

i współautorów [2002, s. 155–158], S. Munoz-Botella [2002, s. 161–170] oraz K.L. Yap i współpracowników [2005, s. 49–56].

### **Stale nanocząstki lipidowe**

W latach 90. XX w. uwaga naukowców skupiła się wokół nowej postaci nośnika substancji aktywnych, alternatywnej wobec tradycyjnych układów koloidalnych, której matrycę stanowiły lipidy stałe w temperaturze pokojowej. Tego typu układy o rozmiarach nanometrycznych uzyskały nazwę „stałe nanocząstki lipidowe SLN” (*solid lipid nanoparticles*). Sztuczny rdzeń lipidowy, zbudowany z wysoko oczyszczonych triglicerydów, może silnie wiązać substancje czynne i jednocześnie chronić je przed degradacją chemiczną. Stałe nanocząstki lipidowe najczęściej występują w postaci wodnej zawiesiny, stabilizowanej przez dodatek związków powierzchniowo czynnych (emulgatorów) i innych substancji pomocniczych [Lasoń i Ogonowski 2011, s. 969–967]. Od chwili pierwszego zastosowania stałych nanocząstek lipidowych rozpoczęto intensywne badania nad ich wykorzystaniem jako potencjalnych nośników witaminy A. Prowadzone na szeroką skalę badania doprowadziły do otrzymania wydajnych i stabilnych lipidowych nośników, charakteryzujących się wysoką efektywnością kapsułkowania retinoidów [Carlotti *et al.* 2005, s. 125–136; Jennings i Gohla 2001, s. 149–158; Lim, Lee i Kim 2004, s. 53–61].

## **6. Podsumowanie**

Od ponad 10 lat obserwuje się w Europie zjawisko stosowania dodatków bioaktywnych w tak zwanej żywności funkcjonalnej. Dodatki te stanowią ważny segment związków wykorzystywanych w przemyśle spożywczym. Niektóre z nich, w szczególności zaś witaminy, są substancjami nietrwałymi i pod wpływem takich czynników, jak: wilgoć, tlen z powietrza, promieniowanie UV czy temperatura, mogą zmieniać swoje właściwości bioaktywne, a co za tym idzie także jakość produktu, w którym są stosowane. Prowadzone badania nad stabilnością oraz biodostępnością witaminy A dowiodły, że liposomowe, emulsyjne oraz stałe lipidowe formułacje retinolu i jego pochodnych, jak również ich kompleksy inkluzyjne z cyklodekstrynami potencjalnie możliwe do zaimplementowania w produktach żywnościowych poprawiają stabilność, skuteczność oraz profil bezpieczeństwa witaminy.

## Literatura

- Binkley N., Krueger D. [2000], *Hypervitaminosis A and Bone*, „Journal of Nutrition”, vol. 58.
- Bodmerie R., McGinity J.W. [1987], *Poly lactid acid Microspheres Containing Guanidine Base and Guanidine Sulphate Prepared by the Solvent Evaporation Technique*, „Journal of Microencapsulation”, nr 4.
- Carlotti M.E., Rossatto V., Gallarate M. [2002], *Vitamin A and Vitamine A Palmitate Stability over Time and under UVA and UVB Radiation*, „International Journal of Pharmaceutics”, vol. 240, nr 1–2.
- Carlotti M.E. et al. [2005], *Photostability and Stability over Time of Retinyl Palmitate in an O/W Emulsion and in SLN Introduced in the Emulsion*, „Journal of Dispersion Science and Technology”, vol. 26.
- Champagne C.P. [2007], *Microencapsulation for the Improved Delivery of Bioactive Compounds into Food*, „Current Opinion in Biotechnology”, vol. 18, nr 2.
- Dłużewska E. [2008], *Mikrokapsułkowanie dodatków do żywności*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 5.
- Dziennik Urzędowy UE [2006], L 404 z dnia 30.12.2006 – Rozporządzenie (WE) nr 1925/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 grudnia 2006 r. w sprawie dodawania do żywności witamin i składników mineralnych oraz niektórych innych substancji.
- El-Agamey A. et al. [2004], *Carotenoid Radical Chemistry and Antioxidant/pro-oxidant Properties*, „Archives of Biochemistry and Biophysics”, vol. 430, nr 1.
- Garti N., Benichou A. [2004], *Recent Development in Double Emulsions for Food Applications*, Friberg S., Karsson K., Sjoblom, „Journal Food Emulsions” 4<sup>th</sup> ed., Marcel Dekker, New York.
- Garti N. et al. [2004], *Solubilization of Active Molecules in Microemulsions for Improved Environmental Protection*, „Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects”, vol. 230.
- Garti N. et al. [2005], *Nano-sized Self-assemblies of Nonionic Surfactants as Solubilization Reservoirs and Microreactors for Food Systems*, „Soft Matter”, vol. 1, nr 3.
- Gibbs B.F. et al. [1999], *Encapsulation in the Food Industry: a Review*, „International Journal of Food Science and Nutrition”, vol. 50.
- Górska A., Kozłowska M. [2008], *Zastosowanie cyklodekstryn w przemyśle spożywczym*, „Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego”, vol. 2.
- Hsieh Y.H.P., Ofori J.A. [2007], *Innovations in Food Technology for Health*, „Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition”, vol. 26.
- Janiszewska E., Witrowa-Rajchert D. [2006], *Mikrokapsułkowanie aromatów*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 5.
- Jenning V., Gohla S.H. [2001], *Encapsulation of Retinoids in Solid Lipid Nanoparticles (SLN)*, „Journal of Microencapsulation”, vol. 18.
- Kislitza O., Manaenkov O., Savin A. [2009], *Microencapsulation of Retinol-acetate in Alginate Microspheres*, XVII<sup>th</sup> International Conference on Bioencapsulation, Groningen, Netherlands.
- Ko S., Lee S.C. [2010], *Effect on Nanoliposomes on the Stabilization of Incorporated Retinol*, „African Journal of Biotechnology”, vol. 9, nr 37.

- Lasoń E., Ogonowski J. [2011], *Stale nanocząstki lipidowe – charakterystyka, zastosowanie i otrzymywanie*, „Chemik. Nauka–Technika–Rynek”, vol. 65.
- Lee S.C. et al. [2002], *Stabilization of Retinol through Incorporation into Liposome*, „Journal of Biochemistry and Molecular Biology”, vol. 35, nr 4.
- Lim S.J., Lee M.K., Kim C.K. [2004], *Altered Chemical and Biological Activities of All-trans Retinoic Acid Incorporated in Solid Lipid Nanoparticle Powders*, „Journal of Controlled Release”, vol. 100.
- Marks J. [1979], *A Guide to the Vitamins: Their Role in Health and Disease*, MTP, Medical and Technical Publishing Co, England.
- Minguez-Mosquera M.I., Hornero-Mendez D., Perez-Galvez A. [2002], *Carotenoids and Provitamin A in Functional Foods*, CRC Press LLC.
- Munoz-Botella S. [2002], *Differentiating Geometrical Isomers of Retinoids and Controlling Their Photo-isomerization by Complexation with Cyclodextrins*, „Analytica Chimica Acta”, vol. 468.
- Murray R.K., Granner D.K., Rodwell V.W. [2006], *Biochemia Harpera*, The Mc-Graw-Hill Companies, New York.
- Pothakamury U.R., Barbosa Canovas G.V. [1995], *Fundamental Aspect of Controlled Release in Foods*, „Trends in Food Science & Technology”, vol. 6.
- Qi Z., Shieh W.J. [2002], *Aqueous Media for Effective Delivery of Tretinoin*, „Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry”, vol. 44.
- Samborska K. [2008], *Suszenie rozpyłowe w przemyśle spożywczym*, „Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego”, vol. 1.
- Sekhon B.S. [2010], *Food Nanotechnology – an Overview*, „Nanotechnology, Science and Application”, vol. 3.
- Semenova E. et al. [2002], *Stabilization of All-trans-retinol by Cyclodextrins: a Comparative Study Using HPLC and Fluorescence Spectroscopy*, „Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry”, vol. 44.
- Świdorski F., Waszkiewicz-Robak B. [2005], *Składniki bioaktywne w żywności funkcjonalnej*, „Przemysł Spożywczy” vol. 4.
- Taylor T.M. et al. [2005], *Liposomal Nanocapsules in Food Science and Agriculture*, „Critical Reviews in Food Science and Nutrition”, vol. 45, nr 7–8.
- Weiss J., Takhistov P., McClements D.J. [2006], *Functional Materials in Food Nanotechnology*, „Journal of Food Science”, vol. 71, nr. 9.
- Yap K.L. et al. [2005], *Characterization of the 13-cis-retinoic Acid/cyclodextrin Inclusion Complexes by Phase Solubility, Photostability, Physicochemical and Computational Analysis*, „European Journal of Pharmaceutical Sciences”, vol. 25.
- Yoshida K. et al. [1999], *Stability of Vitamin A in Oil-in-water-in-oil-type Multiple Emulsions*, „JAOCS”, vol. 76, nr 2.

## Encapsulation – a Method of Stabilising Vitamin A in Food Fortification Technology

The technology of food product fortification through the addition of bioactive ingredients such as vitamins requires the development of innovative methods, due to the high sensitivity of vitamins to the chemical and physical conditions present during the food production process. The adverse effect of temperature, high pressure or oxidising agents

may reduce biological activity and can chemically degrade the bioactive components. One challenge in food fortification technology is developing the appropriate formulations of fat-soluble vitamin A. The search for new carriers of vitamin A is extremely important because of its limited stability, insolubility in water and toxicity in excessive amounts. This study characterises the properties and role of vitamin A as a bioactive additive in food fortification technology. It focuses particularly on potential methods for stabilising retinol in order to enhance its functional properties.

**Keywords:** vitamin A, stability, encapsulation, food fortification.