Navorsings- en Oorsigartikels

Die funksionele eienskappe, modifisering en gebruike van weiproteïene

B.G. Venter* en A.E.J. McGill**

*Afdeling Suiwelkunde, Navorsingsinstituut vir Vee- en Suiwelkunde, Privaatsak X2, Irene 1675

**Departement Voedselwetenskap, Universiteit van Pretoria, Pretoria 0002

UITTREKSEL

Weiproteïene beskik oor 'n uitstekende voedingswaarde en vertoon 'n funksionele potensiaal. In vergelyking met sekere ander voedselproteïene is weiproteïen se inhoud van noodsaaklike aminosure uiters gunstig vir menslike gebruik. Afhangend van die hittebehandelingsgeskiedenis daarvan, kan oplosbare weiproteïene met benutbare funksionele eienskappe, benewens die hoë biologiese waarde, ware verteerbaarheid, die proteïendoeltreffendheidsverhouding en die netto proteïenbenutting, herwin word. Verskeie tegnologiese en chemiese herwinningsprosesse is ontwerp. Chemies en ensimaties gemodifiseerde weiproteïene word verder vervaardig om tegnologiese en funksionele voordele te bewerkstellig. Die belangrikste funksionele eienskappe van weiproteïene, naamlik hidrering-, jellering-, emulsifisering- en skuimvormingseienskappe word oorsigtig behandel.

ABSTRACT

The functional properties, modification and utilization of whey proteins

Whey protein has an excellent nutritional value and exhibits a functional potential. In comparison with certain other food proteins, the whey protein content of essential amino acids is extremely favourable for human consumption. Depending on the heat-treatment history thereof, soluble whey proteins with utilizable functional properties, apart from high biological value, true digestibility, protein efficiency ratio and nett protein utilization, can be recovered. Various technological and chemical recovery processes have been designed. Chemically and enzymatically modified whey protein is manufactured to obtain technological and functional advantages. The important functional properties of whey proteins, namely hydration, gelation, emulsifying and foaming properties, are reviewed.

INLEIDING

Wei word gedefinieer as die serum- of waterige fraksie van melk wat tydens kaasbereiding van die wrongel skei.¹ Afhangend van die kaasvervaardigingsprosedure, kan die makrosamestelling van wei aansienlik verskil.² Weens die lae konsentrasie van die proteïene in wei – slegs ongeveer 14% van die weivastestowwe³ – het navorsing oor weiproteïene tot die afgelope twee dekades beperk gebly.

Alhoewel wei slegs ongeveer 50% van die oorspronklike melkvastestowwe bevat en weiproteïene 22% van die melkproteïene verteenwoordig, beslaan wei nogtans 85 tot 90% van die kaasmelkvolume.³ Die biologiese suurstofvereiste van wei is 50 000 mg ℓ^{-1} , in vergelyking met 300 mg ℓ^{-1} vir rioolwater uit 'n menslike gemeenskap.⁴ Dus toon wei as industriële afvloeisel 'n ernstige besoedelingspotensiaal. Hierbenewens het die sentralisasie van kaasfabrieke meegebring dat die vervoerkoste van wei na plase vir dierevoeding geweldig gestyg het. Verskeie onlangse studies het aangetoon dat weiproteïen voedingkundig en funksioneel ten minste die gelyke, indien nie die meerdere nie, van baie ander voedselproteïene is.⁵

POTENSIAAL VIR MENSLIKE GEBRUIK

Voedingkundig

Volgens die *Food and Nutrition Board* in die Verenigde State van Amerika het 'n man met 'n liggaamsmassa van 70 kg, 23 g kaseien of 17 g heel eierproteïen of 14 g weiproteïen nodig om in sy daaglikse aminosuurbehoefte te voorsien.⁴ In tabel 1 word die noodsaaklike aminosuursamestelling van vier verskillende voedselproteïene ter vergelyking weergegee. 'n Bykans suiwer weiproteïenprodukt (97% proteïen), wat in alle opsigte funksioneel die gelyke van eieralbumien is, met 99% verteerbaarheid, 'n biologiese waarde van 94, netto proteïenbenutting van 93% en 'n proteïendoeltreffendheidsverhouding van 3,2, is reeds beskryf.⁶

Funksioneel

Die funksionele eienskappe van proteïen word gedefinieer as die eienskappe wat die proteïen se gedrag in voedsel tydens produksie, verwerking, opberging en verbruik beïnvloed.⁹ Eier-, melk- en graanproteïene was deurgaans as klassieke funksionele proteïene gebruik, aangesien dit oor die verlang-

TABEL 1
Persentasie noodsaaklike aminosuursamestelling van sekere proteïene^{5,7,8}

Aminosuur	Weiproteïen			Kaseïen			Eier	Soja
	(5)	(7)	(8)	(5)	(7)	(8)	(5)	(5)
Valien	6,85	5,21	5,42	6,80	6,63	6,70	7,15	5,30
Sistien	3,15	3,89	2,80	0,40	0,41	0,42	2,25	1,35
Isoleusien	6,55	5,27	5,48	5,80	5,33	5,32	6,45	5,15
Leusien	14,00	10,60	11,03	9,50	9,77	10,37	8,30	7,85
Lisien	10,90	9,61	10,00	7,60	8,59	8,68	7,05	6,20
Metionien	2,35	0,70	0,73	2,95	1,44	1,46	3,40	1,35
Fenielalanien	4,05	3,43	3,57	5,40	4,46	4,51	5,80	5,10
Treonien	6,70	4,84	5,03	4,00	4,11	4,16	5,15	4,10
Triptofaan	3,20	—	1,11	1,30	—	1,03	1,50	1,25
Tirosien	4,80	3,41	3,55	5,70	4,96	5,01	4,05	3,40

^{5,7,8} Saamgestel uit data van verskillende bronne, ter vergelyking.

de funksionaliteit beskik.¹⁰ Hierdie eienskappe, wat in hoof- en ondergeskikte kategorieë verdeelbaar is, soos verlang by verskillende voedsels, word in tabel 2 aangetoon. Die mate waartoe verskillende proteïene voldoen aan die verlangde eienskappe, word in tabel 3 vergelyk.

Uit die gegewe data, asook uit meer uitgebreide studies,¹¹ blyk dit dat die funksionele eienskappe van weiproteïene, as 'n versameling van proteïene, deur die samestelling daarvan beïnvloed word. Indien 'n grootheid dus aan funksionaliteit gekoppel word, sou dit wys wees om die weiproteïenbron, die vervaardigingsprosedure en die samestelling te vermeld.¹² Dit geld ook vir die evaluasietegniek.

WEIPROTEÏENSAMESTELLING EN HERWINNING

Samestelling

Van die proteïene in wei, verteenwoordig β -laktoglobulien ongeveer 50%.¹⁴ Ses genetiese variante van die proteïen is bekend,^{15,16,17,18} waarvan vyf se aminosuuropeenvolging bekend is.¹⁹ Polimorfisme is ook reeds by α -laktalbumien waargeneem.²⁰ Dié proteïen verteenwoordig ongeveer 25% van die weiproteïene en die aminosuuropeenvolging, wat herinner

aan lisosiem s'n, is bekend.²¹ α -laktalbumien vertoon biologiese aktiwiteit en vorm 'n deel van die laktose-sintetase-ensiemsisteem, saam met galaktosieltransferase.²² Vervolgens verteenwoordig die proteïengroep immunoglobulien 8 tot 15% van die totale weiproteïene. Hierdie groep bestaan uit ten minste vier afgebakende fraksies.¹⁹ Die laaste beduidende proteïenfraksie in wei is beesserumalbumien. Dit verteenwoordig ongeveer 3 tot 6% van die totale weiproteïenfraksie en vertoon heterogeniteit. Buiten 'n sogenaamde proteoseptoonfraksie, wat nie-presipiteerbaar is na verhitting (95°C/20 minute) en aansuring tot pH 4,7, maar wat wel presipiteerbaar is in 12% (m/v) trichloorasynsuur,²³ word die res van die stikstofbevattende bestanddele in wei deur 'n groot aantal verskillende ensieme verteenwoordig.¹⁴

Herwinning

'n Aantal herwinningstegnieke vir weiproteïene is reeds geboekstaaf. Prakties word 'n onderskeid tussen die verkreeë produkte as gedenatureerd of natuurlik getref. Vir die meeste funksionele toepassings is dit belangrik dat weiproteïene in die oplosbare, ongedenatureerde, natuurlike toestand herwin word. Natuurlike weiproteïene is oplosbaar oor 'n

TABEL 2
Funksionele eienskappe van proteïene in verskeie voedsels verlang¹⁰

Funksionele eienskap	Koffie-verwitter	Gebak	Prosesvleis/-wors	Nagereg en geklopte dresserings	Lekkergoed
Oplosbaarheid	G	G	nv	G	G
Emulgering	G	G	G	G	G
Skuimvorming	nv	G	nv	G	nv
Jellering (hitte)	N	G	G	G	nv
Vet/waterbinding	nv	nv	G	nv	nv
Neutrale smaak	G	G	nv	G	G

G = gewens

N = nadelig

nv – nie verlang

wye pH-gebied²⁴ en die oplosbaarheid bepaal die stabiliteit van die kolloïdale dispersies daarvan.⁴ Gedenatureerde weiproteïene het vir praktiese doeleindes 'n uitstekende waterbindingsvermoë,²⁵ maar nie 'n betekenisvolle ander funksionaliteit nie. Die herwinning van ongedenatureerde weiproteïene het veral gewentel om die volgende tegnieke:

- (a) Ioonuitruiling, te wete kationuitruiling,^{26,27} met onder andere karboksimeielsellulose, en ook anioonuitruiling.^{8,28}
- (b) Koue of chemiese presipitasie met verskeie polielektroliete²⁹ van uiteenlopende produksamestellings.
- (c) Ultrafiltrasie³⁰ en diafiltrasie³¹ – membraanfiltreringsprosesse waartydens hoë vloeispoed en druk toegepas word.
- (d) Jelfiltrasie of -permeasie.^{32,33}

Verskeie variasies van die verhittings- en aansuingsmetode²⁵ is ontwerp vir die herwinning van onoplosbare, gedenatureerde weiproteïene.

FUNKSIONELE EIENSKAPPE

Uit tabelle 2 en 3 blyk dit duidelik dat weiproteïene oor bruikbare eienskappe beskik. Die evalueringsmetodiek wat aangewend word om proteïene se funksionaliteit te beskryf, dra vanselfsprekend by tot die afmetings van hierdie funksionaliteit, aangesien die toetse ongestandaardiseerd en empiries is.²⁴

Daar bestaan twee gedagterigtings oor die toetsing van proteïene, te wete modeltoetse en modelvoedseltoetse. Modeltoetse word ontwerp om:

- vinnig en goedkoop te wees;
- maklik uitvoerbaar in alle laboratoriums te wees;
- op relatief klein monsters uitvoerbaar en herhaalbaar te wees;
- verskille tussen monsters te vergroot; en om eienskappe van die toetsmonster eerder as 'n enkele voedseltoepassing aan te dui.¹⁰

Om vollediger kennis oor die eindprodukgebruik van weiproteïenkonsentraat (WPK) in te win, is daar

modelvoedseltoetse³⁴ ontwerp. Voedselprodukte soos styselbasispoeding, slaaisous en so meer, is geformuleer. Hierby is die vervaardigingsprosedure kritiek en moet nougeset gevolg word. Die werklike funksionele eienskappe van natuurlike, ongedenatureerde weiproteïene is soos volg beskryf:^{24,35}

1. hoë oplosbaarheid oor 'n wye pH-gebied en moontlik unieke oplosbaarheid by lae pH;
2. uitstekende belugtingseienskappe;
3. produksie van stewige jels by verhitting;
4. bruikbare vet- en waterbindingsvermoë.

Daar is egter een groot voorwaarde vir die optimale en maksimale funksionaliteit en dit is die minimalisering van proteïedenaturering tydens herwinning en weiverwerking.¹³ Die grondslag van proteïenfunksionaliteit is fisies-chemies¹⁴ en word vervolgens in breë trekke omskryf.

Hidreringseienskappe

Proteïenoplosbaarheid is 'n voorvereiste vir die meeste funksionele toepassings. Ware oplosbaarheid dui op die persentasie proteïene in 'n monster wat in die vorm van oplossing of kolloïdale suspensie onder spesifieke toestande dispergeer, en wat nie gesedimenteer word deur matige sentrifugale krag nie³⁶ (in teenstelling met die klassieke melkpoeieroplosbaarheidsindeks wat 'n meting van onoplosbare materiaal is).

Die viskositeit wat oplossings van proteïene vertoon, is eintlik 'n "skynbare" viskositeit, aangesien proteïenoplossing nie-Newtonies is; dit is uiters sensitief vir die behandelingsgeskiedenis en die evalueringstegniek³⁷ van die proteïene.

Waterbinding is 'n verdere verlangde hidrerings-eienskap wat aan swelvermoë, viskositeit en jellering van proteïene verwant is. In soetgebak word daar van 'n bygevoegde proteïen verlang om net genoeg water vir die vorming van 'n oop tekstuur en sagte krummelstruktuur te bind. Te veel gebonde water benadeel egter "glutenontwikkeling". Daarenteen moet 'n by-

TABEL 3
Funksionele eienskappe van algemeen gebruikte voedselproteïene¹⁰

Funksionele eienskap	Eierwit ^x	Eiergeel	Plasma	Natrium-kaseïenaat	Soja-isolaat	Weikon-sentraat	Wei-isolaat	Gehidroliseerde proteïene
Oplosbaarheid	4 (3)	3	3	4	1–2	3–4	4	4
Emulgering	1 (2)	4	3	3	2	3	3	2
Skuimvorming	4 (1–4)	0	4	3	0 ^y	0–3	4	3
Hittejellering	4	4	4	0	2	2–3	4	0
Waterbinding	1	1	1	2	4	1	1	0–1
Neutrale smaak	3 (2)	1	0	4	1	0–3	4	2–4

^x Waardes vir droë eieralbumien in hakies

^y Indien nie-gehidroliseerd

0 Baie swak; 4 Uitstekend; – 'n Reeks waardes dui op 'n reeks beskikbare produkte, afhangend van prosessering

TABEL 4
Maksimum jelsterkte (Newton) verkry met WPK* en eierwit as 'n funksie van pH⁵⁶

Materiaal (hittebehandeling)	pH							
	9	8	7	6	5	4	3	2
Eierwit	7,6	3,3	2,4	5,1	5,6			
Cheddar WPK (72°C/15 s)		7,1		2,3			3,2	2,2
Cheddar WPK (85°C/15 s)		2,5		0,7			1,4	0,8
Cheddar WPK (72°C/15 s, gedemineraliseer)		4,4			10,5		1,3	1,7
HCl WPK (80°C/15 s, pH 5,6 voor UF)		5,8			8,3		0,5	0,3
HCl WPK (gedemineraliseer, 72°C/15 s)		3,6	5,8				2,1	1,6

*Berei met ultrafiltrasie (UF)

gevoegde proteïene in viskeuse soppe en souse water tydens verwerking bind en behou.³⁸

Oplosbare weiproteïene se waterbindingsvermoë is tussen 0,8 en 1,8 g water per g proteïene.^{38,39}

Hittedenaturasie

Hierdie eienskap kan beskou word as daardie geskiedenis eienskap van weiproteïene wat die hidrerings eienskappe primêr en alle ander eienskappe sekondêr reguleer. Onder meer is die invloed van snelpasteurisasie by hoë temperatuur (HTS) minimaal⁴⁰ (3% onomkeerbare proteïenedenaturering in vergelyking met behandeling by ultrahoë temperatuur (UHT) se 40%). Dit is pH-afhanklik⁴⁵ en weiproteïene begin reeds by 70°C denatureer, terwyl residuele fraksies eers by 130°C denatureer.⁴¹ Die teenwoordigheid van suikers⁴² en soute⁴³ beskerm proteïene teen denaturering by lae temperature, terwyl reduserende suikers bo 100°C die termiese afbraak bevorder,⁴⁴ wat suurheid verhoog en denaturering bevorder.

Belugtingseenskappe

Die oppervlakaktiwiteit van proteïene in oplossing kan as bepalende faktor benut word in die omskrywing van die klop- en skuimvermoë van die proteïene. Hidrerings eienskappe soos benatbaarheid en disperseerbaarheid³ beïnvloed hierdie oppervlakaktiwiteit. Alhoewel die skuimvermoë van proteïenoplos-

sings nie met die absolute oppervlakspanning daarvan gekorrelleer is nie, is dit wel met verlaging in oppervlakspanning gekoppel.⁴⁶

Verskeie voedsels word vervaardig deur die vasvang van lug in proteïenfilms. Die proteïene moet dus kan oplos, migreer en oriënteer om die samevloeiing van borrels en druppels op die gas-vloeistof-tussenvlak te verhoed.³⁶ Benewens klopvermoë, skuimvermoë en meting van die massa- en volumetoename, word vloeistofdreinerings uit skuime as 'n stabiliteitsmonitor gemeet.⁴⁸ Laasgenoemde kan as volume per tydseenheid of as tyd per volume-eenheid gemeet word. Klopvermoë word as oorsprong gemeet en resultate vir weiproteïene wissel van 0 tot 780% (29 tot 88% proteïene in WPK)⁴⁹ en 500 tot 1 340%.⁴⁸ Dreineringsstye, vir die eerste vloeistofdruppel uit 'n skuim van WPK, wissel van vier tot 36 minute.⁵⁰

Emulgeereienskappe

Omdat emulsies verskil in oliefasevolume, vet-tot-vloeistofverhouding en viskositeit van die deurlopende fase, is dit moeilik om 'n enkele modelsisteem te ontwikkel om die emulgeereienskappe van proteïene te evalueer.⁴⁹ Net soos in skuime moet die proteïene 'n tussenvlakfilm vorm, maar wel tussen olie en water. Hidrofobiese gedeeltes van die proteïene moet in die apolêre oliefase oriënteer, terwyl hidrofiliese dele in die polêre waterige fase moet oriënteer. Veral in vloeibare emulsies is die filmbehoudende eienskap

TABEL 5
Jelleringseenskappe van eier- en weiproteïene (11% proteïene)³³

Proteïene	pH	Jelleringstemp. (°C)	Waterbinding (%)	Hardheid (g cm ⁻²)	Veerkragtigheid
Eierwit	8,5	60	97,8	7,2	0,59
Weiproteïene	7,0	58	98,4	8,4	0,65
-isolaat	8,0	56	99,0	5,2	0,60
	9,0	56	98,2	5,2	0,58
UF WPK	7,0	74	90,6	7,8	0,42
	8,0	69	*	*	*
	9,0	67	*	*	*

*nie gemeet; UF = ultragefiltreerd

belangrik. In dik emulsies soos polonies word hitte-stabiliteit en die vermoë om 'n stewige jel tydens afkoeling te vorm van proteïene verlang.

Eienskappe van hierdie aard word uitgedruk as volume olie geëmulgeer per eenheidsmassa proteïen,⁵⁰ die vermoë om so 'n emulsie 'n bepaalde tyd te onderhou en te stabiliseer en die vermoë waartoe die voorkoms van afolie onder stremmende toestande verhoed word.⁵¹ Die emulgeerkapasiteite van gedialiseerde en jelgefiltreerde WPK's en kaseïen en vetvrye melk is in 'n tipiese studie as 2,99; 2,97; 1,88 en 2,17 g olie per mg proteïen bevind.⁵²

Jelleereienskappe

Interaksies van proteïene en die gevolglike vorming van 'n deurlopende matriks wat groot hoeveelhede water kan immobiliseer, word jellering genoem.³⁹ Proteïene wat stadig ontvou en op spesifieke wyses en lokaliteite reageer om 'n driedimensionele, kruisgebonde netwerk te vorm, beskik oor jelleereienskappe.³⁶ Die sulfhidrielinhoud van proteïene beïnvloed die jelvermoë daarvan.⁵³ Die laasgenoemde word op verskeie wyses uitgedruk, nl. jelsterkte of die krag wat nodig is om die jel te breek,⁴⁵ die kleinste koaguleerbare proteïenkonsentrasie,⁵⁴ en die koaguleertemperatuur van 'n proteïenoplossing.⁵⁵

Die bron van die weiproteïene en die behandelingsprosesse wat daarop toegepas word, beïnvloed die jelleereienskappe daarvan in so 'n mate dat isoleringstoestande gemanipuleer kan word om koagula van weiproteïene te berei met eienskappe soortgelyk aan en beter as dié van eierwit^{33,56} (tabel 4, tabel 5).

GEBRUIKE

Alhoewel 'n groot aantal patente in die afgelope dekade toegestaan is vir die aanwending van wei en weiproteïene in voedselformulerings, word daar relatief min wei op dié wyse benut. In 1983 is van meer as 40% van die weiproduksie in die VSA as rouwei ontslae geraak.⁵⁹ Weiproteïene kan hoofsaaklik op drie maniere in voedsel vir menslike verbruik aangewend word, nl. as plaasvervanger, as aanvuller en as fortifiseerder.

Plaasvervanger

Uit die beskikbare literatuur blyk dit dat die aanwending van weiproteïene as plaasvervanger, hetsy algeheel of gedeeltelik, grootliks funksioneel is. 'n

Sogenaamde "super proteïen" verkry uit wei⁶ en die "dairy albumen" van wei⁵ – 'n soortgelyke indien nie 'n identiese produk nie – is as suksesvolle plaasvervanger vir eierwit in alle funksionele opsigte gerapporteer. Die suksesvolle vervanging van tot 75% van die heel eier in gebakte vla met WPK,⁵⁸ die vervaardiging van versoete jellies uit WPK vergelykbaar met gelatien,⁵⁹ en WPK-bevattende, hittekoaguleerbare beslag vir vis en vleis⁶⁰ is reeds aangemeld.

Aanvuller

Die gebruik van weiproteïene in voedselsoorte verskaf inherent voedingkundige en soms ook funksionele voordele. Die gebruik van WPK om duur bestanddele te "rek", d.w.s. bloot as vulmateriaal, is egter ook gewens aangesien dit relatief goedkoop verkrygbaar is. Na verskeie aanbevelings het die VSA se Food and Drug Administration die gebruik van WPK as formuleringshulpmiddel in voedsels goedgekeur,⁶¹ onderworpe aan die perke in tabel 6 weergegee. Die gebruik van melkproteïene en veral weiproteïene in vleisprodukte het nie agterweë gebly nie. WPK-bevattende, rypgemaakte vleis⁶² en skulpvisprodukte⁶³ is reeds gepatenteer.

Fortifiseerder

Op hierdie gebied word daar veral klem gelê op formulerings wat 'n ander doel as onderhoudende voeding ten doel het. Dieetkundige voedsels vir invalides en diabele,³² die sogenaamde gehumaniseerde melksoorte,⁶⁴ herstelvoedselsoorte,⁶⁵ verrykte graankosse⁶⁶ en selfs hoëproteïenbrood⁶⁶ dien as goeie voorbeelde hiervan. Die belangrikste oorwegings vir die aanwending van WPK as fortifiseerder is die verhoogde biologiese waarde en proteïenbalansering en -aanvulling sonder die oormatige byvoeging van ander voedselbestanddele (soos laktose, as melkpoeier gebruik sou word).

MODIFISERING

Die modifisering van weiproteïene se uitsluitlike doel is om 'n tegnologiese of funksionele voordeel te bewerkstellig. Die meeste studies oor weiproteïen-modifisering het tot dusver om chemiese modifikasies gewentel. 'n Reeks verskillende produkte, nl. met variërende jelleertemperature en vervaardig deur die chemiese vrystelling van variërende hoeveelhede sulfhidriël-groepe, is gepatenteer.⁶⁷ Geoksideerde⁶⁸ WPK in beskuitjies, sowel gedeamideerde⁶⁹ as geamideerde en veresterde β -laktoglobulien⁷⁰ – die laasgenoemde om die natuurlike proteïene se isoïoniese punt van 5,2 tot 7 – 10 te verskuif – en gefosforiseerde β -laktoglobulien⁷¹ om vloeibare jels vergelykbaar met joghurt te vervaardig, is intensief bestudeer. Verreweg die wydste toepassing blyk met gesuksinileerde WPK moontlik te wees. Voorbeelde hiervan is die aanwending in koffieverwitter as plaasvervanger vir kaseïenaat, asook in slaaisous ter vervanging van 20% van die eiergeel.⁷² Die gebruik van gesuksinileerde WPK in roomys het oorspronklik vergroot en vriestyd ingekort, hoewel bysmake die aanwending beperk het.⁷³ In kitspoedings het dié gemodifiseerde

TABEL 6
Beperkings deur die FDA van die VSA op die gebruik van WPK in voedsels geplaas⁶¹

Soort voedsel	Maksimum vlak (%)
Suiwelprodukanaloë	20
Sagte lekkergoed	20
Plantproteïenprodukte	50
Alle ander voedselkategorieë	19

WPK die verstewigings tempo vertraag;⁷³ in woorde het dit die emulsiestabiliteit ernstig verlaag.⁷⁴ Die byvoeging van die WPK by koringmeel het die deegontwikkeling versnel, maar die deegstabiliteit benadeel.⁷⁵ Hierbenewens kon die hoër waterbindingsvermoë van gesuksinileerde WPK nie die afgaan of oudword ("staling") van brood vertraag nie.

'n Relatief verwaarloosde tegniek in die modifisering van weiproteïene is die ensimatisiese tegniek. In teenstelling met chemiese hidrolise, wat bykans onbeheerbaar is, kan proteïene ensimatisies selektief en in groot mate gekontroleerd gedegradeer word. Die beskikbaarheid van voorafverterde proteïene is noodsaaklik by die behandeling van sistiese fibrose, pankreas- en lewerwanfunksies, en verteringskanaal-disfunksies wat veroorsaak word deur siekte, beseering of chirurgie.⁷⁶

Die funksionele eienskappe van die weiproteïene verander natuurlik in die proses, sommige ten voordele en ander ten nadele. Teenstellende resultate word in die literatuur beskryf. Alhoewel min navorsing oor die invloed van die ensimatisiese hidrolise van weiproteïene op die laasgenoemde se funksionele eienskappe in die literatuur vermeld word, is sekere neigings in 'n spesifieke studie gerapporteer. Verskeie ensieme is met dié doel gebruik en in die geval van alle verkreeë hidrolisate is die WPK se emulgeerkapasiteit met verhoogde hidrolise verlaag. Die skuimvermoë het verbeter, maar ten koste van verswakke skuimstabiliteit. Ensimaties gehidroliseerde weiproteïene is egter reeds toegepas in suurdrankies,⁷⁸ velsorgmiddels⁷⁹ en in met hoë proteïene bedekte gebak, waarin sowel die bedekking as die kern ensimaties gehidroliseerde weiproteïene bevat.⁸⁰ Hierdie tipe WPK se gebruik in baba-, dieet- en herstelvoedselsoorte is reeds gepatenteer.⁸¹

SAMEVATTING

Vir die voedselkundige is twee belangrike oorwegings rakende wei enersyds die ernstige besoedelingspotensiaal daarvan, en andersyds die onverbeterlike proteïenfraksie daarin. Wei moet egter eerder as 'n nuwe produk van die kaasvervaardigingsproses en nie as 'n afvalproduk beskou word nie. Al is die proteïeninhoud daarvan laag, is die tegnologie beskikbaar om weiproteïene in verskillende grade van suiwerheid en natuurlikheid te herwin.

Benewens 'n uitstekende voedingswaarde, beskik weiproteïene oor bruikbare en manipuleerbare funksionele eienskappe. Die mark vir bymiddels word tans oorstroom met sintetiese en halfsintetiese jelleerders, stabiliseerders, emulgeerders en benatters teen lae pryse. Tensy die tegnologie van weiproteïenherwinning en manipulerende mededingende produkte teen mededingende pryse kan lewer, kan die benutting van hierdie waardevolle voedselbestanddeel agterweë bly.

Ontvang 3 Maart 1986; aanvaar 12 Maart 1986.

VERWYSINGS

1. Gillies, M.T. (1974). In *Whey processing and utilization*.

- Economical and technical aspects* (Noyes Data Corporation, London).
2. Glass, L. & Hedrick, P.I. (1977). Nutritional composition of sweet and acid type dry wheys. I. Major factors including amino acids, *J. Dairy Sci.* 60, 185-189.
3. Irvine, D.M., Hill, A. & Bullock, D.H. (1984). Developments in the use of whey protein for human consumption, *Mod. Dairy* 63, 18-20.
4. Knipschildt, M.E. (1977). Utilization of whey. To avoid pollution and to recover a valuable food product, *Am. Dairy Rev.* 39, 52B-52F.
5. Palmer, D.E. (1980). Instead of eggs, *Fd. Mf.* 55, 33, 65.
6. Hannigan, K.J. (1982). "Super protein" from acid whey, *Fd. Engng.* 54, 96-97.
7. De Lange, D.J., Smit, A.J., Cilliers, J.J. le R. & Ireland, J.P. (1979). The amino acid composition of the protein of commercial defatted milk powder in comparison with the protein of fresh milk, casein and whey, *S. Afr. J. Dairy Technol.* 11, 43-48.
8. De Lange, D.J., Potgieter, C.M., Smit, A.J. & Smit, L.E. (1979). The separation and amino acid content of bovine milk whey proteins, *S. Afr. J. Dairy Technol.* 11, 51-55.
9. Bech, A.-M. (1981). The physical and chemical properties of whey proteins, *Dairy Ind. Int.* 46, 25, 27, 29, 31, 33.
10. West, S.I. (1984). What does the food industry require of dairy ingredients? *J. Soc. Dairy Technol.* 37, 117-119.
11. Ando, K., Kato, I., Jelen, P. & Yusa, K. (1983). Emulsifying capacity and heat stability of whey protein concentrates, *J. College Dairying, Natural Science* 10, 1-12 (*Dairy Sci. Abstr.* 46, 556, abstract 4877).
12. Morr, C.V. (1982). Functional properties of milk proteins and their use as food ingredients. In *Developments in dairy chemistry 1. Proteins*, Fox, P.F. ed. (Applied Science Publishers, London and New York).
13. Morr, C.V. (1979). Functionality of whey protein products, *N.Z. J. Dairy Sci. Technol.* 14, 185-194.
14. Farrell Jr., H.M. & Thompson, M.P. (1974). Physical equilibria: Proteins. In *Fundamentals of dairy chemistry*, Webb, B.H., Johnson, A.H. & Alford, J.A. (eds.) 2nd ed. (The AVI Publishing Co. Westport, Connecticut).
15. Aschaffenburg, R. & Drewry, J. (1955). Occurrence of different beta-lactoglobulins in cow's milk, *Nature* 176, 218-219.
16. Bell, K. (1962). One-dimensional starch-gel electrophoresis of bovine skim-milk, *Nature* 195, 705-706.
17. Gordon, W.G. & Kalan, E.B. (1974). Proteins of milk. In *Fundamentals of dairy chemistry*, Webb, B.H., Johnson, A.H. & Alford, J.A. eds. 2nd ed. (The AVI Publishing Co. Westport, Connecticut).
18. Bell, K., McKenzie, H.A., Murphy, W.H. & Shaw, D.C. (1970). β -lactoglobulin (Droughtmaster): A unique protein variant, *Biochim. Biophys. Acta* 214, 427-436.
19. Whitney, R. McL., Brunner, J.R., Ebner, K.E., Farrell Jr., H.M., Josephson, R.V., Morr, C.V. & Swaisgood, H.E. (1976). Nomenclature of the proteins of cow's milk: Fourth revision, *J. Dairy Sci.* 59, 795-815.
20. Blumberg, B.S. & Tombs, M.P. (1958). Possible polymorphism of bovine α -lactalbumin, *Nature* 181, 683-684.
21. Vanaman, T.C., Brew, J. & Hill, R.L. (1979). The disulfide bonds of bovine α -lactalbumin, *J. Biol. Chem.* 254, 4583-4590.
22. Ebner, K.E. (1971). Biosynthesis of lactose, *J. Dairy Sci.* 54, 1229-1233.
23. Rowland, S.J. (1938). The precipitation of the proteins in milk, *J. Dairy Res.* 9, 30-46.
24. Coton, G. (1977). *Characteristics of products obtained by membrane processes when applied to milk products*, IDF session, Commission B (Technology and Engineering). B-Doc. 55.
25. Greig, R.I.W. (1979). The manufacture, properties and use of heat denatured whey protein, *Milk Ind.* 81, 30-34.
26. Hansen, P.M.T., Hidalgo, J. & Gould, I.A. (1971). Reclamation of whey protein with carboxymethylcellulose, *J. Dairy Sci.* 54, 830-834.
27. Humbert, G. & Alais, C. (1981). Possibilités d'application au lactosérum de nouveaux procédés de précipitation ou de fractionnement des protéines. II. Procédés de précipitation non thermique des protéines du lactosérum, *Techn. Lait* 952, 41-43 (*Dairy Science Abstr.* 43, 692, abstract 5778).
28. Venter, B.G. (1984). Recovery of whey proteins by anion exchange with microgranular cellulose derivative, *S. Afr. J. Dairy Technol.* 16, 79-84.
29. Shahani, K.M., Mathur, B.N. & Kilara, A. (1978). Utilization

- of whey as a human food, *Cult. Dairy Prod.* 13, 7-12.
30. Westergaard, V. (1978). Utilization of whey. Spray drying in the light of cheese production, Lecture, FAO Cheese production seminar, Valdivia, Chile. *Niro Atomizer* F-107.
 31. Jelen, P. (1983). Reprocessing of whey and other dairy wastes for use as food ingredients, *Fd. Technol.* 37, 81-84.
 32. Mann E.J. (1976). Digest of international dairy publications, Whey utilization, part 2. *Dairy Ind. Int.* 41, 21-22.
 33. Kelly, P.M., O'Keefe, A.M. & Phelan, J.A. (1983). Functional properties of milk proteins – a review of Moorepark experiences, *Proc. IDF Symp. Physico-chemical aspects of dehydrated protein-rich milk products*, Helsingør, Denmark.
 34. Harper, W.J. & Peltonen, R. (1979). An approach to functional property evaluation of whey proteins, *N.Z. J. Dairy Sci. Technol.* 14, 194-195.
 35. Visser, F.M.W. (1981). Funktionele toepassing van eiwitten in de voedingsmiddelenindustrie, *Voedingsmiddelentechnologie* 14, 12-19.
 36. Kinsella, J.E. (1983). Functional properties of proteins in high protein dairy powders, *Proc. IDF Symp. Physico-chemical aspects of dehydrated protein-rich milk products*, Helsingør, Denmark.
 37. Mulvihill, D.M. & Fox, P.F. (1983). *Assessment of the functional properties of milk protein products*, IDF session, Commission F. F-Doc. 93.
 38. Knightbridge, J.P. & Goldman, A. (1975). Water absorptive capacity of dried milk products, *N. Z. J. Dairy Sci. Technol.* 10, 152-157.
 39. Short, J.L. (1980). The water absorption capacity of heat precipitated whey proteins, *N. Z. J. Dairy Sci. Technol.* 15, 167-176.
 40. Mills, O.E. (1976). Effect of temperature on tryptophan fluorescence of β -lactoglobulin B., *Biochim. Biophys. Acta* 434, 324-332.
 41. De Wit, J.N. & Klarenbeek, G. (1981). A differential scanning calorimetric study of the thermal behaviour of bovine β -lactoglobulin at temperatures up to 160°C, *J. Dairy Res.* 48, 293-302.
 42. Back, J.F., Oakenfull, D. & Smith, M.B. (1979). Increased thermal stability of proteins in the presence of sugars and polyols, *Biochemistry* 18, 5191-5196.
 43. McKenna, B.M. & O'Sullivan, A.C. (1971). Whey protein denaturation in concentrated skim milks, *J. Dairy Sci.* 54, 1075-1077.
 44. De Wit, J.N. (1981). Structure and functional behaviour of whey proteins, *Neth. Milk Dairy J.* 35, 47-64.
 45. Anderson, G.G., Bech, A.-M. & Munksgaard, L. (1983). Methods used for determination of functional properties of protein products at the Danish Government Research Institute for Dairy Industry, *Proc. IDF Symp. Physico-chemical aspects of dehydrated protein-rich milk products*, Helsingør, Denmark.
 46. Kitabatake, N. & Doi, E. (1981). Surface tension and foaming of protein solutions, *J. Fd. Sci.* 47, 1218-1221, 1225.
 47. De Vilbiss, E.D., Holsinger, V., Posati, L. & Pallansch, M. (1974). Properties of whey protein concentrate foams, *Fd. Technol.* 28(3), 40-48.
 48. Richert, S.H., Morr, C.V. & Cooney, C.M. (1974). Effect of heat and other factors upon foaming properties of whey protein concentrates, *J. Fd. Sci.* 39, 42-48.
 49. Tornberg, E. & Hermansson, A.-M. (1977). Functional characterization of protein stabilized emulsions: Effect of processing, *J. Fd. Sci.* 42, 468-472.
 50. Pearce, K.N. & Kinsella, J.E. (1978). Emulsifying properties of proteins: Evaluation of a turbidimetric technique, *J. agric Fd. Chem.* 26, 716-723.
 51. De Moor, H. & Huyghebaert, A. (1983). Functional properties of dehydrated protein-rich milk products, *Proc. IDF Symp. Physico-chemical aspects of dehydrated protein-rich milk products*, Helsingør, Denmark.
 52. Kuehler, C.A. & Stine, C.M. (1974). Effect of enzymatic hydrolysis on some functional properties of whey protein, *J. Fd. Sci.* 39, 379-382.
 53. Green, M.L. (1980). The formation and structure of milk protein gels, *Fd. Chem.* 6, 41-49.
 54. Sternberg, M., Chiang, J.P. & Eberts, N.J. (1976). Cheese whey proteins isolated with polyacrylic acid, *J. Dairy Sci.* 59, 1042-1050.
 55. Dunkerley, J.A. & Hayes, J.F. (1980). Characterization of whey protein gels using a temperature gradient block, *N. Z. J. Dairy Sci. Technol.* 15, 191-196.
 56. Dunkerley, J.A. & Zadow, J.G. (1981). Rheological studies on heat-induced coagula from whey protein concentrates, *N. Z. J. Dairy Sci. Technol.* 16, 243-252.
 57. Teixeira, A.A., Johnson, D.E. & Zall, R.R. (1983). Outlook for whey as an ingredient, *Fd. Engng.* 55, 106-108.
 58. Corbett, C.R. (1980). Replacement of whole egg in baked custard, United States Patent 4 214 010 (*Dairy Sci. Abstr.* 43, 409, abstract 3311).
 59. Le Grand, C.G.G.R. & Paul, R.A.E.C. (1981). Method for producing an edible gel, United States Patent 4 251 562 (*Dairy Sci. Abstr.* 43, 961, abstract 8120).
 60. Kennedy, A.T. & Kennedy, D.L. (1982). Coated edible products and processes for their preparation, UK Patent Application GB 2 097 646 A (*Dairy Sci. Abstr.* 45, 804, abstract 7657).
 61. Vetter, J.L. (1980). Opportunities for whey utilization in the baking industry, Proceedings, 1980 Whey products conference, USDA, 138-153. Philadelphia, Pennsylvania.
 62. Brotsky, E., Everson, C.W. & Swartz, W.E. (1983). Whey protein fortified cured meat and process for preparation, United States Patent US 4 381 316 (*Dairy Sci. Abstr.* 46, 50, abstract 440).
 63. Chang, P.K. (1983). Fabricated shellfish products containing whey protein concentrate, composition and method of preparation, United States Patent US 4 441 917 (*Dairy Sci. Abstr.* 46, 393, abstract 3451).
 64. Arnaud, M., Chambon, M., Edon, A., Guillet, N. & Malige, B. (1980). Process for preparation of animal or vegetable proteins, particularly milk proteins, and novel products obtained, French Patent Application FR 2 452 881 A1 (*Dairy Sci. Abstr.* 46, 47, abstract 414).
 65. Theuer, R.C. (1983). Milk proteins in infant nutrition: Development and manufacture of infant formula, *Keiler milchw. ForschBer.* 35, 423-430.
 66. Brents, M.Ya. (1983). Roll of whey protein in enhancing biological value of products, *Dairy Sci. Abstr.* 46, 495, abstract 4346.
 67. Phillips, D.J. & Evans, M.T.A. (1981). Process for lowering the gelling temperature of whey proteins obtained from milk, UK Patent Application 2 055 846 A (*Dairy Sci. Abstr.* 43, 605, abstract 5032).
 68. Lauck, R.M. (1981). Oxidized whey protein concentrate enriched shortening-containing biscuits, United States Patent 4 283 435 (*Dairy Sci. Abstr.* 44, 400, abstract 3541).
 69. Pearce, R.J. & Balint, S. (1982). Deamidation of whey proteins for the modification of functional properties, Brief communications, 21st Int. Dairy Congr. Vol. 1, Book 2, 235-236. Mir Publishers: Moscow.
 70. Mattarella, N.L., Creamer, L.K. & Richardson, T. (1983). Amidation or esterification of bovine β -lactoglobulin to form positively charged proteins, *J. agric. Fd. Chem.* 31, 968-972.
 71. Woo, S.L. & Richardson, T. (1983). Functional properties of phosphorylated β -lactoglobulin, *J. Dairy Sci.* 66, 984-987.
 72. Thompson, L.U. & Reniers, D.J. (1982). Succinylated cheese whey protein concentrate in coffee whitener and salad dressing, *J. Dairy Sci.* 65, 1135-1140.
 73. Thompson, L.U., Reniers, D.J., Baker, L.M. & Siu, M. (1983). Succinylated whey protein concentrates in ice cream and instant puddings, *J. Dairy Sci.* 66, 1630-1637.
 74. Thompson, L.U., Reniers, D.J. & Baker, L.M. (1982). Succinylated whey protein concentrates in meat patties and wieners, *J. Dairy Sci.* 65, 1715-1721.
 75. Thompson, L.U. & Baker, L.M. (1983). Influence of succinylated whey protein concentrate on farinograph characteristics and bread quality, *Cereal Chem.* 60, 71-73.
 76. Smith, G. (1976). Whey protein. *Wld. Rev. Nutr. Diet.* 24, 88-116.
 77. Zadow, G. (1979). Modification of whey and whey components, *N. Z. J. Dairy Sci. Technol.* 14, 131-138.
 78. Helbig, N.B., Ho, L., Christy, G.E. & Nakai, S. (1980). Debitting of skim milk hydrolysates by absorption for incorporation into acidic beverages, *J. Fd. Sci.* 45, 331-335.
 79. Hidalgo, J. & Jost, R. (1980). Skin-care composition containing lactalbumin hydrolysate, UK Patent Application 2 046 591 A (*Dairy Sci. Abstr.* 43, 504, abstract 4143).
 80. Andersen, G. & Lemke, M. (1980). Coated confectionery with a high protein content and its manufacture, German Federal Republic Patent Application 2 912 412 (*Dairy Sci. Abstr.* 44, 229, abstract 2014).
 81. Olofsson, M., Buhler, M. & Woods, R. (1981). Process for the preparation of a purified protein hydrolysate, UK Patent Application 2 043 651 A (*Dairy Sci. Abstr.* 43, 791, abstract 6610).