



Verkenning toepassing nanotechnologie in gewasbescherming

Ontwikkelingen en maatschappelijke interacties

L.A.P. Lotz, S. Heijting. & C. Kempenaar





Verkenning toepassing nanotechnologie in gewasbescherming

Ontwikkelingen en maatschappelijke interacties

L.A.P. Lotz, S. Heijting. & C. Kempenaar

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research International, Business Unit Agrosysteemkunde

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PRI projectnummer 331048012

Deze literatuurstudie is gefinancierd door het ministerie van EL&I in het kader van het onderzoeksprogramma KB-16-004-001, Thema technologie en Maatschappij.

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde

Adres : Postbus 616, 6700 AP Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 - 48 05 56
Fax : 0317 - 48 10 47
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Introductie	3
2. Doel van deze notitie	5
3. Definitie	7
4. Huidige en potentiële toepassingen in de gewasbescherming	9
5. Mogelijke risico's van nanotechnologie	11
6. De maatschappelijke discussie	13
Geraadpleegde literatuur	15

Samenvatting

Nanotechnologie is in opmars. Het heeft een brede toepasbaarheid en vindt zijn weg daardoor in alle mogelijke vakgebieden. Deze notitie verkent welke ontwikkelingen er op het terrein van gewasbescherming en nanotechnologie plaatsvinden, perspectief hebben en gewenst zijn voor een evenwichtige incorporatie van deze nieuwe technologie. Het gebruik van nanodeeltjes biedt de mogelijkheid om zeer gericht processen te laten plaatsvinden. In veel commerciële sectoren zoals de verpakings- en voedingsindustrie wordt nanotechnologie al in de praktijk gebruikt. De discussie over mogelijk toxicologische risico's is gaande en afstemming ten aanzien van de wet- en regelgeving op het gebied van nanotechnologie is in ontwikkeling. In de EU zijn nog geen nanotoepassingen van gewasbeschermingsmiddelen toegelaten, maar zijn mogelijk wel in ontwikkeling. Het betreft toepassingen waarbij het biologisch effect verhoogd kan worden door nanoformuleringen, de actieve stof ingekapseld wordt in een nanovector en tenslotte waarbij toediening van een actieve stof gekoppeld is aan detectie op nanoschaal. Nanotechnologie biedt perspectieven voor toepassingen in de gewasbescherming, mits de risico's op adequate manier beoordeeld worden. Het betrekken van actoren inclusief consument kan een gerichte discussie bewerkstelligen over de (on)gewenste ontwikkelingen op dit gebied.

1. **Introductie**

Nanotechnologie omvat het vervaardigen, bewerken, en toepassen van structuren, instrumenten en systemen op nanoschaal ($100 \cdot 10^{-9}$ m) waarvan ten minste 1 dimensie kleiner is dan 100 nm (gecombineerde definitie door SCENIHR, 2006 en The Royal Society, 2004). Nanotechnologie biedt de mogelijkheid om op zeer gerichte wijze in te grijpen in systemen en organismen. Deze relatief nieuwe technologie bestrijkt vele vakgebieden zoals elektronica en geneeskunde. Nanostructuren kunnen als vector dienen voor medicatie, waardoor deze zeer gericht wordt toegepast en niet lukraak in het lichaam belandt. Op deze wijze kan bijvoorbeeld de werkzaamheid van vaccins worden vergroot (Cruz et al., 2010). Nanotechnologie is enorm in opmars doordat er hoge verwachtingen zijn ten aanzien van de toepassingen. Binnen Nederland zijn er diverse initiatieven op dit vlak zoals bijvoorbeeld het FES-project NanoNext NL. In veel commerciële sectoren zoals de verpakings- en voedingsindustrie wordt nanotechnologie al in de praktijk gebruikt. Het aantal consumentengoederen waarvan wordt gesteld dat ze een toepassing van nanotechnologie zijn werd in 2008 op 580 geschat (Powell et al., 2008). In 2010 waren er binnen de EU 858 consumenten producten op de markt (Wijnhoven et al., 2010).

Vergeleken met andere sectoren staat het gebruik van nanotechnologie in de agroproductie nog in de kinderschoenen. Net als in de farmacie, biedt het gericht toepassen van middelen ook voor de agroproductie goede perspectieven. Bij de conventionele toepassing van agrochemicaliën gaat een deel van het middel verloren door afbraak, uitspoeling of drift voordat het middel zijn doel heeft bereikt (Nair et al., 2010). Middelen zullen hierdoor meerdere malen of in een hogere dosis moeten worden toegediend om het gewenste doel te bereiken. Hierdoor ontstaat een onnodige milieubelasting. Nanoformuleringen van agro-chemicaliën (gewasbeschermingsmiddelen, meststoffen) kunnen zorgen voor een gerichtere toepassing en daardoor een verhoging van de effectiviteit van de middelen en vermindering van de milieu belasting. Anjali et al. (2010) laten zien dat er minder actieve stof (permethrin) nodig is van een nanoformulering dan van een standaard formulering om het plaaginsect *Culex quinquefasciatus* (verspreider van lymfatische filariasis) te doden.

2. Doel van deze notitie

Het doel van deze notitie is het in kaart brengen van de kansen en risico's die gekoppeld zijn aan toepassing van nanotechnologie in de gewasbescherming. Tevens wordt inzichtelijk gemaakt welke maatschappelijke interacties gewenst zijn voor een evenwichtige incorporatie van deze nieuwe technologie in systeeminnovaties. Daarvoor is basiskennis nodig over de huidige ontwikkelingen met daaraan gekoppeld een omgevingsanalyse.

3. Definitie

De definitie van nanomateriaal was onderwerp van een publieke raadpleging die plaatsvond van 21 oktober 2010 tot 19 november 2010. De Europese Commissie gaf belanghebbenden de gelegenheid om hun mening en inzicht aangaande de definitie van nanomateriaal te geven. Deze definitie zal dienen als basis voor EU wet- en regelgeving. De noodzaak om een duidelijk definitie te hebben kwam voort uit de onzekerheid omtrent de evaluatie van de veiligheid en de inschatting van de risico's van nanomaterialen. Op 8 december 2010 werd de 'Final Opinion' door de SCENIHR (Scientific Committee for Emerging or Newly Identified Health Risks) opgesteld (SCENIHR, 2010). Er is nu een EU richtlijn in de maak die deze definitie vastlegt. Hieronder de voorlopige definitie zoals die nu in Artikel 2 van deze richtlijn staat:

'Article 2

1. Nanomaterial: means a material that meets at least one of the following criteria:

- *consists of particles, with one or more external dimensions in the size range 1 nm - 100 nm for more than 1% of their number size distribution;*
- *has internal or surface structures in one or more dimensions in the size range 1 nm - 100 nm;*
- *has a specific surface area by volume greater than 60 m²/cm³, excluding materials consisting of particles with a size lower than 1 nm.*

2. Particle: means a minute piece of matter with defined physical boundaries (ISO 146446:2007).'

Bron: http://ec.europa.eu/environment/consultations/pdf/recommendation_nano.pdf

De definitie laat ruimte voor discussie over wat er nu wel en niet onder nano valt. Strikt genomen kunnen ook sommige bestaande moleculen van actieve stoffen die gebruikt worden in de gewasbescherming, binnen deze definitie vallen. Het is van belang dat los van deze discussie de wet- en regelgeving op het gebied van stoffen zodanig is ingericht dat het de risico's ondervangt. Op dit moment is er nog geen specifieke nano wet- en regelgeving. Gezien de specifieke interacties van nanodeeltjes, kan het noodzakelijk zijn om huidige wet- en regelgeving aan te passen om mens en milieu voldoende bescherming te bieden (COMM, 2008).

4. Huidige en potentiële toepassingen in de gewasbescherming

Welke ontwikkelingen er plaatsvinden bij multinationals, en kleinere bedrijven blijft onbekend tot het moment dat het op de markt gebracht wordt. In deze paragraaf wordt daarom ingegaan op de ontwikkelingen zoals qua indeling (rol of werkingsswijze) in wetenschappelijke artikelen is gerapporteerd. Ook is gekeken naar toepassingen die raakvlak hebben met nanotechnologie of mogelijk als nanotechnologie bestempeld mogen worden. Het gaat hier ook om commerciële toepassingen. Gewasbeschermingsmiddelen worden doorgaans verspoten, waarbij druppels met een grootte van 100-1000 micrometer gangbaar zijn.

Er zijn verschillende manieren waarop nanotechnologie een rol kan spelen in de gewasbescherming.

1. Nanodeeltjes:
 - a. toename van het werkingsoppervlak
 - b. met metaalionen
2. Vector: nanocapsule
3. Nanoschakeling: Bepaalde prikkel zorgt ervoor dat het middel vrijkomt. Smart dust sensoren.

1a. Nano deeltjes: Toename van het werkingsoppervlak

De algemene verwachting is dat biologische effectiviteit van formuleringen kan worden verhoogd door middel van het gebruik van nanoformuleringen (Boehm et al., 2003). Dit geldt dan vooral voor stoffen die met water verspoten worden en slecht oplossen in het water en voor stoffen die tijdens de toediening via fysisch chemische processen aggregeren (samenklonteren) tot grotere deeltjes.

Het gebruik van nano-emulsies (20-200 nm) heeft verschillende voordelen ten opzichte van emulsies met gewone druppelgrootte: hogere stabiliteit, lagere viscositeit en optische transparantie. Nano-emulsies zijn daarom aantrekkelijk voor toepassingen in de farmacie, cosmetica en agrochemie (zie overzicht (Wang et al., 2007)). Doordat de deeltjes in de emulsie kleiner zijn, geven nano-emulsies een uniformere verdeling op de plant (Wang et al., 2007). Een nano-emulsie formulering met β -cypermethrin was stabielere dan de formulering bestaande uit de standaard emulsie (Wang et al., 2007). De onderzoekers (Wang et al., 2007) verwachten dat je met een nano-emulsie minder actieve stof nodig hebt dan met een standaard emulsie, wat een positieve ontwikkeling zou betekenen voor de milieubelasting.

Een nanoformulering van een insecticide werd beter opgenomen door de plant dan een klassiek geformuleerd insecticide (Boehm et al., 2003), maar werkten minder goed als 'controlled release' formulering.

Ook nanoformuleringen van pesticiden in poeder vorm werken effectiever dan standaard 'bulk' formuleringen. Het fijner maken van de deeltjes vergroot het oppervlak dat in contact treedt met het plaaginsect. Amorfe silica deeltjes variërend in grootte van 15-30 nm werden succesvol toegepast tegen het plaaginsect rijstklander (*Sitophilus oryzae*) bij de opslag van rijst (Debnath et al., 2011). Ook nano-aluminium werd geschikt bevonden voor de bestrijding van plaaginsecten opslag (Stadler et al., 2010). Gezien de fysische werking (uitdroging van plaaginsect), is het overigens niet de verwachting (Debnath et al., 2011) dat de plaaginsecten snel een resistentie zullen ontwikkelen tegen deze nanopoeiders. Alleen gedragsverandering van de insecten (vermijden contact met poeder) zou kunnen optreden. Inzicht in toename in oppervlakte /volume ratio is dus van groot belang wanneer over werking en risico's van verschillende formuleringen van gewasbeschermingsmiddelen gesproken wordt.

1b. Nano metalen die door celstructuren kunnen migreren

Deze kleine deeltjes kunnen door celstructuren migreren (Pérez-De-Luque & Rubiales, 2009) en op deze wijze effectief bij hun doel komen. Zulke kleine deeltjes zouden ook gebruikt kunnen worden voor het aanbrengen van DNA en chemicaliën in de plant, en op deze wijze gen expressie beïnvloeden (Torney et al., 2007). Dit biedt ook mogelijkheden voor plantenveredeling (Pérez-De-Luque & Rubiales, 2009), en dit wordt ook wel aangeduid met nanobiotechnologie (Nair et al., 2010).

Uit verder verleden is veel kennis en ervaring opgedaan met gewasbeschermingsmiddelen waarvan de actieve stof geheel of gedeeltelijk een metaalion is. Daar sommige metaalzouten goed oplossen in water, is het aannemelijk dat ze in nano-grootheden in contact komen met planten, plagen en omstanders. Het gaat hier bijvoorbeeld om zouten van koper, tin en aluminium. Bedrijven in Nederland (Ceradis) en internationaal werken aan verbetering van formulering van koper waardoor lagere doseringen effectief worden. Aluminium wordt gebruikt in een product genaamd Aliette. De actieve stof is fosetyl-aluminium, een combinatie van een metaalion en een vetzuurketen. De stof stimuleert afweerreacties in de plant door te binden aan receptoren in de celwand. Een specifiek nano-effect kan hier dus optreden als de stof in nanoformulering toegediend wordt.

2. Vector/inkapseling

De actieve stof wordt ingekapseld in een vector. Deze vector is in staat om zich door plantenweefsels te migreren en op deze wijze de stof gericht toe te dienen.

(Pérez-De-Luque & Rubiales, 2009) schetsen diverse manieren waarop het gebruik van een nano-capsule met daarin de actieve stof zou kunnen zorgen voor een effectieve en daardoor milieuvriendelijkere bestrijding van parasitaire onkruiden. Een nano-capsule is een holle structuur op nanoschaal die als vector dient voor stoffen. Fytotoxiciteit van systemische herbiciden tegen parasitaire onkruiden kan vermeden worden door een nanocapsule met daarin de actieve stof te gebruiken. De nano-capsule belandt uiteindelijk in het parasitaire onkruid door het sinkeffect.

Een nano-capsule 'slow release' formulering van een bodemherbicide kan ervoor zorgen dat gedurende het groeiseizoen met een lage dosering toch effectief een parasitair onkruid zoals *Orobancha* spp. wordt bestreden (Pérez-De-Luque & Rubiales, 2009). Op deze wijze zouden ook nematoden bestreden kunnen worden. Een andere mogelijkheid is om in de nano-capsule verschillende stoffen samen te brengen zoals bestrijdingsmiddelen en meststoffen, die ieder in hun eigen tempo worden afgegeven (Pérez-De-Luque & Rubiales, 2009).

3. Nano-schakelingen

Smart dust is een term die gebruikt wordt voor duiding van een set van microsensoren die bepaalde stoffen in de lucht detecteren en waarop vervolgens acties gebaseerd kunnen worden. Het gaat hierbij om draadloze sensor-systemen in netwerken, bijvoorbeeld duizenden kleine sensoren ($< \text{mm}^2$) in een gewas of ruimte die soort-specifieke vluchtige componenten van gewasbelagers of van ongewenste verontreinigingen in lage dichtheden kunnen detecteren. De link met nano is dat de sensoren relatief klein zijn en dat enkele moleculen in de lucht al voldoende zijn om positieve detectie te doen. Alivisatos (2004) schetst in zijn paper de enorme hoeveelheid mogelijkheden die een detectie systeem op nanoschaal biedt. Hij beschrijft systemen die veranderingen waarnemen op basis van optische, elektrische of magnetische detectie. Echte doorbraken in de gewasbescherming zijn er nog niet gerealiseerd op dit vlak, wel wordt er op diverse universiteiten onderzoek gedaan aan dit onderwerp. Relatief veel werk is hierbij gericht op *Phytophthora infestans* detectie. Het onderzoek in algemene zin richt zich voornamelijk op detectie van de pathogenen.

5. Mogelijke risico's van nanotechnologie

Er zijn diverse natuurlijke bronnen van nanodeeltjes (<100nm) zoals bosbranden en vulkanen (Oberdörster et al., 2005). Daarnaast brengt de mens nanodeeltjes in het milieu bij verbrandingsprocessen. De verwachting is dat de blootstelling van mens en milieu aan deeltjes van nano afmeting sterk zal toenemen door de doelbewuste productie van producten met nanodeeltjes.

Toxiciteit van de nanodeeltjes voor de toepasser, consument en niet doel-organismen wordt als grootste risico beschouwd van nanotechnologie (Pérez-De-Luque & Rubiales, 2009). De kleine afmeting van de nanodeeltjes brengt andere risico's met zich mee voor mens en milieu dan deeltjes met een grotere afmeting (Oberdörster et al., 2005). Met een afnemende deeltjes afmeting, neemt de verhouding tussen oppervlakte een aantal moleculen of atomen exponentieel toe (Oberdörster et al., 2005). De verwachting is dat de nanodeeltjes een verhoogde bioactiviteit laten zien ten opzichte van deeltjes van een grotere afmeting, dit heeft zowel betrekking op positieve effecten zoals bijvoorbeeld de werkzaamheid als ongewenste effecten zoals giftigheid (Oberdörster et al., 2005). Gezien het feit dat biokinetiek van nanodeeltjes verschilt van grotere deeltjes wordt het gedrag hiervan bestudeerd binnen de nanotoxicologie. Uit eerdere studies naar het toxicologische effect van fijnere deeltjes is gebleken dat deze een verhoogde kans op ontstekingen kunnen geven (Oberdörster et al., 2005). Er zijn onderzoeken die er op wijzen dat door hun fysische eigenschappen nanodeeltjes een niet-specifieke opname door de cel kunnen bewerkstelligen. Vooral nanodeeltjes van de afmeting 40-50 nm bleken effect te hebben op de signaal functies van cellen (Jiang et al., 2008). Deze eigenschappen bieden eventuele perspectieven voor de farmacie, maar geven tevens inzicht in nanotoxiciteit. Het is belangrijk om uitsluitsel te krijgen over de potentiële risico's van nanodeeltjes voordat deze op grote schaal toegepast worden in de landbouw. Het Kennis en Informatiepunt Risico's (KIR) van het RIVM heeft in hun rapport (Van Zijverden & Sips, 2009) uiteengezet welke kennisleemtes er zijn ten aanzien van de toxicologie van nanodeeltjes. Deze auteurs geven aan dat de risicoschatting van nanoprodukten achter ligt op de ontwikkelingen in de markt. Volgens hen zijn de risico's nog niet goed in kaart gebracht terwijl er al honderden producten op de markt zijn. Hun advies is dat gezien het fundamentele karakter van de nog te beantwoorden onderzoeksvragen, het van groot belang is dat er goede afstemming en kennisuitwisseling plaatsvindt tussen de betrokken vakgebieden en tevens samenwerking tussen wetenschap, bedrijfsleven en overheid (wet- en regelgeving). Tegelijkertijd zijn er geluiden (Drezek & Tour, 2010) dat generalisaties ten aanzien van nanotechnologie door definities die op de afmeting focussen, er toe kunnen leiden dat risico's verkeerd worden ingeschat. Bij de ontwikkeling en toelating van gewasbeschermingsmiddelen waarbij nanotechnologie wordt gebruikt, zou hier rekening mee moeten worden gehouden.

Fytotoxiciteit voor het gewas is een ander mogelijk risico bij landbouwkundige toepassing van nanotechnologie. (Debnath et al., 2011) rapporteren over negatieve effecten op plantengroei door een nanoaluminium toepassing. Over het gedrag van nanodeeltjes in de plant is overigens weinig bekend. Het eerste onderzoek om het transport en aanwezigheid van nanodeeltjes in de plant te analyseren vond recent plaats (González-Melendi et al., 2008).

6. De maatschappelijke discussie

Friends of the Earth heeft een rapport geschreven over nanotechnologie (FOE, 2008). Ook in hun overzicht wordt beschreven dat er al diverse producten op de markt zijn waarin nanodeeltjes aanwezig zijn zoals bijvoorbeeld verpakkingsmaterialen en cosmetica. In de studie door (Stijnen et al., 2011) blijkt dat nanotechnologie in Nederland nauwelijks bij de consument leeft. Aandacht van maatschappelijke organisaties in ons land voor nanotechnologie lijkt iets toe te nemen. De brede toepasbaarheid bemoeilijkt mogelijk een gerichte maatschappelijke discussie. Het betrekken van de consument over de (on)gewenste ontwikkelingen op dit gebied is van belang. De Stichting en Natuur & Milieu heeft in samenwerking met het RIKILT onderzocht welke cosmetica producten nanodeeltjes bevatten (Peters, 2011).

Op dit moment is zijn er wel nanotoepassingen in Nederland op de markt maar nog geen nano gewasbeschermingsmiddelen. In de Verenigde Staten werd onlangs het eerste nanobestrijdingsmiddel toegelaten door de EPA (Environmental Protection Agency). Het betreft een anti-microbieel nanozilver dat in materialen wordt toegepast. De IFOAM, de wereldwijde koepelorganisatie voor biologische landbouw, heeft recent een standpunt ingenomen over het gebruik van nanotechnologie in de biologische landbouw (IFOAM 2011). De IFOAM maakt een duidelijk onderscheid tussen nanodeeltjes die toevalligerwijs bij de productie van levensmiddelen ontstaan en stoffen die opzettelijk gemaakt zijn in nano-vorm. Haar standpunt richt zich op deze laatste groep. De IFOAM uit haar zorgen over de productie en gebruik van nanodeeltjes in bijvoorbeeld voedsel, inputs, verpakkingen en oppervlaktebehandelingen. Volgens IFOAM is nog veel onbekend over de eigenschappen van stoffen in nanogrootte en er zijn geen mechanismen die de veiligheid controleren en toelating van nanodeeltjes reguleren. De organisatie concludeert daarom dat het toelaten van deze stoffen in de biologische sector in strijd zou zijn met het IFOAM beginsel van zorg, zorg voor gezondheid en welzijn van huidige en toekomstige generaties.

Op basis van de maatschappelijke discussie tot nog toe concluderen we dat actoren, inclusief consumenten, komende tijd verder betrokken moeten worden bij de beoordeling van kansen en risico's met betrekking tot het gebruik van nanotechnologie in de gewasbescherming, waarbij centraal zou kunnen staan welke kennis er is of juist ontwikkeld moet worden voor een effectief beoordelingsproces.

Geraadpleegde literatuur

- Alivisatos, P. (2004)
The use of nanocrystals in biological detection. *Nature Biotechnology* 22, 47-52.
- Anjali, C.H., S. Sudheer Khan, K. Margulis-Goshen et al. (2010)
Formulation of water-dispersible nanopermethrin for larvicidal applications. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73, 1932-1936.
- Boehm, A.L., I. Martinon, R. Zerrouk, E. Rump & H. Fessi (2003)
Nanoprecipitation technique for the encapsulation of agrochemical active ingredients. *Journal of Microencapsulation* 20, 433-441.
- COMM (2008)
Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee. Brussels, 11 pages.
- Cruz, L.J., P.J. Tacken & R. Fokkink et al. (2010)
Targeted PLGA nano- but not microparticles specifically deliver antigen to human dendritic cells via DC-SIGN in vitro. *Journal of Controlled Release* 144, 118-126.
- Debnath, N., S. Das & D. Seth et al. (2011) Entomotoxic effect of silica nanoparticles against *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Pest Science* 84, 99-105.
- Drezek, R.A. & J.M. Tour (2010)
Is nanotechnology too broad to practise? *Nature Nanotechnology* 5, 168-169.
- FOE (2008)
Friends of the Earth. Out of the laboratory and on to our plates. *Nanotechnology in Food & Agriculture*. 68 pages.
- González-Melendi, P., R. Fernández-Pacheco & M.J. Coronado et al. (2008)
Nanoparticles as smart treatment-delivery systems in plants: Assessment of different techniques of microscopy for their visualization in plant tissues. *Annals of Botany* 101, 187-195.
- IFOAM (2011)
Position paper The use of nanotechnologies and nanomaterials in organic agriculture. IFOAM Headoffice, Bonn, Germany.
- Jiang, W., Kim BYS, J.T. Rutka & W.C.W. Chan (2008)
Nanoparticle-mediated cellular response is size-dependent. *Nature Nanotechnology* 3, 145-150.
- Nair, R., S.H. Varghese & B.G. Nair et al. (2010)
Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science* 179, 154-163.
- Oberdörster, G, E. Oberdörster & J. Oberdörster (2005)
Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives* 113, 823-839.
- Pérez-De-Luque, A. & D. Rubiales (2009)
Nanotechnology for parasitic plant control. *Pest Management Science* 65, 540-545.
- Peters, R.J.B. (2011)
Nanodeeltjes in cosmetica. RIKILT, Wageningen.
- Powell, M.C., M.P.A. Griffin & S. Tai (2008)
Bottom-up risk regulation? How nanotechnology risk knowledge gaps challenge federal and state environmental agencies. *Environmental Management* 42, 426-443.
- SCENIHR (2010)
Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Scientific Basis for the Definition of the Term 'nanomaterial'. 46 pages.
- Stadler, T., M. Buteler & D.K. Weaver (2010)
Novel use of nanostructured alumina as an insecticide. *Pest Management Science* 66, 577-579.
- Stijnen, D.A.J.M., R.J.F.M.V. Veggel & A.R.H. Fischer et al. (2011)
Consumentenperceptie van nanotechnologieën in voedsel en landbouw: een eerste verkenning: eindrapportage 118. Wageningen UR Food & Biobased Research, Wageningen.

The Royal Society (2004)

Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. 127 pages.

Torney, F., B.G. Trewyn, V.S.Y. Lin & K. Wang (2007)

Mesoporous silica nanoparticles deliver DNA and chemicals into plants. *Nature Nanotechnology* 2, 295-300.

Van Zijverden, M. & A.J.A.M.E. Sips (2009)

Nanotechnology in perspective. Risks to man and the environment. Expertise Centre for Substances .

RIVM Report 601785003/2009.

Wang, L., X. Li, G. Zhang, J. Dong & J. Eastoe (2007)

Oil-in-water nanoemulsions for pesticide formulations. *Journal of Colloid and Interface Science* 314, 230-235.

Wijnhoven, S.W.P., S. Dekkers, M. Kooi, W.P. Jongeneel & W.H. de Jong (2010)

Nanomaterials in consumer products Update of products on the European market in 2010.

Report 340370003/2010