

4 MIKROBIÁLNÍ METABOLISMUS

Organismy jsou uspořádané útvary, které potřebují pro svou potřebu provádět některé pochody, např. rozmnožování. Proces, který vede k uspořádání a spotřebovává energii, nicméně podle II. věty termodynamické samovolně neprobíhá a je potřeba ho spřáhnout s procesem opačným. Proto organismy vyžadují pro zabezpečení svého života dodávání externích látek a externí energie. Tyto pochody a mnohé další zabezpečuje metabolismus.

Metabolismem je nazývána soubor všech chemických procesů, které probíhají v organismu. Na rozdíl od „běžných“ chemických reakcí mají metabolické reakce několik výrazných odlišností. Hlavním rysem metabolismu je jeho vysoká organizovanost. Metabolické dráhy jsou obvykle lokalizované na konkrétním místě v buňce, jsou katalyzovány, a většina drah je nějakým způsobem regulována (řízena) na základě potřeb organismu.

Metabolismus lze rozdělit na **katabolismus** a **anabolismus**. **Katabolické** dráhy zahrnují rozkladné procesy, které vedou od složitějších látek k jednodušším. Jejich základní charakteristikou je **konvergence**, tj. z mnoha různých složitějších látek vzniká několik málo koncových produktů. Dále se obvykle jedná o reakce **exergonické**, tj. uvolňuje se při nich energie. Hlavním smyslem katabolismu je zabezpečení potřeb anabolismu. **Anabolické** dráhy jsou opakem katabolických. Jedná se o dráhy syntetické. Jsou obvykle **divergentní**, tj. z několika málo výchozích látek je syntetizováno velké spektrum cílových látek. Anabolické reakce jsou obvykle **endergonické**, tj. vyžadují dodávání energie. Jejich hlavním smyslem je syntéza stavebních a funkčních látek potřebných pro život organismu.

I když je zvykem v učebnicích vykládat metabolické dráhy v podobě lineární či cyklické, ve skutečnosti jsou navzájem nejrůzněji provázané a tvoří složitou metabolickou síť.

4.1 ENZYMY

Naprostá většina biochemických reakcí je katalyzována unikátními biologickými katalyzátory – **enzymy**. Látky vstupující do enzymaticky katalyzované reakce nazýváme **substráty**¹, látky z reakce vystupující **produkty**. Enzymy mají proti klasickým chemickým katalyzátorům (platina, práškové železo apod.) mnoho výjimečných vlastností:

- **Specifita**. Většina enzymů katalyzuje pouze přeměnu jednoho substrátu, maximálně několika dalších, jemu strukturálně podobných. Pokud se reakce účastní chirální² látky, obvykle je katalyzována přeměna pouze jednoho enantiomeru.
- **Vysoká katalytická účinnost**. Většina enzymů je schopna reakce urychlovat o 2-7 řádů, klasické chemické katalyzátory se k takovýmto číslům ani nepřibližují. Molekula enzymu je schopna přeměnit stovky i tisíce molekul substrátu za sekundu.
- **Regulovatelnost**. Mnoho enzymů je regulovatelných, jejich katalytická účinnost se může zvyšovat či snižovat vazbou jiné látky. To umožňuje účinně regulovat metabolismus.

Enzymy jsou tvořeny převážně bílkovinami, známe ale i katalyticky účinné RNA, tzv. ribozymy. Enzymy se obvykle skládají z bílkovinné a nebílkovinné části. Bílkovinnou část enzymu nazýváme **apoenzym**, nebílkovinnou část nazýváme **kofaktor**. Je-li kofaktor vázán na apoenzym pevnou vazbou tak, že se od něj neodlučuje, nazývá se **prostetická skupina**. Je-li vázán jen přechodně po dobu reakce (čímž se prakticky chová jako další substrát), nazývá se **koenzym**. Na molekule enzymu nacházíme tzv. **aktivní místo**, ve kterém probíhá vlastní reakce. Toto aktivní místo je prostorově uzpůsobené substrátům, jejichž reakci enzym katalyzuje. Často se v tomto případě používá příměr o klíči a zámku

¹ Termín **substrát** se (podobně jako mnoho dalších termínů v biologii) nepoužívá jednoznačně. Hovoříme-li o enzymech, pak substrát představuje látku vstupující do enzymaticky katalyzované reakce. Hovoříme-li o výživě mikroorganismů, pak se substrátem myslí jakákoliv látka, která může sloužit zdroj uhlíku nebo energie.

² Chirální látka je taková látka, jejíž molekuly postrádají prvky symetrie. Molekuly takové látky pak existují ve dvou podobách nazývaných **enantiomery**, které jsou si vzájemně zrcadlovými obrazy. Většina látek uplatňujících se v organismu je chirálních a obvykle se uplatňuje jen jeden enantiomer. Chirální nejsou jen molekuly, ale i mnoho makroskopických objektů. Nejlepším příkladem je ruka. Ačkoliv má pravá i levá ruka stejný počet stejných prstů na stejném místě, přesto nejsou stejné, jedna je prostě pravá a druhá levá.

popř. ruce a rukavici. Na mnohých enzymech nalezneme ještě další vazebná místa, např. pro látky regulující aktivitu enzymu. *In vivo* je běžné, že jsou enzymy navázány na membránu; buď jí prostupují (pak jsou nazývány **integrálními**) nebo jsou vázány na jejím povrchu (pak se nazývají **periferními**). Obvyklé je také spojování několika enzymů dohromady za tvorby **multienzymových komplexů**.

4.1.1.1 KOFAKTORY

Kofaktory představují pouze malou část molekuly enzymu, jejich funkce ale hraje obvykle dominantní roli v katalytickém mechanismu reakce. Struktura popsaných kofaktorů je variabilní, z hlediska chemické struktury spolu nemají prakticky nic společného. Jejich struktura i syntéza často vychází z látek nazývaných **vitamíny**, mnohé organismy je nejsou schopné kompletně syntetizovat a musí je přijímat. Kofaktory bývají poměrně univerzální, jeden kofaktor bývá součástí mnoha různých enzymů. Kofaktory se obvykle dělí do skupin odpovídajících enzymové třídě, jejíž reakci pomáhají katalyzovat (např. kofaktory transferáz, oxidoreduktáz apod.). Detailní přehled ale přesahuje záměr tohoto textu a zájemce si ho může nastudovat v každé učebnici biochemie. Zde budou zmíněny jen ty nejdůležitější kofaktory pro pochopení dalšího textu.

Koenzym A (zkráceně SCoA) slouží k přenášení zbytků organických kyselin (**acylů**).

Nikotinamidnukleotid (NAD) a **nikotinamidnukleotidfosfát (NADP)** slouží jako přenašeče vodíků v redoxních reakcích, tzv. **dehydrogenacích**. Obě struktury se liší pouze přítomností jednoho zbytku fosforečné kyseliny.

Flavinadeninukleotid (FAD) má podobnou funkci jako NAD, tedy přenos vodíků při dehydrogenačních reakcích. Na rozdíl od předchozích kofaktorů je FAD prostetickou skupinou pevně vázanou na tzv. **flavoproteiny**. V molekule FAD se vyskytuje modifikovaná molekula vitamínu B₂ (riboflavinu).

4.1.2 KINETIKA ENZYMOVÝCH REAKCÍ

Vzhledem k vysoké katalytické účinnosti enzymů, bývá obvykle rychlost nekatalyzované reakce ve srovnání s katalyzovanou zcela zanedbatelná. *In vivo* lze tak nepřesně ale prakticky správně tvrdit, že reakce bez enzymu neprobíhá.

Katalytická účinnost enzymu se vyjadřuje jako rychlost přeměny substrátů na produkty. Jednotkou je podle SI tzv. **katal**. Enzym má aktivitu jeden **katal**, pokud přemění 1 mol substrátu za jednu sekundu. Tato jednotka sice odpovídá fyzikálním standardům SI, nicméně pro enzymologickou praxi se příliš nehodí, protože je pro většinu enzymů příliš vysoká. Reálné aktivity jsou pak v řádech typu 10⁻¹⁵ katalů. V enzymové praxi se tak prosadila mnohořádkově menší tzv. **enzymová jednotka (enzyme unit)** označována jako **U**. Enzym má aktivitu 1 U pokud přemění 1 μmol substrátu za jednu minutu. Enzymové aktivity jsou obvykle udávány vztažené na množství vzorku, např. na gram či mililitr. Ještě je třeba dodat, že vzhledem k silnému vlivu teploty i dalších faktorů na aktivitu enzymů, je třeba při uvádění aktivit přidat i informaci o experimentálních podmínkách (teplota, pH apod.).

Katalytická účinnost enzymů závisí silně na vnějších podmínkách. Nejdůležitější je vliv pH, teploty a dalších látek (**inhibitorů** a **aktivátorů**). Vliv pH na aktivitu enzymů připomíná Gaussovu křivku. Existuje určité optimální pH a při jeho odchýlení aktivita přibližně rovnoměrně klesá. To je způsobeno protonací či deprotonací aminokyselinových zbytků enzymu, což má vliv na vazbu substrátu i prostorové uspořádání enzymu. Vliv teploty je podobný vlivu pH, jen pokles je po dosažení optima strmější. V tomto případě působí dva vlivy. Rychlost chemické reakce obecně roste s teplotou (což je dáno kinetickou energií molekul). Vyšší teploty nicméně způsobují **denaturaci** enzymu, který pak ztrácí katalytickou účinnost.

4.1.3 INHIBICE A AKTIVACE ENZYMŮ

Aktivitu enzymů ovlivňují mnohé látky a to jak negativně (**inhibitory**), tak pozitivně (**aktivátory**). Inhibice či aktivace jsou realizovány vazbou inhibitoru či aktivátoru na enzym. Tato vazba může např. ovlivnit prostorovou strukturu enzymu, blokovat aktivní místo, či bránit změnám konformace enzymu, které jsou důležité pro katalytickou účinnost.

Existují dva základní typy inhibice:

- **Vratná (reverzibilní)**. V tomto případě se inhibitor váže do aktivního místa enzymu, nicméně není přeměňován a vlastně překáží standardnímu substrátu. V podstatě se jedná o soutěž

inhibitoru a substrátu o vazbu do aktivního místa, nadbytkem substrátu je možné inhibitor vytěsnit a aktivitu obnovit.

- **Ne vratná (ireverzibilní).** V tomto případě se inhibitor váže mimo aktivní místo a nelze ho vytěsnit ani přebytkem substrátu.

Mnohé jedy působí jako inhibitory některých enzymů.

Látky, které způsobují zvýšení aktivity enzymů, se nazývají **aktivátory**. Ve většině případů se váží mimo aktivní místo enzymu a mění prostorové uspořádání enzymu. To může např. zpřístupnit aktivní místo, zvýšit afinitu k substrátu apod.

Organismus využívá přirozené inhibitory a aktivátory pro regulaci aktivity enzymů jako jednu z forem regulace metabolismu.

4.1.4 DENATURACE ENZYMŮ

Prostorové uspořádání bílkoviny (tedy i enzymu) je důležité pro její správnou biologickou funkci. Mnoho faktorů ale způsobuje narušení této prostorové struktury, aniž by narušovaly primární strukturu bílkoviny (tedy pořadí aminokyselin). Uspořádané bílkovinné „klubko“ se tak vlastně rozmotá a bílkovina ztrácí biologickou aktivitu. Tento proces se nazývá **denaturace** a je způsobován mnoha faktory. Mezi nejdůležitější patří vysoké teploty, organická rozpouštědla a některé další látky, např. močovina (tzv. **denaturační činidla**). Denaturovaný enzym pochopitelně ztrácí svou katalytickou účinnost. Denaturace bílkoviny může být **vratná** nebo **nevratná**. Při **vratné inhibici** dojde po odstranění denaturačního činidla k obnovení prostorového uspořádání bílkoviny a tím i obnovení aktivity. Při **nevratné denaturaci** zůstane struktura změněna i po odstranění denaturačního činidla.

4.2 ZÁKLADNÍ POTŘEBY MIKROORGANISMŮ

Aby se organismy udržely při životě, musí z vnějšího prostředí přijímat mnohé látky či energii. Mluvíme o výživě (**trofice**). Mezi základní metabolické potřeby mikroorganismů patří

- **voda**
- **energie**, potřebná pro udržení uspořádaného stavu a pro všechny životní pochody
- **zdroj uhlíku**, ze kterého si organismus vytváří vlastní složité organické látky
- **redukční činidla pro anabolické reakce**, bez kterých by nebylo možné syntetizovat řadu látek
- **zdroje další prvků**, mezi nejdůležitější patří dusík, fosfor, síra a minerální látky³
- **speciální látky**, např. aminokyseliny nebo vitamíny, jejich potřeba se liší organismus od organismu

Naprostá většina mikroorganismů si dokáže svoje organické látky syntetizovat sama. Některé mikroorganismy mají ale určité anabolické dráhy zmutované a chybí jim schopnost některou látku syntetizovat. Takové organismy nazýváme **auxotrofními** a chybějící látku musí přijímat hotovou z prostředí.

Pokud chceme zdůraznit, že určitý kmen mikroorganismů je auxotrofní, můžeme za rodovým a druhovým jménem uvést třípísmenné označení chybějící metabolické dráhy s mínusem. Např. *Escherichia coli* Trp⁻ označuje kmen *Escherichia coli*, který nemá schopnost syntetizovat aminokyselinu tryptofan; je tedy auxotrof tryptofanu.

4.2.1 ENERGETICKÝ METABOLISMUS MIKROORGANISMŮ

Zatímco evolučně pokročilejší organismy mají energetický metabolismus velice uniformní, u mikroorganismů nacházíme velikou rozmanitost až bizarnost. Mikroorganismy jsou schopné získat energii prakticky ze všech organických látek, ale i z mnoha látek anorganických. Mnoho mikroorganismů také disponuje schopností přepínat svůj základní metabolismus podle momentální

³ Chemické prvky zastoupené v organismu bývá zvykem dělit podle významnosti na **makrobiotické** (uhlík, dusík, kyslík, vodík) a **mikrobiotické** (síra, fosfor, sodík, draslík, železo, měď, hořčík, vápník, chlor, zinek a mnoho dalších). Dělení je značně subjektivní, bez žádného biogenního prvku by život neexistoval a určit míru jeho důležitosti je sporné.

situace mezi několika typy⁴. Obecně existují tři základní způsoby, kterými mohou organismy získávat energii: kvašením, dýcháním a asimilací světelné energie.

Kvašení (fermentace) je nejjednodušší způsob získávání energie. Předpokládá se, že prvotní formy života byly převážně fermentující. Principem je rozklad energeticky bohatých látek na energeticky chudší látky, přičemž energetický rozdíl organismus využije. Pro fermentaci je charakteristické, že organismus potřebuje přijímat skutečně jen jednu látku, aby získal energii. Nejčastěji jsou fermentovány sacharidy za vzniku mnoha produktů (ethanolu, mléčné kyseliny apod.), známe ale mikroorganismy schopné fermentovat např. aminokyseliny, puriny a mnoho dalších látek.

Dýchání (respirace) je proces, při kterém organismus získává energii oxidací jedné látky jinou látkou, přičemž obě získává z prostředí. Na straně redukovaného může být prakticky libovolná organická látka (sacharid, lipid, aminokyselina, organické kyseliny, aromatické i alifatické uhlovodíky, chlorované či nitrované organické látky atd.), ale i mnohé oxidovatelné anorganické látky (vodík, amoniak, sulfan, železnaté a manganaté ionty apod.). Nejúčinnějším oxidovadlem je kyslík (pak mluvíme o tzv. **aerobní respiraci**), ale mnohé organismy využívají i další oxidovadla, např. dusičnany, dusitany, sírany, oxid uhličitý apod. V takovém případě pak mluvíme o **anaerobní respiraci**.

Fototrofie⁵ je proces, při kterém organismy využívají energie světelných částic (fotonů). Existuje několik variant fototrofního života. Je-li světelná energie využita i pro syntézu organických látek, nazývá se celý proces fotosyntéza.

4.2.2 BUNĚČNÁ ENERGETIKA

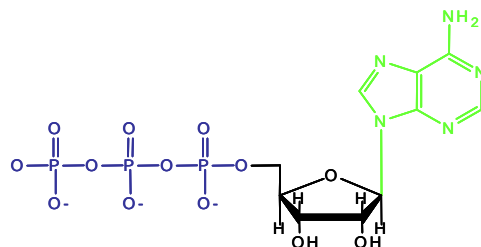
Organismus potřebuje dodávat energii prakticky do celého těla, do všech koutů buňky. Přenos energie z místa, kde se uvolňuje, do míst, kde je spotřebovávána, se děje několika základními mechanismy. Tyto mechanismy přitom nacházíme velmi podobně u naprosté většiny organismů. Téměř univerzální buněčná energetika je jedním z argumentů pro společný vývoj, už nejprimitivnější organismy potřebovaly rozvádět energii. Energetika se tak vyvinula mezi prvními a u většiny organismů zůstala dosud zachována v značně konzervativní podobě.

Zásoba buněčné energie je reprezentována řádkou zásobních látek, jako jsou např. glykogen, β -hydroxymáselná kyselina, lipidy apod. Jako skutečné přenašeče energie slouží látky (tzv. **makroenergetické**), které jsou schopné rychlého obratu (rozkladu a syntézy), přičemž energetická změna při těchto reakcích je velká. Tyto látky jsou pak rozloženy v místě potřeby za uvolnění energie a naopak znovu syntetizovány spřažením s katabolickými reakcemi. Většina těchto přenašečů jsou fosforylované látky a právě odštěpení fosfátu (nebo několika fosfátů) je ta reakce, při které se uvolňuje energie.

Odštěpování a znovu připojení fosfátů bylo důvodem, že chemické vazby mezi látkou a fosfátem resp. mezi fosfáty byly označovány jako **makroenergetické vazby**. Jejich energie není ale nijak výrazně odlišná od jiných kovalentních vazeb a dnes se proto dává přednost termínu **makroenergetická látka**.

Koncentrace makroenergetických látek v organismu bývá velice nízká, organismus je neakumuluje, ale mají velký obrat. Podle intenzity metabolismu se za den může rozložit a znovusyntetizovat několiknásobně více makroenergetických látek, než kolik organismus váží.

Nejuniverzálnějším a nejrozšířenějším přenašečem energie je **adenositrifosfát (ATP)**. Je to molekula složená ze tří částí – **adeninu**, ribózy a třech zbytků **kyseliny fosforečné**. Přenášenou energii uvolňuje hydrolýzou **fosfodiesterových** vazeb, které spojují fosfátové zbytky. Odštěpuje se jeden fosfát za vzniku **adenosindifosfátu** popř. dva fosfáty (difosfát) za vzniku **adenosinmonofosfátu**. Difosfát je dále obvykle hydrolyzován na dva samostatné fosfáty.



⁴ Hezkým příkladem jsou sinice. Jejich hlavním zdrojem energie je fotosyntéza produkující kyslík. Pokud ale není dostatek světla, mohou přepnout metabolismus na respirační či fermentační.

⁵ V souvislosti s trofikou se používá ještě mnoho termínů, které už jsou dnes považovány za zastaralé, nicméně se s nimi lze stále setkat. Jako **organotrofní** jsou nazývány organismy získávající energii z organických látek (dýcháním i kvašením). Jako **lithotrofní** (a řeckého *lithos* = kámen) jsou označovány organismy, získávající energii z anorganických látek. Výrazy se často kombinují s předložkami označujícími zdroj uhlíku (kapitola 4.2.3), pak lze hovořit o **fotoautotrofních** organismech apod.

ATP → ADP + P

ATP → AMP + PP

Obnova ATP se děje fosforylací ADP popř. AMP.

ADP + P → ATP

AMP + ATP → ADP + ADP

4.2.3 ZDROJE UHLÍKU

Uhlík jako základní stavební prvek všech organických látek má výsadní postavení v metabolismu. Každý organismus potřebuje přijímat uhlík v nějaké využitelné formě, aby si mohl syntetizovat organické látky, tvořící jeho tělo. Mikroorganismy jsou schopné využít řadu zdrojů uhlíku pro syntézu svých složitých organických látek. Jsou to jednak anorganické formy uhlíku (oxid uhličitý, uhličitany), tak organické formy uhlíku. Mezi nejdůležitější organické zdroje uhlíku patří sacharidy, aminokyseliny, lipidy a organické kyseliny, nicméně řada organismů je schopna využít např. i uhlovodíky a jejich deriváty.

Podle složitosti využívaných zdrojů uhlíku dělíme mikroorganismy na **autotrofní** a **heterotrofní**.

Autotrofní organismy jsou takové, kterým stačí velmi jednoduché zdroje uhlíku (zejména oxid uhličitý) k tomu, aby si syntetizovaly veškeré potřebné organické látky.

Heterotrofní organismy nejsou schopné vycházet při syntézách z nejjednodušších forem uhlíku a musí proto přijímat jako zdroj uhlíku složitější organické látky. Ty pak převedou na svoje organické látky.

4.2.4 ZDROJE DUSÍKU

Dusík je jedním z nejdůležitějších biogenních prvků, je součástí mnoha nezbytných látek (aminokyselin, bílkovin, nukleových kyselin atd.). Dostatečný příjem dusíku je proto pro život nutný. Potenciálních zdrojů dusíku je mnoho:

- **Organický dusík** dokáží využívat téměř všechny známé organismy. Je to snadný zdroj dusíku. Mnohé dusíkaté látky (aminokyseliny, dusíkaté báze apod.) mikroorganismy využívají už jako hotové, jsou-li k dispozici v prostředí.
- **Amonné ionty** dokáže většina mikroorganismů snadno využít a zabudovat do svých organických látek.
- **Dusičnany a dusitany** využívají pouze některé mikroorganismy. Jejich zabudování do organických látek vyžaduje dodat poměrně hodně energie a je tak využíváno jen tehdy, není-li k dispozici snadnější zdroj dusíku.
- **Plynný dusík** má velice stabilní molekuly, jejichž zabudování do organických látek vyžaduje dodání velkého množství energie. Toho je schopno jen několik skupin mikroorganismů (např. tzv. hlízkovité bakterie či sinice).

4.3 PŘÍJEM A VÝDEJ LÁTEK

Mikroorganismy představují otevřené systémy, které se svým okolím vyměňují látky i energii. Volnému průniku látek brání dvě základní bariéry: buněčná stěna a cytoplazmatická membrána. Buněčná stěna nepředstavuje zásadní bariéru, kromě největších molekul je dobře propustná. Cytoplazmatická membrána je propustná daleko méně. Přes cytoplazmatickou membránu samovolně projdou jen malé molekuly bez náboje, lipofilní lépe než hydrofilní. Pro ostatní látky musí mít buňka specifické transportní mechanismy. Ty lze dělit podle několika hledisek.

Z hlediska potřeby energie dělíme transportní mechanismy na **pasivní** a **aktivní**. **Pasivní transport** nevyžaduje dodání energie a probíhá pouze ve směru koncentračního gradientu („z kopce“). **Aktivní transport** vyžaduje dodání energie, ale umožňuje transport i proti směru koncentračního gradientu („do kopce“).

Jiné hledisko dělení může být podle mechanismu transportu. **Samovolná difúze** přes membránu už byla zmiňována. Látky takto prochází hlavně malými dočasnými otvory v membráně. Jinou možností je **přenos pomocí přenašečů**. **Přenašeče** jsou bílkoviny vázané integrálně v cytoplazmatické membráně svou strukturou i funkcí připomínají enzymy. Jsou také selektivní (tj. přenášejí jen omezenou skupinu látek s podobnou chemickou strukturou), váží přenášenou látku na konkrétní místo

na své molekule a ve srovnání se samovolnou difúzí urychlují transport o několik řádů. Mnohé z nich disponují i skutečnou enzymovou aktivitou, např. mohou přenášenou látku modifikovat nebo v rámci transportu štěpit ATP a získat tak energii pro aktivní transport. Přenašeče urychlují aktivní i pasivní transport. Pro příjem větších objektů a molekul existuje proces nazývaný **endocytóza**. Jeho principem je obalení objektu cytoplasmatickou membránou, čímž vznikne váček, který se poté od membrány odštěpí a zůstane jako inkluze uvnitř buňky. Opačný proces se nazývá **exocytóza** a slouží např. pro exkreci extracelulárních enzymů.

Transportní mechanismy můžeme dále dělit podle toho, kolik látek je současně transportováno. Nejčastěji je transportována jen jedna látka jedním směrem. Nicméně je možné současně transportovat i dvě látky jedním směrem (**synport**) nebo dvě látky opačným směrem (**antiport**), výjimečně i více. Při synportu a antiportu může organismus využít koncentračního gradientu jedné látky k transportu druhé látky proti koncentračnímu gradientu. Jedná se vlastně o nepřímý aktivní transport. Tímto způsobem jsou např. transportovány mnohé ionty.

4.4 ODLIŠNOSTI METABOLISMU MIKROORGANISMŮ

Metabolismus mikroorganismů je obvykle výrazně rychlejší než srovnatelný metabolismus vyšších organismů. Důvodů pro to je několik:

- Mikroorganismy přijímají živiny celým povrchem těla. Jejich měrný povrch (povrch vztažený na jednotku hmotnosti) je při tom značný.
- Rychlejší syntéza bílkovin a tím i enzymů.
- Malý mikroorganismus nepotřebuje zdaleka tolik transportovat látky v rámci metabolismu jako vyšší organismy. Tím se šetří čas a procesy jsou rychlejší.
- Mnohé mikroorganismy mají i extracelulární metabolismus, do prostředí vylučují tzv. **extracelulární** enzymy, které rozkládají okolní makromolekulární substráty; mikroorganismu už pak jen přijímá rozložené živiny.