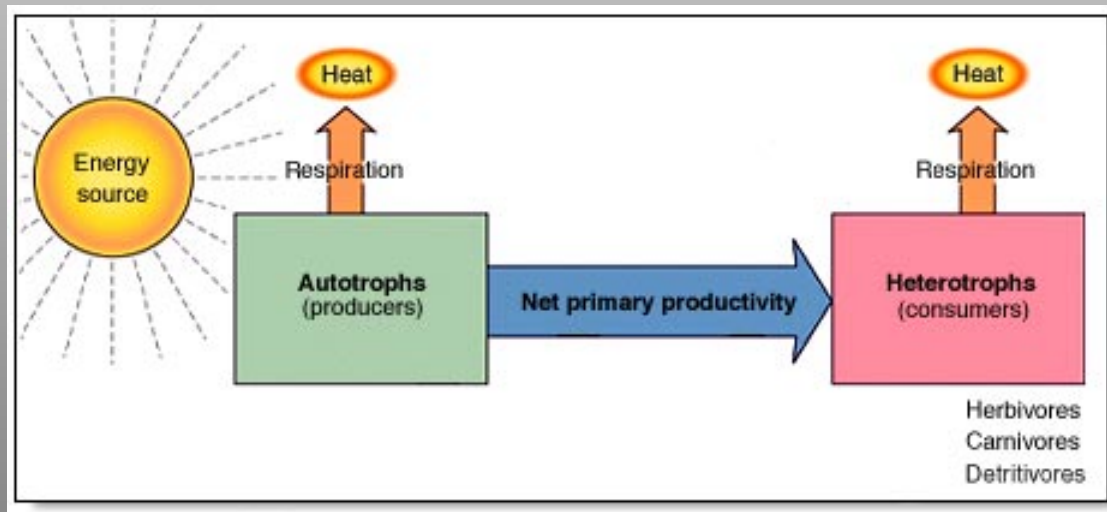


EKOLOGIJA EKOSISTEMA

- 1. Koncept ekosistema**
- 2. Trofičke razine u ekosistemu**
- 3. Proizvodnja i protok energije kroz ekosistem**
- 4. Kruženje tvari kroz ekosistem**
- 5. Regeneracija hranjiva u ekosistemu**



PROIZVODNJA I PROTOK ENERGIJE KROZ EKOSISTEM



Produktivnost ekosistema

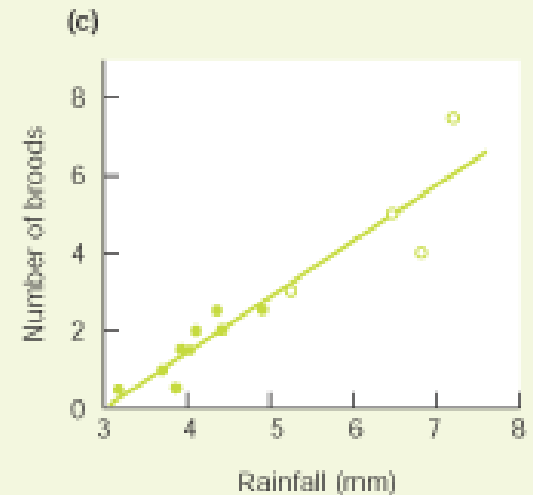
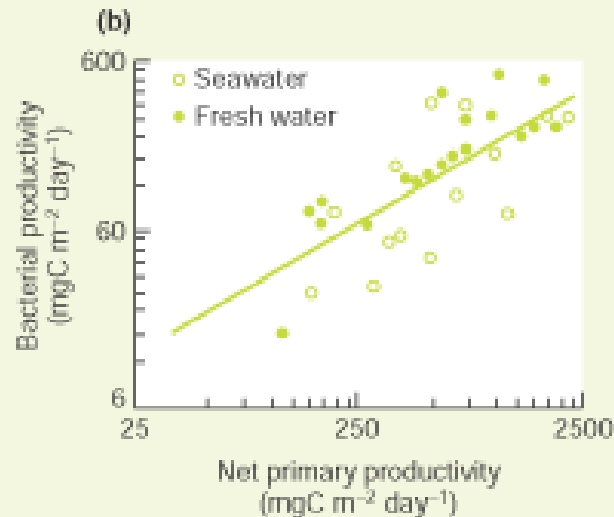
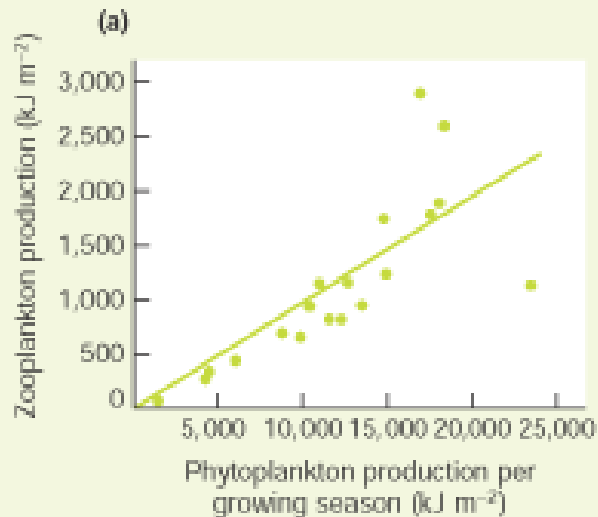
PRIMARNI PRODUKTIVITET: Produktivitet na razini proizvođača (autotrofna proizvodnja)

SEKUNDARNI PRODUKTIVITET: Produktivitet na razini potrošača (heterotrofna proizvodnja)

NETO-AUTOTROFNI EKOSISTEM – Ekosistem u kojem je autotrofna proizvodnja veća od heterotrofne

NETO-HETEROTROFNI EKOSISTEM – Ekosistem u kojem je heterotrofna proizvodnja veća od autotrofne

Između primarne i sekundarne proizvodnje općenito postoji pozitivna korelacija



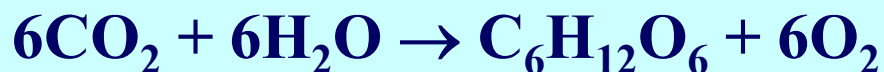
Fitoplanktonska proizvodnja
: zoplanktonska proizvodnja

Primarna proizvodnja :
bakterijska proizvodnja

Primarna proizvodnja
: proizvodnja velikih
herbivora u Africi

Primarna proizvodnja: **Fotosinteza**

Fotosinteza je proces pomoću kojega biljke hvataju energiju sunca i transformiraju je u energiju kemijskih veza u ugljikohidratima:



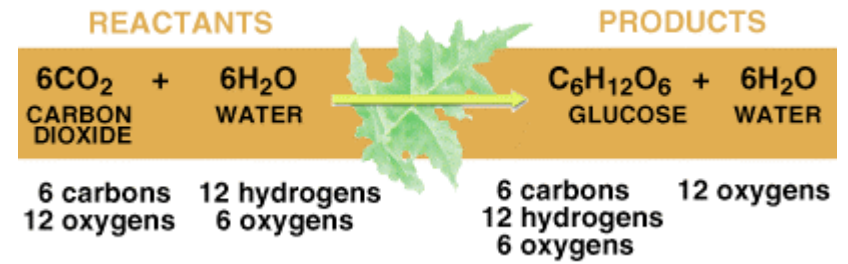
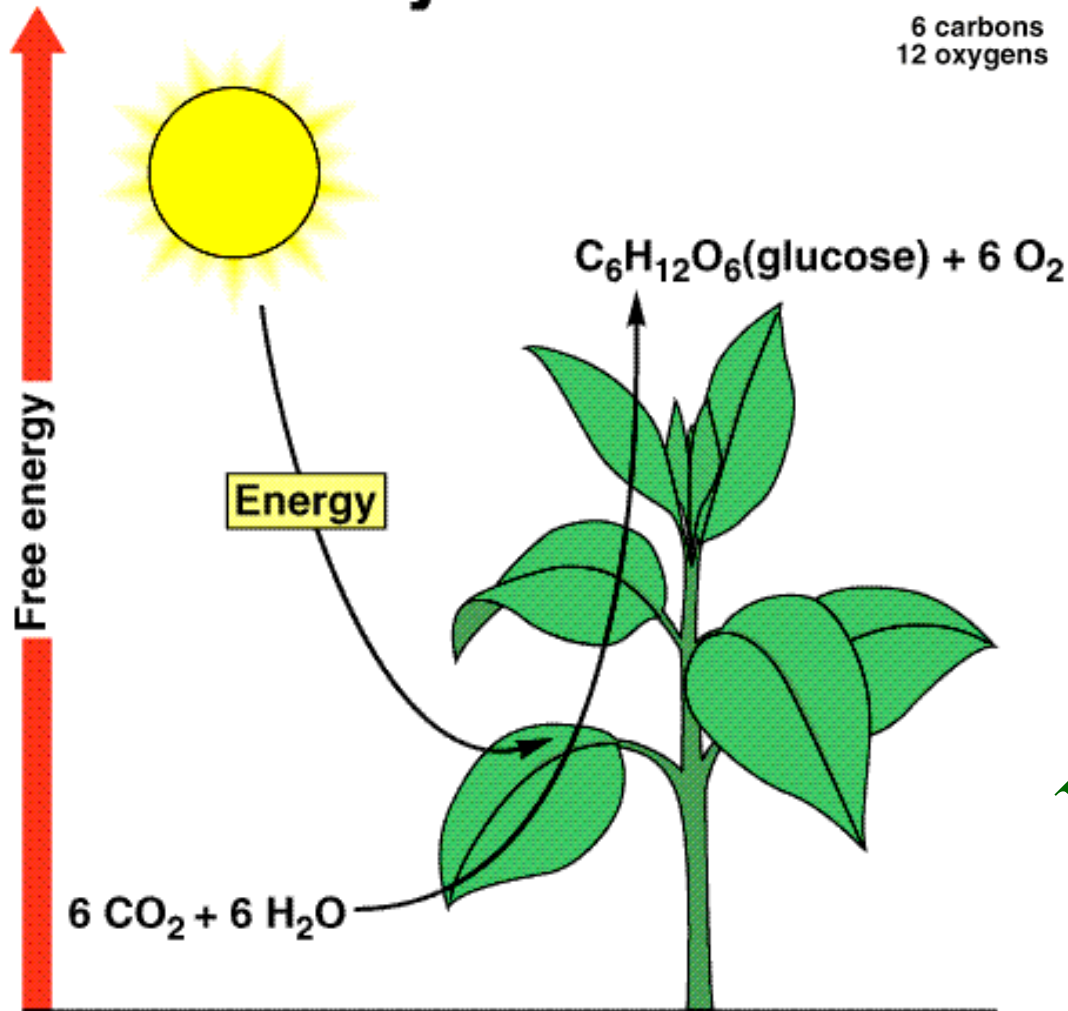
Fotosinteza transformira atom ugljika iz oksidiranog stanja (CO_2) u reducirano (ugljikohidrat). Za taj je proces potrebna energija koju biljka dobiva od sunca.

Za svaki gram asimiliranog ugljika biljka pohranjuje 39 kJ energije.

Zbog neefikasnosti fotosinteze od ukupne energije koju apsorbiraju fotosintetski pigmenti, u molekule ugljikohidrata se ugradi najviše 34%, a često i znatno manje

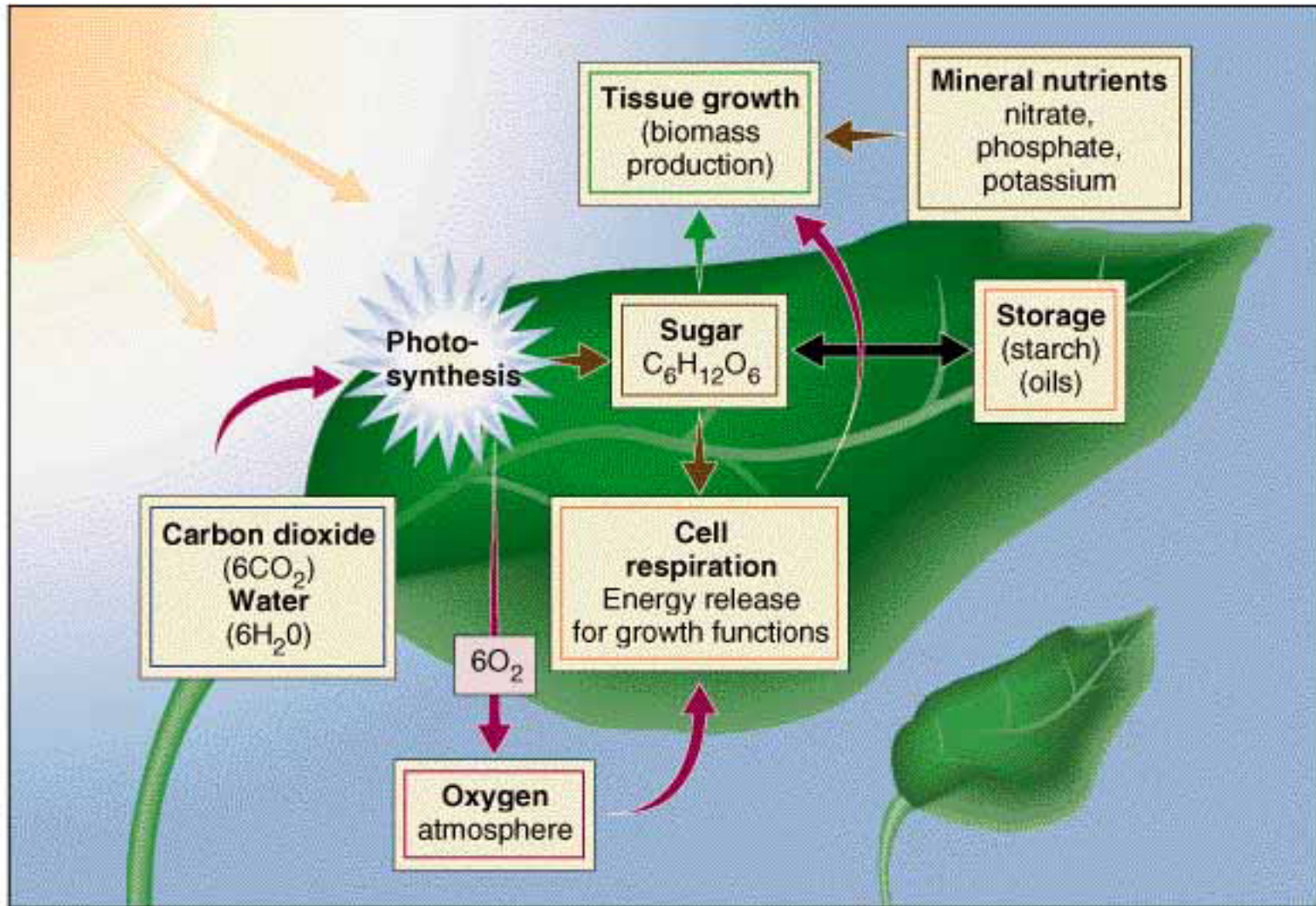
Ukupna fiksacija energije na Zemlji kroz primarnu proizvodnju iznosi oko 10^{17} kcal godišnje

Photosynthesis

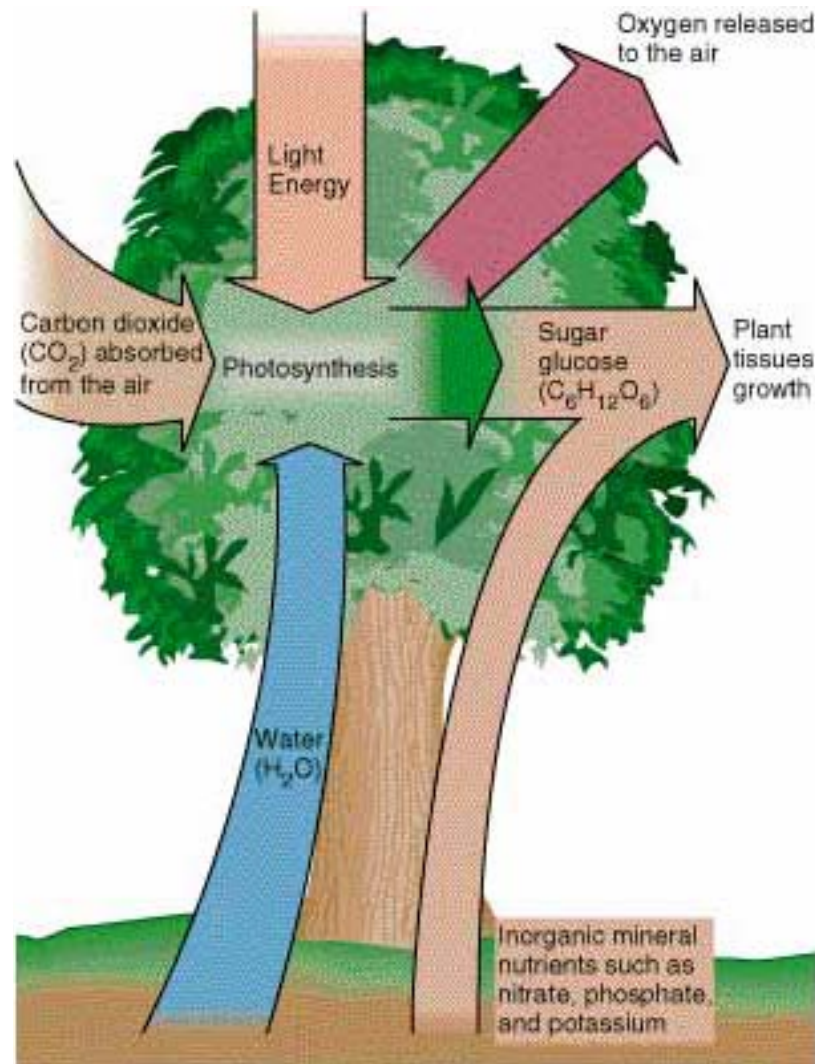


Fotosinteza

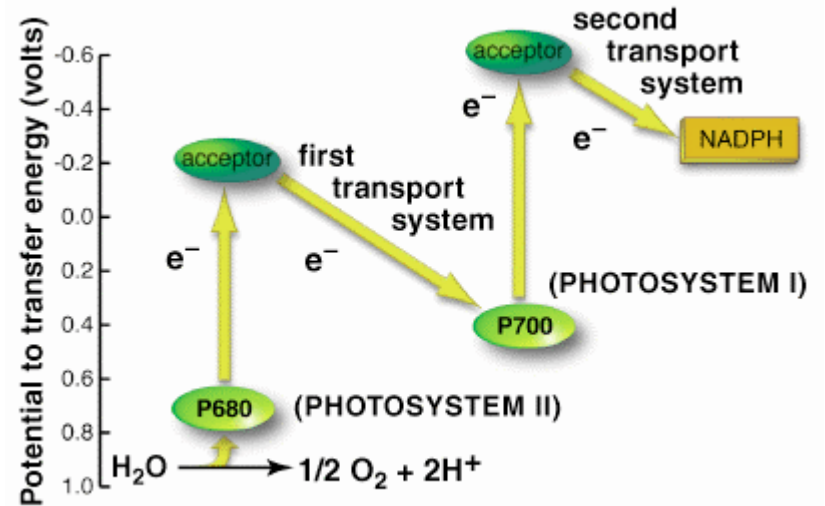
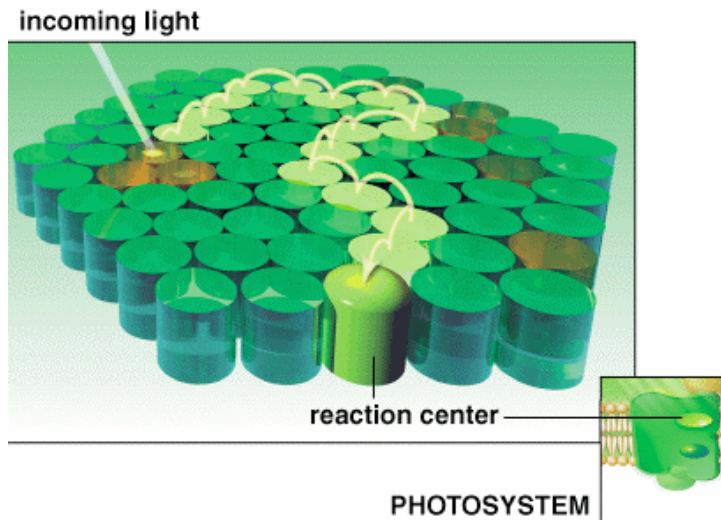
Fotosinteza



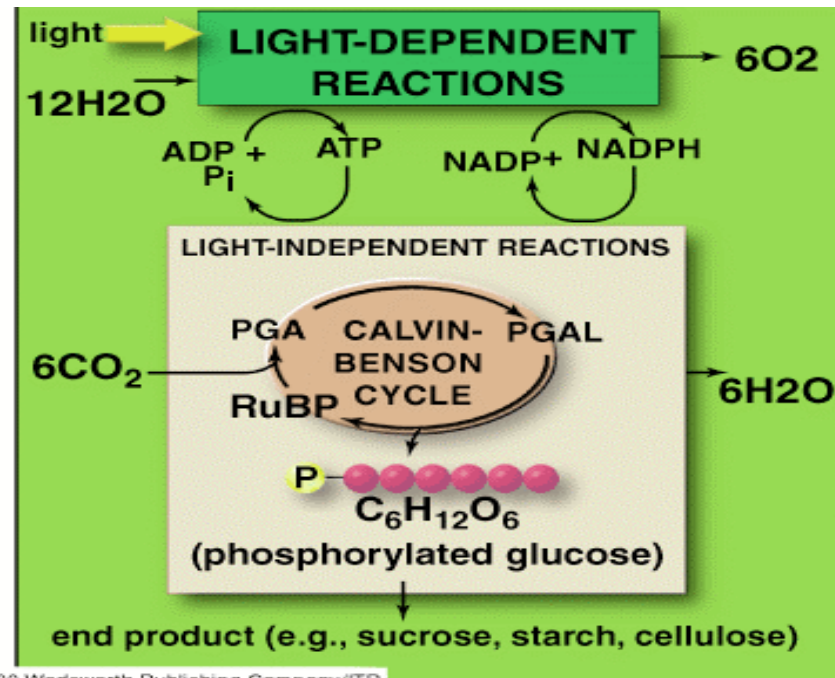
Fotosinteza



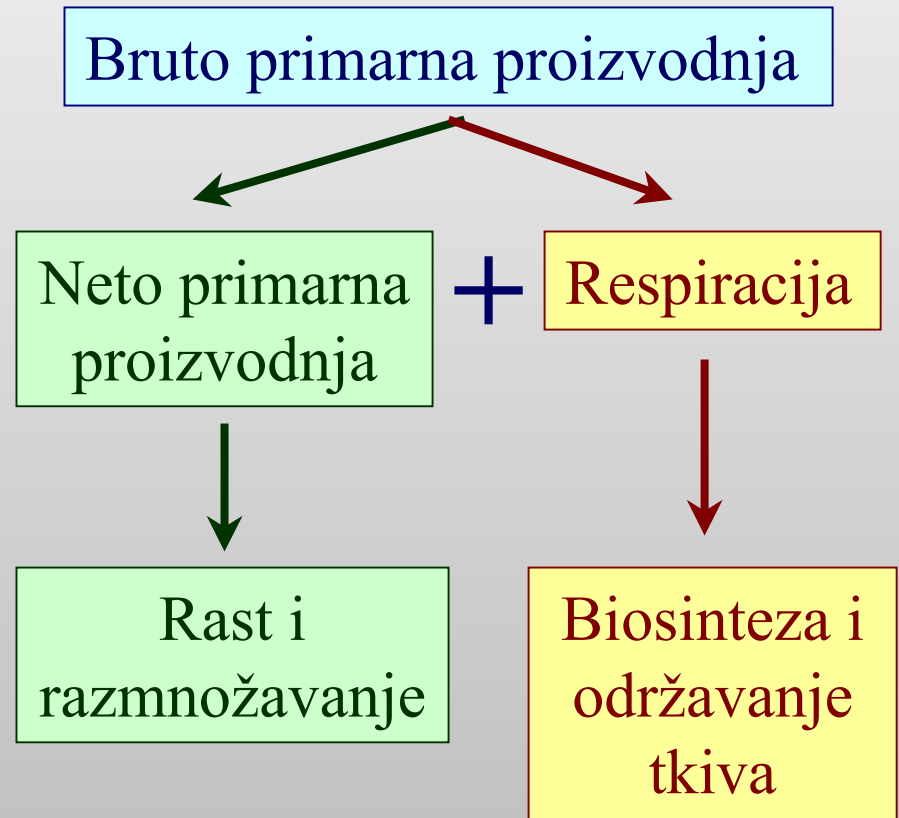
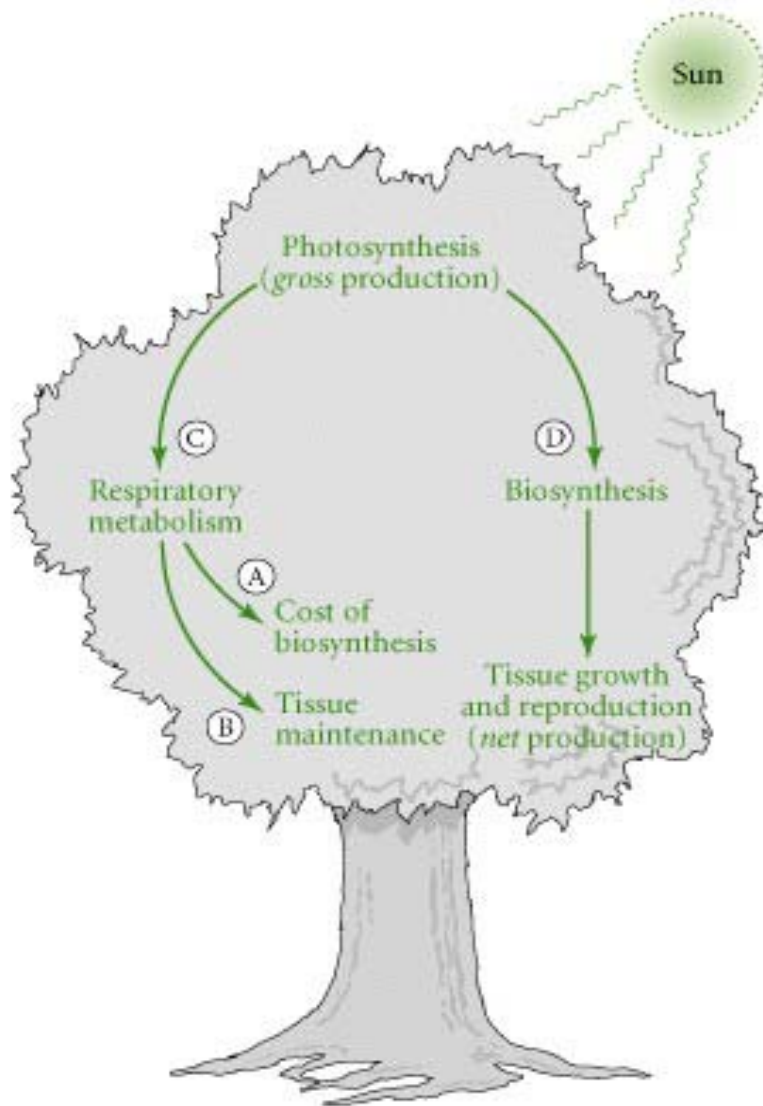
M. Šolić: Osnove ekologije



Biokemijske
reakcije u
fotosintezi



Primarna proizvodnja: Fotosinteza



Fotosintetski aktivno zračenje

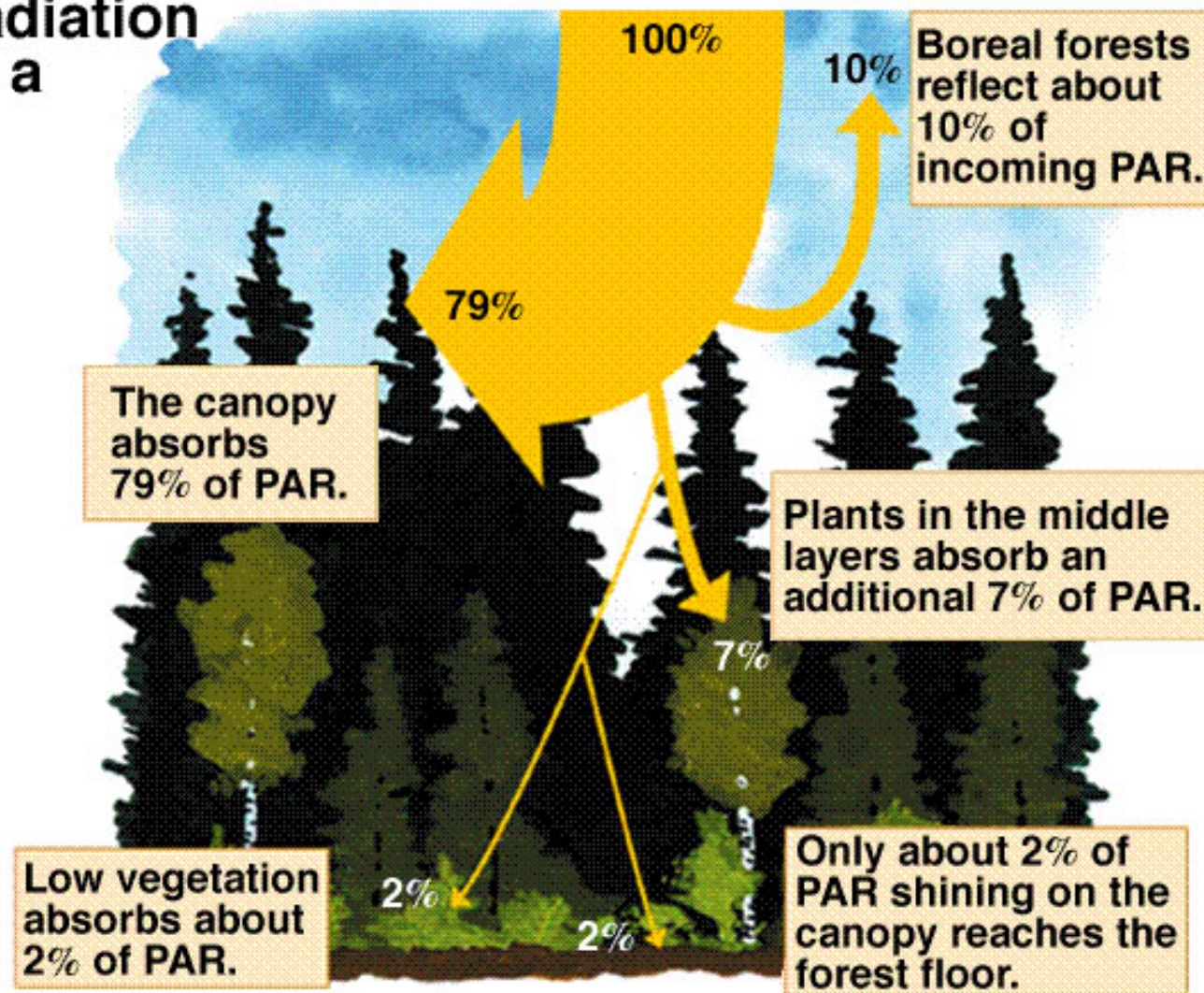
Photosynthetically active radiation (PAR) in a boreal forest.

Od ukupnog sunčevog spektra na morskoj razini imamo:

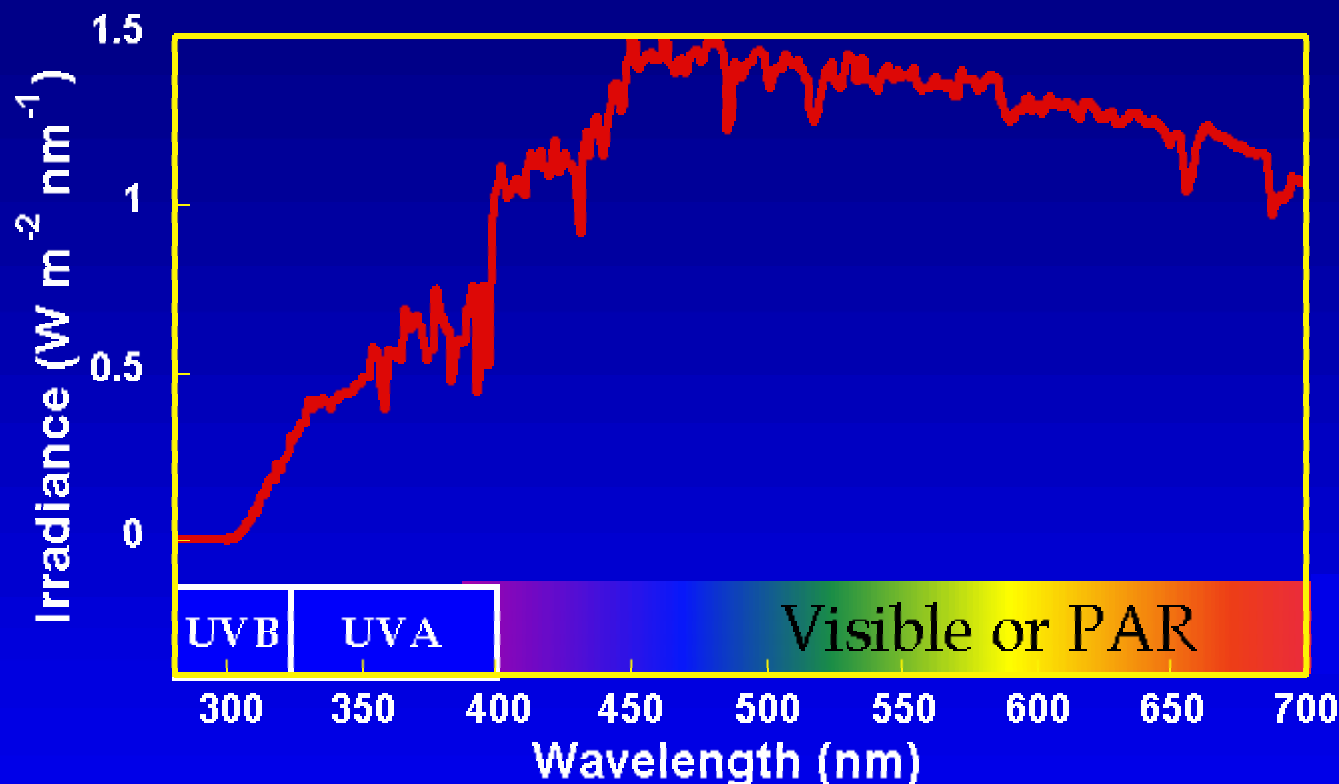
45% - fotosintetski aktivno zračenje (PAR)

53% - infracrveno

2% - UV-zračenje



Visible and UV Irradiance



-Visible: 400 to 700 nm

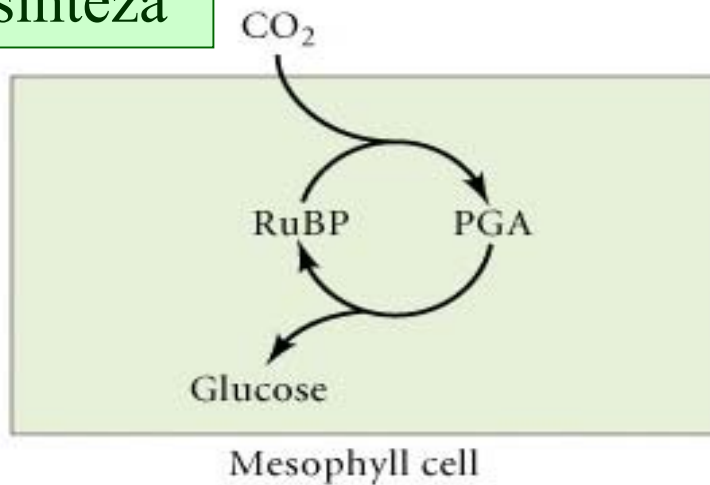
- Also called Photosynthetically Available Radiation (PAR)

ABOUT 45% OF INCIDENT SOLAR RADIATION IS PAR

-Ultraviolet

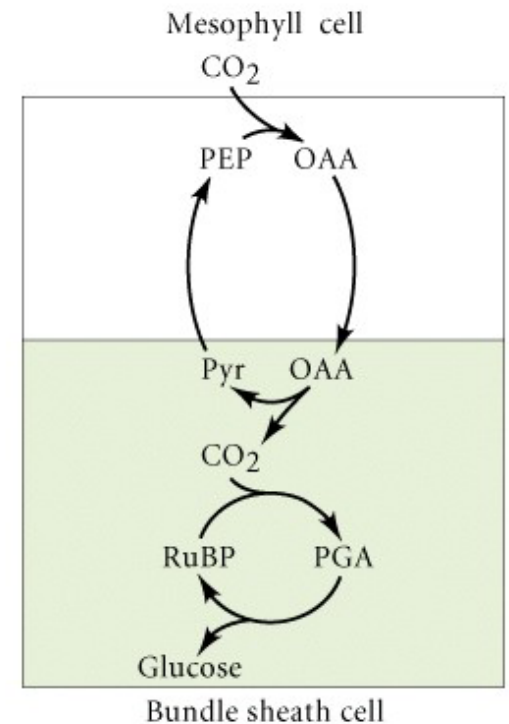
- UVA 315 (or 320) to 400 nm, UVB 280 to 320 nm, UVC 200 to 280 nm

C₃-fotosinteza

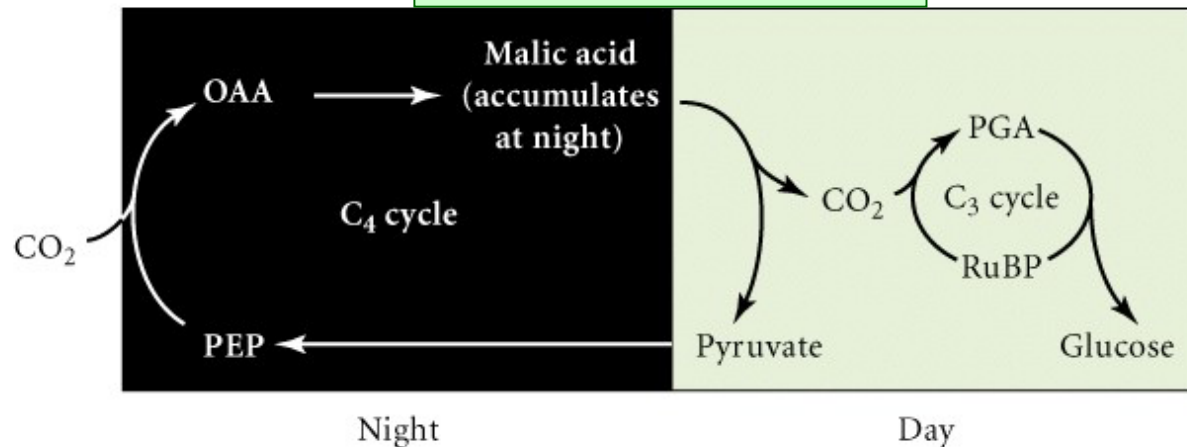


Alternativni putevi fotosinteze

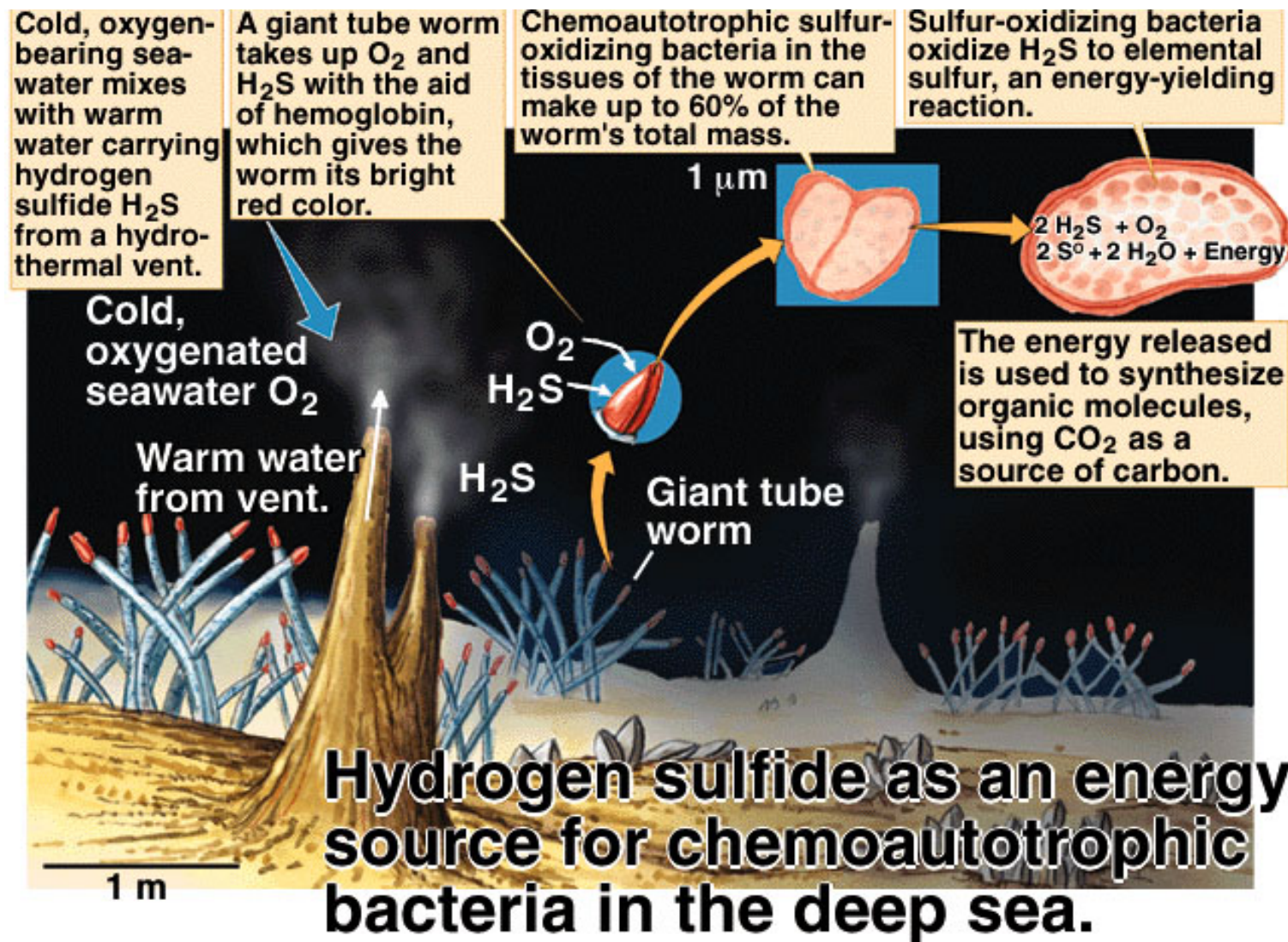
C₄-fotosinteza



CAM-fotosinteza



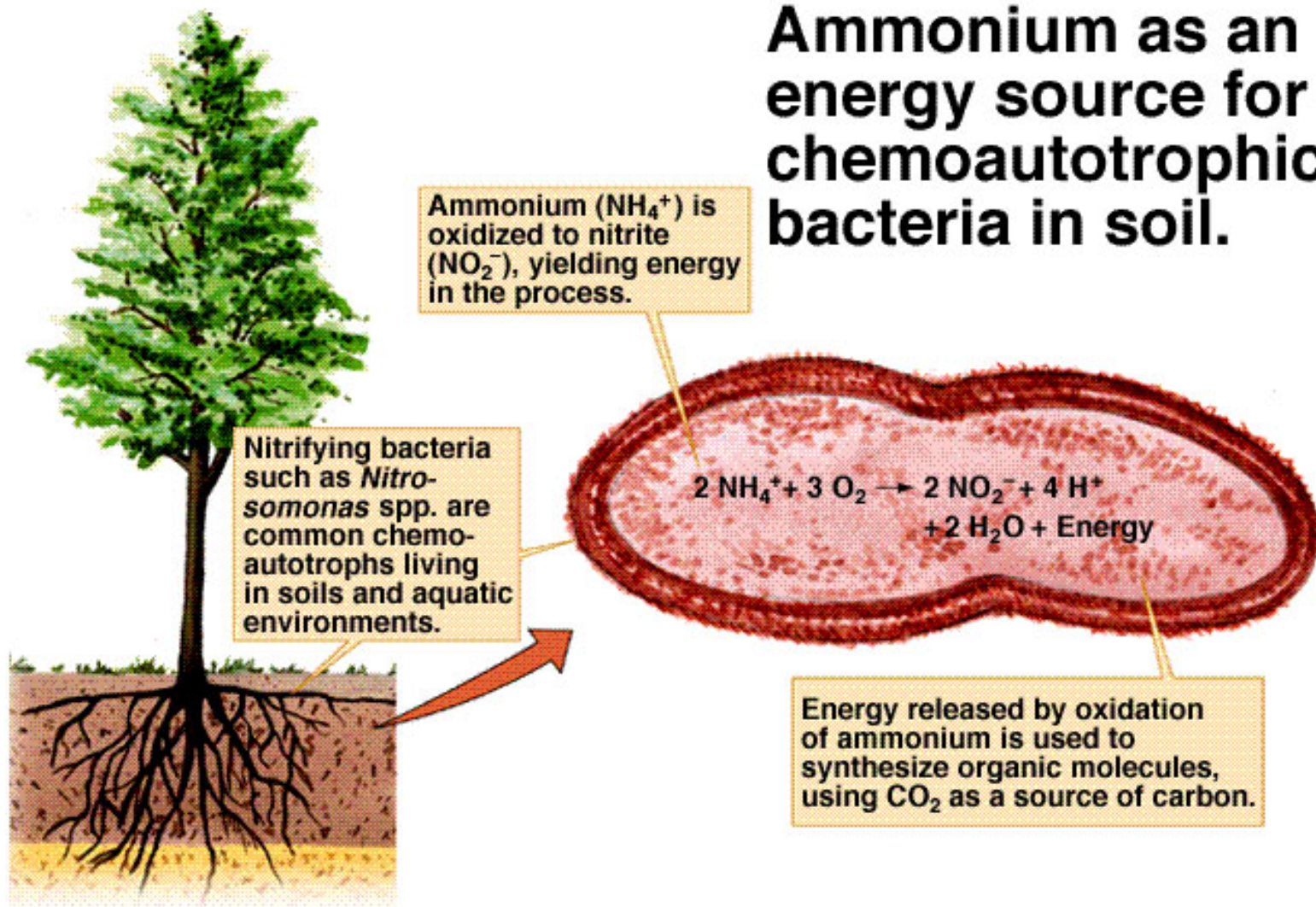
Primarna proizvodnja: Kemosinteza



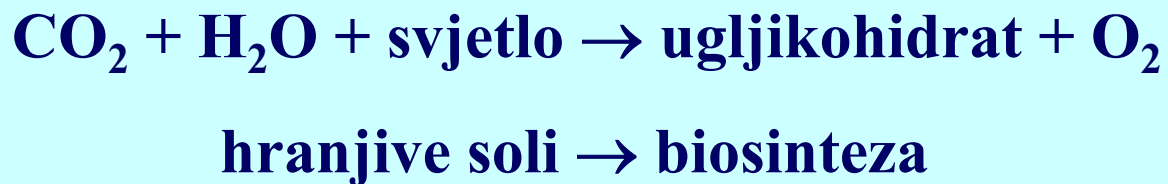
Kemosinteza

Kemosintetski autotrofi se sastoje od vrlo raznolikih skupina bakterija. Bakterije su trofički najraznolikija skupina organizama na Zemlji

Ammonium as an energy source for chemoautotrophic bacteria in soil.



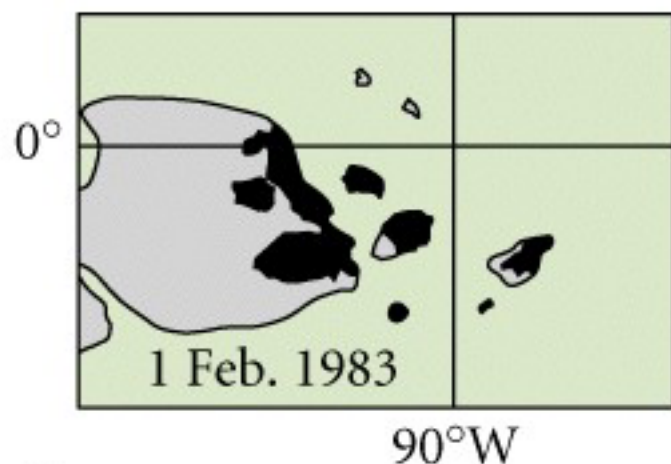
Metode mjerenja primarne proizvodnje



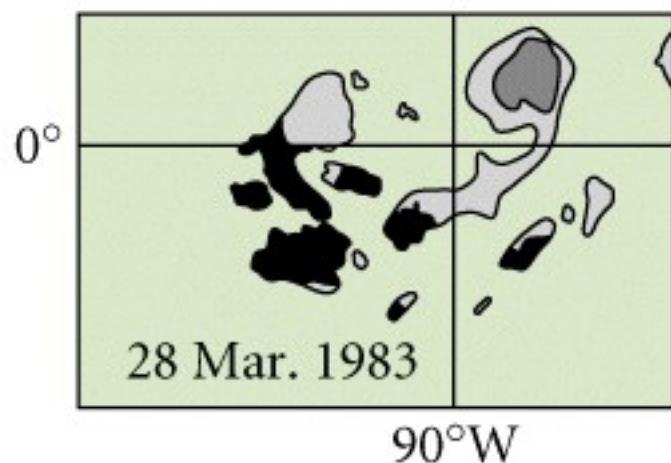
Svaki od navedenih parametara s lijeve i desne strane kemijske reakcije može biti potencijalni parametar za procjenu primarne proizvodnje

Metode za mjerenje biljne proizvodnje variraju ovisno o staništu i formi rasta

Metoda	Kopnena staništa	Vodena staništa
Kalorimetrija	Koristi se	Ne koristi se
Porast biljne biomase (berba, žetva)	Česta metoda (neto proizvodnja iznad tla)	Rijetka u vodama (kelp)
Potrošnja CO ₂	Pogodna metoda zbog niske konc. CO ₂	Neprikladna metoda zbog visoke konc. CO ₂
Proizvodnja kisika	Neprikladna metoda zbog visoke konc. O ₂	Pogodna metoda zbog niske konc. O ₂
Radioaktivno obilježavanje (¹⁴ C)	Pogodna metoda (¹⁴ C-CO ₂)	Najvažnija metoda u vodama (¹⁴ C-HCO ₃ ⁻)
Koncentracija klorofila (korištenje satelita)	Ne koristi se za kopno	Često se koristi (neprecizna, ali brza)



(a)



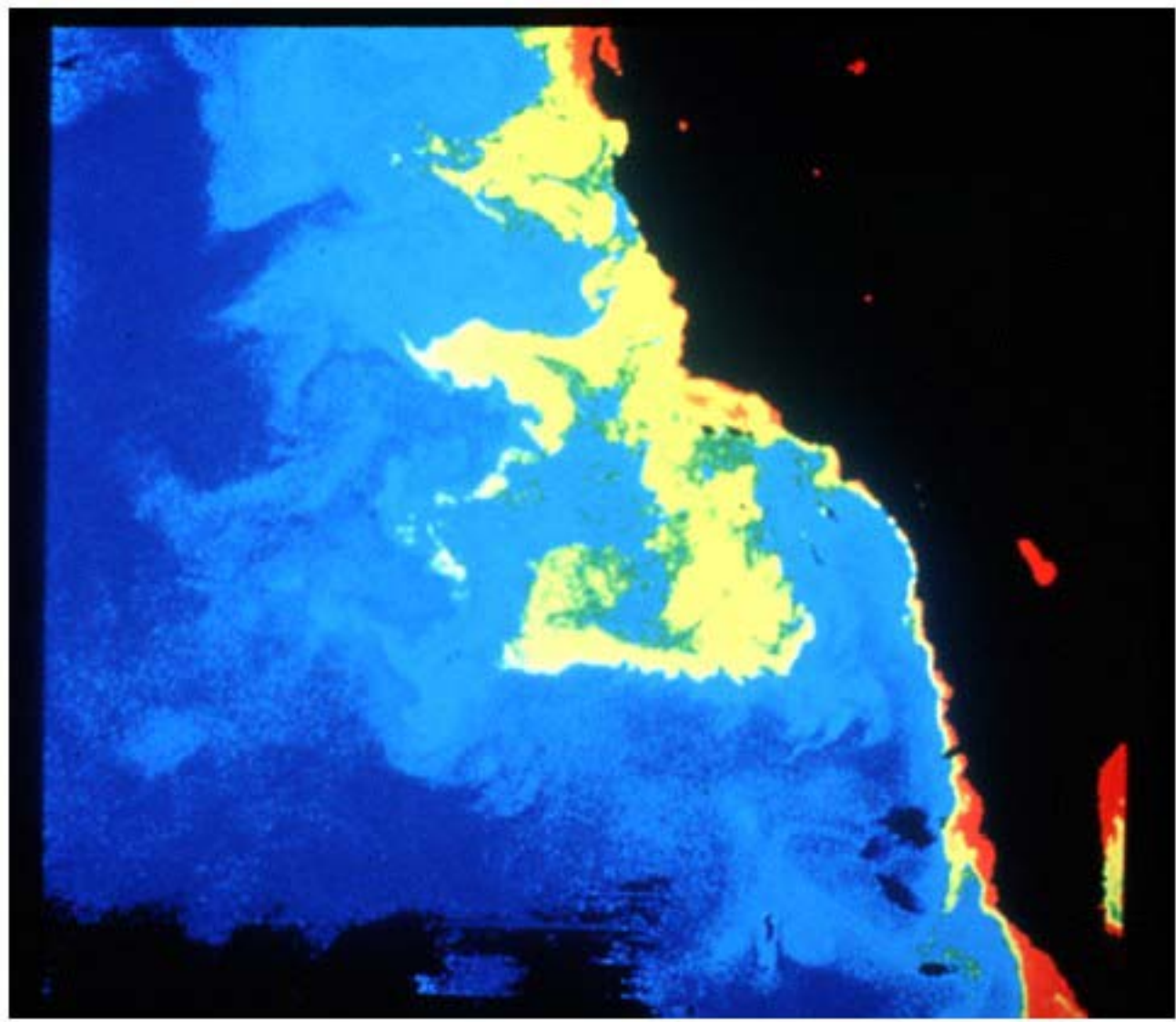
(b)

Metoda klorofila:

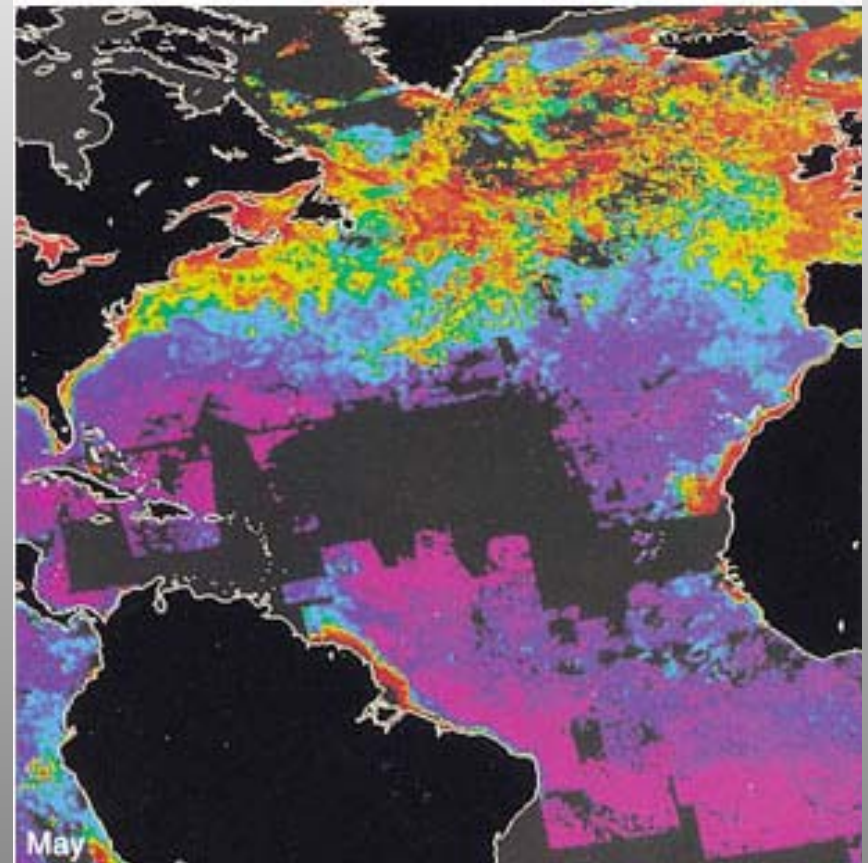
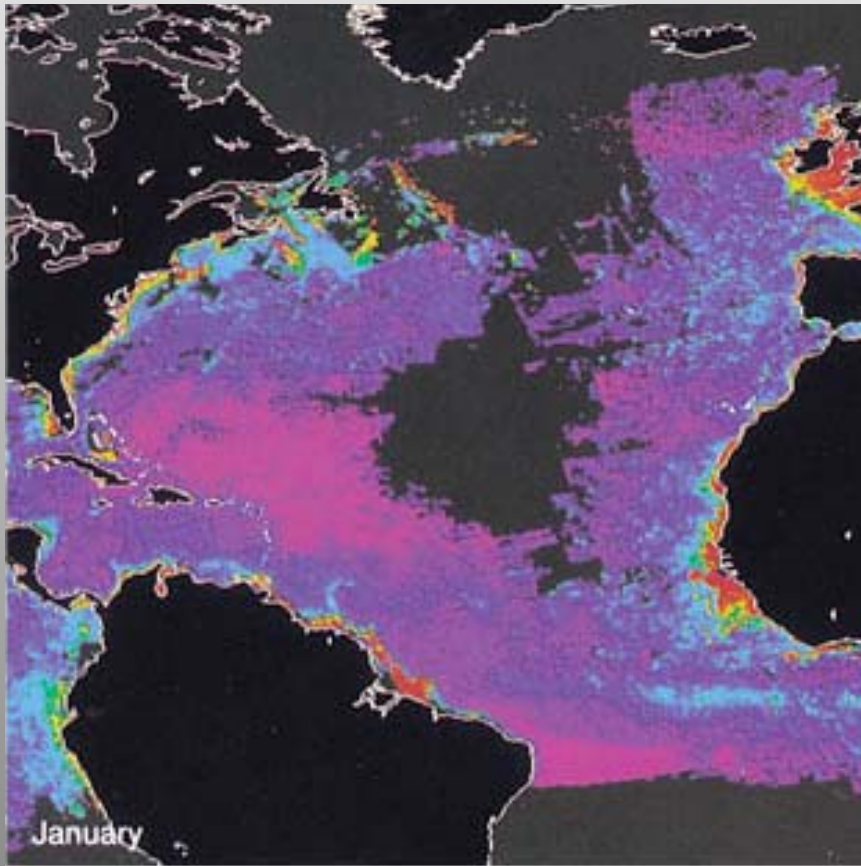
Morske alge asimiliraju 3.7 grama ugljika po gramu klorofila po satu (ova vrijednost varira između 2.1 i 5.7)

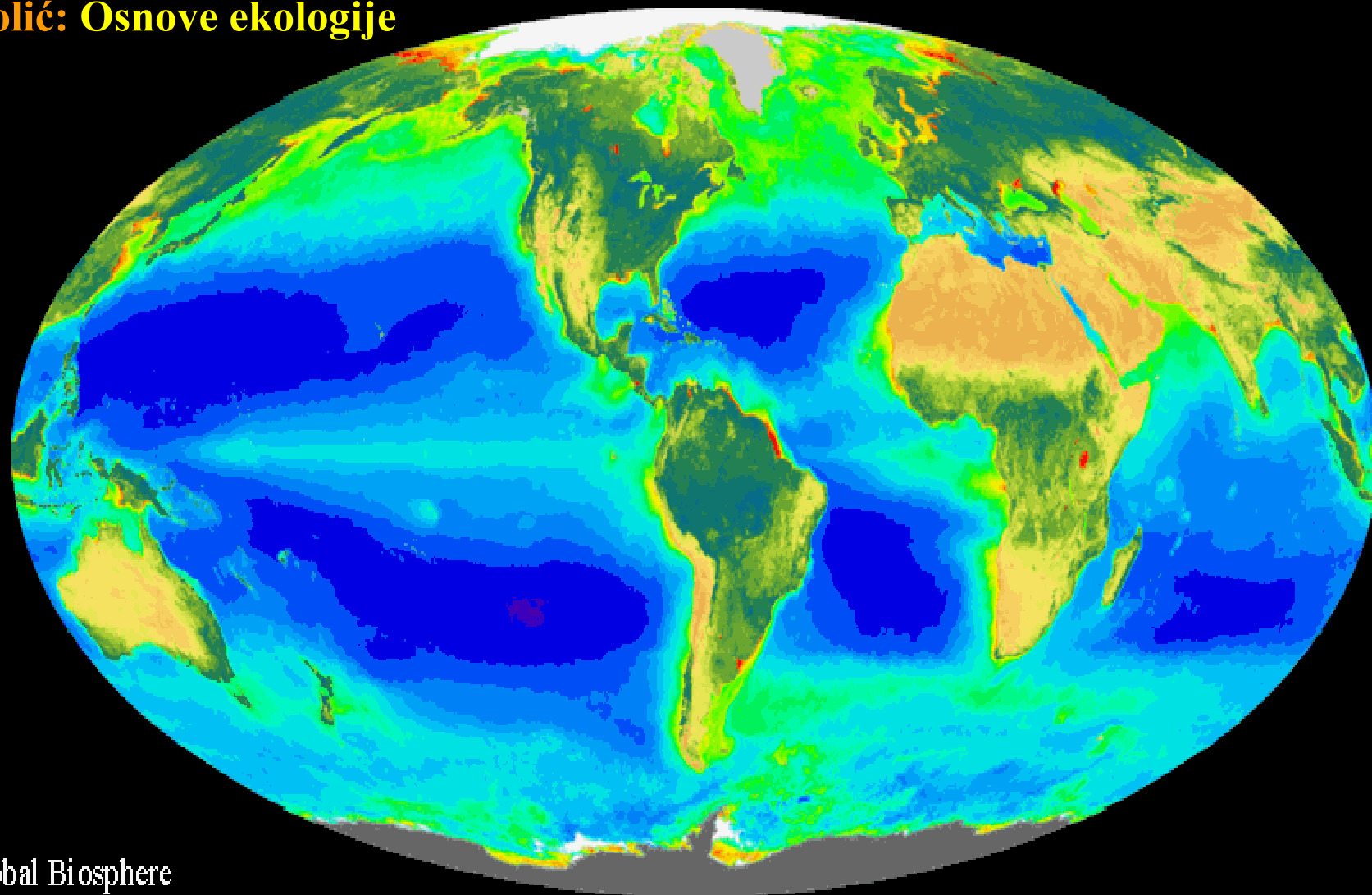
Nedostatak preciznosti nadoknađuje brzina i jednostavnost, te mogućnost mapiranja produktivnosti površinskih voda na velikim područjima, te praćenje promjena na prostornoj i vremenskoj skali

Satelitska slika obale Kalifornije



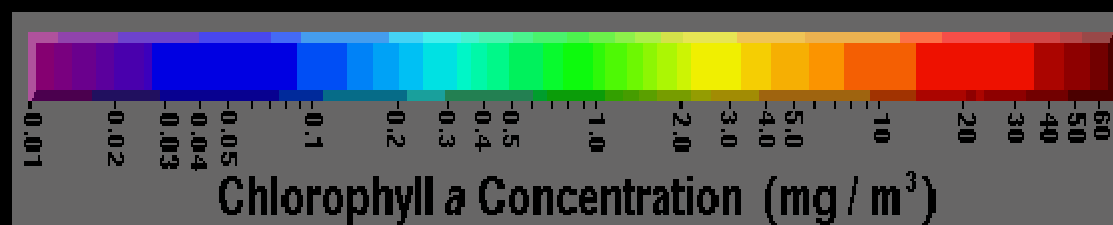
Fitoplanktonska biomasa u sjevernom Atlantiku



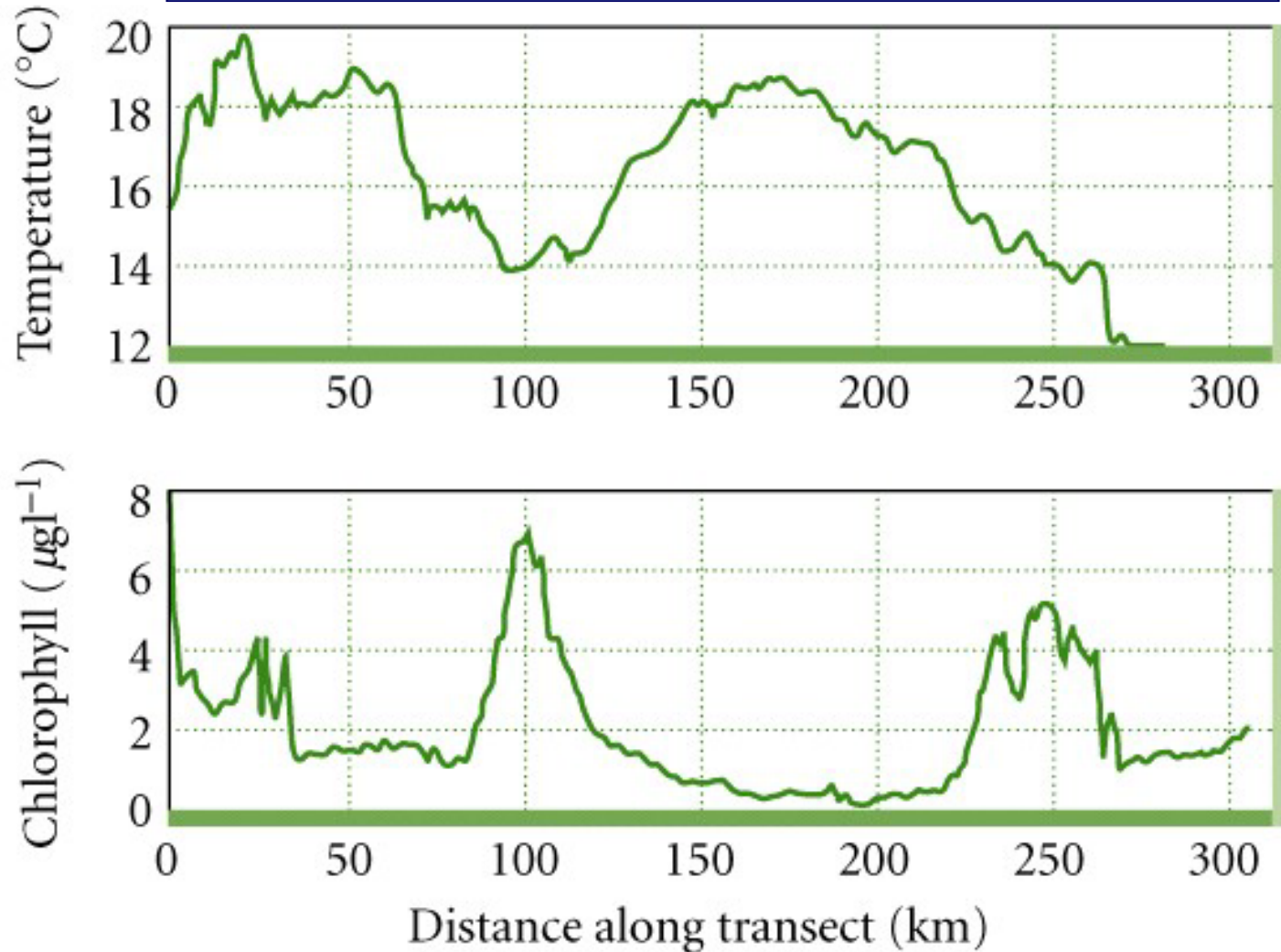


The Global Biosphere
(September 97 - August 2000)

<http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html>



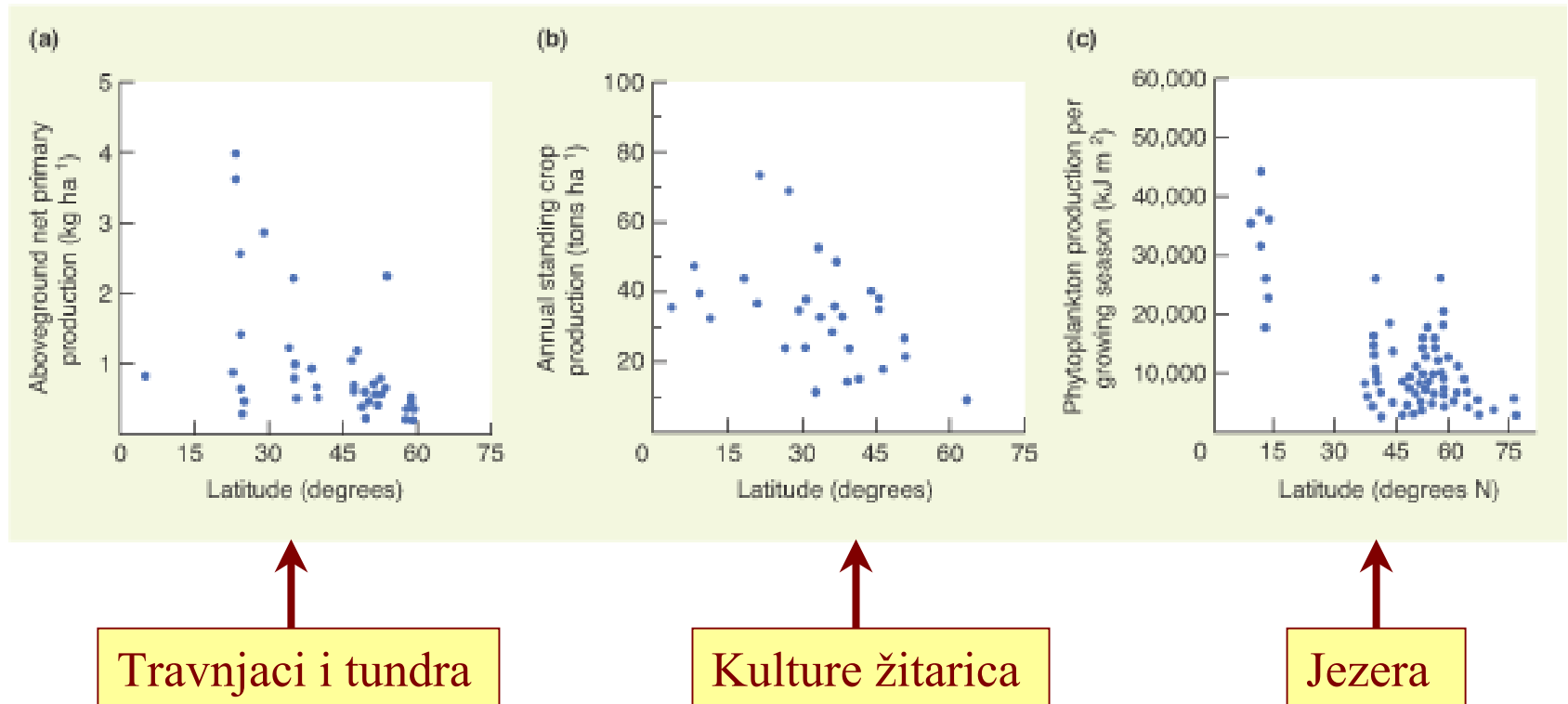
Satelitsko određivanje koncentracije klorofila duž transeкта



Faktori o kojima ovisi fotosinteza

- Stopa fotosinteze ovisi o nizu ekoloških faktora od kojih su najvažniji: svjetlo, temperatura, CO_2 , voda i hranjive soli
- Faktori koji ograničavaju proizvodnju su različiti u kopnenim i vodenim staništima
 - Primarna proizvodnja na kopnu općenito je ograničena **temperaturom i vlažnošću**
 - Primarna proizvodnja u vodenim staništima općenito je ograničena **hranjivima**

Postoji opći trend porasta primarne proizvodnje od polova prema ekvatoru



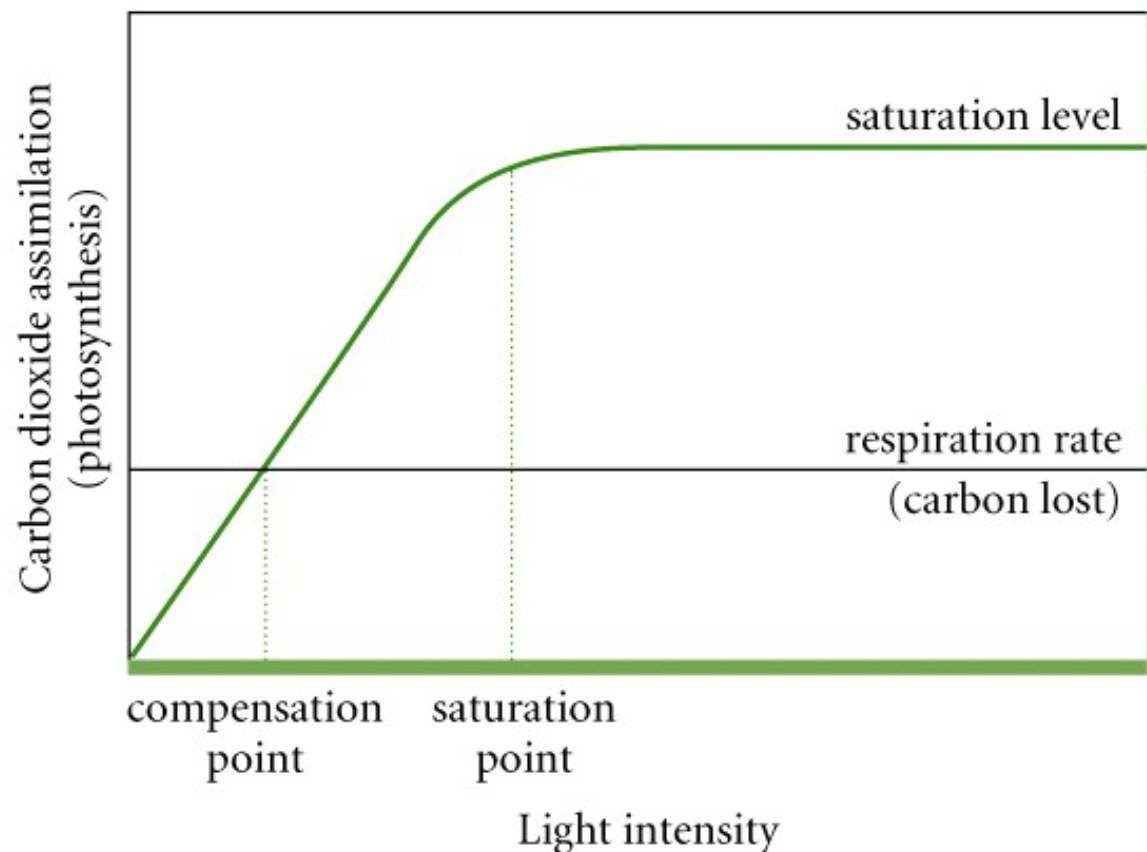
Ovisnost stope fotosinteze o svjetlu

- Stopa fotosinteze varira u direktnoj proporciji s intezitetom svjetla do neke kritične razine (obično niže od $\frac{1}{4}$ punog sunčevog svjetla)
- Daljnje povećanje inteziteta svjetla rezultira usporavanjem rasta stope fotosinteze, njenom stagnacijom ili čak opadanjem (štetno djelovanje)

Odgovor fotosinteze na intezitet svjetla ima dvije referentne točke:

TOČKA KOMPENZACIJE (fotosinteza = respiracija)

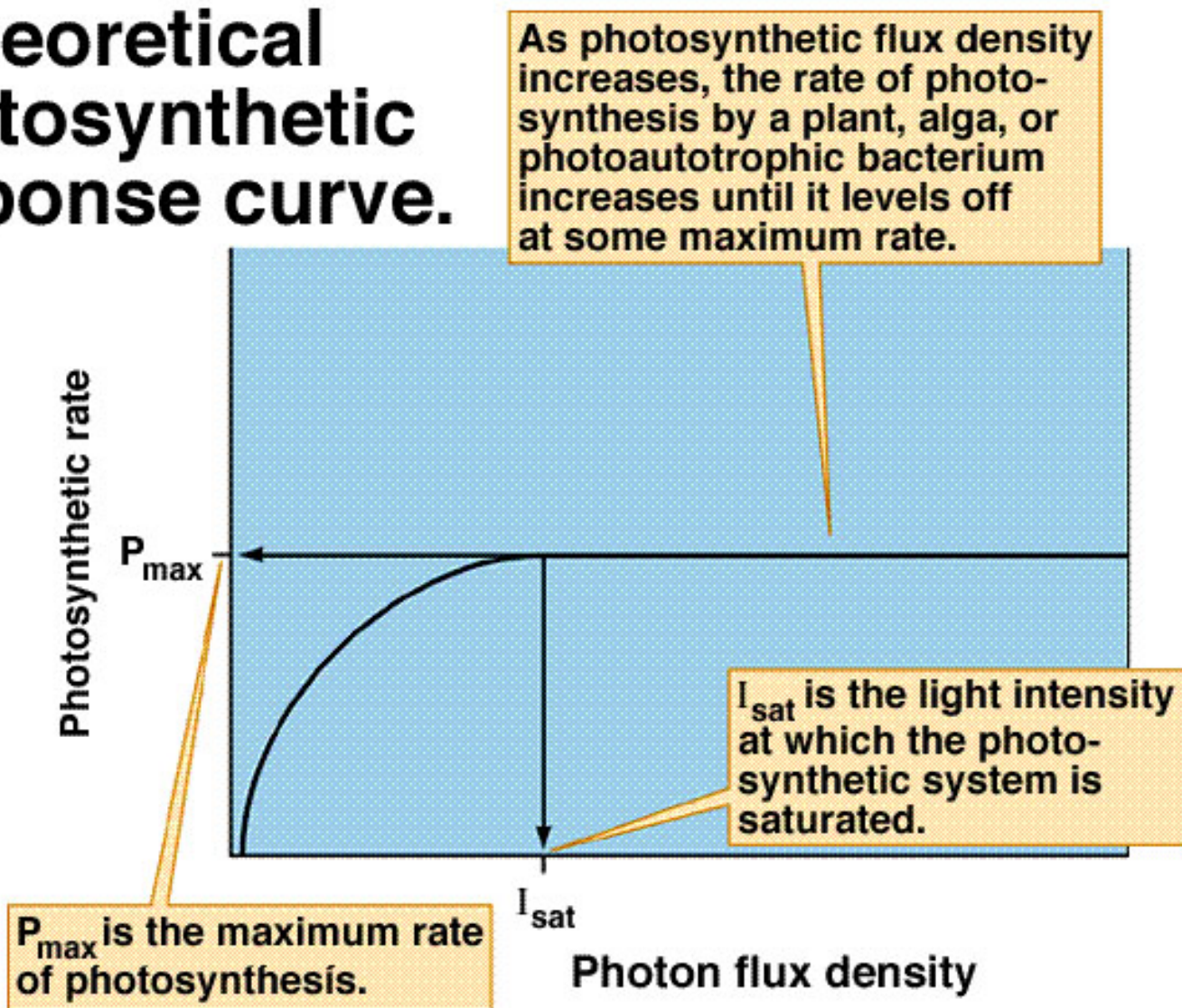
TOČKA ZASIĆENJA



Za biljke koje normalno rastu na punom suncu (oko 500 Wm^{-2}) kompenzacijska točka je na $1\text{-}2 \text{ Wm}^{-2}$, dok je točka zasićenja na $30\text{-}40 \text{ Wm}^{-2}$ ($< 1/10$ punog svjetla)

A theoretical photosynthetic response curve.

Tipična krivulja odgovora fotosinteze na intezitet sunčevog zračenja. U početku stopa fotosinteze prati porast inteziteta svjetlosti da bi nakon neke vrijednosti dostigla zasićenje



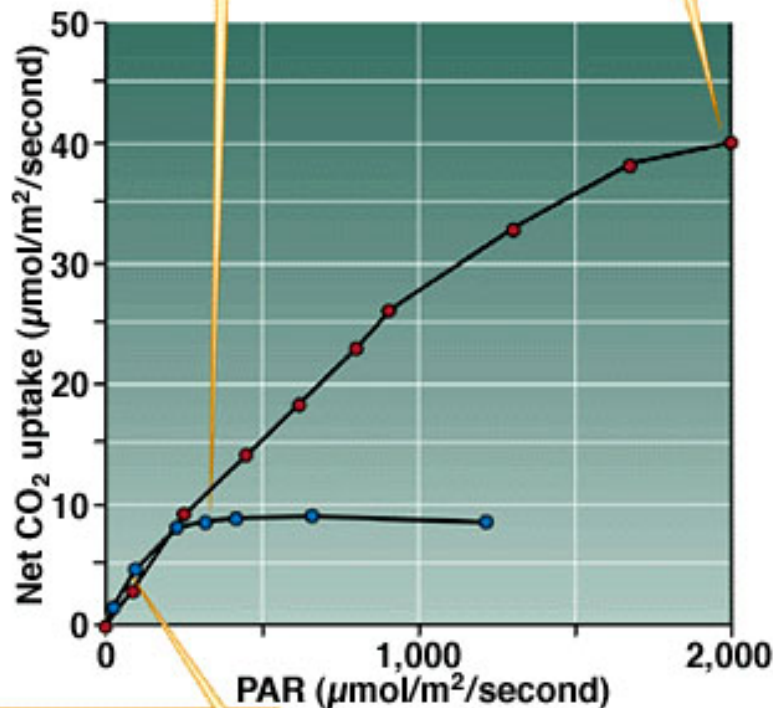
Biljke su prilagođene uvjetima svjetla u staništu u kojem žive

Contrasting photosynthetic response curves.

Biljka koja živi na šumskom tlu dostiže točku zasićenja kod nižeg inteziteta svjetla u odnosu na pustinjsku biljku koja živi na punom sunčevu svjetlu

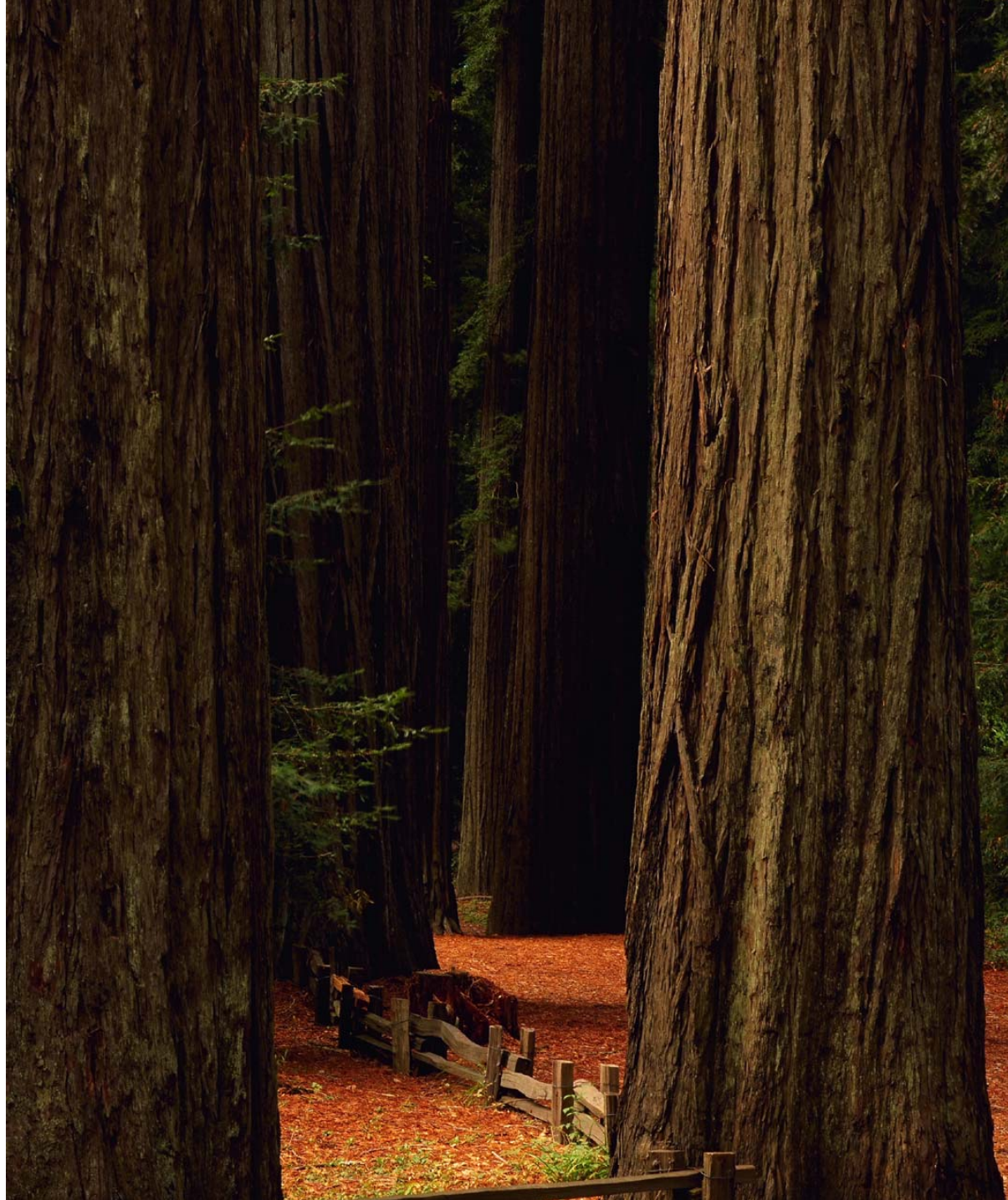
The photosynthetic response curve of *Adiantum decorum*, a fern that grows in the dim light of the forest understory, levels off at a low light intensity.

In contrast, the response curve of *Encelia farinosa*, a small shrub that lives in hot deserts, levels off at a very high light intensity.

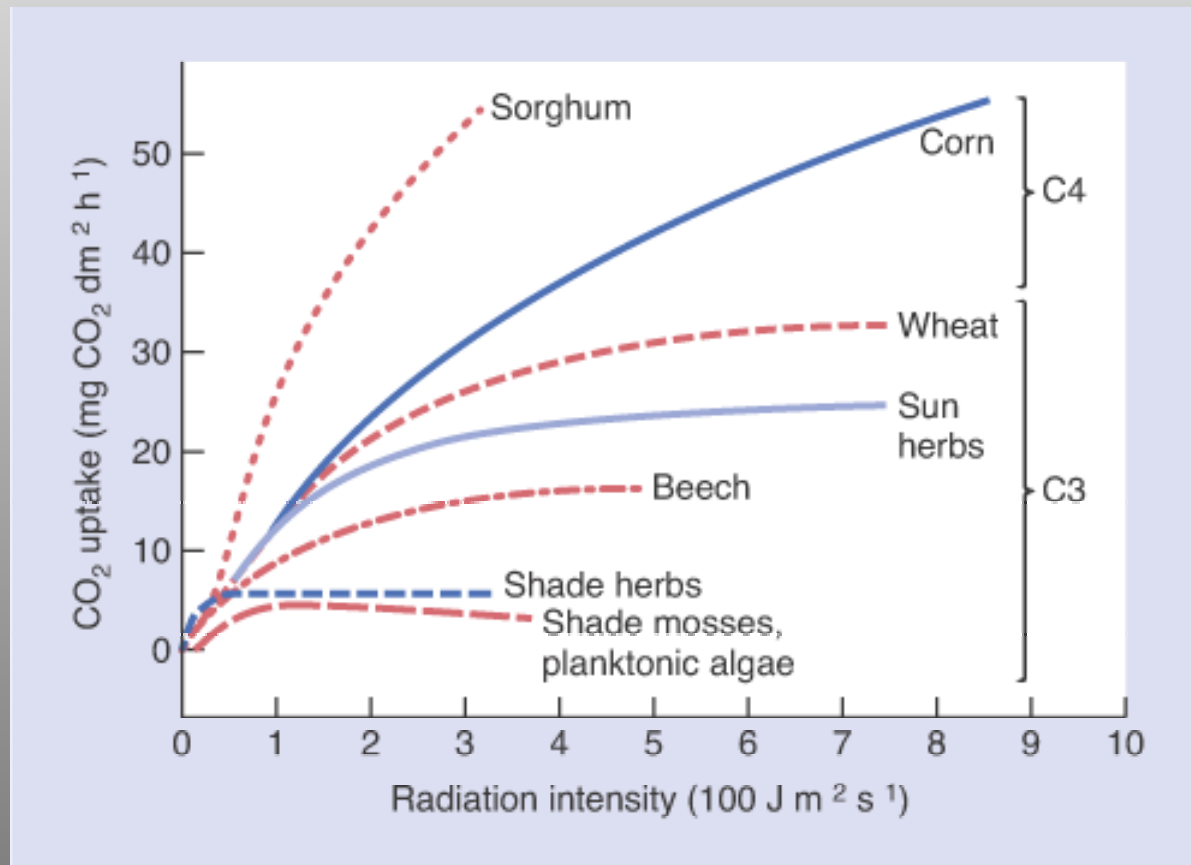


The forest understory plant has a higher photosynthetic rate at very low light intensities.

U gustim šumama
do šumskog tla
dopire vrlo malo
svjetla (ponekad
svega 1-2% u
odnosu na količinu
svjetla iznad
šumskog svoda)

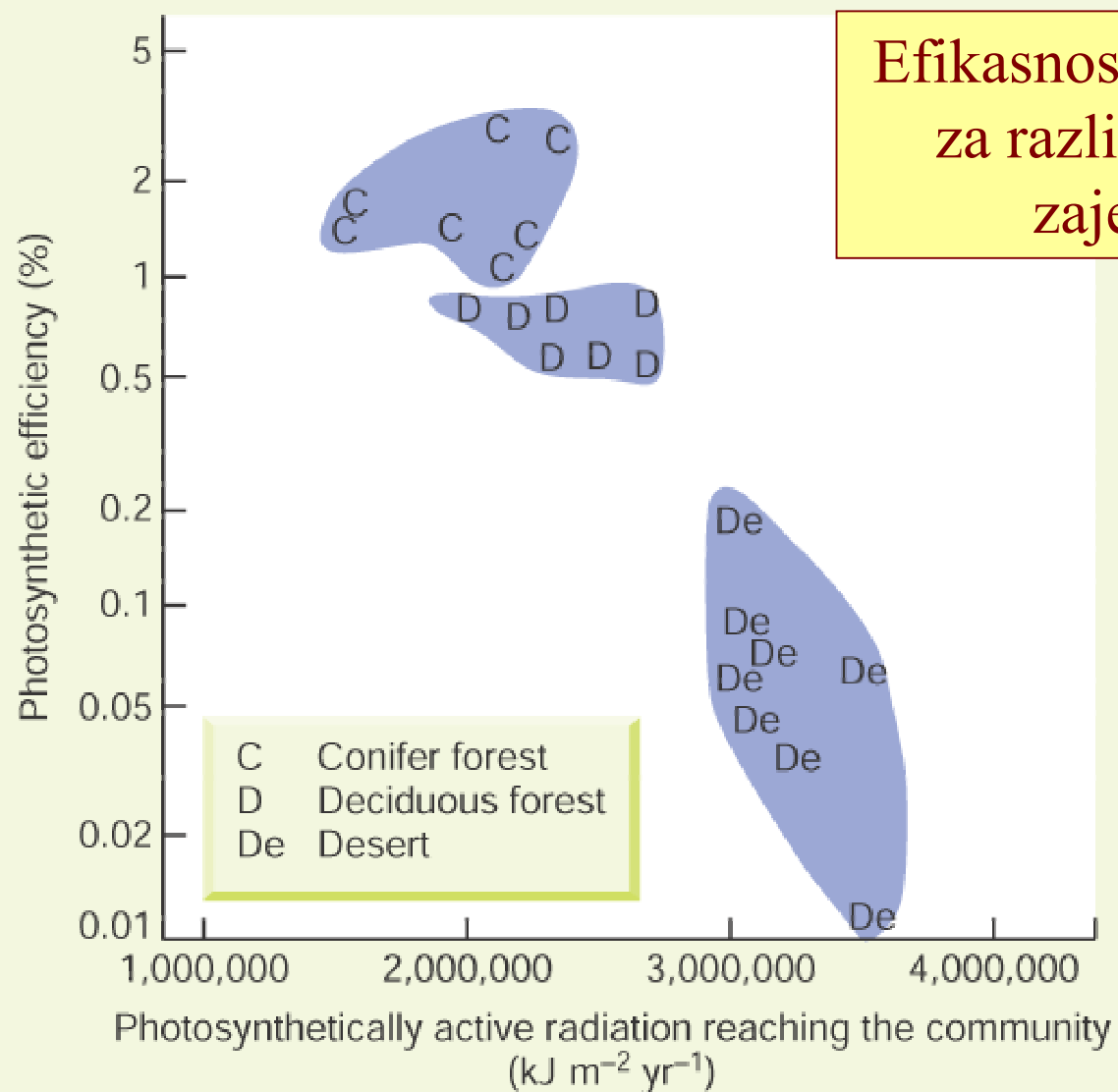


Biljke koje žive u zasjenjenim staništima, ili staništima gdje je intezitet solarnog zračenja manji (uglavnom C3 biljke) dostižu točku zasićenja kod nižih inteziteta svjetla u odnosu na biljke koje su izložene punom sunčevom svjetlu (uglavnom C4 biljke)



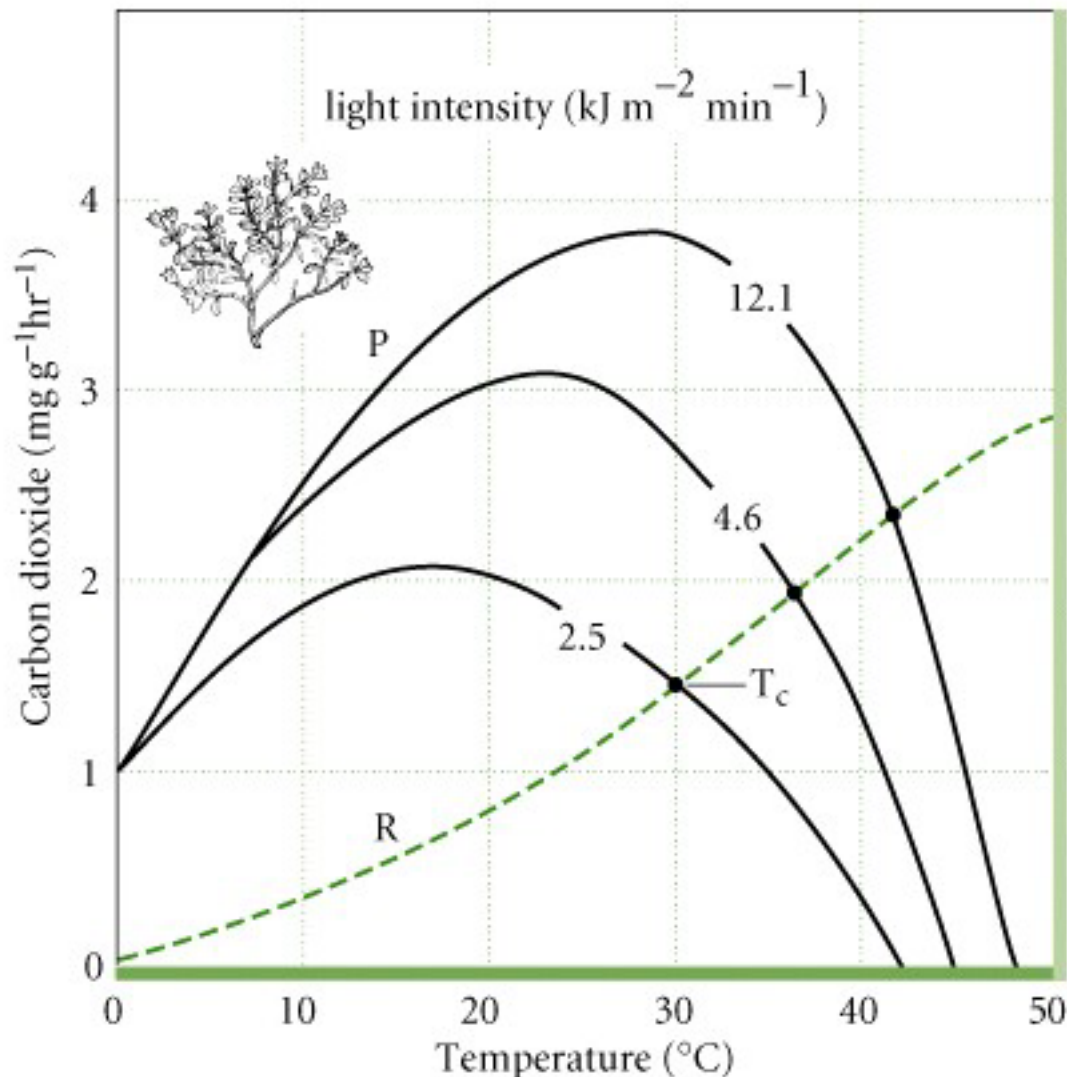
Efikasnost fotosinteze

- **Efikasnost fotosinteze** je postotak od energije sunčevog svjetla koje padne na listove biljaka koji se pretvori u neto proizvodnju
- Efikasnost fotosinteze iznosi maksimalno **1-2%** (u uvjetima kada voda i hranjiva nisu ograničavajući), dok je prosječna efikasnost znatno manja:
 - ŠUMSKE ZAJEDNICE 0.91 %
 - MORSKE PLANKTONSKE ZAJEDNICE 0.066 %
 - PROSJEČNA EFIKASNOST NA ZEMLJI 0.27 %
- Od preostalih 98-99% energije se najveći dio reflektira (25-75%), a preostali dio apsorbiraju molekule koje nisu pigmenti i on se pretvara u toplinu (zrači se u okoliš ili se rasipa kroz proces evaporacije)



Efikasnost fotosinteze
za različite biljne
zajednice

Ovisnost stope fotosinteze o temperaturi



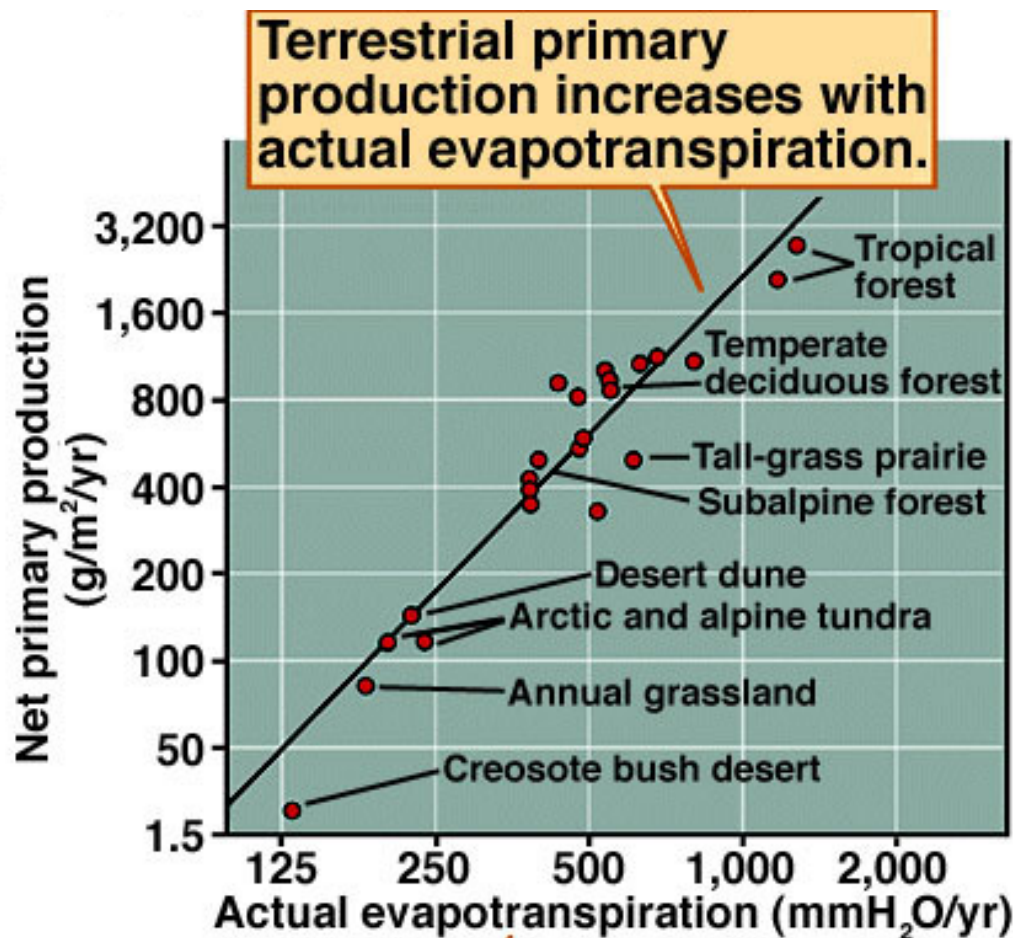
Kao i kod većine drugih fizioloških procesa, stopa fotosinteze najveća je unutar uskog raspona temperature, a optimum ovisi o okolišu. Većina kopnenih biljaka umjerenog pojasa pokazuje optimum kod temperature od 16°C, dok optimalna fotosinteza kod tropskih biljaka može biti na temperaturama i do 38°C

Primarna proizvodnja je u kopnenim staništima općenito ograničena temperaturom i vlažnošću, a lokalno ovisi i o količini hranjiva u tlu

- Najviše stope primarne proizvodnje na kopnu postižu se u toplim i vlažnim staništima
- Temperatura i vlažnost spojene su u jedan jedinstveni pokazatelj koji se zove aktualna **evapotranspiracija (AET)**
- AET je ukupna količina vode koja se evaporira i transpirira sa određenog područja tijekom godine
- Godišnja AET je u pravilu pozitivno korelirana s neto primarnom proizvodnjom u kopnenim staništima
- Značajne varijacije primarne proizvodnje u kopnenim staništima proizlaze iz plodnosti tla

AET vs. Production

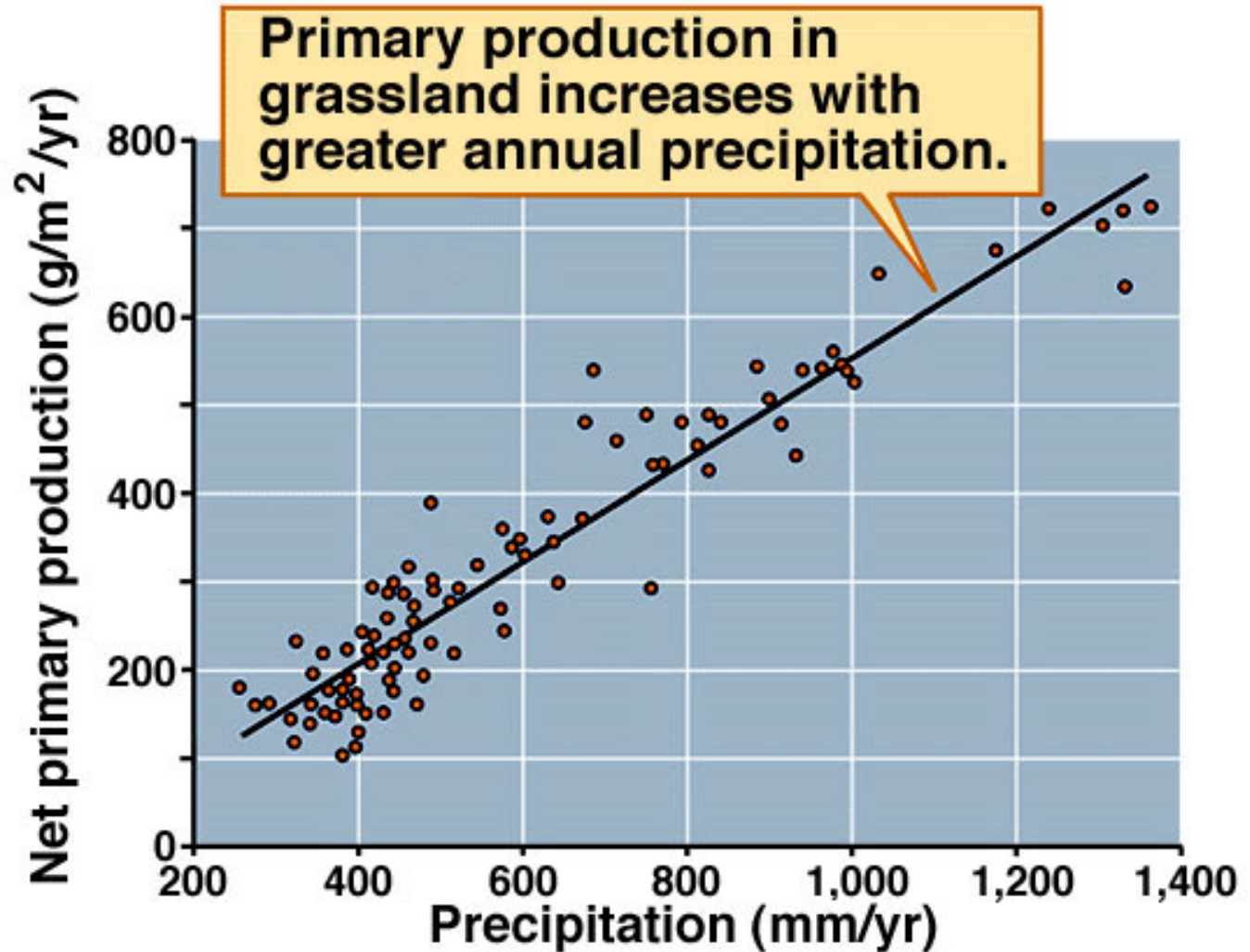
Odnos između
aktualne
evapotranspiracije
i neto primarne
proizvodnje za
različite kopnene
ekosisteme

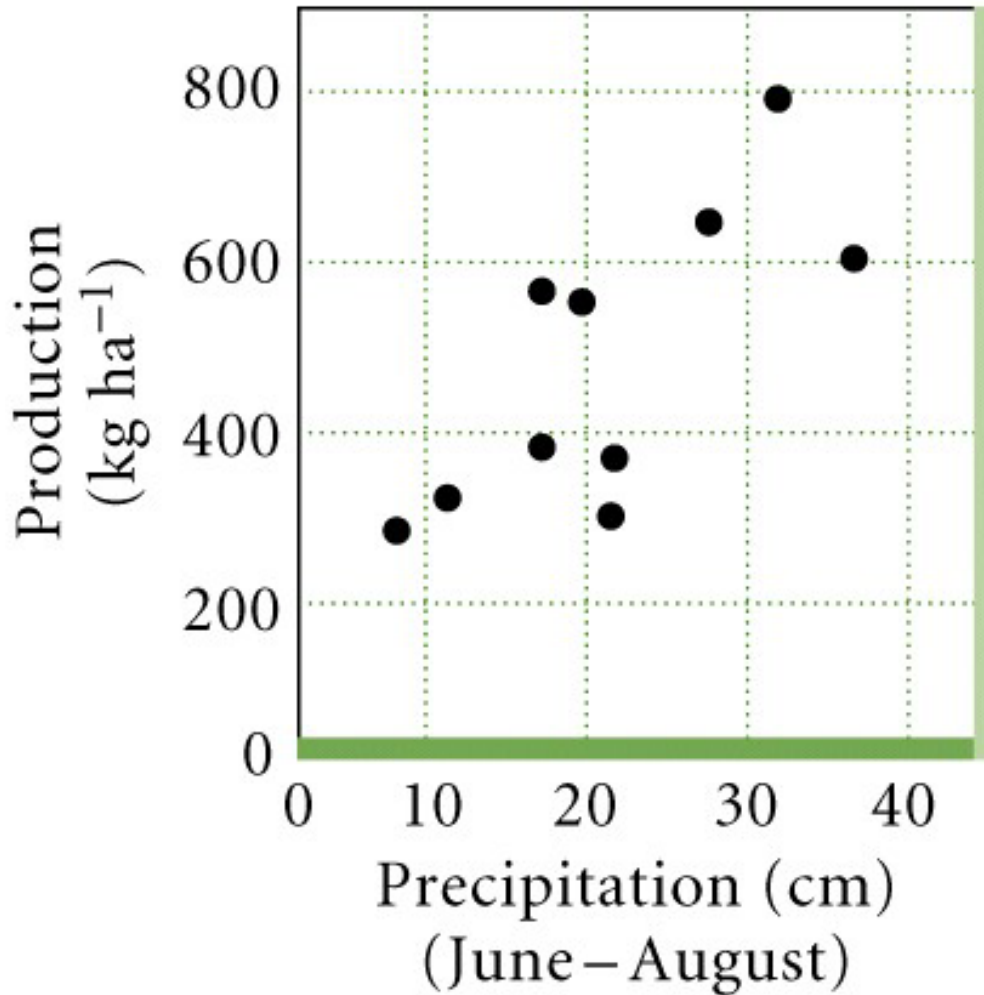


Actual evapotranspiration increases with increased precipitation *and* temperature.

Precipitation and Production

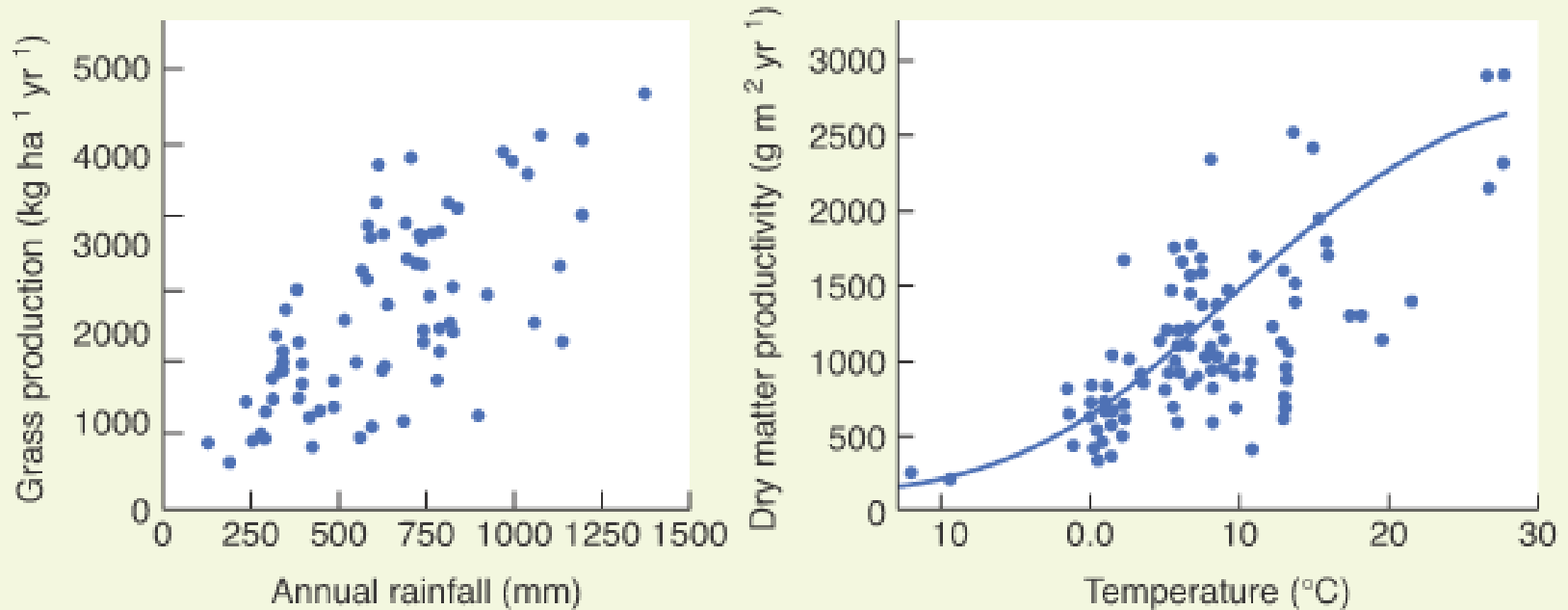
Odnos
između
količine
oborina i
neto
primarne
proizvodnje





Odnos između
proizvodnje i
ljetne količine
oborina u
travnatoj
zajednici južne
Arizone

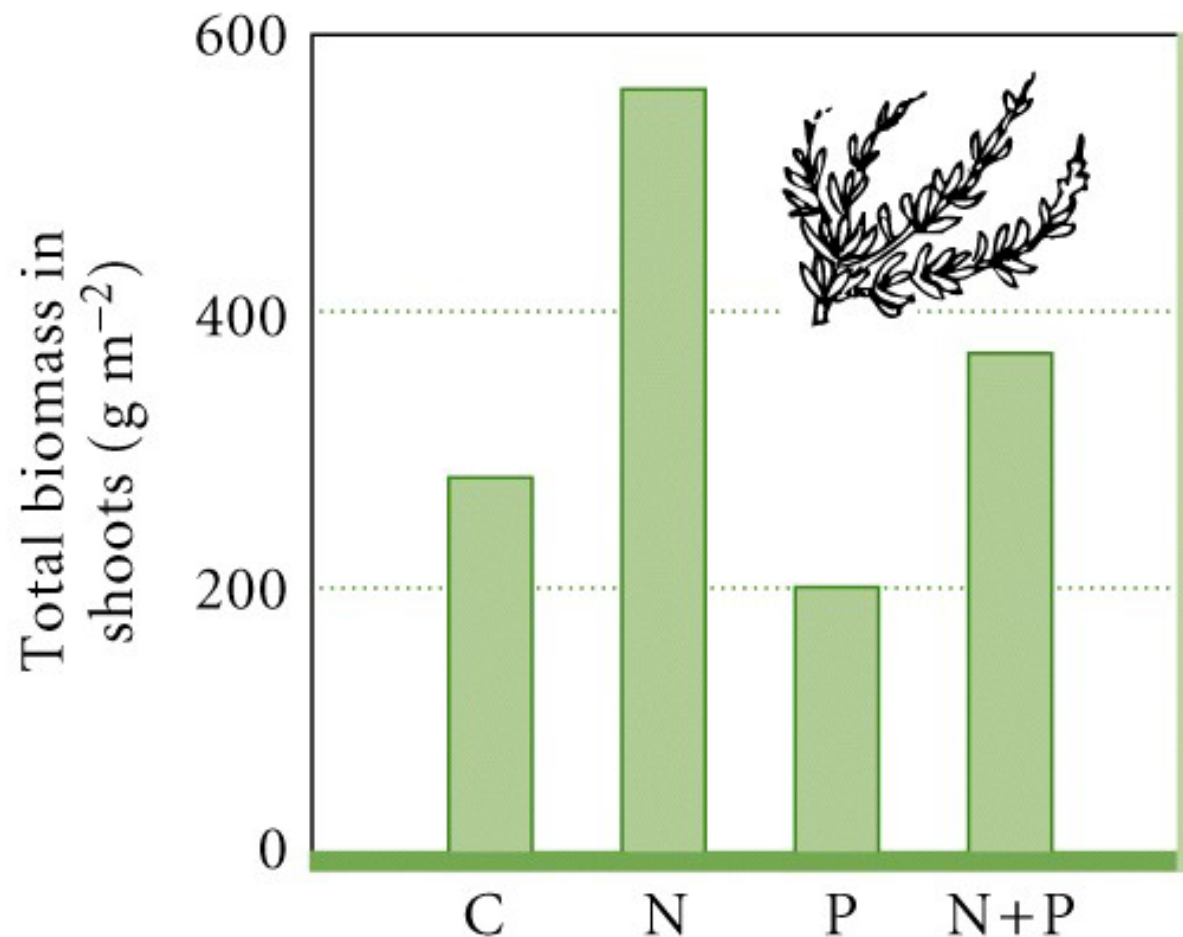
Ovisnost neto primarne proizvodnje šumskih zajednica o količini oborina i temperaturi



Efikasnost transpiracije kod kopnenih biljaka stavlja u odnos neto proizvodnju i raspoloživost vodom

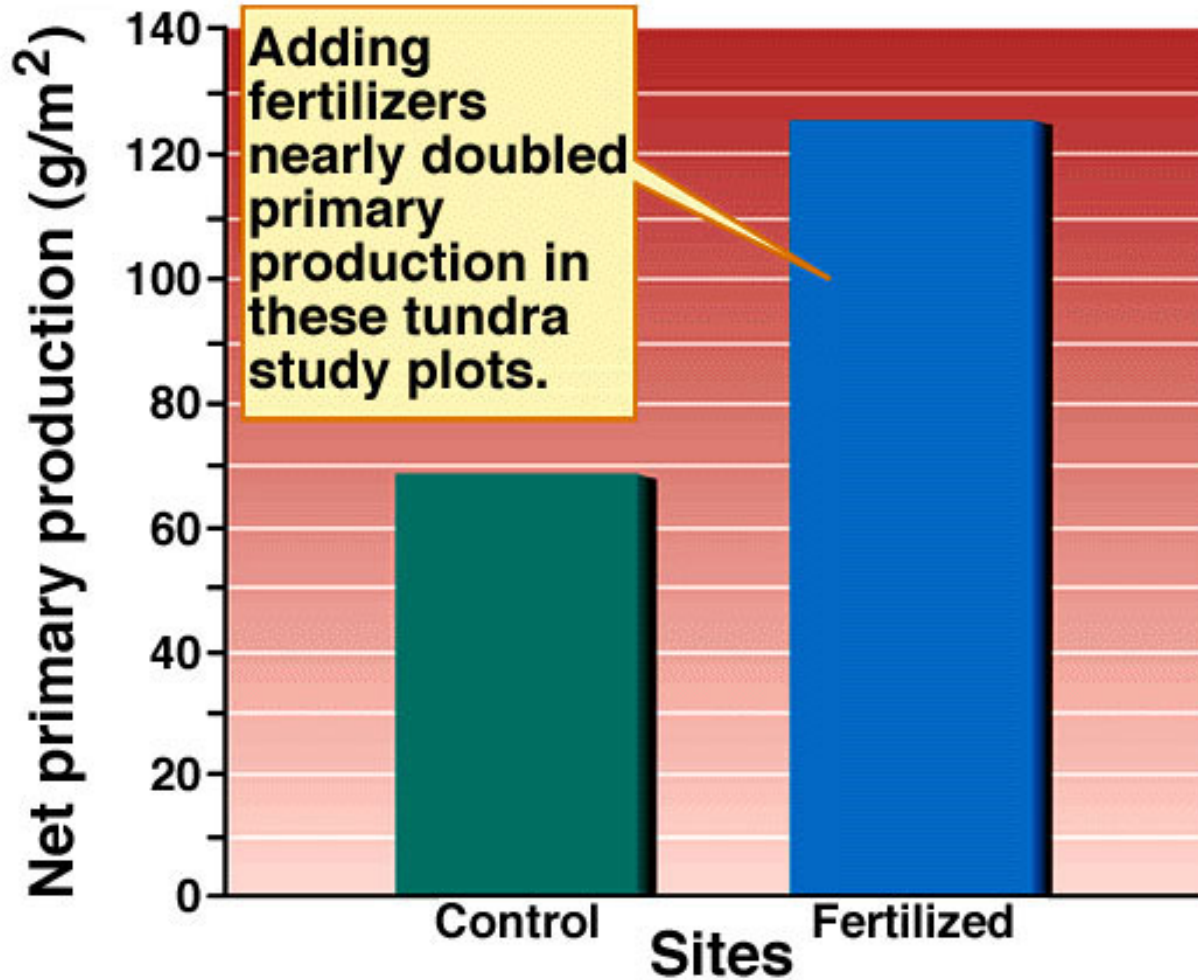
- Kopnene biljke kroz puči (stome) na listovima vrše izmjenu plinova, ali kroz njih se istovremeno događa i transpiracija, što je za biljku gubitak vode
- U uvjetima oskudice s vodom, biljke zatvaraju puči čime se sprječava i uzimanje CO_2 , pa se fotosinteza usporava ili potpuno zaustavlja
- Dakle, stopa fotosinteze ovisi o toleranciji biljke na gubitak vode, raspoloživosti vlage u tlu, te o utjecaju temperature i sunčevog zračenja na stopu transpiracije
- **Efikasnost transpiracije** je omjer između neto proizvodnje i transpiracije (pokazatelj otpornosti biljaka na sušu). Kod većine biljaka ona je manja od 2 grama po 1 kg vode, dok kod biljaka otpornih na sušu iznosi oko 4 g po 1 kg transpirirane vode

U mnogim staništima količina hranjiva u tlu ograničava primarnu proizvodnju



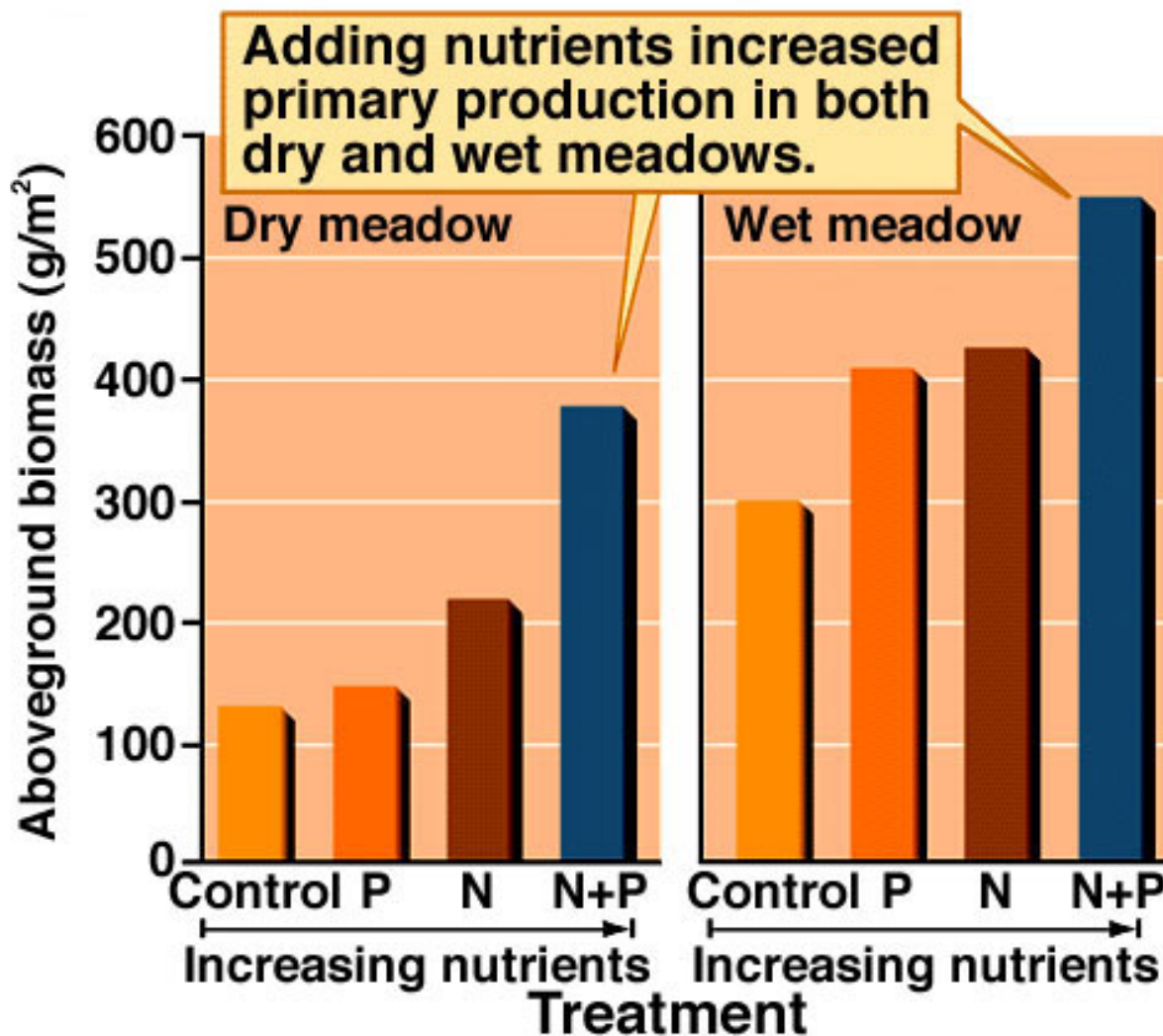
U većini staništa dodatak hranjiva u tlo (gnojenje) povećava biljnu proizvodnju

Fertilizer & Production



Neto primarna
proizvodnja
porasla je
dodatkom
hranjiva u tlo
(gnojenjem)

Production with Fertilization



Neto primarna proizvodnja porasla je dodatkom hranjiva u tlo (gnojenjem)

Nutrient deficiencies



Solution lacks nitrogen

complete nutrient solution

Rast biljke u uvjetima potpune opskrbe hranjivima i u uvjetima kada je nedostajalo dušika

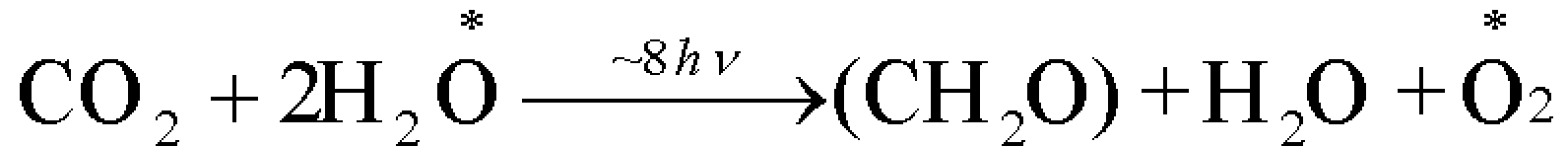
Primarna proizvodnja je u vodenim staništima ograničena na eufotički sloj

- Primarna proizvodnja se u moru događa u relativno tankom površinskom sloju u kojem ima dovoljno svjetla (najviše do 200 m dubine)
- U priobalnim područjima točka kompenzacije može biti na znatno manjoj dubini (ispod 20 m)

Primarna proizvodnja je u vodenim staništima općenito određena raspoloživošću hranjivih soli

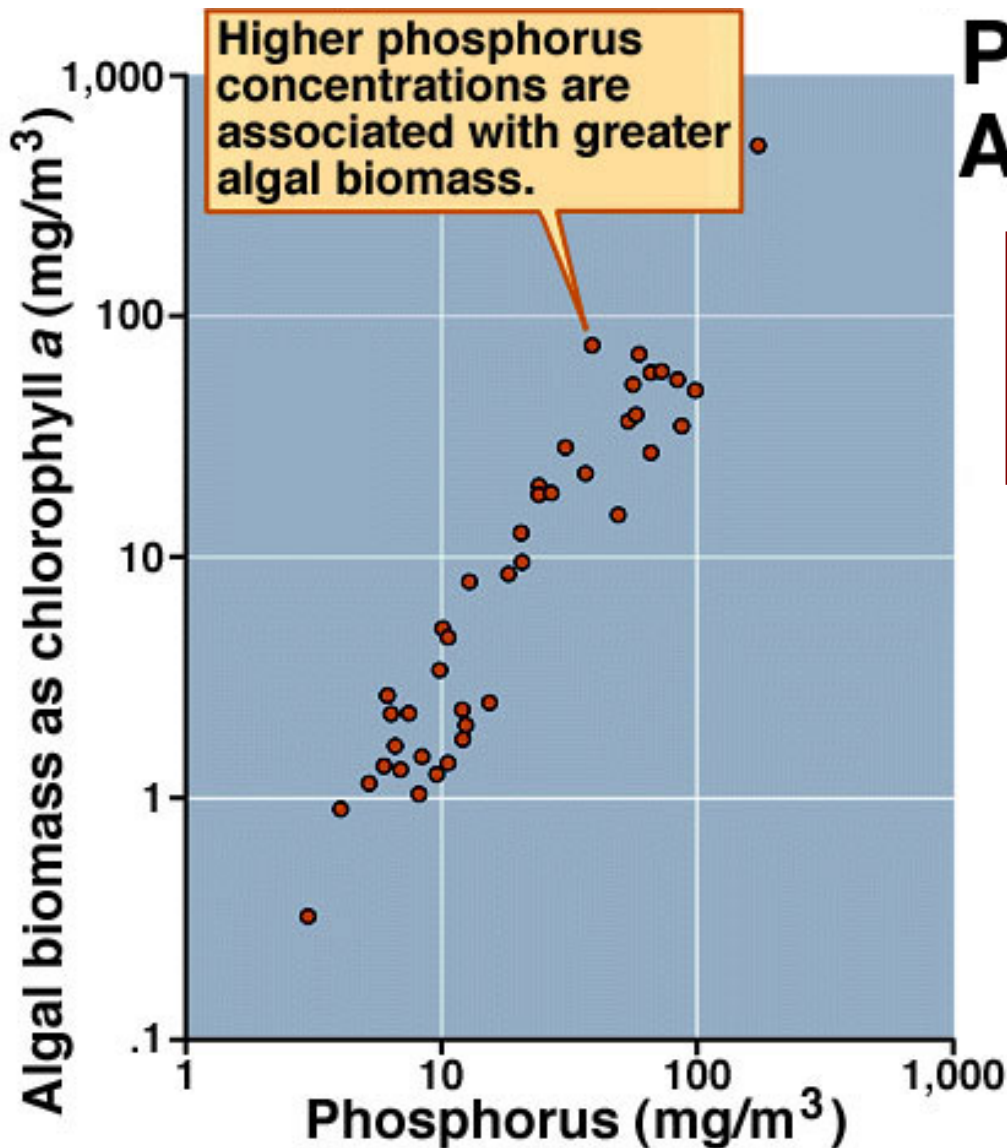
- Pozitivan odnos između količine hranjivih soli i primarne proizvodnje u vodenim staništima jedan je od najbolje dokumentiranih obrazaca u biosferi
- Najčešće, u slatkovodnim ekosistemima primarnu proizvodnju ograničava fosfor, a u morskim ekosistemima dušik

Phytoplankton are not bags of CH₂O



Stanice fitoplanktona nisu samo vrećice šećera. Kao i sve druge biljke fitoplankton se sastoji od proteina, nukleinskih kiselina, lipida, te pričuvnih ugljikohidrata poput škroba

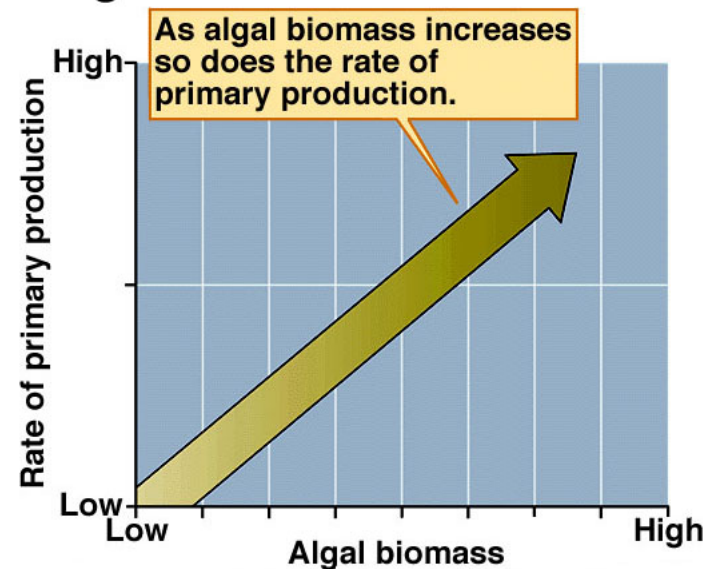
Fitoplankton mora asimilirati makronutrijente (dušik, fosfor i silicij kod diatomeja) kako bi mogao sintetizirati potrebne biomolekule

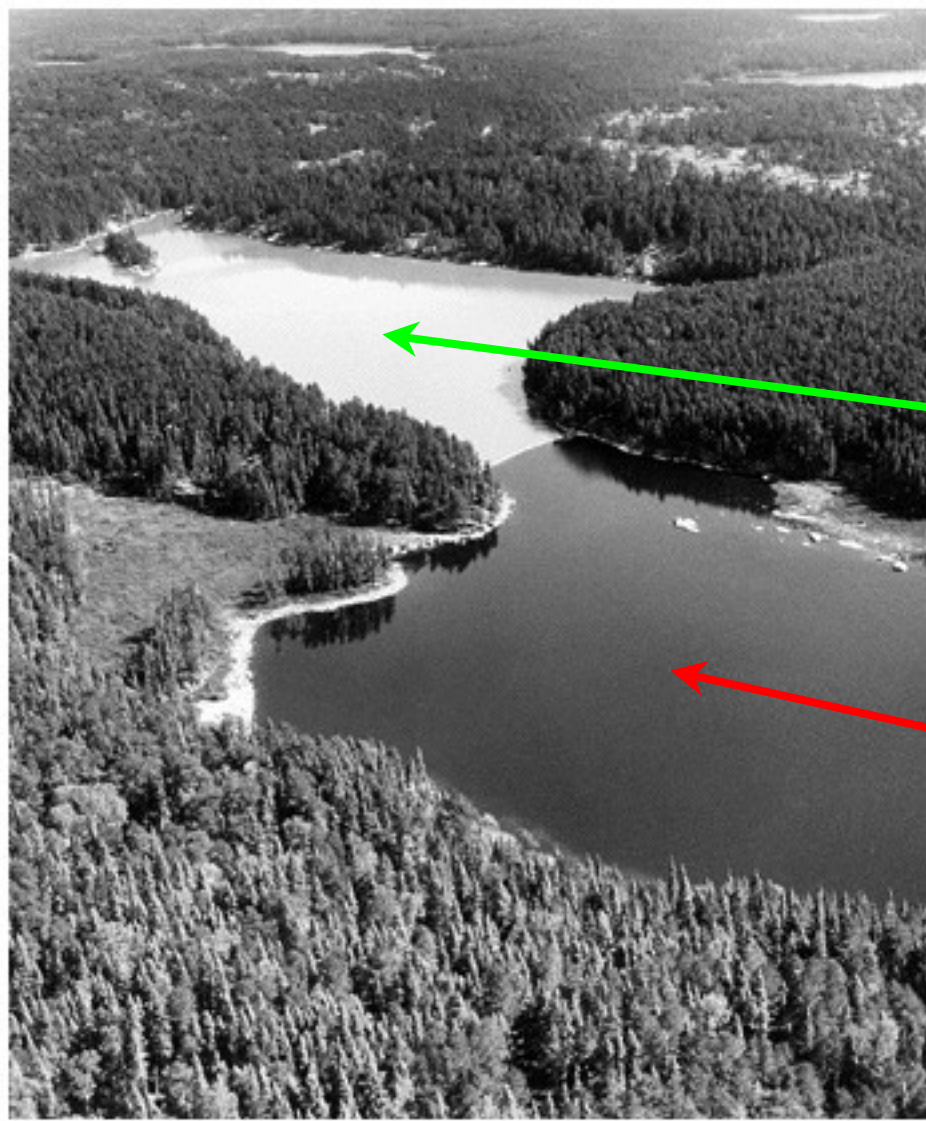


Phosphorus & Algal Biomass

Utjecaj količine fosfora na primarnu proizvodnju u jezerima umjerenog područja

Algal Biomass & Production



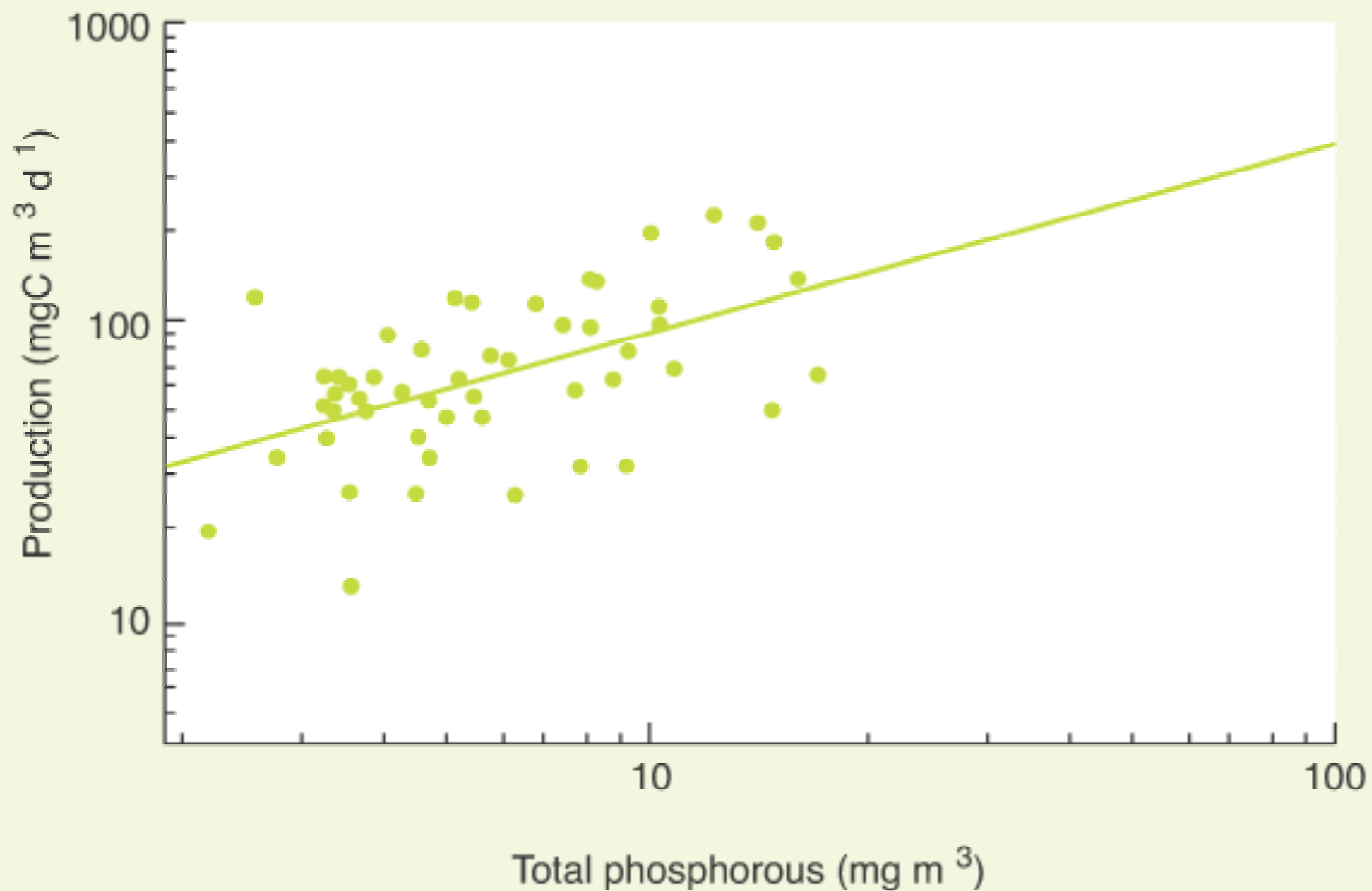


Fosfor je ograničavajući faktor za proizvodnju u slatkovodnim ekosistemima

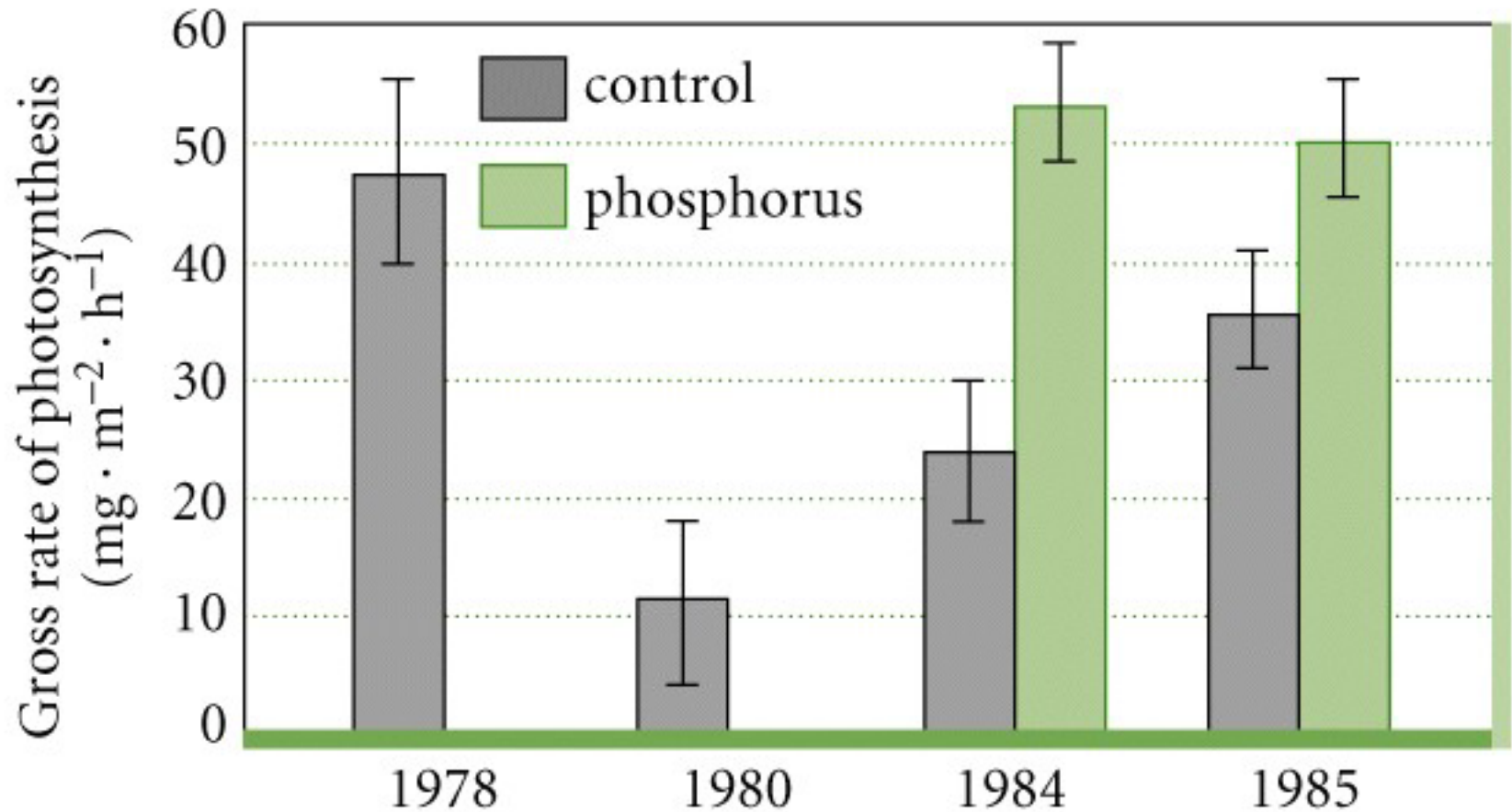
Jezero fertilizirano fosforom (cvatnja je nastupila nakon 2 mjeseca)

Jezero fertilizirano ugljikom i dušikom (nije bilo cvatnje)

Utjecaj koncentracije fosfora na proizvodnju fitoplanktona u jezerima širom svijeta

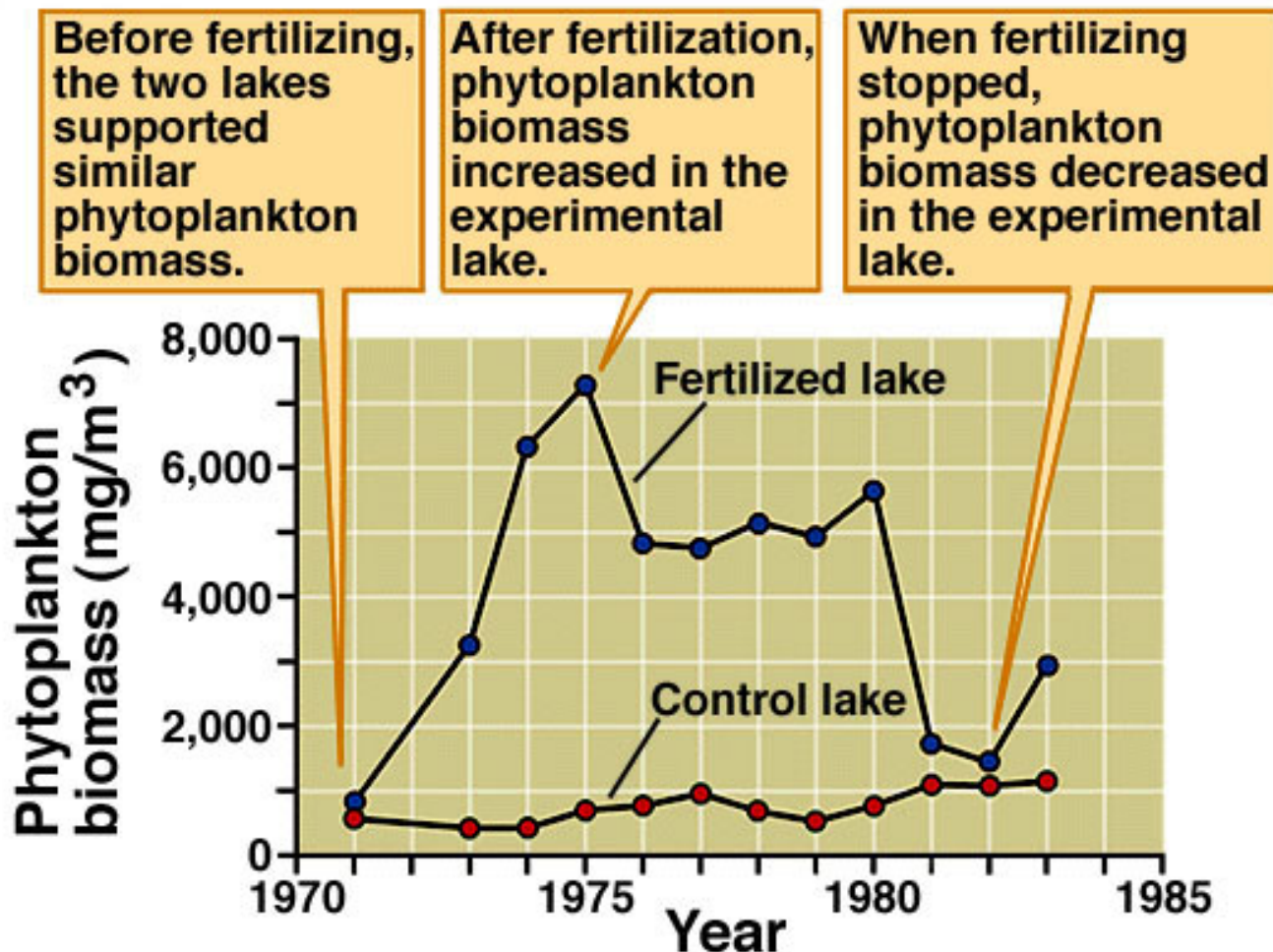


Utjecaj fertilizacije fosforom na primarnu proizvodnju u rijeci Kuparuk (Aljaska)

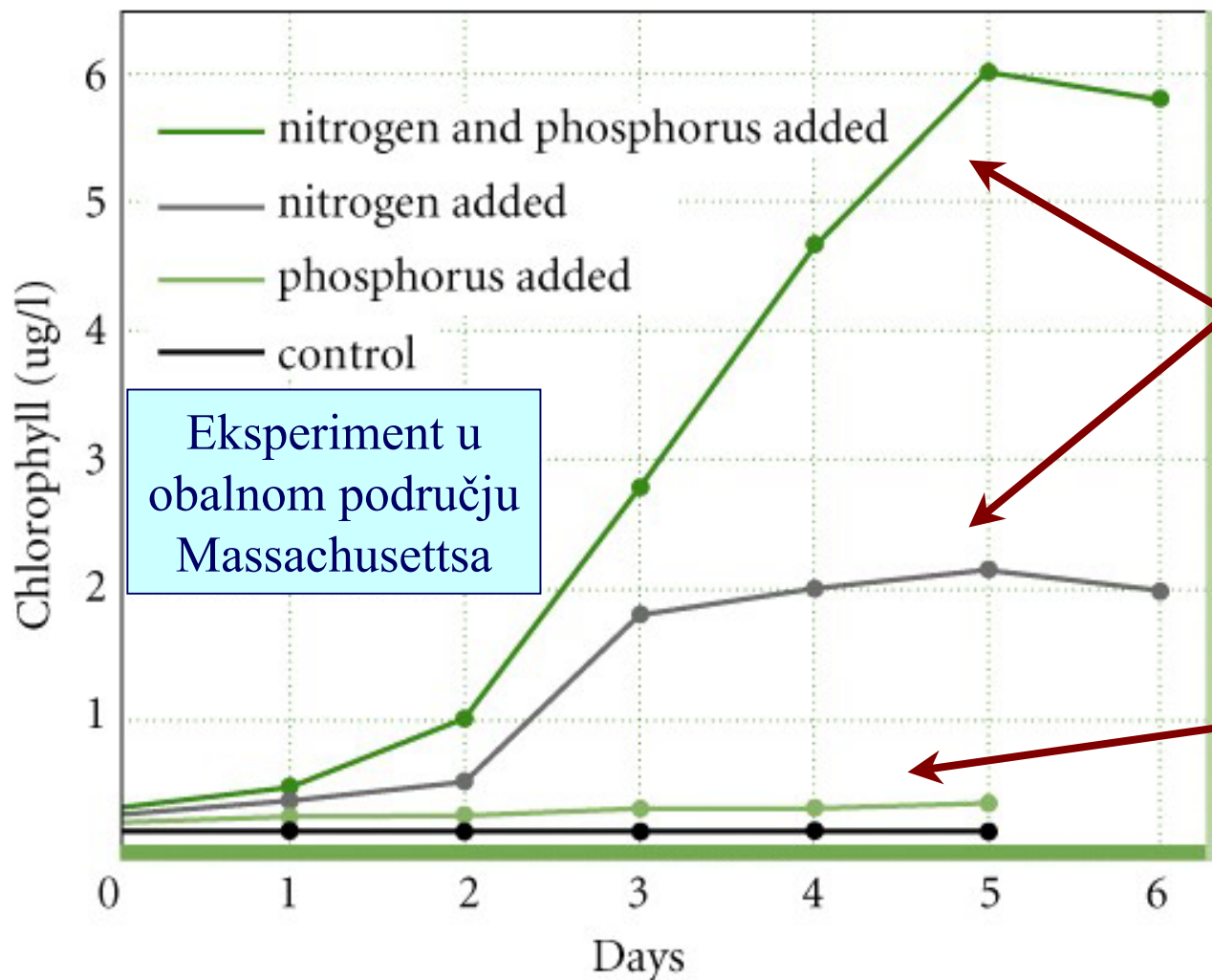


Eksperiment umjetne fertilizacije jezera

Nutrient Addition & Biomass



Dušik je ograničavajući faktor za proizvodnju u morskim ekosistemima



Eksperiment u obalnom području Massachusettsa

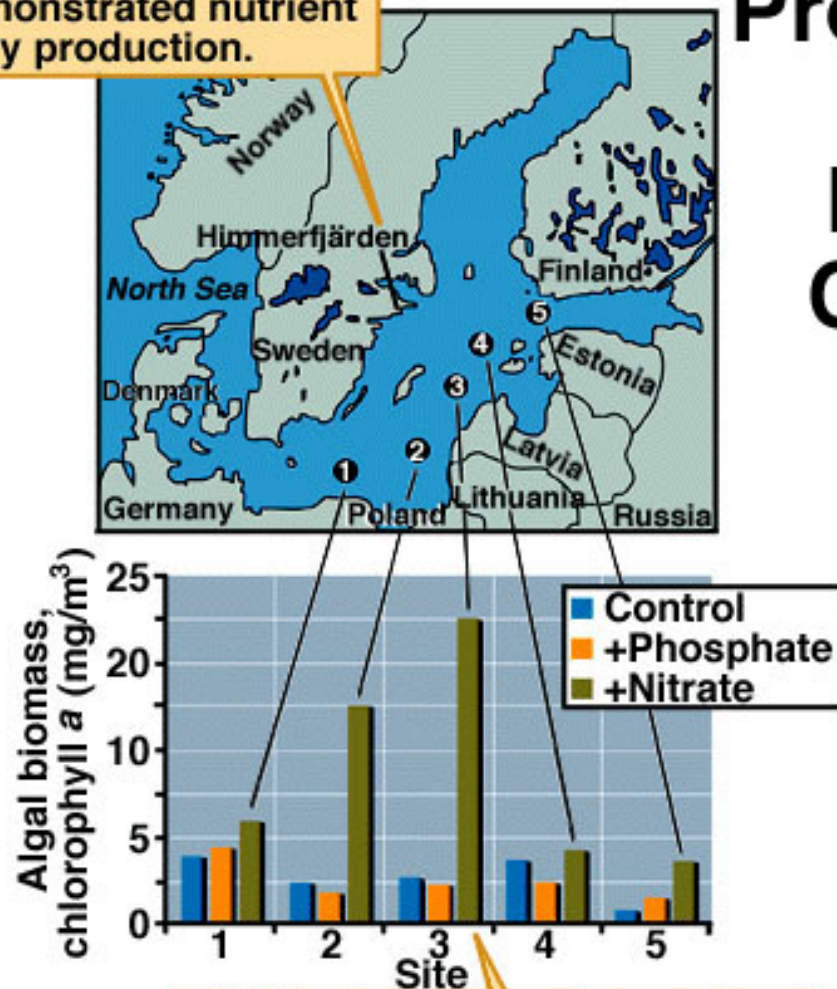
Utjecaj dodatka dušika ili dušika i fosfora zajedno povećavaju proizvodnju u moru

Dodatak samo fosfora nije utjecao na proizvodnju

A large-scale manipulation of Himmerfjärden demonstrated nutrient limitation of primary production.

Eksperiment
fertilizacije
morske vode
pokazao je da je
primarna
proizvodnja u
Baltičkom moru
ograničena
dušikom

Production & Nitrate Control



Nutrient enrichment experiments conducted in culture flasks showed that nitrate limits primary production across the Baltic Sea.

Pojava “red tide” (“crvena plima”) – masovna cvatnja nekih vrsta fitoplanktona koja je između ostalog uzrokovana i visokim koncentracijama hranjivih soli



Red tide

(Fluorescence may also contribute to the color)

Micronutrients (Trace Elements)

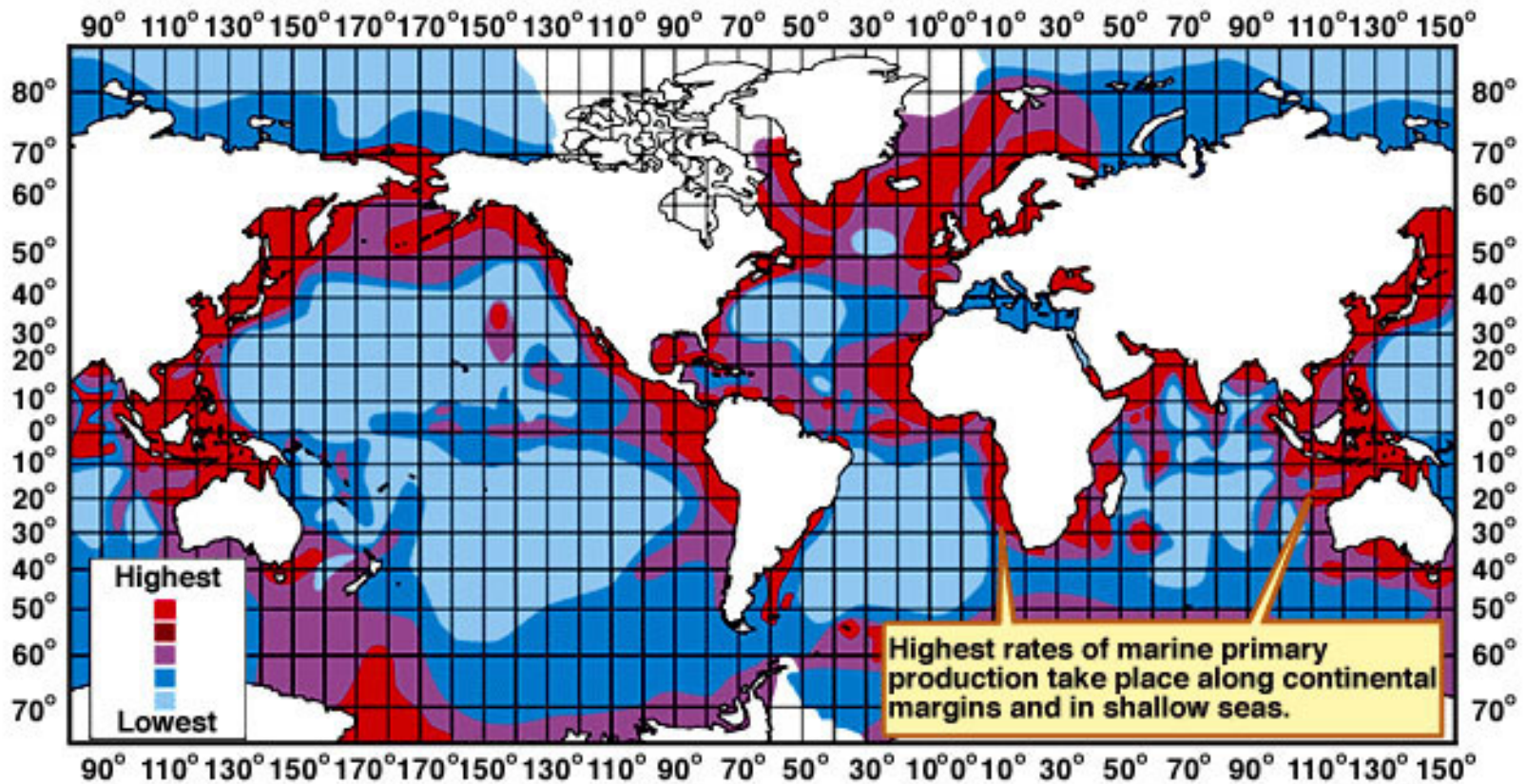
e.g.,

Cu, Zn, Ni, Co, Fe, Mo, Mn, B, Na, Cl

Mikronutrienti ili elementi u tragovima su također neophodni fitoplanktonu za rast. Općenito, elementi u tragovima najčešće imaju ulogu kofaktora u enzimima (Na primjer: Fe-ferrodoxin; Mn-flavodoxin; Zn-carbonic anhydrase)

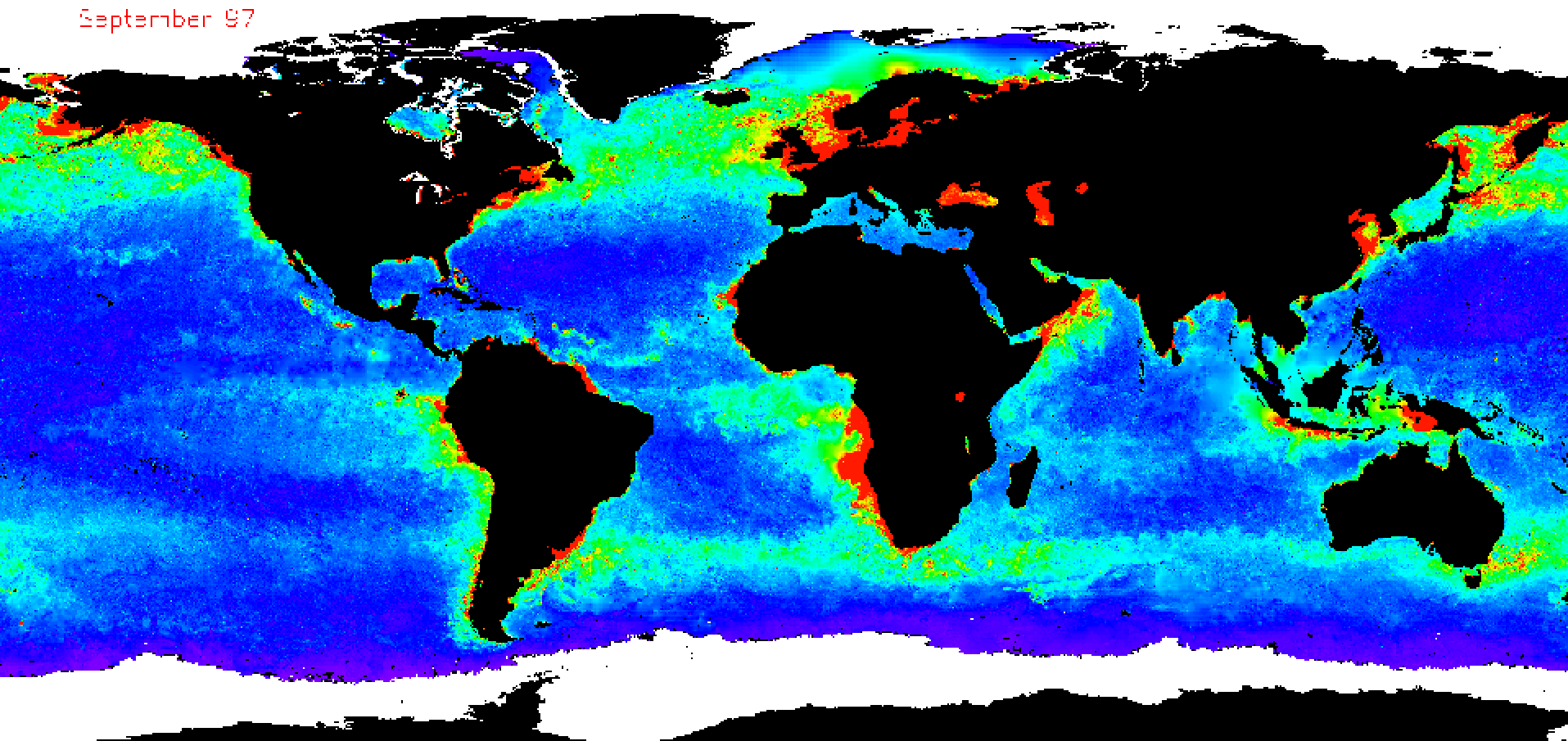
Poznato je da je željezo važno za proces **fiksacije dušika**. Bakar, cink i nikel su također važni za rast fitoplanktona iz otvorenih oceana. Interakcije elemenata u tragovima s procesima u stanici su neobično složene i još uvijek nisu do kraja objašnjene

Raspodjela primarne proizvodnje u moru

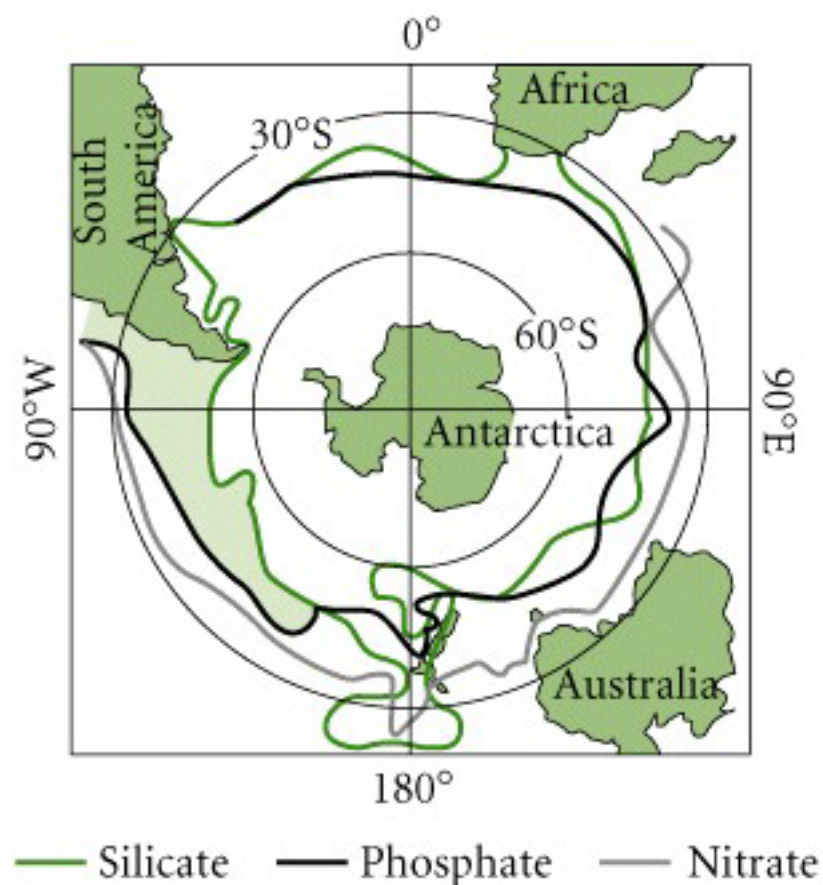
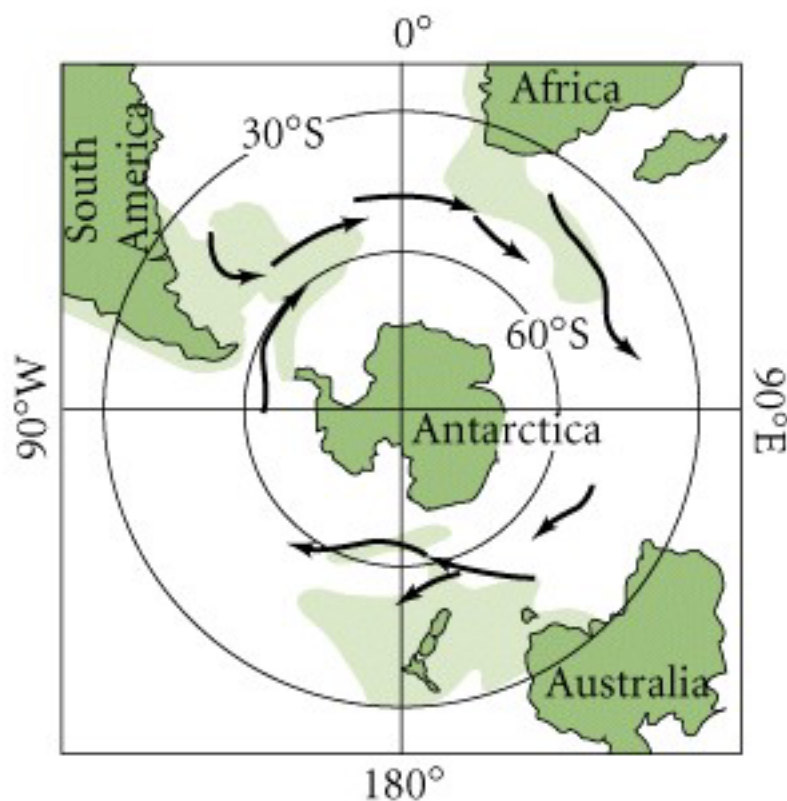


Phytoplankton and Primary Productivity

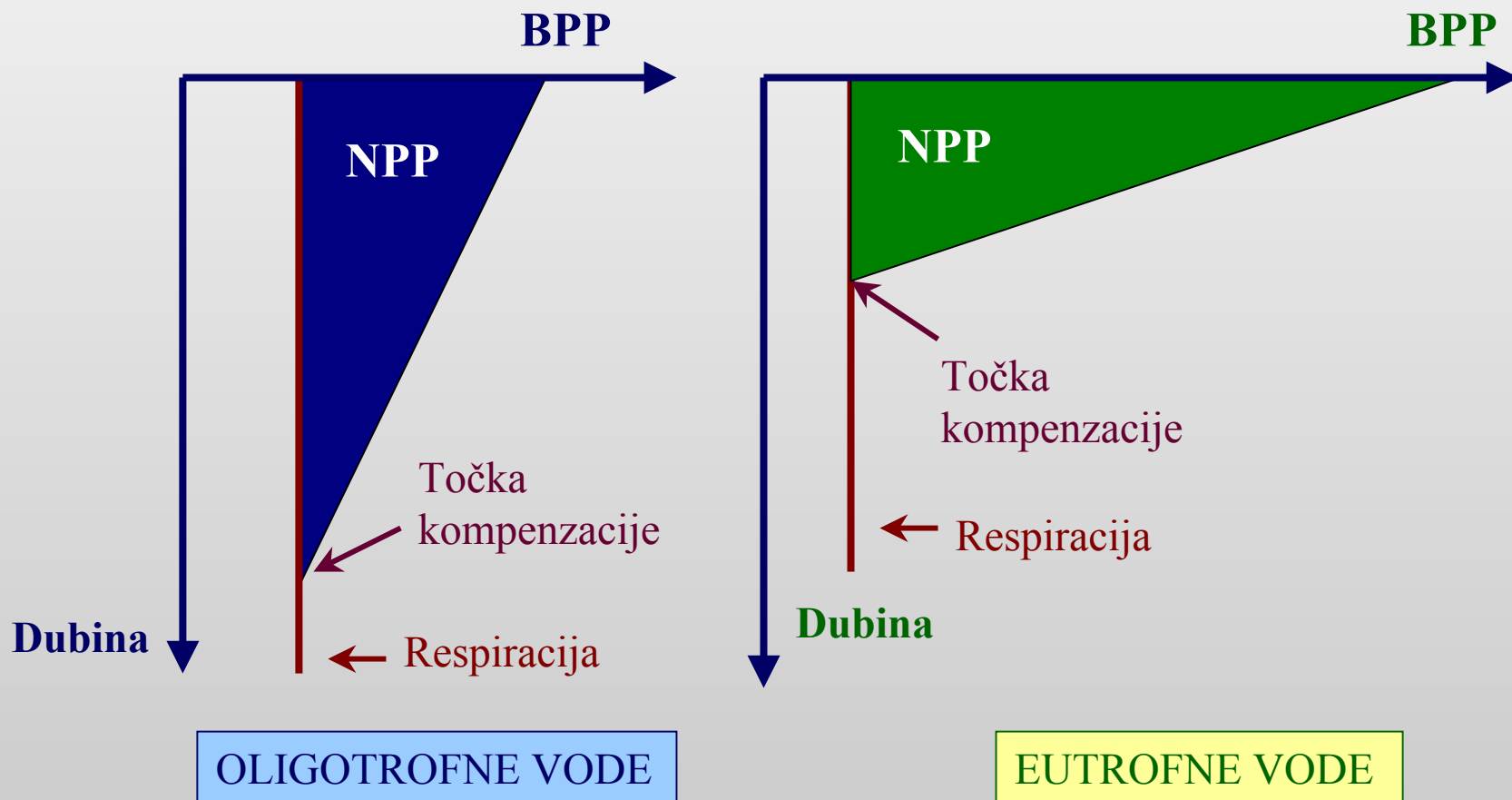
September 97



Preko 20% otvorenih oceana ima dovoljne koncentracije dušika i fosfora, ali je gustoća fitoplanktona unatoč tome vrlo niska (**HNLC područja: high-nutrient low-chlorophyll**). U ovim je područjima proizvodnja ograničena drugim hranjivima kao što je silicij ili željezo



Koncentracija hranjiva i debljina eufotičkog sloja su u pravilu obrnuto proporcionalni



Usporedba primarne proizvodnje u različitim kopnenim i vodenim ekosistemima

- Proizvodnja otvorenih oceana je usporediva s pustinjama na kopnu i iznosi 1/10 ili manje u odnosu na primarnu proizvodnju šuma umjerenih područja (plava boja oceana je boja siromaštva)
- Najproduktivnija morska staništa su estuarska područja, slane močvare i područja upwellinga, gdje je proizvodnja usporediva s najproduktivnijim kopnenim staništima (npr. tropske kišne šume)
- Primarna proizvodnja u slatkim vodama usporediva je s morskim staništima, a najveća je u rijekama, plitkim jezerima i barama, a najmanja u čistim potocima i dubokim jezerima

TABLE 10-2 Average net primary production and related dimensions of the earth's major ecosystem types

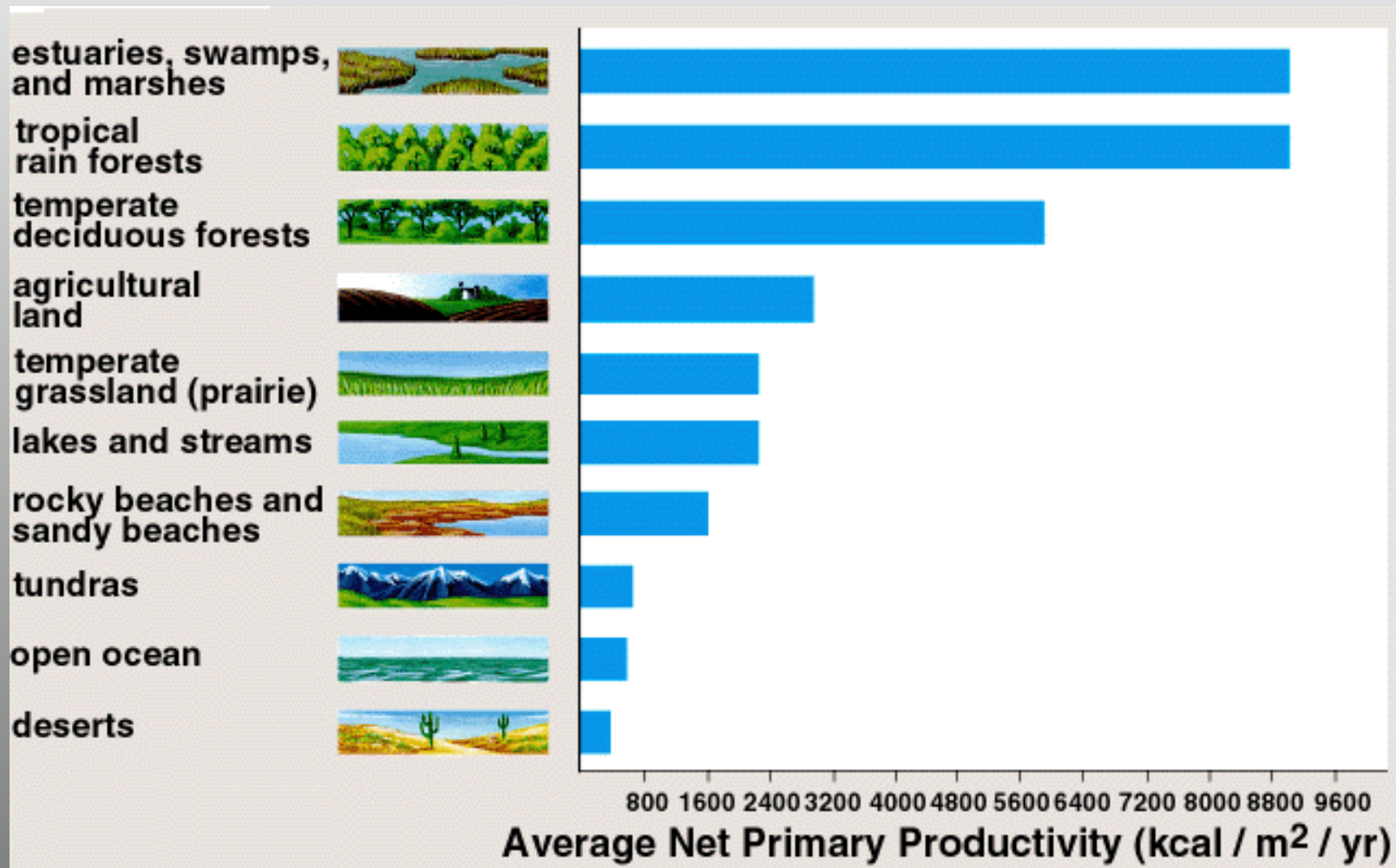
Ecosystem	Net primary production (g m ⁻² yr ⁻¹)	Biomass (kg m ⁻²)	Chlorophyll (g m ⁻²)	Leaf surface area (m ² m ⁻²)	Biomass accumulation ratio (yr)
Terrestrial					
Tropical forest	1,800	42	2.8	7	23
Temperate forest	1,250	32	2.6	8	26
Boreal forest	800	20	3.0	12	25
Shrubland	600	6	1.6	4	10
Savanna	700	4	1.5	4	6
Temperate grassland	500	1.5	1.3	4	3
Tundra and alpine	140	0.6	0.5	2	4
Desert scrub	70	0.7	0.5	1	10
Cultivated land	650	1	1.5	4	1.5
Swamp and marsh	2,500	15	3.0	7	6
Aquatic					
Open ocean	125	0.003	0.03	—	0.02
Continental shelf	360	0.01	0.2	—	0.03
Algal beds and reefs	2,000	2	2.0	—	1.00
Estuaries	1,800	1	1.0	—	0.56
Lakes and streams	500	0.02	0.2	—	0.04

(From Whittaker and Likens 1973.)

Kopneni ekosistemi

Vodeni ekosistemi

Proizvodnja nekih važnijih ekosistema na Zemlji



Sekundarna proizvodnja – Proizvodnja konzumenata (potrošača): herbivori, karnivori, detrivori

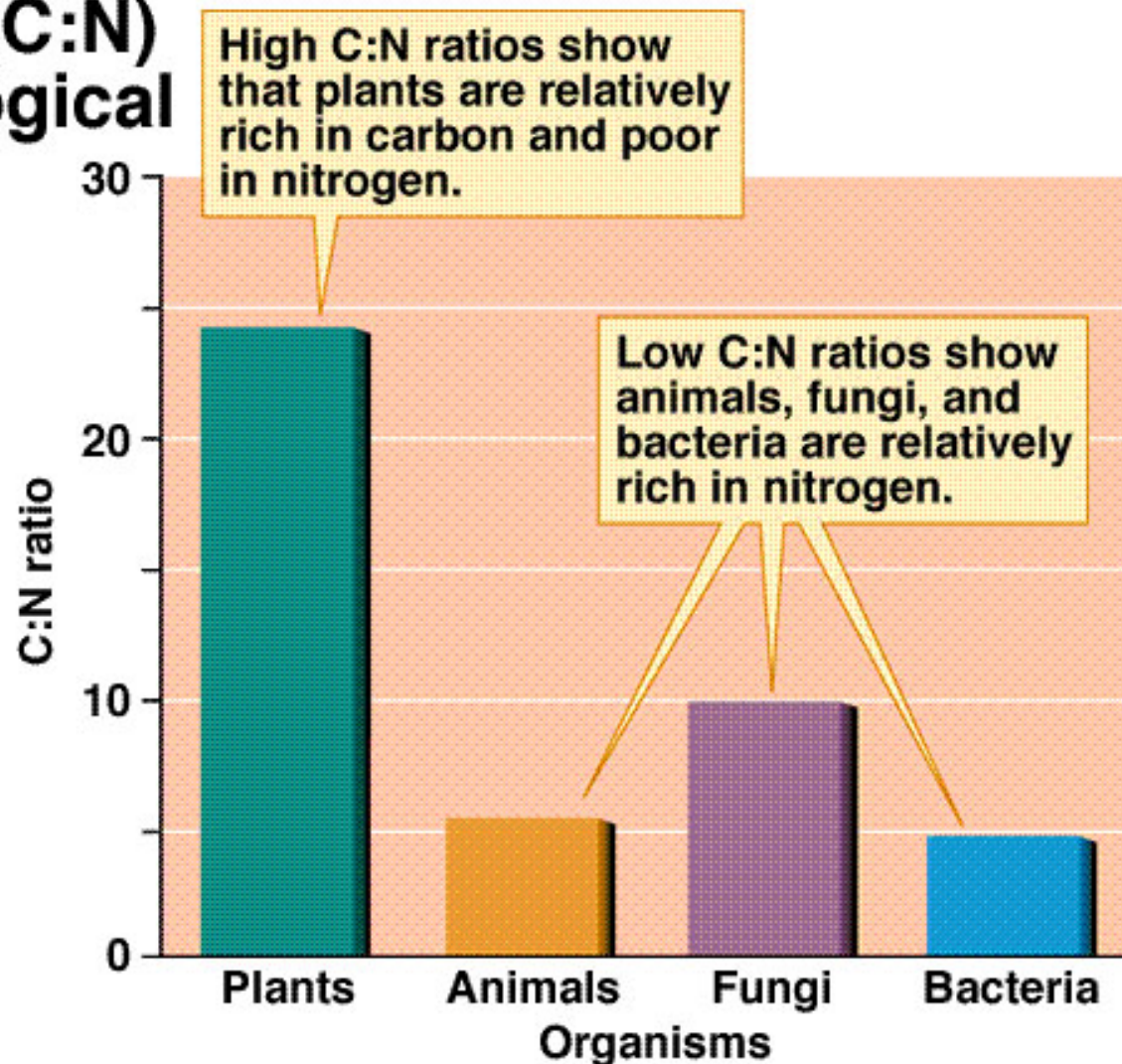
- Heterotrofni organizmi koriste organske molekule i kao izvor energije i kao izvor ugljika, te u potpunosti ovise o ugljiku i energiji koju su fiksirali autotrofi
- Heterotrofi uključuju tri glavne skupine organizama:
 - **HERBIVORI** – organizmi koji jedu biljke
 - **KARNIVORI** – organizmi koji jedu životinje
 - **DETRIVORI** – organizmi koji jedu neživu organsku tvar (većinom ostatke biljaka)
- Ove tri skupine heterotrofa imaju bitno različite trofičke (hranidbene) probleme

Herbivori

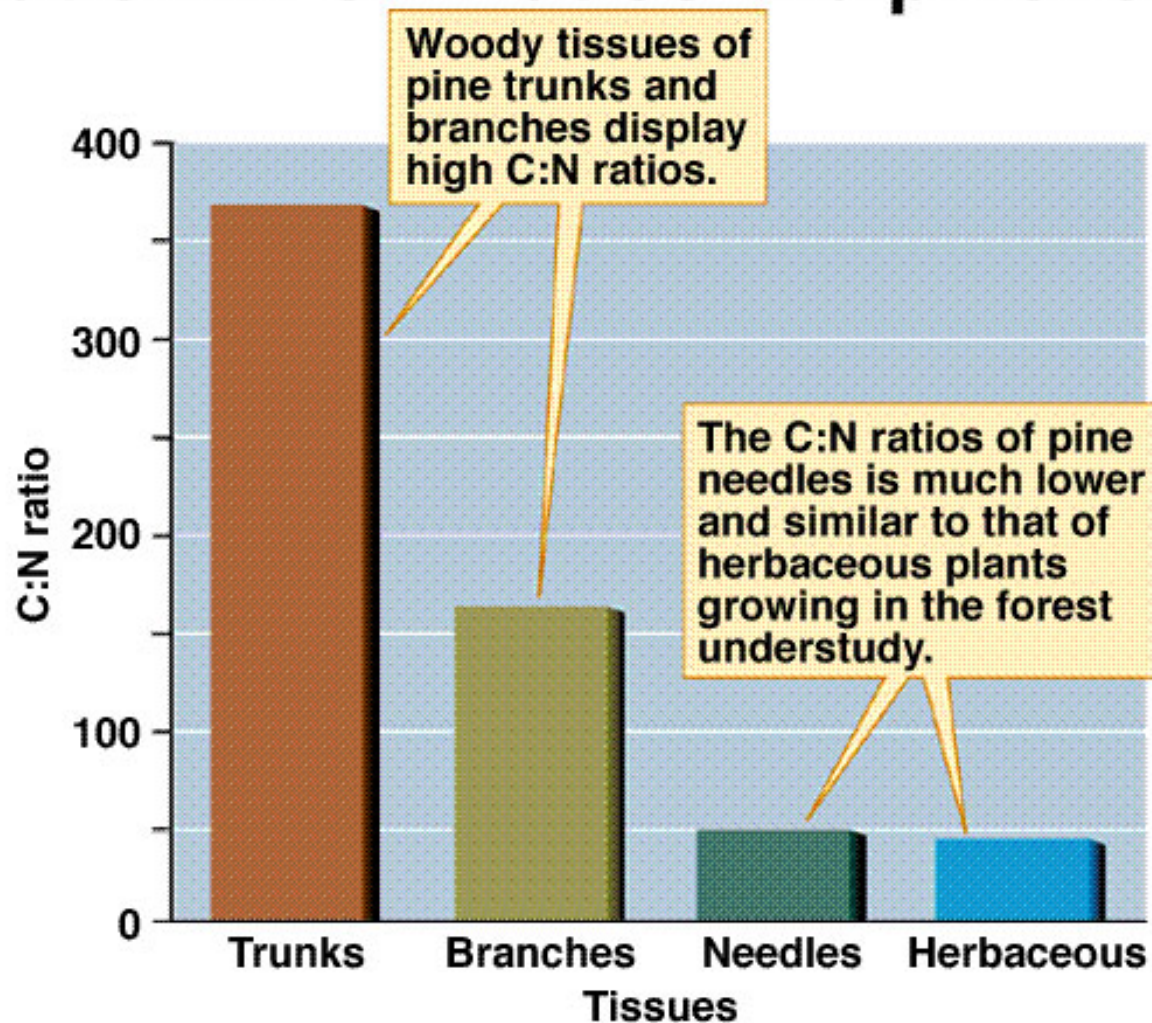
Ratio of carbon to nitrogen (C:N) across biological kingdoms.

Hranidbene potrebe organizama rezultat su kemijskog sastava njihovog tijela

C:N omjer kod biljaka je daleko veći nego kod svih ostalih skupina organizama

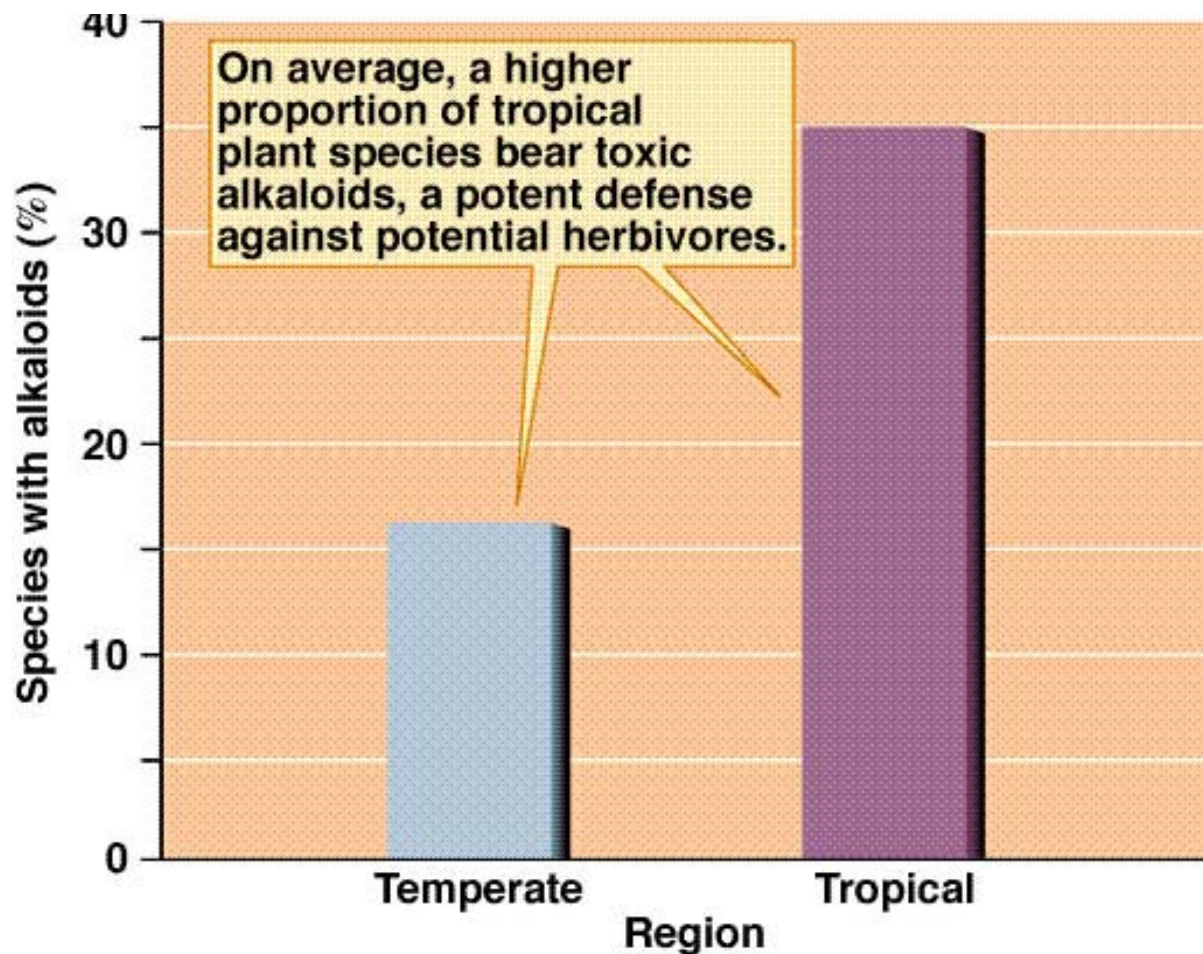


Variation in C:N ratios in a pine forest.



Herbivori se hrane biljnim tkivom koje sadrži puno ugljika a malo dušika, što smanjuje njegovu hranjivu vrijednost

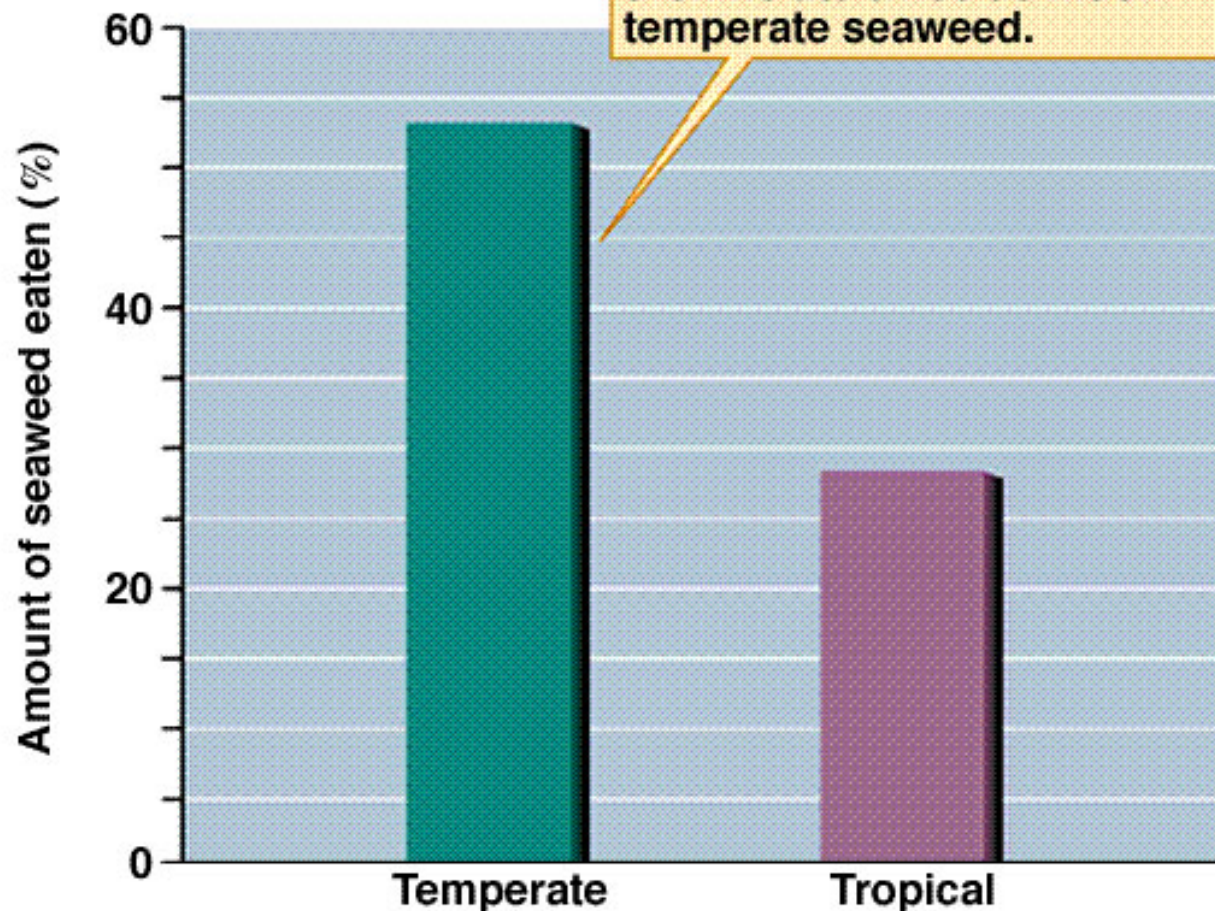
Herbivori se moraju suočiti s fizičkim i kemijskim obrambenim mehanizmima kod biljaka



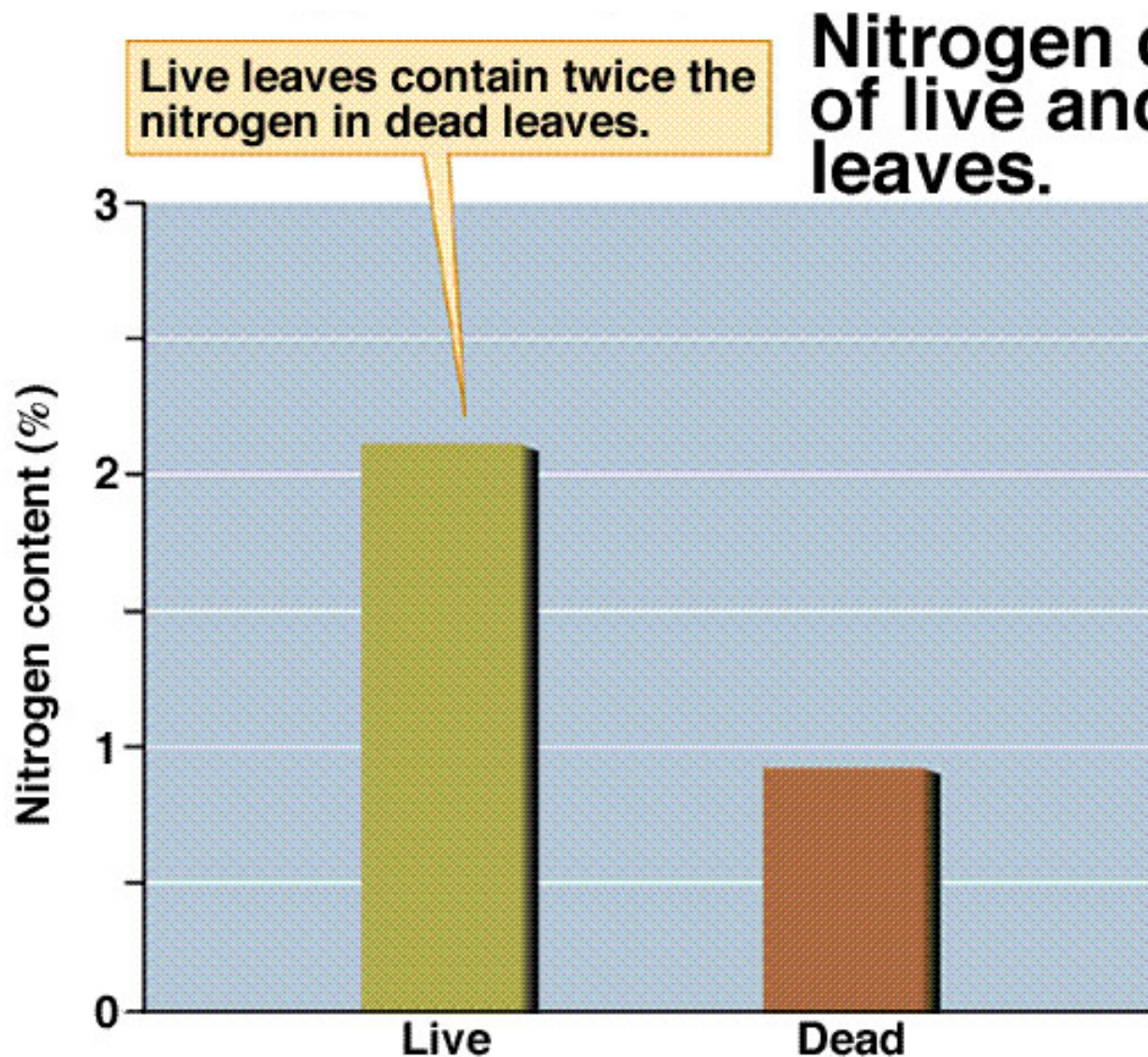
Herbivori konzumiraju oko 7% biomase lišća u šumama umjerenog područja, te 11-48% u tropskim šumama (to objašnjava jaču prirodnu selekciju za kemijsku obranu kod tropskih biljaka)

Sea urchin preference for temperate versus tropical seaweeds.

Generalizacija o jačoj kemijskoj obrani kod tropskih biljaka (koja se ogleda kroz veću raznolikost i veću toksičnost alkaloida) primjenjiva je i na morske biljke



Detrivori



Detrivori se hrane mrtvim biljnim materijalom koji je još siromašniji dušikom od živog biljnog tkiva

Detritus još neko vrijeme zadržava kemijsku obranu, što usporava razgradnju i omogućava održavanje organske tvari u tlu

Karnivori

The diets of river otters in the Shetland Islands are dominated by fish and crustaceans.

River otter diets in England are dominated by fish but include several other prey.

- Fish
- Frogs
- Water snakes
- Birds
- Mammals
- Crustaceans
- Insects

Shetland Islands

England

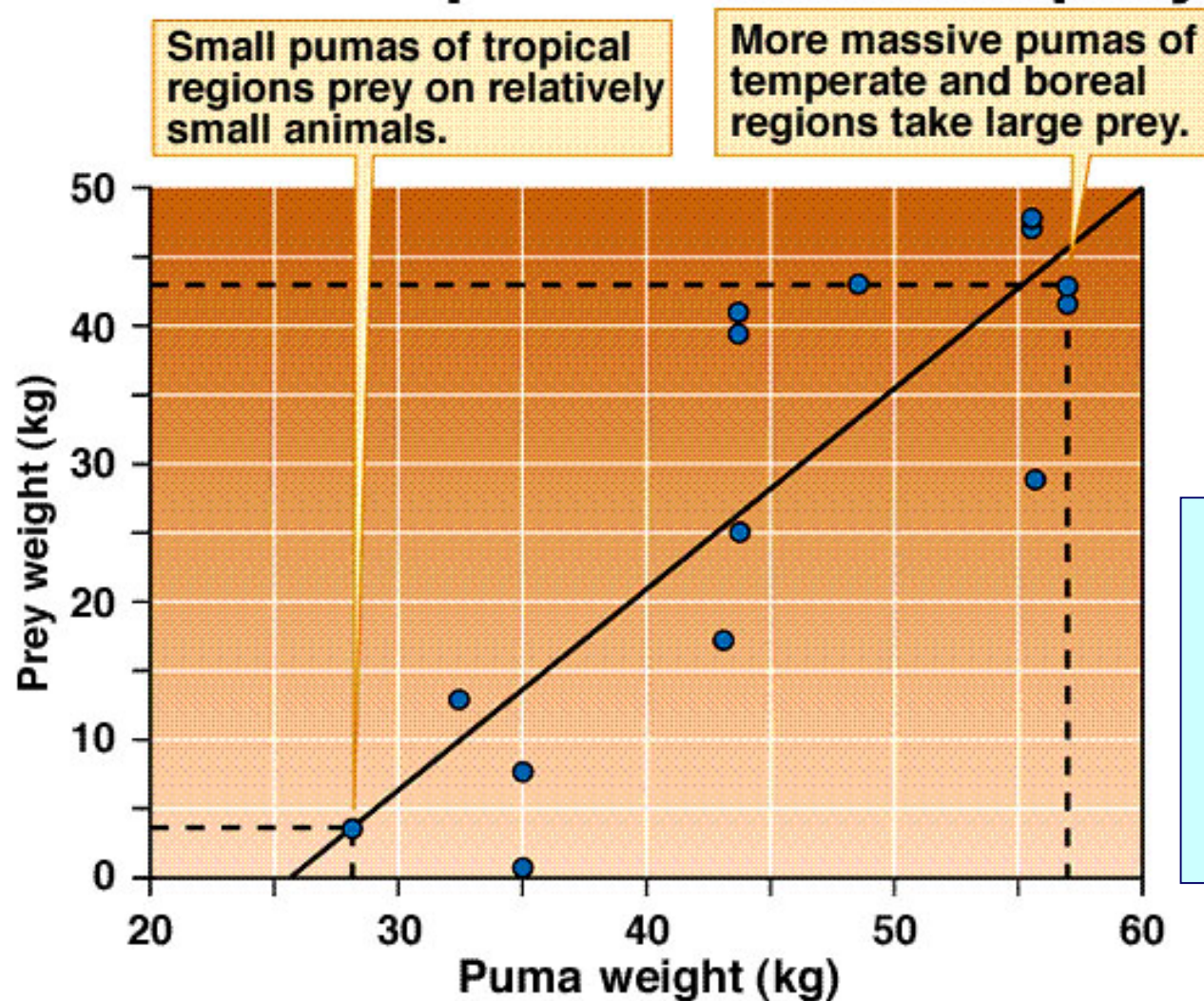
No one prey type dominates river otter diets in Portugal, where otters eat insects and frogs as commonly as they eat fish.

Portugal

Geografske varijacije u prehrani riječne vidre: Vidra mijenja svoju prehranu u ovisnosti o raspoloživom plijenu

Karnivori se hrane energetski bogatim plijenom, ali plijenom koji pokazuje efikasne mehanizme obrane

The size of pumas and their prey.



**Veličinski
selektivna
predacija**



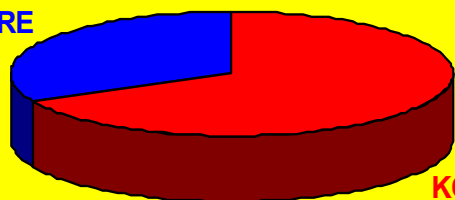
Budući da karnivori moraju uhvatiti i savladati svoj plijen oni obično vrše veličinsku selekciju plijena

Produktivnost mora i kopna: Usporedba

Primarna proizvodnja (NPP)

1:2 (1:5)

MORE

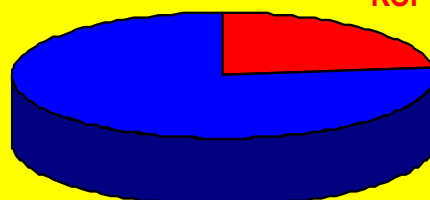


KOPNO

Proizvodnja herbivora

3:1

MORE

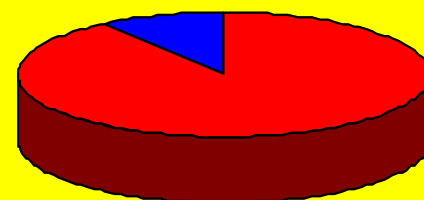


KOPNO

Detrivorna proizvodnja (DP)

1:9

MORE

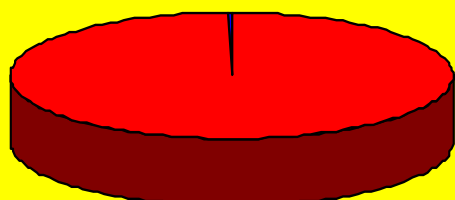


KOPNO

Biljna biomasa

1:500 (1:1200)

MORE

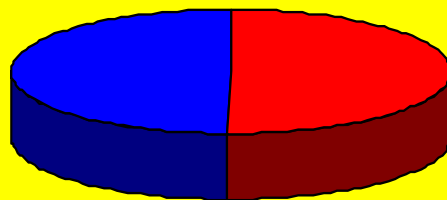


KOPNO

Biomasa herbivora

1:1

MORE

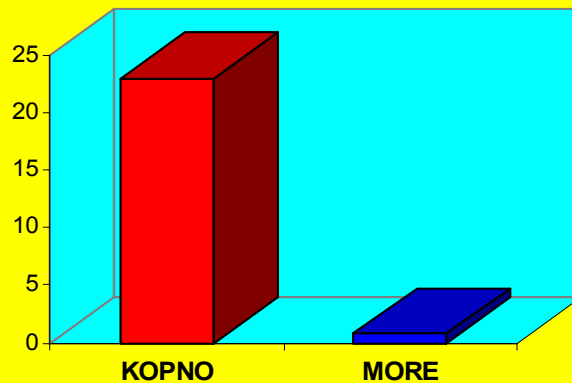


KOPNO

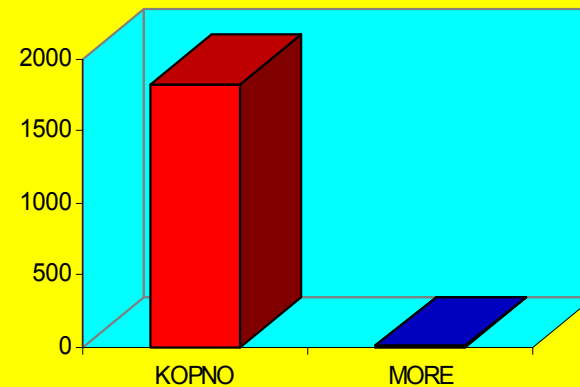
Kopnene ekosisteme karakterizira veća primarna i detrivorna proizvodnja, a morske veća herbivorna proizvodnja

Produktivnost mora i kopna: Usporedba

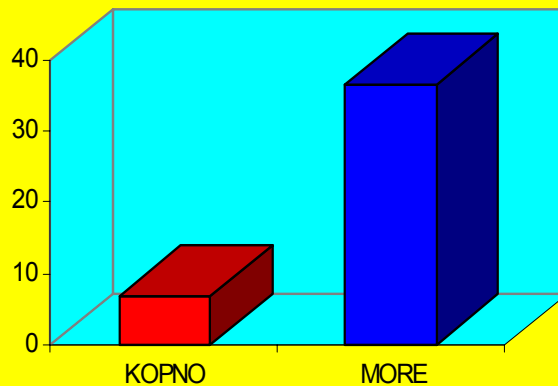
DP/HP



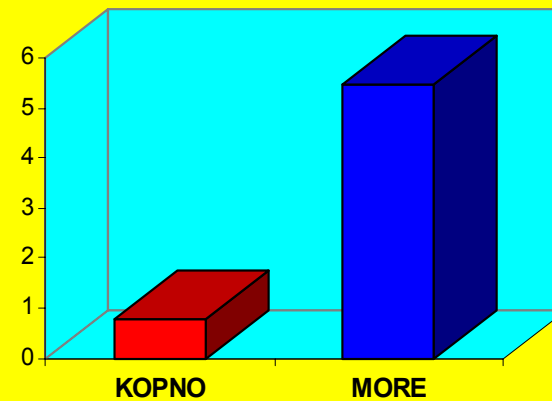
Biljna biomasa/herbivorna biomasa



Herbivorna konzumacija (% NPP)



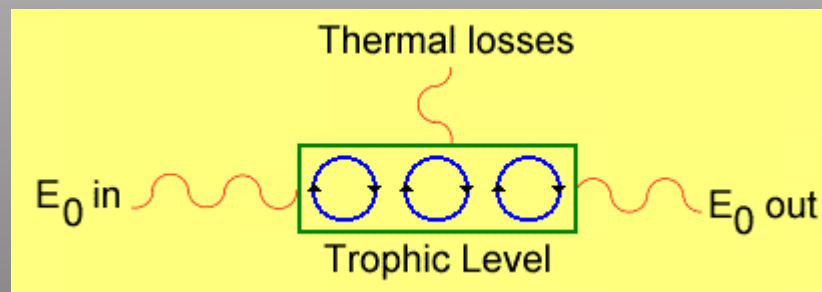
HP/NPP (%)



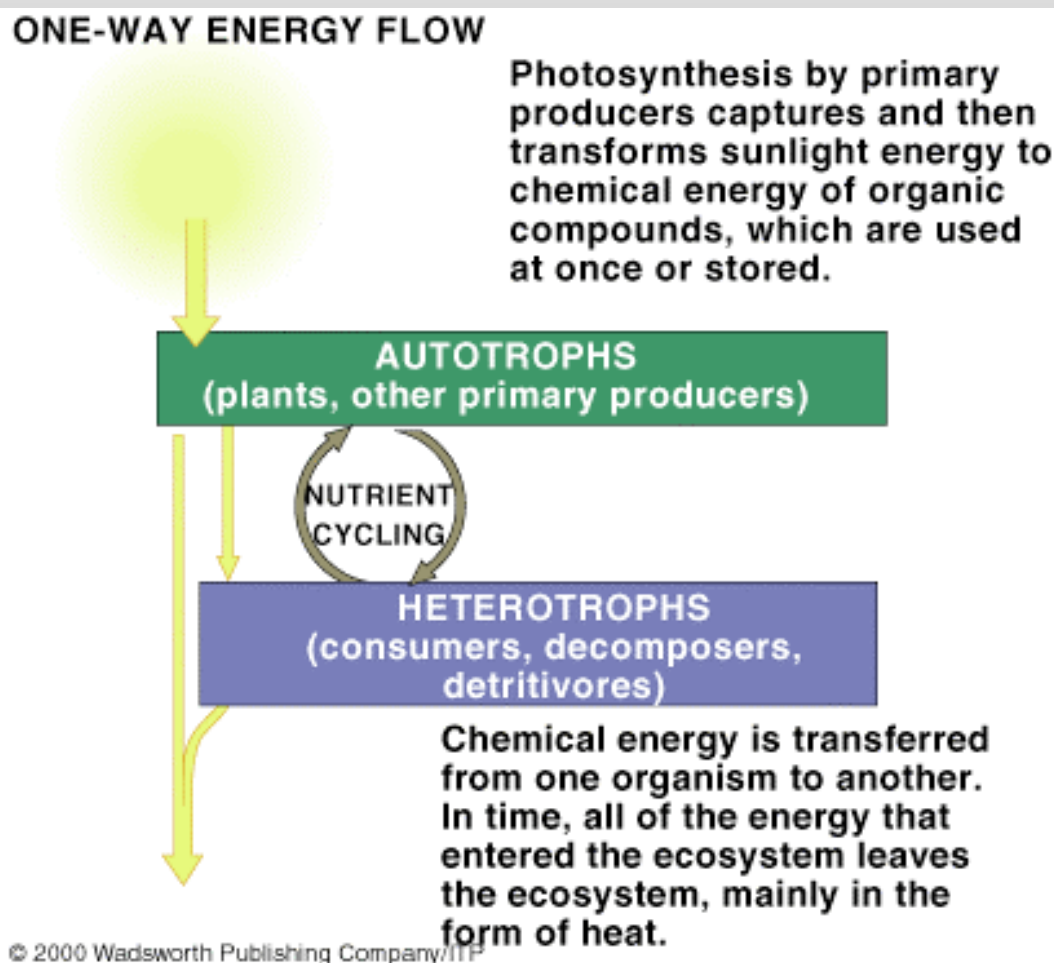
DINAMIKA PROTOKA ENERGIJE KROZ EKOSISTEM

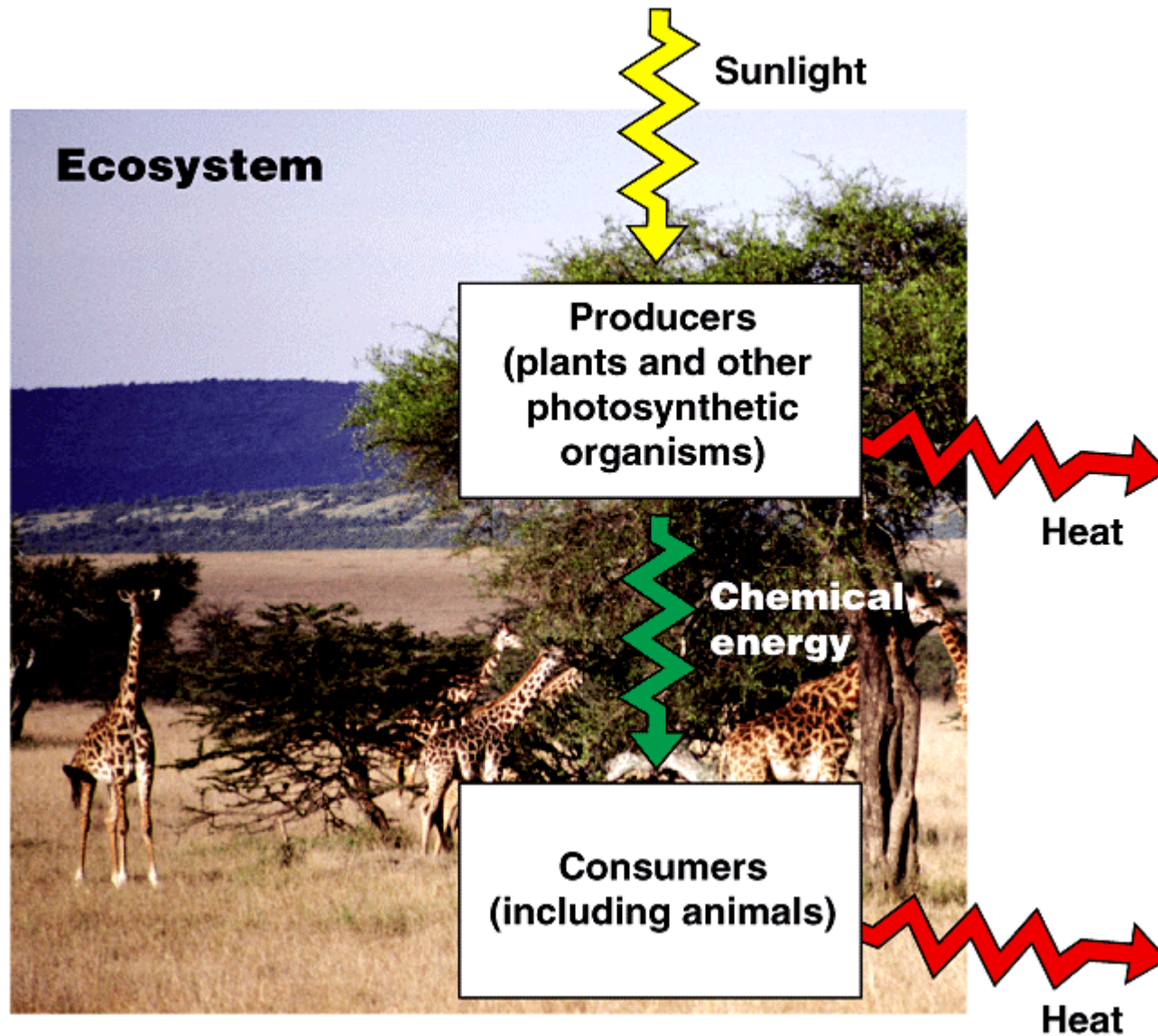
1. Ekološka efikasnost

2. Brzina prijenosa energije

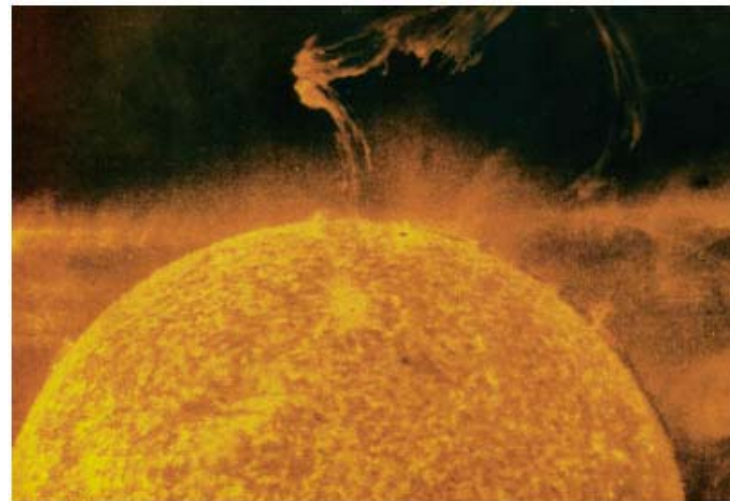


Za razliku od hranjiva (elemenata) koji kruže, energija kroz ekosistem protiče





Postoji jednosmjernan
protok energije od
sunca prema Zemlji

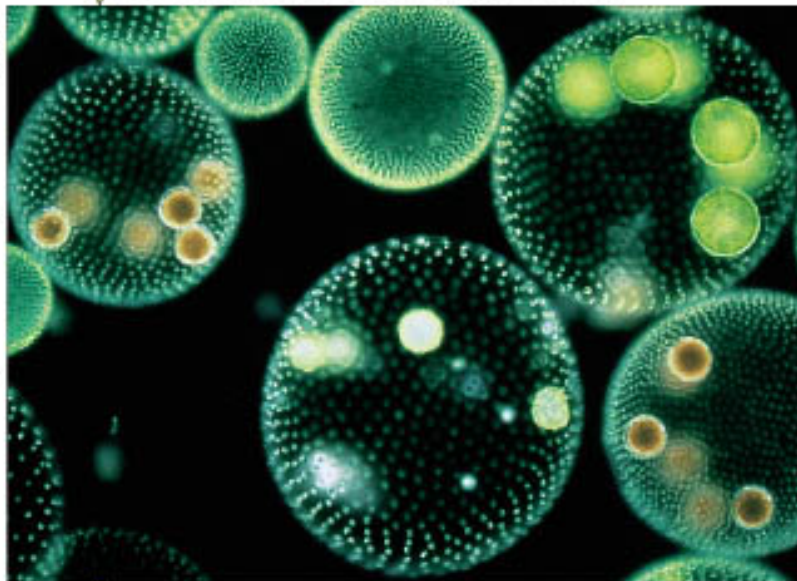


ENERGY GAINED
one-way flow of energy from
environment to organisms



ENERGY LOST
one-way flow of energy from sun
to Earth's environment

Producer organisms harness sun's energy, use it to build organic compounds from simple raw materials available in their environment.



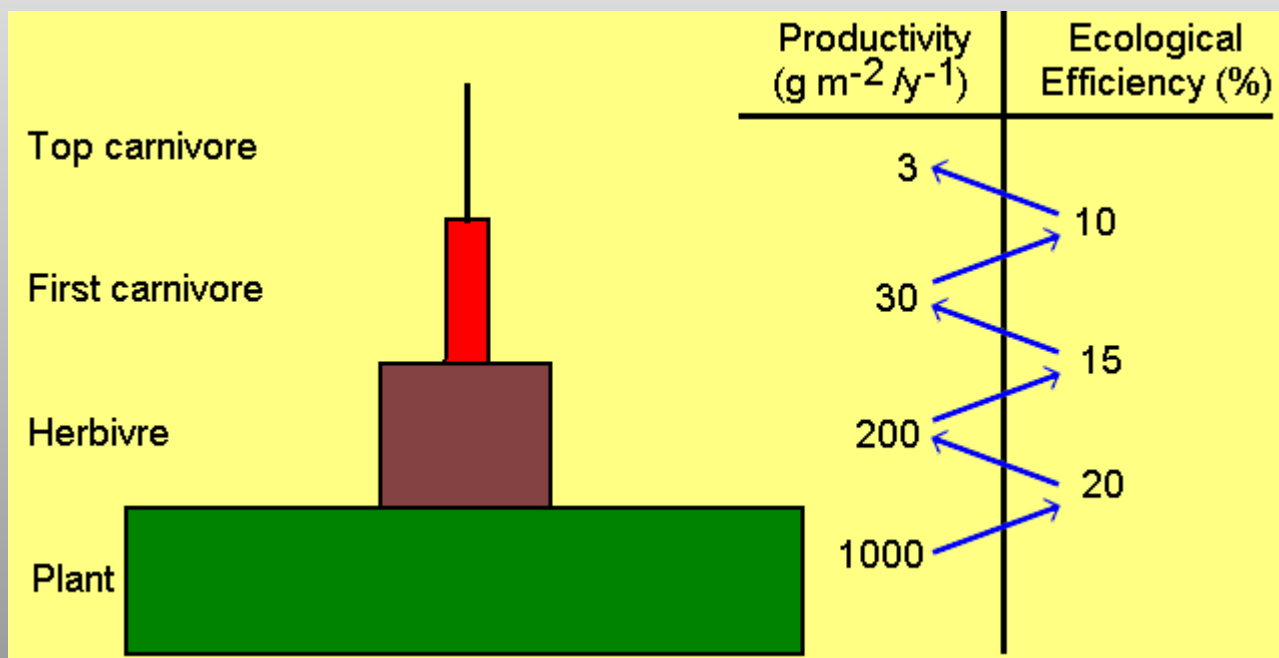
All organisms tap potential energy stored in organic compounds to drive energy conversions that keep them alive. Some energy is lost with each conversion.



ENERGY LOST
one-way flow of energy from
organisms back to the environment

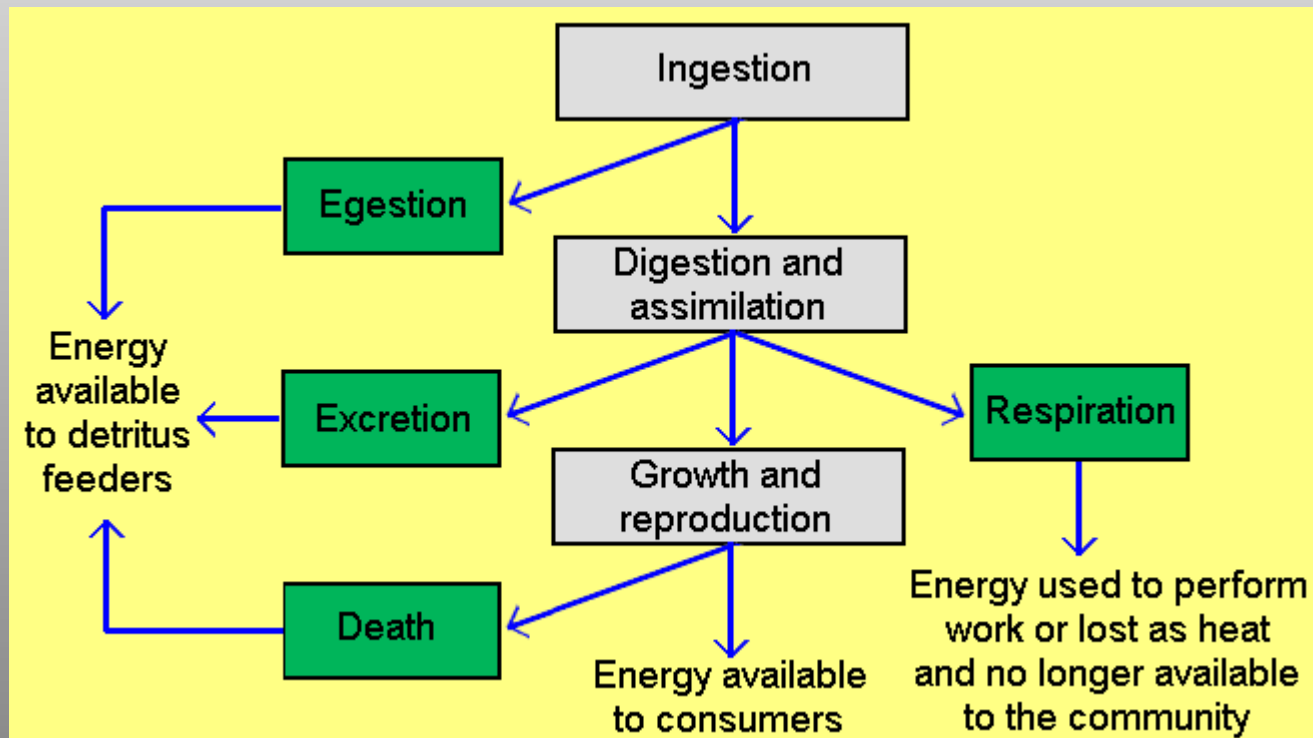
Jedan dio te energije
(vrlo mali) koriste
organizmi za izgradnju
svojih tijela, za
održavanje na životu, te
za rast i razmnožavanje.
Pri tome se dobar dio
energije gubi i zrači se u
okoliš u obliku topline

Ekološka efikasnost određuje dinamiku gibanja energije duž hranidbenog lanca

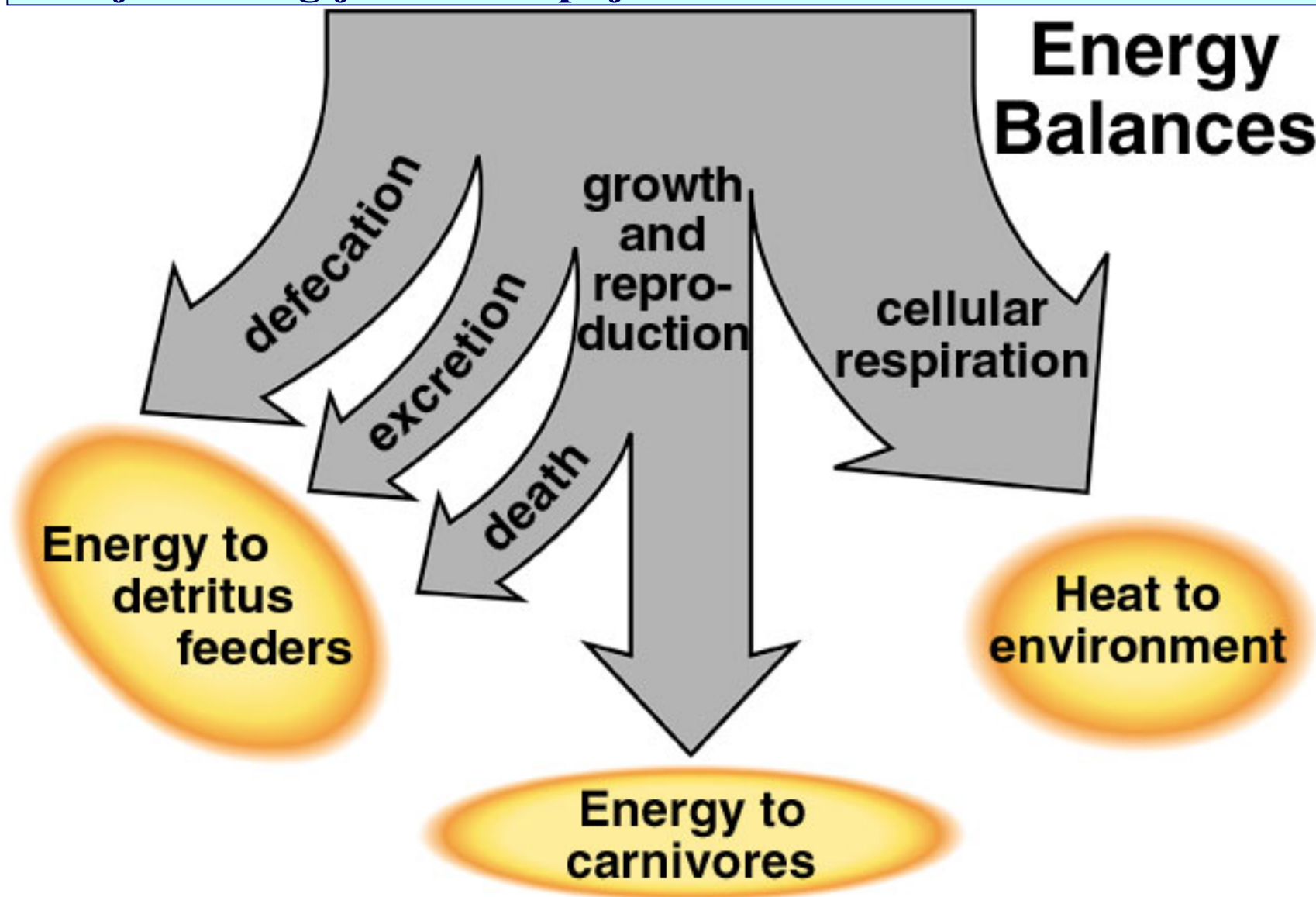


Ekološka efikasnost ili efikasnost hranidbenog lanca je postotak energije koji se prenese s jedne trofičke razine na drugu. Ta vrijednost se u pravilu kreće u rasponu od 5-20%

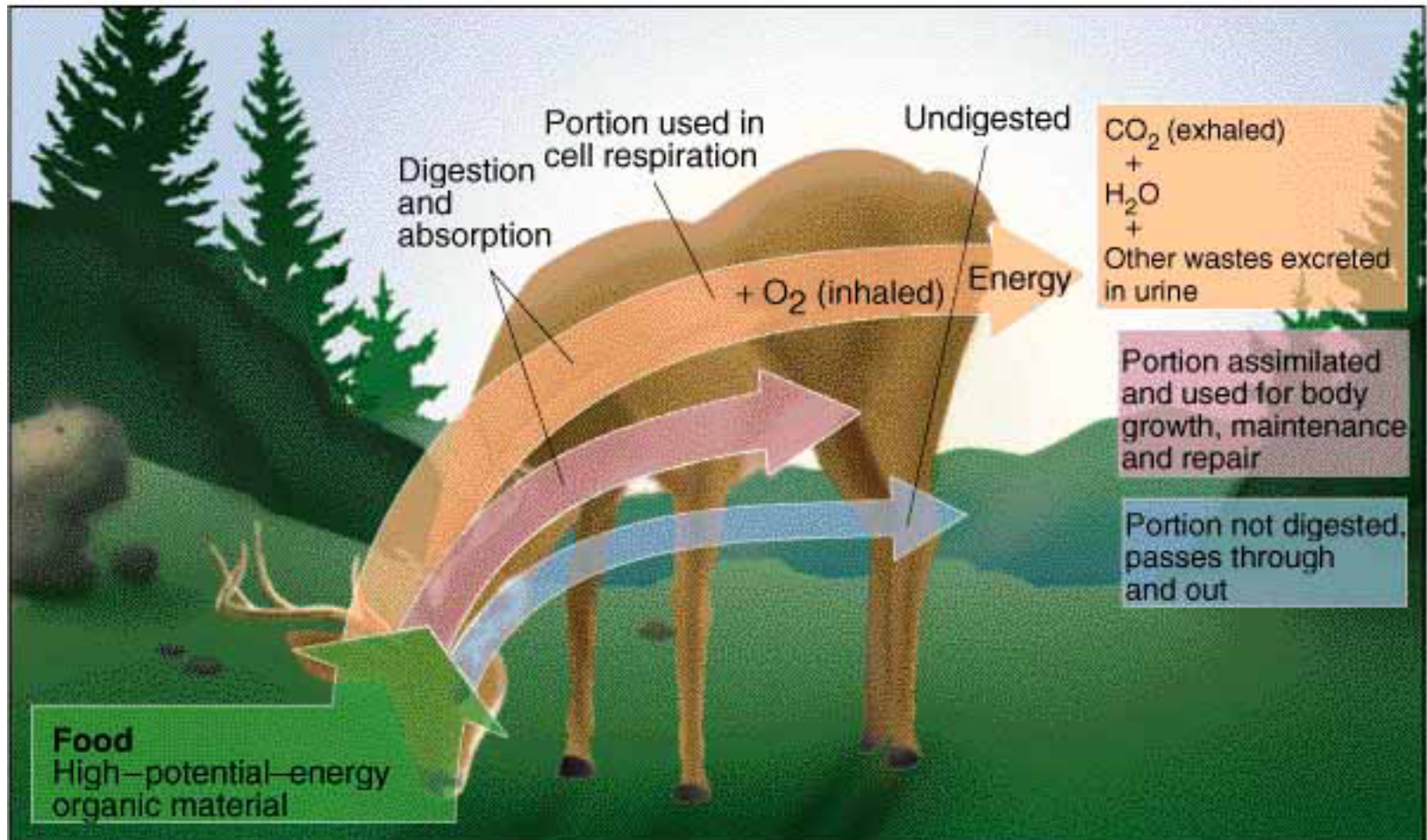
Podjela energije unutar pojedine veze u hranidbenom lancu



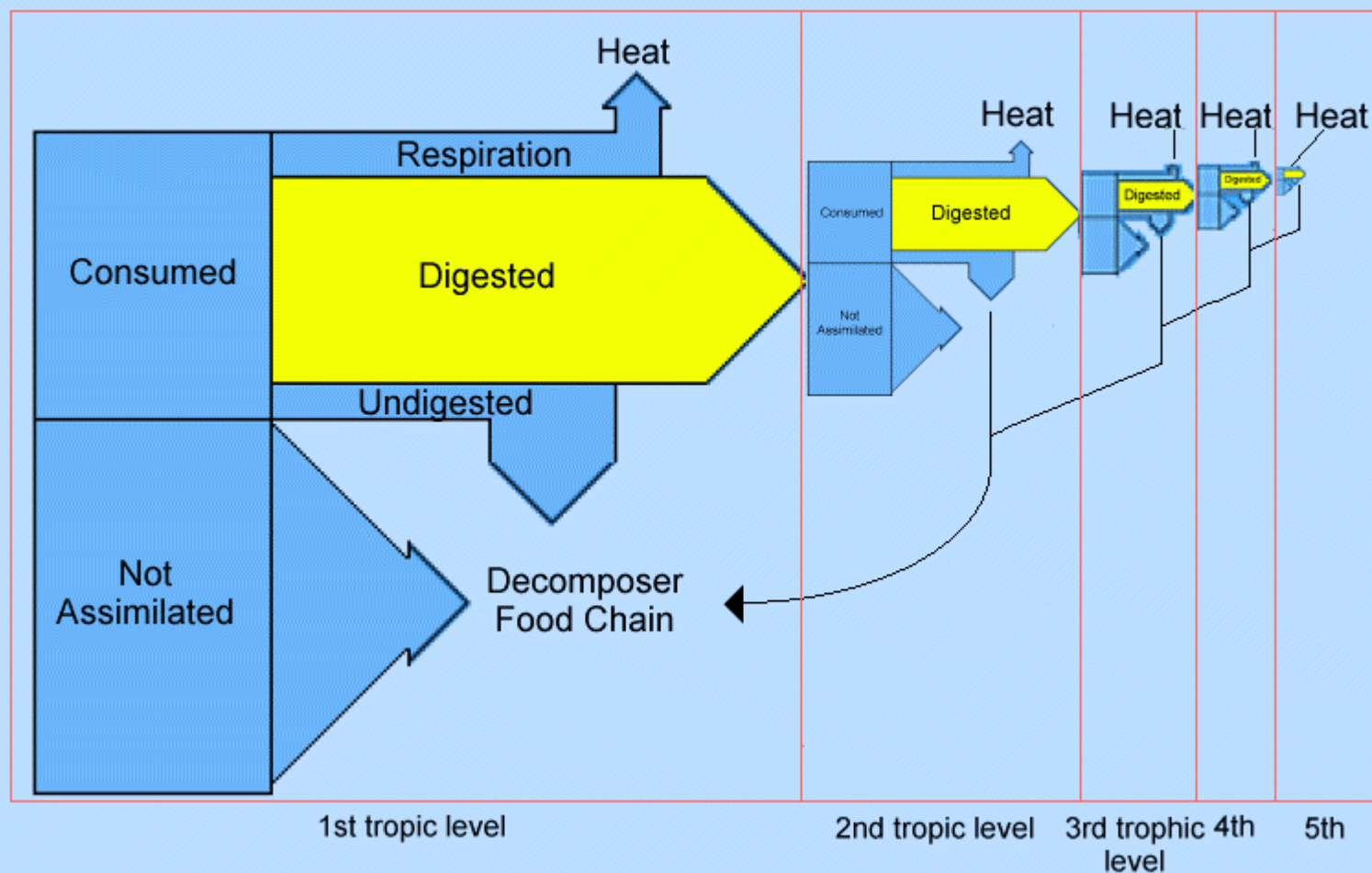
Podjela energije unutar pojedine veze u hranidbenom lancu



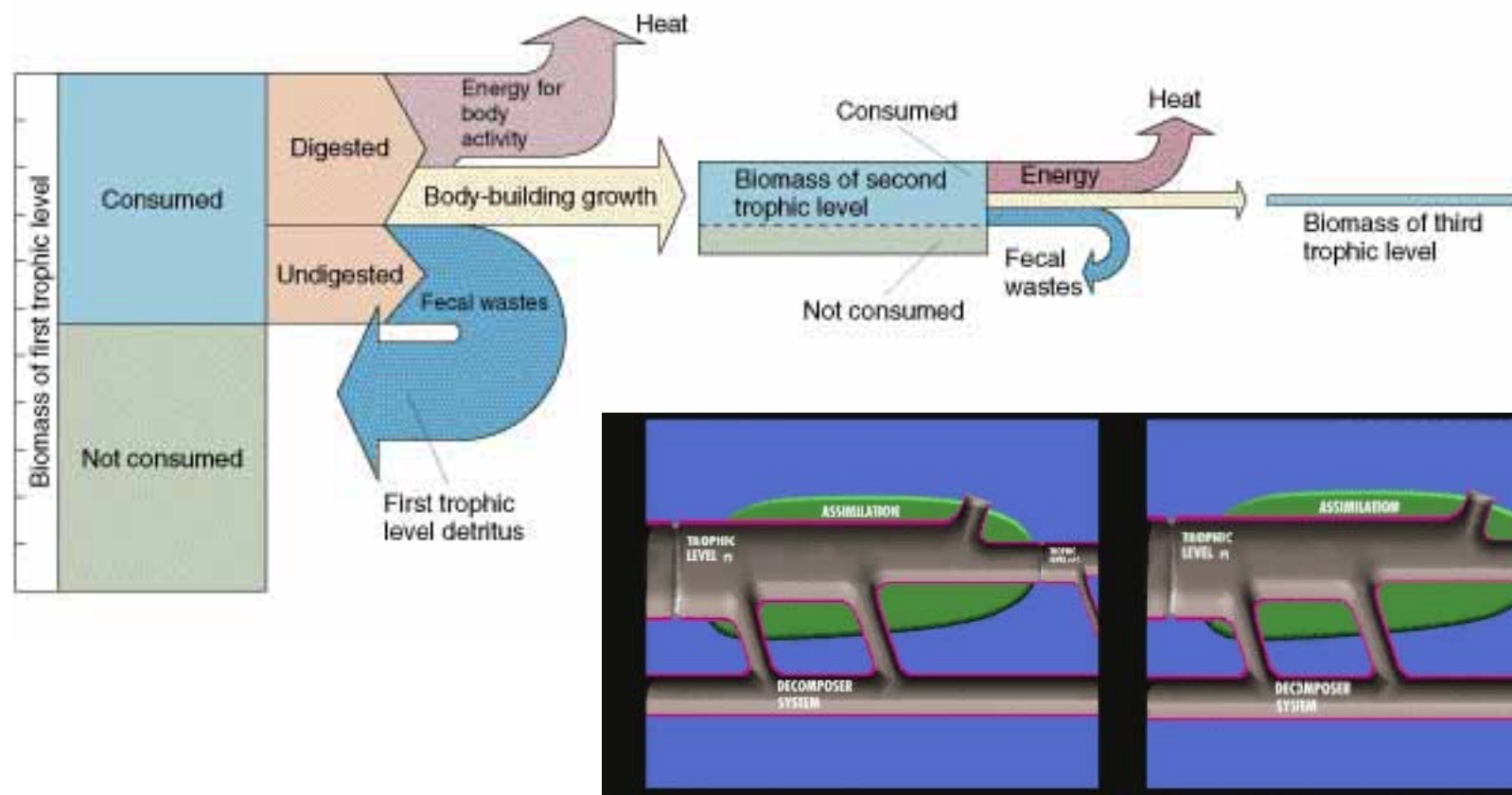
Podjela energije unutar pojedine veze u hranidbenom lancu



Podjela energije unutar pojedine veze u hranidbenom lancu



Podjela energije unutar pojedine veze u hranidbenom lancu



Gross primary production

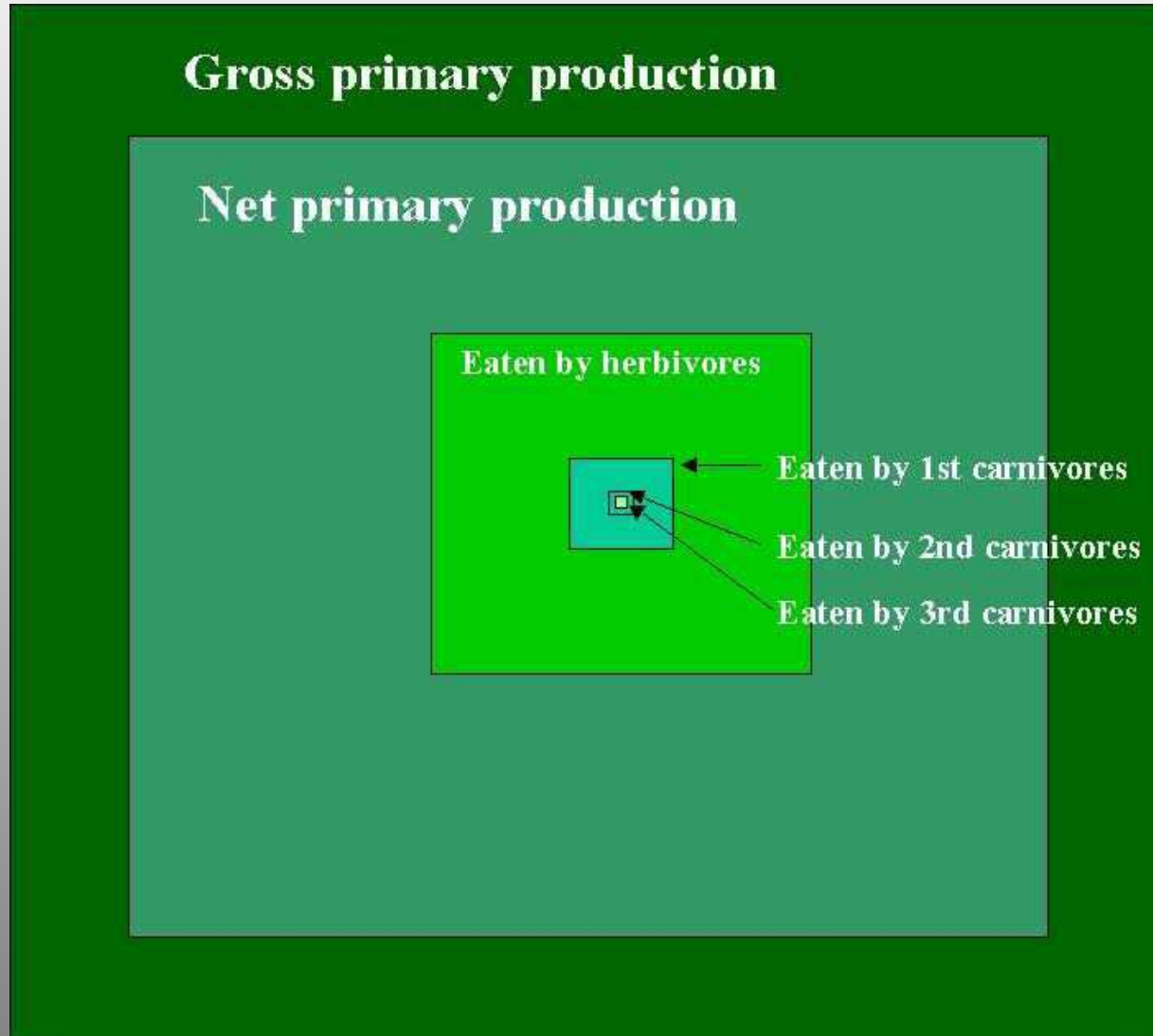
Net primary production

Eaten by herbivores

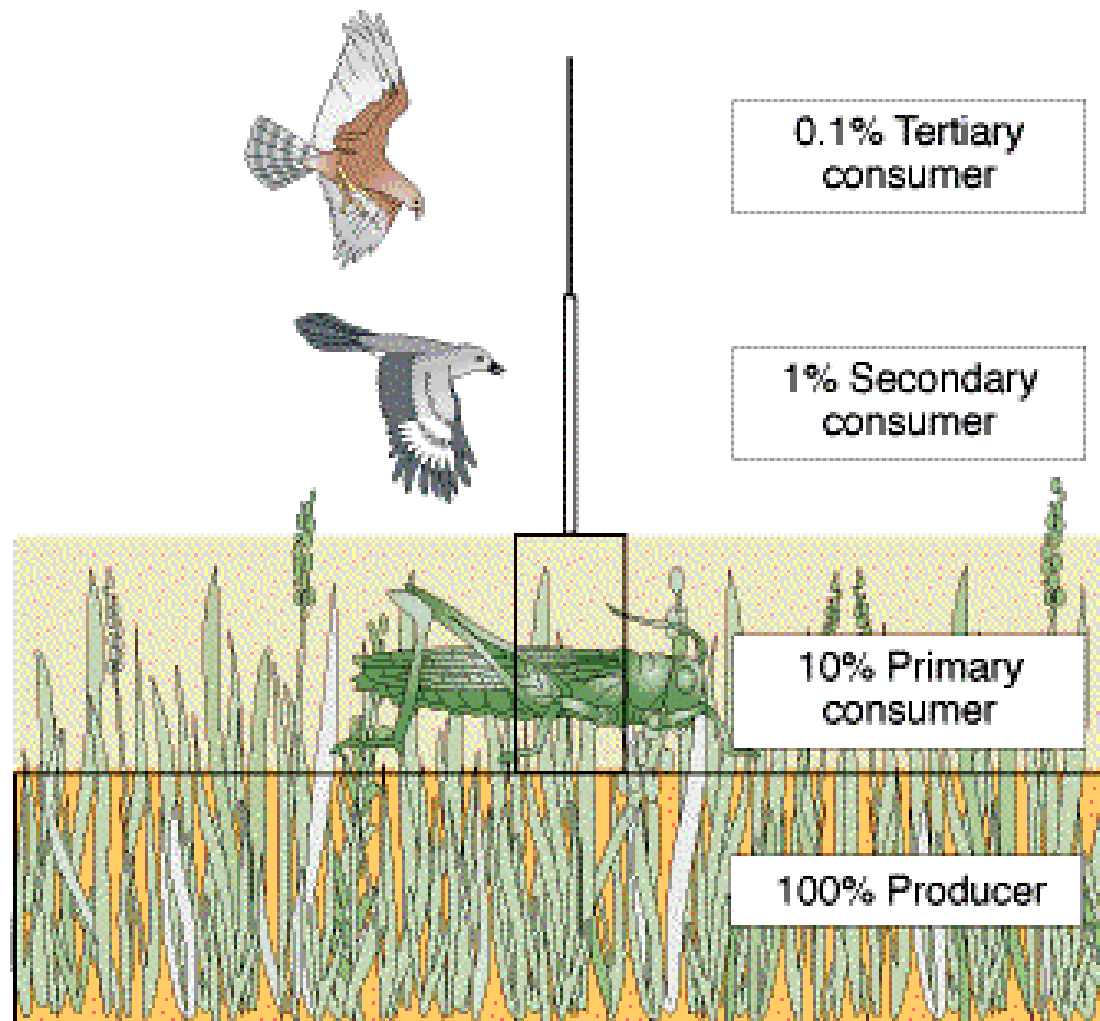
Eaten by 1st carnivores

Eaten by 2nd carnivores

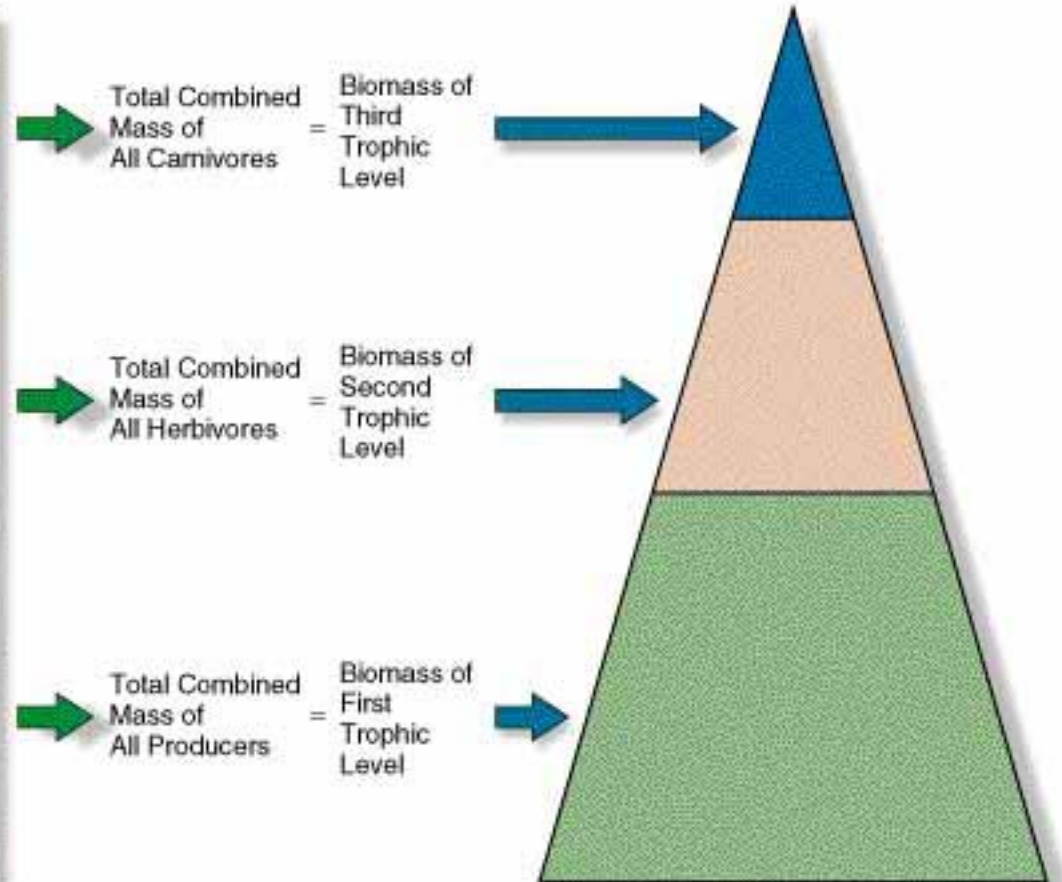
Eaten by 3rd carnivores



Prijenos energije duž hranidbenog lanca



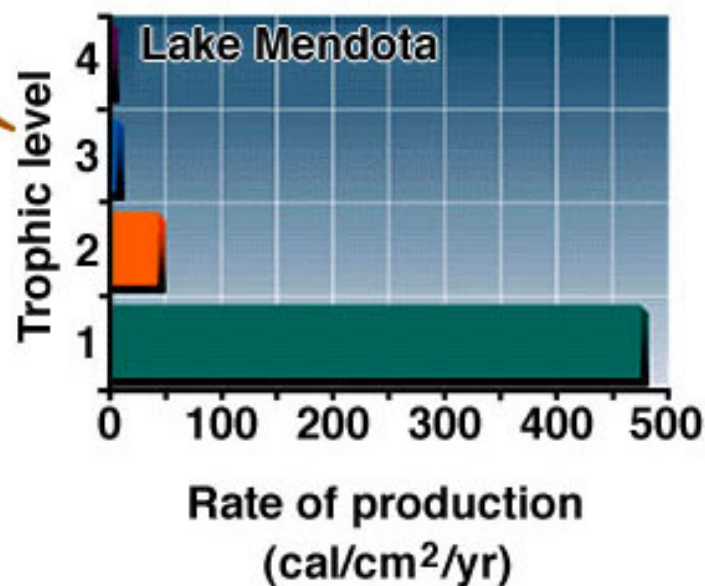
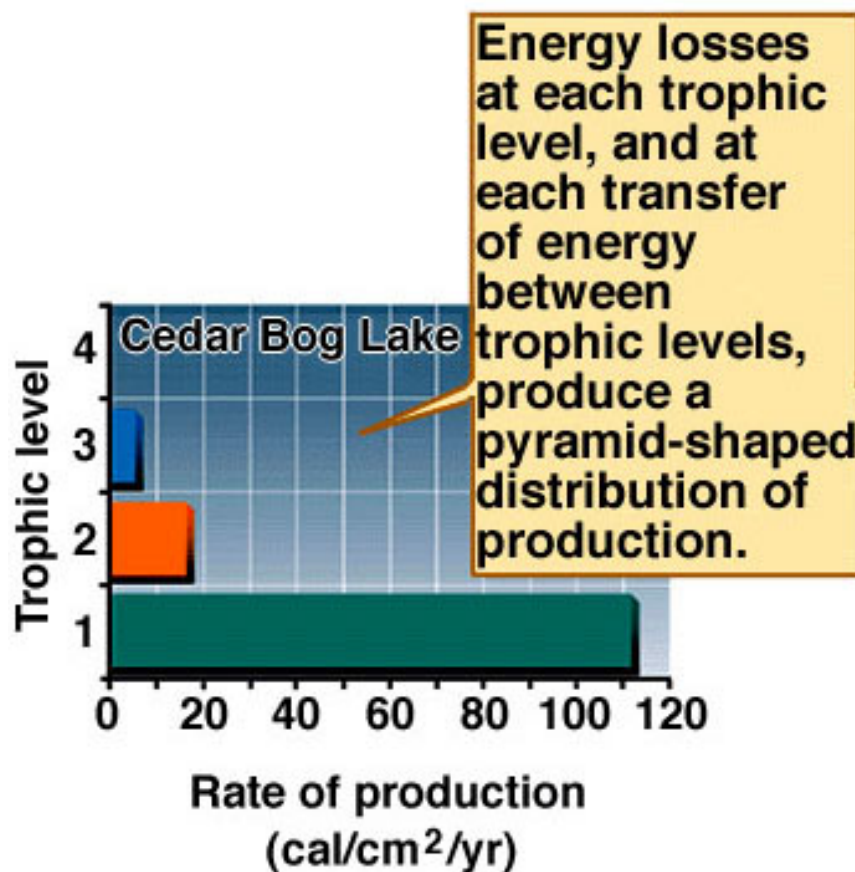
Odnosi biomasa na različitim trofičkim razinama



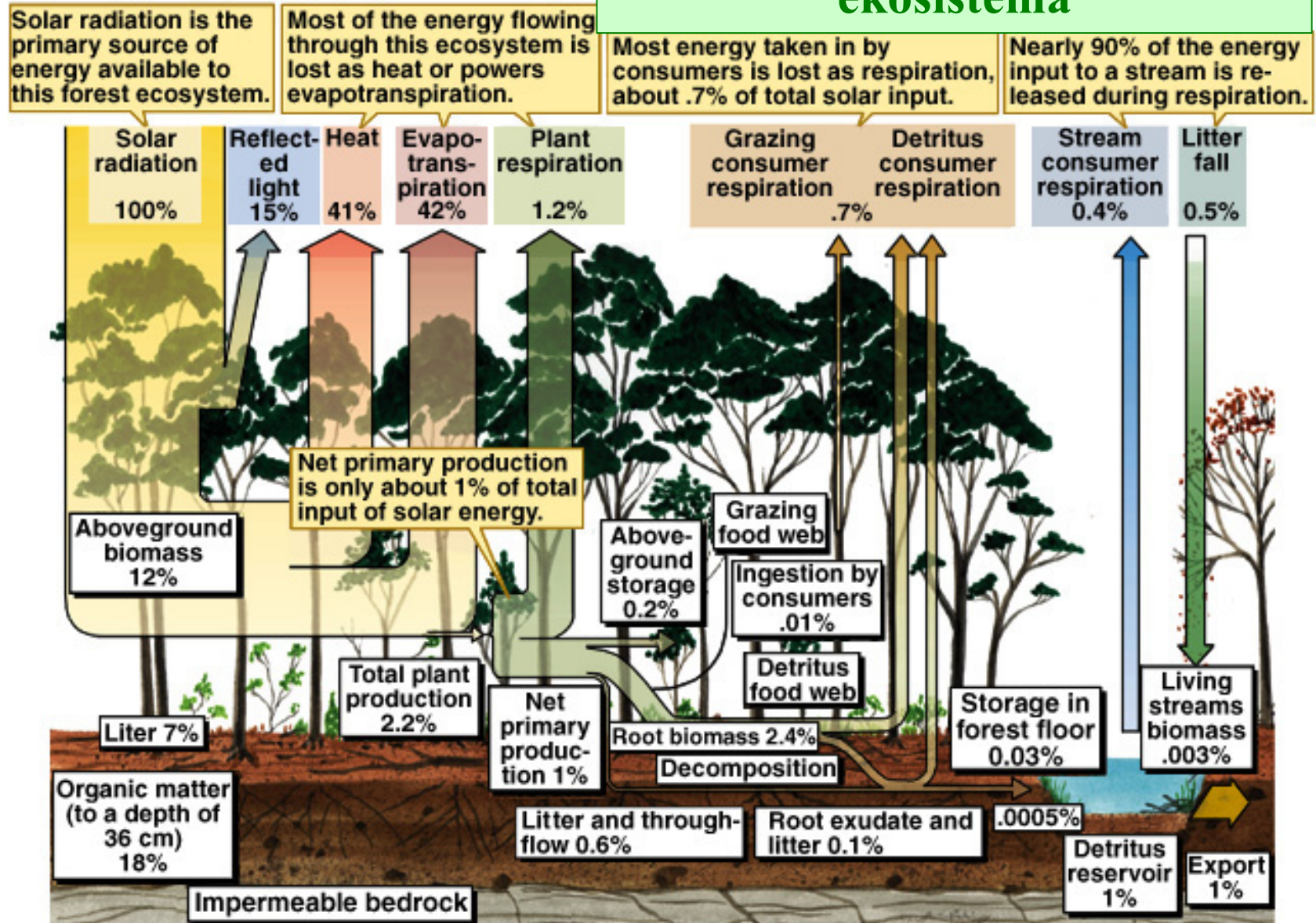
Segments of Pyramid Show
Relative Biomass at
Each Trophic Level

Production by Trophic Level

Proizvodnja na
različitim trofičkim
razinama



Energetski buĎet Ńumskog ekosistema



Ekološka efikasnost određena je efikasnošću asimilacije hrane i efikasnošću proizvodnje vlastite biomase (rast + razmnožavanje)

Definicije nekoliko tipova efikasnosti u iskorištavanju energije.

EFIKASNOST		DEFINICIJA
(1) Efikasnost iskorištavanja	⇒	pojedena hrana/proizvodnja plijena
(2) Efikasnost asimilacije	⇒	asimilirano/pojedeno
(3) Efikasnost neto proizvodnje	⇒	proizvodnja/asimilacija
(4) Efikasnost bruto proizvodnje	⇒	proizvodnja/pojedeno [(2)x(3)]
(5) Ekološka efikasnost	⇒	proiz. konzumenta/proiz. plijena [(1)x(2)x(3)]

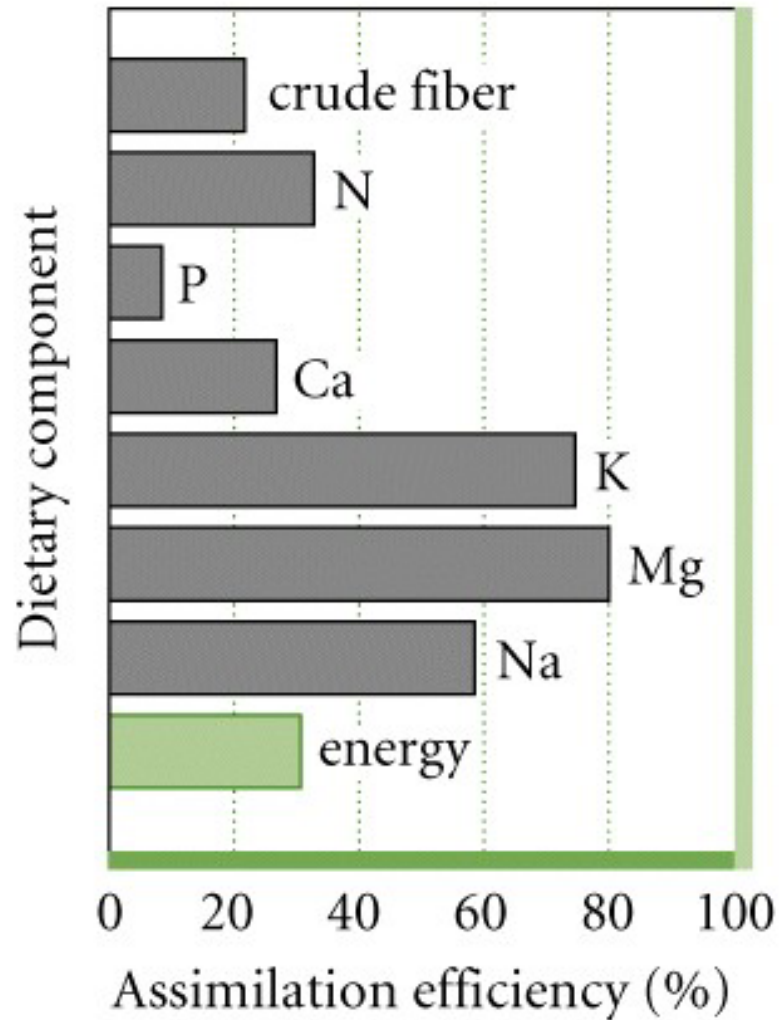
Efikasnost asimilacije i proizvodnje varira kod različitih skupina organizama

- **Efikasnost asimilacije:**

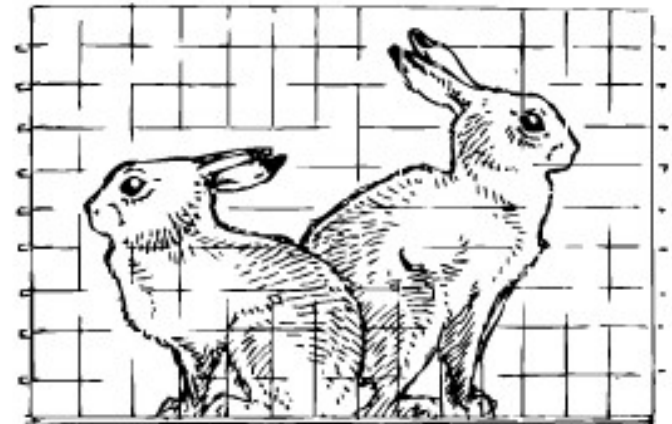
1. HERBIVORI

- Efikasnost asimilacije kod herbivora ovisi o hranjivoj vrijednosti biljne hrane i udjelu neprobavljivih dijelova (lignin, celuloza itd)
- Efikasnost asimilacije kod herbivora koji se hrane sjemenkama iznosi 80%, mladom vegetacijom 60-70%, grmljem i žilavijom travom 30-40%, raspadnutim drvom (npr. stonoga) 15%





Asimilacija različitih komponenti hrane može biti različita



Efikasnost asimilacije i proizvodnje varira kod različitih skupina organizama

- **Efikasnost asimilacije:**

2. KARNIVORI

- Životinjska je hrana daleko probavljivija od biljne, pa je efikasnost asimilacije kod karnivora u pravilu znatno veća u odnosu na herbivore i iznosi od 60-90%
- Kod insektivora (kukcojeda) je efikasnost asimilacije manja (60-80%) u odnosu na druge karnivore (oko 90%), budući da neprobavljivi egzoskelet kod kukaca čini značajnu proporciju njihove ukupne biomase

Efikasnost asimilacije i proizvodnje varira kod različitih skupina organizama

- **Efikasnost proizvodnje:**

1. BILJKE

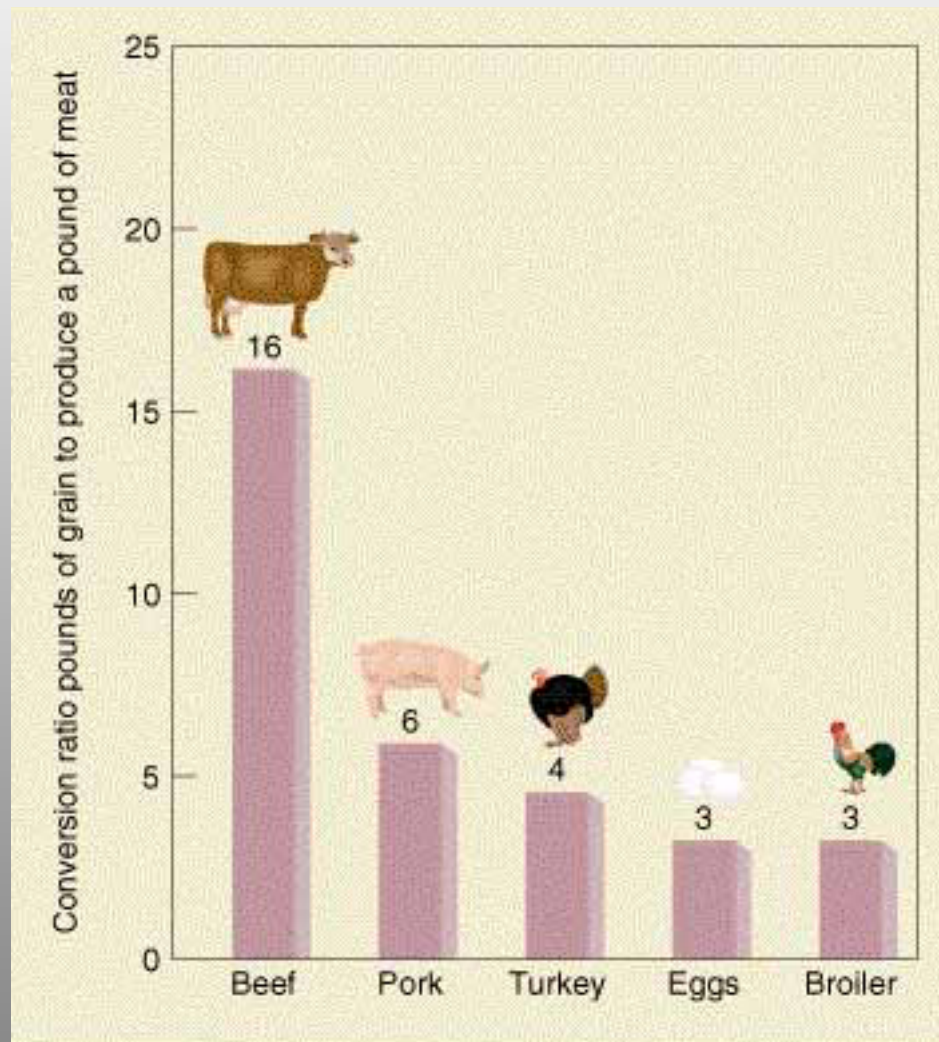
- Efikasnost neto proizvodnje kod biljaka varira između 30 i 85% u ovisnosti o staništu i formi rasta
- Prema nižim geografskim širinama respiracija raste relativno prema fotosintezi pa efikasnost proizvodnje opada. Dok kod biljaka umjerenih područja iznosi 75-85%, kod sličnih biljaka tropskih područja iznosi 40-60%

Efikasnost asimilacije i proizvodnje varira kod različitih skupina organizama

- **Efikasnost proizvodnje:**

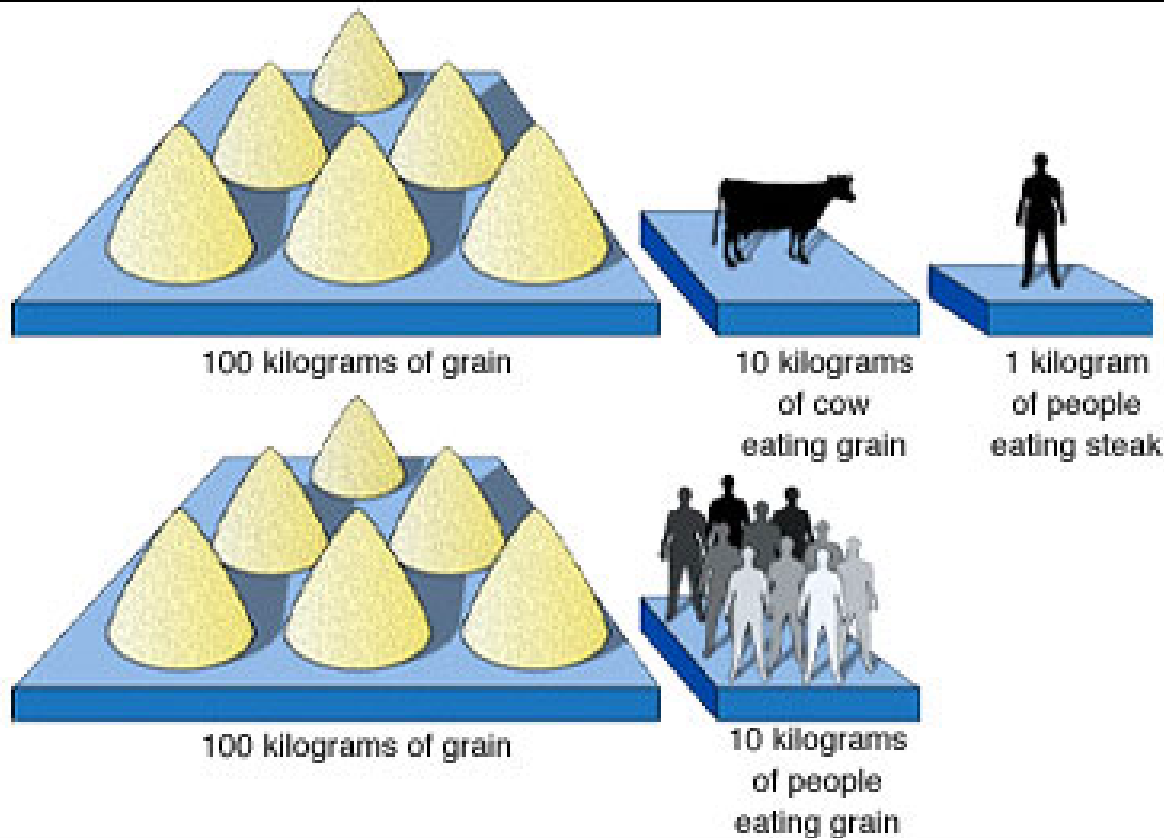
2. ŽIVOTINJE

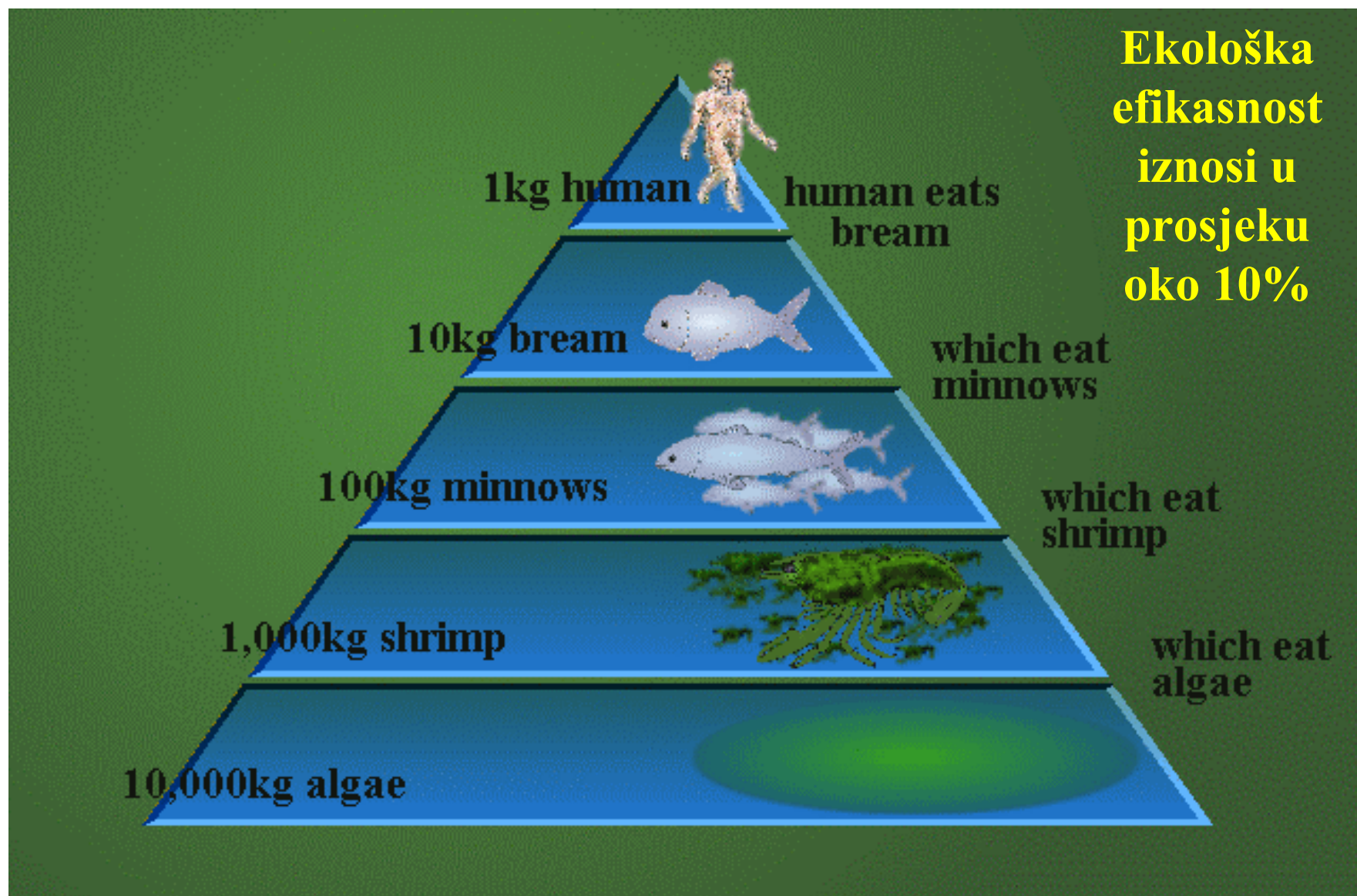
- Efikasnost proizvodnje kod životinja značajno se razlikuje između ektoterma i endoterma, a također ovisi i o aktivnosti životinje
- Kod endotermnih životinja rijetko prelazi 5% (kod nekih je ptica < od 1%), kod ektotermnih kralježnjaka iznosi oko 10%, kod kukaca 5-15%, dok kod vodenih bezkralježnjaka iznosi preko 30% (kod nekih i do 75%)



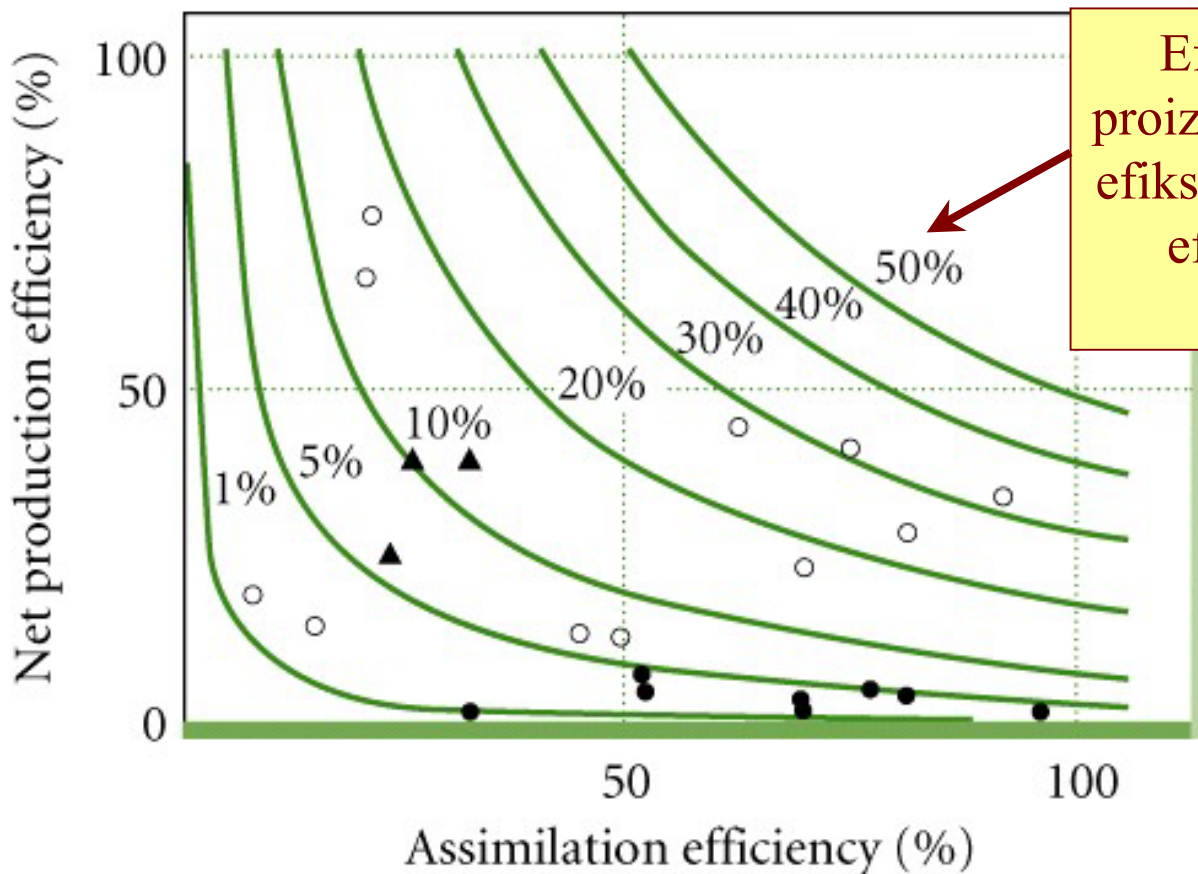
Efikasnost
proizvodnje kod
različitih skupina
endotermnih
biljojeda

**Ako se izravno jedu biljke, energetske gubitci
biti će manji!**





Odnos između efikasnosti asimilacije i efikasnosti neto proizvodnje za različite skupine organizama



Efikasnost bruto proizvodnje je produkt efikasnosti asimilacije i efikasnosti neto proizvodnje

○ Poikilothermic aquatic animals

▲ Poikilothermic terrestrial animals

● Homeothermic

terrestrial animals

Efikasnost asimilacije i proizvodnje

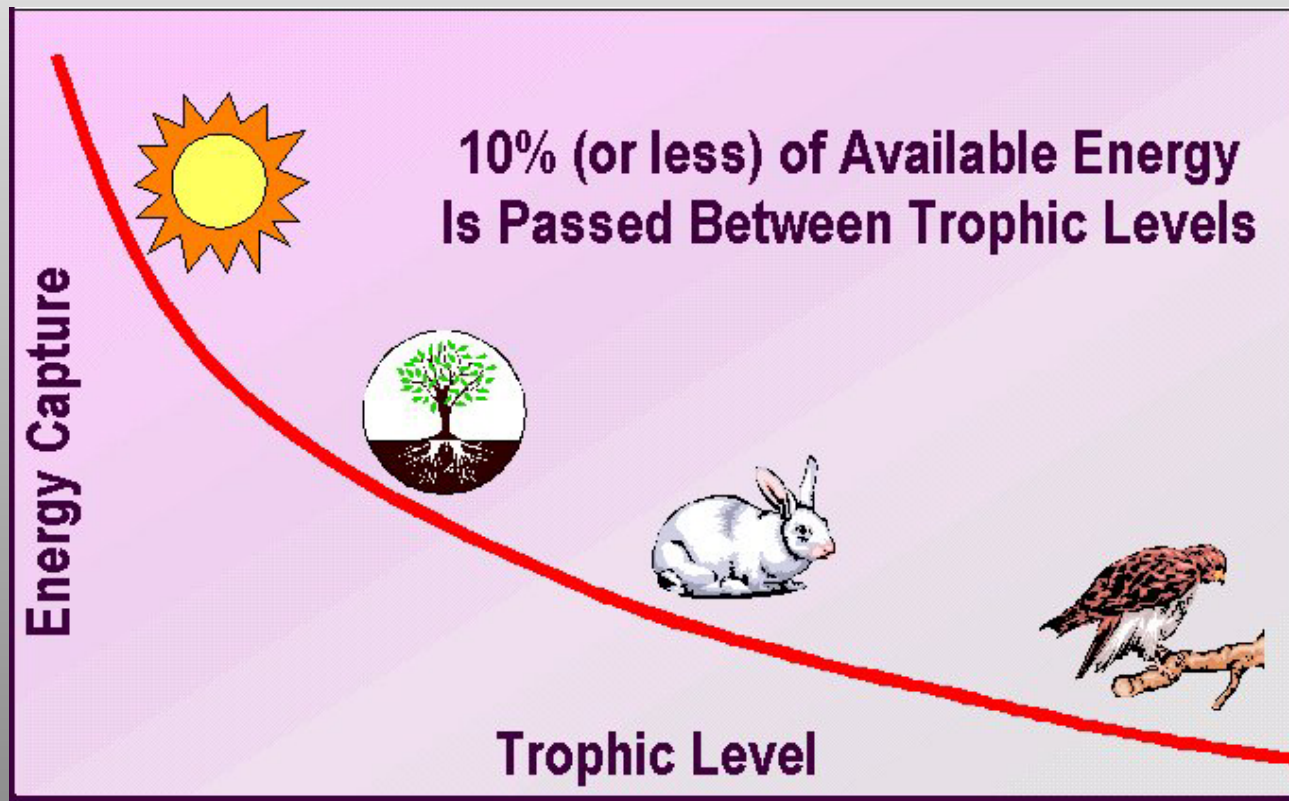
	Herbivori	Karnivori	Mikrobivori	Detrivori
Bez- kralježnjaci	A = 40% P = 40%	A = 80% P = 30%	A = 30% P = 40%	A = 20% P = 40%
Ektotermni kralježnjaci	A = 50% P = 10%	A = 80% P = 10%		
Endotermni kralježnjaci	A = 50% P = 2%	A = 80% P = 2%		

LEGENDA:
A – efikasnost asimilacije
P – efikasnost proizvodnje

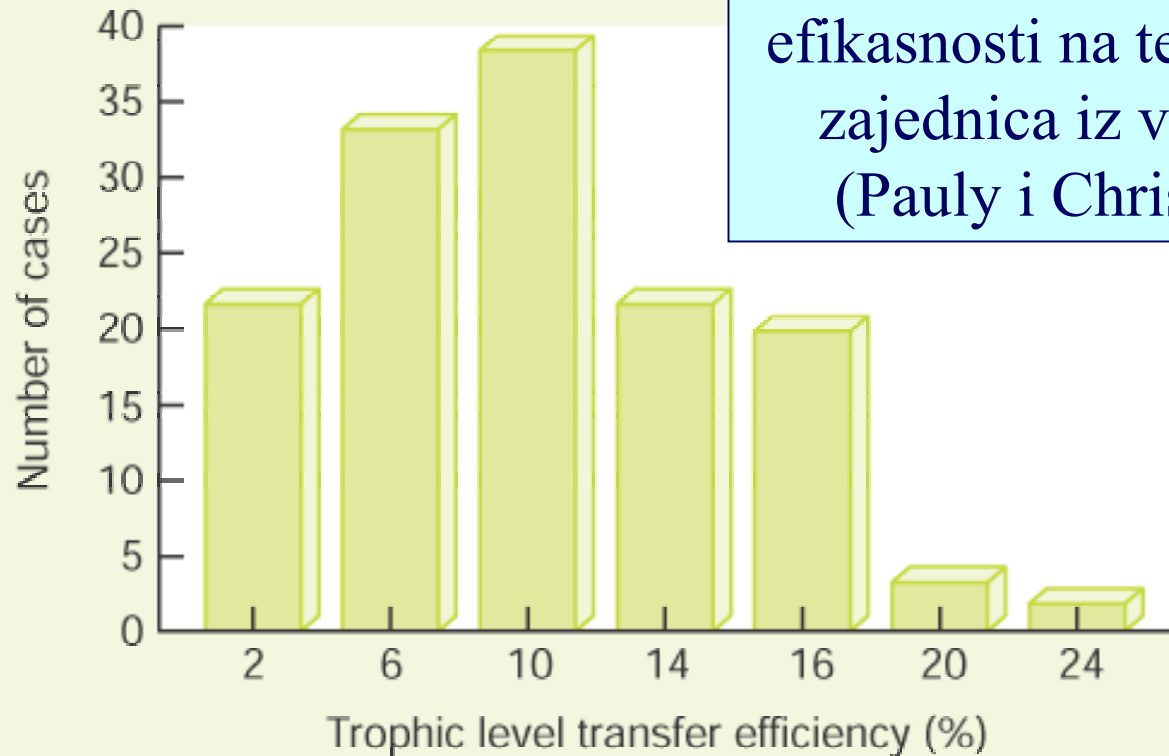
Analizom energetskeg budžeta velikog broja vodenih ekosistema Kozlovski (1968) je zaključio:

- 1. Efikasnost asimilacije raste prema višim trofičkim razinama**
- 2. Efikasnost neto i bruto proizvodnje opada prema višim trofičkim razinama**
- 3. Ekološka efikasnost ostaje konstantna duž hranidbenog lanca i iznosi u prosjeku oko 10%**

Ekološka efikasnost



Ekološka efikasnost



Raspodjela učestalosti ekološke efikasnosti na temelju analize 40 zajednica iz vodenih staništa (Pauly i Christensen, 1995)

Duljina hranidbenih lanaca ograničena je ekološkom efikasnošću

Energija $[E(n)]$ koja je na raspolaganju predatoru na danoj trofičkoj razini n (kod biljaka $n=1$) jednaka je produktu neto primarne proizvodnje (NPP) i ekološke efikasnosti (Eff):

$$E(n) = (NPP) (Eff^{n-1})$$

gdje je Eff geometrijski srednjak ekoloških efikasnosti između svih trofičkih razina $[(n-1)$ -ti korjen iz produkta svih ekoloških efikasnosti ($f_1, f_2, \dots, f_{n-1}$)]

Ako gornji izraz logaritmiramo dobivamo:

$$\log E(n) = \log(NPP) + (n-1) \log(Eff)$$

Ako ovu jednadžbu riješimo za n , dobivamo procjenu broja trofičkih razina:

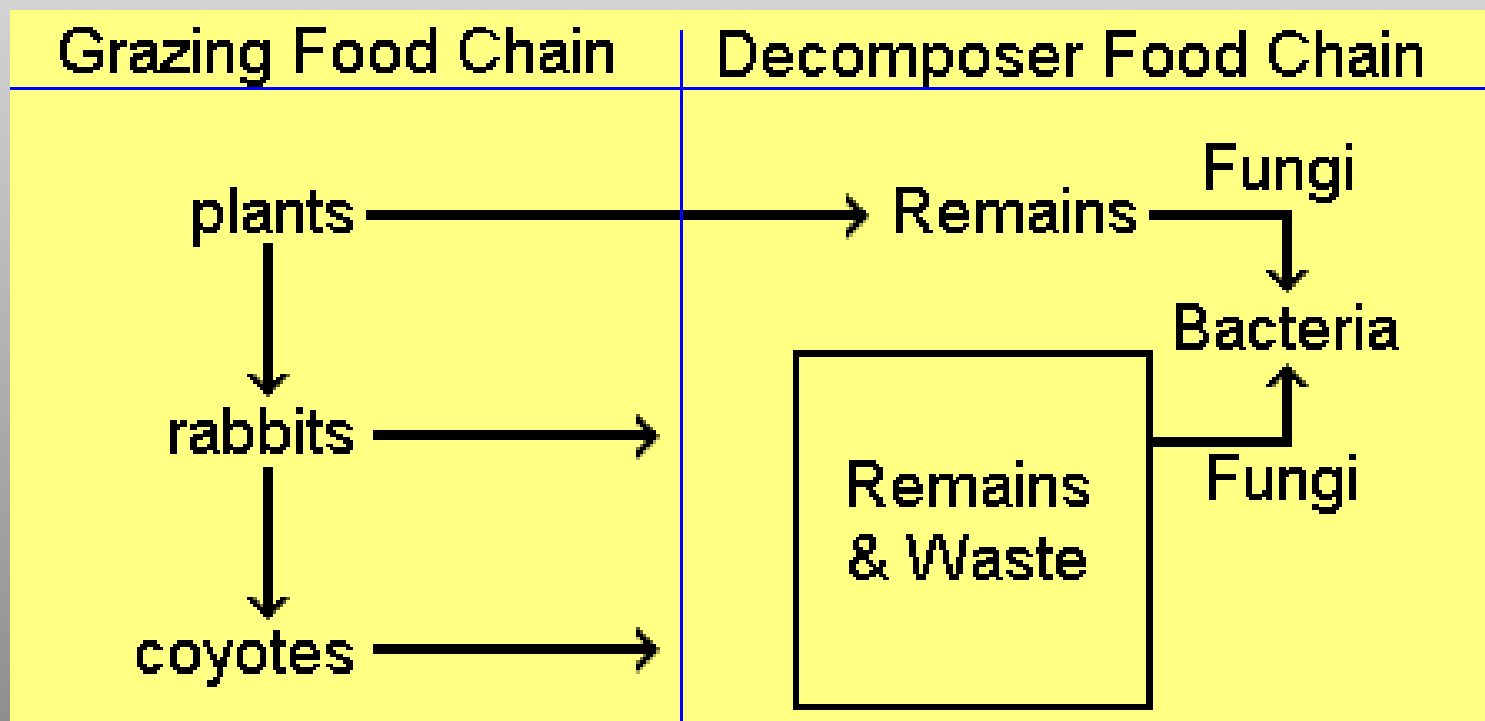
$$n = 1 + [\log E(n) - \log NPP] / \log Eff$$

**Duljina hranidbenih lanaca ograničena je
ekološkom efikasnošću**

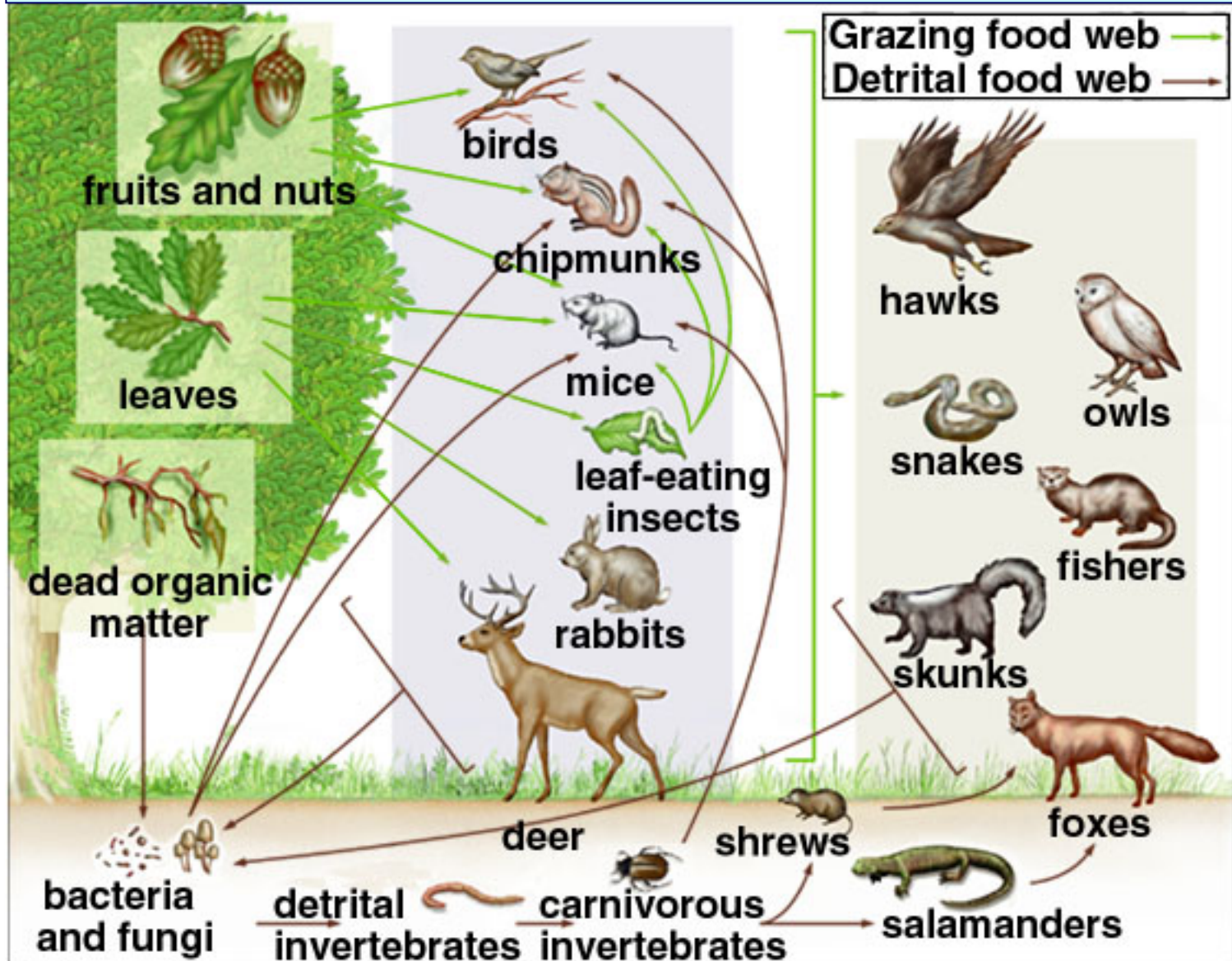
EKOSUSTAV	NPP (kcal m⁻²god⁻¹)	KP (kcal m⁻²god⁻¹)	EE (%)	n
Oceani	500	0.1	25	7.1
Obalna mora	8000	10.0	20	5.1
Travnjaci u umjerenim podr.	2000	1.0	10	4.3
Tropske šume	8000	10.0	5	3.2

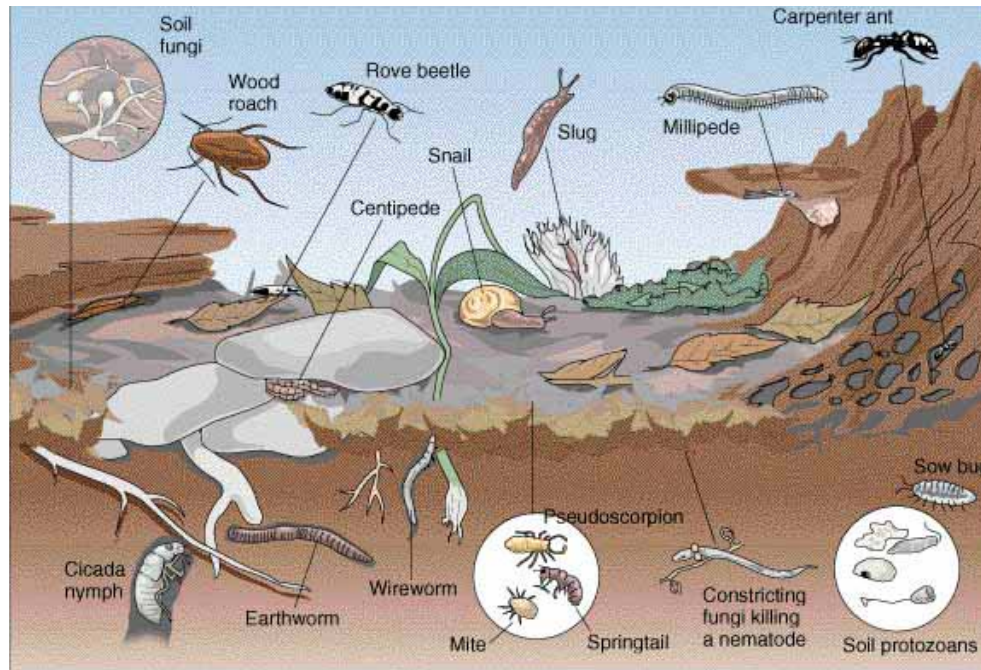
NPP – neto primarna proizvodnja; KP – konzumacija predatora;
EE – ekološka efikasnost; n – broj trofičkih razina

Herbivorni i detrivorni lanci prehrane

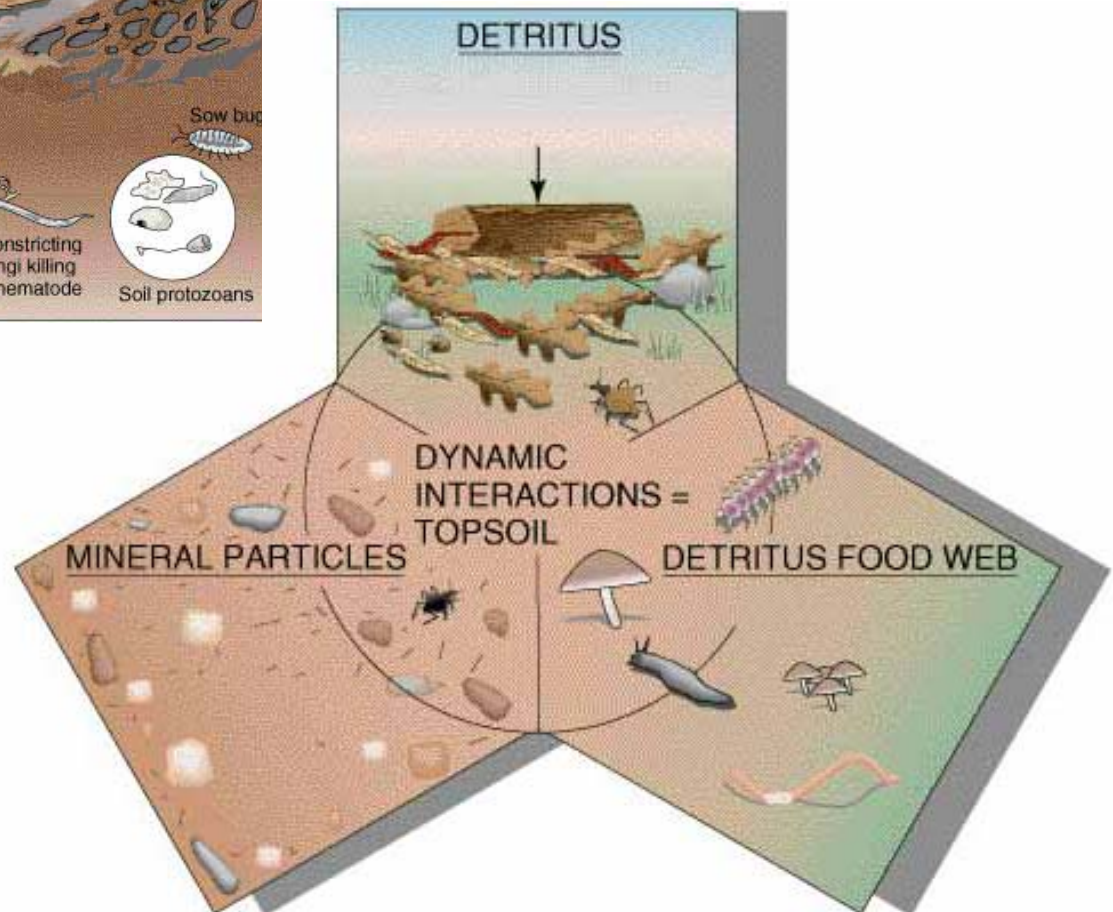


Herbivorni i detrivorni lanci prehrane





Detrivorna
hranidbena
mreža u tlu



Herbivorni i detrivorni lanci prehrane

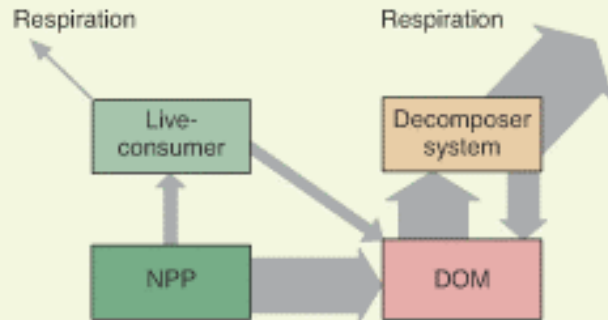
U kopnenim ekosistemima dominira detrivorni lanac prehrane (u šumama preko 90% proizvedene biljne biomase postaje detritus, jer stabla smještaju značajan dio proizvodnje u strukture koje je teško pojesti i/ili probaviti), dok se razmjerno mali dio biljne biomase konzumira od strane herbivora

EKOSISTEM	% neto proizvodnje koju konzumiraju herbivori
Listopadne šume	1.5 – 2.5
Travnjaci	12
Planktonske zajednice	60 - 99

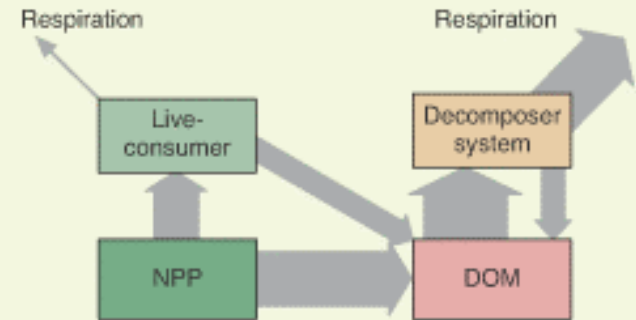
U vodenim sustavima, pogotovo otvorenim oceanima, dominira herbivorni lanac prehrane (preko 90% fitoplanktonske biomase konzumiraju herbivori)

Putevi protoka energije u različitim zajednicama (relativni značaj herbivornog i detrivornog lanca prehrane)

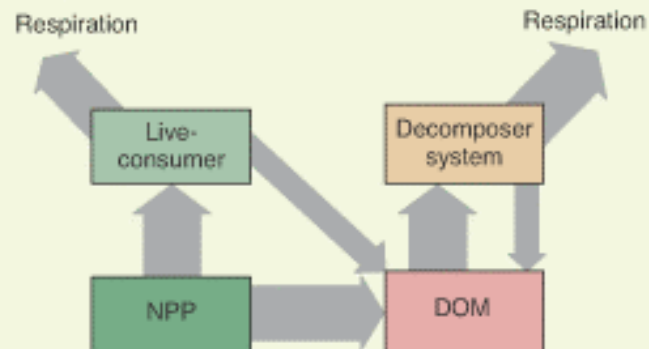
(a) Forest



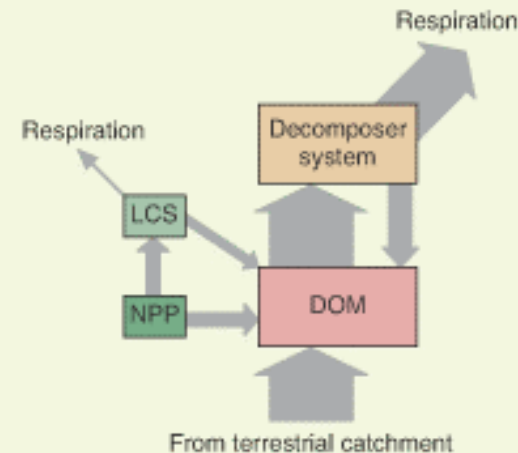
(b) Grassland



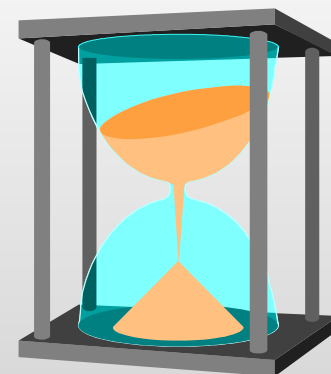
(c) Plankton community



(d) Stream community



Brzina prijenosa energije: Pokazatelj dinamike protoka energije kroz ekosistem



- Drugi pokazatelj dinamike protoka energije kroz ekosistem, pored ekološke efikasnosti, je brzina protoka energije
- Brzina prijenosa energije se često izražava kroz njenu inverznu vrijednost: **vrijeme zadržavanja (residence time; transit time)**

Za danu razinu proizvodnje, **vrijeme zadržavanja** energije u ekosistemu i spremanje energije u živu biomasu i detritus su u direktnom odnosu:

$$\text{Vrijeme zadržavanja (god)} = \frac{\text{Energija spremljena u biomasu (kJ m}^{-2}\text{)}}{\text{Neto produktivnost (kJ m}^{-2} \text{ god}^{-1}\text{)}}$$

Ako se vrijeme zadržavanja izražava kroz biomasu umjesto kroz energiju, tada se obično naziva **omjer akumulacije biomase**:

$$\text{Omjer akumulacije biomase (god)} = \frac{\text{Biomasa (g m}^{-2}\text{)}}{\text{Neto produktivnost (g m}^{-2} \text{ god}^{-1}\text{)}}$$

Vrijeme zadržavanja

EKOSUSTAV	Neto primarna proizvodnja (g m ⁻² god ⁻¹)	Biomasa (g m ⁻²)	Vrijeme zadržavanja (godine)
Tropske kišne šume	2000	45000	22.5
Umjerene listopadne šume	1200	30000	25.0
Borealne šume	800	20000	25.0
Umjereni travnjaci	500	1500	3.0
Pustinjsko grmlje	70	700	10.0
Močvare	2500	15000	6.0
Jezera i rijeke	500	20	0.04 [*]
Naselja alga i grebeni	2000	2000	1.0
Otvoreni ocean	125	3	0.024 ^{**}

+15 dana; ++9 dana

Brzina prijenosa energije kroz hranidbene lance može se pratiti radioaktivnim obilježivačima (tracerima)

Praćenje prijenosa energije kroz trofičke razine riječnog ekosistema pomoću isotopa fosfora (^{32}P) koji se dodaje u vodu kao otopina fosfata

TROFIČKA RAZINA	Maksimalna akumulacija ^{32}P
Biljke	Nekoliko dana
Filtratori (filter-feedersi) i herbivori	1-2 tjedna
Omnivori	3-4 tjedna
Konzumenti detritusa	4-5 tjedana
Predatori	Preko 2 mjeseca

Autohtoni i alohtoni izvor energije

- **Autohtoni izvor energije** – energije koja se stvara unutar sustava (fotosinteza)
 - U velikim rijekama, jezerima i većini morskih sustava dominira autohtona proizvodnja
- **Alohtoni izvor energije** – energija koja dolazi izvan sustava
 - U malim rijekama, potocima, estuarskim i nekim obalnim područjima dominira alohtona proizvodnja (proizvodnja koja se temelji na alohtonom inputu hranjiva)

Prijenos i akumulacija energije opisuju strukturu i funkcioniranje ekosistema

- Protok energije i efikasnost tog protoka ukazuju na određene aspekte strukture ekosistema:
 - 1. BROJ TROFIČKIH RAZINA
 - 2. RELATIVNA VAŽNOST HERBIVORNOG I DETRIVORNOG LANCA PREHRANE
 - 3. STANJE RAVNOTEŽE IZMEĐU BIOMASE I AKUMULIRANOG DETRITUSA
 - 4. BRZINA OBRTANJE (TURNOVER) ORGANSKE TVARI U EKOSISTEMU

TABLE 10-5 Initial measurements for Lindeman's calculation of energy flow for Cedar Bog Lake, Minnesota

Trophic level	Harvestable production	
	(kJ m ⁻² yr ⁻¹)	(W m ⁻²)
Primary producers (green plants)	2,944	0.0934
Primary consumers (herbivores)	293	0.0093
Secondary consumers (carnivores)	54	0.0017

Lindemanov
energetski
buĊet Cedar
Bog jezera u
Minnesoti

TABLE 10-6 An energy flow model for Cedar Bog Lake, Minnesota

Energy production or removal	Energy (kcal m ⁻² yr ⁻¹)		
	Primary producers	Primary consumers	Secondary consumers
Harvestable production*	704	70	13
Respiration	234	44	18
Removal by consumers			
Assimilated	148	31	0
Unassimilated	28	3	0
Gross production (totals)	1,114	148	31

**Does not include net production removed by consumers. Actual net production, including removal by consumers, was 879 kcal m⁻² yr⁻¹ for primary producers, 104 kcal m⁻² yr⁻¹ for primary consumers, and 13 kcal m⁻² yr⁻¹ for secondary consumers. (From Lindeman 1942.)*