

TRAITEMENT THERMIQUE ET QUALITÉ DES PROTÉINES DU SOJA

VIII. — SENSIBILITÉ DE TROIS ESPÈCES ANIMALES

(RAT, PORC, POULET)

ET DE DIVERS TESTS BIOCHIMIQUES

A L'INTENSITÉ DE LA CUISSON DU TOURTEAU

J. ABRAHAM, J. ADRIAN, C. CALET, Geneviève CHARLET-LERY,
J. DELORT-LAVAL, J. GUILLAUME, M. GUTTON, J. LOUGNON,
A. RERAT et S.-Z. ZELTER⁽¹⁾

RÉSUMÉ

Dix tourteaux de soja ont été préparés en atelier expérimental, dans des conditions bien définies, et testés sur différentes espèces animales.

La réponse du Porc au traitement thermique est très voisine de celle que fournit le Poulet, recevant un régime purifié ou un aliment composé ; elle permet de fixer les paramètres de la cuisson optimum du tourteau. Le Rat valorise mieux les tourteaux peu cuits ; ce comportement particulier pourrait s'expliquer par une moindre sensibilité de cette espèce aux facteurs anti-nutritionnels du soja cru et par la nature propre de ses besoins en acides aminés.

La comparaison des résultats *in vivo* à ceux de divers critères physico-chimiques d'appréciation du degré de cuisson du tourteau de soja, souligne l'intérêt du test de *fixation du rouge de crésol* et de la mesure de la *solubilité tryptique corrigée* pour la prévision de la valeur azotée du tourteau de soja.

INTRODUCTION

Les tourteaux de soja préparés en atelier expérimental dans des conditions bien définies ont été soumis à divers tests biochimiques d'appréciation de l'intensité de leur cuisson (ZELTER et DELORT-LAVAL, 1971 ; ADRIAN, 1971). L'efficacité azotée de quelques-uns de ces produits a été mesurée sur le Rat (LOUGNON et RÉRAT, 1971), le Porc (DELORT-LAVAL et CHARLET-LERY, 1971) et le Poulet (CALET et GUILLAUME, 1971 ; GUTTON et ABRAHAM, 1971).

⁽¹⁾ Coordinateur des recherches, Laboratoire de Recherches sur la Conservation et l'Efficacité des Aliments, C. N. R. Z., 78 - Jouy-en-Josas.

Les conditions expérimentales de ces essais et leurs effets sur la grandeur mesurée étant variables, nous comparerons dans une première partie les réponses de croissance et de rétention azotée fournies par les espèces animales sur lesquelles les produits ont été expérimentés. Dans une deuxième partie, nous éprouverons la validité de divers tests biochimiques *in vitro* pour l'appréciation de l'efficacité azotée du tourteau de soja.

I. — RÉPONSES COMPARÉES DE CROISSANCE ET DE RÉTENTION AZOTÉE DES TROIS ESPÈCES ANIMALES

Nous examinerons l'effet du traitement thermique d'une part sur le gain de poids, le niveau de consommation et les données qui en dérivent (coefficient d'efficacité protidique, indice de consommation) et, d'autre part, sur le résultat des bilans d'azote et de l'analyse des carcasses.

A. — *Sensibilité relative des critères expérimentaux*

I. *Niveau d'alimentation, gain de poids et indice de consommation.*

Lorsque le tourteau de soja constitue la seule source protidique du régime, son taux d'incorporation dans l'aliment est élevé : de 20 p. 100 (Rat) jusqu'à 50 p. 100 (Poulet). Sa qualité influence alors nettement le niveau de consommation de la ration distribuée *ad libitum* au Poulet ou au Rat.

Chez le Rat, la réduction de ce niveau est progressive en fonction de l'intensité de la cuisson. Le Poulet y est moins sensible dans la zone de cuisson intermédiaire mais sa consommation chute brutalement lorsque le régime contient un produit nettement surcuit : — 44 p. 100 pour le tourteau A 44 et — 25 p. 100 pour le tourteau C 56 contre respectivement — 29 et — 15 p. 100 chez le Rat. Ni le Porc recevant un aliment incluant 25 p. 100 de tourteau, ni le Poulet soumis à un régime commercial ne réagissent vis-à-vis de ces mêmes produits par une diminution de la quantité d'aliments ingérés.

Tous les animaux pour lesquels le soja est la seule source azotée réagissent à l'augmentation de cuisson par une croissance ralentie. Mais, en alimentation mixte (régime commercial), où le soja n'est plus la source exclusive d'azote, la croissance du Poulet ne paraît pas significativement influencée par la qualité du tourteau.

De ce fait, l'efficacité alimentaire constitue pour la comparaison de ces deux types d'expériences un meilleur critère de la qualité d'un régime que celui de la croissance. En effet, que l'essai porte sur une ration commerciale ou expérimentale, les indices de consommation recueillis sur le Poulet concordent exactement (tabl. 1) : dans chacune des séries, c'est le même tourteau qui est le mieux classé. Le résultat de l'essai sur Rat est légèrement différent, notamment pour les produits les moins cuits (A 41 et C 51) ; mais ces divergences apparaissent peu significatives.

TABLEAU I

Indice de consommation de régimes à base de tourteau de soja chez différentes espèces

Espèce	Régime	Rat	Poulet			
			Semi-synthétique			Commercial
Taux azoté dans la matière sèche		10	16	18	26	22
Tourteau	A 41	4,36	3,21		2,10	2,50
	A 42	4,24	3,44		2,22	2,51
	A 43	5,39	3,90		2,49	2,58
Tourteau	C 51	4,06		2,59		2,13
	C 53	4,31		2,44		2,04
	C 54	4,64		2,53		2,12

2. *Efficacité de l'azote.*

a) *Coefficient d'efficacité protidique.*

Le rapport entre gain de poids et quantité de protéines ingérées (CUP) se rattache à l'indice de consommation. Il rend cependant plus facile les comparaisons entre espèces ou, dans une même espèce, entre plusieurs séries d'essais.

Pour les échantillons de la série A, les données des essais sur Rat (à 10 p. 100 de matières azotées) et sur le Poulet (à 16 p. 100 de matières azotées) fournissent l'éventail le plus large et séparent chacun des tourteaux les plus cuits (43 et 44) de l'ensemble des deux meilleurs produits, qui ne diffèrent pas significativement entre eux. Cependant l'éventail des valeurs recueillies chez le Rat est plus large que chez le Poulet, ce que confirment les enseignements tirés de l'épreuve des tourteaux de la série C.

A un taux azoté plus élevé (26 p. 100 de matières azotées), l'incidence du traitement thermique est moins marquée chez le Poulet. Lorsque le soja est incorporé à un aliment complet, cet effet est logiquement moins grand que chez les animaux recevant un régime dont le tourteau constitue le seul apport azoté. Il reste cependant encore notable et toujours de même sens. La réponse du poulet recevant la ration, dont le tourteau expérimental fournit seulement environ la moitié de l'apport azoté, est analogue à celle de l'animal soumis au régime semi-synthétique, dont le même tourteau constitue la source unique d'azote (tabl. 2).

b) *Bilans azotés et analyse des carcasses.*

L'analyse des carcasses des rats à l'issue de l'essai (tabl. 3) procure des résultats allant dans le même sens que ceux de l'épreuve de croissance (tabl. 1 et 2).

La comparaison interspécifique Rat/Porc met en évidence un coefficient d'utilisation pratique légèrement plus élevé chez le Porc que chez le Rat (tabl. 3). Il faut cependant noter que les techniques de mesure sont différentes, puisqu'il s'agit dans le cas du Porc, de la technique des bilans (différence entre ingestats et excréats) et, dans celui du Rat, de la technique d'analyse des carcasses (différence entre azote de la carcasse à la fin de la période et azote de la carcasse au début de cette période).

TABLEAU 2

*Coefficients d'efficacité protéique
(gain/matières azotées totales ingérées) comparés
de régimes à base de tourteau de soja sur le Rat et le Poulet*

Espèce	Rat	Poulet				
Régime	Semi-synthétique				Commercial	
Taux azoté	10	16	18	26	22	
Tourteau	A 41	2,03	1,97		1,78	1,78
	A 42	2,07	1,88		1,72	1,77
	A 43	1,66	1,67		1,56	1,70
	A 44	1,07	0,79		1,14	—
	C 51	2,10		2,14		2,15
	C 52	2,05		2,18		—
	C 53	1,99		2,28		2,29
	C 54	1,88		2,19		2,19
	C 55	1,65		2,07		—
	C 56	1,21		1,54		—
	B 48	—		1,64		—

TABLEAU 3

Utilisation de l'azote du tourteau de soja chez le Rat et le Porc

Espèce	Rat	Porc		
Technique	Analyse de carcasse	Bilan		
Niveau azoté (N × 6,25 % MS)	10	14		
Critère	CUP ⁽¹⁾	CUP ⁽¹⁾	UPN ⁽²⁾	
Tourteau	A 41 ...	33,2	35,7	52,0
	A 42 ...	33,8	37,8	53,9
	A 43 ...	26,8	31,9	47,4
	A 44 ...	16,8	17,9	34,0

$$^{(1)} \text{ CUP} = \frac{\text{N retenu}}{\text{N ingéré}} \times 100.$$

⁽²⁾ UPN = Utilisation protidique nette = Coefficient d'utilisation digestive réel de l'azote × valeur biologique.

Mais cette différence interspécifique de rétention azotée peut essentiellement être expliquée par les différences de techniques d'alimentation (taux azoté différent, alimentation *ad libitum* ou limitée) et par un rapport différent d'une espèce à l'autre entre besoin azoté d'entretien et besoin azoté de croissance. Rappelons qu'en effet, avec des régimes identiques, riches en azote, MEYER et NELSON (1963) ont montré au contraire que le Rat utilisait plus efficacement l'azote alimentaire à des fins de synthèse, que ne le faisait le Porc.

B. — *Effet du traitement thermique
sur l'efficacité azotée des tourteaux de soja*

1. *Température de la cuisson.*

Lorsque la température de cuisson constitue le seul facteur de variation de la fabrication du tourteau (série A), toutes les espèces réagissent de manière uniforme et manifestent l'effet néfaste d'une température supérieure à 120°C, aussi bien en régime semi-synthétique qu'en régime de formule commerciale. Les deux produits les moins cuits ne diffèrent jamais de manière significative. Mais la supplémentation en méthionine valorise nettement mieux, pour le Rat, le tourteau chauffé à 120°C qu'à 110°C.

Dans la deuxième série d'essais (série C), ce même effet se confirme chez le Poulet et le Porc : le traitement thermique, au-dessous de 120°C, donne au tourteau sa valeur la plus élevée, alors qu'à 130°C, la dégradation de la qualité de la protéine est sévère. Par contre, chez le Rat, la régression de l'efficacité azotée en fonction du degré de cuisson paraît plus nette (tabl. 2) que dans la série précédente (A).

L'interprétation de ces divergences doit tenir compte des limites de l'appareillage, peu précis dans la zone de moindre cuisson. Il est également vraisemblable que les diverses espèces réagissent différemment aux facteurs antinutritionnels non entièrement inactivés du tourteau de soja peu cuit, comme le montrent les travaux de NITSAN et BONDI (1965).

2. *Durée optimum de cuisson.*

Outre sa température, dont nous avons constaté qu'elle doit être au plus égale à 120°C, la cuisson est caractérisée par une durée dont le rôle ne peut être négligé. Si, à 130°C, la prolongation du traitement durant trente minutes se traduit par une réduction brutale de l'efficacité azotée du tourteau, cet effet « durée » n'est plus le même à 110°C. Une prolongation de la cuisson de vingt minutes, à cette température, se traduit de fait chez le Poulet par une meilleure efficacité du régime semi-synthétique ou commercial ; pour le Rat, par une réduction significative de la croissance et de l'efficacité protéique ; pour le Porc, par une faible modification de l'utilisation protidique nette. Cette observation, dont la signification ne doit pas être exagérée, étant donné les faibles écarts observés, tendrait à confirmer la plus grande sensibilité du Poulet et du Porc vis-à-vis des tourteaux de soja peu cuits. Elle pourrait également résulter d'un besoin différent des trois espèces en acides aminés soufrés, dont la teneur dans les protéines de soja est insuffisante et la disponibilité incomplète dans le tourteau cru (ALMQUIST et MERRITT, 1953).

Dans la série C, les valeurs biologiques chez le Porc classent les tourteaux dans le même ordre que les gains de poids et les indices de consommation enregistrés chez

le Poulet. Pour le Rat, contrairement aux résultats de la série A, l'efficacité des régimes de la série C, mesurée par ces mêmes critères ou par le coefficient d'efficacité protidique, tend à décroître avec l'augmentation de la durée du traitement thermique. Mais cette différence disparaît si les régimes expérimentaux sont supplémentés par 0,2 p. 100 de DL-méthionine.

C. — *Comparaison entre les deux séries d'expériences A et C*

L'écart entre les deux groupes de tourteaux n'est pas le même selon l'espèce et le critère d'efficacité retenu. Il est particulièrement net chez le Porc : 13,2 points de valeur biologique entre les produits les meilleurs de chaque série ; une partie seulement de cet écart pourrait être imputée à la différence des taux de matières azotées digestibles du régime dans les deux expériences ou à la composition en acides aminés des protéines des tourteaux, dont l'origine était différente. Dans les autres espèces animales, elle est apparemment beaucoup moins nette. Notons toutefois que, chez le Rat, (a) l'efficacité protéique maximum de l'azote du régime est la même dans les deux séries, alors que les animaux de la deuxième expérience sont nettement plus lourds et (b) l'addition de méthionine valorise mieux les produits de la série C. Chez le Poulet, dont le soja constitue la seule source d'azote alimentaire, le coefficient d'efficacité protidique a les valeurs les plus élevées pour les meilleurs tourteaux de la deuxième série : ce coefficient est en effet de 2,18 et de 2,19 pour les tourteaux 52 et 54 qui apportent 18 p. 100 de matières azotées totales, alors qu'il n'est que de 1,97 et 1,88 dans un régime à 15 p. 100 de matières azotées totales pour les produits correspondants (respectivement 41 et 42) de la série précédente. Sans entrer ici dans l'interprétation de ces différences, la meilleure efficacité des tourteaux de la série C apparaît comme vraisemblable.

En fait, l'expérience montre que, même si la méthodologie reste constante d'un essai à l'autre, des différences notables peuvent apparaître, qui traduisent l'ampleur des facteurs hors du contrôle de l'expérimentateur et justifieraient, pour des études de longue durée, le recours à un régime de référence parfaitement défini. De faibles modifications du niveau ou de la répartition des besoins azotés, une sensibilité aux nombreux facteurs antinutritionnels du soja propre à l'espèce considérée et variable selon son état physiologique, pourraient en effet jouer un rôle non négligeable.

II. — VALIDITÉ DE CERTAINS TESTS BIOCHIMIQUES POUR LA PRÉVISION DE L'EFFICACITÉ AZOTÉE DES TOURTEAUX DE SOJA

A. — *Choix des tests biochimiques adéquats*

Les principales recherches de technologie et de nutrition (DANGOU MAU *et al.*, 1951 ; FRÖLICH, 1954 ; RICHTER et SCHILLER, 1958 ; OLOMUCKI et BORNSTEIN, 1960 ; BOYNE *et al.*, 1961) admettent les limites étroites de signification des tests d'activité uréasique et de solubilité de la fraction azotée et leur inadaptation au diagnostic

d'une cuisson optimale ou excessive du tourteau. Parmi les voies de recherche de tests plus spécifiques figurent :

— d'autres modes de détermination de la solubilité azotée, dont la décroissance apparaît liée à la dénaturation d'enzymes ou de protéines susceptibles d'exercer un effet antinutritionnel (facteurs antitrypsiques, hémagglutinines...). La technique de fixation du rouge de crésol (FRÖLICH, 1954) s'apparente à ce groupe de méthodes, car son résultat est vraisemblablement fonction du taux de solubilité de la protéine.

— l'estimation directe (KUNITZ, 1945 ; LIENER, 1953) ou indirecte (DELORT-LAVAL et BOZA-LOPEZ, 1964) de l'activité de ces mêmes substances antinutritionnelles ;

— la mesure de la disponibilité d'acides aminés sensibles au traitement thermique, notamment la lysine (ASCARELLI et GESTETNER, 1962), à laquelle se rattache la fixation de l'orangé G, qui intervient préférentiellement au niveau du radical aminé libre de cet amino acide (MORAN *et al.*, 1963).

L'étude critique (ZELTER, 1971) et expérimentale (ZELTER, 1964 ; ZELTER et DELORT-LAVAL, 1971 ; ADRIAN, 1971) de ces techniques biochimiques appliquées à la technologie du soja montre que trois d'entre elles présenteraient une certaine signification nutritionnelle et méritent un examen approfondi :

a) la teneur en thiamine et acide pantothénique (tabl. 5), dont l'intérêt pour le contrôle du traitement technologique est certain. Mais les teneurs en vitamines apparaissent dans nos essais comme trop variables d'un lot de graines à l'autre et ne peuvent de ce fait constituer un critère satisfaisant d'appréciation de la cuisson du tourteau.

b) la fixation du rouge de crésol, selon une technique modifiée (DELORT-LAVAL et KASCHTGES, 1965), comparée à la méthode originale de FRÖLICH (1954) (tabl. 4), rend plus sensible le diagnostic de l'intensité du traitement thermique dans la zone de surcuisson.

TABLEAU 4

Fixation du rouge de crésol par le tourteau de soja en fonction du degré de sa cuisson

Tourteau	Test original (1)	Test modifié (2)
Cru	2,0-3,0	2,9-4,1
Très insuffisamment cuit	3,3-3,4	4,6-4,7
Insuffisamment cuit	3,5-3,7	4,9-5,2
Bien cuit	3,8-4,3	5,4-6,4
Surcuit	> 4,3	> 6,4

(1) FRÖLICH, 1954.

(2) DELORT-LAVAL et KASCHTGES, 1965.

c) La solubilité trypsique corrigée (DELORT-LAVAL et BOZA-LOPEZ, 1964). Ce test enzymatique possède une spécificité marquée vis-à-vis des radicaux libres de la lysine, ce qui permet de différencier des produits manifestement surcuits ; il

reflète de plus le degré d'inactivation du facteur antitrypsique présent dans la graine crue et les tourteaux peu cuits.

B. — *Relations entre tests in vivo et in vitro*

Nos données biologiques comparées recueillies sur trois espèces animales montrent, pour les tourteaux délipidés par un procédé industriel (série C), que le Rat paraît moins sensible que le Poulet et le Porc à la présence de facteurs antinutritionnels dans le tourteau peu cuit. Le tourteau le meilleur, pour ces deux dernières espèces, fixe, 6,2 à 6,5 p. 1 000 de rouge de crésol dans la série C, 5,6 à 6,6 dans la série A (tabl. 5). La solubilité trypsique « corrigée » des protéines n'atteint sa valeur

TABLEAU 5
*Caractéristiques physico-chimiques
et efficacité azotée des tourteaux de soja expérimentaux*

	Rouge de crésol	Solubilité trypsique corrigée	Thiamine	Acide panto-thénique	CEP ⁽¹⁾		UPN ⁽¹⁾	
					Rat	Poulet	Porc	
A	41.....	5,6	67,1	—	—	98	100	92
	42.....	6,6	80,3	—	—	100	97	100
	43.....	7,1	66,3	—	—	80	88	88
	44.....	7,1	58,0	—	—	52	64	63
C	51.....	5,4	37,5	0,45	0,93	100	94	95
	52.....	6,2	54,5	0,24	0,88	98	96	100
	53.....	6,5	80,7	0,09	0,80	95	100	95
	54.....	7,1	78,4	0,05	0,71	89	96	97
	55.....	7,3	73,8	0	0,56	78	91	89
	56.....	7,5	51,1	0	0,31	60	67	68

(¹) Rapportée au meilleur produit de la série, pris égal à 100.

CEP = Gain/matières azotées ingérées.

UPN = Valeur biologique × digestibilité vraie de l'azote.

maximum (80 p. 100) qu'à la limite supérieure de cuisson correcte et décroît ensuite.

Cependant, les résultats des deux essais effectués chez le Poulet ne sont pas en très bon accord avec les tests *in vitro*. Les coefficients de corrélation entre CUP et coloration au rouge de crésol ou solubilité trypsique sont respectivement de — 0,69 et + 0,64 dans le premier essai et de — 0,32 et 0,37 dans le second. Ces corrélations sont trop faibles pour permettre une appréciation précise de la valeur nutritive des tourteaux pour le Poulet à partir de la simple mesure *in vitro*.

Toutefois, les résultats deviennent meilleurs si l'on ne considère que les échantillons cuits ou surcuits (C 53 à 56). La juxtaposition des deux séries de tests devient alors excellente : $r = -0,78$ pour le CEP et le rouge de crésol, $r = +0,99$ pour le CEP et la solubilité trypsique. La plupart des auteurs s'accordant pour dire que la surcuisson ne diminue pas la digestibilité globale des protéines, cette dernière corrél-

lation surprendrait si l'on perdait de vue qu'un tel traitement affecte moins l'utilisation digestive que la disponibilité d'acides aminés essentiels pour la croissance.

Chez le Porc, la comparaison entre utilisation protidique nette (DELORT-LAVAL et BOZA-LOPEZ, 1964 ; DELORT-LAVAL et CHARLET-LERY, 1971) et fixation du rouge de crésol prouve également la validité de ce test pour la prévision de l'efficacité azotée réelle du tourteau selon son degré de cuisson (fig. 1).

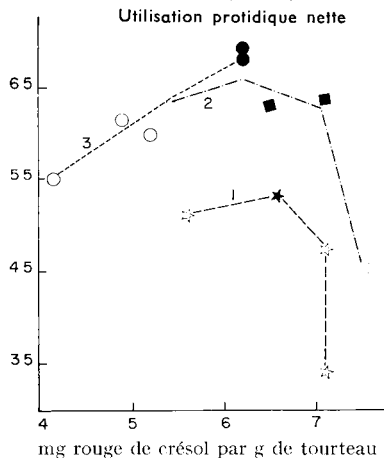


FIG. 1. — Relation entre la fixation du rouge de crésol et l'efficacité du tourteau de soja chez le Porc

+ 1 et 2 in DELORT-LAVAL et CHARLET-LERY, 1971 ;

3 in DELORT-LAVAL et BOZA-LOPEZ, 1964

+ En noir, les produits dont le taux de solubilité tryptique corrigée est supérieur à 75.

Chez le Rat, le résultat des tests correspondant à la meilleure efficacité de l'azote est plus faible dans la série C : 5,4 pour la quantité de rouge de crésol et 37,5 pour le taux de solubilité tryptique corrigée. Ces données peuvent être rapprochées des résultats obtenus par SCHILLER (1969) avec le test modifié au rouge de crésol, dans une étude portant sur la relation entre le résultat de cette mesure et la valeur biologique de l'azote chez le Rat.

En somme, si l'on compare l'ensemble de nos données expérimentales aux valeurs (tabl. 4) proposées par FRÖLICH (1962), en accord avec OLOMUCKI et BORNSTEIN (1960), on constate que les limites de la zone de cuisson correcte définies par nos résultats diffèrent peu de celles indiquées par ces auteurs.

Pour les valeurs correspondant à la limite supérieure de cuisson correcte, le recours au test complémentaire de solubilité tryptique corrigée des protéines pourrait conduire à différencier mieux les produits ayant subi une surcuisson notable.

CONCLUSION

Dans cette étude, nous nous sommes efforcés d'opérer de manière à nous rapprocher le mieux possible des conditions de la pratique industrielle. Cela nous a permis

de maîtriser d'une manière satisfaisante les paramètres essentiels du traitement thermique des protéines de soja et d'en mesurer l'effet sur l'efficacité azotée des produits obtenus.

Dans ces conditions, nous avons pu :

— suivre l'effet de la progression de la durée et de la température de chauffage sur l'évolution des caractéristiques des protéines du tourteau ;

— sélectionner des tests physico-chimiques qui se relient le mieux à la réponse biologique, pour un contrôle de la conduite de la cuisson et la prévision de la valeur azotée du produit fini ;

— observer le comportement de trois espèces monogastriques (Rat, Porc, Poulet) vis-à-vis des mêmes variantes du traitement technologique.

Le Rat, le Poulet et le Porc ne classent pas toujours dans le même ordre les produits d'une même série technologique, lorsque ceux-ci se situent dans une zone de cuisson de faible intensité. Par contre, ils se comportent d'une manière comparable à l'égard des tourteaux surcuits.

Il apparaît que l'intensité du traitement thermique qui valorise le mieux le tourteau de soja est plus grande pour le Poulet que pour le Porc et surtout pour le Rat. Une telle différence de comportement pourrait être liée à la sensibilité limitée de ce dernier aux facteurs antitrypsiques qui subsistent dans le tourteau peu cuit. Elle pourrait également résulter d'une plus grande réactivité du Rat — qui a reçu dans nos essais un régime pauvre en azote — aux variations, induites par la chaleur, de la teneur en acides aminés disponibles de la protéine.

Les résultats de nos essais biologiques témoignent que, parmi les diverses variantes technologiques expérimentées, une température de 120°C appliquée pendant 20 minutes procure un tourteau dont l'efficacité est maximum. Dans la plage thermique 110°C-120°C, l'accroissement de 10°C affecte davantage la valeur de la protéine de soja que la prolongation de la cuisson de 20 minutes à 110°C.

En deçà de cette zone, la cuisson n'inactive pas suffisamment les facteurs anti-nutritionnels, comme en témoignent les activités antitrypsique et uréasique résiduelles notables de ces produits.

Ni l'activité uréasique, ni la solubilité dans l'eau ne reflètent l'intensité du traitement thermique au-delà du seuil d'inactivation de l'uréase. Si la pratique industrielle les a adoptées dans certains pays, c'est qu'elles se justifient chaque fois que le circuit commercial qui relie le fabricant à l'utilisateur est suffisamment court et que la qualité du produit peut être modifiée à la demande de l'utilisateur. Mais ces critères perdent toute signification sur un marché d'importation alimenté par des canaux multiples, où interviennent des procédés de fabrication très divers, des mélanges incontrôlés et des durées d'entreposage parfois longues.

Les tests physico-chimiques qui assurent dans les conditions où nous avons opéré, la prédiction la plus satisfaisante de la qualité nutritionnelle d'un tourteau sont : le test modifié de *fixation du rouge de crésol* qui procure un éventail de valeurs suffisant pour une discrimination convenable de l'intensité de la cuisson et la *solubilité tryptique corrigée*. Cette dernière épreuve est susceptible de mieux différencier entre eux les produits bien cuits et surcuits.

Toutefois, aucun des tests que nous avons expérimentés ne rend compte de la valeur intrinsèque du produit, qui dépend en fait de nombreux facteurs autres que

la cuisson proprement dite (composition initiale de la graine, conditions d'entreposage du tourteau...) et dont la détermination devra faire appel à des méthodes complémentaires, telles celles qui mesureraient la disponibilité de la lysine et d'autres acides aminés essentiels.

Reçu pour publication en décembre 1970.

SUMMARY

HEAT TREATMENT AND QUALITY OF SOYBEAN PROTEIN.

VIII. — SENSITIVITY OF THREE ANIMAL SPECIES (RAT, PIG, CHICKEN) AND OF VARIOUS BIOCHEMICAL TESTS TO THE INTENSITY OF THE HEAT TREATMENT OF THE OIL MEAL

Ten soybean oil meals were prepared in an experimental plant, under well defined conditions and tested on different animal species.

The response of pigs to the heat treatment of soybean was very close to that of chickens receiving a purified diet or mixed feed. Using this response as a basis, the parameters for optimum toasting of soybean were determined. The efficiency of slightly toasted oil meal was better in the rat. This particular behaviour could be explained by the fact that the rat is less sensitive to the antinutritional factors of raw soybean and by the very nature of the amino acid requirements in this species.

The comparison between the *in vivo* results and those obtained by various physico-chemical tests related to the degree of toasting of the soybean oil meal, emphasizes the interest of the *dye binding test (cresol-red)* and of the measurement of the *corrected tryptic solubility* as methods for predicting the protein value of soybean oil meal.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADRIAN J., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du soja. III. *Ann. Zootech.*, **20**, 31-40.
- ALMQUIST H. J., MERRITT J. B., 1953. Accentuation of dietary amino acid deficiency in the chick *Arch. Biochem. Biophys.*, **31**, 450-453.
- ASCARELLI I., GESTETNER B., 1962. Chemical and biological evaluation of some protein feeds for poultry. *J. Sci. Food Agric.*, **13**, 401-410.
- BOYNE A. W., CARPENTER A. W., WOODHAM A. A., 1961. Progress report on an assessment of laboratory procedures suggested as indicators of protein quality in feedingstuffs. *J. Sci. Food Agric.*, **12**, 832-848.
- CALET C., GUILLAUME J., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du soja. VI. *Ann. Zootech.*, **20**, 61-67.
- DANGOUMAU A., DEBRUYNE H., CLUZAN R., 1951. Note sur le traitement thermique du soja et du colza. *Bull. Inf. ITERG*, **5**, 306-310.
- DELORT-LAVAL J., BOZA-LOPEZ J., 1964. Efficacité de quelques protides alimentaires chez le Porc. V. Influence du traitement technologique sur la valeur des protéines du tourteau de soja. Validité de quelques tests biochimiques pour l'appréciation de la qualité des tourteaux. *Ann. Zootech.*, **13**, 35-50.
- DELORT-LAVAL J., KASCHTGES J., 1965. Modification du test de FRÖLICH pour l'appréciation du degré de cuisson et de la surcuisson du tourteau de soja. *Rev. franç. Corps gras*, **12**, 717-722.
- DELORT-LAVAL J., CHARLET-LÉRY Geneviève, 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du soja. V. *Ann. Zootech.*, **20**, 53-60.
- FRÖLICH A., 1954. Reaction between phtalein dyes and heated foodstuffs. *Nature*, **174**, 879.
- FRÖLICH A., 1962. Some nutritional effects on chick growth. *Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler*, **28**, 37-92.

- GUTTON J., ABRAHAM J., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du Soja. VII. *Ann. Zootech.*, **20**, 69-73.
- KÜNITZ M., 1946. Crystalline soybean trypsin inhibitor. *J. gen. Physiol.*, **29**, 149-154.
- LIENER I. E., 1953. Soyin, a toxic protein from the soybean. I. Inhibition of rat growth. *J. Nutr.*, **49**, 527-539.
- LOUGNON J., RÉRAT A., 1971. Traitement thermique et qualité de protéines du soja. IV. *Ann. Zootech.*, **20**, 41-52.
- MEYER J. H., NELSON A. O., 1963. Efficiency of feed utilization by various animal species fed similar rations. *J. Nutr.*, **80**, 343-349.
- MORAN E. T. JR., JENSEN L. S., MCGINNIS J., 1963. Dye binding by soybean and fish meal as an index of quality. *J. Nutr.*, **79**, 239-244.
- NITSAN Zafrira, BONDI A., 1965. Comparison of nutritional effects induced in chicks, rats and mice by raw soya-bean meal. *Brit. J. Nutr.*, **19**, 177-187.
- OLOMUCKI Eugenia, BORNSTEIN S., 1960. The dye absorption test for the evaluation of soybean meal quality. *J. Ass. off. agric. Chem.*, **43**, 440-442.
- RICHTER V. K., SCHILLER Kläre, 1959. Die Wirkung von Dampferhitzen (Toasten) auf die biologische Eiweisswertigkeit von Sojaschrot. *Z. Tierernähr. Futtermittelk.*, **14**, 242-252.
- SCHILLER Kläre., 1969. Der Frölich-Test als Qualitätskriterium zur Beurteilung von Sojaschroten. *Landw. Forschung*, **23**, 63-67.
- ZELTER S.-Z., 1964. Étude des effets thermiques sur la valeur nutritionnelle des protéines de tourteau de soja. I. Comparaison de quelques mesures biochimiques (données partielles). *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **4**, 189-198.
- ZELTER S.-Z., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du soja. I. *Ann. Zootech.*, **20**, 11-16.
- ZELTER S. Z., DELORT-LAVAL J., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du soja. II. *Ann. Zootech.*, **20**, 17-29.
-

GENERAL SUMMARY

HEAT TREATMENT AND QUALITY OF SOYBEAN PROTEINS

(THE ROMAN NUMBERS UNDER PARENTHESIS REFER
TO THE DIFFERENT PAPERS OF THIS SERIES)

The quality of soybean oil meal varies according to the intensity of the heat treatment applied.

From the analysis of the origin of these variations (I, p. 11-16), it emerges that the best protein value of the product supposes the inactivation of antienzymes without any decrease of the availability of the essential amino acids of the protein. However, even if the parameters of a correct toasting of the meal have been well defined, the technological data so obtained cannot be applied in practice without precaution. Thus, it is not surprising that the physico-chemical tests intended to predict the degree of toasting, developed on small samples prepared under laboratory conditions, lose a great deal of their value for industrial products.

By using a semi-industrial equipment for the treatment of oil seeds (II, fig. 1, p. 19; fig. 2, p. 20), the main variables of the heat treatment (duration, temperature, humidity) could be applied to large quantities of solvent-extracted soybean oil meal. Thus, these oil meals have been submitted to various laboratory tests; those have been selected, which allow an efficient estimation of the heat treatment and, especially, the detection of overtoasting. The nutritional significance of these tests was examined, by reference to biological trials performed on several animal species differing by the nature and level of their protein requirements and their sensibility to the antinutritional factors of the raw seed.

I. — Results of the biological trials

Using as a basis the result of the usual tests for the estimation of the degree of toasting: urease activity, solubility in water and in diluted alkali, corrected trypsinic solubility, binding of cresol red (II, p. 20-21), ten products of homogeneous composition (II, table 1, p. 24, table 5, p. 27) were processed under defined conditions of duration and temperature at 20 p. 100 humidity (II, table 2, p. 25) and introduced into semi-synthetic diets fed to rats, chickens and pigs. Six of these oil meals were also included into commercial broiler rations.

a) — Growth, feed efficiency and nitrogen retention (carcass analysis) were recorded in the rat receiving, *ad libitum*, a 10 p. 100 protein diet supplemented or not by amino acids. The best efficiency was observed in oil meals toasted at a temperature inferior (or equal) to 120°C, efficiency which decreased as the treatment was prolonged or the temperature raised. Methionine definitely improved the protein value of the diets (IV, table 5, p. 47; table 8, p. 49) except in the case of a very drastic heat treatment, where lysine became the first limiting factor of the protein quality (IV, table 7, p. 48).

b) — The digestive and metabolic utilization of the protein of the ten oil meals was determined in the growing pig (30-60 kg) by the biological value method (THOMAS-MITCHELL), with semi-synthetic diets containing 14 p. 100 protein, *i. e.* 100 g digestible crude protein per Scandinavian feed unit. The digestibility of the oil meal protein is only reduced by an intensive heat treatment, whereas its biological value is much more sensitive to the duration and especially to the temperature of toasting (V, table 2 a, p. 57 and 2 b, p. 58).

c) — The growth responses, between 10 and 30 days, of chickens receiving semi-synthetic diets at various protein levels (15 and 25 p. 100 for 4 samples, 18 p. 100 for 6 samples) also shows the quite detrimental effect of overtoasting (VI, table 7, p. 64), and the existence of an optimum treatment at a higher level than for the rat.

d) — Some of the experimental oil meals were introduced into commercial broiler rations to which soybean brought almost half of the protein supply (VII, table 1, p. 70). No significant difference of growth or food efficiency has been found, but the observed tendencies were quite parallel to those of the trials with purified diets.

Comparison of the data collected on the different species (VIII, table 2 and 3, p. 78) shows that, for the rat, chicken and pig, the products of one and the same technological series are not always ranked in the same order when they are in the low toasting zone. On the contrary, in the case of overtoasted products, the behavior of these animals is almost similar.

It appears that the intensity of the heat treatment which gives to soybean oil meal its best value is higher for the chicken and the pig than for the rat. Such a difference of behaviour may be explained by the fact that the rat is less sensitive to the antitryptic factors which subsist in the slightly toasted oil meal and by the fact that the rat, which, in our trials, received low protein diets, shows a greater reactivity to the variations, due to heat, in the content of available amino acids of the protein.

The results of our biological trials show that, among the technological variables tested, a temperature of 120°C during 20 mn gives an oil meal of maximum efficiency. Between 110°C and 120°C, the temperature increase of 10°C affects more the value of the soybean protein than a prolongation of the heat treatment by 20 mn at 110°C.

II. — *Physico-chemical criteria for the determination of the degree of toasting of the soybean oil meal*

a) — *Vitamin and methionine contents.*

During the toasting of soybean, thiamine is considerably damaged and even completely disappears when submitted to the most drastic treatments, the free form of thiamine being a little more fragile than the combined one, while the loss of pantothenic acid is about 5 to 6 times lower (III, fig. 2, p. 37).

The loss of thiamine is definitely increased by the hydratation of the medium, while humidity seems to protect pantothenic acid when the temperature is low and to accelerate its destruction when it is high.

A significant destruction of methionine never occurred during the application of these different heat treatments.

b) — *Denaturation of enzymes and proteins* (II, fig. 4, p. 23).

α) The behaviour of the urease activity and that of water solubility are quite similar : their alteration is limited below 100°C, then they decrease sharply and rapidly attain low values, the variations of which have no more practical meaning. Thus, it is confirmed that only untoasted products can be eliminated by these tests which cannot be considered as quality criteria of the soybean oil meal.

β) Solubility in diluted alkali and the binding test of cresol red vary within large limits. This last test allows a rapid diagnosis of overtoasting, for which we had till now no satisfactory method.

γ) The corrected tryptic solubility rats, null for a raw product, increases progressively, reaches a maximum value and then decrease with higher temperatures and/or longer durations of treatment. This decrease is also important in presence of a low amount of pepsin, for the most toasted products.

Oil meal	Cresol red	Corrected tryptic solubility	C. E. P. (1)		U. P. N. (1) pig
			rat	chicken	
A 41	5,6	67,1	98	100	92
42	6,6	80,3	100	97	100
43	7,1	66,3	80	88	88
44	7,1	58,0	52	64	63
C 51	5,4	37,5	100	94	95
52	6,2	54,5	98	96	100
53	6,5	80,7	95	100	95
54	7,1	78,4	89	96	97
55	7,3	73,8	78	91	89
56	7,5	51,1	60	67	68

(1) By reference to the best product (value 100) of each series C. E. P. : Gain/ingested crude protein
U. P. N. : biological value × true nitrogen digestibility.

By means of the above cited tests, it is therefore possible to estimate the intensity of a heat treatment in a very broad area.

III. — *Nutritional significance of the physico-chemical tests determining the degree of toasting of soybean oil meal*

Neither the urease activity nor the water solubility reflect the intensity of the heat treatment beyond the threshold of urease inactivation. The industry has adopted these criteria in some countries, when the commercial channels connecting the manufacturer to the customer were sufficiently short and when the quality of the product could be changed according to the user's requirements. However, these criteria are of low value when applied to import markets supplied by multiple channels, in which intervene quite variable methods of manufacturing, uncontrolled mixing and sometimes long durations of storage.

The physico-chemical tests which, under our conditions, ensure the most satisfactory prediction of the nutritional quality of a soybean oil meal, are the following : the modified *binding test of cresol red*, offering an important series of values, on the basis of which sufficient differentiation of the intensity of toasting can be made (VIII, fig. 1, p. 83) and the *corrected tryptic solubility*. This last test is liable to ensure a better differentiation between properly heated and overtoasted products (VIII, table 5, p. 82).

However, none of the experimented tests gives the intrinsic value of the product, which in fact depends on several other factors than the toasting (initial composition of the seed, storing conditions of the oil meal...), whose influence has to be determined by other methods, as the availability of lysine and other essential amino acids.
