ПОЧВОЗНАНИЕ АГРОХИМИЯ И ЕКОЛОГИЯ, ГОД. XLV, № 4
SOIL SCIENCE AGROCHEMISTRY AND ECOLOGY, VOL. XLV, № 4
София. 2011. Sofia

ВАЛЕНТИН БЪЧВАРОВ, ГАБРИЕЛА МАРИНОВА
Институт по криобиология и хранителни технологии, София

За и против нанотехнологиите в хранително-вкусовата промишленост

For and Against Nanotechnologies in the Food Industry

V. Bachvarov, G. Marinova
Institute of Cryobiology and Food Technology, Sofia, Bulgaria

Abstract
Nanotechnologies are new to the general public and is not known what will be the public's expectation, choice and acceptance and which will determine their development and application in food industry.

Key words: nanotechnologies, food industry

Увод

През последните десетилетия няколко нови научни дисциплини и технологии доведоха до революционни промени в хранителния сектор. Най-значимите от тях са биотехнологиите, познавателните технологии, информационните технологии и най-отскоро - нанотехнологиите. Нанотехнологиите са широка междудисциплинарна област от изследвания, развитие и индустриална активност, които включват производство, преработка и приложение на материали с размери от порядъка на 100 или по-малко нанометра. Нанотехнологиите отварят нови простори за развитието на научните и приложни изследвания в редица области като медицината, козметиката, земеделието и храните. Всъщност манипулирането на веществата на нанониво води до размазване на границите между традиционните хранителни научни дисциплини и открива пътища за нови консистенции, вкусове и усещания на храните.

Нанотехнологиите - възникване, перспективи и очаквания

Най-общо нанотехнологиите включват обработки на материята на нанониво при което се получават нови материали, структури и уреди. Нанонивото включва структури с размери от 1 до 100 нанометри, което е размерът на отделните молекули. Един нанометър (nm) представлява 1.10^{-9} метра. При тези наноразмери материалите могат да имат различни свойства от тези с нормални размери поради по-голямата си относителна повърхност, която ги прави много по-реактивоспособни. Те могат да проявяват нови ефекти, които се различават от общоприетите закони на физиката (Nanotechnology and Food).

Съгласно дефиницията, използвана в Директивата за новите храни, наноматериалите представляват целенасочено произведени материали с един или повече външни размери или вътрешна структура от порядъка на 100 и по-малко nm (Media release, 2009). Физичните размери на наночастиците към футболната топка са същите, както нейните размери към размерите на земното кълбо (Stones, 2009b).

Нанотехнологиите водят своето начало от доклад, изнесен през 1959 г. от физика Richard Feynman пред Американското дружество на физиците. Тогава той предвиди, че ще дой-

де времето, когато отделни атоми и молекули ще бъдат използвани за изграждането на структури за серия от инструменти, които ще могат да правят още по-малки обекти. Откриването на специалните микроскопи през 80-те години на миналия век, които позволяват да се проследи как атомите и молекулите се проявяват при различни условия, превърнаха нанотеорията в практика. Промяната на условията с помощта на различни химикали, топлина, електромагнитни вълни и т. н., позволи да се предадат на атомите и молекулите различни полезни форми. Създаването на новите наноматериали обещава да революционизира всичко от областта на химията до областта на космонавтиката (Bogan, 2008).

Терминът нанотехнология за първи път е въведен през 1974 г. в една публикация на Norio Taniguchi от университета в Токио. В нея той говори за преминаване от сегашните технологии към следващи нива на точност и минитюризация. K. Eric Drexter въвежда през 1986 г. в масова употреба термина нанотехнологии като "*широкомащабен механосинтез, основан на позиционен контрол на химически реактивни молекули*". За бъдеще терминът нанотехнологии ще означава изграждането на машини и механизми с наноразмери или т. нар. молекулярни нанотехнологии (Nanotechnology Basics, 2009).

Таблица 1. Размери на някои структури и наночастици (Bogan, 2008; Byrne, 2009b; Nanotechnology Basics, 2009, Nanotechnology and Food)

Структури	Размери, nm
Водороден атом	0,1
Въглероден атом	0,17
Водна молекула	0,3
Фулерени (наночастици)	1
Ширина на ДНК	2
Хемоглобин	4
Дендримери (наночастици)	10
Белтъци	5 - 50
Вируси	75 - 100
Бактерии	1000 - 10 000
Диаметър на червени кръвни телца	7000
Диаметър на бели кръвни телца	8000
Видимост на невъоръжено око	10 000
Дебелина на човешки косъм	80 000

Напредъкът в нанотехнологиите "обещава да революционизира много от съществуващите начини на производство, добив на енергия, хранителната промишленост, диагнозата и лечението на редица болести". Нанотехнологиите предлагат редица потенциални възможности от намаление на болестите до борбата с глада и недохранването. Те имат потенциала да ни направят по-здрави, по-силни, по-интелигентни и с по-голяма продължителност на живота, но първо, когато ние ги проучим достатъчно, когато ги направим безопасни, когато ги разпространим коректно в обществото след съответни изследвания и по законоустановения ред (Mitchell, 2009).

Нанонауката представлява интердисциплинарна научна област и система от иновативни методи за контрол на процеси в нанодименсии (10^{-9} m). Нанонауката продуцира нови материали и структури на атомно, молекулно и макромолекулно ниво със свойства, значително различаващи се от тези на аналогичните вещества с по-големи размери. Тя представлява експоненциално нарастваща индустрия и предлага потенциал за научен напредък в много сектори на обществото. В допълнение на приложенията на нанотехнологиите в информационните технологии, електрониката и енергопродукцията, възникват нови области като биотехнология и наномедицина. Успоредно с това, свойствата на наночастиците и съответната експозиция на наноматериалите налагат нови предизвикателства към оценката и управлението на потенциалния риск и безопасност на нанотехнологиите (Хинков, Ангелова, 2010).

Нанотехнологиите представляват широк набор от процеси, материали и приложения във физичните, биологичните, инженерните и електронните науки, при които са включени манипулации на веществата с размери на нанониво. Благодарение на малките размери на ПНЧ могат да възникнат уникални свойства. Едно много важно следствие от намаляването на размерите на нанониво

е увеличаването на активната повърхност, която може да повлияе на реактивоспособността по отношение на други материали и може да доведе до повишена способност на ПНЧ да преминават през биологичните мембрани (EFSA, 2009).

Един аспект на нанотехнологиите е създаването на механизми, работещи с компоненти с наноразмери, като например малък компютър с размерите на бактерия или суперкомпютър с размерите на бучка захар, но притежаващ мощността на милиард днешни персонални компютри или трилион сегашни настолни компютри (Nanotechnology Basics, 2009).

Характеристика и видове наноматериали

Основните физични показатели, които характеризират ПНЧ са големина (включително разпределението по големина), форма (включително съотношение на различните пространствени размери) и морфологична подструктура на веществото. Следващите характеристики са химичен състав, разтворимост, повърхност и концентрация на частиците, свойства на повърхността (състав, заряд, абсорбирани биомолекули) наличие на замърсявания, действащи като частични катализатори. За разпределението и натрупването на ПНЧ в тъканите е важна тяхната хидрофилност и липофилност. Допълнителни важни характеристики са биоразградимост и биорезистентност (EFSA, 2009).

Физикохимичните характеристики на наночастиците, като размер, форма, площ, повърхностен заряд, химични свойства, разтворимост, окислителен генериращ потенциал и степен на агломерация определят техния ефект върху биологичните системи. Увеличената относителна повърхност (повърхността на единица маса) води до нарастване на химичната реактивоспособност за единица маса, на структурния интегритет с преобладаване на квантови ефекти и промяна на оптичните, магнитните и електрични свойства. Високата стойност на отношението на площта към обема на наночастиците (например повърхността на един литър разтвор с 1% концентрация на наночастици с размер 70 nm заема площ от 800 m^2), индуцира многократно усилване на редокс потенциала, потенциала на агрегация, тъканната абсорбция и експозицията (Хинков, Ангелова, 2010).

Това което прави ПНЧ специални са размерите на техните частици. При тях специфичната повърхност нараства непряко пропорционално на техните размери, докато свойствата на повърхностните молекули започват да преобладават. Това означава, че ПНЧ придобиват нови свойства, които се определят от голямото съотношение на повърхността към обема им. По тази причина много ПНЧ имат изменени характеристики, което може да се приложи в различни области. Тази много голяма активна повърхност на ПНЧ води до много промени, които трябва да се вземат предвид когато се прави оценка на риска в сравнение с техните аналози с различни от наноскалата размери. При ПНЧ много молекули са разположени на повърхността и се намират в енергетично нестабилно състояние. По тази причина много ПНЧ катализират редица реакции, главно окислителни. Те също могат да действат като ядра при процесите на кристализация и рекристализация и потенциално да променят вторичната и третична конформация на белтъците (EFSA, 2009).

ПНЧ могат да взаимодействат с белтъците, липидите, въглехидратите, нуклеиновите киселини, йоните, минералните вещества и водата в храните, фуражите и биологичните тъкани. От особен интерес са взаимодействията с протеините. ПНЧ могат да бъдат напълно обкръжени от "корона" от белтъци, като по този начин те влияят върху свойствата на им, а от своя страна белтъците влияят върху свойствата на наночастиците. По този начин взаимодействието на ПНЧ със специфичните биомолекули в храната и фуража могат да повлияят на тяхното разпределение и усвояване. Образуваната "корона" обаче не е статична а динамична и е в равновесие с околната среда. При това в "короната" постепенно се увеличава частта на белтъците с увеличен афинитет, като значителна част от биомолекулите (например протеините) се включват в т. нар. "твърда корона" (Lynch and Dawson, 2008).

Нанотехнологиите са създали различни наноматриали (Nanotechnology Now, 2009) като:

- Нанокомпозити;

- Нанокристали;
- Наночастици;
- Наноструктурирани материли;
- Нанобариерни филми;
- Нанокомпозитни покрития;
- Нанотръбички;
- Нанокатализатори;
- Нанофилтри.

Нанотехнологии в земеделието

Нанофутуристите вярват, че един ден нанохраните ще бъдат навсякъде. Те виждат деня, когато фини сензори ще подават информация по радиото до фермерите относно състоянието на посевите и здравето на животните с оглед подобряване на добивите и рандемана. И докато все още "точното земеделие" е в бъдещето, то интелигентните пестициди или наноциди са реалност. Фирмите Syngenta, Monsanto и BASF са между компаниите, които разработват или изследват пестициди в наномащаб, които ще бъдат по-стабилни, по-продължително действащи и по-смъртоносни за вредителите (Bogan, 2008). Някои от тях са преминали през тестове за безопасност и са разрешени за ползване във Великобритания и САЩ. Техните активни съставки се използват от години без да са създавали проблеми. Всъщност е променен само начинът на прилагане. При тях се използва контролирана система за освобождаване, която включва малки полимерни капсули, които се разтварят много по-ефективно в течности. Те остават инертни върху растенията и се активират едва тогава, когато попаднат в алкалната среда на стомаха на определени насекоми и предизвикват тяхната смърт. Агрохимичните компании твърдят, че тези пестициди са "умни", съдържат по-ниска концентрация на активните съставки и се разграждат напълно в околната среда (Bogan, 2008).

Възможни са различни направления за използване на нанотехнологиите в земеделието (Garber, 2007):

- Непреки приложения на нанотехнологиите в храните и хранителния сектор като разработване на агрохимикали с наноразмери (изкуствени торове, пестициди и други) или препарати за ветеринарномедицинската практика.

- Нанокапсули с пестициди, торове и други агрохимикали за по-ефективна употреба;

- Нанокапсули за внасяне на растителни хормони и ваксини;

- Наносензори за наблюдение на почвените условия и развитието на реколтата;

- Наносензори за откриване на патогени по животните и растенията;

- Нанокапсули за внасяне на ДНК в растенията (насочено генетично инженерство);

- Детекция на взаимодействията ензим/субстрат.

В земеделието нанотехнологиите могат да доведат до намаляване на дозите на пестицидите и количеството вода за напояване на растенията. Ще може да се произвежда продукция с употребата на по-малко количество химикали и по-малко замърсяване на околната среда. Нанотехнологиите могат ефективно да помогнат в борбата с глада и недохранването, особено в страните от Африка и Югоизточна Азия (Nanofoods: Future Health and Nutrition Implications).

Все още употребата на нанопроизведени пестициди, изкуствени торове и ветеринарномедицински препарати в ЕС е минимално. Продукти за растителна защита с наноформи обаче се предлагат на пазара. По принцип наноструктури постъпват в човешкия организъм посредством продуктите от животински и растителен произход (Nowack and Bucheli, 2007).

Нанотехнологии при производството на храни и напитки

"Нанохраните" по дефиниция са храни при които наночастици, нанотехнологии или наносредства се използват при отглеждането и добива на суровините, производството, преработката или опаковането им. Нанохраните са храни, при които са използвани наносъставки и/или са пакетирани в опаковки, в които са използвани наночастици. Това не означава автоматично, че към нанохраните се отнасят модифицираните храни или храните, получени чрез използване на наномашини (Garber, 2007, Nanofoods: Future Health and Nutrition Implications, Nanotechnology and Food, Nanotechnology and Food Industry).

Нанохраните са храни, които съдържат наноматериали, които придават по-приятен вкус и/или доставят повече хранителни вещества

или са произведени с нанотехнология. Нанохраните вече са по рафтовете на супермаркетите. Нанохраните достигат много по-бързо до нашия организъм. Те са по-разтворими и се отличават с вкусови и хранителни предимства както и с по-изразена пълнота на вкуса (Anklam, 2009).

Възможностите за приложение на нанонауката и нанотехнологиите в хранителната верига се простират от почти сигурните (например мембрани, антибактериални средства, филтри, опаковки) до вероятните (например сензори за откриване на патогени и замърсители, наблюдение на околната среда, комбинирани средства за детекция и предупреждение, дистанционни средства за детекция и проследяване) до невероятните (създаване на безкрайни количества храни чрез синтез на атомно ниво). Някои пазарни анализи показват, че интелигентните опаковки, консервантите при необходимост и интерактивните храни са много перспективни области. В допълнение изглежда има съгласие, че развитието на нови храни с нови молекулни структури е обещаващо. В САЩ Администрацията за храни и лекарства (FDA) утвърди списък на продукти, които съдържат наноматериали - лекарства, медицински апарати, предпазващи от слънцето лосиони и добавки за храни за домашни любимци (EFSA, 2009).

Най-често нанопродукти могат да се установят в рапично масло, диетични шейкове, хляб, добавки и съставки, лимонади и плодови сокове, маргарини, опаковъчни материали и филмови покрития. Нанохраните обещават възможности за индивидуализиране на храните с оглед задоволяване на хранителните нужди и вкусове (внасяне на определени лекарства, цветни и вкусови подобрители). Най-голямото ударение се поставя върху опаковките. Наноопаковките на хранителните продукти и напитките могат да повишат тяхната трайност, да подобрят безопасността им, да алармират консуматорите когато настъпи развала, да възстановят целостта на разкъсаните опаковки, дори да отделят консерванти с цел удължаване на трайността им (http://www.ncga.coop/newsroom/gmfoods).

Приложението на нанотехнологиите в хранителната промишленост може да доведе до подобрени вкусове, аромати, цветове, консистенция, пълнота на храните и напитките, до повишена абсорбция и биологична достъпност на хранителните вещества и здравословните добавки, до нови опаковъчни материали с повишени механични, бариерни и антимикробни свойства, опаковане на храни и напитки и наносензори за проследяемост и наблюдение на условията при транспорта и съхранението на хранителните продукти (Chaudhry et al., 2008).

Съществуват повече от 180 нанохрани. Основно това са храни, съдържащи наносистеми за доставяне на различни хранителни добавки: нанокапсули, самосвързващи се течни наноструктури, наноохлюви и нановносители. Съществуват редица възможности за приложение на нанотехнологиите при производството на храни (Cientifica, 2006; Garber, 2007, Nanotechnology and Food, Nanofoods: Future Health and Nutrition Implications; Chaudhry et al., 2008).

Нанохраните могат да запазят мазния характер, но същевременно няма да допуснат да се повиши нивото на вашия холестерол. Или пък какво ще кажете за пълновкусен сладолед, който има по-ниско съдържание на мазнини в сравнение с един морков? Или пък да хапвате хамбургер, който ще намали вашето съдържание на холестерол. Добре дошли в света на нанохраните, където почти всичко е възможно, където храните могат да бъдат манипулирани на атомно или молекулно ниво, за да бъдат толкова вкусни, колкото вие желаете и толкова пресни, колкото вие си представяте. Там има умни пестициди, които стават токсични, когато попаднат в стомаха на вредните насекоми. Производителите на храни обещават край на недоумяването, където интелигентни опаковки постоянно следят дали ще се появят вредни организми, за да ги унищожат. Накратко, рай на храните, обещаващ край на затлъстяването и непълноценното хранене. Или ад на храните за тези, които вярват, че безопасността им изобщо не е доказана. Едно обаче е сигурно. След противоречията около генномодифицираните храни, нанохраните са следващият щекотлив въпрос, който ще достигне до нашата трапеза (Bogan, 2008).

За осоляване на чипса от картофи може да се използва наносол - кристали сол, но със значително по-малки размери. Тези нанокрис-

тали имат съществено по-голяма повърхност на единица обем, което води до по-голяма контактна повърхност с езика на човека и оттам, повишеното усещане за солено. Следователно с наносолта може да се намали реалното количество употребена готварска сол, което носи определени здравословни ефекти, но да се запази приятното усещане за пълноценен солен вкус на чипса. Предполага се, че наносолта е безвредна (Lovett, 2009). Солта може да се усеща "по-солена" посредством намаляване на размерите на кристалите посредством нанотехнологии (Wogan, 2010).

Нанотехнологиите понастоящем представляват бързоразрастващ се пазар за милиарди щатски долари. Световният пазар на продукти на нанотехнологиите се очаква през 2012 година да достигне 5,8 милиарда долара (от които: преработка на храни за около 1,303 милиарда долара, хранителни добавки - за около 1,475 милиарда долара и опаковки за храни и напитки - за около 2,930 милиарда), а през 2015 година да достигне 1 трилион долара и около 2 милиона работещи (Chaudhry et al., 2008).

Нанохрани не се предлагат в Европа, въпреки че те могат да се закупят чрез Интернет (Stamm, 2009, Nanotechnology and Food Industry).

Нанотехнологии при производството на материали в контакт с храните

Счита се, че нанотехнологиите ще окажат огромен ефект върху производството и опаковането на храните и напитките. Приложенията им варират от антимикробни покрития за материали в контакт с храни до производството на сензори за детекция на патогени и токсини в храните или за регистриране на промени в условията на съхранение (Harrington, 2009b).

Използването на наночастици при опаковките за храни и напитки е в много по-напреднал стадий в сравнение с приложението им при производството на самите продукти. Счита се, че нанотехнологиите предлагат технологично развитие в областта на опаковките на храните и напитките, съхраняването и повишаването на трайността им (Chaudhry et al., 2008; Byrne, 2009d).

Приложението на нанотехнологиите за опаковане на храни и напитки е най-обещаващата област в хранителната промишленост. Основното направление е разработването на активни или "интелигентни" опаковки, които целят да повишат безопасността на храните и да оптимизират тяхната трайност. Много компании, университети и изследователски институти разработват опаковки, които ще алармират когато храните бъдат замърсени или условията на съхранение са променени. Освен това тези опаковки ще могат сами да възстановяват направените в тях дупки или разкъсвания. Много обещаващо направление в нанотехнологиите е разработването на интелигентни опаковки с антимикробни свойства, способни да абсорбират проникналия кислород, да откриват появата на патогенни микроорганизми и да предупреждават консуматора за развала на храните или напитките. Опаковки, способни да откриват наличието на патогени като *Salmonella* и *E. coli* се очаква да се появят през следващите няколко години. В Холандия разработват опаковки, които при установяването на признаци на развала ще отделят консерванти за удължаване на срока на годност. В САЩ се разработват интелигентни опаковки, които да откриват вероятни терористични атаки. Нанокомпозитни лепила се използват за повишаване на бариерните свойства на полиестерните бутилки за напитки и повишаване на трайността на опакованото в тях пиво, недопускайки проникването на атмосферен кислород и отделянето на съдържащия се в напитката въглероден двуокис (Wogan, 2010). Понастоящем технологията гарантира 6-месечна трайност на пивото, но целта е постигането на 18-месечна такава. Редица пивоварни фирми като корейската Hit Brewery и американската Miller Brewing Company вече използват тази технология (Garber, 2007) (www.nanowerk.com).

Интелегентни опаковки за храни с интегрирани наносензори ще предоставят информация на потребителите за състоянието на храните (Stamm, 2009, Nanotechnology and Food Industry). Могат да се използват покрития от умни наночастици, които при освобождаване на определени газове в резултат на развала на храните променят цветовете на етикета. Етикетите също ще ви кажат кога плодовете

или зеленчуците са узрели. Това се нарича интелигентни опаковки (Bogan, 2008). В областта на интелигентните опаковки най-силен ръст отбелязват етикетите за радиочестотно идентифициране (RFID, radio frequency identification tags) (Harrington, 2009a).

Нанотехнологии при производството на хранителни добавки

Съществуват различни възможности за приложение на нанотехнологиите при хранителните добавки (Garber, 2007):

- Нанопрахове за увеличаване на абсорбцията на храните и напитките;
- Целулозни нанокристали като носители на лекарства;
- Нанокапсулиране на хранителни добавки за по-добра абсорбция, по-голяма стабилност и насочено към определени консуматори приложение;
- Нанопокрити частици за по-ефективно внасяне на хранителни добавки без влияние върху вкуса и аромата;
- Нанасяне на витамини върху наночастици за по-добро усвояване.

Нанотехнологиите могат да бъдат използвани и за обогатяване на широка гама храни с фини капсули, съдържащи витамини, минерални вещества или здравословни добавки, които не променят техния вкус и аромат. Така например може да се произвежда хляб, обогатен с капсули рибено масло, без да се чувства неприятният за някои хора аромат и вкус на риба. В Китай наноформи на елемента селен се използват за обогатяване на зеления чай, за да се елиминира естественият недостиг на този минерал в някои области на страната (Lovett, 2009; Nanofoods for health).

Потенциалът на нанохраните е огромен особено в стабилизирането на храните и напитките и при повишаването на техните хранителни свойства. Така например, ако изстискате един портокал и изпиете сока веднага, ще получите целия съдържащ се в него витамин С. Ако обаче оставите сока да престои кратко време, то цялото количество витамин С ще се разгради. Ако витаминът се постави в капсули, той може да се освободи когато сокът бъде изпит. Известно е, че желязото и омега-3 киселините не са стабилни в течности, бързо се окисляват и променят цвета, аромата и вкуса на продукта. С помощта на нанотехнологиите могат да се стабилизират хранителните свойства на продуктите, което ще облагодетелства в случая хората с анемия (Bogan, 2008).

Микрокапсулирани вещества са били разработени като част от интерактивните храни и напитки, които позволяват на консуматора да измени храната така, че да задоволи неговите хранителни нужди или ароматно-вкусови предпочитания. Един пример е безцветна напитка, която съдържа нанакапсулирани съставки или добавки, които могат да бъдат активирани от консуматора например с микровълнови честоти. Честотите ще активират определени нанокапсули в напитката, които ще освободят желаните вкус и аромат, цветни или хранителни съставки, докато други нанокапсули ще останат в латентно състояние (Cientifica, 2006).

Включване в капсули на биологично активни вещества (аминокиселини, витамини, пептиди, протеини, антиоксиданти и други) за контролирано освобождаване в определени места в организма е много важно направление. Нанотехнологиите ще намират приложение при разработването на нано- и микросензори за детекция на токсини, патогени, пестициди, замърсители и остатъци от антибиотици в хранителните продукти при тяхното производство и по време на тяхното съхранение в търговската мрежа (Future Food, 2008).

Опасения относно нанотехнологиите

Бързото развитие на нанотехнологиите и приложението им в различни потребителски и хранителни продукти доведе до необходимостта от разрешаването на редица въпроси от гледна точна на безопасността, околната среда, етиката, политиката и регулаторните механизми и мерки. Главните опасения идват от недостига на знания за взаимодействията на наноматериалите на молекулярно и физиологично ниво и потенциалните ефекти върху здравето на хората и околната среда. Притесненията на консуматорите от приложенията на нанотехнологиите в хранителната промишленост са свързани основно с тяхната безопасност и очакванията им, че новите технологии ще водят до продукти, различаващи се от тези, произведени с установените техноло-

гии. Нанотехнологиите са нови за широката публика и не е известно какви ще бъдат обществените очаквания, отношения, избор и приемане, които и ще предопределят тяхното развитие и приложение в хранителната промишленост.

Добре се знае, че недостигът на знания и информация за новите технологии или липсата на открита дискусия за рисковете и ползите, води до увеличаване на неяснотите и съмненията в обществото. Пресен пример за отрицателна реакция в ЕС е отношението към генетично модифицираните организми (ГМО) и генномодифицираните храни (Maynard et al., 2006; Chaudhry et al., 2008; EFSA, 2009).

Липсата на познания върху оценката на риска за околната среда, здравето на човека и безопасността на наноматериалите е много важна пречка за постигането на пълния потенциал на нанотехнологиите. Съществува голям недостиг на информация по тези аспекти на нанотехнологиите. Необходимо е да се подобрят методите за изпитване и оборудването, оценката на безопасността за здравето на човека и околната среда и пълно качествено и количествено охарактеризиране на произведените наночастици. Проучването на общественото мнение в някои страни членки на ЕС показва, че то не е благоприятно по отношение на приложението на нанотехнологиите в храните или по отношение на приложението на наноматериалите в храните и хранителните опаковки и че те трябва да бъдат обект на независима оценка на тяхната безопасност преди да бъдат пуснати на пазара (EFSA, 2009; Kriger et al., 2009).

Всъщност големият проблем при наночастиците не са техните размери, а свързаните с тях нови свойства. Хората постоянно са подложени на въздействието на естествено съществуващи наночастици, но никога не са били изработвани специални наночастици за хранителната промишленост. Ние просто понастоящем не знаем достатъчно до каква степен могат да повлияят на здравето на човека, нито пък да предположим. Така например нанотръбичките от въглерод могат да предизвикат рак. Липсата на доказателства за вредния ефект на наночастиците, не е доказателство за тяхната безвредност. Нанохраните трябва да се разглеждат като "нови" и трябва поотделно да се оценяват от гледна точка на тяхната безопасност. Това означава да се въведе в законодателството дефиниция на нанохрани и да се оценяват потенциалните рискове на наноматериалите. Всички храни, съдържащи наноструктури, трябва да бъдат обозначени със специални етикети. Всички произвеждани наночастици трябва да се разглеждат като нови химикали и да бъдат подложени на строга преценка за тяхната безопасност, дори и за тези, при които естествените форми са доказано безопасни. Например шоколади, съдържащи наночастици от титанов двуокис, който се прибавя, за да се подобри външният вид на продукта, не трябва да се пускат на пазара без да се подложат на оценка на тяхната безопасност, въпреки че нормално титановият двуокис е разрешен за приложение в хранителната промишленост. Всичко друго може да доведе до много сериозни здравословни проблеми (Nanotechnology and Food).

Влагането на наноматериали в храните не е съвсем без риск. Поради своите малки размери, наноматериалите могат да преодолеят различни бариери, като епителa на стомаха и да навлязат директно в кръвта. Следователно те могат да достигнат по този начин до различни органи и да се натрупат в тях. Известно е, че ултрафини частици от дизеловите двигатели могат да попаднат в белите дробове. Съществува голям бой научни изследвания, които доказват връзката между тези частици и сърдечносъдовите заболявания. Изследвания с опитни животни потвърждават факта, че наночастиците са способни да преминат през стените на стомаха. Много е важно да се подчертае, че съществуващите подходи за оценка на риска могат да се приложат и по отношение на наночастиците, но не може да се екстраполират резултатите на нормални субстанции и структури на нанониво. Това се дължи на факта, че наночастиците се придвижват по различен начин в човешкото тяло в сравнение с големите частици. Освен това наночастиците имат голяма активна повърхност, която увеличава тяхната реактивоспособност. По тази причина оценката на риска трябва да се провежда за всеки продукт поотделно. Много изследвания са необходими, за да се устано-

ви как наночастиците се придвижват в организма и с какви тестове трябва да се определя тяхната токсичност. Например понастоящем много малко се знае за това как те навлизат в човешкия организъм, как се придвижват в него и как се отделят от него. Освен това наноматериалите трябва да бъдат охарактеризирани много добре, за да се разбере на какво се дължи тяхната повишена токсичност. Друга трудност е свързана с точната дефиниция на нанотехнологията и наноматериалите. В храните се съдържат естествени наноматериали. Необходимо е да се отчете наличието на наночастици в млякото. Вимето на кравите представлява наноуред, който синтезира, събира и разпръсква белтъци и мазнини във водна фаза, които след това се превръщат в градивни блокове на мириада от белтъчни структури. Хомогенизираното мляко съдържа наночастички с големина около 100 nm. Следователно дефиницията трябва да различава естествените и изкуствено произведени наноматериали (Stamm, 2009; Stones, 2009a, Nanotechnology and Food Industry).

Когато се разглеждат въпросите около нанохраните трябва да се имат предвид някои много важни съображения (A missed opportunity to educate about "nanofoods"):

- Редица нанохрани вече са налични в супермаркетите. Съгласно Project on Emerging Nanotechnologies повече от 90 нанохрани и напитки се предлагат на пазара;

- Много от тези нанохрани са пуснати в търговската мрежа без да преминат изследване за тяхната безопасност. Научните изследвания показват, че някои при обикновени условия доброкачествени материали стават токсични при намаляването на техните размери до нанониво;

- Липсват установени правила за нанохраните и ефективна стратегия за оценка на тяхната безопасност.

Един от най-важните аргументи на противниците на нанохраните е, че "тези продукти не са обозначени, следователно консуматорите не могат да имат избор и ако искат да ги отбягват". Друго опасение е, че свързването на нанотехнологията с хранителната промишленост може да донесе неочаквани опасности. Нанохраните могат да преодолеят редица бариери в човешкото тяло, които са непреодолими за обикновените храни и да навлязат в кръвния поток и да се натрупат в жизненоважни органи. Все още няма точна дефиниция на нанохраните от Европейската комисия (Garber, 2007; Wogan, 2010).

Токсикология на наноматериалите

Оценката на риска (ОР) е научнообоснован процес, при който се оценява вероятността от появата на вредни ефекти върху здравето на човека, животните и околната среда. Традиционно оценката на риска включва четири етапа: определяне на опасностите, охарактеризиране на опасностите, оценка на експозицията и характеристика на риска (FAO/WHO, 1995; 1997; Codex, 2007). Здравният риск се определя като комбинация от вероятността да се случи вреда на здравето и сериозността на вредата. Тази традиционна парадигма на оценката на риска може да се счита за подходяща отправна точка за допълнителни здравни ефекти, дължащи се на нанохарактеристиките на ПНЧ (EFSA, 2009).

Специалните характеристики и свойства на ПНЧ като малки размери, повърхностна реактивоспособност, преминаване през биологичните мембрани, взаимодействието с околните матрици и неочакваните резултати от всичко това, изискват специално отношение към тях. Детайлното познаване на серия от представителни ПНЧ с охарактеризирани физикохимични и токсикологични свойства е основно изискване към бъдещето развитие на методи за предвиждане на тяхното поведение (EFSA, 2009).

Новият тип и безпрецедентно големият брой на различните видове наноматериали, потенциално високата им реактивоспособност, съчетана с характеристика на висока мобилност и проникваща способност - от една страна, а от друга - отделяне на наночастици в околната среда от вторични източници (индустриални производства и потребителски продукти) и при процеси, насочени към околната среда, с поява на вторичен екотоксичен ефект върху хранителната верига, всичко това създава потенциални разклонения на пътищата за човешка експозиция и за здравен риск (Хинков, Ангелова, 2010).

Първичните пътища на експозиция на наноматериалите включват респираторния

тракт (дихателната система), гастроинтестиналния тракт (храносмилателната система) и кожата, а така също трябва да се вземат предвид и специалните приложения - интравенозен и интрадермален портал на проникване. Тъй като размерът на наночастиците е сравним с този на биомолекулите, приложен е механизма на т. нар. "персорбция" посредством парацелуларни пътища при преминаване на наночастиците от интестиналния лумен в кръвта. Прилагането на наночастици ZnO (26-30 nm) в слънцезащитни формули върху човешка кожа показва процес на акумулиране на наночастици в роговия слой (stratum corneum) с минимално проникване. При инхалиране на наночастици се демонстрира транслокация в екстрапулмонарни тъкани, вкл. в мозъка. След експозиция, значителна част от инхалираните наночастици TiO_2 се откриват в алвеоларните епителни клетки, интерсициума и кръвните клетки. Нановъглеродът под формата на сажди, въглеродни нановлакна и многостепенни нанотръбички, индуцира в белия дроб на хора морфологични промени на клетките след 24-часова експозиция (Хинков, Ангелова, 2010).

Токсикокинетиката се занимава с абсорбцията, разпределението, метаболизма (биотрансформацията) и отделянето/елиминирането на веществата в тялото. Последващата поредица от промени след приемането на храната, определят вътрешното изложение на органите на потенциалните токсични вещества. Изследванията върху абсорбцията на ПНЧ, както и другите етапи на токсикокинетиката са проведени главно с метали и метални окиси и само в някои случаи с полимерни ПНЧ (EFSA, 2009).

Най-общо данните от токсикокинетиката на ПНЧ могат да се обобщят както следва (EFSA, 2009):

- Вероятно съществуват големи различия между токсикокинетичните свойства на различните ПНЧ;
- Черният дроб и далакът са най-важните органи, в които става натрупване на метални ПНЧ;
- По-малките ПНЧ се разпространяват в много повече органи и тъкани в сравнение с по-големите такива;
- Съществуват данни, че някои ПНЧ могат да преминат през плацентата. Няма данни дали ПНЧ могат да преминат в млякото.

В някои случаи съществуват възможности определени ПНЧ да навлязат в хранителната и фуражна вериги като замърсители. Разпиляването на ПНЧ по време на производството, употребата и прехвърлянето на ПНЧ води до проникването им в тези вериги. Замърсяването с ПНЧ може да стане посредством складирането на отпадъците и тяхното проникване от депата до околната среда. Последващото замърсяване на почвата и водата теоретично води до проникването на ПНЧ в растенията и водните организми, които се консумират от хората и животните. Има научни съобщения за замърсяването на растения и аквакултури с ПНЧ (Handy et al., 2008).

Докато предимствата на нанотехнологиите се популяризират широко, дискусията около потенциалните ефекти от тяхното повсеместно разпространение върху човека и околната среда едва сега започва. Привържениците и противниците на нанотехнологиите намират трудно доказателства, за да потвърдят своите твърдения, поради недостига на информация. Беше установено, че наночастиците могат да проникнат в човешкото тяло по различни пътища. Волен или неволен контакт при производството и употребата им може да доведе до проникване чрез белите дробове до кръвния поток и други важни органи. Демонстрирано беше, че наночастиците могат да действат като генен вектор. Черните въглеродни нанотръбички оказват влияние на системата за сигнализиране на клетките. Беше демонстрирано, че ДНК може да се използва за отделяне на въглеродни нанотръбички според тяхната големина (Hoet et al., 2004).

Кожата, храноосмилателният тракт и белите дробове на човека са в постоянен контакт с околната среда. Докато кожата действа като преграда, белите дробове и храносмилателната система позволяват активен или пасивен транспорт на различни вещества като вода, храна или кислород. Следователно те са първите входни системи за навлизане на наночастиците в човешкото тяло. Нашите познания в тази област произхождат главно от фармакологичните и токсикологични изследвания. Човешката кожа действа като силна преграда и не могат да преминат през нея жизнено важ-

ни вещества - изключение прави радиацията, която е необходима за образуването на витамин D. Белите дробове обменят кислород и въглероден двуокис с околната среда и малки количества вода с издишвания въздух. Храносмилателният тракт е в тясна връзка с всичко, което постъпва през устата. Това са всички хранителни вещества (с изключение на газовете), които се обменят между тялото и околната среда (Hoet et al., 2004).

Тези три органа се различават много съществено по своите контактни способности с околната среда. Кожата на един възрастен човек е с площ около 1,5 m^2 и основно е покрита с относително плътен слой кератинови мъртви клетки с дебелина 10 μm. Белите дробове на човека се състоят от две отделни части - система за въздушен пренос (през която въздуха постъпва до и от тях) и алвеоли (област за обмяна на газовете). Те съдържат около 2300 km въздушни пътища и 300 милиона алвеоли. Белите дробове на възрастния човек имат повърхност около 140 m^2, т. е. размерите на игрище за тенис на корт. Системата за въздушен пренос е относително трудно преодолима. Въздухът обаче в алвеолите е на разстояние само на 0,5 μm от кръвния поток и по тази причина те са по-податливи на въздействие от околната среда (Hoet et al., 2004).

Храносмилателната система е много по-сложна бариера и е най-важния вход за достъп на макромолекулите до човешкото тяло. От стомаха само малките молекули могат да дифузират през епителa. Епителът на тънките и дебели черва е в тесен контакт с погълнатата храна и от нея се усвояват хранителните вещества. Сместа от дизахариди, пептиди, мастни киселини и моноглицериди, които се образуват в тънките черва от разграждането на храната, са подложени на следваща трансформация. Общата повърхност, която е достъпна за хранителните вещества в храносмилателната система е около 200 m^2, което се дължи основно на микровласинките (Hoet et al., 2004).

Заключение

"Добре дошли" в света на нанохраните, където почти всичко е възможно, където храните могат да бъдат манипулирани на атомно или молекулно ниво за да бъдат толкова вкусни, колкото вие желаете и толкова пресни колкото вие си представяте. Там има умни пестициди, които стават токсични, когато попаднат в стомаха на вредните насекоми. Производителите на храни обещават край на недояждането, където интелигентни опаковки постоянно следят дали ще се появят вредни организми за да ги унищожат. Накратко рай на храните, обещаващ край на затлъстяването и непълноценното хранене. Или ад на храните, за тези които вярват, че безопасността им изобщо не е доказана. Едно обаче е сигурно. След противоречията около генномодифицираните храни, нанохраните са следващият щекотлив въпрос, който ще достигне до нашата трапеза (Bogan, 2008).

Ползите от нанотехнологиите за различните индустрии могат да бъдат много по-важни от атомната енергия. Рестриктивните мерки обаче могат да убият нанотехнологиите. Нано вече е страшна дума (Stones, 2009a).

Научните работници и производителите на храни трябва да бъдат много по-прозрачни по отношение разясняване на предимствата и рисковете на нанохраните на обществото. Не трябва да се стига до ситуацията с ГМО. Трябва честно и почтено да се обясни всичко на обществеността, за да може всеки сам да прецени рисковете и предимствата на нанохраните, да разбере, че нанохраните са важен начин за внасяне на лекарства и хранителни вещества. Правителството не е длъжно да бъде адвокат на нанотехнологиите, както и да убеждава консуматорите в техните предимства. Задължение на учените от научните организации и университетите е да представят точно предимствата и недостатъците им (Kampers, 2005; Stones, 2009a).

Литература

Хинков, И., Н. Ангелова. 2010. Нанотехнологията - потенциален здравен риск. *Българско списание за обществено здраве*, Том 1, № 4, 61-67

Anklam, E. 2009 Earthsky Interviews, 11-02-2009. Elke Anklam describes nanofoods' benefits and possible risks, http://earthsky.org/health/elke-anklam-nanofoods-have-benefits-and-possible-risks.

Bogan, S. 2008. Once bitten. The Guardian, Wednesday 26 March 2008.

Byrne, S. 2009b. Legislation urged for nano-based materials. Breaking News on Food Processing & Packaging. 23 January 2009.

Cientifica Report. 2006. Nanotechnologies in the Food Industry - published August 2006. Available: www.cientifica.com/www/details.php?id=47.

Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Bozall, A., Castle, L., Aitken, R. and Watkins, R. 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Addit Contam*, 25 (3): 241-258

EFSA. 2009. Scientific opinion of the Scientific Committee on the request from the European Commission on the Potential Risks Arising from the Nanoscience and Nanotechnologies on *Food and Feed Safety*. The EFSA Journal, 958, 1-39

FAO/WHO. 1995. Application of Risk Analysis on Food Safety Issues. Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation, Geneva, Switzerland, 13-17 March 1995, 1-43

FAO/WHO. 1997. Risk Management and Food Safety. Report of Joint FAO/WHO Consultation, Rome, Italy, 27-31 January 1997.

Future Food. 2008. Healthy and Safe Food for the Future. EC Sixth Framework Programme Project.

Garber, C. 2007. Nanotechnology food coming to a fridge near you. Nanowerk LLC.

Handy, R. D., F. von de Kammer, J. R. Lead, M. Hassellov, R. Owen, and M. Grane. 2008. The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles. *Ecotoxicology,* 17 (4): 287-314

Harrington, R. 2009a. Strong growth in nano-packing, but Europe still cautious. Breaking News on Food Processing & Packaging. 24 July 2009.

Harrington, R. 2009b. Nanotech research launched by US and EU. Breaking News on Food Processing & Packaging. 01 October 2009.

Hoet, H. M., Bruske-Hohlfeld, I., O. V. Salata. 2004. Nanoparticles - known and aknown healt risk. *Journal of Nanobiotechnology*, 2-12

Kriger, D. G., S. F. Hansen., A. Baun. 2009. The known unknowns of nanomaterials: Describing and characterizing uncertainty within environmental, health and safety risks. *Nanotoxicology,* 3, (3) 1-12

Lovett, R. A. 2009. "Nanofoods" Offer Big Flavor, Low Fat, Stealth Vitanins, National Geographic News, February 2009.

Lynch, I., K. A. Dawson. 2008. Protein-nanoparticle interactions. Nano Today 3 (1-2): 40-47

Maynard, A. D, Aitken, R. J., Butz, T., Colvin, V., Donaldson, K., Oberdorster, G., Philbert, M. A., Ryan, J., Seaton, A. and Stone, V. 2006. Safe handling of nanotechnology. *Nature*, 444 , p. 267-269

Media release. 2009. Europe declares de facto moratorium on nanotech food. http://www.europarl.europa.eu/news/expert/infopress_page/067-52498-082-03-13-911-20090324IPR52497-23-03-2009-2009-false/default_en.htm. 25 March 2009.

Mitchell, D. 2009. Scared by "Frankenfoods"? Just Wait for Nanofoods, Daily Bread The Business of Food, August 31.

Nanotechnology and food. http://www.choice.com.au/Reviews-and-Tests/Food-and-Health/Food-and-drink/Safety/Nanotechnology-and-food/Page/Nanofoods.aspx

Nanotechnology Basics. 2009. http://www.nanotech-now.com/basics.htm. 27 June 2009.

Nanotechnology Now - Current Uses. 2009. http://www.nanotech-now.com/current-uses.htm. 27 June 2009.

Nanofoods for health http://www. britannica.com/bps/additionalcontent/18/36850625/Nanofoods-for-health

Nanofoods: Future Health and Nutrition Implications; http://www.thefitshow.tv/index.php?option=com_content&view=article&id=172:nanofoods&catid=61:technology&Itemid=138

Nanotechnology and the Food Industry - The Pros and Cons Nanofoods http://www.azonano.com/news.asp?newsID=10016.

Nowack, B. and T. D. Bucheli. 2007. Occurrence, behaviour and effects of nanoparticles in the environment. *Environ. Pollut.*, 150 (1): 5-22

Stamm, H. 2009. The pros and cons nanofoods. CORDIS News interview, 2009-02-19

Stones, M. 2009a. Nanoscience to boost food safety quality and shelf life. Breaking News on Food Processing & Packaging. 08 June 2009.

Stones, M. 2009b. Food safety rules and costs threaten nano science benefits. Breaking News of Food Processing & Packaging. 16 June 2009.

Wogan, T. 2010. U. U. Lords: Nanofoods Deserve Further Scrutinity. Science Inseider, January 2010.