

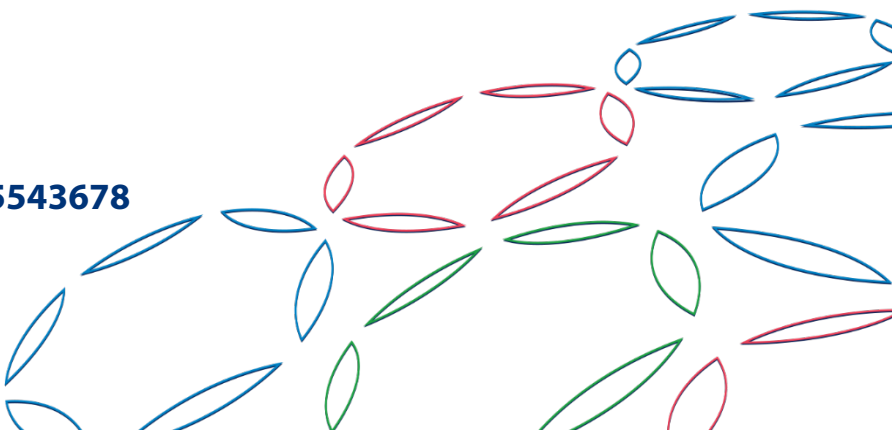


Nær innrauð litrófsgreining

Staða þekkingar um notkun NIR í fiskmjölsiðnaði

Marvin Ingi Einarsson

Skýrsla Matís 19-21
September 2021
ISSN 1670-7192
DOI 10.5281/zenodo.5543678



<i>Titill / Title</i>	Nær innrauð litrófsgreining Staða þekkingar um notkun NIR í fiskmjölsiðnaði		
<i>Höfundar / Authors</i>	Marvin Ingi Einarsson		
<i>Skýrsla / Report no.</i>	19-21	<i>Útgáfudagur / Date:</i>	September 2021
<i>Verknr. / Project no.</i>	62543		
<i>Styrktaraðilar /Funding:</i>	AVS		
<i>Ágríp á íslensku:</i>	<p>Nær innrauð litrófsgreining (NIR) er tækni sem metur gleypni efnatengja í hráefni. Það er hvaða efnatengi eru í hráefninu og á hvaða bylgjusviði. Þessar upplýsingar er hægt að nota og bera saman við in vivo raunmælingar og fá þannig spá fyrir ýmsa þætti í hráefni. Þar má nefna, efnainnihald hráefnis, meltanleika næringarefna, samsetningu næringarefna á borð við aínósýrur og fitusýrur svo eitthvað sé nefnt. NIR tæki gefur raunar fingrafar hráefnisins.</p> <p>Þessi skýrsla fjallar um notkun á NIR og dregur fram stöðu þekkingar. Fjallar verður um ferlið við gerð NIR spálíkans, hvað ber að varast og hafa í huga. Vitnað er í tilraunir þar sem að NIR spálíkön hafa verið þróuð fyrir ýmis hráefni og dýrategundir og lagt mat á nákvæmni slíkra líkana.</p>		
<i>Lykilorð á íslensku:</i>	<i>NIR, efnagreining, litróf</i>		
<i>Summary in English:</i>	<p>Near-infrared spectroscopy (NIR) is a technology that measures the absorption of chemical bonds in materials. This information can be used and compared with in vivo actual measurements to get a prediction for various aspects of materials. This includes the chemical content of organic raw materials, the digestibility of nutrients through animals, the composition of amino acids and fatty acids to name a few.</p> <p>This report discusses the use of NIR and highlights the state of knowledge. Covers the process of making a NIR model and the pros and cons of different methods. The report discusses existing research where NIR models have been developed for various raw materials and animal species and evaluates the accuracy of those models.</p>		
<i>English keywords:</i>			

Efnisyfirlit

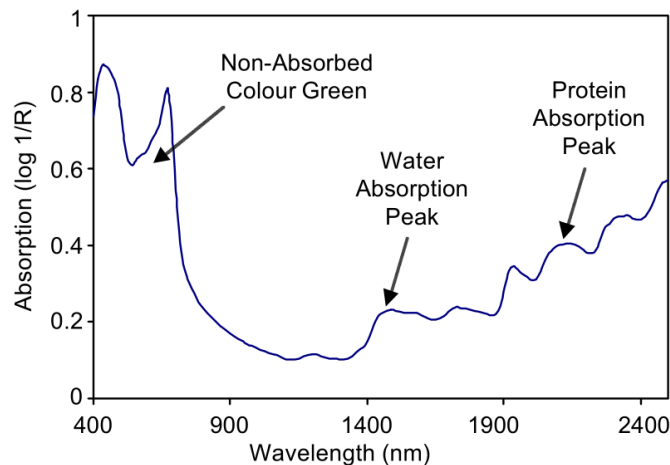
1. Innrauð litrófsgreining.....	1
2. NIR líkanagerð	2
2.1. MLR (Multiple Linear Regression)	2
2.2. PLS (Partial Least Squares)	2
2.3. Local	2
2.4. ANN (Artificial Neural Networks)	3
2.5. HR (Honigs Regression)	3
3. NIR mat á niðurstöðum líkans	3
4. NIR mat á næringar og efnainnihaldi	4
5. NIR rekjanleiki	6
6. NIR mat á meltanleika	6
7. NIR mat á fiskvexti.....	7
8. Umræður	8
9. Heimildaskrá.....	9

1. Innrauð litrofsgreining

Innrauð litrofsgreining er aðferðafræði sem notuð hefur verið meðal annars við að meta efnainihald fóðurs og matvæla. Í einföldu máli snýst ferlið um að skjóta ljósbylgjum af mismunandi bylgjulengd á hráefnið og meta samsetningu hráefnisins með hjálp in vivo mælingu (raunmæling) á borð við vatn prótein og fitu sem framkvæmdar hafa verið á tilraunastofu.

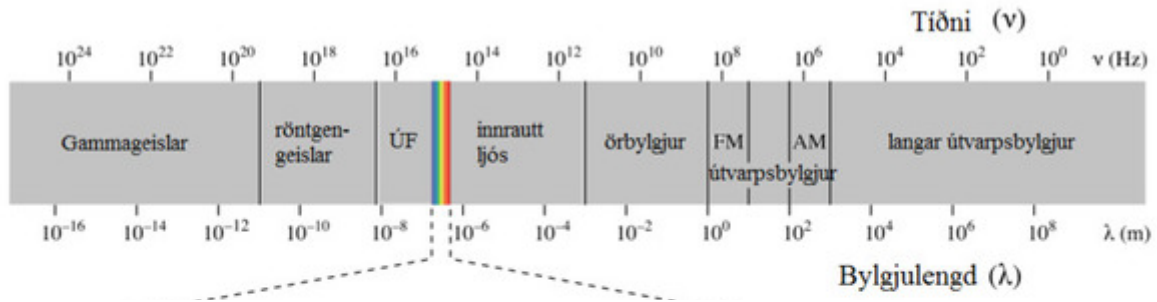
Þegar ljósbylgjur skella á efni á borð við vatn, þá tekur vatnið inn orku frá bylgjunum, þetta er kallað gleypni. Efni geta hinsvegar einungis tekið við ákveðið mikilli orku og er sú umframorka sem ekki verður eftir í hráefinu metin, en hún geymir mikilvægar upplýsingar. Innrauð litrofsgreining byggir á því að skoða gleypni efnatengja, en hún er mismunandi á innrauða bylgjusviðinu (1100 til 2500 nm). Dæmi um efnatengi eru CH, OH, NH og SH. En þessi efnatengi má finna í fitu, vatni, próteini, sterkju, sykri eða öðrum lífrænum efnum. Þessi efnatengi geta tekið við orku á ólíku bylgjusviði sem gerir það meðal annars að verkum að hægt er að greina hlutfall þeirra.

Tæki á borð við NIR (e. Near infrared spectroscopy) svoköllið nær innrauð litrofsgreining, sendir ljósbylgjur á hráefnið og skilar gleypni efnatengja í svokallað spectra og er nokkurskonar fingrafar hráefnisins sem sjá má á Mynd 1. Á Y-ás má sjá gleypni og á x ás mismunandi bylgjulengd. Efnið er í raun straujað yfir ákveðið bylgjusvið og gleypni mismunandi efnatengja sett fram á þennan hátt..



Mynd 1 Spectra hráefnis. Fyrir miðja mynd sést gleypni vatns eða OH tengja og lengst til hægri gleypni próteina sem samanstanda meðal annars af N-H tengjum (Corson et al., 1999)

Í stuttu máli snýst notkun á NIR tæki um að safna nokkuð stóru sýnasafni, greina sýnasafnið með in vivo mælingum, skoða sýnin í NIR tæki sem gefur spectra fyrir hvert sýni, líkanagerð þar sem að NIR spectra er parað saman við in vivo mælingar og síðast þarf að sannreyna að líkanið gefi réttar niðurstöður.



Mynd 2 Mynda af rafsegulrófinu. Sjáanlegt ljós má sjá í lit fyrir miðju en hægra megin við sjáanlegt ljós er innraða sviðið (Nathalie Jacqueminet, 2012)

Bylgjur eru allt í kringum okkur bæði sjáanlegar og ósýnilegar. Mynd 2 sýnir á hvaða bylgjusviði innrauðar ljósbylgjur liggja í samhengi við aðrar bylgjur á borð við sjáanlegar ljósbylgjur, örbylgjur og útvarpsbylgjur.

2. NIR líkanagerð

Eftir að hafa safnað saman sýnum og greint hvert og eitt sýni í NIR tæki og framkvæmt mælingu á raunverulegu in vivo gildi þá þarf að búa til líkan sem lýsir sambandi NIR spectra og mældum in vivo gildum. Algengustu aðferðirnar má sjá hér að neðan. Hver og ein aðferð hefur sína veikleika og styrkleika og fer það oft eftir stærð og gerð sýnasafnsins hvaða aðferð hentar best.

2.1. MLR (Multiple Linear Regression)

MLR hentar aðeins fyrir mjög einfalt sýnasafn. MLR hentar aðeins þegar mjög mikil fylgni er á milli breytu sem á að mæla. Til dæmis ef skoða á hráefni með mikinn breytileika á vatnsinnihaldi en engu öðru. Slík tilvik eru nokkuð sjaldgæf og þess vegna er MLR ekki mikið notað.

2.2. PLS (Partial Least Squares)

PLS hentar fyrir fjölbreyttari aðstæður. Hinsvegar eru takmörk á notkun þess þegar sýnasafnið verður mjög breytilegt. PLS er ein algengasta kvörðunaraðferðin og er notuð á flest öllum gerðum af NIR tækjum. PLS virkar vel í flestum aðstæðum og oft er hægt að búa til gott líkan með frekar litlu sýnasafni, nálægt 100 sýnum. Aðferðin getur einnig spáð fyrir um sýni utan þess sýnasafns sem notast var við gerð líkansins. Þegar sýnasafn er stórt og mjög breytilegt gefur PLS ekki endilega bestu niðurstöðurnar.

2.3. Local

Local aðferðin notast við PLS og hentar vel við aðstæður þegar sýnasafnið er breytilegt en krefst þess þó að notað sé stórt sýnasafn. Local aðferðin byggir ekki á fyrirfram skilgreindu líkani. Þegar óþekkt sýni eru metin er þeim raðað í ganagrunninn og borið saman við sýnasafnið. Síðan er búið til PLS byggt á sýnum sem haf svipað spectra. Kosturinn við þessa aðferð er að hún virkar vel fyrir stórt og fjölbreytt sýnasafn og auðvelt er að bæta við nýjum sýnum sem eru ólík þeim sem fyrir eru. Ókosturinn er sá að aðferðin krefst mikils fjölda sýna og rekjanleiki er erfiður.

2.4. ANN (Artificial Neural Networks)

ANN hentar þegar breytileiki sýna er mikill en krefst þess að sýnasafnið sé mjög stórt. Kosturinn við ANN er að eitt líkan getur staðið á bak við mjög mismunandi gerðir af sýnum og samt gefið nákvæmar niðurstöður. ANN hentar vel þegar breytileiki er í sýnum, í vélbúnaði tækisins eða hitastigi. Ókosturinn er sá að það þarf mjög stórt sýnasafn 4000-5000, minnst 1000 sýni. Í samanburði við PLS þá virkar PLS betur við að leggja mat á ný sýni sem hafa breytileika sem ekki var tekinn með í sýnasafninu þegar líkanið var búið til. Þessu er öfugt farið í ANN og þarf því að ná öllum mögulegum sýnum í sýnasafnið.

2.5. HR (Honigs Regression)

Hentar þegar breytileiki sýna er mjög mikill og sýnasafn er ekki stórt. HR sameinar PLS, local og ANN. PLS líkan er leiðrétt út frá eiginleikum líkustu sýnanna sem finnast í gagnagrunninum. Eins og með Local er hægt að uppfæra HR líkanið til að gera ráð fyrir nýju tilbrigði og bæta nýjum sýnishornum við gagnagrunninn.

3. NIR mat á niðurstöðum líkans

Þegar búið er að safna sýnum í sýnasafn, greina það með NIR og in vivo mælingum og útbúa líkan, þá þarf að sannreyna að líkanið gefi réttar niðurstöður. Þetta er gert með því að finna nýtt sýnasafn þar sem að sýnin eru in vivo mæld og niðurstöður fegnar með NIR líkaninu. Þessar niðurstöður þarf að bera saman með tölfræðileg úrvinnsla til að sannreyna virkni líkansins.

Oft er miðað við að stærð sýnasafnsins sem notað er til að sannreyna líkanið sé 30 sýni. Samkvæmt alþjóðlegum ISO stöðlum er gert ráð fyrir 10 sýnum til þess að bera kennsl á hlutdrægni og 20 sýnum til þess að leggja mat á líkanagerðina (ISO, 2017). Reynt skal að ná fjölbreyttu sýnasafni til að sannreyna líkanið og jafnvel sýnum sem myndu teljast óhefðbundin.

Þegar sýnasafnið er mælt með in vivo þarf að tryggja að mæliaðferðin sé sú sama og fyrir sýnin sem notuð voru í líkaninu til að tryggja nákvæmni í samanburðinum. Sýnin skulu mæld í að minnsta kosti tvítekingu og einnig skal reyna að lágmarka þann tíma sem líður á milli in vivo og NIR mælingarinnar til þess að koma í veg fyrir breytingar á hráefninu.

Tilraunastofur notast við ýmsa staðla þegar kemur að mælingum en iðulega gefa þær upp hver nákvæmni mæliaðferðanna er. Það þarf þó að taka tillit til þess að nákvæmni milli tilraunastofa og aðferða getur verið misvísandi. Þegar lagt er mat á nákvæmni þarf að skoða tvö atriði. Í fyrsta lagi hversu oft er hægt að fá sömu niðurstöðu með lítinn breytileika og í öðru lagi nákvæmni þar sem að rétt niðurstaða fæst. Í fullkomnum heimi viljum við fá nákvæmar niðurstöður sem hægt er að endurtaka og að þær séu réttar. Þessi tvö undirstöðuatriði nákvæmninnar þurfa að spila rétt saman þannig að rétt niðurstaða fái stendur endurtekið. Því er mikilvægt að tilraunastofur beri sig saman við aðrar tilraunastofur en þannig fæst betra mat á nákvæmni mælinga. Ef einungis er horft breytileika milli mælinga sem framkvæmdar eru á sömu stofunni er ekki víska fyrir því að niðurstöðurnar séu réttar. Yfirleitt er það svo að meiri ónákvæmni er í mælingum sem framkvæmdar eru handvirkir samanborið við vélrænar mælingar. Tilraunastofur eru misnákvæmar og ekki er hægt að gera ráð fyrir því að uppgefin breytileiki í mælum niðurstöðum sé alltaf réttur.

4. NIR mat á næringar og efnainnihaldi

Í fóður og matvælaíðnaði er notkun NIR að mestu bundin við mat á efnainnihaldi. Fyrirtæki í þessum iðnaði nýta sér yfirleitt þjónustu NIR tækjaframleiðenda sem sjá um gagnagrunnin og líkanagerðina fyrir NIR tækið. Þeir uppfæra síðan gagnagrunninn reglulega til þess að auka nákvæmni líkansins. Þessi líkön eru bundin við ákveðin hráefni. Ef til að mynda nota á NIR til að meta efnainnihald fiskmjöls, þá þarf gagnagrunn sem samanstendur af fiskmjöli og af fjölbreyttu sýnasafni.

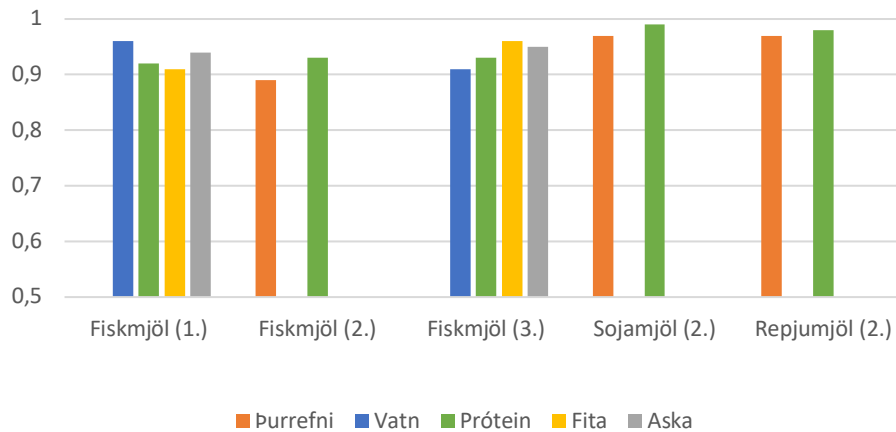
NIR spálíkön sem byggð er upp á góðu sýnasafni og góðri líkanagerð gera fyrirtækjum kleift að fá mælingu mun hraðar í samanburði við in vivo mælingu á tilraunastofu og í sumum tilvikum með lægri kostnaði þar sem ekki þarf að halda úti tilraunastofu og mannskap með sérþekkingu. Ekki má þó nota slík tæki í algeri blindni og þarf að sannreyna líkanið af og til.

Í fóðurframleiðslu getur efnainnihald verið mjög breytilegt milli tegunda hráefnis, framleiðsluaðferðar og gæðum hráefnisins. Hægt er að meta efnainnihald hráefna út frá heimildum eða ákveðnum stöðlum en þær eru mjög ónákvæmar þar sem að breytileiki er alltaf til staðar. Mat á efnainnihaldi í fóðuriðnaði nýtist ekki eingöngu til þess að meta næringalegt gildi þess heldur getur það hjálpað til við að stýra framleiðsluferlum og besta vinnsluna með tilliti til framleiðslugetu og gæða. Stórir aðilar í fiskimjölsiðnaði hafa til að mynda komið upp rauntíma NIR mælum, innbyggða í framleiðslulínu sína, sem gefa þeim rauntíma yfirlit yfir t.m. raka í fiskmjöli (EUfishemal ráðstefnan). Þessa rakamælingu er síðan hægt að nota til þess að stýra þurrkurum í rauntíma. Það yrði mjög tímafrekt og kostnaðarsamt að leika þetta eftir með raunmælingum á tilraunastofu og nær útilokað að hægt væri að fá jafn skjóta mælingu á raka.

Efnainnihald fóðurs er einnig nýtt til þess að meta orkuinnihald fóðursins en það er mikilvæg breyta þegar kemur að fóðrun. Úr fóðri fá dýr lífsnauðsinleg næringarefni á borð amínósýrur, fitusýrir, vítamín og steinefni sem mæta næringaþörf hvers dýrs. Þar að auki þarf dýrið orku til þess að mæta orkuþörf þess og þess vegna er orkuinnihald hráefnisins mikilvægt.

Eins og fram hefur komið ræðst nákvæmni NIR líkans að mörgum þáttum á borð við stærð sýnasafns, gerð sýnasafnsins, líkanagerðinni og fleira. Í neðangreindum myndum x og x, má sjá mat á nákvæmni nokkurra NIR líkana þar sem skoðað var hefðbundið efnainnihald og amínósýrur í fiskmjöli, soja- og repju mjöli. Það hversu vel sýni falla inn í líkanið er lýst með R^2 . R^2 er tölfræðilegur mælikvarði á hversu nálægt ný sýni falla við líkanið. R^2 tekur alltaf gildi á milli 0 og 100%. 0% gefur til kynna að líkanið skýrir ekkert af breytileika svörunargagna í kringum meðaltal þeirra. 100% gefur til kynna að líkanið skýrir allan breytileika svörunargagna í kringum meðaltal þeirra. Því hærra sem R^2 er, því betur passar líkanið við gögnin. Eins og sjá má á Mynd 3, þá falla gögnin mjög vel að NIR líkönunum sem spá fyrir um efnainnihald.

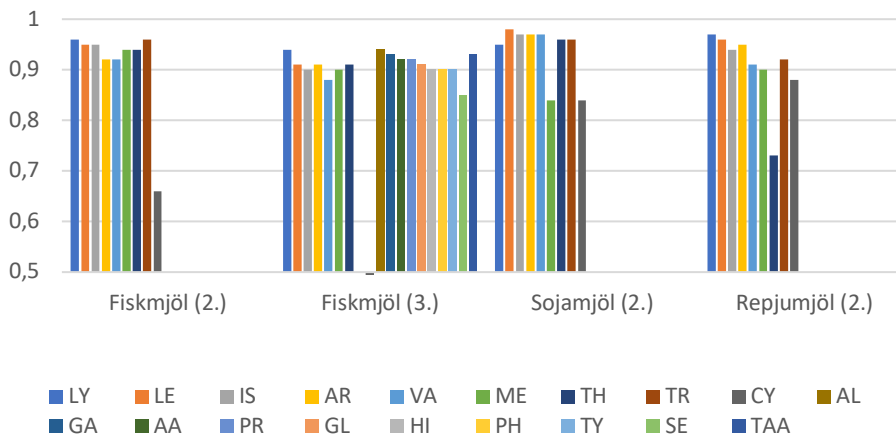
R²Efnainnihald



Mynd 3 R² nákvæmni fyrir líkön sem lýsa efnainnihaldi fiskmjöls sojamjös og repjumjös. 1: (Tan, 2008), 2: (Fontaine, J., Hörr, J., and Schirmer, 2001), 3:(Niu, 2005)

NIR tæknin er einnig notuð til þess að meta magn amínósýra en amínósýrur eru byggingarefni próteina og hlutfall þeirra í fæðu er mikilvægur mælikvarði á næringargildi fóðursins. Þær amínósýrur sem dýr geta ekki myndað sjálf eru flokkaðar sem lífsnauðsynlegar amínósýrur sem dýrið þarf að fá úr fæðunni. Neðangreind Mynd 4 sýnir R² nákvæmni spálíkana sem útbúin hafa verið fyrir mismunandi tegundir mjöls. Nákvæmnin er mikil fyrir lang flestar amínósýrur sem skoðaðar voru í þeim líkönunum sem hér er vitnað í, of falla gögnin vel að líkönunum fyrir flestar amínósýrur.

R²Amínósýrur



Mynd 4 R² nákvæmni fyrir líkön sem lýsa magni amínósýra í fiskmjöli, sojamjöli og repjumjöli. (DM = dry matter; CP = crude protein; M = moisture; LY = lysine; ME = methionine; TH =threonine; CY = cysteine; TR = tryptophan; AR = arginine; IS = isoleucine; LE = leucine; VA =valine; AA = aspartic acid; SE = serine; GA = glutamic acid; GL = glycine; AL = alinea; TY =tyrosine; PH = phenylalanine; HI = histidine; PR = proline; TAA = total amino acids). 1: (Tan, 2008), 2: (Fontaine, J., Hörr, J., and Schirmer, 2001), 3:(Niu, 2005)

5. NIR rekjanleiki

Við fóðurframleiðslu er notast við ýmis hráefni til þess að fá rétta samsetningu af næringarefnum og orku fyrir dýrið til þess að vaxa og dafna en einnig til þess að halda niður kostnaði og frameiða nógu gott fóður nógu ódýrt. Dæmi um hráefni sem mikið eru notuð í fóðuriðnaði eru soja-, repju, beina- og fiskmjöl. Olíur úr plöntu og dýraríkinu og svona mætti lengi telja. Jurtaolíur og jurta prótein er mun ódýrara heldur er dýra prótein og dýra olía. NIR hefur verið notað til þess að greina þessi hráefni í fóðri með rekjanleika í huga og til þess að staðfesta innihaldslýsingar.

Tilraunir hafa staðfest að hægt er að greina sojabauunmjöl sem blandað hefur verið í fiskmjöl til drýgja það, það er ekki síst notað í fóður vegna þess hversu ódýrt það er, en hægt er að spá fyrir hlutfalli sojamjöls með mikilli vissu og falla mælingar vel að slíku líkani eða $R^2 = 0,96$ (Shi, 2010). Beinamjöl er einnig ódýrt hráefni og heldur lakari próteingjafi en annað dýramjöl, tilraunir hafa verið gerðar með að greina beinamjöl í fóðri og kom í ljós að hægt er að greina beinamjöl í hlutfalli niður í 1% beinamjöl í fóðri (Perez-Marin, D., Garrido-Varo, A., Guerrero-Ginel, J.E., and Gomez-Cabrera, 2004). En sýnin féllu vel inn í líkanið $R^2 = 0,94$.

Auk þess að geta komið upp um möguleg svik eða að geta staðfest innihald fóður að þá hefur NIR einnig verið notað til þess að meta ýmsa aðra þætti á borð við eðliseignleika eða áferð. Þannig hefur NIR verið notað til þess að spá fyrir um nokkra eiginleika á borð við meirni, vatnsheldni, drípp, lit, sýrustig í kjöti. Storkuhæfni í mjólk, ferskleika, bragði og aðra þætti. Það er því hægt að nota NIR við bæði gæðaeftirlit og rekjanleika í senn (Berzaghi, P., & Riovanto, R., 2009).

6. NIR mat á meltanleika

Meltanleiki er mæling sem segir til um hvernig fóður fer í gegnum dýr. Mæling á meltanleika er framkvæmd með in vivo prófum. Til eru nokkrar mismunandi aðferðir en meginreglan er að fóðra samsett fóður eða hráefni til dýra og safna útskilnaði, saur og eða þvagi. Í raun er verið að leggja mat á, hversu mikið af næringarefnum eða t.d. próteini dýrið raunverulega nýtir og hversu miklu skilar það frá sér. Þetta getur raunar átt við öll næringarefni, þ.e. meltanleiki próteina, fitu, amínósýra, fitusýra, vítamína, steinefna eða orku. Mæling á meltanleika getur verið flókin, einföldust er hún hjá húsdýrum þar sem að hægt er að fanga útskilnaðinn en erfiðara er að fanga allan útskilnað t.d. hjá fiskum sem losa næringarefni bæði með þvagi og saur. Þó er hægt að áætla þetta hlutfall, þ.e. hversu mikið er skilið út í þvagi samanborið við saur og kreista saur úr fisknum. Dýrin eru venjulega svelt í ákveðin tíma og síðan fóðruð á tilteknu fóðri yfir ákveðin tíma. Síðan er meltanleikinn mældur.

Framkvæmd meltanleikatilrauna er bæði tímafrek og kostnaðarsöm og er hún því ekki mikið notuð í daglegum rekstri fyrirtækja, þrátt fyrir að vera mikilvæg breyta bæði þegar kemur að fóðrun dýra og fóðurgerð. Auk þess að vera kostnaðarsöm, fást niðurstöður mjög seint og getur sá tími reynst of langur í hröðu viðskiptaumhverfi.

Aarhus háskóli hefur sýnt fram á að hægt er að nota NIR til þess að meta meltanleika orku í svínafóðri, eða hversu mikla orku svínið nýtir úr fóðrinu. Niðurstöður líkans sem spáði fyrir um meltanleika orku og byggði á 773 sýnum, sýnin féllu mjög vel að líkaninu $R^2 = 0,97$. Notast var við modified PLS eða Local aðferð við líkanagerðina (Noel, Samantha & Jørgensen, Henry & Knudsen, Knud, 2020).

Aðrar eldri rannsóknir hafa lagt mál á meltanleika fleirri þátta á borð við meltanleika N-köfnunarefnis, þurrefnis, lífræns efnis og orku. Slík rannsókn var framkvæmd árið 2014 á svínum sem fóðruð voru með 196 sýnum. Niðurstöðurnar gáfu til kynna að líkanið lýsti sýnasafninu nokkuð vel en þegar ný sýni voru borin saman við líkanið reyndist nákvæmnin ekki jafn mikil, sjá Tafla 1 (Bastianelli, D., Bonnal, L., Jaguelin-

Peyraud, Y., & Noblet, J. , 2015). Hafa ber í huga að margir þættir geta haft áhrif á nákvæmni slíkra meltanleikatilrauna með lifandi dýr.

Tafla 1 Nákvæmni R^2 spálíkans sem spáir fyrir um meltanleika fódurs sem fóðrað er svínunum (Bastianelli ofl., 2015)

	R^2 líkan (146 sýni)	R^2 staðfesting (50 sýni)
Köfnunarefni í skít (% DM)	0.88	0.60
Meltanleiki (%)		
Þurrefni	0.64	0.60
Lífrænt efni	0.80	0.66
Köfnunarefni	0.82	0.62
Orka	0.77	0.67
Melt orka (kJ/kg þurrefni)	0.77	0.67

Árið 2011 var framkvæmd tilraun sem skoðaði 264 ólík fódur fyrir nautgripi. Notast var við alls 1052 sýni og tókst að spá fyrir um meltanleika þurrefnis með nokkurri nákvæmni, sýnin féllu vel að líkaninu með $R^2 = 0,9$ (Coates, D. B., & Dixon, R. M. 2011).

Færri slíkar rannsóknir er að finna um fisk, þrátt fyrir að vitað sé að slíkar tilraunir hafi verið framkvæmdar. Ein slík tilraun var framkvæmd árið 2014 í Ástralíu þar sem að búin voru til NIR líkön sem spá fyrir um efnainnihald, prótein meltanleika og meltanleika orku í regnbogasilungi fóðraðan með lúpínukjarna (lupin kernel meal). Alls voru 136 fódur metin í 10 tilraunum á 6 ára tímabili frá 2002 til 2008. Niðurstaða verkefnisins er sú að hægt er að spá fyrir um efnainnihald með mikilli vissu en minni nákvæmni fyrir meltanleika próteina og meltanleika orku. Þegar ný sýni voru borin saman við líkönin sem spáðu fyrir um meltanleika samsvöruðu þessi sýni sig $R^2 = 0,725$ að líkaninu fyrir meltanleika próteina og $R^2 = 0,778$ fyrir meltanleika orku (Glencross, B., Bourne, N., Hawkins, W., Karopoulos, M., Evans, D., Rutherford, N., Mccafferty, P., Dods, K., Burr ridge, P., Veitch, C., Sipsas, S., Buirchell, B., & Sweetingham, M. , 2015). Þó ber að nefna að framkvæmd meltanleikatilraunarinnar með fisk skiptir miklu máli hvað nákvæmni varðar.

7. NIR mat á fiskvexti

Vöxtur er besta mæling á gæði fódurs sem völ er á. Hún er sú breyta sem kaupandinn, eldisaðilinn horfir hvað mest á og tekur til margra þátta. Það skiptir litlu máli hver meltanleiki heildar próteins eða þurrefnis er í fóðrinu ef að meiri vöxtur fylgir ekki með. En vöxtur er ekki bara vöxtur, næringarþörf laxaseiða sem alin eru í ferskvatni er til að mynda að einhverju leiti ólík næringarþörf fullorðinna fiska sem aldir eru í saltvatni, það er því ekki víst að mikill vöxtur af fóðrun seiða skili sér í miklum vexti fullorðinna fiska. Ef að útbúa á líkan sem spáir fyrir um fiskvöxt þarf að skilgreina við hvaða aðstæður tiltekinn vöxtur á sér stað. Eins er vöxtur sem leiðir af sér mjög mikla fitusöfnun og jafnvel skort á lífnauðsynlegum næringarefnum ekki vænlegur, því það getur haft áhrif á gæði afurðanna og velferð dýranna.

Ekki tókst að finna heimildir um NIR líkanagerð og vaxartilraunir á fiski. Eins og rakið hefur verið hér að ofan er hægt er að meta meltanleika næringarefna í gegnum dýr, efnainnihald fódurs, amínósýru- og fitusýru samsetning þess, auk fleiri næringarefna sem hafa áhrif á velferð fiska og fiskvöxt. Þessi næringarefni og hlutfall þeirra í fóðri eru undirstöðuþættir fóðurfræðinnar sem vísindin byggja á. Það eru því líkur til þess að NIR tækið sem gefur fingrafar hráefnisins geti gefið mynd á mögulegum fiskvexti af ákveðnu fóðri. Til þess að það sé hægt þarf þó að framkvæma tilraun með eins stóru sýnasafni og hægt er.

8. Umræður

Það eru miklir möguleikar fyrir NIR tæknina í matvælaframleiðslu og eru allar líkur á að NIR tæknin muni ná mikilli útbreiðslu á komandi áratugum. Tæknin hentar einstakleg vel til þess að segja til um efnainnihald matvæla á hagkvæman og skjótan hátt. Vísbendingar eru til staðar um að hægt sé að nýta NIR tæknina í meira mæli við mat á meltanleika næringarefna í gegnum dýr, tegundagreiningu fiskflaka, áferð og gæði hráefna svo eitthvað sé nefnt. Það er mikil þörf fyrir frekari rannsóknir á þessu sviði til að sannreyna hvort hægt sé að nýta NIR við óhefðbundnar greiningar en NIR er að í dag að mestu notað til greininga á efnainnihaldi hráefna.

9. Heimildaskrá

- Coates, D. B., & Dixon, R. M. (2011). Developing robust faecal near infrared spectroscopy calibrations to predict diet dry matter digestibility in cattle consuming tropical forages. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 19(6), 507–519. <https://doi.org/10.1255/jnirs.967>
- Bastianelli, D., Bonnal, L., Jaguelin-Peyraud, Y., & Noblet, J. (2015). Predicting feed digestibility from NIRS analysis of pig faeces. *Animal*, 9(5), 781–786. <https://doi.org/10.1017/S1751731114003097>
- Glencross, B., Bourne, N., Hawkins, W., Karopoulos, M., Evans, D., Rutherford, N., Mccafferty, P., Dods, K., Burrige, P., Veitch, C., Sipsas, S., Buirchell, B., & Sweetingham, M. (2015). Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to predict the protein and energy digestibility of lupin kernel meals when fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Nutrition*, 21(1), 54–62. <https://doi.org/10.1111/anu.12137>
- Noel, Samantha & Jørgensen, Henry & Knudsen, Knud. (2020). The development of models to predict the nutritional value of feedstuffs and feed mixture using NIRS. 10.13140/RG.2.2.34182.32328.
- Chen, L., Yang, Z., & Han, L. (2013). A review on the use of near-infrared spectroscopy for analyzing feed protein materials. *Applied Spectroscopy Reviews*, 48(7), 509–522. <https://doi.org/10.1080/05704928.2012.756403>
- Fontaine, J., Hörr, J., and Schirmer, B. (2001). Near-infrared reflectance spectroscopy enables the fast and accurate prediction of the essential amino acid contents in soy, rapeseed meal, sunflower meal, peas, fishmeal, meat meal products, and poultry meal. *J. Agr. Food Chem*, 48, 57–66.
- Tan, Q. M. (2008). *Evaluation on reliability of near infrared reflectance spectroscopy in measuring of nutritive index in feed ingredients*.
- Niu, Z. Y. (2005). *The NIRS analysis of fish meal, concentrate supplement and MBM content inside*.
- Shi, G. T. (2010). *Rapid methods for detecting and quantifying vegetable meals in fish meal by near infrared spectroscopy*.
- Perez-Marin, D., Garrido-Varo, A., Guerrero-Ginel, J.E., and Gómez-Cabrera, A. (2004). Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the mandatory labelling of compound feed-ingstuffs: Chemical composition and open-declaration. *Animal Feed Science and Technology*, 116, 333–349.
- Chen, L., Yang, Z., & Han, L. (2013). A review on the use of near-infrared spectroscopy for analyzing feed protein materials. *Applied Spectroscopy Reviews*, 48(7), 509–522. <https://doi.org/10.1080/05704928.2012.756403>

- Nathalie Jacqueminet. (2012). *Af hverju er oft lítið ljós á söfnum, þola fornleifar ekki mikið ljós?* <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=3261>
- Corson, D. C., Waghorn, G. C., Ulyatt, M. J., & Lee, J. (1999). NIRS: Forage analysis and livestock feeding. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 61, 127–132.
- Berzaghi, P., & Riovanto, R. (2009). Near infrared spectroscopy in animal science production: Principles and applications. *Italian Journal of Animal Science*, 8(SUPPL. 3), 39–62. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s3.39>