

Hur odlingen styr molekylvikten hos β -glukan i havre

Syfte

Syftet med projektet är att identifiera odlingsmiljöns och sortens inverkan på molekylvikten hos β -glukan i havre. Styrning av molekylvikten ger ett ökat mervärde hos havren, genom att man kan välja att använda havre med hög molekylvikt hos β -glukanet till t ex funktionella livsmedel, och havre med låg molekylvikt hos β -glukanet till foder för enkelmagade djur.

Bakgrund

Ungefär 10 % av den havre som produceras i Sverige används idag som livsmedel. Det ger en humankonsumtionen på ca 1 kg per person och år. Intresset för att använda havre som livsmedelsråvara har dock ökat i och med att ett hälsopåstående för havre- β -glukan har blivit godkänt i både USA, Sverige och Storbritannien (Duss, 2004). De positiva hälsoeffekter av fullkorn som rapporterats (Richardson, 2003) har också bidragit till ett ökat intresse för havre som livsmedelsråvara. Hälsopåståndet bygger på havre- β -glukans kolesterolsänkande effekt, vilket kan minska risken för hjärt/kärlsjukdom. Dessutom har havre- β -glukan visats ha en insulin- och glukossänkande effekt, vilket kan minska risken för typ2-diabetes (Bourdon et al, 1999; Wood et al, 2000). Både kolesterolsänkning och insulin- och glukossänkning är kopplat till ökad viskositet av tarminnehållet (Story et al, 1979; Wood et al, 1994). Två viktiga faktorer som påverkar viskositeten är koncentrationen av β -glukan och molekylvikten hos β -glukan. Därför är dessa två faktorer viktiga för hälsoeffekterna (Wood et al, 1991).

I de flesta kliniska studier som visat att havre- β -glukan har en kolesterolsänkande effekt har havrekli, gröt, muffins eller frukostflingor använts som testlivsmedel. Oftast har hänsyn bara tagits till β -glukanhalten, och inte molekylvikten (Braaten, 1994; Kerckhoffs et al, 2002). I en studie där havre- β -glukan istället konsumerades i bröd, kunde man däremot inte se någon kolesterolsänkande effekt hos personer med måttligt förhöjd kolesterolhalt i blodet (Frank et al, 2004). I bröd är molekylvikten hos β -glukan låg, som ett resultat av nedbrytning under baktingsprocessen. Detta har visats i både havre- och kornbröd (Frank et al, 2004; Andersson et al, 2004; Åman et al, 2004), samt i knäckebröd med tillsatt havrekli (Andersson et al., 2008). Livsmedel med kort processtid, där de endogena enzymerna inte får lika lång tid att verka, som t ex havrekli, gröt, muffins och frukostflingor, är däremot produkter med bibehållen hög molekylvikt hos β -glukan (Åman et al, 2004). Resultaten visar att molekylvikten är viktig för den kolesterolsänkande effekten. Flera studier har också visat att den kolesterolsänkande effekten försvinner efter enzymatisk nedbrytning av β -glukan med β -glukanas (Bengtsson et al, 1990). För att undvika enzymatisk nedbrytning av β -glukan, som resulterar i låg molekylvikt, är det därför viktigt att ha låg enzymatisk aktivitet i råvaran. Resultaten från ett EU-projekt om β -glukan, med Gunilla Önning som koordinator, har visat att framrenat β -glukan med mycket låg molekylvikt också tycks kunna ge kolesterolsänkande effekt. Resultaten är dock omdiskuterade eftersom effekten var större vid en lägre dos (Biörklund et al., 2005).

Den totala produktionen av havre i Sverige idag är ca 1 000 000 ton, av vilket största delen används som foder. Vid användning av havre som foder till enkelmagade djur som kyckling och

gris är en låg β -glukanhalt och en låg molekylvikt hos β -glukan önskvärt. Detta leder till en ökad tillväxt och en förbättrad foderomvandlingsförmåga, vilket har visats genom försök med enzymsupplementering med specifika β -glukanaser (Pettersson & Åman, 1993). Idag är enzymsupplementering mycket vanlig i foder till slaktkyckling och gris. Om man skulle kunna minska användningen av enzymer i fodret genom att använda havre-råvara med låg molekylvikt hos β -glukan blir foderkostnaderna lägre.

De flesta studier av hur olika odlingsförutsättningar påverkar havre- β -glukan handlar om innehållet, och har utförts i fältförsök. Det har visats att β -glukan-innehållet kan variera två till tre gånger i olika havresorter (Peterson, 1992; Ajithkumar et al, 2005). En miljöfaktor som kan påverka innehållet av β -glukan och andra egenskaper hos havre är jordens kvävelevererande förmåga. Vissa studier har visat att β -glukanhalten i havre ökar med ökad kvävenivå (Baur and Geisler, 1996; Welch et al, 1991), medan andra studier inte har visat på någon signifikant effekt av kvävenivå på β -glukanhalt (Humphreys et al., 1994). Dessa motsägande resultat angående respons av β -glukan på gödslingstrategi har också visats av Weightman et al (2004). I en studie där kvävenivåns och jordtypens inverkan på β -glukanhalt har studerats, visades en samspelseffekt mellan kvävegiva och sort (Mannerstedt-Fogelfors et al., 2004). I fältförsök kan det vara svårt att hitta samband mellan kväveinnehåll i jorden och koncentration av vissa beståndsdelar i kärnan. Kvävetillgänglighet är korrelerat bl.a. till vattentillgänglighet, och detta påverkar resultaten i fältförsök.

Det är redan allmänt känt att β -glukanhalten påverkas av miljöfaktorer, men hur molekylvikten hos β -glukan påverkas är mycket lite studerat. En preliminär studie av Ajithkumar et al (2005) har visat att molekylvikten hos β -glukan verkar kontrolleras mer av miljöfaktorer än av genetiken, vilket kan ses som ett första steg inom detta viktiga område. Denna orienterande studie var dock inte designad för att undersöka odlingstekniken eller samspelet mellan sort och odlingsmiljö, utan bara för att studera skillnader mellan sorter och år. Studien visade på ett stort behov av att ytterligare undersöka hur molekylvikten hos β -glukan kan påverkas med hjälp av odlingsmetodiken.

Material och metoder

I projektet har vi fokuserat på sortens och odlingsmiljöns inverkan på β -glukanhalt och molekylvikt hos β -glukan i havre. Innehållet av β -glukan är av betydelse för den praktiska tillämpningen av slutsatserna, eftersom det påverkar utbytet av de efterfrågade molekylvikterna och därmed lönsamheten i produktionsledet.

Fältförsök

Fyra olika havresorter har samlats in från ordinarie sortförsök vid fyra olika platser i Sverige (Bålsta/Fransåker, Falköping, Vreta och Ödåkra/Åstorp) under tre år (pilotstudie 2006 + detta projekt 2007-2008). Efter första året (pilotstudien) flyttades två av fältförsöken (från Bålsta och Ödåkra till Fransåker och Åstorp), varför dessa platser skiljer sig åt något mellan åren. Upplägg och skötsel enligt Försökshandboken (www.ffe.slu.se). Prover har tagits från behandlat och obehandlat led, i två upprepningar, vilket blir totalt 64 prover per år. Före urval av aktuella sorter inför pilotprojektet gjordes en screening av sortmaterial från 2005 års sortförsök för att hitta

sorter med olika molekylvikt. Urvalet gjordes i samarbete med Rickard Jonsson, Svalöf Weibull AB samt Staffan Larsson, ansvarig för sortprovningen vid SLU.

Klimatet (nederbörd och temperatur) vid varje plats (jordmån) har registrerats med befintlig väderutrustning under växtsäsongen. Övriga uppgifter som utveckling hos plantan (axgång och mognad), skörd, kärnvikt, rymdvikt och proteinhalt har erhållits från sortprovningens data.

Analys

Totalt 64 prover per år har analyserats (fyra sorter vid fyra platser, behandlat och obehandlat led, samt två upprepningar). Alla prover har analyserats som duplikat i samtliga analyser. Före analys maldes representativa prover på en Tecator cyklon kvarn till 0,5 mm partikelstorlek.

Torrsubstanshalt (ts) bestämdes efter torkning i ugn vid 105°C i 16 timmar.

Medelmolekylvikten och molekylviktsfördelningen hos extraherat β -glukan analyserades med ett unikt HPSEC-system (High Performance Size Exclusion Chromatography) med fluorescence detektion (Rimsten et al, 2003). Analysen bygger på specifik bindning av det fluorescerande ämnet Calcofluor till β -glukan. Bindningen resulterar i en ökning av den fluorescerande intensiteten. Proverna behandlas först med 50% etanol för att inaktivera enzymer som kan bryta ner β -glukaner och därmed orsaka felaktiga resultat. β -Glukan extraheras sedan med kokande vatten och värmestabilt α -amylas, och separeras därefter med gelfiltrering (size-exclusion chromatography), för att slutligen blandas med Calcofluor. Komplexet som bildas av β -glukan och Calcofluor ger en ökning av den fluorescerande intensiteten som kan detekteras i en fluorescence-detektor. Närvaron av andra polysackarider stör inte detektionen, eftersom Calcofluor binder specifikt till β -glukan.

Innehåll av total β -glukanhalt analyserades enzymatiskt med Megazymes kit (Megazyme International Inc., Ireland) enligt AACC-metod 32-23 (AACC, 2000).

Statistiska analyser

Resultaten har utvärderats statistiskt med variansanalys (ANOVA, GLM-proceduren) i Minitab 15 (Minitab Inc, State College, PA), för att hitta skillnader mellan sorter, platser och år. Pearson's korrelationskoefficient räknades ut och signifikanstest för regressionsanalys utfördes också i Minitab 15, för att hitta eventuella samband mellan olika variabler.

Resultat och diskussion

Screening 2005 och pilotstudie 2006

Tretton sorter från ett sortförsök från Märsta 2005 analyserades med avseende på medelmolekylvikt hos β -glukan för att välja ut sorter med olika molekylvikt för vidare studier. Både pesticid-behandlade prover och obehandlade prover analyserades. Resultaten visade att de behandlade proverna hade signifikant högre medelmolekylvikt hos β -glukan än de obehandlade (201 och $187 \text{ g/mol} \times 10^4$) ($p < 0,001$), vilket tyder på att det går att påverka molekylvikten genom odlingsåtgärder. Sju sorter med olika molekylvikt hos β -glukan och fem platser i olika delar av Sverige valdes ut i samarbete med Staffan Larsson vid SLU och Rickard Jonsson vid Svalöf Weibull AB. Två av sorterna fanns bara att tillgå från tre platser, och en sort föll bort ur ett

försök. Proverna analyserades med avseende på molekylvikten hos β -glukan. Resultaten visade att det fanns en stark tendens till skillnader i molekylvikt mellan platser ($p=0,55$), och signifikanta skillnader mellan sorterna ($p<0,5$). Årsmånen påverkar både kvalitet och avkastning kraftigt varför det är riskabelt att dra slutsatser från endast en odlingsssäsong. Siffror från den officiella sortprovningen visar t ex att under en femårsperiod avkastade mätarsorten som lägst 5230 kg/ha och högst 7490 kg/ha. Pilotstudien visade på intressanta skillnader i materialet. Slutsatsen så långt var att medelmolekylvikten för β -glukan påverkas av både årsmån (200 och 191 g/mol $\times 10^4$ för 7 sorter odlade i Märsta/Bålsta 2005 och 2006), sort och odlingsförutsättningar. Potentialen är därför stor att enskilda faktorer inverkan på molekylvikten kan identifieras och därmed påverkas. En styrning mot olika molekylvikter bedömdes vara möjlig utifrån pilotstudien genom t ex sortval. För att ytterligare utvärdera möjligheten för lantbrukaren att producera en nischprodukt i form av högkvalitativ funktionell havre till livsmedelsindustrin fortsatte studien med fältförsök under ytterligare två säsonger.

Fältförsök 2006-2008

I resultaten ingår även pilotstudien från 2006. Fyra olika havresorter odlades på fyra olika platser i Sverige under tre år för att studera effekten av sort och miljö på β -glukanhalt och molekylvikt hos β -glukan. Skörd, tusenkornvikt (TKV) och proteinhalt studerades också. Väderdata från de olika åren och platserna presenteras i tabell 1. En första variansanalys av materialet visade att det inte fanns några signifikanta skillnader mellan obehandlade och behandlade prover eller mellan de två upprepningarna. Därför användes dessa fyra värden som replikat vilka användes i de fortsatta statistiska analyserna. Skörden varierade mellan 4500-9030 kg/ha och tkv mellan 28 och 46 mg för alla prover (Andersson & Börjesdotter, manuskript). Proteinhalten var 11,2-14% av ts, och β -glukanhalten varierade mellan 2,3 och 3,2% av ts (Andersson & Börjesdotter, manuskript). Molekylviktsfördelning hos β -glukan var unimodal för alla prover, vilket innebär att det endast fanns en population av β -glukaner. Medelmolekylvikten för proverna varierade mellan 173 och 202 $\times 10^4$ g/mol (Andersson & Börjesdotter, manuskript), vilket är något lägre än vad som rapporterats i tidigare studier på havre (Rimsten et al, 2003; Åman et al, 2004).

Effekt av årsmån

Det fanns en signifikant skillnad för skörd mellan år ($p<0,001$) med högre skörd 2007 än 2006 och 2008 (tabell 2). TKV var signifikant högre 2007 än 2006 ($p<0,01$), men lika som 2008 (tabell 2). Proteinhalten var signifikant lägre 2007 än 2006 och 2008 ($p<0,001$) (tabell 2). β -Glukanhalten var signifikant lägre 2008 än 2006 och 2007 ($p<0,01$) (tabell 2) men det var mycket liten skillnad mellan åren. Det fanns också en signifikant skillnad i medelmolekylvikt hos β -glukan mellan alla år ($p<0,001$), med högst molekylvikt 2006 och lägst 2008 (tabell 2).

Effekt av plats

Det fanns en signifikant skillnad i skörd mellan platser ($p<0,001$), med högst skörd i Vreta, lägre i Fransåker och Åstorp och lägst i Falköping (tabell 3). TKV varierade dock inte mellan platserna, och proteinhalten var bara något högre i Fransåker än på de andra platserna (tabell 2). β -Glukanhalten var signifikant högre i Fransåker än i Åstorp, men det var inga stora skillnader mellan platserna ($p=0,002$) (tabell 3). Medelmolekylvikten hos β -glukan varierade också mellan platser med högre molekylvikt i Vreta än på de andra platserna ($p<0,001$) (tabell 2).

Sorteffekt

Det fanns inga signifikanta skillnader i skörd mellan sorter (5850-6230 kg/ha) (tabell 4). TKV varierade däremot signifikant ($p < 0,001$) med högst TKV för Ivory och lägst för Aveny (tabell 3). Proteinhalten varierade också signifikant mellan sorter ($p = 0,003$), men det var små skillnader (tabell 4). β -Glukanhalten var signifikant lägre för Ivory än för de andra sorterna. Det fanns också signifikanta skillnader i medelmolekylvikt hos β -glukan för de olika sorterna ($p = 0,002$), med lägst molekylvikt för Ivory och högst för Aveny (tabell 4). Variationen var mindre mellan sorter än mellan olika platser och år, vilket bekräftar resultaten i studien av Ajithkumar et al. (2005) som tydde på att miljöfaktorer hade större betydelse för molekylvikten än genetiken.

Samband mellan variabler och miljöfaktorer

Den högre skörden och TKV 2007 kan bero på den höga nederbörden (tabell 1), som ger större kärnor med högre andel endosperm och högre stärkelsehalt. Detta förklarar också den lägre proteinhalten 2007. Det fanns en signifikant negativ korrelation mellan skörd och proteinhalt för alla prover ($p = 0,001$, $r = -0,35$). Nederbörden var lika hög 2008 som 2007 totalt, men 2008 regnade det mindre under försommaren, vilket kan vara orsak till att skörden ändå blev lägre detta år. 2006 var den totala nederbörden mycket lägre än 2007 (tabell 1). Det fanns också ett svagt positivt samband mellan TKV och temperatur från sådd till skörd ($p = 0,073$, $r = 0,71$). Temperaturen var högst 2007 och lägst 2006 (tabell 1).

Det fanns inga signifikanta samband mellan β -glukanhalt och temperatur i denna studie, vilket kan bero på att det inte var så stora skillnader i temperatur mellan olika platser och år. Tidigare studier har visat att β -glukanhalten ökar med ökad temperatur både i fältförsök (Oscarsson et al., 1998; Sastamoinen, 1995) och i växthusförsök (Anker-Nilssen et al., 2008). Det fanns inte heller något samband mellan total nederbörd och β -glukanhalt. Däremot fanns ett negativt samband mellan β -glukanhalt och nederbörd i augusti ($p = 0,021$, $r = -0,68$). Tidigare studier har visat att β -glukanhalten minskar med ökad bevattning (Güler, 2003). Resultaten visade också att det fanns ett samband mellan medelmolekylvikten hos β -glukan och nederbörd, med minskad molekylvikt vid högre total nederbörd från sådd till skörd ($p = 0,02$, $r = -0,69$), och med nederbördsmängd i augusti ($p < 0,001$, $r = -0,91$) (Figur 1). Det fanns dessutom ett signifikant samband mellan β -glukanhalt och medelmolekylvikt hos β -glukan ($p < 0,001$, $r = 0,46$). Den lägre molekylvikten vid ökad nederbörd skulle kunna bero på att enzymer (β -glukanaser) som bryter ned β -glukan aktiveras vid ökad vattenhalt i kärnan. Det fanns inget samband mellan temperatur och molekylvikt hos β -glukan i den pågående studien, till skillnad från en studie på korn där ökad temperatur gav högre medelmolekylvikt (Anker-Nilsen et al., 2008). Eftersom kornstudien utfördes i växthus under kontrollerade förhållanden med samma temperatur hela kärnfyllnadsperioden är det dock svårt att jämföra resultaten.

Slutsats

Resultaten från fältförsöken visade att både β -glukanhalt och medelmolekylvikten hos β -glukan påverkades av årsmån, odlingsplats och sortval. β -Glukanhalten var signifikant högre 2008 än 2006 och 2007, och lägre för Ivory än för de andra sorterna. Molekylvikten hos β -glukan var signifikant olika alla tre åren med högst molekylvikt 2006 och lägst 2008. Vid en jämförelse mellan de fyra platserna var molekylvikten högre i Vreta än på de andra platserna, vilket kan bero på nederbördsmängden i augusti. Variationen mellan sorter var mindre än mellan platser och år, vilket tyder på att miljön har större betydelse för molekylvikten hos β -glukan än genetiken. Det

fanns ett negativt signifikant samband mellan β -glukanhalt och nederbörd i augusti, men inte med temperatur. För medelmolekylvikten hos β -glukan fanns ett signifikant samband med total nederbörd samt med nederbörd i augusti. Högre nederbörd gav lägre molekylvikter vilket kan bero på ökad aktivitet hos β -glukanaser som bryter ned β -glukaner. Det fanns inget samband mellan medelmolekylvikt och temperatur. Antagligen var variationen i temperatur mellan olika år och platser för liten för att ge någon effekt. Resultaten visar däremot att nederbörden påverkar både β -glukanhalt och molekylvikt hos β -glukan, vilket tyder på att det finns en potential att påverka både halt och kvalitet hos β -glukan i havre.

Tabell 1. Nederbörd (mm) och temperatur (grad-dagar) från sådd till skörd för fältförsök på fyra platser i Sverige 2006-2008

		Nederbörd (mm)				Temperatur (grad-dagar)			
		Bålsta/ Fransåker	Vreta	Falköping	Ödåkra/ Åstorp	Bålsta/ Fransåker	Vreta	Falköping	Ödåkra/ Åstorp
2006	April	^a	-	-	-	-	-	-	-
	Maj	31	37	35	98	138	165	210	215
	Juni	18	26	25	7	404	382	357	368
	Juli	22	11	30	21	470	490	439	482
	Augusti	26	63	52	12	327	216	204	112
	<i>Total</i>	<i>97</i>	<i>137</i>	<i>142</i>	<i>138</i>	<i>1340</i>	<i>1180</i>	<i>1260</i>	<i>1210</i>
2007	April	23	5	21		60	72	83	
	Maj	21	38	52		238	247	234	
	Juni	62	68	111		418	397	378	
	Juli	27	92	128		401	399	373	
	Augusti	17	50	47		390	401	362	
	<i>Total</i>	<i>149</i>	<i>253</i>	<i>358</i>		<i>1508</i>	<i>1516</i>	<i>1430</i>	
2008	April	-	0	1	0	-	50	73	59
	Maj	19	14	30	24	223	256	237	256
	Juni	33	20	52	23	372	339	321	348
	Juli	47	47	111	48	416	386	383	419
	Augusti	125	66	181	160	311	286	360	395
	<i>Total</i>	<i>224</i>	<i>147</i>	<i>375</i>	<i>255</i>	<i>1322</i>	<i>1318</i>	<i>1373</i>	<i>1477</i>

^aSådd i maj

Tabell 2. Medelvärden för skörd (kg/ha), tusenkornvikt (TKV) (g), proteinhalt (%), β -glukanhalt (%) och medelmolekylvikt hos β -glukan ($\times 10^4$ g/mol) för olika år i havresorterna Ingeborg, Ivory, SW Kerstin and Aveny odlade på fyra olika platser

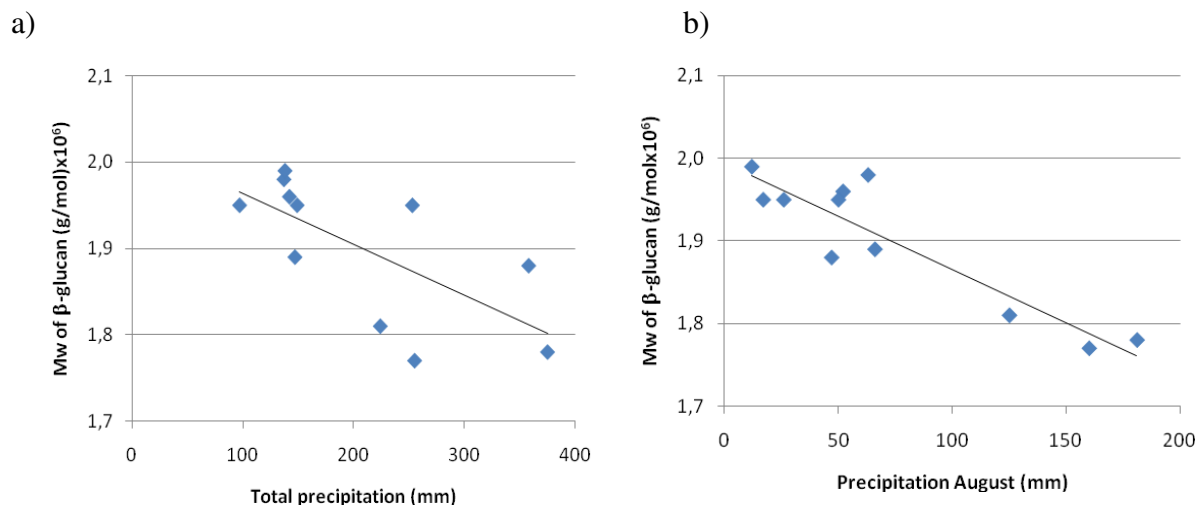
År	Skörd (kg/ha)	TKV (g)	Proteinhalt (%)	β -Glukanhalt (%)	Medelmolekylvikt hos β -glukan ($\times 10^4$ g/mol)
2006	5660 \pm 820 ^a	33,5 \pm 4,8 ^a	12,6 \pm 0,8 ^a	2,9 \pm 0,3 ^a	197 \pm 3,8 ^a
2007	7110 \pm 1150 ^b	39,2 \pm 4,2 ^b	11,7 \pm 0,4 ^b	2,8 \pm 0,2 ^a	193 \pm 6,3 ^b
2008	5690 \pm 1050 ^a	37,9 \pm 3,6 ^{ab}	12,4 \pm 0,7 ^a	2,7 \pm 0,2 ^b	181 \pm 7,1 ^c

Tabell 3. Medelvärden för skörd (kg/ha), tusenkornvikt (TKV) (g), proteinhalt (%), β -glukanhalt (%) och medelmolekylvikt hos β -glukan ($\times 10^4$ g/mol) för olika platser i havresorterna Ingeborg, Ivory, SW Kerstin and Aveny odlade 2006-2008

Plats	Skörd (kg/ha)	TKV (g)	Proteinhalt (%)	β -Glukanhalt (%)	Medelmolekylvikt hos β -glukan ($\times 10^4$ g/mol)
Bålsta/Fransåker	5840 \pm 700 ^a	39,2 \pm 4,3 ^a	12,9 \pm 0,9 ^a	2,9 \pm 0,2 ^a	190 \pm 8,0 ^a
Vreta	7440 \pm 960 ^b	36,6 \pm 4,5 ^a	12,0 \pm 0,3 ^b	2,8 \pm 0,2 ^{ab}	194 \pm 5,6 ^b
Falköping	5280 \pm 810 ^c	32,7 \pm 4,8 ^a	12,0 \pm 0,5 ^b	2,8 \pm 0,3 ^a	186 \pm 9,6 ^a
Ödåkra/Åstorp	5530 \pm 750 ^a	37,7 \pm 2,9 ^a	12,3 \pm 0,4 ^b	2,6 \pm 0,3 ^b	187 \pm 12 ^a

Tabell 4. Medelvärden för skörd (kg/ha), tusenkornvikt (TKV) (g), proteinhalt (%), β -glukanhalt (%) och medelmolekylvikt hos β -glukan ($\times 10^4$ g/mol) för olika havresorter odlade på fyra olika platser 2006-2009

Sort	Skörd (kg/ha)	TKV (g)	Proteinhalt (%)	β -Glukanhalt (%)	Medelmolekylvikt hos β -glukan ($\times 10^4$ g/mol)
Aveny	6230 \pm 1200 ^a	35,1 \pm 3,5 ^{bc}	12,3 \pm 0,7 ^{ab}	2,9 \pm 0,2 ^a	192 \pm 8,6 ^a
Ingeborg	6070 \pm 1100 ^a	38,1 \pm 3,3 ^{ab}	12,4 \pm 0,8 ^{ab}	2,8 \pm 0,2 ^a	189 \pm 9,2 ^{ab}
Ivory	5850 \pm 1230 ^a	41,2 \pm 3,8 ^a	12,5 \pm 0,7 ^{ac}	2,6 \pm 0,2 ^b	188 \pm 9,1 ^{bc}
SW Kerstin	6110 \pm 1270 ^a	34,5 \pm 4,7 ^c	12,0 \pm 0,7 ^b	2,8 \pm 0,2 ^a	189 \pm 9,4 ^{ac}



Figur 1. Samband mellan medelmolekylvikt (mw) hos β -glukan och a) total nederbörd från sådd till skörd ($p=0,02$) och b) nederbörd i augusti ($p<0,001$).

Referenser

- AACC. 2000. *Approved methods of the AACC, 10th ed.*, method 32-23. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Ajithkumar, A., Andersson, R. and Åman, P. 2005. Content and molecular weight of extractable β -glucan in American and Swedish oat samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (53) 1205-1209.
- Andersson, A.A.M., Armö, E., Grangeon, E., Fredriksson, H., Andersson, R. and Åman, P. 2004. Molecular weight and structure units of (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4) β -D-glucans in dough and bread made from hull-less barley milling fractions. *Journal of Cereal Science* (40) 195-204.
- Andersson, A.A.M., Ruegg, N and Åman, P. 2008. Molecular weight distribution, and content of extractable beta-glucan in rye crisp bread. *Journal of Cereal Science* (47) 399-406.
- Andersson, A.A.M. and Börjesdotter, D. Effects of environment and variety on β -glucan in oats. Manuskript under bearbetning.
- Anker-Nilsen, K., Sahlstrøm, S., Knutsen, S. H., Holtekjølen, A. K. and Uhlen, A. K. 2008. Influence of growth temperature on content, viscosity and relative molecular weight of water-soluble β -glucans in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Cereal Science* (48) 670-677.
- Baur, S.K. and Geisler G. 1996. β -Glucan content in caryopses of oat varieties with regard to cultivation year and nitrogen level. *Journal of Agronomy and Crop Science* (176), 5-14.
- Bengtsson, S., Åman, P., Graham, H., Newman, C.W. and Newman, R.K. 1990. Chemical studies on mixed-linked beta-glucans in hull-less barley cultivars giving different hypocholesterolaemic responses in chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture* (52) 435-445.
- Biörklund, M. van Rees, A., Mensink, R. P. and Önning, G. 2005. Changes in serum lipids and postprandial glucose and insulin concentrations after consumption of beverages with β -glucans from oats or barley: a randomised dose-controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition* 59, 1272-1281.

- Bourdon, I., Yokoyama, W and Davis, P. 1999. Postprandial lipid, glucose, insulin, and cholecystokinin responses in men fed barley pasta enriched with beta-glucan. *American Journal of Clinical Nutrition* (48) 465-474.
- Braaten, J. T., Wood, P. J., Scott, F. W., Wolynetz, M. S., Lowe, M. K., Bradley-White, P. And Collins, M. W. 1994. Oat beta-glucan reduces blood-cholesterol concentration in hypercholesterolemic subjects. *European Journal of Clinical Nutrition* (48) 465-474.
- Duss, R. 2004. Oat soluble fibers (β -glucans) as a source for healthy snack and breakfast foods. *Cereal Foods World* (49) 320-325.
- Frank, J., Sundberg, S., Kamal-Eldin, A., Vessby, B. and Åman, P. 2004. Yeast-leavened oat breads with high or low molecular weight β -glucan do not differ in their effects on blood concentrations of lipids, insulin or glucose in humans. *Journal of Nutrition* (134) 1384-1388.
- Güler, M. 2003. Nitrogen and irrigation effects on β -glucan content of wheat grain. *Acta Agric. Scand.* (53) 156-160.
- Humphreys, D.G., Smith, D.L. and Mather, D.E. 1994. Nitrogen fertilizer and seeding date induced changes in protein, oil and β -glucan contents of four oat cultivars. *Journal of Cereal Science* (20), 283-290.
- Kerckhoffs, D. A. J. M., Brouns, F., Hornstra, G. and Mensink, R. P. 2002. Effects on the human serum lipoprotein profile of β -glucan, sy protein and isoflavones, plant sterols and stanols, garlic and tocotrienols. *Journal of Nutrition* (132) 2492-2505.
- Mannerstedt-Fogelfors, B., Sohl, J., Ahlström, S. And Peterson, D. M. 2004. Antioxidant and β -glucan content in oats as affected by soil type and N-level, in: Peltonen-Saino, P. and Topi-Hulmi, M. (eds), Proceedings 7th International Oat Conference, Agrifood Research Reports 51, Jokioinen, Finland.
- OscarssonM, Andersson, R., Åman, P., Olofsson, S and Jonsson, A. 1998. Effects of cultivar, nitrogen fertilization rate and environment on yield and grain quality of barley. *Journal of the Science of Food and Agriculture* (78) 359-366.
- Pettersson, D. and Åman, P.1993. Effects of feeding diets based on wheat bread or oat bran bread to broiler chickens. *Journal of Cereal Sciences* (17) 157-168.
- Richardson, D. P. 2003. Wholegrain health claims in Europe. *Proceedings of the Nutrition Society* (62) 161-169.
- Rimsten, L., Stenberg, T., Andersson, R., Andersson, AAM. and Åman, P. 2003. Determination of β -glucan molecular weight using SEC with calcofluor detection in cereal extracts. *Cereal Chemistry* (80) 485-490.
- Sastamoinen, M. 1995. Effects of environmental factors on the β -glucan content of two oat varieties. *Acta Agric. Scand.* 45, 181-187.
- Story, J.A., Kritchevsky, D. and Eastwood, M.A. 1979. Dietary fibre – bile acids interaction, in: Inglet, G.E. And Falkehag, S.I. (eds), Dietary Fibres Chemistry and Nutrition. Academic Press, New York.
- Weightman, RM., Heywood, C., Wade, A. and South, JB. 2004. Relationship between grain (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan concentration and the response of winter-sown oats to contrasting forms of applied nitrogen. *Journal of Cereal Science* (40) 81-86.
- Welch, RW., Leggett, JM: and Lloyd, JD. 1991. Variation in the kernel (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan content of oat cultivars and wild *Avena* species and its relationship to other characteristics. *Journal of Cereal Science* (13) 173-178.
- Wood, PJ., Weisz, J. and Blackwell, BA. 1991. Molecular characterization of cereal β -D-glucans. Structural analysis of oat β -D-glucan and rapid structural evaluation of β -D-glucans from

different sources by high-performance liquid chromatography of oligosaccharides released by lichenase. *Cereal Chemistry* (68) 31-39.

Wood, P.J., Weisz, J. and Blackwell, B.A. 1994. Structural studies of (1→3),(1→4)-β-D-glucans by ¹³C-nuclear magnetic resonance spectroscopy and by rapid analysis of cellulose-like regions using high-performance anion-Exchange chromatography of oligosaccharides released by lichenase. *Cereal Chemistry* (71) 301-307.

Wood, P. J., Beer, M. U. and Butler, G. 2000. Evaluation of role of concentration and molecular weight of oat beta-glucan in determination effect of viscosity on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *British Journal of Nutrition* (84) 19-23.

Åman, P., Rimsten, L. and Andersson, R. 2004. Molecular weight distribution of beta-glucan in oat-based foods. *Cereal Chemistry* (81) 356-360.

Publikationer

Andersson, A.A.M. and Börjesdotter, D. Effects of environment and variety on β-glucan in oats. Manuskript under bearbetning.

Åman, P. and Andersson, A.A.M. Oats full of soluble fibre. *AgroFood Industry Hi-tech* 19 (2008), 25-27.

Studentprojekt på kurs i Växtproduktlära 2006. Posterpresentation: Molekylvikt hos β-glukan i obehandlad och pesticidbehandlad havre.Handledare: Annica Andersson.

Studentprojekt på kurs i Växtproduktlära 2007. Rapport: Does pH during steeping influence the β-glucan molecular weight distribution in germinated oats?Handledare: Annica Andersson.

Övrig resultatförmedling

Andersson, A.A.M., 2008. Presentation "Effects of cultivar and environment on β-glucan in oats." *The Nordic Oat Conference*, Göteborg.

"Annica och Per jagar nyttiga kostfibrer – även korn sänker kolesterolhalten." Artikel i *Lantbrukets affärer*, nr 11, 2006, av Markus Hoffman.

Information om projektet finns på Institutionen för livsmedelsvetenskaps hemsida (avdelningen för växtproduktlära), länk: http://vpl.lmv.slu.se/ShowPage.cfm?OrgenhetSida_ID=7386

Andersson, A.A.M. Föreläsning för studenter på kurs i Växtproduktlära 2008 om resultat från projektet.