



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och
lantbruksvetenskap

Inokulummängdens betydelse för utveckling av vetets stråbasröta orsakad *Fusarium graminearum*

– Utvärdering av ett biotest

The significance of the amount of inoculum for the
development of fusarium foot rot of wheat caused by
Fusarium graminearum

– Assessment of a bioassay

Erik Bertholtz

Institutionen för skoglig mykologi och patologi
Självständigt arbete • 15 hp • Grundnivå, G1E
Mark/växt-agronom
Uppsala 2013

Inokulummängdens betydelse för utveckling av vetets stråbasröta

orsakad *Fusarium graminearum*

The significance of the amount of inoculum for the development of fusarium foot rot of wheat caused by Fusarium graminearum

Erik Bertholtz

Handledare: Hanna Friberg, Sveriges Lantbruksuniversitet,
Institutionen för skoglig mykologi och patologi

Examinator: Paula Persson, Sveriges Lantbruksuniversitet,
Institutionen för växtproduktionsekologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G1E

Kurstitel: Självständigt arbete i biologi - kandidatarbete

Kurskod: EX0689

Program/utbildning: Mark/växt-agronom

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2013

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

Nyckelord: *Fusarium graminearum*, biotest, stråbasröta, vete

Abstract

Fusarium graminearum is one of the most important pathogens on cereals and causes major crop losses around the world. The most cultivated cereal in Sweden is winter wheat. *F. graminearum* produces both sexual and asexual spores for dispersal. Multiple factors affect the production of these spores. Fusarium foot rot caused by *Fusarium* species is a disease of economical importance which can give crop yield losses between 35 % up to 61 %. In this trial a bioassay has been evaluated for the relation between dose and disease development by fusarium foot rot caused by *F. graminearum*. Disease index indicated a distinct trend with increasing symptom development with increasing conidia concentration while the dry weight matter result did not indicate a similar distinct trend. The bioassay gives a relatively quick result and is easy to execute. For a clearer result, more plants per concentration group should be used and a blind test should be used during the reading of symptoms.

Sammanfattning

Fusarium graminearum är en av de viktigaste patogenerna på stråsåd och orsakar stora förluster i skörd över hela världen. Den mest odlade stråsåden i Sverige är höstvet. *F. graminearum* producerar både sexuella och asexuella sporer för spridning. Flera faktorer påverkar produktionen av dessa sporer. Stråbasröta orsakad av *Fusarium*-släktet är en ekonomiskt viktig sjukdom som kan ge avkastningsförluster på mellan 35 % och 61 %. I detta försök har ett biotest utvärderats för förhållandet mellan inokulummängd och sjukdomsutveckling hos stråbasröta orsakad av *F. graminearum*. Sjukdomsindex visade på en tydlig trend med ökande symptom med ökad konidiekoncentration medan torrviktsresultatet inte uppvisade en lika tydlig trend. Biotestet ger ett relativt snabbt resultat och är enkelt att utföra. För säkrare resultat bör antalet plantor per koncentrationsgrupp utökas. Dessutom bör symptomsavläsning ske med ett blindtest.

Inledning

Fusarium graminearum är en av de viktigaste patogenerna på stråsäd och orsakar stora förluster i skörd över hela världen. *Fusarium*-patogener orsakar flera olika sjukdomar på vete och andra stråsädesgrödor bland annat stråbasröta/rotröta och axfusarios. Sjukdomarna kan orsakas av samma arter inom *Fusarium* ofta flera arter tillsammans i så kallade komplex (Bottalico, 1998; Tunalı *et al.*, 2012).

Höstvete är den mest odlade stråsäden i Sverige (SCB, 2013) och vete en av de mest odlade i världen. Kunskap om patogener som påverkar veteodling är därför av stor vikt.

Det finns ett behov av biotest för att undersöka faktorer som påverkar utveckling av stråbasröta hos vete orsakad av *F. graminearum*. Andra liknande biotest finns som är utformade med inokulum på gräsfrö och andra organiska material, t ex Hutzenlaub (2010), men dessa material kan i sig hämma utvecklingen av sjukdomen och det är även svårt att kvantifiera mängden patogen som tillförs. Initieringen av detta arbete grundar sig på att skapa ett biotest som undviker detta tillvägagångssätt.

För att utforma och utvärdera ett biotest av detta slag behövs bra bakgrundsinformation om hur patogenen beter sig.

Litteraturgenomgång

Fusarium spp.

Fusarium-släktet tillhör divisionen ascomycota och är allmänt förekommande i jord, växtrester, levande över- och underjordiska växtdelar och annat organiskt material. De är vanliga i brukade jordar men sällsynta i skogsmark (Nelson *et al.*, 1994).

Utöver att de orsakar stora skördeförluster producerar flera *Fusarium*-arter ett antal olika mykotoxiner, t. ex. deoxynivalenol (vomitoxin) och zearalenon. Båda dessa mykotoxiner produceras bland annat av *Fusarium graminearum* (Agrios, 2005). De vanligast förekommande mykotoxinerna analyserade från axfusarios hos vete i Europa är deoxynivalenol och zearalenon (Bottalico, 1998).

F. culmorum, *F. graminearum* och *F. pseudograminearum* är de patogener som är mest aggressiva på stråbas- och rotvävna på vete (Dyer *et al.*, 2009). Detta arbete fokuserar på studier av *F. graminearum*.

Temperatur och fuktighet spelar en stor roll för patogener i *Fusarium*-släktets utveckling, infektion och kolonisering av stråsäd (Doohan *et al.*, 2003).

Fusarium graminearum

Den växtpatogen som är huvudorsaken till axfusarios hos vete i världen är *Fusarium graminearum*, (teleomorf *Gibberella zae*). Den orsakar stora ekonomiska förluster bland annat genom låg grobarhet hos frön, skadad växtvävna och lägre produktion (Sella *et al.*, 2013). Patogenen infekterar

värdväxten via naturliga öppningar eller genom penetration av epidermiscellväggar. Väl inne i axet, i värdväxtens vävnad, växer svamphyferna intra- och intercellulärt och sprids systemiskt (Sella *et al.*, 2013).

F. graminearum producerar både sexuella (ascosporer) och asexuella sporer (makrokonidier) för spridning (Beyer *et al.*, 2004). Makrokonidierna produceras från sporodochier och kan spridas med vattenstänk från regndroppar. Ascosporer produceras från peritechier och sprids med vind (Beyer *et al.*, 2004; Nelson *et al.*, 1994). Studier visar att faktorer som pH och kyla påverkar sporens överlevnad och groningen. En studie gjord av Beyer & Verreet (2005) visar på att ascosporer förlorar sin livsduglighet efter cirka 21 dagar. Samma studie visar också på att pH påverkar groningen av ascosporer. Tiden för groningen av 50 % av sporena blev kortare när pH ökade mellan 2,5 till 3,5 och längre när pH ökades ytterligare från 3,5 till 6,5. En annan studie *in vitro* visade att en groningen av makrokonidier nästan var 100 % av ett pH mellan 3 till 7 oavsett mörker eller ljus och mellan 4-20 °C (Beyer *et al.*, 2004). Denna studie visar också på en negativ korrelation mellan svampens tillväxt och antalet händelser med nedfrysning när det gäller makrokonidier som inte grott. Detta ger en indikation på att inokulum i fält inhiberas under vinterhalvåret i Centraleuropiskt klimat men om makrokonidierna redan har grott och groddslangarna har bildats noteras ingen effekt på tillväxten av frost.

En studie visar på en optimal temperatur för högsta frigöring av ascosporer på 16,6 °C och ett samband mellan temperatur och produktion av perithecier inom intervallet 15,3-28,5 °C (Tschanz *et al.*, 1976). Ett nyare försök visade liknande resultat på temperaturintervallet för produktion av perithecier (Dufault *et al.*, 2006).

I de flesta försök används makrokonidier som inokulum då de lättare kan produceras i laboratoriet än ascosporer (Beyer *et al.*, 2004).

Försök utförda av Fernandez & Chen (2005) visar tecken på att växtdelar under och vid markytan kan vara en inokulumkälla för framtida infektioner av stråsådesplantor och orsak till axfusarios.

Stråbasröta

En ekonomiskt viktig sjukdom orsakad av *Fusarium*-släktet är stråbasröta (Mitter *et al.*, 2006). Stråbasröta återfinns i de flesta länder i världen som producerar stråsåd, till exempel i Australien, Nordamerika, Syd- och Nordafrika, Europa och Västra Asien (Smiley *et al.*, 2005). Studier från USA visar att stråbasröta kan orsaka stora avkastningsförluster, mellan 35% och 61% (Smiley *et al.*, 2005).

Symptom som visar på stråbasröta är enligt Goulds & Polley (1990) antingen bruna, elongerade fläckar utan uttalad mittpunkt eller en brunvattning till mörkbrun missfärgning av vävnad längs stråbasinternoderna.

Fusarium graminearum kan klassas som en hemibiotrofisk växtpatogen som vid infektion av stråbasen först har en lång symptomfri period. Därefter ökar patogenen kraftigt i biomassa samt orsakar en stor vävnadsnekros vid infektion (Stephens *et al.*, 2008; Kazan *et al.*, 2012). Stephens *et al.* (2008) talar om tre faser av infektion till stråbasröta av *F. graminearum*. Under första fasen, som

varar två dagar efter inokulering, ökar biomassan av patogenen avsevärt. Detta beror på att sporerne gror och en ytlig tillväxt av hyferna sker på bladslidan. Under fas två sker en minskning av biomassan under två veckor. Minskningen anses bero på att endast ett få groddslangar lyckas penetrera bladslidevävnaden medan hyferna på ytan förbrukade all näring och sedan försvinna. Fas tre visar en ökning av biomassa åter igen.

Den viktigaste inokulumkällan för stråbasröta tros vara stubb som infekterats föregående år som sedan kommer i kontakt med vete under nästa växtsäsong (Stephens *et al.*, 2008).

Väderfaktorerna är mycket viktiga för hur svårt ett angrepp av stråbasröta blir. En torr och varm miljö gynnar utvecklingen av sjukdomen (Mitter *et al.*, 2006). Dock har det visat sig att stråbasröta kan orsaka allvarliga skador även under väldigt blöta säsonger (Smiley, 1996).

Enligt (Doohan *et al.*, 2003) blir stråsådesgrödor mer mottagliga för stråbasröta under perioder med torrt väder och temperaturer över 16 °C.

Försök från USA och Australien visar att inokulering med patogenens ascosporer överlag utvecklar en mindre allvarlig stråbasröta än inokulering av makrokonidier (Mitter *et al.*, 2006).

Hämmande effekter från mark och markyta

Växtrester som återfinns på markytan bryts ner långsammare än nedgrävda rester. Detta gynnar överlevnaden hos *G. zeae* under en längre tid (Pereyra *et al.*, 2004).

F. graminearum växer snabbt när färskt växtmaterial är tillgängligt, men på längre sikt verkar den vara en dålig konkurrent med andra mikroorganismer inklusive egna arter inom *Fusarium*-släktet (Leplat *et al.*, 2013).

Andra faktorer i jorden som pH kan spela in på överlevnaden hos *F. graminearum*. Försök har visat ett negativt samband mellan pH, mellan 4,4 och 6,4 och mängden stråbasröta, men om detta beror på *F. graminearum* är mer aggressiv under dessa förhållanden eller om dess saprotrofiska förmåga är bättre i surare jordar är oklart (Leplat *et al.*, 2013).

Vilken typ av sporer som produceras beror bland annat på vilken nedbrytningsfas växtresterna befinner sig i. Vid tidig nedbrytningsfas produceras makrokonidier medan perithecieproduktion sker både då och senare. En hög C/N-kvot ger en kortare saprotrofisk utveckling innan perithecieproduktion medan en låg C/N-kvot och näringsrika växtrester ger en längre saprotrofisk utveckling och därmed mer tid för tillväxt (Leplat *et al.*, 2013).

När det gäller hämning av sjukdomsutveckling finns ett antal studier. I Knudsen *et al.*, (1999) studie visades det att bearbetning av jorden och jordens lerinnehåll spelade större roll ur sjukdomshämningssynvinkel än vad jordens mikrobiella aktivitet och biomassa gjorde. Det finns dock även mikrobiella antagonister mot arter inom *Fusarium*-släktet som är av betydelse. En studie visar till exempel att vissa bakterier inom Pseudomonadaceae kan inhibera

Fusarium spp. tillväxt genom att producera svampdödande antibiotikum i växtens rhizosfär (Pal *et al.*, 2001).

Syfte

Syftet med försöket i detta examensarbete var att förstå förhållandet mellan inokulummängd av *Fusarium graminearum* och sjukdomsutveckling av stråbasröta i vete. Detta gjordes genom att utveckla ett biotest. I detta arbete provas biotestet och resultatet utvärderades för att se om det kan tillämpas i framtida studier.

Material och metoder

Makrokonidier från tre olika isolat, VPE 105, Fg 23 och Fg 15, användes i försöket. Fg 23 och Fg 15 är isolerade från höstvetet medan VPE 105 härstammar från antingen höst- eller vårvete. Konidierna producerades och tillväxte på agarplattor. Dessa späddes till samma koncentration sporer i varje rör (Tabell 1). De tre proverna blandades till en volym av 1055 µl. En ny volym beräknades för VPE 105 då koncentrationen från början var lägre än i Fs 23 och Fg 15.

Tabell 1. Konidiekoncentrationer innan och efter spädning samt volym.

Sporer från stam	Koncentration spädning (antal/mL)	innan	Koncentration spädning (antal/mL)	efter	Volym (µl)
VPE 105	115 000		125 000		375
Fg 23	125 000		125 000		340
Fg 15	125 000		125 000		340
Summa					1055

Den slutgiltiga koncentrationen beräknades med hjälp av en Bürkerkammare. Där blev antalet cirka $2 * 10^5$ sporer/mL. En spädningsserie utfördes enligt tabell 2.

Tabell 2. Konidiekoncentrationer i slutgiltiga lösningen.

Koncentration (sporer/mL)
$2 * 10^5$
$2 * 10^4$
$2 * 10^3$
$2 * 10^2$
$2 * 10^1$
0 (kontroll)

Biotest

Tillvägagångssättet vid biotestet var modifierad efter Hutzenlaubs (2010) försök fast med konidielösning istället för inokulum producerat på sterila gräsfrön och med en mottagligare sort av höstvetet (Oakley) istället för den mer toleranta sorten Olivin. Sorten Oakley har även mindre antocyanfärgning vilket underlättar avläsningen. Frömaterialen kom från SW Seed (Lantmännen Lantbruk). Ett pluggbrätte med 96 brunnar med volymen 75 cm³ användes och varje håll i botten av brunnarna täcktes med en bit papper. Brunnarna fylldes

med 30 mL Vermikulit® och 15 mL fältjord. Fröet placerades på ytan av jorden i varje brunn och 200 µL konidielösning droppades på fröna. Åtta frön per sporkoncentration, användes i försöket. Sedan täcktes fröna med 7,5 mL kalcinerad lera (Ikasorb® 1030). Plantorna vattnades varannan dag med vanligt, ogödslat kranvatten. Plantornas uppkomst kontrollerades vartefter försöket fortlöpte.

Efter fem veckor togs plantorna upp för analys. Jorden tvättades av med vatten och växterna sorterades efter koncentrationsgrupp. Sjukdomssymptomen bedömdes med hjälp av en skala med 5 symptomkategorier lik den som användes i Hutzenlaubs (2010) försök (Tabell 3).

Tabell 3. Symptomförklaring och motsvarande gradering.

Symptomsgradering	Symptom
0	Frisk planta
1	Lätt missfärgning på stråbas och rötter
2	Medelsvår missfärgning på stråbas och rötter
3	Svår missfärgning på stråbas och rötter
4	Plantan växte med klart retarderad tillväxt och dog under 5-veckorsperioden
5	Plantan dog innan uppkomst, troligen orsakat av <i>F. graminearum</i>

De ovanjordiska växtdelarna klipptes loss från rötterna och lades i aluminiumlådor för torkning i torkskåp i 55 °C. Växterna vägdes inte individuellt utan sorterades efter koncentrationsnivåer. Efter 3 dagar vägdes växtdelarna. Varje låda vägdes med de torkade växtdelarna i och sedan vägdes lådan tom.

Medelvärden och standardavvikelser beräknades med Microsoft Excel från sjukdomsklassningen för utveckling av stråbasröta hos växter inom respektive koncentrationsgrupp.

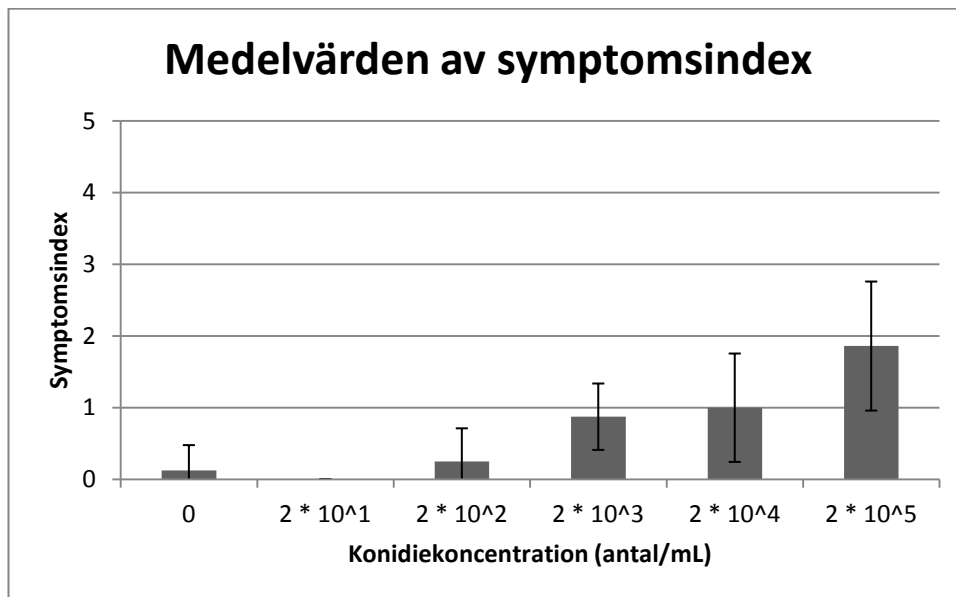
Resultat

Symptomen avlästes från stråbasen och rötterna närmast fröet och graderades utifrån symptomsgraderingen (Tabell 4).

Tabell 4. Symptomsgraderingar från samtliga koncentrationsgrupper.

Växt nr.	0 (kontroll) /mL	2 * 10 ¹ /mL	2 * 10 ² /mL	2 * 10 ³ /mL	2 * 10 ⁴ /mL	2 * 10 ⁵ /mL
1.	0	-	1	1	1	1
2.	1	0	0	0	0	3
3.	0	0	0	1	0	1
4.	0	0	0	1	1	-
5.	0	0	0	1	2	3
6.	0	0	0	1	2	2
7.	0	0	0	1	1	2
8.	0	0	1	1	1	1

Ett medelvärde av symtomsgraderingarna inom varje koncentrationsgrupp beräknades samt standardavvikelser.

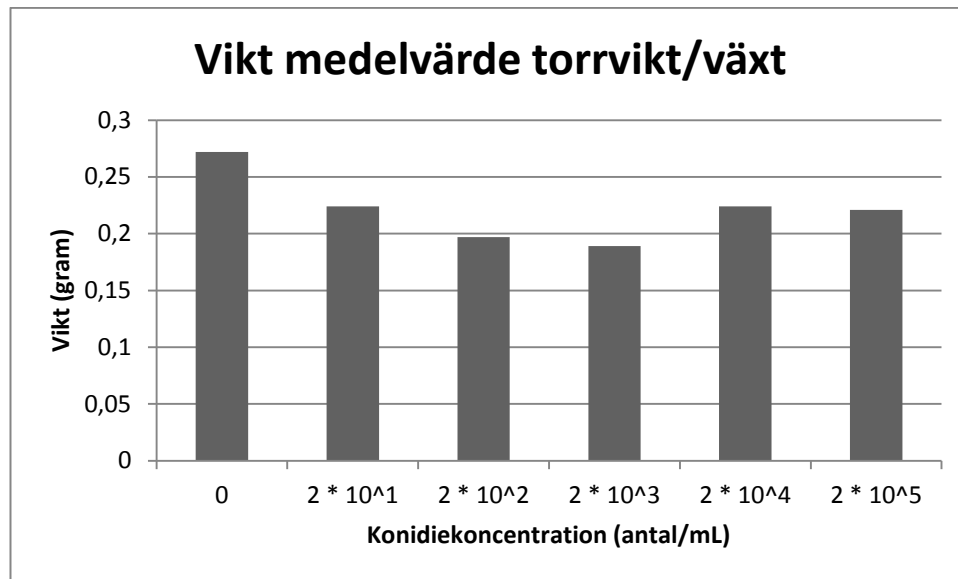


Figur 1. Medelvärden av symtomsindex för de olika koncentrationsnivåerna (medel±standardavvikelse, n=8).

Figur 1 visar hur symptomen ökar med ökad konidiekoncentration. Gruppen med högsta konidiekoncentration fick högsta medelvärde och symptomen ökade med konidiekoncentrationen.

Tabell 5. Koncentrationsgrupper och deras motsvarande torrsvikt på ovanjordiska växtrester.

Koncentrationsgrupp	Torrsvikt växtrester (gram)	Torrsvikt medelvärde per planta (gram)
0	2,17	0,27
$2 \cdot 10^1$	1,56	0,22
$2 \cdot 10^2$	1,57	0,20
$2 \cdot 10^3$	1,51	0,19
$2 \cdot 10^4$	1,80	0,22
$2 \cdot 10^5$	1,55	0,22



Figur 2. Torrsvikt (medelvärde per planta) från de olika koncentrationsgrupperna.

Kontrollen hade störst torrsvikt (medelvärde per planta) och $2 \cdot 10^3$ hade lägst uppmätt vikt. Alla skott från en koncentration vägdes tillsammans och det är därför det inte finns någon variation.

Diskussion

Denna studie utvärderar ett biotest för förhållandet mellan inokulumdos och respons i form av sjukdomsutveckling av stråbasröta orsakad av *F. graminearum*. Många tidigare beskrivna biotest har gjorts med inokulum från gräsfrön istället för konidiesuspension.

Från medelvärdena av symptomindex syntes en trend att ju högre koncentration desto fler plantor med symptom och med värre symptom. Inga plantor nådde de två högsta symptomnivåerna. Om testet utökades med ännu högre koncentrationsnivåer skulle symptomen troligen förvärras ytterligare och ge en tydligare trend.

Kontrollplantorna hade störst torrsvikt men ingen tydlig trend för minskning av torrsvikt ju högre koncentration syntes i försöket. Även här skulle en ökning av koncentrationsnivåer kunna ge en tydligare trend.

En möjlig felkälla var att under vecka 3 av försöksperioden drabbades plantorna av ett bladlusangrepp. Huruvida angreppen påverkat resultaten eller inte är inte undersökt. Bladlössen behövde inte i sig påverka resultatet direkt, men plantorna kan bli försvagade och då mer mottagliga för patogenen. Detta kan då ge missvisande resultat.

En växt ur kontrollgruppen visade symptom som liknade stråbasröta trots att inga konidier tillsatts i denna behandling. Detta kan ha flera orsaker. Utsädesburna sjukdomar kan ha funnits i de planterade kärnorna eller så kan andra jordburna patogener följt med jorden från fältet.

Två frön grodde inte alls. Detta berodde troligen på bristande grobarhet hos fröna och inte av patogenen då fröna inte visade antydan till att ha grott.

I Knudsen *et al.* (1999) försök använde de en metod där de dränkte fröna i konidiesuspension i 30 minuter innan de såddes. Detta gör det svårt att uttala sig om konidiekoncentrationen och att alla frön blir lika mycket smittade. I detta biotest droppades lösningen på fröna och sannolikheten att varje frö får lika stor koncentration vid behandlingen blir större.

Rekommendationer

Detta biotest ger ett relativt snabbt resultat och är enkelt att utföra. Förutom vattningen krävs inget annat underhåll under tillväxtperioden och det är billigt att genomföra.

En nackdel är att i detta test finns en naturlig variation mellan plantorna. Det går inte att förvänta sig att samma material ska ge samma resultat vid upprepad mätning som vid till exempel pH-mätning. För att få ett säkrare medelvärde skulle antalet plantor per koncentrationsnivå kunna ökas om ekonomin tillåter.

En annan nackdel med detta biotest är symptomsavläsningen. Då symptomen avläses och graderas okulärt av endast en person kan resultatet bli missvisande. Bedömningen blir subjektiv då plantorna låg uppdelade i respektive koncentrationsgrupp vid avläsningen. Detta skulle kunna förbättras med ett blindtest. Okulär avläsning med blindtest tar inte så mycket längre tid och behåller de andra fördelarna med detta biotest. För ett säkrare resultat skulle flera personer bedöma plantornas symptom och på så sätt få fram ett medelvärde av graderingarna.

Ytterligare en nackdel är att plantorna kan påverkas av andra faktorer under tillväxten på 5 veckor.

En fördel med konidiesuspension är att det går att bestämma det exakta antalet konidier som finns. Dock går det inte att se hur många av dessa som är livskraftiga. Om konidierna sprids ut på en agarplatta går det att kontrollera hur många som lever och på så vis minska detta problem.

De största nackdelarna beror på själva analysen av resultaten. Om detta förbättras är biotestet en bra, billig och relativt snabb metod.

Litteraturförteckning

- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. 5th ed. Amsterdam ; Boston: Elsevier Academic Press. ISBN 0120445654.
- Beyer, M., Röding, S., Ludewig, A. & Verreet, J.-A. (2004). Germination and Survival of *Fusarium graminearum* Macroconidia as Affected by Environmental Factors. *Journal of Phytopathology* 152(2), 92–97.
- Beyer, M. & Verreet, J.-A. (2005). Germination of *Gibberella zeae* ascospores as affected by age of spores after discharge and environmental factors. *European Journal of Plant Pathology* 111(4), 381–389.
- Bottalico, A. (1998). Fusarium diseases of cereals: species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. *Journal of Plant Pathology* 80(2), 85–103.
- 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(7), 755–768.
- Dufault, N. S., De Wolf, E. D., Lipps, P. E. & Madden, L. V. (2006). Role of temperature and moisture in the production and maturation of *Gibberella zeae* perithecia. *Plant disease* 90(5), 637–644.
- Dyer, A. T., Johnston, R. H., Hogg, A. C. & Johnston, J. A. (2009). Comparison of pathogenicity of the Fusarium crown rot (FCR) complex (*F. culmorum*, *F. pseudograminearum* and *F. graminearum*) on hard red spring and durum wheat. *European Journal of Plant Pathology* 125(3), 387–395.
- Fernandez, M. R. & Chen, Y. (2005). Pathogenicity of Fusarium species on different plant parts of spring wheat under controlled conditions. *Plant Disease* 89(2), 164–169.
- Goulds, A. & Polley, R. W. (1990). Assessment of eyespot and other stem base diseases of winter wheat and winter barley. *Mycological Research* 94(6), 819–822.
- Hutzenlaub, N. (2010). Assessment of soil suppressiveness the system of fusarium foot rot on wheat. Masterarbete. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Kazan, K., Gardiner, D. M. & Manners, J. M. (2012). On the trail of a cereal killer: recent advances in *Fusarium graminearum* pathogenomics and host resistance. *Molecular Plant Pathology* 13(4), 399–413.
- Knudsen, I., Debosz, K., Hockenhull, J., Jensen, D. F. & Elmholt, S. (1999). Suppressiveness of organically and conventionally managed soils towards brown foot rot of barley. *Applied Soil Ecology* 12(1), 61–72.

- Leplat, J., Friberg, H., Abid, M. & Steinberg, C. (2013). Survival of *Fusarium graminearum*, the causal agent of Fusarium head blight. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33(1), 97–111.
- Mitter, V., Francl, L. J., Ali, S., Simpfendorfer, S. & Chakraborty, S. (2006). Ascosporic and conidial inoculum of *Gibberella zeae* play different roles in Fusarium head blight and crown rot of wheat in Australia and the USA. *Australasian Plant Pathology* 35(4), 441–452.
- Nelson, P. E., Dignani, M. C. & Anaissie, E. J. (1994). Taxonomy, biology, and clinical aspects of Fusarium species. *Clinical Microbiology Reviews* 7(4), 479.
- Pal, K. K., Tilak, K. V. B. R., Saxena, A. K., Dey, R. & Singh, C. S. (2001). Suppression of maize root diseases caused by *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium moniliforme* and *Fusarium graminearum* by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research* 156(3), 209–223.
- Pereyra, S. A., Dill-Macky, R. & Sims, A. L. (2004). Survival and inoculum production of *Gibberella zeae* in wheat residue. *Plant Disease* 88(7), 724–730.
- SCB (2013). *Skörd av spannmål, trindsäd, oljeväxter, potatis och slåttervall 2012. Slutlig statistik* [online]. Statistiska Centralbyrån.
- Sella, L., Gazzetti, K., Faoro, F., Odorizzi, S., D'Ovidio, R., Schäfer, W. & Favaron, F. (2013). A *Fusarium graminearum* xylanase expressed during wheat infection is a necrotizing factor but is not essential for virulence. *Plant Physiology and Biochemistry* 64, 1–10.
- Smiley, R. W. (1996). Pathogenic Fungi Associated with Fusarium Foot Rot of Winter Wheat in the Semiarid & Pacific Northwest. *Plant Disease* 80(8), 944.
- Smiley, R. W., Gourlie, J. A., Easley, S. A., Patterson, L.-M. & Whittaker, R. G. (2005). Crop damage estimates for crown rot of wheat and barley in the Pacific Northwest. *Plant Disease* 89(6), 595–604.
- Stephens, A. E., Gardiner, D. M., White, R. G., Munn, A. L. & Manners, J. M. (2008). Phases of infection and gene expression of *Fusarium graminearum* during crown rot disease of wheat. *Molecular plant-microbe interactions* 21(12), 1571–1581.
- Tschanz, A. T., Horst, R. K. & Nelson, P. E. (1976). The Effect of Environment on Sexual Reproduction of *Gibberella zeae*. *Mycologia* 68(2), 327–340.
- Tunali, B., Obanor, F., Erginbaş, G., Westcott, R. A., Nicol, J. & Chakraborty, S. (2012). Fitness of three Fusarium pathogens of wheat. *FEMS Microbiology Ecology* 81(3), 596–609.