



Fakultet: Naturresurser och lantbruksvetenskap

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fusarium och mykotoxiner i spannmål

– Utbredning, konsekvenser och möjliga åtgärder

Fusarium and mycotoxins in small grains

– Incidence, consequences and possible control measures

Emelie Andersson

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Program: NY003 Agronomprogrammet – mark/växt
EX0689, kandidatarbete, 15 hp, Uppsala 2013

Institution/område: Skoglig mykologi och växtpatologi

Fusarium och mykotoxiner – Utbredning, konsekvenser och möjliga åtgärder

Fusarium and mycotoxins in grain – Incidence, consequences and control measures

Emelie Andersson

Handledare: Annika Djurlle, Sveriges lantbruksuniversitet, inst. för skoglig mykologi och växtpatologi

Examinator: Björn Andersson, Sveriges lantbruksuniversitet, inst. för skoglig mykologi och växtpatologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå

Kurstitel: Självständigt arbete i biologi - kandidatarbete

Kurskod: EX0689

Program/utbildning: Agronom – mark/växt

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2013

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Fusarium, mykotoxiner, utbredning, förekomst, åtgärder, biologi, *F. avenaceum*, *F. crookwellense*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, *F. kyushuense*, *F. langsethiae*, *F. oxysporum*, *F. poae*, *F. proliferatum*, *F. sambucinum*, *F. semitectum*, *F. sporotrichioides*, *F. subglutinans*, *F. torulosum*, *F. tricinctum*, *F. venenatum*, *F. verticillioides*, Trichothecener, Deoxynivalenol (DON), Diacetoxyscirpenol (DAS), Fusarenon-X (FX), HT-2 toxin (HT-2), Monoacetoxyscirpenol (MonoSCR), Neosolaniol (NEO), Nivalenol (NIV), Scirpenol (SCR), T-2 toxin (T-2), Zearaleone (ZEA), Fumonisin, Fusarenone X, Moniliformin, Enniatiner

Sammanfattning

Vissa *Fusarium*-arter är växtpatogener som orsakar stora skador hos grödor runt om i världen. De påverkar grödor kvantitativt då de kan sänka skördemängden, men är kanske mest kända för förmågan att ändra grödans kvalitativa egenskaper då de kan producera mykotoxiner. Mykotoxiner är sekundära metaboliter som kan påverka människors och djurs hälsa negativt.

Syftet med arbetet är att sammanställa litteratur som tar upp *Fusarium* och mykotoxiner. Arbetet är främst inriktat mot vårsäd i framför allt Norden. Dessutom har en intervju utförts med två lantbrukare som haft problem med angrepp av *Fusarium* i sin spannmål.

Fusarium-förekomsten i Sverige, Norge och Storbritannien liknar varandra, vilket kan förklaras med att liknande klimat förekommer i dessa länder. *F. graminearum*, *F. langsethiae* och *F. avenaceum* är de mest förekommande arterna i Norge. I Sverige är *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. graminearum*, *F. langsethiae* och *F. avenaceum* vanligast och i Storbritannien *F. graminearum*, *F. culmorum* och *F. langsethiae*.

Av vete, havre och korn, är havre den mest utsatta grödan för *Fusarium*-angrepp, medan vete är den minst utsatta.

Deoxynivalenol, som är ett mykotoxin, är ett ökande problem i Norge och Sverige, vilket kan bero på att *F. graminearum* har blivit vanligare i kallare områden. Förklaringen till detta är att denna art kan ha anpassat sig till kallare klimat eller att odlingsåtgärder har förändrats till patogenens fördel.

Hur *Fusarium* ska bekämpas på det mest effektiva sättet är svårt att säga. Mer forskning inom området behövs för att det ska bli möjligt att effektivt bekämpa patogenen.

Abstract

In the genus *Fusarium* some species are plant pathogens that cause great damage to crops cultivated all around the world. They have the ability to decrease the crop yields and produce mycotoxins which are secondary metabolites that can affect the health of human and animals negatively.

The aim of this work is to compile information about the *Fusarium* situation in spring crops in the Scandinavian countries. There is also a report from interviews with two farmers that have had problem with *Fusarium* in their grain.

The occurrence of *Fusarium* in Sweden, Norway and the United Kingdom is almost the same, which can be explained by the similarities in the climate in these countries. *F. graminearum*, *F. langsethiae* and *F. avenaceum* are the most frequent species in Norway. In Sweden, the species *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. graminearum*, *F. langsethiae* and *F. avenaceum* are the most frequent. In the UK *F. graminearum*, *F. culmorum*, and *F. langsethiae* could be the most frequent species.

Of wheat, oats and barley, oats is the most sensitive crop to *Fusarium* infection. Wheat seems to be the crop that is the least sensitive of these three crops.

Deoxynivalenol, which is a mycotoxin, is an increasing problem in Norway and Sweden, which could be an effect of *F. graminearum* becoming more frequent in cooler areas. The explanation is that this species may have adapted to a cooler climate or the growing system on the farms has changed to the advantage of the pathogen (more maize and increased reduced tillage).

In which way the pathogen can be controlled in the most efficient way is difficult to say. More research is needed to get more information about the biology of the pathogen. Thus, the most efficient way to control the pathogen will be found out in the future.

Innehållsförteckning

Inledning.....	2
<i>Fusariums</i> biologi.....	3
<i>Fusarium</i> -arters förekomst i världen.....	5
<i>Fusarium</i> -svamparnas mykotoxinproduktion.....	7
Gränsvärden för DON-halter i havre.....	9
<i>Fusarium</i> -arters och mykotoxiners förekomst i Norge.....	10
<i>Fusarium</i> -mykotoxiners förekomst i Storbritannien.....	11
<i>Fusarium</i> -arters och mykotoxiners förekomst i Sverige.....	12
Odlingåtgärders påverkan på <i>Fusarium</i> -förekomst.....	12
Intervjuer.....	15
Diskussion.....	16
Referenslista.....	21
Tack till.....	25
Bilagor.....	26

Inledning

Fusarium är ett svampsläkte som är väl anpassat i olika habitat runt om i världen och finns i jord, vatten, luft och organiskt material (17). Totalt finns det ca 140 *Fusarium*-arter. Tack vare bättre teknik och uppdaterad taxonomi har fler *Fusarium*-arter kunnat identifieras (9). Vissa *Fusarium*-arter kan orsaka sjukdomar som exempelvis axfusarios i stråsådesgrödor vilken i sin tur kan orsaka skördeföruster (34). Förutom detta kan vissa *Fusarium*-arter även producera mykotoxiner i grödorna. Mykotoxiner är toxiska sekundära metaboliter som kan påverka människors och djurs hälsa negativt (7, 15, 34, 37). Toxinerna är kemiskt och termiskt stabila och kan därför även förekomma i vidareförädlade produkter (mjöl, bröd) och produkter från djur (mjölk, ägg, kött) som fått foder innehållande mykotoxiner. Mykotoxinerna kan även orsaka tekniska problem. Ett exempel är att de kan inhibera jästillväxt och fermentering, vilket kan skapa problem vid mältning av öl och bakning av bröd (34).

Sedan 1990-talet har axfusarios påverkat Nordamerikas korn- och veteproduktion. Av alla växtsjukdomar i USA är det axfusarios som mest påverkar grödornas kvalitets- och skördeföruster. Att angrepp av *Fusarium* i spannmål har ökat i Nordamerika beror förmodligen på ändrade odlingsåtgärder såsom ökad användning av reducerad jordbearbetning. I dessa områden har användandet av fungicider ökat för att kontrollera *Fusarium*-angrepp. I veteproduktionen i USA används numera fungicider som en rutin i de områden där förekomsten av axfusarios är stor. Trots ökad användning av kemisk bekämpning och försök med att finna nya resistent sorter, är axfusarios fortfarande ett problem i USA. Orsaken till detta är de rådande klimatiska förhållanden som haft en positiv påverkan på patogenens tillväxt (33).

I norra Europa är kontamination av *Fusarium*-svampar och produktion av mykotoxiner ett vanligt problem i spannmål (13). 2011 var ett år då förekomsten av mykotoxiner var hög i spannmål och ställde till det för många lantbrukare i Sverige. Under de senaste två åren har förekomsten av mykotoxinet deoxynivalenol (DON) ökat i Sverige, där havren i västra Sverige har drabbats värst. Orsaken till att DON-förekomsten har ökat och hur detta ska åtgärdas är än så länge oklart. Även Norge är drabbat, men där har man känt till eller haft problemet under en längre tid. Där har man kommit fram till att ökad nederbörd under juli månad i samband med blomningen och ökad tillämpning av reducerad jordbearbetning har ökat DON-förekomsten. I många fall har dessutom växtföljden varit ensidig, vilket kan gynna *Fusarium*-angrepp ytterligare (26, 28).

Det är viktigt att påpeka att det inte är enbart DON som är ett problem i stråsåd i Norden. Det finns flera andra mykotoxiner (producerade av *Fusarium*) som kan orsaka problem i stråsåd och andra grödor, som exempelvis HT2, T-2, NIV, DAS och ZEA. I dagsläget finns det endast gränsvärden för DON och ZEA för att minska mängderna av dessa i livsmedel och foder. Det finns alltså en risk att det kan förekomma stora mängder av de övriga mykotoxinerna i spannmålen vilket kan bli skadligt för både människor och djur (28).

Syftet med arbetet var att utföra en litteraturstudie för att sammanställa kunskap om *Fusarium* och mykotoxiner i spannmål. Eftersom det inte finns mycket skrivet om förekomsten av *Fusarium*-arter och mykotoxiner i Sverige, har litteratur från andra länder även tagits med. Arbetet är främst inriktat mot vårsåd i Norden. Under arbetets gång har även två intervjuer utförts med lantbrukare som haft problem med *Fusarium*-angrepp i Värmland.

Fusariums biologi

I släktet *Fusarium* finns flera arter som kan orsaka sjukdomar i spannmål, som exempelvis groddbrand, axfusarios och stråbasröta (15). I fortsättningen kommer dessa arter kallas för *Fusarium*. *Fusarium* har både ett sexuellt och asexuellt stadium i sin livscykel, dock är inte det sexuella stadiet känt hos alla arter. I ett asexuellt stadium bildas konidier i sporodochier och i ett sexuellt stadium bildar *Fusarium* perithecier (17). Klimatet påverkar produktionen och spridningen av asexuella konidier samt sexuella ascosporer. Vilka förhållanden som är de mest optimala för produktion och spridning av svampens inokulum är varierande beroende på om den reproducerar sig sexuellt och/eller asexuellt (7). De väderfaktorer som ökar mängden angrepp av *Fusarium* är framför allt fuktiga förhållanden och låga temperaturer, vilket ofta förekommer om stråsäd skördas sent. Även torra vårar samt hög nederbörd under juli har visat sig öka spannmålets mottaglighet för *Fusarium*-angrepp (3, 59).

Axfusarios uppstår då ascosporer eller konidier frigörs vid grödans blomning och vid hög fuktighet. Om sporena kommer innan eller efter blomningen blir angreppet inte lika allvarligt (16). Axfusarios drabbar kärnor, småax eller hela axet. Angreppet leder till att klorofyllet försvinner i axen som då blir bleka och kan i slutändan leda till vitaxighet. Vid varma och fuktiga förhållanden kan även rosa-färgade mycel och konidier utvecklas, (10) infektionen kan då även spridas vidare inne i axet (15). Purpurfärgade perithecier kan även utvecklas i blomfjällen (10). Allt eftersom mycelet tillväxer blir kärnor missfärgade och kan skrupna ihop (16).

Förutom axfusarios kan *Fusarium* även orsaka stråbasröta och groddbrand i grödorna (15, 37). Stråbasröta påverkar stråsädens rötter och stråbas (10). Utsädesburet inokulum i relativt torra jordar kan orsaka groddbrand i bland annat vete, korn och havre (16). Grödor som har infekterats av groddbrand får bruna barkliknande rötter. Grodden kan också missfärgas, antingen före eller efter uppkomst (15). I äldre plantor kan stråbasröta utvecklas, vilket kan resultera i att stråbasen blir brun och ruttnar. Hos unga grödor som har pålrötter, kan pålroten få en rödaktig nyans som senare blir mörkare och rötan kan växa vidare upp i stråbasen. Sprickor kan bildas på huvudroten och de mindre rötterna dör. Tillväxthastigheten minskar och vid torra förhållanden kan bladen bli gula och falla av från plantan. Växten kan bilda sekundära rötter i försvar för att grödan ska kunna mogna ändå. Till slut kan plantan få vissnesymtom och därefter dör den (15).

Fusarium kan på två olika sätt orsaka röta på krona och stråbas. Ett sätt är att konidier, ascosporer eller mycel angriper från ovan jord och måste då gå igenom bladslidan för att nå strået. Väl inne i strået fortsätter infektionen vidare mot internoderna eller nedåt mot stråbasen. Ett annat sätt är att infektionen startar från jordburet inokulum. Det infekterar plantans rötter och svampen sprider sig sedan till internoderna (16).

Fusarium kan vara jordburen och/eller luftburen. De flesta arter finns i jorden. Vid ogynnsamma förhållanden bildar patogenen vilande hyfer i växtmaterial eller klamydosporer i jorden. Klamydosporer är överlevnadsstrukturer som produceras av vissa *Fusarium*-arter. I luften kan klamydosporerna fastna i döda grenar/kvistar på levande buskar (7, 17). I infekterade växtrester kan makrokonidier bildas som kan spridas med hjälp av vatten till nya grödor eller bli kvar i marken där de omvandlas till klamydosporer eller bryts ned (16, 18).

Som tidigare nämnts finns det ca 140 *Fusarium*-arter (9). De mest vanligast förekommande i Europa samt deras karakteristika visas i Tabell 1.

Tabell 1: *Fusarium*-arter och deras karakteristika (6, 7, 10, 16, 17, 19, 30, 31, 37, 59, 60)

Art	Möjliga värdväxter	Produktion av mycel på potatisdextrosagar, färg	Mikrokonidier, förekomst och morfologi	Klamydosporer	Makrokonidier, förekomst och morfologi	Känt sexuellt stadium?
<i>F. avenaceum</i>	Spannmål, majs, grävklover, tornlusern	Rosa, brun, vit	Ej vanligt	Saknas	Är långa, smala, böjda eller raka. Har fem septa, smala cellväggar	<i>Giberella (G) avenacea</i>
<i>F. crookwellense</i>	Spannmål, majs	Vit, gul, grå, rosa	Ej vanligt	Riklig förekomst	Oftast riklig produktion, tjocka cellväggar, månskåreformad, fem septa	i. u.*
<i>F. culmorum</i>	Spannmål, majs	Gul, rosa	Ej vanligt	Produktion förekommer	Riklig förekomst, korta, kraftiga, tjocka väggar, fem tydliga septa	Nej
<i>F. equiseti</i>	Majs, gurkväxter, spannmål	Vit, persiko, beige	Ej vanligt	Riklig förekomst.	Storlek och form varierande Något böjda, har ett förlängt apikal cell	i. u.
<i>F. graminearum</i>	Spannmål, majs, ris, kaffe, ärtväxt, potatis	Vit, gul, brun, rosa	Ej vanligt	Ej vanligt	Vanligtvis långa, smala, något böjda eller raka, välutvecklad fotcell, 5-6 septa	<i>G. zeae</i>
<i>F. kyushuense</i>		Fluffiga, orange, grå, röd	Produktion förekommer. Ovals, spindellika	Saknas	3-5 septa	i. u.
<i>F. langsethiae</i>	Spannmål	Pudrig, något blekare än <i>F. poae</i>	Produktion förekommer, kålrotsformad	Saknas	Ingen produktion sker	i. u.
<i>F. oxysporum</i>	Spannmål, majs, rödklöver, alfalfa, alsikeklöver	Vit, lila	Produktion förekommer, njurformade eller ovala	Produktion förekommer	I genomsnitt 3 septa, varierar i längd, rak eller något böjd.	Nej
<i>F. poae</i>	Spannmål, majs	Tät, vit, rödbrun	Produktion förekommer, runda eller citronformade	Saknas	Produktion sällsynt, raka eller något böjda, tre septa	Nej
<i>F. proliferatum</i>	Majs, sparris, banan, fikon, dadelpalm, vitlök, mango, tall, ris, sorghum, spannmål	Fluffiga, vit, gråviolett	Klubbliknande	Saknas	Produktion förekommer, 3-5 septa, smala, ganska raka	<i>G. intermediay</i>
<i>F. sambucinum</i>	Kål, nejlika, humle, pilörter, majs, spannmål	Fluffiga, vit, gul, grå, orange	Saknas	Ej vanligt	Halmåneformad, vanligtvis 3-5 septa, hoppresad apikal cell, kompakta	<i>G. pulicaris</i>
<i>F. semitectum</i>	Spannmål, majs, ris, sorghum, sojabönor	vit, rosa, beige	Saknas oftast	Variande förekomst	Mycket böjda, förlängd apikal cell	i. u.
<i>F. sporotrichioides</i>	Majs, spannmål	Fluffiga, vit, rosa, brun	Ovala, päron eller spindelformade	Oftast riklig förekomst	3-5 septa, smala, något böjda	i. u.
<i>F. subglutinans</i>	Majs,	Fluffiga, vitfärgade, kan bli gråviolettera allteftersom kulturen blir äldre	Ovala och spindellika i formen	Saknas	Har en varierande längd och bredd, har generellt 3-5 septa, är något kurviga	<i>G. subglutinans</i>

Tabell 1 fortsättning: Fusarium-arter och deras karakteristika

<i>F. torulosum</i>	Barrväxter, spannmål, sockerbeter, potatis	tät orangevita	Produktion förekommer, en-, tvåcelliga	Riklig produktion	Halvmåneformade, kompakta, vanligtvis 5 septa	i. u.
<i>F. tricinctum</i>	Spannmål	Vit, brun	Produktion förekommer, citron, päron, korv eller spindelformade	Produktion förekommer	3-5 septa, smala, halvmåneformade	<i>G. tricincta</i>
<i>F. venenatum</i>	Potatis, majs	Fluffiga, vit, gråorange, röd	Saknas	Produktion förekommer	Kompakta, halvmåneformade, 5 septa, vass apikal cell	i. u.
<i>F. verticillioides</i>	Majs, banan, ris, sorghum, spannmål	Vit, violett	Klubbformade	Saknas	Smala, 3-5 septa, ganska raka	<i>G. moniliformis</i> s/ <i>G. fujikuroi</i>

*i. u. = ingen uppgift

***Fusarium*-arters förekomst i världen**

De arter som vanligast påträffas i spannmål i Europa är *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* och *F. poae* (10, 16, 19, 30). Dessa arter samt *Microdochium nivale* är mest förekommande i kalla och maritima klimat i Europa (exempelvis Storbritannien) i korn och vete. *Microdochium nivale* kan orsaka snömjöl i höstsådd spannmål (7, 16). Denna art har tidigare ansetts vara en *Fusarium*-art (10), men nu tillhör den inte längre det släktet (3). Därför kommer *M. nivale* inte tas upp vidare i arbetet.

Fusarium graminearum är den huvudsakliga arten som förekommer i samband med axfusarios och orsakar stora skador i spannmål över hela världen, speciellt på platser där klimatet är varmt och då den relativa luftfuktigheten är hög under grödans blomning (10, 15, 19, 29). *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* och *F. poae* orsakar även ofta axfusarios i majs i områden där tempererade förhållanden råder, såsom Kanada, Kina, Europa och USA (19, 31). I vissa områden där mycket majs odlas kan axfusarios bli ett stort växtföljdsproblem i stråsäd (10, 15, 19, 29).

Som tidigare nämnts är *F. graminearum* generellt sett den mest dominerande arten i varmare regioner, medan *F. culmorum* och *F. avenaceum* är de mest dominerande arterna i tempererade och kallare områden i Europa, USA, Kanada, sydliga ön av Nya Zeeland, Kina och Australien. Även *F. poae* förekommer frekvent i spannmål i dessa områden (10, 19, 34, 37). Under de senaste åren har det visat sig att förekomsten av *F. graminearum* har ökat i kallare områden, bland annat i Skandinavien. I Norge har en ny typ av *F. graminearum* påträffats. Denna är mer aggressiv och växer snabbare jämfört med den vanliga *F. graminearum*. Anledningen till att *F. graminearum* har blivit mer vanlig i kallare områden kan ha att göra med att den antingen anpassat sig till de kallare områdena eller att regionerna har blivit varmare på grund av klimatförändringar (37).

Arterna *F. cerealis* (syn. *F. crookwellense*), *F. equiseti* (syn. *F. scirpi*) *F. sporotrichioides*, och *F. tricinctum* kan även de orsaka axfusarios i grödor men är inte lika vanligt förekommande i Europa som de arter som nämnts ovan (5, 10, 19). *Fusarium crookwellense* förekommer främst i tempererade områden i östra Australien, norra USA, Kanada, Europa, Sydafrika och Kina (19). Den kan även påträffas i majs i Europa och på Hokkaido i Japan (19, 31). *Fusarium equiseti* kan även den påträffas i majs i Europa, dock är förekomsten ganska liten (10, 19, 31). *Fusarium tricinctum* förekommer framför allt i kyligare klimat men trots

detta är förekomsten i spannmål i Europa, Kina och USA låg (10, 19). *Fusarium sporotrichioides* gynnas av fuktiga och kyliga förhållanden och kan påträffas i både spannmål och majs i Kanada, USA och Europa (10, 19, 31).

Övriga arter som endast förekommer sporadiskt i spannmål odlad i Europa är *F. acuminatum*, *F. subglutinans* (syn. *F. sacchari*), *F. solani*, *F. oxysporum*, *F. semitectum* (syn. *F. pallidoroseum*, *F. incarnatum*), *F. verticillioides* (syn.: *F. moniliforme*), och *F. proliferatum* (10). *Fusarium semitectum* förekommer främst i tropiska grödor (19). *Fusarium proliferatum* och *F. verticillioides* angriper främst majs runt om i världen, bland annat Europa (1, 19, 31). *F. verticillioides* påträffas även i ris och bananer (19). *Fusarium semitectum* angriper även den majs, dock påträffas denna art endast sporadiskt i Europa och Nepal (10, 19, 31).

Andra *Fusarium*-arter som angriper grödor är *F. torulosum*, *F. venenatum*, *F. oxysporum* och *F. sambucinum*. *Fusarium torulosum* kan exempelvis angripa sockerbetor, potatis, vete och andra spannmålsslag i Europa samt *Pinus*-arter i Australien (19). *Fusarium venenatum* är nära släkt med *F. sambucinum*, och kan därför misstolkas vara *F. sambucinum* vid analyser. Det finns inte mycket vetskap om hur *F. venenatum*'s utbredning ser ut. Rapporter visar att den förekommer i Sydafrika, Nya Zeeland och Europa (19). Den har även förekommit i några enstaka fall i majs i Europa (31). *Fusarium oxysporum* finns i stort sett överallt och förekommer i enstaka fall i spannmål odlad i Europa (10, 19). *Fusarium sambucinum* har låg förekomst i spannmål och majs (10, 31).

Fusarium langsethiae är en art som forskare länge har trott vara en form av *F. poae*. Denna art anses nämligen vara ett mellanting mellan arterna *F. poae* och *F. sporotrichioides*. Morfologiskt påminner den om *F. poae*, men är även lik *F. sporotrichioides* eftersom *F. poae* och *F. sporotrichioides* har förmågan att producera tricothecener såsom T-2 och NEO (se Tabell 2). *Fusarium langsethiae* förekommer i de kallare områdena i nordvästra Europa (Österrike, Tjeckien, Danmark, England, Norge, Nederländerna, Tyskland och Sverige) i grödorna havre, vete, och korn (4, 5, 6, 13, 37). Eftersom tillväxten hos *F. langsethiae* är långsam och svampen producerar en begränsad mängd luftburet mycel, kan den lätt konkurreras ut av andra arter som har snabbare tillväxt. Detta och att *F. langsethiae* är ganska lik *F. poae* morfologiskt kan vara förklaringen till varför *F. langsethiae* inte har beskrivits som en egen art tidigare (6). Troligtvis har den klassificerats som *F. poae* i flera studier. Ett exempel är i Ryssland då 25 isolat av *F. poae* isolerades från övervintrande spannmål som innehöll T-2 toxin. Sedan dess har endast några få isolat av *F. poae* visat sig producera T-2 toxin. Detta kan bero på att isolaten från Ryssland förmodligen var just *F. langsethiae* (som kan producera T-2 toxin), som tidigare har kallats för ”powdery *F. poae*”. Detta kan betyda att även andra mykologer kan ha klassificerat denna art som *F. poae* vid tidigare undersökningar (5) när det egentligen borde ha varit *F. langsethiae* (4).

***Fusarium*-svamparnas mykotoxin-produktion**

De flesta toxiner kan produceras av mer än en *Fusarium*-art (9). Det finns fem viktiga klasser mykotoxiner som *Fusarium* bildar: tricothecener, zearalenoner, fumonisiner, moniliformin och enniatin. Förhållanden som är till fördel för *in vitro* (försök i labb, växthus m.m.) tillväxt är dessutom till fördel för mykotoxin-produktion i spannmål (7, 8). Tabell 2 visar de vanligaste toxinerna, vilka *Fusarium*-arter som kan bilda dem och vilka skador de orsakar på människor och djur.

Tabell 2: Mykotoxiner och deras producenter samt orsakade skador (1, 2, 3, 4, 5, 9, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 40)

Mykotoxin	Arter som producerar mykotoxinet	Orsakade skador	Symptom
Trichothecener		Inhiberar proteinsyntes och ger skador på aktivt delande celler i lymfkörtlar, thymus, mjälte och andra vävnader	vikt förlust, matvägran, dermatitis, diarré, blödningar, illamående, kräkningar, feber samt frossa, lågt blodtryck, anemi, nedsatt immunförsvar, hudutslag och håravfall
Deoxynivalenol (DON)	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. crookwellense</i> , <i>F. sambucinum</i>		
Diacetoxyscirpenol (DAS)	<i>F. langsethiae</i> , <i>F. poae</i>		
Fusarenon-X (FX)	<i>F. poae</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. crookwellense</i>		
HT-2 toxin (HT-2)	<i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. langsethiae</i>		
Monoacetoxyscirpenol, (MonoSCR)	<i>F. poae</i>		
Neosolaniol (NEO)	<i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. langsethiae</i>		
Nivalenol (NIV)	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. crookwellense</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. kyushuense</i>		
Scirpenol (SCR)	<i>F. langsethiae</i>		
T-2 toxin (T-2)	<i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. langsethiae</i> <i>F. kyushuense</i>		
Zearaleone (ZEA)		Reproduktionsproblem hos djur	
	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. crookwellense</i> , <i>F. cerealis</i> (synonym, <i>F. crookwellense</i>), <i>F. equiseti</i> , <i>F. semitectum</i> , <i>F. pseudograminearum</i>		
Fumoniser		Skador på centralnervsystemet, levern, bukspottskörteln, njurarna och lungorna	Leukoencephalomalacia (en sjukdom som går på nervsystemet) hos hästar, lungödem hos grisar
	<i>F. moniliforme</i> (<i>verticillioides</i>), <i>F. proliferatum</i>		
Moniliformin		Skador i hjärtats vävnad	
	<i>F. proliferatum</i> , <i>F. subglutinans</i> <i>F. verticillioides</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. proliferatum</i> , <i>F. torulosum</i> , <i>F. tricinctum</i> , <i>F. poae</i>		
Enniatiner		Skadar celler, inhiberar vissa enzymer (64, 65)	
	<i>F. oxysporum</i> , <i>F. sambucinum</i> , <i>F. torulosum</i> , <i>F. venenatum</i> , <i>F. proliferatum</i> <i>F. langsethiae</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. tricinctum</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. sporotrichioides</i>		

Trichothecener är den största mykotoxin-gruppen och delas ofta in i 4 typer, A till D (5, 23) varav typ A innehåller de giftigaste (T-2, neosolaniol, HT-2 och diacetoxyscirpenol) (4, 6, 23). Nivalenol (NIV) och deoxynivalenol (DON) är typ B trichothecener (4, 19). Trichothecener produceras framför allt i vete, korn och majs. Dessa toxiner förekommer i grödor som odlats vid fuktiga förhållanden (3, 21, 40). Övriga trichothecener som finns är 15AcDON, T-2 triol och 3 AcDON (19).

Båda arterna *F. sporotrichioides* och *F. langsethiae* kan producera T-2 toxin (T-2) och HT-2 toxin (HT-2). I Sverige och Norge isoleras *F. sporotrichioides* inte ofta från spannmålen, men mykotoxinerna HT-2 och T-2 förekommer regelbundet. Detta borde betyda att *F. langsethiae* är relativt vanlig i Sverige (5).

Zearalenoner (ZEA) produceras framför allt i vete, korn och majs som odlats under fuktiga förhållanden (2, 21). De förekommer mest frekvent i korn och därefter majs. Oftast är halten ZEA i grödorna ganska låg jämfört med DON och NIV (24). Fumoniser förekommer främst i majs som odlas under torra och varma förhållanden (22).

Andra mykotoxiner som *Fusarium*-arter kan producera är Beauvericin (BEA) och fusarsyra. BEA produceras främst av *F. proliferatum* men även *F. avenaceum*, *F. sambucinum*, *F. proliferatum*, *F. poae* och *F. sporotrichioides* kan producera detta mykotoxin. Det finns rapporter om att BEA kan orsaka skador i celler hos människor (4, 19). *F. moniliforme*, *F. crookwellense*, *F. subglutinans*, *F. sambucinum*, *F. oxysporum*, och *F. proliferatum* kan producera fusarsyra (4, 14, 19, 27).

Som tidigare nämnts, påverkar mykotoxiner människors och djurs hälsa negativt. Idisslare verkar klara mykotoxiner bättre än enkelmagade djur. Förklaringen till detta är att deras matsmältningssystem kan ta hand om toxinet eftersom det finns mikroorganismer i våmmen som kan hjälpa till med metabolismen och detoxifieringen av åtminstone trichothecener (19, 34).

Gränsvärden för DON-halter i havre

Hos spannmål finns gränsvärden på EU-nivå för vissa mykotoxiner. När det gäller foder finns det riktvärden som kan användas (Tabell 3 och 4). Dessa värden är frivilliga för lantbrukaren att följa och uppdateras årligen. Däremot har lantbrukaren ett visst ansvar över att dennes spannmål är säkra i livsmedels- och foderprodukter (29).

Tabell 3: Gränsvärden för spannmål som ska användas till livsmedel samt bearbetade livsmedelsprodukter (29)

	DON (µg/kg)	ZEA (µg/kg)
Obearbetad* spannmål utom havre och majs	1250	100
Obearbetad havre och majs	1750	100
Spannmålsprodukter för direkt konsumtion, ex. mjöl, kli, groddar	750	75
Pasta	750	
Bröd, kex och frukostflingor	500	50
Barnmat	200	20

*Obearbetad – spannmålen nedtorkad till lagringsbar vattenhalt samt aspirerad innan analys.

Tabell 4: Riktvärden för spannmål som ska användas som djurfoder (29)

	DON (µg/kg)	ZEА (µg/kg)
Obearbetad spannmål	8000	2000
Tillskottsfoder och helfoder		
Nöt	5000	-
Mjölkkor	5000	500
Kalvar < 4 månader	2000	500
Svin	900	250
Smågrisar och gyltor	900	100
Fjäderfä	5000	-
Får och Getter	5000	500
Lamm	2000	500

Fusarium-arters och mykotoxiners förekomst i Norge

1990-talet

Under 1990-talet var arterna *F. avenacuem*, *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. langsethiae* och *F. culmorum* de mest förekommande arterna i grödorna vete, korn och havre i Norge. Arterna *F. graminearum*, *F. equiseti* och *F. torulosom* var mindre förekommande. Den mest frekventa arten under dessa år var *F. avenacuem* (11, 12) som kan producera mykotoxinerna moniliformin, enniatiner och BEA. Dock var dessa inte alls vanligt förekommande visar en undersökning gjord av Langseth *et al.* under åren 1996-1998 (25). Detta tyder på att *F. avenacuem* inte verkar producera stora mängder mykotoxiner, och därför bör denna inte vara något större problem i spannmålsodlingar. Dock bör det noteras att även *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. equiseti*, *F. torulosom* och *F. langsethiae* kan producera dessa mykotoxiner. Den slutsats som då kan dras är att mykotoxinerna moniliformin, enniatiner och BEA inte vanligtvis produceras i stora mängder. De mest förekommande mykotoxinerna enligt Langseth *et al.* var DON, NIV, HT-2 och T-2, varav DON och HT-2 hade de högsta koncentrationerna och frekvenserna (25). Som tidigare nämnt kan arterna *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. crookwellense* och *F. sambucinum* producera DON. Av dessa var det *F. culmorum* som var vanligast förekommande under 1990-talet. Trots att förekomsten var hög hos *F. culmorum* var mängden infektion på grödorna generellt låga hos denna art. *Fusarium graminearum* var inte lika vanligt förekommande som *F. culmorum* (11), men kan ändå ha bidragit till att producera DON tillsammans med *F. culmorum*. Detsamma gäller även för NIV, *F. graminearum* och *F. culmorum* samt *F. poae* borde varit de huvudsakliga arterna som producerat detta toxin. *Fusarium sporotrichioides* och *F. langsethiae* kan producera HT-2 och T-2, men den mest frekventa arten av dessa två under 1990-talet var *F. langsethiae*, vilket borde tyda på att denna art var den främsta producenten av HT-2 och T-2 (11,).

Övriga arter som påträffades endast sporadiskt och dessutom i små mängder i spannmål under 1990-talet var *F. arthrosporioides*, *F. venenatum*, *F. flocciferum*, *F. oxysporum*, *F. semitectum*, *F. proliferatum*, *F. sambucinum*, *F. sporotrichioides* och *F. verticillioides* (11). Dessutom hade även mykotoxinerna scirpentriol, monoacetoxyscirpenol, diacetoxyscirpenol

och 3-acetyl-DON låg förekomst i spannmålen (25). Fumonisinier som fusarenon-X, fumonisin B1 och fumonisin B2 samt NEO påträffades aldrig (12).

Av grödorna vete, havre och korn, var det havre som var den mest utsatta för *Fusarium*-angrepp samt mykotoxinkontamination. Dock bör det noteras att det var ingen större skillnad mellan de olika grödorna vad gäller förekomst av olika *Fusarium*-arter. Det var bara *F. graminearum* som var betydligt mer förekommande i havre än de övriga grödorna. Vete var den gröda som generellt sett var den minst utsatta grödan från *Fusarium*-angrepp och kontamination av mykotoxiner (11, 25).

2000-talet

Under 2000-talet har det visat sig att *F. graminearum* blivit allt vanligare i Norge. Under en undersökning gjord 2004-2009 i vårvete och havre visade en trend att DON-koncentrationerna ökade när förekomsten av *F. graminearum* ökade. Även *F. culmorum* påträffades i samma undersökning, men hade lägre infektionsnivåer i spannmålen än *F. graminearum*. Därför bör det ha varit *F. graminearum* som var den främsta producenten av DON. Även mykotoxinerna HT-2 och T-2 fanns i stråsåden. Även arterna *F. sporotrichioides* och *F. langsethiae* som kan producera HT-2 och T-2 påträffades i spannmålen. Dock påträffades *F. sporotrichioides* endast sporadiskt, vilket indikerade att *F. langsethiae* fortfarande borde vara den huvudsakliga produceraren av HT-2 och T-2. Även arten *F. avenaceum* var fortfarande vanligt förekommande och även eniatiner kunde påträffas, vilka kan produceras av denna art (12). Även moniliformin som kan produceras av *F. sporotrichioides*, *F. langsethiae* och *F. avenaceum* var vanligt förekommande. NIV eller DAS hade låg förekomst, vilket betyder att förekomsten av NIV hade minskat, medan DAS fortfarande var ovanlig. *Fusarium graminearum* och *F. culmorum* kan producera NIV, men eftersom förekomsten av NIV i spannmålen var låg, tyder detta på att dessa arter inte producerade stora mängder NIV. *Fusarium langsethiae* och *F. poae* kan producera DAS, men eftersom ingen *F. poae* kunde hittas i undersökningen, tyder detta på att *F. langsethiae* borde ha varit den främsta producenten av DAS. Dock borde produktionen skett i små mängder, eftersom DAS hade en låg förekomst i undersökningen (12).

***Fusarium*-mykotoxiners förekomst i Storbritannien**

Flera undersökningar har gjorts i Storbritannien under 2000-talet för att bestämma förekomsten av *Fusarium*-mykotoxiner i havre, vete och korn. De mykotoxiner som fanns i samtliga grödor var DON, 3 AcDON, NIV, T-2, HT2 och T-2 triol. Den högsta frekvensen och de högsta koncentrationerna av T-2 och HT2 hittades i havre. Hos vete och korn var både förekomsten och koncentrationerna av dessa mykotoxiner låga. NIV hade hög frekvens i havre och vete varav infektionsnivåerna var högst i havre. I korn var frekvensen och halterna av NIV väldigt låga. Detta betyder att arterna *F. sporotrichioides* och *F. langsethiae* som kan producera dessa mykotoxiner var relativt vanliga i havre. DON hade högst förekomst i vete och minst i havre. Dessutom var koncentrationerna generellt högre i vete. *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. crookwellense*, och *F. sambucinum* kan producera DON, varav *F. graminearum* och *F. culmorum* är de mest förekommande i Europa, vilket bekräftar, som ovan nämnts, att dessa arter borde vara vanliga i vete. 3 AcDON hade låg förekomst samt låga koncentrationer i all spannmål. T-2 triol hade högst frekvens i havre (41 %). Generellt sett var halterna av T-2 triol låga i all spannmål (39, 40, 41).

ZEA förekom endast i vete och då var medelhalten väldigt låg. Dock bör det noteras att flera prover i vete med ZEA hittades som överskred gränsvärdet jämfört med DON. En analys

gjordes även i havre och korn för att finna ZEA, men eftersom detta mykotoxin hade en låg förekomst (och förekom dessutom i väldigt låga koncentrationer) under de två första åren av undersökningen, minskades därför analysen av ZEA i dessa grödor. De arter som kan producera ZEA är *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. crookwellense*, *F. cerealis* (synonym, *F. crookwellense*), *F. equiseti*, *F. semitectum* och *F. pseudograminearum* varav de två första är de mest förekommande i Europa. *Fusarium graminearum* och *F. culmorum* borde vara de främsta producenterna av ZEA i åtminstone vete (39, 40, 41).

Andra mykotoxiner som fanns i proverna var NEO, 15 AcDON och FUS-X. Frekvensen och koncentrationerna av dessa mykotoxiner var generellt låga men förekom inte i alla grödor. NEO påträffades endast i havre, 15 AcDON i vete och korn och FUS-X i korn. *Fusarium sporotrichioides* och *F. langsethiae* kan producera NEO, vilket bekräftar ännu en gång att dessa arter är vanligt förekommande i havre. *F. graminearum* och *F. culmorum* har även förmågan att producera FUS-X, vilket betyder att dessa arter även kan förekomma i korn (39, 40, 41).

I vete analyserades aldrig mykotoxinet moniliformin (41). I havre påträffades aldrig detta mykotoxin under de två första åren och därför avslutades dessa analyser (39). Moniliformin påträffades endast i korn, men i så låga halter och låg frekvens att analyserna av detta mykotoxin avslutades under de två sista analysåren (40).

Av grödorna vete, korn och havre var det havre som signifikant hade flest prover som innehöll mykotoxiner samt hade de högsta halterna. Korn var den gröda som hade minst andel prover som innehöll mykotoxiner, men när det gäller nivån på halterna var det ingen större skillnad mellan korn och vete (39, 40, 41).

***Fusarium*-arters och mykotoxiners förekomst i Sverige**

Ett antal studier har även gjorts i Sverige över förekomsten av olika *Fusarium*-arter. Ett par studier kommer att tas upp här.

I havre verkar de mest förekommande *Fusarium*-arterna vara *F. langsethiae* och *F. poae*. *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. sporotrichioides* och *F. culmorum* kan också hittas i havre i Sverige, men är något mindre förekommande. De högsta frekvenserna av *F. langsethiae*, *F. poae*, *F. graminearum* och *F. avenaceum* hittas i kärnor strax innan skörd. *Fusarium culmorum* är mer vanligt förekommande i rötterna. Infektion av *F. poae* och *F. graminearum* sker inte i samma prover (som tagits under undersökningarna) där en infektion av *F. langsethiae* skett, men man har inte kunnat hitta några negativa samband mellan dessa arter (13, 43).

DON, 3-AcetylDON och NIV är inte vanligt förekommande i havre. DON och NIV kan produceras av *F. graminearum*, *F. culmorum* och *F. poae*. Som nämnts tidigare är de två förstnämnda arterna mindre förekommande i havre, vilket kan förklara den låga andelen prover med DON och NIV. Däremot är *F. poae* som kan producera NIV mer vanligt förekommande, och alltså producerar denna art inte stora mängder NIV. Toxinerna HT-2 och T-2 som kan produceras av *F. langsethiae* är vanligt förekommande i havre (43).

I höstvet, vårvete och havre är *F. poae* och *F. trincinctum* de mest förekommande arterna, åtföljt av *F. graminearum* och *F. avenaceum*. I en undersökning gjord av Fredlund *et al.* 2010 (14) hittades mykotoxinerna enniantiner, BEA och NIV i dessa stråsådesslag. Dessa mykotoxiner kan produceras av *F. avenaceum*, *F. trincinctum* och *F. poae*. DON var inte lika

vanligt förekommande, vilket kan förklaras med att *F. graminearum* inte är lika vanligt förekommande i spannmål (14).

Växtskyddscentralerna i Sverige utförde en stickprovsundersökning i Sverige 2004. Resultatet visade att *F. graminearum* fanns i alla prover i Skåne. I Mellansverige fanns denna art i ett enda prov. *Fusarium graminearum* var alltså vanligare i södra Sverige under detta år, vilket kan förklaras med att i södra Sverige odlas det mer majs än i övriga delar av Sverige, och lantbrukare tillämpar mest reducerad jordbearbetning. Även klimatet har en viss påverkan på förekomsten (44).

Odlingsåtgärders påverkan på *Fusarium*-förekomst

I det här avsnittet kommer olika odlingsåtgärder som påverkar *Fusarium*-förekomsten i grödor tas upp. Vad kan odlare göra för att minska risken för *Fusarium*-angrepp och därmed även mykotoxin-produktion i sina grödor?

Sortval

Enligt Agrios (2005) kan angrepp av axfusarios kontrolleras genom att välja sorter som är resistent mot patogenen. Sorter som mognar tidigt har en tendens till att vara mer resistent mot axfusarios än sorter med sen mognad (34). Dessutom finns det sorter som används utanför Sverige som klarar av *Fusarium*-angrepp. Ett exempel är vårvetet Nanjing (kinesisk sort) som har god resistens mot axfusarios. Sorterna Monad och Torlesse (sorter från Nya Zeeland) har visat svagt angrepp av axfusarios (52). För att veta om dessa sorter kan odlas i Sverige bör försök utföras. Även i Danmark har vetesorter testats för *Fusarium*-resistens. Sorterna Bill, Tommi och Olivin verkar ha en god resistens mot axfusarios, medan sorterna Ritmo och Kris inte verkar ha någon bra resistens (44). Olivin är en vanlig vetesort som odlas i Sverige och som dessutom mognar tidigt (61, 62).

Kvävegödsling och ekologisk produktion

Hur mineralgödselmedel påverkar *Fusarium*-angrepp har ännu inte helt klargjorts. Det har visat sig att kvävegödsling ger ökad växtmassa, vilket betyder att mikroklimatet i bestånden blir mer fuktigt, som i sin tur visat sig öka förekomsten av axfusarios (38). Kvävegödsling i grödorna vete, korn och rågvete har visat sig öka *Fusarium*-förekomsten (34). Men det finns även fall där *Fusarium*-infektionen är som högst i korn som fått liten kvävegiva jämfört med stor kvävegiva (36). En undersökning gjord i USA visade att en giva med 90 kg N/ha eller mindre i vete gav ökad vitaxighet jämfört med en större kvävegiva. Orsaken till detta kan vara att plantorna blev svagare med mindre tillförd mängd näring och därför blev mer mottagliga för *Fusarium*-infektion. En annan förklaring kan vara att skärmfjällen på grödorna helt enkelt förlorade klorofyllet på grund av andra faktorer. Det är alltså därför inte helt säkert att det var just *Fusarium* som orsakade vitaxigheten (48). Enligt Teich *et al.* 1985 finns det ingen större skillnad vad gäller gödsling med kväve vid angrepp av *Fusarium* spp.

Olika former av kväve har visat sig ge olika effekter på *Fusarium*-angrepp. I en undersökning har det visat sig att urea verkar ge mindre axfusarios-angrepp mer än vad ammonium gör (34). I en annan undersökning fanns det ingen större skillnad i angrepp om nitrat, urea, urea + nitrat eller gödsel från djur användes till grödorna. Det fanns heller ingen skillnad i angreppsnivå vid odling på jordar som hade olika pH. Däremot visade det sig att små fosformängder kan ge större andel vitaxighet (som orsakats av *Fusarium*) än i de fält som fick stora mängder fosfor (48).

Mineralgödsel har visat sig bidra till ett starkare *Fusarium*-angrepp än organiska gödselmedel. Det finns studier som visar att ekologiskt odlad spannmål angrips mindre av *Fusarium* och innehåller mindre av vissa mykotoxiner jämfört med konventionellt odlad spannmål (35). Undersökningar gjorda i Storbritannien under 2000-talet visade att det fanns en skillnad i mykotoxin-innehåll mellan ekologiskt och konventionellt odlad vete och havre. Men det var endast i havre som skillnaderna var stora; i de ekologiska proverna fanns 5 gånger lägre halt av mykotoxinerna HT-2 och T2 än i de konventionella proverna (39, 40, 41).

I ekologisk odling är växtföljderna generellt längre än i konventionell odling, vilket brukar resultera i en mer varierad växtföljd och inte lika stråsädesrik som i konventionell odling (39, 40, 41). Detta kan ha påverkat *Fusarium*-angreppen i ekologisk spannmål.

Växtföljd

Växtföljden har, som för många andra växtpatogener, effekt på *Fusarium*-angrepp. Ensidig stråsädesodling ökar även risken för angrepp. Ju kortare växtföljden är, desto högre frekvens av *Fusarium*-angrepp. Angrepp av *Fusarium* har visat sig vara som mest allvarliga om majs är förfrukten (37, 50). Detta beror på att majsen lämnar mycket skörderester efter sig vilka *Fusarium* kan överleva på. (37, 48). Jämfört med sojaböna och spannmål är det majs, som förfrukt, som ökar risken mest för angrepp av *Fusarium* (46, 48, 49). Även andra förfrukter har en påverkan på *Fusarium*-förekomsten. Potatis som förfrukt kan öka förekomsten av *F. culmorum* och *F. sambucinum*. Sockerbetor infekteras inte i lika stor utsträckning av *Fusarium*, vilket betyder att den grödan bidrar till att minska inokulum av *Fusarium* om den används som förfrukt (15, 16, 51). Skörderester från äldre gräsvallar har visat sig öka risken för *Fusarium*-angrepp. Med förfrukter såsom baljväxter och oljeväxter är risken för *Fusarium*-angrepp lägst (29). Dock har det visat sig att vissa *Fusarium*-arter kan angripa baljväxter. Enligt Kollmorgen (1974) kan *F. avenaceum* angripa gräsklöver och tornlusern och enligt Venuto *et al.* (1995) kan *F. oxysporum* angripa rödklöver, alfalfa och alsikeklöver (59, 60).

Frekvensen av *F. graminearum* blir högre i vete som haft majs som förfrukt (29, 47). I Danmark under åren 1997-2000 hittades stora mängder av *F. graminearum* i vete. Detta beror förmodligen på att odlingen av majs och höstgrödor samt tillämpning av reducerad jordbearbetning har ökat under de senaste åren, vilket gynnar angrepp av *Fusarium* (32).

Jordbearbetning

Som tidigare nämnts påverkar jordbearbetning *Fusarium*-angrepp. Vissa *Fusarium*-arter kan överleva på växtmaterial till nästa år, exempelvis *F. graminearum* (48). Minskad bearbetning medför att mer skörderester blir kvar på marken, vilket kan öka mängden *Fusarium*-inokulum som överlever. Plöjning minskar mängden skörderester på markytan och därmed minskar även mängden inokulum (36). Detta innebär att med minskad jordbearbetning ökar risken för angrepp av *Fusarium* (46, 47). Speciellt viktigt är det att tillämpa jordbearbetning om vete odlas två gånger i rad (44). Dessutom kan det även vara lämpligt att jordbearbeta väl efter majs eftersom denna gröda lämnar mycket skörderester efter sig (37, 48).

Bevattning

Bevattning kan ha en viss effekt på *Fusarium*-angrepp. Det har visat sig att bevattning påverkar mikroklimatet och kan vara till fördel för patogenens utveckling (16, 34, 53). Nu är bevattning av spannmål inget som tillämpas i stor utsträckning i Sverige och därför är detta inget som påverkar angrepp av *Fusarium* idag. Bevattning kan bli mer aktuellt i framtiden om klimatet blir torrare.

Såtidpunkt och skördetidpunkt

Såtidpunkten kan anpassas för att undvika infektion vid grödans blomning (16, 34). Det har visat sig att sen sådd ger ökad risken för angrepp av axfusarios, medan tidig sådd ger ökad risk för angrepp av stråbasröta (34).

Kemisk bekämpning

Det finns ett begränsat antal kemiska preparat som kan användas mot *Fusarium* (29). Hur effektiv en kemisk bekämpning är mot axfusarios är svårt att säga. För att en fungicid ska vara effektiv måste den appliceras flera dagar innan angreppet sker och ska då även täcka alla ax eller vippor. Tyvärr är det svårt att avgöra när bekämpningen ska ske, eftersom *Fusarium* inte ger några tydliga symtom vid angrepp. Det har visat sig att vissa arter är känsliga för vissa fungicider; *F. graminearum* är känslig för triazolol och *F. avenaceum* är känslig för strobiluriner. Fungicider som innehåller tebuconazole anses vara de mest effektiva bekämpningsmedlen mot *Fusarium* (34, 42, 44). Tebuconazole har effekt mot både *F. culmorum* och *F. avenaceum* och reducerar mängden DON i spannmål (42). Produkter som finns registrerade som ger en viss effekt mot axfusarios är Proline (innehållande prothioconazole) och Topsin WG (29, 45). Som det gäller nu (juni 2013) får proline användas i havre under grödans blomning och Topsin WG får endast användas i råg, höstkorn och höstvetete (63, 66).

Användning av fungicider har i vissa fall visat sig öka *Fusarium*-förekomsten. Detta beror på att vissa fungicider verkar mot andra patogener än *Fusarium*, vilket medför att *Fusarium* får en svagare konkurrens och kan därför lättare angripa grödan (35). Ett exempel på detta är att vid användning av azoxystrobin, bekämpas patogenen *M. nivale*, vilket kan ge de andra *Fusarium*-arterna en bättre chans att etablera och föröka sig (42).

Biologisk bekämpning

I försök har det visat sig att vissa bakterier och jästsvampar skulle kunna användas för biologisk bekämpning för att minska axfusariosens utveckling och mykotoxin-produktion. Dock har dessa försök endast fungerat i växthus. Försök i fält har visat att biologisk bekämpning har varit mindre effektiv i jämförelse med användning av fungicider. Mer forskning krävs för att utveckla metoder för biologisk bekämpning om den skall kunna användas kommersiellt i framtiden. (33).

Intervjuer

Intervjuer utfördes med två lantbrukare från Värmland som haft problem med DON i sin havre. De skickade sin havre för provtagning till olika företag för att få en analys av DON-innehållet i sin skördade havre under 2011. Lantbrukare 1 skickade sin havre till Värmlant och lantbrukare 2 till Lantmännen. Dessa företag skickade sedan proverna till Eurofins för vidare analys. En intervju utfördes även med dessa företag om hur analyser och provtagning går till. De frågor som ställdes till lantbrukarna anges i bilaga 1.

Svar från lantbrukare 1:

Den växtföljd som används på gården är havre, korn, höstvetete, havre, korn, vårrys och korn. Den havresort som odlades 2011 var Ivory. Sådden skedde förhållandevis tidigt och väderleken var mycket bra under den tiden. I samband med sådden gjordes en gödsling med svingödsel och Axan 27 S på samtliga fält. Vippgången hos grödan skedde under fuktig väderlek vid månadsskiftet juni/juli. Skördetidpunkten var i början utdragen på grund av

dåliga väderförhållanden, men i det stora hela var tidpunkten normal (vilket är kring slutet av augusti till början av september). Den jordbearbetning som tillämpades var höstplöjning och vårplöjning (vid olika fält) samt harvning två gånger före sådd. Som kemisk bekämpning användes Ariane (dos: 2,0 l/ha) mot ogräs 16/6 och 22/6 och Comet (dos: 0,2 l/ha) mot svampsjukdomar 23/6. Proverna för mykotoxinanalys togs dels för hand ur lasset och dels genom automatisk provtagning. Resultaten från de båda provtagningarna stämde inte överens med varandra eftersom DON-halterna skiljde sig mycket mellan dem.

Svar från lantbrukare 2:

Den växtföljd som används på gården är korn, vall, havre, havre, korn, korn, oljeväxter; där kornet kan bytas ut mot höstvet. Sådden skedde normalt tidigt under 2011 enligt lantbrukaren och den havresort som användes var Kerstin. Skörden var sen på grund av regnig väderlek. Vårplöjning utfördes. Gödsling gjordes med NPK i delad giva vid sådd och övergödsling. Strax innan stråskjutning lades kalksalpeter ut på fälten. Kemisk bekämpning utfördes, men endast mot ogräs. Prover för analyser av DON togs i silo efter skörd eller vid leverans till Lantmännen.

Värmlant

Då lasset med spannmål kommer tas ett förprov med ett så kallat spjut (som är 1,20 m långt). 15 st prov om några gram vardera tas som ett "kryss" över lasset. Detta görs framför allt för havre för att undersöka vatten- och DON-halt. Därefter tas det riktiga provet under intransporten. Spannmålen blandas i en maskin och var 30:e sekund tas ett prov på några gram. En intransport på 35 ton beräknas ta en halvtimme och det blir alltså totalt 60 prov. Proverna hamnar sedan i en annan behållare och blandas. Från detta tas 2 liter spannmål, varav 1 liter skickas till Eurofins för analys och 1 liter behålls som referensprov (och sparas under ett halvår) ifall det skulle hända något med provet som skickats till Eurofins eller om lantbrukaren inte är nöjd med resultatet och vill att analyserna skall göras om.

Lantmännen

Då lasset kommer tas tre prover på "hela djupet", alltså spannmål tas både från ytan av lasset och på djupet. Hur stora dessa prov är osäkert. Utav detta tas ett kg som skickas till Eurofins för analys. Tanken är att så småningom ha någon typ av ett snabbtest då lasset först kommer. Fläkt har även testats för att få bort små partiklar som teoretiskt borde innehålla mer DON. Dock har det inte gett något vidare bra resultat.

Eurofins

Proverna analyseras med hjälp av ELISA-metoden. Det går till som så att antikroppar skiktas i provrör, spannmål mals ned och blandas tillsammans med antikropparna. Antikropparna fastnar på de mykotoxiner som finns. Resterna tvättas bort och kvar blir det färger som indikerar hur mycket mykotoxin det finns i provet. De mykotoxiner som analyseras är DON, ZEA och T-2.

Resultat från analyser

Lantbrukare 1 skickade totalt 20 lass där halten DON låg på 870 – 19 000 µg/kg. Av dessa lass klassificerades 1 som grynhavre, 12 som foderhavre och 7 som energispannmål. Lantbrukare 2 skickade in två lass med DON-halterna 3 900 och 7 400 µg/kg. All havre klassificerades som foder.

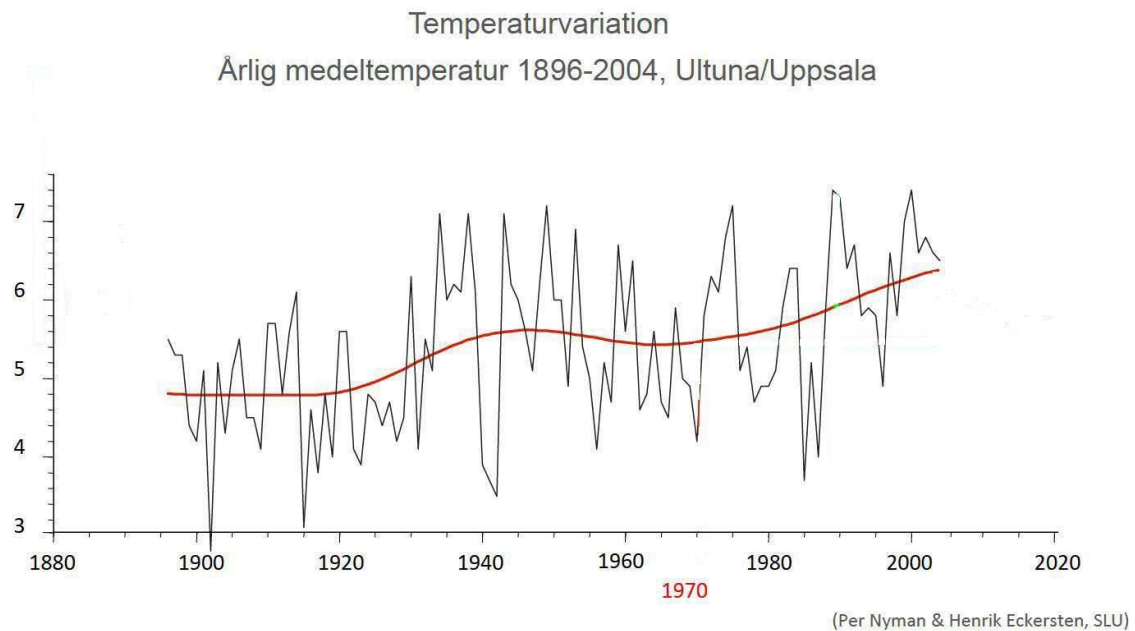
Diskussion

Som tidigare nämnts, finns det inte mycket litteratur om hur *Fusarium*- och mykotoxin-förekomsten ser ut i Sverige. Däremot finns det en hel del litteratur om hur förekomsten ser ut i Norge och Storbritannien. Eftersom dessa två länders klimat inte är helt olikt Sveriges, kan deras *Fusarium*- och mykotoxin-förekomst förmodligen likna den i Sverige. Generellt sett verkar förekomsterna av olika *Fusarium*-arter vara ganska lika i dessa tre länder. I Norge är de mest förekommande arterna *F. graminearum*, *F. langsethiae* och *F. avenaceum*, i Sverige *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. graminearum*, *F. langsethiae* och *F. avenaceum*. I Storbritannien är det svårt att säga vilka arter som är de mest förekommande eftersom de studier som har tagits upp i arbetet endast tagit upp hur mykotoxin-förekomsten ser ut. Eftersom flera olika arter kan producera ett visst mykotoxin, är det svårt att avgöra vilken art som producerat vilket mykotoxin. Men efter att ha jämfört med övrig litteratur som tar upp vilka arter som är mest förekommande och vilka mykotoxiner de är kapabla att producera, verkar det vara *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. sporotrichioides* och *F. langsethiae* som är vanligt förekommande i Storbritannien. Arten *F. sporotrichioides* är inte alls vanligt förekommande i Sverige och Norge, därför finns chansen att *F. sporotrichioides* inte är vanlig i Storbritannien heller med tanke på att klimatet i Storbritannien borde likna det i Norge och Sverige.

Det finns en skillnad i känslighet mot *Fusarium* hos vete, korn och havre. I undersökningarna gjorda av Edwards (2009) (39, 40, 41) visade det sig att havre hade signifikant flest prover som innehöll mykotoxiner samt de högsta halterna. Korn var den gröda som hade minst andel prover som innehöll mykotoxiner. När det gäller storleken på halterna var det ingen större skillnad mellan korn och vete. Det verkar som att havre är den gröda som är mest utsatt för *Fusarium*-angrepp. Trots detta har det visat sig att det inte finns någon större skillnad i förekomst av olika *Fusarium*-arter mellan de olika grödorna, förutom *F. graminearum* som var mest förekommande i havre. Vete är den gröda som generellt sett är den som är minst utsatt för angrepp (11, 25).

DON i spannmål är ett ökande problem i Sverige och Norge och har därför fått ett ökat intresse (26, 28). Förklaringen till det ökade problemet är att förekomsten av *F. graminearum* har ökat under 2000-talet i Norge. Det finns ett samband som visar att DON-koncentrationer ökar tillsammans med ökad förekomst av *F. graminearum*. Denna art har generellt hittats i högre nivåer än *F. culmorum* som också kan producera DON. Därför kan det vara *F. graminearum* som är den främsta producenten av DON (12).

Vad kan vara orsaken till att *F. graminearum* har ökat i Norge och Sverige? *Fusarium graminearum* är framför allt dominerande i varmare regioner. Enligt Brodal (2008) har förekomsten av *F. graminearum* ökat i vanligtvis kallare områden, exempelvis Skandinavien. Detta har förmodligen att göra med att arten har anpassat sig till kallare förhållanden samt att de kallare områdena har blivit varmare på grund av klimatförändringar. Dock borde klimatförändringen inte ha en alltför avgörande roll eftersom klimatet inte har förändrats avsevärt under de senaste tio åren. Figur 1 visar temperaturvariationen i Uppsala från slutet av 1800-talet. Där kan utläsas att årsmånsvariationerna är större än klimatförändringen (58).



Figur 1: Temperaturvariation 1896-2004 i Uppsala (58)

En annan faktor som förmodligen haft en påverkan på *Fusarium*-förekomsten är de odlingsåtgärder som används på fälten. Förekomsten av *F. graminearum* ökar med ökad odling av majs och höstgrödor samt ökad tillämpning av reducerad bearbetning (44).

Att *F. graminearum* har ökat i Norge visar att det kan komma nya arter som anpassar sig till andra förhållanden eller att klimatet kan komma att förändras i framtiden. Detta kan förändra förekomsten av *Fusarium*-arter runt om i världen.

Vid intervjun med Lantbrukare 1 framkom det att han fick en del av sin havre (som skördats 2011) nedklassad från grynhavre (för humankonsumtion) till foder eller energi eftersom DON-koncentrationerna var höga. Även Lantbrukare 2 fick sin havre nedklassad från grynhavre till foder på grund av höga DON-halter 2011. Att döma av provresultaten verkade DON-halten vara högre hos Lantbrukare 1 än hos Lantbrukare 2. Vad kan ha varit orsaken till att koncentrationerna var så höga i havren att en nedklassning var nödvändig?

Den växtföljd som Lantbrukare 1 använder sig av är havre, korn, höstvet, havre, korn, vårrys och korn. Växtföljden är nästan helt dominerad av stråsäd, med en enda avbrottsgröda; vårrys. Som tidigare nämnts ökar en ensidig stråsädesodling risken för angrepp av axfusarios (37). Vad som skulle behöva rekommenderas är fler avbrottsgrödor som exempelvis vall innehållande någon baljväxt (exempelvis klöver) eftersom baljväxter minskar risken för *Fusarium*-angrepp (29). Men enligt Kollmorgen (1974) och Venuto *et al.* kan *F. avenaceum* och *F. oxysporum* angripa baljväxter (59, 60). Eftersom de inte producerar DON, borde det inte utgöra något problem att ha baljväxter i växtföljden om man vill minska

på DON-kontaminationen. Fler oljeväxter skulle också vara bra att sätta in i växtföljden eftersom även dessa minskar *Fusarium*-angreppen i kommande stråsådesgrödor (29).

Lantbrukares 2 växtföljd ser något annorlunda ut: korn, vall, havre, havre, korn, korn, oljeväxter; där kornet kan bytas ut mot höstvetete. I denna växtföljd finns det fler avbrottsgrödor än hos Lantbrukare 1; oljeväxter och vall, vilket borde minska risken för *Fusarium*-angrepp (29). Däremot kanske det inte är optimalt att ha havre och korn två år i rad, speciellt beträffande havre som verkar vara mest känslig för *Fusarium*-angrepp. Att vallen kommer innan havren är en fördel då detta kan minska risken för angrepp. Ibland byts kornet ut mot höstvetete och kanske vore det aktuellt att helt och hållet sätta in höstvetete istället för korn för att undvika att ha korn två år i rad. Alternativt kunde det ena kornet tas bort och därefter direkt odla oljeväxter efter kornet för att variera växtföljden.

Den havresort som Lantbrukare 1 odlade var Ivory. Sambandet mellan olika havresorter och DON är okänt. Ivory är en medeltidig sort och sorter som mognar tidigt verkar ha en tendens att vara mer resistent mot utveckling av axfusarios (34, 55). Därför verkar Ivory vara en lämplig sort att ha i växtföljden. Lantbrukare 2 odlade havresorten Kerstin som mognar sent (57). Den borde alltså vara mer utsatt för angrepp av axfusarios än vad Ivory är och får därmed en ökad risk för DON-kontamination (34).

Sådden skedde relativt tidigt hos båda lantbrukarna, vilket minskar risken för angrepp av axfusarios, dock ökar detta risken för stråbasröta istället (34). Vippgången hos grödan för Lantbrukare 1 skedde under månadskiftet juni/juli då väderleken var fuktig, vilket ökar risken för angrepp av *Fusarium* (3, 26). Liknande förhållanden bör även ha rått hos Lantbrukare 2 eftersom båda lantbrukarna har sina fält i samma region. Skördetidpunkten var normal för Lantbrukare 1, men blev i början utdragen på grund av sämre väderförhållanden som gjorde att det inte blev möjligt att skörda. Fuktiga förhållanden tillsammans med sen skörd kan öka förekomsten av *Fusarium*, vilket kan ha bidragit till att DON halten var så hög i havren (3, 26).

Lantbrukare 1 utförde en del jordbearbetning under 2010-2011; höstplöjning, vårplöjning samt harvning två gånger innan sådd. Jordbearbetningen borde kunna minska mängden inokulum som kan överleva på växtmaterial (36, 46, 47). Hos Lantbrukare 2 utfördes inte lika mycket jordbearbetning; vår- och höstplöjning (vårplöjning om höstplöjningen inte hinns med).

Om den kemiska bekämpningen och gödningen har haft någon effekt på *Fusarium*-förekomsten är svårt att avgöra. Lantbrukare 1 använde sig av Ariane som är en herbicid (56) och borde därför inte påverka *Fusarium*-förekomsten nämnvärt, möjligtvis om det bidrar till att beståndet blir mindre tätt och frodigt och då skulle eventuellt angrepp av *Fusarium* (och andra patogener) minska (38). Lantbrukare 1 använde sig även av Comet som är en fungicid som hör till gruppen strobiliner (54). Det har visat sig att *F. avenaceum* är känslig mot denna grupp (34). Det kan vara möjligt att denna fungicid haft en effekt på åtminstone *F. avenaceum*, dock har den inte någon effekt på DON-kontaminationen eftersom *F. avenaceum* inte producerar trichothecener.

Det är viktigt att påpeka att kemisk bekämpning kan ha en positiv påverkan på *Fusarium* då fungiciderna kan påverka förekomsten av andra patogener och därmed minska konkurrensen för *Fusarium* som då kan öka i förekomst. Det är svårt att säga om detta skulle ha skett hos de intervjuade odlarna.

Lantbrukare 2 använde sig endast av herbicider som kemisk bekämpning. Inga fungicider användes. Det är svårt att säga vad detta kan ha haft för påverkan på *Fusarium*-förekomsten. Herbiciderna kan ha bidragit till ett mindre tätt bestånd och därmed minskat *Fusarium*-förekomsten (38). Huruvida ingen användning av fungicider har påverkat förekomsten av *Fusarium* (genom konkurrens med andra patogener) är svårt att säga.

Trots alla åtgärder som sätts in mot *Fusarium*, kan det hända att dessa inte har någon större effekt. Mycket beror på hur väderförhållandena som är avgörande för en infektion ter sig. Är vädret gynnsamt för svampen, kan det vara svårt att bekämpa den. Det bästa kanske vore att försöka kombinera olika odlingsåtgärder för att angreppet ska bli mindre förödande för odlaren; sortresistens, planerad växtföljd, jordbearbetning, fungicider samt eventuellt i framtiden biologisk bekämpning. Det är viktigt att tänka på att vissa åtgärder är mer optimala i vissa områden, medan andra passar bättre i andra områden. Generellt sett är det svårt att säga vad som bör göras och inte göras för att undvika ett *Fusarium*-angrepp.

Hur det kommer att se ut i framtiden vad gäller *Fusarium*-förekomst och mykotoxin-kontamination är även det svårt att säga. Förekomsten påverkas av vilka odlingsåtgärder som används och hur klimatet kommer att ändra sig. Kommer reducerad jordbearbetning tillämpas mer och mer och kommer det finnas någon kemisk bekämpning? Klimatet kommer säkerligen att ändras under årens lopp och kommer därför även det ge en påverkan. Förutom detta påverkar klimatet även val av gröda; vilket i sin tur påverkar *Fusarium*-förekomsten.

För att hitta en lösning på problemet med *Fusarium* behövs mer forskning om patogenen för att kunna ta fram nya åtgärder som kan tillämpas för att bekämpa patogenen på bästa möjliga sätt. Självklart ska även kostnaden som krävs för att bekämpa *Fusarium* tas med i beräkningen för att lantbrukaren ska veta att hon/han tjänar på att sätta in en bekämpning. Detta i sin tur beror mycket på vad priset på spannmål ligger på. Med ökad kunskap om patogenens biologi samt hur olika odlingsåtgärder påverkar kan en bekämpningsstrategi utvecklas som kan användas för bekämpning av *Fusarium* på det mest enklaste, effektivaste och ekonomiska sättet.

Referenser

- 1) Voss, K.A., Smith, G.W., Haschek, W.M. (2007) *Fumonisin: Toxicokinetics, mechanism of action and toxicity*. Animal Feed Science and Technology 137, 299–325
- 2) Lysøe, E., Klemsdal, S.S., Bone, K.R., Frandsen, R.J.N., Johansen, T., Thrane, U., Giese, H. (2006) *The PKS4 Gene of Fusarium graminearum Is Essential for Zearalenone Production*. Applied and Environmental Microbiology 72 (6), 3924-3932
- 3) Moss, M.O., Thrane, U. (2004) *Fusarium taxonomy with relation to trichothecene formation*. Toxicology Letters 153, 23-28
- 4) Thrane, U., Adler, A., Clasen, P., Galvano, F., Langseth, W., Lew, H., Logrieco, A., Nielsen, K.F., Ritieni, A. (2004) *Diversity in metabolite production by Fusarium langsethiae, Fusarium poae, and Fusarium sporotrichioides*. International Journal of Food Microbiology 95(3), 257-266
- 5) Torp, M., Langseth, W. (1999) *Production of T-2 toxin by a Fusarium resembling Fusarium poae*. Mycopathologia 147, 89-96.
- 6) Torp, M., Nirenberg, H. (2004) *Fusarium langsethiae sp. nov. on cereals in Europe*. International Journal of Food Microbiology 95, 247–256
- 7) Doohan, F.M., Brennan, J., Cooke B.M. (2003) *Influence of climatic factors on Fusarium species pathogenic to cereals*. European Journal of Plant Pathology 109, 755–768
- 8) D'Mello, J.P.F., Placinta, C.M., Macdonald, 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
- 9) Djurle A., Grudzinska-Sterno M., Rasmussen P.H., Yuen J. (2010) *Incidence of Fusarium species and mycotoxins in Swedish winter wheat fields*. Nordic Baltic Fusarium Seminar. Ski, Norway 23-25 November 2010, Book of Abstracts, p. 12
- 10) Bottalico, A., Perrone, G. (2002) *Toxigenic Fusarium species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe*. European Journal of Plant Pathology 108, 611–624
- 11) Kosiak, B., Torp, M., Skjerve, E., Thrane U. (2010) *The Prevalence and Distribution of Fusarium species in Norwegian Cereals: a Survey*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science 53, 168-176
- 12) Hofgaard, I.S., Aamot, H.U., Klemsdal, S.S., Elen, O., Jestoy, M., Brodal G. (2010) *Occurrence of Fusarium spp. and mycotoxins in Norwegian wheat and oats*. Nordic Baltic Fusarium Seminar. Ski, Norway 23-25 November 2010, Book of Abstracts, p. 9
- 13) Fredlund, E., Gidlund, A., Pettersson, H., Olsen, M., Börjesson, T. (2010) *Real-time PCR detection of Fusarium species in Swedish oats and correlation to T-2 and HT-2 toxin content*. World Mycotoxin Journal, February 3, 77-88
- 14) Fredlund, E., Sulyok, M., Börjesson, T., Lindblad, M., Olsen, M. (2010) *Fusarium in Swedish cereals - species distribution and multitoxin analysis*. Nordic Baltic Fusarium Seminar. Ski, Norway 23-25 November 2010, Book of Abstracts, p. 11
- 15) Agrios N. A. (2005) *Plant pathology*. 5, 534-553. Burlington: Ed. Elsevier Inc
- 16) Cook, R. J. (1981) *Fusarium diseases of wheat and other small grains in North America*. In *Fusarium: Diseases, Biology, and Taxonomy*, 39-52
- 17) Burgess, L.W. (1981) *General ecology of the Fusaria*. In *Fusarium: Diseases, Biology, and Taxonomy*, 225-235
- 18) Griffin, G. J. (1981) *Physiology of Conidium and Chlamydo-spore Germination in Fusarium*. In *Fusarium: Diseases, Biology, and Taxonomy*, 331-339
- 19) Desjardins, E. A. (2006) *Fusarium Mycotoxins Chemistry, Genetics, and Biology*. Minnesota: Ed. The American Phytopathological Society

- 20) Casale, W. L., L. Hart, P. (1988) *Inhibition of 3H-leucine incorporation by trichothecene mycotoxins in maize and wheat tissue*. *Phytopathology* 78, 1673 -1677
- 21) WHO. (1997) *Some Naturally Occurring Substances: Food Items and Constituents, Heterocyclic Aromatic Amines and Mycotoxins Summary of Data Reported and Evaluation*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 56
- 22) Rothenbuhler, R. *Clinical Features, Diagnosis, and Treatment*. Equine Leukoencephalomalacia, (2012, juni 1) Tillgänglig: <https://www.addl.purdue.edu/newsletters/2000/fall/el.shtml> (2012-06-30)
- 23) Bondy, S. G., Pestka J. J. (2000) *Immunomodulation by fungal toxins*. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 3, 109-143
- 24) Tanaka, T., Hasegawa, A., Yamamoto, S., Lee, U., Sugiura, Y., Ueno, Y. (1988) *Worldwide Contamination of Cereals by the Fusarium Mycotoxins Nivalenol, Deoxynivalenol, and Zearalenone. 1. Survey of 19 Countries*. *J. Agric. Food Chem* 36, 979-983
- 25) Langseth, W., Rundberget T. (1999). *The occurrence of HT-2 toxin and other trichothecenes in Norwegian cereals*. *Mycopathologia* 147, 157–165
- 26) Langseth, W., Elen, O. (1997): *The occurrence of deoxynivalenol in Norwegian cereals—differences between years and districts, 1988–1996*, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 47:3, 176-184
- 27) Bacon, C. W., Porter, J. K., Norred, W. P., Leslie, J. F. (1996) *Production of Fusaric Acid by Fusarium Species*. *Applied and Environmental Microbiology* 62, 4039–4043
- 28) Nilsson, A. *Hälften av årets grynhavreskörd förstörd – även vete och korn riskerar angrepp*. (2011, 18 november) *Land Lantbruk*, nr 47. p. 4
- 29) Berg, G., Börjesson, T., Gustafsson, G., Happstadius, I., Hartman, E., Lerenius, C., Minsér, M., Nerbrink, E., Pettersson, C G., Pettersson, H., Rundqvist, J., Yngveson, N., Klingspor, J. (2012). *Nationella branschriktlinjer för att undvika Fusarium-toxiner i spannmål 2012*. Jordbruksverket; Växtskyddscentralen, Lantmännen Lantbruk, Föreningen Foder & Spannmål, SLU, HIR Malmöhus AB; Hushållningssällskapet, Scandinavian Seed AB
- 30) Lidell, M. C. (2003) *Systematics of Fusarium Species and Allies Associated with Fusarium Head Blight*. In: Leonard J. K. & Bushnell, R. W. (Ed.) *Fusarium Head Blight of Wheat and Barley*. 35-43. Minnesota: The American phytopathological society.
- 31) Logrieco, A., Mulé, G., Moretti, A., Bottalico, A. (2002) *Toxigenic Fusarium species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe*. *European Journal of Plant Pathology* 108, 597–609
- 32) Nielsen, L.K., Jensen, J.D., Jørgensen, L.N., Justesen, A.F. (2010) *Occurrence and control of Fusarium in cereals in Denmark*. Nordic Baltic Fusarium Seminar. Ski, Norway 23-25 November 2010, Book of Abstracts, p. 14
- 33) Dill-Macky, R. (2010). *Cultural and biological control practices for the management of Fusarium head blight: Progress and challenges*. Nordic Baltic Fusarium Seminar. Ski, Norway 23-25 November 2010, Book of Abstracts, p. 17
- 34) Champeil, A., Doré, T., Fourbet, J. F. (2004). *Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by Fusarium in wheat grain*. *Plant science* 166, 1389-1415
- 35) A. Bernhoft, P.-E. Clasen, A.B. Kristoffersen., M. Torp (2010). *Less Fusarium infestation and mycotoxin contamination in organic than in conventional cereals*, *Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 27:6, 842-852
- 36) Yang, F., Jensen, D.J., Spliid, N.H., Svensson, B., Jacobsen, S., Jørgensen, L. N., Jørgensen, J. L. H., Collinge, B. D., Finnie, C. (2010) *Investigation of the effect of*

- nitrogen on severity of Fusarium Head Blight in barley*. Journal of proteomics 73, 743-752
- 37) Brodal, G. (2008) *Fusarium Head Blight in cereals and role of seed infection*. International Seed Testing Association 6th Seed Health Symposium, programme and abstracts. Tillgänglig: http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/tjenester/publikasjoner/publikasjon?p_document_id=35566 (2012-08-10)
 - 38) Lemmens, M., Haim, K., Lew, H., Ruckenbauer P. (2004) *The Effect of Nitrogen Fertilization on Fusarium Head Blight Development and Deoxynivalenol Contamination in Wheat*. J. Phytopathology 152, 1–8
 - 39) Edwards, S.G. (2009) *Fusarium mycotoxin content of UK organic and conventional oats*, Food Additives & Contaminants: Part A, 26:7, 1063-1069
 - 40) Edwards, S.G. (2009) *Fusarium mycotoxin content of UK organic and conventional barley*, Food Additives & Contaminants: Part A, 26:8, 1185-1190
 - 41) Edwards, S.G. (2009) *Fusarium mycotoxin content of UK organic and conventional wheat*, Food Additives & Contaminants: Part A, 26:4, 496-506
 - 42) Simpson, D., Weston, G., Turner, J., Nicholson, J and P. (2001) *Differential control of head blight pathogens of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain*, European Journal of Plant Pathology 107: 421–431
 - 43) Baumgardt, M. (2008) *Mykotoxinproducerande Fusarium-arter i havre under odlingssäsongen*, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig mykologi och patologi, Examensarbete, agronomprogrammet
 - 44) Jordbruksaktuellt. (2005) *Hårdare regler för spannmål*. Tillgänglig: <http://www.ja.se/?p=24238&pt=105> (2012-08-10)
 - 45) Edwards, S.G., Godley, N.P. (2010): *Reduction of Fusarium head blight and deoxynivalenol in wheat with early fungicide applications of prothioconazole*, Food Additives & Contaminants: Part A, 27:5, 629-635
 - 46) Dill-Macky, R. Jones, R. K. (2000) *The Effect of Previous Crop Residues and Tillage on Fusarium Head Blight of Wheat*. Department of Plant Pathology, University of Minnesota, St. Paul 55108
 - 47) Bateman, G. L., Gutteridge, R. J., Gherbawy, Y., Thomsett, M. A., Nicholson, P. (2007) *Infection of stem bases and grains of winter wheat by Fusarium culmorum and F. graminearum and effects of tillage method and maize-stalk residues*. Plant Pathology (2007) 56, 604–615
 - 48) Teich, A.H., Nelson, K. (1984) *Survey of fusarium head blight and possible effects of cultural practices in wheat fields in Lambton County in 1983*. Canadian Plant Disease Survey 64: 1,1984
 - 49) Teich, A. H., Hamilton, J. R. (1985) *Effect of Cultural Practices, Soil Phosphorus, Potassium, and pH on the Incidence of Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol Levels in Wheat*. Applied and Environmental Microbiology, June 1985, p. 1429-1431
 - 50) Schaafsma, A.W., Tamburic-Ilinic, L., Miller, J.D., Hooker, D.C. (2001) *Agronomic considerations for reducing deoxynivalenol in wheat grain*. Can. J. Plant Pathol. 23: 279–285 (2001)
 - 51) Koch, H-J, Pringas, C., Maerlaender, B. (2006) *Evaluation of environmental and management effects on Fusarium head blight infection and deoxynivalenol concentration in the grain of winter wheat*. European Journal of Agronomy, Volume 24, Issue 4, May 2006, Pages 357–366
 - 52) Cromeey, M. G., Shorter, S. C., Lauren, D. R., Sinclair, K. I. (2002): *Cultivar and crop*

- management influences on fusarium head blight and mycotoxins in spring wheat (Triticum aestivum) in New Zealand, New Zealand. Journal of Crop and Horticultural Science, 30:4, 235-247*
- 53) Straubaug, C. (1986) *Fusarium Scab of Irrigated Wheat in Central Washington*. Plant Disease/Vol. 70 No. 12
- 54) BASF, the chemical company. Comet. Tillgänglig: http://www.agro.basf.se/agroportal/se/media/migrated/se/product_files/labels/Comet_1.pdf (2012-09-01)
- 55) Scandinavian seed. Ivory. Tillgänglig: <http://www.scandinavianseed.se/?p=854> (2012-09-01)
- 56) Dow Agrosiences Sverige AB. Ariane. Tillgänglig: <http://www.dowagro.com/se/produkter/arianes.htm> (2012-09-01)
- 57) Roland, J. Havre. (2003) SLU, Lanna försöksstation. 2012-09-01 Tillgänglig: [http://www.ffe.slu.se/Pdf/\\$serie/07F5R2003Havre.PDF](http://www.ffe.slu.se/Pdf/$serie/07F5R2003Havre.PDF) (2012-09-01)
- 58) Lewan, E., Jonsson, A., Gyllenstrand, N., Westerbergh, A., Milestad, R., Beckman, M., Marquardt, K., Hermann, A., Albihi, A., Nilsson, C., Fikse, F., Öborn, I., Andersson, L., Eckersten, H., Ahnström, J., Lehrman, A., Djurle, A., Yuen, J. *Utmaningar för lantbruket i ett förändrat klimat*. Future Agriculture – Framtidens Lantbruk. Tillgänglig: <http://www.slu.se/Documents/externwebben/centrumbildningar-projekt/framtidens-lantbruk/Pres-FAdag-2011/Anna.L-Anpassa-t-forandr-klimat.pdf> (2012-09-01)
- 59) Kollmorgen, J. F. (1974). *The pathogenicity of Fusarium avenaceum to wheat and legumes and its association with crop rotations*. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, 14
- 60) Venuto, B. C., Smith, R.R., Grau, C.R. (1995) *Virulence, Legume Host Specificity, and Genetic Relatedness of Isolates of Fusarium oxysporum from Red Clover*. Plant disease, 79
- 61) Larsson, S., Hagman, J. (2012). *Sortval i ekologisk odling 2012 – Sortförsök 2007-2011*. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Department of Crop Production Ecology (VPE), 1-28
- 62) Gårdsmagasinet. (2012). *Allt du behöver veta inför höstsådden*. Malmö: Lantmännen lantbruk. Gårdsmagasinet 2012:6.
- 63) Berg, G., Börjesdotter, D., Börjesson, T., Gustafsson, G., Happstadius, I., Hartman, E., Ivarsson, K., Klingspor, J., Lerenius, C., Nerbrink, E., Pettersson, C G., Pettersson, H., Rundqvist, J., Yngveson, N., Klingspor, J. (2013). *Nationella branschriktlinjer för att undvika Fusarium-toxiner i spannmål 2013*. Jordbruksverket; Växtskyddscentralen, Lantmännen Lantbruk, Föreningen Foder & Spannmål, LRF, Lantmännen FoU, SLU, HIR Malmöhus AB; Hushållningssällskapet, Scandinavian Seed AB
- 64) Gammelsrud, A., Solhaug, A., Dendelé, B., Sandberg, W. J., Ivanova, L., Kocbach Bølling, A., Lagadic-Gossmann, D., Refsnes, M., Becher, R., Eriksen, G., Holme, J. A. (2012). *Enniatin B-induced cell death and inflammatory responses in RAW 267,4 murine macrophages*. Toxicology and Applied Pharmacology 261, 74-87
- 65) Toxinology.no. *The enniatin complex*. (2013) Tillgänglig: <http://toxinology.nilu.no/Researchareas/Fungaltoxins/Factsheets/Enniatins/tabid/4536/Default.aspx> (2013-08-06)
- 66) Jordbruksverket. Nr 22. *Axfusarios – ökad risk vid regn i blomningen*. (2013). Tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtskydd/vaxtskyddscentralerna/alnarp/alnarpvaxtskyddsbrev/nyhetsarkiv2013/nr22axfusariosokadriskvidregnbloomingen.5.735f31cc13f5705505e119d.html> (2013-08-06)

Tack till

Jag vill tacka de lantbrukare som har ställt upp vid intervjuerna. Jag vill även tacka Eurofins, Lantmännen och Värmland som gav ut information om hur provtagning och analyser av DON går till. Till sist vill jag även tacka min handledare, Annika Djurle, som hjälpt mig med skrivningen och litteratursökandet.

Bilagor

Bilaga 1: Frågor till lantbrukare

Följande frågor ställdes till lantbrukare:

- 1) När skedde sådden? Var sådden senare/tidigare än vad du hade önskat att den varit? Vad var anledningen till att sådden i så fall blev sen/tidig? Hur var väderleken vid såtidpunkten?
- 2) När skedde skörden? Var skörden senare/tidigare än vad du hade önskat att den varit? Vad var anledningen till att skörden i så fall blev sen/tidig? Hur var väderleken vid skördepunkten?
- 3) Hur ser växtföljden ut?
- 4) När var vippgången hos grödan? Kommer du ihåg hur vädret var då?
- 5) Vilka sorter användes?
- 6) Har någon typ av jordbearbetning utförts; Plöjning? Harvning?
- 7) Vem var det som tog proverna? Vart skickades proverna? Hur stora var proverna? Hur gick det till när proverna togs? Togs de i fält eller efter skörd? Om de togs i fältet, var i fältet togs de i så fall?
- 8) Vad hände med spannmålen efter att ni fick provresultaten? Användes den till det som den var avsett till, eller blev den nedgraderad till foder/bränsle osv? Satte ni in några åtgärder för att minska DON-halten? Hade det i så fall någon effekt? Var det ekonomiskt hållbart?
- 9) Vilken typ av gödsling gjordes? Hur ofta sker gödslingen och när?
- 10) Skedde det någon form av kemisk bekämpning i fälten? Vilka medel användes och i vilken dos? När och hur ofta sattes det in en bekämpning?