

Nanoanyagok alkalmazása az élelmiszeriparban és a mezőgazdaságban

Application of Nanomaterials in Food Industry and Agriculture

ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS R.¹, PINTÉR-MÓRICZ Á.²

¹Miskolci Egyetem, Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, zmr@afki.hu

²Miskolci Egyetem, Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, pinter@afki.hu

Absztrakt. A nanoanyagok egyedülálló alkalmazási tulajdonságokkal rendelkeznek, melyek főként méretbeli jellemzőiknek köszönhető. Ezen anyagok ugyanis jóval nagyobb fajlagos felülettel rendelkeznek, mint ugyanezen anyagok normál mérettartományba eső részecskékből álló változata. Ezen tulajdonságnak köszönhetően a nanoanyagok alkalmazása az iparban széles körben elterjedt. Az élelmiszeripar és agrár szektor egyre nagyobb mennyiségben használja ezeket az anyagokat. A nanoméretű alkotóelemek és adalékok bevetésének fő célja elsősorban az élelmiszergyártási folyamat bizonyos paramétereinek javítása, az élelmiszerek eltarthatósági idejének javítása, mindezen túl a termékek állagának, stabilitásának, konzisztenciájának javítása. Minden bizonnyal a nanoanyagok a jövőben jelentős hatást gyakorolnak majd az élelmiszeripar fejlődésére, sőt előreláthatólag a nanotechnológia megjelenik majd és hatást gyakorol az egész élelmiszerláncban. Megjegyzendő, hogy az élelmiszeripar több olyan nano mérettartományba eső anyagot használ föl, amelyet ennek ellenére nem emlegetnek nanoanyagként. Ilyenek bizonyos fehérjék (például a tejjfehérje), zsírsavak micellái. Mindezeknek a figyelembevételével jelen tanulmány célja ezen anyagok alkalmazásának széleskörű áttekintése és összefoglalása.

Abstract. Nanomaterials have unique application features which can mainly be associated with their size properties. These materials have much higher surface than the normal particle size variant of the same materials. Due to these properties, nanomaterials are widely used in the industry. Food industry and the agrarian sector are using these materials increasingly. The main goal of nano size components and additives are the improvement of some parameters of the food manufacturing process, the elongation of the best before date of the food and the improvement of the texture, stability and the consistence of the food. Probably, nanomaterials will play an important role in the development of the food industry, moreover, it can be anticipated that nanotechnology will also appear there and will influence the whole food chain. It should be noted that food industry is using several nano size class materials which are not referred to as nanomaterials. Some examples are the micelles of some proteins, like milk protein, and fatty acids. Considering all these, the aim of our work was to present a thorough review and summary of the current applications.

Kulcsszavak: nanoanyagok, agyagásványok, mezőgazdaság, élelmiszeripar.

Bevezetés (Nanoanyagok definíciója)

Önmagában a „nano” kifejezés a 10^{-9} m tartományba eső részecskéket jelöli, gyakorlati szempontból azonban a 100 nm alatti méretű szemcséket tekintjük nanoanyagoknak, ezen mérettartományi megköötések régióként és tudományterületenként eltérnek. Az Európai Bizottság 2011. október 18.-án fogadta el a nanoanyagok meghatározásáról szóló ajánlást [1]. Ezen ajánlás szerint nanoanyag:

- Természetes, véletlenszerűen előállított vagy gyártott anyag, amely részecskéket tartalmaz, kötetlen állapotban vagy aggregátumként vagy agglomerátumként, és ahol a részecskék legalább 50% -ának a mérete 1 -100 nm mérettartományba esik.
- Különleges esetekben, és amikor a környezetre, egészségre, biztonságra vagy versenyképességre vonatkozó aggályok ezt indokoltá teszik, az 50% -os számméret-eloszlási küszöbérték helyettesíthető 1–50% közötti küszöbértékkel.
- A fentiekől eltérve, a fulleréneket, a grafén pelyheket és az egyfalú szén nanocsöveket, amelyeknek egy vagy több külső mérete 1 nm alatt van, nanoanyagoknak kell tekinteni.

1. A nanorészecskék alkalmazása az élelmiszerekben és az élelmiszerekkel kapcsolatos termékekben

A nanorészecskéket számos felhasználási területen használják az élelmiszerekben és a mezőgazdaságban. Az élelmiszeripar és agrár szektor egyre nagyobb mennyiségben használja ezeket az anyagokat [2-3]. Példaként említhetők bizonyos fehérjék (például a tejfehérje), zsírsavak micellái, melynek mérettartománya a 2-200 nm intervallumba esik [4].

Az elsődleges termelés (mezőgazdaság) területén főként nano-összetételű peszticideket, műtrágyákat és más agrokémiai anyagokat fejlesztenek. A nanorészecskék alkalmazása olyan innovatív csomagolóanyagok kifejlesztését is lehetővé tette, amelyek javíthatják a termékek biztonságát és eltarthatóságát. És végül, a nanorészecskéket úgy fejlesztetik ki, hogy megakadályozzák a csomagolt élelmiszerek mikrobiális romlását, javítsák a színeket, az ízeket, az ízt és a textúrát, valamint növeljék a vitaminok és ásványi anyagok biológiai hozzáférhetőségét [5].

A nanorészecskék általában három kategóriába sorolhatók: szerves nanorészecskék, kombinált szerves / inorganikus (felülettel módosított) nanorészecskék. A szerves nanorészecskék fémből, gyakrabban fém-oxidokból állnak, melyeknek főként az antimikrobiális tulajdonságai miatt használnak. A felületen módosított nanorészecskék olyan nanorészecskék, amelyek bizonyos típusú funkcionalitást adnak a mátrixhoz, például antimikrobiális aktivitást vagy tartósítószer az oxigén abszorpciója révén, és általában felületen módosított agyagásványból állnak. Az utóbbi években ezek az anyagok nagy érdeklődést váltottak ki. Az élelmiszeriparban alkalmazásra kerülő nanoanyagok csoportosítását az 1. ábra foglalja össze.



1. ábra élelmiszeripar és mezőgazdaság által használt nanoanyagok tipizálása

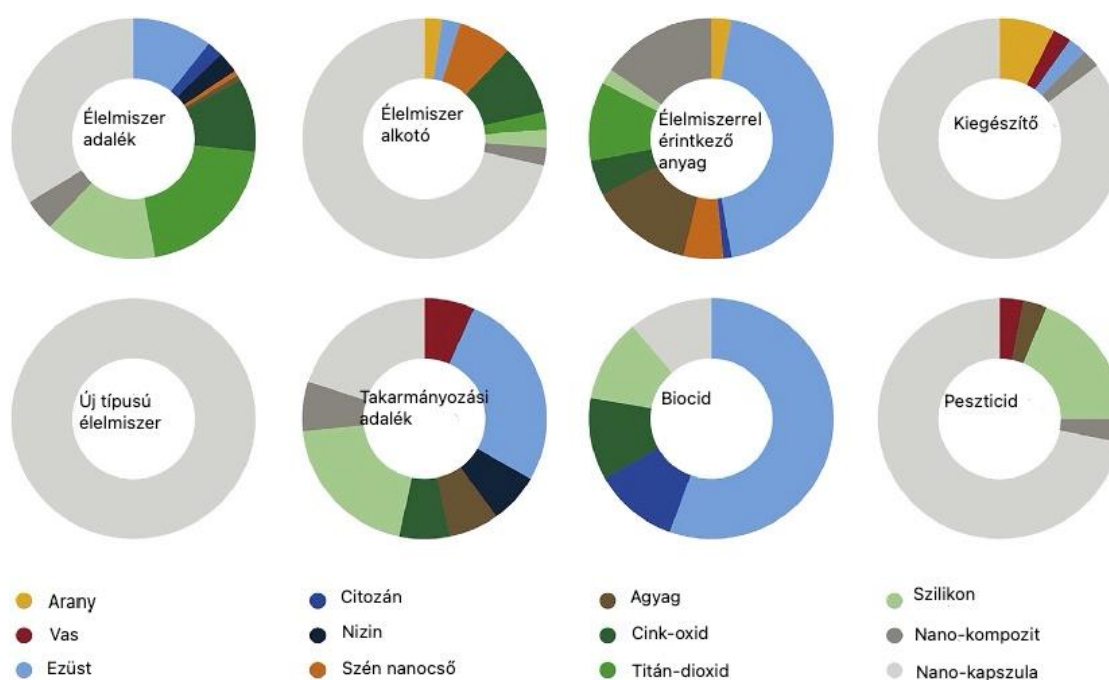
Csak néhány (6) nano-terméket azonosítottak a mezőgazdasági ágazatban. A mezőgazdasági szektor számára sok nano-termék fejlesztés alatt áll, de jelenleg csak kevés létezik [6]. A hat mezőgazdaságból származó nano-termék közül öt peszticid, amelyet emulziók formájában használnak, az egyik pedig a mikotoxinok kötőanyagaként szolgáló nanoagyag. Mindezt figyelembe véve az ebben a tanulmányban összeállított, az élelmiszerrel kapcsolatos nanotermekek listája csak egy pillanatfelvétel, és várhatóan az idő múlásával megváltozik, mivel új termékek lépnek piacra.

Az élelmiszer-csomagolásban használt nanorészecskék többnyire agyagból vagy ezüsből állnak. Az agyagot át nem eresztő rétegek előállítására használják a csomagolóanyagok felületén, különösen műanyag palackokban, hogy mechanikai szilárdságot biztosítsanak, vagy gátat képezzenek a gázok, illékony komponensek (például aromák) vagy a nedvesség átjutása ellen. A nano-agyagásvány elsősorban montmorillonit; természetes agyag, amelyet vulkanikus hamuból / kőből nyernek (bentonitnak is nevezik). Az agyagot felületükkel úgy módosítják, hogy szerves agyagot képezzen, amelynek természetes nanoméretű rétegszerkezete van, mely szerves anyagokkal módosított, hogy kötődjön a polimer mátrixokhoz [7]. A felületen módosított nanorészecskék felhasználhatók bizonyos típusú funkciók mátrixhoz történő hozzáadásához, például az antimikrobiális aktivitás vagy az oxigén abszorpcióján keresztül történő tartósítószer hozzáadásához. Az élelmiszer-csomagolásban gyakran használt egyéb anyagok a szilícium-dioxid, titán-dioxid és keményítő. Noha az ezüst normál mérettartományban nem a legelterjedtebb anyag, antimikrobiális anyagként a leggyorsabban növekvő az élelmiszeripari alkalmazása például az étrend-kiegészítőben és az élelmiszer-csomagolásokban. Ugyanez vonatkozik a hűtőszekrényekre és az élelmiszer-tároló dobozokra. Az ezüstöt jelenleg közvetlenül az élelmiszerekben nem használják föl, azonban szabadalmak foglalkoznak az antibakteriális búzaliszt előállításával, illetve használatának lehetőségével, mint takarmány-

adalékanyag [8]. Az utóbbi időben az ezüstöt vizsgálták továbbá a baromfitenyésztés során alkalmazott antibiotikumok alternatívájaként is [9].

2. Nanoanyagok alkalmazása az élelmiszeriparban és mezőgazdaságban

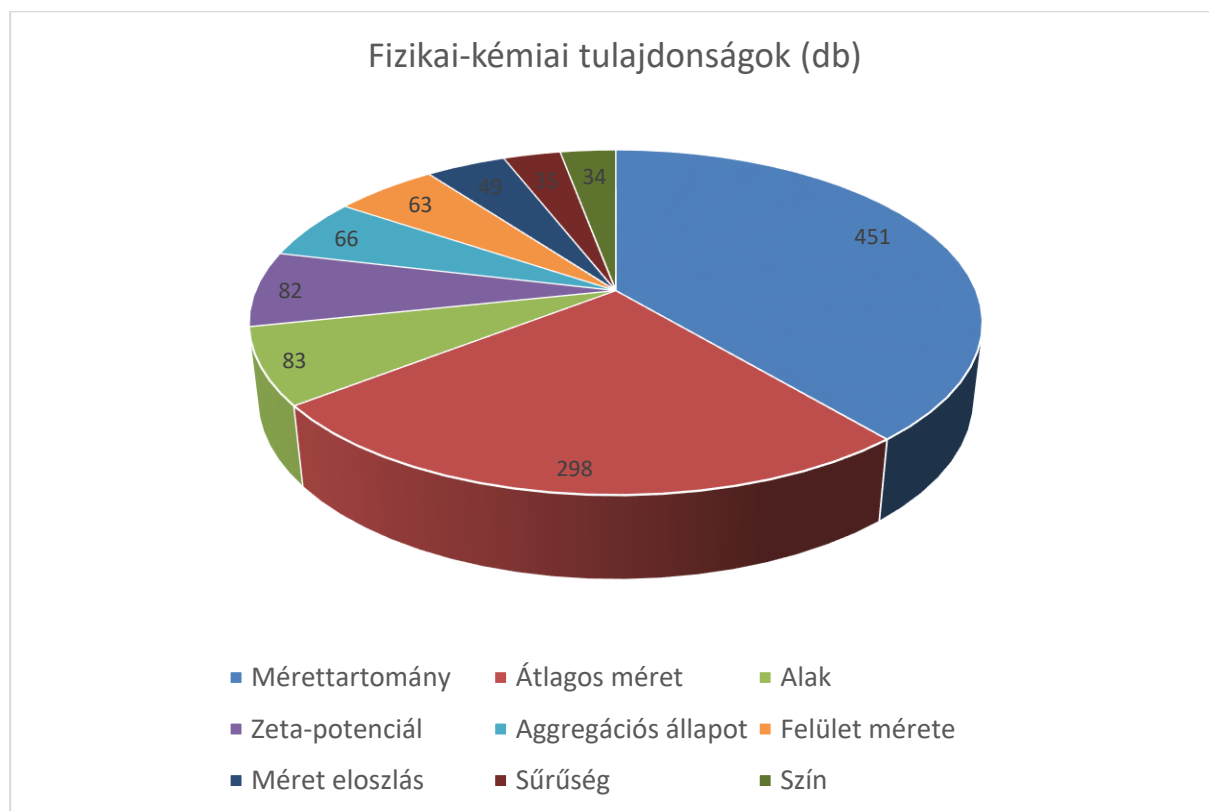
Az irodalmi kutatásból összegyűjtött adatok értékelése azt mutatta, hogy a publikációk több mint kétharmada az élelmiszerekben való felhasználásra vonatkozik, míg kis százaléka a mezőgazdaságot és a takarmányozást érinti. Ezek közül a szervesetlen nanoanyag típusok azok, amelyeket a mezőgazdaságban / takarmányban / élelmiszerben leggyakrabban említenek: az alkalmazott nanoanyagok körülbelül fele szervesetlen, beleértve a fémeket, a fém-oxidokat, a teljes szén alapú anyagokat (főleg szén nanocsövek és néhány fullerén és a korom) és az agyagot. A nanokompozitok többnyire (bio) polimerek, amelyek agyagot tartalmaznak, esetleg más felületmódosított agyagot. A publikációk egy másik nagy része a nanokapszulák alkalmazására vonatkozik, ezeket nanokapszuláknak, nanohordozóknak, nanoemulzióknak vagy micelláknak nevezik. Összegzésként elmondható, hogy néhány nanoanyag (nanomaterial, NM) alkotja az ezen a területen alkalmazott anyagok többségét, a nano-kapszulák közül az ezüst, a titán-dioxid és a szilícium-dioxid a legjelentősebbek (2. ábra).



2. ábra A leggyakrabban használt NM-típusok az agrár- / takarmány- / élelmiszeripari alkalmazásokban. A pontos számok megtalálhatók az eredeti jelentésben [10]

Az elemzett tanulmányok nagy része a termékekben való alkalmazásra összpontosított. A 3. ábra áttekintést nyújt a legfontosabb fizikai-kémiai tulajdonságokról, amelyeket a jelen tanulmányban értékelt források tartalmaznak. Ezek a nanoanyagok mérettartományát vagy átlagos részecskeméretet

vizsgálják a leggyakrabban, míg a publikációk csak kevés részében írnak le más fontos fizikai-kémiai jellemzőket, például alakot, zeta-potenciált, aggregációs állapotot és méreteloszlást.



3. ábra Az agrár- / takarmány- / élelmiszerágazatban alkalmazott NM-típusok fizikai-kémiai jellemzői. A szám azt jelzi, hogy hányszor jelentették az alkalmazott NM fizikai-kémiai jellemzőit az összegyűjtött szakirodalomban [11]

3. Alkalmazások a mezőgazdasági termelésben

A mezőgazdasági termelés során nano-összetételű növényvédő szereket és más nano-formátumú agrokémiai anyagokat alkalmaznak a hatékonyság növelésére [12]. Mindez úgy érhető el, hogy a hatóanyagok és más vegyületek méretét nano mérettartományra csökkentik, nanoemulziókba vagy nanodiszperziókba keverik, vagy szilárd lipid vagy polimer nanokapszulákba építik [13]. A kitozánon alapuló nanokapszulákat, azaz kitinből származó poliszacharidokat, különféle agrokémiai célokból használják. Karbendazimmal és tebukonazollal töltött szilárd lipid és polimer nanokapszulákat új gombaölő készítményként tartják alkalmazhatónak. A szakirodalomban fellelhető eredmények azt mutatják, hogy a nano-kapszulákból fokozatosan szabadulnak fel a gombaölő szerek, ezáltal hosszabb a hatástartamuk, és kisebb (káros) hatással vannak a növények növekedésére a jelenlegi kereskedelmi termékekhez képest [14]. A porózus üreges szilícium-dioxidot vizsgálták például két herbicid-hatóanyag, a validicin és a 2,4-diklór-fenoxiacetát szabályozott felszabadulása szempontjából. Mások a felületaktív anyagon alapuló nanoemulziókat a béta-cipermetrin rovarirtó bejuttató rendszereként vizsgálták [15]. További források szerint a feromon-metil-eugenolt tartalmazó nanogélek olcsó módszernek bizonyultak a kártevők elleni küzdelemben, miután jóval kisebb alkalmazott mennyiségek hatékonyabbnak bizonyultak, mint ami a normál alkalmazás esetében megszokott. Találhatók források

arra is, hogy a természetben előforduló nanoméretű hamukat és a szervetlen fém nanorészecskéket rovarirtó, antimikrobiális vagy gombaellenes tulajdonságok szempontjából vizsgálták. Kimondható, hogy a növények és az élelmiszeripari termékek kártevőktől való védelme mellett a nanotechnológia javíthatja a növénytermesztés minőségét, és ezáltal potenciálisan csökkentheti az alkalmazott műtrágya mennyiségét, miután a hozzáadott nanoanyagok jelenléte a talajban befolyásolhatja a gyökér tápanyagfelvételét és a víz szállítását is [16].

4. Alkalmazások a takarmányozásban

Csak korlátozott számú nanoanyag alkalmazás figyelhető meg takarmány-adalékanyagként, amelyek láthatóan a fejlesztési szakaszban vannak. Ezenkívül nem található jelentős információ arról, hogy bizonyos élelmiszer-adalékanyagok, pl. kapszulázott vitaminok vagy tápanyagok, takarmány-adalékanyagként is felhasználhatók. A fejlesztések és tesztek nagyrésze a takarmány emészthetőségének javítására irányul, és az antibiotikumok, baktériumok és toxinok felszívódásával foglalkozik. Feltehetőleg az antibakteriális nanoanyagok a hagyományos antibiotikumokhoz hasonló hatással rendelkeznek, és az állatok ivóvizéhez adagolhatók [9]. Az állati takarmányok mikotoxinokkal való szennyeződése világszerte problémát jelent a gazdák számára, és súlyos betegségeket okozhat a haszonállatokban. Kimutatták, hogy az agyagásványok (például montmorillonit alapú nanoanyagok) és más nanorészecskék (például polisztirol alapú részecskék) felszívják a mikotoxinokat [17]. Az anyagok méretének nanoméretűre csökkentése szintén növelheti a tápanyagok felszívódását, amint azt a vas [18] és a szelén mutatja, ami jelentősen javította a juhok takarmány-emésztését. Hasonlóképpen, a szelén nano-formáit vizsgálták új készítményként mikrotápanyagként, és kimutatták, hogy a nano-formák fokozott biológiai hasznosíthatóságot mutatnak halakban [19] és az állattenyésztésben [20]. Miközben nem volt takarmány-alkalmazás, a réz nanorészecskék vagy réz-szulfát injekciózása a csirketojásokban javította a takarmány konverziós arányát azáltal, hogy növeli az izmokat a nevelési periódus végén és csökkentette a mortalitást [21]. Végül a biokonjugált nanorészecskéket (kapszulázás) megvizsgálták a takarmányokban és az állatgyógyászati készítményekben használt tápanyagok vagy aktív vegyületek lassú felszabadulása szempontjából [22].

5. Alkalmazás az élelmiszeriparban

5.1. Alkalmazások élelmiszer-adalékanyagokban és étrend-kiegészítőkből

Az élelmiszer-előállításban a legtöbb nanotechnológiai alkalmazás olyan élelmiszer-adalékanyagokat foglal magában, amelyeket az élelmiszerek stabilitásának javítására használnak fel a feldolgozás és a tárolás során, a termékjellemzők javítására, vagy az élelmiszerek, tápanyagok hatékonyságának és biológiai hozzáférhetőségének fokozására. Az irodalomban számos ilyen élelmiszer-adalékanyagot azonosítottak, amelyek közül a leggyakoribb a szintetikus amorf szilícium-dioxid (SAS). A SAS-t tisztítószerként használják italokhoz, valamint állagjavító és csomósodásgátló szerként sok porított élelmiszer-készítményben (E551). A porított élelmiszerekben lévő szilícium-dioxid anyag legalább egy része a nano mérettartományban van [23]. Az SAS mellett az élelmiszergyártásban más gyártott csomósodásgátlókat is alkalmaznak, ideértve a kalcium-szilikátot, a nátrium-alumínium-szilikátot, a

dikalcium-foszfátot, a nátrium-ferrocianidot és a mikrokristályos cellulózt. A szakirodalomban nincs információ arról, hogy ezek az anyagok (részben) a nano-tartományban vannak-e.

Egy másik fontos élelmiszer-adalékanyag a titán-dioxid (E171). A titán-dioxidot pigmentekként használják bizonyos élelmiszerek, például tejtermékek és édességek fehér színének fokozására. A fehéritő TiO_2 nem új anyag, azonban tartalmazhat a gyártás során keletkező nanoméretű részecskéket [24]. A TiO_2 -t ízfokozóként is használják különféle nem fehér ételekben, beleértve szárított zöldségeket, dióféléket, magokat, leveket és mustárt, valamint sört és bort. Az élelmiszerekben a titán-dioxid irányába a felhasználás növekvő érdeklődést mutat, és egy nemrégiben készült tanulmány kimutatta, hogy a közönséges élelmiszerekben a titán-dioxid 5-36% -át a nano mérettartományban találták [25]. A nano-formában lévő titán-dioxidot használják antimikrobiális szerként, néha más vegyületekkel vagy elemekkel kombinálva, mint például nikkel-oxid és kobalt, az élelmiszerben terjedő kórokozók inaktiválására [26].

A vas-oxid formájában lévő vasat főként élelmiszer-színezékként használják. Bár a keresett irodalomban nincs információ ezeknek a részecskének a méretéről, valószínűleg mikron mérettartományban vannak, mivel nagyobb részecskék őrlésével állítják őket elő. A vas nanorészecskéket egészségvédő étrend-kiegészítőként tartják számon, mivel a vashiány az egyik leggyakoribb mikrotápanyag-hiány világszerte. A savban gyengén oldódó vasvegyületek oldhatóságát és biológiai hozzáférhetőségét javíthatjuk úgy, hogy csökkentjük az elsődleges részecskeméretet, és ezáltal megnöveljük fajlagos felületüket. A szemcseméret csökkentése ugyanis megnöveli a reakcióképességet, pl. 50-60%-os fajlagos felület növelés kb. 50%-kal nagyobb abszorpciós képességet eredményez. A nanostrukturált vastartalmú vegyületek hasznosak lehetnek bizonyos élelmiszerek vasdúsításához [27].

Miközben a fent tárgyalt adalékanyagokat magának az élelmiszernek a javítása vagy a termék ízletességének fenntartása céljából adják hozzá, „nano-bejuttató” rendszereket alkalmaznak a tápanyagok fogyasztó számára történő biológiai elérhetőségének növelésére. A nano-kapszulázás magában foglalja a bioaktív vegyületek beépítését, abszorpcióját vagy diszpergálását nanoméretű vezikulumokba vagy azok felületére, és ez megóvhatja a bioaktív vegyületeket a lebomlástól, javíthatja a stabilitást és az oldhatóságot (például egy hidrofil vegyület szolubilizálása hidrofób mátrixokba és fordítva).

5.2. Alkalmazások élelmiszerekkel érintkezésbe kerülő anyagokban

A nanoadalékok és a nanotechnológia alkalmazható különféle anyagokban, amelyek érintkezésbe kerülnek élelmiszerekkel. Ilyen lehet például az élelmiszer-csomagolás, tárolódobozok, főzőkészülékek, edények, gépek és felületek burkolatai vagy nano-sziták / membránok.

Az élelmiszeripar területén a közeljövőben a nanotechnológia alkalmazásának legfontosabb típusa az nanoanyagok beépítése csomagolóanyagokba vagy tárolóedényekbe annak érdekében, hogy a tárolási időt növeljék, miközben a termékek frissek maradnak [28]. Az úgynevezett nanokompozitok csökkentik az élelmiszer-csomagoló anyagok áteresztő képességét, az oxigén bejutását és a szén-dioxid kijutását [29]. Ezek a csomagolóanyagok hőre lágyuló polimerek, amelyek nanoméretű zárványokkal rendelkeznek, ezen zárványok többnyire agyagásványokból állnak, 2 tömegszázalékban, hozzáadva a polipropilén alapú nanokompozit vagy poliamid műanyag fóliákhoz (pl. Durethan® húscsomagoláshoz)

[30]. A töltőanyagok további példái a szén nanocsövek, fém és fém-oxid, cellulóz vagy polimer gyanták és rostok nanorészecskéi. Az agyagásványok további előnye a szakítószilárdság és a termikus tulajdonságok javítása, ezért a polimer-agyag-nanokompozitok új élelmiszer-csomagolóanyagként említhetők meg. A szilikát gátaakkal rétegelt poliamidból álló anyagok további tulajdonságokkal bírnak, mint például hőpufferelés [31]. Az alacsony sűrűségű polietilén fóliákban a nano-agyagok hibridizációja hozzájárul a diffúzió sebességének csökkenéséhez, és így akár képes lehet megtartani az antibakteriális és gombaellenes illóolajokat is [32]. A szilikát nanorészecskéikkel vagy nanokristályokkal dúsított nanokompozit filmek felhasználhatók műanyag sörösüvegekhez (például Nanocor, [33]), amelyekről az USA-ban számoltak be. A szén nanocsövek felhasználhatók az élelmiszer-csomagolásban a mechanikai tulajdonságok javítása és az antimikrobiális hatások bevezetése érdekében. A biológiailag lebontható élelmiszerek csomagolásába beépített nanoanyagok, például az TiO_2 nanorészecskék biológiailag lebontható polilaktid (PLA) kompozit fóliákban javították a hőszigetelési és hőstabilitási, valamint a mechanikai tulajdonságokat, ugyanakkor növelték a csomagolóanyag fotodegradálhatóságát az ultraibolya sugárzás abszorpciója miatt. Ezenkívül a nano- és mikroméretű polikaprolakton-, poli-, tej- vagy polisztirolgyöngyökbe beépített fázisváltó anyagok elősegítik az élelmiszer-csomagoló rendszerek hőpuffer-kapacitásának növekedését és hozzájárulnak a hűtési lánc folytonosságához [11].

6. Jövőbeli trendek

Az új termékek kutatása és az nanoanyagok alkalmazásai a mezőgazdaságban / takarmányokban / élelmiszerekben folyamatosan növekszik és egyre változatosabb.

Annak ellenére, hogy a nanotechnológia nagy lehetőségeket kínálhat a növényi trágyázó termékek fejlesztésére, ilyen termékekre eddig csak kevés felfedezést szabadalmaztattak [10]. Ezzel szemben számos vállalat, mint például a Syngenta, a Bayer, a Monsanto, a Sumitomo, a BASF és a Dow Agro Sciences, szabadalmakat jegyeztetett be a beágyazott készítmények előállítására és alkalmazására, amelyek nanopeszticidek előállításához felhasználhatók. Néhány nano-terméket már forgalmaznak egyes régiókban (elsősorban az USA-ban), például Nanocid® alapú peszticidek és Chitosan. Az EU-ban csak néhány nano-terméket jelentettek a készítményekben. Így várható, hogy a piacon hamarosan megjelenő nano-agrokémiai anyagok nem új aktív nano-összetevőken alapulnak, hanem főként a már regisztrált hatóanyagok nano-emulzióiból / diszperzióiból állnak majd.

Az állati takarmányokban alkalmazott nanoanyag alkalmazások fő felhasználása a mikrotápanyagok (azaz a szelektív) megnövekedett biohasznosulására irányul, és lehetőséget biztosít a mikotoxinok nem kívánt magas szintjének kezelésére. Noha várható, hogy bizonyos élelmiszer-feldolgozó szereket is alkalmazhatnak takarmány-előállításban [1], nem találtunk egyetlen kifejezetten az ilyen alkalmazásra összpontosító tanulmányt. Az ömlesztett ZnO-t, amely a nano mérettartományban is tartalmazhat frakciót, újraértékeltették az EU-ban takarmány- és élelmiszer-adalékanyagként [34].

Irodalomjegyzék

- [1] EC. (2011) 'Commission recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial (2011/696/EU)'. In EC. (Ed.), Vol. Official Journal L 275, pp. 38-40.

- [2] Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L. (2008) '*Applications and implications of nanotechnologies for the food sector*'. Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 25, pp. 241-258.
- [3] Duran, N., Marcato, P. D. (2013) '*Nanobiotechnology perspectives. Role of nanotechnology in the food industry: a review*'. International Journal of Food Science and Technology, 48, pp. 1127-1134.
- [4] de Kruif, C. G., Huppertz, T. (2012) '*Casein micelles: size distribution in milks from individual cows*'. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60, pp. 4649-4655.
- [5] Bouwmeester H., Brandhoff, P., Marvin, H.J.P., Weigel, S., Peters, R.J.B. (2014) '*State of the safety assessment and current use of nanomaterials in food and food production*'. Trends in Food Science & Technology, 40, pp. 200-210.
- [6] Perlatti, B., Luisa de Souza Bergo, P., Fatima das Gracas, M., da Silva, F., Batista Fernandes, J., Rossi Forim, M. (2012) '*Polymeric nanoparticle-based insecticides: A controlled release purpose for agrochemicals*'. InTech Publisher.
- [7] de Paiva, L.B., Morales, A.R., Valenzuela Diaz, F.R. (2008) '*Organoclays: properties, preparation and applications*'. Applied Clay Science, Vol. 42 (1-2), pp. 8-24.
- [8] Park, J. Y., Li, S. F. Y., Kricka, L. J. (2006) '*Nanotechnologic nutraceuticals: nurturing or nefarious?*' Clinical Chemistry, 52, pp. 331-332.
- [9] Pineda, L., Chwalibog, A., Sawosz, E., Lauridsen, C., Engberg, R., Elnif, J. (2012) '*Effect of silver nanoparticles on growth performance, metabolism and microbial profile of broiler chickens*'. Archives of Animal Nutrition, 66, pp. 416-429.
- [10] Peters, R. J., Brandhof, P., Weigel, S., Marvin, H., Bouwmeester, H., Aschberger, K. (2014) RIKILT and JRC, 2014. '*Inventory of Nanotechnology applications in the agricultural, feed and food sector*'. EFSA supporting publication, 2014:EN- 621., pp. 125.
- [11] Peters, R.J.B., Bouwmeester, H., Gottardo, S., Amenta, V., Arena, M., Brandhoff, P., Marvin, H.J.P., Mech, A., Botelho Moniz, F., Quiros Pseudo, L., Rauscher, H., Schoonjans, R., Undas, A.K., Vettori, M.V., Weigel, S., Aschberger, K. (2016) '*Nanomaterials for products and application in agriculture, feed and food*'. Trends in Food Science & Technology, Vol. 54, pp. 155-164.
- [12] Gogos, A., Knauer, K., Bucheli, T. D. (2012) '*Nanomaterials in plant protection and fertilization: Current state, foreseen applications, and research priorities*'. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60, pp. 9781-9792.
- [13] Frederiksen, H. K., Kristensen, H. G., Pedersen, M. (2003) '*Solid lipid microparticle formulations of the pyrethroid gamma-cyhalothrin e incompatibility of the lipid and the pyrethroid and biological properties of the formulations*'. Journal of Controlled Release, 86, pp. 243-252.
- [14] Campos, E. V. R., De Oliveira, J. L., Da Silva, C. M. G., Pascoli, M., Pasquoto, T., Lima, R., et al. (2015) '*Polymeric and solid lipid nanoparticles for sustained release of carbendazim and tebuconazole in agricultural applications*'. Scientific Reports, 5, 13809.
- [15] Wang, L. J., Li, X. F., Zhang, G. Y., Dong, J. F., Eastoe, J. (2007) '*Oil-in-water nanoemulsions for pesticide formulations*'. Journal of Colloid and Interface Science, 314, pp. 230-235.

- [16] Martínez-Fernandez, D., Barroso, D., Komarek, M. (2016) 'Root water transport of *Helianthus annuus* L. under iron oxide nanoparticle exposure.' Environmental Science and Pollution Research, 23, pp. 1732-1741.
- [17] Kuzma, J., Romanchek, J., Kokotovich, A. (2008) 'Upstream oversight assessment for agrifood nanotechnology: A case studies approach'. Risk Analysis, 28, pp. 1081-1098.
- [18] Mahler, G. J., Esch, M. B., Tako, E., Southard, T. L., Archer, S. D., Glahn, R. P., et al. (2012) 'Oral exposure to polystyrene nanoparticles affects iron absorption'. Nature Nanotechnology, 7, pp. 264-271.
- [19] Sarkar, B., Bhattacharjee, S., Daware, A., Tribedi, P., Krishnani, K. K., Minhas, P. S. (2015) 'Selenium nanoparticles for stress-resilient fish and livestock'. Nanoscale Research Letters, 10, pp. 1-14.
- [20] Selim, N. A., Radwan, N. L., Youssef, S. F., Salah Eldin, T. A., Abo Elwafa, S. (2015) 'Effect of inclusion inorganic, organic or nano selenium forms in broiler diets on: 2-Physiological, immunological and toxicity statuses of broiler chicks'. International Journal of Poultry Science, 14, 144-155.
- [21] Mroczek-Sosnowska, N., Łukasiewicz, M., Wnuk, A., Sawosz, E., Niemiec, J., Skot, A., (2015) 'In ovo administration of copper nanoparticles and copper sulfate positively influences chicken performance'. Journal of the Science of Food and Agriculture, 96 (9), pp. 3058-3062.
- [22] Verma, A. K., Singh, V. P., Vikas, P. (2012) 'Application of nanotechnology as a tool in animal products processing and marketing: An overview'. American Journal of Food Technology, 7, pp. 445-451.
- [23] Dekkers, S., Krystek, P., Peters, R. J. B., Lankveld, D. P. K., Bokkers, B. G. H., Van Hoesven-Arentzen, P. H. (2011) 'Presence and risks of nanosilica in food products'. Nanotoxicology, 5, pp. 393-405.
- [24] Peters, R. J. B., Van Bommel, G., Herrera-Rivera, Z., Helsper, H. P. F. G., Marvin, H. J. P., Weigel, S., (2014) 'Characterization of titanium dioxide nanoparticles in food products: Analytical methods to define nanoparticles'. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62(27), pp. 6285-6293.
- [25] Weir, A., Westerhoff, P., Fabricius, L., Hristovski, K., von Goetz, N. (2012) 'Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products'. Environmental Science and Technology, 46, pp. 2242-2250.
- [26] Amna, T., Hassan, M. S., Yousef, A., Mishra, A., Barakat, N. A. M., Khil, M. S., et al. (2013) 'Inactivation of foodborne pathogens by NiO/TiO₂ composite nanofibers: A novel biomaterial system'. Food and Bioprocess Technology, 6, pp. 988-996.
- [27] Zimmermann, M. B., Hilty, F. M. (2011) 'Nanocompounds of iron and zinc: Their potential in nutrition'. Nanoscale, 3, pp. 2390-2398.
- [28] Donatella, D., Clara, S., Marilena, P., Sossio, C., & Antonella, M. (2013) 'Polypropylene and polyethylene-based nanocomposites for food packaging applications'. In Ecosustainable polymer nanomaterials for food packaging. CRC Press, pp. 143-168.
- [29] Silvestre, C., Cimmino, S. (2013) 'Ecosustainable polymer nanomaterials for food packaging'. New York: CRC Press.

- [30] Brody, A. L., Bugusu, B., Han, J. H., Sand, C. K., & McHugh, T. H. (2008) '*Innovative food packaging solutions. Scientific status summary*'. *Journal of Food Science*, 73, pp. 107-116.
- [31] Johnston, J. H., Grindrod, J. E., Dodds, M., & Schimitschek, K. (2008) '*Composite nano-structured calcium silicate phase change materials for thermal buffering in food packaging*'. *Current Applied Physics*, 8, pp. 508-511.
- [32] Shemesh, R., Krepker, M., Goldman, D., Danin-Poleg, Y., Kashi, Y., Nitzan, N. (2015) '*Antibacterial and antifungal LDPE films for active packaging*'. *Polymers for Advanced Technologies*, 26, pp. 110-116.
- [33] Nanocor (2016). <http://www.nanocor.com/>. Letöltés dátuma: 2016. február 16.
- [34] EFSA (2016). '*European Food Safety Authority Panel on food contact materials, Enzymes, flavourings and processing aids (CEF). Scientific opinion on the safety assessment of the substance zinc oxide, nanoparticles, for use in food contact materials*'. *EFSA Journal*, 14(3), pp. 4408-4416.