

糖の蓄積からみたコケ類の乾燥耐性

沓名亨¹, 三宅剛史², 浦野博水², 西村直樹³, 西平直美⁴, 小野文久³, 山下雅道⁵, 三枝誠行¹ (1: 岡山大・理, 2: 岡山県工業技術センター・研究開発部, 3: 岡山理科大学, 4: 岡山コケの会, 5: JAXA)

Sugar accumulation and desiccation tolerance in Mosses from different habitats

T. Kutsuna¹, T. Miyake², H. Urano², N. Nishimura³, N. Nishihira⁴, F. Ono³, M. Yamashita⁵, M. Saigusa¹ [1: Okayama Univ., 2: Industrial Technology Center of Okayama Prefecture, Department of Research and Development, 3: Okayama Univ. Sci., 4: Okayama moss circle, 5: JAXA]

Abstract: Mosses have high tolerance to desiccation and freezing. It is known that sugar accumulation enhance freezing tolerance. This study investigated the relation of sugar concentration to the desiccation tolerance. For this purpose, we used each 2 species from dry habitats (*Hedwigia ciliata* and *Eurohypnum leptothallum*) and wet habitats (*Rhynchostegium riparioides* and *Plagiomnium vesicatum*). Desiccation tolerance was represented as survival ratio after slow or fast desiccation. The survival ratio was determined by the method of using electrolyte leakage. After slow desiccation and under wet condition (control experiment), the sugar content of mosses was analyzed by HPLC. The mosses from dry habitats maintained high survival ratio after either slow or fast desiccation, whereas mosses from wet habitats showed relative low ratio after fast desiccation. The survival ratio of the mosses after fast desiccation corresponded not to one kind of sugar amount but also to the total sugar amount. Sucrose was the major sugar in all mosses. We have previously thought the large amount of one trisaccharide protect against desiccation in *Bryum argenteum*. However, the present data suggest the possibility that both sucrose and trisaccharide play the role of protectant. **Key words;** Moss, Desiccation tolerance, Sugar, Electrolyte leakage

背景

コケ植物は、さまざまな極限環境に適応し、地球上のあらゆるところに生育している。その極限環境に対する耐性は地球上の条件のみに限らない。チヂレゴケの茎葉体を用いた実験では、1ヶ月間の真空封入や窒素置換した空気への曝露にも耐えた。これらの極限環境と、乾燥や凍結などに対する耐性の機構は共通すると考えられる。その耐性の機構の要因に、糖による細胞の保護が示唆されている。ヒメツリガネゴケ (*Physcomitrella Panttens*) では、凍結耐性が高くなると同時に含有糖量も増加し、その中でも三糖のテアンデロースが主な要因であるという可能性が報告されている¹⁾。

我々は以前、コケ植物の中でも強い乾燥耐性を持つギンゴケ (*Bryum argenteum*) を用いて、乾燥や低温に曝されたときの糖量の変動について調べた。その結果、ギンゴケは多量の三糖を恒常的に蓄積することで、強い乾燥・凍結耐性を持つと考えた。

本研究では、さらに他のコケ4種を用いて、糖の蓄積量と乾燥耐性の関係について調べた。コケは頻繁に乾く環境と、湿っている環境に生育するコケそれぞれ2種を使い、乾燥耐性の強度と糖量を比較した。

材料と方法

頻繁に乾く環境に生育するコケとして、ヒジキゴケ (*Hedwigia ciliata*) とミヤマハイゴケ (*Eurohypnum leptothallum*) を、湿っている環境に生育するコケとして、アオハイゴケ (*Rhynchostegium riparioides*) とオオバチョウチンゴケ (*Plagiomnium vesicatum*) を用いた。コケは野外で採取し、洗浄した後、0.01%のハイポネックス溶液を含ませたろ紙上で、25°C、2000Luxの条件下で1週間培養したものを実験に使った。

1. 乾燥耐性の強度

乾燥耐性の強度の指標として、乾燥後に損傷を受けたコケ細胞から漏出する電解質量から計算される細胞の生存率を用いた²⁾。2つの乾燥条件で3日間乾燥させたコケを一定量の蒸留水に入れ、漏出する電解質量を測定した。2つの乾燥条件は、共に2000Luxの光条件下で、飽和塩化カリウム水溶液で約85%RH(相対湿度)に調整したプラスチック容器内での緩やかな乾燥と、同様にシリカゲルで約10%RHに調整した急速な乾燥である。

2. コケ細胞内の糖濃度

コケの含有糖量は高速液体クロマトグラフィーで測定した。測定したサンプルの条件は1, 3, 5, 7

日間緩やかに乾燥させたコケと、培養状態のコケである。糖濃度は含水量に対する糖量の値で表した。含水量はコケの湿重量 (Fresh Weight, FW) から乾重量 (Dry Weight, DW) を引いた値で求めた。

結果

1. 乾燥耐性

緩やかな乾燥後では、乾燥頻度の高い環境のヒジキゴケとミヤマハイゴケは 100%に近い生存率であり、乾燥頻度の低い環境のアオハイゴケとオオバチョウチンゴケは80%程度の生存率であった。急速な乾燥後では、前者2種は約84%の生存率に対し、後者2種は著しい生存率の低下を示した。どちらの乾燥条件においても、同じ環境のコケどうしの生存率に有意差はなく、異なる環境のコケの間に差があった (Table 1)。

Table 1. Survival ratio of 4 mosses after fast-dry and slow-dry

Species	(% of survival under wet condition)	
	Fast-dry	Slow-dry
<i>H. ciliata</i>	84 ± 2.2	97 ± 1.5
<i>E. leptothallum</i>	84 ± 4.2	99 ± 2.5
<i>R. riparioides</i>	17 ± 2.6	75 ± 0.2
<i>P. vesicatum</i>	36 ± 10.3	84 ± 4.8

The values are means of three replicates ± SD.

Table 2. Sugar composition of 4 mosses

Species	(% of total sugars by weight)		
	Sucrose	trisaccharide X	others
<i>H. ciliata</i>	82.6 ± 1.7	7.9 ± 0.1	9.4 ± 1.6
<i>E. leptothallum</i>	92.3 ± 0.8	2.0 ± 0.8	5.7 ± 1.5
<i>R. riparioides</i>	74.6 ± 3.1	7.4 ± 2.5	18 ± 3.5
<i>P. vesicatum</i>	66.4 ± 9.9	19.4 ± 7.9	14.2 ± 2.2

The values are means of sugar contents under wet condition and after slow desiccation for 1, 3, 5, 7 days ± SD.

2. 糖分析

4種のコケ全てにおいて、含有糖のうちスクロースが大部分を占め、次いで1種類の三糖 (三糖 X) の割合が大きかった。オオバチョウチンゴケについてのみ、三糖 Xの割合が比較的高かった (Table 2)。

培養状態での合計において、乾燥頻度の高い環境のコケの方が、低い環境のコケに比べ高い糖濃度であった。三糖 Xにおいては乾燥頻度の低い環境のオオバチョウチンが最も高い濃度であった。緩やかな乾燥に曝された後では、ヒジキゴケ以外のコケの糖濃度が著しく上昇した。培養状態のミヤマハイゴケの糖濃度は他に比べ高く、合計で約 34mg/g (FW-DW) であったが、緩やかな乾燥後は全てのコケがそれ以上の糖濃度を示した。また増加した糖はスクロースであり、どのコケにおいても三糖 Xの濃度はほぼ変化しなかった。 (Fig. 1)。

議論

乾燥頻度の高い環境に生息するヒジキゴケとミヤマハイゴケは、急速な乾燥に対して高い割合で耐えることができ、緩やかな乾燥にはほぼ影響を受けない。これらのコケは他2種に比べ、糖濃度が培養状態でも高い。乾燥頻度の低い環境に生息するアオハイゴケとオオバチョウチンゴケについては、培養状態の糖濃度は前者2種に比べ低く、それに対応するように急速な乾燥後の生存率も低い。そして、緩やかな乾燥に曝されると糖濃度は上がり、同時に乾燥耐性も高くなる。全てのコケにおいて、培養状態ではスクロースの割合が高く、乾燥後に増加する糖もスクロースが大部分である。以上のことから、乾燥耐性には細胞内のスクロースの濃度の影響が大きいと考えられる。

乾燥・凍結耐性が高いと考えられるギンゴケでは、全糖量の80%以上を1種類の三糖が占めた。そのような三糖を多く蓄積するコケは本研究で使用した4種の中にはみられなかった。割合としても、三糖は急速な乾燥に耐えられたコケ2種において特に高い

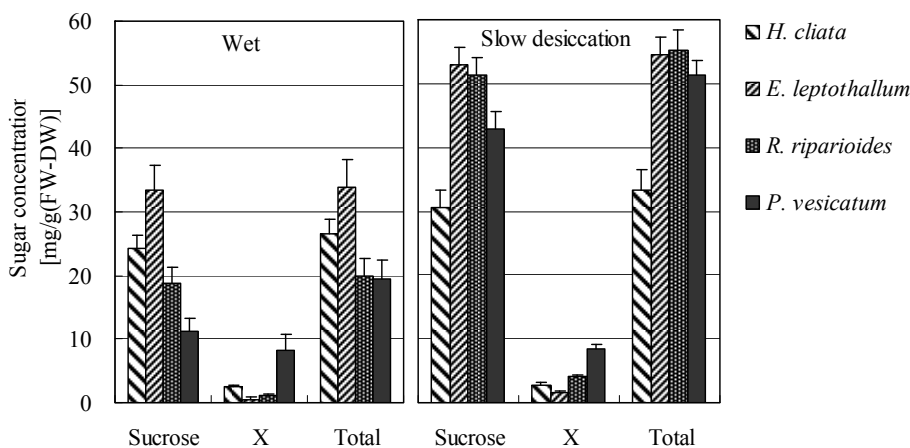


Figure 1. Sugar concentrations under wet condition and after slow desiccation for 3 days. Each total bar indicates the total amount of sucrose and trisaccharide X. Each bar represents mean of 3 replicates. Error bars are SD.

* X: trisaccharide X

わけではなく、逆に急速な乾燥での生存率が低いオオバチョウチンゴケで高い。それでも、この三糖Xが全く乾燥に対する保護に役立っていないとは考え難い。オオバチョウチンゴケの急速な乾燥後の生存率は有意差こそないが、アオハイゴケより高い。そのことに最も対応するのは三糖Xを含めた全糖の濃度である。しかし、急速な乾燥を施した場合の正確な糖分析は行っていないので三糖Xの乾燥耐性への関与は判定できない。

ヒジキゴケの糖濃度は、湿った環境のコケ2種より高いが、ミヤマハイゴケより低い。また緩やかな乾燥に曝されても糖濃度はあまり変わらない。しかし、乾燥耐性は高く、ミヤマハイゴケと差がない。このことは、ヒジキゴケの糖濃度である約30mg/g(FW-DW)が乾燥に耐えるためには十分であることを示すのかもしれない。ここで考慮すべき点は、ヒジキゴケは乾燥重量の約25%が赤茶色の茎であることで、この茎には生細胞が少ないと考えられる。そのため、より正確な細胞内の糖濃度は多少高いと予想される。

参考文献

- 1) Nagao, M. et al., 2006. Accumulation of theandrose in association with development of freezing tolerance in the moss *Physcomitrella patens*. *Phytochemistry* 67, 702-709.
- 2) Anzu, M. et al., 2003. Abscisic acid-induced freezing tolerance in the moss *Physcomitrella patens* is accompanied by increased expression of stress-related genes. *Journal of plant physiology* 160, 475-483.