

# MÄRKÄKUUMENNUS TÄRKKELYKSEN ENTSYMAATTISEN HAJOAMISEN TEHOSTAJANA

## I. Tärkkelyspreparaateilla ja jauhetulla viljalla tehdyt kokeet

MAIJA-LIISA SALO, IRMELI KORHONEN ja ULLA-RIITTA LEHTONEN

*Helsingin yliopiston kotieläintieteen laitos*

Saapunut 16. 1. 1970

Tärkkelys on kasvien tärkein vararavintoaine. Se koostuu kahdesta glukoosipolymeeristä: ketjumaisesta amyloosista ja haaroituneesta amylopektiinistä. Tärkkelyksen sininen jodiväri perustuu amyloosiin, amylopektiini vuorostaan muodostaa veden kanssa kuumennettaessa tyyppillisen tärkkelysliisterin.

Viljanjyvissä tärkkelys varastoituu endospermiin jyväsissä, joiden läpimitta vaihtelee rajoissa 1—50  $\mu$  (SEIDEMAN 1966). Syntetisoituminen glukoosista tapahtuu varastosoluissa olevissa leukoplasteissa spesifisten entsyymien vaikutuksesta. Kun jyvä alkaa itää, hajottavat entsyymit tärkkelyksen takaisin glukoosiksi; sakoluvussa, viljan sovinnaudessa laatu-kriteeriossa havaittavat äkilliset muutokset johtuvat ainakin pääosaltaan juuri amylaasiaktiivisuuden vaihteluista (OLERED & JÖNSSON 1968).

Ruoansulatuskanavassa amylaasit hajottavat tärkkelyksen maltoosiksi ja maltaasit edelleen glukoosiksi. Amylaasit tehoavat kuitenkin varsin hitaasti chjiin tärkkelysjyväsiin, perunantärkkelykseen tuskin lainkaan. Niiden vaikutusta voidaan suuresti jouduttaa paittamalla jyvässet vedessä kuumentaen. Tärkkelysjyvässet imevät vettä ja laajenevat jopa 25—30 kertaisiksi, ja jos ne ovat solukosta vapautuneet, ne lopulta särkyvät muodostaen tärkkelysliisterin. Liisteröitymislämpötila eri viljalajien tärkkelyksellä vaihtelee noin 60—80°C (SEIDEMAN 1966).

Kypsytyss siis parantaa tärkkelyksen sulavuutta ja sitä tietä ravintoarvoa, ja tämän ovat myös rehtehtaat ottaneet huomioon. Markkinoilla olevat minkkien viljarehut ovat yleisesti kypsytettyjä ja USA:ssa on kypsytetyn viljarehun käyttö saanut suosiota myös voima-peräisessä lihakarjan kasvatuksessa. Monet tutkijat ovat nimittäin todenneet, että viljanjyvien ravintoarvo paranee kypsytyksen ansiosta. Tapahtumaketju on seuraava: fermentaatio pötsissä kiihtyy ja propionihapon osuus nousee kohottaen siten rehun hyväksikäyttöastetta. Voimistunut fermentaatio saa lisäksi aikaan koko rehuannoksen sulavuuden paranemisen (SALSBURY ym. 1961, HALE 1965, MATSUSHIMA ym. 1966, ERWIN 1966,

1967, COLENBRANDER ym. 1967, WILLIAMSON 1967). Naudoilla suoritetuissa kokeissa ovat monet edellämmainituista tutkijoista todenneet 5—10 %:n nousun rehun hyväksikäytössä.

On tosin julkaistu sellaisiakin tutkimuksia, joissa raaka maissi (MUDD & PERRY 1969), ja erikoisesti raaka ohra (HALE ym. 1966 ja 1965, GARRET 1965) on antanut yhtä hyvän tai paremmankin tuloksen kuin kypsytytty.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli ensinnäkin selvittää eri tärkkelyslajien entsyymaattista hajoamista ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Toisaalta pyrittiin saamaan selville — lähinnä minkkien rehuja ajatellen — mikä vesipitoisuus ja minkälainen kuumennuskäsittely on tarpeen, että rehukarkeuteen jauhettujen vehnä-, ohra- ja kaurajauhojen tärkkelys muuttuu amyloglukosidaasin vaikutukselle herkäksi. Amyloglukosidaasi on *Aspergillus* sienien valmistama entsyymi, joka hydrolysoi tärkkelyksen glukoosiksi asti.

#### *Materiaalit ja tutkimusmenetelmät*

**Materiaalit.** Tärkkelyspreparaatit olivat osaksi kaupallisia (vehnä, peruna), osaksi omassa laboratoriossa preparoituja (ohra, kaura, herne). Kaikki jauhoerät olivat Viikin koetilalta: Svenno kevätvehnä, Otra ohra ja Sisu kaura. Ensimmäisenä esitettävässä tutkimuksessa käytetyt jauhot oli rehumyllyllä jauhettu tavallista sianrehukarkeutta vähän hienommiksi. Ne jauhoerät, joilla tehtiin alustavat tutkimukset ja joista esitetään kypsytytsehon säilymistulokset, olivat jonkinverran karkeampia.

**Analyysimenetelmät.** Kypsytyksen tehokkuutta tutkittaessa tärkkelysmääri-tyksestä jätettiin esikeitto pois, koska kypsytyksellä nimenomaan pyrittiin korvaamaan tärkkelyksen liisteröimiskeitto. Entsyymikäsittely järjestettiin myös hiukan optimaalista tehottomammaksi (5 t 40°, pH 4.8), sillä alustavissa kokeissa kävi ilmi, että lämpötilan nostaminen 60°:seen tai ajan pidentäminen 20 tuntiin jo sinänsä pienessä määrin paisutti heikonkin esikypsytyksen läpikäyneitä tärkkelysjuväsia. Työn säästämiseksi jätettiin myös etanoluuutto kaikista tärkkelysmääriyksistä pois; se on viljanjyvillä melko tarpeeton ja tässä tapauksessa tarvittiin vain suhteellisia lukuja. Tärkkelysmääritysmenetelmä on yksityiskohtaisesti selostettu aikaisemmassa kirjoituksessa (SALO ja SALMI 1968).

Näytteiden todellinen tärkkelyspitoisuus, mihin kypsytyksellä tai muilla käsittelyillä aikaan saatua tulosta verrattiin, määritettiin muuten aivan samoin kuin edellinen, paitsi että menetelmään sisältyi tärkkelysmääriykselle oleellinen liisteröimiskeitto.

#### *Puhtailla tärkkelyspreparaateilla tehdyt kokeet*

Puhtailla tärkkelyspreparaateilla tutkittiin ensinnäkin tärkkelyksen hydrolysoitumista amyloglukosidaasilla sekä ilman esikäsitteilyä että liisteröimiskeiton jälkeen. Taulukosta 1 nähdään, että ilman liisteröimiskeittoa viljantärkkelyksestä hydrolysoituu glukoosiksi 11—13 %, herneentärkkelyksestä 5 % ja perunantärkkelyksestä vain 2 %. Entsyymikäsittelyaika on kautta linjan ollut tarkoituksellisesti hieman liian lyhyt; sen vuoksi keittomenetelmälläkään ei ole päästy täysin 100 %:iin. Tulokset on laskettu tuhka- ja proteiini- korjatulle kuiva-aineelle.

Taulukossa 2 taas esitetään ensiksi tulokset kuivan ja märän huhmaroinnin vaikutuksesta. Punnittua tärkkelysnäytettä on ennen määritystä hierretty huhmaressa 2 min. ajan. Luvuista näkyy, että tälläkin tavoin voidaan jossakin määrin lisätä tärkkelyksen entsyymiherkkyyttä ja veden kanssa hiertäminen on kuiviltaan tapahtuvaa tehokkaampaa. Hiertä-

Taulukko 1. Liisteröimiskeiton vaikutus tärkkelyksen entsyymaattiseen hajoamiseen.

Table 1. Effect of gelatinization on the enzymatic hydrolysis of starch.

		Hajonnut glukoosiksi, % k.a:sta Hydrolysed to glucose, % of dry wt.	
		Ei esikeittoa No pretreatment	Esikeitto Boiling
Vehnätärkkelys	Wheat starch	12.8	98.9
Ohran	„ Barley „	11.4	97.6
Kauran	„ Oat „	11.3	100.0
Herneen	„ Pea „	4.7	98.3
Perunan	„ Potato „	1.7	99.6

Taulukko 2. Erilaisten esikäsitteilyjen vaikutus tärkkelyksen entsyymaattiseen hajoamiseen.

Table 2. Effect of different pretreatments on the enzymatic hydrolysis of starch.

		Hajonnut glukoosiksi, % k.a:sta Hydrolysed to glucose, % of dry wt.	
		Vehnätärkkelys Wheat starch	Perunantärkkelys Potato starch
Ilman esikäsitteilyä	Without pretreatments	12.8	1.7
Liisteröimiskeitto	Gelatinized by boiling	98.9	99.6
Kuivahuhmarointi	Dry pounding in mortar	20.6	12.1
Märkä	„ Moist „ „	23.8	16.0
Pepsiini-HCl käsittely	Pepsin-HCl treatment	13.9	1.3

minen nähtävästi mekaanisesti särkee osalla jyväsia pintakerrosta ja entsyymiliuos pääsee rikkoutuneista kohdista tunkeutumaan jyvästen löyhempään sisäosaan. MERCIER ym. (1968) totesivat puristuksen särkevän tärkkelysjyväsia ja tietyn vesipitoisuuden tehostavan tätä vaikutusta. Hiertämiskokeessa oli kysymys samasta asiasta, puristus tosin oli vähäinen ja sen kohdistuminen jyväsia epätasaista.

Taulukon 2 lopussa esitettyssä kokeessa pyrittiin vuorostaan saamaan selville, tehoaako amyloglukosidaasi paremmin sellaiseen raakaan tärkkelykseen, joka on ollut mahalaukun olosuhteita jäljittelevässä käsittelyssä. Kuten taulukosta nähdään, ei pepsiinisulohappo edistä tärkkelyksen entsyymaattista hajoamista. Perunantärkkelyksellä vaikutus oli täysin nolla ja vehnätärkkelykselläkin niin vähäinen, että se voi yhtä hyvin olla analyysivirhe. Voitaneen siis katsoa, että mikäli mahalaukussa ei ole muita tärkkelyksen hajoamiseen

Taulukko 3. Esikäsitteilyjen vaikutus viljan tärkkelyksen entsyymaattiseen hajoamiseen.

Table 3. Effect of different pretreatments on the enzymatic hydrolysis of cereal starch.

		Hajonnut glukoosiksi, % k.a:sta Hydrolysed to glucose, % of dry wt.		
		Ei esikäsitteilyä No pretreatment	Esikeitto Boiling	Huhmarointi Pounding
Vehnäjauho	Wheat meal	9.1	62.8	15.0
Ohra	„ Barley „	9.3	52.0	12.8
Kaura	„ Oat „	9.5	39.5	10.7

vaikuttavia tekijöitä kuin tietty pH, lämpötila ja pepsiini, ei mahalaukussa tapahtuva sulamisprosessi edistä tärkkelyksen entsyymaattista hajoamista ohutsuolessa.

Taulukossa 3 esitetään vehnä-, ohra- ja kaurajauholla suoritettuja entsyymikokeita. Tulos osoittaa liisteröimiskeiton ja mekaanisen jyvän särkeamisen merkityksestä saman, mikä todettiin puhtailla tärkkelyspreparaateillakin. Jauhoista vain hajoaa tärkkelystä ilman esikäsittelyä suhteellisesti jonkin verran enemmän kuin puhtaista tärkkelyspreparaateista. Ehkäpä tärkkelystä preparaatoissa vioittuneita jyviä hukkaantuu suhteellisesti enemmän kuin ehjiä.

*Vehnä-, ohra- ja kaurajauholla tehdyt kypsytykset*

**Jauhojen esikypsytytys.** Kokeiden tarkoituksena oli löytää kypsytysmenetelmä, jolla jauhojen tärkkelysjyvät saataisiin sellaiseen muotoon, että amyloglukosidaasi pystyy hydrolysoimaan tärkkelyksen glukoosiksi ilman liisteröimiskeittoa. Alustavien kokeilujen jälkeen päädyttiin seuraavaan menetelmään:

100 g:n jauhoeriin lisätään 10—100 ml vettä, mikä sekoitetaan jauhoon tasaisesti käsin hieroen. Jauhoseos jaetaan kahteen osaan, joista erä no. 1 kypsytetään pienessä kannellisessa alumiinirasiassa tuulettajalla varustetussa kuivauskaapissa noin 100°:ssa 1 tunti, ja erä no. 2 autoklaavissa 120°:ssa (1 ilmakehän ylipaineessa) 10 min. Kumpikin jauhoerä kuivataan sen jälkeen ohueksi kerrokseksi levitettynä tuulettajakuivaajassa noin 100°:ssa.

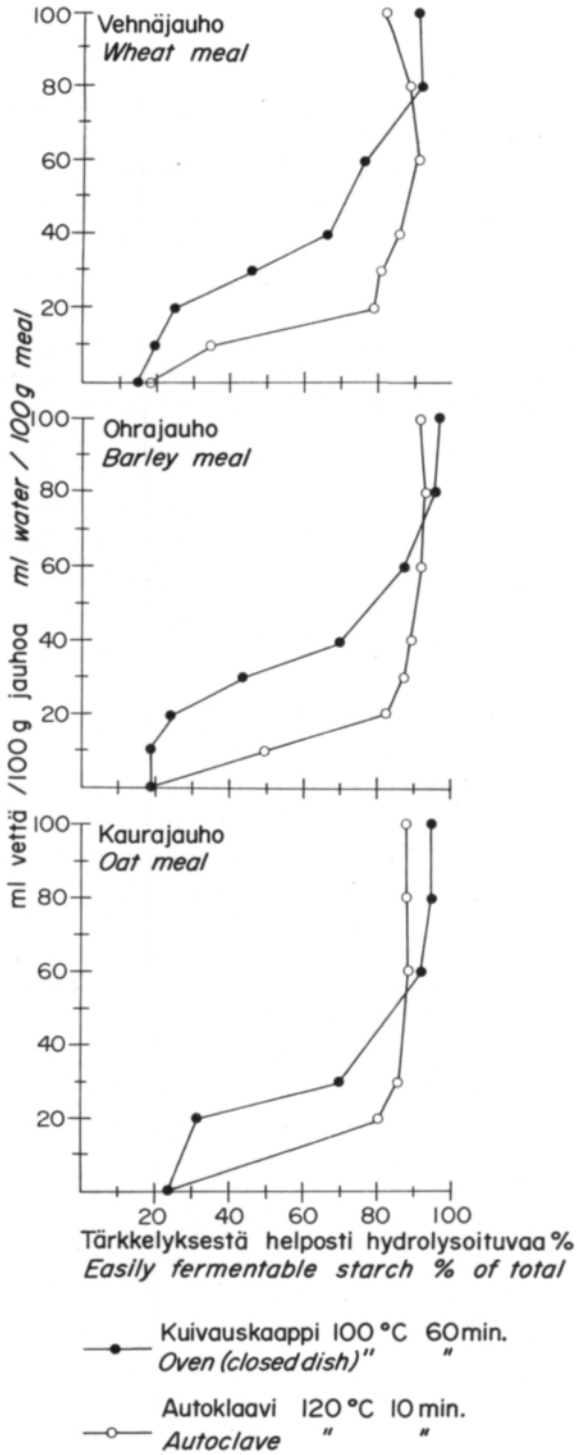
Kuivattaessa kypsä jauhopuuro kuivui kivikoviksi kappaleiksi, joiden hienontaminen oli vaikeata. Parhaiten se onnistui IKA-analysimyllyllä.

**Kypsyysaste heti käsittelyn jälkeen.** Kuvassa 1 esitetään tulokset edellä mainitulla menetelmällä suoritetuista kypsytyksestä. Tulokset vehnästä, ohrasta ja kaurasta ovat varsin samanlaisia. Pelkkä kuivakuuennus ei lisää tärkkelyksen entsyymiherkkyyttä (vrt. taul. 3). 10 %:n vesilisäys (10 ml/100 g) auttaa autoklaavia käytettäessä jo jonkin verran ja 20 % vesilisäys antaa jo lähes saman tuloksen kuin suuremmatkin vesimäärät. Jauhojen alkuperäinen vesipitoisuus oli noin 10 %.

Kirjallisuudessa käytetään tällaisesta kosteana kypsytyksestä tärkkelyksestä nimityksiä paisutettu, keitetty, liisteröity tai dekstrinoitu (expanded, cooked, gelatinized, dextrinized) (ERWIN 1966, COLENBRANDER et al. 1967, MUDD & PERRY 1969). Mikään näistä termeistä ei ole osuva, sillä näin pienellä vesimäärällä ei saada aikaan silmännähtävää jyvän paisumista, liisteröitymisestä tai dekstrinoitumisesta puhumattakaan. Kysymyksessä täytyy olla jonkinlainen jyvän sisäisessä rakenteessa tapahtuva muutos, mikä tekee jyvän entsyymin vaikutukselle samalla tavoin herkäksi kuin vedessä keittäen suoritettu liisteröiminenkin.

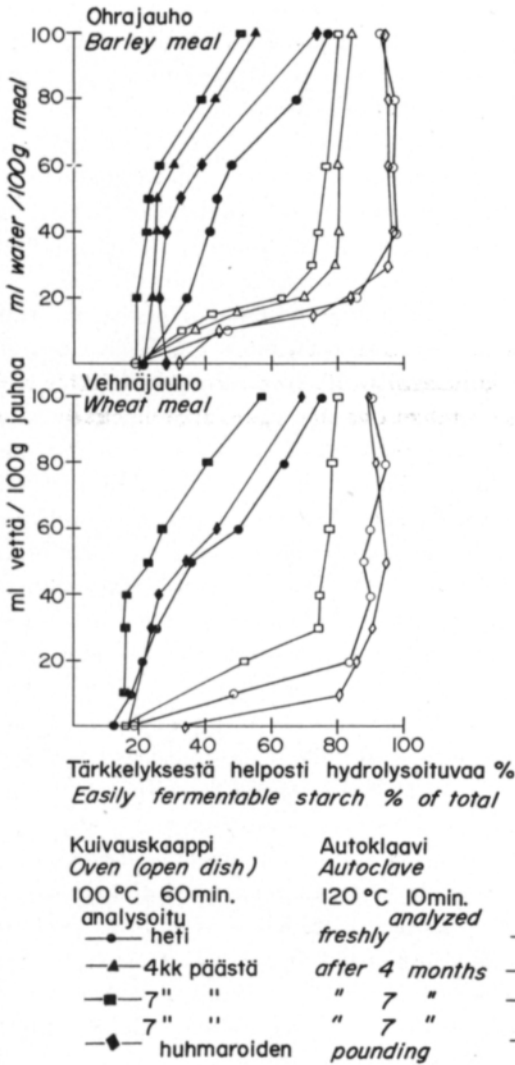
Kuivauskaapissa noin 100°:ssa kuumennettaessa kypsytysteho on ollut pieniä vesilisäyksiä käytettäessä paljon heikompi kuin autoklaavissa; vasta 40 %:n vesilisäys alkoi selvemmin vaikuttaa. Tämä johtui ilmeisesti siitä, että jauhot suljetusta rasiasta huolimatta paikoitellen kuivuivat liaksi ennenkuin niiden lämpötila nousi tärkkelysjyvän herkistymiseen vaadittavaan korkeuteen. Sama ilmiö näkyy nimittäin vielä selvempänä ensimmäisissä kokeissa, joissa jauhot kuivauskaapissa kuumennettiin avoimina (kuva 2). Käsittelyajan pidentäminen rasiakuuennuksessa tunnista kahteen ei tulosta parantanut.

Kuvasta 1 nähdään, että kun vesilisäys on ylittänyt 80 % autoklaavikäsittelyn kuvaaja kääntyy vasemmalle, ts. kypsytyksen teho heikkenee. Ilmiölle on kuitenkin olemassa looginen selitys: veden korkean lämpökapasiteetin vuoksi ei märkä jauhopuuro ehtinyt lyhyenä kuumennusaikana (10 min.) kuumentua kauttaaltaan tärkkelysjyvän herkis-



Kuva 1. Märkäkuumennuksen vaikutus viljan tärkkelykseen.

Fig. 1. Effect of hydro-thermal processing on cereal starch.



Kuva 2. Säilytysajan vaikutus kypsytetyn viljan tärkkelykseen.

Fig. 2. Effect of storage-time on the starch of processed cereals.

tymiseen vaadittavaan lämpötilaan. Kuivauskaappikypsytyksessä tätä ilmiötä ei esiinny, koska siinä käsittelyaika oli 60 min.

**Varastoinnin vaikutus.** Kuvassa 2 nähdään tulokset ensimmäisistä jauhojen kypsytykskokeista. Kuivauskaappikypsytyys suoritettiin silloin ohuena kerroksena avoimessa laatikossa ja nopean kuivumisen vuoksi kypsytyksen vaikutus näkyy vasta korkeissa vesipitoisuuksissa. Osaksi tästä syystä, osaksi syystä, jonka selittävät kuvassa 2 esiintyvät monet murtoviivat, kypsytykskokeet toistettiin (kuva 1). Ensimmäisten kokeiden aikana tuli nimittäin esille eräs odottamaton ilmiö, mikä sekoitti alkuperäistä suunnitelmaa ja aiheutti epätarkkuutta tuloksiin. Jauhoista tehtiin noin 4 kk:n kuluttua eräitä tarkistusanalyysyjä ja silloin kävi ilmi, että kypsytettyjen jauhojen entsyymiherkkyys oli selvästi alentunut varastoimisaikana. Jauhot olivat laboratoriossa 20—25° lämpötilassa suljetuissa pulloissa ja niiden vesipitoisuus oli 5—8 %.

Ohrasta on tuloksia kolmelta, vehnästä kahdelta analyysikerralta. Ensimmäiset murtoviivat ovat heti tai melko pian käsittelyn jälkeen saaduista tuloksista. Varastoinnin vaikutusta ei tällöin osattu odottaa, minkä vuoksi tässä kohdassa on epätasaisuutta ja se selittää myös ensimmäisessä koemateriaalissa, vehnäjauhossa, esiintyvät muita suuremmat mutkat. Ohrajauholla 4 kk:n varastoisaike alensi entsyymiherkkyyttä noin 25 %:lla. Jauhojen »vanheneminen» ei sen jälkeen edistynyt yhtä nopeasti, sillä kun seuraava analyysisarja tehtiin kolmisen kuukautta myöhemmin, oli lisäero enää viitisen prosenttia. Sama ilmiö näkyy myös kuivauskaapissa kypsytytyissä jauhoissa. Niinikään se näkyy useimmissa kotimaisissa, kypsytytyissä minkkien viljarehuissa, mutta ei kaikissa (SALO ym. 1970).

Kirjallisuudesta ei ole tavattu mainintaa tällaisesta kypsytytystehon alenemisesta. Mahdollisesti kysymyksessä on samantapainen ilmiö kuin McIVER ym:n (1968) ja COLWELL ym:n (1969) selvittämä tärkkelysgeelin kiteytymis- eli vanhenemisilmiö, mikä tulee esille esim. leivänkuoren kovettumisena sen vanhetessa silloinkin kun kuivuminen estetään.

Jauhoja analysoitiin myös huhmaroimalla analyysiin tuleva pieni näyte-erä (400 mg) märkänä ennen entsyymikäsittelyä. Tarkoituksena oli alupperin särkeä mahdollisia kokkeita, mutta huhmaroinnin vaikutus osoittautui laajemmaksi. Se paransi entsyymihydrolyysin tulosta heikostikin kypsytytyillä tuotteilla suhteellisesti enemmän kuin raa'alla jauholla tai tärkkelyksellä ja varastoitua vanhentuneen kypsytytyen jauhon entsyymiherkkyys saatiin täten palautumaan. Ilmeisestikin jyväsien pinnan mekaaninen särkeminen onnistuu helpommin, kun ne on kerran kosteana kuumentaa entsyymien vaikutukselle herkistetty.

*Kypsyysasteen määrittäminen mikroskooppisesti.* ERWIN (1966) on vertaillut tärkkelyksen paisumisasteen määrittämisessä takadiastaasi- ja polarisaatiomenetelmää, ANSTAETT & SUNG (1969) ovat kokeilleet tähän tarkoitukseen kongopunavärjäystä. Ehjä tärkkelysjyvänen polarisoi ja kongovärjäys ei siihen tehoa, kypsytyty tai muuten vioitettu menettää polarisaatiokykyänsä ja värjäättyy kongolla. ERWIN (l. c.) pitää entsyymimenetelmää mikroskooppista paljon luotettavampana, vaikka hänen käyttämänsä takadiastaasiomenetelmä onkin hyvin heikko. Entsyymiliuokseen ei lisätty puskuria ja sen vuoksi tärkkelyksen hydrolyysi maltoosiksi tapahtui niin hitaasti, että kirjoittajain kokemuksen mukaan käsittelyssä ehti tapahtua tärkkelyksen paisumista ja hydrolyysiä pelkästään hautomisajan vuoksi. Mikroskooppimenetelmien heikkoutena edellä mainitut tutkijat pitivät ensinnäkin sitä, että jo niin vähän kypsytytyt tärkkelysjyväsiet värjäättyvät ja menettävät polarisoimiskykyänsä, että entsyymi ei vielä niihin tehoa. Toinen heikkous on se, että mikroskooppilla voi tutkia vain irrallisia jyväsiet, ei jauhomurusissa olevia.

Tässäkin tutkimuksessa kokeiltiin myös kumpaakin mikroskooppimenetelmää. Jauhoissa, jotka entsyymikokeiden mukaan olivat hyvin kypsytytytyjä, ei juuri nimeksikään todettu olevan värjäätymättömiä tai polarisoivia jyväsiet. Tuoreen ja vanhentuneen kypsytytyen jauhon välillä ei todettu eroa, vaikka entsyymimenetelmä osoitti sellaista olevan. — Mikroskooppimenetelmät näyttävät sopivan kypsytytyksen summittaiseen arvioimiseen: jos jauhossa on mainittavasti polarisoivia tai värjäätymättömiä jyväsiet, se ei ole kypsää. Jos taas melkein kaikki jyväsiet värjäättyvät ei sen tarvitse merkitä sitä, että tuote on täysin kypsää. Entsyymikokeella saadaan tässä tapauksessa kypsyysaste selville.

#### *Vertailu kirjallisuustietojen kanssa*

Kypsytytykokeet osoittivat, että 120°C lämpötilaa ja 1 ilmakehän ylipainetta käytet-

täessä noin 20 %:n vesilisäys riittää jokseenkin täydellisesti muuttamaan vehnä-, ohra- ja kaurajauhon tärkkelysryväset entsyymien vaikutukselle herkiksi. Samaa suuruusluokkaa ovat myös kirjoituksessa jo mainittujen amerikkalaisten tutkijain sopiviksi toteamat vesipitoisuudet (ERWIN 1966, MATSUSHIMA 1966) silloin kun höyrykypsytytys on suoritettu ilman painetta tai vain vähäisessä ylipaineessa. Jos höyrykypsytytys on suoritettu noin 2—3 ilmakehän ylipaineessa, on vesipitoisuus ollut tätä alhaisempi, jopa vain 10—15 % (ibid). Kypsytetty vilja on ko. kokeissa kuitenkin aina tarkoitettu nautakarjan yksinomaiseksi viljarehuksi ja sen vuoksi ei täydellinen kypsyminen ole ollut tarpeen, eikä edes toivottavaa. Kypsytytulokseen vaikuttavia tekijöitä ovat ERWININ (1966) ja MATSUSHIMAN (1966) mukaan toisaalta itse kypsytytysprosessiin kuuluvat seikat eli paine, lämpötila, vesipitoisuus ja aika, toisaalta kypsytetyn tuotteen valssaaminen ohuiksi hiutaleiksi heti kuumana ennen kuivaamista. 0.07 mm:n valssivälin katsoo ERWIN (l. c.) maissihiutaloinnissa sopivaksi. Jos hiutaleet ovat liian paksuja, menetetään osa kypsytyksen antamasta hyödystä. Toisaalta, lisäämällä painetta ja kypsytyisaikaa voidaan vähän paksummillakin hiutaleilla päästä hyvään tulokseen. Kypsyttäminen on suoritettu jyvänä eikä jyvän kypsymistä sisintä osaa myöten pidetä edes suotavana. Kuumana suoritettu hiutaloimisprosessi saa aikaan kypsymisen täydentymisen. Liian kypsistä jyvistä tulee kumimaisen tiiviitä hiutaleita.

Kuten jo kävi ilmi, nautan rehua valmistettaessa voidaan päätyä liian voimakkaasti fermentoituvaan tuotteeseen. Hiutaleet eivät sen vuoksi saa olla niin rapeita, että ne murenevat hienoksi jauhoksi. Kirjallisuudessa mainitut negatiiviset ruokintakotulokset saattavatkin johtua joko liian puutteellisesta tai liian perusteellisesta kypsytyksestä. Viimeksi mainittu aiheuttaa pötsissä liian nopean fermentaation, jonka seurauksena on ruokahalun lasku ja asidoosi. Yksimahaisilla tällainen liikakypsytyksen vaara tuskin tulee kysymykseen.

#### *Olisiko kypsytetty viljarehu lehmille tarpeen*

Suomessa ei tietävästi nautakarjaa varten valmisteta kypsytettyjä viljarehuja. Jo vuosikymmeniä sitten oli emännillä kuitenkin tapana antaa vastapoikineille lehmille lypsätsrehuksi mallasjauhoja. Kokemus oli osoittanut saman, mikä nyttemmin on tieteellisesti todistettu: rehun sisältämä sokeri lisää fermentaatiota pötsissä ja parantaa siten rehun sulavuutta ja hyväksikäyttöastetta. Nykyisin talviruokinnan aikana lehmät joutuvat helposti kärsimään sokerin puutteesta. Melassin maahantuonti on kielletty, juureksia ei niiden vaatiman suuren työmenekin vuoksi paljonkaan viljellä, ja heinän kenttäkuivatuksen ja paalauksen yleistymisen vähentää myös heinissä saatavan sokerin määrää. Hyvin kypsytetty, hiutaloitu viljarehu voisi muodostaa käyttökelpoisen sokerirehun korvikkeen: maanviljelijä käyttäisi sitä kotoisen viljarehun täydennysrehuna ja rehutehtaat voisivat sisällyttää sitä lypsylehmille tarkoitettuihin rehuseoksiin. Sokerin veroista se ei ole, mutta kuitenkin raakaa jauhoa paljon käymisherempää.

Erikoisesti urean käytön yhteydessä tarvittaisiin raa'an viljarehun täydennykseksi tällaista helposti fermentoituvaa lisärehua. Amerikassa on Kansas'in yliopistossa suunniteltu ns. starea-rehu (starch + urea), joka on kypsytettyä jauhetun viljan ja urean seosta, mikä kuivaamisen jälkeen on jauhettu karkeaksi rouheeksi (BARTLEY 1969). Jauheena annettuna urea hajoo pötsissä liian nopeasti ammoniakiksi ja sitä menee eläimeltä hukkaan, pahimmassa tapauksessa seurauksena on ammoniakkimyrkytys. Henkilö, joka on joutunut analysoimaan starea-rehun kaltaista kuivattua jauholiisteriä, ymmärtää hyvin



että liisterirakeet hajoavat lehmän pötsissäkin vain hyvin hitaasti ja annostelevat siten lehmän urean saannin paljon tasaisemmaksi kuin annettaessa ureaa sellaisenaan. On myös esitetty arveluja, että urean liukenemista starea-rehusta hidastaisi urean ja tärkkelyksen välillä tapahtuva kemiallinen reaktio. Kysymyksessä on ilmeisesti sama Maillard-reaktio (BRAVERMAN 1963), mikä tapahtuu kuumennettaessa aminohappojen ja hiilihydraattien välillä. — Urean käytön yhteydessä kypsytetty vilja olisikin erityisen sopivaa sokerinkorvikerehua ja maanviljelijälle olisi edullisinta, jos tehtaat markkinoisivat urean tällaisena jauhon kanssa liisteröitynä karkeaksi rouheeksi jauhettuna konsentraattina.

#### *Yhteenveto*

Tutkimus käsitteli tärkkelyksen entsyymaattiseen hydrolyysiin vaikuttavia tekijöitä. Oleellista siinä olivat vehnä-, ohra- ja kaurajauholla suoritettut kypsytykset. Tutkimuksessa todettiin seuraavaa:

Jauhojen kypsyysasteen ja tärkkelysjyvästen mekaanisesti tapahtuneen särkymisasteen arvosteluperustana amyloglukosidaasimenetelmä on polarisaatio- ja kongopunamenetelmiä parempi. Entsyymimenetelmä sopii kvantitatiiviseen määrittämiseen, mikroskooppimenetelmät vain summittaiseen arvioimiseen.

Amyloglukosidaasi hydrolysoi puhtaasta viljantärkkelyksestä ilman liisteröimiskeittoa vain 11—13 %, herneen- ja perunantärkkelyksestä vielä vähemmän. Liisteröiminen saa aikaan täydellisen hydrolyysin. Myös jyvästen mekaaninen särkeminen lisää pienessä määrin niiden entsyymiherkkyttä.

Mahalaukun olosuhteita jäljittelevä pepsiini-suolahappo käsittely ei muuta vehnän- eikä perunantärkkelystä amyloglukosidaasille herkemäksi.

Jo noin 20 %:n vedenlisäys ja kuumentaminen autoklaavissa 120°:ssa saa aikaan vehnä-, ohra- ja kaurajauhossa tärkkelyksen lähes täydellisen herkistymisen entsyymille, vaikka näin pieni vesimäärä ei aiheuta havaittavaa paisumista tärkkelysjyväsissä. Ylipäänsä kypsytyksen menetelmä on järjestettävä sellaiseksi, että käsiteltävä erä kokonaisuudessaan kuumenee liisteröimislämpötilaan ja samalla siinä säilyy tietty vesipitoisuus.

Sekä kuivauskaapissa että autoklaavissa 1 ilmakhän ylipaineessa jauhona kypsytetty, kuivattu ja jauhettu vilja menettää varastoitaessa entsyymiherkkyttään. 4 kk:n varastointi alensi sitä noin 25 %:lla. Huhmarointi palauttaa entsyymiherkkyden ennalleen. Raakaan jauhoon huhmaroinnilla on paljon pienempi vaikutus.

Kirjoituksessa käsitellään lisäksi kysymystä, sosisiko kypsytetty viljarehu lypsylehmille sokerirehun korvikkeeksi.

#### KIRJALLISUUS

- ANSTAETT, F. R. & SUNG, A. C. 1969. Evaluating hydro-thermal processed grains. *Feedstuffs* 41 (no 19): 19.  
 BARTLEY, E. E. 1969. Non-protein nitrogen supplements for ruminants. *Ibid.* 41 (no 5): 24.  
 BRAVERMAN, J. B. S. 1963. *Introduction to biochemistry of foods*. 336 p. Amsterdam/London/New York.  
 COLENBRANDER, V. F., BARTLEY, E. E., MORRIL, J. L., DEYOE, C. W. & PFOST, H. B. 1967. Feed processing. II. Effect of feeding expanded grain and finely ground hay on milk composition, yield, and rumen metabolism. *J. Dairy Sci.* 50: 1966—1972.  
 COLWELL, K. H., AXFORD, D. W. E., CHAMBERLAIN, N. & ELTON, G. A. H. 1969. Effect of storage temperature on the ageing of concentrated wheat starch gels. *J. Sci. Food Agric.* 20: 550—555.

- ERWIN, E. S. 1966. Pressure cooking grain for cattle rations. *Feedstuffs* 38 (no 7): 60.  
 —»— 1967. Processing grains to cattle. *Ibid.* 39 (no 7): 29.
- GARRETT, W. N. 1965. Comparative feeding value of steam-rolled or ground barley and milo for feedlot cattle. *J. Animal Sci.* 24: 726—729.
- HALE, W. H. 1965. Thin flake steam-processed milo and barley for cattle. *Feedstuffs*. 37 (no 27): 40.  
 —»— CUITUN, L., SABA, W. J., TAYLOR, B. & THEURER, B. 1966. Effect of steam processing and flaking milo and barley on performance and digestion by steers. *J. Animal Sci.* 25: 392—396.
- MATSUSHIMA, J. K. 1966. Flaked grains and the feed industry. *Feedstuffs* 38 (no 4): 29.  
 —»— JOHNSON, D. E., HEENEY, M. W. & WECHENTHAL, B. A. 1966. Greater feed efficiency from flaked corn. *Ibid.* 38 (no 4): 29.
- McIVER, R. G., AXFORD, D. W. E., COLWELL, K. H. & ELTON, G. A. H. 1968. Kinetic study of the retrogradation of gelatinized starch. *J. Sci. Food Agric.* 19: 560—563.
- MERCIER, C., CHARBONNIÈRE, R. & GUILBOT, A. 1968. Effect of pressure treatment on the granular structure of different starches and their susceptibility to enzymic attack. *Stärke* 20: 6—11 (Ref. *J. Sci. Food Agric.* 20: i—42).
- MUDD, C. A. & PERRY, T. W. 1969. Raw crackes vs. expanded gelatinized corn for beef cattle. *J. Animal Sci.* 28: 822—826.
- OLERED, R. & JÖNSSON, G. 1968. Electrophoretic studies of wheat  $\alpha$ -amylase. *Getraide Mehl* 18: 95—98. (Ref. *J. Sci. Food Agric.* 20: ii—199).
- SALO, M.-L., KORHONEN, I. & LEHTONEN, U.-R. 1970. Märkäkuumennus tärkkelysten entsyymattisen hajoamisen tehostajana, I. Kotimaisista minkkien viljarehuista. *J. Sci. Agr. Soc. Finl.* 42: 165—172.
- SALO, M.-L. & SALMI, M. 1968. Determination of starch by the amyloglucosidase method. *Ibid.* 40: 38—45.
- SALSBUURY, R. L., HOFFER, J. A. & LUECKE, R. W. 1961. Effect of heating starch on its digestion by rumen micro-organisms. *J. Animal Sci.* 20: 569—572.
- SEIDEMANN, J. 1966. *Stärke-Atlas*. 360 s. Berlin.
- WILLIAMSON, J. L. 1967. Increasing biological utilization of grain through processing. *Feedstuffs* 39 (no 34): 34.

## S U M M A R Y

### IMPROVING THE FERMENTABILITY OF STARCH BY HYDRO-THERMAL PROCESSING

#### I. Studies of pure starches and cereal meals

MAIJA-LIISA SALO, IRMELI KORHONEN and ULLA-RIITTA LEHTONEN

*Department of Animal Husbandry, University of Helsinki*

Factors affecting the enzymatic hydrolysis of starch have been investigated, the main object being the hydro-thermal processing of cereal meals. The following results were noted:

- The amyloglucosidase method is well suited to the evaluation of the cooking-degree of meals and the mechanical damage of starch granules. The optical birefringence method and the Congo-red staining method can be applied in rough estimation alone.
- Without gelatinization, amyloglucosidase is able to hydrolyse only 11—13 % of pure cereal starch, and even less of pea and potato starch. Complete hydrolysis is effected by gelatinization. The fermentability of raw starch is somewhat increased also by mechanical damage of the starch granules. A pepsin-hydrochloric treatment, simulating the digestive stomach-conditions, does not increase the fermentability of wheat and potato starch.
- Addition of 20 % of water and heating at a temperature of 120°C in an autoclave causes almost complete susceptibility of the starch to enzyme attack in wheat, barley and oat meal, although the small amount of water does not induce perceptible swelling of the starch granules. In general the conditions of the hydro-thermal processing should be so adjusted that the entire cereal lot attains the gelatinization temperature, and that its moisture content remains stable.

- The fermentability of cereal starch obtained by hydro-thermal processing in an oven at 100°C or in an autoclave at 120°C becomes reduced on storage. During a period of four months, the reduction amounted to about 25 %. Pounding in a mortar restores the fermentability of »overaged« meal; nevertheless, this treatment has only a slight effect on unprocessed meal.
- The availability of hydro-thermal processed flakes cereal food as a substitute for sugar food for milk cows is discussed.