

Glikoz oksidaz enziminin süne zararlı buğday unlarının hamur ve ekmek özellikleri üzerine etkisi (Derleme)

Mehmet ŞAHİN ^{a,*} Mevlüt AKÇURA ^b Aysun GÖÇMEN AKÇACIK ^a
Seydi AYDOĞAN ^a

^a Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Konya, Türkiye

^b Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bingöl, Türkiye

Effect of glucose oxidase on dough and bread properties of wheat flours damaged by sunn pest (A review)

SUMMARY

Functional properties of bread dough greatly depend on the gluten proteins. Low quality wheat flour of which gluten structure is disrupted can not be used in bread-making. In the last years, various treatments have been applied for improving the quality of those proteins. Some chemical enzymes are used in improving the quality of weak flours. Glucose oxidase (GO); is an enzyme with oxidizing effect due to hydrogen peroxide released from its catalytic reaction and it has been used for improving dough handling and baking properties. It acted specifically on the high-molecular-weight glutenin subunits of damaged wheat, forming dityrosine crosslinks between the wheat proteins, which reinforced the gluten network and gave away the dough functionality.

KEY WORDS: Glucose oxidase, wheat flour, gluten, bread quality, sunn pest damage

ÖZET

Ekmek hamurunun fonksiyonel özellikleri büyük ölçüde gluten proteinlerine bağlıdır. Gluten yapısı bozulmuş düşük kaliteli buğday unları ekmek yapımında kullanılamazlar. Son yıllarda protein kalitesinin geliştirilmesi için çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Gıda endüstrisinde zayıf unların iyileştirilmesinde bazı kimyasal enzimler kullanılmaktadır. Glikoz oksidaz; hidrojen peroksitin katalitik tepkimesinden dolayı okside edici etkide bir enzimdir, yoğurma ve pişme özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Süne zararı görmüş buğdayların yüksek molekül ağırlıklı glutenin alt ünitelerindeki buğday proteinlerindeki çapraz bağların onarımı ile birlikte gluten ağlarının kuvvetlendirilmesi ve hamurun fonksiyonelliğinin oluşmasında glikoz oksidaz enzimi rol oynamaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Glikoz oksidaz, buğday unu, gluten, ekmeklik kalitesi, süne zararı

GİRİŞ

Buğday kalitesi çeşit, iklim, toprak şartları, tohum miktarı, gübre kullanımı, yetiştirme koşulları, hastalık ve zararlılar (süne ve kımıl), depolama koşulları, iyi tohumluk kullanmama, kültürel tedbirlerin yeterince uygulanmaması gibi nedenlerden dolayı

etkilenmektedir. Türkiye'de 9.4 milyon hektarlık buğday ekim alanı ile yaklaşık 19 milyon ton buğday üretilmekte, Dünyada 7. sırada olmasına rağmen yukarıdaki sayılan nedenlerden dolayı zaman zaman kalite düşüklüğü problemi yaşanmakta ve yurt dışından buğday ithal etmek durumunda kalmaktadır.

*E-posta: mehmetsahin222@yahoo.com

Kabul tarihi: 10.07.2008

Hasat öncesi buğdayın süne ve kımıl gibi zararlı böcekler tarafından istilası değirmenciler, çiftçiler ve fırıncılar için buğday gluten kalitesinde büyük kayıplara neden olmaktadır. Bu böcekler çözünebilen depo proteinlerine proteinaz enzimi salgılayarak gluten ağlarında yapısal değişikliklere sebep olmaktadır (Rosell ve ark. 2002). Bu böceklerin zararları sonucunda buğday proteinleri zayıflayarak unun hamur oluşumunda yumuşamasına sebep olmakta ve ekmekçilik endüstrisinde kullanılamaz hale gelmektedir.

Ekmekçilik endüstrisinde zayıf unların hamur şartlarını iyileştirmek için standart düzenleyici olarak askorbik asit, azodikarbonamid ve potasyum bromad gibi maddeler kullanılmaktadır (Tsen 1969). Kimyasal oksidantlar ile kanser oranı arasındaki ilişki nedeniyle, şirketler tüketicilere daha sağlıklı ürünler sunmak için son zamanlarda adım adım kimyasal oksidantların kullanımında azaltmaya gitmektedirler (Dupuis 1997, Schorah 1999). Kimyasal bileşenlere alternatif olarak enzimler güvenli olarak adlandırılmaktadır. Çünkü yüksek sıcaklık işlemlerinde tamamen aktiviteyi kaybolmakta ve ekmek yapımı işleminden sonra yeniden aktif hale geçmemektedirler (Bonet ve ark. 2007). Hamurun ekmeklik kalitesinin iyileştirilmesinde kimyasal oksidantların yerine doğal ve toksik etkisi olmayan bileşenler olarak kabul edilen enzimlerin kullanımı tercih edilmektedir. Enzimler, sıcaklık ve pH'nın mutedil koşullarının altında tepkimeye giren spesifik biyolojik katalizörler olup, proteinler arasında veya bir proteinin içindeki polipeptit zincirler arasında kovalent bağların oluşumuna katkıda bulunurlar (Gerrard 2002).

Buğday ununun ekmeklik kalitesi büyük ölçüde proteinlerin miktar ve kalitesi tarafından belirlenir. Hamurun yoğrulması sırasında buğday unu su alır ve gluten proteinleri, viskoelastik gluten proteini ağlarına dönüşür. Gluten bağlarının oluşumuna enzimler, hamurun fonksiyonel niteliklerine aktif bir şekilde katkıda bulunabilir. Oksidatif enzimler hamur thiol-disülfid sistemleri üzerinde ve hamur nitelikleri üzerine güçlü bir etkiye sahiptir (Goesaert ve ark. 2005). GO (glikoz oksidaz) okside edici kimyasallara alternatif olarak ekmek özelliklerini iyileştirmede kullanılmaktadır (Poulsen ve Hostrup 1998). Glikoz oksidazın oksijenin mevcudiyetinde D-glukozun değişimini katalize ettiğini, D-glukonik asit ve H₂O₂'e dönüştüğü, H₂O₂'nin indirekt yolla okside olarak kalan 2 sisteinin thiol gruplarının disülfid bağlarını oluşturduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde Ameille ve ark. (2000) glikoz oksidaz tarafından üretilen H₂O₂'nin buğday ununda endogeneous peroksidazların substratı olarak reaksiyonu katalize ettiğini bildirmişlerdir. GO reaksiyonu boyunca üretilen hidrojen peroksit, gluten proteinlerinde disülfid bağların oluşumunu ve suda çözünebilen pentozanların jelleşmesini artırır (Gujral ve Rosell 2004). Adı geçen mekanizmalar sayesinde gluten modifiye edici enzimler son ürün kalitesinde ve hamurun reolojik özelliklerinde pozitif etkide bulunabilir, ekmek yapımında yararlı etkiler meydana getirebilir. Polisakkarit azaltıcı enzimlerle gluten

modifiye eden enzimler birlikte kullanılırsa fırın ürünlerinde bayatlamayı önlemede katkı sağlayabilir. Bunlar arasında amilazlar ve pentozanlar yer almaktadır. Ancak güçlendirici enzimlerin kombine kullanımı sınırlıdır. Diğer yandan bu enzimler kendilerine özgü hareket mekanizmalarıyla ekmek hamurunun fonksiyonel niteliklerini etkiler, farklı protein fraksiyonları üzerinde (gluteninler, gliadinler, albuminler veya globulinler) rol oynarlar.

Ekmekçilik endüstrisinde GO enzimi bazı araştırmacılar tarafından son zamanlarda denenmiş ve ümit var sonuçlar elde etmişlerdir. Glikoz oksidaz, gıda endüstrisinde kullanılan ilginç oksidatif bir enzimdir. GO mevcut oksijenle beta-D-glukozu katalize ederek glukonik asit ve 1 mol hidrojen peroksit üretmektedir (Haaralsita ve ark. 1991, Haaralsita ve Pullinen 1992). Hidrojen peroksitin her bir formu proteinlerin disülfid bağları ya da ditrosinlerle bağ oluşturmaktadır (Tilley ve ark. 2001).

Köksel ve ark. (2001) ve Bonet ve ark. (2005) enzimlerle ilgili olarak yapmış oldukları çalışmalarda süne zararlı buğday ununun hamur yapısının iyileştirilmesi üzerine transglutaminaz enziminin olumlu etkisinin olduğunu belirlemişlerdir. Gluten kalitesinde gluteninler önemli bir rol oynar. Süne zararlı buğdaylardan elde edilen unların fonksiyonelliği ve yapısının düzeltilmesi için GO etkisinin görülmesinde özellikle buğday proteinlerinin alkolde eriyebilen fraksiyonlarındaki bağlar önemli rol oynamaktadır. Glikoz oksidazın da transglutaminazın gösterdiği etkiyi göstererek zarar görmüş gluten ağlarının iyileştirilmesinde kullanılabilmesi çiftçi ve fırıncıların ekonomik kayıplarını azaltacaktır. Yine Gerrard ve ark. (1998), transglutaminazın hamur niteliklerine etkisini araştırdıkları bir çalışmada bu enzim tarafından oluşturulan çapraz bağların ekmek niteliklerinde önemli etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Gerrard ve ark. (2002) transglutaminaz ve glüteraldehidin hamur niteliklerini etkilediğini, ekmek tekstürü üzerine olumlu etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Transglutaminaz hem albumin ve globulin fraksiyonları ve buğday proteinlerinin SDS de çözünmeyen fraksiyonlarında çapraz bağlar oluşturur. Glüteraldehid ise sadece albumin ve globulin fraksiyonlarında çapraz bağlar oluşturur. Buğday unu hamurunun niteliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan bir diğer enzim de GO'dur (Ameille ve ark. 2000).

Vemulapalli ve Hosney (1998) hamur niteliklerinde ve ekmek pişme özelliklerinde gelişmelerin gluten ağları içindeki disülfid çapraz bağlara atfedilebileceğini bildirmişlerdir. Tilley ve ark. (2001) peroksidazların fenolik bağların oluşumunu katalize ettiğini ifade etmişlerdir. Glikoz oksidazın hem hamurda protein çapraz bağlarını oluşturduğu, hem de hamur ve ekmek özelliklerini geliştirdiği düşünülmektedir. Dunnewind ve ark. (2002), hamura glikoz oksidaz enziminin ilavesinin hamurun sertliğini ve direncini arttırdığını belirlemişlerdir. Glikoz oksidaz ilavesi buğday hamuru üzerine kuvvetlendirici bir etkiye sahiptir (Martinez-Anaya ve Jimenez 1997). Unda suda eriyebilen protein fraksiyonları üzerine

glikoz oksidazın önemli bir etkisinin olduğu belirtilmiştir (Allen 1999). Rasiah ve ark. (2005), suda eriyebilen fraksiyonların çapraz bağlarından dolayı glikoz oksidazın ekmeğe gözenekliliğinde az da olsa bir gelişme sağladığını belirtmişlerdir. Vemulapalli ve Hosney (1998), glikoz oksidaz ilave edilmiş undan elde edilen hamurdan ekstrakte edilen suda eriyen fraksiyonlarında sülfhidril içeriklerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Enzim uygulamasının hamurun reolojisine etkisi:

Glikoz oksidazın alveograf değerine etkisi;

Bonet ve ark. (2006), glikoz oksidaz enziminin hamurun reolojisine ve ekmeğe kalitesine etkisini inceledikleri bir çalışmada glikoz oksidaz enziminin

artmasıyla deformasyon enerjisinin arttığı belirlenmiş, %0.005'in üzerindeki dozda enerji değerindeki artış istatistikî olarak %5 seviyesinde önemli bulunmuştur. Glikoz oksidaz enziminin artmasıyla alveograf parametrelerinden P (hamur direnci) değeri artış gösterirken L (hamur uzama kabiliyeti) değerinin ise azalma gösterdiği buna bağlı olarak P/L oranının arttığı, deformasyon enerjisinde önemli artış olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada %0.001 GO dozunda su absorpsiyonunda bir değişim olmazken, %0.005 GO dozunda su absorpsiyonunda artış olduğu, uygulanan en yüksek GO dozunun hamur toleransını önemli derecede artırdığı böylece stabilitesinin arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 1). Yine Poulsen ve Hostrup (1998) ve Primo-Martin ve ark. (2005) da glikoz oksidaz enziminin mevcudiyetinde hamur direncinin arttığını ve uzayabilirliğinin azaldığını belirlemişlerdir.

Çizelge 1. Artan GO konsantrasyonunun hamurun reolojik özelliklerine etkisi

GO dozları (%)	WA(%)	Tol (s)	P (mm)	L (mm)	W(x 10-4J)	P/L
0.000	55.1 a	123.3 a	41 a	95.5 d	115.5 a	0.43 a
0.001	56.4 ab	127.0 a	37 a	110.5 c	124.5 ab	0.34 a
0.005	56.5 b	148.0 ab	57 b	71.0 b	124.0 ab	0.81 b
0.010	56.1 ab	151.0 ab	72 c	52.0 a	134.0 b	1.41 c
0.015	55.7 ab	164.5 b	85 d	45.5 a	150.0 c	1.88 d

Kaynak: Bonet ve ark. (2006)

GO: glikoz oksidaz; WA: su absorpsiyonu; Tol: tolerans; P: direnç; L: uzama yeteneği; W: deformasyon enerjisi; P/L: biçimsel oran.

GO uygulamasının ekmeğe kalitesine etkisi;

Bonet ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışmada enzim uygulamasının ekmeğin teknolojik kalitesi üzerine etkisini incelemişler, elde ettikleri değerler Çizelge 2'de verilmiştir.

GO uygulaması yapılmış zarar görmüş buğday unundan yapılan ekmeğin indeks değeri, sağlam undan yapılan ekmeğin indeks değerine ulaşmıştır. Bu sonuçlar ekmeğe hacminde GO'nun olumlu etkisi olduğunu belirten Vemulapalli ve Hosney (1998) in bulguları ile birbirini desteklemektedir. Bununla birlikte spesifik hacimde önemli bir azalma olmuştur. Muhtemelen bu, GO aktivitesinden dolayı su tutma kapasitesinin artışının sonucudur. Böcek zararının sebep olduğu gluten hidrolizi zayıf gluten ağı ve zayıf ekmeğe strüktürüne sebep olur. Fakat ekmeğe içi

gözenek yapısı, çiğnenme özelliği, esneklik, elastikiyet gibi tekstür parametreleri böcek zararından etkilenmemiş, sağlam tane ununun ekmeğine benzer özellik göstermiştir (Çizelge 2).

Sağlam undan yapılan ekmeğe göre; zarar görmüş una GO ilavesi yapılmaması durumunda sertlik değeri %20, çiğnenme özelliği %25 oranında düşmüştür. Ekmeğin tekstür profilinin analizinde zarar görmüş una GO ilavesi yapılmasıyla sertlik ve çiğnenme özelliğinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Rasiah ve ark. (2005) glikoz oksidazın ekmeğe kalitesi üzerine etkisini inceledikleri çalışma sonucunda GO'nun ekmeğin ufalanma özelliklerinde bir iyileşme sağladığını, ekmeğe hacminde bir farklılık oluşturmadığını, artan GO dozlarının şekil indeks değerini artırdığını, spesifik hacim değerini azalttığını belirlemişlerdir.

Çizelge 2. Enzim uygulamasının ekmeklik kalitesine ve tekstür parametrelerine etkisi

	Sağlam tane unu	Zarar görmüş tane unu	Zarar görmüş tane unu
GO dozları(%)	Muamelesiz (0)	Muamelesiz(0)	0.01 GO
Şekil İndeksi	1.71 ± 0.07a	1.95 ± 0.09b	1.72 ± 0.03a
Spesifik hacim(mLg ⁻¹)	2.59 ± 0.08b	2.54 ± 0.11b	2.36 ± 0.07a
Sertlik	603.6 ± 62.2bc	473.7 ± 40.5a	570.2 ± 86.5b
Çiğnenme	265.2 ± 26.7b	201.7 ± 35.3a	256.6 ± 42.0b
Gözeneklilik	0.479 ± 0.009a	0.458 ± 0.053a	0.489 ± 0.017a
Elastikiyet	0.918 ± 0.009a	0.926 ± 0.009a	0.921 ± 0.009a
Esneklik	0.193 ± 0.008a	0.171 ± 0.039a	0.191 ± 0.021a

Kaynak: Bonet ve ark. (2007)

Glikoz oksidaz uygulamasının gluten proteinlerine etkisi;

Bonet ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışma sonucunda zarar görmüş buğday unlarına GO ilavesiyle protein ağlarının strüktüründe bir düzelleme sağlandığı ve sağlam buğdayların unlarına benzer ve GO muamelesi yapılmamış örneklerle göre daha uniform bir yapının kazandırıldığını belirlemişlerdir.

Bonet ve ark. (2006, 2007), GO'nun moleküler düzeydeki etkisini incelemek için proteinleri ekstrakte ederek gluten depo proteinlerini ve glutenin subunitlerini (yüksek molekül ağırlıklı ve düşük molekül ağırlıklı gluten subunitleri) HPCE (High Performance Capillary Electrophoresis) ile analiz etmişlerdir. GO'nun %0.005 dozuna kadar ilavesinde toplam glutenin ve gliadin kurvelerinde önemli bir farklılık belirlenmemiş, eklenen en yüksek GO dozu olan %0.010 da ise önemli düşüş olduğu belirlenmiştir. Aynı durum düşük molekül ağırlıklı glutenin alt üniteleri (LMW-GS) içinde gözlenmiş, en yüksek GO dozu önemli azalma meydana getirmiştir. Yüksek molekül ağırlıklı glutenin alt üniteleri (HMW-GS) için ise durum farklı olmuştur, GO enziminin düşük dozda ilavesi yüksek molekül ağırlıklı gluten subunitlerinin değişiminde yeterli olmuş ve farklılık meydana getirmiştir. Vemulapalli ve Hosoney (1998), yaptıkları çalışmada suda eriyebilen proteinlerin oksidasyonuna sebep olduğunu belirlemişlerdir. Bununla beraber bu subunitler üzerine en önemli etki en yüksek GO dozunda belirlenmiştir, muamele edilmeyen gluten örnekleriyle bu değer karşılaştırıldığı zaman 4 kez daha düşük değer elde edilmiştir. GO ilavesi ile gliadinlerde önemli artış meydana getirmiştir, buna rağmen artan GO dozları ilave bir artış sağlamamıştır. GO'nun %0.001'den yüksek konsantrasyonlarında düşük molekül ağırlıklı glutenin alt üniteleri önemli (p<0.05) azalma belirlenmiştir. Yüksek molekül ağırlıklı glutenin alt üniteleri farklı bir eğilimde olmuş, %0.001 GO dozunda bile önemli derecede azalma göstermişlerdir. Glutenin subunitlerinin ekstraksiyonundaki azalma ditrosin çapraz bağlarının oluşumuyla açıklanmalıdır. Çünkü

ekstraksiyonda azaltıcı etkiye sahip dithiothreitol kullanılmıştır. Tüm bu doğal disülfid çapraz bağları ya da bu yapıdaki formlar enzim uygulamasının serbest thiol gruplarını azaltmasından dolayı oluşmuştur. Bu nedenle GO ilavesi ditrosin çapraz bağları sayesinde yüksek molekül ağırlıklı agregatların oluşumunu sağlar.

Michon ve ark. (1999), peroksidazlar tarafından katalize edilen ditrosin çapraz bağlarının gliadinlerin yeteneğini oluşturduğunu belirtmiştir. Gliadin kütleleri yüksek molekül ağırlıklı gliadin monomerleri ile tam olarak aynı dolgu rolüne sahip olmasa da GO tarafından üretilen oksijen peroksit sayesinde oluşur.

SONUÇ

Zarar görmüş buğdayların unlarında hamur fonksiyonlarının geliştirilmesi ve ekmeklik özelliklerinin iyileştirilmesinde ve kazanımlarında kimyasal oksidantlara alternatif olarak glikoz oksidaz enzimi etkili bir şekilde kullanılabilir. Bonet ve ark (2006), GO ilavesinin hamur reolojisi ve ekmek özelliklerine etkisini incelemişler, aşırı dozda ilavesinin ters etki yapmasına rağmen uygun dozda ilave edilmesi halinde hamuru güçlendirmede ve ekmek özelliklerini iyileştirmede olumlu etki sağladığını belirlemişlerdir.

KAYNAKLAR

- Allen WG (1999) Alternative oxidants as dough conditioners. *Cereal Foods World* 44: 642–649.
- Ameille V, Garcia P, Rakotozafy L, Potus J, Nicolas J (2000) Effects of glucose oxidase or lipase addition on dough consistency and oxygen consumption during mixing of unteasted flour dough. *Sciences des Aliments* 20: 441–455.
- Bonet A, Caballero PA, Rosell CM, Gomez M (2005) Microbial transglutaminase as a tool to restore the functionality of insect damaged wheat. *Cereal Chem* 82: 425–430.

- Bonet A, Rosell CM, Caballero PA, Gomez M, Perez-Munuera I, Lluch MA. (2006) Glucose oxidase effect on dough rheology and bread quality: A study from macroscopic to molecular level. *Food Chemistry* 99: 408–415.
- Bonet A, Rosell CM, Perez-Munuera I, Hernando I (2007) Rebuilding gluten network of damaged wheat by means of glucose oxidase treatment. *J Sci Food Agric* 87: 1301–1307.
- Dunnewind B, Van Vliet T, Orsel R (2002) Effect of oxidative enzymes on bulk rheological properties of wheat flour dough. *J. Cereal Sci.* 36: 357–366.
- Dupuis B (1997) The chemistry and toxicology of potassium bromate. *Cereal Foods World* 42: 171–183.
- Gerrard JA, Fayle SE, Wilson AJ, Newberry MP, Ross M, Kavale S (1998) Dough properties and crumb strength of white pan bread as affected by microbial transglutaminase. *Journal of Food Science* 65: 312–314.
- Gerrard JA (2002) Protein-protein crosslinking in food: methods, consequences applications. *Trends Food Science Technology*, 13: 389–397.
- Gerrard JA, Brown PK, Fayle SE (2002) Maillard crosslinking of food proteins III: The effects of glutaraldehyde, formaldehyde and glyceraldehyde upon bread and croissants. *Food Chemistry*; 80: 45–50.
- Goesaert H, Brijs K, Veraverbeke WS, Courtin CM, Gebruers K, Delcour JA (2005) Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends Food Science and Technology*; 16 (1–3), 12–30.
- Gujral HS, Rosell CM (2004) Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International* 37: 75–81.
- Haaralsita S, Pullinen T, Vaisanen S, Tammersalo-Karsten I (1991) Enzyme product and method of improving the properties of dough and the quality of bread. US Patent 4990343.
- Haaralsita S, Pullinen T (1992) Novel enzyme combination: a new tool to improve baking results. *Agro Food Ind Hi Technol (Italy)* 3: 12–13.
- Köksel H, Sivri D, Ng PKW, Steffe JF (2001) Effects of transglutaminase enzyme on fundamental rheological properties of sound and bug-damaged wheat flour doughs. *Cereal Chem* 78: 26–30.
- Martinez-Anaya MA, Jimenez T (1997) Rheological properties of enzymes supplemented doughs. *J Texture Stud* 28: 569–583.
- Michon T, Wang W, Ferrasson E, Gu'eguen J (1999) Wheat prolamine crosslinking through dityrosine formation catalyzed by peroxidases: improvement in the modification of a poorly accessible substrate by 'indirect' catalysis. *Biotechnol Bioeng* 63: 449–458
- Poulsen C, Hostrup BP (1998) Purification and characterization of a hexose oxidase with excellent strengthening effects in bread. *Cereal Chemistry*; 75: 51–57.
- Primo-Martin C, Wang M, Lichtendonk WJ, Plijter J, Hamer RJ (2005) An explanation for the combined effect of xylanase-glucose oxidase in dough systems. *Journal of Science of Food and Agriculture*; 85: 1186–1196.
- Rasih JA, Sutton KM, Low FL, Lin HM, Gerrard JA (2005) Crosslinking of wheat dough proteins by glucose oxidase and the resulting effects on bread and croissants. *Food Chem* 89: 325–332.
- Rosell CM, Aja S, Bean S, Lookhart G (2002) Effect of *Aelia* spp and *Eurygaster* spp damage on wheat proteins. *Cereal Chem* 79: 801–805.
- Schorah CJ (1999) Micronutrients, vitamins, and cancer risk. *Vitam Horm* 57: 1–23.
- Tilley KA, Benjamin RE, Baogoraza KE, Mosses Okot-Kotber B, Praskash O, Kwen H (2001) Tyrosine cross-links: Molecular basis of gluten structure and function. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 49: 2627–2632.
- Tsen CC (1969) Effects of oxidizing and reducing agents on changes of flour proteins. *Cereal Chem* 46: 435–442.
- Vemulapalli V, Hosney RC (1998) Glucose oxidase effects on gluten and water solubles.