

GIDALARIN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİNDE YAKIN KIZILÖTESİ (NIR) SPEKTROSKOPİSİ

Mustafa Fatih Ertugay*¹, Mehmet Başlar²

¹ Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum

² Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bayburt

Geliş tarihi / Received: 14.10.2010

Kabul tarihi / Accepted: 11.11.2010

Özet

780-2500 nm dalga boyu aralığındaki elektromanyetik radyasyonun absorpsiyonu temeline dayanan yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi, son zamanlarda gıda bileşenlerinin analizinde giderek yaygınlaşan, numuneyi tahrip etmeyen hızlı bir alternatif teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknik, gıdalardaki çeşitli bileşenlerin nicel (kantitatif) analizlerinde kullanılmaktadır. NIR diğer geleneksel metotlarla karşılaştırıldığında; analizlerin yapılması sırasında kimyasal madde kullanımına gerek olmaması, analiz maliyetinin düşük olması, birçok bileşenin eş zamanlı ve hızlı (15-90 s) analizi, NIR ile analiz edildikten sonra yapılacak olan diğer analizler için numunenin tekrar kullanılabilirliği ve az miktarda örnek ihtiyacının olması gibi çeşitli üstünlüklere sahiptir. Ayrıca, gıda sanayinde on-line olarak uygulanabilmektedir. Bununla birlikte, kalibrasyon modeli genellikle referans analizlere dayandırıldığı için, standart veya referans analizlere bağımlılık, güvenilir ve stabil kalibrasyon modeli oluşturma gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bu çalışmada, gıdalarda yakın kızılötesi spektroskopisinin tarihsel gelişimi, teorisi, kalibrasyon modelinin geliştirilmesi, avantaj ve dezavantajları ile uygulama alanları anlatılmaktadır.

Anahtar sözcükler: Yakın kızılötesi spektroskopisi, NIR, gıda kalitesi, nicel analiz

THE USING OF NEAR INFRARED SPECTROSCOPY (NIR) IN DETERMINATION OF FOODS QUALITY

Abstract

Near infrared (NIR) spectroscopy, based on the absorption of electromagnetic radiation at wavelengths in the range 780–2500 nm, provides an alternative, non-destructive and rapid technology applied increasingly for determination of food constituents in recent years. This technique has been used to quantitatively for characterize of various constituents in foods. NIR has various advantages compared with traditional methods such as chemical-free, low cost, determination of numerous constituents as simultaneous and very fast (15-90 s), availability of samples for further analysis after the measurement with NIR, requiring a relatively less amount of sample. In addition, it can be performed on-line in food industry. However, NIR has some disadvantages such as dependency on standard or reference analysis, reliable and stable calibration model, since the calibration model is usually built according to reference methods. In this study, historical developing, theory, calibration model, advantages/ disadvantages and available applications of near infrared spectroscopy for foods have been reviewed.

Keywords: Near infrared spectroscopy, NIR, food quality, quantitative analysis.

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ fertugay@atauni.edu.tr, ☎ Tel: (+90) 442 231 2482, 📠 (+90) 442 236 0958

GİRİŞ

Son yıllarda gıdaların üretim aşamasında veya analizlerinde hızlı, güvenilir ve çevre dostu teknolojilere olan ilgi gittikçe artmakta, buna bağlı olarak da geleneksel metotlara alternatif çeşitli teknolojiler geliştirilmektedir. Çünkü çoğu cihaza bağımlı olan ve kimyasallara ihtiyaç duyan geleneksel metotlar zaman alıcı metotlar olup uzman analiste ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde geleneksel metotlara alternatif yaygın kullanım alanı olan teknolojilerden biri de yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisidir (1).

Gıda örneklerinin kalite özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan hızlı ve gıdayı tahrip etmeyen NIR spektroskopisi, 780-2500 nm dalga boyu aralığındaki elektromanyetik radyasyonun absorpsiyonu temeline dayanan ve gıdalarda analiz amaçlı kullanılan bir teknolojidir. Bahsedilen dalga boyu aralığındaki elektromanyetik spektrumundaki absorpsiyon ile gıda örneklerindeki kalite özelliklerinin korelasyon halinde olması, bu korelasyonun çözümlenmesi prensibine dayanan NIR spektroskopisinin özellikle gıda ve tarımsal ürünlerin fiziksel ve kimyasal analizlerinde rutin olarak kullanılabilmesine imkan tanımaktadır (2, 3). Bu teknik kullanımının kolay olmasından dolayı endüstriyel kurulumu uygun olup, diğer tekniklerle karşılaştırıldığında ekipman temini ve çalışılması nispeten daha kolaydır.

NIR spektroskopisi genellikle gıda analizlerinde kullanılmakla beraber tarım, kimya sanayisi, eczacılık gibi alanlarda da kullanılabilir. Gıda endüstrisinde kullanılan endüstriyel NIR cihazlarına kalibrasyon modelleri hazır olarak yüklenmektedir. Bu cihazların ülkemizde en yaygın kullanıldığı yerler süt ve un fabrikalarıdır. Büyük ve orta ölçekli süt fabrikalarının çoğunda bulunan ve yağ, kuru madde, protein, laktoz gibi majör bileşenlerin ölçümünü 15-60 saniyede yapabilen birçok cihaz bu esasa göre çalışmaktadır.

TARİHSEL GELİŞİM

Yakın kızılötesi enerjisinin keşfi Herschel tarafından 19. yüzyılda gerçekleşmesine rağmen, 20. YY'nın ikinci çeyreğine kadar her hangi bir somut kullanımı olmamıştır. Daha sonraları NIR spektrumlarının, bağların titreşim davranışlarından yola çıkarak moleküller arası bağlar hakkında ve daha da önemlisi mevcut moleküllerin türleri hakkında bilgi sağlamada kullanılabileceği düşünülmüş (4)

ve bileşen analizlerinde kullanılabilirliği araştırılmaya başlanmıştır.

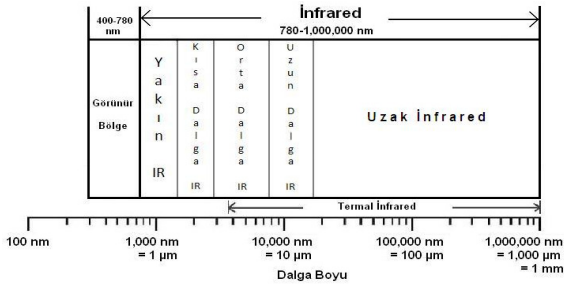
NIR'in ilk analitik uygulamaları 1950'lerin ortalarında çeşitli çözeltilerde nem miktarının analiz edilmesine yönelik çalışmalardır. 1960'ların başlarına gelindiğinde bazı gıdalarda (tahıllar, bitki tohumları, kurutulmuş meyve ve sebze) saf suyun NIR bölgesinde absorpsiyon pikleri verdiği dalga boyları kullanılarak klasik spektroskopilerde çözeltilerdeki nem içeriği analiz edilmiş ve böylece gıdalarda nem analizine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Aynı yıllarda numunelere ait absorpsiyon spektrumlarının çizilmeye başlamasıyla ekstrakta gerek kalmadan yakın kızılötesi spektroskopisi kullanılarak numuneden direkt nem analizi fikri gündeme gelmiştir (5).

Norris ve ekibi tarafından ilk olarak 1968 yılında NIR spektroskopi verileri soya fasulyelerinin analizinde kullanılmıştır. Fakat en önemli uygulamaların başında buğdayda protein içeriğinin başarılı bir şekilde belirlenmesi gelmektedir. Daha sonraları Dünya'nın birçok ülkesinde rutin olarak kullanılan bir metot olarak yaygınlaşmaya başlamıştır. Geleneksel analiz yöntemlerine göre oldukça pratik ve avantajlı olan bu metodun gelişmesi zaman almış, fakat kemometri ve ileri bilgisayar teknolojisinin gelişmesine paralel olarak hem gıda biliminde hem de diğer bilim dallarındaki kullanım alanları hızla artmıştır (1, 2).

TEORİSİ VE ÖZELLİKLERİ

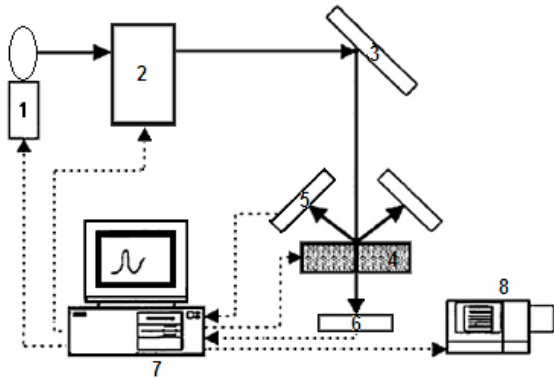
Genel olarak spektroskopik analizler, çözeltilerin ışığı absorbe etmesi, geçirmesi veya yansıtması gibi özelliklerinin ölçülmesine dayanan enstrümantal analizlerdir. Bir maddenin belli bir dalga boyundaki bir ışını absorbe etmesi, onun diğer fiziksel veya kimyasal özellikleri gibi karakteristik bir özelliğidir (6).

NIR spektroskopisi elektromanyetik spektrumun 780 ile 2500 nm dalga boyu aralığındaki bölgesini kapsamakta (Şekil 1) ve yapı içerisindeki O-H, C-H, C-O ve N-H gibi moleküler bağların titreşimleri ile ilgili olarak absorpsiyon bantları oluşturmaktadır. Söz konusu bölgede analiz edilecek olan örnek yakın kızılötesi ışınları ile karşılaştığı zaman, bu bağlar titreşimsel enerji değişikliklerine maruz kalmakta ve bunun sonucu olarak da moleküller titreştiği zaman NIR bölgesindeki organik moleküllerin enerji absorpsiyonu meydana gelmektedir (7).



Şekil 1. Yakın kızılötesi ve elektromanyetik spektrum.

Yakın kızılötesi spektroskopisinin kalibrasyon modeli geliştirilmesi yavaş ve zor olmakla beraber uygulamada çok hızlı sonuç vermekte, birçok bileşen ve kalite özelliklerinin analizi eşzamanlı olarak birkaç dakikada yapılabilmektedir. Analiz sonuçları referans analizlere bağımlı olduğu için güvenilir kalibrasyon modellerinin oluşturulması çok önemlidir. Son zamanlarda NIR uygulamalarında kemometriyle birleştirilen birçok kalibrasyon modeli geliştirilmiştir. Adımsal çoklu lineer regresyon (SMLR), temel bileşen regresyonu (PCR), kısmi en az kareler (PSL) ve yapay nöral ağ (ANN) literatürde geçen başlıca analiz metotlarıdır (1, 8-12). Bir NIR spektroskopisi ünitesi genel olarak ışık kaynağı, ışık ayırıcı sistem, örnek detektörü, optik detektör ve bilgileri işleyen analiz sisteminden meydana gelmektedir (1) (Şekil 2).



Şekil 2. NIR spektroskopisi sistemi (1. Işık Kaynağı; 2. Işık ayırıcı sistem; 3. Reflektör; 4. Numune yatağı/ Detektör girişi; 5. Difüze yansıma detektörü; 6. İletim detektörü; 7. Kontrol ve bilgileri işleyen analiz sistemi; 8. Yazıcı)

NIR tekniğinin gıda analizlerinde uygulanması açısından bazı avantaj ve dezavantajlar söz konusu olmaktadır.

Avantajları:

-Ölçüm ve sonuç bildirimi oldukça hızlı ve basittir. Birkaç dakikada analiz sonuçlarına online olarak ulaşılabilir.

-Numuneye ait nem, protein, yağ gibi bileşen analizlerinin yanı sıra duyu ve kalite analizleri aynı anda yapılabilmektedir.

-Analiz için çok az bir numune yeterlidir. Ayrıca numunenin yapısına zarar vermeyen bir teknik olduğu için daha sonradan numunenin tekrar kullanımına imkân sunar.

-Analiz sırasında kimyasal madde sarfiyatı olmayacağı için herhangi bir tehlikesi yoktur. Ayrıca, kimyasal atık oluşturmayacağı için çevre dostu kabul edilir.

-Klasik analizlerde olduğu gibi her bir analiz için özel cihaz veya ekipmanlara ya da diğer laboratuvar malzemelerine ihtiyaç yoktur. Dolayısıyla kullanım maliyeti diğer analizlere kıyasla oldukça ucuzdur.

Dezavantajları:

-İlk yatırım maliyeti nispeten yüksektir.

-Kalibrasyon modellerinin geliştirilmesi zor ve zaman alıcı olmasının yanı sıra referans analizlere bağımlıdır.

-Metot genellikle majör bileşenlerin analizinde kullanılmakta, minör bileşenlerde ve bazı kalite özelliklerinde hassasiyet düşmektedir.

-NIR cihazları arasındaki optik farklılıklardan dolayı kalibrasyon modellerinin cihazlar arasında transferi bazen mümkün olmayabilmektedir.

UYGULAMA ALANLARI

NIR spektroskopisi geleneksel metotlara göre sahip olduğu önemli avantajlarından dolayı hammaddede, üretimin çeşitli aşamaları ve son ürün kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır (13, 14). Süt, tahıl, et, meyve ve sebzelerin kimyasal bileşimlerinin belirlenmesi (15, 16), bazı gıdalarda tağşişin tespit edilmesi gibi çeşitli uygulamaları bulunmaktadır.

Tahıl ve ürünleri

1974'te Kanada Tahıl Komisyonu tarafından buğdaydaki proteini belirlemede Kjeldahl'a alternatif olarak (2) ve 1980'lerin başında da bazı Avrupa ülkelerinde un değirmencileri tarafından protein esaslı buğday alımında kullanılmaya başlanmıştır. Aynı dönemde NIR protein testleri Amerika Fede-

ral Tahıl Denetim Servisince (FGIS) resmi metot kabul edilmiş ve bu tarihten sonra ABD'de buğday sınıflandırmada rutin olarak kullanılmıştır (21).

NIR spektroskopisi ile tahılların öğütme özelliği (22), protein ve nem (23), yaş gluten ve kuru gluten (24), Zeleny sedimantasyon (25), SDS sedimantasyon (26), miksoğraf pik direnci (26), gliadin ve glutenin (26), esansiyel aminoasit (27), renk (28), kül (29), nişasta zedelenmesi (29, 30), su absorpsiyonu (30), hamur mukavemeti (30), fermente hamurun kalite özellikleri (31) ve hamurun reolojik özelliklerinin belirlenmesi (32) yanında, çeşitli tahıl ürünlerinin enerjilerinin belirlenmesi (33), ekmeğin depolanması sırasındaki yapısal değişikliklerin izlenmesi (34) buğday çeşitlerinin belirlenmesi (35) ve ekmekte kalite analizi gibi bir çok konuda araştırma yapılmış ve pratiğe uygulanabilir veriler elde edilmiştir.

Süt ve ürünleri

Orta kızılötesi (MIR) spektroskopisi 1960'lardan beri süt ürünlerinin analizinde kullanılmakta olup, süt ürünlerinin proses kontrolünde ve analizlerinde anahtar rol oynayan yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi son zamanlarda uygulanmaya başlanmıştır (36). Özellikle süt ve süt ürünlerinde yağ ve protein (37, 38), laktoz (37, 39) ve şeker (40) analizleri, taze peynir üretimi sırasında on-line kalite kontrol analizi (41), süt tozu (42), yoğurt fermentasyonunun online olarak izlenmesi ve işlem kalitesinin kontrolü (43, 44) gibi konularda araştırmalar yapılmış ve uygun kalibrasyon modelleri elde edilmiştir.

Et ve ürünleri

NIR spektroskopisi et endüstrisinde özellikle kimyasal içeriğin belirlenmesinde yaygın olarak uygulanmakla birlikte, et ürünlerinin duyu analizlerinde de kullanılmaktadır (36). Özellikle et ve et ürünlerinde yağ, protein, nem (45, 46), renk, tekstür analizleri (47), hamburger köftelerinde yağın belirlenmesi (17) ve kanguru etinin sığır etinden ayırımının yapılması (48) gibi konularda başarılı kalibrasyon modelleri oluşturulmuştur. Bununla birlikte, balıklarda kimyasal kompozisyonun belirlenmesinde de kullanılmaktadır (49).

Meyve-sebze ve ürünleri

NIR spektroskopi tekniği, analiz edilen örneğin yapısında herhangi bir hasar meydana getirmemesinden dolayı taze meyve ve sebzelerde yapılan ana-

lizlerde özellikle tercih edilmektedir. Bu teknik çeşitli meyvelerde şeker (50-52), çözünür katı madde miktarı, sertlik (53) ve kalite analizi (54) gibi birçok konuda uygulanmıştır. Bu teknik meyve sularında asitlik ve brix (55), şeker (56), bazı organik asitlerin belirlenmesi (57), yağın tespit edilmesine (58, 59) yönelik çalışmalarda uygulanmış ve pratiğe aktarılabilir kalibrasyon modelleri elde edilmiştir. NIR spektroskopisi kullanılarak yağın etkili bir şekilde test edilen gıdalar arasında meyve püresi (60) ve bal (18) gibi gıdalar da bulunmakta ve üzüm çeşitlerine dayanılarak şarapların tanımlanmasında %100 doğrulukta tanımlama işlemi yapılmaktadır (19).

Diğer endüstrilerdeki kullanım alanları

NIR spektroskopisi gıda ürünlerinin yanı sıra petrokimya, eczacılık ve çevre sektöründe de kullanılabilirliği mevcuttur. Petrokimyada, petrol ürünlerinin analiz edilmesinde ve rafineride üretimin etkinliğinin kontrol edilmesinde, eczacılıkta ürünlerin üretim aşamasında veya ambalajlanmış formda el değmeden üretilmesinde ve hammadde analiz edilmesinde kullanılmaktadır. Çevre sektöründe ise ambalajların geri dönüşümünde ve toprağın kirlilik analizi gibi konularda kullanılabilir olduğu bildirilmiştir (4).

SONUÇ

1970'lerde gıda analizlerinde kullanılmaya başlanan NIR teknolojisi kısa bir süre içinde birçok ülke tarafından yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Şu anda geçerliliği kanıtlanmış bir metot olarak kabul edilen ve birçok ülkede bazı klasik metotların yerini almış olan NIR teknolojisi ülkemizdeki çalışmaların sınırlı ve uzman sayısının az olmasından dolayı yeterince anlaşılammış ve verimli kullanılamamıştır. Geleneksel metotlarla saatler süren analizlerin birçoğunun aynı anda ve sadece birkaç dakikada yapılabilmesine imkân sunan böyle bir teknolojinin ülkemizde yaygınlaşması gıda teknolojisi ve endüstrisine önemli derecede katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Cen H, He Y. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends Food Sci Tech* 18 (2): 72-83.

2. Davies AMC, Grant A. 1987. Review: Near-Infrared Analysis of Foods. *Int J Food Sci Tech* 22 (3): 191-207.
3. Osborne BG, Fearn T, Hindle PH. 1993. *Practical Near Spectroscopy*. Longman, Harlow, pp. 49-78.
4. Blanco M, Villarroya I. 2002. NIR spectroscopy: A rapid-response analytical tool. *Trac-Trend Anal Chem* 21 (4): 240-250.
5. Osborne BG, Fearn T. 1986. *Near-infrared spectroscopy in food analysis*. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK.
6. Yetim H. 2002. *Enstrümantal Gıda Analizleri*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum.
7. Tiryaki (Yıldız) G. 2006. NIR spektroskopisinin hububatlar ve hububat ürünlerinin kalite kontrolünde kullanımını. Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongresi, 7-8 Eylül, Gaziantep.
8. Aske N, Kallevik H, Sjoblom J. 2001. Determination of saturate, aromatic, resin, and asphaltenic (SARA) components in crude oils by means of infrared and near-infrared spectroscopy. *Energy Fuels* 15 (5): 1304-1312.
9. Blanco M, Coello J, Iturriaga H, MasPOCH S, Pages J. 1999. Calibration in nonlinear infrared reflectance spectroscopy: A comparison of several methods. *Anal Chim Acta* 384 (2): 207-214.
10. Geesink GH, Schreutelkamp FH, Frankhuizen R, Vedder HW, Faber NM, Kranen RW, Gerritzen MA. 2003. Prediction of pork quality attributes from near infrared reflectance spectra. *Meat Sci* 65 (1): 661-668.
11. Gomez AH, He Y, Pereira AG. 2006. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *J Food Eng* 77 (2): 313-319.
12. Ni YN, Zhang GW, Kokot S. 2005. Simultaneous spectrophotometric determination of maltol, ethyl maltol, vanillin and ethyl vanillin in foods by multivariate calibration and artificial neural networks. *Food Chem* 89 (3): 465-473.
13. Sirieix A, Downey G. 1993. Commercial wheat flour authentication by discriminant analysis of near infrared reflectance spectra. *J Near Infrared Spec* 1 (4): 187-197.
14. Barton II FE, Shenk JS, Westerhaus MO, Funk DB. 2000. The development of near infrared wheat quality models by locally weighted regressions. *J Near Infrared Spec* 8 (3): 201-208.
15. Frankhuizen, R., 1992. *Handbook of Near-Infrared Analysis*, Marcel Dekker Inc, New York.
16. Kays SE, Barton II FE, Windham J. 2000. Predicting protein content by near infrared reflectance spectroscopy in diverse cereal food products. *J Near Infrared Spec* 8 (1): 35-43.
17. Ding HB, Xu RJ. 2000. Near-infrared spectroscopic technique for detection of beef hamburger adulteration. *J Agr Food Chem* 48 (6): 2193-2198.
18. Downey G, Fouratier V, Kelly JD. 2004. Detection of honey adulteration by addition of fructose and glucose using near infrared spectroscopy. *J Near Infrared Spec* 11 (6): 447-456.
19. Reid LM, O'Donnell CP, Downey G. 2006. Recent technological advances for the determination of food authenticity. *Trends Food Sci Tech* 17 (7): 344-353.
20. Fumie`re O, Sinnaeve G, Dardenne P. 2000. Attempted authentication of cut pieces of chicken meat from certified production using near infrared spectroscopy. *J Near Infrared Spec* 8 (1): 27-34.
21. Norris KH, Hruschka WR, Bean MM, Slaughter DC. 1989. A definition of wheat hardness using near infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Food World* 34 (9): 696-705.
22. Blazek J, Jirsa O, Hruskova M. 2005. Prediction of wheat milling characteristics by near-infrared reflectance spectroscopy. *Czech J Food Sci* 23 (4): 145-151.
23. Osborne BG, Fearn T. 1983. Collaborative evaluation of universal calibrations for the measurement of protein and moisture in flour by near infrared reflectance. *Int J Food Sci Tech* 18 (4): 453-460.
24. Ertugay ME, Kotancılar HG, Wehling RL. 2007. Determination of protein, wet and dry gluten of wheat flours by near-infrared spectroscopy. 2. International Congress on Food and Nutrition: New Techniques in Food Analysis, October 24-26, 2007, Istanbul, Turkey.
25. Hruskova M, Famera O. 2003. Prediction of wheat and flour Zeleny sedimentation value using NIR technique. *Czech J Food Sci* 21 (3): 91-96.
26. Delwiche SR, Graybosch RA, Peterson CJ. 1998. Predicting protein composition, biochemical properties, and dough-handling properties of hard red winter wheat flour by near-infrared reflectance. *Cereal Chem* 75 (4): 412-416.
27. Fontaine J, Schirmer B, Hörr J. 2002. Near-Infrared reflectance spectroscopy (NIRS) enables the fast and accurate prediction of essential amino acid contents. 2. Results for wheat, barley, corn, triticale, wheat bran/middlings, rice bran, and sorghum. *J Agr Food Chem* 50 (14): 3902-3911.
28. Dowell FE, Maghirang EB, Xie F, Lookhart GL, Pierce RO, Seabourn BW, Bean SR, Wilson JD, Chung OK. 2006. Predicting wheat quality characteristics and functionality using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chem* 83 (5): 529-536.
29. Osborne BG, Douglas S. 2006. Measurement of the degree of starch damage in flour by near infrared reflectance analysis. *J Sci Food Agr* 32 (4): 328 - 332.
30. Miralbes C. 2004. Quality control in the milling industry using near infrared transmittance spectroscopy. *Food Chem* 88 (4): 621-628.
31. Jirsa O, Hruskova M. 2005. Characteristics of fermented dough predicted by using the NIR technique. *Czech J Food Sci* 23 (5): 184-189.
32. Alava JM, Millar SJ, Salmon SE. 2001. The determination of wheat breadmaking performance and bread dough mixing time by NIR spectroscopy for high speed mixers. *J Cereal Sci* 33 (1): 71-81.
33. Kays SE, Barton II FE. 2002. Rapid prediction of gross energy and utilizable energy in cereal food products using near-infrared reflectance spectroscopy. *J Agr Food Chem* 50 (5): 1284-1289.

34. Xie F, Dowell FE, Sun XS. 2003. Comparison of near-infrared reflectance spectroscopy and texture analyzer for measuring wheat bread changes in storage. *Cereal Chem* 80 (1): 25-29.
35. Carlos M. 2008. Discrimination of European wheat varieties using near infrared reflectance spectroscopy. *Food Chem* 106 (1): 386-389.
36. Meyers RA (ed), Osborne BG. 2006. Near-infrared spectroscopy in food analysis. *Encyclopedia of analytical chemistry*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, 1-14p.
37. Sasic S, Ozaki Y. 2001. Short-wave near-infrared spectroscopy of biological fluids. 1. Quantitative analysis of fat, protein, and lactose in raw milk by partial least-squares regression and band assignment. *Anal Chem* 73 (1): 64-71.
38. Albanell E, Caja G, Such X, Rovai M, Salama AAK, Casals R. 2003. Determination of fat, protein, casein, total solids, and somatic cell count in goat's milk by near-infrared reflectance spectroscopy. *J AOAC Int* 86 (4): 746-752.
39. Lee SJ, Jeon IJ, Harbers LH. 1997. Near-infrared reflectance spectroscopy for rapid analysis of curds during cheddar cheese making. *J Food Sci* 62 (1): 53-56.
40. He Y, Wu D, Feng S, Li X. 2007. Fast measurement of sugar content of yogurt using VIS/NIR spectroscopy. *Int J Food Prop* 10 (1): 1-7.
41. Adamopoulos KG, Goula AM, Petropakis HJ. 2001. Quality control during processing of feta cheese - NIR application. *J Food Compos Anal* 14 (4): 431-440.
42. Maraboli A, Cattaneo TMP, Giangiacomo R. 2002. Detection of vegetable proteins from soy, pea and wheat isolates in milk powder by near infrared spectroscopy. *J Near Infrared Spec* 10 (1): 63-69.
43. Navratil M, Cimander C, Mandenius CF. 2004. On-line multisensor monitoring of yogurt and filmjolk fermentations on production scale. *J Agr Food Chem* 52 (3): 415-420.
44. Cimander C, Carlsson M, Mandenius CF. 2002. Sensor fusion for on-line monitoring of yoghurt fermentation. *J Biotechnol* 99 (3): 237-248.
45. Míček J, Sustova K, Simeonovova J. 2006. Application of FT NIR spectroscopy in the determination of basic chemical composition of pork and beef. *Czech J Anim Sci* 51 (8): 361-368.
46. Ortiz-Somovilla V, Espana-Espana F, Gaitan-Jurado AJ, Perez-Aparicio J, De Pedro-Sanz EJ. 2007. Proximate analysis of homogenized and minced mass of pork sausages by NIRS. *Food Chem* 101 (3): 1031-1040.
47. Liu Y, Lyon BG, Windham WR, Realini CE, Pringle TDD, Duckett S. 2003. Prediction of color, texture, and sensory characteristics of beef steaks by visible and near infrared reflectance spectroscopy. A feasibility study. *Meat Science* 65 (3): 1107-1115.
48. Ding HB, Xu RJ. 1999. Differentiation of beef and kangaroo meat by visible/near-infrared reflectance spectroscopy. *J Food Sci* 64 (5): 814-817.
49. Isaksson T, Togersen G, Iversen A, Hildrum KI. 2006. Non-destructive determination of fat, moisture and protein in salmon fillets by use of near-infrared diffuse spectroscopy. *J Sci Food Agr* 69 (1): 95-100.
50. Lu R, Guyer DE, Beaudry RM. 2000. Determination of firmness and sugar content of apples using near-infrared diffuse reflectance. *J Texture Stud* 31 (6): 615-630.
51. Lu R. 2001. Predicting firmness and sugar content of sweet cherries using near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Transactions of the ASAE* 44 (5): 1265-1271.
52. Lee K, Kim G, Kang S, Son J, Choi D, Choi K. 2004. Measurement of sugar contents in citrus using Near Infrared Transmittance. *Key Engineering Materials* 270/273 (12): 1014-1019.
53. Gomez AH, He Y, Pereira AG. 2006. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *J Food Eng* 77 (2): 313-319.
54. He Y, Zhang Y, Pereira AG, Gomez AH, Wang J. 2005. Nondestructive determination of tomato fruit quality characteristics using VIS/NIR spectroscopy technique. *International Journal of Information Technology* 11 (11): 97-108.
55. Jha SN, Matsuoka T. 2004. Non-destructive determination of acid-brix ratio of tomato juice using near infrared spectroscopy. *Int J Food Sci Tech* 39 (4): 425-430.
56. Lanza E, Li BW. 1984. Application for Near Infrared Spectroscopy for Predicting the Sugar Content of Fruit Juices. *J Food Sci* 49 (4): 995-998.
57. Chen JY, Han Z, Ryuji M. 2006. Rapid determination of the main organic acid composition of raw Japanese apricot fruit juices using near-infrared spectroscopy. *J Agr Food Chem* 54 (26): 9652-9657.
58. Lorenzo L, Kelly JD, Downey G. 2005. Detection of apple juice adulteration using near-infrared transilluminance spectroscopy. *Appl Spectrosc* 59 (5): 593-599.
59. Twomey M, Downey G, McNulty PB. 1995. The potential of NIR spectroscopy for the detection of the adulteration of orange juice. *J Sci Food Agr* 67 (1): 77-84.
60. Contal L, Leon V, Downey G. 2002. Detection and quantification of apple adulteration in strawberry and raspberry purees using visible and near infrared spectroscopy. *J Near Infrared Spec* 10 (4): 289-299.