

抗冻蛋白

2009年12月 分子月报 David Goodsell

译者：胡玉荣（农科院茶叶所）

王宁波（农科院植保所）

关键词：热滞效应，冰重晶化蛋白，抗冻蛋白，应用前景

引言

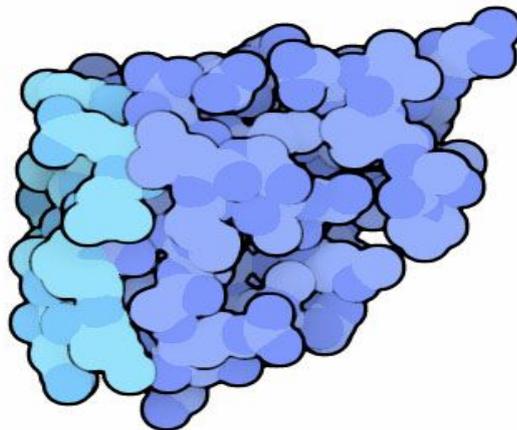
对于生长在寒冷气候中的植物来说，结冰是一个严重的问题。一旦温度低于零度，冰晶就会逐渐生长最终使细胞破裂。然而，这种危险并没有阻止地球上的生物向温带地区传播。植物、动物、真菌、细菌等各种类型的生物都已经形成了抵抗这种致命性的冰晶生长的方法。在某些情况下，它们将糖类和甘油等一些小的抗冻化合物包裹在细胞表面，但是在这种情况下，细胞需要额外的帮助，随着温度下降，细胞可以形成特殊的抗冻蛋白来进行自我保护。

抗冻蛋白的作用

抗冻蛋白并不阻止冰晶的生长，而是将冰晶的大小限制在一定范围内，因此，抗冻蛋白有时也被称作冰重晶化蛋白。当水开始结冰时，首先形成许多小的冰晶，然后少部分的小冰晶占据优势，从周围其它小冰晶中夺取水分子从而越长越大。而抗冻蛋白能够阻止这种重结晶现象，它们结合在小冰晶的表面以减缓或者阻止其重结晶为具有致命性的大冰晶。

抗冻机制

抗冻蛋白能非依数性的降低水溶液的冰点，而不影响其熔点，抗冻蛋白的这种效应被称为热滞效应。最有效的抗冻蛋白是越冬昆虫的抗冻蛋白，它能够使水溶液的冰点降低 6°C ，但是其他的抗冻蛋白，如植物抗冻蛋白和细菌抗冻蛋白的热滞活性则比较低。而抗冻蛋白除了滞活作用外还可以通过调控胞外冰晶的增长以及在温度降低至冰点以下时抑制冰的重结晶来提高生物抗冻性。



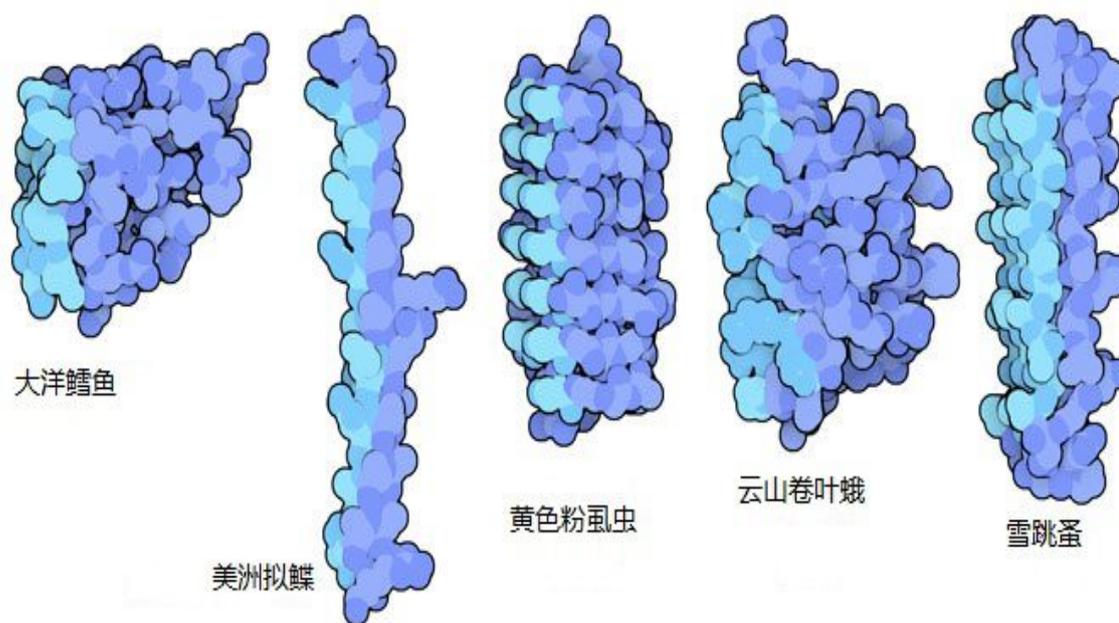
图一

应用前景

抗冻蛋白已经应用于生产。例如，从生长于寒冷海水中的大洋鳕鱼体内提纯的天然抗冻蛋白([1kdf](#)) 添加到冰淇淋中，附在冰晶表面使冰淇淋细腻平滑，并且防止其在贮藏和运输过程中重结晶成冰渣。研究者们也尝试将抗冻蛋白用于组织和器官的超低温保存，以降低冰晶造成的伤害来改善冷冻质量。

具有抗冻活性的不同蛋白

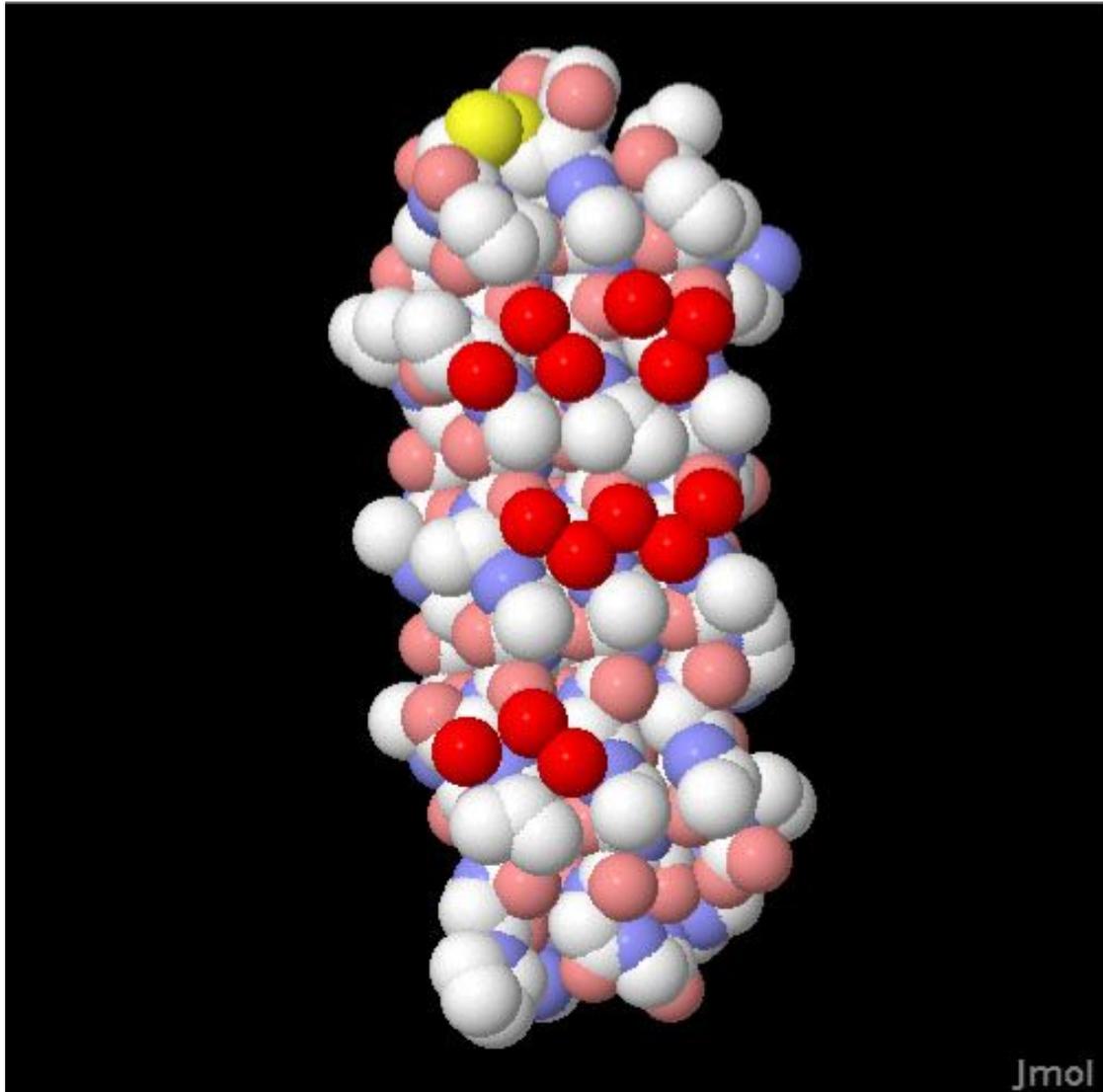
抗冻蛋白是趋同进化的一个完美的例子。观察不同生物中的蛋白质就会发现，许多具有不同结构的抗冻蛋白却执行相同的抗冻功能。这些特殊蛋白质的都具有富含苏氨酸(图中为浅蓝色)的平滑表面，并且与冰晶的表面相结合。其中包括从大洋鳕鱼([1kdf](#)) 和美洲拟鲈([1wfb](#))中分离得到的两种蛋白，与从越冬昆虫黄色粉虱虫([1ezg](#))、云杉卷叶蛾([1eww](#))和雪跳蚤([2pne](#))体内分离得到的三种活性较高的蛋白(图二)。



图二

结构解析

抗冻蛋白结合到冰晶表面，抑制冰晶生长。雪跳蚤抗冻蛋白([2pne](#))的结构能够帮助理解其作用机制。在冰晶结构中，蛋白质的冰晶结合表面被水分子所覆盖(图中为红色)，类似于冰晶中的水分子，冰表面的这些水分子也是间隔排列，因此，我们可以想象，抗冻蛋白以同样的方式结合在冰晶水分子的几何格上。



图三

进一步探索的主题

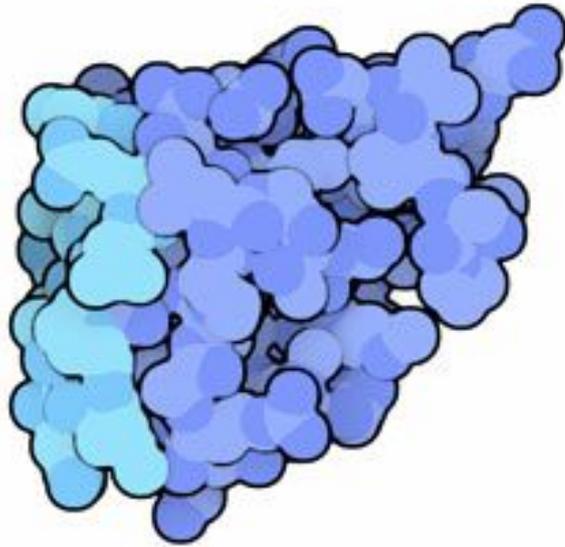
1. 抗冻蛋白是趋同进化的例子，你能在 PDB 中找到一些其他的关于两种完全不同的蛋白质执行相同功能的例子吗？
2. 昆虫抗冻蛋白呈螺线型折叠，多肽链像弹簧一样形成环，将抗冻蛋白的折叠方式进行比较，甲虫和蛾抗冻蛋白多肽链的折叠方式与雪跳蚤多肽链的螺线型折叠方式完全不同。你能在 PDB 中发现螺线型折叠的其他蛋白吗？（提示：在蛋白质的结构分类（SCOP）数据库中观察这些蛋白质的结构分类，在浏览器页面的底部能够找到）。

• 辅助阅读

- S. Venkatesh and C. Dayananda (2008) Properties, potentials, and prospects of antifreeze proteins. *Critical Reviews in Biotechnology* 28, 57-82.
- A. Regand and H. D. Goff (2006) Ice recrystallization inhibition in ice

cream as affected by ice restructuring proteins from winter wheat grass. Journal of Dairy Science 89, 49-57.

- Z. Jia and P. L. Davies (2002) Antifreeze proteins: an unusual receptor-ligand interaction. Trends in Biochemical Sciences 27, 101-106.



图四

讨论的结构

