

飼料資源としてのアカウキクサ(Azolla)の栽培条件と栄養価 値

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者名	劉,翔 高山,耕二 山下,研人 中西,良孝 萬田,正治 稲永,厚一
発行元	日本草地学会
巻/号	44巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 266-271
発行年月	1998年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



飼料資源としてのアカウキクサ (*Azolla*) の 栽培条件と栄養価値

劉 翔・高山耕二・山下研人・中西良孝・萬田正治・稲永淳二

鹿児島大学農学部 (890-0065 鹿児島市郡元 1-21-24)
Faculty of Agriculture, Kagoshima University,
Kagoshima, Kagoshima, 890-0065 Japan

受付日: 1998年1月19日/受理日: 1998年8月12日

Synopsis

Xiang LIU, Koji TAKAYAMA, Kento YAMASHITA, Yoshitaka NAKANISHI, Masaharu MANDA and Junji INANAGA (1998): Cultivation Condition and Nutritive Value of *Azolla* as a Feed Resource. *Grassland Science* 44, 266-271.

The present study was examined to utilize the aquatic fern *Azolla* species as a feed resource effectively in southern Kyushu. The influence of culture solution pH, growing season, introduction of ducks on multiplication of *Azolla*, chemical composition and palatability of *Azolla* for ducks, and the effect of *Azolla* feeding on meat production were investigated. The results obtained were as follow:

An experiment using culture solution of pH 2.8-9.2 indicated that the *A. japonica* had a similar pattern of growth rate in each level of pH 5.5-8.5. Five *Azolla* species i. e.; *A. pinnata* 103, *A. filiculoides* 1006, *A. caroliniana* 3004, *A. microphylla* 4018, and *A. japonica* showed a slower growth during 1-2 weeks after inoculation in April (mean air temp. 14.6°C) than in May (mean air temp. 21.4°C) 1996. Though there was no significant difference of growth during 0-5 weeks after inoculation among the 5 species, *A. filiculoides* 1006 and *A. japonica* tended to grow rapidly to some extent. The biomass of *Azolla* mixture inoculated in the paddy field (with free-ranged ducks and without ducks) was not over 2000 kg/10a during 0-40 days due to furrow shading in the paddy field after rice transplanting. However, pest injuries, reddening, over-luxuriant growth, and moulds were not found in plants in the paddy field with ducks.

The *Azolla* mixture contained 25.1% crude protein on DMbasis. The palatability (FWbasis) of *A. japonica* for ducks was significantly higher than those of *Artemisia vulgaris* L., *Trifolium repens* L., *Vicia angustifolia* L., *Rumex obtusifolius* L., *Lolium multiflorum* Lam. and *Brassica oleracea* var. ($p < 0.01$).

Duckling fed with *Azolla* mixture along with formula feed, had significantly greater growth rates during 2-8 weeks of age than those fed with formula feed only. The feed conversion of the former was lower during 0-4 weeks of age than the latter, however, it tended to be higher afterwards. These findings suggested that *Azolla* had higher palatability (FWbasis) for the ducks, and also its

supplementation to the animals resulted in better meat production as well as faster growth.

Key words: *Azolla*, Duck, Growth time, Multiplication, Palatability, pH.

緒 言

温・熱帯水域に分布しているシダ植物アゾラ (*Azolla*, 日本名アカウキクサ) は、水面に群生する浮漂性の多年草であり、1個体の大きさおよそ1~4cmである³⁾。藍藻類のアナベナ (*Anabaena azollae*) との共生で空中窒素を固定する能力を有するため、昔から水田の緑肥として利用されてきた。現在、最も代表的な種は *A. filiculoides*, *A. caroliniana*, *A. microphylla*, *A. mexicana*, *A. rubra*, *A. nilotica*, *A. pinnata* の7種である⁷⁾。日本においては、本州 (新潟県以西)、四国、九州で *A. japonica* (*A. filiculoides* の亜種とも言われる)、本州 (東京以西)、四国、九州および沖縄で *A. pinnata* var. *imbricata* が生息している³⁾。アゾラは旺盛な増殖力を持ち、外部環境の良好な状態 (気温 20~30°C) では3~5日で倍増し、全窒素成分は種によって異なるが、新鮮物で0.1~0.3%、乾物では3~6%を有している^{7,9)}。窒素固定や緑肥効果に関する研究は最近20年の間に多く行われてきたが、アゾラが高いタンパク質含有率 (20~30%) を持つことで、中国、インドネシアでは牛、豚、鶏、家鴨、魚の飼料として利用されている^{2,7,9)}。一方、日本ではアゾラが水面を覆って水温を低下させたり、酸素の溶解を防ぐため、水田の強害草に分類されている³⁾。このようにアゾラの緑肥の効果や飼料としての利用に関する研究が海外で広く行われてきたものの、日本では雑草としての側面を有しているため、積極的な利用が展開されておらず、アゾラに関連した研究も少ないのが現状である。

南九州地域の気候は温暖であり、アゾラの生息地域でもあることから、アゾラが水田や休耕地で栽培可能であれば、今後の穀物飼料に替わる貴重な飼料資源となり得るものと考えられる。そこで本研究では、アゾラの生育に及ぼす環境要因 (とくに、pH、生育時期およびアイガモ放飼) の影響を検討するとともに、化学成分および家鴨による嗜好性を明らかにし、家鴨の産肉性に及ぼす影響を検討した。

Table 1. Outline of experiment paddy fields.

Year	Treatment	Area (a)	Transplant density	T-N (%)	T-C (%)	T-P (P ₂ O ₅ mg/100 g)
1996	<i>Azolla</i>	3.3 a	30×21 cm	0.0948	1.0813	69.45
	Duck+ <i>Azolla</i> ¹⁾	3.3 a	30×21 cm	0.0948	1.0813	69.45
1997	<i>Azolla</i>	2.0 a	30×30 cm	0.1270	1.0820	115.87
	Duck+ <i>Azolla</i> ¹⁾	3.0 a	30×30 cm	0.1270	1.0820	115.87

¹⁾ Six ducks were free-ranged.

Chemical fertilizer, herbicides and pesticides were not applied.

Table 2. Effect of culture solution pH on the growth of *A. japonica*.

Duration of culture (Date)	Average temperature (°C)	pH								
		2.8	3.2	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.2
		FWg/pot								
95/3/13	19.7	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
3/20	21.6	0.92	1.94	3.96	3.67	5.17	4.40	4.60	4.54	4.12
3/27	21.0	0.00	2.20	7.30	8.60	12.10	9.40	11.20	14.35	7.96
4/03	19.8		0.00	6.56	16.33	19.95	17.19	15.64	22.50	11.59
4/10	19.8			10.84	28.37	34.80	33.58	34.40	35.45	10.30

材料および方法

1. 環境要因の違いがアゾラの増殖に及ぼす影響

(1) pH の影響

1995年3月13日から4月17日まで、鹿児島大学農学部実験室内（自然光照条件）で直径30cm、深さ6.5cmの円形容器に直径15cm、深さ8cmの金属製ザルを固定し、IRRI培養液（P (20 ppm), K (40 ppm), Ca (40 ppm), Mg (40 ppm), Fe (0.50 ppm), Mn (0.50 ppm), Mo (0.15 ppm), B (0.20 ppm), Zn (0.01 ppm), Cu (0.01 ppm), Co (0.01 ppm), EDTA (C₁₀H₈O₈N₂) : 26.1 g/l 脱イオン水), H₂SO₄, NaOHを用いて pH 2.8/3.5/4.5/5.5/6.5/7.5/8.5/9.2 の9段階の培養液を作り、水道水で洗浄した *A. japonica* を各ザルにそれぞれ新鮮重で3gずつ接種し、pHを24時間ごとに調整した。週1回ザルを引き上げ、排水（3分間）後、アゾラの新鮮重を測定した。

(2) 生育時期の影響

1997年4月9日から6月25日まで、同大学内屋外5.2×9.1mのコンクリート池に砂質土壌（T-N: 0.16%, T-C: 1.36%, T-P: 4.08 mg P₂O₅/100 g）を底面より約10cm客入し、水を客土面より約10cm注入した後、過リン酸石灰（可溶性 P₂O₅ 17%）を20 g/m² 加え、10個の28×20×6 cmのプラスチック製ザルを板で水面に固定し、2元配置法による *A. pinnata* 103, *A. filiculoides* 1006, *A. caroliniana* 3004, *A. microphylla* 4018, *A. japonica* をそれぞれ1gずつ各ザルに接種培養した。また、2回目の接種とともに12 g/m² の過リン酸石灰を追加した。週1回ザルを引き上げ、排水（3分間）後アゾラの新鮮重を測定した。

(3) アイガモ放飼の影響

水稲移植時に上述5種アゾラを新鮮重で等量混合したもの

（以下、アゾラ混合物）を、1996年7月1日に6 g/m²、1997年6月17日に25 g/m²、それぞれ1週齢のマガモ系アイガモを水稲移植1週間後に6羽/3a放飼したアイガモ放飼区と無放飼区（表1）に接種した。1996年7月12日に台風の影響でアゾラが増水による流出または強風によって細片化し、枯死したため、水稲移植後21日目7月21日に再度新鮮アゾラ70 g/m²を追加接種した。アゾラが水田全体に広がるのを確認した後、コドラート法（55×37 cm）によりアゾラの新鮮重を週1回測定した。

2. アゾラの栄養価値および嗜好性

1997年7月に水田で栽培したアゾラ混合物を採取し、風乾後、105℃で2時間乾燥し、1mmの粉碎試料とした。全粉碎試料について、常法⁸⁾により粗タンパク質、粗脂肪、NFE、粗繊維、粗灰分、Ca、P、Mg含量を測定した。

1995年4月11～14日、同大学農学部附属農場動物飼育棟で、新鮮アゾラ（*A. japonica*）と同時に同農場柑橘類果樹園周辺で採取したヨモギ（*Artemisia vulgaris* L.）、シロクロバー（*Trifolium repens* L.）、カラスノエンドウ（*Vicia angustifolia* L.）、エゾノギンギン（*Rumex obtusifolius* L.）、イタリアンライグラス（*Lolium multiflorum* Lam.）およびキャベツ（*Brassica oleracea* var.）などの植物の葉部を用いて、大きさ約5cmに切断し、それぞれ40×60×10cmの同形容器に入れ、8ヵ月齢の家鴨3品種マガモ（16羽）、チェリバレー（15羽）、マガモ系アイガモ（37羽）に自由採食させ、連続4日間の日中8時間（9:00～17:00）における採食量を求め、カフェテリア法により植物間の嗜好性を比較した。なお、試験期間中に市販産卵鶏用配合飼料（CP 17.3%, ME 2,770 kcal/kg、以下、配合飼料）を通常給与量でマガモには130 g/羽、チェリバレーには290 g/羽、マガモ系アイガモに

Table 3. Fresh matter yield of *Azolla* species grown in Spring and Summer time.

Duration of culture (Date)	Amount of insolation MJ/m ²	Temperature			Yield					
		Min.	Max.	Avg.	AP ¹⁾	AF ²⁾	AC ³⁾	AM ⁴⁾	AJ ⁵⁾	Mean
		°C			FWg/pot					
First inoculation (95/4/ 9)					1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4/16	13.14	10	19	14.6	4.75	4.35	6.04	5.31	5.22	5.13 ^A
4/23	14.44	14	23	18.5	9.35	11.54	14.89	10.91	12.31	11.80 ^c
4/30	19.37	16	23	19.3	21.15	27.58	34.68	28.41	32.48	28.86 ^e
5/ 7	17.69	18	26	22.5	69.21	96.96	85.83	98.95	81.54	86.50
5/14	13.64	22	25	21.7	148.22	150.61	141.74	132.58	153.56	145.34
Second inoculation (95/5/21)					1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5/28	24.57	16	25	20.3	10.12	13.35	14.20	10.09	15.34	12.62 ^B
6/ 4	14.93	20	26	22.4	25.21	28.78	27.39	20.95	45.13	29.50 ^d
6/11	15.27	21	27	24.3	30.19	44.63	43.46	33.41	64.78	43.29 ^f
6/18	17.66	19	27	23.2	86.71	103.50	113.58	97.04	124.36	105.04
6/25	21.67	20	27	24.1	147.40	165.75	145.66	135.71	185.16	155.94

¹⁾ *A. pinnata* 103, ²⁾ *A. filiculoides* 1006, ³⁾ *A. caroliniana* 3044, ⁴⁾ *A. microphylla* 4018, ⁵⁾ *A. japonica*.

^{A,B} Different superscripts are significantly different ($p < 0.01$).

^{c,d} Different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

^{e,f} Different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

は 200 g/羽それぞれ給与し、自由飲水させた。

3. アゾラの給与が家鴨の産肉性に及ぼす影響

配合飼料と新鮮アゾラ (*A. japonica*) を用い、配合飼料区 (以下、対照区)、アゾラ区、配合飼料+アゾラ区 (以下、添加区) の 3 区 (いずれも 180×130 cm の平飼い) を設け、1 週齢のカーキーキャンベルの雛をそれぞれ 5 羽ずつ放し、飼料を不断給与しつつ 8 週齢まで飼育した。1 日当たりの採食量を毎週 2 回測定するとともに、毎週 1 回家鴨の体重を測定し、増体量、飼料要求率および屠肉性について比較検討した。

結果および考察

1. アゾラの生育に及ぼす環境要因の影響

(1) pH の影響

アゾラの生育に及ぼす pH の影響を表 2 に示した。pH 3.2 以下の酸性条件下では、接種した翌日からアゾラが細片化し、3 週間以内にほとんどが枯死した。pH 3.5 では枯死しなかったが、他のレベルに比べ生育は非常に悪かった。pH 9.2 のアルカリ性条件下では、最初の 2~3 週間で増殖がみられたが、その後、増殖が停止もしくはマイナスとなった。pH 5.5~8.5 の各レベルの生育は良好に推移し、ほぼ同程度であったが、pH 4.5 での生育が他の pH の場合よりもやや劣った。微酸性 (pH 5.9) 環境のアゾラの生育は比較的良好であるのに対して、アルカリ性 (pH 8.1) での生育は極めて劣ると報告されている^{2,7)}。したがって、本結果は、アゾラの至適 pH 域が 4~7 または 4.5~7.5 とする既報の結果とほぼ一致した。また、酸性の強さが増すにつれ、カビ (*Rhizoctonia* sp.) が発生しやすくなることも本試験で観察された。

(2) 生育時期の影響

アゾラの生育に及ぼす生育時期の影響は表 3 に示すとおり

である。4 月 9~16 日の平均気温は 14.6℃ で、接種直後の平均最低気温が 10℃ と低いため、接種後 1~2 週目のアゾラの生育は 5 月 21~6 月 4 日 (21.4℃) の場合に比べいずれの種においても非常に遅いことが見られた。また、接種後 5 週間におけるアゾラの新鮮重 (2 回の実験の平均値) は、それぞれ *A. pinnata* 103 で 147.81 g/pot, *A. filiculoides* 1006 で 158.18 g/pot, *A. caroliniana* 3004 で 143.50 g/pot, *A. microphylla* 4018 で 134.14 g/pot, *A. japonica* で 169.36 g/pot であり、最終増殖量の間には種の差が見られなかった ($p > 0.05$)。アゾラの生存可能な温度域は -5℃~45℃、最適温度域は 20~30℃ とされ²⁾、アゾラの密度が低い場合の最適平均気温は 25℃ であるが、密度と気温の上昇に伴い、生育が悪くなると報告されている¹⁰⁾。本試験では接種後 3 週目までは 4 月と 5 月の増殖の差が大きく、顕著であり、4 週目以降の差が小さいことが認められた ($p < 0.05$)。日射とアゾラの生育との関係については、Liu and ZHENG²⁾ は、短日条件よりも長日条件の方でアゾラの生育が良くなると報告している。また、日射量 19 MJ/m² まで光強度とアゾラの生育は直線的比例したという報告もあった¹⁰⁾。本試験の場合、アゾラ接種直後の週間平均日射量は 4 月 10~16 日で 13.14 MJ/m²、5 月 21~28 日で 24.57 MJ/m² であり、日射条件においては、前者より後者の方でアゾラの生育が良好であった。しかし、4 月 23~30 日の日射量は逆に 6 月 4~11 日のそれより多く、週間平均気温は 19.3℃ とやや低いが、週間増殖量は 6 月 4~11 の方が良好であった。温度や日射量に対する適応性はアゾラの種によって異なるが、いずれにしても 4~6 月の間に南九州においては *A. filiculoides* と在来種の *A. japonica* がやや高い増殖率を示した。

(3) アイガモ放飼の影響

田植え後の水田における生育については、1996 年、接種後

Table 4. Increases in biomass of mixture of 5 *Azolla* species in paddy field over days.

1996	Treatment	7/21 ¹⁾	8/15	8/23	8/29 ⁴⁾	9/5	
———— FWg/m ² ————							
	<i>Azolla</i>	70	1,215 ²⁾	1,584	1,931	1,708	
	Duck + <i>Azolla</i>	70	— ³⁾	1,236	1,627	1,810	
1997	Treatment	6/17 ¹⁾	7/11	7/14	7/21	7/28 ⁴⁾	8/4
———— FWg/m ² ————							
	<i>Azolla</i>	25	— ³⁾	1,420	1,863	1,926	1,259
	Duck + <i>Azolla</i>	25	1,328 ²⁾	1,522	1,870	2,012	1,496

¹⁾ Inoculation day.²⁾ Surface was fully covered with *Azolla* mixture.³⁾ Surface was not covered with *Azolla* mixture.⁴⁾ 40 days after inoculation.Table 5. Chemical composition of mixture of 5 *Azolla* species.

Component	DM basis (%)
Crude protein	25.10
Crude fat	4.63
NFE	41.82
Crude fiber	14.80
Crude Ash	13.47
Ca	0.872
P	0.554
Mg	0.366

40 日目に無放飼区では平均 1,931 kg/10 a の新鮮重が得られたが、アイガモ放飼区では 1,627 kg/10 a であった (表 4)。1996 年の 2 回目の接種時期は遅く、アイガモ区のアゾラがアイガモによって採食され、初期の増殖が低下したためと考えられる。1997 年については、表 4 に示したように、アイガモ放飼区のアゾラの初期生育は無放飼区のそれよりも顕著に優れていたが、7 月 28 日調査時における最大生育量は両区間に大きな差は見られなかった。したがって、この時期に得られたアゾラ生草収量は当該地域の水稲作付時の最大収量に近いとも考えられた。ただし、無放飼区ではアゾラの多くは赤色 (アントシアン色素) を呈し、密度は 1.5~2.5 kg/m² と同一田面において非常に不均一であった。これは、無放飼区のアゾラにはカビが多く発生し、またメイガ類 (*Pyrallis* sp.) やスクミリンゴガイ (*Pomacea canaliculata*) による被害が発生して大半のアゾラが早期に枯死したと関係していた。一方、アイガモ放飼区では、アゾラは 3 週間内に水面全体を覆うまで増殖し、カビの発生も無く良好な緑色を呈していた。アゾラは水生昆虫に弱いため^{2,6,9)}、アゾラ栽培する場合、雑食性のアイガモに駆虫を行わせたり、アイガモの運動によりアゾラを拡散させる (密度の低下) 効果があるものと思われる。本試験では、アゾラを通常に栽培する場合、5 週間で約 3,250~3,750 kg/10 a の新鮮重を得ることが可能であったが (実験 1-2 の結果からの推算、渡邊¹⁰⁾ はアゾラを稲の畦間に生育させた場合、遮光により生育が抑制され、田植前より劣

ると報告している。1996 年の接種量が 1997 年よりも多かったにもかかわらず、接種後 40 日間の増殖量が 1996 年よりも 1997 年でも多かったのは土壌条件 (特にアゾラの生育に最も影響する土壌有効磷酸含量は 1996 年 69.45 P₂O₅ mg/100 g, 1997 年 115.87 P₂O₅ mg/100 g)、稲の移植密度 (1996 年 30×21 cm, 1997 年 30×30 cm) および接種時期の違いによるものと考えられる。したがって、田植え後の水田を利用するよりも田植え前の水田あるいは池を利用する方が生産量は多くなるものと推察される。

2. アゾラの栄養価値および嗜好性

アイガモ放飼水田で栽培した 5 種のアゾラ混合物の粗タンパク質含量は乾物で 25.1%, 飼料作物アカクロバ (開花期粗タンパク質含量 21.9%), イタリアンライグラス (出穂前粗タンパク質 18.4%), アルファルファ (開花期粗タンパク質 17.7%) などよりも高い含量である (表 5)。しかしながら、春先に栽培したものは、低温の影響により、粗タンパク質 (19~21.1%) や可溶性糖分が低下し、粗繊維が比較的高くなる傾向も見られる^{2,6)}。

アゾラの個体は小さく、葉は全体の約 9 割を占めており、柔らかく食べやすい形態をしている。家鴨を用いた嗜好性試験において、新鮮物摂取量ではアゾラが最も多かったが、乾物摂取量ではアゾラとヨモギ、シロクロバ、イタリアンライグラス、カラスノエンドウとの間には差が見られなかった (表 6)。これは、新鮮アゾラの水分含量 (90~94%) が高かったことが第一義的に考えられるが、さらに摂取量と粗繊維成分、タンパク質、糖含有率との関係を検討する必要があると考えられる。

3. アゾラの給与が家鴨の産肉性に及ぼす影響

アゾラ区の雛は試験開始後の 3 日間採食および飲水行動のいずれも正常であったが、その後、活動が衰え、6 日目に全て死亡した。一方、添加区の雛の採食量は対照区より多く、成長も対照区より非常に早かった (表 7)。添加区の平均体重は生後 2~5 週齢まで対照区の約 2 倍であり、その後の体重差も大きかった。また、添加区の雛の成長はほぼ均一であるのに対して、対照区ではバラツキが見られた。2~8 週齢までの各週の体重は対照区に比べ添加区ですべて有意に大きかった

Table 6. Palatability of *Azolla* for ducks in 8 hours.

Plant species	Mean (FW g/duck)	Mean (DW g/duck)
<i>Azolla</i> (<i>Azolla japonica</i>)	100.58 ^A	5.54 ^{ab}
Mugwort (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)	32.73 ^B	6.62 ^a
White clover (<i>Trifolium repens</i> L.)	21.85 ^B	3.12 ^{bc}
Italian ryegrass (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.)	17.13 ^B	2.96 ^{bc}
Common vetch (<i>Vicia angustifolia</i> L.)	17.13 ^B	2.95 ^{bc}
Cabbage (<i>Brassica oleracea</i> var.)	35.65 ^B	2.14 ^c
Broadleaf dock (<i>Rumex obtusifolius</i> L.)	14.18 ^B	1.60 ^c

^{A,B} Different superscripts between species are significantly different ($p < 0.01$).^{a,b,c} Different superscripts between species are significantly different ($p < 0.05$).Table 7. Effect of supplementation of *Azolla* to formula feed on the growth of duck.

Item	Treatment	Weeks of age							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Live weight (g)	Control ¹⁾	54	95 ± 48 ^a	164 ± 118 ^a	269 ± 205 ^a	396 ± 286 ^a	515 ± 345 ^a	659 ± 373 ^a	797 ± 327 ^a
	AF ²⁾	54	Died	—	—	—	—	—	—
	FAF ³⁾	54	165 ± 24 ^b	351 ± 32 ^b	575 ± 40 ^b	789 ± 35 ^b	951 ± 66 ^b	1,130 ± 88 ^b	1,257 ± 73 ^b
Feed conversion ⁴⁾	Control ¹⁾	—	3.38	2.86	3.06	3.34	4.44	4.06	4.76
	FAF ³⁾	—	0.26	2.64	3.10	3.66	5.55	5.94	6.43
Formula feed consumed (g/duck)	Control ¹⁾	—	19.8	28.19	45.90	60.60	75.48	83.52	93.84
	FAF ³⁾	—	33.80	54.45	81.20	93.48	107.00	125.76	96.01
<i>Azolla</i> feed consumed (DWg/duck)	FAF ³⁾	—	7.43	15.70	18.00	18.41	21.44	26.13	20.65

¹⁾ Formula feed.²⁾ *Azolla* feed.³⁾ Formula feed + *Azolla* feed.⁴⁾ Pooled data of 5 Khaki Cambell ducks within each treatment group.^{a,b} Different superscripts between treatments are significantly different ($p < 0.05$).

Table 8. Carcass traits of experimental ducks.

Treatment	Live weight	Carcass weight	Edible part	Inedible part	Dressing	Edible part of live weight
	g/duck			%		
Control	840.8 ^a	741.5 ^a	569.3 ^a	171.0 ^a	88.40	67.81
FAF ¹⁾	1,249.4 ^b	1,082.6 ^b	847.8 ^b	228.8 ^b	86.65	67.81

¹⁾ Formula feed + *Azolla* feed.^{a,b} Different superscripts between treatments are significantly different ($p < 0.05$).

(p < 0.05)。

8週齢における添加区の家鴨の生体重、可食部重量は対照区より有意に高かった (表8) ($p < 0.05$)。また、内臓器官などの不可食部重量も添加区で有意に高かった ($p < 0.05$)。汐見ら⁷⁾は、市販配合飼料の20%を乾燥アゾラで代替した飼料をラットに給与した場合、雄の生体重は市販配合飼料のみを給与した区よりも4週間後に約10-15%劣ったが、雌ではほとんど変わらなかったと報告している。LIU and ZHENG²⁾は、新鮮アゾラによる配合飼料の10%代替や配合飼料中の大麦やト

ウモロコシの代替によってブロイラーの6週間飼育の成績を比較して、対照区に比べすべての代替区の生体重が配合飼料のみを給与した区よりも大きかったと報告した。一方、QUERUBIN *et al.*⁴⁾は、配合飼料の5%、10%、15%をそれぞれ乾燥アゾラで置き換えた飼料をブロイラーに6週間給与した試験において、増体重では配合飼料のみを給与した区との間に有意差が認められなかったが、アゾラで置き換えた区の採食量はすべて有意に多く、15%アゾラを給与した場合の飼料要求率は他の区よりも有意に大きかったと報告している。本試験では、添加区の飼料要求

率は4週齢まで対照区よりも低いかまたは同じであったが、5週齢以降は高い傾向が見られ、QUERUBIN *et al.*⁴⁾の試験と一致した(表7)。アゾラ飼料を添加した場合の採食量増加の原因について、QUERUBIN *et al.*⁴⁾は、高粗繊維、高灰分および低代謝エネルギー含量が関与していると述べている。表5に示したように、13.47%という粗灰分は給与した配合飼料に比べ、決して高くはないが、粗繊維はやや高く、そのことが物理的刺激を消化器官に与え、そこを通過する時間を短縮させたものと推察される⁹⁾。また、アゾラにはタンパク質、アミノ酸(とくに、リジンの含量が高い)およびビタミン類が多く含まれることから^{1,2,9)}、食欲を増進する効果があると思われる。しかしながら、アゾラの種の違いによる栄養価や動物に対する嗜好性や消化率などについてはいまだに不明な点が多く、検討の余地がある。

以上の結果から、アゾラの至適 pH 環境は pH 5.5~8.5 であり、南九州の気候条件におけるアゾラの栽培は平均気温 14.6~19.3 の 4 月より平均気温 20.3~24.3 の 5 月と 6 月の方が良好であった。水稻作付時におけるアゾラの新鮮物収量は、接種量 25 g/m² 以上の場合、40 日で 2,000 kg/10 a であった。また、アゾラの粗タンパク質含量や家鴨におけるアゾラの新鮮物摂取量は高く、アゾラが雛の発育を促進する効果があることが明らかとなった。BUCKINGHAM *et al.*¹⁾は反芻動物におけるアゾラの消化率がアルファルファに比較して高く、反芻動物の添加飼料としてより効果的であると示唆している。このように、新鮮アゾラを添加物として利用することの有利性が多くの研究によって明らかにされたが、原物のサイレージ化も十分考えられる。しかし、アゾラの飼料としての利用はほとんど新鮮物利用に限られ、貯蔵飼料としての利用はまだ実用化されていない。なお、今後の課題としてアゾラの消化率、他の家畜に対する嗜好性、代替飼料としての可能性あるいはサイレージとしての利用などをさらに検討する必要があると思われる。

引用文献

- 1) BUCKINGHAM, K.W., STEPHEN W.E., JAMES, G.M. and C.R. GOLDMAN (1978) Nutritive value of the nitrogen-fixing aquatic fern *Azolla filiculoides*. *J. Agric Food Chem.* **26** (5), 1230-1234.
- 2) LIU C. and W. ZHENG (1989. 5) *Azolla* in China (中国滿江紅). 農業出版社. 北京. p. 429.
- 3) 大滝末男・石戸 忠 (1980) 日本水生植物図鑑. 北隆館. 東京. 128-139, 264-265.
- 4) QUERUBIN, L.J., ALCANTARA, P.F. and A.O. PRINCESA (1986) Chemical Composition of three *Azolla* Species and Feeding Value of *Azolla* Meal in Broiler Ration II. *Phil. Agric.* **69**, 479-490.
- 5) SANGINGA, N. and C. VAN HOVE (1989) Amino acid composition of *Azolla* as affected by strains and population density. *Plant and Soil* **117**, 263-267.

- 6) 浙江省農業科学院土壤肥料研究所 (1975) アゾラの栽培と利用. 農業出版社. 北京. p. 127.
- 7) 汐見信行・鬼頭俊而・矢田敏晃 (1986) アカウキクサ (*Azolla*) の利用. *生物科学* **38** (2) 66-72.
- 8) 須藤 浩 (1983) 飼料学講義. 養賢堂. 東京. p. 420.
- 9) 渡邊 巖 (1993) 熱帯水田農業での低投入持続型農業 (Low Input Sustainable Agriculture-LISA) を求めて. シンポジウム: 熱帯地域における農業振興と環境保全. *熱帯農業* **37** (2), 146-149.
- 10) 渡邊 巖 (1989) 生物窒素固定研究における最近の成果 [18]. *農業および園芸* **64** (11), 88-95.
- 11) 渡邊 巖 (1991) アゾラ・ラン藻共生系の窒素固定に関する研究とその応用. *肥料科学* **14**, 85-114.

要 旨

劉 翔・高山耕二・山下研人・中西良孝・萬田正治・稲永淳二 (1998): 飼料資源としてのアカウキクサ (*Azolla*) の栽培条件と栄養価値. *Grassland Science* **44**, 266-271.

南九州における水生シダ植物アゾラ (*Azolla*, 日本名アカウキクサ) の飼料化を確立するため、pH、生育時期およびアイガモ放飼がアゾラの生育に及ぼす影響を検討するとともに、化学成分、家鴨による嗜好性およびその給与が家鴨の産肉性に及ぼす影響を検討した。

pH 2.8~9.2 の各培養液による生育について、pH 5.5~8.5 での *A. japonica* の生育には差がみられなかった。4 月上旬および 5 月下旬にそれぞれ室外環境で接種した *A. pinnata* 103, *A. filiculoides* 1006, *A. caroliniana* 3004, *A. microphylla* 4018, *A. japonica* の生育については、接種後 1~2 週目の生育はいずれの種においても 5 月 (平均気温 21.4℃) に比べ 4 月 (平均気温 14.6℃) で遅かった。接種後 5 週間の増殖量についてアゾラ種間で差がみられなかったものの ($p > 0.05$)、*A. filiculoides* 1006 と在来種の *A. japonica* の生育がやや速い傾向を示した。田植え後の水田に接種したアゾラはアイガモ放飼区および無放飼区とも生育が遮光により低下し、接種後 40 日間の新鮮物収量は約 2,000 kg/10 a であったが、アイガモ放飼区では虫害、赤変、過繁茂あるいはカビなどが発生しなかった。

上述 5 種アゾラ混合物の粗タンパク質含量は乾物当たり 25.1% であり、家鴨による嗜好性については、ヨモギ (*Artemisia vulgaris* L.)、シロクロバー (*Trifolium repens* L.)、カラスノエンドウ (*Vicia angustifolia* L.)、エゾノギギシ (*Rumex obtusifolius* L.)、イタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) およびキャベツ (*Brassica oleracea* var.) に比べ、アゾラの新鮮物摂取量が有意に高かった ($p < 0.01$)。アゾラと配合飼料を家鴨雛に給与した場合、2~8 週齢の体重は対照区に比べ有意に大きかった ($p < 0.05$)。飼料要求率は 4 週齢まで対照区よりも低かったが、その後、増大する傾向が認められた。以上から、アゾラ新鮮物は家鴨による嗜好性が高く、その給与が発育を促進するとともに、産肉性にも良好な成績をもたらすことが示唆された。

キーワード: アゾラ, 家鴨, 嗜好性, 生育時期, 増殖, pH.