

小石川植物園に教室があったころ 清原 全博士がクロモを用いて染色体の研究をしておられ 各地からのクロモが水鉢にいれられ生育していた そこで それらの植物を使ってふたりで花粉の発生や染色体の研究をはじめた そのときの結果は不完全であったが予報した (1928) このさいの植物は 東京市内 下練馬 鴻ノ台などで採集されたもので はじめしらべたのは 雄植物だけであった 根では染色体は $2n=24$ であり 大小2組ある 花粉母細胞の減数分裂では 1個の不等対があり これがXY型の染色体と推定されるという結果をえた しかし雌株をみていないのでたしかではない ちなみに *Elodea* は $2n=48$ である

そこで私はそのごこれをさらにたしかめたく 夏のおわりに蒲田に新しくクロモの採集にいった すこし時季

がおそく 花をつけた雄株だけを採集した 現地で花と根とをカルノア液その他で固定してかえった 実験室で 生のツボミをアセトカーミンで観察もした すると意外なことに減数分裂では 8個の2価染色体 根では $2n=16$ しかみえない 16は大3対 中2対 小3対となる この新しいクロモは2倍体であり まえにみていたのは3倍体ということになる

さて 私のお願いというのは みなさんの住んでおられるところにあるクロモをほんのすこしでも送っていただきたい 原田先生にもすでにお願ひした 今私の手元に生育しているクロモは 近ごろのもので まだ染色体はみていない 私はむかしみた2倍体をもういちどほしいと願っているしだいである

—水草研究会名誉会員—

バイオマス資源としてのウキクサ

田 中 修

(京都大学農学部応用植物学教室)

はじめに

エネルギーの根源を、ほとんど石油に依存している現代社会は、石油・石炭などの化石燃料が、いつの日か、枯渇してしまうことを悟っている。また一方では、地球にふりそそぐ太陽のエネルギーは膨大なもので、今後、何百億年の間、地球はその恩恵に浴せるであろうことを知っている。それ故、私たちがもっと積極的に多くの太陽エネルギーを利用できないだろうか考えるのは当然であり、近年、太陽熱発電・太陽光発電や太陽熱冷暖房・給湯システムなど太陽エネルギー利用の技術開発や研究が、多くの人々の注目を集めてきている。

ところが、この地球上で、人工的な特別の設備を必要とせず、最も有効に太陽エネルギーを利用する術を持っているのは、光合成を営む植物である。この術がいかにすばらしいかは、人工的に、水と二酸化炭素から糖やデンプンをつくらうとした時、頭に浮かぶ設備や工程の複雑さを考えると理解できる。しかし、植物がどんなに巧みに太陽エネルギーを利用しているとしても、地球上に生活する海や陸のすべての植物が利用している太陽エネルギーは年間に 6.9×10^{17} kcal ぐらいと試算され、一年に地表に到達する太陽エネルギーの総量 6.0×10^{20} kcal のわずかに 0.12% にすぎない。

バイオマス資源植物

そこで、太陽エネルギーをもっと積極的に多くの植物に利用させて、地球上の植物による総光合成量を増大させ、植物体内に光合成産物の形で太陽エネルギーを捕えさせようという考えが生まれ、そのための栽培対象となりうる植物が、バイオマス資源植物と呼ばれている。広い意味では、太陽エネルギーを使って光合成を営むすべての植物がバイオマス資源と考えられるが、太陽エネルギーを効率的に利用するという観点から、バイオマス資源となりうる植物には、いくつかの条件が必要になってくる。

たとえば、栽培地の問題であり、わが国のように耕地面積の増加がほとんど望めない条件下にあっては、第一義的に考慮されねばならない。次に単位面積あたりの生産性が高いことであり、栽培地の問題と密接な関係を持っている。また、栽培コストの低さも必須であり、その植物の利用価値なども重要な要因となってくる。石油の成分とよく似た炭化水素をつくるため、「石油をつくる植物」と言われるホルトソウやユウカリ、アルコール燃料を取り出すのにブラジルなどで盛んに栽培されているキャッサバなど、すでに知られているバイオマス資源植物は、これらのいくつかの条件

に適合しているものである。

栽培地の問題や単位面積あたりの収穫量から考えると、川や池、湖や海に生活する水生植物も有力なバイオマス資源として考慮され、ジャイアントケルプやホテイアオイなどの名が浮かびあがっている。アメリカ航空宇宙局 (NASA) では、ホテイアオイの強い繁殖力を利用して、富栄養化した水質の浄化を計り、生長した植物体は家畜の飼料として利用したり、メタン発酵により、エネルギー源として価値の高いメタンガスを発生させる材料に使おうとの、興味深い、一石二鳥の開発利用テストが行なわれている。わが国においても、この種の試みは注目されており、ホテイアオイの、乳牛・豚・鶏などに対する飼料としての可能性が検討され、栄養的観点から、アミノ酸組成の分析も進められている。

ホテイアオイに関するこれらの試みは、この植物が特別に新しい栽培地を必要とすることもなく、単位面積当りの収穫量が高く、生産コストが低いことに起因している。このような意味から、同じ水生植物であり、長年にわたり、もっぱら植物生理学的な研究の実験植物として用いられてきたウキクサもまた、バイオマス資源として有望視される。

ウキクサ

ウキクサは、春から夏にかけて一面の緑で水田をおおい、池や沼に浮かび漂う雑草で、植物体は、基本的には、茎の変形した葉のような外観を呈する葉状体と呼ばれる部分と根からだけで成っている。葉状体は気孔や葉緑体を備えて光合成を営み、機能的に葉の役割を果している。このように、植物体の構造が極端に単純なため、分類学的には多少の問題が残されているが、世界的には6属30種が知られ、日本には3属8種が分布している。普通には、栄養生殖で増えるため、花の観察されることは稀であるが、りっぱな顕花植物であり、環境条件が整えば、白や黄色の花を咲かせ、種子もつくる。

栄養生殖の形態は、種によっても多少異なるが、葉状体の裏面にある袋状のポケットと呼ばれるところから、子供の葉状体が生まれ出る。したがって、ウキクサが1つの葉状体だけで生活することはほとんどなく、親や子供、孫などのいくつかの世代がコロニーと呼ばれる群体をなして生活している。

高い栄養価と増殖性

バイオマス資源植物として重要視される、この植物の増殖速度はすこぶる大きい。たとえば、アオウキクサという種の3葉状体からなる1コロニーをある実験条件下で育ててみると、7日間で、ほぼ25コロニーとなり、2.5日で約3倍に増加する。また、自然条件下で生育させたウキクサは、1週間に、1平方メートルの池から、0.68 kg収穫できるとの報告がある。

そして、植物体のほとんどが代謝的に活発に活動している葉状体であるため、栄養的価値も必然的に高い。ある分析結果は、乾重量の37.0%が粗タンパク質、5.0%が脂肪、7.5%が繊維、11.0%が灰分であると示している。

最も重要な植物性タンパク質資源として栽培され、食料に供されている大豆と比較した場合、ウキクサの年間生産量は単位面積当り、大豆のほぼ10倍である。粗タンパク質含有率は、大豆とはほぼ同じであるため、年間の単位面積当りの粗タンパク質生産量は、やはり10倍ということになる。その他、ピーナッツや代表的飼料作物であるアルファルファと比べても、生産性や粗タンパク質含有率を含めて、多くの点で優れていることが示されている。

ウキクサ牧場

このように、バイオマス資源として多くの利点をもつウキクサを、前述したアメリカ航空宇宙局 (NASA) におけるホテイアオイの開発利用テストと同様、汚水浄化処理を兼ねて育成し、家畜の飼料として使おうという「ウキクサ牧場」の構想が、アメリカのヒルマン博士によって、アメリカン・サイエンティスト誌に発表されている。それを少し具体的に眺めてみると、その牧場では100頭の乳牛を飼うことにしている。これらによる排泄物は1日に4.5トンであり、これらはメタン発酵により、エネルギー源としてのメタンガスが採取された後、自動的に、2エーカー (約8094 m²) ずつで区切られた10エーカーの底の浅いウキクサ栽培池に流し込まれる。その結果、栽培池は施肥されたことになり、ウキクサは元気に増殖する。こうして生育したウキクサは、特別の水路を流れることにより収穫・洗浄され、他の飼料と混ぜ合わされて乳牛の食料となる。

このシステムによると、10エーカーのウキクサ栽培池のウキクサ生産量は、春から秋にかけて毎日約4.8トンであり、冬期には毎日約1.1トンになるため、年間で約1300トンに達する。結局、乾燥重量にして、90トンのウキクサが飼料として収穫されることになる。

これらの数字をもとに、栄養的な面から粗タンパク質量について考察してみると、1頭の乳牛は毎日4ポンド(約1816g)の粗タンパク質を摂食せねばならないから、「ウキクサ牧場」全体では、年間に66トンの粗タンパク質を必要とする。ところが、ウキクサの粗タンパク質含有率は37%であるから、収穫される90トンのウキクサから33トンの粗タンパク質が得られる。したがって、粗タンパク質については、50%を「ウキクサ牧場」で自給自足できることになる。

ウキクサは食べられる

生産性や栄養的価値が高い点は、以上で十分示されたと思うが、ほんとうに乳牛などの家畜がウキクサを食べるのだろうかという疑問が残ってくる。しかし、現在まで、ニワトリやアヒルなどの家禽や豚に飼料として与え、その効果を検討し、一般的に使われている飼料よりも秀れていると結論した研究報告がいくつか見られることから、それらがウキクサを好んでおいしく食べているかどうかは不明だが、飼料として摂食することについては問題がないと思われる。また消化に関しても、ヨーロッパや極東で食用に供されている、コイの仲間ソウギョが効率よく消化しているとの報告もある。

デンプン資源としての魅力

ウキクサの中でも、ミジンコウキクサと呼ばれる種は、東南アジアの一部、ビルマやラオス、タイ北部で、野菜として食用に供されていることもある。このウキクサは、長さ1mmぐらいの卵型であるが、自然条件下では、酵母のように子供を出芽した状態でつけているため、ひょうたん型をしている。根を持たず、花は葉状体のまん中に咲かせるという一風変わったウキクサだが、日本にも分布している。このウキクサもやはりタンパク質含量が高く、増殖期には大豆とほぼ同様の栄養的価値があると言われている。

しかし、このウキクサの場合、わが国では新しいデンプン資源としての可能性が示唆されている。というのはこの植物は自然条件下では秋になると越冬のため水底に

沈む。その時には、大型のデンプン粒を多く体内に蓄積しており、デンプンの含有率は約60%に達する。したがって、米を主食としてデンプンを摂取している私たち日本人には、適した食料と考えられる。この点に着目して研究を続けられた前クローラ研究所副所長中村浩博士によると、「一人一日に必要な熱量を得るには、ミジンコウキクサ500gで十分だろう」とのことである。味もキャベツに似て歯ごたえがあるようで、ビタミン類も豊富に含まれており、新しい食料資源としての魅力を備えている。培養条件や工業生産体制の確立のための基礎的研究が行なわれており、今後の展開が期待される。

金属回収にも利用

現在、考慮されているウキクサの別の利用法は、この植物の重金属イオン吸収能力に注目したものである。すなわち、ウキクサが水に溶けている微量の重金属イオンを積極的に吸収し、体内に蓄積するという性質を応用して、廃水処理に使い、銅やカドミウムなどの重金属イオンを廃水から除去しようというものである。勿論、これに使われて生育した植物体は、重金属イオンを多量に含むため、飼料などには利用できないが、発酵によるメタンガスの発生材料に用いられる。さらに、この重金属イオン吸収蓄積能力の利用をすすめれば、単に廃水処理にとどまらず、水に溶出している高価な金属類の回収も企てられる。

おわりに

世界的な人口増加に伴う食糧危機と、石油・石炭などの化石燃料の枯渇からくるエネルギー危機の到来は、近い将来、必至である。そして、その際に利用しなければならぬのは、ほぼ無尽蔵に存在する太陽エネルギーである。この点から、すでに研究のすすんでいるものや、新しい可能性をもつ秀れたバイオマス資源の利用開発は、食用に供することで食糧危機を、発酵や分解により生成するメタンガスやアルコールでエネルギー危機を、救い得るものである。それ故、この種の研究の発展はおおいに望まれるところであり、その成果に寄せられる期待は大きい。今後も私たちは、ここに紹介したようにバイオマス資源として多くの特質をもつウキクサの利用法とその実用化の可能性を探っていきたい。

(参考文献は17p参照)

うなものばかりであった。

岡田 (1935) も述べているように、オニバスは狭適応性の種であるが、その生育地は山地ではなく、平地の水域であることからもうかがわれるように、けって清澄な水を好む植物ではない。ある程度富栄養化した池沼で旺盛に繁茂する種であるといつてよい。しかし、ここに見たように、富栄養化が極端に進みアオコが発生するにいたつては、オニバスの生育も著しく困難になると言えそうである。

この度の例は、オニバスの発芽が阻害されたのではなく、一旦、水面にまで達していた個体が被害を受けたという事実にも注目しておきたい。もっとも、発芽～幼葉期にはアオコは発生していなかつたわけであるから、この发育段階へのアオコの影響はわからない。

なお、この池にオニバスの生育することは浜島繁隆氏の調査資料によって知ることができた。記してお礼申し上げる。

文献

Okada, Y. 1928 Study of *Euryale ferox* Salisb. I. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., Ser. IV 3: 271 - 278.

岡田要之助 1935 本邦に於けるオニバス分布に就て. 生態学研究 1: 156 - 158.

○ シュナイダー博士の来日

米国サウスウエスト・テキサス州立大学助教授 Edward Schneider 博士がオニバス研究のため来日されました。世界中のスイレン科 (広義) を研究中で、東洋にしかないオニバスを自生地で調査するため日本を訪れられたものです。オニバス群落が次々と消滅している現実を目のあたりにして、ずいぶん悲しんでおられましたが、7月17日から8月10日まで、京都および神戸に滞在され、精力的に野外調査を続けられました。近い将来、その成果が形になるものと思われます。(角野)

~~~~~  
(4 pよりつづく)

参考文献

植木邦和 1981 水生雑草ホテイアオイの諸特性 植物と自然 15巻9号 p. 33-37

河口宏太郎 1975 新食糧資源“ウォルヒア” 化学と工業 28巻10号 p. 92-95

小出五郎 1979 超石油エネルギー 朝日新聞社発行

小林登史夫・植木邦和 1980 新しいバイオマス原料の育成と利用

— 水生植物ホテイアオイを例として — 化学と生物 18巻4号 p. 231 - 236

小山 実 1980 生物が蓄えるバイオマス資源 科学朝日 40巻1号 p. 55-59

田中 修 1981 ウキクサの開花とサルチル酸 植物と自然 15巻9号 p. 16-20

Bhanthumnavin, K. and McGarry, M.G., 1971. *Wolffia arrhiza* as a possible source of inexpensive protein. Nature (London), 232: 495

Culley, D. D., Jr., 1976. In: Making Aquatic Weeds Useful. National Academy of Sciences, Washington D. C., pp. 149 - 150.

Hillman, W. S. and Culley, D. D., Jr., 1978 The Uses of Duckweed. American Scientist 66: 442 - 451.

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

Truax, r., D. Culley, M. Griffith, W. Johnson, and J. Wood. 1972. Duckweed for chick feed? Louisiana Agriculture 16(1): 8 - 9.

Van Dyke, J. M. and Sutton, D. L., 1977. Digestion of duck weed (*Lemna* spp.) by the grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) J. Fish Biol., 11: 273 - 278.