

ウキクサの養蚕飼料化への試み

田中 修

(甲南大学理学部生物学教室)

水生植物ウキクサは、湖沼汚染の原因となっている窒素やリンを積極的に吸収して生長するため、水質を浄化し、その植物体は飼料、肥料として役立つとともに、発酵によりメタンガスを採取できる有望なバイオマス資源と考えられている (Hillman & Culley 1978、高橋 1981、松本 1981、Reddy 1984)。その理由については、本会報にすでに述べた (田中 1981) が、以下のように要約できよう。

ウキクサは水面に漂いながら、酵母の出芽のように無性生殖的に子孫を増やしていき、その増殖速度はすこぶる大きい。野外条件下においては、1 m²の池で1週間に0.68 kg収穫できると報告されており (Bhanthumnavin & McGarry 1971)、培養条件を制御した場合には、1週間で20倍に増殖させることもできる (Tanaka et al. 1982)。そして、その植物体は高い栄養価に満ちている。ある分析結果によると、乾物重の37%が粗タンパク質、5%が脂肪、7.5%が繊維、11%が灰分である (Hillman & Culley 1978)。これらの数値をもとに、植物性タンパク質資源として栽培された食糧に供されている大豆と比較すると、ウキクサの年間生産量は単位面積当たり大豆のほぼ10倍で、タンパク質含有率が大豆とほぼ同じであるため、年間の単位面積当たりの粗タンパク質生産量は10倍ということになる。また、豊富なアミノ酸含有量も調べられており (Tanaka & Takimoto 1975)、ブタやニワトリのアミノ酸要求量を十分満たすことが報告されている (松本 1981)。

1978年、アメリカのW. S. Hillmanらにより、乳牛の排泄物を肥料としてウキクサを培養し、増殖した植物体を飼料として乳牛の飼料に利用する「ウキクサ牧場」の構想が発表されて以来、わが国においても、ウサギなどを用いて飼料化の試みが行なわれている (松本 1981)。

一方、蚕の人工飼料に関する研究は、季節に依存しない養蚕や、より大きな繭の生産を目的として始められ、摂食機構の解析や摂食誘起物質の解明とともに発展してきた。その結果、脱脂大豆粉末がタンパク質源としての栄養要求性を満たし、すぐれた成育をもたらすことが明らかにされ、現在、脱脂大豆粉末が人工飼料の主成分

として用いられている。ところが、大豆はわが国においてはほとんど輸入に頼っており、地球的規模で深刻化しつつある食糧不足問題を考えると、蚕の人工飼料としても、新しいタンパク質資源の開発が望まれる。また、近年、蚕の成長促進因子として淡水性緑藻クロレラの添加がすでに実用化されている。

そこで、ウキクサが人間の植物性タンパク質資源となる究極的夢を抱きつつ、今回、この植物が蚕のタンパク質源飼料となりうるものかどうか、また、成長促進因子として働き得るかどうかなどの興味のもとに、ウキクサの脱脂粉末を稚蚕の人工飼料に加えてみたので、その結果を報告する

材料および方法

飼料の調整

3種のウキクサ、アオウキクサ (*Lemna paucicostata* 6746)、イボウキクサ (*Lemna gibba* G 3)、およびミジンコウキクサ (*Wolffia arrhiza*) を自然日長の30±5℃の温室内で、植物培養液Hyponexを約0.3%に水道水で希釈した培養液を用いて、10リットルの平底バケツ内で生育させ、1週間ごとに増殖したウキクサを収穫し、30~40℃で風乾した。これらの乾燥ウキクサは、予備実験において、蚕の忌避物質を含んでいることが示唆されたので、松高ら (1977) の方法に従い、メタノール処理した。つまり、収穫したウキクサを3~5倍量の沸騰メタノール中に30分間浸ける処理を3回くり返し、洗浄してメタノール可溶成分を除去した後、乳鉢と乳棒で粉末化した。

基本飼料としては、松原ら (1967) による飼料M20 (Table 1) を用い、これに含まれる脱脂大豆粉末を種々の割合で脱脂ウキクサ粉末に置き換えた。このようにして調整した飼料は、すべて高圧蒸気 (1.2kg/cm²、120℃) で30分間滅菌した。

蚕の飼育

交雑種、郡華 (♀) × 芳香 (♂) (グンゼ株式会社) の人工的休眠卵を25℃に4~5日置き、クラチン1.7g、

Table 1 Composition of artificial diet

| Component | | |
|---------------------------------|------|------|
| Soybean powder | 4 | (g) |
| Potato starch | 0.3 | |
| Mulberry leaf powder | 2 | |
| Cellulose powder | 3.5 | |
| — Sitosterol | 0.05 | |
| Mineral A,B,C* | each | 0.2 |
| Agar | 0.2 | |
| Sucrose | 0.6 | |
| Gallic acid | 0.05 | |
| Vitamin mixture* | 0.05 | |
| Ascorbic acid | 0.1 | |
| Inositol | 0.05 | |
| K ₂ HPO ₄ | 0.05 | |
| Choline chloride | 0.01 | |
| D. S. M. ** | 0.01 | |
| H ₂ O | 22 | (ml) |

* See Matsubara et al. (1967).

** Dihydrostreptomycin sulfate.

ネオクラチン0.8gを500mlの水に溶かした消毒液に15分間浸し、滅菌した。2～3日後、孵化した蠶蚕を前述のように調整してシャーレに置かれた飼料上に、各実験区とも100～200個体を掃き立て、弱光連続照明下で、無菌的に成育させた。

結果

脱脂粉末化した3種のウキクサのうち、アオウキクサとイボウキクサは、予備実験において、蚕の成育にほとんど同じ影響を与えることが示唆されたので、本実験においては、アオウキクサとミジンコウキクサの脱脂粉末のみを用いた。

基本飼料M20に含まれる脱脂大豆粉末の25、50、100%を、それぞれ、脱脂ウキクサ粉末で置き換えた実験飼料で飼育した蠶蚕の成育結果は、次のとおりである。

掃き立て後、3、5、7日目の観察結果

アオウキクサの脱脂粉末は、飼料に加える割合を増すにつれて令の進行を遅らせ、大豆粉末と100%置き換えた場合には、5日目で著しい阻害効果を示した (Table 2)。

一方、ミジンコウキクサの脱脂粉末を用いると、置き

Table 2 The development of the silkworm larvae reared for 7 days after hatching on an artificial diet containing powdered *Lemna paucicostata* 6746 or *Wolffia arrhiza* treated with methanol

| Percentage of duckweed powder substituted for soybean powder. | Percentage of larvae in each instar on | | | | | |
|---|--|-----|----------|------|----------|-----|
| | 3rd day* | | 5th day* | | 7th day* | |
| | 1st | 2nd | 1st | 2nd | 1st+2nd | 3rd |
| Control | 100 | 0 | 1.7 | 98.3 | 98.3 | 1.7 |
| <i>L. paucicostata</i> 6746 | | | | | | |
| 25 % | 100 | 0 | 3.2 | 96.8 | 98.9 | 1.1 |
| 50 % | 100 | 0 | 5.8 | 94.2 | 100 | 0 |
| 100 % | 100 | 0 | 70.4 | 29.6 | 100 | 0 |
| <i>W. arrhiza</i> | | | | | | |
| 25 % | 95.9 | 4.1 | 1.7 | 98.3 | 95.0 | 5.0 |
| 50 % | 98.9 | 1.1 | 1.7 | 98.3 | 100 | 0 |
| 100 % | 100 | 0 | 23.8 | 76.2 | 100 | 0 |

* days after hatching.

Table 3 The developmental stage and body weight on the 9th day after hatching of silkworm larvae reared on an artificial diet containing powdered *Lemna paucicostata* 6746 or *Wolffia arrhiza* treated with methanol.

| Percentage of duckweed powder substituted for soybean powder. | Percentage of larvae in the | | Body weight (mg) mean \pm standard error |
|---|-----------------------------|------------|--|
| | 2nd instar | 3rd instar | |
| Control | 54.6 | 45.4 | 35.5 \pm 2.9 |
| <i>L. paucicostata</i> 6746 | | | |
| 25 % | 58.1 | 41.9 | 31.3 \pm 1.2 |
| 50 % | 62.6 | 37.4 | 27.5 \pm 2.4 |
| 100 % | 98.6 | 1.4 | 18.8 \pm 1.3 |
| <i>W. arrhiza</i> | | | |
| 25 % | 28.7 | 71.3 | 34.6 \pm 2.9 |
| 50 % | 61.4 | 38.6 | 27.2 \pm 1.3 |
| 100 % | 87.6 | 12.4 | 23.1 \pm 1.8 |

換え率が25、50%で、3日目における2令蚕の出現が、脱脂大豆粉末100%の実験区に比べてやや速められ、7日目における3令蚕の出現も、置き換え率50%でやや促進された (Table 2)。

掃き立て後、9日目の観察結果

大豆粉末をアオウキクサの脱脂粉末で25%置き換えた場合は、大豆粉末100%の場合に比べて、3令蚕の出現割合、1個体当りの平均体重ともやや劣る程度であるが、置き換え率が増すにつれて成育阻害は著しく、大豆粉末を100%アオウキクサ粉末で置き換えた場合には、3令蚕の出現はごくわずかであり、平均体重も対照区の約半分であった。また、死亡する個体の数も多くなった (Table 3)。

ミジンコウキクサの脱脂粉末を25%の割合で加えた場合の3令蚕出現の割合は、大豆粉末100%の実験区を大きく上回った。ただし、1個体当りの平均体重では、対照区に比べてやや劣っていた (Table 3)。

考 察

以上の結果は、メタノール処理した脱脂ウキクサ粉末は養蚕飼料として利用できる可能性を示唆しているが、同時に、その際には、ウキクサの種類や飼料中に加える割合を工夫しなければならぬ等の問題点をも指摘している。

人工飼料M20中の脱脂大豆粉末の25%を脱脂ミジンコウキクサ粉末で置き換えた場合、1個当りの平均体重は対照区より劣っているが、3令蚕の出現がやや早く、2令期の短縮が観察された。ミジンコウキクサは東南アジアの一部、ビルマやラオス、タイ北部では野菜として食用に供される長径1mmぐらいの小さなウキクサであるが、増殖期にはタンパク質含有量が高く、その栄養的価値が注目されている (河口 1976, Hillman & Culley 1978)。しかし、ここに示された結果からは、このウキクサの脱脂粉末はタンパク質源として大豆粉末の代用とするよりも、むしろ成長促進効果をもつ添加物として利用することが有望であるように思われる。

本実験においては、以上のような結果が得られたが、これらは1~3令の稚蚕期についての観察であり、ウキクサの養蚕飼料化のためには、2令期短縮が繭層重にどのような影響を及ぼすかなどを含めて、更に詳細な検討を加えねばならない。そして、ウキクサ粉末による大豆節約という観点からは、4~5令の壮蚕期の飼料としての有効性を検討することが必要であろう。

なお、養蚕飼料に添加し、成長促進をもたらすために実用化されているクロレラは、無菌的に培養された場合にのみ有効だと言われているので、無菌的に培養したウキクサの脱脂粉末が蚕の成長にどのような影響を与えるかは今後の問題として残されている。また、ウキクサに

は多くの種類があり、かつ、それらの含有成分(タンパク質やアミノ酸)は培養条件で大きく変化すること(Tanaka & Takimoto 1975)を考え合わせると、今後の研究によってウキクサの養蚕飼料化が可能になるものと思われる

謝 辞

本実験の遂行にあたり、京都大学理学部植物生態研究施設のノートバイオトロンを使用させていただき、蚕飼育の御指導を下された清水勇先生、ならびに、多大の御協力を下された京都大学農学部教授 滝本敦先生に深く御礼申し上げます。

なお、本研究は財団法人覚悟会の昭和57年度研究助成を受け、1982、1983年に行なわれたものである。

引用文献

Bhanthumavin, K. and McGarry, M. G. (1971) *Wolffia arrhiza* as a possible source of inexpensive protein. *Nature* 232:65.

Hillman, W. S. and D. D. Culley, Jr. (1978) The uses of duckweed. *American Scientist* 66: 442-451.

河口宏太郎 (1975) 新食糧資源「ウォルヒア」化学と工業 28 (10):92-95.

松原藤好・加藤 勝・林屋慶三・児玉礼次郎・浜村保次 (1967) 人工飼料による家蚕の無菌飼育. *日蚕雑* 36:39-45.

松本 聡 (1981) ウキクサによる富栄養塩吸収とその利用. *化学と生物* 19:594-600.

松高寿子・松野隆男・平岡保子・加藤 勝 (1977) カイコ胚期の環境温度がキャベツ葉粉末の人工飼育に及ぼす影響. *生物環境調節* 15:47-52.

Reddy, K.R. (1984) 水生植物の栄養塩除去能力. *水草研究会会報*. 18:13-15. 国井秀伸 訳

高橋 成人 (1981) ウキクサ—その繁殖様式を中心として— バイオマス 生産と変換(上)pp.203-213. 柴田和雄・木谷収編 学会出版センター.

田中 修 (1981) バイオマス資源としてのウキクサ. *水草研究会会報*. 5:2-5

Tanaka, O. and A. Takimoto (1975) Suppression of long-day flowering by nitrogenous compounds in *Lemna perpusilla* 6746. *Plant & Cell Physiol.* 16:603-610.

Tanaka, O., Y. Nasu, D. Yanase, A. Takimoto and M. Kugimoto (1982) pH dependence of the copper effect on flowering, growth and chlorophyll content in *Lemna paucicostata* 6746. *Plant & Cell Physiol.* 23:1479-1482.

○会員移動

<新入会>

[Redacted member information]

<住所変更>

[Redacted address change information]

○投稿のお願い

水草に関するさまざまな原稿をお待ちしています。
 [送り先] 〒657 神戸市灘区鶴甲1-2-1
 神戸大学教養部 角野康郎宛

水草研究会会報 No 21 (1985年9月)
 [Bulletin of Water Plant Society, Japan]

発行 水草研究会(神戸市灘区鶴甲1-2-1
 神戸大学教養部生物学教室内)

編集 角野康郎

印刷 中村印刷株式会社
 (神戸市灘区友田町3-2-3)