

Přírůstkové datovací metody

Založeny jsou na pravidelných růstech organické tkáně nebo části sedimentárních sekvencí. Z nejužívanějších jsou to dendrochronologie (letokruhové datování), varvová chronologie, a lichenometrie. Dále se užívá ročních přírůstků ledovcového ledu. Tyto techniky jsou omezeny především na holocén, ačkoliv jak varvy, tak záznam vrstviček ledu byly použity i pro předholocenní materiál.

Dendrochronologie

Obecné principy

U většiny měkkých jehličnatých stromů se nové vodou a živinami řízené buňky objevují na vnějších okrajích rostlin, a to během každé růstové sezóny. Nové buňky, které rostou na jaře, mají tendenci být větší a jsou více tenkostěnné než ty, které rostou během pozdního léta. Je to důsledek vyšších požadavků na zásobování vodou každou ranou růstovou sezónou. Později v průběhu roku se buňky zmenšují a vyvíjejí se silnější stěny buněk. Proto existuje jasná linie mezi následnými ročními přírůstky dřeva a počítáním těchto růstových přírůstků (**letokruhů**), můžeme zjistit stáří stromu.

Buněčná struktura má větší variabilitu u tvrdých opadavých stromů. Tvrdé dřeviny mohou být rozděleny na **prstencově-porézní** typy, u kterých jsou jarní cévy jasně větší než letní (např. dub, jasan, jilm), a **difúzně-porézní** typy, u kterých mají póry stejnou velikost (např. buk, bříza, olše, lípa). Proto existuje značná variabilita mezi druhy ve výskytu letokruhů a ne všechny stromy ukazují jasné přírůstkové linie. Nejvhodnějšími rody jsou dub a borovice. Letokruhy jsou jen vzácně stejné, protože strom je ovlivněn řadou přírodních faktorů, jejichž variabilita se odráží v různých fyziologických reakcích. Tím nejvíce určujícím faktorem je klima. V podmínkách stresu je růst retardovaný a vyvíjejí se užší letokruhy, naopak pokud jsou podmínky dobré, růst je rychlejší a přírůstkové linie jsou silnější. Díky tomu může být studována variabilita klimatu v průběhu velmi krátkého období – **dendroklimatologie**.

Dendrochronologický postup

- a) *měření*. Subfossilní nebo mrtvé dřevo může být rozřezáno, takže může být studován celý průřez, přičemž prstence se studují v několika radiálních směrech. Žijící stromy se studují pomocí kovových vrtáčků, které odeberou cylindrické vzorky malých rozměrů dřeva z těla stromu. V laboratoři jsou vzorky vysušeny, vyleštěny a před zkoumáním fixovány, nebo jsou nařezány dokud jsou ještě vlhké. Počítání a měření je prováděno vizuálně sledováním letokruhů v normálním zvětšení nebo na pohybovacím stolku pod binokulárním mikroskopem. Alternativní metoda – rentgenová denzitometrie – řezy dřeva jsou rentgenovány a prosvětlené negativy jsou studovány. Na základě množství propouštěného světla se studuje hustota dřeva, což často indikuje klimatické variace lépe než šířka letokruhů.
- b) *Křížové datování*. Letokruhy uvnitř stromů z určité menší geografické oblasti mohou být studovány technikou **křížového datování**. Klimatické kolísání uvnitř určité oblasti se odrazí v charakteru šířky letokruhu. Jasně letokruhy nebo skupiny letokruhů mohou být užity jako základ pro křížení se staršími stromy.

- c) *Standardizace*. Stromy rychleji rostou, když jsou mladé, z toho plyne také redukce šířky letokruhů s věkem. Obtíže v křížovém datování nastávají tam, kde jsou limitující přírodní podmínky komplikovány nebo maskovány vzrůstajícím stářím stromu. Dalším problémem je, že šířka letokruhů často kolísá v závislosti na výšce stromu. Každá skupina letokruhů je proto standardizována přepočítáním hodnot naměřených šířek letokruhů na **indexy šířky letokruhů**. Je jich větší počet, zpracováno statisticky. Jeden z přístupů volí regresní přímku k hodnotám naměřených šířek letokruhů a ta poskytuje indikaci obecného poklesu šířky letokruhu se stářím. Naměřená šířka jednoho letokruhu je pak rozdělena hodnotou pro daný rok získanou z regresní křivky. Výsledné indexy šířky letokruhů jsou korigovány na proces stárnutí, a proto kolísání šířek letokruhů odráží pouze vliv přírodních faktorů. Pokud chceme získat přesné křížové datování, musíme získat takové indexy z mnoha stromů.
- d) *Citlivost letokruhů*. Lokální podmínky – zásadní vliv na růst stromu, tedy i na šířku letokruhů. Některé stromy zažijí větší stres než jiné, závislí na takových faktorech, jako je sklon povrchu, retenční vodní kapacita půd a půdní stratigrafie, relativní množství stínu a expozice, genetická charakteristika... Tam, kde strom roste v místech s dostatečným množstvím vody a kde je chráněn stínem od extrémních teplot, šířka letokruhů nevykazuje velkou variabilitu a křížové datování je technicky obtížné až nemožné provést. Dendrochronologové proto preferují výběr stromů, které prodělaly nějaké období stresu, které způsobí redukci produkce dřeva. Proto je dendrochronologie použitelná hlavně v oblastech, které jsou aridní, s vysokými teplotami, nebo naopak velmi chladné.
- e) *Chybějící a falešné letokruhy*. Velmi často se stává, že během let extrémních klimatických podmínek může strom začít produkovat nový materiál pouze na omezené části těla nebo naopak může materiál chybět. Je to příklad **neúplných** nebo **chybějících letokruhů**. Neúplné letokruhy mohou chybět tam, kde může být zkoumána pouze část těla, např. u vzorků vrtů ze dřeva nebo částečně poškozeného fosilního dřeva. Na druhé straně více než jeden letokruh se může vyvinout tam, kde během jara nebo brzkého léta převažují špatné podmínky, zatímco jarní buňky již začaly růst. Struktura se může začít měnit tak, že to vypadá na roční hranici – vyvíjejí se tzv. **falešné letokruhy**. Tyto falešné letokruhy mohou být korigovány až s větším počtem různých vzorků.

Dendrochronologické záznamy

- a) **Severní Amerika** – V horách jz. Ameriky – nejstarší známé stromy na světě. Např. borovice *Pinus longaeva* může dosáhnout stáří více než 4000 let. Takto staré stromy se většinou nacházejí na suchých kamenitých místech v typicky šroubovitě a zakrslé podobě. Tyto borovice se adaptovaly na suché prostředí a v části Sierra Nevady a ve východní Kalifornii (White Mountains) rostou ve výšce až 4000 m n. m. Borovice *Pinus longaeva* má omezenou růstovou periodu – pouze 1 až 2 měsíce v roce. Velmi úzké letokruhy jsou citlivé na změny klimatických podmínek. Křížovým datováním žijících a fosilních dřev se podařilo jít až na 8681 let BP. Podobné letokruhové chronologie se podařilo sestavit na základě rodu *Sequoia*, *Pseudotsuga* a jiných borovic, ale tam to jde pouze do 3031 let BP. Předpokládá se, že v budoucnu bude možné vytvořit chronologie až na 6 ka BP.

- b) **Západní Evropa** – v tomto regionu – absence tak dlouhověkých stromů, jako je *Pinus longaeva*, takže křížové datování v laboratořích bylo prováděno pouze na základě recentních a subfossilních stromů, jejichž stáří povětšinou nepřevyšuje 100-200 let. Nejužívanějšími druhy – duby (*Quercus robur*, *Quercus petraea*) a borovice (*Pinus sylvestris*). Dendrologické záznamy – získány z močálů, vyzvednutých rašelinných kup a říčních štěrků. Nejdelší chronologie – na základě dubu (Irsko) – 7172 let BP, v Německu – 6255 BC / 8205 BP; 8021 BC / 9971 BP.

Dendroklimatologie

- studium rekonstrukce minulých klimatických podmínek na základě letokruhů. Výhoda – paleoklimatologické interpretace mohou být na základě dendrologických studií dobře datovatelné.

Kolísání hustoty dřeva může poskytnout jasnější paleoklimatickou informaci než jednoduché měření šířky. Hustota dřeva – jemnější rozlišení klimatických změn než šířka letokruhů. Evropa – zjištěny vztahy mezi maximem hustoty pozdního růstu dřeva (léto) a pozdními letními teplotami, zatímco v Sev. Americe – zjištěny korelace mezi maximem hustoty dřeva a jarními teplotami. Mohou existovat i vztahy mezi hustotou letního dřeva a letními suchými podmínkami, zatímco periodicity (60, 125 a 200 let), zřejmě vztažené ke slunečnímu svítu, byly zjištěny ve vztahu k hustotě letokruhů.

Izotopová dendroklimatologie – založeno na poměru izotopů O₂, C, H. Vodíkové a kyslíkové izotopové složení u rostlin je určeno izotopovým složením vody využívané rostlinami. Existuje přímý vztah mezi teplotami a poměry D/H a ¹⁸O/¹⁶O nacházené ve srážkách. Proto mohou být δ²H, δ¹⁸O a δ¹³C v letokruzích využity jako klimatické proxy-indikátory.

Využití: např. globální oteplování za posledních 100 let nebo precizní datování klimatického posunu v blízkosti mladšího dryasu ve střední Evropě. Globální kolísání uhlíku bylo studováno na základě δ¹³C v letokruzích od období po začátku průmyslové revoluce až po velké změny ve složení uhlíkových rezervoárů na poslední hranici glaciál/interglaciál.

Problémy: nevyřešená podstata frakcionace a rovnovážných procesů, které určují izotopové poměry v letokruzích – mnoho jiných faktorů než klima může ovlivnit izotopové složení letokruhů (fotosyntéza, podmínky stanoviště – expozice, lokální izotopové koncentrace, kolísání globálních koncentrací izotopů v atmosféře.

Kalibrace ¹⁴C datování

Srovnání letokruhů s ¹⁴C-datováním – jednoznačná ukázka kolísání aktivity ¹⁴C v atmosféře – vzrůstající rozdíly mezi dendrochronologickým a ¹⁴C-datováním: dřevo, datované pomocí ¹⁴C, bylo staré 5.0 ka BP, zatímco dendrochronologicky to bylo cca 5,8 ka BP. Jestliže letokruhy odrážejí kalendářní roky, pak důsledkem je, že mezi 5000 kalend. let a 6000 kalend. let BP musela být úroveň hladin ¹⁴C výrazně vyšší ve srovnání s recentními údaji. Dnes již existují precizní kalibrační křivky jdoucí až do okolo 8.0 ka BP. Jsou založeny na datovaných dřevech dubu (*Quercus petraea*, *Quercus robur*) z Irska, Skotska a Anglie, Douglasovy jedle

(*Pseudotsuga menziesii*) z US Pacifického Severozápadu a sekvoje (*Sequoiadendron giganteum*) z Kalifornie.

Varvová chronologie

Rytmická sedimentace – střídající se proužky jemného písku, siltu nebo jílu. Často proužky tvoří dvojice s relativně hrubozrnnými vrstvami střídajícími se pravidelně s jemnozrnnějšími vrstvami. Takové sedimenty se nazývají **rytmity**, na rozdíl od **varv**, u kterých laminace vzrůstá v důsledku ročního kolísání přísunu materiálu. Jelikož varvy jsou ukládány každoročně, mohou být využity za účelem datování. Varvy je možno vztáhnout i ke kalendářní časové škále.

- a) *Glaciolakustrinní varvy*. Velký přísun sedimentů uložen v proglaciálních jezerech a mělkých mořích – výsledek rychlého jarního a letního tání ledu. Nejdříve se ukládají nejhrubší části, jemné částice v suspenzi. Během zimy – zamrznutí jezera nebo příbřeží – částice v suspenzi pomalu klesají ke dnu a vytvářejí se laminované vrstvičky, jež ostře kontrastují s hrubšími vrstvičkami vzniklými v průběhu léta. První využil – De Geer (1912) – Švédská jezera. Varvy se počítají – ve světelném mikroskopu, pomocí RTG, SCAN
- b) *Jiné varvové sedimenty*. Každoroční rytmy – hojně i v mnoha teplých oblastech daleko od glaciální aktivity. Je pravidlem, že produkce sedimentů a biomasy jsou výslednicí kolísání přírodních podmínek v jezerech, v některých jezerech teplých oblastí chemické srážení také v průběhu roku kolísá. V mnoha jezerech – sedimenty přepracovány proudy nebo bioturbací – nevznikají laminy (**holomiktní jezera**). Hluboká jezera s nedostatkem kyslíku – bentická fauna redukována, povrchové proudy nedosahují ke dnu, vznikají jemné laminy (**meromiktní jezera**). Tam, kde se v důsledku kolísání sezónního klimatu objevuje akumulace organického detritu a vytvářejí se dvojice, vznikají **organické varvy**. V některých případech – sezónní kolísání srážení CaCO_3 vede k vývoji světlejších letních vrstviček, které se střídají se zimními vrstvičkami bohatými na organický humus. K laminaci vede i sezónní kolísání ve srážení oxidů železa.

Zdroje chyb ve varvovém počítání

Lokální prostředí může tvorbu varv ovlivnit a mohou nastat problémy s křížovým datováním jednotlivých varvových souvrství. Např. nepříznivý vývoj počasí v určitých letech může vést k redukovanému vstupu sedimentů do proglaciálních jezer, nebo k redukcí biomasy nebo chemickému srážení v létě, takže některé vrstvičky se nevyvinou nebo jsou příliš tenké na to, aby byly k rozeznání. Roční přírůstek varv může chybět i jako důsledek erozní činnosti na dně jezera. Na druhé straně se může objevit i více vrstviček v průběhu jednoho roku – např. v důsledku epizodické sedimentace lokálních větrných proudů. Běžně se nacházejí drobné laminace uvnitř hrubých vrstviček jako každodenní variace, kdy hrubší materiál se uzazuje ve dne a jemnější v noci. Ale písčité vrstvičky se mohou utvářet i uvnitř zimních siltových a jílovitých vrstviček glaciolakustrinních varv jako důsledek činnosti tubriditních proudů. Interpretace ztížena také v důsledku náhlých velkých záplav.

Křížové datování – stejně jako u dendrochronologie, varvy jsou aplikovatelné pouze na omezenou geografickou oblast, neboť klimatické výkyvy vytvářejí zcela odlišné uspořádání varv.

Aplikace varvové chronologie

- a) *Charakter regionální deglaciace*. V Evropě (Skandinávie, západní Evropa) je regionální varvová chronologie poměrně vzácná, v Americe mnohem propracovanější. Skandinávie – glaciolakustrinní varvy sloužily jako nástroj k datování posledního ústupu pevninského ledovce. V některých oblastech Skandinávie jde o datování až do 11,5 ka BP. Využití varvové stratigrafie v kombinaci s datováním pomocí ^{14}C , paleomagnetismu a pylových analýz umožnilo datovat deglaciaci jižního Švédska
- b) *Délka trvání jednotlivých období v kvartéru*. Např. analýza organických varv v hoxnienského interglaciálu v jižní Anglii (odpovídá holsteinskému interglaciálu kontinentální Evropy) umožnila zjistit, že interglaciál trval cca 20-25 ka. Počítání laminace pozdního glaciálu (visla) a raného holocénu ve švýcarských jezerech doložila varvová stáří 700-800, cca 400 a cca 900 kalend. let pro trvání bøllingu, allerødu a mladšího dryasu. Ve Švédsku se v mladším dryasu vyskytuje na 900-1000 varv, zatímco varvové jezerní souvrství v Polsku byl určeno na 1140 ± 20 let. Využití i pro datování jednotlivých kvartérních eventů – např. v Diss Mere, Anglie došlo k redukci počtu jilmů (*Ulmus*) asi 5 ka BP (^{14}C), což je event známý ze všech pylových záznamů sz. Evropy. To bylo doprovázeno laminovanou sedimentací. Zjistilo se, že jilm poklesl o 73 % během šesti let – zřejmě patogenní napadení.

Lichenometrie

Lišejníky – komplexní organismy zahrnující řasy a houby žijící symbioticky. Řasy dodávají karbohydráty přes fotosyntézu, zatímco houby nabízejí ochranné prostředí, ve kterém se buňky řas mohou vyvíjet. **Princip lichenometrie** – existuje přímý vztah mezi velikostí lišejníků a stářím.

Předpokladem je povrch vystavený expanzi lišejníků, známý mechanismu růstu lišejníků a také to, že mezi odhalením povrchu (např. hornin po ústupu ledovců) a kolonizací lišejníků neuplynula dlouhá doba. Některé lišejníky mohou růst až několik tisíc let (např. *Rhizocarpon geographicum*), proto je technika lichenometrie aplikovatelná na většinu holocénu. V praxi je však datovací limit lichenometrie cca 4500 let v oblastech extrémně chladných a suchých, např. Grónsko, zatímco ve většině ostatních případů je lichenometrie použitelná pouze max. do 500 let.

Využití lichenometrie – datování ústupu ledovců. Velikost lišejníků (obvykle největší rozměr největšího lišejníku) je nejdříve změřena na povrchu morén známého stáří (datováno např. pomocí radiometrického datování nebo historickými záznamy, např. fotografie). Vytvořit se musí růstová křivka lišejníku. Povrch neznámého stáří může být datován k lišejníkům různých průměrů. Tímto způsobem může být vytvořena detailní deglaciační chronologie pro určitou oblast. Lichenometrie bylo využito i pro datování Malé Doby Ledové v mnoha oblastech světa – Skandinávii, severoamerických Kordillérách, na Aljašce, v Jižní Americe i na Novém Zélandu.

Další využití – poskytnutí časové škály pro kolonizaci rostlin u nově odkrytých substrátů v proglaciálních oblastech; vývoj chronologie zvednutých plážových usazenin a k nim vztahených archeologických nálezů; relativní datování proglaciálních říčních teras; svahových usazenin a aktivity suťových proudů; datování povrchových struktur indukovaných zemětřesením.

Problémy: ne všechny lišejníky využitelné, pouze ty, které vykazují kontinuální růst. Navíc velikost lišejníků omezena přírodními podmínkami, které kolísají jak v poledníkovém, tak v rovníčkovém směru (např. teplota vzduchu, délka dne, sněhová pokrývka). Proto je lišejníková růstová křivka zjišťována pro určité druhy zvláště a v limitované geografické oblasti. Navíc se předpokládá, že při studiu ústupu ledovců nedošlo k dlouhé prodlevě mezi odkrytím povrchu po ústupu ledovce a kolonizací prvních lišejníků. Jelikož toto nemůže být nikdy prokázáno, je třeba počítat s určitou chybou.

Roční přírůstky ledovcového ledu

V polárních oblastech mají ledovcové štíty ve svých vrchních částech dobře patrné roční přírůstky ledu. V ledovcových vrtech mohou být tyto přírůstky počítány a tím se může vytvořit chronologie pro celý rozsah vrtu. Krom těchto vizuálních znaků může být zjišťováno kolísání dalších parametrů, např. roční kolísání v zastoupení izotopových poměrů (^{18}O , δD), elektrická vodivost ledu, obsah prachu, mikročástic, prvkové složení. V hloubce však roční přírůstky splývají – je obtížné tyto roční přírůstky detekovat – tzn., že u hlubokého ledu nelze této přírůstkové metody využít. V Grónském ledovci, kde byla akumulace sněhu poměrně rychlá, bylo v rámci GRIP (Greenland Ice Core Project) po jednotlivých letech (od povrchu) zjištěno stáří sahající až k 14,5 ka BP. V rámci GISP-2 (Greenland Ice-Sheet Project 2) byly v rámci vrtu roční vrstvy spočítány až do stáří 17,4 ka BP a pomocí částečné interpolace u starších vrstev až do 40,5 ka BP. Naopak v některých oblastech Antarktického ledovce, kde jsou roční akumulace sněhu nízké, dochází k povrchovému odnosu sněhu a difúzi izotopů do firnu, což znesnadňuje studium chronologie.

Využití – největší potenciál má datování ledovcových vrtů pro pozdní glaciál (14-9 k ^{14}C let BP). GISP-2 – klimatické změny jsou provázeny kolísáním koncentrací prachu (vzrůstající eolická aktivita v průběhu chladných období) a změnami v tloušťce ročních vrstev ledu, odrážející kolísání akumulací rychlosti (např. sněhové srážky). Würmské klimatické epizody jsou tak jasně rozaznatelné: přechod z nejstaršího dryasu do interstadiálu bølling (14680 ± 400 ledovcových let BP); konec mladšího dryasu je datován na 11640 ± 250 let BP; a trvání mladšího draysu (stadiál) je 1300 ± 70 let.

Užití stratigraficky významných horizontů

V mnoha kvartérních sedimentech – výskyt dobře patrných typických určujících horizontů, které jsou na větší vzdálenosti synchronní a vytvářejí polohy v různých sedimentárních sekvencích. Samotné horizonty neřeknou přesné stáří – na to je třeba užít jiných metod. Když jsou však jednou datovány (např. radiometricky nebo užitím přírůstkových metod) mohou se použít pro srovnání všude tam, kde se vyskytují. Využívá se tří metod – **paleomagnetismus**, **tefrochronologie** a **kyslíková izotopová stratigrafie**.

Paleomagnetismus

Viz příložený *.ppt soubor

Tefrochronologie

Po vulkanické erupci je vulkanický prach nebo tefra vržena velmi rychle na relativně rozsáhlé oblasti a vytváří se tak tenká pokrývka bažinných povrchů, sedimentů jezerního dna, estuáriových sedimentů, říčních teras... Tenké vrstvy prachu byly zjištěny i v hlubokomořských sedimentech. Vrstvy vulkanického prachu jsou často typicky světle zbarvené horizonty v sedimentárních souvrstvích a detekovány mohou být ve vrtech různými metodami, zahrnujícími granulometrii, petrografické a mineralogické vlastnosti a geochemické znaky. Těmito metodami je možno nejen odlišit jednotlivé vrstvičky vulkanického prachu, ale je možno zjistit i zdrojovou oblast. Např. 10,6 ka starý vulkanický prach z lokality Vedde (západní Norsko) a severoatlantické oceánské vrty jsou vztaženy k vulkanickému systému jižního Islandu, neboť jak vulkanický prach, tak lokální vulkanity vykazují neobvykle vysoká množství TiO_2 . Stáří vrstev vulkanického prachu bylo možno zjistit pomocí radiokarbonového datování doprovodného organického materiálu (dřeva, rašelinné nebo jezerní sedimenty) starší sedimenty užitím metody K-Ar / Ar-Ar, Fission Tracks, TL, ESR. Pokud je tefra v ledových vrtech, pak stáří může být zjištěno spočítáním ročních vrstev v ledu.

Evropa – mnoho tefry bylo popsáno z okolí Eifelu v jz. Německu. K-Ar a $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ datování ukázalo na střednopleistocenní stáří, zahrnující značně rozšířenou Hüttenbergskou tefru (cca 215 ka BP), jež byla usazena na přelomu glaciálu a interglaciálu. Mnohem mladší vulkanický prach Laacherského jezera (^{14}C datování na 11 ka \pm 50 let BP) ze stejného vulkanického centra byl nalezen v oblasti střední a severní Evropy a byl využit jako odpovídající izochronní horizont pro studium pozdně-glaciální jezerní sedimentace.

Většina kvartérní tefry nalezené v sz. Evropě však pochází z Islandu a nachází se až v oblasti Skandinávie, Gróska, Skotska, severního Irsku. Islandská tefra byla nalezena i ve vrtech ze dna severního Atlantiku a ze Severního moře. V rámci oceánských vrtů byly vyčleněny výrazné zóny vulkanického prachu, které představují periody vzrůstající vulkanické činnosti na Islandu. Tefry tak nabízejí možnost nejen korelace různých oceánských vrtů, ale i korelace mezi kontinentálním a marinním prostředím.

Problémy – prostorová omezenost (závisí na síle a typu erupce, směru a síle větru, velikosti zrn...); analytické problémy spojené s přesnou identifikací vzájemně odlišných tefer.

Kyslíková izotopová stratigrafie

Viz příložený *.ppt soubor

Relativní chronologie založená na procesech chemické přeměny

Fosilie, sedimenty a horniny jsou ovlivněny řadou chemických reakcí, z nichž některé mohou být časově závislé. Od doby smrti organismu jsou tkáně rozkládány různými chemickými procesy, které vytvářejí sloučeniny mnohem jednodušších chemických struktur. Povrch fosilií nebo minerálů může být změněn procesy hydratace nebo akumulací sraženin určitých chemikálií v podzemních vodách, zatímco zvětrávací a pedogenetické procesy postupně

vytvářejí viditelné změny na povrchu krystalických hornin nebo sedimentů. Ve všech případech přeměny vzrůstají s časem, což dává podklad pro relativní datování.

Aminokyselinová geochronologie

Kosti žijících organismů obsahují asi 23 % kolagenových (protein obsahujících) vláken uvnitř fosfáto-kalcitické matrix. Proteiny mohou uvnitř kostí a schránek přežít po velmi dlouhou dobu, ale prodělávají množství změn. Některé ze změn, které proteiny po smrti organismu prodělávají, jsou časově závislé, takže vlastnosti určitých zbytků proteinů z kvartérního záznamu mohou být základem relativní chronologie.

Chemie proteinů

Proteiny – velké komplexní molekuly, základ živých organismů. Složeny jsou z aminokyselin, kterých známe v proteinech okolo 20. Proteiny jsou složeny z aminokyselin vytvářejících peptidové řetězce prostřednictvím peptidových vazeb. Řetězec aminokyselin je nazýván **primární strukturou** proteinu, který je definován počtem a posloupností aminokyselin. Proteiny obvykle obsahují komplexní řetězce aminokyselin (**polypeptidové řetězce**), a jestliže se několik polypeptidových řetězců objevuje paralelně, vzniká **sekundární struktura** proteinu. Trojrozměrný komplex vytváří **terciární strukturu**. Některé z větších proteinů mohou obsahovat až 3000 aminokyselinových reziduí.

Téměř všechny aminokyseliny (výjimka je glycin) – dvě molekulární (**izomerické**) formy. Chemické a biochemické vlastnosti jsou podobné, ale polarizované světlo otáčejí v opačném směru. Přestavit si je můžeme jako optické izomery – **L-aminokyseliny** a **D-aminokyseliny**. Uhlík uprostřed izomerů je zároveň bodem asymetrie. Význam – Zatímco L-izomery se vyskytují u žijících organismů (s aktivními proteiny), D-izomery se objevují ve volném stavu jako složky rozkladu proteinů.

Aminokyselinová diagenese

Chemické přeměny u proteinových reziduí – po smrti organismu – rozklad peptidových řetězců a vytvoření volných aminokyselin. Tam, kde jsou proteiny vystaveny atmosféře nebo biologickým procesům, odehrává se velmi rychlá degradace, ale jestliže jsou chráněny tvrdou kostěnou tkání, pak převažuje „uzavřený“ systém a objevuje se mnohem pomalejší chemická přeměna. Některé reakce probíhají od 50 ka do několika milionů let, zatímco reakce aminokyselin zabírají pouze několik tisíc let.

Dva diagenetické procesy odrážejí relativní stáří fosilií:

1. peptidové můstky jsou zničeny hydrolýzou, což vede k uvolnění volných aminokyselin, takže poměr volných aminokyselin k peptidovým vazbám vzrůstá s časem. V praxi je však těžké této úvahy použít.
2. Racemizace – L-izomery se mění na D-izomery a reakce pokračuje, dokud není vytvořena rovnováha. Jestliže se podaří změřit rychlost části přeměny, pak může být vypočítán čas od úmrtí organismu, vypočítaný z poměru D/L aminokyselin ve fosilním materiálu.

Ačkoliv teoreticky může být racemizace prováděna na jakémkoli materiálu obsahujícím proteiny (vlasy, zuby, Foraminifera, schránky, kosti, kly), nejužívanějšími jsou schránky měkkýšů, které v rámci AK vytvářejí uzavřený systém. Zatím – více zkušeností s mořskými

měkkýši. Proteiny v kostech jsou bohužel vysoce rozpustitelné, proto nepoužitelné pro AK-datování. Použito bylo i pro datování speleotém – proteiny v organickém materiálu mikroorganismů, které žily v půdě a dostaly se až do speleotém, jež se vysrážely za spolupůsobení podzemní vody. Poměry AK – zjištěny i u dřev.

Problémy – reakce jsou závislé na teplotě – racemizace probíhá rychleji za vyšších teplot. V praxi to znamená, že nejlepší srovnání poměrů AK je u míst, které mají podobnou klimatickou a zvláště pak teplotní historii; Reakční rychlosti závisí na propustnosti schránkové nebo kostěné matrix a na původním aminokyselinovém složení a typu proteinových struktur. Tzn., že AK složení, relativní množství AK a rychlosti reakcí jsou rodově a v některých případech i druhově závislé; Kontaminace a výměna AK s prostředím je problém především u kostěného materiálu, méně pak u mořských měkkýšů; Mikrobiální aktivita může výrazně urychlit degradaci proteinů; Odlišné srovnávací standardy u různých laboratořích.

Využití – pokud mohou být AK poměry kalibrované pomocí jiných metod (^{14}C , U-řady, TL, ESR), může se vytvořit časová škála – využití pro celé období kvartéru: korelace a datování interglaciálních pobřežních linií – vytvoření aminozón, každá je charakterizována určitým poměrem D/L u mořských měkkýšů a každá představuje určitý interglaciál (vysoká hladina mořské vody). Užitím této metody se podařilo odlišit eventy vysoké hladiny mořské vody v průběhu posledního interglaciálu a vytvořit korelaci pro oblast jz. Británie. Datování U-řad – 122 ka BP pro stupeň 5e, pomocí TL – stupeň 7 odpovídá stáří 191 Ka BP.