Procédé de valorisation des protéines du lactosérum de fromagerie par thermocoagulation

**Composition, digestibilité et valeur nutritive
des produits obtenus**

par

V. RACOTTA

*Escuela Nacional de Ciencias Biológicas
Dpto de Graduados e Investigacion en Alimentos
Aptdo Postal 42-186, Mexico 10 D.F. (Mexique)*

G. HUMBERT et D. LORIENT

*Laboratoire de Biochimie Appliquée - Université de Nancy I
C.O. 140 - 54037 Nancy cedex*

INTRODUCTION

Le lactosérum est un des exemples le plus typique de la transformation d'un sous-produit du lait en matière première. Ceci est dû d'une part à une demande biochimique d'oxygène (D.B.O.) considérable qui interdit son élimination dans les rivières, et, d'autre part, à la grande valeur nutritive de ses protéines. Celles-ci, plus équilibrées en acides aminés que la caséine, présentent beaucoup d'intérêt aussi bien pour les pays développés, car elles permettent la fabrication de produits diététiques spéciaux, que pour les pays en voie de développement, où elles servent de supplémentation aux aliments traditionnels.

Le Mexique présente un développement hétérogène. Selon Ramirez *et al.* (1971) on y trouve des régions avec une consommation par personne et par jour de 2 330 calories, comprenant 69 g de protéines totales et 20 g de protéines animales, mais aussi d'autres régions à 1 895 calories comprenant 50 g de protéines totales et 8 g de protéines animales.

Soucieux de ce problème, on a mis au point, à Mexico, un procédé de récupération des protéines du lactosérum, facile à réaliser au

niveau de petites fromageries isolées, pouvant être appliqué par une main-d'œuvre non qualifiée. Cette technique reprenait des travaux antérieurs (Racotta *et al.*, 1972) et consistait essentiellement à chauffer à 92° C pendant 10-15 mn le lactosérum acidifié à pH 4,5 par mélange avec du lactosérum décationisé sur résine cationique (Racotta, 1973, 1975 et 1976 ; Racotta et Rodriguez, 1974 ; Racotta *et al.*, 1977). Cette technique d'acidification évite l'addition d'acide ; l'élévation de la teneur en sels est exclue ; au contraire, le passage sur résine provoque une déminéralisation partielle. L'utilisation du sérum déprotéiné en sera facilitée.

En France, la valorisation séparée des protéines et du lactose est meilleure que la valorisation par séchage du lactosérum entier (Bertrand, 1977). La technique de choix pour séparer les protéines est l'ultrafiltration, si le taux ne dépasse pas 50 p. 100. Cette technique permet d'atteindre 80 p. 100 de protéines, mais elle devient coûteuse d'application et elle entraîne la rétention de quantités relativement importantes de matières grasses.

Pour les deux pays, malgré des raisons différentes, le problème reste posé de récupérer les protéines du sérum sans utilisation de membranes filtrantes. Le procédé mentionné plus haut représentant un traitement qui pourrait être traumatisant pour les protéines, il est apparu nécessaire d'étudier les modifications chimiques et nutritionnelles subies par ces dernières. C'est l'objet du travail dont nous exposons les résultats dans cet article.

MATERIEL ET METHODES

1. Traitement thermique du lactosérum

On a employé comme matière première du lactosérum « doux » à pH 6,0-6,5 qui a été prélevé immédiatement après le tranchage du caillé d'une fabrication de type « Cheddar » à 45° C - 50° C. Ce lactosérum a été soumis à un traitement thermique selon le schéma de la figure 1. On a employé la résine échangeur de cations Dowex 50 x 8 de 20-50 mesh, constituée de polystyrène croisé avec 8 p. 100 de divinyle benzène en phase H⁺ (régénération avec HCl 3 p. 100, m/v).

Pendant le passage sur échangeur de cation de 1/5 à 1/3 environ du volume total de lactosérum à traiter, on commence le chauffage du volume restant de lactosérum.

Le lactosérum décationisé est mélangé avec le lactosérum chauffé de façon à obtenir un pH de 4,5. Le chauffage est continué jusqu'à 92° C. Après un repos de 10 mn, le coagulum protéique est séparé par trois méthodes différentes :

— centrifugation à 3 500 tours/mn durant 10 mn ;

fig. 1

Schéma de la technologie de la thermocoagulation des protéines du lactosérum.

— filtration avec un filtre à presse « Columbia » modèle 8 (fabriqué à Mexico) sous une pression de 4 atm et des plaques de papier filtrant (« Columbia », référence n° S 937) ;

— enfin, le siphonnage a été exécuté 1 h après la coagulation. Après l'aspiration de la plus grande partie du surnageant, on a introduit le coagulum dans des sacs en toile. On a pratiqué alors un lavage

en agitant les sacs dans des bains successifs d'eau chaude jusqu'à obtention de 0° Brix. L'égouttage s'effectua ensuite durant 15 h environ.

Il faut mentionner que les trois méthodes de séparation furent employées sur différentes quantités de matière première, à savoir : la centrifugation sur 2-3 l, la filtration sur 50 l et le siphonnage sur 300 l.

Après la séparation, les coagulum protéiques lavés à l'eau chaude ont été séchés à 45° C - 50° C dans une étuve à ventilation.

2. Méthodes analytiques

L'azote protéique et non protéique, l'humidité, les cendres et les matières grasses ont été analysés par les méthodes officielles (A.O.A.C. 1970). L'azote non protéique est celui qui est soluble dans 12 p. 100 d'acide trichloracétique.

L'examen électrophorétique des produits a été réalisé en gel d'amidon et milieu dissociant selon la méthode de Wake et Baldwin (1961).

Avant le dosage des acides aminés, les échantillons lyophilisés de lactosérum ainsi que les produits protéiques ont été dégraissés avec de l'éther éthylique dans un appareil B.B.S. Le dosage des acides aminés, après hydrolyse sous vide (HCl 6N ; 110° C ; 24 h) a été effectué à l'aide d'un autoanalyseur Technicon NC II P. Le contenu en tryptophane a été analysé par la méthode de Spies et Chambers (1969).

3. Digestion enzymatique

On a exécuté deux types de digestion enzymatique ; la digestion par la Pronase (Merck E 7433) selon la technique de Tsai *et al.* (1972) et la digestion par le mélange de pepsine (Worthington cristallisée) et Pancréatine (Serva n° 31 440) selon la technique de Mauron *et al.* (1955) et décrite par Humbert *et al.* (1976). Avant toute hydrolyse enzymatique les échantillons de lactosérum ont subi un traitement thermique bref (100° C, 3 mn) afin d'éliminer les activités protéolytiques résiduelles provenant de la technologie fromagère (présure, enzymes microbiennes).

RESULTATS

1. Composition générale des produits et valeur calorique

La thermocoagulation permet d'obtenir un produit riche en « protéines » (N x 6,38) ; de 60 à 70 p. 100 de l'E.S., comme le montre le tableau 1. Le second constituant est la matière grasse (30 p. 100 envi-

TABLEAU 1. — Composition générale du lactosérum et des concentrés protéiques

Produits	Humidité		Protéine (N x 6,38)		Matière grasse		Extrait non azoté*		Minéraux (cendres)	
	g/100 g	p. 100 E.S.	g/100 g	p. 100 E.S.**	g/100 g	p. 100 E.S.	g/100 g	p. 100 E.S.	g/100 g	p. 100 E.S.
Lactosérum L	92,0	8,0	1,2	15,0 (27,3)	0,7	9,1	5,7	69,0	5,57	7,3
Concentré C	6,9	93,1	61,9	66,0 (17,1)	31,8	34,0	0	0	0,98	1,0
Concentré F	5,6	94,4	54,3	57,5 (15,3)	34,3	36,3	4,8	5,0	0,88	0,9
Concentré S	9,9	90,1	54,7	60,7 (18,5)	25,6	28,4	8,7	9,6	1,30	1,4

* Extrait non azoté constitué essentiellement de lactose.

** Pourcentage de matières azotées non protéiques dans les « protéines » totales.

ron de l'E.S.). Ces deux constituants représentent la majeure partie du produit. Cet enrichissement est la conséquence d'un appauvrissement considérable en lactose et minéraux. La diminution de la teneur en lactose par lavage du coagulum protéique est surtout marquée dans le produit séparé par centrifugation ; néanmoins, les deux autres méthodes de séparation permettent d'atteindre des valeurs en lactose 7 à 12 fois plus faibles que dans le produit initial.

L'emploi de la résine cationique, pour abaisser le pH du lactosérum, a permis une réduction de la teneur en minéraux (de 7,3 p. 100 à 1-1,4 p. 100 de l'E.S.).

Une partie de la fraction azotée du lactosérum est sous forme non protéique ; après thermocoagulation, cette fraction est diminuée mais reste néanmoins assez élevée (15-18 p. 100 de l'azote thermocoagulé).

TABLEAU 2. — Valeur énergétique totale*

	Produit brut humide Kcal/100 g	Pour 1 g d'extrait sec	
		Kcal	KJ
Lactosérum L	34,8**	4,4	18,3
Concentré C	549,5	5,9	24,7
Concentré F	561,3	5,95	24,8
Concentré S	498	5,5	23,1

* Base de calcul : 4,1 kcal/g glucides ; 4,1 kcal/g protides ; 9,3 kcal/g lipides.

** 3,5 kcal/g lactosérum dégraissé dans : Tables of Food Composition, National Academy of Sciences, public. 1684, Washington (1969).

Le tableau 2 ne révèle pas de différences importantes de la valeur calorique entre les concentrés obtenus par les trois procédés de séparation ; elle est supérieure à celle du lactosérum original ; c'est une conséquence de la teneur plus élevée de matière grasse dans l'extrait sec.

2. Examen électrophorétique des produits obtenus par thermocoagulation

Le traitement thermique fait apparaître dans les trois échantillons protéiques des composés polypeptidiques de migration légèrement plus lente que la β -lactoglobuline. Le produit C obtenu par centrifugation donne une image électrophorétique très proche de celle des protéines natives du lactosérum. Inversement on observe un effet de traînée avec les deux autres concentrés protéiques F et S, ce qui révèle une dégradation plus accusée ; il est à noter qu'avec ces deux techniques de séparation les durées de traitements sont les plus longues (fig. 2.).

3. Composition des produits en acides aminés

Le tableau 3 montre que le chauffage des protéines du lactosérum n'apporte pas de grands changements dans la teneur de chaque acide aminé. On remarquera un enrichissement variable des protéines en tryptophane selon le mode de séparation du coagulum. Quel que soit ce mode de séparation, la composition globale en acides aminés des trois produits est voisine.

4. Digestibilité

4.1. Libération des acides aminés par la pronase

La pronase, mélange enzymatique extrait de *Streptomyces griseus*, contient des endopeptidases de type trypsique et des exopeptidases à métal ; on l'utilise pour simuler l'action des enzymes protéolytiques du tractus digestif, comme cela est réalisé aussi avec le mélange pepsine et pancréatine. La pronase libère la plupart des acides aminés des quatre produits étudiés sauf la proline ; certains sont faiblement libérés (Asp, Glu, Gly). Tous les autres acides aminés ont des rendements de libération au moins égale à 45 p. 100 - 50 p. 100. Souvent, la libération des acides aminés est plus faible dans le lactosérum que dans les protéines isolées des produits C, F et S (Tab. 4).

4.2. Libération des acides aminés par la pepsine et la pancréatine

Ce mélange bien que contenant des endopeptidases de spécificités différentes et des exopeptidases est beaucoup moins actif que la pronase utilisée, avec des rapports enzyme/substrat comparables. On constate une faible libération d'un grand nombre d'acides aminés (Asp, Glu, Gly, Ala, Val, Ile, His). Seuls, les acides aromatiques et basiques ainsi que la leucine ont des rendements de libération supérieurs à 20 p. 100. On observe également que le mélange protéolytique libère du lactosérum moins d'acides aminés que des protéines isolées par thermocoagulation. Cependant, le produit C est d'une façon générale moins dégradé que les autres protéines isolées (tab. 4).

fig. 2

Electrophorégrammes en gel d'amidon des protéines du lactosérum et des trois concentrés protéiques (urée 7 M, 2-mercaptoéthanol, pH 8,6, 180 V, 24 ou 16 h).

Les concentrations relatives des dépôts sont deux fois plus élevées dans l'électrophorèse B que dans A.

L : lactosérum témoin.

C : concentré protéique obtenu par centrifugation.

F : concentré protéique obtenu par filtration.

S : concentré protéique obtenu par siphonnage.

TABLEAU 3. — Composition en acides aminés des différents produits (g/100 g de protéines)

Acides aminés	Produit L (lactosérum)	Produit C	Produit F	Produit S	Protéines du lactosérum*	Protéines équilibrées idéales** (A.A. essentiels)	Protéines de l'œuf***
Asp	9,7	11,2	11,7	10,2	9,0	3,5	4,9
Thr	6,5	5,4	4,6	5,2	5,9		
Ser	4,9	4,0	4,4	4,2	4,6		
Glu	17,2	16,9	17,3	15,9	15,7		
Pro	5,3	4,7	5,6	4,5	5,5		
Gly	2,1	2,0	2,2	2,2	1,95	2,6 Cys + Met	2,8 6,4 3,4 5,2 8,5 4,2 5,2 6,2 2,6 1,6
Ala	4,8	5,2	5,2	5,1	4,2		
Cys	0,6	1,5	1,1	2,2	1,5		
Val	6,6	6,2	6,1	7,0	5,5		
Met	2,2	2,6	2,0	2,2	1,75		
Ile	6,1	5,1	5,2	5,5	5,6		
Leu	10,3	11,6	11,8	12,8	8,7		
Tyr	2,6	3,0	3,1	3,1	2,65		
Phe	3,8	3,4	3,4	3,6	3,35		
Lys	10,3	10,4	9,3	8,9	8,1		
His	2,0	2,1	2,1	1,8	1,7		
Arg	2,6	2,9	2,9	3,2	2,2		
Trp	1,6	2,1	2,5	2,6	1,4	1,1	

* D'après Pion et Fauconneau (1966).

** D'après la recommandation de « Food and Nutritional Board of the National Academy of Sciences » (1974).

*** D'après Stahmann et Woldegiorgis (1974).

ital. Acides aminés essentiels.

TABLEAU 4. — Libération des acides aminés par hydrolyse enzymatique des différents produits (g/100 g)

Acides aminés	Pepsine + pancréatine					Pronase			Produit S
	Produit L	Produit C	Produit F	Produit S	Protéines de l'œuf selon Mauron (A.A. essentiels)	Lactosérum L	Produit C	Produit F	
Asp	—	—	—	—	0,4 (8,2)	1,2 (12,4)	0,5 (4,5)	0,4 (3,4)	0,5 (4,9)
Thr	—	—	—	—		2,0 (30,5)	1,3 (24)	1,7 (37)	1,5 (28,8)
Ser	—	—	—	—		—	—	—	—
Glu	0	0,1 (0,6)	0,2 (1,1)	0,2 (1,2)		2,1 (12,2)	1,2 (7,1)	1,1 (6,3)	1,2 (7,5)
Pro	0,1 (1,9)	0,1 (2,1)	—	—	0,4 (8,2)	—	—	—	—
Gly	—	—	—	—		0,8 (38)	0,1 (10)	0,3 (13,6)	0,2 (9,1)
Ala	0,1 (2,1)	0,4 (7,7)	0,3 (5,8)	0,3 (5,9)		2,2 (45,8)	2,1 (43,7)	2,4 (46,1)	2,5 (49)
Cys	—	—	—	—		—	—	—	—
Val	0,5 (7,6)	0,8 (12,9)	1,0 (16,4)	1,0 (14,3)	1,2 (18,7)	4,2 (63,4)	3,9 (62,9)	4,5 (73,7)	4,5 (64,3)
Met	0,4 (18,2)	0,6 (23)	0,5 (25)	0,5 (22,7)	1,5 (44,1)	1,8 (83,3)	1,6 (61,5)	1,5 (75)	1,7 (77)
Ile	0,5 (8,2)	0,4 (7,8)	0,5 (9,6)	0,55 (10)	1,1 (21,1)	3,8 (61,9)	3,8 (74,5)	3,8 (73)	3,8 (69)
Leu	2,0 (19,4)	3,6 (31)	3,9 (33)	4,0 (31,2)	4,3 (50,5)	6,5 (63,2)	8,9 (76,7)	8,9 (75,4)	9,0 (70,3)
Tyr	0,9 (34,6)	1,0 (34,5)	1,3 (41,9)	1,6 (53,3)	2,5 (59,5)	2,3 (88,4)	3,2 (106)	3,4 (109)	3,5 (112)
Phe	1,0 (26,3)	1,0 (29,4)	1,5 (44,1)	1,7 (47,2)	3,0 (57,6)	2,1 (55,3)	3,0 (88,2)	3,0 (88)	2,9 (80,5)
Lys	2,1 (20,4)	3,2 (30,8)	2,9 (31,2)	3,1 (34,8)	2,1 (33,8)	3,9 (37,9)	4,4 (42,3)	4,1 (44)	4,2 (47,2)
His	0,2 (10)	0,3 (14,3)	0,3 (14,3)	0,3 (16,7)	0,6 (23,1)	1,0 (49,3)	1,0 (47,6)	1,0 (47,6)	1,1 (61)
Arg	0,9 (34,6)	1,0 (34,5)	1,2 (41,4)	1,3 (40,6)	0,7 (43,7)	1,5 (58,1)	1,0 (34,5)	2,2 (88)	2,0 (62,5)
Trp	1,4 (87,5)	1,7 (80,9)	2,6 (104)	2,3 (90)		1,8 (116,9)	2,5 (119)	2,6 (104)	2,6 (100)

Pepsine E/S = 1/66 ; Pancréatine : E/S = 1/25 ; Pronase : E/S = 1/40.

Incubation : 37° C ; pH 2, 3 h ; Incubation : 37° C, pH 8, 24 h ; Incubation : 20° C, pH 8,4, 24 h.

(...) Pourcentage de libération de chaque acide aminé par rapport à l'hydrolyse acide.

DISCUSSION

1. Intérêt du procédé d'isolement des protéines par thermocoagulation

La teneur en protéines et en matière grasse des produits obtenus permet d'envisager leur emploi comme suppléments nutritionnels au Mexique, pays où la carence calorique accompagne celle des protéines ; c'est la raison pour laquelle, le schéma d'obtention des produits ne prévoit pas de dégraissage de la matière première. Néanmoins, pour des exigences analytiques ou lors d'une conservation prolongée, une délipidation s'est parfois avérée souhaitable.

De même, la méthode de séparation du coagulum par centrifugation et lavage de celui-ci a permis d'éliminer au maximum le lactose mais il faut préciser que les deux autres modes de séparation furent exécutés sur des quantités de 50 à 300 l de lactosérum et dans les conditions de station pilote. La méthode de siphonnage a voulu imiter des conditions de petites exploitations comme celles en place au Mexique. Dans ce cas l'abaissement du pH par échangeurs de cations s'avère difficile à réaliser mais sa suppression entraînerait un rendement plus faible en protéine et un taux plus élevé de matière minérale (Racotta, 1976). Pour ces raisons, il nous est apparu plus intéressant d'effectuer un examen critique assez poussé des propriétés nutritionnelles du concentré S uniquement ; bien que le concentré C soit par sa composition générale un produit très intéressant.

2. Valeurs nutritionnelles des produits obtenus. Validité des méthodes employées

Pour les études de digestibilité l'utilisation de la pronase paraît intéressante car elle permet la libération en forte proportion de la plupart des acides aminés indispensables ; des différences plus importantes qu'avec les autres systèmes enzymatiques apparaissent dans la libération des acides aminés des différents produits. Cependant, le système enzymatique le plus utilisé reste le mélange pepsine-pancréatine ; pour comparer la valeur nutritionnelle « *in vitro* » des protéines thermocoagulées du lactosérum avec celle d'autres protéines nous avons dû utiliser uniquement les résultats obtenus avec ce système enzymatique.

La comparaison de la valeur nutritionnelle du produit S, mesurée par les méthodes « *in vitro* », avec celle d'autres protéines est présentée dans les tableaux 5 et 6. Le calcul de l'indice chimique selon Block et Mitchell (1946) montre que le produit S est très bien équilibré en acides aminés essentiels par rapport à la combinaison d'A.A. préconisée par la F.A.O. alors qu'il est légèrement déficient en A.A. soufrés et aromatiques par rapport aux protéines de l'œuf. Le pro-

TABLEAU 5. — Valeurs nutritionnelles comparées du produit S et de la caséine

	Indice chimique (a) (Chemical score)				Indice enzymatique (d) (Enzyme score)	
	Produit S		Caséine (e)		Produit S	Caséine (e)
	(b)	(c)	(b)	(c)		
Thr	148	106	120	86	—	75
Val	146	109	123	92	83	50
Met		65		80	33	44
Met + Cys	169	71	123	52	—	—
Ile	130	106	121	98	50	27
Leu	183	150	125	102	93	91
Phe		69		88	57	73
Tyr		74		124	—	—
Phe + Tyr	92	72	134	104	60	76
Lys	175	143	157	129	147	181
Trp	236	162	127	87	328	128
His	106	69	159	104	50	50

ital. Acides aminés déficients.

- (a) Pourcentage de la teneur de chaque acide aminé du produit par rapport à celle de chaque acide aminé d'un produit de référence (d'après Block et Mitchell, 1946).
- (b) Produit de référence : combinaison donnée par F.A.O./O.M.S. (1973) et par le Food and Nutritionnal Board of National Academy of Sciences (1974).
- (c) Produit de référence : protéines de l'œuf standard (Stahmann et Woldegiorgis).
- (d) Rapport entre la teneur de chaque acide aminé libéré par la pepsine et la pancréatine du produit et la teneur de chaque acide aminé libéré dans les mêmes conditions d'un produit de référence (protéines de l'œuf d'après Mauron, 1970).
- (e) D'après Stahmann et Woldegiorgis (1974).

TABLEAU 6. — Valeurs nutritionnelles comparées du produit S et d'autres produits alimentaires

	Méthodes	Produit S	Protéines du lactosérum	Caséine	Protéines de l'œuf	Références
<i>In vitro</i>	Indice chimique* :					
	Met	65 (a)	51,5 (b)	80 (c)	100	(a) Présent travail.
	Met + Cys	71 (a)	52,4 (b)	70 (d)-52 (c)	100	(b) Calcul d'après les valeurs données par Pion et Fauconneau (1966).
	Indice enzymatique** :					
	Met	33 (a)	—	44 (c)	100	(c) D'après Stahmann et Woldegiorgis (1974).
	Ile	50 (a)	—	27 (c)	100	(d) D'après Forsum (1974).
<i>In vivo</i>	Coefficient d'efficacité protéique (CEP = PER)	3,28±0,23 (e)	3,2 (f)	2,5-3,0 (d)	3,9 (g)	(e) D'après Racotta (1977).
	Utilisation protéique nette*** (NPU)	95,2±0,7 (h)	85±7 (d)	79 (d)	94 (g)	(f) D'après Singleton et Robertson (1974).
	Valeur biologique*** (VB)	95,0±0,9 (h)	Produits laitiers (g) 80-85		94 (g)	(g) D'après Besançon (1977).
	Digestibilité réelle***	100,2±0,9 (h)	96-98		97 (g)	(h) D'après Racotta (1976).

* Indice chimique (« Chemical Score »). Standard : protéines de l'œuf, d'après Stahmann et Woldegiorgis (1974) ; étude sur l'acide aminé limitant le plus déficitaire par rapport au standard.

** Indice enzymatique (« Enzyme score »). Standard : protéines de l'œuf, d'après Mauron (1970), indice calculé de la même manière que l'indice chimique (Block et Mitchell, 1946).

*** Ces travaux ont été réalisés par E. Forsum, de l'Université de Uppsala (Suède).

duit S est, quel que soit le produit de référence, moins déficient que la caséine en A.A. soufrés (Met + Cys).

Le calcul de l'indice enzymatique confirme les résultats de l'indice chimique ; le produit S libre, après protéolyse enzymatique, moins d'A.A. soufrés et aromatiques d'isoleucine et d'arginine que les protéines de l'œuf. Cependant, ces déficiences que l'on trouve également dans la caséine sont moins marquées pour l'isoleucine dans le produit S.

Si l'on compare les indices chimiques et enzymatiques des A.A. soufrés du produit S avec ceux du lactosérum, de la caséine et des protéines de l'œuf (tab. 6), on constate que le produit S a une valeur nutritionnelle supérieure à celle des protéines du lactosérum et équivalente à celle de la caséine.

On peut comparer les résultats obtenus par les méthodes enzymatiques « *in vitro* » avec ceux déterminés par les méthodes biologiques « *in vivo* ». Les valeurs du PER, du NPU, de la valeur biologique et de la digestibilité réelle déterminée précédemment (Racotta, 1976 et 1977) et comparées avec celles d'autres protéines avaient déjà montré que le produit S avait une valeur nutritionnelle élevée proche de celle de l'œuf et supérieure à celle des autres protéines non dénaturées du lait. Les méthodes « *in vitro* » nuancent ces résultats car elles n'indiquent pas pour ce produit une qualité très supérieure à celle de la caséine.

La thermocoagulation apparaît bien comme un moyen simple de précipiter les protéines du lactosérum et d'améliorer la valeur nutritionnelle de celles-ci ; cette amélioration est réelle et n'est pas la conséquence de l'apparition de coprécipités caséine-lactoprotéines puisque l'électrophorèse a montré l'absence totale de caséine dans les lactosérums utilisés.

Le produit S comme les autres produits obtenus, remplit toutes les conditions (valeur calorique et nutritionnelle élevée, bonne acceptabilité, prix de revient assez bas) pour être utilisé comme supplément nutritionnel des aliments traditionnels de forte consommation au Mexique (tortilla, marzipan). Des études précédentes (Racotta, 1976 et 1977) avaient bien montré l'amélioration de l'indice chimique de la tortilla par supplémentation avec 35 p. 100 de produit S, sans que le produit obtenu subisse une diminution de son appétence.

Résumé

Les concentrés protéiques étudiés, obtenus à partir d'un coagulum issu d'un traitement thermique des protéines d'un lactosérum doux de fromagerie préalablement acidifié sur résine échangeur d'ions, ont été isolés par trois méthodes : centrifugation (C), filtration (F), siphonnage (S). Les produits obtenus C, F, S ont des compositions

très voisines. Leur grande teneur en protéine et matière grasse permet d'envisager leur emploi comme supplément nutritionnel au Mexique. « L'indice chimique » du produit S, calculé à partir de la combinaison d'acides aminés préconisée par la F.A.O. est excellent, en revanche celui calculé à partir des protéines de l'œuf indique une légère déficience en A.A. soufrés et aromatiques (71 et 72). Sa digestibilité *in vitro* a été étudiée par action de la pronase et du mélange pepsine + pancréatine ; ce dernier a permis la détermination de « l'indice enzymatique » à partir des protéines de l'œuf : il révèle également une déficience pour les A.A. soufrés (33), aromatiques (57) et pour l'isoleucine et l'histidine (50). Ces indices sont comparables à ceux obtenus avec la caséine pour la plupart des A.A., ils sont toutefois meilleurs pour les A.A. soufrés. Ces résultats obtenus avec des méthodes simples sont conformes à ceux obtenus précédemment par les méthodes biologiques « *in vivo* » (PER, NPU, VB...).

Summary

HEAT-COAGULATION PROCESSING OF CHEESE WHEY PROTEINS : COMPOSITION DIGESTIBILITY AND NUTRITIONAL VALUE OF CONCENTRATED PRODUCTS

The concentrates, obtained from soft cheese whey acidified with ion exchange resin, were isolated : centrifugation (C), filtration (F), siphoning (S). These products C, F, S had similar composition. Their high protein and fat content allowed their utilisation as nutritional food supplements in Mexico. The chemical score of product S, calculated with reference to F.O.A. amino-acids pattern was excellent while those calculated with total egg protein reference showed a low deficiency in sulphur and aromatic A.A. (71, and 72). Its *in vitro* digestibility was studied with pronase and pepsin + pancreatine mixture; the latter allowed the enzyme score determination with egg proteins reference: it showed also a deficiency of sulphur (33), aromatic (57) A.A. and of isoleucine and histidine (50). These scores of the most part of A.A. were similar to those obtained with casein, nevertheless these were better for sulphur A.A. These results from single chemical and enzymatic methods confirmed those previously determined with «*in vivo*» biological method (PER, NPU, B.V...).

Remerciements

Nous remercions M. le professeur ALAIS, Directeur du Laboratoire de Biochimie Appliquée pour ses précieux conseils, D. ERBS et M. MASSIEU pour leur collaboration technique et la Kraft Foods & Co S.A. de Mexico pour la fourniture du lactosérum.

Bibliographie

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1970). — Official Methods of Analysis. 11th Edition, Washington D.C.
- BESANÇON (P.) (1977). — Besoins alimentaires et qualité nutritionnelle des aliments. In « Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments », vol. 2, p. 87, Chefftel J. C., Chefftel H. et Besançon P. Technique et Documentation/Entreprise Moderne d'Édition, Paris.
- BERTRAND (F.) (1977). — La valorisation des sérums. *Génie rural*, 10, 7.
- BLOCK (R. J.) and MITCHELL (H. H.) (1946). — The correlation of the amino-acid composition of proteins with their nutritive value. *Nutr. Abstr. Rev.*, 16, 249.
- F.A.O./O.M.S. (1973). — Expert Committee in « Energy and Protein requirements ». World Health Organisation (W.H.O.). *Tech. Rep. Ser.*, n° 522, Genève.
- FOOD AND NUTRITIONAL BOARD OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1974). — National Research Council. 8th Edition.
- FORSUM (E.). — Whey proteins for food and feed supplement. In « Protein Nutritional Quality of Foods and Feeds ». Vol. I, part II, p. 433. Ed. M. Friedman - M. Dekker, New York.
- HUMBERT (G.), LORIENT (D.) et ALAIS (C.) (1976). — Modifications de la partie protidique du lait dans la stérilisation par friction *Le Lait*, 56, 261.
- MAURON (J.) (1970). — Nutritional evaluation of proteins by enzymatic methods. In « Evaluation of Novel Protein Products », p. 211. Ed. A. E. Bender *et al.*, Pergamon Press, Oxford.
- MAURON (J.), MOTTU (F.), BUJARD (E.) and EGLI (R. H.) (1955). — The availability of lysine, methionine and tryptophan in condensed milk and milk powder. In vitro digestion studies. *Arch. Biochem. Biophys.*, 59, 433.
- PION (R.) et FAUCONNEAU (G.) (1966). — Les acides aminés des protéines alimentaires. *Cahiers de l'A.E.C.*, n° 6.
- RACOTTA (V.) (1973). — Procedimiento para la obtencion por el mismo proceso tecnologico de: manteca, un concentrado proteico de alta calidad, lactosa de pureza farmaceutica y forraje a partir de suero de la leche. Demande de brevet à Mexico DF, n° 445262 du 19-10-73.
- RACOTTA (V.) (1975). — Obtencion de un concentrado proteico para la alimentacion humana a partir de suero de leche. Primer Congreso de Quimica del continente de America del Norte, Mexico D.F., 30-11 - 5-12.
- RACOTTA (V.) (1976). — Tecnologia para obtener un concentrado proteico para consumo humano a partir de suero lacteo. These Master of Science. Ecole Nationale des Sciences Biologiques, Institut Polytechnique National, Mexico DF.
- RACOTTA (V.) and RODRIGUEZ (Z. A.) (1975). — Recovery of Rennet Cheese whey in form Children's Foods. IV° Congreso Internacional de Ciencia y Tecnologia de Alimentos, Madrid, 22-27-9 et *Rev. Technol. Aliment. (Mex)*, 10, 203.
- RACOTTA (V.), KOVACS (B.) et SIMONIESCU (I.) (1972). — Concentrat de lactalbumina din zer. *Ind. Alim. (Bucarest)*, 22, 691.
- RACOTTA (V.), BOURGES (H.), NAVARRETE (A.) and ZUCKERMANN (J.) (1977). — Nutritional Properties of Whey Proteins and Tortilla Supplemented with them. 174th ACS National Meeting: American Chemical Society Division of Agricultural and Food Chemistry, Chicago, Illinois. 29-8 - 4-9 et *Rev. Technol. Aliment. Mex.* (en parution 1978).

- RAMIREZ (H.), ARROYO (P.) et CHAVEZ (A.) (1971). — Aspectos socioeconomicos de los alimentos y la alimentacion en Mexico. *Comercio Exterior* (Mex.), août.
- SINGLETON (A. O.) and ROBERTSON (R. G.) (1974). — Nutritionally equivalent replacement for Non Fat Dry Milk in Bread. *The Bakers Digest*, 48, 46.
- SPIES (J. R.) and CHAMBERS (D. C.) (1949). — Chemical determination of tryptophan in proteins. *Anal. chemistry*, 21, 1249.
- STAHMANN (M. A.) and WOLDEGIORGIS (G.) (1974). — Enzymatic methods for protein quality determination. In « Protein Nutritional Quality of Foods and Feeds », Vol. 1, partie 1, p. 211. Ed. M. Friedman, M. Dekker, New York.
- TSAI (C. Y.), HANSEL (L.) and NELSON (W.) (1972). — Colorimetric method of screening maize seeds for lysine content. *Cereal Chemistry*, 49, 572.
- U.S. CANADIAN TABLES OF FEED COMPOSITION (1969). — National Academy of Sciences, public. 1684, Washington.
- WAKE (R. G.) and BALDWIN (R. L.) (1961). — Analysis of casein fractions by zone electrophoresis in concentrated urea. *Biochim. Biophys. Acta*, 47, 225.
-