

11. Bioinformatika a proteiny II

David Potěšil

Core Facility – Proteomics

CEITEC-MU

Masaryk University

Kamenice 5, A26

phone: +420 54949 8426

email: david.potesil@ceitec.muni.cz

Proteomika, Podzim 2014

Obsah přednášky

5. **Biologické sítě**
6. **Biologické sítě – biologické ontologie, KEGG**
7. **Biologické sítě – příklady použití**
8. **Vybrané on-line zdroje**
9. **Několik zamyšlení závěrem**
10. **Příklad využití bioinformatických nástrojů**

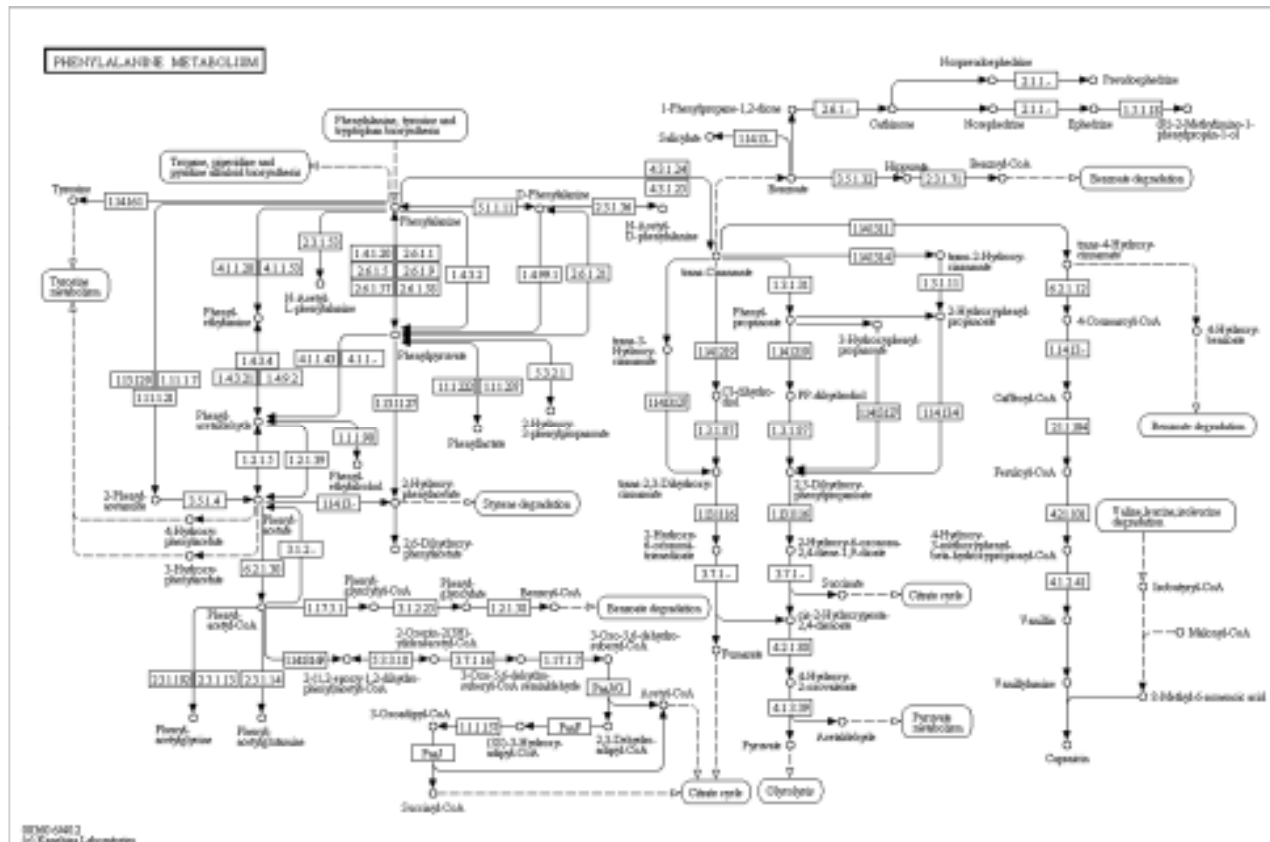
5. Biologické sítě

Biologické sítě

- snaha o zachycení celého světa pomocí jeho jednotlivých složek (*nodes*) a vztahů mezi nimi (*edges*) – vytváření sítí (*networks*)
 - prvopočátky již v 18. století...
- **biologická síť** = sada molekul (např. proteinů, geny, metabolity = *nodes*)
propojených pomocí definovaných, funkčních vztahů (např. protein-protein interakce = *edges*)

Biologické sítě – příklady

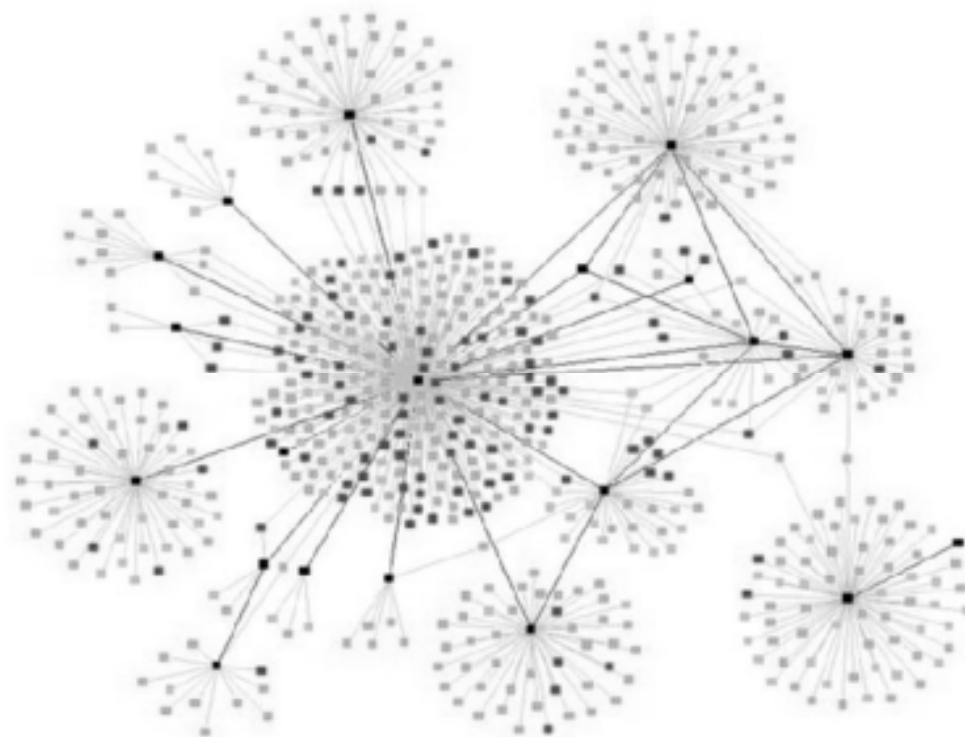
- metabolické dráhy (*metabolic pathways*)
 - spojují proteiny (*nodes*) skrze produkty a reaktanty (*edges*)
 - produkt jednoho = substrát druhého
 - např. KEGG; WikiPathways



část metabolické sítě –
metabolismus Phe (KEGG)

Biologické sítě – příklady (2)

- sítě regulace genů (*gene regulatory networks; DNA-protein interaction networks*)
 - transkripční vztah mezi dvěma proteiny
 - jeden protein ovlivňuje expresi genu druhého proteinu



Biologické sítě – příklady (3)

- protein-protein fyzické interakce – ze sítě samotné není přímá informace o významu dané interakce...

- *nodes* – ?
- *edges* – ?
- příklady databází
 - **STRING**
(www.string-db.org)
 - MINT
 - DIP
 - BioGRID
 - ...



Biologické sítě – příklady (4)

- **proteiny anotované do stejné kategorie genové ontologie (GO) – viz. dále**
 - **proteiny přítomné ve stejné GO kategorii mají společné např.**
 - **a) lokalizaci v buňce (např. jaderná membrána)**
 - **b) molekulární funkci (např. vazba iontů Ca)**
 - **c) biologický proces, ve kterém participují (např. metabolismus Ca)**

(dle příslušného „GO termínu“, vysvětleno dále...)

6. Biologické sítě

Biologické ontologie, KEGG

Biologické ontologie

- **ontologie = systém kategorií (termínů; *terms*) do kterých jsou zařazeny jednotlivé informační jednotky, spolu s jejich vlastnostmi a vztahy**
- **biologické ontologie – příklady**
 - **proteiny (*gene products*) – genová ontologie (GO)...**
 - **průběh buněčného dělení (*Cell Cycle Ontology*)**
 - **vývoj rostliny *A. thaliana* (*Arabidopsis development*)**
 - **stále živý proces úprav/oprav/doplnění ontologií; není statické**
- **OLS – *Ontology Lookup Service***
 - **<http://www.ebi.ac.uk/ontology-lookup/>**
 - **jednotný přístup k více ontologiím**
 - **možnost procházet celé ontologie, případně vyhledávat termíny**

Genová ontologie (GO)

- **nejvíce rozpracovaná biologická ontologie**
 - jak co do počtu termínů, tak co do počtu anotovaných položek (genů/prot.)
- **společné termíny pro všechny organizmy**
- **tři GO domény**
 - **buněčná komponenta (*cellular component*)**
 - informace o buněčné lokalizaci proteinu
 - **molekulární funkce (*molecular function*)**
 - informace o funkci proteinu
 - **biologický proces (*biological process*)**
 - informace o procesech, kterých se protein účastní
- **GO Slims (podmnožina GO termínů; organizmus, specifická aplikace, ...)**
- **<http://www.geneontology.org/> + AmiGO prohlížeč (online, offline)**

Genová ontologie (GO) (2)

- kde se berou data pro GO?
 - každá anotace obsahuje informaci o svém původu – *evidence code*
- A) manuálně přiřazené správcem (*curator*)
 - *experimental evidence codes* ⇒ z reálného experimentu
 - *computational analysis evidence codes* ⇒ z *in silico* analýzy
 - *author statement evidence codes* ⇒ tvrzení autora + citace
 - *curatorial statement codes* ⇒ tvrzení správce, nepatří výše...
(všechny kategorie se dále dělí...)
- B) automaticky přiřazené (bez zásahu správce)
 - *automatically-assigned evidence code*
 - *Inferred from Electronic Annotation (IEA)*

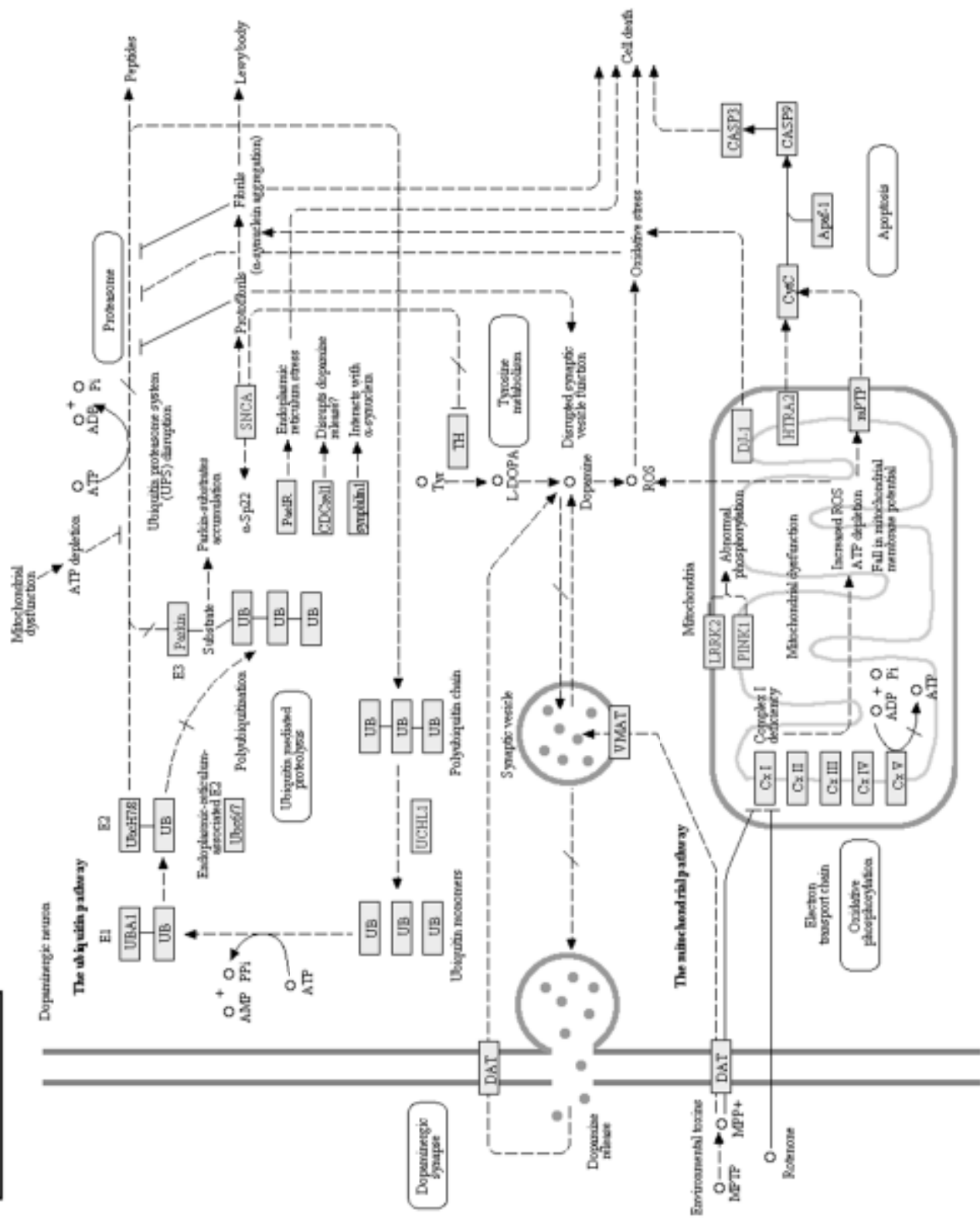
Společné znaky anotovaných proteinů v ontologiích

- **srovnání proteinů na základě jejich anotace v rámci dané ontologie, např. v GO – sémantická podobnost**
 - **jak jsou si proteiny blízké z pohledu jejich zařazení do GO termínů**
 - **většinou používána**
- **srovnání proteinů na základě jejich funkce – funkční podobnost**
 - **např. proteiny se stejnou funkcí lokalizované v jiné části buňky**
 - **z pohledu GO termínů mohou být relativně vzdálené**
- **stejně jdou srovnávat společné znaky a blízkost i např. GO termínů**

KEGG

- **KEGG = *Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes***
- **<http://www.genome.jp/kegg/>**
- **manuální katalogizace znalostí biologických systémů v počítačově zpracovatelné podobě**
- **čerpá z dosavadních znalostí v dané problematice**
- **z informací na nízké biologické úrovni nám umožní odvodit informace na vyšší biologické úrovni**
 - **například ze seznamu regulovaných genů/proteinů odvodí informaci o ovlivněných metabolických drahách – KEGG Pathway**
- **obdobně i např. <http://www.rectome.org>**

PARKINSON'S DISEASE



7. Biologické sítě

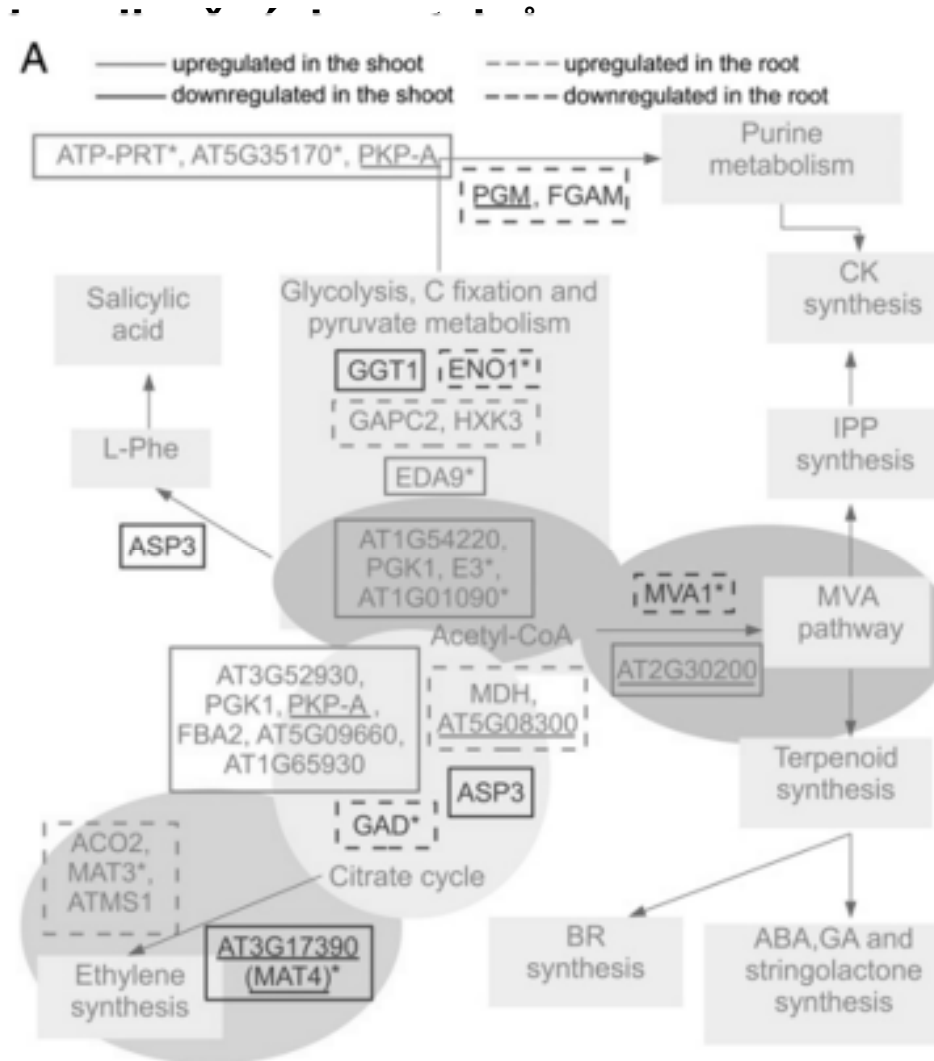
Příklady použití

Vliv nízkomolekulární látky na rostlinu

- **identifikace sady ovlivněných proteinů**
- **jsou tyto proteiny zahrnuty v odpovídající metabolické dráze? (KEGG)**
 - fungoval experiment dle předpokladu?
- **jaké jiné metabolické dráhy byly „významně“ zastoupeny?**
 - objevili jsme i jiné, dosud nepotvrzené, ale související metabolické dráhy?
- **jsou známy proteinové komplexy mezi nalezenými proteiny?**
 - dokáží nám tyto pomoci při interpretaci vlivu látky na rostlinu?
- **je mezi proteiny zastoupeno více proteinů z konkrétního GO termínu?**
 - na základě daných GO termínů je možno odvodit souvislosti s funkcí či lokalizací probíhajících (i sekundárních) dějů

Vliv nízkomolekulární látky na rostlinu

- identifikace s
- jsou tyto pro
 - fungoval
- jaké jiné met
 - objevili js
- jsou známy p
 - dokáží ně
- je mezi prote
 - na základ
 - lokalizací



...e? (KEGG)

...bolické dráhy?

?

u?

... termínu?

...ti s funkcí či

Interakční partneři zvoleného proteinu

- **vidíme již známé interakční partnery?**
 - pozitivní kontrola průběhu experimentu
- **nově pozorované interakce**
 - **předpoklad možných interakčních partnerů**
 - vhodně provedená negativní kontrola!
 - několik biologických replikátů pro vzorek i kontrolu!
 - **studium biologických vlastností možných interakčních partnerů**
(GO termíny, metabolické dráhy, ...)
 - **zapadají tyto do již známých informací o funkci, lokalizaci aj. zvoleného proteinu?**
 - **je možné predikovat nepotvrzenou funkci proteinu?**
 - **jsou patrné souvislosti s lokalizací našeho proteinu?**

Studium proteinu, se vztahem k onkol. onemocnění...

- **jsou pro tento protein známy proteinové interakce?**
 - u interakčních partnerů zvýšená pravděpodobnost, že se tyto proteiny aktivně nebo pasivně účastní daného onemocnění; GO analýza
- **je známa lokalizace proteinu v buňce?**
 - lokalizace může souviset s funkcí (konkrétní funkce proteinu často vázána na jeho buněčnou lokalizaci)
- **je známa úloha proteinu v některé metabolické dráze?**
 - možná úloha (i nepřímá, ovlivňující např. „jen“ dostupnost klíčového proteinu) dráhy v onemocnění – její proteinové i neproteinové komponenty

⇒ potencionální cíle dalšího studia a nové léčby

„Zdraví versus nemocní“ – rozdílně exprimované proteiny

- **kterých metabolických drah se proteiny účastní?**
 - vysvětluje to důsledky, průběh, ... vlastní nemoci?
- **jsou rozdílné proteiny převážně lokalizované v některé z organel?**
 - má tato informace souvislost se vznikem/průběhem/vznikem nemoci v konkrétním místě organismu?
- **je mezi proteiny „často“ přítomen konkrétní GO termín?**
 - má tento termín souvislost se vznikem, průběhem, projevem onemocnění?

7. Biologické sítě

Analýza biologických sítí

Analýza sítí (*network analysis*) – na co si dát pozor?

- **falešně pozitivní i negativní informace v biologických sítích**
 - častěji falešně negativní – absence příslušných proteinů v sítích
 - důvodem nedostatečná citlivost/specifita současných přístupů pro studium
- **mnoho dat v databázích z predikčních studií**
 - i přes kontrolu nemusí zcela odpovídat zdrojovým datům a skutečnosti
 - někdy lze vyloučit z analýzy (např. automaticky anotované GO...)
- **stále víme velmi málo...**
 - důležitost sekvenčních a funkčních homologií u proteinů bez anotace
 - **rychlý vývoj v anotaci proteinů a vývoji bioinformatických nástrojů!**
- **volba vhodných otázek, na které nám biologické sítě dokážou dát odpověď**

Analýza sítí – jak se postavit k výstupům?

- **manuální validace výstupů**
- **ověřením původních zdrojů**
- **pochybovat a ptát se**
- **nesnažit se proces analýzy a ověření výsledků urychlit**
- **experimentální ověření závěrů (např. buněčné linie s mutantní formou genu)**
 - **drahé a časově náročné ⇒ důkladné ověření předchozích kroků!**
- **není důležité jak to vypadá, ale co a jak se z toho dá vyčíst...**

8. Vybrané on-line zdroje

Universal Protein Resource (UniProt)

- **<http://www.uniprot.org>**
- **bohatá anotace proteinů s odkazy na specializované databáze/zdroje**
- **široké možnosti využití v databázi přítomných informací**
 - **„mapování“ identifikátorů z různých databází (např. UniProt → KEGG)**
 - **tabulkový formát s vybranými informacemi o sadě proteinů (stažení...)**
 - **možný pohled ze strany určité taxonomie, nemoci, buněčné lokalizace...**
 - **informace o přítomnosti sady proteinů v metabolických drahách, GO**

Universal Protein Resource (UniProt) (2)

- **odkud bere proteinové sekvence?**
 - **většina (~98 %) z nukleotidových databází CDS (*coding sequences*)**
 - sekvence zadávány jednotlivými výzkumnými skupinami
 - EMBL-Bank/GenBank/DDBJ
 - pod *International Nucleotide Sequence Databases* (INSD)
 - **translace na proteinovou sekvenci**
 - **automatické zpracování za účelem anotace a klasifikace proteinů**
 - **na základě sekv. homologií**
- **takto zpracovaný protein je zaveden do UniProtKB/TrEMBL databáze**
- **je-li protein vybrán pro manuální zpracování, provede správce (*curator*) jeho manuální zařazení do UniProtKB/SwissProt databáze**

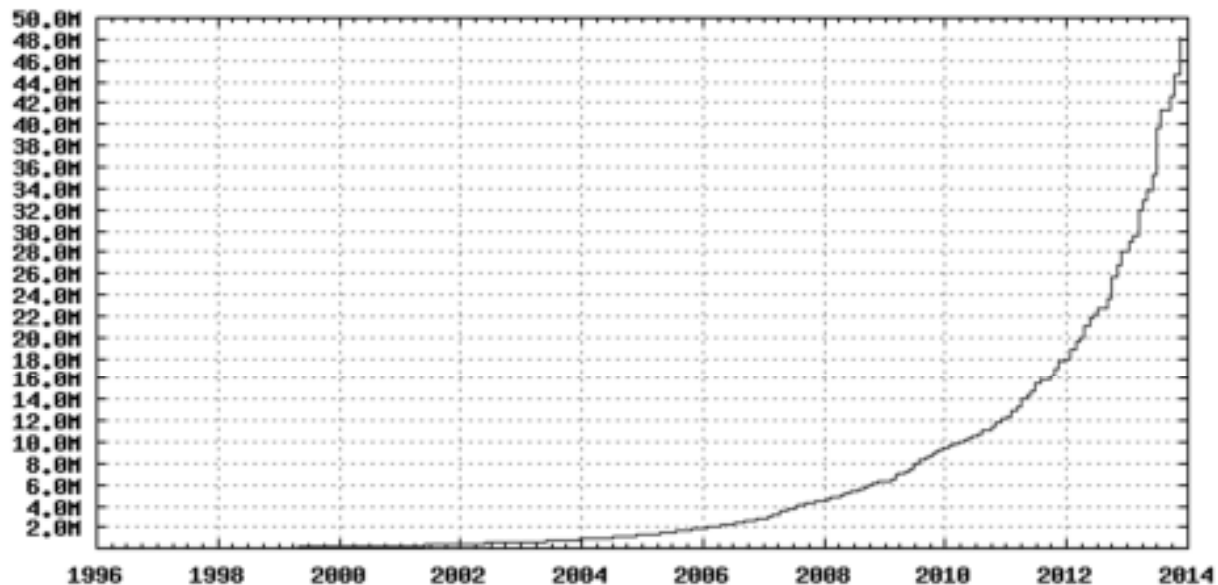
Universal Protein Resource (UniProt) (3)

- **UniProtKB/SwissProt – manuální zpracování (*curation*) správcem**
 - kontrola sekvence – není-li v původní sekvenci chyba
 - sekvenční analýza – manuálně kontrolované predikce atd.
 - studium literárních zdrojů – dodány biologicky relevantní informace k proteinu na základě dostupných publikací; název genu, funkce proteinu, enz. aktivita, subc. lokalizace, přiřazení GO termínů k proteinu atd.
 - získání informací o proteinové rodině – zjištění případných členů proteinové rodiny a jejich společné zpracování
 - přidání zdrojů – z jakého konkr. zdroje pochází ta které informace; možnost ověření přítomných informací „u zdroje“
 - kontrola kvality, integrace, aktualizace – všechna manuálně přidaná data zkontrolována a zakomponována do nové verze SwissProt db.

TrEMBL/SwissProt

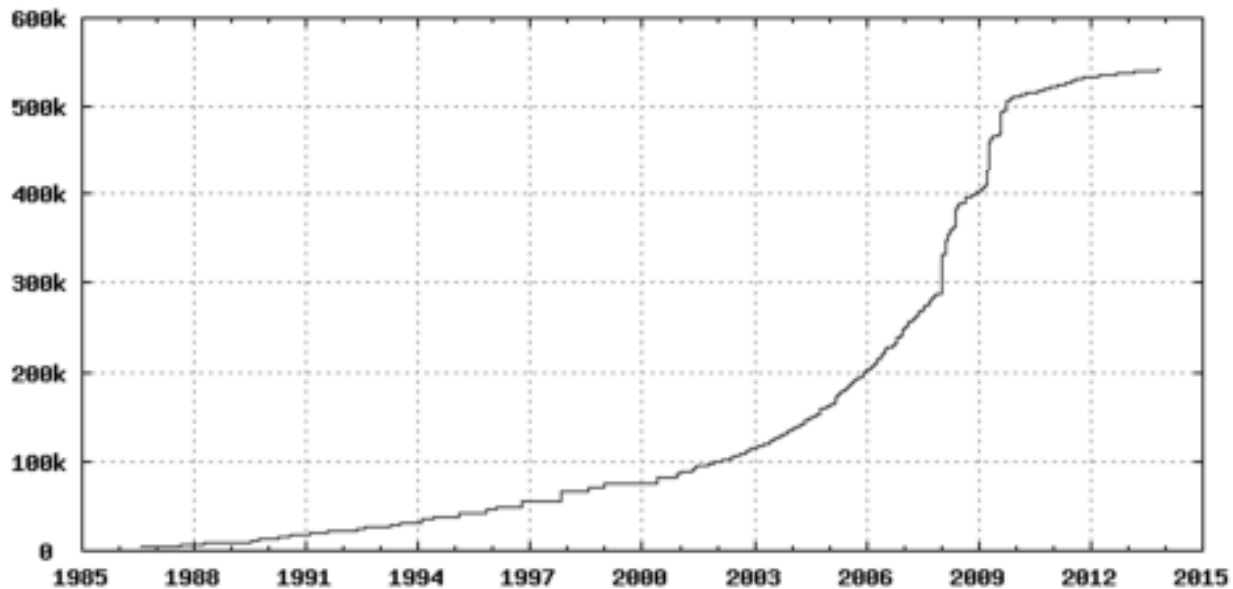
high-throughput

Number of entries in UniProtKB/TrEMBL



„závazek“

Number of entries in UniProtKB/Swiss-Prot



Universal Protein Resource (UniProt) (5)

- **typy proteinových setů v UniProtKB proteinové databázi**
 - **UniProtKB/TrEMBL – automaticky klasifikované a anotované**
 - i zde probíhají automaticky řízené opravy...
 - **UniProtKB/SwissProt – po manuální opravě správcem (*curation*)**
 - ***Complete Proteome Set* – pro kompletně sekv. organizmy (T+S)**
 - ***Reference Proteome Set* – vybrané modelové organizmy (T+S)**

Universal Protein Resource (UniProt) (6)

- **typy proteinových setů v UniProtKB proteinové databázi**
 - **UniRef – *UniProt Reference Clusters***
 - **seskupené primární sekvence do klastrů na základě sekv. podobnosti**
 - **umožňuje skrýt „redundantní“ proteinové sekvence**
 - **UniRef100 – seskupeny záznamy se 100% identitou**
 - **UniRef90; UniRef50**
 - **snížení počtu sekvencí (o ~58 a 79%) – BLAST aj.**
 - **seskupováno dle kritérií – SwissProt, jméno, organizmus, délka**
 - **UniParc – databáze proteinových sekvencí**
 - **unikátní identifikátor pro každou primární sekvenci (UNI)**
 - **identifikátor se nikdy nemění, ani nemaže**
 - **vedle sekvence informace o zdrojové databázi, identifikátoru atd.**

PubMed

- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
- více orientovaná na genomová data, ale...
- *Protein Clusters* – obdoba UniRef
- RefSeq – obdoba SwissProt; méně informačně „hodnotné“; oproti SwissProt cca 4M RefSeq záznamů
- obdobně informace o jednotlivých organizmech, taxonomiích aj.
 - nenabízí tak široké možnosti filtrování a práce s proteinovými sekvencemi jako UniProt
- mimo to i indexace vědeckých publikací aj.

Expasy

- <http://expasy.org>
- sada nástrojů pro práci s proteiny/geny
- převážně nástroje z dílny *Swiss Institute of Bioinformatics* (SIB; <http://www.isb-sib.ch/>)
- původně pouze proteomický portál
- rozšířen (2011) o genomické, transkriptomické aj. informace a nástroje

European Bioinformatics Institute (EBI)

- <http://www.ebi.ac.uk/services>
- opět sada bioinformatických nástrojů a databází pro studium proteinů a souvisejících informací
- např. zmiňované InterPro; GeneOntology.org; OLS; ...

bioinformatics.ca Links Directory

- http://bioinformatics.ca/links_directory/
- sady odkazů na různé kategorie on-line zdrojů

OMICtools

- <http://omictools.com/>; opět sada bioinformatických nástrojů

Reactome

- <http://www.reactome.org>
- obdoba KEGG, převážně pro lidské dráhy

Pax-DB

- <http://pax-db.org/#!/home>
- databáze abundancí jednotlivých proteinů v organizmech či jejich částech

9. Několik zamyšlení závěrem

Rychlý vývoj bioinformatických aplikací/databází

- **vzniká hodně nástrojů/databází, které nejsou následně používány**
 - nepoužívané nástroje často dále nevyvíjené, neaktualizované (přítomnost chyb, které se objeví až při masivním používání...), používají zastaralé algoritmy, používají starší proteinové databáze...
- **význam „zavedených“ zdrojů bioinformatických nástrojů/databází**
(UniProt, Pubmed, EBI, Expasy)
 - např. anotace proteinů, vytváření biologických sítí – **lidské kapacity**
 - dlouholeté zkušenosti nutné k střednědobému **směřování vývoje**
- **důležitá grafická stránka programu/databáze a prvotní „jednoduchost“**
 - důležité pro rychlé „rozkoukání“, *user friendly* uživatelské prostředí
- **významná předchozí zkušenost s prací v aplikaci/s databází**
 - nové aplikace to nemají snadné...
 - důvod proč i nápadité nástroje mohou zůstat nepoužívány

Rychlý vývoj bioinformatických aplikací/databází (2)

- **několik let (nejen v bioinformatice) je velmi dlouhá doba**
 - aktualizace minimálně 1× ročně, optimálně měsíční, půlroční
 - i přes to mohou starší nástroje fungovat lépe než novější...
 - případně nic „lepšího“ není
 - důležité celosvětové reference a citovanost/používání (recentní) daného nástroje/databáze
- **bioinformatické aplikace/databáze není možné nevyvíjet/neaktualizovat**
 - při vytváření nástroje/databáze nutno počítat s udržitelností jeho vývoje...
- **školicí programy/workshopy/stáže v bioinformatických centrech**
 - EBI, SIB aj.
- **význam spoluprací – jeden tým často nedokáže pojmout celé spektrum použitých nástrojů, přístupů včetně interpretace výstupů**

10. Příklad využití bioinformatických nástrojů

Zavedení problému

- studium proteinových komplexů vybraného proteinu
- imunoprecipitace proteinových komplexů (*IP experiment*)
 - protilátka proti proteinu (*bait*), u kterého chceme zjistit jeho partnery
 - dva hlavní přístupy
 - protilátka imobilizovaná např. na kuličkách (magnetické, v kolonkách)
 - protilátka se přidá do volného roztoku a následně „lovíme“ protilátku
 - vhodné opakovat experiment s různými protilátkami (epitopy, stérické zábrany, potvrzení předchozích experimentů)
 - nativní prostředí při experimentech – podmínky pro interakce jako *in vivo*
 - výstupem *pull-down* roztoky – proteiny vázající se na *bait* a nesp. proteiny
 - paralelně experimenty bez *bait* – negativní kontrola – *bead proteome*
 - minimálně 3 biologické replikáty, lépe 5 od vzorku i negativní kontroly

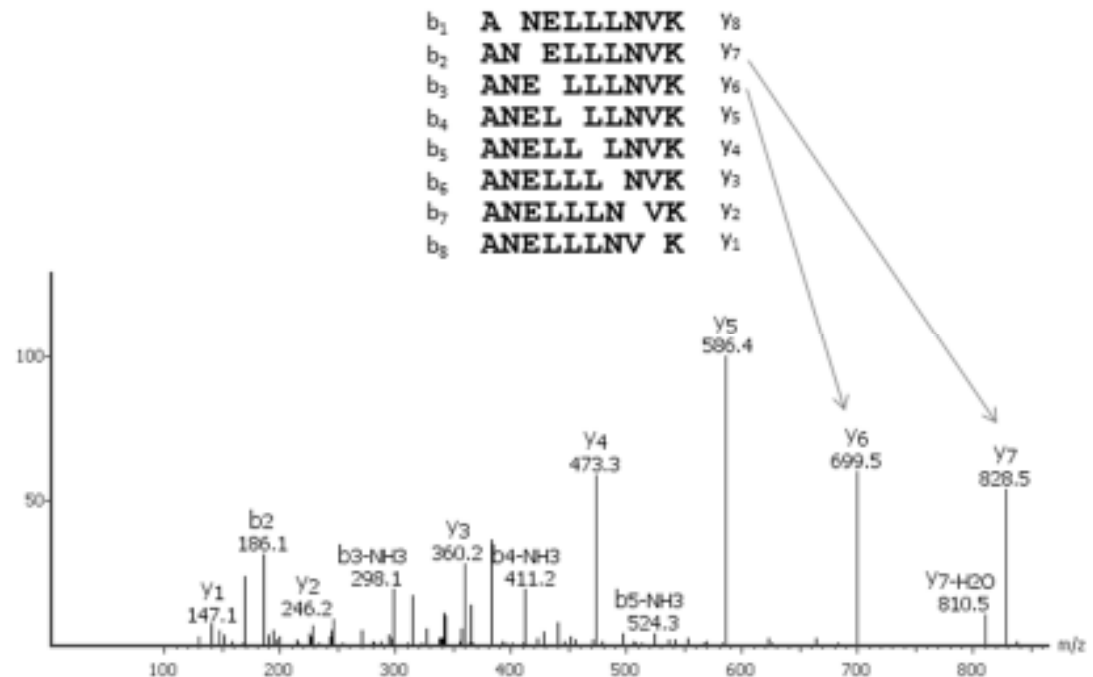
LC-MS/MS analýza *pull-down* vzorků

- digesce proteinů \Rightarrow peptidy (např. trypsinem; peptidy končí R nebo K)
- LC-MS/MS analýza směsi peptidů
 - peptidy vstupují do MS v pořadí rostoucí hydrofobicity (LC separace)
- MS zjistí MW peptidů a získá MS/MS spektra
(fragmentační spektrum vybraného peptidu)

např. peptid ANELLLNVK
(MW 1012.5917 Da)

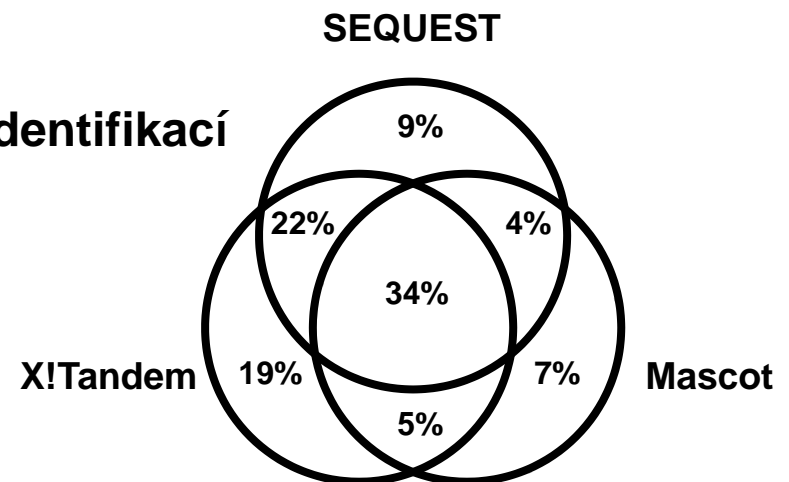
1. $MW_{\text{exp}} = 1012.5923 \text{ Da}$
(0,6 ppm chyba)

2. změřené fragmentační
(MS/MS) spektrum \Rightarrow
(CID; „collision induced dissociation“)



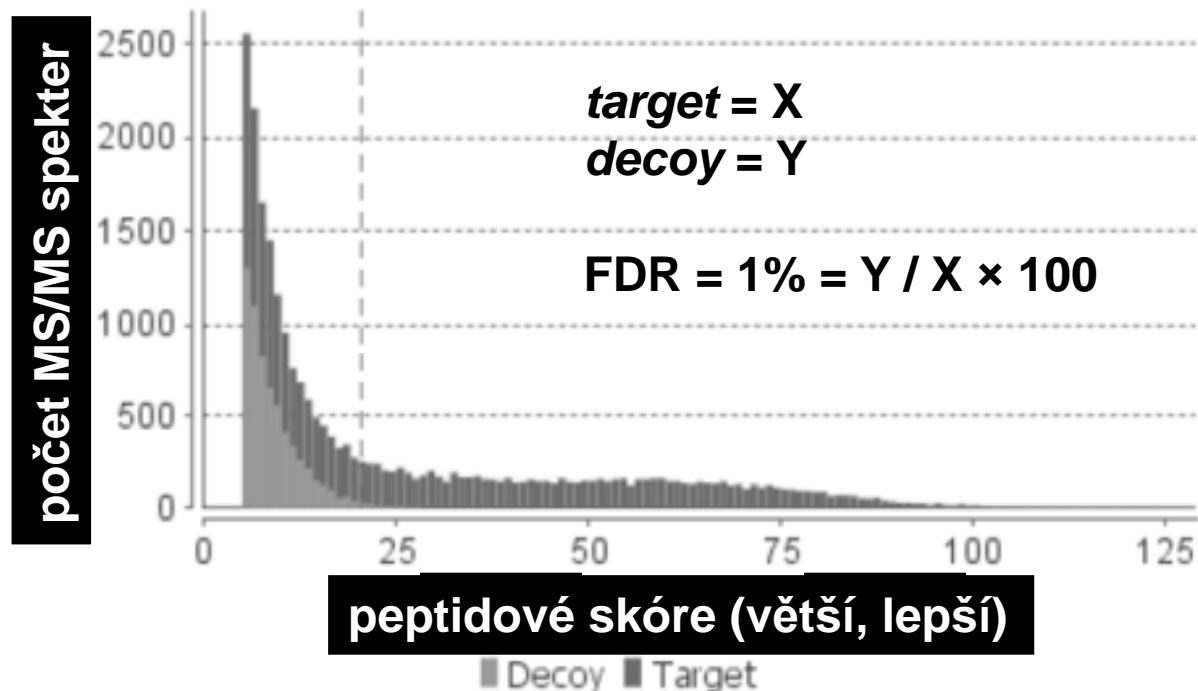
Zpracování LC-MS/MS dat

- LC-MS/MS data z analýz *pull-down* vzorků po digesci = MS/MS spektra
- řádově 10 000 – 1 000 000 MS/MS spekter
- identifikace peptidů
 - vycházíme z proteinové databáze, např. TAIR (*Arabidopsis thaliana*)
 - *in silico* se vytvoří seznam možných peptidů
 - >20 algoritmů pro automat. přiřazení MS spektra možným peptidům (Sequest, Mascot, XTandem!, OMSSA, Phenyx, Andromeda, ...)
 - jiný algoritmus \Rightarrow jiný přístup \Rightarrow různá citlivost \Rightarrow odlišné výsledky
 \Rightarrow kombinace algoritmů
 \Rightarrow zvýšení počtu pozitivních identifikací



Zpracování LC-MS/MS dat (2)

- **decoy proteinová databáze a FDR (*false discovery rate*)**
 - decoy databáze – např. obrácené sekvence, náhodné sekvence proteinů
 - identifikace peptidů v cílové (TAIR) i decoy proteinové databázi
- ⇒ jeden z možných přístupů jak určit FDR – peptidová úroveň



Zpracování LC-MS/MS dat (3)

- z identifikovaných peptidů k proteinům přítomným ve vzorku
 - problém u **bottom-up** přístupu (digesce proteinů, analýza až peptidů)
 - v MS analýze **vidíme jen malou část** z např. tryptických **peptidů** proteinů a navíc nevíme ze kterých proteinů pozorované peptidy původně pochází...
 - ⇒ **problém s určením seznamu proteinů přítomných ve vzorku**
(sadě peptidů může odpovídat více proteinů – isoformy, sekv. homology;
proteiny identifikované jen na jeden peptid?)

Pohled na seznamy identifikovaných proteinů

- dva seznamy identifikovaných proteinů v našem IP experimentu
 - vzorek po IP experimentu s naším proteinem – sada proteinů A
 - slepý vzorek; „bead proteome“ – sada proteinů B
- co nás zajímá v našem IP experimentu nejvíce?
- sada proteinů A, které zároveň nejsou v sadě proteinů B

Pohled na seznamy identifikovaných proteinů (2)

- proteiny „navíc“ v A
 - 1) kvalitativní změny (A: „ano“, B: „ne“)
 - citlivost použitého přístupu...
 - proteiny identifikované relativně slabě v A mohou být v B také přítomny!
 - 2) kvantitativní změny (A: „více“, B: „méně“)
 - možno pracovat pouze s **intenzitami A a B peptidů** – „label-free“
 - přesnost, správnost?
 - vzorky **A** a **B** byly zpracovány tak, že jsme pomocí MS schopni rozlišit mezi **A** a **B** (např. **SILAC** – „**S**table **I**sotope **L**abeling by **A**mino acids in **C**ell **C**ultures“ – komplikované u rostlin, nekompletní inkorporace značených AA; **dusík** ^{15}N)

Co se seznamem proteinů „navíc“? – vybrané možnosti

- 1) manuální prohledání dostupných informací v literatuře
- 2) www.UniProt.org (ID mapping; informace, další databáze; GO, *pathways*)
- 3) DAVID <http://david.abcc.ncifcrf.gov/home.jsp>
- 4) PANTHER <http://go.pantherdb.org/>
- 5) ANAP <http://gmdd.shgmo.org/Computational-Biology/ANAP>
 - jen pro At
 - Source database – čerpá známé informace z databáze interakcí
 - Detection method – predikce možných protein-protein interakcí
(u predikované interakce uvádí důvod pro predikci)
- 6) Cytoscape
-

Děkuji za pozornost