



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 19/2018

Säilörehun hometoksiinit ja niiden vaikutukset naudoilla

Erja Koivunen ja Arto Huuskonen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2018

Säilörehun hometoksiinit ja niiden vaikutukset naudoilla

Erja Koivunen ja Arto Huuskonen

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2018



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



MAASEUTU 2020



Koivunen, E. ja Huuskonen, A. 2018. Säilörehun hometoksiinit ja niiden vaikutukset naudoilla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 23 s.

ISBN 978-952-326-561-5 (Painettu)

ISBN 978-952-326-562-2 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN [http://urn.fi/URN:ISBN: 978-952-326-562-2](http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-562-2)

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Erja Koivunen (ORCID ID: 0000-0003-0938-5675) ja Arto Huuskonen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2018

Julkaisuvuosi: 2018

Kannen kuva: Jarkko Kekkonen

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Alkusanat

Käsillä oleva säilörehun hometoksiineja käsittelevä kirjallisuuskatsaus tuotettiin osana Tuottava itä-suomalainen naudanlihantuotanto -hanketta. Hankkeen päätavoitteina oli turvata edellytykset naudanlihaa tuottavien tilojen jatkuvuudelle, parantaa kotimaisen naudanlihantuotannon kilpailukykyä ja varmistaa korkealaatuisen kotimaisen naudanlihan saatavuus kuluttajille myös ensi vuosikymmenellä.

Tässä kirjallisuusselvityksessä kootaan yhteen tietoa siitä, mitä säilörehun toksiineista ja niiden vaikutuksista nautoihin tiedetään ja mitä tulevaisuuden tutkimustarpeita asiaan liittyen on olemassa. Selvitys päätettiin toteuttaa, koska nurmisäilörehun toksiineista tiedetään hyvin vähän. Yleisesti tiedetään, että toksiinit voivat aiheuttaa merkittäviä tuotanto-, terveys- ja lisääntymisongelmia. Kolmen niittokerran yleistyminen nurmisäilörehun korjuussa siirtää sadon painopistettä loppukesän ja alkusyksyn kosteisiin oloihin. Tämä saattaa osaltaan lisätä riskiä hometoksiinien muodostumiselle.

Tuottava itäsuomalainen naudanlihantuotanto -hanketta rahoitettiin Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta, ja tuki myönnettiin Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan ELY-keskusten kautta. A-Tuottajat Oy toimi hankkeen päätoteuttajana ja hallinnoijatahona. Luonnonvarakeskus toimi hankkeen osatoteuttajana ja vastasi tämän kirjallisuuskatsauksen toteutuksesta.

Vesannolla 26.3.2018

Arto Huuskonen

Luonnonvarakeskus

Tiivistelmä

Erja Koivunen ja Arto Huuskonen

Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät, Halolantie 31A, 71750 Maaninka

Suomalaisissa tutkimuksissa nurmisäilörehun jälkisatoja eli toisen ja kolmannen niiton rehuja syövien nautojen rehun syönti ja kasvu ovat usein jääneet alle sen, mitä on odotettu rehuanalyysien perusteella. Nämä tutkimustulokset sekä ulkomainen kirjallisuus, jossa säilörehun homesienten ja niiden hometoksiinien haitallisuus eläinten tuotantoon ja terveyteen on tunnistettu, antavat syyn tutkia, millaisia hometoksiineja nurmisäilörehussa on ja millaisia ovat niiden vaikutukset eläimissä. Tuottava itäsuomalainen naudanlihantuotanto -hankkeessa tehdyssä kirjallisuusselvityksessä koottiin yhteen, mitä nurmisäilörehun toksineista ja niiden vaikutuksesta nautoihin tiedetään ja mitä tulevaisuuden tutkimustarpeita asiaan liittyen on olemassa.

Homesienisukujen ja niiden toksien esiintyvyys vaihtelee säilörehutyypeittäin ja maanosan mukaan. Nurmen ja nurmirehun hometoksiineista on tutkimustietoa selvästi vähemmän kuin maissin ja maissirehun toksineista. Kirjallisuusselvityksen perusteella hyvillä säilörehun teko- ja syöttökäytännöillä voidaan hillitä hometoksiinien määrää rehussa. Kuitenkin jos säilöttävä kasvimateriaali on huonolaatuista, ei edes hyviä säilörehun teko- ja syöttökäytäntöjä noudattamalla voida välttyä rehun pilaantumiselta.

Koska suurin osa nautojen dieetin kuiva-aineen syönnistä on yleensä säilörehua, toksien saantimäärät säilörehusta voivat olla hyvinkin merkittäviä. Tämä voi vaikuttaa merkittävästi naudan kasvuun, hedelmällisyyteen ja maidontuotantoon taloudellisista vaikutuksista puhumattakaan. Hometoksiinien vaikutukset eläimessä ovat spesifisiä jokaiselle toksinille. Tutkimusta asiasta voitaisiin jatkaa analysoimalla hometoksiinipitoisuuksia niistä nurmisäilörehuista, joiden syönti on ruokintakeissa tai tila-aineistoissa jäänyt alle odotetun. Lisää tutkimustietoa tarvittaisiin myös siitä, millaisia ovat säilörehun hometoksiinien vaikutukset vasikoiden kasvuun Suomessa, jossa säilörehua käytetään melko paljon myös nuorten nautojen ruokinnassa.

Asiasanat: nurmisäilörehu, mykotoksiinit, hometoksiinit, naudat, tuotanto, terveys

Sisällys

1. Johdanto	6
2. Mitä ovat hometoksiinit?.....	7
3. Rehun hometoksiinit	8
3.1. Hometoksiinit tuoreessa kasvimateriaalissa.....	8
3.2. Säilönnän vaikutus hometoksiineihin	9
3.3. Hometoksiinit valmiissa säilörehussa	11
3.4. Hometoksiinikontaminaatioiden määrä rehuissa	12
4. Hometoksiinien metabolia ja eliminointi märehitjän elimistössä	14
5. Hometoksiinien vaikutukset märehitjän tuotantoon ja terveyteen.....	15
5.1. Vaikutukset yleisesti naudassa	15
5.2. Vaikutukset vasikassa	16
6. Hometoksiinien analysointi ja havaitseminen.....	17
7. Johtopäätökset.....	18

1. Johdanto

Säilörehu on tärkein komponentti nautojen ruokinnassa Pohjoismaissa. Säilörehun ravintoainepitoisuus ja sulavuus riippuvat muun muassa korjattavan kasvimassan kasvuasteesta ja siitä, miten rehun ravintoainepitoisuus muuttuu säilönnän aikana (Huhtanen ym. 2013). Yleisesti rehun sulavuus on sitä parempi, mitä aikaisemmalla kasvuasteella se on korjattu (Rinne 2000, Kuoppala 2010). Säilörehun sulavuus on usein suurempi ensimmäisen sadon säilörehulla kuin toisen tai kolmannen sadon säilörehuilla. Hyrkäs ym. (2015) mukaan koko kasvukauden säilörehusato sulaa keskimäärin parhaiten, kun niittoja on kahden sijasta kolme. Silloin myös kasvukauden aikana korjattavan rehunurmen ravintoaineet ovat paremmin eläinten hyväksikäytettävissä kuin kahden niiton strategiassa (Hyrkäs ym. 2015). Kolmen niiton säilörehun korjuustrategia onkin entistä suositumpi Suomessa (Hyrkäs ym. 2015).

Joissakin suomalaisissa tutkimuksissa on todettu, että kolmannen niiton nurmea syövät lypsylehmät lypsävät odotettua vähemmän (Sairanen ja Juutinen 2013, Sairanen ym. 2016). Sairasen ym. (2016) tutkimuksessa kolmannen niiton nurmen syönti ja maitotuotos jäivät alle odotetun. Syynä lehmien heikentyneeseen rehun syöntiin olivat todennäköisesti vaihtelevat sääolosuhteet nurmikasvuston kasvukauden aikana ja huono nurmen ja säilörehun mikrobiologinen laatu (Sairanen ym. 2016). Huuskonen ja Pesonen (2017) tutkivat, miten kolmannen sadon nurmisäilörehu vaikuttaa lihanautojen rehun syöntiin, kasvuun ja teurasominaisuuksiin verrattuna ensimmäisen ja toisen sadon säilörehuun. Erityisesti toisen, mutta myös kolmannen sadon nurmisäilörehua syövien nautojen rehunsyönti ja kasvu jäivät alle sen, mitä odotettiin rehuanalyysien perusteella. Sairasen ja Juutisen (2013), Sairasen ym. (2016) ja Huuskosen ja Pesosen (2017) kokeissa ei tutkittu sisältävätkö säilörehut rehun laatua ja maittavuutta huonontavia homesieniä tai -toksiineja, mutta on mahdollista, että nurmen jälkisatojen osalta säilörehun syönti jäi alle odotetun tästä syystä.

Hometoksiinit ovat näkymättömiä, mauttomia ja hajuttomia homekasvustossa muodostuneita myrkyjä. Hometoksiinit rehussa vahingoittavat sekä pötsin mikrobeja että eläintä. Vaikutukset eläimessä näkyvät muun muassa vähentyneenä rehun syöntinä, heikentyneenä tuotoksena, hedelmällisyyden heikkenemisenä ja erilaisina terveysongelmina (Scudamore ja Livesey 1998, Fink-Gremmels 1999, 2008). Lypsylehmien on todettu erittävän hometoksiineja myös maitoon (Cheli ym. 2013). Viljojen hometoksiineista tiedetään huomattavasti enemmän kuin säilörehun hometoksiineista. Suurin osa naudnan dieetistä on kuitenkin säilörehua. Säilörehun sisältäessä hometoksiineja toksiinien saanti dieetistä voi olla suuri. Toksiinit aiheuttavat myös taloudellisia menetyksiä, sillä niiden eläinten tuotantoa ja terveyttä heikentävät vaikutukset voivat olla merkittäviä (Cheli ym. 2013).

Perinteisissä rehuanalyyseissä määritetään säilörehukasvuston ja säilörehun kemiallinen koostumus ja säilörehun säilönnällinen laatu. Säilörehun mikrobiologisen laadun määrittämiseksi on myös olemassa analyysijä. Näissä analyyseissa voidaan kuitenkin määrittää vain se, millaisia bakteereja, homeita, hiivoja ja sieniä säilörehussa on ja miten paljon niitä on. Näissä analyyseissä ei määritetä hometoksiinien laatua ja määrää rehussa. Hometoksiinien määrittämiseen on joitakin spesifisiä analyysijä. Hometoksiinien määrittämiseen kehitetyt analyysit eivät ole vielä kovin laajasti käytössä, koska ne ovat melko kalliita, analyyttisesti haastavia ja aikaa kuluttavia.

Aikaisemmin mainitut tutkimukset ja ulkomainen kirjallisuus, jossa säilörehun bakteerien, hiivojen ja niiden metaboliittien haitallisuus eläinten tuotantoon ja terveyteen on tunnistettu, antavat syyn tutkia, millaisia hometoksiineja säilörehussa on ja millaisia ovat niiden vaikutukset eläimissä. Tämän kirjallisuusselvityksen tarkoitus on koota yhteen, mitä säilörehun toksiineista ja niiden vaikutuksesta nautoihin tiedetään ja mitä tulevaisuuden tutkimustarpeita asiaan liittyen on olemassa. Tavoitteena on myös selvittää millaisia menetelmiä hometoksiinien määrittämiseen säilörehusta on. Kirjallisuusselvityksessä keskitytään hometoksiineihin nimenomaan nurmisäilörehujen osalta. Selvityksessä viitataan kuitenkin myös tutkimuksiin, joissa on tutkittu maissikasvustoa tai maissisäilörehua, koska suurin osa tutkimuksesta on tehty maissisäilörehulla.

2. Mitä ovat hometoksiinit?

Hometoksiinit, jotka tunnetaan myös nimellä mykotoksiinit ja homemyrkyt, ovat näkymättömiä, mauttomia ja hajuttomia homekasvustossa muodostuneita myrkkyjä. Hometoksiineja syntyy, jos tietyt olosuhteet vallitsevat ja tai yhdistyvät kasvin kasvaessa, sitä korjattaessa tai säilöittäessä. Näitä voivat olla esimerkiksi lämpötilan ja kosteuden vaihtelut. Hometoksiineja, jotka ovat laajakirjo sekundaari metaboliitteja, tuottavat useat homesienet. Kasvimassassa voi olla homesieniä ja niiden toksineja samaan aikaan. Toisaalta kasvilla voi olla hometta ilman, että siinä on hometoksiineja tai kasvissa voi olla hometoksiineja ilman, että siinä näkyy hometta. Esimerkkejä homesienistä ovat *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Stachybotrys* ja *Cephalosporium*. On myös olemassa tunnistamattomia homesieniä ja erityisesti hometoksiineja. Uusia hometoksiineja löydetään niiden tunnistamiseen kehitetyissä analyyseissä. (Cheli ym. 2013).

Hometoksiinien esiintyvyys vaihtelee säilörehutyypeittäin ja maanosan mukaan (Cheli ym. 2013). Pääosin homesienet ja niiden toksinit siirtyvät kasvustosta rehuun, mutta niitä voi muodostua rehuun myös säilönnän ja varastoinnin aikana. Hometoksiinit eivät katoa kuivaamalla, kuumentamalla tai muilla vastaavilla käsittelyillä. Hometoksiinit voivat myös säilyä pellossa/varastossa kasvukaudesta toiseen. Taulukkoon 1 on poimittu ne homesienet ja -toksiinit, joita voisi nykyisen tiedon mukaan löytyä nurmisäilörehusta. Toki muitakin homesieniä ja niiden toksineja voi nurmirehuissa esiintyä.

Taulukko 1. Potentiaaliset homeet ja niiden hometoksiinit nurmisäilörehussa (Cheli ym. 2013). Tummennettu- na niiden homesienten ja -toksiinien nimet, jotka esiintyvät nurmirehuissa kaikista todennäköisimmin.

Homesieni	Hometoksiini
<i>Aspergillus</i> spp.	Aflatoksiini, okratoksiini, gliotoksiini
<i>Fusarium</i> spp. (Punahome)	Deoxivalenoli, zearaleone, fusarenone ja fumosiinit (erityisesti B1)
<i>Penicillium</i> spp.	Sitriini, roquefortine, mykofenolihappo

3. Rehun hometoksiinit

Hyvät säilörehun teko- ja syöttökäytännöt koostuvat seuraavista tekijöistä: oikea lajikkeiden valinta, korjuustressin vähentäminen, siilon täyttäminen nopeasti ja tiiviiksi, oikeiden ja tehokkaiden säilöntäaineiden valinta, siilon oikeaoppinen peittäminen, siilon nopea syöttö ja pilaantuneen materiaalin hävittäminen (Cheli ym. 2013). Kuitenkin joskus säilöttävä materiaali on huonolaatuista, eikä edes hyviä säilörehun teko- ja syöttökäytäntöjä noudattamalla voida välttyä rehun pilaantumiselta. Tärkeää on muistaa, että hometoksiineja voi syntyä rehuun ennen ja jälkeen säilönnän (Coulombe 1993, Scudamore ja Livesey 1998, Storm ym. 2008).

Suvut *Aspergillus*, *Penicillium* ja *Fusarium* ovat yleisimmät säilörehussa esiintyvät homesienet, ja niiden metaboliatuotteet ovat siten yleisimmät säilörehusta löydettävät hometoksiinit. Muita säilörehussa esiintyviä homeita ovat *Alternaria*, *Mucor*, *Byssosclamyces*, *Geotrichum*, *Monascus* ja *Scopulariopsis* -lajit (Scudamore ja Livesey 1998, Fink-Gremmels 2005, Storm ym. 2008). Suurin osa homesienistä ja niiden toksiineista voi esiintyä ja lisääntyä hyvin erilaisissa olosuhteissa. Hometoksiinit eivät tarvitse mitään substraatteja kasvaakseen. Lämpötila, kosteus, veden aktiivisuus ja suhteellinen kosteus vaikuttavat siihen, miten homesienet kasvavat. Homesienet kasvavat yleensä 10–40 °C asteen lämpötilassa, pH:n ollessa yli 4–8 ja veden aktiivisuuden ollessa yli 0,70. *Aspergillus* ja *Penicillium* spp. voivat kasvaa alhaisemmassa veden aktiivisuudessa ja korkeammassa lämpötilassa kuin *Fusarium* spp. (Magan ym. 2003, Reyneri 2006).

Scudamore ja Livesey (1998) korostivat, että pellolta peräisin olevat homesienet saavat rinnalleen varastoperäisiä homesieniä erityisesti silloin, kun säilöttävän kasvimateriaalin kuiva-ainepitoisuus on alle 85 %. Käytännössä nurmisäilörehun kuiva-ainepitoisuus on aina tätä selvästi pienempi, mikä lisää riskiä homesienten esiintyvyyteen. Koska *Aspergillus* ja *Penicillium* kasvavat alhaisemmassa veden aktiivisuudessa, niitä havaitaan useimmiten varastoinnin yhteydessä. *Aspergillus* on yleisempi lämpimässä ilmastossa, kun taas *Penicillium* on yleisempi kylmässä ilmastossa. *Fusarium* ja *Alternaria* pidetään yleisesti homesieniä, jotka ovat pelloilta peräisin, mutta ne voivat pilata säilörehua myös myöhemmässä vaiheessa (Cheli ym. 2013).

Säilörehu voi sisältää monia eri homesieniä ja -toksiineja. *Fusarium*-home on pääosin peräisin kasvustosta, kun taas *Aspergillus* ja *Penicillium* -homeet voivat tuottaa toksiinejansa myös myöhemmässä vaiheessa (Garon ym. 2006, Mansfield ja Kuldau 2007, Storm ym. 2008). On myös huomioitava, että homesienet pystyvät tuottamaan useita eri hometoksiineja. Usean hometoksiinin kontaminaatio on haitallisin, koska sen vaikutukset eläimeen ovat moninkertaiset yhden toksiinin vaikutuksiin verrattuna (Cheli ym. 2013). Lisää tietoa aiheesta löytyy Sweeneyn ja Dobsonin (1998) julkaisusta, jossa on verrattu eri homesienten kasvuolosuhteita.

3.1. Hometoksiinit tuoreessa kasvimateriaalissa

Seuraavat kasvuolosuhteet voivat altistaa kasvustossa esiintyville home- ja hometoksiinikontaminaatioille: suuri kosteuspitoisuus joko kasvustossa tai ilmassa, äärimmäiset lämpötilat ja niiden vaihtelut, tuhohyönteisten aiheuttamat vahingot (Cotty ja Jaime-Garcia 2007, Hussein ja Brasel 2001, Teller ym. 2012). Aflatoksiinin (AFLA) kertymään johtavat korkea lämpötila, vähäinen sademäärä ja tästä johtuva kuivuusstressi. *Fusarium* spp. esiintyvyys on puolestaan yhdistetty kosteisiin ja kylmiin kasvuolosuhteisiin (Munkvold 2003, Reyneri 2006).

Homesienten ja -toksiinien esiintyvyyttä säilörehukasvustossa on tutkittu pääosin maissilla. Näissä tutkimuksissa erityisesti hyönteisten aiheuttamat vahingot kasvustossa ovat aiheuttaneet toksiinikontaminaatioita (Cheli ym. 2013). Sama vaikutus on havaittu, kun maissikasvustoa on vahingoitettu ennen korjuuta mekaanisesti. Onkin todettu, että erityisesti silloin kun rehukasvusto on vahingoitettu, olisi syytä selvittää onko rehussa homesieni- ja hometoksiinikontaminaatioita (Teller ym. 2012). On myös huomioitava, että homesienet ja -toksiinit voivat säilyä pellolla kasvijäämissä ainakin seuraavaan vuoteen. Tämä on todettu *Fusarium* spp. homesienellä (Cheli ym. 2013). Taulukossa 2 on

esitetty Sweeneyn ja Dobsonin (1998) julkaisemat homesienten kasvuolosuhteet. Näiden kasvuolosuhteiden toteutuessa kasvimassassa voi esiintyä homesieniä ja niiden toksineja.

Kasvinjalostuksella sekä kasvinviljely- ja korjuukäytännöillä on pyritty vähentämään homesienten ja hometoksiinien kontaminaatioita rehukasvustossa, mutta sääolosuhteet ovat niin merkittävässä roolissa, että kontaminaatioita ei näillä keinoilla ole paljon pystytty vähentämään (Munkvold 2003, Mansfield ym. 2005, 2008, Reyneri 2006).

Taulukko 2. Yleisimpien homesienten ja -toksiinien kasvuolosuhteet (Sweeney ja Dobson 1998).

Homesieni (hometoksiini)	Lämpötila, °C		pH		Minimi veden aktiivisuus	
	Kasvu	Toksiinin tuotanto	Kasvu	Toksiinin tuotanto	Kasvu	Toksiinin tuotanto
<i>A. parasiticus</i> (AFLA)	10–43 optimi: 32–33	12–40	2,1–11,2 optimi: 3,5–8,0	3,5–8,0 optimi: 6	0,84	0,87
<i>A. flavus</i> (AFLA)	10–43 optimi: 32–33	12–40	2,1–11,2 optimi: 3,5–8,0	3,5–8,0 optimi: 6	0,8	0,82
<i>A. ochraceus</i> (OTA)	8–37 optimi: 24–37	12–37 optimi: 31	minimi 2,2 optimi 3–10	n.a.	0,77	0,85
<i>Fusarium</i> (T-2, DON, NIV, ZEA)	0–35 optimi 24–26	optimi 24–26	minimi pH riippuvainen lämpötilasta 2,4 at 30 °C	n.a.	0,9	0,9
<i>P. verrucosum</i> (OTA)	0–31 optimi: 20	4–31 optimi: 20	2,1–10,0 optimi: 6,0–7,0	n.a.	0,8	0,86
<i>P. expansum</i> (PAT)	0–35 optimi: 25	n.a.	n.a.	n.a.	0,82	0,95

AFLA = aflatoksiini. DON = deoksinivalenoli. NIV = nivalenoli. OTA = okratoksiini A. PAT = patuliini. T-2 = T-2 toksiini. ZEA = zearalenoni. n.a. = ei tiedossa.

3.2. Säilönnän vaikutus hometoksiineihin

Säilörehukasvuston homesienet ja -toksiinit siirtyvät rehuun. Hyvillä säilörehun tekotavoilla, muun muassa rehun säilömisellä hapettomaksi ja rehun pH:n nopealla laskulla, voidaan kuitenkin hillitä homesienten ja -toksiinien siirtymistä kasvustosta rehuun (Johansson ym. 2005, Tapia ym. 2005, Mansfield ja Kuldau 2007). Kuitenkin osa homesienilajeista voi säilyä hapettomissa oloissa ja/tai alhaisessa pH:ssa (Mansfield ja Kuldau, 2007). Cheli ym. (2013) ovat artikkelissaan esittäneet, miten eri toksiniitit säilyvät rehussa säilönnän aikana. Taulukossa 3 on esitetty eri homesienten ja niiden toksiniinien selviytyminen säilönnän aikana joko maissi- tai nurmisäilörehussa. Kokeet on tehty niin, että koesäilörehusiilot on avattu jonkin ajan kuluttua säilönnästä, mutta säilörehu ei ole silloin vielä välttämättä käynyt koko säilöntäprosessia läpi. Yleisesti voidaan todeta, että toksiniitit siirtyvät kasvustos-

ta säilörehuun, mutta säilönnän aikana niiden pitoisuus kasvimassassa voi joko pienetä tai suureta. On kuitenkin huomattava, että tulokset homesienten ja -toksiinien säilyvyydestä rehussa ovat osin ristiriitaisia.

Taulukko 3. Homesienten ja -toksiinien pitoisuuden vaihtelu säilörehun säilönnän aikana (Cheli ym. 2013).

Homesieni/-toksiini	Selviytyminen	Kasvi	Lähde
Homesienet			
<i>Alternaria</i>	---	Maissi	Mansfield & Kuldau 2007
<i>Aspergillus</i> spp.	+++	Maissi	Mansfield & Kuldau 2007
<i>Fusarium</i> spp.	---	Raiheinä	Damoglou ym. 1984
<i>Penicillium</i> spp.	+++	Maissi	Mansfield & Kuldau 2007
Hometoksiinit			
<i>Aspergillus</i> spp.			
Gliotoksiini (GT)	+	Nurmi	Boudra & Morgavi 2005
Fumagallin	---	Maissi	
Helvolic acid	+++	Maissi	
Verruculogen	+++	Maissi	
Aflatoksiini (AFLA)	=	Maissi	Kalac & Woodford 1982, Garon ym. 2006
Gliotoksiini (GT)	Vähäinen -	Maissi	Garon ym. 2006
<i>Fusarium</i> spp.			
Zearalenoni (ZEA)	-/+	Maissi	Lepom ym. 1988
	+++	Maissi	Gonzales Pereyra ym. 2008
Deoksinivalenoli (DON)	+++	Maissi	Lepom ym. 1988
	+++	Maissi	Mansfield ym. 2005
	---	Maissi	Boudra & Morgavi 2008, Gonzales Pereyra ym. 2008
Fumonisin	=	Maissi	Garon ym. (2006)
	---	Maissi	Boudra & Morgavi 2008, Gonzales Pereyra ym. 2008
<i>Penicillium</i> spp.			
Sitriini (CTN)	+++	Maissi	Mansfield ym. 2008
	+++	Maissi	Garon ym. 2006

+++ = lisääntyy säilönnän aikana; --- = vähenee säilönnän aikana; = ei muutosta säilönnän aikana.

Fusariumin toksiini deoksinivalenoli (DON) on yksi yleisimmistä säilörehukasvuston ja erityisesti maiskasvuston hometoksiineista (Cheli ym. 2013). Damoglou ym. (1984) inkuboivat *Fusarium roseumilla* ja *F. tricinctumilla* raiheinää ennen säilöntää. Näistä *Fusarium*-lajeista oli 15 päivän jälkeen säilönnästä jäljellä enää 1 % (Damoglou ym. 1984). Vaikka säilörehun hapettomat olosuhteet ja melko alhainen pH vähentävät *Fusarium*-lajin esiintyvyyttä kasvimassassa, muut lajit kuten *Aspergillus fumigatus*, *Byssoschlamys nivea*, *Monascus* spp., *Penicillium roqueforti* ja *Trichoderma* spp. ja niiden toksiinit selviävät säilötyssä rehussa (El-Shanawany ym. 2005, Mansfield ja Kuldau 2007, Pereyra ym. 2008). Yleensä näitä homesieniä raportoidaan löytyvän säilörehuista enemmän kuin *Fusarium*-lajia (Garon ym. 2006, Mansfield ja Kuldau 2007, Gonzales Pereyra ym. 2008). Syynä tähän on todennäköisesti se, että säilöntä pääsääntöisesti vähentää *Fusariumia* (Damoglou ym. 1984, Lepom ym. 1988, Mansfield ja Kuldau 2007), mutta muut homesienet säilyvät säilörehussa sitä paremmin. Hometoksiinien pitoisuuksien vaihtelut säilönnän aikana vaihtelevat eri tutkimusten välillä. Boudra ja Morgavi (2005) tutkivat nurmirehua ja havaitsivat *Aspergillus*-suvun hometoksiinin gliotoksiinin (GT) pitoisuuden nousevan säilönnän aikana. *Penicillium roqueforti* on yksi yleisimmistä homeen ja hometoksiinien muodostajista Euroopassa nurmi-, maissi- ja sokeriruokoviljelyksillä (Nout ym. 1993). Kuitenkin *P. roqueforti* toksiinit säilyvät huonosti säilönnän aikana (Müller ym. 1997).

Säilörehun säilönnässä käytetyistä säilöntäaineista saattaa olla apua homeiden ja niiden toksiinien estossa. Maitohapon ja etikkahapon on havaittu vähentävän jonkin verran homeiden kasvua säilörehussa (Cheli ym. 2013). Propioni- ja voihiapon on kuitenkin todettu inhiboivan homeiden kasvua edellä mainittuja happoja tehokkaammin (Cheli ym. 2013). Toisaalta on myös esitetty, että orgaaniset hapot toimisivat hiilen lähteenä säilörehussa, mikä voi olla homeiden kasvua suosiva (Auerbach ym. 1998).

Se, miten voimakasta toksiinien aineenvaihdunta on säilönnän aikana ja miten paljon tämä vaikuttaa toksiinien määrään valmiissa säilörehussa, riippuu toksiinilajista, niiden pH:n sietokyvystä ja vallitsevasta rehun pH:sta (Cheli ym. 2013). Myös rehun kuiva-ainepitoisuus ja rehun säilöntäaika vaikuttavat homesientien ja -toksiinien säilyvyyteen rehuissa (Cheli ym. 2013). Boudra ja Morgavi (2008) ovat todenneet, että *Fusarium* suvun hometoksiinien pitoisuudet pienevät säilörehussa sitä enemmän, mitä pidempi säilöntäaika on ja mitä enemmän rehussa on kuiva-ainetta. Lämpötilalla ei Boudran ja Morgavin (2008) tutkimuksessa ollut vaikutusta toksiinien määrään säilörehussa. Homesientien ja -toksiinien pitoisuuksissa ei tuoreen kasvimassan ja säilörehun välillä löydy selvää korrelaatiota eikä säilöntä varsinaisesti vähennä kyseisten patogeenien määrää. Tästä syystä olisi tärkeä keskittyä homekontaminaatioiden estoon jo ennen säilöntää.

3.3. Hometoksiinit valmiissa säilörehussa

Homekasvustot voi nähdä syöttövalmiissa säilörehussa. Tyypillisesti homekasvustoa on aluksi säilörehusiilon, -auman tai -paalin pinnassa, mutta kun säilörehu altistuu hapelle, homekasvusto todennäköisesti leviää koko säilörehuun. Säilörehussa voi kuitenkin olla homekasvustoa ja erityisesti hometoksiineja ilman, että niitä on nähtävissä. Auerbach ym. (1998) esimerkiksi raportoivat, että heidän kokeessaan *P. roqueforti*-kasvustoa ilmeni 85 % säilörehunäytteistä, jossa näkyvää kasvustoa ei ollut yhtään.

Homesienikasvustot voivat sisältää hyvin monia eri homesienilajeja. Useat tutkijat ovat todenneet, että 89 prosentissa säilörehuista ilmeni homekasvustoa (Auerbach ym. 1998, dos Santos ym. 2002, Gonzales Pereyra ym. 2008). Tosin nämä tutkimukset ovat ulkomaalaisia ja sisältävät pääosin maissisäilörehua. Luku kuulostaa suurelta, ja Suomessa, jossa tuotetaan pääasiassa nurmisäilörehua, tilanne ei ole välttämättä sama. Maissisäilörehussa on havaittu esiintyvän laajempi kirjo homesieniä ja niiden toksiineja kuin nurmisäilörehussa tai niiden seoksessa. Toisaalta maissisäilörehuja on tutkittu nurmisäilörehuja enemmän (Cheli ym. 2013). Taulukossa 4 on esitetty eri homesientien ja hometoksiinien esiintyvyys tutkimuksissa, joissa on tutkittu nurmisäilörehua tai maissi- ja nurmisäilörehun seosta.

Taulukko 4. Hometoksiinit nurmisäilörehussa tai maissi- ja nurmisäilörehun seoksessa.

	Homesieni	Hometoksiini	Lähde
Nurmisäilörehu	<i>Fusarium</i> spp.	ZEA	Schneweis ym. 2000, Driehuis ym. 2008a
	<i>Penicillium</i> spp. (myös muut)	ROC	Auerbach ym. 1998, Schneweis ym. 2000
	<i>Penicillium</i> spp.	MPA	Schneweis ym. 2000
	<i>Penicillium</i> spp.	CTN	
	<i>Aspergillus</i> spp	Monacolin KA	
	<i>Aspergillus</i> spp	Monacolin KL	
Maissi- ja nurmisäilörehun seos	<i>Fusarium</i> spp.	DON	Driehuis ym. 2008b
	<i>Fusarium</i> spp.	ZEA	Driehuis ym. 2008b
	<i>Penicillium</i> spp. (myös muut)	ROC	Driehuis ym. 2008b
	<i>Penicillium</i> spp.	MPA	Driehuis ym. 2008b

CTN = sitriini; DON = deoksinivalenoli; MPA = mykofenolihappo; ROC = roquefortine; ZEA = zearalenoni.

Kirjallisuuden perusteella (mm. Cheli ym. 2013) ainakin *Penicillium* spp. ja *Fusarium* spp. -lajeja ja niiden toksiineja sekä mykofenolihappoa ja *monascus*-hometta näyttäisi esiintyvän säilörehussa Suomea vastaavissa ilmasto-olosuhteissa.

Eri homeet ja niiden toksiinit levittäytyvät eri tavoin säilörehuun. Osaa patogeeneista todetaan rehun pinnassa, osaa rehun alemmissa kerroksissa ja osaa kauttaaltaan rehusa (Cheli ym. 2013). Patogeenien esiintyvyyteen vaikuttavat hapen määrä, kosteus ja pH. Säilörehun syöttönopeus vaikuttaa eläimille syötettävän rehun homesienten ja hometoksiinien määrään. Kun avattuun siiloon pääsee kulkeutumaan happea, mikro-organismit kuten hiivat ja homeet aktivoituvat. Tällöin homeitiöiden määrä suurenee, homekasvusto laajenee säilörehussa ja säilörehun laatu heikkenee (Pahlow ym. 2003, Driehuis ym. 2008a, Gonzales Pereyra ym. 2008).

Säilörehun tiivistäminen ja siilon peittelemineen hyvällä päällysteellä vähentää homekontaminatioriskiä. Tavanomaisen polyteenikalvon ei ole osoitettu takaavan täydellistä anaerobisuutta, kun taas koekstrudoidut sulkukalvot, joilla on alhainen hapen läpäisevyys, tuottavat parempia tuloksia (Borreani ym. 2007). Gonzales Pereyra ym. (2011) tutkivat laakasiilojen ja säilörehupaalien eroja homekontaminaatioiden kannalta. Kontaminaatioriski oli merkittävästi suurempi paaleissa kuin laakasii-loissa, koska ympäröivä polyteeni-venytyskalvo vaurioitui paaleissa helpommin (O'Brien ym. 2007).

3.4. Hometoksiinikontaminaatioiden määrä rehuissa

Märehtijät voivat saada hometoksiineja väkirehuista, karkearehusta tai laitumelta. Koska suurin osa dieetin kuiva-aineen syönnistä on yleensä säilörehua, toksiinien saantimäärät säilörehusta voivat olla hyvinkin merkittäviä (Cheli ym. 2013). Driehuisin ym. (2008b) tekemässä tutkimuksessa määritettiin toksiinien kokonaissaanti dieetistä 24 hollantilaisella lypsylehmätilalla. Tutkimuksessa säilörehun osuus oli tiloilla keskimäärin 67 % ja väkirehutiivisteiden osuus 23 % dieetin kuiva-aineesta. Tulokset osoittivat, että verrattuna tiivisteiden DON:in ja zearalenonin (ZEA) määrään, DON:n ja ZEA:n saanti

säilörehusta oli 3,5 ja 2,9 kertainen. Lisäksi tutkimuksessa todettiin voitavan olettaa, että toksiinipitoisuudet säilörehussa voivat ylittää nykyiset sallitut rajat tietyissä olosuhteissa. Jotta esimerkiksi vältettäisiin ylittämästä AFLA B1:n (AFB1) EU:n sallima pitoisuus maidossa, AFLA:n saanti rehusta ei saisi ylittää 40 g/eläin/päivä lehmälle, joka lypsää 30 kg maitoa päivässä (Driehuis ym. 2008a). Maksimipitoisuudet toksiineille säilörehu kilogrammaa kohden on mahdollista laskea, kun tiedetään dieetin muiden komponenttien toksiinipitoisuudet ja säilörehun osuus dieetistä (Cheli ym. 2013).



Kuva: Jarkko Kekkonen

4. Hometoksiinien metabolia ja eliminointi märehitjän elimistössä

Pötsin mikrobisto pystyy hajottamaan ja inaktivoimaan hometoksiineja, minkä seurauksena märehitjät ovat yksimahaisia vähemmän herkkiä hometoksiineille. Kuitenkin pötsin mikrobiston kyky hajottaa toksiineja voi heikentyä niin kutsutussa pitkäaikaisessa altistuksessa ja pötsin kyky inaktivoida hometoksiineja voi vaihdella dieetin mukaan. Myös metaboliset sairaudet voivat heikentää tätä kykyä (Fink-Gremmels 2008).

Märehitjän pötsin alkueläimillä näyttäisi olevan pötsin bakteereja suurempi rooli hometoksiinien metaboliasa pötsissä, mutta toisaalta toksiinit vahingoittavat herkemmin pötsin alkueläimiä kuin bakteereita (Westlake ym. 1989). Hometoksiinien hajoaminen pötsissä ja metabolia elimistössä vaihtelee hometoksiinin mukaan. Metaboliareitit voivat muuttaa toksiinin toiseksi toksiiniksi. Syntyvä toksiini voi olla yhtä haitallinen, vähemmän haitallinen tai haitallisempi kuin alkuperäinen toksiini (Yiannikouris ja Jouany 2002). Esimerkiksi *Fusarium*-homeen T-2 toksiini voi muuttua HT-2 toksiiniksi ja neosolanioliksi, jotka ovat kymmenen kertaa toksisempia kuin alkuperäinen toksiini (Yiannikouris ja Jouany 2002). Yiannikourisin ja Jouany (2002) julkaisusta löytyy enemmän tietoa eri toksiinien metaboliareiteista märehitjän elimistössä.



Märehitjä pyrkii eliminoidaan hometoksiineja erittämällä niitä ulosteiden ja maidon mukana. Erityisesti AFLA:a (AFB1), sen metaboliittia (AFM1), okratoksiini (OTA) A:ta ja zearalenonea eritetään maitoon (Yiannikouris ja Jouany 2002). Maidon mukana hometoksiinit kulkeutuvat elintarvikkeisiin.

Kuva: Maiju Pesonen

5. Hometoksiinien vaikutukset märehtijän tuotantoon ja terveyteen

5.1. Vaikutukset yleisesti naudassa

Homesieni- ja -toksiinikontaminaatiot vaikuttavat sekä rehun aistinvaraisiin ominaisuuksiin että rehun ravintoarvoon. Lisäksi ne aiheuttavat myrkytyksen vaaran. Hometoksiinien biologiset vaikutukset riippuvat nautittavista määristä, esiintyvien toksiinien määrästä, toksiineille altistuksen kestosta ja eläinten herkkyydestä. Toksiinit voivat myös aiheuttaa terveysongelmia, jotka ovat spesifisiä jokaiselle toksiinille. Hometoksiinit heikentävät yleisesti eläinten immunitettia, mikä edistää infektoita. Muun muassa tästä syystä hometoksiinien ja niiden aiheuttamien reaktioiden tunnistaminen on vaikeaa (Yiannikouris ja Jouany 2002). Hometoksiineille altistuminen nähdään eläimissä usein heikentyneenä rehun syöntinä, neurologisina, hormonaalisina (hedelmällisyyden heikkeneminen, sikiöiden epämuodostumat), hepatoksisina (maksasairaudet) ja immunologisina muutoksina (Scudamore ja Livesey 1998, D'Mello ym. 1999, Wilkinson 1999, Fink-Gremmels 2008,).

Taulukkoon 5 on koottu hometoksiinien vaikutukset märehtijässä niiden toksiinien osalta, jotka voisivat todennäköisemmin esiintyä nurmisäilörehuissa. Erityisesti OTA on harvoin vaarallinen märehtijälle sillä, pötsin mikrobisto voi hajottaa OTA:n OTA α :ksi, joka on OTA:aa paljon vähemmän toksiininen (Yiannikouris ja Jouany 2002). ZEN:n aiheuttamia myrkytystiloja havaitaan harvoin märehtijöissä (Yiannikouris ja Jouany 2002). Kuitenkin ZEN on havaittu myrkyttävän laiduntavia lampaita Uudessa-Seelannissa (Towers ym. 1993).

Taulukko 5. Hometoksiinien vaikutukset märehtijässä

Hometoksiini	Hometoksiinin vaikutukset märehtijässä	Lähde
Aflatoksiini (AFLA)	Akuutti: saa aikaan maksasairauksia, jotka voivat johtaa verenvuotoihin; aiheuttaa rasvahappojen kertymistä maksaan ja vaikuttaa munuaisten ja sydämen toimintaan niin, että nestettä voi kertyä kudoksiin; kuolema Pitkäkestoinen: aivosairaudet; immuunisuppressiiviset vaikutukset; solukuolemat ja kasvaimet; kuolema	Pier 1992, Pier & Richard 1992, Yiannikouris & Jouany 2002 Riley ym. 1998
Glilotoksiini (GT)	Immunosuppressiiviset -, pötsin mikrobeita tuhoavat -, DNA:ta vahingoittavat - ja soluja tuhoavat vaikutukset; sieni- ja hometulehdukset (Aspergilloosi)	Morgavi ym. 2007
Deoxivalenoli (DON (T-2, HT-2)), Fusarenone	Laihtuminen; oksentelu; ihosairaudet; verenvuoto; immuunisuppressiiviset vaikutukset; solukuolemat; häiriöt proteiinisynteesissä; kuolema	Yiannikouris & Jouany 2002
Fumosiinit	Aiheuttavat oireita maksan, suoliston, keskushermoston ja keuhkojen toiminnassa Solukuolemat	Yiannikouris & Jouany 2002 Riley ym. 1998
Zearalenone (ZEN)	Hedelmällisyysongelmat; nesteen ja ylimääräisen kudoksen kertyminen sukupuolielimiin erityisesti nuorilla naaraspuolisilla eläimillä; pienentää alkuiden selviytymismahdollisuutta, lutenisoivan hormonin ja progesteronin määrää; vaikuttaa epäedullisesti kohdun kudokseen; vähentää maitotuotosta; häiriinnyttää naaraspuolisten hormonien, mutta myös testosteronin tuotantoa	Yiannikouris & Jouany 2002
CTN (esiintyy yhdessä OTA kanssa)	Verenvuodot	Griffiths & Done, 1991

CTN = sitriini, OTA = okratoksiini

Roquefortine (ROC) ja mykotoksiinihappo ovat sitriinin (CTN) ohella *Penicillium* spp. homesienestä peräisin olevia toksineja. Niiden vaikutuksista märehäijöihin löytyy hyvin vähän tutkimustietoa. Koirilla ROC-myrkytykset ovat aiheuttaneet muun muassa hengitystiheyden lisääntymistä, läähätystä, sydämen lyöntitiheyden epänormaalia suurenemista sekä neurologisia muutoksia esimerkiksi lihasten kouristelua (Walter 2002). Mykofenolihapolla on selektiivisiä vaikutuksia immuunijärjestelmään, jossa se estää T-solujen lisääntymisen. Mykofenolihappoa käytetään antineoplastisena antibioottina. Tämän perusteella voisi ajatella, että se tuhoaa pötsin mikrobeja.

5.2. Vaikutukset vasikassa

Tuottava itäsuomalainen naudanlihantuotanto -hankkeessa on herännyt kysymys, ovatko hometoksiinit erityisen haitallisia vasikoille. Tutkimuksia aiheesta on vähän. Yleisesti on ajateltu, että useimilla eläinlajeilla nuoret eläimet ovat mykotoksiinien vaikutuksille herkempiä kuin aikuiset eläimet. Asiaa on kuitenkin tutkittu todella vähän. Tätä kirjallisuuskatsausta tehdessä löytyi kaksi nuorilla naudoilla tehtyä koetta, jossa eläimet on altistettu mykotoksiinille. Martinin ym. (2010) tutkimus osoitti, että keskimääräiset määrät maissin jyviä, jotka olivat luonnollisesti saastuneet *Fusarium*-suvun mykotoksiineista, eivät aiheuttaneet dieetissä negatiivisia vaikutuksia vasikoissa ja saivat aikaan jopa hieman parantuneen rehunhyötysuhteen. Vasikoiden aloituspaino oli kokeessa 177 kg, ja kokeen kesto oli vähintään 84 päivää. Kyseisessä kokeessa eläimet olivat maidolla pitkään ruokittuja nautoja (veal calves). Kyseisen ruokintakokeen tuloksia ei näin ollen voi suoraan soveltaa nuorempiin ja/tai tyypillisellä suomalaisella tavalla ruokittuihin vasikoihin.

Fumosiin B-1 on yksi myrkyllisimmistä hometoksiineista ja aiheuttaa myrkytysoireita sioilla ja hevosilla. Mathurin ym (2001a) tutkimuksessa tutkittiin, miten fumosiinin injektointi 1 mg/kg seitsemän päivän aikana vaikuttaa vasikoiden sydämen ja veronkierron toimintaan. Kokeen eläimet olivat 7–14 vuorokauden ikäisiä holstein-rotuisia sonnivasikoita. Koetta edelsi vastaava tutkimus sioilla. Fumosiinin vaikutukset vasikoiden sydämen ja veronkierron toimintaan olivat hyvin vähäiset eivätkä tutkittavat muuttujat eronneet kontrolli- ja fumosiini-ryhmän välillä. Fumosiinilla käsitellyillä vasikoilla havaittiin kuitenkin metabolinen asidoosi. Lisäksi tutkimuksessa todettiin, että vasikoiden vastustuskyky fumosiinille on sikojen vastustuskykyä parempi. Mathurin ym (2001b) ovat todenneet, että fumosiinin injektointi häiritsee vasikoiden maksan ja munuaisten toimintaa.

On vaikea sanoa, onko vasikoilla aikuisia märehäijöitä heikompi vastustuskyky hometoksiineja kohtaan. Olisi loogista, että vasikan, joka ei ole kehittynyt vielä täydelliseksi märehäijäksi, vastustuskyky hometoksiineja kohtaan olisi aikuista märehäijää herkempi hometoksiineille. Murray (2015) esittää netissä julkaistussa ammattilehtiartikkelissaan, että asia olisi näin. Toisaalta vastaavassa artikkelissaan Diaz (2010) kuitenkin kirjoittaa, että lypsykarja voisi olla poikkeus siihen sääntöön, että nuoret eläimet sairastuisivat vanhempia eläimiä herkemmin hometoksiineista. Diaz (2010) perustaa ajatuksensa sille, että maidontuotannon voimakkaat fysiologiset vaatimukset johtavat lehmien suureen rehun syöntiin ja sitä kautta mahdollisesti toksiinien suureen saantiin rehusta. Tästä syystä saattaisi olla mahdollista, että käytännössä vasikat ja hiehot altistuisivat hometoksiineille harvemmin kuin lypsävät lehmät.

6. Hometoksiinien analysointi ja havaitseminen

Amigot ym. (2006) havaitsivat tutkimuksessaan, että rehun heikko ravitsemuksellinen ja säilönnällinen laatu voivat indikoida rehun homesieni- ja -toksiinikontaminaatioista. Säilörehun toksiineille ei ole asetettu lainsäädännöllisiä maksimimääriä, mutta toksiinien maksimimäärät on asetettu koko dieetille komission asetuksissa (Commission Directive, 2003/100/EC of 31 October 2003 ja Commission Recommendation, 2006/576/EC of 17 August 2006). Viralliset hometoksiinien määrittämenetelmät hometoksiinien kontrolloimiseksi eläinten rehuissa on esitetty komission asetuksessa (Commission Regulation (EC) No 152/2009 of 27 January 2009). Muun muassa Scudamore ja Livesey (1998) ovat todenneet, että toksiinien määrittämiseen säilörehusta tarvitaan spesifisiä analyysijä, jotka ovat nopeita ja yksinkertaisia toteuttaa. Kyseisessä asetuksessa esitetyt analyysit on tarkoitettu viljoille ja muille säilytettävälle kauppatavaroille, elintarvikkeille ja rehuaineille, eivätkä ne kunnolla sovellu säilörehulle.

Analyysien, joilla homesieniä ja niiden toksiineja määritetään säilörehusta, tulisi olla sellaisia, että niillä voidaan määrittää sekä toksiinia/toksiineita tuottava homesieni että itse toksiini/toksiinit (Cheli ym. 2013). On olemassa genotyypin määrittämiseen perustuvia analyysijä tähän tarkoitukseen. Niitä ovat muun muassa polymeraasiketju, transkriptoomipohjaiset analyysit ja DNA-sirumenetelmät. Lisäksi analyysijä, jotka perustuvat tutkittavan komponentin kemiallisiin tai fysikaalisiin ominaisuuksiin, voidaan käyttää homesienten ja toksiinien tunnistuksessa (Logrieco et al. 2005, Schmidt-Heydt ja Geisen 2007, Cheli et al. 2008, Lancova et al. 2009).



Kuva: Jarkko Kekkonen

7. Johtopäätökset

- Hometoksiinit, jotka tunnetaan myös nimellä mykotoksiinit ja homemyrkyt, ovat näkymättömiä, mauttomia ja hajuttomia homekasvustossa muodostuneita myrkkyjä. Hometoksiineja syntyy, jos tietyt olosuhteet vallitsevat ja tai yhdistyvät kasvin kasvaessa, sitä korjattaessa tai säilöittäessä.
- Homesienisukujen ja niiden toksiinien esiintyvyys vaihtelee säilörehutyypeittäin ja maanosan mukaan. Nurmen ja nurmirehun hometoksiineista tiedetään vähemmän kuin maissin ja mais-sirehun toksineista.
- Hyvillä säilörehun teko- ja syöttökäytännöillä voidaan hillitä hometoksiinien määrää rehussa. Jos säilöttävä materiaali sisältää jo vahingollisen määrän hometoksiineja, ei edes hyviä säilö-rehun teko- ja syöttökäytäntöjä noudattamalla voida välttää rehun pilaantumiselta.
- Nurmisäilörehussa yleisimmät homesienisuvut ovat *Aspergillus*, *Penicillium* ja *Fusarium* ja niiden metaboliatuotteet ovat siten yleisimmät säilörehusta löydettävät hometoksiinit. Muita säilörehussa esiintyviä homesukuja ovat *Alternaria*, *Mucor*, *Byssoschlamys*, *Geotrichum*, *Monascus* ja *Scopulariopsis*.
- Säilöttävä kasvimateriaali ja säilörehu voi sisältää samanaikaisesti monia eri homesieniä ja niiden toksineja. Usean hometoksiinin kontaminaatio on haitallisin, koska sen vaikutukset eläimeen ovat moninkertaiset yhden toksinin vaikutuksiin verrattuna.
- Koska suurin osa dieetin kuiva-aineen syönnistä on säilörehua, toksiinien saantimäärät säilö-rehusta voivat olla hyvinkin merkittäviä. Tällä voi olla suuria vaikutuksia naudan kasvuun, he-delmällisyyteen ja maidontuotantoon taloudellisista vaikutuksista puhumattakaan.
- Pötsin mikrobisto pystyy hajottamaan ja inaktivoimaan hometoksiineja, minkä seurauksena märehitjät ovat yksimahaisia vähemmän herkkiä hometoksiineille. Kuitenkin pötsin mikrobis-ton kyky hajottaa toksineja voi heikentyä niin kutsutussa pitkäaikaisessa altistuksessa.
- Hometoksiinien hajoaminen pötsissä ja metabolia märehitjän elimistössä vaihtelee hometok-siinin mukaan. Metaboliareitit voivat muuttaa toksinin toiseksi toksiiniksi.
- Vaikutukset eläimessä ovat spesifisiä jokaiselle toksinille. Hometoksiinit heikentävät yleisesti eläinten immunitettia, mikä edistää infektioita.
- Märehitjät pyrkii eliminoimaan hometoksiineja erittämällä niitä ulosteiden ja maidon mukana. Maidosta hometoksiinit kulkeutuvat elintarvikkeisiin.
- Yleisesti on ajateltu, että useimmilla eläinlajeilla nuoret eläimet ovat aikuisia herkempiä ho-metoksiinien vaikutuksille. Koska maitoa tuottavat eläimet syövät paljon, saattaa kuitenkin ol-la mahdollista, että käytännössä vasikat ja hiehot altistuvat hometoksiineille harvemmin kuin lypsylehmät.

- Hometoksiinien analysoimiseen säilöttävästä kasvimassasta ja säilörehusta on olemassa genotyypin määrittämiseen perustuvia analyysejä. Käytännön sovelluksia hometoksiinien analysointia varten on kuitenkin hyvin vähän.
- Suomessa tutkimusta asiasta voitaisiin jatkaa analysoimalla hometoksiinipitoisuuksia niistä nurmisäilörehuista, joiden syönti on ruokintakokeissa tai tila-aineistoissa jäänyt alle odotetun. Lisää tutkimustietoa tarvittaisiin myös siitä, millaiset ovat säilörehun hometoksiinien vaikutukset vasikoiden kasvuun Suomessa, jossa säilörehua käytetään nuorten nautojen ruokinnassa melko paljon.

Viitteet

- Amigot, S.L., Fulgueira, C.L., Bottai, H. & Basilio, J.C. 2006. New parameters to evaluate forage quality. *Postharvest Biology and Technology* 4: 215–224.
- Auerbach, H., Oldenburg, E. & Weissbach, F. 1998. Incidence of *Penicillium roqueforti* and *roquefortine C* in silages. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 76: 565–572.
- Boudra, H. & Morgavi, D.P. 2005. Mycotoxin risk evaluation in feeds contaminated by *Aspergillus fumigatus*. *Animal Feed Science and Technology* 120: 113–123.
- Boudra, H. & Morgavi, D.P. 2008. Reduction in *Fusarium* toxin levels in maize silage with low dry matter and storage time. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 56: 4523–4528.
- Borreani, G., Tabacco, E. & Cavallarin, L. 2007. A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. *Journal of Dairy Science* 90: 4701–4706.
- Cheli, F., Pinotti, L., Campagnoli, A., Fusi, E., Rebutti, R. & Baldi, A. 2008. Mycotoxin analysis, mycotoxin-producing fungi assay and mycotoxin toxicity bioassay in food mycotoxin monitoring surveillance. *Italian Journal of Food Science* 4: 447–462.
- Cheli, F., Campagnoli, A. & Dell'Orto, V. 2013. Fungal populations and mycotoxins in silages: From occurrence to analysis. *Animal Feed Science and Technology* 183: 1–16.
- Commission Directive 2003. 2003/100/EC of 31 October 2003 amending Annex I to Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council on undesirable substances in animal feed. *Official Journal of European Union* 285: 33–37.
- Commission Recommendation 2006. 2006/576/EC of 17 August 2006 on the presence of deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin A, T-2 and HT-2 and fumonisins in products intended for animal feeding. *Official Journal of European Union* 229: 7–9.
- Commission Regulation 2009. No 152/2009 of 27 January 2009 laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feed. *Official Journal of European Union*: 1–130.
- Cotty, P.J. & Jaime-Garcia, R. 2007. Effect of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination. *International Journal of Food and Microbiology* 119: 109–115.
- Coulombe, R.A. 1993. Biological action of mycotoxins. *Journal of Dairy Science* 76: 880–891.
- Damoglou, A.P., Shannon, W. & Downey, G.A. 1984. The interaction between *Fusaria* and their mycotoxins in grass silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 35: 279–284.
- Diaz, 2010. Mycotoxins can impact calves. Dairy Herd Management. Saatavissa internetistä: <https://www.dairyherd.com/article/mycotoxins-can-impact-calves>
- D'Mello, J.P.F., Placinta, C.M. & McDonald, A.M.C. 1999. *Fusarium* mycotoxins: a review of global implications for animal health, welfare, and productivity. *Animal Feed Science and Technology* 80: 183–205.
- dos Santos, V.M., Dorner, J.W. & Carreira, F. 2002. Isolation and toxigenicity of *Aspergillus fumigatus* from moldy silage. *Mycopathologia* 156: 133–138.
- Driehuis, F., Spanjer, M.C., Scholten, J.M. & Te Giffel, M.C. 2008a. Occurrence of mycotoxins in maize, grass and wheat silage for dairy cattle in the Netherlands'. *Food Additives and Contaminations* 1: 41–50.
- Driehuis, F., Spanjer, M.C., Scholten, J.M. & Te Giffel, M.C. 2008b. Occurrence of mycotoxins in feedstuffs of dairy cows and estimation of total dietary intakes. *Journal of Dairy Science* 91: 4261–4271.
- El-Shanawany, A.A., Mostafa, M.E. & Barakat, A. 2005. Fungal population and mycotoxins in silage in Assiut and Sohag governorates in Egypt, with a special reference to characteristic *Aspergilli* toxins. *Mycopathologia* 159: 281–289.
- Fink-Gremmels, J. 1999. Mycotoxins: their implications for human and animal health. *The Veterinary Quarterly* 21: 115–120.
- Fink-Gremmels, J. 2005. Mycotoxins in forages. In: Diaz, D.E. (ed.). *The Mycotoxin Blue Book*. Nottingham, UK: Nottingham University Press. p. 249–268.

- Fink-Gremmels, J. 2008. The role of mycotoxins in the health and performance of dairy cows. *The Veterinary Journal* 176: 84–92.
- Garon, D., Richard, E., Sage, L., Bouchart, V., Pottier, D. & Lebailly, P. 2006. Mycoflora and multimycotoxin detection in maize silage: Experimental study. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 54: 3479–3484.
- Gonzales Pereyra, M.L., Alonso, V.A., Sager, R., Morlaco, M.B., Magnoli, C.E., Astoreca, A.L., Rosa, C.A.R., Chiacchiera, S.M., Dalcero, A.M. & Cavaglieri, L.R. 2008. Fungal and selected mycotoxins from pre- and postfermented maize silage. *Journal of Applied Microbiology* 104: 1034–1041.
- Gonzales Pereyra, M.L., Chiacchiera, S.M., Rosa, C.A.R., Sager, R., Dalcero, A.M. & Cavaglieri, L. 2011. Comparative analysis of the mycobiota and mycotoxins contaminating corn trench silos and silo bags. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 1474–1481.
- Griffiths I.B. & Done, S.H. 1991. Citrinin as a possible cause of the pruritis, pyrexia, haemorrhagic syndrome in cattle. *Veterinary Record* 129: 113–117.
- Huhtanen, P., Jaakkola, S. & Nousiainen, J. 2013. An overview of silage research in Finland: from ensiling innovation to advances in dairy cow feeding. *Agricultural and Food Science* 22: 35–56.
- Hussein, H.S. & Brasel, J.M. 2001. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on human and animals. *Toxicology* 167: 101–134.
- Huuskonen, A. & Pesonen, M. 2017. A comparison of first-, second- and third-cut timothy silages in the diets of finishing beef bulls. *Agricultural and Food Science* 26: 16–24.
- Hyrkäs, M., Sairanen, A., Kykkänen, S., Virkajärvi, P. & Isolahti, M. 2015. Different harvesting strategies and cultivar mixtures for grass silage production in Finland. In: van den Pol-van Dasselaar, A., Aarts, H.F.M., De Vliegheer, A., Elgersma, A., Reheul, D., Reijneveld, J.A., Verloop, J. & Hopkins, A. (eds.). Grassland and forages in high output dairy farming systems. Proceedings of the 18th symposium of the European Grassland Federation, in June in Wageningen, the Netherlands. *Grassland Science in Europe* 20: 239–241.
- Johansson, M., Emmoth, E., Salomonsson, A.C. & Albiñ, A. 2005. Potential risks when spreading anaerobic digestion residues on grass silage crops—survival of bacteria, moulds and viruses. *Grass Forage Science* 60: 175–185.
- Kalac, P. & Woodford, M.K. 1982. A review of some aspects of possible associations between the feedings of silage and animal health. *The British Veterinary Journal* 138: 305–309.
- Kuoppala, K. 2010. *Influence of harvesting strategy on nutrient supply and production of dairy cows consuming diets based on grass and red clover silage*. Doctoral Dissertation. University of Helsinki, Department of Agricultural Sciences. MTT Science 11. 51 p.
- Lancova, K., Bowens, P., Stroka, J., Gmuender, H., Ellinger, T. & Naegeli, H. 2009. Transcriptomic-based bioassays for the detection of type A trichothecenes. *World Mycotoxin Journal* 2: 247–257.
- Lepom, P., Baath, H. & Knabe, O. 1988. Occurrence of Fusarium species and their mycotoxins in maize. 3. The influence of silaging on the zearalenone content of CCM maize. *Archives of Animal Nutrition* 38: 817–823.
- Logrieco, A., Arrigan, D.W.M., Brengel-Pesce, K., Siciliano, P. & Tothill, I. 2005. DNA arrays, electronic noses and tongues, biosensors and receptors for rapid detection of toxigenic fungi and mycotoxins: a review. *Food Additions and Contaminations* 22: 335–344.
- Magan, N., Hope, R., Cairns, V. & Aldred, D. 2003. Post-harvest fungal ecology: Impact of fungal growth and mycotoxin accumulation in stored grain. *European Journal of Plant Pathology* 109, 723–730.
- Mansfield, M.A., De Wolf, E.D. & Kulda, G.A. 2005. Relationships between weather conditions, agronomic practices, and fermentation characteristics with deoxynivalenol content in fresh and ensiled maize. *Plant Diseases* 89: 151–1157.
- Mansfield, M., Jones, A. & Kulda, A.D.G.A., 2008. Contamination of fresh and ensiled maize by multiple penicillium mycotoxins. *Phytopathology* 98: 330–336.
- Mansfield, M.A. & Kulda, G.A. 2007. Microbiological and molecular determination of mycobiota in fresh and ensiled maize silage. *Mycologia* 99: 269–278.

- Martin, L. M., Wood, K. M., McEwen, P. L., Smith, T.K., Mandell, I.B., Yannikouris, A. & Swanson, K.C. 2010. Effects of feeding corn naturally contaminated with *Fusarium* mycotoxins and/or a modified yeast cell wall extract on the performance, immunity and carcass characteristics of grain-fed veal calves. *Animal Feed Science and Technology* 159: 27–34.
- Mathur, S., Constable, P.D., Eppley, R.M., Tumbleson, M.E., Smith, G.W., Tranquilli, W.J., Morin, D.E. & Haschek, W.M. 2001a. Fumonisin B(1) increases serum sphinganine concentration but does not alter serum sphingosine concentration or induce cardiovascular changes in milk-fed calves. *Toxicological Sciences* 60: 379–84.
- Mathur, S., Constable, P.D., Eppley, R.M., Waggoner, A.L., Tumbleson, M.E. & Haschek, W.M. 2001b. Fumonisin B(1) is hepatotoxic and nephrotoxic in milk-fed calves. *Toxicological Sciences* 60: 385–396.
- Morgavi, D.P., Boudra, H., J. P. Jouany & Michalet-Doreau, B. 2007. Effect and stability of gliotoxin, an *Aspergillus fumigatus* toxin, on in vitro rumen fermentation. *Food Additives and Contaminants* 9: 871–878.
- Munkvold, G.P. 2003. Cultural and genetic approaches to managing mycotoxins in maize. *Annual Review of Phytopathology* 41: 99–116.
- Murray, D. 2015. Sick calves? Mycotoxins may be to blame, Dairy healthline. Saatavilla internetistä: <https://www.agweb.com/blog/dairy-today-healthline-295/sick-calves-mycotoxins-may-be-to-blame/>
- Müller, H.M. & Amend, R. 1997. Formation and disappearance of mycophenolic acid, patulin, penicillic acid and PR toxin in maize silage inoculated with *Penicillium roqueforti*. *Archiv Für Tierernährung* 50: 213–225.
- Nout M.J.R., Bouwmeester H.M., Haaksma J. & Dijk H. van, 1993. Fungal growth in silages of sugarbeet press pulp and maize. *Journal of Agricultural Science* 121: 323–326.
- O'Brien, M., O'Kiely, P., Forristal, P.D. & Fuller, H.T. 2007. Visible fungal growth on baled grass silage during the winter feeding season in Ireland and silage characteristics associated with the occurrence of fungi. *Animal Feed Science and Technology* 139: 234–256.
- Pahlow, G., Muck, R.E., Driehuis, F., Oudelferink, S.J.W.H. & Spoelstra, S.F. 2003. Microbiology of ensiling. In: Buxton, D.R., Muck, R.E. & Harrison, J.H. (eds.), *Silage Science and Technology*. Madison Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. pp. 31–93.
- Pereyra, C.M., Alonso, V.A., Rosa, C.A.R., Chiacchiera, S.M., Dalcero, A.M. & Cavaglieri, R.R. 2008. Gliotoxin natural incidence and toxigenicity of *Aspergillus fumigatus* isolated from maize silage and ready dairy cattle feed. *World Mycotoxin Journal* 1: 457–462.
- Pier A.C. 1992. Major biological consequences of aflatoxicosis in animal production. *Journal of Animal Science* 70: 3964–3967.
- Pier A.C. & Richard J.L. 1992. Mycoses and mycotoxicoses of animals caused by aspergilli. *Biotechnology* 23: 233–248.
- Riley R.T. 1998. Mechanistic interactions of mycotoxins: theoretical considerations. In: Sinha K.K., Bhatnagar D. (eds.). *Mycotoxins in Agriculture and Food Safety*, Marcel Dekker Inc. p. 227–253.
- Rinne, M. 2000. *Influence of the timing of the harvest of primary grass growth on herbage quality and subsequent digestion and performance in ruminant animal*. Doctoral Dissertation. University of Helsinki, Department of Animal Science. Publications 54. 49 p.
- Sairanen, A. & Juutinen E. 2013. Feeding value of late autumn cut timothy-meadow fescue silage under Nordic conditions. In: Helgadottir, A & Hopkins, A. (eds.). The role of grasslands in a green future. Proceedings of the 17th symposium of the European Grassland Federation, in June in Akureyri, Iceland. *Grassland Science in Europe* 18: 267–269.
- Sairanen, A., Palmio, A. & Rinne, M. 2016. Milk production potential of regrowth grass silages. In: Höglind, M., Bakken, A.K., Hovstad, K.A. Kallioniemi, E. Riley, H. Steinshamn, H. & Østrem, L. (eds.). The multiple roles of grassland in the European bioeconomy. Proceedings of the 26th General Meeting of European Grassland Federation, in September, in Trondheim, Norway. *Grassland Science in Europe* 21: 379–381.

- Schmidt-Heydt, M. & Geisen, R. 2007. A microarray for monitoring the production of mycotoxins in food. *International Journal of Food and Microbiology* 117: 131–140.
- Schneweis, I., Meyer, K., Hormansdorfer, S. & Bauer, J. 2000. Mycophenolic acid in silage. *Applied and Environmental Microbiology* 66: 3639–3641.
- Scudamore, K.A. & Livesey, C.T. 1998. Occurrence and significance of mycotoxins in forage crops and silage: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77: 1–17.
- Storm, I.M.L.D., Sørensen, J.L., Rasmussen, R.R., Nielsen, K.F. & Thrane, U., 2008. Mycotoxins in silage. *Stewart Postharvest Review* 4: 1–12.
- Sweeney, M.J. & Dobson, A.D.W. 1998. Review. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. *International Journal of Food Microbiology* 43: 141–158.
- Tapia, M.O., Stern, M.D., Soraci, A.L., Meronuck, R., Olson, W., Gold, S., Koski-Hulbert, R.L. & Murphy, M.J. 2005. Patulin-producing molds in maize silage and high moisture maize and effects of patulin on fermentation by ruminal microbes in continuous culture. *Animal Feed Science and Technology* 119: 247–258.
- Teller, R.S., Schmidt, R.J., Whitlow, L.W. & Kung Jr., L. 2012. Effect of physical damage to ears of corn before harvest and treatment with various additives on the concentration of mycotoxins, silage fermentation, and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science* 95: 1428–1436.
- Towers N.R. & Sposen J.M. 1993. Zearalenone-induced infertility in sheep and cattle in New Zealand. *The New Zealand Veterinary Journal* 41: 223–224.
- Walter, S. L. 2002. Acute penitrem A and roquefortine poisoning in a dog. *Canadian Veterinary Journal* 43: 372–374.
- Westlake K., Mackie R.I. & Dutton M.F. 1989. *In vitro* metabolism of mycotoxins by bacterial, protozoal and ovine ruminal fluid preparations. *Animal Feed Science and Technology* 25: 169–178.
- Wilkinson, J.M. 1999. Silage and animal health. *Natural Toxins* 7: 221–232.
- Yiannikouris, A. & Jouany, J-P. 2002. Mycotoxins in feeds and their fate in animals: a review. *Animal Research* 51: 81–99.



Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000