

ОӘЖ 535-15

**ИНФРАҚЫЗЫЛ СПЕКТРОСКОПИЯЛЫҚ ӘДІС, ОНЫҢ ТАМАҚ  
ӨНЕРКӘСІБІНДЕГІ АТҚАРАТЫН ҚЫЗМЕТІ**

**А.Н. Кеңесова, М.Т. Умирбек**

[Kakdidar@list.ru](mailto:Kakdidar@list.ru)

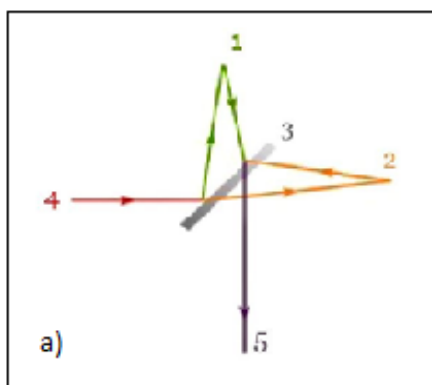
5B072300 – «Техникалық физика» мамандығы бойынша 3-курс студенттері,  
Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
Ғылыми жетекшісі – А.А. Абдрахметова

Инфрақызыл спектроскопия (ИҚ) - бұл осы облыста электромагниттік толқындардың жұтылуы спектрлерін зерттеуге негізделген әдіс. ИҚ-облысындағы спектрлердің пайда болуы

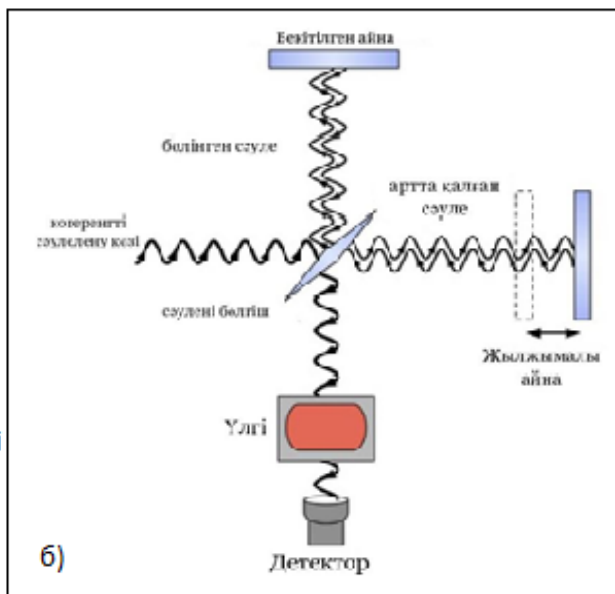
атомдар мен молекулалардың функционалды топтарының жарық әсерінен тербелісіне байланысты, өйткені қандай да бір молекуланың спектралдық сипаттамасы оны құрайтын атомдар массасына, оның геометриялық құрылымына, атомдар арасындағы күштерге, зарядтың үлестірілуіне және басқа да шарттарға тәуеді.

Спектрофотометрлер спектрлерді жазу үшін қолданылады, бұл құрылғылардың ең заманауи түрі - Фурье түрлендіруі бар спектрофотометрлер. Мұндай құрылғылардағы негізгі жұмыс элементі классикалық спектрофотометрлерде қолданылатын монохроматордың орнына Майкельсон интерферометрі болып табылады. Нәтижесінде кез-келген қосылыстың спектрі алынған кезде әдеттегі түрдегі спектрограмма емес, интерферограмма алынады және оны таныс спектрге айналдыру үшін алынған мәліметтердің сәйкес Фурье түрлендіруі жүзеге асырылады.

Альберт Майкельсон интерферометрі 1881 жылы жасалған. Оның жұмысының сызбасы 1-суретте көрсетілген. Бұл екі айнадан тұратын оптикалық құрылғы (а) – бекітілген 1 және қозғалмалы 2. Жарық көзі 4 шыққан сәуле жартылай мөлдір айна 3 келіп түседі, сәулеле екі бағытқа бөлініп екі айнаға бағытталады. Айналар арқылы шағылысқан сәуле жартылай мөлдір айнаның белгілі бір қиылысу нүктесіне жинақталып детекторға 5 келіп түседі.



1-сурет. Майкельсон интерферометрі жұмысының сызбасы



Жалпы түрде, Майкельсон интерферометрі негізіндегі ИҚ-Фурье спектрофотометрінің жұмыс сызбасын (б) да осы суреттен көруге болады. Интерферометр мен зерттелетін үлгі арқылы өтетін жарық көзінен шығатын сәулені детектор тіркейді. Интерферограмма түрінде алынған мәліметтер сәйкес Фурье түрлендіруін жүзеге асыратын компьютерге беріледі. Алынған спектр жарықтың өтуі (оптикалық тығыздық) - толқындық сан (толқын ұзындығы) координатталар жүйесінде спектрограмма түрінде дисплейге шығарылады.

ИҚ-Фурье спектрофотометрлерінің артықшылығы: «сигнал:шудың» жоғары арақатынасы; дисперстік элементті өзгертпей, толқын ұзындығының кең диапазонында жұмыс істеу мүмкіндігі; спектрді жылдам (секунд аралықта) тіркеу; жоғары ажыратымдылық ( $0,001 \text{ см}^{-1}$  дейін);  $0,05 \text{ мкг/мл}$  концентрациясы бар заттарды анықтау мүмкіндігі. ИҚ-Фурье спектрофотометриясындағы таза заттарды анықтау ақпараттық іздеу жүйелерін қолданып, талданған спектрлік мәліметтер базасында бар спектрмен автоматты түрде салыстыру арқылы жүзеге асырылады.

ИҚ-Фурье спектроскопиясы арқылы органикалық заттардың құрамы және олардың құрылымы туралы нақты ақпарат алуға болады, сондықтан бұл әдісті тамақ өндірісінде қолдану перспективасы өте жоғары. Бұл әдіс сүт және ет өнімдері, май, көкөністер, астық пен жемнің құрамын талдауда, олардың ылғалдылығын анықтауды, сонымен қатар сыра және басқа алкогольдік сусындар, шырын өндірісіндегі технологиялық процестерді бақылауда 90 жылдардан бері түрлі ғалымдармен зерттеліп келеді. Әдетте ИҚ-спектроскопия әдісі өнімдерді талдаудың қосымша әдісі ретінде хроматографиядан кейін қолданылады. Алайда, инфрақызыл спектроскопиялық талдау тез және сапалы, дәлдігі жоғары әдістердің бірі болып қалады, өйткені балқу температурасы, тығыздығы секілді қасиеттерден гөрі заттың инфрақызыл спектрі – сол затты дәл сипаттайтын бірімәнді физикалық қасиеттердің бірі болып табылады.

Азық-түлікке деген жыл сайын сұраныс пен жеткізу тізбегінің артуы бүкіл елдерде осы салада алаяқтықтың орын алуына себеп болып отыр. Мысалы 2008 жылы Қытайда үлкен жанжал орын алған, онда 22 қытайлық сүт өндіруші компаниялардың (Қытайдағы әрбір бесінші жеткізуші) өнімдерінен меламина табылды. Қытайлық сүт өндірушілер сүтке меламина деп аталатын қосымша зат қосып, сүт құрамында ақуыздың санын формальды түрде көбейткен және сол арқылы оның құнын жоғарылатқан екен. Мұндай іс-әрекеттің салдарынан ағзадағы бүйрекке үлкен ауыртпалық түсіп, бүйрек жетіспеушілігіне әкеледі. Нәтижесінде 300 000 -нан астам адам жарақат алды, олардың 57 000-ы ауруханаға жатқызылды, 6 бала қайтыс болды. Тергеу нәтижесінде 20-дан астам адам сотталды, оның екеуі өлім жазасына кесілді. Екінші бір мысал ретінде 2013 жылы болған танымал жылқы еті жанжалын атап айтсақ болады. Ирландияда сиыр етінен жасалған мұздатылған гамбургерлерінің ауқымды сынағы жүргізілді және зерттелген үлгілердің үштен бірінде жылқының және 85% шошқаның ДНҚ-сы бар екендігі анықталды. Осыдан кейін, басқа да бүкіл Еуропа мен ет жеткізуші елдерге Мексика, Румыния, АҚШ әсер еткен ауқымды тергеу жұмыстары жүргізілді. Тергеу нәтижесінде, еттің жарты бөлігінде адам денсаулығына қауіп төндіретін, апластикалық анемия тудыруы мүмкін фенилбутазон (стероидты емес қабынуға қарсы препарат) болғаны анықталды.

Тағы да бір фальсификацияның бір көрінісі зәйтүн майымен байланысты. Орташа есеппен бір итальяндық (РАІ деректері бойынша) жылына 11 литр зәйтүн майын тұтынады (ең алдымен «Италияда жасалған» өнімді). Алайда, әр түрлі зерттеулерге сәйкес «Италияда жасалған» өнімінің екі бөтелкесінің бірі жалған болып табылады. Forbes журналының хабарлауынша, 2016 жылы итальяндық компаниялар 200 000 тоннадан көп емес зәйтүн майын өндірді, ал Италияда бұл өнімді ұлттық тұтыну 600 000 тоннаны құрады. 2016 жылы итальяндық билік қылмыстық желілердің қолдауымен зәйтүн майын жасанды сатумен айналысатын елеулі бизнесті тауып, жойды: 33 адам қамауға алынып, сот алдында жауап берді, ал жалпы сомасы 42 миллион долларлық активтер тәркіленді [2, 3].

Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігі Тауарлар мен қызметтердің сапасын бақылау және қауіпсіздік комитетінің төрайымы Людмила Бюрабекованың айтуы бойынша, 2018 жылы болған тексеріс жұмыстарының нәтижесі негізінде Қазақстанға жеткізілген және тексеруден өткен 2000 сынаманың (әдетте сүт және май өнімдері) 29% -ы фальсификацияланған. Сапасыз тауарлар нарыққа Ресей, Беларусь, Украина, Франция, Қырғызстан және қазақстандық өндірушілерден жеткізіледі екен. Ет өнімдеріне қатысты халал ережелерінде де сәйкес келмейтін өнімдердің баршылық екенін ескертті [4].

Осы орайда айта кететініміз, денсаулыққа зор зиян алып келетін және экономикалық шығындарды тудыратын жасанды азық-түліктердің құрылымын Фурье түрлендіргіш негізіндегі ИҚ- спектроскопиясын қолданып отырып зерттеу, зерттеу нәтижелерінің сапалы болуын қамтамасыз етеді және пайдалануда ұтымды көрсеткіштерге ие, яғни жылдам, қарапайым және сенімді әдіс болып табылады.

Сонымен, жемістердің, көкөністердің, майлардың, еттердің және басқа да өнімдердің химиялық құрамы үнемі өзгеріп отырады және оны түсі, пішіні, жанасуы немесе иісі арқылы анықтау мүмкін емес. Осы орайда инфрақызыл технологиясының қолдану аясын тізіп шықсақ:

Азық-түлікті өңдеудің негізгі екі бағыты.

○Жануарлардан алынатын өнімдер: ИҚ-спектроскопиясы арқылы жануарлар үлгілеріндегі майларды, ақуыздарды, көмірсулар мен судың мөлшерін анықтауға болады.

○Өсімдік өнімдері: қондырғы арқылы ауылшаруашылық және бау-бақша дақылдарын өңдеуі барысында құрамындағы құрғақ заттардың, жалпы еритін қант, қышқылдықты және су мөлшерін анықтайды.

1. Май өнімдерін талдау. Жеуге болатын майлар құрамындағы цис- және трансизомерлердің мөлшерін анықтауға болады. Трансизомерлер мөлшерінің майларда болуын бақылау маңызды, өйткені олардың мөлшерден тыс көп болуы жүрек, қан-тамырлардың ауруына әкеледі.

Өсімдік майлары әдетте өндірілетін негізгі азық-түліктердің бірі болып табылады және ол бүкіл өсімдік шаруашылығының 40% -ын құрайды. Өсімдік майлары соя, күнбағыс, мақсары, пальма, кокос, мақта, зәйтүн және рапстан жасалады.

Май өндіру тұқымның немесе целлюлозаның майын, суын және ақуыздық құрамын бағалау үшін ИҚ-спектроскопиясын қолданатын маңызды секторы болып табылады. Кейбір деректерлер бойынша зәйтүн майы басқа майлардан ерекшелігі оның түрлі сорттарының болуында. Зәйтүнді ағаштарда ұзақ уақытқа қалдыру целлюлозаның майлылығын арттырады, бірақ майдың дәміне әсер ететіндігі анықталды. Сонымен қатар, гидрокситирозол сияқты фитофенолдардың мөлшері, олардың дәмі мен тағамдық құндылығы үшін өте маңызды, олар жас жемістерде жоғары болады. Осылайша, зәйтүн майына қатысты жемістер жоғары сапалы май алу үшін ертерек жиналу керек, ал кешіктіріліп жиналған зәйтүндерден алынған майдың сапасы төмендейді.

2. Зат құрамындағы этанолдың болуын және оның мөлшерін анықтау [8].

3. Егін жинау уақыты мен ондағы қант құрамын анықтау. Жемістер балғын, жаңа піскен өнім түрінде пайдаланылады немесе шырын, джем, шарап, секілді өнімдерге өңделеді. Сол үшін жемістердің идеалды химиялық құрамына ие болуы үшін және қашан жиналғанын анықтау үшін, кейін жеміс-жидек сапасын бақылау, пісіп-жетілу уақытын білу үшін ИҚ технологиясы қолданылады. Жемістердің химиялық құрамына қойылатын талап бірдей бола бермейді, шырын, джем, шарапқа өңделгендіктен жемістердің құрамындағы қант мөлшерін зерттеуге де болады.

Онымен қоса, ИҚ-спектроскопиялық әдіс жемістер мен көкөністерді жинаудың дұрыс уақытын анықтауға, ондағы қант пен құрғақ заттардың қажетті деңгейінде болуын қамтамасыз етуге көмектеседі. Егер жемістер климатерлік емес болса, мысалы жидектер немесе жүзім үшін, еритін қанттарды өлшеу үшін қолданылады. Алма мен манго сияқты жинап алғаннан кейін де пісуін тоқтатпайтын жемістерде құрғақ заттар құрамын анықтау үшін қолданылады [5, 6].

4. Іріктеу және бақылау.

- Жемістерді таңдау. ИҚ-спектроскопия әдісі арқылы әртүрлі жемістердің қант мөлшерін бағалауға, содан кейін қант құрамы бойынша ұқсас жемістерді таңдап оңтайлы сапа параметрлерін алу үшін дақылдарды араластыра алады.

- Өңдеу: шырын өндіру кезінде өндірушілер шырын өндірісі белгілеген қант пен қышқылдықтың қатаң стандарттарына жетуін қамтамасыз етуі керек. Өңдеу кезінде судың мөлшерін ИҚ технологиясы арқылы оңай бақылауға болады.

- Кептіру. Құрғақ жемістер өндірісі кезінде, мейіз, өрік сияқты, кептіру процесі басынан бастап оның барысында ылғалдылық мөлшерін қадағалау маңызды.

- Сапа стандарттарын сақтау. ИҚ зерттеу сонымен қатар қоспалар деңгейінің рұқсат етілген нормативтерден төмен болуын қамтамасыз ету үшін қолданылады, өйткені арзан алмастырғыштарды қолдану фальсификация мәселесіне алып келеді.

5. Сүт және ірімшікті (сыр) өндіру. Сүт пен ірімшікті өндіру барысында майлылық пен өнімдегі су көлемі талданады. Әдетте сиырлардан, буйволдардан, ешкілерден және қойлардан алынған сүт пастерленгеннен кейін сатылады. Гомогенизация деп аталатын екінші ретті процесс жүзеге асырылады. Шикі сүтте түйіршіктер түріндегі майлар сүт бетіне қалқып шығып жиналуға бейім. Гомогенизацияланған, біртектес сүтте май түйіршіктері ыдырап, сұйықтыққа біркелкі таралады. Мұндай сүттің сақтау мерзімі ұзағырақ болады, дәмі жақсарады және түрлі малдардың алынған, май құрамы әр түрлі сүттерін оңай араластыруға мүмкіндік береді. Гомогенизациядан кейін майлы, майы аз немесе тіпті толық майсыздандырылған сүт алуға да болады. ИҚ технологиялары май глобулаларының мөлшерін бағалау үшін пайдалы, өйткені олардың спектрлік сипаттамалары әр түрлі, осылайша ол гомогенизацияға дейін, кезінде және одан кейін қолданыла алады.

Ірімшікті өндіру барысында ИҚ-спектроскопиялық әдісті қолдану өндірудің барлық кезеңінде пайдалы. Сүтті ірімшікке айналдыру үш кезеңнен тұрады: сұйық, ауыспалы және қатты күйге өту. Әр сатының майдың түрлі деңгейін көрсететін ерекше спектрлік сипаттамасы бар. Осылайша, бүкіл процестің дұрыс жүріп жатқанын бақылауға болады. Онымен қоса, қаттылану процесі аяқталғаннан кейін ірімшікті сары судан оңтайлы кесу деген нүктесі арқылы кесіп, шығарып алады. ИҚ-технологиясы әр түрлі ірімшіктер үшін оңтайлы кесу нүктесін дұрыс анықтай алды. Бұл ірімшіктің аз шығынын қамтамасыз етеді және оның сапасын оңтайландырады. Одан әрі, пресстеп басу барысында да ірімшіктен белгілі мөлшердегі суды бөліп алуды да осы ИҚ-спектрокопиясы арқылы бақыласа болады. Ірімшікті өңдеуде ИҚ-спектроскопиялық әдістерді қолдану мысалдары көптеген мақалаларда жарық көрген. Бір ғана [7] жұмыстың өзінде өңделмеген сүт үлгілерінен 1264 ірімшік сырлары моделі аланып, Фурье - ИҚ спектрлік талдау жасалған, нәтижесінде ірімшіктің өнімділігі мен қоректік заттардың қалпына келу ерекшеліктері туралы ақпарат берілген.

6. Ет өнімдері. ИҚ-спектроскопиялық әдісін ет ғылымы мен технологиясында қолдану тиімді. Ет өнімдерінің бұзылуы, биохимиялық және микробиологиялық бұзылулар мен сақтау мерзімдерін бақылау, ақуыздар мен липидтер сияқты химиялық компоненттердегі өзгерістерді анықтау үшін қолдануға болады [9,10]. Онымен қоса сиыр етінің нәзіктігі мен жұмсақтығы туралы да ақпарат береді, тығыздығы жоғары ет нәзік үлгілерге қарағанда көбірек жарық жұтады. Еттің бөліктері мен тартылған еттің түсі немесе консистенциясы бойынша ажырату қиын, сондықтан ИҚ технологиясы арқылы еттегі май мен ақуыздың мөлшері білу арқылы сиыр, қой мен тауық, жылқы немесе шошқа етін айырып алуға болады.

Қорытындылай келе, ИҚ-спектроскопия мүмкіндіктері жоғарыда көрсетілген мысалдармен шектелмеуі керек. Фурье - ИҚ спектроскопия әдісінің барлық мүмкіндіктерін жүзеге асыру үшін нақты бір тамақ өнімінің құрылымын сандық және сапалық талдау барысында жаңа әдістерді ойлап тауып, енгізу керек. Ол бізге азық-түлік өнімдерін сақтаудағы өзгерістерді бағалауға, жасанды, сапасыз өнімдері қолдануды алдын алуға, заттардағы ақуыздың, майдың және көміртегі және т.б. қосылыстардың мөлшерін анықтауға мүмкіндік береді.

### **Қолданылған әдебиеттер тізімі**

1. М.Ю. Сидоренко. Перспективы применения ИК-Фурье спектрометрии в пищевой промышленности // Аналитические приборы для пищевой промышленности. Москва. 2010.

2. <https://www.sgs.ru/ru-ru/news/2020/11/falsifikaciya-pishchevyh-produktov-riski-dlya-potrebitelya-i-dlya-biznesa>
3. [Reema Valand](#), [Sangeeta Tanna](#), [Graham Lawson](#) & [Linda Bengtström](#). A review of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy used in food adulteration and authenticity investigations // Food Additives and Contaminants, Part A, Vol. 377. 2020. P. 19-38.
4. <https://www.inalmaty.kz/news/2528025/v-kazahstane-case-vsego-poddelyvaut-moloko>.
5. <https://felixinstruments.com/blog/food-processing-relies-on-near-infrared-spectroscopy/>
6. М.Х. Марзаева, Т.С. Козлова. Возможность использования ИК- спектроскопии для определения количества простых углеводов в продуктах переработки ржи // Техника и технологии продуктов питания: Наука. Образование. Достижения. Инновации. С. 222-228.
7. A. Ferragina, and etc. The use of Fourier-transform infrared spectroscopy to predict cheese yield and nutrient recovery or whey loss traits from unprocessed bovine milk samples // [Journal of Dairy Science](#). Vol. 96. Issue 12. December 2013. P. 7980-7990.
8. M. Gallignani, S. Garrigues, M. De la Guardia. Derivative Fourier transform infrared spectrometric determination of ethanol in alcoholic beverages // Anal. Chim. Acta., Vol. 287. 1994. P. 275-283.
9. [Kezban Candoğan](#), [Evrım Gunes Altıntaş](#) & [Naşit İğci](#). Authentication and Quality Assessment of Meat Products by Fourier-Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy // [Food Engineering Reviews](#). Vol. 13. 2021. P. 66–91.
10. O.Al-Jowder, E.K.Kemsley. Mid-infrared spectroscopy and authenticity problems in selected meats: a feasibility study // [Food Chemistry](#). Vol. 59. Issue 2. 1997. P. 195-201.