

VILJOJEN MYKOTOKSIINIT SUOMESSA

Veli Hietaniemi¹⁾, Sari Rämö¹⁾, Tauno Koivisto¹⁾, Timo Pitkanen²⁾ ja Elise Ketoja²⁾, MTT, Mirja Kartio³⁾ ja Kaija Varimo³⁾, Evira ja Sari Peltonen⁴⁾, Pro Agria

¹⁾ MTT Laboratoriot, 31600 Jokioinen, veli.hietaniemi@mtt.fi, sari.ramo@mtt.fi, tauno.koivisto@mtt.fi

²⁾ MTT Tietohallinto, 31600 Jokioinen, timo.pitkanen@mtt.fi, elise.ketoja@mtt.fi

³⁾ Evira, FI-00790 Helsinki, mirja.kartio@evira.fi, kaija.varimo@evira.fi

⁴⁾ Pro Agria, FI-01301 Vantaa, sari.peltonen@proagria.fi

Tiivistelmä

MMM:n johtama viljojen turvallisuustietojen seuranta vuosina 1999 ... 2006 toteutti kansallisen viljastrategian päämääriä. Viljastrategiassa korostettiin viljantuotannon kannattavuuden ja kilpailukyvyn parantamista, laadun kehittämistä ja lisäarvon luontia laatuoketuun. Turvallisuustietoseuranta kohdistui viljojen hometoksiineihin, raskasmetalleihin ja torjunta-ainejäämiin. Pääasiassa seurantatutkimus keskittyi viljojen *Fusarium* -toksiineihin. Tutkimus toteutettiin Eviran, Pro Agrian ja MTT:n yhteistyönä.

Turvallisuustietoseurannan keskeisiä tavoitteita oli hometoksiinipitoisuuksien seurannan lisäksi viljanäytteiden viljelytekniikka- ja viljelyolosuhdetietojen ja hometoksiinipitoisuuksien syy-seuraussuhteiden analysointi. Näytteiden taustatietoja kerättiin koko tutkimuksen ajan maalajeista, lajikkeista, tyyppilannoituksesta, siemenen laadusta, esikasveista, viljelykierrosta, kasvinsuojelutoimenpiteistä, kasvuajasta, korjuukosteudesta, kuivauksesta ja sadon määrästä.

Turvallisuustietoseurannan tulosten perusteella kevätiljat olivat alttiimpia *Fusarium* -sienten tartunnalle ja toksiinien muodostumiselle. Syysviljojen hometoksiinipitoisuudet olivat koko seurantajakson hyvin alhaisia ja pääasiassa alle määritysrajojen. Kaikista tutkituista viljanäytteistä (991 kpl) vuosina 1999 ... 2006 EU -raja-arvon ylittäviä pitoisuuksia DON:n osalta oli 18 kpl. Mikäli tarkastellaan ainoastaan kauranäytteiden DON -pitoisuuksia, raja-arvon 1750 µg/kg ylityksiä oli 11 kpl tutkituista 279 näytteestä. Kauranäytteistä lastenruoan raja-arvon 200 µg/kg alittavia näytteitä oli 164 kpl. Kaura oli viljoistamme selvästi herkin *Fusarium* -tartunnalle ja toksiinien muodostumiselle. Lisäksi rehuohralla ja keväthehnällä havaittiin raja-arvon ylityksiä.

Hometoksiinien hallinnassa tärkeintä oli siemenen kunnostus ja peittäus, viljelykierto, sadonkorjuun ajoitus ja viljan kuivaus. Myöhäinen lajike lisäsi toksiiniriskiä, koska kasvukauden venyminen pitkälle loppukesään lisää epävarmuutta sadonkorjuuajan säästä. Lakoontuneessa kasvustossa riski hometoksiinien muodostumiseen kasvoi. Viljan huolellinen lämminilmakuivaus alle 14 %:iin myös hyvinä vuosina oli parhaita keinoja hallita hometoksiiniriskiä.

Turvallisuustietoseurannan tuloksia hyödynnettiin monin eri tavoin viljaraaka-aineen turvallisuutta arvioitaessa, viljan hyvät tuotanto- ja varastointitavat ja punahomeet viljassa -oppaassa, yritysten omavalvonnassa, neuvonnassa, valvonnassa, riskin arvioinnissa ja uusien tutkimuskohteiden valinnassa. *Fusarium* -toksiinien seurannasta muodostui aikavälillä 1999 ... 2006 vilja-alan toimijoiden yhteinen hanke, joka jatkuu edelleen ja kehittyy asiakkaiden tarpeiden mukaan.

Asiasanat: *Fusarium* -toksiinit, DON, T-2, HT-2, viljat, turvallisuustietoseuranta, syy-seuraussuhteet

Johdanto

MMM:n johtama viljojen turvallisuustietojen seuranta vuosina 1999 ... 2006 on toteuttanut kansallisen viljastrategian päämääriä. Niissä korostetaan viljantuotannon kannattavuuden ja kilpailukyvyn parantamista, laadun kehittämistä ja lisäarvon luontia laatuoketjuun. Turvallisuustietoseuranta on kohdistunut viljojen hometoksiineihin, raskasmetalleihin ja torjunta-ainejäämiin. Pääasiassa seurantatutkimus on keskittynyt viljojen *Fusarium* -toksiineihin, ja sitä on toteutettu Eviran, Pro Agrian ja MTT:n yhteistyönä vuodesta 1999. Tutkimuksen keskeisiä tavoitteita on ollut toksiinipitoisuuksien seurannan lisäksi viljanäytteiden viljelytekniikka- ja viljelyolosuhdetietojen ja hometoksiinipitoisuuksien syyseuraussuhteiden analysointi. Näytteiden taustatietoja on kerätty koko tutkimuksen ajan maalajeista, lajikkeista, tyypilannoituksesta, siemenen laadusta, esikasveista, viljelykierrosta, kasvinsuojelutoimenpiteistä, kasvuajasta, korjuukosteudesta, kuivauksesta ja sadon määrästä.

Viljojen turvallisuustietoseurannan tuloksista on vuosittain raportoitu MMM:n vilja-alan yhteistyöryhmälle (VYR), vilja-alan asiantuntijaryhmille sekä laatujohtoryhmälle. Tulokset ovat olleet käytettävissä myös riskien hallinnan arvioinnissa. Turvallisuustietoseurannan tähänastisten tulosten perusteella tärkeimmät *Fusarium* -toksiinien hallintakeinot ovat seuraavat: viljelykierto, lajikevalinta, siemenen kunnostus ja peittäus, sadonkorjuun ajoitus ja viljan huolellinen kuivaus. Myöhäinen lajike lisää toksiiniriskiä, koska kasvukauden venyminen pitkälle loppukesään lisää epävarmuutta sadonkorjuun säästä. Lakoontuneessa kasvustossa riski hometoksiinien muodostumiseen kasvaa. Viljan huolellinen lämminilmakuivaus alle 14 %:iin myös hyvinä vuosina ja lajittelu on parhaita keinoja minimoida hometoksiiniriski. Hometoksiinien hallinnassa korostuu ammattitaitoinen viljely.

Turvallisuustietoseurannan tuloksia on monin tavoin hyödynnetty viljaraaka-aineen turvallisuutta arvioitaessa, viljan hyvät tuotanto- ja varastointitavat ja punahomeet viljassa -oppaassa, yritysten omavalvonnassa, neuvonnassa, valvonnassa, riskin arvioinnissa ja uusien tutkimuskohteiden valinnassa. *Fusarium* -toksiinien seurannasta on muodostunut vilja-alan toimijoiden yhteinen hanke, joka jatkuu edelleen ja kehittyy asiakkaiden tarpeiden mukaan.

Aineisto ja menetelmät

Kattavasti koko Suomea edustavat kaura-, rehuohra-, mallasohra-, kevätvehnä-, ruis- ja syysvehnänäytteet kerättiin vuosittain Eviran valtakunnallisen viljan laatu tutkimuksen yhteydessä. Näytteiden lukumäärä vaihteli 100 – 170 kpl välillä niin, että vuonna 1999 näytemäärä oli 100 kpl, vuosina 2000 ... 2005 120 kpl ja vuosina 2006 ... 2007 170 kpl. Näytteistä analysoitiin *Fusarium* -sienten muodostamat toksiinit deoksinivalenoli (DON), 3-asetyylideoksinivalenoli (3-AcDON), 15-asetyylideoksinivalenoli (15-AcDON), nivalenoli (NIV), fusarenon -X (F-X), T-2-, HT-2 -toksiini ja tsearalenoni sekä okratoksiini A, joka on varastotyyppisten homeiden, kuten *Aspergillus* ja *Penicillium* -sientien tuottama toksiini. Tsearalenonin ja okratoksiini A:n identifiointi ja kvantitointi suoritettiin HPLC:llä ja muut edellä mainitut toksiinit GC-MS -tekniikalla. Toksiinianalyseissä määritysalarajat olivat tsearalenonille 20 µg/kg, okratoksiini A:lle 2 µg/kg ja muille 25 µg/kg.

Evira vastasi näytteiden otosta, raskasmetalli- ja torjunta-ainemäärityksistä. MTT tuotti viljanäytteiden hometoksiinitulokset ja vastasi yhdessä Pro Agrian kanssa tulosaineiston syyseuraussuhteiden analysoinnista, tilastollisesta käsittelystä ja vuosiraporteista. Näytteenotto oli tarkasti ohjeistettu. Näytteitä lähettäneet viljelijät täyttivät myös viljelyn taustatietolomakkeen, jossa kysyttiin tärkeimmät lohkokohtaiset tiedot ja tehdyt viljelytoimenpiteet. Näytteiden otantaa tarkistettiin vuosittain painottamalla esimerkiksi näytteiden ottoa vuosina 2006 ja 2007 riskialttiiseen kauraan, ottamalla huomioon satokauden aikainen sadesumma ja sääolosuhteet sekä alueellinen edustavuus.

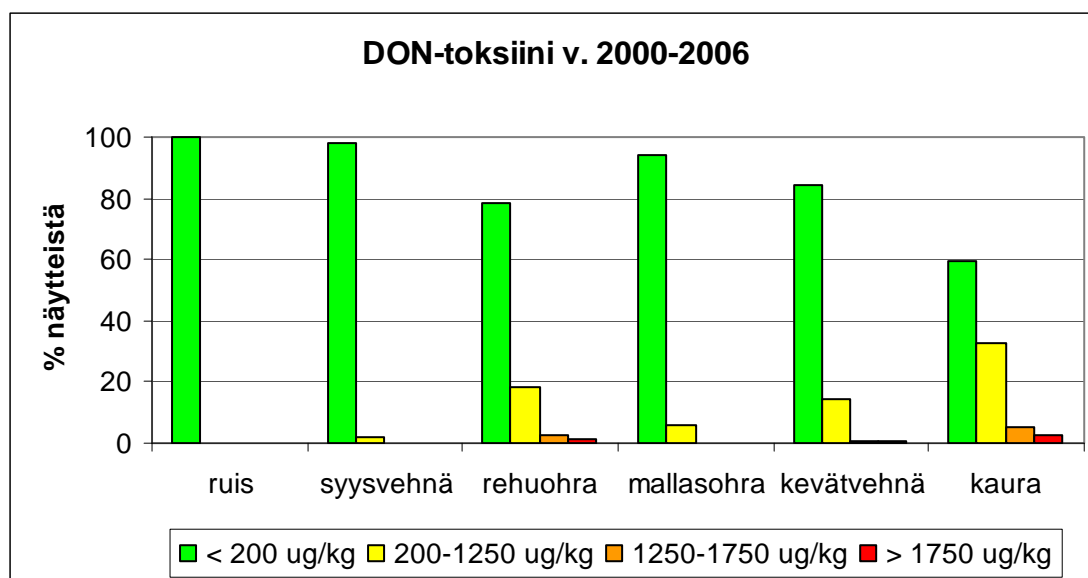
Tilastolliset tarkastelut T-2 + HT-2 ja DON -toksiinin osalta tehtiin eri menetelmillä. DON -pitoisuuksia mallitettaessa käytettiin regressiomallia, jossa oletettiin vastemuuttujan jakautumaksi normaalijakauma. Koska DON -pitoisuuden jakauma oli vino, tehtiin sille logaritimuunnos (luonnollinen logaritmi). T-2 ja HT-2 toksiinien tilastollisessa analysoinnissa käytettiin niiden summaa. Summamuuttujan jakaumassa oli paljon 0 -arvoja, jonka vuoksi se luokiteltiin ja analysoitiin järjestysasteikollisena vasteena käyttäen proportional odds -mallia.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Turvallisuustietoseurannan tulosten perusteella riskialttiimmat vuodet trikotekeeni B -tyypin toksiinien kuten deoksinivalenolin (DON) osalta olivat 1999, 2002, 2005 ja 2007 (taulukko 1). Vuotta 2002 leimasi keskikesän kuivuus ja vuotta 2005 loppukesän märkyys. Vuosi 2006 oli koko seuranta-jakson lämpimin ja vähäsateisin kasvukausi. Vuosi 2007 oli jälleen poikkeuksellinen, alkukasvukausi oli monin paikoin hyvin kuiva ja viljojen kukintavaiheesta alkaen saatiin sadetta tasaisesti ja melko runsaasti. Tämän vuoden lopulliset toksiinitulokset eivät vielä ole mukana tässä tarkastelussa muuta kuin suuntaa antavina tuloksina. Kuvassa 1 vuosien 1999 ... 2006 DON -toksiinitulokset on luokiteltu ottaen huomioon EU -säädöksen mukaiset korkeimmat sallitut enimmäismäärät prosessoimattomalle viljalle ja lastenruoan raaka-aineelle. EU -säädöksen mukaan elintarvikekäyttöön tarkoitetulla viljalla deoksinivalenolin raja-arvo on 1750 µg/kg prosessoimattomalla kauralla ja maissilla sekä muilla viljoilla 1250 µg/kg. Lastenruoan viljaraaka-aineen DON -raja-arvo on 200 µg/kg. Vastaavasti tsearalenonin enimmäismäärä prosessoimattomilla viljoilla on 100 µg/kg ja lastenruoan viljaraaka-aineella 20 µg/kg. Raja-arvot koskevat kaikkea teollisuuteen myytävää elintarvikeviljaa. Rehuviljan sekä T-2 ja HT-2 -toksiinin vastaavat arvot ovat valmisteilla.

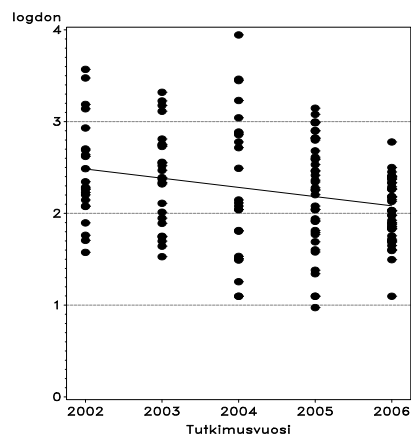
Taulukko 1. Yhteenveto viljan hometoksiiniseurannan vuosien 1999 ... 2006 keskimääräisistä DON -toksiinipitoisuuksista (mediaani).

Viljalaji	Keskimääräinen DON -pitoisuus (mediaani) eri vuosina							
	v. 1999	v. 2000	v. 2001	v. 2002	v. 2003	v. 2004	v. 2005	v. 2006
Ruis	<50	<50	<25	<25	<25	<25	-	<25
Syysvehnä	<50	<50	<25	<25	28	<25	-	<25
Rehuohra	105	<50	<25	214	87	35	250	<25
Mallasohra	60	<50	<25	50	29	<25	<25	<25
Kevätvehnä	58	136	27	117	47	69	77	<25
Kaura	326	98	90	264	226	115	170	135
keskimäärin	74	<50	26	95	56	32	110	25

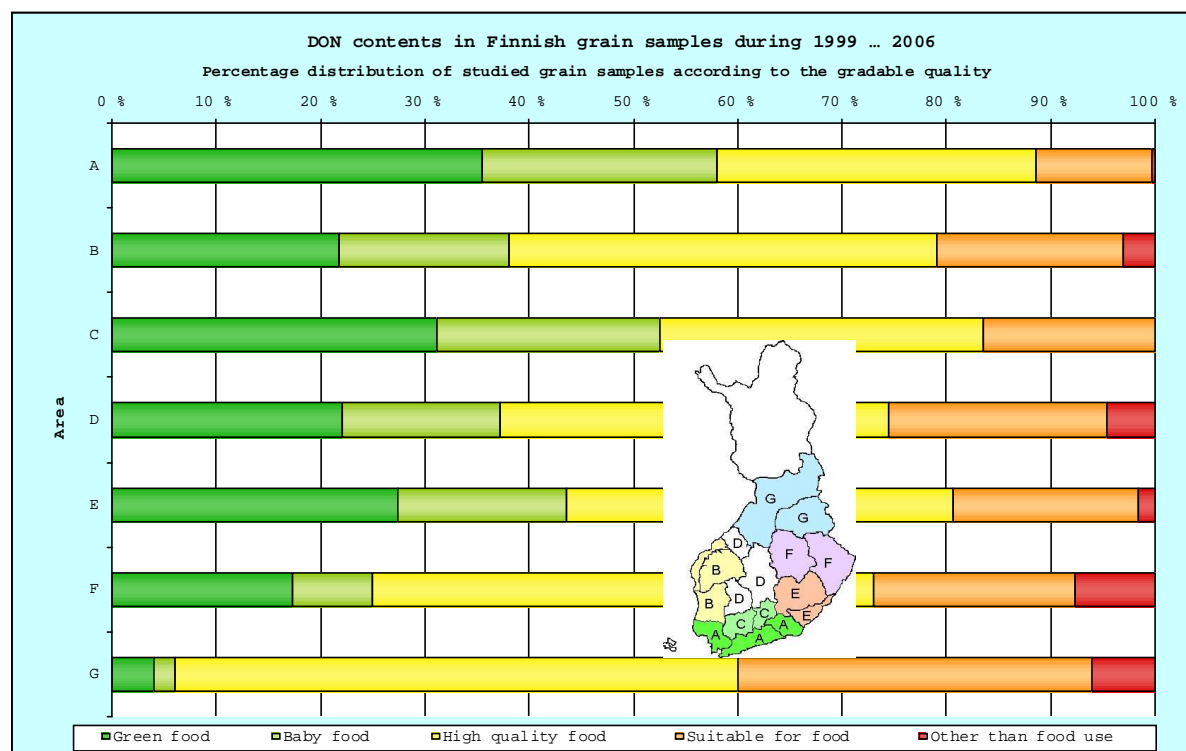


Kuva 1. Yhteenveto näytteiden DON -analyysitulosten jakautumisesta (%) eri pitoisuusluokkiin eri viljalajeilla v. 2000 ... 2006 hometoksiinianalyseissä.

Tilastollisten tarkastelujen perusteella DON -pitoisuudet alenivat seurantavuosien aikana (Kuva 2). DON -toksiinin riski oli suurin pohjoisemmilla viljelyalueilla (Kuva 3). Alueellisuus yhdistettynä kylvösiemenen laatuun sekä hehtaarisadon ja lajikkeen yhdysvaikutus olivat tilastollisten tarkastelujen perusteella merkittävimpiä tekijöitä korkeiden DON -toksiinipitoisuuksien taustalla. Oman siemenen käytössä kunnostus ja peittäus alensivat toksiiniriskiä.

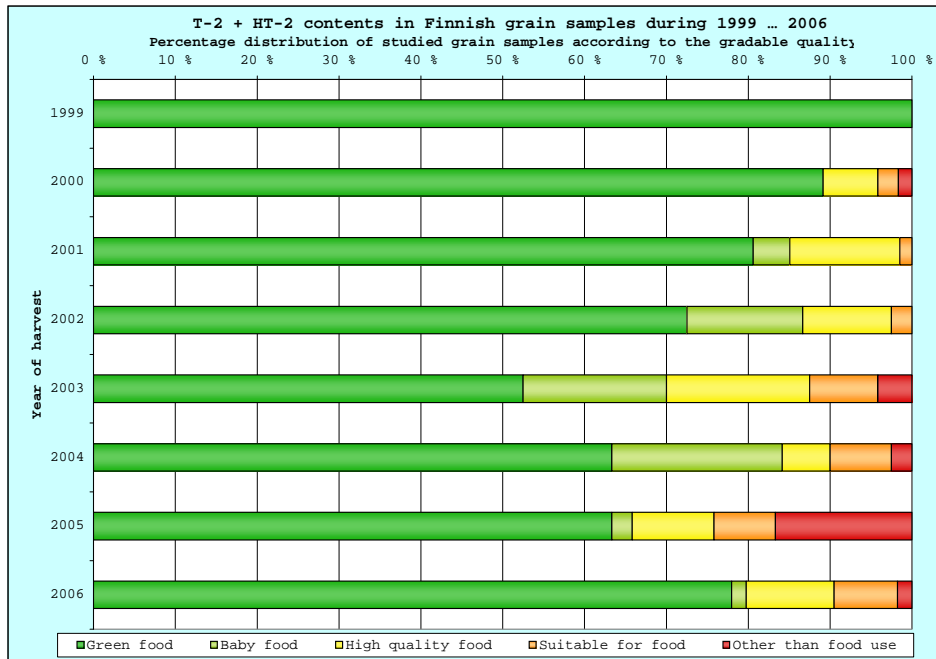


Kuva 2. Logaritminen DON -pitoisuus laskee lineaarisesti vuosien 2002 ... 2006 aikana.



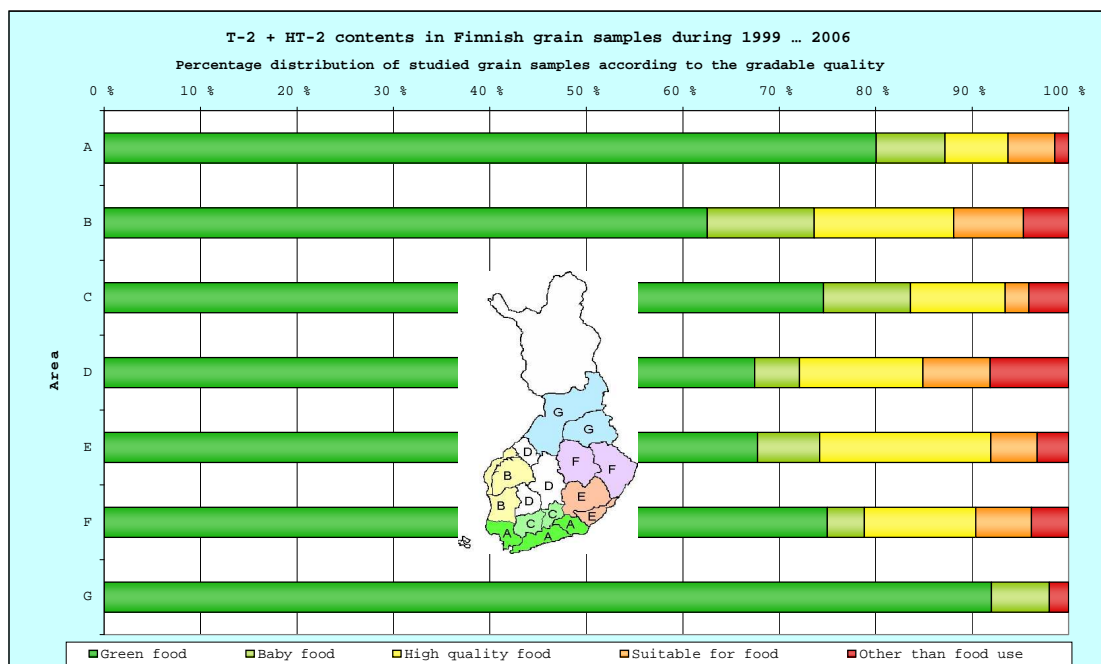
Kuva 3. DON -toksiinin pitoisuuksien (% näytteistä) vaihtelu maantieteellisesti Suomessa seurantavuosien 1999 ... 2006 aikana. Merkkien selitykset: vihreä (ei havaittu), vaalean vihreä (< 200 µg/kg), keltainen (< 500 µg/kg), oranssi (alle elintarvikeraja-arvojen eli <1 250 muut viljat paitsi kaura, <1 750 µg/kg kaura), punainen (pitoisuudet yli elintarvikeraja-arvojen).

Trikotekeeni A -tyypin yhdisteiden (T-2 ja HT-2 toksiinien) pitoisuudet kasvoivat viljasadossa tarkasteluajanjakson aikana (kuva 4). Vuodesta 2003 alkaen korkeita T-2 ja HT-2 -pitoisuuksia havaittiin säännönmukaisesti, erityisesti kaurassa (Kuva 4 ja 5).



Kuva 4. T-2 ja HT-2 -toksiinien yhteispitoisuuksien määrä (% näytteistä) Suomessa seurantavuosien 1999... 2006 aikana. Merkkien selitykset: vihreä (ei havaittu), vaalean vihreä (< 50 µg/kg), keltainen (< 200 µg/kg), oranssi (< 500 µg/kg), punainen (>500 µg/kg).

Näitä toksiineita esiintyi korkeina pitoisuuksina myös eteläisessä Suomessa (Kuva 5). Tilastollisissa tarkasteluissa kauran T-2 ja HT-2 toksiinien korkeita pitoisuuksia selittävät tekijät poikkesivat jonkin verran DON -toksiinin tuloksista. Siemenen laatu selitti tuloksia vain joinakin vuosina. Sen sijaan esikasvi vaikutti merkittävästi toksiinipitoisuuksiin: korkeimpia pitoisuuksia tavattiin enemmän yksipuolisessa viljanviljelyssä (kauran esikasvina kaura tai ohra). Lisäksi tuloksissa voitiin osoittaa lajikeherkkyyttä. Veli, Aslak ja Belinda -lajikkeissa korkeimpia pitoisuuksia tavattiin muita lajikkeita enemmän.



Kuva 5. T-2 ja HT-2 -toksiinien yhteispitoisuuksien (prosenttia näytteistä) vaihtelu maantieteellisesti Suomessa seurantavuosien 1999... 2006 aikana. Merkkien selitykset ovat kuten kuvassa 4.

Maatalouden muutos viimeisen kymmenen vuoden aikana on ollut voimakasta ja viljelymenetelmät ovat muuttuneet. Yksipuolinen viljely on johtanut peltomaiden rakenteen heikkenemiseen, kevyen muokkauksen ja suorakylvön yleistymiseen. *Fusarium* -sienet ovat hyötäneet muokkauksen poisjättämisestä. Tähänastiset MTT:n tuottamat tutkimustulokset ovat osoittaneet, että kevytmuokkaus tai suorakylvö saattavat lisätä T-2 ja HT-2 toksiineja tuottavien sienten määrää ja sitä kautta toksiiniriskiä. MTT:n tutkimusten mukaan *Fusarium* -lajistossa on tapahtunut selkeitä muutoksia viimeisten 10-20 vuoden aikana. 2000 -luvun alussa on esiintynyt kuivia ja lämpimiä kesiä ja punahomeiden lajikirjo on monipuolistunut verrattuna edellisen vuosikymmenen tilanteeseen. Uusi aikaisemmin tuntematon laji *F. langsethiae* löydettiin Suomesta vuonna 2001. Löydetty *F. langsethiae* -laji tuottaa jyviin jyvän kehityksen aikana T-2 ja HT-2 toksiineja. Kasvukauden kuivuus ja lämpö näyttävät suosivan lajin kasvumahdollisuuksia. Kotimaisista viljoista vuosina 1999... 2006 löydettyistä *Fusarium* -sienistä *F. langsethiae* oli yksi yleisimmistä. Lisäksi runsaasti esiintyi seuraavia *Fusarium* -sieniä: *F. avenaceum*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae* ja *F. sporotrichioides*. Tosin *F. avenaceum* ei tuota trikotekeeneja vaan moniliformiinia ja enniatiineja.

Turvallisuustietoseurannan tulosten perusteella kevätiljat ovat alttiimpia *Fusarium* -sienten tartunnalle ja toksiinien muodostumiselle. Syysviljojen hometoksiinipitoisuudet ovat olleet koko seurantajakson hyvin alhaisia ja pääasiassa alle määritysrajojen. Kaikista tutkituista viljanäytteistä (991 kpl) vuosina 1999 – 2006 EU -raja-arvon ylittäviä pitoisuuksia DON:n osalta on ollut 18 kpl. Mikäli tarkastellaan ainoastaan kauranäytteiden DON -pitoisuuksia, raja-arvon 1750 µg/kg ylityksiä on ollut 11 kpl tutkituista 279 näytteestä. Kauranäytteistä lastenruoan raja-arvon 200 µg/kg alittavia näytteitä on ollut 164 kpl. Kaura on viljoistamme selvästi herkin *Fusarium* -tartunnalle ja toksiinien muodostumiselle. Lisäksi rehuohralla ja kevätkuivalla on havaittu raja-arvon ylityksiä.

Johtopäätökset

Yhteenvetona turvallisuustietoseurannan tuloksista voidaan todeta, että hometoksiinien hallinnassa tärkeintä on siemenen kunnostus ja peittäminen, viljelykierto, sadonkorjuun ajoitus ja viljan kuivaus. Myöhäinen lajike lisää toksiiniriskiä, koska kasvukauden venyminen pitkälle loppukesään lisää epävarmuutta sadonkorjuuajan säästä. Lakoontuneessa kasvustossa riski hometoksiinien muodostumiseen kasvaa. Viljan huolellinen lämminilmakuivaus alle 14 %:iin myös hyvinä vuosina on parhaita keinoja hallita hometoksiiniriskiä. Tutkimustulokset kuorinnan ja lajittelun vaikutuksesta ovat myös lupaavia. Seurantatutkimuksen tuloksiin perustuen on keväällä 2007 julkaistu Vilja-alan yhteistyöryhmän toimesta myös viljelijäopas hometoksiiniriskin hallintaan. Hometoksiinien hallinnassa korostetaan ammattitaitoisen viljelyn merkitystä ja vahvaa vilja-alan toimijoiden yhteistyötä. Turvallisuustietoseuranta jatkuu nykyisellä kokoonpanolla ja tähän mennessä hyväksi havaittujen käytäntöjen mukaisesti. Seurantatutkimusta kehitetään pro -aktiiviseksi ottamalla käyttöön kasvukauden aikaisten kasvusto- ja toksiinimääritykset sekä kehittämällä pikamenetelmät ennakoivan, reaaliaikaisen ja nopean tiedon varmistamiseksi.

Kirjallisuus

- Peltonen, S., Hietaniemi V., Rämö, S., Koivisto, T., Kartio M. ja Varimo, K.** 2000-2006. Turvallisuustietoseurannan vuosiraportit. MMM Vilja-alan yhteistyöryhmä / Turvallisuustyöryhmä, Helsinki.
- MMM Vilja-alan yhteistyöryhmä / Turvallisuustyöryhmä,** www.fingrain.fi 2007. Helsinki. Punahomeet viljassa: Viljelytekniset toimenpiteet hometoksiiniriskin pienentämiseksi.
- MMM Vilja-alan yhteistyöryhmä / Turvallisuustyöryhmä,** www.fingrain.fi 2006. Helsinki. Viljan hyvät tuotanto- ja varastointitavat.
- Maa- ja metsätalousministeriö,** www.fingrain.fi 2007. Helsinki. Kansallinen viljastrategia 2006 – 2015.