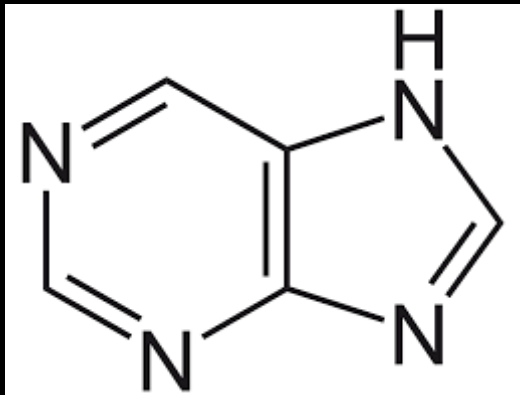


Bioaktivne supstance značajne za ekofiziološke adaptacije biljaka- ALKALOIDI

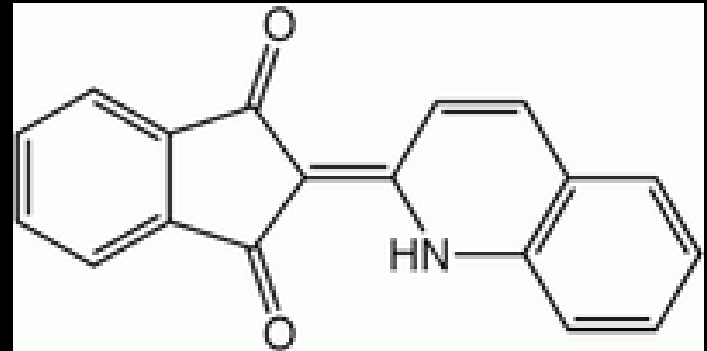
- **Alkaloidi su organska jedinjenja prirodnog porijekla, koja sadrže azot, manje ili više izraženih baznih osobina, ograničene distribucije**
- Alkaloidi su azotne organske baze biljnog porijekla, uglavnom otrovne, a u malim količinama se koriste kao lijekovi. Cvijetnice sadrže najviše alkaloida, paprati male količine, dok ih alge i mahovine uopšte ne sadrže. U životinjskim ćelijama alkaloidima su srodni adrenalin, histamin, tiramin.
- Alkaloidi su proizvodi metabolizma aminokiselina koje biljka ne izlučuje zbog toga što sadrže azot
- U biljnim ćelijama se rijetko nalaze u slobodnoj formi već su u obliku soli, estara ili amida. Najčešći oblik alkaloida jesu soli koje su vezane za organske kiseline kao što su mliječna, jabučna, sirćetna i dr. ili za neorganske kiseline (najčešće sumporna i fosforna).

Klasifikacija alkaloida

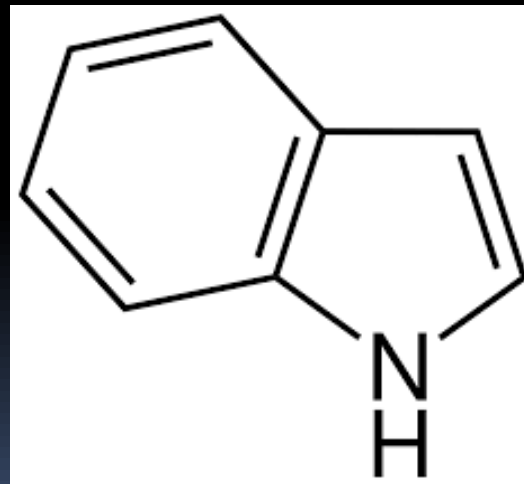
- alkaloidi bez heterocikličnog prstena
- pirolidin (skr. PRL) i pirolizidin (PRZ) alkaloidi
- piperidin i piridin (PIR) alkaloidi
- hinolizidin (HLZ) alkaloidi
- hinolin (HIN) alkaloidi
- izohinolin (IZH) alkaloidi
- indol (IND) alkaloidi
- purin (PUR) alkaloidi
- diterpen alkaloidi
- steroidni (STE) alkaloidi.



Slika 1: Purin



Slika 2: Hinolin



Slika 3: Indol

Podjela alkaloidnih biljaka

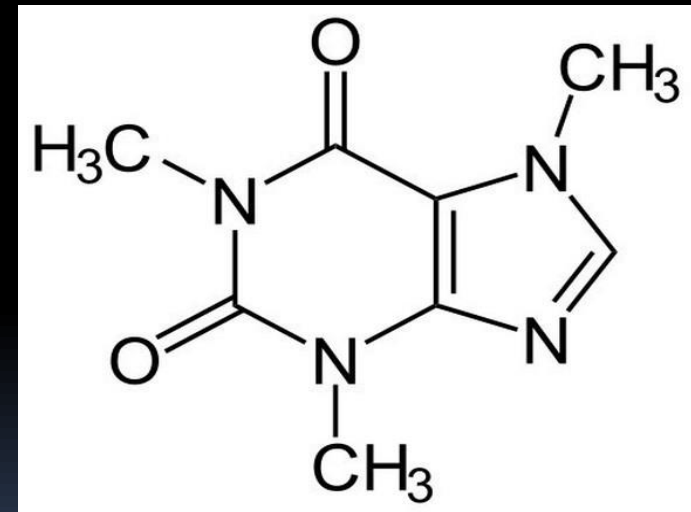
- 1. klasu čine visokoalkaloidne familije koje imaju preko 20% rodova sa alkaloidnim vrstama;
- 2. klasi pripadaju srednjealkaloidne familije čijih 10-20% rodova sadrži alkaloidne vrste;
- 3. klasa su maloalkaloidne familije čijih 1-10% rodova ima vrste bogate alkaloidima.

Fiziološki aktivni alkaloidi

Alkaloid	Plant source	Use
Ajmaline	<i>Rauwolfia serpentina</i>	Antiarrhythmic that functions by inhibiting glucose uptake by heart tissue mitochondria
Atropine, -(±)-hyoscyamine	<i>Hyoscyamus niger</i>	Anticholinergic, antidote to nerve gas poisoning
Caffeine	<i>Coffea arabica</i>	Widely used central nervous system stimulant
Camptothecin	<i>Camptotheca acuminata</i>	Potent anticancer agent
Cocaine	<i>Erythroxylon coca</i>	Topical anaesthetic, potent central nervous system stimulant, and adrenergic blocking agent; drug of abuse
Codeine	<i>Papaver somniferum</i>	Relatively nonaddictive analgesic and antitussive
Coniine	<i>Conium maculatum</i>	First alkaloid to be synthesized; extremely toxic, causes paralysis of motor nerve endings, used in homeopathy in small doses
Emetine	<i>Uragoga ipecacuanha</i>	Orally active emetic, amoebicide
Morphine	<i>P. somniferum</i>	Powerful narcotic analgesic, addictive drug of abuse
Nicotine	<i>Nicotiana tabacum</i>	Highly toxic, causes respiratory paralysis, horticultural insecticide; drug of abuse
Pilocarpine	<i>Pilocarpus jaborandi</i>	Peripheral stimulant of the parasympathetic system, used to treat glaucoma
Quinine	<i>Cinchona officinalis</i>	Traditional antimalarial, important in treating <i>Plasmodium falciparum</i> strains that are resistant to other antimalarials
Sanguinarine	<i>Eschscholzia californica</i>	Antibacterial showing antiplaque activity, used in toothpastes and oral rinses
Scopolamine	<i>H. niger</i>	Powerful narcotic, used as a sedative for motion sickness
Strychnine	<i>Strychnos nux-vomica</i>	Violent tetanic poison, rat poison, used in homeopathy
(+)-Tubocurarine	<i>Chondrodendron tomentosum</i>	Nondepolarizing muscle relaxant producing paralysis, used as an adjuvant to anaesthesia
Vinblastine	<i>Catharanthus roseus</i>	Antineoplastic used to treat Hodgkin's disease and other lymphomas.

- Od otkrića morfina izolovano je više od 12 000 alkaloida. Oko 20% cvjetajućih biljaka proizvode alkaloide i svaka od ovih vrsta akumulira alkaloide na jedinstven, definisan način. Neke biljke, kao npr. *Catharanthus roseus* (Madagaskarski zimzelen, Vinka rosea), sadrži više od 100 različitih indol alkaloida. Vinblastin-aktivni sastojak koji se koristi u tretmanima protiv kancera. Ulogu alkaloida u hemijskoj odbrani biljaka potvrđuje njihova široka oblast fizioloških efekata na životinje i antibiotska aktivnost koju mnogi alkaloidi posjeduju.

- Kofein je drugi efikasan toksin za insekte, a nalazi se u sjemenkama i lišću kakaoa (*Theobroma cacao*), kafe (*Coffea arabica*), kole (*Cola acuminata*) i čaja (*Thea sinensis*). Pri koncentracijama koje su daleko ispod onih nađenim u svježim zrnima kafe ili lišću čaja, kofein ubija larve duvanskog crva (*Manduca sexta*) u toku 24 sata, prvenstveno inhibirajući enzim fosfodiesterazu



Slika 4: Kofein

Steroidni alkaloid α -solanin, inhibitor holinesteraze, nađen u gomolju krompira (*Solanum tuberosum*), toksični je konstituent koji se smatra odgovornim za teratogeni efekat klijalog krompira.



Slika 5: *Solanum tuberosum*

UTICAJ ALKALOIDA NA RAST BILJAKA

- Waller i Nowacki izdvajaju uloge alkaloida u biljkama kao stimulatori i inhibitori rasta kao i zaštitni agensi i rezervoari azota. Neki alkaloidi su poznati neurotransmiteri kod životinja i mogu se smatrati dijelom signalnog sistema. Ovaj sistem je konstruisan kao dio ćelije i metaboličkog sistema kontrolisanih funkcionalnim mehanizmima bioloških membrana, kanala, receptora i enzima.
- Postoje različiti receptori za različite komponente koje se prenose kroz organizam. Alkaloidi mogu poboljšati aktivnost receptora ili ga inhibirati. Stereoidni alkaloid gagamin, izolovan iz korijena biljke *Cynanchum wilfordi* Hamsley (*Asclepiadaceae*) ima inhibitorni efekat na aktivnost aldehyd oksidaze, koja metaboliše heterociklične prstenove



Slika 6: korijen biljke *Cynanchum wilfordi*

- Postoje dokazi da alkaloidi utiču na rast biljaka, stimulatивно i regulatorno. Veliki niz primijenjenih studija u Njemačkoj i Poljskoj koje su počele 1980. godine, pokazale su da su kinolizidinski alkaloidi u sirovim ekstraktima lupina imali uticaja na količinu i kvalitet prinosa. Aplikacija ekstrakta lupina na nekoliko useva rezultirala je povećanjem prinosa od 17-20% i 15-25%. Štaviše, ovi rezultati su pokazali da je ekstrakt suvog lupina sa kinolizidinskim alkaloidima uticao na ravnotežu azotnih jedinjenja u biljkama. Povećana je koncentracija proteina i promjena sadržaja amino kiselina.
- Prinos semena pasulja (*Phaseolus vulgaris* L.) nakon primjene ekstrakta porasla je za 16,4% i izmjerena vrednost proteina s koeficijentom esencijalnih aminokiselina porasla je za 2,87%. Stimulaciona uloga alkaloida može se objasniti intenzivnim metabolizmom azota nakon aplikacije ekstrakta lupina.




Slika 7: *Phaseolus vulgaris*

- . Postoje alkaloidima bogate i siromašne biljke unutar iste vrste. Jedna takva je Vašingtonski lupin (*Lupinus polyphyllus* Lindl.), koji je sposoban da raste pod različitim klimatske uslovima na Sjevernoj i Južnoj hemisferi. Nezavisni genotipovi ove biljke sadržali su 1.74-3.15 mg alkaloida 100 mg semena, dok je jedan hibrid sadržao samo 0.0004 mg. Alkaloidni sadržaj u listovima iznosio je oko 1,6 mg u prirodnim genotipovima i 0,05 mg u hibridima. Ova biljka je intradukovana u Evropu u 19. Vijeku i brzo se distribuirala u brojnim zemljama kao dekorativna biljka i kao stočna hrana na pašnjacima i uzgajalištima divljači. Kao višegodišnja i kao biljka kod koje dolazi do ranih ukrštanja vrsta ima mnogo različitih geno i ekotipova sa različitim nivoima alkaloida



Slika 8: *Lupinus polyphyllus*

- 
- Ono što proučavanje efekta alkaloida kao regulatora rasta čini teškim je slična problemu varijacije sadržaja alkaloida u biljkama. Waller i Nowacki su pokrenuli detaljnu raspravu na ovu temu. Nivo bogatstva alkaloida će uticati na dalje dodavanje alkaloida u biljku. Međutim, sredinski faktori rasta kao što su svjetlost, vlaga, temperatura, ishrana i genetski faktori kao što su genotip i fotosintetski kapacitet vrste utiču na prkursore alkaloida i njihovog konvertovanja u alkaloide. Koncentracije ovih komponenti u biljkama utiču na njihovu aktivnost kao regulatori rasta.

- Prema studije Anszewskiog i zapažanjima koja su sprovedena u eksperimentima u Finskoj, odgovor je jednostavan nasuprot onoj koju su dali Waller i Nowacki. Biljke bogate alkaloidima imaju veću stopu rasta i veću krošnju od alkaloidima siromašnih biljaka. Ali, kada se uporedi period sazrijevanja, biljke bogate alkaloidima sazrijevaju sporije nego biljke siromašne alkaloidima. Uslovi za rast u Borealskoj zoni Finske su uglavnom vrlo povoljne za višegodišnje lupine, a naročito za Vašingtonski lupin. Populacije ove vrste su velike i vrsta ima nije imala faktore smanjenja populacije (npr. biljke ili bolesti). Brzi rast i visoka stopa dnevnog rasta se može smatrati kao rezultat regulatornih aktivnosti. Empirijska istraživanja to potvrđuju. *Lupinus angustifolius* cult. Mirela (bogat alkaloidima) raste brže od vrsta siromašnih alkaloidima. U eksperimentima u komorama srednja fotosintetička upotrba *L. angustifolius*kult.. Mirela (bogat alkaloidima) bila je $12,71\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, a to *L. polyphyllus* Lindl. (siromašan alkaloidima) je bio $10,04\text{mgCO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.



Slika 9: *Lupinus angustifolius*

Toksičnost alkaloida

- Mnogi alkaloidi su toksični za inostrane organizme. Toksičnost je sekundarna funkcija alkaloida, jer su uglavnom netoksični za organizme koji ih proizvode. Ovo je veoma važno za razumijevanje prirode alkaloida. Ima mnogo studija o toksinama alkaloida objavljenih u posljednjih nekoliko godina. Biotoksičnost alkaloida je selektivna i zavisi od organizma i hemijske strukture samih alkaloida. Višestruke veze i različite grupe veza i podgrupe naročito direktno ili indirektno utiču na mehanizme toksičnosti. (Aniszewski, 2007)