

Nukleátory, antinukleátory a kryoprotektanty u organizmů

Nukleátory a antinukleátory

Jako nukleátor působí některé makromolekuly, některé bakterie, prachová zrnka apod. Různé typy nukleátorů iniciují růst krystalu při různých teplotách, záleží také na jejich celkovém množství ve vzorku. Jednoduchý mechanismus využívání cizích nukleátorů je pravděpodobně evolučně původní, zatímco tělem produkované „vlastní“ nukleátory jsou k tomuto účelu dostatečně přizpůsobené krevní proteiny a lipoproteiny.

Na kůži žab a také v jejich střevě byly nalezeny bakterie, které na svém povrchu nesou tzv. nukleační proteiny. Ty slouží jako matrice, na níž vzniká krystalová struktura ledu – a jsou tak dalšími nukleátory ledu v mezibuněčném prostoru. K mrznutí proto dochází řízeně při vyšší teplotě a pouze v mimobuněčném prostoru. Při mrznutí současně dochází k zvyšování osmolality roztoku v buňkách a tím ke snižování bodu tání. Tento mechanismus využívá několik druhů žab, mloků, želv a některé populace ještěrky živorodé.

V případě hmyzu, zejména u přezimujících larev hmyzu s dokonalou proměnou, vylučují larvy do hemolymfy vlastní nukleátory, na nichž dochází k růstu ledových krystalů při relativně vysokých teplotách -3 až -10 °C. Tím je zaručeno, že ledové krystaly porostou pomalu a řízeně a buňky budou mít dostatek času vyrovnat se se změnou osmotického tlaku roztoků a s růstem objemu. Tolerance mrznutí není myslitelná bez nahromadění vysoké koncentrace viskózních kryoprotektantů, snižující pohyblivost vody a její dostupnost pro krystalizaci. Vysoká koncentrace roztoků uvnitř buněk a její zvyšování, způsobené odčerpáváním vody do extracelulárních krystalů, brání letálnímu vzniku ledu uvnitř buněk. Velká část vody (až 30%) je reverzibilně, ale pevně vázána na makromolekuly, takže se růst krystalů neúčastní. Navíc jsou i zde často přítomny hysterezní proteiny, zpomalující růst již iniciovaných krystalů ledu. Ve zmrzlém stavu přežívají tyto druhy po dlouhou dobu i velmi nízké teploty (až -70 °C).

Naopak druhy, které jsou schopny přežít dlouhodobé vystavení extrémnímu chladu, ale hynou při mrznutí tělních tekutin, vylučují potenciální nukleátory z těla (vyprazdňují obsah střev), nebo je inaktivují uložením v lipidické fázi membrán. V hemolymfě akumulují velké množství kryoprotektantů. Proti ukládání vody do krystalické mřížky ledu působí hygroskopičnost kryoprotektantů a také speciální hysterezní proteiny (AFP proteiny, THF - thermal hysteresis factors), které se nabalují na již vzniklá ledová jádra a zastavují jejich růst. Proti inokulaci ledovými krystaly z vnějšího prostředí hmyz využívá úkrytu v kokonech, zesílení hydrofobní vrstvy kutikuly a uzavření průduchů.

Polyalkoholy

Nejnižší polyol je etylenglykol. Jako účinnou složkou motoristických nemrznoucích směsí typu Fridex ho využívají motoristé. Ke stejnému účelu si ethylenglykol na zimu ve svém těle vyrábí lýkožrout *Ips acuminatus*, a to v koncentracích až 3 000 mM. To znamená, že zhruba pětinu své sušiny dokáže přeměnit na bio-Fridex. Rovnovážný bod mrznutí je tím snížen až na -7 °C a bod podchlazení až na -30 °C. Hromadění etylenglykolu je výjimečné, vlastně bylo pozorováno jen u zmíněného lýkožrouta.