

Nanotechnologie i inne aktualne problemy badawcze w inżynierii żywności

Streszczenie

Nanotechnologia, jako nowy dział nauki liczący niewiele ponad 30 lat, obejmuje zagadnienia związane z projektowaniem, produkcją i zastosowaniem w praktyce materiałów złożonych z cząstek o wymiarach 10^{-9} m. W praktyce, zakres wymiarowy tych cząstek zawiera się w przedziale od 1 do 100 nm, gdyż w takim właśnie przedziale, cząstki nabierają zupełnie nowych właściwości. Przykładem tego może być zmiana właściwości optycznych materiału np. fluorescencja. Nowe możliwości zastosowań w praktyce dają także przyrost wielkości sumarycznej powierzchni cząstek ze wzrostem stopnia rozdrobnienia. W krótkim okresie czasu nanotechnologie znalazły już dość szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach nauk techniki – w medycynie, produkcji wyposażenia i osprzętu elektronicznego, produkcji kosmetyków, w technologii materiałów, produkcji opakowań, a także w procesach produkcji surowców i kształtowaniu nowych cech produktów spożywczych. Obecnie na rynku dostępnych jest już kilkaset produktów spożywczych i napojów wyprodukowanych z wykorzystaniem nanocząsteczek i nanotechnologii, a wartość tego rynku w roku 2012 szacowana była na 5.8 mld USD. W pracy przedstawiono przegląd dotychczasowych wyników prac nad zastosowaniem nanotechnologii i niektóre aspekty ich stosowania z punktu widzenia regulacji prawnych i bezpieczeństwa żywności.

Słowa kluczowe: nanotechnologia, produkty spożywcze, bezpieczeństwo żywności

Nanotechnology and other actual research problems in food engineering

Summary

Nanotechnology comprises the problem connected with the design, production and application in practice of the material that is composed of particles of 10^{-9} m in size. In practice, the size range of particles varies between 1 up to 100 nm because due to that kind of fragmentation, the particles take on some completely new features. The optical features of the material change, meaning the fluorescence, will be the good example of this. The size growth of the total surface of the particles gives many possibilities of the practical use. In a very short period of time, some nanotechnologies have been quite widely used in many fields of science, for example in medicine, interior production, electronic equipment, cosmetic production, manufacture of packaging and in many processes of resource production. Nowadays, there are already hundreds of food and beverage products on the market produced with the use of nanotechnology and nanoparticles. Notes that this kind of market in 2012 is estimated at 5.8 billion USD. This work presents an overview of the current results of the nanotechnology application. There also are some aspects of their use in the regulation of the food safety.

Key words: nanotechnology, food products, food safety

Wstęp

Przemysł spożywczy jest obecnie największym przemysłem na świecie i nadal rozwija się dynamicznie. Rozwój ten został zrewolucjonizowany od czasu opanowania podstawowych metod obróbki cieplnej i koncentrował się na metodach prowadzących do konserwacji produktu i gwarantujących możliwość długiego okresu przechowywania. Obecnie obserwuje się trzy główne trendy w zakresie pożądanego stopnia przetworzenia żywności, wyróżniając:

- żywność minimalnie przetworzoną, spożywaną w możliwie niezmienionej formie, owoce, warzywa, orzechy, nasiona, a z produktów pochodzenia zwierzęcego głównie produkty mlekopochodne),
- żywność wygodną, tj. zwykle o wysokim stopniu przetworzenia, przystosowaną albo do długiego okresu przechowywania, albo do łatwego przygotowania dla bezpośredniego spożycia,
- żywność funkcjonalną, taką która oprócz regularnej wartości odżywczej wynikającej z zawartości składników odżywczych, ma jeszcze dodatkowe pozytywne oddziaływanie na funkcjonowanie naszego organizmu.

Ostatnie lata przyniosły znaczny rozwój technologii w różnych gałęziach przemysłu, spośród których część jest sukcesywnie adoptowana do przetwarzania żywności. Rozwijane są przede wszystkim te spośród nich, które pozwalają zachować pierwotne wartości odżywcze lub możliwie niewiele zdeformowane. Powstała, zatem grupa procesów, głównie nietermicznych, które spełniają te warunki, jak np.

- ultra wysokie ciśnienie (rzędu 1000 MPa),
- pulsujące pole elektryczne,
- pole magnetyczne o wysokim natężeniu,
- obróbka ultradźwiękowa,
- zastosowanie tzw. zimnej plazmy,
- irradiacja, itp.

Wiele z tych nowych metod znalazło już praktyczne zastosowanie, przy czym nie wszystkie spośród nich nadają się do obróbki każdego rodzaju produktu spożywczego. Równolegle z metodami, których ocena jakościowa zwykle kończy się na mikroskali mieszczącej się praktycznie w zakresie od 10 μ m do 1 mm, (badania tekstualne, sensoryczne, strukturalne itp.) nauka z branż poza spożywczymi dostarczyła nowych

możliwości identyfikacji, modyfikacji i praktycznego wykorzystania cząstek o wymiarach mierzonych w skali nanometrycznej. Praktyczne wykorzystanie cząstek o takich wymiarach do różnych celów określa się powszechnie już przyjętym terminem nanotechnologii.

Podstawowe pojęcia i definicje nanotechnologii

Nanotechnologia jest, ogólnie biorąc, technologią obejmującą projektowanie, produkcję oraz poszukiwanie zastosowania w praktyce materiałów i nośników złożonych z cząstek o wymiarach zawierających się w granicach od 1 do 100 nm. Dla porównania, średnica atomu mierzy ok. 0,1 nm, a cząsteczka DNA – 2,5 nm, podczas gdy grubość ludzkiego włosa to aż 60 – 80 tys. nm. Początki rozwoju tej technologii datuje się na wczesne lata osiemdziesiąte ubiegłego wieku. Od tego czasu technologia ta jest dynamicznie rozwijana i to nie tylko w krajach zaawansowanych technologicznie.

Nanotechnologia, w uproszczeniu, polega na rozdrabnianiu materiałów do wymiarów w skali nano i ich przebudowie, na poziomie molekularnym, na nowe materiały, elementy urządzeń lub budowli, a nawet ich łączeniu z cząstkami biologicznego pochodzenia w zupełnie nowe struktury o niespotykanych dotąd właściwościach fizycznych, chemicznych i funkcjonalnych. Nanotechnologia jest nauką wybitnie interdyscyplinarną, wymagającą ścisłej współpracy specjalistów wielu dziedzin, jak fizyka, chemia, inżynieria materiałowa i procesowa, biologia, medycyna itp. Dzięki takiej współpracy, wyniki dotychczasowych badań znalazły praktyczne zastosowanie w bardzo wielu gałęziach przemysłu, medycynie i gospodarce żywnościowej.

Szczególne możliwości zupełnie nowych zastosowań wynikają ze specyficznych właściwości materiałów o wysokim stopniu rozdrobnienia. Pierwszą rzeczą jest gwałtowny przyrost powierzchni cząstek w miarę wzrostu stopnia rozdrobnienia. I tak, np. 1 cm³ materiału na powierzchni 6 cm² rozdrobniony do wielkości cząstek 1 nm³ (dla uproszczenia przyjmijmy kształt sześcianu) będzie miał sumaryczną powierzchnię 60 cm², a każde dalsze rozdrobnienie o 1 rząd wielkości zwiększa 10-krotnie powierzchnię cząstek uzyskanego produktu. Przy rozdrobnieniu do wymiarów nanometra powstają zupełnie nowe możliwości, gdyż w tych warunkach większa liczba atomów danego materiału może wchodzić w interakcje z rozdrobnionym dodatkiem.

Drugą podstawową cechą nanocząsteczek jest to, że pozwalają one na modyfikację właściwości fizycznych produktu takich, jak: kolor, cechy wytrzymałościowe, rozpuszczalność, smak itp. Ciekawą osobliwością, tak znacznie rozdrobnionych cząstek, jest nabycie przez niektóre z nich właściwości toksycznych dla człowieka, mimo, że materiały, z których pochodzą (np. Au, Ag) są w naturalnych warunkach nietoksyczne. Tworzywa, które zawierają nanocząsteczki mogą stawać się dobrym przewodnikami, co daje szansę na uzyskanie nowych, dotąd nieosiągalnych zastosowań w technologiach mikroelektronicznych (Sanguansri, Augustin 2009). Z wielu dotychczasowych badań i praktycznych już zastosowań wiadomo, że cząstki te podlegają prawom mechaniki kwantowej.

Mimo dość zaawansowanych badań nad zastosowaniem nanocząsteczek w różnych produktach, nie ma dotąd jednoznacznego zdefiniowania, co to są „właściwości charakterystyczne dla nanoskali” brak jest” również definicji i ujednol-

cenia stosowanej technologii. Wśród terminów stosowanych w języku angielskim mamy, np.

- nanoparticle,
- nanotube,
- nanomedicine,
- medical nanotechnology,
- nanobiotechnology,
- nanofood itd.

W interesującym nas zakresie inżynierii żywności brak ujednoliconej terminologii w języku polskim i definicji, np. co należy uznawać za żywność "nanotechnologiczną". Brak także jednoznacznie zdefiniowanych wymagań, co do produktów, czy składników żywności, zawierających nanocząsteczki.

Nanocząsteczki w żywności

Analiza wielkości cząstek elementarnych poszczególnych składników żywności wykazuje, że wymianą wielu z nich, występujących w warunkach naturalnych, mieszczą się w zakresie ujętym w definicji nanotechnologii. Dla przykładu cząstki β – laktoglobuliny mają długość ok. 3,4 nm, a rekrytalizowana amyloza 10 – 20 nm (Aguilera 2009).

Ciekawym przykładem są podstawowe składniki mleka, tj. micelle kazeiny, których wymiary mieszczą się w granicach 300 – 400 nm, czy kuleczki tłuszczu o wymiarach od 10 nm do 20 μ m. Także w procesach trawienia większość składników pokarmowych rozkładana jest na ultra drobne proste substancje, potem syntetyzowane w organizmie.

Zatem jakie miejsce, znaczenie i zastosowanie ma i może mieć nanotechnologia w produkcji i przechowywalnictwie żywności? W literaturze światowej żywność taka określana jest mianem "nanofood". Zgodnie z proponowaną definicją "nanofood" – żywność, która była uprawiana, obrabiana i pakowana z zastosowaniem nanotechnologicznych praktyk czy narzędzi, lub taka, do której dodano nanomateriały.

Współczesny stopień zaawansowania prac badawczych nad wykorzystaniem nanocząstek w produkcji żywności można rozpatrywać w kilku obszarach:

- technologii upraw i innych działach rolnictwa,
- technologii wytwarzania produktów spożywczych,
- wytwarzaniu dodatków i suplementów diet,
- technologii opakowań,
- kontroli procesów i bezpieczeństwa żywności.

Zastosowanie w rolnictwie

Wśród obecnie stosowanych już w praktyce rolniczej rozwiązań można wymienić:

- nanokapsulacja nawozów, pestycydów i innych środków chemicznych,
- wprowadzenie w sposób kontrolowany hormonów wzrostu,
- detekcja na poziomie molekularnym interakcji enzymów z substratem,
- wykorzystanie nanosensorów do kontroli warunków glebowych oraz przebiegu wzrostu i rozwoju roślin,
- nanosensory do stałej kontroli i identyfikacji produktów w całym ciągu produkcyjnym (traceability),
- nanosensory do identyfikacji i śledzenia rozwoju patogenów roślinnych i zwierzęcych,
- nanokapsułki dla wprowadzenia szczepionek,
- nanocząsteczki dostarczające DNA w zastosowaniach inżynierii genetycznej (Kuzma, VerHage 2006).

Zastosowanie nanotechnologii w produkcji, wzbogacaniu i poprawie bezpieczeństwa żywności

Współcześnie w tym zakresie wykorzystuje się bardzo zróżnicowane zastosowania. Jednym z rozwiązań jest produkcja nanokapsulek wykorzystywanych do następujących celów (Weiss 2006):

- poprawy biodostępności składników,
- zwiększania lepkości i efektu żelującego wybranych produktów,
- zastępowania roślinnymi sterolami cholesterolu,
- wzmacnianie (uwydatnianie) aromatu i smaku produktów,
- wprowadzanie do chleba dodatku kwasów omega-3.

Wśród bardzo już licznych zastosowań w gotowych produktach warto wymienić np. chińską herbatę z 10-krotnie zwiększoną zawartością selenu, przy czym nanokapsułki z selenem rozpuszczają się po przejściu przez żołądek.

Znane i stosowane w skali produkcyjnej są nanoskładniki, które zdolne są neutralizować lub eliminować nie tylko szkodliwe związki chemiczne, ale także bakterie patogenne. Praktycznym przykładem takiego rozwiązania jest produkcja wielowarstwowych wyrobów, w których każda kolejno nakładana warstwa ma inne właściwości funkcjonalne, jak np. przeciwutleniające czy zawierające substancje przeciwbakteryjne (McClements 2004).

Nowszym urządzeniem, bardzo użytecznym w analizie obecności lotnych substancji, jest „elektroniczny nos” (Kampers 2007). Analiza polega na absorpcji małych molekuł aromatów, które są uwalniane w trakcie określonego procesu, np. w pierwszej fazie psującego się przechowywanego produktu.

Nanocząsteczki w opakowaniach produktów spożywczych

Nanotechnologia wprowadziła duże i pozytywne zmiany w pakowaniu i bezpiecznym przechowywaniu produktów spożywczych (Siegrist i in. 2008). W konsekwencji powstały możliwości samoczynnej kontroli bezpieczeństwa przechowywania produktów, m.in. poprzez:

- wytworzenie materiałów używanych do produkcji opakowań bardziej wytrzymałych, lżejszych i odpornych na czynniki zewnętrzne, przez dostosowanie nanocząsteczek krzemowych,
- zastosowanie nanopowłok blokujących przenikanie tlenu do wnętrza opakowań i modyfikacji przenikalności folii opakowaniowych,
- wprowadzanie czujników do kontroli obecności etylenu itp.

Obecnie w praktyce stosuje się powłoki antybakteryjne i przeciwgrzybowe z zastosowaniem nanocząsteczek srebra, manganu lub cynku (np. w lodówkach).

Dodatki do żywności

W tym zakresie postęp jest bardzo dynamiczny, ale wywołuje najwięcej kontrowersji z racji braku kompletnych badań nad bezpieczeństwem tych produktów. Należą do nich:

- nanokapsułki poprawiające wchłanianie składników pokarmowych,
- nanokryształy celulozy, jako nośniki substancji leczniczych,
- nanocząsteczki dostarczające składniki pokarmowe bez zmiany koloru i smaku podstawowego produktu (tzw. produkty „wielofunkcyjne”),
- witaminy łatwo wchłaniane w formie aerozolu,
- nanokapsułki nutraceutyków.

Podsumowanie

Pomimo niechęci konsumentów, wynikającej m.in. z braku zaufania do niepełnych informacji płynących ze strony producentów o produktach zawierających nanocząsteczki, wciąż poszerza się asortyment tego typu produktów, wprowadzanych na rynek. Atrakcyjność aplikacyjna tej technologii polega na tym, że stwarza ona nowe, nieosiągalne dotąd możliwości w następujących zakresach:

- rozwoju i tworzenia zupełnie nowych produktów o cechach funkcjonalnych lub dowolnie programowanych,
- tworzeniu nowych nanosensorów radykalnie poprawiających bezpieczeństwo żywności,
- łatwym wdrażaniu nowej metody badawczej pozwalającej poznać wzajemne zależności między składnikami, jakie zachodzą w procesach trawienia i dobierać na tej podstawie składniki, projektując potrawy dostosowane do indywidualnych potrzeb konsumenta.

Wielu ludzi nauki podziela pogląd, że przemysł zainteresowany wdrażaniem nanotechnologii w dziedzinie produkcji żywności lansuje twierdzenie, iż zrewolucjonizuje to dotychczasowe technologie w przetwórstwie, konserwacji oraz przechowywaniu żywności, przez co przyniesie korzyści konsumentom. Przedstawiciele organizacji konsumenckich wyrażają obawy, że przyszłość nanotechnologii w przemyśle będzie podobna do losów technologii GMO, która – zdaniem producentów materiału pierwotnego – miała zrewolucjonizować produkcję żywności i obniżyć koszty jej wytwarzania, a w rzeczywistości stało się odwrotnie i przyniosła tylko ogromne dochody producentom materiału genetycznego zamiast konsumentom. Należy mieć nadzieję, że podjęte w ostatnim czasie intensywne prace legislacyjne w środowiskach decyzyjnych pozwolą wyjaśnić wiele spośród obecnie istniejących niedomówień i wątpliwości.

Bibliografia

1. Afshari H. 2009. *Biosensors and their application in biology*. 5th CIGR Intern. Techn. Symposium on Food Processing, Monitoring Technology in Bioprocess and Food Quality Management. Potsdam, Germany.
2. Aguilera J.M. 2009. *Applications of Nanosciences to Nutrients and Foods*. Institute of Medicine (US) Food Forum, Nanotechnology in Food Products. Workshop Summary. Washington D.C. : National Academies Press (US).
3. Aguilera J.M. 2005. *Why Food Microstructure?* Journal of Food Engineering, 67, 3 –11.
4. Kuzma J., VerHage P. 2006. *Nanotechnology in Agriculture and Food Prod.* Anticipated Applications.
5. McClements D.J. 2004. *Protein – stabilised emulsion*. Current Opinion in Colloid and Interface Science, 9, 305-313.
6. Nanotechnology and food. NanoBio – RAISE: (www.nanobio-raise.org).
7. Neethirajan S., Yayas D. 2009. *Nanotechnology for food and bioprocessing industries*. 5th CIGR Intern. Techn. Symposium on Food Processing, Monitoring Technology in Bioprocess and Food Quality Management. Potsdam, Germany.
8. Sanguansri P., Augustin M.A. 2006. *Nanoscale materials development – a food industry perspective*. Trends in Food Science&Technology, Elsevier Ltd.
9. Siegrist M., Stampfli N., Kastenholz H., Keller C. 2008. *Perceived risk and perceived benefits of different nanotech-*

nology foods and nanotechnology food packaging. *Apetite*, 51, 283-290.

10. Suslick B.A., Feng L., Suslick K.S. 2010. *Discrimination of Complex Mixtures by a Colometric Sensor Array: Coffee Aromas.* *Analytical Chemistry*, 82, 2067-2073.

11. Uskhikubo F.Y., Oshita S., Nakagawa R., Furukawa T., Makino Y., Kawagoe Y. 2009. *A study of the effect of micro and nano – bubbles in the dynamic properties of water.*

5th Intern. Techn. Symposium on Food Processing, Monitoring Technology in Bioprocess and Food Quality Management. Bornimer Agrartechnische Berichte. Heft 70. Potsdam, Bornim: 152.

12. Weiss J., Takhistov P. McClements D.J. 2006. *IFT Status Summary: Nanotechnology – Application in Food Processing and Product Development.* *Journal of Food Science*, 71(9), 107-116.

Józef Grochowicz

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Andrzej Bień

Główna Szkoła Handlowa w Warszawie