

Biotechnologie pro ochranu životního prostředí

Josef Trögl

(josef.trogl@ujep.cz)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

STUVIN – Studium, výzkum a inovace – rozvoj přírodovědných a technických doktorských programů na Univerzitě J. E. Purkyně v Ústí n., reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002735

Úvod

- Tato studijní opora je stručným přehledem znalostí potřebných pro absolvování předmětu, v podstatě průvodcem samostudiem.
- Kromě toho doporučuji zopakovat si z bakalářského a magisterského studia základy biochemie, mikrobiologie, chemie a technologických předmětů.

Biologické, biochemické a ekologické základy biotechnologických procesů



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

STUVIN – Studium, výzkum a inovace – rozvoj přírodovědných a technických doktorských programů na Univerzitě J. E. Purkyně v Ústí n., reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002735

Úpravy

- Adaptace kultur na vyšší koncentrace toxikantů, salinity apod.
- Mutace a selekce nejzajímavějších mutantů
- Genetické manipulace – zejména odstraňování regulace, vkládání cizorodých genů, úpravy metabolických drah

Získávání energie

- **Respirace** – oxidace živiny oxidačním činidlem
 - aerobní – kyslíkem (nejkladnější redoxní potenciál = nejvíce získané energie)
 - anaerobní – dusičnany, dusitany, sírany, halogenované uhlovodíky,,,,
- **Fermentace** – rozklad jedné látky na energeticky chudší
 - málo efektivní, hodně odpadu
- **Fototrofie** – energie ze světla

Autotrofie / heterotrofie

- Způsoby získávání uhlíku
- **Autotrofie** – z jednoduchých anorganických látek (obvykle CO_2)
 - methylootrofie – z methanu, mehtylových skupin, methanolu apod.
- **Heterotrofie** – ze složitějších molekul
 - nejméně 2C, mnoho organismů vyžaduje částečně přísun 3C látek
- Podobně další makrobiogenní prvky – autotrofie N, S...
 - heterotrofové obvykle vyžadují organicky vázané prvky (např. aminokyseliny jako zdroj N i S pro většinu živočichů)

Regulace u bakterií

- **Bakterie spolu často chemicky komunikují**
- Produkce a detekce signálních molekul
 - nejprozkoumanější homoserin laktony
- **Quorum sensing** – reakce na množství bakterií → vyvolává hromadné chování (swarming behaviour)
 - např. zvýšení patogenity, tvorba biofilmů...
 - regulace mj. stacionární fáze růstu
 - aktivace sekundárního metabolismu (zajímavé metabolity)

Půdní mikrobiologie

- Bakterie mají potřebu být vázané – na prachové částice, na půdní částice atd.
- Půdní mikrobiální společenstvo tvoří základ ekosystémových funkcí půdy
 - hlavní funkce – mineralizace organických látek
- Kompetitivní prostředí, obtížná introdukce nepůvodních (alochtonních) druhů
- Obvykle bezbarvé organismy (nepotřebují se chránit před UV)
- Obvykle psychrofilní nebo mezofilní organismy
- Ze všech domén
- Vlákniťm organismům nevyhovuje obdělávání – trhají se mycelia

Významné symbiózy

- Oboustranně výhodné typu „něco za něco“ – partneri dávají přebytky a získávají naopak nedostatkové živiny
- **Mykorrhíza** = houby + kořeny rostlin
 - týká se většiny rostlin
 - rostlina dává organické látky (autotrof má přebytek) a získává minerály (mycelium vlastně prodlužuje kořeny)
- **Aktinorhíza** – symbióza kořenů rostlin s některými Aktinobakteriemi (Frankie...)
- **Rhizobia** – bobovité rostliny (legumes) + bakterie rhizobium – fixují vzdušný N_2

Literatura

- Solano, C.; Echeverez, M.; Lasa, I. Biofilm dispersion and quorum sensing. *Current Opinion in Microbiology* **2014**, *18*, 96-104, doi:10.1016/j.mib.2014.02.008.
- Jiang, T.; Li, M. Quorum sensing inhibitors: a patent review. *Expert Opinion on Therapeutic Patents* **2013**, *23*, 867-894, doi:10.1517/13543776.2013.779674.
- Daniels, R.; Vanderleyden, J.; Michiels, J. Quorum sensing and swarming migration in bacteria. *Fems Microbiology Reviews* **2004**, *28*, 261-289, doi:10.1016/j.femsre.2003.09.004.
- Singh, B.P.; Gupta, V.K.; Passari, A.K. *Actinobacteria: Diversity and Biotechnological Applications: New and Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*; Elsevier Science: 2018.

Biodegradace a bioremediace



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



STUVIN – Studium, výzkum a inovace – rozvoj přírodovědných a technických doktorských programů na Univerzitě J. E. Purkyně v Ústí n., reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002735

Pojmy

- **Biodegradace** – biologický (biochemický, metabolický) proces
- **Bioremediace** – technologie využívající biodegradační schopnosti některých organismů
- **Biostimulace** – podpora přirozených (autochtonních) organismů k vyšší biodegradační aktivitě (přihnojení, aerace, indukce vhodných drah, úprava teploty nebo pH...)
- **Bioaugmentace** – vnesení externích (alochtonních) organismů
- *in-situ* = na místě znečištění
- *ex-situ* = mimo místo (!transport!)
- **atenuace** – monitoring samovolných procesů

Proč organismy biodegradují?

- **Zdroj C a energie** – hlavně uhlovodíky
- **Kometabolismus** – bez užitku pro organismus, širší specifita enzymů vedoucí k částečnému odbourání polutantu, v podstatě „omylem“
 - obvykle bez užitku pro organismus

Fytoremediace

- Využití rostlin
- Řada možností
- **Fytoextrakce** – příjem látek (především kovů) rostlinou a jejich ukládání transformace
 - hyperakumulátor – vyšší koncentrace než v půdě
- **Fytostabilizace** – snížení mobility látek v půdě
- **Fytovolatilizace** – příjem látek rostlinou a jejich vyloučení jako plynu (transpirace)
- **Rhizoremediace** – spolupráce rostliny a mikroorganismů v rhizosféře (okolo kořenů)

Biologická dostupnost

- Podíl látky, který může interagovat s organismem (toxicita, biodegradovatelnost...)
- Záleží na látce, prostředí, organismu, jeho velikosti a metabolickými schopnostmi, teplotě, proudění vody...
- Organické látky se obvykle váží na půdní organickou hmotu
- Kovy řada stavů
- Odhad pomocí non-exhaustive extraction methods (NEETs)

Literatura

- dos Santos, J.J.; Maranhão, L.T. Rhizospheric microorganisms as a solution for the recovery of soils contaminated by petroleum: A review. *Journal of Environmental Management* **2018**, *210*, 104-113, doi:10.1016/j.jenvman.2018.01.015.
- Varjani, S.J. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology* **2017**, *223*, 277-286, doi:10.1016/j.biortech.2016.10.037.
- Kolvenbach, B.A.; Helbling, D.E.; Kohler, H.-P.E.; Corvini, P.F.X. Emerging chemicals and the evolution of biodegradation capacities and pathways in bacteria. *Current Opinion in Biotechnology* **2014**, *27*, 8-14, doi:10.1016/j.copbio.2013.08.017.
- Krell, T.; Lacal, J.; Antonio Reyes-Darias, J.; Jimenez-Sanchez, C.; Sungthong, R.; Julio Ortega-Calvo, J. Bioavailability of pollutants and chemotaxis. *Current Opinion in Biotechnology* **2013**, *24*, 451-456, doi:10.1016/j.copbio.2012.08.011.
- Tyagi, M.; da Fonseca, M.M.R.; de Carvalho, C. Bioaugmentation and biostimulation strategies to improve the effectiveness of bioremediation processes. *Biodegradation* **2011**, *22*, 231-241, doi:10.1007/s10532-010-9394-4.
- Dandie, C.E.; Weber, J.; Aloor, S.; Adetutu, E.M.; Ball, A.S.; Juhasz, A.L. Assessment of five bioaccessibility assays for predicting the efficacy of petroleum hydrocarbon biodegradation in aged contaminated soils. *Chemosphere* **2010**, *81*, 1061-1068, doi:10.1016/j.chemosphere.2010.09.059.
- Ortega-Calvo, J.J.; Ball, W.P.; Schulin, R.; Semple, K.T.; Wick, L.Y. Bioavailability of pollutants and soil remediation. *Journal of Environmental Quality* **2007**, *36*, 1383-1384, doi:10.2134/jeq2007.0001.

Biotechnologické likvidace odpadů



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

STUVIN – Studium, výzkum a inovace – rozvoj přírodovědných a technických doktorských programů na Univerzitě J. E. Purkyně v Ústí n., reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002735

Čištění odpadních vod

- Čištění odpadních vod – potřeba odstranit organické látky, N, P, přebytečné kovy...
- Základem technologií je intenzifikace přirozených procesů (samočištění vody)
 - aktivovaný kal, biofilmy – směsné kultury
- Speciální technologie se vyvíjejí pro speciální vody (např. průmyslové) nebo pro dočištění komunálních
 - imobilizace vhodných mikroorganismů (ochrana, snazší manipulace) – vhodné pro toxické, zasolené nebo nedostatečně úživné vody
 - použití čistých kultur – urychlení specifických podprocesů (např. nitrifikace – pomalu rostou)
 - použití oddělených reaktorů s různými podmínkami
 - ...

Čištění odpadních vod

- Nitritace-denitritace – zefektivněný způsob odstraňování dusičnanů, obejde se dusičnanový krok, úspora kyslíku na aeraci
- Anamox – anaerobní odstraňování amoniaku, efektivnější, snížená produkce biomasy
- Aerobní denitrifikace – použití kmenů bez schopnosti aerobní respirace, nejsou citlivé na koncentraci kyslíku
- Autotrofní procesy – nepotřebují organický substrát (vhodné pro průmyslové vody)
- Fosfor akumulující bakterie – schopné separovat a akumulovat fosforečnany (metafosfáty), které je potřeba z vody odstranit a zároveň využít
- ...

Likvidace pevných odpadů

- **bioplyn** – komplexní anaerobní proces vyžadující konsorcium mikroorganismů (metabióza – postupné využívání metabolických odpadů)
 - vhodné pro gastroodpady a rostlinné odpady
 - vhodné palivo, lze separovat metan od CO₂ a zvýšit výhřevnost
 - odpadní digestát je přepracovatelný na hnojivo
- **kompostování** – aerobní proces rozkladu biologických odpadů, vznik humusu
 - v kompostu se rozkládá i řada polutantů (aromáty, nitrované látky) – jen v omezené koncentraci
 - vysoká produkce tepla, vysoký odpar
- **loužení kovových odpadů** – autotrofní aerobní bakterie oxidující síru a sulfidy (např. *Thiobacillus*)
 - produkují kyselinu sírovou – podporuje rozklad

Literatura

- Argaman, Y.; Libman, V.; Papkov, G. *Biological nitrogen removal using immobilized bacteria*; 2002; pp. 391-410.
- Park, J.Y.; Yoo, Y.J. Biological nitrate removal in industrial wastewater treatment: which electron donor we can choose. *Applied Microbiology and Biotechnology* **2009**, *82*, 415-429, doi:10.1007/s00253-008-1799-1.
- Wolff, D.; Krah, D.; Dotsch, A.; Ghattas, A.K.; Wick, A.; Ternes, T.A. Insights into the variability of microbial community composition and micropollutant degradation in diverse biological wastewater treatment systems. *Water Research* **2018**, *143*, 313-324, doi:10.1016/j.watres.2018.06.033.
- Nozhevnikova, A.N.; Mironov, V.V.; Botchkova, E.A.; Litt, Y.V.; Russkova, Y.I. Composition of a Microbial Community at Different Stages of Composting and the Prospects for Compost Production from Municipal Organic Waste (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology* **2019**, *55*, 199-208, doi:10.1134/s0003683819030104.
- Gurtler, J.B.; Doyle, M.P.; Erickson, M.C.; Jiang, X.P.; Millner, P.; Sharma, M. Composting To Inactivate Foodborne Pathogens for Crop Soil Application: A Review. *Journal of Food Protection* **2018**, *81*, 1821-1837, doi:10.4315/0362-028x.jfp-18-217.
- Reyes-Torres, M.; Oviedo-Ocana, E.R.; Dominguez, I.; Komilis, D.; Sanchez, A. A systematic review on the composting of green waste: Feedstock quality and optimization strategies. *Waste Management* **2018**, *77*, 486-499, doi:10.1016/j.wasman.2018.04.037.

Produkční technologie



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



STUVIN – Studium, výzkum a inovace – rozvoj přírodovědných a technických doktorských programů na Univerzitě J. E. Purkyně v Ústí n., reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002735

Produkční biotechnologie

- Snaha o biotechnologickou produkci alternativ k fosilním a neobnovitelným zdrojům
- Souvisí také se zelenou chemií
- Lze nahrazovat mnohé fosilní zdroje, často ale s problémy
 - náhrada by se dala řešit jinak
 - cena může být vyšší
 - velkoprodukce není vždy trvale udržitelná
 - etické problémy (pěstování biopaliv vers. pěstování potravin)
 - otázka podpory (nadměrné podpory)

Biopaliva

- Paliva z přírodních zdrojů (popř. biologicky rozložitelných odpadů), kterými lze zaměnit klasická paliva na bázi ropy
 - neodstraňují problémy klasických paliv (např. pevné částice)
- **bionafta** – estery (methyl- nebo ethyl-) rostlinných olejů
 - rozložitelná v ŽP
 - v přítomnosti vody hydrolyzuje - koroze
- **bioethanol** – vznik kvašením sacharidů
 - dobře mísitelný s benzínem (až úplně dle nastavení motoru)
 - vysoké oktanové číslo
 - nižší výhřevnost
 - nižší logPo/w – může rozpouštět pryžové části

Biopaliva

- **biometan** – metan získaný z bioplynu (směs $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$)
 - použitelný jako náhrada CNG
- **biovodík** – vodík získaný mikrobiální produkcí
 - zcela čisté palivo (produkuje jen vodní páru)
 - malé molekuly – obtížné skladování a manipulace

Biopaliva

- **1. generace** – biopaliva z potravinářských produktů (obilniny, olejniny)
 - jednoduchá produkce
 - snadné zpracování
 - konkurence potravinám
 - špatná energetická bilance (ale ne záporná)
 - tlak na zabor původních ekosystémů na úkor plantáží
 - vyžadují hodně externích vstupů (hnojení, mechanizace, pesticidy)
 - dlouhodobě degradují půdu

Biopaliva

- **2. generace** – biopaliva z trvalých rostlin – rychle rostoucí dřeviny (olše, topoly), trvalé traviny produktů (ozdobnice...)
 - nenáročná extenzivní produkce
 - rostou i na chudších půdách
 - nízké nároky na hnojení, mechanizaci
 - obtížnější zpracování (lignin, celulóza)
 - dosud nejsou dotažené technologie
 - našlo by se vhodnější využití (materiálové, energeticky výhodnější)

Biopaliva

- **3. generace** – biopaliva z autotrofních mikroorganismů (sinice řasy)
- sinice (prokaryota) – některé produkují vodík, některé akumulují lipidy nebo sacharidy
- řasy (eukaryotické) – velká produkce biomasy, obvykle zdroje sacharidů
 - vysoká produktivita
 - u plyných produktů snadná separace
 - možnost využití odpadního CO₂
 - ne zcela dotažené technologie
 - otázka využití odpadní biomasy

Biopaliva

- 4. generace – biopaliva z geneticky modifikovaných organismů
 - velký potenciál
 - možnost eliminovat nevýhody předchozích generací
 - zatím spíše teorie resp. laboratorní pokusy

Biofuel cells

- Energetické články kombinující živé organismy
- Zdroje elektrické energie
- Potenciál zpracování odpadů nebo čištění OV

Bioplasty

- Materiály biologického původu s potenciálem nahradit současné používané polymerní materiály vyráběné z fosilních zdrojů
- Vyráběné z obnovitelných zdrojů
- Jsou biologicky rozložitelné (nezatěžují ŽP mikroplasty)
- Mají nižší trvanlivost – nejsou univerzálně použitelné
 - výhoda např. pro obalové materiály
- Jsou obvykle dražší, až řádově
- Někdy konkurence potravinám podobně jako u biopaliv

Bioplasty

- Založené na biopolymerech
- Škrob
- Celulóza
- Polylaktát
- polyhydroxyalkanoáty – zásobní látky bakterií
 - při nevyváženém poměru C/N

Literatura

- Boutesteijn, C.; Drabik, D.; Venus, T.J. The interaction between EU biofuel policy and first- and second-generation biodiesel production. *Industrial Crops and Products* **2017**, *106*, 124-129, doi:10.1016/j.indcrop.2016.09.067.
- Searle, S.Y.; Malins, C.J. Waste and residue availability for advanced biofuel production in EU Member States. *Biomass & Bioenergy* **2016**, *89*, 2-10, doi:10.1016/j.biombioe.2016.01.008.
- Doble, M.; Rollins, K.; Kumar, A. *Green Chemistry and Engineering*, Elsevier Science: 2010.
- Karan, H.; Funk, C.; Grabert, M.; Oey, M.; Hankamer, B. Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in Plant Science* **2019**, *24*, 237-249, doi:10.1016/j.tplants.2018.11.010.
- Kawashima, N.; Yagi, T.; Kojima, K. How Do Bioplastics and Fossil-Based Plastics Play in a Circular Economy? *Macromolecular Materials and Engineering* **2019**, *304*, doi:10.1002/mame.201900383.
- Yang, J.L.; Ching, Y.C.; Chuah, C.H. Applications of Lignocellulosic Fibers and Lignin in Bioplastics: A Review. *Polymers* **2019**, *11*, doi:10.3390/polym11050751.

Integrované procesy



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



STUVIN – Studium, výzkum a inovace – rozvoj přírodovědných a technických doktorských programů na Univerzitě J. E. Purkyně v Ústí n., reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002735

Integrované procesy

- V poslední době snaha integrovat (bio)technologické procesy k větší efektivitě
- Fytoremediace s produkcí biomasy
 - záleží na použití rostlině, zda stabilizuje nebo akumuluje polutanty a v jaké části – ideální je akumulace do kořenů + čistá nadzemní biomasa
 - vhodnější spíše pro trvalé traviny nebo dřeviny
- Bioticko-abiotické sanační zásahy – cílem zvýšení biodegradovatelnosti
 - vhodné pro vyšší úrovně kontaminace
 - předřazení oxidačního stupně před bioremediací (peroxodisíran, Fenton apod.) – vhodné pro uhlovodíky
 - předřazení redukčního stupně (nulmocné železo...) – např. pro eliminaci halogenů
 - zvýšení biologické dostupnosti (tenzidy...) - vhodné pro nepolární látky
 - snížení biologické dostupnosti (úprava pH...) – vhodné pro těžké kovy

Literatura

- Pidlisnyuk, V.; Stefanovska, T.; Lewis, E.E.; Erickson, L.E.; Davis, L.C. Miscanthus as a Productive Biofuel Crop for Phytoremediation. *Critical Reviews in Plant Sciences* **2014**, 33, 1-19, doi:10.1080/07352689.2014.847616.
- Long, A.H.; Lei, Y.; Zhang, H. In Situ Chemical Oxidation of Organic Contaminated Soil and Groundwater Using Activated Persulfate Process. *Progress in Chemistry* **2014**, 26, 898-908, doi:10.7536/pc130952.
- Kakosova, E.; Hrabak, P.; Cernik, M.; Novotny, V.; Czinnerova, M.; Trogl, J.; Popelka, J.; Kuran, P.; Zoubkova, L.; Vrtoch, L. Effect of various chemical oxidation agents on soil microbial communities. *Chemical Engineering Journal* **2017**, 314, 257-265, doi:10.1016/j.cej.2016.12.065.
- Nsanganwimana, F.; Waterlot, C.; Louvel, B.; Pourrut, B.; Douay, F. Metal, nutrient and biomass accumulation during the growing cycle of Miscanthus established on metal-contaminated soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **2016**, 179, 257-269, doi:10.1002/jpln.201500163.

Bioanalytické procesy



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



STUVIN – Studium, výzkum a inovace – rozvoj přírodovědných a technických doktorských programů na Univerzitě J. E. Purkyně v Ústí n., reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002735

Bioanalytické procesy

- Zavedené např. v medicíně nebo potravinářství, postupné rozšiřování i do ochrany ŽP
- Využívá se hlavně selektivita biologických interakcí
 - enzym – substrát
 - protilátka – antigen
 - hormon – receptor
 - ...
- Využití především pro indentifikaci a izolaci ze složitých směsí

Bioanalytické procesy

- **Bioassay** – laboratorní procedura využívající biologický materiál
- **Biosenzor** – zařízení využívající biologický materiál
- **Bioreportér** – živá GMO buňka (obvykle mikrobiální), která má spřažené metabolické geny s reportérovými (luminiscence, fluorescence...) – stejná regulace
 - exprimuje reportérové geny současně s metabolickými
 - např. při metabolismu neobvyklého polutantu, při reparaci DNA, při stresové odpovědi atd.
 - **detekce speciální toxicity (genotoxicita, endokrinní disrupce...) není nahraditelná instrumentální analytikou**
- Mikrobiální biosenzory, vzhledem k metabolismu, mají obvykle širší specifitu odezvy
- Na makromolekulách založení biosenzory mají obvykle vysoce specifickou odezvu

Literatura

- Axelrod, T.; Eltzov, E.; Marks, R.S. Bioluminescent bioreporter pad biosensor for monitoring water toxicity. *Talanta* **2016**, *149*, 290-297, doi:10.1016/j.talanta.2015.11.067.
- Troegl, J.; Chauhan, A.; Ripp, S.; Layton, A.C.; Kuncova, G.; Sayler, G.S. Pseudomonas fluorescens HK44: Lessons Learned from a Model Whole-Cell Bioreporter with a Broad Application History. *Sensors* **2012**, *12*, 1544-1571, doi:10.3390/s120201544.
- Rajasarkka, J.; Koponen, J.; Airaksinen, R.; Kiviranta, H.; Virta, M. Monitoring bisphenol A and estrogenic chemicals in thermal paper with yeast-based bioreporter assay. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **2014**, *406*, 5695-5702, doi:10.1007/s00216-014-7812-x.
- Xu, T.T.; Close, D.M.; Sayler, G.S.; Ripp, S. Genetically modified whole-cell bioreporters for environmental assessment. *Ecological Indicators* **2013**, *28*, 125-141, doi:10.1016/j.ecolind.2012.01.020.

Legislativa, strategie



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



STUVIN – Studium, výzkum a inovace – rozvoj přírodovědných a technických doktorských programů na Univerzitě J. E. Purkyně v Ústí n., reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002735

Legislativa

- Evropská, národní
- EU má řadu souvisejících strategií:
 - Bioeconomy strategy
 - Renewable energy sources
 - Biodiversity strategy
 - Circular economy
 - Water framework directive
 - ...
- GMO
 - v EU upraveno řadou zákonů dle typu organismu (zemědělská plodina, živočichové, bakterie...)
 - v ČR sjednoceno pod zákon 78/2004 Sb.