**Enzymatické trávení u mladého skotu**

Sezimová, K., Valtošová, G., \*Zábranský, L.

\*zabransky@fzt.jcu.cz

**Úvod**

Telata dojeného skotu potřebují, k zajištění dobré budoucí užitkovosti a celkového zdraví, vyváženou dietu a dobrý management odchovu. Gastrointestinální trakt (GIT) telat je při narození rychle kolonizován mikroby v porodních cestách a z okolního prostředí. Mikrobiota GIT novorozených telat je vysoce citlivá na změny v dietě a prostředí a náchylná na onemocnění a stres (Sharma, et al., 2023). Onemocnění telat způsobuje v chovu dobytka, v důsledku nákladů na léčbu, snížené užitkovosti a přímých ztrátách na telatech, velké ekonomické ztráty. Krmná aditiva, jako součást vyvážené diety telat, mohou snížit jejich nemocnost a úmrtnost, a tak zlepšit rentabilitu podniku. Dle funkce a způsobu účinku lze krmná aditiva rozdělit na technologická, senzorická, nutriční, zootechnická a kokcidiostatika s mnoha podkategoriemi (Reddy et al., 2024). Zahrnutí krmných aditiv (prebiotik, probiotik, esenciálních olejů a enzymů) do výživy telat zlepšuje mikrobiotu trávícího ústrojí a trávení živin a pozitivně se tak podílí na rozvoji předžaludku. Za účelem stimulace rozvoje funkčního předžaludku u telat je vhodné přidávání těchto aditivních látek již v brzkých stádiích života společně s tekutou výživou (Gündüz & Arslan, 2022). Enzymy využívané ve výživě zvířat, považované za zootechnická krmná aditiva, zvyšují konzistenci a nutriční hodnotu krmiva, stravitelnost a užitkovost a redukují efekt antinutričních látek (Velázquez-De Lucio et al., 2021).

**Trávení u telat**

GIT telat prochází již v brzkém životě i vlivem výživy mnoha fyziologickými změnami. Přechod na pevné krmivo obsahující vlákninu může způsobit stres a zdravotní potíže, například průjmová onemocnění nebo bovinní respiratorní syndrom, které mohou způsobovat různé bakterie a viry (Szacawa et al., 2021). Předžaludek novorozených telat je malý a nefunkční a představuje pouze 39 % celkového objemu žaludku. Největší objem zaujímá slez, který netvoří žádné kyseliny ani pepsinogen a kolostrální protilátky tak mohou být vstřebány skrz střevní sliznici neporušené. Degradaci ve střevě zabraňuje antitrypsin faktor (Sasidharan & Kannan, 2021). Zkrmování mleziva telatům není důležité pouze pro získání pasivní imunity z protilátek v mlezivu, ale rovněž proto, že obsahuje základní živiny (sacharidy, lipidy a bílkoviny) a bioaktivní látky (např. růstové faktory, cytokiny a enzymy), u kterých bylo prokázáno, že modulují vývoj a funkci GIT (Pisoni et al., 2023).

**Enzymy v trávicím procesu**

Zhruba do 3. týdne života telete je jeho hlavním zdrojem krmiva mléko. V tomto období se z trávicích enzymů uplatňuje zejména renin, který umožňuje teleti efektivně využít mléčné bílkoviny. S postupem věku a zvyšující se hladinou enzymu pepsinu je tele schopné využít i jiné bílkoviny než mléčné. Do 3. až 4. týdne věku je též dominantní enzym laktáza, díky které je tele schopno využít laktózu, hlavní sacharid obsažený v mléce. Tuky jsou hydrolyzovány za pomoci pregastrické esterázy obsažené ve slinách. Trávit vlákninu v tomto období tele nedokáže (Sasidharan & Kannan, 2021).

Výživa telat se v dnešní době zaměřuje na zlepšení jejich růstové schopnosti pomocí nativního mléka či mléčné krmné směsi (MKS) vysoké nutriční hodnoty. Nativní mléko má oproti komerčním MKS vyšší obsah energie, nižší obsah laktózy a obsahuje bioaktivní komponenty (enzymy, hormony, růstové faktory). Tian & Zhang (2025) uvádí, že telata krmena nativním mlékem dosahovala ve dvou měsících vyšší aktivity pankreatické proteázy v duodenu než telata na MKS. Oproti tomu vyšší aktivita karboxypeptidázy A a B byla zaznamenána u telat krmených MKS, což lze vysvětit rychlým vstupem rostlinných bílkovin do lačníku, aniž by došlo k jejich aglutinaci. Aktivita pankreatické amylázy a maltázy se s věkem telete zvyšuje. Novorozená telata disponují vysokou aktivitou laktázy, ale horní hranice stravitelnosti laktózy zatím nebyla zjištěna. Laktáza je potřebná pro rozklad (hydrolýzu) laktózy, hlavního zdroje energie pro mláďata, na její monomery – glukózu a galaktózu. Obsah laktózy v MKS je obecně zhruba 38 %. V případě překrmování telat laktózou, nemusí být řádně strávena či vstřebána a dochází k abnormální fermentaci sacharidů ve střevě (Kocabaş et al., 2022; Fukumori et al., 2025; Tian & Zhang, 2025).

U starších jedinců jsou, kromě fyzického rozkladu krmiva přežvykováním, nejdůležitějšími složkami při trávení krmiva střevní mikrobiom a enzymy (Xiao et al. 2024). Skupina trávicích enzymů je vylučována z žaludku do tlustého střeva a degraduje krmivo na jednodušší formy vstřebatelné v dalších částech GIT. Živiny s velkou molekulovou hmotností (např. bílkoviny, tuky, sacharidy, minerální látky) se nemohou vstřebat přímo v trávicím ústrojí, a proto je tato degradace na menší a jednodušší formu naprosto nezbytná. Tento proces je označován jako trávení (Saha & Pathak, 2021). Aktivita trávicích enzymů přímo ovlivňuje stravitelnost živin a růstovou schopnost zvířat. Bachorový mikrobiom přežvýkavců produkuje různé trávicí enzymy (např. celulázu, amylázu a pektinázu), aby degradoval a využil rostlinnou vlákninu z krmiva. Rovněž produkují enzymy, jakož jsou například karboxymethylcelulóza, xylanáza, a proteáza, které umožňují přežvýkavcům získat energii degradací komplexních sacharidů (celulózy, hemicelulózy a pektinu) na těkavé mastné kyseliny (Abdel-Raheem & Hassan, 2021). Je známo, že aktivita trávicího enzymu zlepšuje trávení a vstřebávání živin a také udržuje funkci bachoru (Ma et al., 2023).

**Inhibitory enzymů**

Některé sloučeniny však aktivitu enzymů potlačují. Sekundárními metabolity rostlin nejvíce inhibující enzymatickou aktivitu, přestože vykazují i antioxidační a protizánětlivé účinky, jsou fenoly a flavonoidy (Saleem et al., 2023). Polyfenolické sloučeniny lze nalézt například v prosu, přičemž na inhibici aktivity α-glukosidázy, α-amylázy a enzymových receptorech leptinu se z velké části podílí kyselina chlorgenová (Goudar et al., 2023). Vláknina a další antinutriční látky redukují aktivitu amyláz a proteáz a snižují tak stravitelnost. Enzym inhibující proteázy a způsobující horší trávení je inhibitor trypsinu. Inhibitory lipáz pak ovlivňují trávení lipidů (Ahmad et al., 2022).

**Enzymy ve výživě telat**

Trávicí enzymy využívané jako aditivní látky dokážou rozštěpit organické složky na substance, které mohou zvířata a mikroby využít jako zdroj živin a zvyšuje se tak stravitelnost krmiva. Suplementace enzymy tedy potenciálně zvyšuje množství dostupného mikrobiálního proteinu a energie pro rostoucí tele. Enzymy zvyšující užitkovost telat dojeného skotu jsou např. α-amyláza, pektináza, endoglukanáza, β-glukanáza, xylanáza nebo mananáza (Van-Ramírez et al., 2021), přičemž různé typy enzymů mohou působit synergicky a maximalizovat nutriční hodnotu krmiva (Zhou et al., 2023). Skupiny některých enzymů spolu se substrátem, na který působí, jejich účinky a příkladem využívaných v chovu hospodářských zvířat jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1 Skupiny enzymů, substrát, který rozkládají, jejich účinky a příklady enzymů (Velázquez-De Lucio et al., 2021)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Enzymy | Substrát | Účinky | Příklad |
| Amylázy | Vláknina, škrob | Zlepšuje stravitelnost rostlinné biomasy  Zvyšuje energii | Xylanázy  Pektinázy  Β-mananázy |
| Proteázy | Bílkoviny | Exogenní proteázy mohou solubilizací a hydrolyzací zvýšit stravitelnost bílkovin surovin  Snižují hladinu antinutričních faktorů | Chymosin  Pepsin  Aminnopeptidáza  Chymotrypsin  Trypsin |
| Fytázy | Fytáty | Degradují fytátové vazby a zpřístupňují tak vázané nutrienty  Zvyšují užitkovost skotu  Zvyšují absorpci fosforu a snižují riziko kontaminace půdy a vod skrz výkaly  Zvyšují dostupnost aminokyselin | Fytátové kyseliny  Histidin |

Celulázy (β-glukosidázy, endo-β-glukanázy a exo-β-glukanázy nebo celobiohydrolázy) a xylanázy (endo-β-xylanázy, β-xylosidázy, arabinofurosidázy, glukuronidázy a acetylxylanesterázy) jsou složité hydrolytické enzymy, které postupně štěpí celulózové a hemicelulózové řetězce na glukózu. Celulázy produkují plísně, bakterie a přežvýkavci (Astuti et al., 2022; Dutta et al., 2023). Bakteriální rod *Ruminococcus* se skládá ze dvou druhů vysoce specializovaných na degradaci vlákniny (*Ruminococcus albus* a *Ruminococcus flavefaciens*), které mohou produkovat velké množství celuláz a hemiceluláz u telat, a tím i zlepšit stravitelnosti NDF a sušiny (Ritt et al., 2023). Xylanáza byla nejpoužívanějším fibrolytickým enzymem v krmné dávce přežvýkavců a prokázala pozitivní účinky na celkovou stravitelnost sušiny a neutrálně detergentní vlákniny především u dojnic (Miorin et al., 2022).

Exogenní enzymy se přidávají do krmiva pro zlepšení využití živin a účinnosti krmiva (Bugoni et al., 2023). Po odstavu je aktivita mikrobiálních enzymů v bachoru, jakož je karboxymethyl, celuláza, celobiáza, xylanáza a pektináza, vyšší u telat suplementovaných exogenními enzymy. Četné polysacharidázové a xylanázové enzymy v exogenních fibrolytických enzymech rozkládají vazby celulózy a hemicelulózy, uvolňují rozpustné sacharidy a nabízejí životně důležité živiny nebo růstové faktory pro bachorové mikroorganismy. Suplementace exogenních enzymů telatům v dávce 10 g/tele/den pozitivně ovlivní růstovou schopnost, tělesné fyziologicko-imunologické odhadované parametry, sérové ​​metabolity a antioxidační kapacitu (Winders et al., 2023; Abdeltawab et al., 2022; Eid et al., 2024). Khademi et al. (2022) naopak tvrdí, že pšeničná sláma s přidanými exogenními fibrolytickými enzymy nemá žádné pozitivní účinky na příjem starteru a zdravotní stav telat v období před a po odstavu. Nicméně doplnění krmné dávky telat pšeničnou slámou s enzymy má potenciál zlepšit stravitelnost NDF.

Telata před odstavem mají tendenci vykazovat větší koncentraci karboxymethylcelulázy, celobiohydrolázy a glukosidázy (které patří k exogenním fibrolytickým enzymům) než telata po odstavu. Protein je hydrolyzován na aminokyseliny a peptidy proteázou, přičemž části aminokyselin se prostřednictvím mikrobiální deaminace přemění na amoniak. Proteáza má však u telat tendenci po odstavu klesat, což může být signálem, že je nutné věnovat zvláštní pozornost kvalitě a stravitelnosti bílkovin v krmivu telat po odstavu. Stres z odstavu a spoléhání se na to, že bachor poskytuje hostiteli živiny, je pro telata po odstavu výzvou. Telata po odstavu potřebují více pozornosti a zásadní je zlepšení kvality krmiva, aby měla telata dostatek živin pro udržení růstu a zdraví (Hao et al., 2021).

Pektináza je enzym, který katalyzuje hydrolýzu pektinu, komplexního polysacharidu nacházejícího se ve stěnách rostlinných buněk, na jednodušší sloučeniny známé jako galakturonové kyseliny. Mikroorganismy a rostliny z velké části produkují pektinázu, jež má širokou škálu biotechnologických využití v potravinářství, zemědělství, průmyslu, životním prostředí a medicíně (Mulluye & Atnafu, 2022; Dong et al., 2024). Hlavním zdrojem pektinázy jsou mikroorganismy, zejména bakterie, houby a kvasinky (Haile & Ayele, 2022). *Lachnospira multiparus* je běžná bakterie vyskytující se v bachoru. Tato bakterie produkuje pektinlyázu a pektinmethylesterázu, které napomáhají při degradaci pektinu. Suplementace enzymů napomáhá úplnému rozkladu organické hmoty v bachoru. Suplementací pektinázy do krmiv se zlepšuje kvalita krmiva snížením viskozity a zvýšením absorpce živin (Shrestha et al., 2021).

Aspartáttransamináza je enzym, který se nachází v různých tkáních v těle, jakož jsou játra a svaly, a je využíván jako indikátor poškození tkáně a funkce jater (Wilms et al., 2024) přičemž hraje nezastupitelnou roli v metabolismu aminokyselin (Aung et al., 2024).

V dnešní době je na trhu několik komerčních enzymatických přípravků určených pro výživu zvířat. Enzymatické aktivity jsou odvozeny především z bakterií *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus* a *Streptococcus faecium* a hub *Aspergillus oryzae*, *Saccharomyces cerevisiae* a *Trichoderma reesei* (Anil et al., 2022). Produkty na bázi kvasinek jsou velmi zajímavé, kvůli svému heterogennímu složení, jež zahrnuje aminokyseliny, peptidy, sacharidy, enzymy, nukleotidy, kofaktory a mikroživiny (Maggiolino et al., 2023). Degradace škrobu, sekundárních metabolitů rostlin a dalších jsou schopny také celulázy a xylanázy hub *Aspergillus awomori* nebo *Piromyces* (Elghandour et al., 2023).

**Použitá literatura**.

Abdel-Raheem, S. M. & Hassan, E. H. (2021). Effects of dietary inclusion of Moringa oleifera leaf meal on nutrient digestibility, rumen fermentation, ruminal enzyme activities and growth performance of buffalo calves. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8):4430-4436.

Abdeltawab, A. S. et al. (2022). Impact of exogenous fibrolytic enzymes oni-nutritional evaluation and productive performance of growing buffalo calves*. Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 25(2):149-156.

Ahmed, A. et al. (2022). An overview of microalgae biomass as a sustainable aquaculture feed ingredient: food security and circular economy. *Bioengineered*, 13(4):9521-9547.

Anil et al. (2022). A Review in the Role of Exogenous Fibrolytic Enzymes In Ruminant Nutrition. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 41(36):45-58.

Astuti, T. et al. (2022). Activity of cellulase and ligninase enzymes in a local bioactivator from cattle and buffalo rumen contents. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 45:102497.

Aung, K. T. et al. (2024). A diet containing mango peel silage impacts upon feed intake, energy supply and growth performances of male dairy calves. *Animal – Open Space*, 3:100069.

Bugoni, M. et al. (2023). Feeding amylolytic and proteolytic exogenous enzymes: Effects on nutrient digestibility, ruminal fermentation, and performance in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 106(5):3192-3202.

Dong, Y. et al. (2024). Enzyme-responsive controlled-release materials for food preservation and crop protection – A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254(3):128051.

Dutta, T. et al. (2023). Effect of exogenous fibrolytic enzymes supplementation to improve voluntary intake, availability of nutrients and growth performance in weaned crossbred calves. *The Indian Journal of Animal Sciences*, 93(9):896-902.

Eid, S. Y. et al. (2024). Immuno-physiological role of exogenous enzymes supplementation in heat stressed growing calves. *Scientific Reports*, 14:27865.

Elghandour, M. M. M. Y. et al. (2023). *Fungi as a Source of Exogenous Enzymes in Ruminant Feeding*. In: Salem, A. Z. M., Hassen, A., Anele, U. Y. (Eds). Exogenous Enzymes as Feed Additives in Ruminants. Springer, Cham, pp. 129-150. ISBN 978-3-031-27993-5.

Fukumori, R. et al. (2025). Effects of amount of lactose in milk replacer on gastrointestinal function of dairy calves. *Animal Feed Science and Technology*, 319:116157.

Goudar, G. et al. (2023). Phenolic, nutritional and molecular interaction study among different millet varieties. *Food Chemistry Advances*, 2:100150.

ground starters to improve calf performance. *Scientific Reports*, 12:11942.

Gündüz, A. & Arslan, C. (2022). Effect of feeding calves during preruminant period on the forestomaches development. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 11(1):37-50.

Haile, S. & Ayele, A. (2022). Pectinase from Microorganisms and Its Industrial Applications. *Scientific World Journal*, 11:1881305.

Hao, Y. et al. (2021). Rumen Fermentation, Digestive Enzyme Activity, and Bacteria Composition between Pre-Weaning and Post-Weaning Dairy Calves. *Animals*, 11(9):2527.

Khademi, A. R. et al. (2022). Use of exogenous fibrolytic enzymes and probiotic in finely

Kocabaş, D. S. et al. (2022). Hydrolytic enzymes in the dairy industry: Applications, market and future perspectives. *Trend in Food Science & Technology*, 119:467-475.

Ma, J. et al. (2023). Supplementation of grape seed extract improves the gastrointestinal development of weaned beef calves. *Animal Feed Science and Technology*, 305:115788.

Maggiolino, A. et al. (2023). Use of a commercial feed supplement based on yeast products and microalgae with or without nucleotide addition in calves. *Journal of Dairy Science*, 106(6):4397-4412.

Miorin, R. L. et al. (2022). Effect of supplementation strategies and the use of exogenous xylanase enzyme on ruminal fermentation, digestibility, animal performance, and carcass characteristics of Nellore bulls grazing during dry season. *Animal Feed Science and Technology*, 290:115373.

Mulluye, K. & Atnafu, Y. (2022). Biotechnological Application of Pectinase. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 13(8):3069-77.

Pisoni, L. et al. (2023). The effects of colostrum consumption and feed restriction during marketing and transportation of male dairy beef calves: Impact on pre-transport nutritional status and on farm recovery. *Journal of Dairy Science*, 106(12):9304-9322.

Reddy, P. R. et al. (2024). *Feed Additives for Calves: A Brief Insight on Their Classification and Applications*. In: Mahesh, M. S., Yata, V. K. (Eds.). Feed Additives and Supplements for Ruminants. Springer, Singapore, pp. 301-335. ISBN 978-981-97-0794-2.

Ritt, L. A. et al. (2023). Oregano extract fed to pre-weaned dairy calves. Part 1: Effects on intake, digestibility, body weight, and rumen and intestinal bacteria microbiota. *Livestock Science*, 269:105165.

Saha, S. K. & Pathak, N. N. (2021). *Digestion, Absorption and Metabolism of Nutrients*. Fundamentals of Animal Nutrition. Springer, Singapore, pp. 219-246. ISBN 978-981-15-9125-9.

Saleem, H. et al. (2023). Nutritional and medicinal plants as potential sources of enzyme inhibitors toward the bioactive functional foods: an updated review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(27):9805-9828

Sasidharan, M. & Kannan, A. (2021). *Transition of digestion in dairy calves*. In: Niyas, E., Sivakumar, A. (Eds.). Reviews of Veterinary Research-What Next?. Lulu Publication, Raleigh, pp. 121-134. ISBN 978-1-300-21732-9.

Sharma, A. N. et al. (2023). Effect of synbiotics on growth performance, gut health, and immunity status in pre‑ruminant buffalo calves. *Scientific Reports*, 13:10184.

Shrestha, S. et al. (2021). New insights in pectinase production development and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105:9069-9087.

Szacawa, E. et al. (2021). A pilot study on the effect of a novel feed additive containing exogenous enzymes, acidifiers, sodium butyrate and silicon dioxide nanoparticles on selected cellular immune indices and body weight gains of calves. *J Vet Res*, 65: 497-504.

Tian, X. & Zhang, X. (2025). Effects of feeding whole milk or milk replacer on the performance, gastrointestinal tissue development, and digestive enzyme secretions of Holstein calves. Research Square, PREPRINT

Van-Ramírez, M. A. (2021). Supplementation of dairy calves with digestive enzymes and fermentation products of Aspergillus oryzae and Aspergillus niger. *J. Agric. Univ. P. R*., 105(1):23-37.

Velázquez-De Lucio et al. (2021) Exogenous Enzymes as Zootechnical Additives in Animal Feed: A Review. *Catalysts*, 11(7):851.

Wilms, J. N. et al. (2024). Fat composition of milk replacer influences growth performance, feeding behavior, and plasma fatty acid profile in ad libitum–fed calves. *Journal of Dairy Science*, 107(5):2797-2817.

Winders, T. et al. (2023). 339 An Evaluation of the Effects of Feeding an Exogenous Fibrolytic Enzyme Product on the Growth Performance and Apparent Nutrient Digestibility of Growing Bison Calves Fed in a Commercial Feed Yard. *Journal of Animal Science*, 101(3):270.

Xiao, J. et al. (2024). How neonatal diet affects the long-term development of rumination behavior, rumen fermentation and feed digestion in dairy calves fed a high milk level?, *Animal Nutrition*, 16:326-337.

Zhou, J. et al. (2023). Effects of *Bacillus licheniformis* and Combination of Probiotics and Enzymes as Supplements on Growth Performance and Serum Parameters in Early-Weaned Grazing Yak Calves. Animals, 13(5):785.