

55F

0.2

Publication
spéciale canadienne
des sciences halieutiques et aquatiques 55F

DFO - Library / MPO - Bibliothèque



12038880



DL
626
0314

Nutrition et

alimentation de la truite arc-en-ciel

J.W. Hilton et S.J. Slinger



Pêches
et Océans

Fisheries
and Oceans

Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques 55F

(Traduction française de la publication spéciale de J. W. Hilton et S. J. Slinger intitulée
« *Nutrition and Feeding of Rainbow Trout* » publiée en 1981.)

Nutrition et alimentation de la truite arc-en-ciel

J. W. Hilton et S. J. Slinger

*Département de nutrition
Collège des sciences biologiques
Université de Guelph
Guelph (Ont.) N1G 2W1*

Ministère des Pêches et des Océans
Ottawa 1981

Publié par



Gouvernement du Canada
Pêches et Océans

Direction de l'information
et des publications scientifiques

Published by

Government of Canada
Fisheries and Oceans

Scientific Information
and Publications Branch

Ottawa K1A 0E6

©Ministre des Approvisionnement et Services Canada 1981

En vente dans les librairies autorisées, les autres librairies,
ou encore, par commande payable à l'avance,
au Centre d'édition du gouvernement du Canada,
Approvisionnement et Services Canada, Hull (Québec) K1A 0S9.

Les chèques ou mandats-postes, payables en monnaie canadienne,
doivent être faits à l'ordre du Receveur général du Canada.

Un exemplaire de cette publication a été déposé, pour référence,
dans les bibliothèques publiques du Canada

Canada : 3,00 \$
Autres pays : 3,60 \$

N° de catalogue Fs 41-31/55 F
ISBN 0-660-90812-3
ISSN 0706-649 X

Prix sujet à changement sans avis préalable
(English edition available)

Imprimé au Canada

par

Donald F. Runge Limitée, Pembroke, Ont.

On devra référer comme suit à cette publication :

HILTON, J. W. ET S. J. SLINGER, 1981. Nutrition et alimentation de la
truite arc-en-ciel, *Publ. spéc. can. sci. halieut. aquat.*, 55F :
17 p.

Table des matières

RÉSUMÉ/ABSTRACT	iv
HISTORIQUE DE L'AQUICULTURE — ÉLEVAGE DES SALMONIDÉS	1
BESOINS NUTRITIFS	1
Besoins en protéines	1
—Amino-acides essentiels	1
—Qualité des protéines	1
Besoins en lipides - graisses	2
—Niveaux des lipides alimentaires	3
—Qualité des graisses	3
Hydrates de carbone	3
Besoins en vitamines	4
Besoins en minéraux	5
EFFET DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE SUR LES BESOINS NUTRITIFS	7
MESURES DE LA DIGESTIBILITÉ DES PRODUITS UTILISÉS DANS LA FORMULATION DES RATIONS	7
FORMULATION, TRANSFORMATION ET CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES RATIONS	8
Formulation des rations	8
Transformation	10
Contrôle de la qualité des rations et de leurs ingrédients	12
TECHNIQUES ET TAUX D'ALIMENTATION	13
Techniques d'alimentation	13
Taux d'alimentation	14
REMERCIEMENTS	15
LECTURES CHOISIES	16

Résumé

HILTON, J.W. ET S.J. SLINGER, 1981. Nutrition et alimentation de la truite arc-en-ciel, *Publ. spéc. can. sci. halieut. aquat.*, 55F : 17 p.

Le but de cette publication spéciale est de décrire, à l'intention du pisciculteur et du manufacturier de nourriture à poissons, les éléments de base de la nutrition des salmonidés. On y décrit brièvement les exigences et les fonctions des substances nutritives, comme on les connaît présentement. On décrit également l'état de nos connaissances sur la formulation des rations destinées aux salmonidés, ainsi que les paramètres de contrôle de la qualité des ingrédients les plus importants qu'elles contiennent. On y souligne que toutes les nourritures à poissons doivent être traitées de façon à donner des particules de grosseur appropriée à des poissons de tailles et d'âges différents. La digestibilité et l'équilibre des substances nutritives sont plus importants pour les poissons que pour les espèces terrestres, car il faut prévenir l'eutrophisation et l'augmentation de la demande biologique d'oxygène dans l'étang ou le canal. On a établi des directives concernant la quantité de nourriture approximative à donner quotidiennement à des poissons de diverses tailles et à diverses températures de l'eau. Comme les poissons sont des animaux poikilothermes dont la température du corps et, partant, le taux métabolique et l'activité alimentaire varient en fonction directe de la température de l'eau ambiante, les taux d'alimentation et de croissance diminuent notablement lorsque la température passe de 15°C à 4°C. Comparées à celles des animaux domestiques, nos connaissances sur la nutrition des poissons sont encore rudimentaires. Nous donnons quelques suggestions concernant certains travaux de recherche importants sur la nutrition. Cette recherche permettrait de réduire considérablement les coûts de production du poisson.

Mots-clés: *Salmo gairdneri*, truite arc-en-ciel, nutrition, alimentation

Abstract

HILTON, J.W. ET S.J. SLINGER, 1981. Nutrition et alimentation de la truite arc-en-ciel, *Publ. spéc. can. sci. halieut. aquat.*, 55F : 17 p.

This special publication is designed to describe to the fish farmer and feed manufacturer the basic elements of salmonid nutrition. Described briefly are the requirements and functions of the nutrients as far as these are known at the present time. The state of the art of feed formulation for salmonids is also described, together with the quality control parameters for the most important ingredients included in salmonid diets. It is pointed out that all fish feeds must be processed to produce feed particles of appropriate size for fish of different ages and sizes. The digestibility and balance of nutrients assumes greater importance in diets for fish than in those for terrestrial species because of the importance of preventing eutrophication and increasing the biological oxygen demand in the fish pond or raceway. Guides have been established indicating the approximate amount of feed to give daily to fish of various sizes and water temperatures. Since fish are poikilotherms whose body temperature, and thus their metabolic rate and feeding activity, varies directly with the ambient water temperature, feeding rates and growth rates are markedly reduced as the temperature decreased from about 15 to 4°C. Our knowledge of fish nutrition is still rudimentary as compared with that of the domestic animals. Suggestions are given concerning important nutrition research projects for the future. Further research in nutrition promises to reduce fish production costs markedly.

Key words: *Salmo gairdneri*, rainbow trout, nutrition, feeding

Historique de l'aquiculture — Élevage des salmonidés

L'élevage des salmonidés a commencé en 1741, alors que Stephan Ludwig Jacobi établissait en Allemagne le premier alevinier à truites. Depuis ce temps, les pêcheurs à la ligne dépendent de plus en plus des pisciculteurs pour augmenter et maintenir la pêche des salmonidés dans le monde entier. En Ontario, la pisciculture date des années 1800 et, malgré cette introduction ancienne, les méthodes d'élevage des salmonidés n'ont progressé que lentement. Ce n'est qu'au cours des 10 ou 20 dernières années que la recherche et le développement dans l'élevage des truites, avec l'expansion du nombre et de la taille des établissements de pisciculture, ont reçu une certaine impulsion.

La nutrition des poissons, elle aussi, s'est développée lentement. Ce n'est que juste avant la Deuxième Guerre mondiale qu'une recherche active dans ce domaine a commencé. A cette époque, on a étudié pour la première fois, dans une pisciculture de truites et de saumons à Cortland dans l'État de New York, les besoins nutritifs et la formulation des rations de salmonidés sous la direction de pionniers tels que A. V. Tunison et A. M. Phillips. Depuis, des progrès ont été accomplis dans l'étude de la nutrition des poissons, en particulier dans la dernière décennie, par des chercheurs d'Amérique du Nord, d'Europe septentrionale et du Japon.

En Ontario, le coût de la nourriture représente environ 30-50 % du coût de production total de truites. La formulation des rations se fait encore en grande partie par estimation, à cause des nombreuses lacunes dans les connaissances nécessaires à une approche plus scientifique. Malgré cela, on fait très peu de recherche sur les moyens d'améliorer nos connaissances sur la nutrition ainsi que sur la formulation et la transformation des rations. Il est certain qu'on pourrait réduire de façon significative les coûts de production de la truite arc-en-ciel par une recherche judicieuse sur la nutrition, la formulation des rations et la technologie de production de ces rations.

Le présent manuel est un compte rendu de l'état actuel de nos connaissances sur la nutrition des poissons, avec une description des principales substances nutritives requises par les poissons, notamment des protéines, graisses (lipides), hydrates de carbone, vitamines et minéraux. Il vise aussi à faire réaliser par les pisciculteurs l'importance de ces travaux. On y indique non seulement les domaines dans lesquels se poursuit une recherche active, mais aussi les aspects de la nutrition des poissons sur lesquels il n'y a pas eu suffisamment de recherche de faite et où on devrait mettre l'accent à l'avenir.

Besoins nutritifs

BESOINS EN PROTÉINES

Les protéines sont le composant le plus coûteux de la diète des truites. Il est donc désirable d'utiliser les sources de protéines les plus économiques et les plus adéquates possibles. Dans le cas d'espèces animales terrestres, les manufacturiers de rations commerciales font appel surtout à des sources végétales de protéines, parce qu'elles sont adéquates du point de vue nutritif, sont disponibles commercialement et offrent des avantages économiques. Malheureusement, à l'heure actuelle, les sources de protéines végétales ne peuvent être utilisées que de façon limitée dans la formulation des rations des salmonidés, bien que les spécialistes de la nutrition des poissons visent à éliminer complètement le besoin de recourir à des sources de protéines animales, en particulier les farines de poisson, dans les rations des poissons. Il est toutefois peu probable que cet objectif soit atteint dans un proche avenir. Le niveau optimal de protéines alimentaires crues pour de très jeunes truites est de 45-50 % du régime (diètes de départ), alors que les jeunes truites en requièrent 40 % (diètes de production) et les truites âgées, 35 % (diètes de subsistance).

AMINO-ACIDES ESSENTIELS

La composition chimique des protéines est variable. Les amino-acides en sont la base, et chaque protéine a son complément propre d'acides-amino. Des quelque 25 amino-acides se trouvant dans les protéines, tous peuvent être synthétisés par les poissons sauf 10 qu'on appelle amino-acides essentiels. Le tableau 1 donne une liste des amino-acides essentiels, ainsi que les niveaux requis dans un régime équilibré. Pour qu'une source de protéines convienne au régime des salmonidés, elle doit fournir tous les amino-acides essentiels aux niveaux requis, ou à peu près, et suffisamment d'acides-amino non essentiels pour satisfaire aux besoins totaux en protéines. Non seulement les besoins en amino-acides essentiels doivent être satisfaits, mais le rapport de certains amino-acides essentiels entre eux est également critique.

QUALITÉ DES PROTÉINES

Les sources ou suppléments de protéines pour nourritures de truites doivent être choisis à cause de leur grande digestibilité et, tel que mentionné plus haut, ils doivent satisfaire aux besoins des poissons en amino-acides essentiels. Des suppléments protéiques tels que farine de poisson de haute qualité, farine de soya, farine de gluten de maïs et divers sous-produits animaux tels que farine de viande, farine de sous-produits de poulet, farine de plume hydrolysée et farine de sang préparée par séchage annulaire ou par séchage particulière, sont les nourritures à poissons les plus appropriées. On fait présentement des recherches dans le but de remplacer une plus grande

TABLEAU 1. Amino-acides essentiels et niveaux requis dans l'alimentation des salmonidés.

	Niveau requis	
	Truite arc-en-ciel ^a	Saumon ^b
Arginine	3,5 ^c (1,4) ^d	6 (2,4)
Histidine	1,6 (0,6)	1,8 (0,7)
Isoleucine	2,4 (1,0)	2,2 (0,9)
Leucine	4,4 (1,8)	3,9 (1,6)
Lysine	5,3 (2,1)	5 (2,0)
Méthionine ^e	1,8 (0,7)	4 (1,6)
Cystine	0,9 (0,4)	—
Phénylalanine ^f	3,1 (1,2)	5,1 (2,1)
Tyrosine	2,1 (0,8)	—
Thréonine	3,4 (1,4)	2,2 (0,9)
Tryptophane	0,5 (0,2)	0,5 (0,2)
Valine	3,1 (1,2)	3,2 (1,3)

^aExtrait de Ogino (1980).

^bExtrait de Halver (1972).

^cEn pourcentage de protéine.

^dEn pourcentage de la ration, en supposant un niveau de protéines alimentaires de 40 %.

^eEn l'absence de cystine chez le saumon.

^fEn l'absence de tyrosine chez le saumon.

proportion de farine de poisson par des farines de protéines végétales et divers suppléments protéiques tirés de sous-produits animaux. Ordinairement (mais pas toujours), une farine de poisson de haute qualité est plus dispendieuse que des suppléments protéiques végétaux. En outre, certaines substances toxiques de l'environnement, tels que métaux lourds et pesticides, peuvent contaminer les farines de poisson. À ce jour, on n'a pu remplacer complètement la farine de poisson et, pour obtenir de bons résultats, il faut encore une quantité considérable d'une farine de poisson de haute qualité. Les rations alimentaires de départ requièrent encore au moins 30 % de farine de poisson, alors que les rations de production et de stocks reproducteurs en demandent environ 20 %. On ne comprend pas très bien le manque de succès obtenu avec des sources de protéines végétales telles que la farine de soya et la farine de gluten de maïs. Il se peut que l'influence d'une farine de poisson de haute qualité sur la croissance soit due à l'équilibre supérieur des amino-acides de cette dernière, à leurs propriétés organoleptiques, à la teneur en hydrates de carbone de la farine de soya et à quelques facteurs de croissance, encore inconnus, présents dans la farine de poisson. Une récente recherche sur des rations de farine de soya additionnée de différents amino-acides à diverses teneurs met en évidence une meilleure croissance chez la truite arc-en-ciel, ce qui laisse supposer que l'équilibre des amino-acides présents dans la farine de soya n'est pas idéal pour la truite. Il existe également dans la farine de poisson des niveaux plus élevés d'un certain nombre d'éléments minéraux essentiels par comparaison avec la farine de soya. En outre, on a récemment démontré que la truite possédait des mécanismes chimio-récepteurs lui permettant de goûter et de sentir la nourriture. Il est possible que certains de ces

composés qui se sont avérés capables de stimuler ces sens soient présents dans la farine de poisson mais non dans la farine de soya. Il est également possible que la farine de soya ne soit pas au goût des poissons ; nos résultats expérimentaux semblent le démontrer. En outre, la farine de soya et autres suppléments protéiques végétaux sont beaucoup plus riches en hydrates de carbone que la farine de poisson et les suppléments protéiques animaux. De récents travaux menés dans notre laboratoire indiquent une tolérance relativement basse aux hydrates de carbone chez les salmonidés.

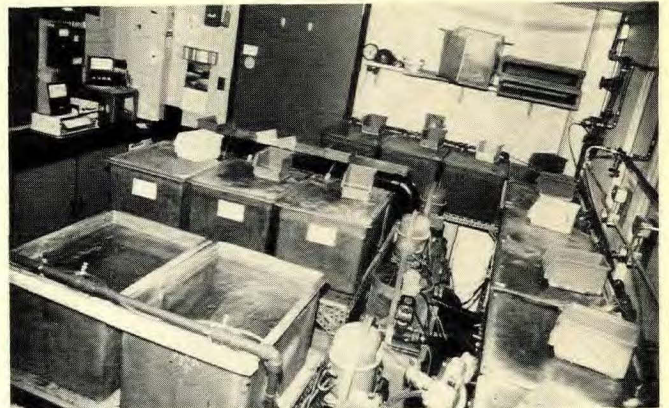


FIG. 1. Installations du Laboratoire de nutrition des poissons du Département de nutrition de l'Université de Guelph (photographie C.Y. Cho, OMNR).

BESOINS EN LIPIDES-GRASSES

Les graisses ou lipides contiennent environ deux fois plus d'énergie par unité de poids que les protéines et près de trois fois plus que les hydrates de carbone. Dans la nature, les lipides sont la principale source d'énergie pour des poissons tels que les salmonidés. Ils sont en outre importants dans la formation et la fonction de la membrane cellulaire chez ces animaux. La qualité et la quantité des lipides dans les rations alimentaires des salmonidés sont donc d'une importance cruciale, et on leur a accordé beaucoup d'attention. L'unité de base des lipides est l'acide gras, chaîne de carbone acyclique ordinairement non ramifiée. Le nombre de doubles liaisons entre les atomes de carbone adjacents détermine son degré d'insaturation, et, de concert avec la position des doubles liaisons et le nombre d'atomes de carbone, sert à identifier et à nommer les différents groupes d'acides gras. La position de la première liaison double en termes du nombre d'atomes de carbone qui la sépare de l'extrémité méthyle (CH_3) de la chaîne de carbone dénote un type particulier d'acide gras non saturé. Il y a quatre principales séries d'acides gras importants dans la nutrition et la physiologie des poissons : le type palmitoléique, avec 16 atomes de carbone et une seule liaison double avec 7 atomes de carbone du groupe méthyle, 16:1 oméga 7 (16:1 ω 7), le groupe oléique (ω 9) qui a 18 atomes de carbone et une seule liaison double avec 9 atomes de carbone du groupe

méthyle (18:1 ω 9), le groupe linoléique (ω 6) qui possède 18 atomes de carbone avec la première de deux doubles liaisons étant avec 6 atomes de carbone du groupe méthyle (18:2 ω 6) et le type linoléique (ω 3) qui est également un acide à 18 carbones avec la première de ses trois doubles liaisons étant avec trois atomes de carbone du groupe méthyle (18:3 ω 3). Les animaux, y compris les poissons, ne peuvent pas synthétiser les acides gras ω 6 et ω 3, et il faut donc les ajouter aux rations. Pour s'assurer d'un apport suffisant d'énergie, il ne faut donc pas s'arrêter au niveau des lipides, mais il faut aussi considérer la quantité d'acides gras ω 6 et ω 3 présents dans les lipides et dans la diète.

NIVEAUX DES LIPIDES ALIMENTAIRES

Dans la pratique, les rations alimentaires des truites contiennent normalement entre 6 et 14 % de graisse crue. On ajoute ordinairement au régime des graisses animales, marines ou végétales, ou un mélange de ces graisses, afin d'assurer un niveau adéquat d'énergie et la concentration requise d'acides gras ω 3 et ω 6. De récents travaux ont démontré que des teneurs élevées en graisses alimentaires, dans la gamme de 15-20 %, pouvaient être avantageuses pour la truite, par suite de l'épargne des protéines que causent les graisses. Ces études indiquent que de hauts niveaux de graisses augmentent le dépôt des protéines chez des truites recevant certaines rations. De telles rations à haute teneur en graisses diminuent les besoins minimaux en protéines de 40 à 35 % du régime séché à l'air ; il peut en résulter certaines économies. On a évité dans le passé les régimes à haute teneur en graisses à cause de la difficulté qu'il y avait à former des boulettes ou des miettes, et aussi à cause de la possibilité d'oxydation des acides gras polyinsaturés (AGPI) responsable d'une rancidité oxydante résultant en une destruction de certaines vitamines. La carcasse, en particulier la cavité viscérale, de poissons nourris à des niveaux élevés de graisses contiendra plus de ces dernières. Ceci peut être un avantage dans la production de poissons destinés à l'ensemencement dans un programme de gestion et qui pourront prendre beaucoup de temps à s'adapter à un nouvel environnement. Par contre, la chose n'est pas très désirable chez un poisson de table commercial. Il faudra davantage de recherche dans ce domaine. On pourrait s'attendre aussi que les poissons à haute teneur en graisses soient plus exposés à la rancidité à l'entreposage, en particulier si l'on a utilisé de l'huile de poisson comme source de graisses supplémentaires.

QUALITÉ DES GRAISSES

Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, les poissons sont incapables de synthétiser les acides gras ω 3 et ω 6, et il faut les ajouter à leur régime alimentaire. C'est pour cela qu'on appelle ces acides gras « acides gras essentiels ». Si l'on veut obtenir des

taux de croissance optimales, au moins 1 % du régime de la truite devra contenir la série ω 3 d'acides gras. Bien que les acides gras ω 6 puissent être essentiels, on ignore à quel niveau ils sont requis. On a même des indices qu'une forte proportion d'acides gras ω 6 par rapport aux acides gras ω 3 dans la diète de la truite peut nuire à la croissance. Des niveaux trop bas d'acides gras ω 3 causent une carence d'acides gras essentiels.

En dépit d'un niveau apparemment adéquat de 18:3 ω 3 ou acide linoléique dans les huiles végétales telles que les huiles de soya ou de canola, les huiles marines en général améliorent considérablement la croissance de la truite. Ce phénomène est probablement lié aux niveaux élevés d'acides gras hautement polyinsaturés (AGHI) de la série ω 3 dans les huiles marines, en particulier les acides gras docosapentaénoïque (20:5 ω 3) et docosahexaénoïque (22:6 ω 3). Ce sont les AGHI qui sont, du point de vue de la structure, les plus importants dans les membranes physiologiques des poissons. C'est pour cette raison que même si un poisson peut convertir l'acide linoléique en AGHI, cette conversion ne semble pas se produire à un taux suffisamment rapide pour une croissance optimale. De plus, les huiles marines contiennent des teneurs beaucoup plus faibles en acides gras ω 6 que les huiles végétales. Une forte concentration d'acides gras ω 6 peut inhiber la conversion de l'acide linoléique (ω 3) en AGHI et par conséquent réduire l'aptitude des truites à croître au taux optimal. Il faudra faire plus de recherche dans ce domaine, et des travaux se poursuivent au Laboratoire de nutrition des poissons à Guelph. Il se peut, par exemple, que les huiles de poisson contiennent un ou plusieurs facteurs non identifiés, dont les salmonidés ont besoin, et qui ne sont pas présents dans les graisses animales ou végétales.

HYDRATES DE CARBONE

On est loin de s'accorder sur le niveau d'hydrates de carbone pouvant être toléré dans le régime alimentaire des salmonidés. La formulation des rations d'autres animaux domestiques contient habituellement de grandes quantités de grains de céréales, à teneur élevée en hydrates de carbone et relativement peu dispendieux. Il semblerait désirable d'utiliser ces ingrédients comme sources peu dispendieuses d'énergie, fournies en grande partie par l'amidon, dans les rations de salmonidés. Cependant, le régime naturel de ces poissons contient très peu d'hydrates de carbone. Bien que les voies fondamentales du métabolisme des hydrates de carbone soient semblables à celles des autres animaux, il y a, semble-t-il, des différences importantes qui affectent l'utilisation des hydrates de carbone alimentaires.

On a constaté, après diverses études, que les salmonidés pouvaient utiliser efficacement un niveau d'hydrates de carbone aussi élevé que 25 % de la diète, alors que d'autres études ont démontré un niveau tolérable aussi bas que 12 % du régime sous forme

d'hydrates de carbone digestibles. Des résultats aussi divergents peuvent être dus à plusieurs facteurs, tels que l'espèce, l'âge et la taille des poissons, la température de l'eau et probablement la forme des hydrates de carbone utilisés. Le principal hydrate de carbone que contiennent les grains de céréales est l'amidon. Les salmonidés digèrent mal cette substance et, bien que la cuisson ou le chauffage puisse améliorer sa digestibilité, l'aptitude des poissons à utiliser le glucose, produit final de la digestion de l'amidon, est quand même limitée. En outre, de récents travaux ont indiqué que la méthode de transformation influence la disponibilité de l'amidon : la transformation par extrusion (comme dans la fabrication de boulettes dilatées ou flottantes) augmente notablement la disponibilité des hydrates de carbone dans les rations de truites. Il en résulte chez ces dernières des foies plus volumineux et des teneurs plus élevées en glycogène hépatique, comparativement à des truites nourries aux mêmes rations sous forme de boulettes préparées à la vapeur (boulettes qui s'enfoncent). Une diète contenant des quantités excessives d'hydrates de carbone présente des dangers pour les salmonidés : elle cause des concentrations anormales de glycogène dans le foie, une croissance ralentie et une mortalité accrue, surtout à basse température de l'eau.

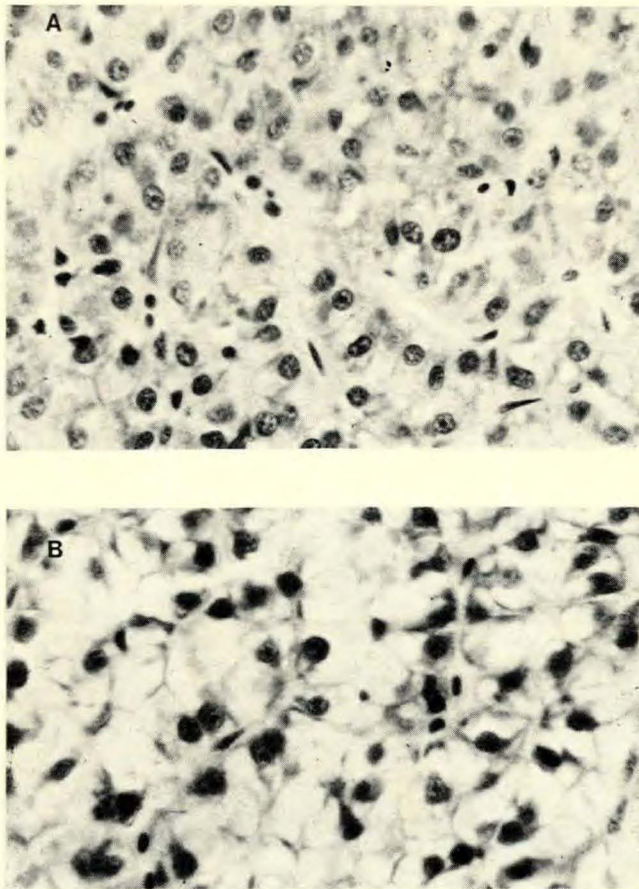


FIG. 2. Une teneur élevée (>20 %) en hydrates de carbone alimentaires cause une hypertrophie du foie, avec vacuoles remplies de glycogène dans les hépatocytes (B), comparativement à des foies normaux (A) (photographie B. Hicks).

Des tests de tolérance du glucose administré par voie buccale chez des truites indiquent que ces poissons supportent mal de grandes quantités de glucose. Les mécanismes de production d'insuline chez la truite ne réagissent pas à une arrivée abondante de glucose, ce qui veut dire que le métabolisme de cette substance et son transport dans les cellules se font au ralenti. On observe également une incapacité à « phosphoryler » le glucose, une étape nécessaire dans le métabolisme. Il y aurait intérêt à mener des recherches dans ce domaine, en termes d'amélioration possible de la phosphorylation du glucose et de production et réaction de l'insuline chez les salmonidés. Ceci pourrait encourager l'emploi de plus d'hydrates de carbone dans l'alimentation des salmonidés. Il nous faut aussi en connaître davantage sur l'adaptation à l'amidon en fonction du vieillissement du poisson. Nous suggérons pour le moment que les hydrates de carbone ne dépassent pas 20 % de la diète et que, en attendant qu'on ait plus de renseignements sur la tolérance de l'amidon alimentaire dans les rations des salmonidés, l'on fournisse à ces derniers suffisamment d'énergie sous forme de graisses. Les salmonidés se prêtent facilement à la néoglucogénèse ou synthèse du glucose à partir d'amino-acides, de sorte qu'il n'y a pas de danger de carence de glucose dans les tissus qui dépendent de cette substance comme source d'énergie.

BESOINS EN VITAMINES

On sait depuis une quarantaine d'années que le régime alimentaire des truites doit contenir certains « facteurs alimentaires accessoires » ou vitamines. On a commencé en 1947 à l'Université du Wisconsin des expériences visant à quantifier ces besoins. Pour déterminer le niveau de vitamines requis, on a ordinairement fait appel à une diète d'essai semi-purifiée fournissant tous les éléments nutritifs essentiels à des niveaux optimaux. De telles diètes ont été mises au point et on les utilise dans des recherches sur la nutrition des poissons. Toutefois, dans les mêmes conditions, elles n'assurent pas un taux de croissance aussi rapide que les diètes pratiques de truites. En outre, les niveaux requis ont été en grande partie fondés sur le stockage dans le foie d'une vitamine en particulier. C'est pourquoi, bien qu'on dispose de données sur les niveaux de presque toutes les vitamines requises par les salmonidés, on a quand même besoin d'études supplémentaires pour mieux évaluer ces estimations. Pour cela, on fera appel à des diètes semi-purifiées améliorées et, en particulier, à des diètes pratiques. Dans l'évaluation des besoins en une vitamine particulière, il faudra utiliser un ou plusieurs des paramètres suivants : taux de croissance, rendement de la nourriture, mortalité, absence de symptômes de carence, niveaux de stockage de la vitamine, et, plus récemment, paramètres physiologiques tels que analyse du sang (niveau d'hémoglobine, valeur d'hématocrite, numération des érythrocytes), teneur en eau de la carcasse, teneur en protéines et lipides, et activité d'enzymes spécifiques à une vitamine. Des

études récentes sur les besoins en vitamines des poissons, fondées sur des paramètres physiologiques, en particulier l'activité des enzymes, ont donné des résultats différents de ceux d'études antérieures. D'où la nécessité de réévaluer les besoins en vitamines déterminés antérieurement.

Le tableau 2 donne une liste des besoins en vitamines reconnues à l'heure actuelle pour les salmonidés, ainsi que les symptômes de carence les plus évidents. Pour aider les manufacturiers et les consommateurs, les valeurs sont exprimées en milligrammes par kilogramme de ration. Ces valeurs s'appliquent aux jeunes ou très jeunes poissons. On suppose qu'à mesure que le poisson vieillit, ses besoins en vitamines diminuent. Les valeurs indiquées devraient donc suffire amplement aux adultes. On a cependant très peu étudié les besoins en vitamines des poissons adultes, particulièrement des stocks reproducteurs. C'est donc là un domaine important de recherche pour l'avenir.

De récents travaux ont mis en évidence la grande instabilité de l'acide ascorbique dans les diètes pratiques et expérimentales. Les facteurs influençant la stabilité de cet acide sont la teneur en eau de la diète, la méthode de transformation, les conditions de stockage et possiblement les ingrédients qui constituent la ration. Il peut aussi y avoir des pertes

importantes d'acide ascorbique et d'autres vitamines solubles dans l'eau par lixiviation. Il est donc nécessaire, pour compenser ces pertes, de fournir un supplément de certaines vitamines en plus des quantités recommandées. Les nourritures qui risquent probablement le plus de perdre leurs vitamines par lixiviation sont celles des diètes de départ, à cause de leur plus grande surface et de l'accessibilité des vitamines solubles dans l'eau à l'environnement aquatique. De basses températures de l'eau, suscitant les poissons à être relativement inactifs, aggravent le problème : les petites particules de nourriture demeurent dans l'eau plus longtemps qu'à des températures plus élevées. Il est donc important, dans les diètes de départ, de recourir à des ingrédients naturels, tels que la levure de bière, comme source de vitamine B. Dans ces ingrédients, les vitamines sont sous une forme conjuguée et sont beaucoup moins solubles que les vitamines synthétiques.

BESOINS EN MINÉRAUX

On a fait jusqu'à maintenant très peu de recherche sur les besoins en minéraux des poissons et on a très peu d'information sur le sujet. Cette lacune est due au fait que l'environnement aquatique contient différentes concentrations de divers minéraux et que, pour cette raison, il est difficile de

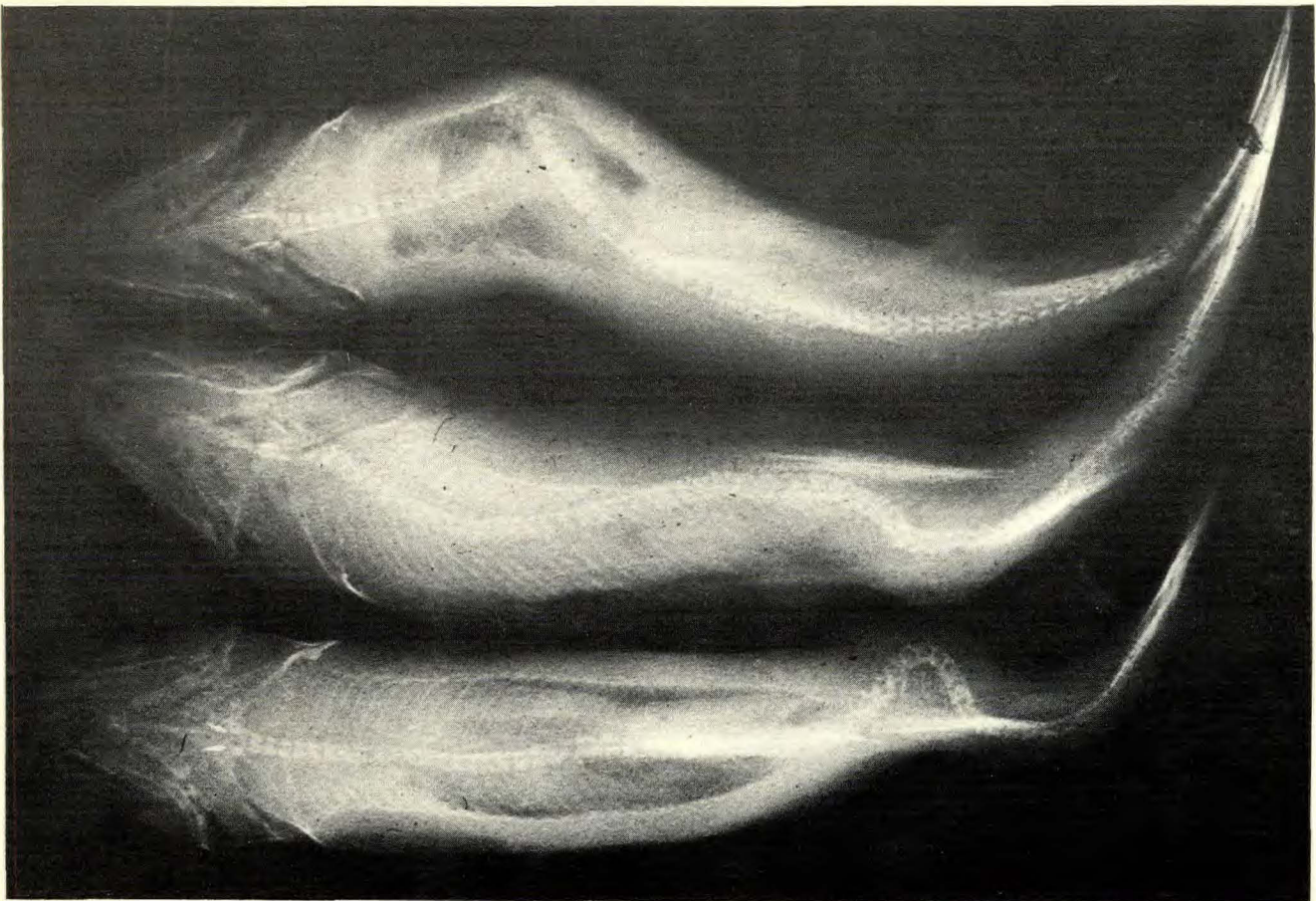


FIG. 3. Une carence en acide ascorbique chez la truite arc-en-ciel cause des difformités des os (scoliose et lordose), comme le démontre cette radiographie (photographie B. Hicks).

poursuivre des expériences. Il semble que les poissons aient la faculté d'absorber certains éléments par leur membrane branchiale. C'est pourquoi il est non seulement difficile de quantifier les besoins exacts en minéraux, mais aussi, il est difficile pour certains éléments de produire une carence visible en minéraux. Cependant, plusieurs études ont démontré que, malgré ces difficultés, il y a avantage à ajouter des suppléments minéraux aux nourritures et que par conséquent, il est possible de quantifier les besoins en minéraux.

Nous donnons au tableau 3 une liste des symptômes de carences typiques et les niveaux requis pour certains minéraux. Nous ne possédons pas de données sur les autres minéraux, mais il se fait présentement des recherches dans ce domaine. Il est intéressant de noter que certains minéraux présents dans l'eau, tels que le calcium, sont facilement absorbés à travers les membranes branchiales. On peut donc maintenir l'homéostasie du calcium chez la truite dans des eaux à très faibles teneurs en calcium. Par conséquent, les besoins en calcium alimentaire ne sont que de 0,2 % du régime. Le phosphore, au contraire, n'étant présent qu'en faible quantité dans la plupart des eaux, doit être ajouté au régime

alimentaire. Étant donné que le phosphore est le premier élément nutritif limitatif de la croissance des végétaux dans la plupart des systèmes aquatiques, il n'est pas surprenant que la principale source de ce minéral soit le régime alimentaire. Sauf pour le calcium, et peut-être aussi pour le magnésium, les éléments minéraux ne se retrouvent probablement pas dans l'eau en quantité suffisamment grande pour qu'on puisse les omettre de la diète.

De récentes études ont mis en évidence une relation directe entre le calcium alimentaire et les niveaux de zinc chez les salmonidés. La présence de calcium dans le régime tend à rendre le zinc inaccessible aux poissons. À des régimes à haute teneur en calcium, on devra ajouter plus de zinc. C'est donc dire que, dans la formulation de diètes pratiques pour la truite, il faudra tenir compte de l'interaction entre le calcium et le zinc alimentaires. On ignore encore si la teneur en calcium de l'eau influe sur le besoin en zinc et peut-être même en autres minéraux essentiels.

On a mené très peu de recherches sur l'interaction entre les minéraux du régime ou de l'eau et les autres éléments nutritifs dans la diète. De récents travaux ont démontré que l'acide ascorbique pouvait

TABLEAU 2. Besoins en vitamines et symptômes de carence chez les salmonidés^a.

Vitamine	Besoins (en mg/kg de ration séchée à l'air)	Symptômes de carence
Soluble dans l'eau		
Thiamine	10	Convulsions, névrite.
Riboflavine	20	Cataractes, anémie, coloration foncée
Niacine	150	Branchies enflées, lésions intestinales, mauvaise coordination, anémie
Acide pantothénique	40	Branchies en massue, anémie, comportement léthargique, prostration
Pyridoxine	10	Anémie, hyperirritabilité, crises, nage erratique
Cobalamine (B ₁₂)	0,02	Anémie, érythrocytes fragmentés et immatures
Acide folique	5	Anémie, caudale fragile, léthargie, branchies pâles
Biotine	1	Anorexie, branchies pâles, haute teneur en glycogène du foie, lésions intestinales
Acide ascorbique	100	Colonne vertébrale difforme, anémie, léthargie, prostration
Inositol	400	Anorexie, mauvaise croissance, mauvais rendement de la nourriture
Choline	3000	Hémorragies, foie gras, lésions intestinales, mauvaise croissance
Soluble dans l'huile		
Vitamine A	2000 U.I./kg de ration	Cataractes, photophobie, anémie, vision amoindrie
Vitamine D ₃	3000 U.I./kg de ration	Léthargie, contractions ressemblant à la tétanie, teneur accrue en lipides dans le foie, le muscle, la carcasse, queue tombante
Vitamine K	80	Hémorragies, branchies pâles, temps d'action de la prothrombine plus long
Vitamine E	30 U.I./kg de ration	Anémie, diathèse exsudative, dépigmentation cutanée et épocardite

^aLa plupart des besoins en vitamines ont été tirés du *National Research Council* (1973).

TABLEAU 3. Symptômes de carence et besoins en minéraux chez les salmonidés^a.

Minéral	Symptômes de carence	Besoins (% de la ration)
Calcium	Mauvaise croissance et faible rendement de la nourriture, mortalité élevée	0,2-1,0
Phosphore	Anomalies du squelette, difformités des os	0,7-0,8 (inorganique)
Magnésium	Calcinose rénale	> 0,006
Fer	Anémie microcytique, hypochromique	N. D. ^b
Zinc	Cataractes, érosion de la nageoire caudale	0,0015-0,003 ^c
Iode	Hyperplasie thyroïdienne, goître	0,6-1,1 ^d
Sélénium	Dystrophie musculaire, diathèse exsudative	0,1-0,35 ^e

^aModifié de Lall (1979).

^bNon déterminé.

^cLes régimes à haute teneur en calcium accroissent considérablement le besoin en zinc.

^dµg/g de ration.

^ePoston et coll. (1976); Hilton et coll. (1980).

facilement influencer l'absorption du cadmium, du cuivre et du fer de l'eau et du fer et du zinc alimentaires. Ces interactions doivent également être prises en considération dans la formulation des diètes pour la truite.

Les besoins, fonctions et interactions des minéraux sur le régime alimentaire et l'eau des poissons devront être davantage étudiés. Certains des problèmes rencontrés dans les établissements de salmoniculture peuvent fort bien résulter d'une carence ou d'un excès de ces substances nutritives dans la diète ou dans l'eau. Des travaux effectués dans notre laboratoire ont démontré que même un surplus négligeable de phosphore pouvait causer une croissance algale excessive. Si l'on veut prévenir l'eutrophisation de l'eau, il faut donc s'assurer que les nourritures de poisson ne contiennent pas de quantités excessives d'éléments nutritifs. Ceci s'applique en premier lieu probablement au phosphore et aux protéines, puisque ce minéral et l'azote sont les premier et second éléments nutritifs limitant la croissance des algues dans l'eau.

Effet de la température ambiante sur les besoins nutritifs

Par température ambiante standard (TAS) on entend la température à laquelle on obtient une croissance et un rendement maximaux de la nourriture. Chez la truite arc-en-ciel, cette température est de 15°C, alors qu'elle est de 10°C pour le saumon.

Comme le démontre la figure 6, la truite arc-en-ciel croît à un rythme beaucoup plus lent à 7°C qu'à 15°C. À des températures continuellement égales ou inférieures à 9°C, l'élevage de la truite ne serait probablement pas rentable.

L'utilisation de diètes de différentes compositions à différentes températures ambiantes a été étudiée au Laboratoire de nutrition des poissons de l'Université de Guelph. On a constaté que les besoins en protéines étaient d'environ 40 % de la diète à des températures de 7 à 18°C. À la température la plus élevée, les poissons croissaient beaucoup plus rapidement et leurs besoins en protéines totales étaient plus élevés; cependant, ils étaient capables de subvenir à ce besoin accru en protéines en consommant plus de nourriture à mesure que s'élevait la température ambiante. Par conséquent, un régime contenant 40 % de protéines était adéquat dans cette gamme de températures.

Par ailleurs, lorsque la teneur en graisses du régime à basse température ambiante fut augmentée, les poissons devinrent extrêmement gras, le dépôt des graisses étant maximal dans la cavité intestinale. Les poissons maintenus à hautes températures ambiantes étaient plus en mesure de tolérer de hautes teneurs en graisses parce qu'ils étaient plus actifs, étant même hyperactifs à des températures dépassant 15°C. Ce besoin accru d'activité semble être surtout un besoin accru d'énergie. Il semble que les besoins en graisses, en pourcentage de la diète, soient plus grands à de hautes températures ambiantes.

On a constaté que la croissance de truites arc-en-ciel à des diètes à haute teneur en hydrates de carbone était beaucoup moindre à de basses températures qu'à de hautes températures ambiantes. Avec de tels régimes alimentaires, le pourcentage de glycogène hépatique et le rapport poids du foie/poids du corps étaient plus élevés à basses températures. Comme les foies contenant beaucoup de glycogène semblent moins aptes à se débarrasser de certains composés inorganiques et organiques, des diètes à haute teneur en hydrates de carbone peuvent présenter certains dangers, encore plus grands à basses températures. Cette découverte comporte d'importantes implications avec des eaux contaminées par plusieurs polluants. Il faudra plus de recherche avant de connaître avec certitude l'exacte tolérance aux hydrates de carbone alimentaires à différentes températures ambiantes. Il faudra aussi faire beaucoup plus de recherche concernant l'effet de la température sur les besoins en macro et micronutriments du régime alimentaire des salmonidés.

Mesures de la digestibilité des produits utilisés dans la formulation des rations

Bien qu'un produit alimentaire particulier puisse, de par sa composition chimique, sembler posséder de bonnes qualités nutritives, il faut en connaître la

digestibilité. Par cette dernière, on entend la facilité avec laquelle les éléments nutritifs sont digérés et assimilés par les truites. On l'exprime en pourcentage. Pour mesurer la digestibilité, on détermine la quantité de substances nutritives éliminées dans les fèces, indiquant par conséquent la quantité absorbée par le poisson. Les mesures de digestibilité touchent ordinairement les protéines, les graisses et l'énergie, paramètres les plus utiles dans la formulation des rations. Il est nécessaire de connaître, dans la formulation des rations tant pratiques qu'expérimentales, la digestibilité des substances nutritives qu'elles contiennent. En outre, lorsqu'il s'agit de déterminer les besoins en substances nutritives, il est essentiel d'en connaître la digestibilité. Il est donc évident, dans la détermination des rations les moins dispendieuses pour la truite, qu'il faille connaître à fond la composition chimique des produits et leur digestibilité pour une espèce particulière, de façon à pouvoir substituer efficacement d'autres produits qui satisferont aux exigences nutritives et économiques.

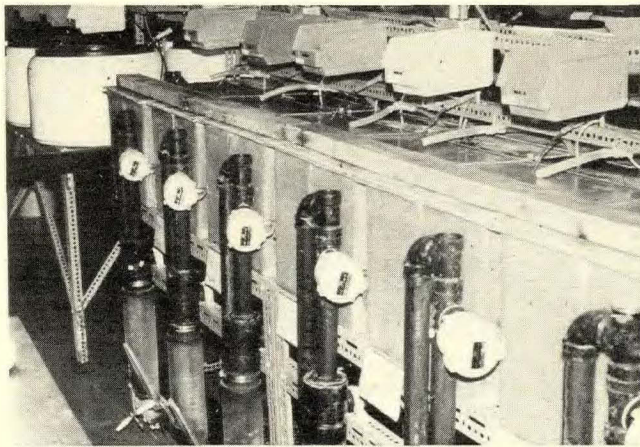


FIG. 4. Bassins de digestibilité d'un laboratoire de poissons au Laboratoire de nutrition des poissons, Département de nutrition, Université de Guelph (photographie C.Y. Cho, OMNR).

On dispose d'analyses chimiques relativement précises des protéines, graisses, hydrates de carbone, minéraux et certaines vitamines présents dans la plupart des produits alimentaires, et on y travaille de façon routinière dans les laboratoires de nutrition. Malgré cela, on ne connaît pas la digestibilité de ces produits pour la truite. Le Département de nutrition de l'Université de Guelph est en train de combler cette lacune.

Les graisses et les protéines des produits alimentaires tels que la farine de poisson et la farine de soya, sont ordinairement très digestibles (tableau 4), tandis que les hydrates de carbone, tel l'amidon cru, ne sont pas efficacement digérés.

La détermination de la teneur en énergie métabolisable (EM) d'un produit alimentaire comporte la mesure, non seulement des pertes de substances nutritives dans les fèces, mais aussi celles des déchets azotés dans l'urine ou par les branchies. Comme il n'y

TABLEAU 4. Coefficients de digestion apparente de quelques produits alimentaires canadiens^a.

Produit alimentaire	Matière sèche	Pourcentage		
		Énergie	Graisses	Protéines
Farine de hareng (70 % P.C.)	88	95	90	89
Farine de plume (hydrolysée)	79	75	69	63
Farine de soya (50 % P.C.)	70	77	90	96
Son de blé	30	41	90	96
Maïs moulu	32	38	86	91
Amidon (maïs)	-3	13	—	—

^aCho et Slinger (1977).

a pas de pertes, dans l'urine et par les branchies, de graisses et d'hydrates de carbone, ces pertes ne touchent que la portion protéines de la diète, c.-à-d. que l'EM et l'énergie digestive (ED) des fractions graisses et hydrates de carbone des ingrédients ou des rations mixtes sont identiques. Des méthodes ont été mises au point permettant de recueillir quantitativement les pertes par les branchies et dans l'urine chez la truite arc-en-ciel, de sorte qu'il est possible de déterminer chez cette espèce les valeurs de l'EM des produits alimentaires. On a besoin de plus de recherche en vue de déterminer l'EM des produits disponibles au Canada avant de pouvoir appliquer le système à la formulation des rations de truites dans ce pays.

Formulation, transformation et contrôle de la qualité des rations

FORMULATION DES RATIONS

La section suivante traite du type, de la qualité et de la quantité des produits utilisés dans la formulation des rations de départ, de production et de stock reproducteur de truites.

Diètes de départ (Départ + granules 1 et 2)

Ces diètes devraient contenir un minimum de 45 % de protéines crues avec un minimum de 45 % de farine de poisson, des niveaux de graisses crues compris entre 15 et 20 %, des fibres crues ne dépassant pas 4 % et une teneur en eau pas plus élevée que 10 %. Donner ces rations jusqu'à ce que les poissons atteignent 1 g en poids ou que l'on obtienne un taux de 450 poissons/lb.

Diètes de production (granules nos 3, 4 et 5, boulettes de 3/32, 3/16 et 1/4 po)

Les diètes de production devraient contenir un minimum de 40 % de protéines crues avec un minimum de 24 % de farine de poisson, un niveau de graisses crues de 10-15 %, un niveau de fibres crues ne dépassant pas 5 % et une teneur en eau au moment de la fabrication pas plus élevée que 10 %.

Formulation de rations pour salmonidés

	Pourcentage de la ration		
	Départ	Production	Stock reproducteur
A. Farine de poisson (hareng, anchois, maquereau, capelan) —minimum de protéines crues 65 % —stabilisée à l'éthoxyquine —niveau maximal de graisses 12 % —humidité maximale 10 % —teneur maximale en sel ne dépassant pas 3 % —maximum de cendres 15 %	45-50	25-35	30-35
B. Son de blé —minimum de protéines crues 16 % —maximum de fibres crues 9,5 %	0-15	10-30	15-35
C. Farine de gluten de blé —minimum de protéines crues 80 %	0-3	0-2	0-1
D. Farine de soya —minimum de protéines crues 48 %	5-10	5-15	5-20
E. Farine de gluten de maïs —minimum de protéines crues 60 %	0-10	0-10	0-10
F. Farine de luzerne déshydratée —minimum de protéines crues 17 % —maximum de fibres crues 27 %	—	0-3	0-5
G. Petit-lait séché —minimum de protéines crues 13 % —partiellement dé lactosé	0-5	0-3	0-5
H. Levure de bière séchée —45 % de protéines crues	0-5	0-5	0-5
I. Solubles de distillation de maïs séchés —minimum de protéines crues 27 %	0-10	0-10	0-10
J. Farine de sous-produits animaux —Farine de plume hydrolysée, minimum de protéines crues 85 % —Farine de sous-produits de volaille, min. de protéines crues 60 % —Farine de sang, séchage annulaire ou particulaire, min. de protéines crues 80 % —Farine de viande, min. de protéines crues 50 %	0-5 0-5 0-5 0-5	0-7 0-7 0-7 0-7	0-7 0-7 0-7 0-7
K. Supplément de graisses —Huile d'animaux marins (saumon, capelan, hareng, maquereau, etc.) —Huile végétale (huile de soya, huile de canola) —Graisses animales, toutes les huiles et graisses à être stabilisées	5-15 0-5 0-5	5-15 0-8 0-5	5-15 0-5 0-5
L. Mélange de vitamines	2-4	2-4	2-4
M. Mélange de minéraux	2-4	2-4	2-4

Diètes de stock reproducteur (boulettes de 1/4 ou 1/2 po)

Les diètes de stock reproducteur devraient contenir un minimum de 35 % de protéines crues avec une teneur en farine de poisson d'un minimum de 30 %, un niveau de graisses crues de 10-15 % et un niveau de fibres crues ne dépassant pas 5 %. La teneur en eau au moment de la fabrication ne devrait pas excéder 10 %.

Certains éleveurs utilisent diverses modifications de ces diètes. Par exemple, quelques-uns obtiennent de bons résultats en donnant à leurs alevins au stade de nage vers le haut des granules n° 1, plutôt qu'une diète de départ, pendant environ 1 semaine comme c'était la pratique courante. En outre, il est difficile et coûteux pour les manufacturiers de nourritures de fabriquer des boulettes de 3/32 po et, dans bien des cas, on leur substitue une granule de grosseur n° 5. Les boulettes de 1/4 po peuvent être utilisées avec le stock de production plus âgé aussi bien que pour le stock reproducteur, car il y a peu d'avantages à employer des boulettes de 1/2 po.

Les diètes de départ, de production et de subsistance sont un mélange de produits animaux, végétaux et marins (poissons). Comme nous l'avons énoncé dans l'introduction, les spécialistes de la nutrition des poissons s'efforcent de trouver les formules les moins dispendieuses qui assureront en tout temps une rentabilité optimale de production. Présentement, le régime alimentaire doit contenir une proportion significative de farine de poisson pour assurer une croissance optimale et un emploi économique de la nourriture. Il est à espérer qu'à l'avenir, des recherches plus poussées sur la formulation des rations pratiques permettront d'éliminer la dépendance d'une bonne partie des produits marins, si, du point de vue économique, il y a intérêt à le faire. Des liants, tels que le lignosol, peuvent être utilisés dans ces diètes; les recherches menées à Guelph ont cependant démontré que le son de blé et la farine de gluten de blé sont non seulement d'excellents liants mais aussi contribuent à la valeur nutritive de la nourriture. On ajoute ordinairement aux rations de truites des vitamines et des minéraux mélangés à l'avance. Bien que les ingrédients des régimes contiennent eux-mêmes des vitamines et des minéraux, on devrait ajouter des suppléments de ces micronutriments afin d'assurer des niveaux optimaux de ces substances. Certaines vitamines, telles que l'acide ascorbique, sont thermolabiles et sont détruites lors de la transformation et de l'entreposage. Elles peuvent également se perdre par lixiviation dans l'eau au moment des repas. Les diètes contiennent de telles vitamines en surplus suffisant pour compenser les pertes anticipées (tableau 5).

TRANSFORMATION

Une ration sèche destinée aux salmonidés doit être mise en boulettes ou en miettes de façon à

TABLEAU 5. Diètes de salmonidés—Formules de l'Université de Guelph^a.

Ingrédients	Nourriture internationale n°	Quantité dans la diète (kg/100 kg)		
		Départ	Croissance	Stock reproducteur
Farine de poisson, hareng (70 % P.C.)	5-20-968	44	24	34
Farine de plume hydrolysée (85 % P.C.)	5-03-795	5	5	5
Farine de sous-produits de volaille (58 % P.C.)	5-03-798	5	7	6
Farine de soya (49 % P.C.)	5-20-638	8	10	8
Farine de gluten de maïs (60 % P.C.)	5-09-318	7	9	7
Levure de bière séchée (45 % P.C.)	7-05-527	5	5	5
Farine de luzerne déshydratée (17 % P.C.)	1-00-023	—	—	4
Son de blé (18 % P.C.)	4-05-205	10	27,6	21
Farine de gluten de blé (80 % P.C.)		3	—	—
Mélange de vitamines		2	2	2
Mélange de minéraux		1	1	1
Huile de hareng ou de saumon (non renforcée de vitamine A et D et stabilisée) ^b		10	8	8

^aFormules de diètes de l'Université de Guelph (GRT) (1980).

^bUn mélange antioxydant recommandé pour la stabilisation de l'huile en est un qui contient du B.H.T. 20 %, du B.H.A. 20 %, du citrate monoglycérade 10 % et un porteur d'huile végétale 50 %. Ce mélange est ajouté à l'huile à un taux de 0,05 %. On peut le remplacer par de l'éthoxyquine au taux de 0,05 % dans l'huile.

permettre l'ingestion d'une quantité adéquate de nourriture et à prévenir le salissage de l'eau. Une transformation inadéquate annulerait les effets d'ingrédients de haute qualité dans la formulation des nourritures à truites. Malgré cela, on ne s'est pas suffisamment préoccupé de la transformation de ces nourritures en termes d'effets sur les rations et sur la truite. On utilise les mêmes méthodes que dans la préparation d'aliments pour animaux domestiques, alors que les nourritures à poissons demandent plus de soins. Un des problèmes majeurs est la production de nourritures à haute teneur en particules fines appelées « fines ». Parce que les nourritures à poisson sont riches en huiles ou en graisses, il est difficile de produire des boulettes ou des miettes durables. Il faut tenir compte de nombreux facteurs dans le mélange ou la transformation des nourritures à truite. Les niveaux nutritifs d'une diète peuvent être influencés par certaines variables physiques, telles que la pression de vapeur et la température de transformation, le temps et la température de séchage, de même que la teneur en eau de la diète pendant et après la transformation. Le traitement pourra modifier l'accessibilité

Vitamines et minéraux mélangés à l'avance pour diètes de salmonidés^a

Mélange de vitamines :	(g)
Vitamine A (1000 U.I./g) (acétate ou palmitate)	800,0
Vitamine D ₃ (1000 U.I./g)	50,0
Vitamine E (1000 U.I./g) (d1-alpha-tocophéryl acétate)	15,0
Vitamine K (bisulfite sodique de ménadione)	2,7
Thiamine HCl	5,0
Riboflavine	4,0
Pantothénate de calcium-D	15,0
Biotine	0,05
Acide folique	1,0
Chlorure de choline (50 %) ^b	400,0
Vitamine B ₁₂ (0,1 %)	3,0
Niacine	25,0
Pyridoxine HCl	3,0
Acide ascorbique ^b	40,0
Éthoxyquine	8,0
DL-méthionine	200,0
Faire l'appoint à 2 kg avec du son de blé	+
Total (g)	2000,0

Mélange de minéraux :

Sel iodé (99 % NaCl, 0,015 % I)	300,0
Iodure de potassium (KI) (76 % I)	1,0
Sulfate manganéux (MnSO ₄ · H ₂ O) (25 % Mn)	35,0
Sulfate ferreux (FeSO ₄ · 7H ₂ O) (21 % Fe)	30,0
Sulfate de cuivre (CuSO ₄ · 5H ₂ O) (25 % Cu)	10,0
Sulfate de zinc (ZnSO ₄ · H ₂ O) (36 % Zn)	40,0
Faire l'appoint à 1 kg avec du son de blé	+
Total (g)	1000,0

^aOn devrait diluer davantage avant d'incorporer au régime.

^bDevrait être ajouté au régime sous forme de mélange.

des hydrates de carbone et des protéines pour la truite et aussi détruire certaines vitamines.

Les points les plus importants à considérer dans la fabrication des nourritures à truites sont les suivants :

Considérations générales

Les miettes de départ sont extrêmement petites ; c'est pourquoi il faut moulinier finement les ingrédients afin d'obtenir un mélange homogène.

Tous les ingrédients devraient être mélangés et pulvérisés dans un broyeur à marteau. Pour toutes les rations, la totalité des ingrédients devrait passer à travers un tamis de grandeur de maille 45 (normes canadiennes) qui équivaut à 354 µm ou 0,354 mm de diamètre (1 mm = 1 000 µm).

Réduction en boulettes — Dans la fabrication de boulettes, le mélange devrait être traité à la vapeur vive et sèche pour obtenir la texture voulue. Les boulettes doivent être suffisamment molles pour que les poissons puissent les consommer et les retenir, tout en étant assez fermes pour conserver leur cohésion, avec perte minimale de fines au cours de la manutention et du transport. Avec certaines formulations, il peut être nécessaire d'ajouter un liant.

Grosseurs standard des boulettes

2,35 mm (3/32 po) long × 2,35 mm (3/32 po) diamètre
3,1 mm (1/8 po) long × 3,1 mm (1/8 po) diamètre
4,7 mm (3/16 po) long × 4,7 mm (3/16 po) diamètre
6,25 mm (1/4 po) long × 6,25 mm (1/4 po) diamètre

Miettes ou granules

La fabrication de miettes ou de granules (le tableau 6 en donne les dimensions) comporte le broyage de boulettes, suivi du passage au tamis pour obtenir la taille désirée. Les miettes de départ et les miettes nos 1 et 2 devraient être broyées à partir de boulettes de 2,35 ou 3,1 mm. Les miettes nos 3 et 4 devraient être broyées à partir de boulettes de 3,1 mm.

Les rations terminées devraient être séparées selon la grosseur et ne devraient pas contenir plus de 15 % de granules plus grosses et (ou) plus petites. Afin de modifier le moins possible la formulation proposée, les fines devraient toujours circuler. Les fines d'une ration ne devraient jamais être ajoutées à une ration de grosseur différente. La teneur en fines (définies comme étant les particules passant à travers un tamis de 420 µm) ne devrait pas dépasser 3 % d'une ration à l'usine du manufacturier.

En ajoutant l'huile ou les graisses à la ration, il faudra ne pas dépasser 3 % du supplément de graisses au moment du mélange. La balance sera vaporisée sur les miettes ou les boulettes après la fabrication.

On devra refroidir les boulettes et les miettes à une température juste au-dessus de la température de l'air ambiant et les sécher à une teneur en eau de 10 % ou moins avant de les mettre en sacs ou de les charger pour livraison en vrac.

Les sacs devraient porter des étiquettes imprimées indiquant le numéro des miettes ou la grosseur des boulettes, l'identification de la ration et la date de fabrication. Des étiquettes de couleurs différentes aideront à éviter des erreurs dans la distribution des rations.

Types de transformation

Boulettes flottantes — procédé par extrusion — On injecte dans la ration de la vapeur à haute pression (5-7 kg/cm²), et la teneur en eau de la ration s'élève à approximativement 20 % (v/p). À ce point, un relâchement soudain de la pression cause l'emprisonnement de poches d'air dans les composants végétaux de la diète. Les boulettes sont ensuite séchées par

passage d'un tapis roulant au-dessus d'un réchaud ou par jets de gaz à 121°C. Les boulettes pressées ou dilatées sont très légères et flottent facilement à la surface de l'eau. Les truites, qui se nourrissent surtout à vue et en surface, semblent préférer les boulettes flottantes. Ces dernières ont en outre l'avantage, quand la nourriture est distribuée à la main, d'éviter un surplus de nourriture. De plus, la boulette pressée est très durable, ce qui l'empêche de se briser, avec production de finés et gaspillage qui en résulte. Les hautes températures utilisées dans ce procédé de transformation (135-155°C) semblent rendre les hydrates de carbone de la diète plus accessibles, causant une augmentation de la teneur en glycogène du foie et du rapport poids du foie/poids du corps. En outre, on ne peut faire flotter les nourritures en granules ou très petites boulettes. Des expériences à Guelph indiquent qu'avec des rations pressées, le taux de croissance ralentit, mais que le rendement de la nourriture augmente, comparativement à des boulettes régulières préparées à la vapeur. Des tests sur la fonction hépatique donnent à penser que le procédé par extrusion diminue la capacité du foie à se débarrasser de certains composés inorganiques et organiques.

TABLEAU 6. Grosseurs standard des granules

Grosseur		Tamis (normes canadiennes ^a)	
		Ouverture	N°
Départ	Ne traverse pas	420 µm	40
	Doit traverser	595 µm	30
Granule n° 1	Ne traverse pas	595 µm	30
	Doit traverser	841 µm	20
Granule n° 2	Ne traverse pas	841 µm	20
	Doit traverser	1,19 mm	16
Granule n° 3	Ne traverse pas	1,19 mm	16
	Doit traverser	1,68 mm	12
Granule n° 4	Ne traverse pas	1,68 mm	12
	Doit traverser	2,38 mm	8
Granule n° 5	Ne traverse pas	2,38 mm	8
	Doit traverser	3,36 mm	6

^aLes normes sont les mêmes aux États-Unis.

Réduction en boulettes à la vapeur — Présentement, la plupart des nourritures à poissons sont préparées de cette manière. Selon cette méthode, la vapeur est introduite à une pression d'environ 0,5-3,5 kg/cm² dans la chambre de conditionnement où elle se mélange à la nourriture jusqu'à ce que la température soit de 70-80°C et sa teneur en eau d'environ 15% (v/p). La nourriture demeure dans la chambre de conditionnement pendant environ 5-6 secondes avant d'être repoussée hors de la matrice de réduction. Il existe différentes grosseurs de matrices. Ce type de boulettes coulera au fond au moment du repas, de sorte qu'il y a danger de suralimentation. Cependant, le personnel expérimenté ne donne de la nourriture qu'en proportion de l'appétit, ou seulement quand les poissons se nourrissent activement,

de façon à éviter un gaspillage excessif. Ce gaspillage, mise à part toute considération économique, favorise la croissance bactérienne et cause une élévation de la demande biologique en oxygène (DBO), ce qui peut nuire à la santé des poissons.

Réduction en boulettes à froid — Ce type de transformation n'est pas communément utilisé dans la production commerciale des nourritures, mais on l'utilise occasionnellement dans des travaux de recherche sur la nutrition des poissons. La pression de vapeur et la température sont considérablement réduites dans un tel procédé; cependant, la teneur en eau est élevée à 20% (v/p). Les boulettes fabriquées à froid sont moins durables que celles préparées à la vapeur ou pressées. Il y a donc augmentation marquée du gaspillage.

Boulettes humides — Ces boulettes contiennent diverses quantités de farine de poisson, fraîche ou congelée, en purée, non cuite, avec certains ingrédients secs. La diète est préparée selon la méthode décrite pour les boulettes à froid, et la teneur en eau est d'environ 50% (v/p). Ces boulettes doivent être congelées jusqu'au moment de leur utilisation. Une manutention et un entreposage inadéquats peuvent causer un sérieux déséquilibre de certaines vitamines et graisses, et accroître la contamination bactérienne. Bien que la truite semble réagir favorablement à de telles diètes, l'utilisation de celles-ci avec la truite arc-en-ciel est limitée : d'abord on doit les conserver sous réfrigération et de plus, elles présentent des dangers de contamination bactérienne et d'introduction de maladies.

CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES RATIONS ET DE LEURS INGRÉDIENTS

Les manufacturiers de nourritures à poissons devront suivre les lignes directrices suivantes en ce qui a trait au contrôle de la qualité de leurs produits. Ces spécifications devront être strictement observées afin d'assurer aux nourritures une qualité alimentaire optimale et éviter de sérieuses conséquences, telles que mortalités massives de poissons dues à des ingrédients ou à une fabrication de mauvaise qualité.

1) Contrôle de la qualité des huiles alimentaires pour poissons

- 1) Valeur de peroxyde (V.P.) <10 m. éq. peroxyde par kg
- 2) Valeur d'acide thiobarbiturique (A.T.B.) <70 mg de malonaldéhyde par kg
- 3) Libres de solides en suspension qui pourraient boucher le vaporisateur
- 4) Faible teneur en eau : <1 % humidité + substances volatiles
- 5) Faible teneur en azote — moins de 1 %
- 6) Le profil des acides gras devrait indiquer un rapport élevé des acides $\omega 3/\omega 6$ (les meilleures huiles proviennent de poissons capturés au printemps, les moins bonnes en automne)

- 7) Libres d'acides gras cyclopropénoïdes, d'acide érucique et ne contenant pas plus de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ d'hydrates de carbone chlorés
- 8) Devraient être stabilisées par un liquide anti-oxydant ou un mélange de celui-ci — 500 mg/kg . Une huile de poisson adéquate, une fois désaérée et mélangée avec un anti-oxydant par barbotage d'azote gazeux, demeurera stable aussi longtemps qu'un an lorsque entreposée sous azote ou dans des récipients hermétiquement fermés.

2) Contrôle de la qualité des farines de poisson

- 1) Devraient être stabilisées avec éthoxyquine liquide à l'usine du manufacturier — 200 mg/kg
- 2) Entreposées à l'usine du manufacturier pendant un maximum de 3 mois
- 3) Minimum de protéines crues de 68 % pour les diètes de départ et de 65 % pour les autres
- 4) Digestibilité de la pepsine d'un minimum de 92,5 %
- 5) Azote ammoniacal de moins de 0,2 %
- 6) Minimum de graisses crues, 8 % (maximum suggéré, 11 %)
- 7) Teneur maximale en chlorure de sodium, 3 %. Maximum de cendres totales, 15 %
- 8) Maximum d'hydrates de carbone chlorés, $1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$
- 9) Doivent être finement moulues ($350 \mu\text{m}$ ou moins).
S'applique à tous les ingrédients. Les miettes de départ doivent passer à travers un tamis de $595 \mu\text{m}$ et être retenues par un tamis de $420 \mu\text{m}$.
- 10) Libres de moisissures — ne doivent pas former de croûte ni être chauffées.

3) Contrôle de la qualité (diètes mélangées)

- 1) Humidité — ne doit pas dépasser 10 % au moment de la fabrication
- 2) Protéines crues — l'étiquette doit mentionner une garantie de minimum
- 3) Graisses crues — l'étiquette doit mentionner une garantie de maximum
- 4) Fibres crues — l'étiquette doit mentionner une garantie de maximum
- 5) Cendres totales — calcium, phosphore, sel, magnésium
- 6) Traces de minéraux — iode, manganèse, zinc, cuivre, fer
- 7) Profil des amino-acides
- 8) Profil des acides gras extraits à l'éther — mesures de la peroxydation des graisses
- 9) Tests de métaux lourds et d'hydrates de carbone chlorés
- 10) Dosages de l'acide ascorbique, de la vitamine E, de la biotine, de la vitamine A, etc.
- 11) Date de fabrication indiquée sur le sac.

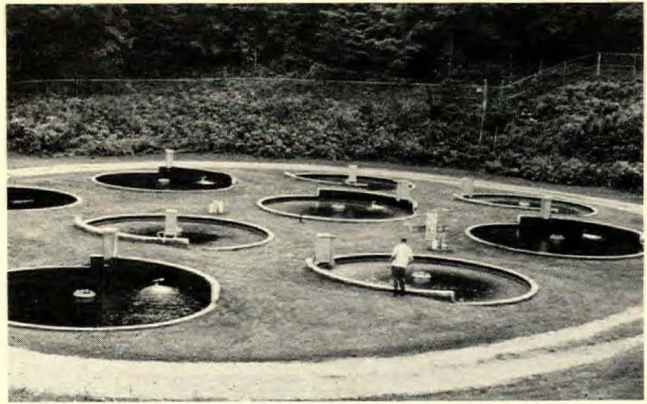


FIG. 5. Établissement de pisciculture de Normandale, Ontario Ministry of Natural Resources, Turkey Point (Ontario) (photographie C.Y. Cho, OMNR).

Techniques et taux d'alimentation

TECHNIQUES D'ALIMENTATION

Le moment le plus approprié pour commencer l'alimentation exogène de la truite arc-en-ciel d'élevage est celui où les réserves vitellines ont été complètement absorbées. Il faudra se rappeler qu'une quantité considérable de vitellus pourra demeurer dans la cavité abdominale après que tout signe extérieur visible de vitellus ait disparu. Le début de l'alimentation semble synchronisé avec l'histogénèse de la muqueuse oro-pharyngienne, particulièrement les cellules muqueuses et les bourgeons gustatifs. Ces observations ont été faites à une température ambiante de l'eau de 10°C et la négligence des poissons à se nourrir au jour 37 semble résulter du mauvais développement de la muqueuse oro-pharyngienne. Si on commence l'alimentation trop tôt, l'environnement deviendra pollué et présentera certains dangers; cependant, il est souhaitable de commencer l'alimentation aussitôt que les premiers poissons nagent vers le haut. On devra donner aux alevins au stade de nage vers le haut une ration légèrement en excès, de façon que la nourriture soit visible sur le fond de l'auge ou du bassin.

La température ambiante influence notablement la consommation de nourriture, très faible à des températures inférieures à 5°C et augmentant graduellement jusqu'à une température d'environ 18°C . Les alevins au stade de nage vers le haut de certaines espèces de salmonidés sont peu disposés à consommer une nourriture sèche à de très basses températures. C'est pourquoi il est parfois nécessaire de commencer avec du foie haché qu'on remplacera graduellement par de la nourriture sèche. Des températures très basses ou très élevées causent un stress énorme chez les poissons.

Le contenu énergétique de la nourriture est un autre facteur influant sur l'ingestion. Tout comme les

animaux terrestres, les poissons visent à satisfaire leur besoin en énergie. La consommation de nourriture diminue dans une eau polluée, par exemple en présence d'une abondante croissance algale. D'autres paramètres de qualité de l'eau, ainsi que des facteurs physiques tels que taux d'échange d'eau, type et taille des installations d'élevage, densité et état physiologique des poissons, agissent sur la consommation de nourriture. Il importe de maintenir les bassins ou les auges propres en tout temps.

TAUX D'ALIMENTATION

On exprime communément le taux d'alimentation des salmonidés en pourcentage du poids corporel nourri par jour. Comme l'indique le tableau 7, les petits poissons requièrent en nourriture un plus grand pourcentage de leur poids corporel que les poissons plus gros. Ce tableau met également en évidence l'effet marqué de la température ambiante sur les besoins en nourriture. La nourriture, en pourcentage du poids corporel en période de croissance, peut varier entre 0,5 et 10 %, selon plusieurs facteurs. Parmi les anciens guides d'alimentation, beaucoup étaient fondés sur des diètes à niveaux d'énergie très inférieurs à ceux des diètes modernes. Les niveaux d'alimentation suggérés dans ces guides sont donc beaucoup trop élevés.

La distribution de la nourriture, tant automatique que manuelle, donnera de bons résultats si l'opérateur est expérimenté. La fréquence des repas est importante et les alevins au stade de nage vers le haut doivent être nourris avec de petites quantités 20-24 fois par jour, la fréquence diminuant graduellement jusqu'à une à trois fois par jour à mesure que le poisson grandit. Certains éleveurs préfèrent utiliser une période d'éclairage de 24 h par jour pendant plusieurs jours au départ, jusqu'à ce que les poissons prennent régulièrement de la nourriture sèche. La

grosesse, la dureté et la texture des particules des aliments, ainsi que la position de la nourriture par rapport à la taille du poisson sont d'importantes considérations. Les très petits poissons ne se déplaceront que sur de courtes distances pour atteindre leur nourriture, tandis que les grands se déplaceront librement dans toute l'enceinte.

La plupart des programmes d'alimentation ne sont que des guides approximatifs sur la quantité de nourriture à donner à des poissons de longueur ou de poids déterminés. Selon les conditions du marché des ingrédients qui entrent dans les rations, les manufacturiers changent la composition de la formule et, partant, la saveur. De plus, lorsque des programmes ont été établis expérimentalement avec une nourriture particulière, ce fut dans des conditions à peu près idéales et avec des truites arc-en-ciel. Ces programmes ne s'appliqueraient donc pas à d'autres salmonidés élevés dans des conditions différentes. Les pisciculteurs devraient connaître le taux de croissance et le rendement de nourriture adéquats à une température ambiante donnée, pour leur lignée et espèce de poisson, pour ensuite adopter un programme d'alimentation qui se rapprocherait de ces normes. À défaut de telles normes, on risque d'obtenir une croissance et un rendement de nourriture bien au-dessous du potentiel des poissons. La figure 6, par exemple, montre des courbes de croissance satisfaisante chez une lignée de truites arc-en-ciel élevées à 7, 11 et 15°C. Pour y arriver, il faut qu'à chaque repas, les poissons soient nourris jusqu'au point où ils cessent de saisir activement la nourriture. Cela signifie qu'il faut consacrer beaucoup plus de temps à nourrir les poissons à de froides températures ambiantes qu'à des températures normales ou plus élevées. Il existe toutefois des situations où les poissons ne doivent pas être nourris selon leur appétit. Par exemple, si la température ambiante monte assez rapidement sur une période de quelques jours, une augmentation soudaine

TABLEAU 7. Guide d'alimentation des poissons^a.

Nombre de poissons par kilogramme	Grosesse des boulettes	Température de l'eau (°C)									
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
% poids corporel par jour											
2600	1	2,9	3,4	3,7	3,9	4,6	4,8	5,2	5,8	6,0	6,4
1300	1	2,8	3,3	3,6	3,8	4,4	4,7	4,9	5,6	5,9	6,1
700	2	2,7	3,0	3,3	3,6	4,1	4,5	4,8	5,1	5,6	5,8
400	2	2,6	2,8	3,0	3,2	3,9	4,0	4,6	4,9	5,0	5,1
200	3	2,3	2,6	2,8	3,0	3,6	3,8	4,3	4,5	4,6	4,7
130	3-4	2,1	2,3	2,5	2,8	3,3	3,6	3,7	3,9	4,0	4,1
90	4	1,9	2,0	2,1	2,4	2,7	2,9	3,0	3,2	3,6	3,8
40	3/32	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,4	2,6	3,0	3,2
30	3/32	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,2	2,8	2,9
20	1/8	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,4	2,5
15	1/8	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,4
10	3/16	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
5	3/16	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
2	1/4	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6

^aTaux d'alimentation fondés sur une seule lignée de truites arc-en-ciel nourries avec des rations sèches contenant environ 3 000 kcal d'énergie digestible par kg.

d'ingestion de nourriture correspondant à un plus grand appétit présenterait un réel danger. Dans un étang, une combinaison de jours sombres sans photosynthèse, d'une élévation de la température de l'eau qui diminue la capacité de charge d'oxygène et enfin, d'une biomasse abondante de poissons, nécessite une diminution du volume de nourriture offerte, même si les poissons semblent vouloir se nourrir avidement. Dans de telles conditions, une suralimentation abaisserait le niveau d'oxygène dissous à $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ou moins à long terme et il en résulterait une mortalité excessive. Il faudrait vérifier fréquemment les variations journalières de la teneur en oxygène dissous dans l'eau et spécialement après les repas. Cette information servirait à déterminer le temps, la quantité et la fréquence des repas.

Quel que soit l'appétit des poissons, les changements dans la quantité de nourriture offerte devraient toujours être graduels, sur une période de plusieurs jours. Il en est de même quand on passe d'une grosseur de particules de nourriture à la grosseur suivante : les deux nourritures devront être mélangées pendant quelques jours dans diverses proportions avant le changement complet. Un avantage des boulettes flottantes par rapport aux boulettes réduites à la vapeur est que la présence des premières à la surface indique le moment où il faut cesser la distribution de nourriture. Pour que les poissons conservent un bon appétit, il est mieux de leur offrir à chaque repas un peu moins plutôt qu'un peu trop de

nourriture. À long terme, il y aura plus de nourriture de consommée et les taux de croissance seront plus élevés.

La plupart des salmonidés devraient être choisis comme stock reproducteur à l'âge de 2-3 ans. À ce moment-là, on devra remplacer la diète de croissance ou de production par une diète de stock reproducteur. Il n'est pas nécessaire de nourrir un stock reproducteur plus d'une fois par jour, et l'alimentation devrait cesser quand les poissons cessent de se nourrir activement. Dans les établissements de pisciculture en eau froide ($5-7^{\circ}\text{C}$), on obtient les meilleurs résultats en cessant complètement l'alimentation des reproducteurs environ 4-6 semaines avant la fraie puis en rétablissant graduellement la ration entière sur une période de 2-3 semaines après la fraie. Dans une eau plus chaude ($9-12^{\circ}\text{C}$), les reproducteurs devraient être nourris jusqu'à environ 2 semaines avant la fraie. Dans ce cas, l'alimentation devrait être réduite graduellement sur une période de 3-4 semaines avant l'arrêt complet. Ici encore, les poissons devraient retourner graduellement à une ration complète sur une période d'environ 3 semaines après la fraie. Une suralimentation avant la fraie diminue la performance reproductrice.

Remerciements

Nous désirons remercier le professeur C. Young Cho qui nous a offert son appréciation de cette publication spéciale et sa coopération dans la poursuite des recherches qui ont produit l'information qui y est présentée. Nos remerciements s'adressent également à M. Chris Armstrong, anciennement de l'*Ontario Ministry of Natural Resources*, et au Dr Ian Pritchard du ministère des Pêches et des Océans, à Ottawa, qui, pendant longtemps ont suivi et appuyé le programme de nutrition de l'Université de Guelph. Nous avons apprécié également l'appui du Dr H.H. Draper et du Dr Keith Ronald, du Collège des sciences biologiques de l'Université de Guelph. L'aide de l'*Ontario Ministry of Agriculture and Food*, du Conseil national de recherches du Canada (programme de recherche en génie et en sciences naturelles), du ministère des Pêches et des Océans (anciennement Service des sciences de la mer, ministère de l'Environnement) et de l'*Ontario Ministry of Natural Resources, Sports Fisheries Branch*, accordée au programme de recherche du Département de nutrition a été reçue avec gratitude et nous voulons remercier ces organismes. Enfin, nos remerciements vont au ministère des Pêches et des Océans qui a défrayé le coût de cette publication.

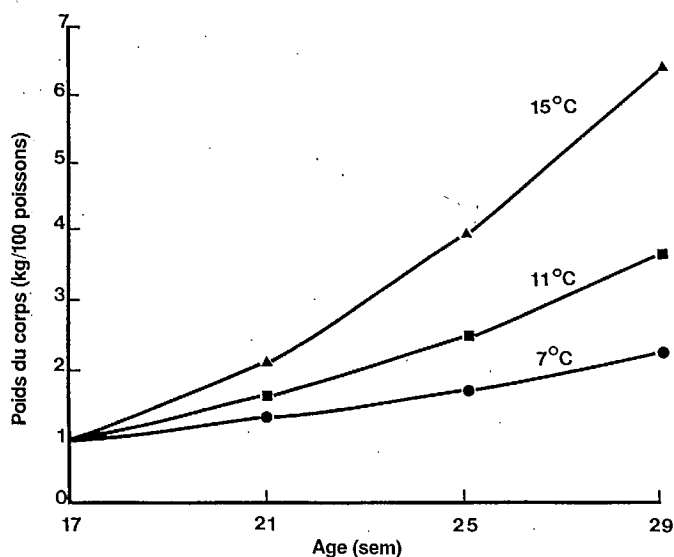


FIG. 6. Croissance de la truite arc-en-ciel à différentes températures (Slinger et Cho 1978).

Lectures choisies

TRAITÉS GÉNÉRAUX

- BARDACH, J.E., J.H. RYTHER ET W.O. MCLARNEY, 1972. *Aquaculture: The farming and husbandry of freshwater and marine organisms*. Wiley - Interscience, New York, Londres, Sydney et Toronto, 868 p.
- HALVER, J.E. [ÉD.], 1972. *Fish nutrition*. Academic Press, New York, NY.
- HALVER, J.E. ET K. TIEWS [ÉD.], 1979. *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. I et II. Proc. World Symp. FAO - EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne, 20 - 23 juin 1978.
- HOAR, W.F., J.R. RANDALL ET R. BRETT [ÉD.], 1979. *Fish physiology*. Academic Press, New York, NY.

BESOINS EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1968. *Recommended dietary allowances (by) National Research Council*. 7^e éd., Nat. Acad. Sci., Washington, DC.
1973. *Nutrient requirements of trout, salmon and carfish*. 1^{re} éd., Nat. Acad. Sci., Washington, DC.
1977. *Nutrient requirements of warmwater fishes*. 1^{re} éd., Nat. Acad. Sci., Washington, DC.
1978. *Nutrient requirements of laboratory animals (Rat, mouse, gerbil, guinea pig, hamster, vole, fish)*. 3^e éd., Nat. Acad. Sci., Washington, DC.
1981. *Nutrient requirements of salmonids*. Nat. Acad. Sci., Washington, DC, (Sous presse).
- CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA, 19xx. *Canadian bulletin on nutrition — Dietary standards for Canada*. Imprimeur de la Reine, Ottawa, (Ontario).

MISES AU POINT GÉNÉRALES — BESOINS DES POISSONS EN PROTÉINES

- COWEY, C.B., 1975. Aspects of protein utilization by fish, *Proc. Nutr. Soc.*, 34 : 57 - 63.
1979. Protein and amino acid requirements of finfish, p. 3 - 16, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. I. Proc. World Symp. FAO - EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.
- COWEY, C.B. ET J.R. SARGENT, 1979. Nutrition, p. 1 - 59, dans W.F. Hoar, J.R. Randall et R. Brett [éd.], *Fish physiology*. Academic Press, New York, NY.
- MERTZ, E.T., 1969. Amino Acid and protein requirements of fish, p. 233 - 244, dans O.W. Neuhaus et J.E. Halver [éd.], *Fish in research*. Academic Press, New York, NY.
1972. The protein and amino acid needs, p. 105 - 143, dans J.E. Halver [éd.], *Fish nutrition*. Academic Press, New York, NY.
- OGINO, C., 1980. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids, *Bull. Jap. Soc. Sci. fish.*, 46(2) : 171 - 174.

MISES AU POINT GÉNÉRALES — BESOINS DES POISSONS EN LIPIDES

- CASTELL, J.D., 1979. Review of lipid requirements of finfish, p. 59-84, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. I. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

- COWEY, C.B. ET COLL., 1976. Studies on the nutrition of marine flatfish. The effect of different dietary fatty acids on the growth and fatty acid composition of turbot (*Scophthalmus maximus*), *Br. J. Nutr.*, 36 : 479-486.
- COWEY, C.B. ET J.R. SARGENT, 1977. Lipid nutrition in fish (Minireview), *Comp. Biochem. Physiol.*, 57B : 269-273.
- SARGENT, J.R., 1976. The structure and function of lipids in marine organisms, p. 149-212, dans D.C. Malins and J.R. Sargent [éd.], *Biochemical and biophysiological perspectives in marine biology*. Academic Press, New York, NY.

BESOINS EN VITAMINES

- BARNETT, B.J., C.Y. CHO ET S.J. SLINGER, 1978. The essentiality of cholecalciferol in the diets of rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Comp. Biochem. Physiol.*, 63A : 291-297.
- CASTLEDINE, A.J., C.Y. CHO, S.J. SLINGER, B. HICKS ET H.S. BAYLEY, 1978. Influence of dietary biotin level on growth, metabolism and pathology of rainbow trout, *J. Nutr.*, 108 : 698-711.
- HALVER, J.E., 1972. The vitamins, p. 30-105, dans J.E. Halver [éd.], *Fish nutrition*. Academic Press, New York, NY.
1979. Vitamin requirements of finfish, p. 45-58, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.
- HILTON, J.W., C.Y. CHO ET S.J. SLINGER, 1977a. Evaluation of the ascorbic acid status of rainbow trout, *J. Fish Res. Board Can.*, 34 : 2207-2210.
- 1977b. Factors affecting the stability of supplemental ascorbic acid in a practical trout diet, *J. Fish Res. Board Can.*, 34 : 683-687.
- 1978a. Effect of hypervitaminosis A on the development of ascorbic acid deficiency in underyearling rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Aquaculture*, 13 : 325-330.
- 1978b. Effect of graded levels of supplemental ascorbic acid in practical diets fed to rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *J. Fish Res. Board Can.*, 35 : 431-436.
- JOHN, M.J. ET C.L. MAHAJAN, 1979. The physiological response of fishes to a deficiency of cyanocobalamin and folic acid, *J. Fish. Biol.*, 14 : 127-134.
- JURSS, K., 1978. The effect of pyridoxine deficiency on aminotransferase activity in liver and white muscle of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.), *Comp. Biochem. Physiol.*, 61B : 385-390.
- POSTON, H.A., 1967. Effect of dietary L-ascorbic acid on immature brook trout, *Fish Res. Bull. 30, Cortland Hatchery Rep. No. 35 for the year 1966*, p. 46-51.
1976. Optimum level of dietary biotin for growth, feed utilization, and swimming stamina to fingerling lake trout (*Salvelinus namaycush*), *J. Fish Res. Board Can.*, 33 : 1863-1886.
- SATO, M., 1978. Dietary ascorbic acid requirement of rainbow trout for growth and collagen formation, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44 : 1029-1035.
- WOODALL, A.N., L.M. ASHLEY, J.E. HALVER, H.S. OLCOTT ET J. VAN DER VEEN, 1964. Nutrition of salmonoid fishes. XII. The α -tocopherol requirements of chinook salmon, *J. Nutr.*, 84 : 125-135.

HYDRATES DE CARBONE

- AUSTRENG, E., S. RISA, D.J. EDUARDO ET H. HOIDSTEN, 1977. Carbohydrate in rainbow trout diets. II. Influence of carbohydrate levels on chemical composition and feed utilization of fish from different families, *Aquaculture*, 11 : 39-50.

- BERGOT, F., 1979. Problèmes particuliers posés par l'utilisation des glucides chez la truite arc-en-ciel, *Ann. Nutr. Aliment.*, 33 : 247-257.
1979. Carbohydrate in rainbow trout diets: effects of level and source of carbohydrate and number of meals on growth and body composition, *Aquaculture*, 18 : 157-168.
- COWEY, C.B., M. DE LA HIGUERA ET J.W. ADRON, 1977a. The effect of dietary composition and of insulin on gluconeogenesis in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Br. J. Nutr.*, 38 : 385-395.
- COWEY, C.B., D. KNOX, M.J. WALTON ET J.W. ADRON, 1977b. The regulation of gluconeogenesis by diet and insulin in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Br. J. Nutr.*, 38 : 463-470.
- EDUARDO, D.J., E. AUSTRENG, S. RISA ET T. GJEDREM, 1977. Carbohydrate in rainbow trout diets 1. Growth of fish of different families fed diets containing different proportions of carbohydrate, *Aquaculture*, 11 : 31-38.
- PIEPER, A. ET E. PFEFFER, 1979. Carbohydrates as possible sources of dietary energy for rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson), p. 209-220, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. I. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.
- SHIMENO, S., H. HOSOKAWA ET M. TAKEDA, 1979. The importance of carbohydrate in the diet of a carnivorous fish, p. 127-137, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. I. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.
- MINÉRAUX
- COWEY, C.B., 1977. The production of renal calcinosis by magnesium deficiency in rainbow trout, *Salmo gairdneri*, *Br. J. Nutr.*, 38 : 127-135.
- HILTON, J.W., P.V. HODSON ET S.J. SLINGER, 1980. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *J. Nutr.*, 110 : 2527-2535.
- KAWATSU, H., 1972. Studies on the anemia of fish-V. Dietary iron deficient anemia in brook trout, *Salvelinus fontinalis*, *Bull. Freshw. Fish. Res. Lab. (Tokyo)*, 22 : 59-67.
- KETOLA, H.G., 1975. Requirement of Atlantic salmon for dietary phosphorus, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 104 : 548-551.
1978. Dietary zinc prevents cataract in trout, *Fed. Proc.*, 37 : 584.
1979. Influence of dietary zinc on cataracts in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *J. Nutr.*, 109 : 965-969.
- LALL, S.P., 1979. Minerals in finfish nutrition, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. 1. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.
- LALL, S.P. ET F.J. BISHOP, 1977. Studies on mineral and protein utilization by Atlantic salmon grown in sea water, *Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.*, 688 : 17 p.
- OGINO, C., 1978. Requirement of rainbow trout for dietary magnesium, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44 : 1105-1108.
- OGINO, C. ET H. TAKEDA, 1978. Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44 : 1019-1022.
- OGINO, C. ET G.-Y. YANG, 1978. Requirement of rainbow trout for dietary zinc, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44 : 1015-1018.
- POSTON, H.A., G.F. COMBS JR. ET L. LEIBOVITZ, 1976. Vitamin E and selenium interrelationships in the diet of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) : gross, histological and biochemical deficiency signs, *J. Nutr.*, 106 : 892-904.
- REINITZ, G.L., L.E. ORME ET F.N. HITZEL, 1978. Phosphorus requirement for rainbow trout, *Feedstuffs*, 50(45) : 17.
- RUMSEY, G.L., 1977. *Fish nutrition — recent advances*. Proc. Intl. Symp. on Diseases of Cultured Salmonids, Seattle, Washington, 4-7 avril 1977, p. 16-40.
- FORMULATION, TRANSFORMATION ET STOCKAGE DES NOURRITURES
- CHO, C.Y. ET S.J. SLINGER, 1977. Significance of digestibility measurements in formulation of feeds for rainbow trout. Proc. 13th Annu. Nutr. Conf. for Feed Manuf., Toronto, Can., 4-6 mai, p. 15-19.
- HALVER, J.E., 1976. Formulating practical diets for fish, *J. Fish Res. Board Can.*, 33 : 1032-1039.
- HALVER, J.E. ET K. TIEWS [éd.], 1979. *Finfish nutrition and finfish technology*, vol. I. A. Finfish nutrient requirements. B. Finfish husbandry feeding techniques. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.
1979. *Finfish nutrition and finfish technology*, Vol. II. C. Feed formulation and technology. D. Feed influence on product quality. E. Methodology in fish nutrition and feed technology. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.
- HASTINGS, W.H. ET C.B. COWEY, 1977. Fish diets and culture media, p. 279-290, dans M. Rechsigt Jr. [éd.], *CRC handbook series in nutrition and food, Section G, Vol. 2. Diets, culture media and food supplements*. Chemical Rubber Company Press, West Palm Beach, Floride.
- HILTON, J.W., C.Y. CHO ET S.J. SLINGER, 1977. Factors affecting the stability of supplemental ascorbic acid in practical trout diets, *J. Fish. Res. Board Can.*, 34 : 683-687.
1981. Effect of extrusion processing and steam pelleting on pellet durability, pellet water absorption, and the physiological response of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.), *Aquaculture* (Sous presse)
- KAY, W.A., C.Y. CHO, H.S. BAYLEY ET S.J. SLINGER, 1976. Recent experiments on the formulation of rainbow trout diets. Proc. Nutr. Conf. for Feed Manuf., Toronto, Can., 21-22 avril, p. 68-73.
- SLINGER, S.J. ET C.Y. CHO, 1978. Fish farming — research needs and prospects. Highlights of Agricultural Research in Ontario, *Ont. Minist. Agric. Food*, Novembre, p. 13-16.
- SLINGER, S.J., C.Y. CHO ET H.S. BAYLEY, 1974. Effect of binding agents in steam-pelleted and extruded diets on fish performance and pellet durability. Proc. 3rd Fish Feed and Nutrition Workshop, 24-25 sept., Cortland, New York, NY, p. 64-72.
- SLINGER, S.J., A. RAZZAQUE ET C.Y. CHO, 1979. Effect of feed processing and leaching on the losses of certain vitamins in fish diets, p. 425-534, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. II. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

DATE DUE
DATE DE RETOUR

MAR - 4 1983			
Aug 31 / 83			
JAN - 9 1985			

LOWE-MARTIN No. 1137

Canada