

植物の凍結耐性増大過程における細胞内適合溶質の役割

岩手大学農学部附属寒冷バイオシステム研究センター

上村 松生, 鎌田 崇

Role of Intracellular Compatible Solutes in Cold Acclimation in Plants

Matsuo UEMURA and Takashi KAMATA

Cryobiosystem Research Center, Faculty of Agriculture, Iwate University,

Morioka 020-8550

To determine the contribution of various compatible solutes to an increase in freezing tolerance in detail, accumulation of sugars, proline and glycine betaine in leaves of three wheat cultivars was characterized and compared during cold acclimation. We have found that the concentration of sugars was much greater than that of proline or glycine betaine after cold acclimation and accumulation of proline occurred earlier than that of glycine betaine during the course of cold acclimation. There was a positive relationship between the extent of freezing tolerance and the sum of the concentration of sugars, proline and glycine betaine after cold acclimation, while the contribution of these three compatible solutes to the increased osmolality in leaves during cold acclimation seemed not to be correlated with freezing tolerance. These results suggest that the accumulation of compatible solutes has multiple roles in increasing the freezing tolerance in plants.

植物が低温に遭遇し耐凍性増大が起こる低温馴化過程は、数多くのさまざまな反応が同時に進行する非常に複雑な反応である¹⁾。それらの反応は独立して進行し、全く統制が取れていないように見える。しかし、凍結傷害の初発部位が細胞膜の機能・構造が失われることによる、言い換えれば、凍結下での生存には細胞膜のインテグリティの維持が必要不可欠である、という観点に立って考えてみると、低温馴化過程で起こる多様な反応は、細胞膜の凍結融解過程での機能や構造の維持に貢献しているものと考えられている²⁾。

以前から、低温馴化過程では、細胞内におけるさまざまな低分子溶質（特に「適合溶質」と呼ばれる一群の物質）の蓄積が起こることが知られていた³⁾。適合溶質とは、糖類、アミノ酸類、アミン類などの電気的に中性で、水和性が高く、大量に蓄積しても細胞に対して有毒ではない物質を指す。これら適合溶質の蓄積は、植物が低温馴化過程で凍結耐性を増大する際に、細胞内浸透圧の上昇をもたらし、凍結過程における細胞内からの脱水を押さえ、傷害発生を低減させることが提唱されている。それに合致して、適合溶質は低温だけでなく、乾燥や高濃度の塩にさらされることによっても蓄積することが知られており、脱水条件下で細胞内水分を保持する役割を持っていると考えられている⁴⁾。また、水和性の高い適合溶質は、凍結脱水中における生体高分子表面からの脱水に対する保護効果があることも提唱されている⁵⁾。従って、植物の耐凍性機構を考える上で、

第47回低温生物工学会研究報告12.

[Key words : Cold acclimation, Freezing tolerance, Compatible solutes, Osmolality, Wheat; 低温馴化, 耐凍性, 適合溶質, 浸透濃度, コムギ]

(50)

これら適合溶質の蓄積機構や低温馴化過程における濃度変動などを詳細に測定することが必要である。

しかし、精密に制御された生育条件下で複数の適合溶質の変動を同時に測定し、各々の適合溶質のストレス耐性増大に対する貢献度を総合的に評価するという試みはほとんど行われてこなかった。ほとんどの報告は、ストレス（乾燥、あるいは、低温）にさらされた際の、個々の適合溶質の変動を測定し、ストレス耐性度やその時間的変化との相関を検討するにとどまっていた（引用文献2中の参考文献参照）。そこで、本研究は凍結耐性の異なるコムギ3品種〔ハルユタカ（春コムギ）、チホクコムギ（冬コムギ）、ノースター（冬コムギ）〕を用い、人工条件下で低温馴化した際の適合溶質（糖、プロリン、グリシンベタイン）の蓄積を継時的に測定し、凍結耐性、浸透圧、適合溶質変動の三者の関係を詳細に解析することを試みた。

その結果、3品種共通して、(1)糖の蓄積が他の適合溶質に比べ非常に大きいこと、(2)プロリンの蓄積は低温馴化初期に起こること、そして、(3)グリシンベタインは低温馴化後期に蓄積すること、が判明した。さらに、糖成分の中では、(1)ノースターにおける大量のラフィノースの蓄積、(2)冬コムギ2品種におけるグルコースの蓄積、そして、(3)スクロースは、フルクトース、グルコース、ラフィノースに比較して多く蓄積する、ことなどが明らかになった。プロリン濃度は、3品種でそれほど大きな違いが無かったものの、グリシンベタイン濃度は冬コムギ2品種が春コムギに比べ高かった。

また、測定された3種の適合溶質の耐凍性増大に対する貢献度を総合的に考察することを試みた。その結果は、凍結耐性が高い品種ほど低温馴化後のオスモル濃度に占める適合溶質の割合（[compatible solutes]/osmolality）が高いこと、を明らかに示していた。しかし、低温馴化過程におけるオスモル濃度の増加に対する適合溶質の貢献度（[increased compatible solutes]/increased osmolality）は必ずしも凍結耐性の程度とは一致していなかった。

以上の結果は、適合溶質の凍結耐性増大に対する役割が各々の物質によって時期的に、そして、作用機構的にも異なっていることを示している。さらに、適合溶質によっては蓄積量が少なくとも細胞内の特異的な場所では有意義に働いている可能性もあり、今後、各適合溶質の細胞内局在性を決定していく必要があると考えられる。（本研究の一部は、生研機構「新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業」の援助によって行われた。）

参 考 文 献

- 1) Steponkus, P.L.: Annu. Rev. Plant Physiol. 35: 543 (1984).
- 2) Levitt, J.: Responses of Plants to Environmental Stresses, 2nd Ed., Academic Press, New York (1980).
- 3) 中村, 高部: 耐塩性と適合溶質の機能. 環境応答・適応の分子機構. (蛋白質・核酸・酵素増刊), 44: 2214 (1999).
- 4) Crowe, J. H., L. M. Crowe, J. F. Carpenter, A. S. Randolph, C. A. Wistrom, B. J. Spargo and T. J. Anchordoguy: Biochim. Biophys. Acta, 947, 367 (1988).