



VODA

Modul: Osnove agroekologije
Tematska cjelina: Ekofiziologija bilja
prof. dr. sc. Irena Jug

Uloga vode:

- otapalo
- sredina u kojoj se odvijaju sve životne aktivnosti
- prenositelj tvari
- turgor
- održavanje temperature u biljkama
- fotosinteza i disanje, itd.

ODNOS BILJAKA PEMA VODI

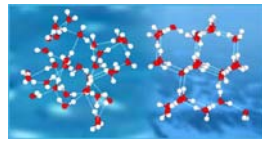
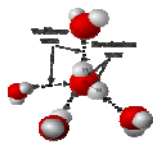
- Fiziološki procesi odvijaju se u vodenoj sredini. Sama protoplazma je kompleks hidrofiličnih koloida koji primaju vodu, bubre i na taj način potpomažu odvijanju procesa u stanici.
- Voda čini čak 90-95% težine biljaka, a kod životinja nešto manje.
- Propustljivost protoplazme za vodu je određena građom i ponašanjem citoplazmatičnih membrana (**osmoza** i difuzija).

Plazmalema-odvaja mezoplazmu od vanjske sredine i susjednih stanica

Tonoplast-odvaja mezoplazmu od vakuole

Hidrofilnost protoplazme-zadržavanje velike količine vode u stanici od čega zavisi njezina životna aktivnost

molekula vode nije simetrična što uzrokuje neravnomjerni raspored električnog naboja i polarnost vode (**dipol**) iako je molekula ukupno elektroneutralna.



- u agregatnom stanju leda na 0°C sve molekule vode međusobno su povezane vodikovim mostovima (100%)
- kod iste temperature u tekućem stanju to je 91%
- na temperaturi 25°C vodikovim vezama drži se 88.7% molekula vode, dok u plinovitom agregatnom stanju (para) nema više povezanih molekula.

Hidratacija je pojava vezivanja vode uslijed njezine **polarnosti** na električki nabijene čestice (ione ili molekule) ili površine.

Biokoloidi-vodene otopine bjelančevina:

- ❖ voda – tekuća faza
- ❖ bjelančevine – kruta, dispergirana faza

Molekule bjelančevina, zbog veličine i složene prostorne strukture, posjeduju vanjske, ali i unutarnje polarne grupe na koje se može vezati voda, a takva struktura čestica ozačava se kao **koloidna micela** koja ne difundira niti dializira.

- Koloidne čestice su istovrsnog (ukupnog) naboja što ih međusobno drži na odstojanju i održava sustav zavisno od stanja hidratiziranosti:
 - a. **sol (tekuće)**
 - b. **koagel (polutekuće)**
 - c. **gel (kruto stanje)**
- Prema drugom zakonu termodinamike **sustav je u ravnoteži kad mu je slobodna energija najmanja**, te sukladno njemu koloidni sustav pomoću dva mehanizma održava potrebnu energiju:
 - a) **smanjivanjem površine čestica** (potiče **koagulacija**) što uzrokuje pojavu **površinskog napona** i formiranje opne otapala na površini krutih čestica
 - b) **smanjivanje energije na granici dvije faze** što se

Sorpcija može biti:

- ◆ **ekvivalentna** (zamjena Li^+ i K^+)
- ◆ **supstitucijska** (zamjena Ca^{2+} i $2K^+$)
- ◆ **polarna** (veza između + i – pola)
- ◆ **specifična** (selekcija iona prema obliku i veličini kad se vežu u unutrašnjosti koloidne micelle)

- **Koloidna micela** je čestica sa sferom utjecaja veličine zavisno od ukupnog naboja, pa su molekule vode s udaljavanjem od koloidne čestice sve slabije vezane i nepravilnije grade vodeni omotač, te naposljetku predstavljaju slobodnu vodu

Difuzija - izjednačavanje koncentracije plinova ili otopina preko dodirnog sloja.

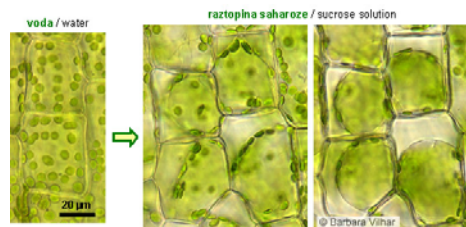
Ako se difuzija odvija kroz membranu tada se takva pojava naziva **osmoza**

Membrane mogu biti:

1. propusne (**permeabilne**)- jako porozne koje propuštaju tvari do potpunog izjednačavanja koncentracije s dvije njene strane (kada ne dolazi do osmoze)
2. polupropusne (**semipermeabilne**) koje propuštaju samo otapalo, ali ne i otopljenu tvar

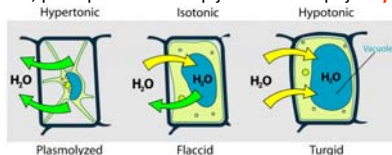
Svojstvo otopine da usvoji vodu kroz semipermeabilnu membranu naziva se **moć usisavanja (sila usisavanja) ili osmotska vrijednost otopine.**

- Žive stanice biljnih tkiva imaju osmotski tlak između 0,5 i 4,0 MPa.
- Kad se živa stanica nađe u otopini, uslijed selektivne propustljivosti vode kao otapala i otopljenih tvari u njoj, dolazi do promjena u protoplazmi.



U otopini veće osmotske vrijednosti od stanice (**hipertonična otopina**) voda će prelaziti iz stanice u

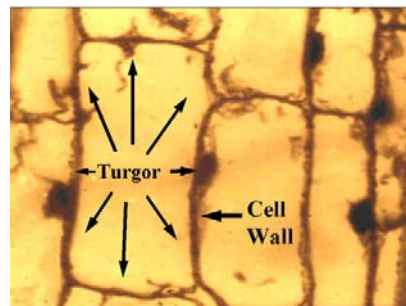
vanjsku sredinu, protoplazma se skuplja i dolazi do pojave **plazmolize**.



Suprotno, stanica uronjena u otopinu manje osmotske vrijednosti (**hipotonična otopina**) usvajati će vodu što kod plazmoliziranih stanica uvjetuje pojavu **deplazmolize**

i porast **turgora**, odnosno **turgescencija** stanica što je značajno za njihovu i čvrstoću cijelih biljaka.

Turgor raste s porastom vode u stanicama i javlja se kao reakcija na **osmotski tlak**.



- Nizak turgorov tlak manifestira se uvelim izgledom biljaka.
- Takve biljke zbog nedostatka vode imaju povećanu koncentraciju protoplazme te veći osmotski tlak, pa njihova moć upijanja vode raste.

$$S = O - T \text{ ili } S = O - (T + P)$$

- S = sila usisavanja
- O = osmotski tlak
- T = turgorov tlak
- P = tlak susjednih stanica

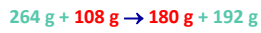
USVAJANJE VODE

- vodni režim biljaka:**
1. usvajanje vode
 2. kretanje vode kroz biljku
 3. gubljenje vode

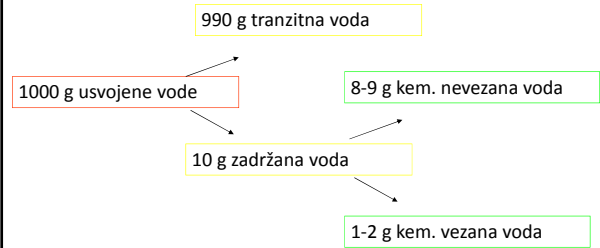
bilanca vode u biljkama ovisi o:

- razvijenosti i svojstvima korijenovog sustava, provodnog sustava i pokrovnog tkiva kroz koja se gubi voda
- sadržaju i raspoloživosti vode u tlu, temperaturi, aeraciji, opskrbljenosti biljke hranivima, itd

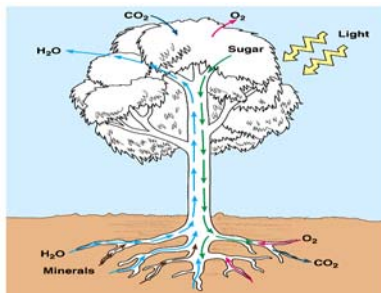
Biljke su veliki potrošači vode, ali samo mali njen dio učestvuje u građi organske tvari pa se na 6 molekula CO₂ veže 6 molekula vode za sintezu jedne molekule glukoze:



$$108 / 180 = 0,6 \text{ g H}_2\text{O g glukoze}^{-1}$$



Iako se po gramu šećera veže 0,6 g vode (108 g H₂O/180 g glukoze), biljke u sintezi organske tvari troše oko 1g vode po 1g suhe tvari, dok najveći dio usvojene vode "prođe" kroz biljku u *transpiracijskoj struji* prenoseći hranjive tvari kroz biljku i hladeći fotosintetski aparat.



Transpiracijski koeficijent – utrošak vode (g) potreban za sintezu 1 g ST

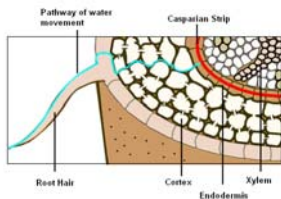
lucerna	800
ječam	500
pšenica	500
suncokret	500
šećerna repa	450
krumpir	400
kukuruz	300
šećerna trska	250

Usvajanje vode:

PASIVNO – po apoplastu (prividno slobodan prostor korijena-intercelularni prostori i stanične stijenke do Kasparijevog pojasa endoderme

- 4-6 % ukupnog volumena korijena
- zakon difuzije

AKTIVNO- po simplastu - znatno sporiji u odnosu na apoplast, jer svaka stanica pruža velik otpor (10 KPa).



- Prolaženje vode kroz Kasparijev pojas suberiniziranih stanica endoderme je aktivan proces u kojem se troši energija.
- Odnos između aktivnog i pasivnog usvajanja je promjenjiv za različite biljke. Vodene biljke usvajaju vodu isključivo aktivnim načinom, dok ju npr. četinari pretežno usvajaju pasivno.
- Omjer načina usvajanja vode se mijenja zavisno od sadržaja vode u tlu i biljci. Dokaz da se voda usvaja aktivno je plač biljaka (npr. vinove loze kad je tlo toplo, a biljka još nema lišća) i fiziološka suša kad biljke iz hladnog tla (koje sadrži dovoljno vode), ali uz mogućnost transpiracije, ne mogu ipak usvajati vodu (npr. pšenica zimi).

Oblici vode u biljkama

Slobodna ili transpiracijska voda

- ☞ struji od korijena preko stabljike do lišća, odnosno nadzemnih organa biljke gdje se gubi;
- ☞ u stanicama ne mijenja svoja fizikalno-kemijska svojstva i utječe na intenzitet fizioloških procesa;
- ☞ služi za regulaciju topline biljke i transport tvari iz korijena u druge dijelove biljke.

Vešana ili metabolička voda

- ☞ ima izmijenjena svojstva zbog različitog oblika veze i određuje stupanj otpornosti biljaka na nepovoljne uvjete; vezana za organske spojeve u protoplazmi.

❖ Biljke sadrže prosječno 85-95% vode

❖ sadržaj vode se znatno mijenja zavisno od:

- ✓ biljne vrste,
- ✓ organa,
- ✓ starosti (stadija),
- ✓ temperature,
- ✓ vlažnosti zraka i tla,
- ✓ mineralne ishrane i dr.

- ✓ korijen pšenice u početku vegetacije sadrži manje vode od lišća, a na kraju vegetacije znatno više
- ✓ sadržaj vode u zrnu pšenice smanjuje se od 80% na 65% u početku mliječne zrelosti, na 40% u početku voštane zrelosti, te na 18-20% u početku pune zrelosti.
- ✓ starije lišće kukuruza sadrži više vode od mlađeg.
- ✓ starošću biljke smanjuje se omjer slobodne prema vezanoj vodi, odnosno raste udjel vezane vode, ali ta raspodjela zavisi i o starosti pojedinih listova, kao i ukupnog sadržaja vode u biljci.

Smanjivanjem relativnog sadržaja vode na:

- 70-80% - inhibicija metaboličkih funkcija (disanje, fotosinteza)
- 50-60% - smrt

Biljke neprekidno primaju i gube vodu. Ako je biljka dobro opskrbljena vodom, za toplog i sunčanog dana listovi mogu tijekom 1 sata promijeniti ukupan sadržaj vode

Promjena sadržaja i omjera vezane prema slobodnoj vodi može se u biljkama zapaziti i tijekom dana što zavisi najviše o dnevnoj temperaturi i vlažnosti zraka.

Atmosferska suša ima manje efekte ako je dovoljan sadržaj vode u tlu i kada su biljke dobro ishranjene (posebice kalijem) te dobro ukorijenjene, odnosno ako su adaptirane na nedostatak vlage u tlu tijekom prethodnog dijela vegetacije.

KRETANJE VODE U BILJKAMA

Kretanje vode u prirodi obuhvaća:

1. Evaporaciju – isparavanje vode s površine tla ili vode
2. Transpiraciju – gubitak vode iz biljaka
3. Kondenzaciju - prelazak vodene pare u tekući ili kruti oblik
4. Precipitaciju - oborine
5. Otjecanje – površinski tokovi
6. Perkolaciju – infiltracija, prolazak vode kroz pore tla do podzemne vode
7. Podzemne vode

Kretanje vode u biljci :

- ✓ **ekstravaskularno** – od stanice do stanice – apoplast
- ✓ **vaskularno** – kroz provodna tkiva

Ekstravaskularna pokretljivost vode je malog intenziteta i temelji se na osmotskim silama.

- Danas se uglavnom smatra da se voda ekstravaskularno premješta korijenom pretežito kroz mikrokapilare staničnih stjenki prenoseći i otopljene mineralne tvari (intermicelarno po apoplastu) koje su međusobno povezane sve do endoderme.
- Aktivnim premještanjem vode kroz endodermu do pericikla i provodnih tkiva, dalje se ascendentno (prema gore) voda premješta vaskularno ksilemom.

- Kod gimnospermi provodne stanice su traheide (s jamicama), a kod angiospermi to su traheje duge ~10 cm (kod biljaka iz porodice ljiljana traheje mogu biti duge 3-5 m s promjerom 0,2 mm).
- Ascendentno premještanje vode kroz ksilem omogućeno je "dvomotornim" mehanizmom koji sačinjavaju negativni hidrostatski tlak nastao kao posljedica transpiracije, a potpomognut je korijenskim tlakom.
- Omjer između te dvije sile je različit zavisno od biljne vrste, ali i uvjeta sredine.

GUBLJENJE VODE IZ BILJAKA

Voda se gubi iz biljaka na više načina:

- ❑ u obliku tekućine (**gutacija i plač biljaka**)
- ❑ kao vodena para (**transpiracija**).

Gutacija - gubljenje vode u vidu kapljica.

- javlja se u uvjetima dobre opskrbljenosti biljaka vodom, visoke temperature tla i visoke relativne vlage zraka (kad transpiracija nije moguća).
- višak vode iz biljke izlučuje se tada kroz **pasivne vodene puči-hidatode** (aktivne su kod koprive). S vodom se izdvajaju i u njoj otopljene tvari, posebno kod starijeg lišća. Npr. gutacijom se lako izdvajaju Na i Mn, a u manjoj količini Fe, Zn, P i Cl. Osim elemenata izdvajaju se i manje količine organskih kiselina, aminokiselina i šećera.

- izlučivanje vode u vidu tekućine značajno je za podvodne (**submerzne**) i biljke tropskih područja, a događa se samo onda kad je prisutan korijenski tlak.



PHOTO BY WAN HUSMI

Plač biljaka ili suzenje (eksudacija) se zapaža kod povrede biljaka kao posljedica korijenskog tlaka koji potiskuje vodu ascendentno do prekida ksilema.

Zbog toga se plač biljaka zapaža u proljeće, odnosno kad je tlo toplo i sadrži obilje vode, a transpiracija je znatno smanjena zbog nerazvijenog lišća.

Količina **eksudata** dostiže:

- ✓ kod vinove loze 1 dm³/24h/biljka
- ✓ kod breze 5 dm³/24h
- ✓ neke palme izluče 10-15 dm³ vode za jedan dan.



Eksudat sadrži veću koncentraciju mineralnih tvari u odnosu na gutaciju.

Transpiracija je najčešći način gubitka vode iz živih biljaka i to u vidu vodene pare. Razlikuje se od **evaporacije** (isparavanje vode sa slobodnih površina) jer je isparavanje vode izmjenjeno anatomijom biljnih organa, posebice lišća i regulirano posebnim fiziološkim mehanizmima rada puči.

Parametri za ocijenu transpiracije najčešće su:

- **Intenzitet transpiracije**
- **Produktivnost transpiracije**
- **Transpiracijski koeficijent**
- **Relativna transpiracija**

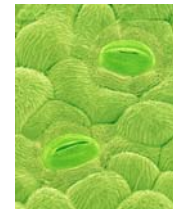
- **Intenzitet transpiracije** je izgubljena količina vode po jedinici površine lista u jedinici vremena i prosječno iznosi $15-250 \text{ g H}_2\text{O/m}^2$ tijekom dana i $1-20 \text{ g H}_2\text{O/m}^2$ tijekom noći.
- **Produktivnost transpiracije** označava količinu sintetizirane suhe tvari za 1 kg transpirirane vode i prosječno iznosi $3 \text{ g ST/kg H}_2\text{O}$.
- **Transpiracijski koeficijent** je recipročna vrijednost od produktivnosti transpiracije i pokazuje koliko biljka troši vode za sintezu jedinice suhe tvari, a nalazi se u granicama $125-1000 \text{ kg H}_2\text{O /kg suhe tvari}$ (prosječno za poljoprivredne usjeve našeg klimata je $300-500 \text{ kg H}_2\text{O /kg}$).
- **Relativna transpiracija** je omjer evaporacije i transpiracije s jednake površine.

TRANSPIRACIJA je proporcionalna temperaturi, površini s koje se voda gubi i deficitu zasićenosti atmosfere vodenom parom

vidovi transpiracije:

1. **kutikularna** (epidermalna) - ovisi o debljini kutikule i recipročna je starosti biljke
2. **lenticelarna** - kroz otvore na kori (lenticele) drveća – ljeti do 30 % ukupne transpiracije
3. **peridermalna** - kroz koru drveća
4. **kroz plodove** - značajno za krupne plodove
5. **kroz puči** - najznačajniji vid transpiracije

Puči ili stome su otvori u epidermi lista okruženi s dvije posebne **stanice zapornice**. Otvorene puči su eliptičnog oblika, širine otvora $4-12 \mu\text{m}$ i dužine $10-40 \mu\text{m}$. Broj im je promjenjiv u granicama $1000-2000/\text{cm}^2$ kod žitarica do $100\,000/\text{cm}^2$ kod hrasta.



POTREBE BILJAKA ZA VODOM

Potrebe biljaka u vodi razlikuju se po biljnim vrstama, razvojnom stadiju, sklopu biljaka i drugim biološkim posebnostima, ali i fizikalnim svojstvima tla koja određuju iznos **retencije**, **raspoloživost** i **kretanje vode** u tlu, određene **teksturne klase**, **agrotehnike** (obrade, gnojidbe i dr.), **klimatskih parametara**, **fiziografije** itd.

Iskustvo, ali i mnogobrojna istraživanja pokazuju da **postoji kritičan period** kada se nedostatak vode najviše odražava na visinu poljoprivrednog prinosa.

- **Fiziološka suša** –u tlu ima dovoljno vode ali je njeno usvajanje korijenom ograničeno nepovoljnom temperaturom (npr. pšenica zimi), zaslanjenošću, anoksijom, itd.
- Potrebe biljaka za vodom se razlikuju ovisno o **biljnoj vrsti**, **razvojnom stadiju** i **sklopu**, ali i o **fizikalnim svojstvima tla** (retencija, kretanje i raspoloživost vode u tlu određene teksturne klase), o **agrotehnicima** (obrada tla, gnojidba), o **klimatskim parametrima** itd.
- Suvišak vode u tlu također negativno utječe na rast i razvitak biljaka (zbog **anaerobioze**) pa se smatra da je najpovoljniji sadržaj vode u tlu **60- 70% od PVK** (*poljskog vodnog kapaciteta*).

- **Akutan nedostatak vode** manifestira se kao uvelost biljaka i može uzrokovati **prolazno** ili **trajno uvenuće**.
- Prolazno uvenuće često se zapaža u vrelom dijelu dana kad velik gubitak vode transpiracijom biljke, zbog otpora provodnih tkiva, ne mogu nadoknaditi. Uveče kad se temperatura snizi, biljke kod prolaznog uvenuća brzo uspostavljaju ravnotežu vodne bilance.
- Trajno uvenuće mnogo je opasnije za biljke jer zbog niskog sadržaja vode u tlu odumiru korijenske dlačice i biljka gubi kontakt s česticama tla.

❖ Biljne vrste različito podnose nedostatak vode pa tako **kukuruz** podnosi **25-30% vodnog deficita**, dok je za neke biljne vrste ta granica na svega **5-10%** što ovisi prvenstveno o anatomskim svojstvima, ali i načinu uzgoja biljaka.

❖ **Kritični nedostak vode** u biljkama (**subletalni deficit**) –dovodi do odumiranja najosjetljivijih stanica i tkiva koja sudjeluju u transportu vode. Prekoračenjem **letalne granice** nastupaju **nekrotične promjene** na biljkama (od odumiranja manjih dijelova do smrti pojedinih organa i cijele biljke) i nakon **letalnog deficita** biljke niti uklanjanjem u vodu ne mogu povratiti prvobitnu težinu.

BILJNA VRSTA	KRITIČAN PERIOD
ozime žitarice	vlatanje - klasanje
jare žitarice	vlatanje - klasanje
kukuruz	metličenje – mliječna zrioba
leguminoze	cvjetanje
suncokret	formiranje glavice - cvjetanje
pamuk	cvjetanje – formiranje čahure
lubenice	cvjetanje
sjemnska š. repa	pojava stabljike - cvjetanje
krumpir	cvjetanje – formiranje gomolja
rajčica	cvjetanje – formiranje ploda

biljna vrsta	kritični deficit %	letalni deficit %
lucerna	70	73
grašak	65	68
šećerna repa	62	66
grah	54	59
rajčica	52	56
krastavac	51	54
suncokret	50	52
mrkva	42	44
soja	41	46

ENDOGENA VODA I NJEN ZNAČAJ ZA BILJKE

- Voda u biljke dopijeva iz vanjske sredine (**egzogena**), ali može nastati u biljci kao produkt različitih biokemijskih reakcija u različitim fiziološkim procesima (**endogena** ili **metabolitska voda**).
- Endogena voda ima sva fizikalno-kemijska svojstva egzogene vode, lako se uključuje u sve fiziološke procese, a kod sukulenih biljaka koje su prilagođene uvjetima suše endogena voda ima vrlo značajnu ulogu.
- Sukulente imaju specifičan metabolizam (CAM), posebice fotokemizam uz reutilizaciju kisika što smanjuje promet plinova s vanjskom sredinom (CO₂ i O₂) uz vrlo niske gubitke vode.



TEMPERATURA

- utječe na većinu fizioloških procesa u biljci, uključujući fotosintezu, transpiraciju, disanje, klijanje i cvatnju. Povećanjem temperature povećava se i intenzitet fotosinteze, transpiracija i disanje.
- ovisno o dužini dana, temperatura utječe na prijelaz iz vegetativne u reproduktivnu fazu



Rasprostranjenost biljnih vrsta uvjetovana je njihovom otpornošću i zahtjevima prema temperaturi, stvorenim tijekom filogeneze

S obzirom na afinitet prema temperaturi biljke dijelimo na:

- termofilne
- mezofilne
- psihofilne

Termofilne biljke

Zimzeleni broč - *Rubia peregrina*



Rogač - *Ceratonia siliqua*

Psihofilne biljke

Dryas octopetala



kamenjarski šaš - *Carex rupestris*

TERMOPERIODIZAM – stimuliranje rasta i razvoja biljke smjenom dnevnih i noćnih temperatura



- Temperatura indirektno utječe na produkciju suhe tvari utjecajem na fiziološke procese.
- Zahtjevi prema temperaturi se mijenjaju tijekom rasta i razvoja biljke
- Kardinalne temperaturne točke variraju tijekom rasta i razvoja, ali i tijekom jednog dana jer smjena optimalno visokih dnevnih temperatura i optimalno niskih noćnih temperatura bitno utječu na morfogenezu zbog optimalnog odnosa produkcije i potrošnje organske tvari