

odhadovat. Rychlé a nepřetržité přirůstání vlasů tak v analýze zachytí sezonní odchylky ve výživě, v závislosti na dostupnosti jednotlivých produktů. Mohou také poodhalit bezprostřední okolnosti smrti jedince, např. zda jí předcházela nesprávná výživa nebo hladovění. V případě dostatečné sezonní fluktuace potravních zdrojů pak určíme, v jaké části roku došlo k úmrtí, a tedy které roční období znamenalo pro danou populaci největší riziko.

Náš příspěvek rozhodně nemůže ukázat všechny možnosti izotopové analýzy. Zcela jsme mimo jiné opomněli druhou zásadní sféru využití, tedy uplatnění při studiu migrací minulých populací. Tato metoda využívající izotopy navíc stále prochází rychlým rozvojem a hledáním nových cest, jak zpřesnit výsledky. Doposud jsme zde hovořili zejména o analýze kolagenu. Ten, jakožto protein, se skládá z jednotlivých aminokyselin, které můžeme rozdělit na dvě skupiny. Na prvním místě aminokyseliny esenciální, jež si lidské tělo neumí samo vyrobit, a musíme je tedy přijímat v potravě. Tyto kyseliny jsou přímo zabudovány do struktury vznikajících proteinů a odrážejí tak izotopový signál konzumované stravy v nezměněné podobě. Naproti tomu aminokyseliny neesenciální mohou

být také využívány přímo z potravy, v případě potřeby však mohou být syntetizovány v těle z dalších složek stravy (sacharidů a lipidů). V průběhu jejich syntézy se uplatňují obecně platná geochemická pravidla, jako efekt frakcionace. Do jaké míry k této syntéze *de novo* dochází, ovlivňuje zejména kvalita stravy – podíl proteinů, jejich stravitelnost a aminokyselinové složení. Výzkum v této oblasti je stále převážně na experimentální úrovni, přesto se jeví pravděpodobné, že tento typ analýzy může přinejmenším zpřesnit naše poznatky o výživě minulých populací. Jednou z potenciálních aplikací je možnost prokázání některých složek potravy i v případě, že byly konzumovány pouze sporadicky, v příliš nízkém množství, aby byly viditelné v „celkovém“ izotopovém signálu (Webb a kol. 2016). Týká se to především konzumace sladkovodních i mořských ryb. Právě podobné využití může mít v budoucnosti velký význam při studiu počátku a nárůstu intenzity dálkového obchodu. Přestože v středoevropském kontextu lze předem vyloučit, že by mořské ryby tvořily významnou složku stravy našich předků, mohly být luxusním předmětem dovozu, ať už ve formě sušené, nebo fermentované.

Experimentuje se také s využitím nových izotopových systémů, a to nejen v oblasti analýzy výživy, ale i fyziologie. Např. kombinace stabilních izotopů železa a mědi se podle prvních výsledků zdá mít velký potenciál pro studium reprodukčního zdraví. Hodnoty obou izotopů se liší mezi pohlavími, v případě žen se však významným způsobem mění v období menopauzy, kdy se začínají podobat hodnotám mužským. Další výzkum tedy může pomoci osvětlit délku reprodukčního období žen v minulosti, což je důležité pro studium demografického vývoje. Zajímavé by mohlo být i porovnání, jaké procento žen se v jednotlivých historických etapách nebo společenských vrstvách dožívalo konce reprodukčního období, což poskytne přesnější informace, jak velké riziko spojené s porodem ženy nesly v různém přírodním i sociálním kontextu.

Izotopová analýza tedy zdaleka nevyčerpala všechny své možnosti a její využití jistě v budoucnu přinese mnoho nového.

Citovaná a doporučená literatura je uvedena na webové stránce Živý.

Lenka Kovačiková

## Co o vztahu člověka a zvířete v minulosti prozrazují stabilní izotopy

**O zvířatech v blízkosti člověka a podobě jejich vzájemného vztahu v minulosti se dozvídáme prostřednictvím výsledků archeozoologické analýzy, neboť hmotné prameny (např. plastiky zvířat) nejsou vždy dostupnou variantou. Archeozoologie se ve svém tradičním pojetí opírá o vizuální posouzení morfologických znaků na kostech, které byly získány při archeologických výzkumech a které jsou specifické pro jednotlivé druhy živočichů. Většinou jde o nálezy fauny z různých sídlištních i pohřebních kontextů, ať už ze zásobních jam v okolí domů prvních zemědělců v období neolitu, z hrobů mladší doby bronzové, nebo nefunkčních studní ve vrcholně středověkých městech; jejich propojení s minulostí člověka je takřka nezpochybnitelné. Archeozoologie se v několika posledních desetiletích propojuje s izotopovou geochemií. Výsledkem jsou nové informace o potravním chování a životním prostředí zvířat v minulosti, což rovněž přispívá k přiblížení historie člověka, který je choval a lovil.**

Na základě makroskopického přístupu jsme schopni nabídnout více informací o zvířatech, která se v okolí člověka vyskytovala, a rekonstruovat, jaký byl jejich ekonomický, náboženský, případně jiný význam. Zvířecí kosti, zuby a další struktury, např. zbytky srsti nebo rohoviny, staré stovky až tisíce let, lze podrobovat i studiu na mikroskopické až molekulární či

atomární úrovni. V tomto ohledu připadají v úvahu metody jako zubní mikroabrazie (obrušování), analýza starobylé DNA, stopových prvků nebo lehkých i těžkých stabilních izotopů, jimž budeme věnovat více pozornosti v tomto příspěvku. Mezi stabilní izotopy, které archeozoology zajímají nejvíce, patří uhlík ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , resp.  $\delta^{13}\text{C}$ ;  $\delta$  udává podíl těžkého  $^{13}\text{C}$  a lehkého

$^{12}\text{C}$  izotopu ve vzorku ve vztahu k jejich poměru v mezinárodně uznaném standardu), dusík ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) a kyslík ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ), méně často síra ( $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$ ) nebo stroncium ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) uchované buď v minerální, nebo organické složce kosti či zubu (viz také Živa 2008, 1: 42–45 a 2: 87–90).

O analýze stabilních izotopů s přesahem do archeologie víme již několik desetiletí. Začátky v 70. a první polovině 80. let byly zaměřeny na sledování poměrného izotopového složení kyslíku ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve schránkách mořských měkkýšů s cílem upřesnit, nejen v kterém ročním období je člověk sbíral, ale i jaká byla jeho sídelní strategie. První výsledky studia stabilních izotopů uhlíku ( $\delta^{13}\text{C}$ ) a dusíku ( $\delta^{15}\text{N}$ ) byly spojeny hlavně s lidskými ostatky a úloha zvířecích kostí spočívala v jejich využití jako pozadí při vymezení potravních preferencí člověka. Díky rozvoji metodických možností se postupně rozšiřovalo spektrum kladených otázek. Ty už nesměřovaly pouze k dietetickým návykům lidí, ale také k výživě a krmení zvířat, pastevním strategiím (např. transhumance – sezonní pastva dobytka v horách a nížinách, lesní pastva), výměnám zemědělských produktů mezi různými komunitami, biogeografii živočichů a vlivu klimatu na jejich reprodukční chování.

### Počasí archivované v zubech

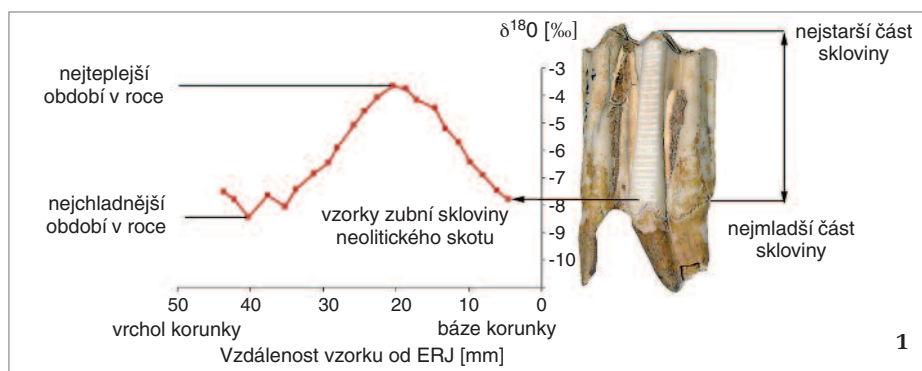
Znalost období, kdy se rodí mláďata domestikovaných i divokých savců, nám může, ve vztahu k člověku, pomoci objasnit jeho subsistenční chování (způsob obživy), případně upřednostňované pas- tevecké nebo lovecké strategie. Co se týče sezonality, pak nás zajímají stabilní izotopy kyslíku ( $\delta^{18}\text{O}$ ), které jsou přijímány v molekulách vody nebo v potravě, jež vodu obsahuje, a ukládány ve formě uhličitánů a fosforečnanů do kostní tkáně. Izotopové

složení kyslíku v přijímané vodě původem ze srážek v průběhu roku kolísá v závislosti na lokálních teplotách a nadmořské výšce. Vhodným rezervoárem klimaticky podmíněných změn v izotopovém signálu je zubní sklovina savců. Její utváření nějaký čas trvá a mnohdy se do ní stihne uložit informace o suchém teplejším i vlhčím chladném období v roce. Najdeme-li např. na archeologickém nalezišti fragment dolní čelisti jelena se všemi třemi stoličkami, máme k dispozici klimatický záznam zahrnující období před narozením až přibližně 1,5 roku po narození. Abychom se k údajům o kolísání klimatu během roku dostali, resp. mohli změřit stabilní izotopy kyslíku, je potřeba provést sekvenční vzorkování korunky každého zubu (podél růstové osy). Zároveň, pro lepší zobrazení teplotních změn, je vhodné si u každého vzorku poznamenat vzdálenost od kontaktu kořene se sklovinou (ERJ – Enamel Root Junction). Platí, že čím je odebraný vzorek vzdálenější od kořene, tím starší fázi vývoje skloviny reprezentuje. Teplé letní měsíce se v izotopovém záznamu projeví tak, že vzorky odpovídající této části roku budou izotopicky těžší než standard (zde VPDB – Vienna Pee Dee Belemnite), resp. poměr  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  bude ve vzorku vyšší než ve standardu a hodnoty  $\delta^{18}\text{O}$  posunuty k pozitivnějším hodnotám. V opačném případě, budou-li hodnoty  $\delta^{18}\text{O}$  negativnější, můžeme hovořit o chladném období v roce.

### Pragmatismus pravěkých chovatelů dobytka

Mláďata divokých kopytníků se rodí v klimaticky příhodné části roku, tím se snižuje riziko, že by strádala při přechodu z mléčné výživy na pastevní porost. Jestliže se podaří zjistit úmrtní věk v minulosti lovených velkých herbivorů – při této příležitosti je obvykle sledováno stadium prořezání, výměny nebo opotřebení zubů, a známe-li období, kdy se v přírodě většinou rodí, můžeme dopočítat, v jaké části roku byli uloveni. Tento přístup byl zvolen při zkoumání zubů jelenů ulovených obyvateli mezolitického sídliště Star Carr v Anglii. Za předpokladu, že se zde kolouchové rodili v květnu až červnu, bylo možné podle stavu dentice vypovídat, že je lovci-sběrači ulovili v zimním období. Co ale dělat v případě, když máme pochybnosti o sezonnosti reprodukce zvířat? Ve většině osteologických souborů, které nám pomáhají mapovat aktivity člověka od počátku zemědělství v neolitu (na našem území jde o období zhruba před 7,5 tisíci let) po raný novověk, jednoznačně převažují pozůstatky hospodářských zvířat, u nichž musíme více či méně počítat s tím, že jejich reprodukci ovlivňoval člověk. Jako alternativa se jeví kombinace údajů o porážkovém stáří zvířat odečteném při archeozoologické analýze ze zubů a měření obsahu stabilních izotopů kyslíku v jejich sklovině.

Tohoto spojení bylo využito u doposud nejbohatšího archeozoologicky studovaného souboru ze sídliště v Chotěbudicích (okres Louny), datovaného do období kultury s lineární keramikou, 5 400 až 5 100 př. n. l. Shromážděná kolekce několika stovek zubů hospodářských zvířat, převážně skotu, se dochovala ve výjimečně dobrém stavu. Pro účely izotopové analýzy



byly vybrány třetí stoličky dolních čelistí, jež jsou hypsodontní (mají vysoké korunky) a jejich sklovina se utváří přibližně 14 měsíců. Ačkoli bylo do zubů nepřerušeno zapsáno minimálně roční svědectví o počasí na sídlišti (pastvině), po skončení jejich mineralizace se „nahrávání“ informací navždy zastavilo a zůstalo v nezměněné podobě dodnes. V souvislosti s prvními zemědělci na našem území byly řešeny mimo jiné otázky, v jakém období roku se rodila telata a zda vždy ve stejnou dobu. Telení primitivních evropských plemen skotu probíhá v jarních měsících, pro pratury – divoké předky turů domácích, se uvádí květen až červen. Výsledky měření stabilních izotopů kyslíku ve stoličkách skotu z Chotěbudic potvrdily výraznější rozdíly mezi teplotně příznivou a nepřiznivou částí roku a naznačily, že zkoumaní jedinci se narodili v jarních měsících, což je ve shodě s údaji tradičních plemen skotu i praturů. Zda se mláďata rodila striktně ve stejnou dobu, se ale nedalo spolehlivě říci. První výsledky sice nastínily, že porody probíhaly ve dvou časových obdobích (v rozestupu asi tři měsíců), tento závěr je však nezbytné podepřít větším množstvím dat. Skot v Chotěbudicích byl porážen v různém stáří, přičemž jednu skupinu tvořila mláďata usmrčená po odstavu od krávy – mezi 6–7, nejpозději však v 9 měsících. Jak ukázala analýza stabilních izotopů uhlíku a dusíku v zubním kolagenu skotu z naleziště v Bercy ve Francii datovaného do období 4 000 př. n. l., mohl být časnější odstav telat limitován kratší délkou laktace u pravěkého skotu, nebo si ho chovatel vynutil, aby získal větší

1 Změny lokálního klimatu na neolitickém sídlišti v Chotěbudicích na Lounsku (5 400 až 5 100 př. n. l.) vyjádřené prostřednictvím poměrů stabilních izotopů kyslíku  $\delta^{18}\text{O}$  (osa y) v minerální frakci třetí stoličky skotu. ERJ (Enamel Root Junction, osa x) označuje vzdálenost příslušného vzorku zubní tkáně od kontaktu kořene zubu se sklovinou. Hodnoty převzaty ze studie: L. Kovačiková a kol. (2012)

2 Nejlepší přítel lovců-sběračů v mezolitu a zároveň jedině domestikované zvíře v tomto období byl pes. Významně pomáhal při lovu v hustých lesích, dokázal unikající kořist zpomalit nebo navést lovce na dosah od ní. Výsledky mnohých izotopových analýz ukazují, že potrava psů a jejich pánů se shodovala nejen v mezolitu, ale po celá tisíciletí. Vztah člověka k psovi byl dlouhodobě ambivalentní. Zatímco někteří psi byli pohřbíváni jako členové nejbližší rodiny, což dokládá např. pohřeb psa v jámě z období ca 4 600 – 3 800 př. n. l., jenž je součástí expozice v Historickém muzeu v německém Rezně, jiní byli stahováni z kůže a snědzeni.

3 Charakteristika pastevního prostředí skotu na neolitickém sídlišti v Chotěbudicích provedená na základě analýzy stabilních izotopů uhlíku  $\delta^{13}\text{C}$  (osa y) obsažených v bioapatitu skloviny třetí stoličky. Zobrazené hodnoty převzaty z prací: N. Noe-Nygaard a kol. (2005), C. Bösl a kol. (2006), M. J. Kohn (2010) a L. Kovačiková a kol. (2012). Orig. L. Kovačiková

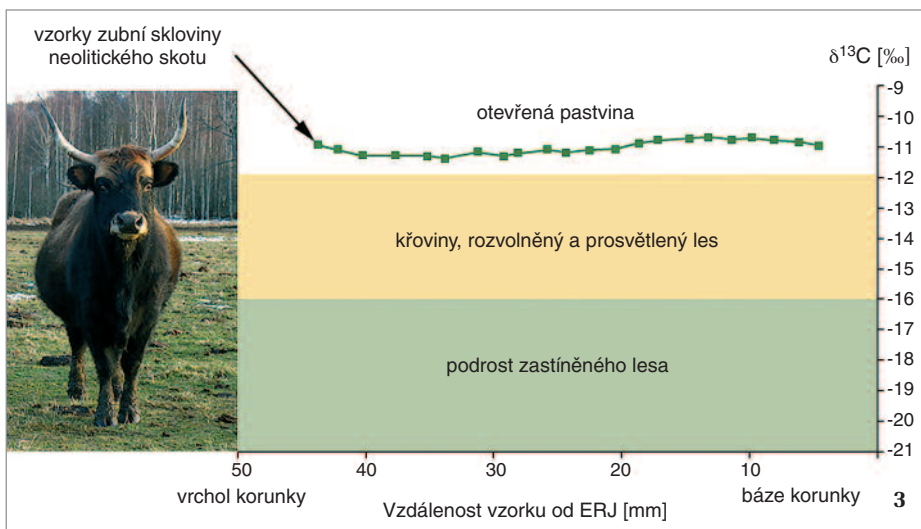


objem mléka pro svou potřebu. Obě uvedené hypotézy přitom mohou připadat v úvahu a vzájemně se nevyklučují. Propojíme-li informace o odstavu telat z Chotěbudic s analýzou izotopu kyslíku, lze konstatovat, že odstavená telata byla porážena před nástupem zimy. Pravděpodobným motivem nebyla pouze snaha získat více masa a nachystat si zásoby na zimu, ale i potřeba reformovat stádo, vybrat a vyřadit kusy, s nimiž se nadále v chovu nepočítalo. Toto zootechnické opatření s sebou přinášelo i úlevu při zajišťování krmiva určeného pro dobytek v zimním období.

Přeskočíme-li v čase o několik tisíciletí dopředu, konkrétně do 2. stol. př. n. l., a zastavíme se v keltské vesnici Levroux Les Arènes ve Francii, charakteristické nejen specializovanou a intenzivní řemeslnou výrobou a výraznými obchodními aktivitami navázanými na Římany, zjistíme rovněž, že významnou součástí místní zemědělské produkce zaujímal chov prasat. Porážkový věk odečtený ze zubů napověděl, že porážka většiny prasat proběhla v rozmezí 20–24 měsíců stáří zvířat, kdy dosáhla dostatečného osvalení a požadovaného množství tuku, viděno optikou tehdejších chovatelů, neboť dnešní evropská produkce vepřového se tomuto trendu poněkud vzdálila. S ohledem na velké množství prasat a úzký časový interval, kdy jejich život ukončoval řezník, se nabízí otázka, zda v Levroux nedocházelo k něčemu, co se můžeme odvážit nazvat normovanou či standardizovanou produkcí vepřového masa. Velkým pomocníkem při hledání odpovědi se stala opět analýza stabilních izotopů kyslíku. Naměřené výsledky potvrdily, že období, během něhož se rodila selata, trvalo déle než 6 měsíců, a v kombinaci s výše uvedenými údaji o porážkovém stáří lze prohlásit, že ruka řezníková nepodléhala sezonním výkyvům počasí, nýbrž cílila na dobře urostlé a hmotnostně vyhovující jedince, kdykoli bylo potřeba.

### Na pastvinách, nebo pod korunami stromů

Pro archeologická naleziště, zaostříme-li především na období zemědělského pravěku, není k dispozici mnoho dokladů o pastvě zvířat, jejich příkrmování v zimních měsících nebo ustájení. Jak už bylo řečeno, největší podíl nálezů tvoří kosti a zuby domestikovaných savců – skotu, ovcí, koz, prasat, o něco méně koní a psů. Četné objevy zbytků hospodářských zvířat svědčí, že člověk vynakládal energii, aby byl chov dlouhodobě udržitelný, prosperoval, a snažil se zajistit takové podmínky, aby zvířata, na nichž byl nejen potravně závislý, neztratil. Hodnoty stabilního izotopu uhlíku ( $\delta^{13}\text{C}$ ), uložené v kolagenu i bioapatitu osteologických nálezů, lze využít ke zjištění, zda dobytek spásal vegetaci lesních biotopů, luk nebo polí. Odchytky  $\delta^{13}\text{C}$  v rostlinách odrážejí např. rozdíly ve vlhkosti, ozáření, teplotě nebo koncentraci atmosférického oxidu uhličitého. U bylin a travin můžeme prokazovat, zda rostly na otevřených plochách, nebo v podrostu zastíněném korunami stromů (canopy effect). Pro stanoviště s clonným postavením stromů je totiž charakteristická vyšší spotřeba těžkého izotopu uhlíku než pro otevřenější stanoviště.



Tato větší spotřeba může být vysvětlena dvěma faktory. Atmosférický oxid uhličitý, který mají rostliny k dispozici v hůře provzdušněném podrostu, je oproti atmosféře ochuzován o těžký izotop uhlíku následkem koloběhu  $\text{CO}_2$  v opadance. Druhým faktorem je koncentrační gradient  $\text{CO}_2$  (jeho odlišný obsah ve stromovém a bylinném patře) a utlumení slunečního záření pod korunami stromů, které vedou ke snižování množství  $^{13}\text{C}$  v rostlinném podrostu z důvodu změny fotosyntetické aktivity a vodivosti průduchů rostlin. Klenba stromů ovlivňuje množství těžkého izotopu uhlíku nejen v rostlinách bylinného patra, ale i ve tkáních herbivorů, kteří se jimi živí. Např. obsah tohoto izotopu se lišil v kostech praturů nalezených na území jižní Skandinávie z počátku holocénu (9 500 až 5 400 př. n. l.) a domestikovaného skotu z období přechodu mezolitického způsobu života na neolitický (4 000 až 3 900 př. n. l.), v závislosti na proměňujícím se pastevním režimu obou turovitých přežvýkavců. Zatímco praturí se v období preboreálu pásli na otevřených prosvětlených stanovištích a v navazujícím atlantiku, kdy se přirozeně šířil les, se museli stáhnout do lesních biotopů a k nim přidružených nelesních lemů, tuří domácí setrvali výhradně na travnatých pastvinách nejvýše s několika roztroušenými stromy, a to i tehdy, kdy šlo o zvířata na sídlišťích doslova „vnořených“ do rozlehlých lesních hvozdů.

### Pícniny, větvičky, nebo kuchyňské zbytky?

Ve srovnání se Skandinávií se v oblasti dnešních Čech rozšířil zemědělský způsob života přibližně o 1 500 let dříve. Paleovegetační záznamy z našeho území ukazují, že neolitické chovatelé dobytka a pěstitelé zemědělských plodin osídlovali prostupná a otevřená místa v krajině (do nadmořské výšky 300 m), klíčový pro ně byl dosah vodního zdroje a kvalitní zemědělské půdy (černosoly a luvisoly). Vrátime-li se v čase zhruba o 7,5 tisíce let na zmíněné sídliště v Chotěbudicích, můžeme si ho představit jako komplex několika dlouhých kúlových domů obdélníkového půdorysu s příbližnou severojižní orientací, obývaných lidmi, kteří se celoročně věnovali zemědělství. Stěny domů byly vypleny proutím a omazány hlínou obsahující zbytky

trav nebo plevy obilnin (viz také obr. na str. 217). Výmazová hmota byla odebrána z jam u stěn jednotlivých domů. Vyhluobený prostor vzniklý po jejím odtěžení se poté jevil jako vhodné úložiště pro zvířecí kosti, rostlinné makrozbytky, keramiku apod. Funkční a prostorová vazba odpadního materiálu ze sídlišťních jam na domy skýtá možnost, jak studovat život tehdejších obyvatel. Sklovina zubů skotu z výplní některých jam v Chotěbudicích byla vzorkována v laboratoři a analýza zacílena na stabilní izotopy uhlíku ( $\delta^{13}\text{C}$ ) uchované v minerální složce zubu nejvýše dvouletých turů domácích (v pozdějším věku se izotopové složení jejich skloviny už neměnilo). Dosažená měření potvrdila, že skot z Chotěbudic se pásal na travnatých plochách s omezeným výskytem stromů. Pro úplnost dodejme, že rozlohu sídelní enklávy v neolitu si můžeme znázornit jako kruh s průměrem 0,5–1 km, který kromě vlastní osady, zdroje vody a izotopy prokázané pastevní plochy zahrnoval také intenzivně obdělávaná, leč relativně malá pole a využívaný les.

Zdokumentovat zimní příkrmování dobytka v minulosti se daří díky rozborům pylu uchovaného ve fosilizovaných výkalech – koprolitech. Ty potvrzují sběr větvi listnatých stromů, např. lísek, bříz nebo olší na konci zimy a časné zjara a jejich podávání dobytku. Známým a mnohde citovaným příkladem sídliště je Egozswil 3 ve Švýcarsku, kde se dochovaly koprolity koz krmených tímto způsobem z období 4 300 př. n. l. Přesto, i když to může znít poněkud zvláště, nalézt při archeologickém výzkumu koprolit je podobná rarita jako narazit na historickou minci. Nejen z tohoto důvodu hledáme i jiné cesty. V některých dnešních tradičních pasteveckých společnostech, např. v Mongolsku, jsou v průběhu vegetačního období stáda sice rozptýlená na velké vzdálenosti, ale na zimu bývají sehnána do blízkosti lidských obydlí, kde přechodně setrávají na podstatně menší ploše a kde mohou být příkrmována pící z nashromážděných zásob. V případě mongolských ovcí domácích bylo vysledováno, že stabilní izotopy dusíku ( $\delta^{15}\text{N}$ ), které se průběžně ukládají v kolagenu zuboviny stoliček, avšak jen po dobu vymezenou jejich vývojem, mohou odrážet rozdíly plynoucí z příjmu sezonně různorodého krmiva (zima versus vegetační

období), a to v rámci jediné trofické úrovně (např. mezi primárními konzumenty – býložravci). Experimentálně bylo zjištěno, že rostliny spásané ovce v zimním období obsahovaly vyšší hodnoty  $\delta^{15}\text{N}$  než rostliny získané z letních pastvin, až o 2 ‰ (Makarewicz 2014). Část zubního záznamu mongolských ovcí, který odpovídal zimnímu období, rovněž vykazoval vyšší hodnoty  $\delta^{15}\text{N}$ . Přesto zůstává otázkou, do jaké míry bylo toto zvýšení ovlivněno botanicky různorodým složením pastvin v obou obdobích, nebo např. organizací chovu, kdy během zimy mohlo dojít k obohacení podávané píce o dusík uvolněný z mrvy dokrmovaného dobytka.

Podobná zjištění pootevírají dveře těm, kteří si lámou hlavu, jak přiblížit tuto kapitolu zemědělské historie. V souvislosti s kostmi savců jsou totiž mnohem běžnější izotopové studie pátrající po příjmu bílkovin rostlinného nebo živočišného původu mezi rozdílnými články potravního řetězce, což předurčuje dobře detekovatelný izotopový rozdíl mezi nimi – u dvou sousedních úrovní může docházet k obohacení/ochuzení těžkým izotopem dusíku ( $^{15}\text{N}$ ) zhruba o 3–5 ‰. Chceme-li sledovat změny v krmení domestikovaných býložravců během roku, případně zjistit, zda byli přechodně drženi v ohrazeném prostoru, vyplatí se vzorkovat a porovnávat stejně staré jedince, jejichž dentice se formovala ve stejném ročním období, nejlépe před letní pastvou, a zároveň vybírat ty zuby (např. poslední stoličky), které neuchovávají záznam ontogenické události spojené s kojením, neboť příjem mateřského mléka zvyšuje hodnoty  $\delta^{15}\text{N}$  v tkáňích mláďat. V některých recentních takto orientovaných studiích se objevují závěry, že „zimní fáze“ zachycená v zubech zvířat držných ve stájích nebo v ohradách se projevuje vyšším obsahem  $^{15}\text{N}$ .

Přesto tu existují okolnosti, které vše mohou zkomplikovat. Jsou-li totiž hospodářská zvířata držena v průběhu zimy na jednom místě, kde se kromě podávaného krmiva nachází i dostatek mrvy, z níž se uvolňuje dusík, může to mít vliv na izotopové složení jejich zubní nebo kostní tkáně. Podobnou „neplechu“ (kontaminaci)

způsobuje hnojení zemědělských polí, doložené již v pravěku. Zatímco lehký izotop dusíku ( $^{14}\text{N}$ ) se ztratí volatilizací (těkáním) amoniaku, rostlinám nezbyde nic jiného než přijímat jeho těžší formu, která v hnojivu zůstala. Některé experimentální studie potvrdily, že rostliny na hnojených půdách mohou vykazovat až o 7 ‰ vyšší hodnoty  $\delta^{15}\text{N}$  oproti rostlinám nehnojeným, u býložravců je tento nárůst až o 10 ‰ (Bogaard a kol. 2007).

Rozdíly v krmivu poskytovaném zvířatům lze odhalit i podle poměru těžkého a lehkého izotopu uhlíku. V suchozemských ekosystémech se jeho hodnoty v rostlinách liší podle typu asimilace  $\text{CO}_2$  při fotosyntéze. Nejčastějším typem jsou  $\text{C}_3$  rostliny, jichž je v našich zeměpisných šířkách naprostá většina. Méně se dostáváme do kontaktu s  $\text{C}_4$  typem rostlin (blíže viz Živa 2010, 2: 52–54), které zde historicky tvoří velmi malou část biomasy a jejich nejznámějšími zástupci jsou proso nebo kukuřice (viz též článek na str. 230). Konzumace rostlin z jedné či druhé skupiny se přirozeně odrazí v izotopovém složení kostí jejich konzumentů. Písemné prameny ze starověkého Říma zmiňují podávání prosa převážně v úctě chovaným býkům. Analýza stabilního izotopu uhlíku v kosterním materiálu ze starověkého města Sagalassos v jihozápadním Turecku, nejprve dobytého armádou Alexandra Velikého a později ovládaného Římskou říší, je shovívavější a dosvědčuje, že proso bylo dostupné všem turům bez rozdílu pohlaví a věku. Dokonce jim byly krmeny i ovce, což bývá vysvětlováno společnou pastvou skotu a ovcí, a opět to potvrzují písemné prameny. Naopak výkrm prasat se uskutečňoval odděleně a za zcela jiných podmínek.

Jak to ale bylo s krmením zvířat, kterým se širými zelenajícími pastvinami příliš nezavděčíme? Co třeba psi? O nich minimálně od počátku holocénu víme, že doprovázeli člověka na jeho cestách a dělili se s ním o potravu. Důkaz takového těsného vztahu může být i biogeochemické povahy, např. v podobě detekce vyšších hodnot izotopu uhlíku ( $\delta^{13}\text{C}$ ) v organické složce krční obratle mezolitického psa objeveného v Seamer Carr v Anglii. Vyjádřený

podíl  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  naznačil, že zkoumaný pes byl významně krměn potravou mořského původu, tu ale musel přijímat v době, kdy přechodně setrval se svými lidskými společníky u mořského pobřeží, zhruba 15 km vzdáleného od Seamer Carr. Lokalizace nálezu hlouběji ve vnitrozemí tak nasvědčuje, že pes zřejmě doprovázel člověka při cestě na lov velkých přežvýkavců, kterou sám nepřežil. Co se týče výživy, většina psů vykazuje izotopový signál odpovídající vyšší trofické pozici, srovnatelně s člověkem; jejich kosti a zuby jsou obohaceny o těžký izotop uhlíku i dusíku. Zcela odlišné závěry směřují k všežravým (omnivorním) prasatům, jejichž pozůstatky nacházíme v archeologických situacích hojně především v místech s vyšší kumulací obyvatel. Skvělý příklad poskytují středověká města. Jedním z nich je York na severu Anglie v období mezi 12. a 13. stol., kde prasata nebyla držena v chlévech a nepřijímala potravu tvořenou kuchyňskými a zemědělskými zbytky, ale lidé je přiháněli z oblastí, kde se mohla volně pást, neboť obsah stabilních izotopů dusíku a uhlíku v jejich kostech se nijak výrazně nelišil od hodnot naměřených v kostním kolagenu domácích přežvýkavců.

V návaznosti na předchozí řádky je přinejmenším užitečné si uvědomit, že abychom dokázali co nejspolehlivěji interpretovat chování zvířat a lidí v minulosti, musíme nezbytně posuzovat výsledky analýzy stabilních izotopů spolu se závěry archeozoologie, archeobotaniky, antropologie a dalších s tímto tématem souvisejících vědních disciplín, a zároveň se je snažit vnímat v širokém environmentálním a sociálním kontextu.

Použitou literaturu najdete na webové stránce Živy.

**4** Tuři domácí v Křišťanově na Prachaticku se podobají vyhubeným praturům, v současnosti byli získáni zpětným šlechtěním z primitivních plemen domácího skotu, např. holandského pastevního skotu (heckrind). Vzhledem připomínají neolitický skot prvních zemědělců na našem území. Snímky L. Kovačkové

