

Prediktering av Deoxynivalenol (DON) i havre under västsvenska förhållanden med hjälp av väder- gröd- och skötseldata

Börjesson T^{1,2}., Persson T³., Eckersten H⁴., Pettersson C-G⁵., Elen O³., Hjelkrem A-G.R³.

¹Lantmännen Lantbruk (t.o.m. 2015-01-31), ²Agroväst Livsmedel AB (fr.o.m. 2015-02-01), ³Bioforsk, ⁴Inst. f. Växtproduktionslära, SLU., ⁵Lantmännen FoU

1. Bakgrund

Höga halter av mykotoxiner, främst Deoxynivalenol (DON), i havre orsakade av *Fusarium*-infektioner (främst *Fusarium graminearum*) är ett växande problem i västra Sverige (Fredlund et al 2013), Finland (Hietaniemi et al 2004) och Norge (Langseth & Elen 1997). *Fusarium* infekterar spannmålsgrödor genom att sporer sprids med vind eller regnstänk till pollen i blommor (Parry et al 1995). Därför är spannmålsgrödor främst mottagliga för *Fusarium*-infektioner när blommorna är öppna och pollen finns (Tekle et al 2012). *Fusarium*-infektioner gynnas av hög luftfuktighet och regn (Schafsmaa & Hooker, 2007; Koch et al 2006; De Wolf et al 2003; Tekle et al 2012).

Modeller som beskriver den period grödan är mottaglig för infektion samt svampens infektionsbenägenhet, tillväxt och DON-produktion som funktion av vädervariabler (Rossi et al 2003; Del Ponte et al 2005) har kombinerade med agronomiska data väl kunnat prediktera DON och direkta *Fusarium*-skador i vete (Rossi et al 2007). Statistiska vädermodeller för prediktion av DON i havre i Norge, Sverige och Finland (Lindblad et al 2012) har haft låg prediktionsförmågan för ett geografiskt område med stora olikheter i *Fusarium*-förekomst. Liknande modeller som predikterar DON (Musa et al 2007; Schaafsma & Hooker, 2007) eller synlig *Fusarium*förekomst (De Wolf et al 2003) utgående från väder- och skötselvariabler har dock gett relativt god träffsäkerhet i vete.

Havre blommar under längre tid, och bör därför också vara mottaglig för *Fusarium* infektioner under en längre period än vete (Rajala and Peltonen-Sainio 2011). Tekle et al (2012) såg dock att DON-halterna i mogen havre var högre om infektionen skedde i samband med vippgång jämfört med en vecka senare. Perioden för infektionskänslighet borde också variera mellan sorter på grund av att tiden pollen är exponerat för *Fusarium* är sortberoende. Langseth och Elen (1997) antyder också att nederbörden flera veckor efter det att blomningen i havre normalt startat är kopplat till höga DON-halter i havre.

Denna studie bestod av tre delstudier:

- 1) Fältstudier: Bestämning av den period (blomningen) då havren antogs vara mottaglig för *Fusarium*-infektion i 4 havresorter i fältförsök på 4 platser i tre år. Perioden för infektionskänslighet bestämdes i vipp-prover.
- 2) Utveckling av en modell för prediktering av DON-halt i havre: En fenologimodell anpassades från vete till havre med hjälp av observationerna i delstudie 1. Output från fenologimodellen kombinerades i index med output från modeller som beskriver väderfaktorers påverkan på infektion, spormolnsdensitet och myceltillväxt. Dessa index korrelerades mot observerad DON-halt.
- 3) Utveckling av en modell för prediktion av DON-halt i havre baserat på DON-halter i havreleveranser till Lantmännen under perioden 2012-2014. Regressionsmodeller (Partial Least Squares, PLS) och variabler från "griddade" (11 x 11 km) väderdata användes för att beräkna DON-halter i sorten Kerstin i leveranser.

2. Material och metoder

2.1. Delstudie 1 (Fältstudier)

2.1.1. Försök

Randomiserade blockförsök med fyra upprepningar lades ut år 2012 till 2014 på fyra platser: Nybble, Närke (59°11'N; 15°00' E), Bjertorp, Västergötland (58°16'N; 13°07' E), Hjärtungen, Dalsland (58°40'N; 12°22' E) och Ås, Akershus fylke, Norge (59°41' N; 10°47'E). Avstånden till väderstationer var ca 1 km i Bjertorp och Ås, ca 5 km i Nybble och ca 10 km i Hjärtungen. Havresorterna Belinda, Kerstin, Axeli och Ivory såddes på alla försöksplatser alla år. Ivory mognar tidigare än de övriga sorterna. Ivory har haft högre och Kerstin lägre DON-halter än genomsnittet i andra undersökningar. Belinda har haft medelhöga halter medan Axeli i norska studier haft något lägre DON-halter än Belinda. Belinda och Kerstin representeras av Lantmännen, och Axeli och Ivory av Scandinavian Seed. Försöken såddes, gödslades och bekämpades enligt normal praxis för platserna enligt PM från Ingemar Gruvaeus, Lantmännen Lantbruk. Dock svampbekämpades inte försöken, då en svampbekämpning antogs kunna påverka Fusariumtillväxt och DON-bildning. Försöken och provtagningen sköttes av Hushållningssällskapen i Örebro Län (Nybble) och Skaraborgs län (Hjärtungen), Lantmännen Lantbruk (Bjertorp) och Bioforsk (Ås).

2.1.2. Provtagningar i försök

Vipp-prover togs ut enligt två protokoll som utarbetats inom projektet. Det första protokollet var avsett för bedömning av sort- och platsvisa skillnader i andelen småax per markyteenhet som antogs vara mottagliga för en Fusarium-infektion. Vipp-prover togs ut vid fyra tillfällen per år i alla sorter och platser. Provtagningarna 2012 täckte inte in hela blomningsförloppet och därför förlängdes tidsintervallerna mellan provtagningarna 2013 och 2014. Vid första mättillfället räknades antalet fullt synliga vippor och alla skott som bedömdes gå i vippa under växtsäsongen per kvadratmeter.

Enligt det andra protokollet togs prover för att följa blomningsförloppet i olika utvecklingsklasser i försöket i Bjertorp. En utvecklingsklass utgörs av de vippor som blivit fullt synliga en viss dag, och mäts som dess andel av beståndets totala antal skott som bedöms få fullt synliga vippor under växtsäsongen (Del Ponte et al 2005). Utvecklingsklasserna identifierades genom att fästa tejprensor vid plantorna. Provtagningen genomfördes 2012 i tre utvecklingsklasser i Belinda och 2013 i en utvecklingsklass i vardera Belinda och Kerstin. Inga prover togs ut 2014. Vippor klipptes vid fem tillfällen 2012 och vid sju tillfällen 2013. DON analyserades efter skörd med immunologisk mätteknik (Ridascreen Fast DON ELISA, Rhone-Biopharm, Darmstadt, Tyskland) av Lantmännen Lantbruks laboratorium i Svalöv rutvis i alla sorter och försök. Provresultaten jämfördes med en referenskurva från prover med kända DON-halter. Mätosäkerheten (+/- 2 standardavvikelse) var ca. 30%.

2.1.3. Bestämning av havrens blomning

I vipp-proverna från försöken bestämdes mängden växtvävnad som antogs vara mottaglig för Fusarium-infektion. Mottaglig vävnad kan likställas med vävnad i blomningsfasen (Rajala & Peltonen-Sainio 2011). Ett urval av de insamlade vipporna som vi bedömde som tillräckligt för att få ett bra modelleringsunderlag analyserades: I Bjertorp Belinda, Ivory och Kerstin alla år och 2012 även Axeli; I Hjärtungen och Nybble; Belinda, Ivory och Kerstin 2013 och 2014 men 2012 endast Ivory; i provmaterialet från Ås analyserades endast Ivory från 2012. Andelen infektionsmottaglig vävnad (ANT) beräknades som andelen blommande småax per markyteenhet enligt:

$$ANT = S_{\text{Blom}} / S_{\text{tot}} \quad (\text{Ekv 1})$$

där S_{Blom} är antalet blommande småax per markyteenhet. S_{tot} är det totala antalet småax (det totala antalet vippor per kvadratmeter som blir synliga under odlingsäsongen multiplicerat med medelantalet småax per vippa).

Antalet småax per markyteenhet som var i blomningsfasen (S_{Blom}) bestämdes genom mikroskopstudier av två-fyra vippor per sort och upprepning (utfört av Maria Kedmark, SLU; Figur 1). Två småax och normalt en blomma per småax på fem positioner i den provtagna vippan (översta noden, ytterst i 3:e noden, innerst i 3:e noden, ytterst i lägsta noden, innerst i lägsta noden) analyserades och erhöll mottaglighetspoäng enligt nedan. Andelen småax per vippa som uppfyllde mottaglighetskriterierna uppskattades genom att skala upp observationerna från de fem positionerna till hela vippan, i enlighet med antalet småax per nod. Antalet småax per nod varierade mellan 2-3 för den översta noden till 4-25 per nod för nod 4-6. Antalet noder per vippa varierade mellan 4 och 6. I de fall absoluta mått på blomningsgraden beräknades multiplicerades medelvärdet för de observerade vipporna med antalet vippor per kvadratmeter markyta.



Figur 1a. Fullt synlig havrevippa. (Bild från White, 1995)

Figur 1b. Blomma med tre ståndare, två i utgångsposition och en som släppt från utgångspositionen (Foto: Maria Kedmark)

Blomningen definierades som förekomst av pollen, ståndarnas position i blomman och om ståndarna släppt från blomman. Detta beräknades genom att summera mottaglighetspoäng enligt följande: (i) En ståndare finns (normalt finns tre) = +1p; (ii) Om någon ståndare har släppt från utgångspositionen = +20p; (iii) Om någon ståndare är i yttersta positionen närmast småaxets öppning = +10p; (iv) Om en ståndare saknas = -4p, eller om ingen ståndare finns = -42p; (v) Om pollen finns = +100p. Om summan blev > 20p antogs småaxet vara i blomningsfasen. Värdet för blomning eller ej blomning per småax (dvs 1 eller 0) har använts som underlag för beräkningen av beståndets infektionsbenägenhet (ANT) enligt Ekv. 1 (Figur 2 a-c). Absolutvärden på mottaglighetspoängen, utgör ett försök att förfina graderingen och ange ett mått på mängden infektionskänslig vävnad per markyteenhet (Figur 2d).

2.2. Delstudie 2 (Modellutveckling)

2.2.1. Modellbeskrivning

För att prediktera andelen småax som antogs mottagliga för Fusarium-infektion i ett havrebestånd utgick vi från en fenologimodell över blomningsförloppet i vårvete som funktion av omgivande temperatur varvid veteaxen delas upp i utvecklingsklasser efter den dag då de först är helt synliga (Del Ponte et al 2005). Olika parametervärden som styr vippgången och blomningen inom varje utvecklingsklass anpassades efter de detaljerade mätningarna av blomningsförloppet i havreförsöken under 2012 och 2013.

Fenologimodellen ingår som en del i en väderdriven prediktionsmodell för Fusarium och DON. De övriga delmodellerna beskriver: De omgivande väderförhållandenas påverkan på infektionsmöjlighet (delmodell 2) (Del Ponte et al 2005), utvecklingen av Fusarium-spormolnsdensitet (delmodell 3) (Del Ponte et al 2005), och tillväxten av mycel i en infekterad vävnad (delmodell 4) (Rossi et al 2003)

Resultat från delmodellerna multipliceras till fem olika index som påverkar utvecklingen av DON (GIB1, GIB2, GIB3, GIB4 och TOX):

GIB1 = ANT * INF	Ekv 2
GIB2 = ANT * INF * GZ	Ekv 3
GIB3 = ST * INF	Ekv 4
GIB4 = ST * INF * GZ	Ekv 5
TOX = INF * GS * INV	Ekv 6

I ekvationerna 2-6 är ANT andelen infektionsbenägen vävnad i ett bestånd, och antogs i havre motsvaras av andelen blommande småax Ekv. 1. INF (från delmodell 2) är en funktion av temperatur-, luftfuktighets- och nederbördsförutsättningarna för en infektion, GZ (från delmodell 3) beskriver spormolnsdensiteten givet en infektionskälla i närheten av fältet och beror på den relativa luftfuktigheten och regnförekomsten. ST (från delmodell 1) avser mottaglig vävnad och skiljer sig från ANT genom att även representera en period efter blomningens avslutning. GS är utvecklingsstadium enligt Zadoks et al (1974). INV (från delmodell 4) beskriver invasionshastigheten av Fusarium-mycel som funktion av temperatur. Det dagliga värdet för respektive index summeras upp under odlings säsongen och jämförs med uppmätta DON-halter.

2.2.2. Modelltest

Både den ursprungliga (Del Ponte et al 2005) och den omkalibrerade fenologimodellen sattes in i prediktionsmodellen för DON. Indexen ovan korrelerades mot de uppmätta DON-halterna i sorten Belinda på försöksplatserna. I detta projekt gjordes inga ändringar i de övriga delmodellerna. I ett examensarbete vid agronomutbildningen vid SLU, utvecklade och utvärderade Markgren (2013) olika versioner av delmodell 2, varvid beräkningar av bladfuktighet användes som förklarande variabel. Här användes DON- och såtidsdata från Norge (Hjelkrem et al 2015).

2.3. Delstudie 3 (Griddanalyser)

2.3.1. Väderdata

Interpolerad daglig nederbörds-, temperatur-, luftfuktighet-, solinstrålning-, vindriktnings och vindstyrkedata för perioden 1:a april t.o.m. 28:e augusti erhöles från SMHI via Torbjörn Leuchovius, SLU. För varje vädervariabel delades odlingsperioden upp i elva 14-dagarsperioder. Nederbörden summerades för varje 14-dagarsperiod, och för övriga variabler beräknades medelvärde för respektive 14-dagsperiod.

2.3.2. Provtagning, data som ingått i undersökningen

I beräkningarna användes data från DON-analyser i inlevererade partier av sorten Kerstin under åren 2012 till 2014 till Lantmännens anläggningar. Inleveranserna sker oftast med lastbil med släp och väger normalt mellan 30 och 40 ton. Provtagningen sker oftast med s.k. Rakoraf-metodik (www.pfeuffer.com) där ett prov tas på 3 ställen vardera på dragbilsflak och släp. Provtagningspjutet suger spannmål utefter hela spannmålslassets djup. Det uttagna provet blandas om. DON analyserades med samma metodik som ovan men av Eurofins Food & Agri, Kristianstad.

Endast havre som levererats till mottagningsstationer under perioden 1 augusti till 31 december har ingått i undersökningen. I vissa fall, speciellt år 2012, kan skörd ha skett efter den 28/8. Bruttomaterialet i undersökningen omfattade ca 2000 DON-analyser per år. Medelvärdena för DON-analyserna var 1720 µg/kg 2012, 780 µg/kg 2013 och 820 µg/kg 2014. Gridrutornas medelvärde varierade mycket varje år och för att ge större möjligheter till att testa olika typer av modeller delades rutorna upp i 3 kategorier: a) ”Låg” = upp till 80% av medelvärdet för året, b) ”Medel” = mellan 80 och 120% av medelvärdet för året och c) ”Hög” = över 120% av medelvärdet för året. Fördelningen av

de olika kategorierna var följande: 2012: 54% låg, 15% medel och 31% hög, 2013: 50% låg, 19% medel och 31% hög, 2014: 58% låg, 20% medel och 22% hög. För att medelvärden på DON-analyserna från en gridruta skulle tas med i undersökningen sattes följande kriterier upp: 1) minst 10 inleveranser; 2) minst 3 leverantörer; 3) Gridrutan måste gränsa till minst en annan gridruta inom samma DON kategori. Detta för att undvika att rutor med slumpmässigt höga eller låga värden kommer med. Dessa kriterier resulterade i att 17 (9 låga, 2 medel, 6 höga), 27 (15 höga, 12 låga) respektive 19 (15 låga, 4 höga) rutor från 2012, 2013 respektive 2014, företrädesvis belägna väster, söder och öster om Vänern, användes. Totalt användes ca 1000 av de 2000 DON analyserna i bruttomaterialet för respektive år. Ett försök gjordes även att samla in odlingsdata via web-baserad enkät, men svarsfrekvensen var alltför låg för att det materialet skulle kunna analyseras vidare i detta projekt.

2.3.3. Multivariat statistik

Modeller för beräkning av DON-halter som funktion av vädervariabler konstruerades med hjälp av mjukvaran Unscrambler X 10.2 (CAMO, Oslo, Norway) och partial least squares (PLS) algoritmer (Martens & Martens 1986). Full korsvalidering utfördes för att testa om modellerna var användbara för prediktion av DON för gridrutor som inte varit med vid framtagning av modellen. En gridruta i taget togs då bort från modellen och modellen testades på den borttagna gridrutan (Martens & Naes 1989). Modeller baserade på två av de tre åren testades också på data från det tredje året. NIPALS algoritmen (Martens & Martens 1986) användes och variablerna centrerades (medelvärdet för varje variabel subtraherades) innan analysen. Regressionskoefficienten (r^2) som betecknar hur stor andel av variationen som modellen beskriver, ($r^2 = 0,5$ anger att 50% av variationen beskrivs) och standardavvikelsen för prediktionerna (Standard Error of Cross Validation, SECV) som beskriver hur säkra prediktionerna är användes. Variabler med låga regressionskoefficienter togs bort stegvis eftersom dessa inte bidrar till modellen så mycket som variabler med höga positiva eller negativa koefficienter.

3. Resultat

3.1. Delstudie 1 (Fältstudier)

3.1.1. Bestämning av blomning då havren antogs mottaglig för Fusarium-infektion

Bestånden nådde full mottaglighetsgrad (1; alla småax är i blom) ca 20 dagar efter det att första småaxen gått i blom. Sorterna Ivory och Belinda utvecklades snabbare mot detta stadium än Kerstin (Fig. 2a). Resultat från 2013 och 2014 visar att Ivory avslutar sin mottagliga period tidigare än Kerstin och Belinda (Fig 2a). I försöken 2012 kunde avtagande blomningsfrekvens ej registreras eftersom provtagningen avslutades för tidigt (Fig. 2b). I absoluta termer (blomningskod) var det mest mottaglig växtvävnad per markyteenhet i Kerstin och minst i Ivory (Fig. 2d).

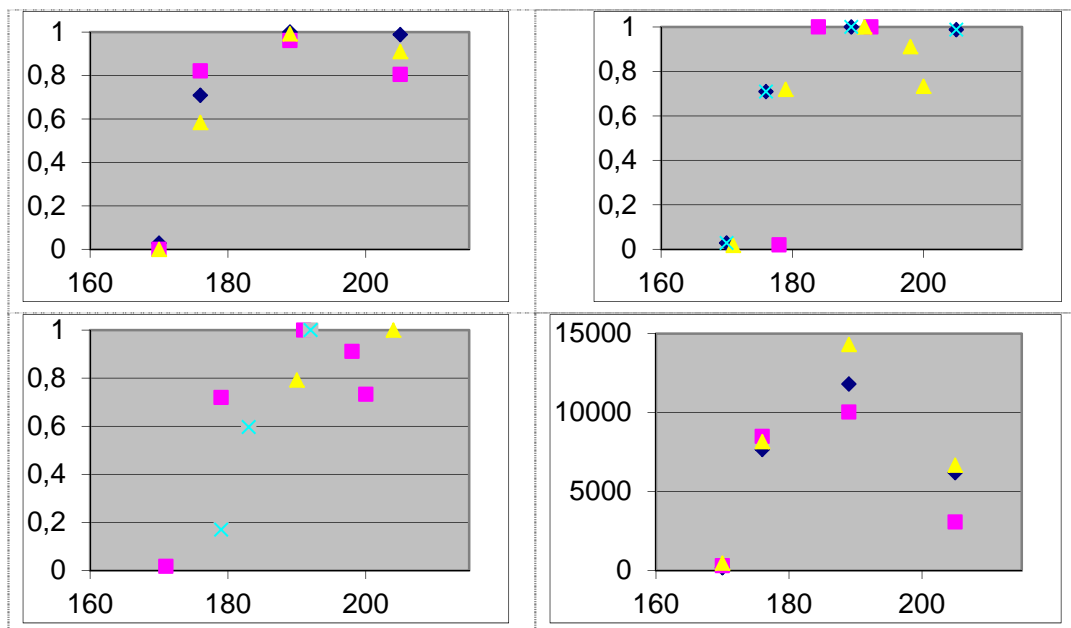


Fig. 2a-d. Andelen småax i havre som antogs mottaglig för Fusarium plottad mot dagnummer från 1:a januari. a: Övre vänster: Sortskillnader i Bjertorp 2014: Belinda (blå), Ivory (rosa), Kerstin (gul). b: Övre höger: Årsvisa skillnader i Bjertorp; Belinda: 2012 (rosa), 2013 (gul), 2014 (blå). c: Nedre vänster: Skillnader mellan försöksplatser; Belinda 2013: Bjertorp (rosa), Mellerud (gul), Örebro (blå) d: Nedre höger: Samma som Fig. 2a men antal småax som är mottaglig för Fusarium infektion är uttryckt i mottaglighetspoäng (blomningskod) per kvadratmeter mark (se avsnitt 2.1.3.).

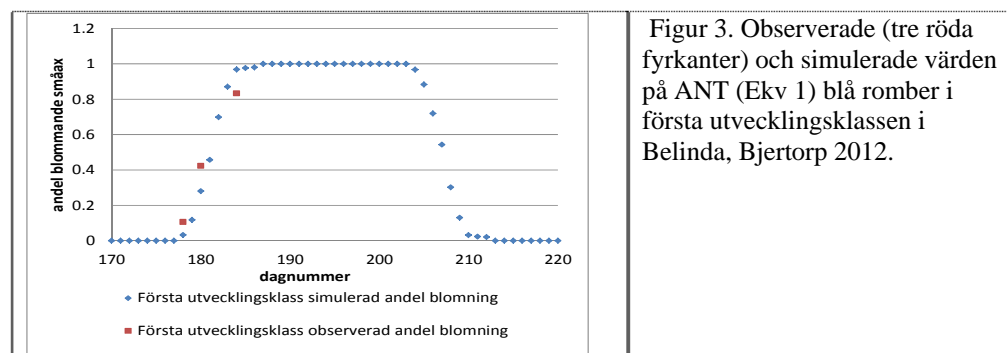
3.1.2. DON-analyser från försök

DON-halterna i försöken var alla under gränsvärdet för livsmedel (1750 µg/kg). Medelvärdet av DON-halterna var högre i Ivory (216 µg/kg) än i de övriga sorterna (mellan 146 och 188 µg/kg). Medelvärdet var högre i Nybble (290 µg/kg) och i Bjertorp (200 µg/kg) än på de andra platserna (110 µg/kg), och högre 2012 och 2013 (runt 200 µg/kg) än 2014 (ca. 100 µg/kg; detektionsgränsen för metoden).

3.2. Delstudie 2. (Modellutveckling)

3.2.1. Kalibrering av parametrar i fenologimodellen

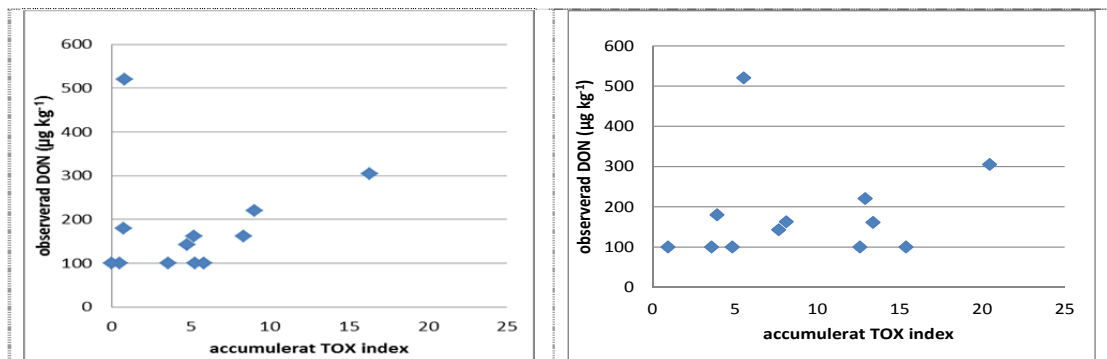
Ett exempel på hur simulerad och observerad blomutveckling sammanfaller på Bjertorp 2012 visas i Figur 3. Simuleringen bygger på kalibreringar utförda med data från provtagningar enligt protokoll 2. För de senare delarna av blomningsförloppet har data från 2013 använts. Modellen är inte validerad.



Figur 3. Observerade (tre röda fyrkanter) och simulerade värden på ANT (Ekv 1) blå romber i första utvecklingsklassen i Belinda, Bjertorp 2012.

3.2.2. Prediktering av uppmätta DON-halter

Prediktionen av DON-halterna från försöksplatserna med de två olika parameteriseringarna av modellen från Rossi (2003) och Del Ponte (2005) var överlag låg. Anpassning efter projektets havreförsök gav ingen märkbar förbättring. Ett exempel på hur ackumulerat TOX index (Ekv 6) korrelerar med DON-halt visas i Fig. 4. De övriga indexen (ekv 2-5) gav liknande svaga korrelationer.

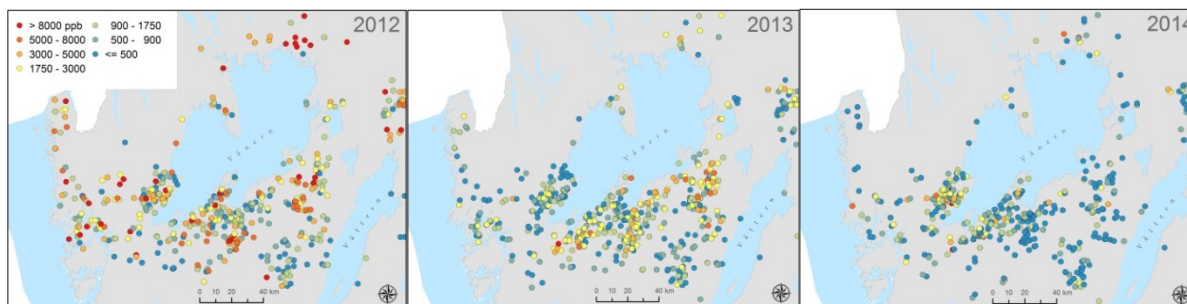


Figur 4. Observerad DON halt i havre (Belinda) i Bjertorp, Hjärtungen, Nybble och Ås 2012-2014 plottad mot beräknat ackumulerat TOX-index för respektive plats och år. Till vänster: Beräkning med originalmodellen för vårvete enligt Del Ponte et al (2005). Till höger: Motsvarande beräkning med parametervärden kalibrerade mot observationer i havre i Delstudie 1.

3.3. Delstudie 3 (Griddanalyser)

3.3.1. DON-analyser från leveranser till Lantmännen

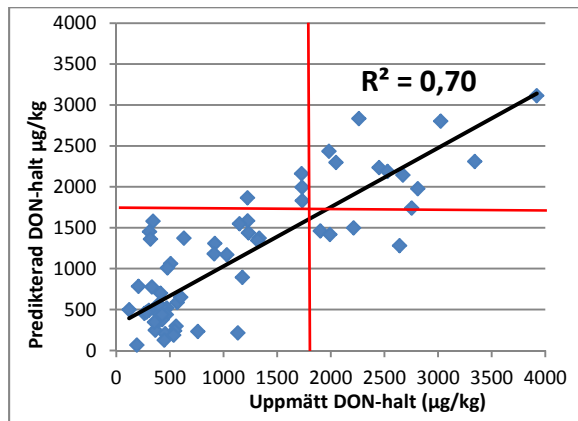
DON-halternas geografiska fördelning varierade något mellan åren. Särskilt tydligt var att halterna generellt var högre 2012 än de följande åren och att halterna i Dalsland var högre 2014 än 2013 (Fig. 5).



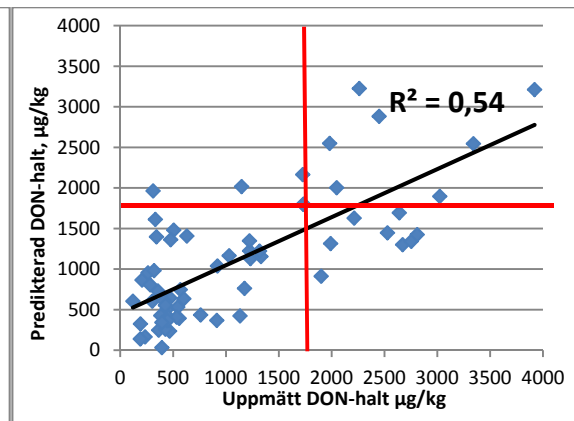
Figur 5. Geografisk fördelning av DON-halter i enskilda inleveranser av havre till Lantmännen under åren 2012-2014.

Vid korsvalidering kunde DON predikteras tämligen väl då data från samtliga tre år utvärderades tillsammans (Figur 6). Vid bearbetning av data från varje år för sig blev resultaten något bättre, (r^2 -mellan 0,72 och 0,75). Standardavvikelsen (SECV) för prediktionerna var då alla åren bearbetades tillsammans 522 $\mu\text{g}/\text{kg}$ och ungefär densamma då enskilda år bearbetats var för sig. Risken för att värden i en viss ruta skall hamna över eller under gränsvärdet för havre som livsmedelsråvara (1750 $\mu\text{g}/\text{kg}$) bedömdes fel i 8 av de 63 ingående rutorna, 13 % (Figur 6). De fördelades lika mellan falska positiva: (modellen angav felaktigt ett värde över gränsvärdet 1750 $\mu\text{g}/\text{kg}$) och falska negativa (felaktigt värde under gränsvärdet), kvadrant 2 och 4 i figur 6 och 7. Vid prediktion med väderdata som samlats in fram till slutet av juni gav sämre prediktionsförmåga. Större delen av variationen mellan rutorna kunde förklaras med väderdata (Figur 7) och standardavvikelsen (SECV) var 647 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Vid bedömning av risken att hamna över eller under gränsvärdet på 1750 $\mu\text{g}/\text{kg}$ erhöles här fler

falska negativa prediktioner jämfört med då data samlades in fram till slutet av augusti, 8 mot 4, och totala antalet felklassificeringar ökade från 8 till 12 (19%, Figur 7).



Figur 6. Uppmätt och predikerad DON-halt i 63 gridrutor under åren 2012-2014. Väderdata mellan 1/4 och 28/8 använda.



Figur 7. Predikerad DON-halt i 63 gridrutor under åren 2012-2014. Väderdata mellan 1/4 och 28/6 använda.

När kalibrering gjordes på två av de tre åren och data från det tredje året lades i ett test-set, blev resultaten genomgående otillfredsställande (r^2 -värden mellan 0 och 0,40). Variabelreduktion med data från alla tre åren visade att man kunde uppnå lika bra resultat som med samtliga variabler genom att använda 5 variabler (nederbörd i slutet av juli och första halvan av augusti och vindriktning i början av april, början av juni och slutet av augusti) vid prediktion av DON med väderdata fram till 28/8. Vid prediktion av DON med väderdata fram till 28/6 erhöles lika bra modeller med endast 6 variabler: Nederbörd i slutet av april, slutet av maj och slutet av juni plus vindriktning i början av april, början av juni och slutet av juni.

4. Diskussion

Resultaten av blomningsanalyserna visar att havre blommar betydligt längre än vete (Del Ponte et al 2005). En jämförelse med tidigare bestämningar av blomning i havre i fält är svår eftersom dessa antingen har använt grövre kriterier såsom 50 % synliga vippor (Tekle et al 2012) eller inte har registrerat blomningens längd (Rajala & Peltonen-Sanio 2011). Att prediktionen av DON inte förbättrades när fenologiparametrar i modellen från Del Ponte et al (2005) anpassades till havre tyder på andra orsaker än en inkorrekt blomningsbedömning till den låga prediktionsförmågan. Vid de låga DON-halterna i försöken kan osäkerheter i analyserna vara en betydande felkälla. Prediktionsmodellen förutsätter en förekomst av Fusarium-källa i närheten av fältet. Alltså skulle också avsaknad av Fusarium sporer kunna vara en orsak till skillnader i TOX-index mellan försök med försumbara skillnader i DON-halt. En tredje möjlig felkälla till modellen är att icke-representativa väderdata har används på grund av avvikelser mellan vädret vid väderstationen och försöksfältet. I synnerhet nederbörd och luftfuktighet, för vilka modellen är känslig, varierar kraftigt lokalt. Vilken betydelse detta har haft för beräkningarna av DON-halter är dock inte vidare utrett. Markgren (2013) kunde efter ändringar i beräkningarna av bladfukt, som utgör en förutsättning för infektion i Del Pontes et al (2005) modell, prediktera bladfuktsregistreringar i Norge väl. Prediktionerna av DON i havreleveranser till spannmålmottagare i Norge var dock låga både när Del Pontes et al (2005) modell för bladfukt och när den modifierade modellen användes (Markgren 2013). Avstånden mellan fält och väderstation var i många fall långa även i Markgrens (2013) studie. Statistisk modellering av DON i havre som levererats in till Lantmännen visar att det är möjligt att erhålla relativt bra modeller som beskriver huvuddelen av variationerna i DON-halter. Resultaten är jämförbara med utländska studier

som även inkluderat utvecklingsstadier hos grödan (Schaafsma & Hooker 2007, Musa et al 2007) och agronomiska data (Musa et al 2007). Vår modell tycks endast fungera för större sammanhängande områden med höga respektive låga DON-halter. Det borde alltså finnas en potential att ytterligare förbättra prediktionerna genom att addera agronomiska data och att korrelera väderdata till utvecklingsstadier. Det är sannolikt också så att det behövs data för fler år för att kunna göra goda förutsägelser för ett år som inte varit med vid uppbyggnad av kalibreringen. I exempelvis Canada har data ackumulerats under en lång följd av år (Schaafsma & Hooker 2007). Liksom Hjelkrem et al (2015) noterar vi att nederbörd vid blomning och då skörden närmar sig är viktiga variabler för att förklara skillnader i DON-nivåer, men vi noterar även att vindriktningen har betydelse och att denna ger annan information än nederbördsdata.

Vid tillämpning av modellering i praktisk odling bör DON-halterna vid skörd förutsägas utifrån data som är kända eller kan predikteras, och de ekvationer som finns i modellen. Hur väl dessa ekvationer återspeglar de ekofysiologiska funktioner som i kombination med odlingsmetoder styr förekomst av smitta, växtens mottaglighet av en Fusarium infektion och utvecklingen av DON-halter behöver utredas vidare. Det finns ett behov av att vidare utreda hur väl mekanistiska och statistiska metoder kan kombineras för att prediktera DON-halter i praktisk odling.

5. Resultatförmedling och publicering

Resultaten har redovisats i form av Poster vid 12:th European Fusarium Seminar, Bordeaux, Frankrike, 12-16 maj 2013 och som föredrag vid Nordic Baltic Fusarium Seminar i Helsingfors, 18-19 november 2014.

6. Slutsatser

- 1) Daggrader lämpar sig väl för att beräkna när havren går i vippa och därmed när blomningsperioden börjar.
- 2) Perioden med infektionskänslig vävnad vid havrens blomning pågår enligt våra mätningar under en längre period än vad man haft kunskap om tidigare (Nästan fyra veckor för havre, jämfört med en halv vecka för vete).
- 3) Statistiska vädermodeller visade sig kunna prediktera medelvärden för DON i mogen havre områdesvis i Västsverige med relativt god precision. Prognoserna blev bättre om man tog med data ända fram till skörd, men huvuddelen av variationen kunde förklaras redan i början av juli. Dock tycks materialet vara otillräckligt än så länge för att man på ett tillfredsställande sätt skall kunna göra prognoser för innevarande året, där man ännu inte har med data i kalibreringen.

6. Erkännanden

Vi tackar Mats Söderström och Torbjörn Leuchovius, SLU, för bidrag med väderdata och GIS-bearbetning; Maria Kedmark (SLU) för noggranna blomningsobservationer och Ingemar Gruvaeus för framtagning av PM. HS Skaraborg tackas för arbetet med försöksutlägg i Mellerud och i Bjertorp och Linnea Aronsson och Jenny Dahlin för arbetet med provtagning av vippor på dessa platser. Bioforsk och HS Örebro tackas för utlägggen av försöken och vipp-provtagning i Ås respektive Nybble. Joel Markgren (examensarbetare, SLU) tackas för hans bidrag till modelleringsarbetet.

7. Referenser

Del Ponte, E.M., Fernandes, J.M.C., Pavan, V., 2005. A Risk Infection Simulation Model for Fusarium Head Blight of Wheat. *Fitopatologia Brasileira* 30, 634-642.

- Fredlund, E., Gidlund, A., Sulyok, M., Börjesson, T., Krska, R., Olsen, M. and Lindblad, M. 2013. Deoxynivalenol and other selected Fusarium toxins in Swedish oats – Occurrence and correlation to specific Fusarium species. *Int. J. Food Microbiology*.
- Hietaniemi, V., Kontturi, M., Rämö, S., Euroola, M., Kangas, A., Niskanen, M. & Saastamoinen, M. 2004. Contents of trichothecenes in oats during official variety, organic cultivation and nitrogen fertilization trials in Finland. *Agr. Food Sci.* 13, 54-67.
- Hjelkrem, A.G.R., Torp, T., Strand, E., Brodal, G., Aamot, H.U., Nordskog, B., Dill-Macky, R., Edwards, S.G., Hofgaard, I.S. 2015. DON content in oats related to weather conditions at different growth stages. Submitted for publication in *Toxins*.
- Koch, H-J., Pringas, C. & Maerlaender, B. 2006. Evaluation of environmental and management effects on Fusarium head blight infection on deoxynivalenol concentration in the grain of winter wheat. *Europ. J. Agron.* 24, 357-366.
- Langseth, W. & Elen, O. 1997. The occurrence of deoxynivalenol in Norwegian cereals- differences between years and districts, 1988-1996. *Acta Agr. Scand., Sect. B _ Soil and Plant Sci.* 47 (3), 176-184.
- Lindblad, M., Börjesson, T., Hietaniemi, V & Elen O. 2012. Statistical analysis of agronomical factors and weather conditions influencing deoxynivalenol levels in oats in Scandinavia. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29 (10) 1566-1571.
- Markgren J. 2013. Deoxynivalenol prediction in oats (Deoxynivalenol prediktering i havre) Swedish University of Agricultural Sciences (Sveriges lantbruksuniversitet) (<http://stud.epsilon.slu.se>)
- Martens, M., & Martens, H. (1986). Partial least squares regression. In J. R. Piggott (Ed.) *Statistical procedures in food research* (pp. 3-31). Oxford, UK: BIOS. Scientific Publishers.
- Martens, H., & Naes, T. (1989). *Multivariate calibration*. Chichester, UK: John Wiley & Sons,.
- Musa, T., Hecker, A., Vogelgsang, S. & Forrer, H.R. 2007. Forecasting of Fusarium head blight and deoxynivalenol content in winter wheat with FusaProg. *EPPO Bulletin* 37, 283-289.
- De Wolf, E.D., Madden, L.V. & Lipps, P.E. 2003. Risk assessment models for wheat Fusarium head blight epidemics based on within-season weather data. *Phytopathology* 93 (4), 428-435.
- Schaafsma, A.W. & Hooker, D.D. 2007. Climatic models to predict occurrence of Fusarium toxins in wheat and maize. *Int. J. Food Microbiol.* 119, 116-125.
- Tekle, S., Dill-Macky, R., Skinnes, H., Tronsmo, A.M. & Björnstad, Å. 2012. Infection process of *Fusarium graminearum* in oats. *Eur. J. Plant Pathol.* 132, 431-442.
- Rajala, A., Peltonen-Sainio, P., 2011. Pollination dynamics, grain weight and grain cell number within the inflorescence and spikelet in oat and wheat. *Agricultural Sciences* 2, 283-290.
- Rossi, V., Giosue, S., Patteri, E., Spanna, F., Del Vecchio, A., 2003. A model estimating the risk of Fusarium head blight on wheat. *Bulletin OEPP/EPPO* 33, 421-425.
- Rossi, V., Giosuè, S., Terzi, V., Scudellari, D., 2007. A decision support system for Fusarium head blight on small grain cereals. *Bulletin OEPP/EPPO* 37, 359–367.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14, 415-421.
- White, E, 1995. Structure and development of oats, Kap 4. s 88-119 i *The Oat Crop*. Ed. Welch, R. W. Chapman and Hall, London, UK)