

Zámek a klíč

PRINCIP KOMPLEMENTARITY NEJEN V ŽIVÉ PŘÍRODĚ

Protiklady se prý přitahují. Je to snad proto, že pokud se doplňují, může jejich spojení přinést novou kvalitu, nastartovat nějaký proces? Všude kolem sebe vidíme, že princip komplementarity, princip zámku a klíče, platí v celé přírodě a je široce využíván člověkem i v technice. Komplementární jsou povrchy interagujících molekul, povrchy receptorů s antigeny, pohlavní orgány samce a samice... Zamysleme se více nad tímto fenoménem.

text **EDUARD KEJNOVSKÝ**

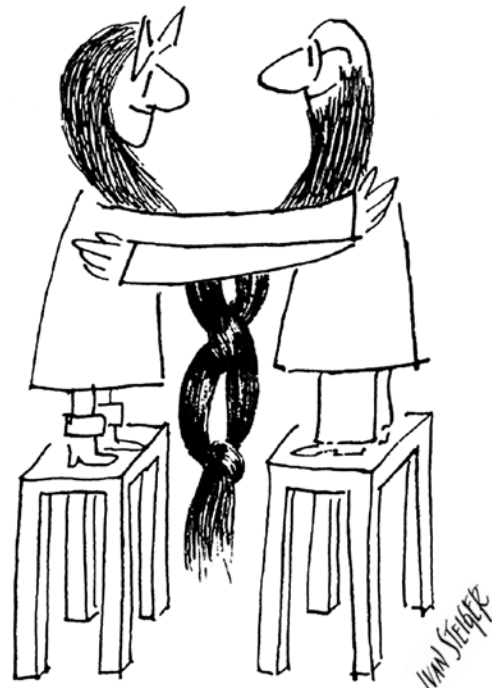
PRINCIP KOMPLEMENTARITY je zde od počátků života, pokud život definujeme například jako systém schopný replikace s variací podléhající evoluci (viz Vesmír 95, 137, 2016/3; 99, 528, 2020/9). Už pradávne první replikátory (pravděpodobně molekuly RNA) vytvářely svoje kopie právě díky komplementaritě bází. Ve dvouvláknovém systému (ať již v podobě RNA nebo již DNA) nejsou vlákna stejná, ale vzájemně komplementární – párující se báze do sebe zapadají jako zámek a klíč. Při replikaci DNA se párují adenin s tyminem (A–T) a guanin s cytosinem (G–C), i když za určitých podmínek tomu může být i jinak. Známá dvoušroubovice DNA, popsána Watsonem a Crickem roku 1953, se při řadě procesů dočasně rozmotává na dvě samostatná vlákna (např. při transkripci genů do mRNA) a poté se opět vrací zpět. Pozoruhodná je míra linearitity DNA, umožňující uložení velmi komplexní informace (viz rámeček).

Podobně jako DNA, také proteiny jsou tvořeny lineárním pořadím stavebních prvků, v jejich případě aminokyselin. Ale z hlediska jejich funkce je opět rozhodující trojrozměrná struktura proteinové makromolekuly určující specifitu interakcí s jinými molekulami. Právě ta je funkční a právě na její úrovni probíhá evoluce zahrnující darwinovskou selekci. Princip

zámku a klíče umožňuje například specifickou interakci enzymu se substrátem (jak poprvé popsal Emil Fischer už roku 1894), ať již jsou substrátem malé molekuly, nebo makromolekuly.

NUKLEOPROTEINOVÉ KOMPLEXY

Většina molekulárně-biologických procesů je založena na tvorbě nukleoproteinových komplexů, často dosti složitých, v nichž se opět uplatňuje princip komplementarity. Patří mezi ně replikační komplex, v němž s DNA interaguje enzym DNA polymeráza a řada dalších faktorů. Patří sem také komplex sestříhu RNA (spliceozom), zajišťující vystřížení intronů z primárního transkriptu RNA, přičemž důležitou roli zde hrají malé molekuly RNA (malé jaderné RNA, snRNA). Dalším příkladem může být interakce enzymu restriční endonukleázy s DNA, výsledkem čehož je přestřížení DNA v určitém konkrétním místě. Restriční endonukleáza nejprve prostou difúzí najde DNA, nasedne na ni a jede po ní jako na saních procesem lineární difúze, až najde svoje cílové místo, které pevněji obejmě svými výběžky a DNA přestříhne. Při dalším důležitém procesu, při rekombinaci, zajistí nukleoproteinový komplex přestřížení a znovuspojení DNA.



Snad největší komplex vzniká při translaci: mRNA se váže na ribozom, který je tvořen desítkami různých proteinů a několika molekulami rRNA. Je totiž zřejmě pozůstatkem pradávneho replikačního komplexu z éry prvních replikátorů, tzv. ribozymů (RNA enzymů).

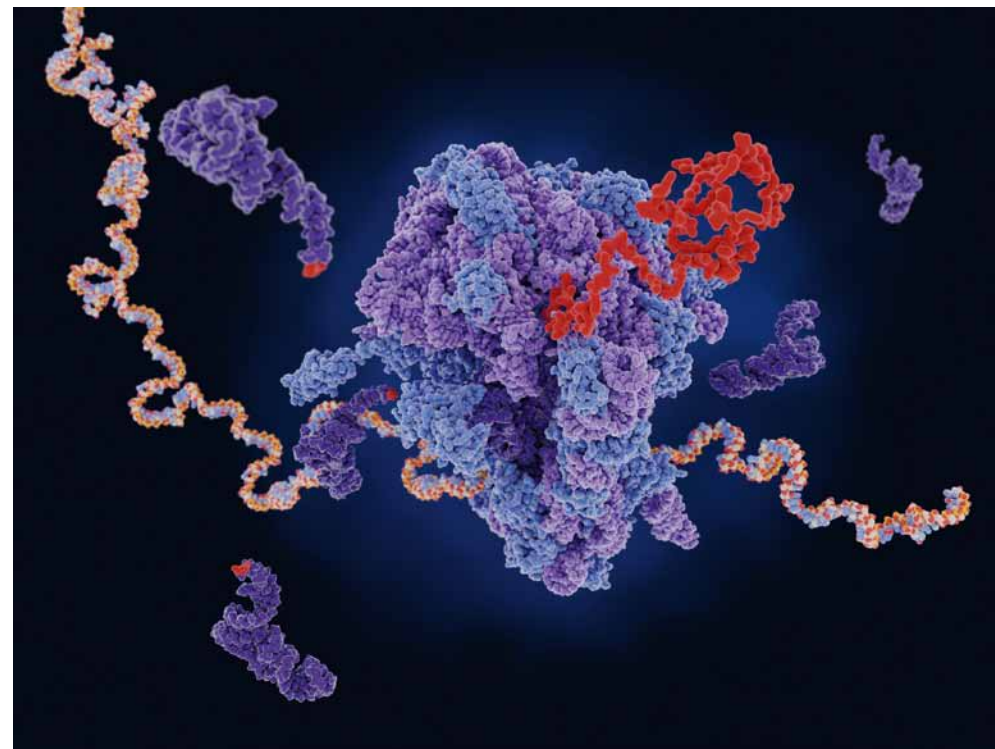
Jako poslední příklad můžeme uvést transpozici DNA transpozonů (úseků DNA dlouhých několik tisíc nukleotidů), při níž opět vzniká komplex DNA s proteiny. Komplex DNA transpozonu interaguje s jím kódovaným enzym transpozázou. V důsledku této interakce je DNA transpozon vystřížen z určitého místa a následně vložen do místa nového.

Ve všech těchto komplexech se na sebe proteiny a DNA nebo proteiny vzájemně vážou pomocí vodíkových vazeb, rozhodující je komplementarita povrchů interagujících molekul. Zásadní tedy není lineární genetická informace, ale trojrozměrná struktura funkční molekuly nukleové kyseliny nebo proteinu.

V IMUNITĚ A PŘI OPLOZENÍ

Příkladem vzájemných interakcí proteinů může být vazba antigenu na jeho buněčný receptor, vazba antigenu s protilátkou, hormonu s receptorem a nejrůznějších dalších ligandů (např. léků) s jejich receptory na povrchu buněk. Z těch nejnámějších uveďme alespoň v poslední době tak populární koronavirový protein spike nebo povrchový protein viru HIV, které si vytvořily inverzní strukturu vůči receptoru na povrchu krevních buněk. Díky interakci virových proteinů s buněčnými receptory je virus

Doc. RNDr. EDUARD KEJNOVSKÝ, CSc., viz Vesmír 101, 372, 2022/6.



Popiska ???

vtažen do buňky, kde se může namnožit. Celá imunologie je postavena na komplementaritě antigen-protilátka nebo antigen-buněčný receptor.

Komplementarita povrchů či jakýchkoli struktur startuje procesy v buňce. Je základem vzájemného rozpoznávání molekul. A to nejen na molekulární úrovni, ale i na úrovni organismů. Krásným příkladem je oplození vajíčka spermii. Spermie nese receptory, které musí do sebe zapadnout jako klíč do zámku s proteiny na povrchu

vajíčka (ZP3 proteiny, zona pellucida). Tyto páry proteinů a receptorů jsou druhově specifické, aby se zabránilo splynutí spermii a vajíček odlišných biologických druhů. Poté, co spermie vstoupí do vajíčka, dojde k pozoruhodné biochemické reakci, která změní povrch vajíčka a zabrání vstupu dalších spermii. Pohlavní orgány většiny živočichů jsou také vzájemně komplementární. Jsou jako zámek a klíč, jako šrouby a matice, láhev a špunt, knoflík a dírka, jako noha a dobře rozchozená bota, elektrická

Je DNA nejlineárnější útvar ve vesmíru?

DNA JE JEDNÍM z nejlineárnějších objektů v přírodě (přičemž linearitu definujeme jako poměr jednoho rozměru vůči dvěma zbývajícím). Pokud bychom vzali jako příklad DNA ze všech 23 chromozomů jedné lidské buňky (jedna ze dvou sad, které máme od každého z rodičů) a svázali ji dohromady, měřila by jeden metr. Její tloušťka přitom činí pouhé 2 nanometry. Pokud bychom tedy naši DNA 5 000 000x zvětšili na velikost horolezeckého lana, mělo by délku 5000 km, tedy například z Nordkappu až na Sinajský poloostrov. Existují ale i genomy o dva řády větší, než je ten lidský (*Amoeba dubia*, rostlina *Paris japonica*).

Aby v buňce DNA zabrala co nejméně místa, je velmi efektivně smotána, a to hned na několika úrovních. Stupeň její spiralizace se během buněčného cyklu mění, největší je v tzv. metafázi při buněčném dělení, kdy se tvoří chromozomy. Spiralizace úzce souvisí s aktivitou genů či expresí ostatních úseků genomu. Aktivitu genů navíc silně ovlivňuje epigenetický kód, tedy různé chemické značky navázané na DNA nebo na histony (Vesmír 101, 372, 2022/6). Při realizaci informace v DNA hrají roli nejen tyto prostorové struktury vytvářené DNA a histony (dohromady tvoří chromatin, viz Vesmír 97, 34, 2018/1), ale také konformace samotné DNA, jako je například levotočivá Z-DNA, trojvláknová nebo čtyřvláknová DNA (triplex a kvadruplex, Vesmír 97, 360, 2018/6). Jednotlivé konformace DNA slouží jako prepínače molekulárních procesů v buňce, existují například proteiny specificky se vážící na kvadruplexovou DNA. Informace je zapsána lineárně, o funkci však rozhoduje 3D struktura molekuly.

zásuvka a vidlice, nebo jako ozubená kola či puzzle.

PROTIKLADY A NOVÁ KVALITA Otázkami protikladů a komplementarity se zabývala již dávná filozofie, pojednávaly o ní staré mýty. Princip zámku a klíče je součástí obecnějšího principu komplementarity protikladů, doplňují se jako den a noc a snad i šířeji jako principy dobra a zla, krásy a ošklivosti, pravdy a lži, radosti a smutku.

Vzájemně komplementární jsou například orientální principy jin a jang. Jin je samičí chladný, vlhký princip, je to princip Země, Měsíce, citlivosti a zdrženlivosti. Naproti tomu jang je mužský princip, princip světla, tepla, sucha, Slunce, agrese, expanze a žádostivosti. Další příklad můžeme najít v antice. Podle mýtu o adrogynovi byla předchůdcem ženy a muže jedna celistvá oboupohlavná bytost, znázorňovaná na starých kresbách se čtyřma rukama a čtyřma nohama. Protože androgynové byli mocní a pyšní a pozvedli ruce proti bohům, rozhodli se Zeus a další bohové oslabit je a rozřáli každého napůl. Od té doby obě části v touze po ztracené jednotě hledají své chybějící poloviny, aby se s nimi spojily. Podobně uvažovali i vyznavači Kabaly. Dávní mystikové pokládali pohlavní diferenciaci za následek metafyzického prvotního hříchu. Proto podle nich muž a žena touží po vzájemném spojení, láska je podle Platóna instinktivní snaha zamilovaných znovu spojit rozdělené.

Komplementace molekul je často začátkem nejrůznějších procesů, podobně jako klíč vsunutý do zámku umožní vstup do nového prostoru nebo nastartování nějakého procesu (jízdy autem). Způsobí novou (a často vyšší) kvalitu, ať již v podobě zreplikované DNA (větší množství), zrekombinované DNA (jinak namíchané geny), sestřížené RNA (výběr části informace) nebo skoku transpozonu nesoucího promotor do nového místa (a následně zahájení exprese přílehlého genu a transformaci informace z DNA do funkčního proteinu).

KOMPLEMENTARITA, CHAOS A ŘÁD

V buňce probíhá neustálé rojení, hemžení molekul prostou difúzí a jen občas dojde k rozpoznání komplementárních struktur a následnému zahájení nějakého molekulárně-biologického procesu. Je to stále dobroušování klíčů, nekončící závody ve zbrojení, věčný běh bez konce, setkávání a rozdělování, neustálé evoluční tápání – vznikání, hrubé i jemné vyladování a následně zanikání jednotlivých struktur a procesů. Princip komplementarity, zámku a klíče, je možná jednou z příčin zvyšování komplexity živých organismů i velikosti jejich genomů. Tento princip možná vnáší do primárního chaosu určitý řád... ●