

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

大專/社會組 科學文章格式

文章題目：完全冷凍卻能存活七個月：*Rana sylvatica* 的特殊抗冷機制

摘要：隨著醫療技術及科技文明的發展，人類對於長生不老及逆境生存的研究越來越深入，也逐漸將研究的取材對象轉移到各個不同的物種上。而在北美洲、阿拉斯加靠近極圈一帶，*Rana sylvatica* 這種蛙類為了抵禦極端惡劣的酷寒氣候衍生出了特殊的假死機制，可藉由在身體處於半凍狀態時停止自身心跳、血流及呼吸來度過嚴冬。本文將以 *Rana sylvatica* 為主軸，探討其自身抵抗逆境的生理機制。

文章內容：

隨著醫學與科技的進步，人類對於生命延續與極端環境適應的研究越發深入。在大自然中，一些動物演化出特殊的生存機制，以應對嚴峻的環境。例如，棲息於北美洲與阿拉斯加等寒冷地區の木蛙 (*Rana sylvatica*)，能夠在冬季將自身冷凍，停止心跳、血流與呼吸，卻在春天解凍後恢復正常生理機能。本文將探討 *Rana sylvatica* 如何透過獨特的生理機制，在極端低溫中存活。

低溫對一般動物細胞的影響

當動物暴露於低溫環境時，細胞可能因水分結冰而受損。根據研究，細胞外冰晶形成會提高外部滲透壓，導致細胞內水分外滲，使細胞內部也開始結冰，進而造成細胞破裂。此外，低溫還會導致血液循環停止，使細胞需依賴無氧發酵產生能量。然而，*Rana sylvatica* 卻能克服這些挑戰，存活數月之久。

Rana sylvatica 的抗凍機制

研究顯示，*Rana sylvatica* 能透過體內的「冷凍保護劑」來防止細胞受損。主要的冷凍保護劑包括：

1. 葡萄糖 (Glucose)：當溫度下降時，*Rana sylvatica* 會將肝醣轉化為大量葡萄糖，釋放到血液中，以保護細胞不被冰晶破壞。研究發現，該蛙的肝臟葡萄糖轉運蛋白表現量遠高於其他無抗凍能力的蛙類。此外，實驗顯示，在冷凍過程中補充葡萄糖，可顯著提高 *Rana sylvatica* 的存活率，並減少神經與肌肉受損。
2. 甘油 (Glycerol)：研究顯示，在冷凍期間，*Rana sylvatica* 體內的甘油濃度與葡萄糖同步升高。甘油可透過降低冰晶形成速率與穩定細胞膜來減少低溫損傷。實驗證明，甘油對紅血球細胞的保護效果甚至優於葡萄糖，可能因其具有更強的滲透調節能力。
3. 尿素 (Urea)：尿素也是一種有效的冷凍保護劑。研究發現，當 *Rana sylvatica* 遭遇寒冷環境時，腎臟功能下降，導致尿素積累。尿素能維持細胞內水分平衡，保護細胞膜與細胞內大分子，並減少新陳代謝速率，以降低能量消耗。此外，尿素與葡萄糖聯合作用時，能提供更全面的細胞保護，減少血液細胞損傷，提高存活率。

冷凍後的恢復機制

當冬季結束，溫度回升時，*Rana sylvatica* 的解凍過程並非瞬間完成，而是逐步恢復生理功能。研究顯示，其心臟最先恢復跳動，接著透過皮膚進行氣體交換，待肺部機能恢復後，再轉為正常呼吸。此外，解凍後的 *Rana sylvatica* 會累積大量葡萄糖，以維持能量供應並修復受損細胞。

在神經系統方面，研究發現 *Rana sylvatica* 解凍後約 5 小時內神經可恢復興奮性，而完整恢復反射功能則需約 14 小時。此外，其體內抗凋亡蛋白（如 Bcl-2）在解凍後顯著增加，可減少氧化壓力帶來的細胞損傷，進一步保護組織。

結論

Rana sylvatica 透過產生葡萄糖、甘油與尿素等冷凍保護劑，成功抵禦低溫對細胞的傷害，並在環境回暖時逐步恢復生理機能。這些適應機制不僅對生物學研究具有重要價值，也為醫學冷凍技術提供了靈感，例如器官保存與低溫麻醉等應用。隨著科學研究的深入，人類或許能進一步揭開生命對抗極端環境的奧秘，甚至將這些機制應用於未來的醫療與太空探索領域。

參考資料

1. **Cai, Q., Storey, K. B. (1997).** Upregulation of a novel gene by freezing exposure in the freeze-tolerant wood frog (*Rana sylvatica*). *Gene*, 198(1-2), 305–312.
2. **Chen, Z. X., Pervaiz, S. (2007).** Bcl-2 induces pro-oxidant state by engaging mitochondrial respiration in tumor cells. *Cell Death & Differentiation*, 14(9), 1617–1627.
3. **Costanzo, J. P., & Lee, R. E. (1991).** Freeze-thaw injury in erythrocytes of the freeze-tolerant wood frog, *Rana sylvatica*. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 261(6), R1346–R1350.
4. **Costanzo, J. P., Lee, R. E., Lortz, P. H. (1993).** Glucose Concentration Regulates Freeze Tolerance In the Wood Frog *Rana Sylvatica*. *J Exp Biol*, 181(1), 245–255.
5. **Costanzo, J. P., Lee, R. E. (2005).** Cryoprotection by urea in a terrestrially hibernating frog. *Journal of Experimental Biology*, 208 (21), 4079–4089.

6. **Costanzo, J. P., Lee, R. E. (2008).** Urea loading enhances freezing survival and postfreeze recovery in a terrestrially hibernating frog. *Journal of Experimental Biology*, 211(18), 2969–2975
7. **Deng, X., Gao, F., Flagg, T., May, W. S. (2003).** Mono- and multisite phosphorylation enhances Bcl2's antiapoptotic function and inhibition of cell cycle entry functions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(1), 153–158.
8. **Gerber, V. E. M., Wijenayake S., Storey K. B. (2016).** Anti-apoptotic response during anoxia and recovery in a freeze-tolerant wood frog (*Rana sylvatica*). *Peer J*, doi : 10.7717/peerj.1834
9. **Karow, A. M., Webb, W. R. (1965).** Tissue freezing. *Cryobiology*, 2(3), 99–108.
10. **King, P. A., Rosholt, M. N., Storey, K. B. (1993).** Adaptations of plasma membrane glucose transport facilitate cryoprotectant distribution in freeze-tolerant frogs. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 265(5), R1036–R1042
11. **King, P. A., Rosholt, M. N., Storey, K. B. (1993).** Adaptations of plasma membrane glucose transport facilitate cryoprotectant distribution in freeze-tolerant frogs. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 265(5), R1036–R1042.
12. **Kling, K. B., Costanzo, J. P., Lee, R. E. (1994).** Post-freeze recovery of peripheral nerve function in the freeze-tolerant wood frog, *Rana sylvatica*. *Journal of Comparative Physiology B*, 164(4), 316–320.
13. **Larson, D. J., Barnes, B. M. (2016).** Cryoprotectant Production in Freeze-Tolerant Wood Frogs Is Augmented by Multiple Freeze-Thaw Cycles. *Physiological and Biochemical Zoology*, 89(4), 340–346.
14. **Layne, J. R., First, M. C. (1991).** Resumption of physiological functions in the wood frog (*Rana sylvatica*) after freezing. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 261(1), R134–R137.
15. **Layne, J. R., Lee, R.E. (1995).** Adaptations of frogs to survive freezing. *Climate Research*, 5, 53-59.
16. **Leekumjorn, S., Sum, A. K. (2008).** Molecular Dynamics Study on the Stabilization of Dehydrated Lipid Bilayers with Glucose and Trehalose. *The Journal of Physical Chemistry B*, 112(34), 10732–10740.
17. **Muir, T. J., Costanzo, J. P., Lee, R. E. (2007).** Osmotic and metabolic responses to dehydration and urea-loading in a dormant, terrestrially hibernating frog. *Journal of Comparative Physiology B*, 177(8), 917–926.

18. **Muldrew, K., McGann, L. E. (1994).** The osmotic rupture hypothesis of intracellular freezing injury. *Biophysical Journal*, 66(2), 532–541.
19. **Nielsen, K.H., Jørgensen, C.B. (1990).** Salt and water balance during hibernation in anurans. In: Hanke, W. (Ed). *Biology and Physiology of Amphibians*. Gustav Fischer Verlag pp 333–349.
20. **Storey, K.B., Storey J.M. (1984).** Biochemical adaption for freezing tolerance in the wood frog, *Rana sylvatica*. *Journal of Comparative Physiology B*, 155,29-36.
21. **Storey, J. M., Storey, K. B. (1985).** Triggering of cryoprotectant synthesis by the initiation of ice nucleation in the freeze tolerant frog, *Rana sylvatica*. *Journal of Comparative Physiology B*, 156(2), 191–195.
22. **Storey, K. B., Storey J. M. (1988).** Freeze tolerance: constraining forces, adaptive mechanisms. *Canadian Journal of Zoology*, 66(5), 1122–1127.
23. **Storey, K. B., Storey, J. M. (1988).** Freeze tolerance in animals. *Physiological Reviews*, 68(1), 27–84.
24. **Varma V., Storey K.B. (2022).** Freeze-induced suppression of pyruvate kinase in liver of the wood frog (*Rana sylvatica*). *Advances in Biological Regulation*, 88,100944.
25. **Zhang, J., Storey, K. B. (2012).** Cell cycle regulation in the freeze tolerant wood frog, *Rana sylvatica*. *Cell Cycle*, 11(9), 1727–1742.

註：

1. 未使用本競賽官網提供「科學文章表單」格式投稿，將不予審查。
2. 字數沒按照本競賽官網規定之限 500 字~1,500 字，將不予審查。
PS.摘要、參考資料與圖表說明文字不計入。
3. 建議格式如下：
 - 中文字型：微軟正黑體；英文、阿拉伯數字字型：Times New Roman
 - 字體：12pt 為原則，若有需要，圖、表及附錄內的文字、數字得略小於 12pt，不得低於 10pt
 - 字體行距，以固定行高 20 點為原則
 - 表標題的排列方式為向表上方置中、對齊該表。圖標題的排列方式為向圖下方置中、對齊該圖