

Les lentilles d'eau: des plantes utiles

Aliments destinés aux poissons et à d'autres animaux de rente





L'élevage terrestre et aquacole est à l'origine d'une part considérable de l'empreinte écologique de l'agriculture. Or, c'est surtout la production d'aliments pour animaux qui a un impact négatif sur l'écobilan de l'élevage. En outre, dans le monde entier, la production mondialisée d'aliments pour animaux et leur importation causent des problèmes de toutes sortes. En revanche, les aliments pour animaux produits localement peuvent augmenter la durabilité de l'alimentation animale à long terme. Les lentilles d'eau conviennent très bien à cet effet.

Écobilan des aliments pour animaux

Outre les émissions de gaz à effet de serre dues à la digestion des ruminants, ce sont surtout la production et l'importation d'aliments pour animaux qui ont un impact négatif sur l'écobilan de l'élevage. En effet, la production d'aliments pour animaux entraîne l'émission de gaz à effet de serre nocifs, principalement en raison de la lixiviation de l'azote due aux pratiques de fertilisation et des changements d'affectation des terres.^[1]

La déforestation et le défrichement par le feu des forêts tropicales en Amérique du Sud pour créer de nouvelles surfaces cultivables sont particulièrement problématiques, car ils détruisent un puits de carbone mondial d'une grande importance. Le soja riche en protéines produit sur ces surfaces est également utilisé pour nourrir des animaux de rente suisses.^[2,3] La production fourragère à grande échelle s'accompagne en outre d'une utilisation accrue de produits phytosanitaires ainsi que d'une sur-fertilisation et d'une acidification des sols dans les zones de culture. Tout cela contribue dans une large mesure à la forte empreinte écologique des aliments pour animaux et des denrées alimentaires d'origine animale produites avec ces derniers, comme la viande, le poisson, le fromage, les œufs et le lait. En outre, l'azote importé avec les aliments pour animaux provoque un net excédent de nitrates, ce qui a des répercussions négatives sur les eaux souterraines et les eaux de surface.

Sommaire

Écobilan des aliments pour animaux	3
Lentilles d'eau: opportunités et potentiel	3
Valeur nutritionnelle des lentilles d'eau	5
Défis liés à la biosécurité	8
Les lentilles d'eau dans l'alimentation humaine et animale	11
Utilisation des lentilles d'eau dans l'aquaculture ...	12
Autres domaines d'utilisation des lentilles d'eau	14
Conclusions	15

Aliments pour animaux d'origine animale

Outre les aliments d'origine végétale, des aliments d'origine animale sont également utilisés dans l'alimentation animale, notamment la farine de poisson. Celle-ci est certes utilisée dans une nette moindre mesure que le soja, par exemple, mais elle présente un écobilan aussi défavorable. À quelques excep-

tions près, la pêche ciblée pour la production de farine de poisson est considérée comme non durable, car environ 90 % des prises sont de qualité alimentaire.^[4] Dans le monde entier, les grandes cultures et la pêche destinées à l'alimentation des animaux de rente entrent en concurrence avec les ressources disponibles pour l'alimentation humaine. La production d'aliments pour animaux menace donc des écosystèmes sensibles et accélère l'érosion continue de la biodiversité.

Lentilles d'eau: opportunités et potentiel

Les lentilles d'eau sont de petites plantes flottantes que l'on trouve dans les régions tempérées, subtropicales et tropicales. Il existe une quarantaine d'espèces différentes qui poussent de préférence dans les mares, les étangs ou les eaux à courant très lent et riches en éléments nutritifs. Elles sont capables d'absorber de manière très efficace les éléments nutritifs tels que l'azote (N) et le phosphore (P), et d'atteindre des taux de croissance élevés dans des conditions optimales. Ainsi, dans le meilleur des cas, elles doublent leur biomasse en 24 à 36 heures.

La teneur en protéines des lentilles d'eau est comparable à celle du soja. Dans la matière sèche, elle peut atteindre 45 %.^[5] Les lentilles d'eau ont la capacité de réduire les excédents d'azote provenant de l'agriculture et la pollution des eaux.^[6] L'éventail de possibilités d'utilisation qu'offrent les lentilles d'eau est présenté à partir de la page 11.

Les propriétés positives des lentilles d'eau font l'objet d'études depuis le milieu des années 1970. Toutefois, à l'exception de quelques entreprises fondées aux États-Unis, aux Pays-Bas, en Allemagne et en Israël, les résultats des études n'ont pas donné lieu à la création de grandes entreprises industrielles.

En effet, pour permettre une production à grande échelle, la méthode de production et la transformation des lentilles d'eau doivent d'abord être optimisées.

Grâce à la sensibilisation accrue à un meilleur recyclage des éléments nutritifs et aux efforts pour augmenter leur efficacité, notamment celle de l'azote, dans la production agricole, l'utilisation des lentilles d'eau en tant qu'aliments pour animaux connaît actuellement un regain d'intérêt.



Dans les habitats naturels, les lentilles d'eau vivent souvent en association (photo: *Spirodela polyrhiza*, *Lemna minor* et *Wolffia arrhiza*).

Les lentilles d'eau, des recycleurs d'azote

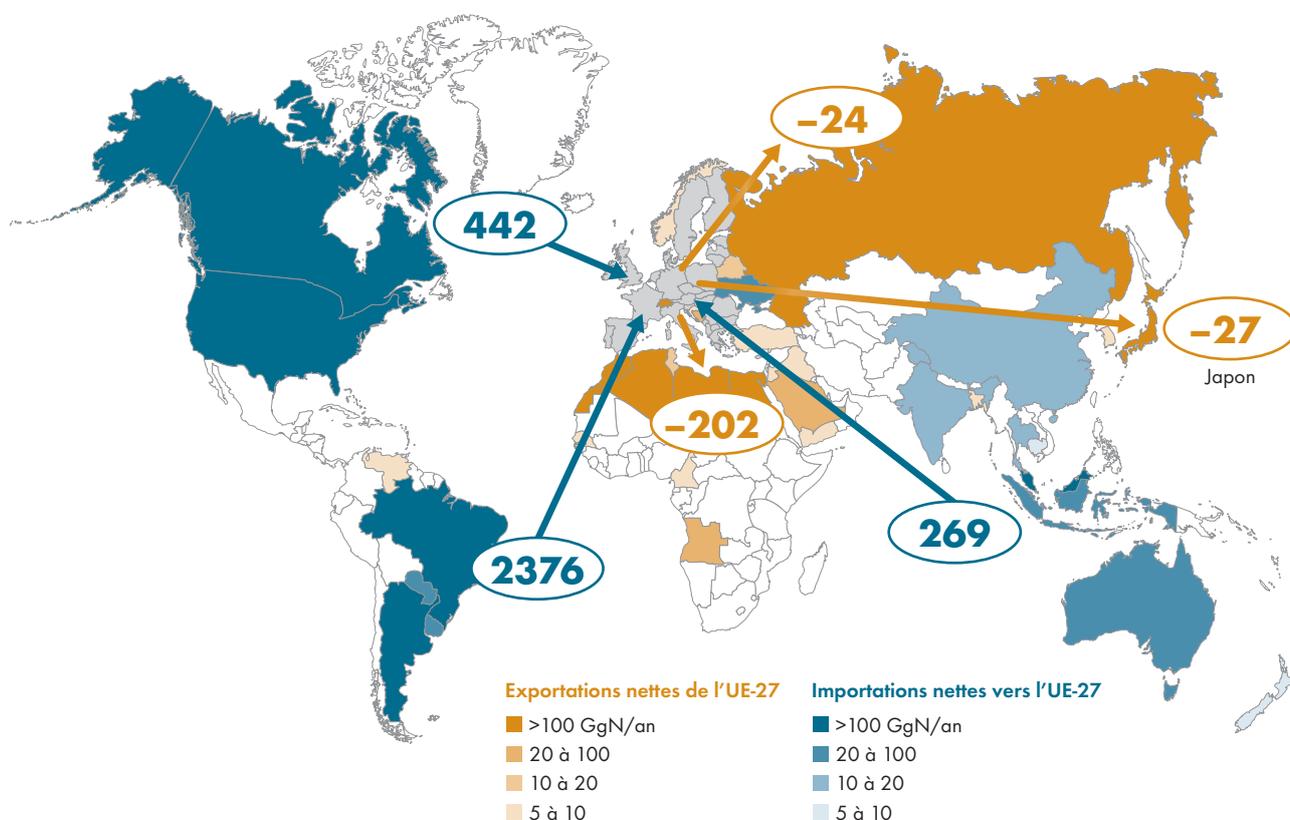
Dans des eaux riches en azote et des conditions optimales, les lentilles d'eau produisent plusieurs fois la quantité de protéines produite par le soja, par surface et par durée de végétation. Il a été démontré que la production de protéines est 9 fois supérieure à celle du soja, y compris dans des conditions limitées.^[7]

Les lentilles d'eau préfèrent des concentrations élevées d'ammonium (> 10 mg/l) dans l'eau ou le substrat, des températures élevées (> 20 °C) et beaucoup de lumière. Le pH ne doit pas être trop élevé. Néanmoins, les lentilles d'eau s'en sortent bien même avec un pH allant jusqu'à 8,5. Dans des essais, les lentilles d'eau ont pu être nourries avec du lisier de porc.^[7]

Parmi les problèmes causés par l'agriculture et l'élevage intensifs, l'on note un net excédent d'azote en Europe, dû aux engrais et aliments pour animaux importés (voir Figure 1 ci-après).^[8] Cet azote se retrouve tôt ou tard dans la nature, entraînant des excédents de nitrates et, par conséquent, l'eutrophisation et la dégradation de la qualité des eaux souterraines et de l'eau des rivières et des lacs.

Les lentilles d'eau transforment efficacement les excréments et l'urine d'animaux ou même d'humains en une biomasse riche en protéines, qui pourrait être utilisée comme aliment pour différents animaux. Toutefois, l'utilisation de lisier animal, voire d'excréments humains, comme substrat nutritif soulève inévitablement des questions en matière de biosécurité. Outre l'absorption efficace de l'azote et du phosphore, les lentilles d'eau accumulent également des métaux lourds nocifs pour la santé. Par ailleurs, des contaminations microbiennes peuvent se produire.

Figure 1: Les excédents d'azote dans les pays de l'Union européenne, une conséquence de l'élevage intensif



GgN = gigagrammes (1000 tonnes) d'azote

Les importations d'azote vers l'Europe et la Suisse sont plusieurs fois supérieures aux exportations. Les flux d'azote doivent être considérés dans le contexte de la production européenne d'animaux de rente. Les importations d'azote sont dues aux engrais et aliments pour animaux importés, tandis que les exportations européennes d'azote concernent les exportations de viande et d'animaux.^[8]

Valeur nutritionnelle des lentilles d'eau

Comme pour les autres aliments pour animaux, les nutriments contenus dans les lentilles d'eau sont grossièrement classés en macronutriments et micronutriments ainsi qu'en micropolluants.

Les macronutriments comprennent les protéines, les lipides et les glucides, dont la teneur varie selon l'espèce de lentille d'eau (Tableau 1, page 6). Les macronutriments fournissent la majeure partie des nutriments nécessaires à l'alimentation animale ou humaine.

Les acides aminés sont également d'une grande importance fonctionnelle. Ils sont libérés chez les animaux et les humains lors de la dégradation des protéines ou sont absorbés par le biais de l'alimentation. Les acides aminés dits non essentiels sont produits par le corps lui-même. Les acides aminés essentiels, en revanche, sont absorbés par le biais de l'alimentation. Les lentilles d'eau contiennent des acides aminés en concentrations non négligeables, importants du point de vue nutritionnel (Tableau 2, page 7).

Les lentilles d'eau sont plutôt pauvres en matières grasses, mais elles présentent un faible rapport entre les acides gras oméga-6 et oméga-3, ce qui est favorable à l'alimentation humaine. Dans l'alimentation animale, le rapport optimal entre les acides gras dépend de l'espèce et du stade de vie des animaux. Selon le mode et les conditions de production, les lentilles d'eau contiennent entre 18 et 45 % de protéines dans la matière sèche, la fourchette de 25 à 30 % étant la plus fréquente. Toutefois, des teneurs en protéines plus élevées, comprises entre 35 et 40 %, peuvent être obtenues sans trop d'efforts, comme le démontrent des essais menés par le FiBL et la ZHAW. La teneur en matières grasses des lentilles d'eau se situe généralement entre 4 et 14 % de la matière sèche.^[9] Le taux de matière sèche est assez faible et varie en moyenne entre 5 et 8 %, ce qui constitue l'un des inconvénients majeurs des lentilles d'eau en tant qu'aliment pour animaux. La teneur en amidon peut également fortement varier et se situe entre 4 et 11 % de la matière sèche.

Un certain nombre d'oligo-éléments contenus dans les lentilles d'eau présentent une valeur nutritionnelle intéressante. Selon certaines études, les lentilles d'eau peuvent contenir de la vitamine B12,^[10,11] une vitamine essentielle, le plus souvent absorbée par le biais des aliments d'origine animale. En outre, les lentilles d'eau contiennent une série d'antioxydants du groupe des caroténoïdes (lutéine, violaxanthine, zéaxanthine et β -carotène),^[12,13] dont il est prouvé qu'ils protègent contre les dommages causés par les rayons solaires et les dommages cellulaires.

Qualité et conversion des aliments pour animaux

Dans la production, la composition nutritionnelle souhaitée des lentilles d'eau dépend de l'utilisation prévue. Si elles sont destinées à l'alimentation humaine ou animale, la teneur en protéines, la composition en acides aminés, la teneur en matières grasses et la composition en acides gras sont décisives. Dans l'élevage de poissons d'eau douce, les espèces d'eau froide telles que les salmonidés (truites, saumons, ombres) ont plutôt besoin d'acides gras oméga-3. En revanche, les espèces d'eau chaude ont davantage besoin d'acides gras oméga-6.^[14]

La composition en acides aminés des protéines de lentilles d'eau augmente leur aptitude à être utilisées comme aliments pour animaux et est comparable à celle d'autres protéines végétales comme celles du soja et du lupin. Les acides aminés essentiels lysine et méthionine, en particulier, sont présents en concentrations relativement élevées. Toutefois, la composition en acides aminés et la teneur en protéines peuvent varier considérablement en fonction de l'espèce de lentille d'eau et du mode de production. Lorsqu'elles sont destinées à l'alimentation animale, les lentilles d'eau doivent donc être sélectionnées et utilisées spécifiquement en fonction des besoins nutritionnels des animaux de rente.

Un avantage potentiel des lentilles d'eau, encore non étudié de manière systématique, réside dans leur faible teneur en substances anti-nutritionnelles. À des concentrations élevées, ces substances produites par les plantes pour se protéger des ravageurs entraînent une nette réduction de la conversion des aliments et des nutriments, comme c'est le cas avec le soja non traité.^[15] Toutefois, certaines espèces de lentilles d'eau contiennent des substances anti-nutritionnelles, si bien qu'elles ne peuvent être données à manger aux animaux sans restriction.

Les lentilles d'eau *Lemna minor* et *Lemna gibba*, par exemple, contiennent de l'acide oxalique, dont le composant salin est l'oxalate de calcium, lequel s'avère problématique dans l'alimentation humaine et animale à des concentrations élevées. L'acide phytique, les tanins et les cyanures sont autant de substances anti-nutritionnelles détectées.^[17] L'acide phytique, en particulier, pose problème à des concentrations élevées, car il stocke le phosphore sous une forme biologiquement inactive pour les animaux et les humains, tout en inhibant la digestion des minéraux.

Tableau 1: Teneur en macronutriments de différentes espèces de lentilles d'eau

Espèce de lentille d'eau	<i>Spirodela polyrhiza</i> (chambre climatique) ^[6]	<i>Spirodela polyrhiza</i> (serre) ^[6]	<i>Lemna minor</i> ^[18]	<i>Lemna minor</i> ^[18]	<i>Lemna gibba</i> ^[19]	<i>Lemna sp.</i> ^[20]
Protéines brutes ^[15] (% MS)	30,6	18,0	36,1	27,1	32,9	18,6
Matières grasses brutes (% MS)	*	3,1	8,45	7,15	3,9	1,5
Cendres brutes (% MS)	19,6	21,8	21,4	19,4	22,1	2,5
Glucides (% MS)	*	*	34,1	46,3	14,8	83,9

MS = matière sèche; * non analysé



Les lentilles d'eau comme *Lemna minor* présentent des acides aminés intéressants du point de vue nutritionnel dans des concentrations non négligeables, et leur valeur nutritionnelle peut tout à fait être comparée à celle du soja ou du lupin.

Tableau 2: Teneur en acides aminés (en % des protéines brutes) des lentilles d'eau et, à titre de comparaison, du soja et du lupin^[12]

Espèce de lentille d'eau	<i>Spirodela polyrhiza</i> ^[12]	<i>Landoltia punctata</i> ^[12]	<i>Lemna minor</i> ^[12]	<i>Lemna gibba</i> ^[12]	<i>Spirodela polyrhiza</i> (serre) ^[6]	Soja ^[21]	Lupin ^[21]
Teneur en protéines brutes	25	18	24,5	28	18,0	44,0	34,4
Acides aminés							
Acide aspartique	7,8	8,1	8,2	10,6	8,5	*	*
Acide glutamique	9,6	9,5	9,8	10,3	9,22	*	*
Alanine	5,4	5,3	5,1	6,0	5,56	*	*
Arginine	4,7	4,7	4,8	4,9	6,78	7,34	11,1
Cystéine	0,8	1,1	0,9	0,9	1,11	1,59	1,68
Glycine	4,3	4,5	4,6	4,6	4,89	*	*
Histidine	1,6	1,6	1,5	1,6	1,89	2,66	2,53
Isoleucine	3,3	3,5	3,7	3,4	3,67	4,52	4,54
Leucine	6,8	7,3	7,3	7,2	7,39	7,77	7,99
Lysine	4,2	4,1	5,0	4,2	5,11	6,43	5,07
Méthionine	1,6	1,6	1,6	1,6	1,72	1,39	0,89
Phénylalanine	3,97	4,5	4,4	4,3	4,50	4,95	4,01
Proline	3,5	4,1	3,8	3,9	4,39	*	*
Sérine	4,1	4,0	4,1	4,2	4,39	*	*
Thréonine	4,2	4,1	4,0	4,0	4,17	3,93	3,95
Tryptophane	*	*	*	*	1,72	1,39	0,86
Tyrosine	3,1	3,1	3,1	3,1	3,00	3,84	4,44
Valine	4,4	4,6	4,6	4,5	6,17	5,45	4,24

* non analysé

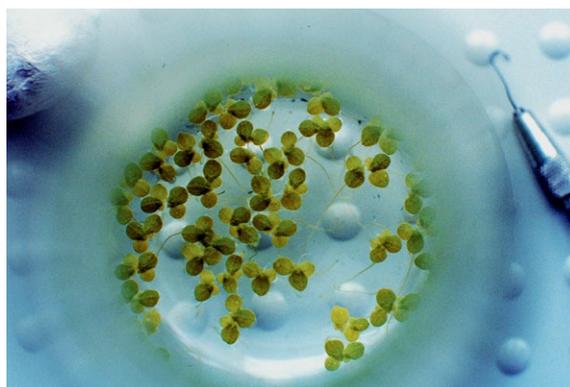
Défis liés à la biosécurité

Outre les éléments nutritifs, les lentilles d'eau peuvent également absorber des polluants potentiels tels que les métaux lourds. Voilà pourquoi elles sont notamment utilisées pour l'assainissement des eaux polluées par des substances nocives. Or, cela signifie que les lentilles d'eau absorbent également les métaux lourds éventuellement présents dans le lisier utilisé pour les fertiliser. La quantité de métaux lourds absorbés dépend directement de leur concentration dans le substrat nutritif utilisé. Dans des essais menés au FiBL, le substrat (lisier de bovins bio dilué à 1:10) et les lentilles cultivées sur celui-ci ont été analysés, notamment en ce qui concerne la présence de certains métaux lourds (cuivre, plomb et zinc), typiquement présents dans le lisier. Ceux-ci sont parfois ajoutés de manière ciblée aux aliments pour animaux ou peuvent se retrouver dans la chaîne alimentaire par le biais de produits phytosanitaires. Le zinc, par exemple, est un oligo-élément essentiel, lequel est ajouté, entre autres, aux aliments pour porcs, car les besoins physiologiques des animaux ne peuvent souvent pas être couverts de manière naturelle. La Figure 2, page 9, illustre la diminution des teneurs en plomb, en cuivre et en zinc dans le substrat nutritif en 3 semaines. Toutefois, il faut tenir compte de la bioamplification, c'est-à-dire de l'accumulation du métal lourd en question par les lentilles d'eau, comme le montrent les différentes concentrations exprimées en µg et en mg.

L'ordonnance suisse sur le Livre des aliments pour animaux (OLALA) définit des valeurs maximales pour les substances indésirables dans les aliments pour animaux. Pour le plomb, la valeur maximale pour les fourrages verts, dont les lentilles d'eau pourraient faire partie, est de 30 mg/kg. Lors de la récolte des deux espèces de lentilles d'eau représentées à la Figure 2, les concentrations étaient très nettement inférieures aux limites maximales autorisées. La quantité totale maximale de cuivre autorisée dans les aliments varie selon les espèces animales. Pour les bovins ne pratiquant pas encore la rumination, âgés de 3 à 4 mois, elle est de 15 mg/kg, pour les bovins ruminant de 30 mg/kg. Pour les moutons, la valeur maximale de cuivre est de 15 mg/kg, pour les chèvres de 35 mg/kg, pour les porcelets jusqu'à 4 semaines après le sevrage de 150 mg/kg et pour les porcelets plus âgés de 100 mg/kg. Pour toutes les autres espèces animales, elle est de 25 mg/kg. Lors de la récolte, les deux espèces de lentilles d'eau *L. punctata* et *S. polyrhiza* présentaient des concentrations de cuivre comprises entre 10 et 17 mg/kg.

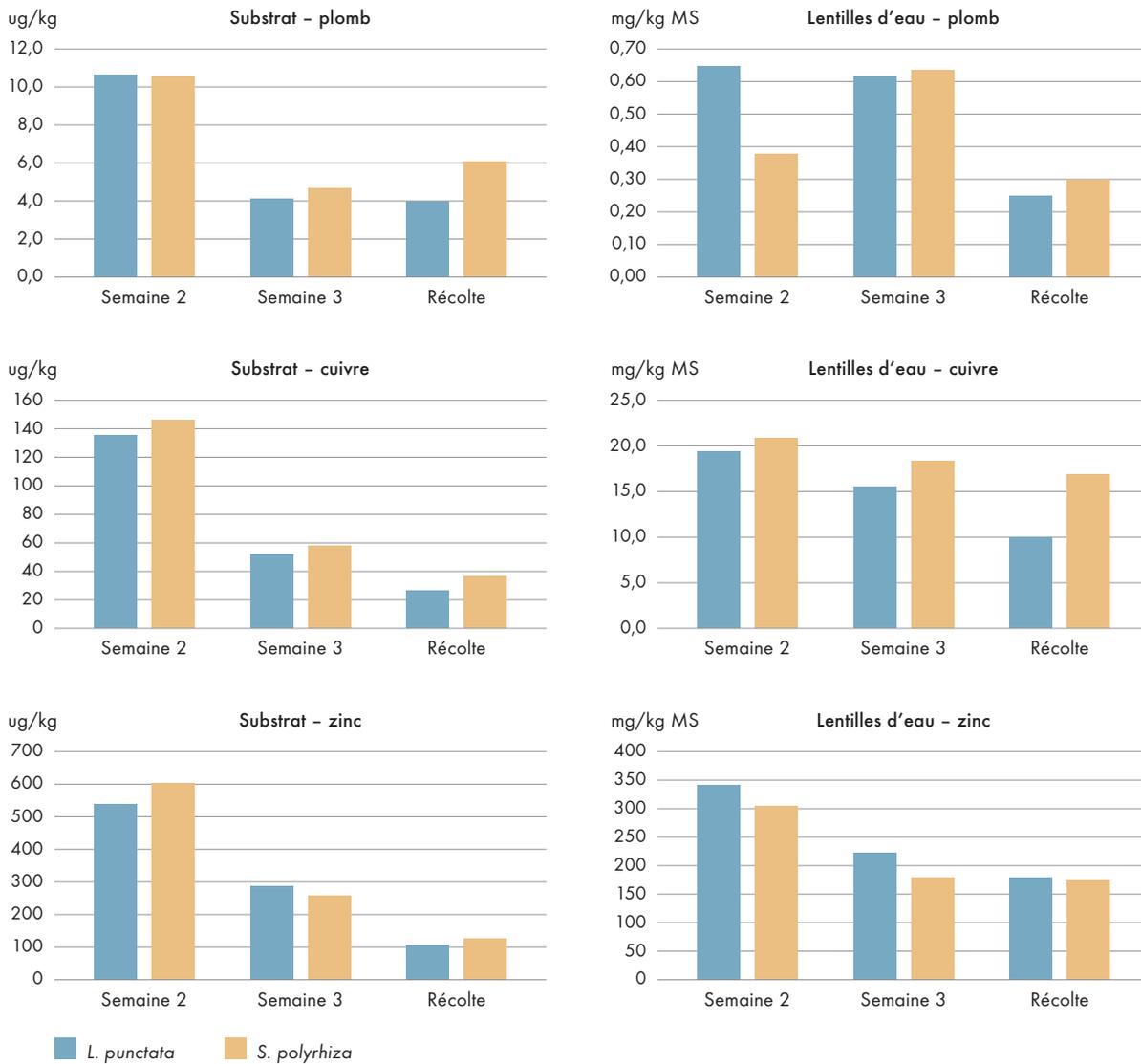
Leur utilisation en tant qu'aliments complets ne conviendrait donc pas aux jeunes bovins ne pratiquant pas encore la rumination ni aux ovins. En outre, la différence observée avec les quantités maximales est plutôt minimale et pourrait encore diminuer en cas de concentrations élevées dans le substrat. S'agissant des porcs, les concentrations de cuivre dans les deux espèces de lentilles d'eau sont nettement inférieures aux limites maximales autorisées. Pour tous les autres animaux de rente, l'utilisation des lentilles d'eau en tant qu'aliment complet est remise en question en raison des limites maximales de cuivre presque atteintes.

Les quantités maximales de zinc autorisées dépendent également de l'espèce animale et sont de 180 mg/kg pour les succédanés de lait destinés aux veaux, de 150 mg/kg pour les porcelets et les truies et de 120 mg/kg à 150 mg/kg pour différentes espèces de poissons. Les teneurs en zinc mesurées dans les deux espèces de lentilles d'eau (175 à 180 mg/kg) étaient si élevées qu'elles seraient tout juste acceptables si ces dernières étaient utilisées comme aliment complet. Si les deux espèces de lentilles d'eau sont mélangées à d'autres aliments et transformées en granulés, un effet de dilution se produit, permettant de réduire les teneurs en cuivre et en zinc.



La croissance de petites populations de lentilles d'eau peut être mesurée en laboratoire à l'aide de procédés d'imagerie.

Figure 2: Pollution des substrats par des métaux lourds



Concentrations de plomb, de cuivre et de zinc dans le substrat à base de lisier de bovins bio dilué (à gauche) comparées à celles des lentilles d'eau récoltées (à droite) des espèces *Landoltia punctata* et *Spirodela polyrhiza*. S'agissant d'échantillons groupés, aucune variance n'est indiquée.

Matières fécales et risque de contamination par des germes

Lors de la production de lentilles d'eau destinées à l'alimentation animale ou humaine dans un système basé sur l'utilisation de matières fécales animales, les micro-organismes potentiellement pathogènes (en premier lieu les bactéries, les virus et les parasites) jouent un rôle non négligeable. Si le lisier est également utilisé dans l'agriculture pour fertiliser les champs, les plantes cultivées sont rarement en contact direct avec ce premier. En revanche, les lentilles d'eau produites dans un système agricole poussent directement sur un mélange d'eau et de lisier. Elles entrent ainsi en contact direct avec des bactéries potentiellement pathogènes.^[22] Un certain nombre de bactéries telles que les colibacilles (*Escherichia coli*, en particulier EHEC O:157), les clostridies (*Clostridium* spp.), les salmonelles (*Salmonella* spp.), les listerias (*Listeria* spp.) ou encore les staphylocoques (*Staphylococcus aureus*) peuvent provoquer des maladies parfois graves chez les humains et les animaux.

La transmission du coronavirus (Sars-CoV-2) aux humains par des animaux a majoré la perception du problème des zoonoses, à savoir les maladies transmissibles des animaux aux humains et inversement. Bien que de nombreuses bactéries potentiellement zoonotiques n'aient pas un potentiel épidémique ou pandémique aussi important que le coronavirus, ce sujet doit au moins être pris en considération lors de l'utilisation de lisier pour la production de lentilles d'eau.

Résultats d'essais

Dans le cadre d'un essai portant sur les deux espèces de lentilles d'eau *Spirodela polyrhiza* et *Landoltia punctata*, les scientifiques du FiBL ont observé la charge microbienne due aux germes aérobies tels que les colibacilles, les salmonelles et les clostridies dans un substrat nutritif contenant du lisier de bovin dilué. Après la récolte, les restes de substrat ont été retirés des lentilles d'eau à l'aide d'une essoreuse à salade. Les lentilles n'ont ensuite été ni lavées ni préparées. Lors de l'essai, aucune salmonelle n'a été détectée, ni dans le lisier ni sur les lentilles. Le nombre de colibacilles décelées par gramme de masse fraîche était plus élevé sur les lentilles d'eau de l'espèce *Spirodela polyrhiza* que sur *Landoltia punctata* (environ 3 fois plus). En revanche, on a détecté un nombre nettement supérieur d'unités

formant des colonies de *Clostridium* spp. par gramme de masse fraîche sur *Landoltia punctata* par rapport à *Spirodela polyrhiza*. À l'exception des salmonelles, la charge microbienne dans le lisier était généralement très élevée pour toutes les bactéries mesurées. Toutefois, au cours d'une semaine, la charge dans le substrat a nettement diminué. Les lentilles d'eau sont donc exposées à une contamination bactérienne proportionnelle aux concentrations dans le substrat nutritif utilisé. La charge microbienne dans le substrat nutritif (lisier dilué) des lentilles d'eau est à son tour liée à l'état de santé du cheptel. Le nettoyage des lentilles d'eau permet de réduire le nombre de germes.

Prise en compte des résidus d'antibiotiques

Outre la contamination par différentes bactéries, les lentilles d'eau peuvent également être contaminées par des résidus de médicaments vétérinaires et des antibiotiques. En principe, la croissance des lentilles d'eau n'est pas affectée par des concentrations élevées d'antibiotiques dans l'eau. Toutefois, une étude a révélé la transmission de l'antibiotique oxytétracycline à des poissons comestibles nourris avec des lentilles d'eau de l'espèce *Wolffia globosa* contaminées.^[23] Si l'on utilise du lisier issu d'élevages traités aux antibiotiques comme substrat pour les lentilles d'eau, on risque de réintroduire des résidus dans la chaîne alimentaire. D'où l'importance de surveiller le substrat et de veiller à l'assurance qualité dans les systèmes de production de lentilles d'eau sur du lisier. Il est intéressant de noter que différents antibiotiques peuvent être inactivés par les lentilles d'eau (phytodégradation).^[24]



Élevage de truites certifié bio en Suisse



Essai sur l'utilisation de lentilles d'eau comme ingrédient dans l'alimentation de différents poissons comestibles.

Les lentilles d'eau dans l'alimentation humaine et animale

Dans différents pays asiatiques, les lentilles d'eau de l'espèce *Wolffia globosa* sont vendues, en Thaïlande par exemple sous le nom de «Khai Nam», et consommées par les humains soit sous forme de poudre, soit sous forme de légumes frais. Les lentilles d'eau présentent nettement moins de structures de support que les plantes terrestres. Contrairement aux cultures comestibles terrestres, les lentilles d'eau peuvent, en tant que plantes flottantes, se passer des propriétés stabilisantes qu'offre la lignification. Voilà pourquoi leur teneur en lignine et en d'autres composants non digestibles est très faible.

Alimentation animale

Les aliments pour animaux doivent couvrir tout ou partie des besoins nutritionnels d'une espèce, selon que les animaux ont accès à d'autres sources de nourriture et que celles-ci sont disponibles en quantité suffisante. En règle générale, plus l'élevage est intensif, plus la part d'aliments complets est élevée. Les aliments complets sont principalement utilisés dans la production animale intensive, où le nombre d'animaux est élevé et où l'alimentation naturelle ne joue aucun rôle. Les besoins nutritionnels dépendent non seulement de l'espèce animale, mais aussi d'autres facteurs.

Voilà pourquoi, dans l'alimentation animale, on distingue souvent les aliments complets, qui doivent couvrir l'ensemble des besoins nutritionnels, des aliments complémentaires, qui doivent remplir certaines fonctions ou remédier à des carences en minéraux et en vitamines. Les aliments complets doivent donc être bien adaptés à l'espèce animale et à ses besoins nutritionnels. À cet effet, il faut bien entendu connaître les besoins de l'espèce concernée.

Bien que les lentilles d'eau présentent une très bonne composition nutritionnelle et une forte proportion de nutriments dans la matière sèche, leur densité nutritionnelle est très faible en raison de la forte proportion d'eau contenue dans les lentilles fraîches. Voilà pourquoi elles ne conviennent pas comme aliment complet.

Facteurs influençant les besoins nutritionnels des espèces de poissons

- Le stade de vie: les jeunes animaux ont des besoins en protéines plus élevés, tandis que les animaux plus âgés ont des besoins énergétiques plus élevés; le rapport protéines:énergie varie en conséquence.
- L'environnement: températures ambiantes froides ou chaudes (en particulier pour les poissons et autres animaux à sang froid)

Utilisation des lentilles d'eau dans l'aquaculture

La pisciculture dans les conditions suisses

Dans l'aquaculture suisse, la production de poissons se limite à quelques espèces. Les crevettes, élevées à petite échelle, complètent l'éventail d'espèces. Avec une production annuelle de quelque 2000 tonnes, la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) représente environ 60 % du volume produit dans l'aquaculture suisse. La perche commune (*Perca fluviatilis*), qui est élevée dans des installations en circuit fermé, est également importante. Parmi les autres espèces de poisson produites, l'on trouve le saumon atlantique (*Salmo salar*), l'esturgeon de Sibérie (*Acipenser baerii*), le sandre (*Sander lucioperca*), le corégone (*Coregonus* sp.), la truite commune (*Salmo trutta*) et la carpe commune (*Cyprinus carpio*).

Seules quelques espèces de poissons d'eau douce indigènes en Suisse sont herbivores. Pendant le développement juvénile, la part de plancton animal et de petits crustacés dans l'alimentation est généralement très élevée. Avec l'âge, de nombreux poissons adoptent une alimentation spécifique. Les poissons sont classés selon leur spectre alimentaire en carnivores, omnivores et herbivores. Plus la part de nourriture d'origine animale est élevée chez une espèce, plus son niveau trophique, à savoir sa position dans la chaîne alimentaire, est élevé.

Niveaux trophiques des poissons:

Le niveau trophique indique approximativement la position dans la chaîne alimentaire. Plus il est faible, plus l'animal mange de végétaux et moins il consomme de nourriture d'origine animale.

Les poissons herbivores et autres non prédateurs ont un niveau trophique de 2 à 3, les omnivores de 3 à 4 et les carnivores ou prédateurs de 4 ou plus.

Poissons de faible niveau trophique

Les poissons de faible niveau trophique comprennent les Cypriniformes (carpes, etc.), le principal groupe élevé en aquaculture dans le monde. Avec un total de 28,8 millions de tonnes, ce groupe représente environ 53 % de la production mondiale de poissons (54,3 millions de tonnes). Outre les

carpes, les cichlidés tels que le tilapia du Nil jouent également un grand rôle économique.

Les deux groupes valorisent bien la nourriture végétale et se prêtent à une aquaculture biologique et durable. Le niveau trophique des espèces de carpes importantes dans l'aquaculture se situe globalement entre 2 (carpes herbivores) et 3,1 (carpes communes). Les tilapias sont connus pour manger des algues et du périphyton (*aufwuchs*). Leur niveau trophique étant de 2, une alimentation à base de lentilles d'eau leur conviendrait parfaitement.

Selon l'espèce de poisson et différents facteurs, la proportion de lentilles d'eau dans l'alimentation doit être adaptée. La teneur en nutriments et leur disponibilité ainsi que les éventuelles teneurs en inhibiteurs sont essentielles dans la régulation de la concentration dans la nourriture. Le Tableau 3, page 13, présente des essais d'incubation et d'engraissement correspondants portant sur la carpe (*Cyprinus carpio*).

Poissons de niveau trophique élevé

S'agissant des poissons prédateurs typiques, il n'existe quasiment pas d'études sur la substitution de la farine de poisson par des lentilles d'eau. D'une part, les poissons prédateurs de niveau trophique élevé ne représentent qu'un faible pourcentage des poissons d'élevage dans le monde. D'autre part, jusqu'à présent, l'importance des lentilles d'eau en tant que composant végétal d'aliments pour animaux est mineure. Par le passé, c'était l'élevage de saumon qui nécessitait les plus grandes quantités de farine de poisson. Depuis peu, on recourt de plus en plus souvent au soja, dont l'utilisation comme composant d'aliments pour animaux fait également l'objet d'études. Ainsi, l'utilisation de lentilles d'eau dans les aliments composés devient envisageable et pourrait donner lieu à davantage de tests sur les poissons prédateurs.

À cet égard, différents essais d'alimentation avec des lentilles d'eau ont été réalisés au FiBL sur des alevins et des jeunes poissons de truites arc-en-ciel et de perches (Tableau 3). La ZHAW a en outre testé l'engraissement de truites arc-en-ciel avec des lentilles d'eau. En raison des résultats insatisfaisants de l'essai d'alimentation du FiBL portant sur des perches, les scientifiques ont renoncé à poursuivre l'expérience dans un essai d'engraissement.

Tableau 3: Résultats de différentes études sur l'utilisation de lentilles d'eau dans l'alimentation des carpes et des tilapias, en comparaison avec un aliment témoin sans lentilles d'eau

Conditions de l'essai			Résultats		Espèce de poisson
Farine de poisson (FP) dans l'aliment témoin en %	FP remplacée ou concentration dans l'aliment en %	S/F	Croissance	Conversion alimentaire	
40	15	S	+-	+-	Carpe (0,7 g) ^[25]
	30	S	+-	+-	
	45	S	+-	+-	
	15	F	+-	+-	
	30	F	-	+-	
	45	F	--	-	
40	23	S	+	+	Carpe (47 g) ^[26]
	26	F	-	+	
35	20	S	+-	+-	Tilapia (89,1 g) ^[27]
	40	S	-	-	
	20	F	+-	+-	
	40	F	-	-	

Tableau 4: Résultats de deux études sur l'utilisation de lentilles d'eau séchées ou fermentées dans l'alimentation de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) et de la perche commune (*Perca fluviatilis*)

Conditions de l'essai			Résultats		Espèce de poisson
Farine de poisson (FP) dans l'aliment témoin en %	FP remplacée ou concentration dans l'aliment en %	S/F	Croissance	Conversion alimentaire	
35	12	S	+-	+-	Truite (<i>fingerling</i> , 1,49 g) ^[28]
	24	S	-	+-	
	35	S	--	-	
	12	F	+-	+-	
	24	F	-	-	
	35	F	-	-	
40	12	S	-	-	Perche (<i>fingerling</i> , 3,52 g) ^[28]
	24	S	--	--	
	35	S	---	---	
	12	F	-	-	
	24	F	--	--	
	35	F	---	---	
66,6	6,25 (concentration)	S	-	+-	Truite (frais, 0,278 g) ^[6]
	12,5 (concentration)	S	-	+-	
35	26,6 (concentration)	S	-	-	Truite arc-en-ciel (104 g) ^[26]
	26,6 (concentration)	F	-	-	

S = lentilles d'eau séchées, F = lentilles d'eau fermentées

+ supérieur à l'aliment témoin, - inférieur à l'aliment témoin, +- comparable à l'aliment témoin

Autres domaines d'utilisation des lentilles d'eau

Aliments destinés aux volailles et aux porcs

Outre leur utilisation en aquaculture, les lentilles d'eau pourraient également servir à l'alimentation d'autres animaux de rente comme les porcs, les volailles ou les bovins. Si les besoins en macronutriments et micronutriments varient en fonction de l'espèce animale et du stade de vie, ils sont néanmoins fondamentalement similaires. L'utilisation de lentilles d'eau comme aliment pour volailles a été testée dans plusieurs études. Dès le milieu des années 1990, des lentilles d'eau de l'espèce *Lemna gibba* ont été utilisées pour nourrir des poules pondeuses (TOPAZ et HyLine Leghorn). Les œufs des poules dont l'alimentation contenait 15, respectivement 25 % de *L. gibba* présentaient non seulement une teneur en protéines plus élevée, mais aussi une pigmentation plus forte du jaune d'œuf.^[19]

L'aptitude des lentilles d'eau à être utilisées dans l'alimentation des porcs n'a été que peu testée jusqu'ici. Dans le cadre d'une étude, un concentré de protéines de lentilles d'eau commercial a été testé sur de jeunes porcs pour déterminer la digestibilité de l'énergie, du phosphore et des acides aminés. Aucune différence significative n'a été observée par rapport à la farine de poisson également utilisée pour nourrir les jeunes animaux dans le cadre de l'essai.^[29]

Plante bioénergétique et phytominage

À l'avenir, les lentilles d'eau pourraient également être utilisées comme plantes bioénergétiques pour la production de bioéthanol. L'avantage est que, pour cette utilisation, la teneur en protéines et, dans une certaine mesure, la biosécurité jouent un rôle plutôt secondaire. En revanche, la teneur en amidon est décisive pour la production de bioéthanol. La teneur en amidon des lentilles d'eau dépend de différents facteurs. Plus la croissance et la teneur en protéines des lentilles d'eau sont faibles, plus leur teneur en amidon est élevée.^[30]

Les lentilles d'eau peuvent en outre être utilisées pour assainir les eaux usées fortement polluées, par exemple celles provenant de l'exploitation minière, en absorbant les métaux lourds.^[31] Voilà pourquoi leur application dans le domaine du phytominage ou biominage est également envisagée. L'utilisation des lentilles d'eau s'avère particulièrement intéressante dans le cadre de la récupération du phosphore dans les eaux usées urbaines ou le lisier des animaux de rente. Lors d'essais en laboratoire, les lentilles d'eau étudiées à cet effet, comme *Lemna minor* ou *Lemna japonica*, ont absorbé du phosphore même à très basses températures (8 °C) et avec une courte durée d'exposition à la lumière du jour (6 heures).^[32]

Dans ces conditions, la croissance n'était certes pas optimale, mais l'absorption de phosphore était relativement efficace. Pour récupérer le phosphore, les lentilles d'eau sont réduites en cendres et le phosphore en est extrait.



Des lentilles d'eau sur 4000 mètres carrés dans un élevage bio de pangasius au Vietnam.

Conclusions

Les lentilles d'eau sont de précieuses sources de protéines et de potentielles plantes utiles dans l'alimentation animale. Elles offrent des protéines de haute qualité et faciles à digérer. Toutefois, dans leur production, des défis subsistent, notamment en matière de biosécurité. La biosécurité dépend fortement du substrat utilisé. Or, la production de lentilles d'eau destinées à l'alimentation animale s'avère problématique sur le plan législatif lorsque les lentilles poussent directement sur du lisier dilué.

La teneur élevée en eau de la biomasse fraîche réduit la durée de conservation des lentilles d'eau. Voilà pourquoi il s'avère nécessaire de les sécher ou de procéder à un autre traitement pour pouvoir les utiliser comme aliment pour animaux.

L'ensilage et la fermentation représentent des options intéressantes. Tant chez les carpes que chez les truites, les lentilles d'eau fermentées ont donné des résultats similaires à ceux obtenus avec des lentilles d'eau séchées. Les résultats des travaux menés au FiBL et à la ZHAW, mais aussi dans le cadre de projets internationaux, soulignent le potentiel des lentilles d'eau en tant qu'aliment pour animaux. Toutefois, d'autres projets de recherche s'avèrent nécessaires pour répondre aux questions encore en suspens.

Références

- Schader, C., Muller, A., Scialabba, N.E.-H., Hecht, J., Isensee, A., Erb, K.-H., Smith, P., Makkar, H.P.S., Klocke, P., Leiber, F., Schwegler, P., Stolze, M., Niggli, U., 2015. Impacts of feeding less food-competing feedstuffs on global food system sustainability. *J. Roy. Soc. Interface* 12, 20150891. DOI: 10.1098/rsif.2015.0891
- Baur, P., Krayner, P. (2021). Schweizer Futtermittelimporte – Entwicklung, Hintergründe, Folgen. Forschungsprojekt im Auftrag von Greenpeace Schweiz. Wädenswil: ZHAW. DOI: 10.21256/zhaw-2400
- Grenz und Angnes 2020; Wirkungsanalyse: Nachhaltigkeit der Schweizer Soja-Importe. BAFU Bericht: www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wirtschaft-konsum/externe-studien-berichte/wirkungsanalyse-nachhaltigkeit-der-schweizer-soja-importe.pdf.download.pdf/Sojabericht_BAFU_FINAL.pdf
- Cashion, T., Le Manach, F., Zeller, D., Pauly, D., 2017. Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish. *Fish Fish.* 18, 837-844. DOI: 10.1111/faf.12209
- Verma, R., Suthar, S., 2015. Utility of duckweeds as source of biomass energy: A review. *Bioenerg. Res.* 8, 1589-1597. DOI: 10.1007/s12155-015-9639-5
- Stadlander, T., Förster, S., Rosskoth, D., Leiber, F., 2019. Slurry-grown duckweed (*Spirodela polyrrhiza*) as a means to recycle nitrogen into feed for rainbow trout fry. *J. Clean. Prod.* 228, 86-93. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.196
- Xu, J., Cheng, J.J., Stomp, A.-M., 2012. Growing *Spirodela polyrrhiza* in swine wastewater for the production of animal feed and fuel ethanol: A pilot study. *Clean – Soil Air Water* 40, 760-765. DOI: 10.1002/clean.201100108
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., Simpson, D., Sutton, M.A., de Wries, W., Weiss, F., Westhoek, H., 2015. Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorous, greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environ. Res. Lett.* 10 115004. DOI: 10.1088/1748-9326/10/11/115004
- Yan, Y., Candreva, J., Shi, H., Ernst, E., Martienssen, R., Schwender, J., Shanklin, J., 2013. Survey of the total fatty acid and triacylglycerol composition and content of 30 duckweed species and cloning of a $\Delta 6$ -desaturase responsible for the production of γ -linolenic and stearidonic acids in *Lemna gibba*. *BMC Plant Biology* 2013, 13:201, <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/13/201>
- Kaplan, A., Zelicha, H., Tsaban, G., Yaskolka Meir, A., Rinott, E., Kovsan, J., Novack, L., Thiery, J., Ceglarek, U., Burkhardt, R., Willenberg, A., Tirosh, A., Cabantchik, I., Stampfer, M. J., Shai, I., 2019. Protein bioavailability of *Wolffia globosa* duckweed, a novel aquatic plant e A randomized controlled trial. *Clinical nutrition* 38 (2019) 2576-2582
- Sela, I., Yaskolka Meir, A., Brandis, A., Krajalnik-Brown, R., Zeibich, L., Chang, D., Dirks, B., Tsaban, G., Kaplan, A., Rinott, E., Zelicha, H., Arinos, S., Ceglarek, U., Isermann, B., Lapidot, M., Green, R., Shai, I., 2020. *Wolffia globosa*-Mankai Plant-Based Protein Contains Bioactive Vitamin B12 and Is Well Absorbed in Humans. *MDPI Nutrients* 2020, 12, 3067; doi:10.3390/nu12103067
- Appenroth, K.-J., Sowjanya Sree, K., Böhm, V., Hamann, S., Vetter, W., Leiterer, M., Jahreis, G., 2017. Nutritional value of duckweeds (*Lemnaceae*) as human food. *Food Chem.* 217, 266-273. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.08.116
- Stewart, J. J., Adams III, W. W., Escobar, C. M., López-Pozo, M., Demmig-Adams, B., 2020. Growth and Essential Carotenoid Micronutrients in *Lemna gibba* as a Function of Growth Light Intensity. *Front. Plant Sci.* 11:480. doi: 10.3389/fpls.2020.00480
- Tocher, Douglas R., 2010. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK, Aquaculture research* 42, 717-732, doi:10.1111/j.1365-2109.2008.02150.
- Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199, 197-227.
- Nuss, R. F., Loewus, F. A., 1978. Further studies on oxalic acid biosynthesis in oxalate-accumulating plants. *Plant Physiol.* 61, 590-592. DOI: 10.1104/pp.61.4.590

- 17 Fasakin, E.A., 1999. Nutrient quality of leaf protein concentrates produced from water fern (*Azolla africana* Desv) and duckweed (*Spirodela polyrrhiza* L. Schleiden). *Bioresource Technol.* 69, 185-187
- 18 Chakrabarti, R., Clark, W.D., Sharma, J.G., Goswami, R.K., Shrivastava, A.K., Tocher, D.R., 2018. Mass production of *Lemna minor* tax, and its amino acid and fatty acid profiles. *Frontiers in Chemistry* 6: 479. doi: 10.3389/fchem.2018.004796: 2018.00479
- 19 Hausteiner, A.T., Gilman, R.H., Skillicorn, P.W., Vergara, V., Guevara, V., Gastañaduy, A., 1990. Duckweed, a useful strategy for feeding chickens: Performance of layers fed with sewage-grown *Lemna* species. *Poultry Sci.* 69, 1835-1844
- 20 Bairagi, A., Sarkar Ghosh, K., Sen, S.K., Ray, A.K., 2002. Duckweed (*Lemna polyrrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff in formulated diets for rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium. *Bioreafter Bioresource Technology* 85, 17-24. [https://doi.org/10.1016/S0960-source8524\(02\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0960-source8524(02)00067-6)
- 21 National Research Council, 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academies Press, Washington, D.C. <https://doi.org/10.17226/13039>
- 22 Goss MJ, Tubeileh A, Goorahoo D, 2013. A review of the use of organic amendments and the risk to human health. *Advances in Agronomy* 120, 275-379. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-407686-0.00005-1>
- 23 Boonsaner, M., Hawker, D. W., 2013. Evaluation of food chain transfer of the antibiotic oxytetracycline and human risk assessment. *Chemosphere* 93 (2013) 1009–1014
- 24 Latrou, E., I., Gatidou, G., Damalas, D., Thomaidis, N. S., Stasinakis, A., S., 2017. Fate of antimicrobials in duckweed *Lemna minor* wastewater treatment systems. *Journal of Hazardous Materials* 330, 116–126
- 25 Stadlander *et al.*, FiBL, données non encore publiées
- 26 Sigrist *et al.*, ZHAW, données non encore publiées
- 27 El-Shafai, S.A., El-Gohary, F.A., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W., Gijzen, H.J., 2004. Apparent digestibility coefficient of duckweed *zen*, (*Lemna minor*), fresh and dry for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquac. Res.* 35, 574-586. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2004.01055.x
- 28 Stadlander, T., Tschudi, F., Seitz, A., Sigrist, M., Refardt, D., Leiber, F., 2023. Partial Replacement of Fishmeal with Duckweed (*Spirodela polyrrhiza*) in Feed for Two Carnivorous Fish Species, Eurasian Perch (*Perca fluviatilis*) and Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research*, online early, 6680942, <https://doi.org/10.1155/2023/6680943>
- 29 Rojas, O. J., Liu, Y., Stein, H. H., 2014. Concentration of metabolizable energy and digestibility of energy, phosphorus, and amino acids in *lemna* protein concentrate fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 92, 5222-5229. DOI: 10.2527/jas2014-8146
- 30 Xiao, Y., Fang, Y., Jin, Y., Zhang, G., Zhao, H., 2013. Culturing duckweed in the field for starch accumulation. *Industrial Crops and Products* 48 (2013) 183–190
- 31 Parnian A, Chorom M, Jaafarzadeh N, Dinarvand M. 2016. Use of two aquatic macrophytes for the removal of heavy metals from synthetic medium. *Ecohydrology and Hydrobiology* 16, 194-200. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.07.001>
- 32 Paterson, J. B., Camargo-Valero, M., A., Baker, A., 2020. Uncoupling growth from phosphorus uptake in *Lemna*: Implications for use of duckweed in wastewater remediation and P recovery in temperate climates. *Food Energy Sec.*, DOI: 10.1002/fes3.244

Impressum

Éditeur

Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL
Ackerstrasse 113, case postale 219, 5070 Frick, Suisse
Tél. +41 (0)62 865 72 72
info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Auteur: Timo Stadlander (FiBL Suisse)

Rédaction: Jeremias Lütold, Vanessa Gabel (tous deux du FiBL Suisse)

Traduction française: Sonja Wopfner

Maquette: Brigitta Maurer (FiBL)

Photos: Timo Stadlander (FiBL Suisse): p. 1,3,4,9, Marion Nitsch: (<https://www.nitsch.ch/>) p. 2, Veronika Maurer: p. 8, Thuy An Do: p. 14

N° d'article du FiBL: 1734

DOI: 10.5281/zenodo.8363400

Cette publication peut être téléchargée gratuitement depuis la boutique en ligne du FiBL: shop.fibl.org

Toutes les informations contenues dans la présente fiche technique reposent sur les meilleures connaissances et sur l'expérience de l'auteur. Malgré tout le soin apporté, des erreurs et des imprécisions ne peuvent être exclues. Ni l'auteur ni l'éditeur ne sauraient donc être tenus responsables de quelque inexactitude dans le contenu ou d'éventuels dommages consécutifs au suivi des recommandations.

1^{re} édition 2023 © FiBL

Toutes les parties de cette publication sont protégées par le droit d'auteur. Toute utilisation est interdite sans le consentement de l'éditeur. Cela vaut en particulier pour les duplications, les traductions, les microfilms, le stockage et le traitement dans des systèmes électroniques.