

SLUTRAPPORT

Projektnummer: 0233082

Dnr SLF: 327/02

Jämförelse av olika metoder för urval av vetesorter med bra och stabil kvalitet

Bakgrund

Kvaliteten hos vete varierar och skiljer sig åt mellan olika vetesorter beroende på deras genetiska sammansättning (Pomeranz 1988). Kvaliteten bestäms av många olika faktorer men viktigast av dessa anses proteinerna vara (Wall 1979). När vetemjöl blandas med vatten, bildar proteinerna ett komplext nätverk, i vilket andra komponenter som stärkelse och gasceller bäddas in. Glutenproteinerna är således skelettet i degen (Eliasson och Lundh 1989, Amend och Belitz 1990). Skillnader i elasticitet och möjligheter att bilda proteinaggregat anses vara en av förklaringarna till skillnader i bakningskvalitet (Eckert mfl 1994).

Både proteinkoncentrationen och sammansättningen av proteinerna spelar roll för kvaliteten hos vetet (Finney and Barmore 1948, Sozinov och Poperelya 1980, Payne mfl 1984, Branlard och Dardevet 1985a, b). Genom korrelationsstudier har samband mellan bakningskvaliteten och olika specifika proteiner och proteinsubenheter kunnat påvisas (Payne mfl 1983, 1987, Sontag mfl 1986, Lawrence mfl 1987, Uhlen 1990, Johansson mfl 1993, 1994, Johansson och Svensson 1995, Johansson 1996). Också mängden av olika proteinkomponenter har visat sig inverka på vetets bakningskvalitet (Field mfl 1983, Sutton 1991, Wieser mfl 1994, Gupta 1994). Framför allt har det påvisats att mängden av de mest svårextraherbara proteinpolymererna är mycket viktig för glutenstyrkan (Bietz and Wall 1975, Huebner och Wall 1976, Gupta mfl 1993). Storleken och mängden (SMPP) på proteinpolymererna kan mätas relativt enkelt med hjälp av Size Exclusion-High Performance Liquid Chromatography (SE-HPLC; Johansson mfl 2001). Mängden och storleken på proteinpolymererna har visat sig vara sortspezifisk och därmed genetiskt bestämd (Kuktaite mfl 2000, Johansson mfl 2001). Detta beror på att de olika proteinerna (som bestäms genetiskt) binder till varandra på olika sätt vilket ger upphov till skillnader i mängd och storlek på proteinpolymererna (Johansson mfl 2003).

Utöver den genetiska påverkan på bakningskvaliteten, har omgivningsfaktorerna visat sig spela en stor roll för bakningskvaliteten (Peterson mfl 1992, Johansson och Svensson 1998, 1999a). Olika omgivningsfaktorer påverkar olika proteinparametrar. Variationen i kvävegiva påverkar framför allt den totala mängden gluteniner och gliadiner, och därmed också den totala proteinkoncentrationen (Johansson mfl 2001, 2003). Detta gäller också vid variationer i axgroning (Johansson 2002). Skillnader i omgivningsfaktorer beroende på olika odlingsår, odlingsplatser eller tidpunkt för kvävetillförsel leder framför allt till skillnader i förhållandet mellan svår- och lättlösliga proteinpolymerer (Johansson 2002, Johansson mfl 2002, 2003, 2004).

SMPP varierar alltså framför allt beroende på vetesort, men också beroende på odlingsår och odlingsplats och är nära kopplat till glutenstyrkan hos mjölet (Johansson mfl 2003).

Vid våra tidigare studier av proteinpolymererna har vi framför allt använt SE-HPLC metoder. På senare år har NIR (near infrared reflectance spectroscopy) börjat användas mer och mer för att analysera olika komponenter i cerealier. Metoder att använda detta instrument för olika ändamål, såsom tex för att mäta vattenhalt och totalproteinhalt, har utvecklats. Försök pågår också för att mäta polymeriseringen av proteiner i degar (Alava

mfl 2001). Ytterligare andra metoder som används för undersökningar av vetekvalitet och som utnyttjar små mängder av vete (kärna eller mjöl) är tex elektroforetiska metoder (Johansson mfl 1993) och bestämningar av mängden disulfidbindningar hos vete (Antes och Wieser 2000).

Idag används framför allt reologiska metoder av Cerealielaboratoriet och förädlarna för att undersöka bakkingskvaliteten hos vetet. Fördelen med de reologiska metoderna är att de ligger nära slutprodukten – brödet – i utformningen. Nackdelen är att de är oprecisa i sin utformning såtillvida att man inte vet vilka parametrar (stärkelse, proteiner, lipider etc) som man egentligen mäter och som ger upphov till skillnader i kvaliteten. De kräver också en relativt stor provmängd och är därför förhållandevis dyra och kan bara användas i sena stadier i förädlingsarbetet.

När detta projekt startades var det därför av intresse att jämföra de olika metoderna, SE-HPLC – som används vid vårt lab, NIR – som är kommande internationellt, samt eventuellt ytterligare småskaliga analyser av kvalitet, och de ordinarie reologiska och bakkingsmetoderna som används idag inom förädlingen, samt av spannmålsinköpare, kvarnar och bagare, för att undersöka på vilket sätt de olika metoderna kompletterar varandra/är utbytbara, samt bättre eller sämre under olika stadier av förädlingsarbetet tex i tidiga eller sena generationer med tillgång till mer eller mindre växtmaterial. HPLC och NIR är exempel på snabba, billiga metoder och de kräver liten provmängd i jämförelse med de reologiska metoderna.

Det övergripande målet för det här sökta projektet var att jämföra olika utvärderingsmetoder för vetekvalitet med varandra. Resultaten förväntades leda till kunskap om när, var och hur olika metoder kan användas – hur de kompletterar varandra och på vilket sätt de kan ersätta varandra. En första studie beträffande relationerna mellan olika kvalitetsutvärderingsmetoder har utförts av Johansson och Svensson (1999b). Denna studie visade att resultaten från olika vanliga utvärderingsmetoder inte är nära relaterade till varandra. En större kunskap om vad de olika metoderna säger och när de kan användas på olika vetematerial var därför av vikt. Möjligheterna att använda sig av nyare metoder så som tex HPLC och NIR istället för de ordinarie reologiska metoderna skulle ge snabbare och billigare analysmetoder som kräver mindre provmängd till såväl förädlare, spannmålsinköpare (tex Lantmännen), kvarnar och bagare.

Material och metoder

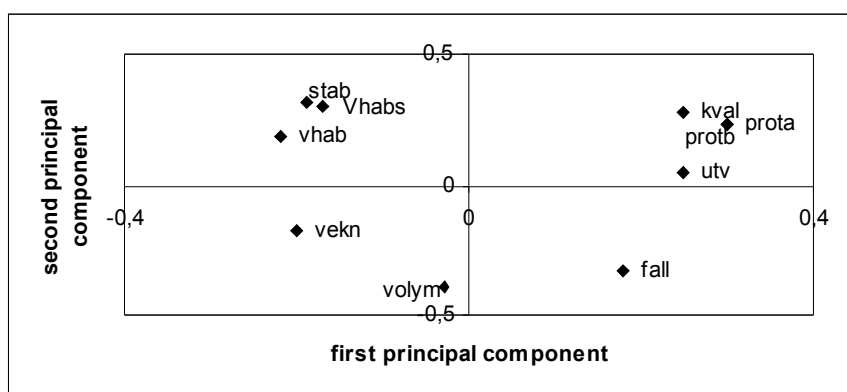
- Vetematerial från de ordinarie förädlingsprogrammen på Svalöf Weibulls AB samt mjöl av olika typ från NordMills AB har använts för analyser av SMPP med SE-HPLC på Institutionen för Växtförädling, SLU, Alnarp.
- Vetematerial, mjöl och kärnor, från delar av ovanstående material samt från Ungern har analyserats med NIR i ett samarbete med Andras Salgo, Budapest, Ungern.
- Vetematerialet har analyserats med ordinarie kvalitetsanalyser på Cerealielaboratoriet i Svalöf och på NordMills i Malmö efter normala rutiner.
- Resultaten av de olika analyserna har sammanställts och jämförts på Institutionen för Växtvetenskap, SLU, Alnarp

Resultat från projektet samt diskussion av resultaten

Reologiska mätmetoders relation till varandra

Olika reologiska mätmetoder mäter olika egenskaper hos mjölet och korrelerar ofta dåligt till varandra och till brödvolyten (se tex fig 1). Detta har vi också påvisat i tex Johansson och Svensson 1999b och Kuktaitte mfl 2005. Det dåliga sambandet mellan

olika reologiska mätmetoder och mellan dessa mätmetoder och brödvolymer är ofta speciellt påtagligt för kvalitetsvetemjöl och vårvetemjöl. Kvalitetsvetemjöllet består oftast också av vårvetemjöl.



Figur 1. Principalkomponentanalys av sammanhang mellan olika reologiska mätmetoder för kvalitetsvetemjöl. Första och andra principalkomponenten förklarar 38% och 32% av variationen vardera.

För höstvetemjöl som ger upphov till normalvetemjöl, kan ofta ett klarare samband påvisas mellan reologiska mätvärden såsom, glutoraf-, och alveografvärden och brödvolymer (Tabell 1). Även proteinkoncentrationen i vetekärnan korrelerar positivt till brödvolymer hos höstvetete (Tabell 1) vilket inte alltid är fallet i kvalitetsvetemjöl bestående av vårvete (Figur 1).

Tabell 1. Spearman rank korrelationskoefficienter mellan olika reologiska och brödvolymermätningar.

	Spannmål				Mjöl			Alveogram			
	Protein	Stärkelse	Rymdvikt	Falltal	Utmalning	Vätgluten	Glutogram	P	L	W	P/L
Spannmål											
Stärkelse	-0.30										
Rymdvikt	-0.09	0.81***									
Falltal	-0.19	0.39*	0.65***								
Mjöl											
Utmalning	0.04	0.70***	0.90***	0.62***							
Vätgluten	0.86***	-0.18	-0.06	-0.23	0.01						
Glutogram	0.24	0.24	0.48***	-0.51***	0.27	0.22					
Alveogram											
P	0.34	-0.59***	-0.70***	-0.61***	-0.26	-0.63***	0.11				
L	0.23	0.24	0.59***	-0.38*	0.32	0.52***	0.67***	-0.40*			
W	0.35*	0.09	0.31	-0.24	0.26	0.18	0.78***	0.09	0.75***		
P/L	0.07	-0.53***	-0.81***	0.66***	-0.34	-0.67***	-0.39*	0.85***	-0.78***	-0.32	
Bakning											
Volym 70 min	0.91***	-0.19	-0.02	0.36**	-0.22	-0.19	0.25	0.32	0.39*	0.46**	0.01
Volym 80 min	0.79***	0.04	0.20	0.12	-0.07	-0.08	0.44**	0.23	0.52***	0.66***	-0.14
Volym FB	0.57***	0.31	0.61***	-0.44**	0.35*	0.45	0.68***	-0.22	0.76***	0.76***	-0.55***
Höjd/bredd FB	-0.06	0.58***	0.81**	-0.72***	0.65***	0.86***	0.51**	-0.65***	0.58***	0.36*	-0.68***

*, **, *** = signifikant vid P<0.5, 0.1, 0.05

Relationer mellan SMPP, NIR och övriga reologiska mätmetoder

Olika proteinfaktorer kan beräknas som beskriver SMPP på olika sätt. Nedan beskrivs de proteinfaktorer som i allmänhet beräknas vid våra analyser av SMPP:

Proteinerna extraheras i två steg med hjälp av SDS (=SDS-extraherbara eller lösliga=e) och sonikering (=svårösliga eller icke SDS-extraherbara=u). Proteinerna separeras sedan

med hjälp av HPLC och kromatogrammen delas upp i fyra delar LPP, SPP, LMP och SMP (se fig 2 nedan). Areorna för dessa fyra delar används sedan för beräkning av proteinfaktorerna;

- Tote = total SDS-extraherbara
- Totu = total SDS icke extraherbara
- LUPP = $uLPP/(uLPP+eLPP)$
- TUPP = $(uLPP+uSPP)/(uLPP+uSPP+eLPP+eSPP)$
- LUMP = $uLMP/(uLMP+eLMP)$
- Mopo = $(eLMP+eSMP+uLMP+uSMP)/(eLPP+eSPP+uLPP+uSPP)$

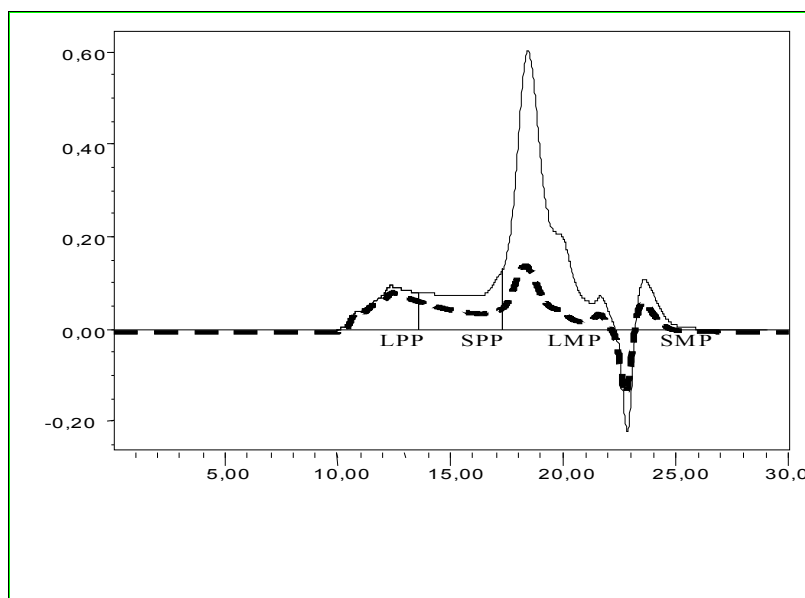


Fig 2. HPLC kromatogram av SDS-extraherbara (—) och SDS icke extraherbara (----) proteiner där kromatogrammen delas upp i fyra olika delar; LPP=stora polymera proteiner, SPP=mindre polymera proteiner, LMP=stora monomera proteiner och SMP=mindre monomera proteiner.

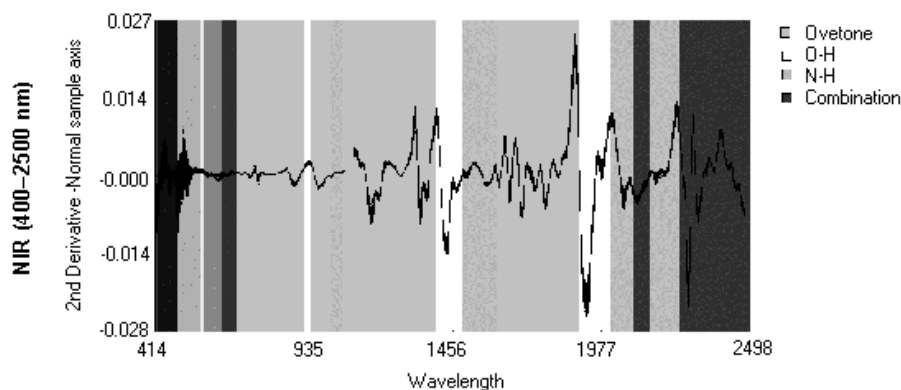


Fig 3. NIR spektra från analyser av svenska vetesorter.

NIR analyser ger mycket goda möjligheter att se skillnader hos olika vetesorters sammansättning och variation hos olika grundämnen (fig 3). Vad man egentligen ser via NIR spektrat är rörelser och vibrationer i olika typer av kemiska bindningar mellan atomer. Detta gör att NIR spektrat inte alla gånger är helt lätt tytt och kalibreringar

gentemot kända mätvärden behövs för att kunna använda sig av spektrat. Ämnen såsom vatten, proteiner och kolhydrater kan dock kännas igen i form av toppar inom spektrat. Vattentopparna återfinns vid 1900, 1430 och 1150 nm. Proteintopparna återfinns vid 1200 och 2050-2120 nm medan kolhydrattopparna återfinns vid 2260-2280 nm.

Tabell 2. Antal höga korrelationer (kolumn a= $\{R2>0,8\}$; kolumn b= $\{0.8>R2>0.7\}$) mellan NIR-NIT spektra och SMPP protein parametrar for olika NIR-NIT mätningar.

Protein parametrar	NIT(850-1050nm)				NIR-VIS(400-1100nm)				NIR(1100-2500nm)				Summa	
	log (1/R)		D2OD		log (1/R)		D2OD		log (1/R)		D2OD		a	b
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b				
Tote	1	1	4	0	3	0	4	0	3	0	5	0	20	1
Totu	2	1	2	1	2	1	2	1	3	0	4	0	15	4
LUPP	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	4	2
TUPP	0	1	0	1	1	0	1	1	0	2	2	1	4	6
LUMP	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	2	0	3	3
Mopo	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	4	0	7	2
GLU/GLI	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Sum	<u>3</u>	<u>5</u>	<u>9</u>	<u>4</u>	<u>8</u>	<u>3</u>	<u>10</u>	<u>3</u>	<u>6</u>	<u>3</u>	<u>18</u>	<u>1</u>		
	8		13		11		13		9		19			
	21				24				28					

Positiva korrelationer kunde påvisas mellan polymeriseringen av proteinerna hos olika veteprover och NIR/NIT analyser (Tabell 2). Fler positiva samband fanns mellan NIR spektra och proteinparametrar än mellan NIT spektra och proteinparametrarna.

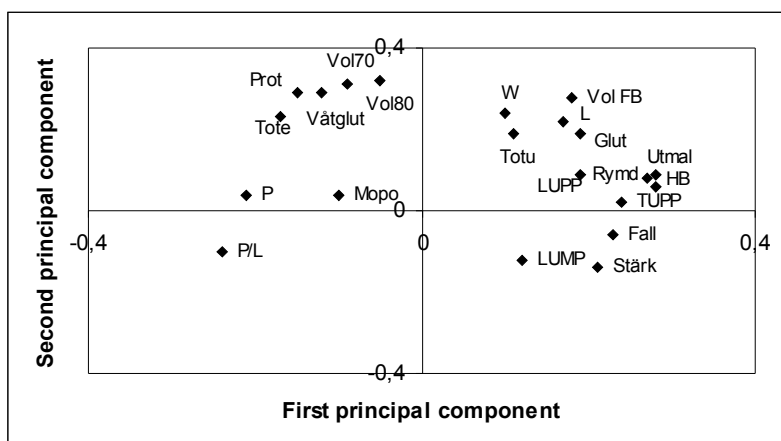
Resultaten från dessa analyser visar därmed att det är möjligt att i framtiden använda åtminstone NIR för analyser av proteinpolymerernas sammansättning, men det krävs rätt mycket ytterligare arbete innan NIR kan användas kommersiellt för bestämning av proteinkvaliteten.

Ingen korrelation kunde uppvisas mellan falltal och NIR analyser. Inte heller kunde signifikanta samband påvisas inom projektet mellan NIR/NIT spektra och övriga reologiska mätningar. Också andra studier har haft svårigheter att påvisa samband mellan reologiska mätningar och NIR/NIT mätningar (tex Delwiche och Weaver 1994). Detta kan bero på att såväl falltalet som de reologiska mätningarna är mått på inverkan av flera olika parametrar såsom stärkelse, protein, lipider etc, vilket gör dessa analysmetoder ganska komplexa.

Inverkan av protein, SMPP, stärkelse etc på de reologiska mätmetoderna

Totalmängden protein mätt med NIR korrelerar ofta bra med brödvolyten (se tex tabell 1 och fig 4), även om en korrelation inte kan uppvisas i alla material (se tex kvalitetsvetemjålet i fig 1). När totalmängden protein mäts med HPLC, genom den totala mängden protein som är extraherbart med SDS (=Tote) och den totala mängden protein som är extraherbart genom sonikering (=Totu), korrelerar Tote i mycket hög grad med protein koncentrationen och också med brödvolyten (Fig 4, Tabell 3). NIR/NIT mätningarna uppvisade också den högsta korrelationen med Tote och Totu av de olika

SMPP protein parametrarna (Tabell 2). Totalmängden protein korrelerar dock sämre till de reologiska mätningarna (se tex tabell 1 och fig 4)



Figur 4. Principalkomponentanalys av sammanhang mellan olika reologiska mätmetoder, brödvoly-mätningar samt proteinfaktorer relaterade till SMPP.

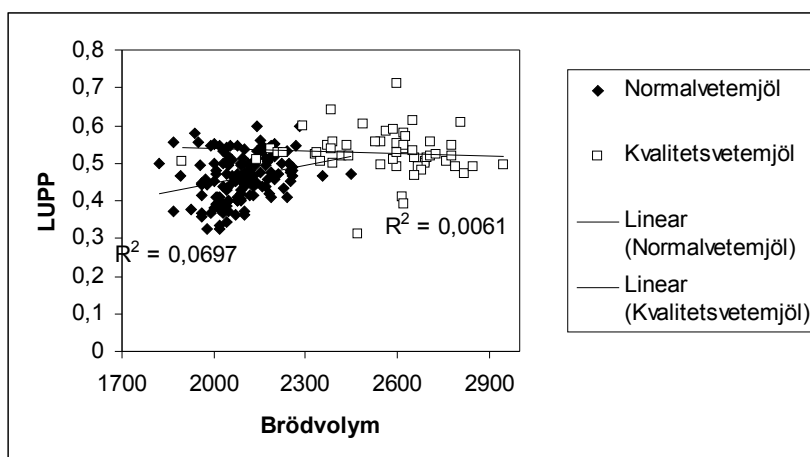
Tabell 3. Spearman rank korrelationskoefficienter mellan olika reologiska-, brödvoly-mätningar och proteinfaktorer.

	Tote	Totu	LUPP	TUPP	LUMP	Mopo
Spannmål						
Protein	0.61***	0.37	-0.10	-0.27	-0.01	-0.23
Stärkelse	-0.19	-0.15	0.07	0.23	-0.09	-0.55***
Rymdvikt	-0.10	0.05	0.24	0.30	-0.05	-0.55***
Falltal	-0.21	0.04	0.19	0.31	0.06	-0.14
Mjöl						
Utmalning	-0.05	0.09	0.23	0.29	-0.04	-0.39*
Våtgluten	0.70***	0.18	-0.21	-0.39*	-0.15	-0.27
Glutogram	-0.10	0.39*	0.63***	0.45**	0.15	-0.13
Alveogram						
P	0.17	0.07	-0.20	-0.31	0.08	0.37*
L	0.15	0.26	0.44*	0.25	-0.02	-0.17
W	0.18	0.27	0.46**	0.20	-0.02	-0.13
P/L	0.03	-0.09	-0.33	-0.29	0.04	0.32
Bakning						
Volym 70 min	0.66***	0.23	-0.13	-0.30	-0.10	-0.36*
Volym 80 min	0.60***	0.17	-0.01	-0.20	-0.16	-0.55***
Volym FB	0.29	0.26	0.26	0.13	-0.04	-0.45**
Höjd/bredd FB	-0.13	0.09	0.29	0.35*	0.01	-0.41*

*, **, *** = signifikant vid $P < 0.5, 0.1, 0.05$

Stärkelemängden, mätt på ordinärt sätt på Cerealielaboratoriet i Svalöv, korrelerar positivt till spannmålets rymdvikt, till mjölets utmalningsgrad, till falltalet och till höjden/bredden på bröd bakat utan form. Stärkelemängden korrelerar också negativt till alveograf parametrarna P och P/W (tabell 1). NIR/NIT mätningarna med hela spektrat innehållande även topparna för stärkelse korrelerade varken med brödvoly-men eller med de reologiska mätmetoderna.

SMPP protein faktorer, tex LUPP och TUPP korrelerar ofta med olika reologiska mätningar som mäter styvhet hos degen såsom glutogram- och alveogramvärden (Fig 4, Tabell 3). Ett positivt samband finns oftare mellan brödvoly-men och LUPP/TUPP i normalvetemjöl jämfört med i kvalitetsvetemjöl (Fig 5).



Figur 5. Samband mellan brödvoly och LUPP för normal- respektive kvalitetsvetemjöl. Sambandet är signifikant för $P < 0.005$ för normalvetemjölet men ej signifikant för kvalitetsvetemjölet.

Möjligheter att använda sig av de olika mätmetoderna under förädlingsarbetet

Fördelen med de småskaliga metoder som undersökts inom detta och andra projekt är att de går att använda i förädlingsarbetet för förbättrad kvalitet tidigt under förädlingsarbetet, dvs vid urval under tidiga generationer, kanske redan i F3. Den småskaliga metod som används mest av förädlare är elektrofores där proteinsammansättningen hos olika vetesorter undersöks. Denna metod etablerades på Svalöf Weibulls AB under 1990-talet genom ett samarbete mellan forskning utförd på SLU och praktisk växtförädling utförd på Svalöf Weibulls.

Nackdelen med de elektroforetiska metoderna är att de genererar bara information om den genetiska sammansättningen hos en vetesort och inte hur vetesorten reagerar för odlingsbetingelser och omgivningsförhållanden sådana som väder och vind. SE-HPLC där SMPP mäts är därför ett bra komplement, för med denna metod kan man även se de förändringar i proteinsammansättningen som orsakas av odlings- och väderbetingelser. Vissa vetesorter är känsligare och andra mindre känsligare för odlings- och väderbetingelser och därmed reagerar olika vetesorter olika med avseende på kvalitetsförändringar beroende på odlings- och väderförändringar.

Inom ett annat projekt, finansierat via Cerealia R&D, har vi kunnat påvisa att den mest önskvärda sammansättningen på SMPP för kvarnarnas del, med avseende på vetemjöl för bakning, är ett LUPP värde på ca 0.50 och ett TUPP värde på ca 0.45. SMPP och då specifikt LUPP och TUPP korrelerar i hög grad positivt med reologiska metoder som mäter glutenstyrkan på vetet, såsom tex glutogram och alveogram värden. Ett positivt samband finns också mellan LUPP och TUPP och brödvolymer i normalvetemjöl.

Resultaten från detta projekt visar således att SMPP går att använda tidigt i förädlingsprogrammen för att bestämma glutenstyrkan på vetesorterna. Hos vetesorter som är avsedda för bakning bör man eftersträva LUPP och TUPP värden runt 0.50 respektive 0.45. Möjligheterna är goda att sortera ut vetesorter som varierar för mycket i kvalitet beroende på omgivningsfaktorer såsom vädret, om SMPP undersöks under ett antal år under förädlingsprogrammen.

NIR är en lovande teknik då analysmetoderna med NIR är betydligt enklare än vad HPLC metoderna är. För att kvaliteten skall kunna förutsägas med NIR behövs dock ett fortsatt utvecklingsarbete först och främst på proteinsidan men så småningom också med avseende på att använda delar eller hela NIR spektrat för att förutsäga kvaliteten på olika

sätt. Detta beror bl.a. på att proteinpolymeriseringen framför allt korrelerade med NIR värden och kommersiellt används framför allt NIT till vilket korrelationen var sämre.

Ytterligare andra småskaliga metoder som utvärderats inom ett annat projekt finansierat via Einar och Inga Nilssons stiftelse är möjligheten att använda sig av mängden svavelbindningar för att förutsäga kvaliteten hos vete. Inget samband kunde emellertid påvisas varken mellan vetesort eller specifika proteinsammansättningar och mängden disulfidbundet svavel eller mellan disulfidbundet svavel och skillnader i storlek och löslighet på proteinpolymererna beroende på omgivningsfaktorer såsom odlingsår. Mängden disulfidbindningar kan därför inte användas i förädlingsarbetet för en stabilare kvalitet vad gäller glutenstyrka.

Möjligheter att använda småskaliga metoder såsom HPLC och NIR istället för ordinära reologiska metoder för förädlare, spannmålsinköpare, kvarnar och bagare

De småskaliga metoder som idag är komna så långt att de kan användas av förädlare i förädlingsarbetet för förbättrad kvalitet är dels elektrofores, för att bestämma proteinsammansättningen, dels SE-HPLC för att bestämma SMPP, då framför allt LUPP och TUPP, som kan användas som ett mått på glutenstyrkan, då det korrelerar bra till reologiska metoder som används för att mäta glutenstyrkan, samt till brödvolymen för framför allt höstvetematerial.

För spannmålsinköpare, kvarnar och bagare är de ovan nämnda metoderna lite för komplicerade och kräver för avancerad laboratorie utrustning för att de skall vara praktiskt utnyttjbara.

Inför framtiden är det NIT som är den mest intressanta analysutrustningen för analyser av kvalitet och som är praktiskt applicerbar för spannmålsinköpare, kvarnar och bagare. NIR/NIT analyserna måste dock vidareutvecklas och ytterligare arbete måste till innan de är så väl kalibrerade mot någon/några kvalitetsparametrar att NIR/NIT kan användas kommersiellt av spannmålsinköpare, kvarnar och bagare.

Möjligheter för nya småskaliga metoder att ersätta varandra eller någon av de reologiska urvalsmetoder som används idag

Idag är det framför allt SE-HPLC av SMPP som skulle kunna ersätta vissa av de reologiska mätningarna av glutenstyrkan såsom tex glutograf- och alveograf analyserna. Den främsta styrkan är dock att SE-HPLC av SMPP kan användas tidigt i förädlingsprogrammen. I framtiden är NIT den mest intressanta metoden och den kommer med stor sannolikhet att så småningom kunna ersätta vissa av de reologiska metoderna.

Publikationer som genererats bl.a. genom det här redovisade projektet

1. Johansson E, Kuktaite R, Andersson A, Prieto-Linde ML (2005) Protein polymer built-up during wheat development: influences of temperature and nitrogen timing. *J Sci Food Agric* 85:473-479.
2. Scholz E., Prieto-Linde M-L, Gergely S, Salgo A, Johansson E (2006) Possibilities of using near infrared reflectance/transmittance spectroscopy for determination of polymeric protein in wheat. *J Sci Food Agric* (accepted)
3. Johansson E, Kuktaite R, Prieto-Linde ML, Koppel R, Ruzgas V, Leistumaite A, Strazdina V, Jönsson JÖ (2006) Influences of specific wheat protein composition on amount and size distribution of protein polymers (submitted)

4. Johansson E, Prieto-Linde ML (2006) Relationships between bread-making quality and amount and size distribution of polymeric proteins in flour of different type (manuscript in preparation).
5. Johansson E, Prieto-Linde ML, Svensson E (2006) The use of whole SE-HPLC chromatograms in determining wheat quality (manuscript in preparation)
6. Johansson E, Prieto-Linde ML, Kuktaite R, Andersson A, Larsson H (2003) Grain protein polymer formation: influences of cultivar, environment and dough treatment. In: The Gluten Proteins (Eds. Lafiandra D, Masci S, D'Ovidio R), Proc 8th Gluten Workshop, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp 180-183.
7. Johansson E., Prieto-Linde MR., Kuktaite R., Andersson A., Okrajková A., Gissén C, Hedenqvist M (2006) Cereal proteins – are they important? Composition, breeding, environmental influences and relations to end-use qualities. In: Nordic cereal interests. (Eds. Stoddard F, Gates F) Proc 29th Nordic Cereal Congress, Helsinki, Finland, pp 31-32.
8. Johansson E, Kuktaite R, Andersson A, Prieto-Linde ML, Hedenqvist M, Larsson H, Marttila S, Svensson G, Heneen WK (2004) Spannmålskvalitet för olika användningsområden - pasta, bröd och plast. Jordbrukskonferensen, Ultuna.

Referenser

- Antes S, Wieser H 2000 In: Wheat Gluten (PR Shewry, AS Tatham eds) The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp 211-214.
- Alava JM, Millar SJ and Salmon SE 2001 J Cereal Sci 33:71-81.
- Amend T och Belitz H-D 1990 Z Lebensm Unters Forsch 190:401-409.
- Bietz J A, Wall J S 1975 Cereal Chem 52:145-155.
- Branlard G och Dardevet M 1985a J Cereal Sci 3:329-343.
- Branlard G och Dardevet M 1985b J Cereal Sci 3:345-354.
- Delwiche SR, Weaver G 1994 J Food Sci 59:410-415.
- Eckert B, Amend T och Belitz H-D 1994 In: Gluten proteins 1993. Association of Cereal Research, Detmold, Germany, pp 498-504.
- Eliasson A-C och Lundh G 1989 Food and nutrition, JTS 20:431-441.
- Field J M, Shewry P R, Mifflin B J 1983 J Sci Food Agric 34:370-377.
- Finney K F och Barmore M A 1948 Cereal Chem 25:291-312.
- Gupta R B 1994 In: Proc.5th Int Workshop Gluten Proteins, 7-9 June 1993, Detmold, Germany, pp 151-160. Association of Cereal Research, Detmold, Germany.
- Gupta R B, Khan K, MacRitchie F 1993 J Cereal Sci 18:23-41.
- Huebner F R och Wall J S 1976 Cereal Chem 53:258-269.
- Johansson E 1996 Plant Breed 115:57-62.
- Johansson E 2002 Euphytica 126:143-149.
- Johansson E, Svensson G 1995 Cereal Chem 72:287-290.
- Johansson E, Svensson G 1998 J Sci Food Agric 78:109-118.
- Johansson E, Svensson G 1999a J Agric Sci 132:13-22.
- Johansson E, Svensson G 1999b J Genet Breed 53:93-98.
- Johansson E, Henriksson P, Svensson G, Heneen W K 1993 J Cereal Sci 17:237-245.
- Johansson E, Svensson G, Heneen W K 1994 In: Proc.5th Int Workshop Gluten Proteins, 7-9 June 1993, Detmold, Germany. pp 568-575. Association of Cereal Research, Detmold, Germany.
- Johansson E, Prieto-Linde M-L, Jönsson J 2001 Cereal Chem 78:19-25.
- Johansson E, Nilsson H, Mazhar H, Skerritt J, MacRitchie F, Svensson G 2002 J Sci Food Agric 82:1305-1311.

- Johansson E, Prieto-Linde M-L, Svensson G, Jönsson J Ö 2003 *J Agric Sci* 140:275-284.
- Johansson E, Prieto-Linde ML, Svensson G 2004 *J Plant Nutr Soil Sci* 167:345-350.
- Kuktaite R, Johansson E, Juodeikiene G 2000 *Cereal Res Commun* 28:195-202.
- Kuktaite R, Larsson H, Marttila S, Johansson E 2005 *Cereal Chem* 82:375-384.
- Lawrence G J, Moss H J, Shepherd K W, Wrigley C W 1987 *J Cereal Sci* 6:99-101.
- Payne P I, Holt L M, Thompson R D, Bartels D, Harberd N P, Harris P A, Law C N 1983 In: *Proc Sixth Int Wheat Genet Symp* (Sakamoto S ed) Plant Germ-plasm Institute, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, Japan, pp 827-834.
- Payne P I, Holt, L M, Jackson E A, Law C N 1984 *Phil Trans R Soc Lond B* 304:359-371.
- Payne P I, Seekings J A, Worland A J, Jarvis, M G, Holt L M 1987 *J Sci Food Agric* 40:51-65.
- Peterson C J, Graybosch R A, Baenziger P S, Grombacher A W 1992 *Crop Sci* 32:98-103.
- Pomeranz Y 1988 In: *wheat: chemistry and technology, vol II* (Pomeranz Y ed) American Association of Cereal Chemists, St Paul, pp 219-370.
- Sontag T, Salovaara H, Payne P I 1986 *J Agric Sci Finland* 58:151-156.
- Sozinov A A och Poperelya F A 1980 *Ann Technol Agric* 29:229-245.
- Sutton K H 1991 *J Cereal Sci* 14:25-34.
- Uhlen A K 1990 *Norwegian J Agric Sci* 4:1-17.
- Wall J S 1979 In: *Recent advances in biochemistry of cereals* (Laidman D L and Wyn Jones R G eds) Academy, London, New York, pp 275-311.
- Wieser H, Seilmeier W, Kieffer R 1994 In: *Proc.5th Int Workshop Gluten Proteins, 7-9 June 1993, Detmold, Germany.* pp 141-150. Association of Cereal Research, Detmold, Germany.