

**Energie**

## Jednotky energie

**Joule (J)** - energie vynaložená použitím síly 1N na vzdálenost 1m

**kalorie (cal) = 4.2 J**

**Langley (ly) = 4.2 J . cm<sup>-2</sup>**

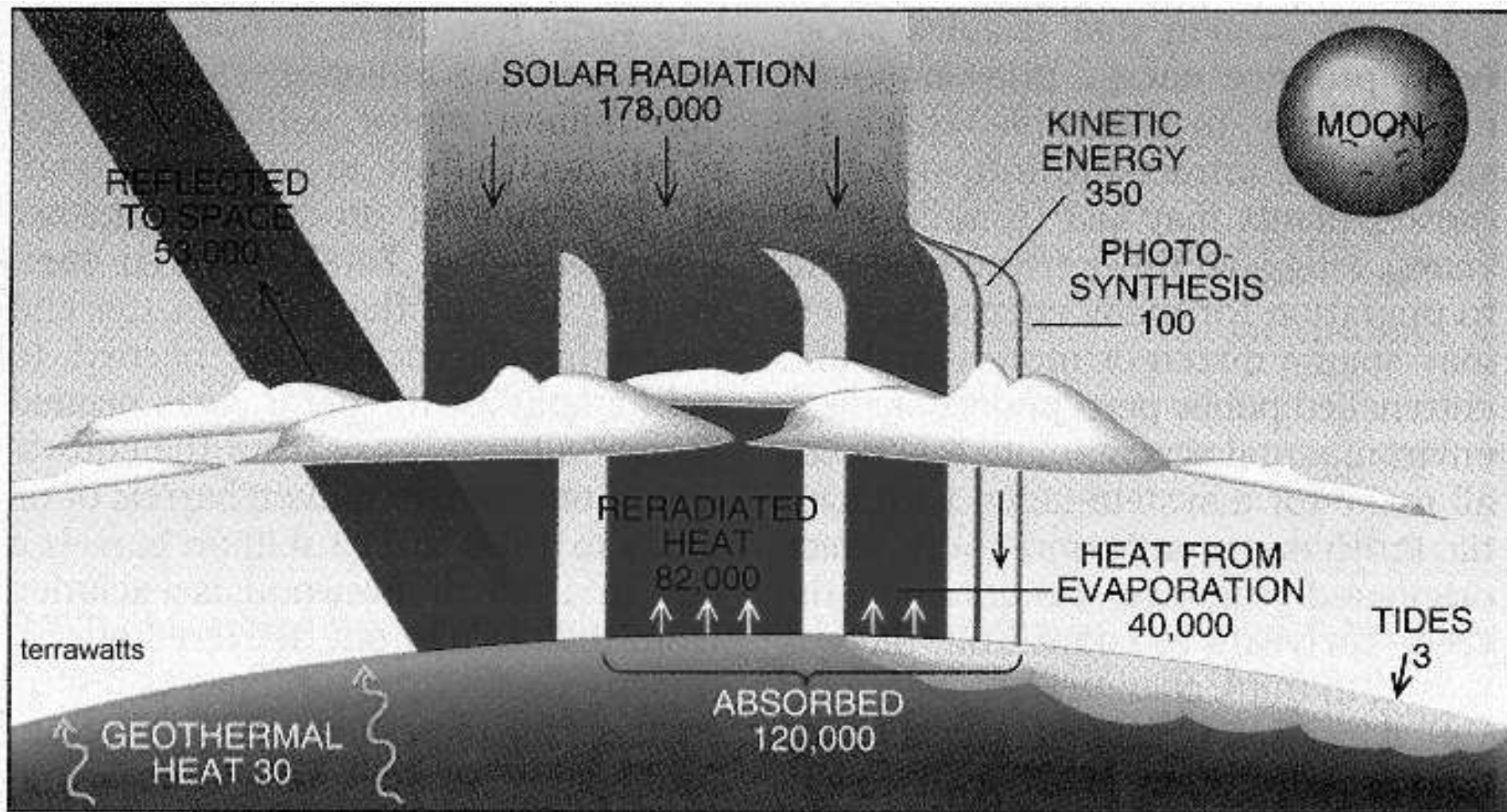
**Watt = 1 J . s<sup>-1</sup>**

**v kvantových jednotkách (hustota toku fotonů)**

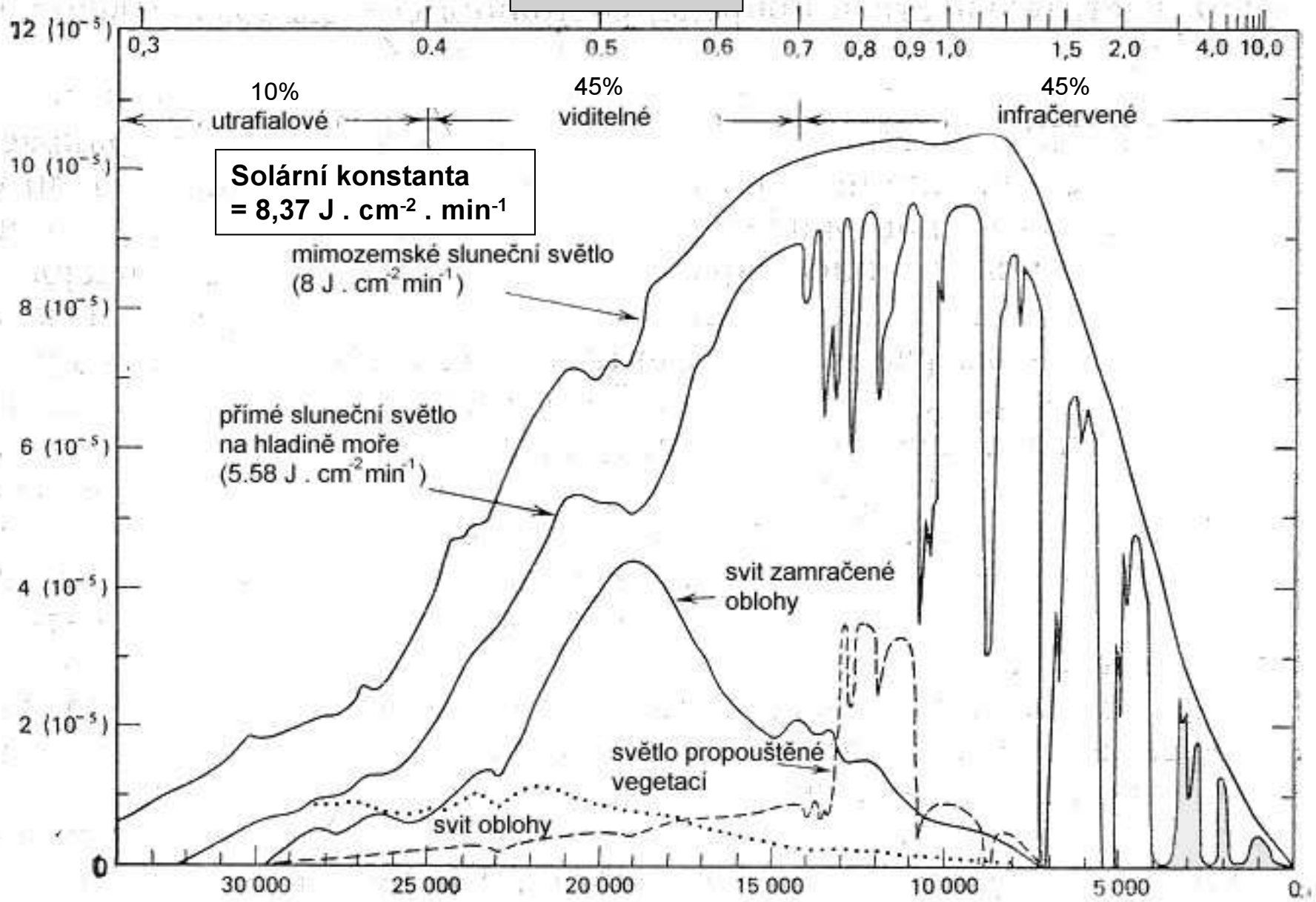
**mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> nebo uE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (E = Einstein)**

**pro PhAR**

**1 uE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> = 0.2 – 0.25 W m<sup>-2</sup>**



PhAR 390-710 nm



**Solární konstanta**  
**= 8,37 J . cm<sup>-2</sup> . min<sup>-1</sup>**

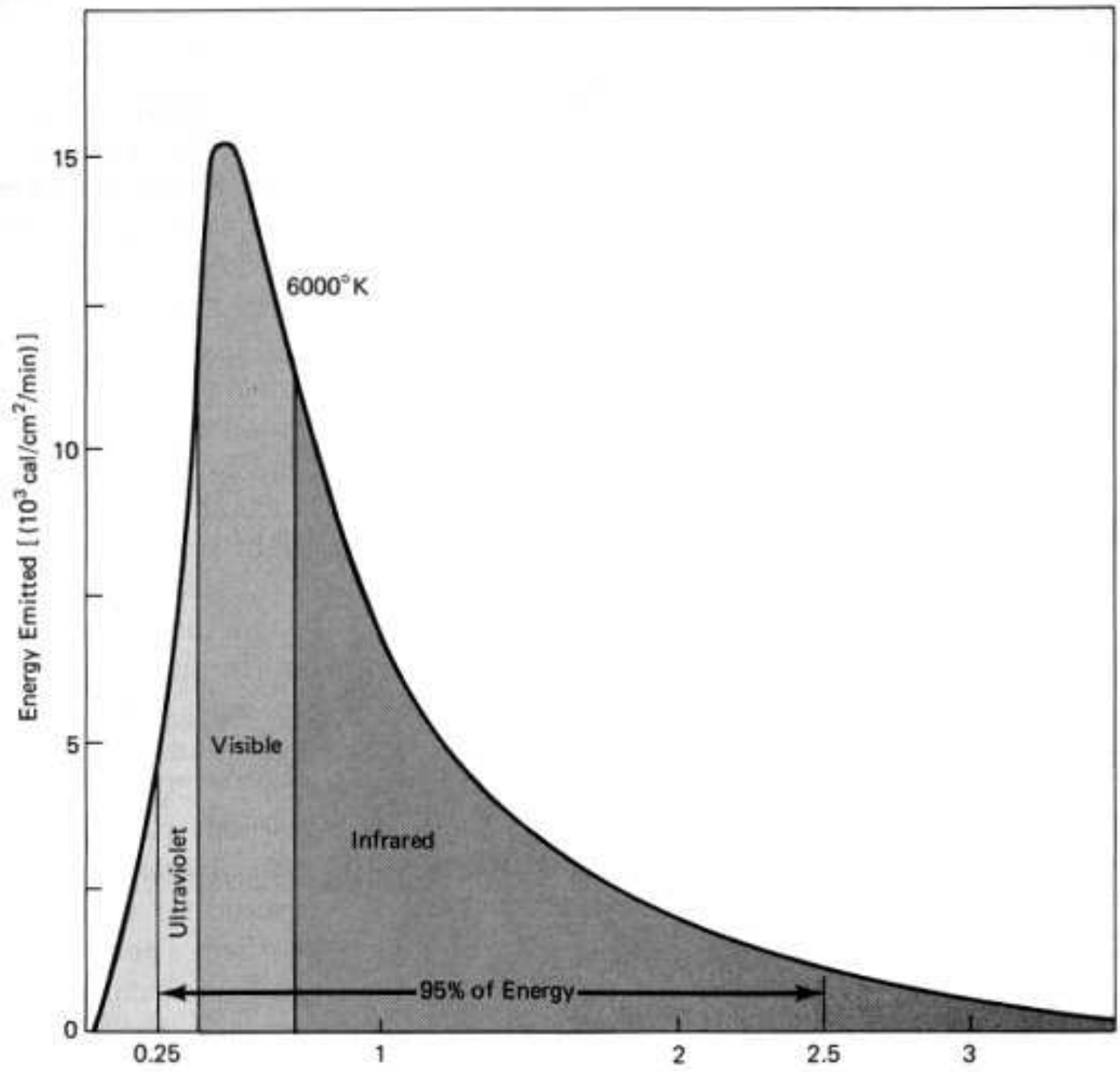
mimosluneční světlo  
(8 J . cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>)

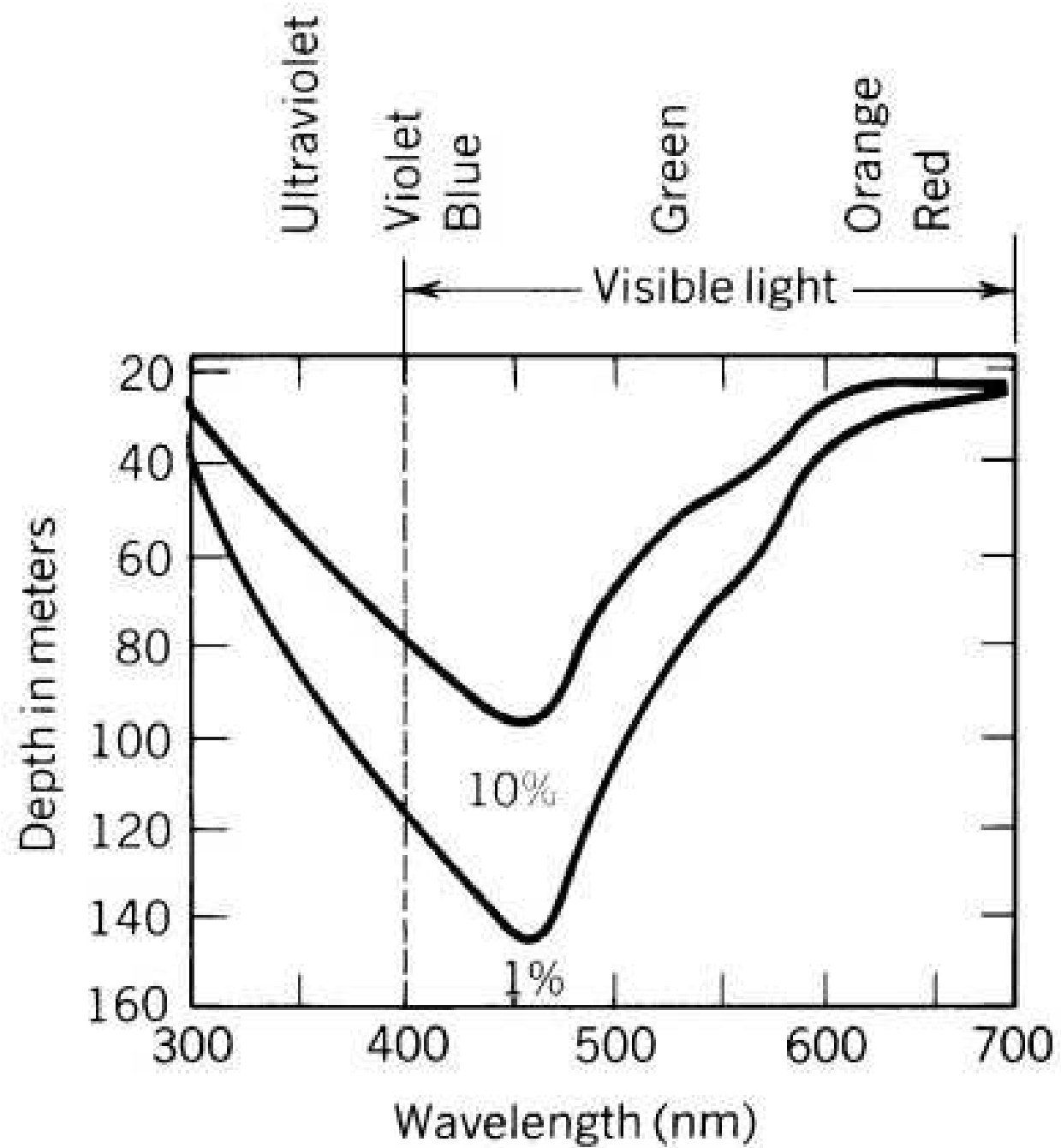
přímé sluneční světlo  
na hladině moře  
(5.58 J . cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>)

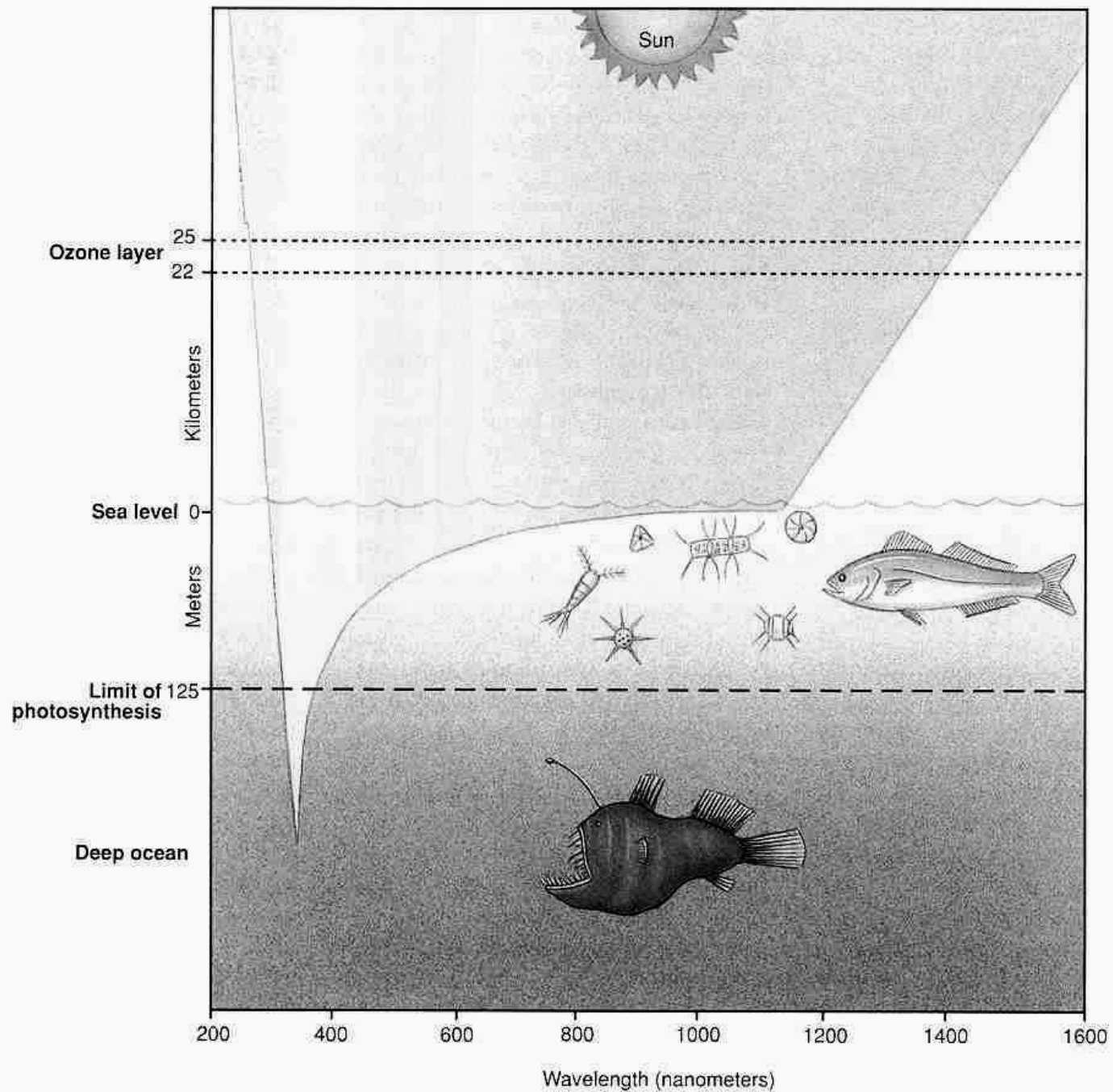
svit zamračené  
oblohy

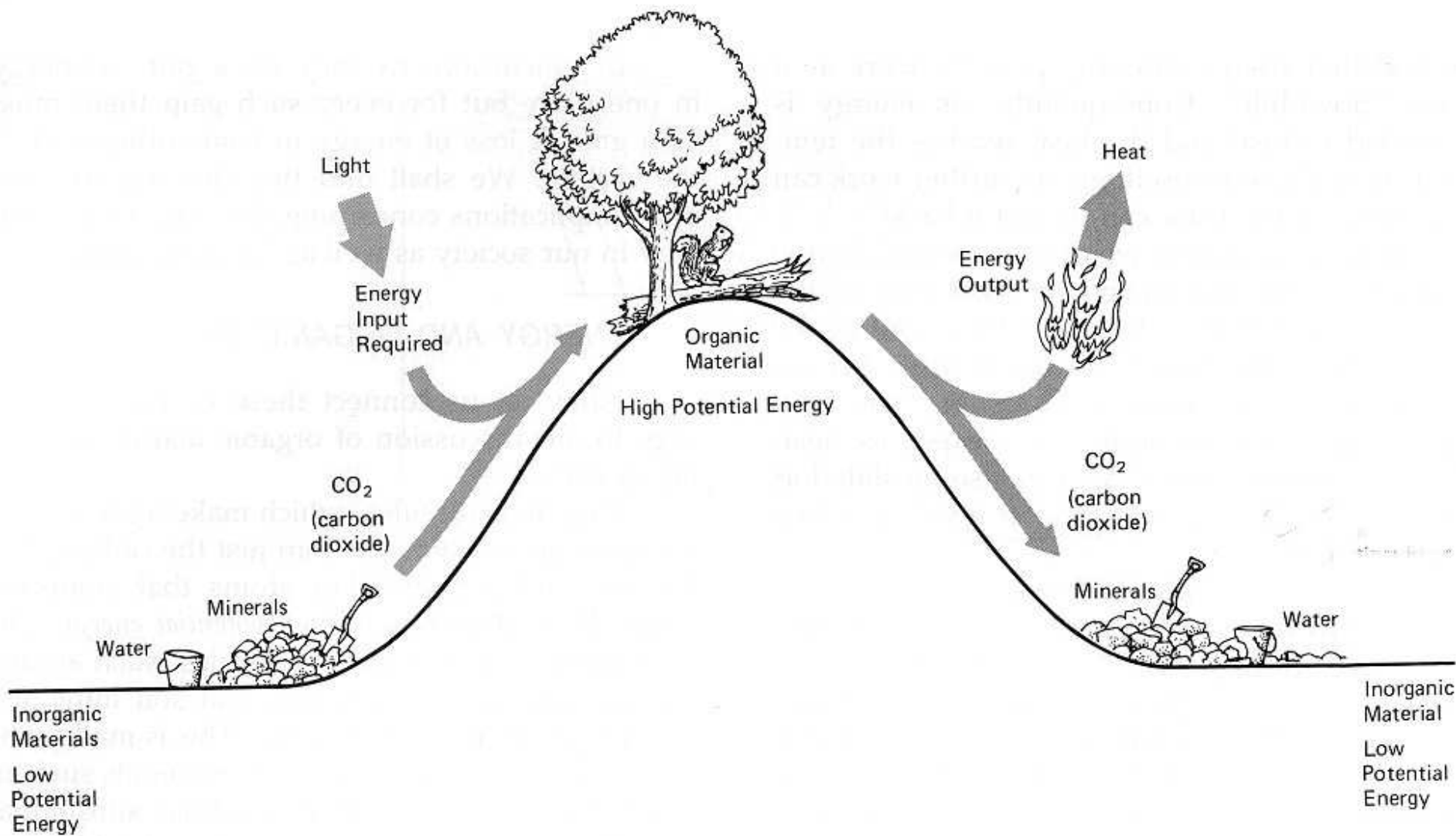
světlo propouštěné  
vegetací

svit oblohy











## Pojmy

pro popis energetických dějů je nanejvýš vhodné sjednotit jednotky. Obvykle v joulech nebo jako biomasa vytvořená touto energií (nejčastěji přepočet na množství uhlíku)

### **primární produkce, primární produktivita:**

**hrubá** - energie (uhlík) vázaná(ý) fotosyntézou za jednotku času

= intenzita fotosyntézy

**čistá = hrubá minus respirace**

= množství vyprodukované biomasy za jednotku času (na jednotku plochy (objemu)) = rychlost tvorby biomasy

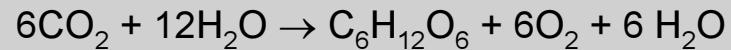
**respirace:** energie (uhlík) vynaložená(ý) na metabolismus

**kompensační bod: fotosyntéza = respirace** (veškerá produkce jde na udržovací metabolismus)

**okamžitá biomasa (standing crop):** biomasa v okamžiku pozorování/sklizně

# Měření primární produkce

Vstupy a výstupy fotosyntetické reakce:



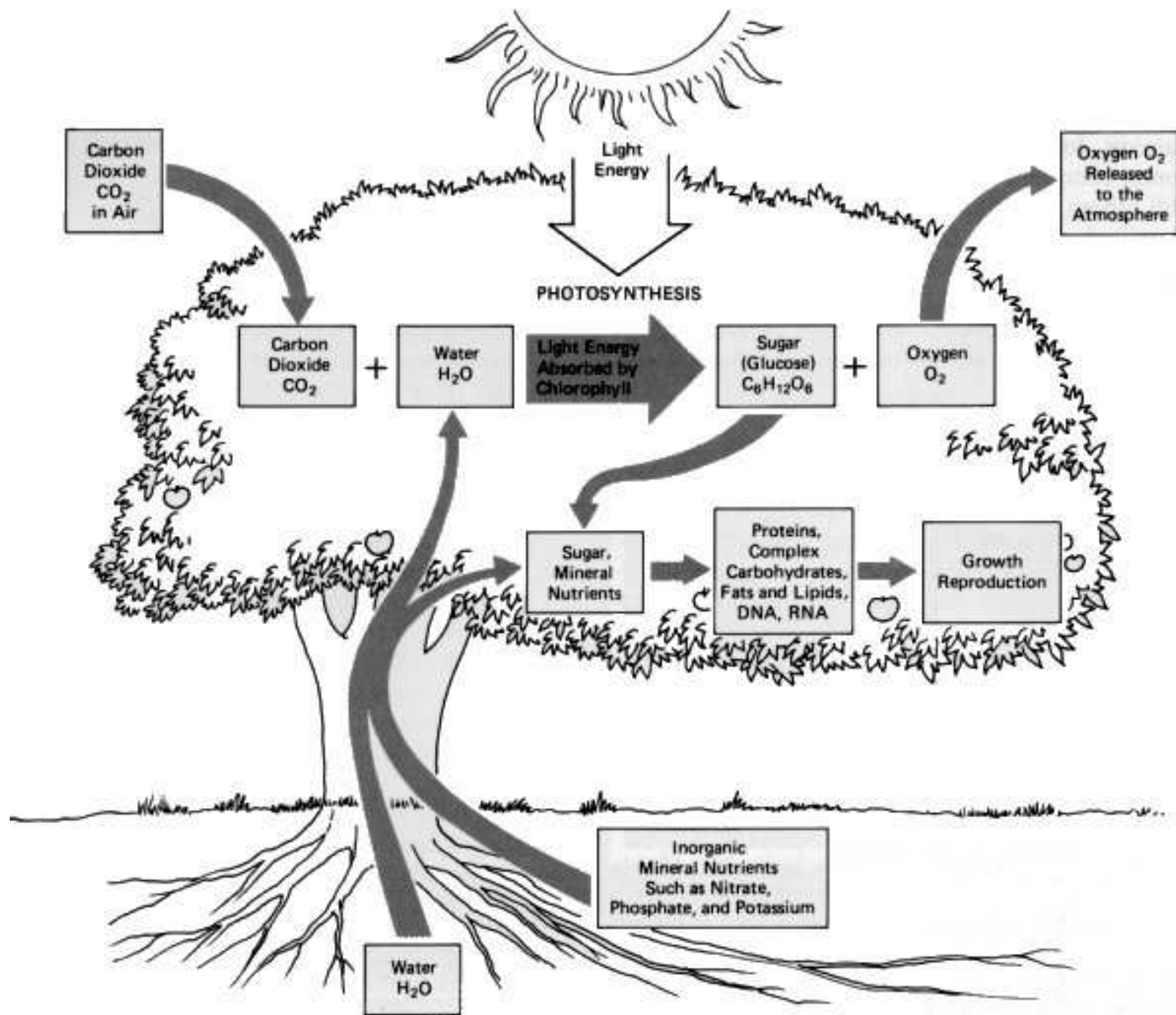
**čistá produkce** - jednoduše jako **přírůstek biomasy** za čas

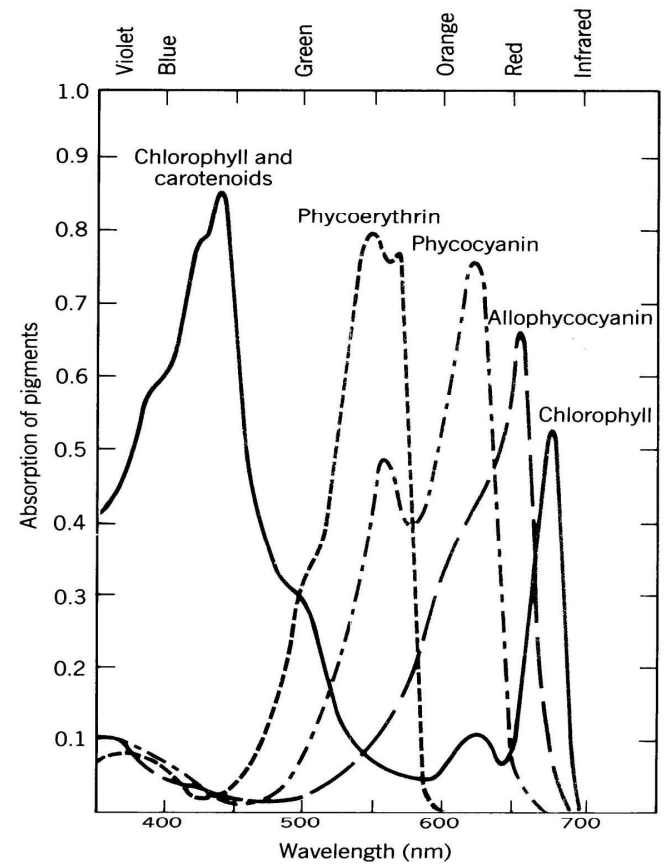
- uhlík (= 39 kJ na 1 g C) (glukosa 40% C → 15.6 kJ. g<sup>-1</sup>; při spalování v kalorimetru 17.6 kJ . g<sup>-1</sup>)
- sušina
- chlorofyl (výhodný ve vodním prostředí)

**hrubá produkce** (zahrnuje i respiraci)

- bilance CO<sub>2</sub> (změny množství v okolním vzduchu za čas)
- bilance O<sub>2</sub> (výhodná ve vodním prostředí - princip tmavé a světlé lahve)
- použití radioizotopů uhlíku (<sup>14</sup>C) - přidáním známého podílu

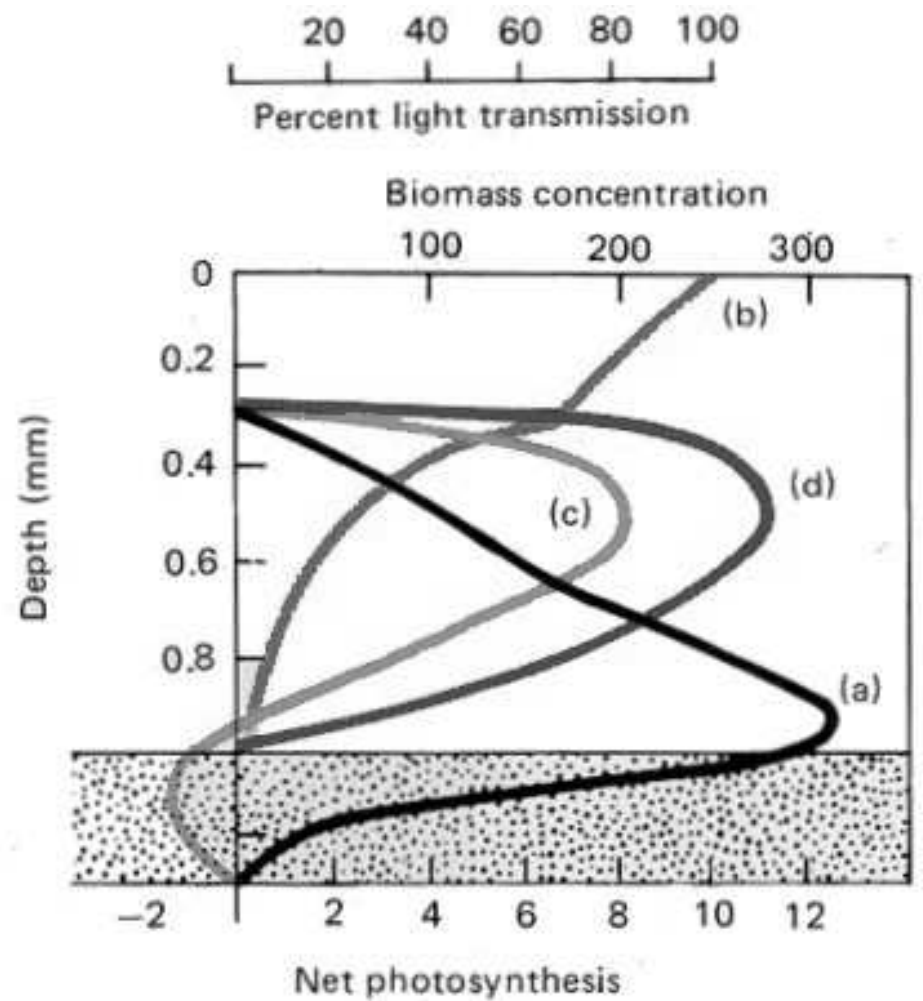






**FIGURE 3.20**  
**Light absorption by accessory pigments of seaweeds.**

The chlorophyll *a* and carotenoid system absorb the blue and red ends of the visible spectrum as in land plants, but brown and red algae also possess pigments that absorb light in the wavelengths reflected by chlorophyll *a*. Energy is passed to chlorophyll *a* from these pigments by resonance. (Modified from Gantt, 1975.)

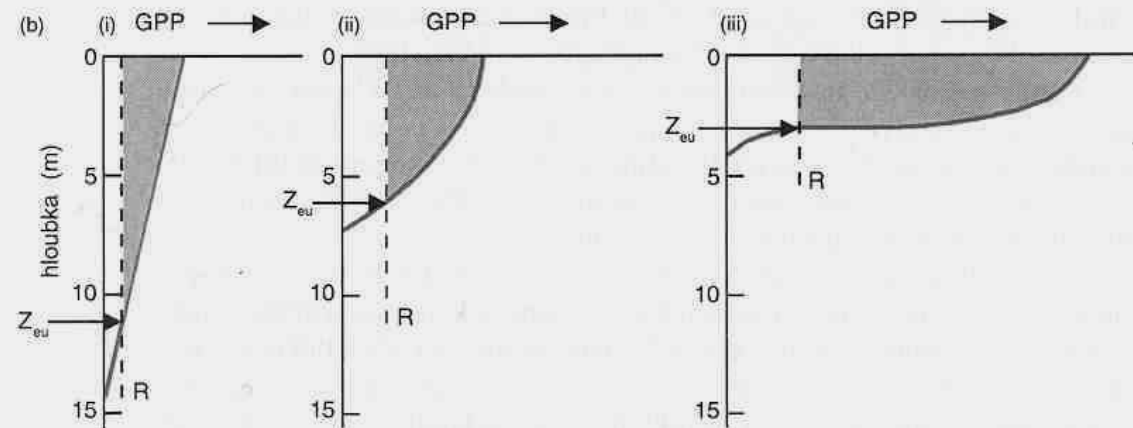
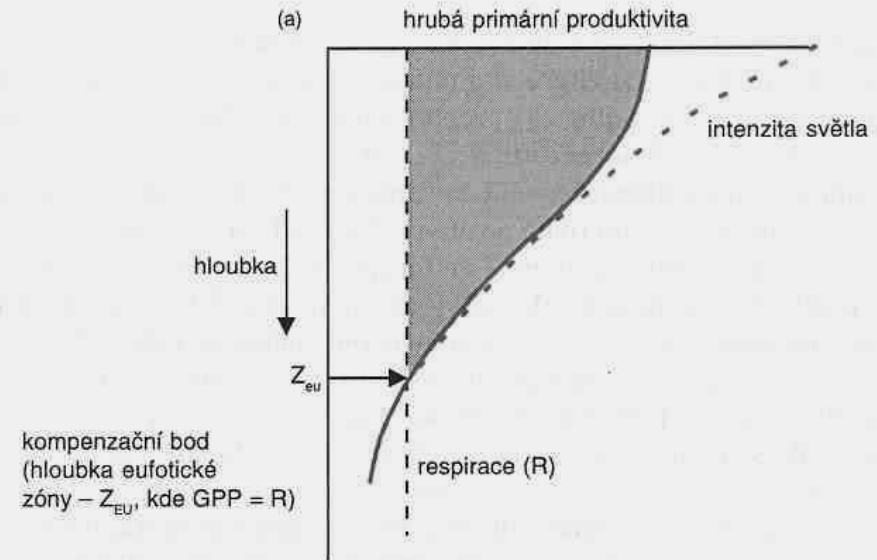


- a-Biomass concentration (g dry wt/m<sup>3</sup>)
- b-Percent light transmission
- c-Net photosynthesis (dg O<sub>2</sub>m<sup>3</sup>/hr)
- d-Net photosynthetic capacity (mgO<sub>2</sub> (g dry wt)/hr)

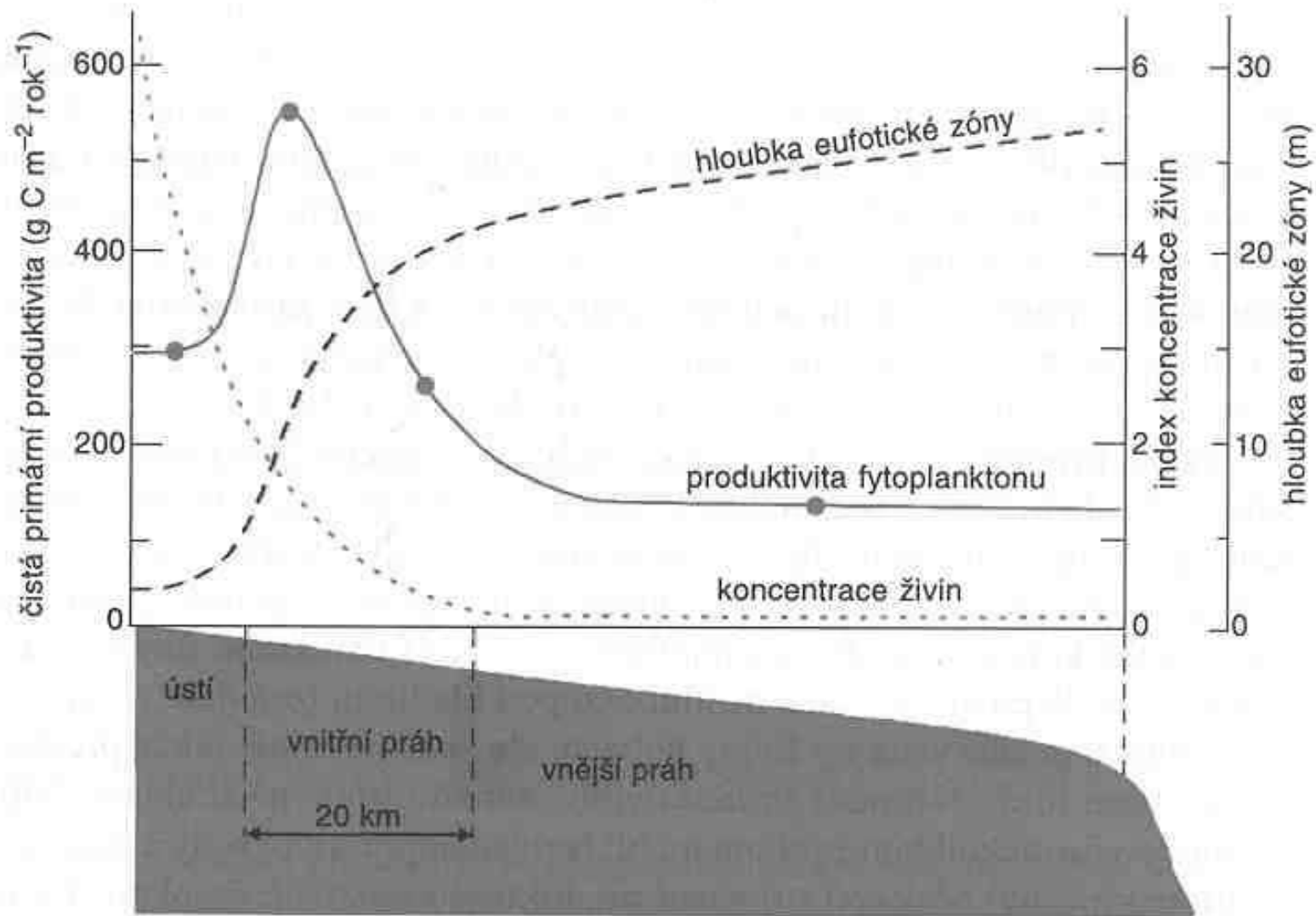
Ve vodních ekosystémech mluvíme o **eufotické zóně**, což je vrstva vody nad kompenzačním bodem  $\approx 1\%$  intenzity slunečního dopadajícího záření.

Navíc je fotosyntéza při vysoké radiaci inhibována.

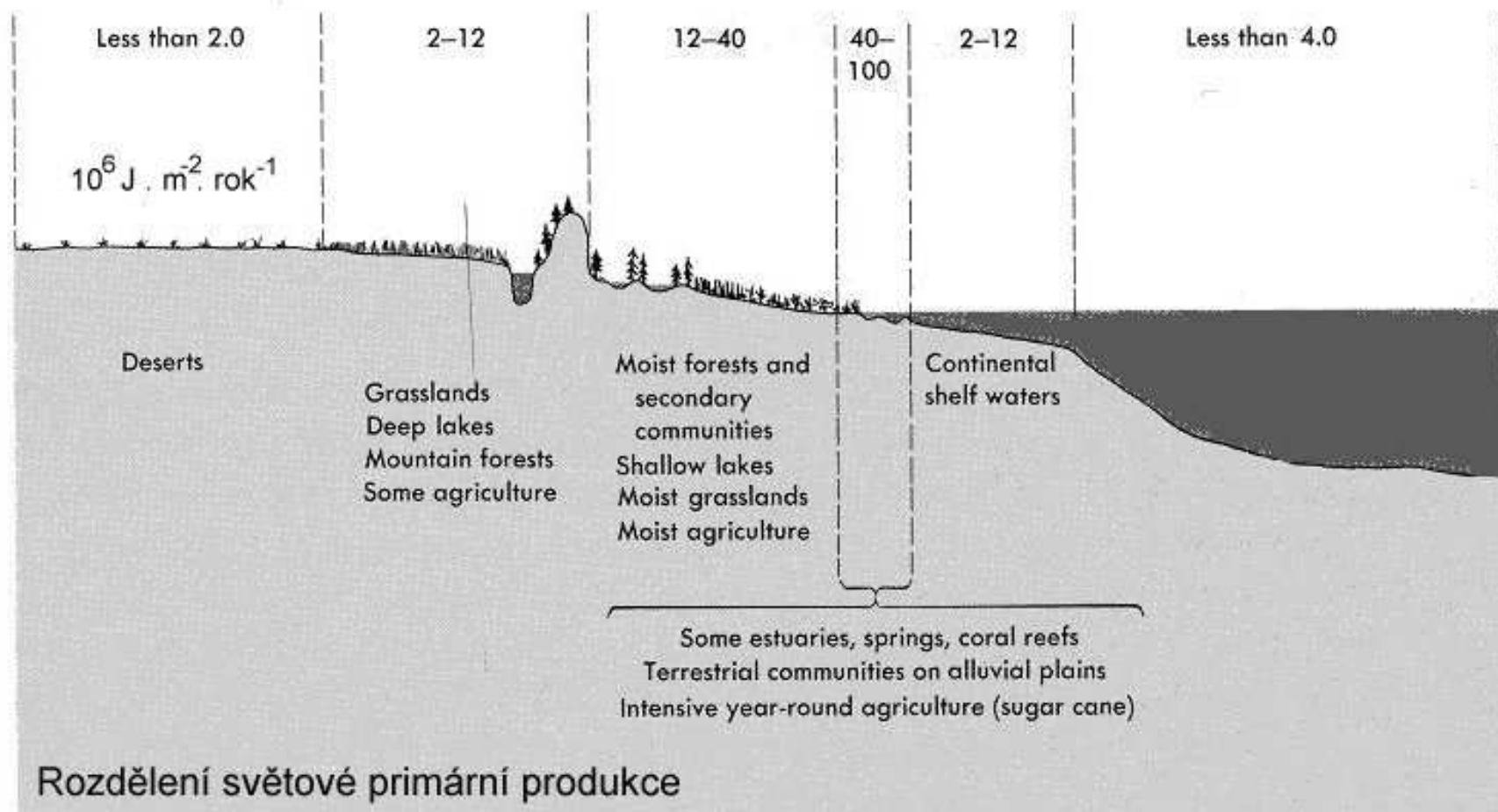
U rostlin z *terestrických ekosystémů* zvyklých na plné oslunění (cca  $500 \text{ W m}^{-2}$ ) je kompenzační bod  $1 - 2 \text{ W m}^{-2}$ . Saturační bod je okolo  $30-40 \text{ W m}^{-2}$ .



**Obrázek 18.15.** (a) Obecné vztahy změn hrubé primární produktivity (GPP), tepelných ztrát dýcháním (R) a čisté primární produktivity (NPP) s hloubkou ve vodním prostředí. Bod kompenzace (neboli hloubka euphotické zóny  $E_u$ ) se nachází v hloubce ( $Z_{eu}$ ), kde GPP právě vyrovnává R a kde NPP je rovna nule. (b) Celková NPP se zvyšuje s koncentrací živin ve vodě (jezero iii > ii > i). S rostoucím množstvím živin roste i biomasa fytoplanktonu, v důsledku čehož se snižuje hloubka euphotické zóny.

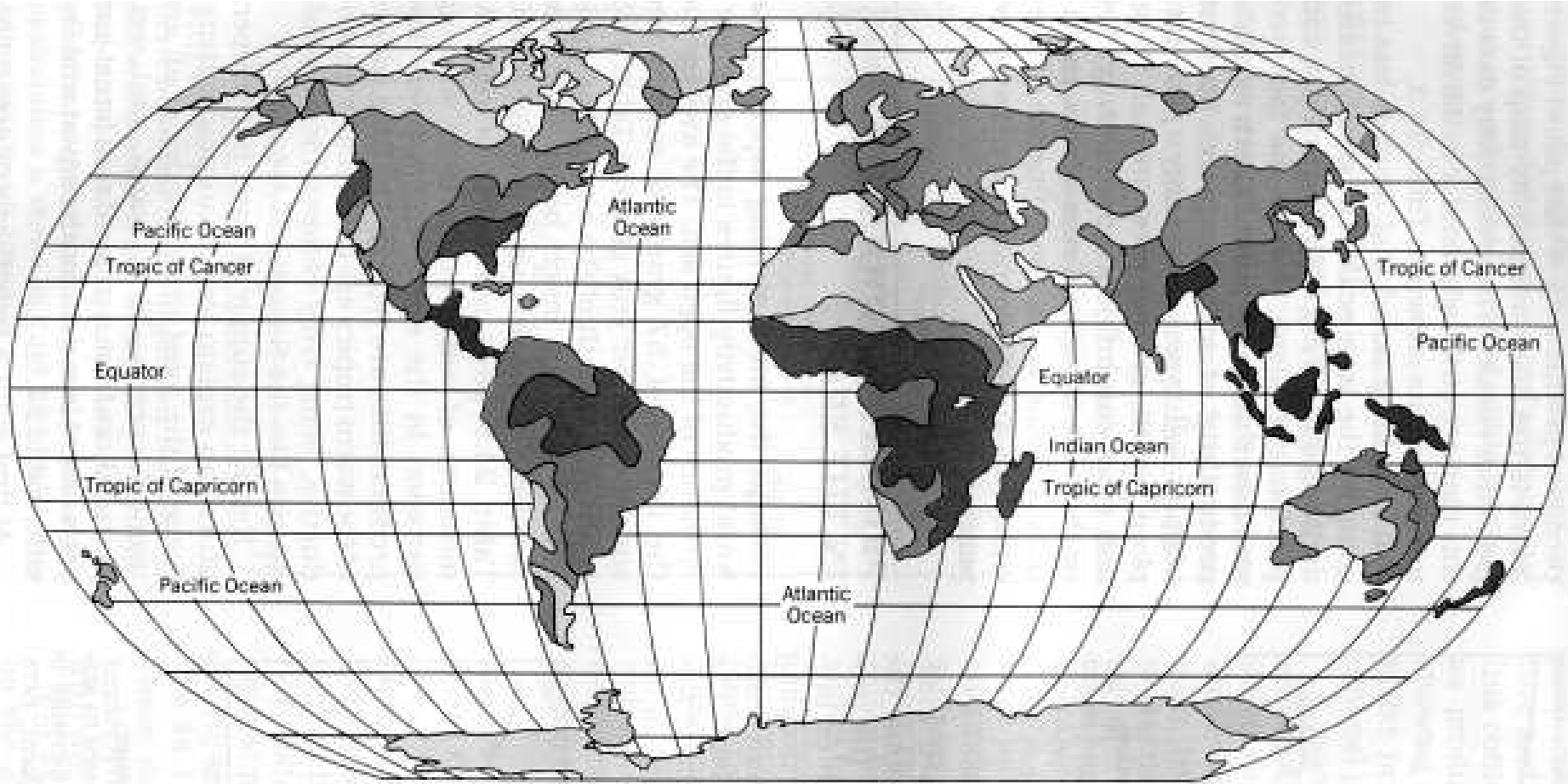


**Obrázek 18.13.** Změny v čisté primární produktivitě fytoplanktonu, v koncentraci živin a v hloubce eufotické zóny podél transektu mezi pobřežím Georgie, USA, a lemem kontinentálního prahu (Haines, 1979)



typ ekosystému	plocha (10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> )	NPP (g m <sup>-2</sup> , t km <sup>-2</sup> )		světová NPP (10 <sup>9</sup> t)	biomasa (kg m <sup>-2</sup> )		světová biomasa (10 <sup>9</sup> t)
		od-do	průměr		od-do	průměr	
tropický deštný les	17,0	1000-3500	2200	37,4	6-80	45	765
tropický sezónní les	7,5	1000-2500	1600	12,0	6-60	35	260
jehličnatý les mírného pásma	5,0	600-2500	1300	6,5	6-200	35	175
opadavý les mírného pásma	7,0	600-2500	1200	8,4	6-60	30	210
boreální les	12,0	400-2000	800	9,6	6-40	20	240
pásma lesů a křovin	8,5	250-1200	700	6,0	2-20	6	50
savana	15,0	200-2000	900	13,5	0,2-15	4	60
travné biomy mírného pásma	9,0	200-1500	600	5,4	0,2-5	1,6	14
tundra a vysokohorské oblasti	8,0	10-400	140	1,1	0,1-3	0,6	5
pouštní a polopouštní křoviny	18,0	10-250	90	1,6	0,1-4	0,7	13
extrémní pouště, skály, písek a led	24,0	0-10	3	0,07	0-0,2	0,02	0,5
obdělávaná půda	14,0	100-3500	650	9,1	0,4-12	1	14
bažiny a močály	2,0	800-3500	2000	4,0	3-50	15	30
jezera a vodní toky	2,0	100-1500	250	0,5	0-0,1	0,02	0,05
<b>kontinenty celkem</b>	<b>149</b>		<b>773</b>	<b>115</b>		<b>12,3</b>	<b>1837</b>
volný oceán	332,0	2-400	125	41,5	0-0,005	0,003	1,0
zóny vystupujících hlubinných vod	0,4	400-1000	500	0,2	0,005-0,1	0,02	0,008
kontinentální šelfy	26,6	200-600	360	9,6	0,001-0,04	0,01	0,27
řasové lavice a korálové útesy	0,6	500-4000	2500	1,6	0,04-4	2	1,2
říční delty	1,4	200-3500	1500	2,1	0,01-6	1	1,4
<b>oceány celkem</b>	<b>361</b>		<b>152</b>	<b>55,0</b>		<b>0,01</b>	<b>3,9</b>
<b>celkem</b>	<b>510</b>		<b>333</b>	<b>170</b>		<b>3,6</b>	<b>1841</b>





180 150 120 90 60 30 0 30 60 90 120 150 180  
 W W W W W W E E E E E E

0.1- 0.25- 0.5- 1.0- 1.5-  
 <0.1 0.25 0.5 1.0 1.5 2.0 >2.0 kg (dry matter) m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>

Level 0 1 2 3 4 5 6



Frequency distribution of data-point values in each level  
 Frequency 59 97 152 262 180 146 105

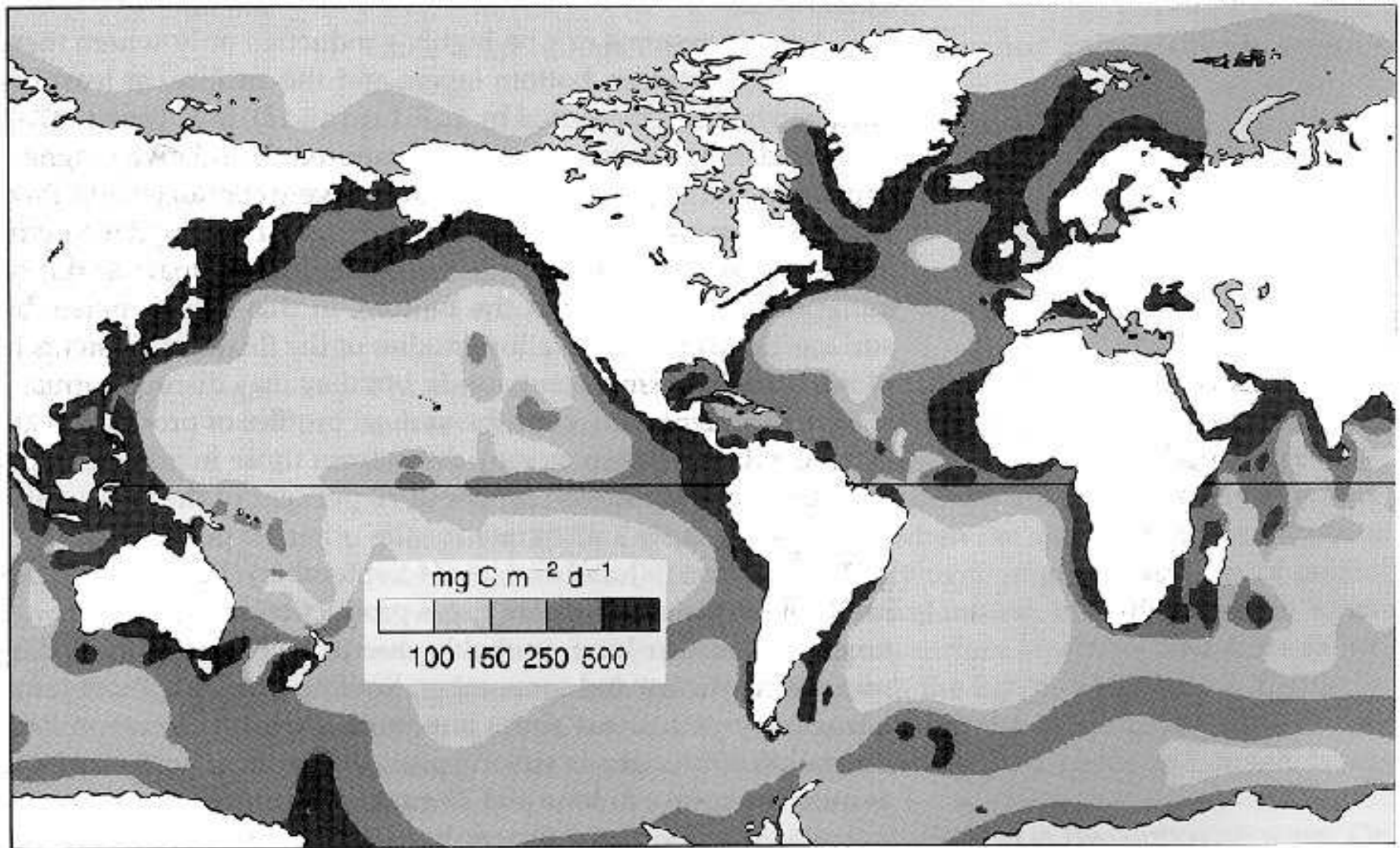
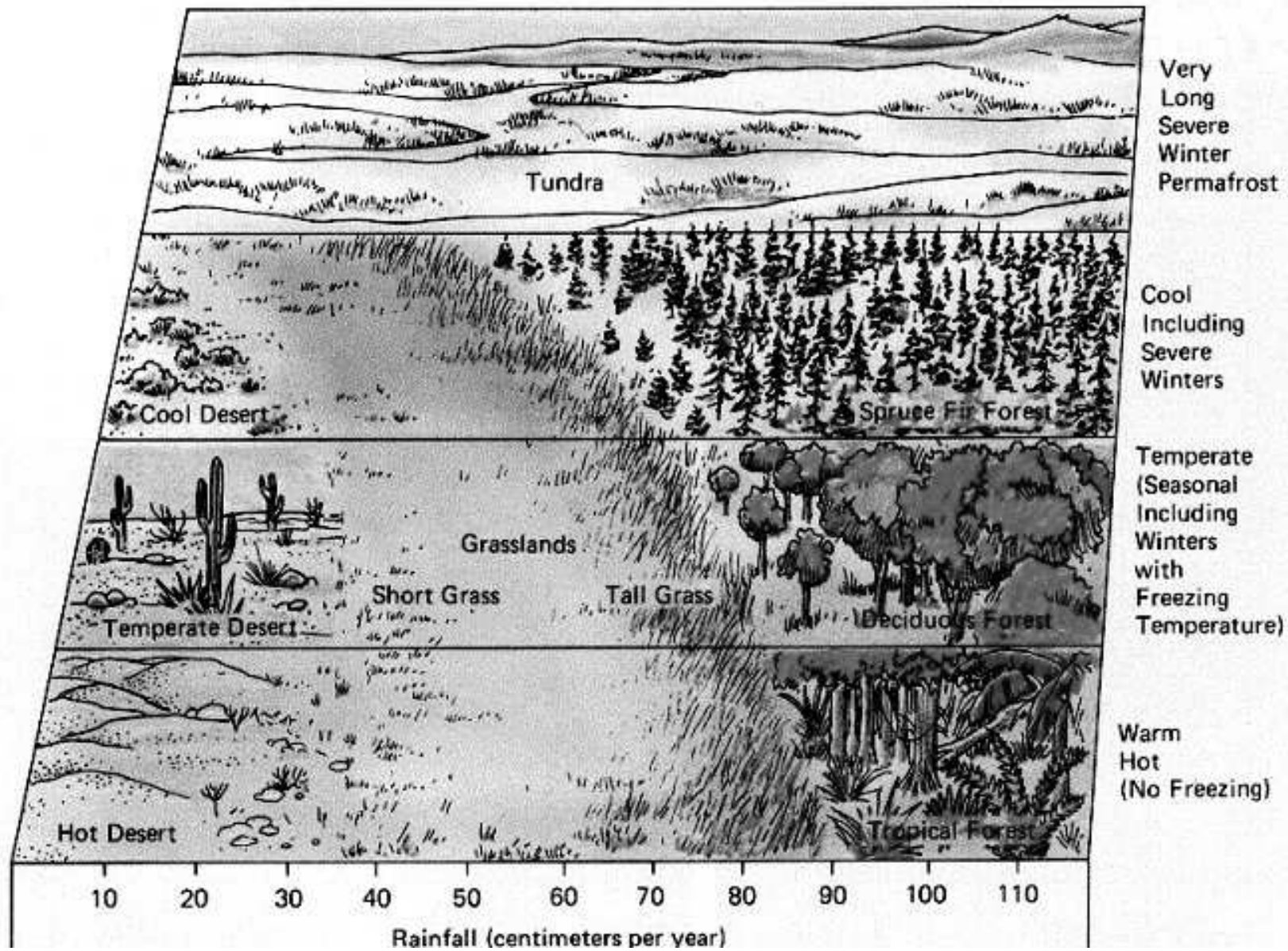
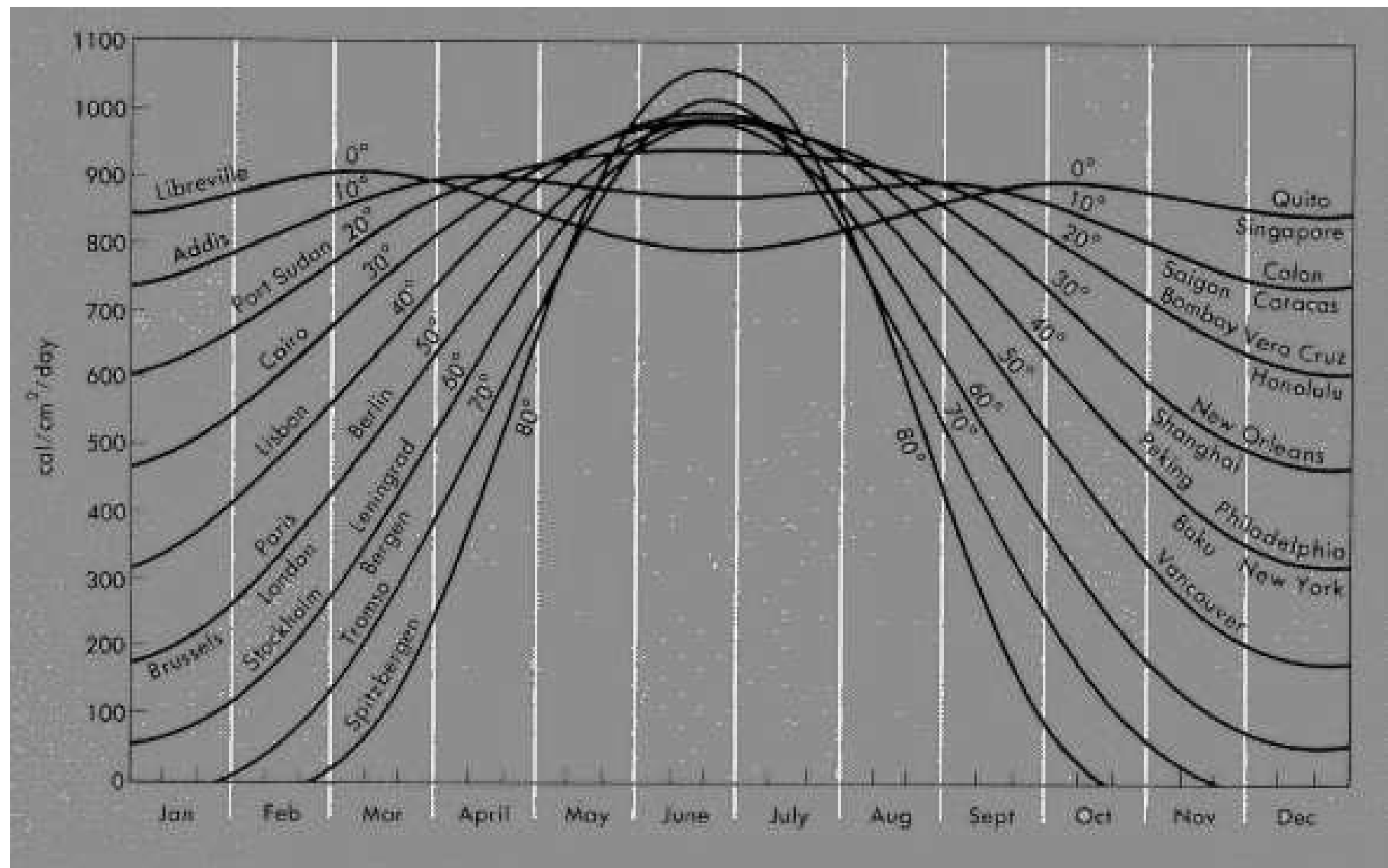


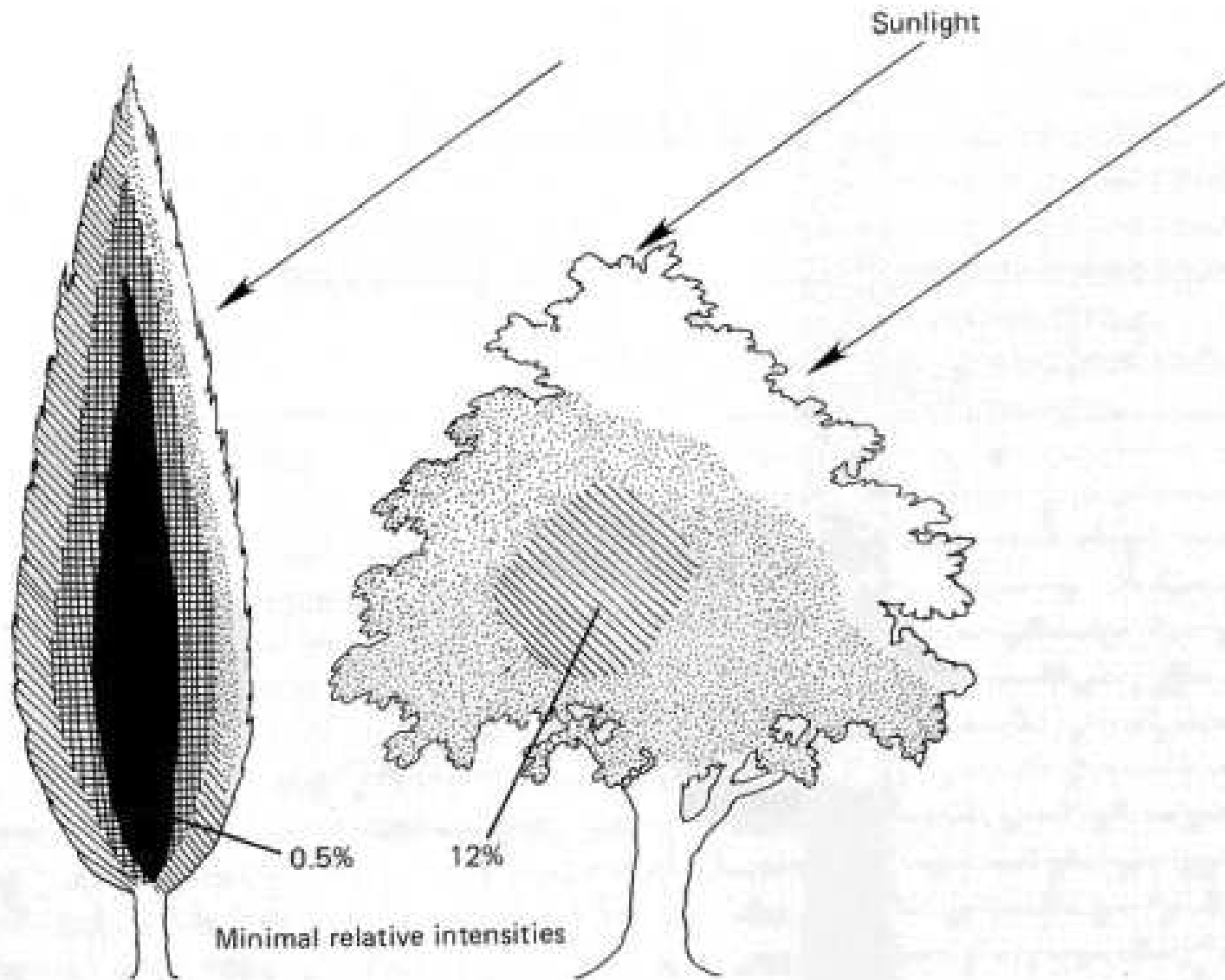
Figure 13-13

Primary production in the world's oceans in milligrams of carbon fixed per square meter per day. Productivity is greatest on the continental shelves and regions of upwelling on the west coasts of Africa and South and Central America. (After Barnes and Mann 1980.)



Temperature





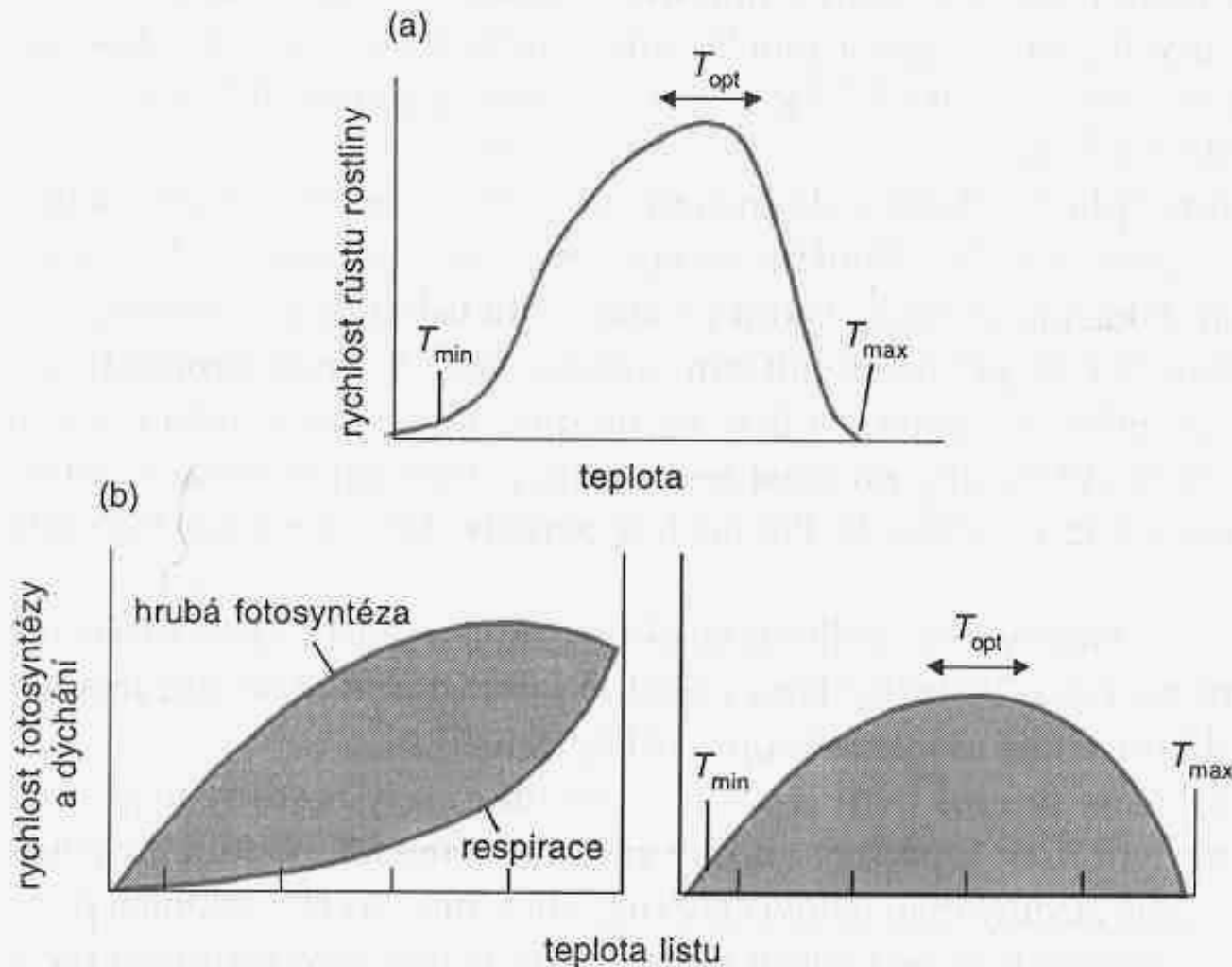
100-50%

50-25%

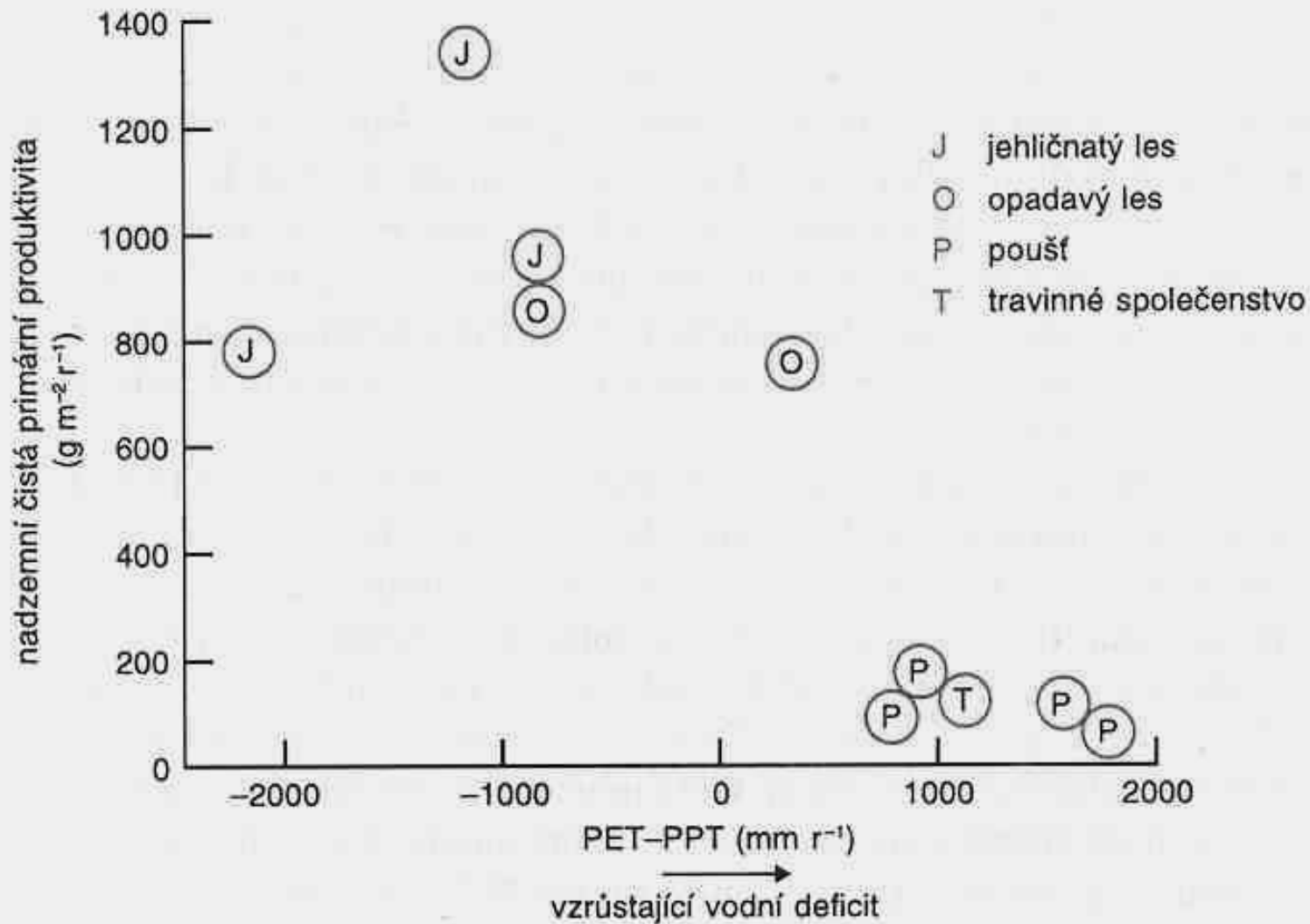
25-5%

5-1%

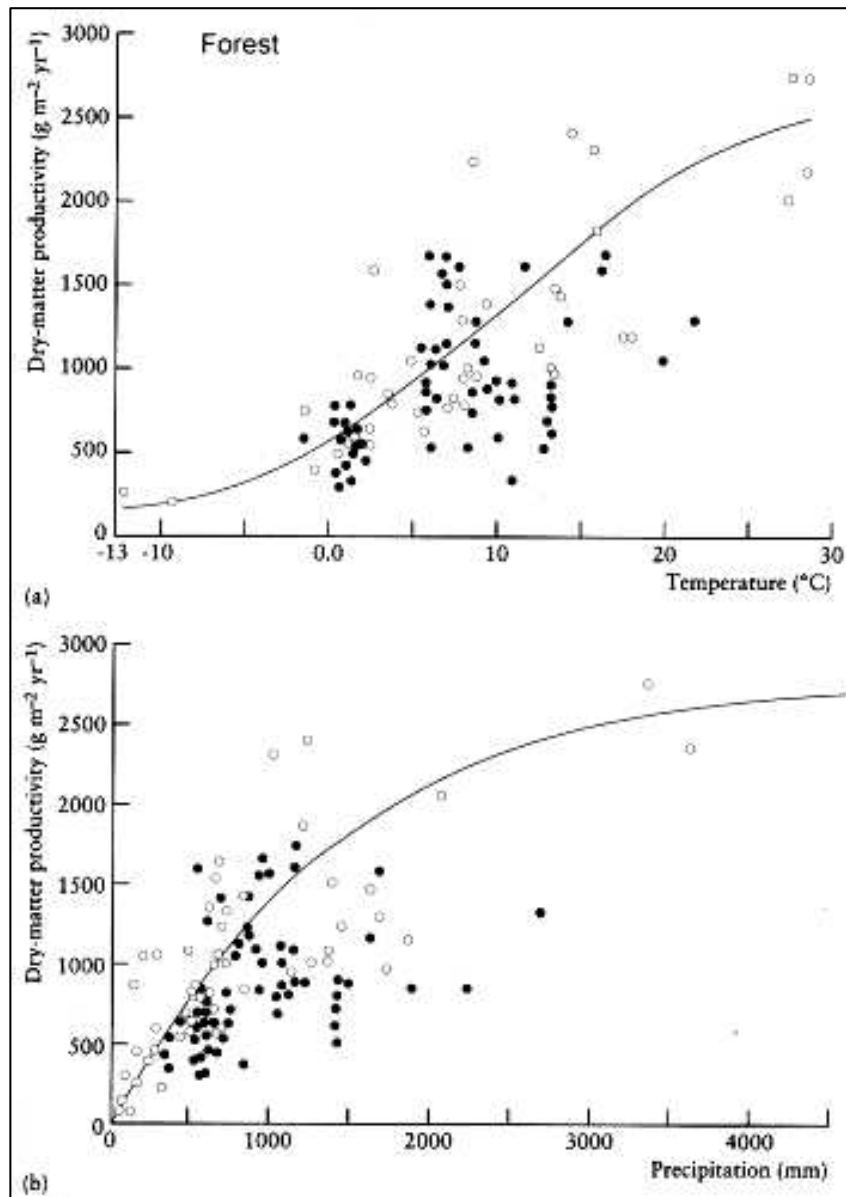
Dystrophic zone  
no foliage



**Obrázek 18.9.** Schematické znázornění reakcí rostlin na teplotu. (a) Zobecněný diagram reakce růstu rostlin na teplotu; v diagramu jsou označeny tři kritické hodnoty teplot, tj. teplotní minimum ( $T_{min}$ ), teplotní maximum ( $T_{max}$ ) a teplotní rozmezí optimální pro růst ( $T_{opt}$ ). (b) Vliv teploty na hrubou fotosyntézu, respiraci a čistou fotosyntézu běžné rostliny. (Pisek *et al.*, 1973; viz Fitter & Hay, 1981)



Obrázek 18.10. Vztah mezi nadzemní čistou primární produktivitou a indexem vodního deficitu (potenciální evapotranspirace /PET/ minus srážky /PPT/) pro několik typů společenstev v Severní Americe (Webb *et al.*, 1983)



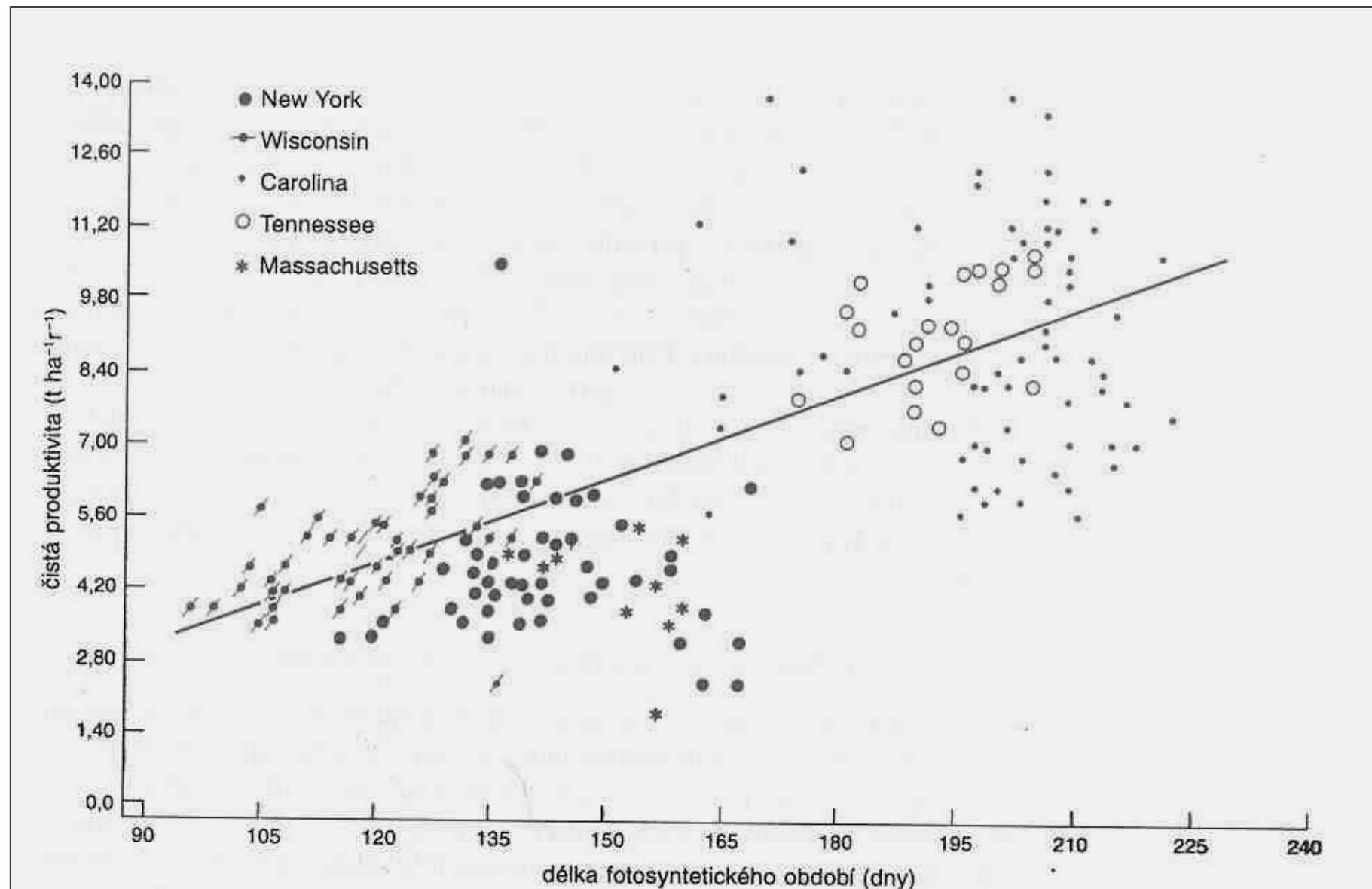
Ve vztahu k **teplotě a množství vláh** se rostliny liší (adaptačně) metabolickými úpravami tmavé fáze fotosyntézy (Calvin-Bensonova cyklu).

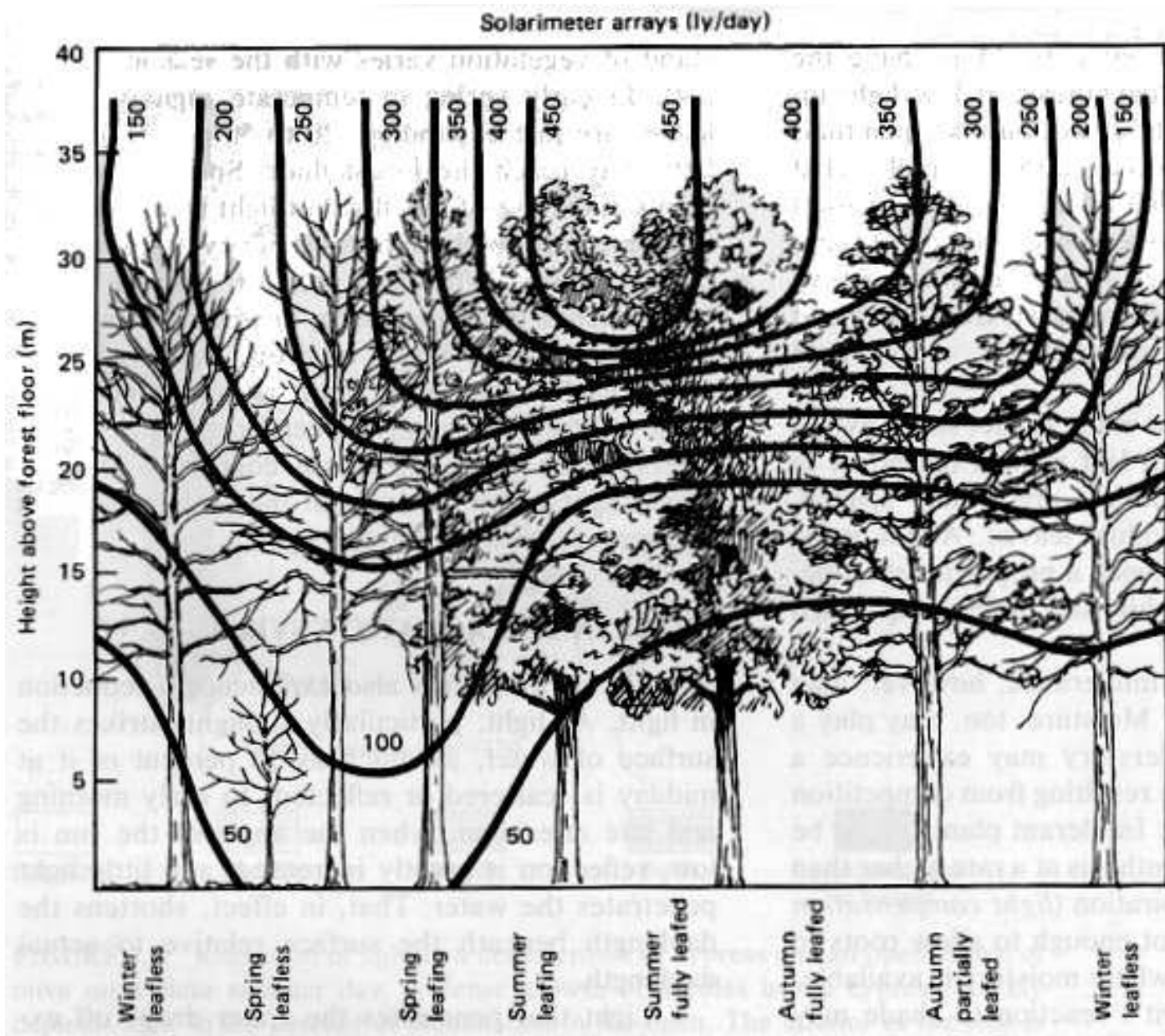
Rostliny typu **C3** jsou typické pro studenější a vlhčí oblasti. Jsou inhibovány vyšší radiací, ale fungují dobře i za nízkých teplot.

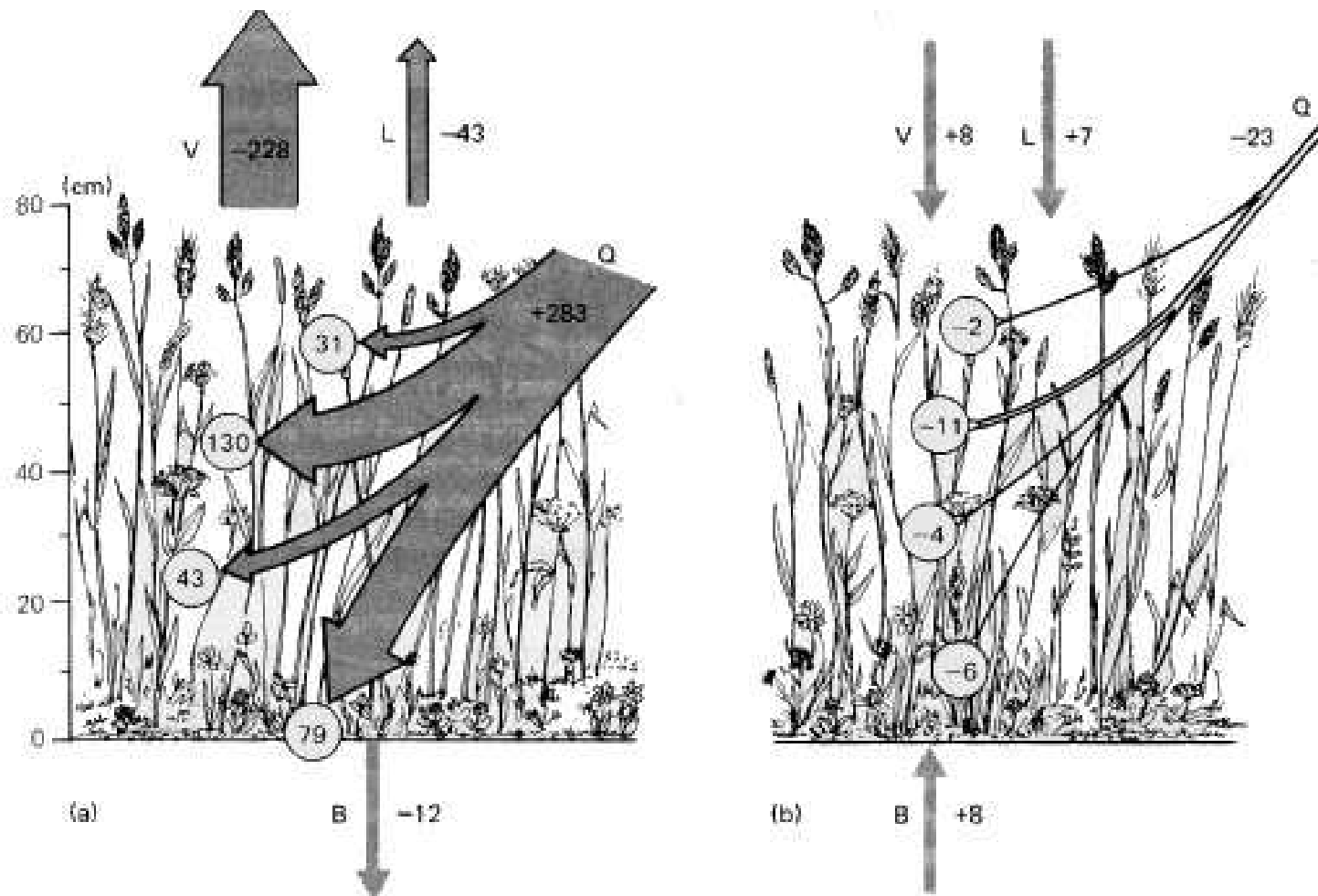
Rostliny **C4** jsou typické pro sušší a teplejší oblasti. Jsou účinnější i při vyšší radiaci, ale vadí jim zima. Podobně **CAM** rostliny (Crassulaceae) - adaptace na sucho.





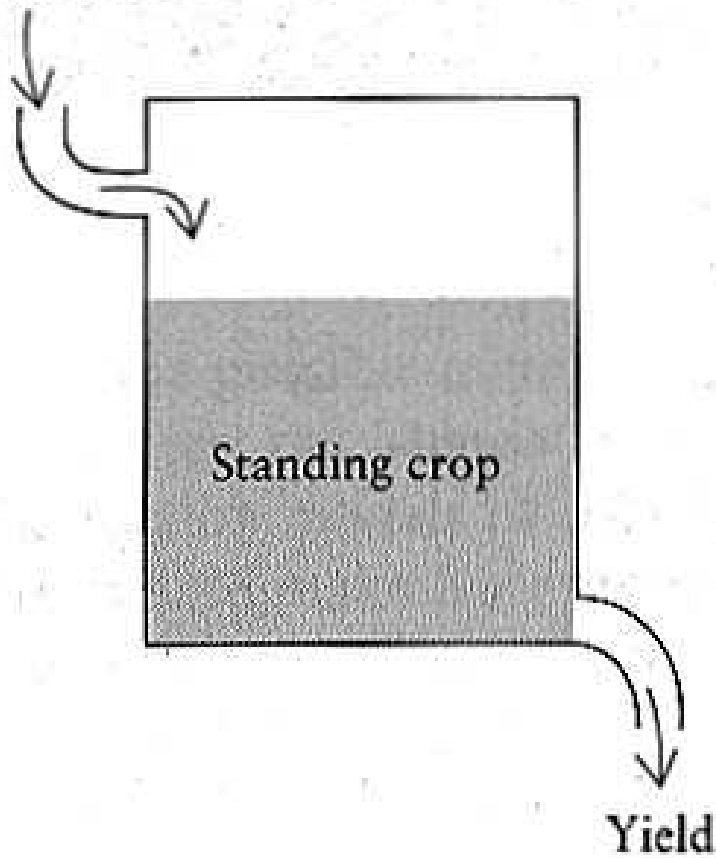




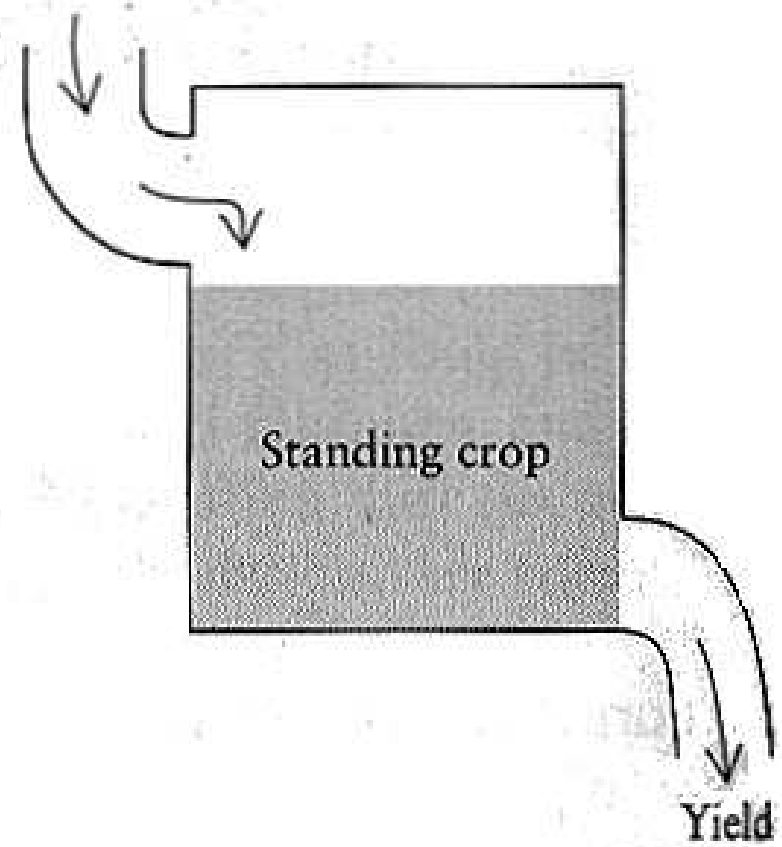


**FIGURE 5.1B** Energy exchange—absorption and emission—in a meadow on a sunny day (a). At night (b) net radiation as well as heat exchange is reversed.  $Q$  = net radiation;  $V$  = evaporation;  $L$  = sensible heat convection;  $B$  = soil heat flux. Figures are  $\text{cal}/\text{cm}^2$ . The active layer in the day lies between 30 and 55 cm; it absorbs 45 percent of net radiation. The second most active layer, the lowermost, absorbs 28 percent. During input 80 percent of the radiant energy is used for evaporation of water, 15 percent for sensible heat convection, and 5 percent to raise soil temperature. (After Cernusca, 1976:148.)

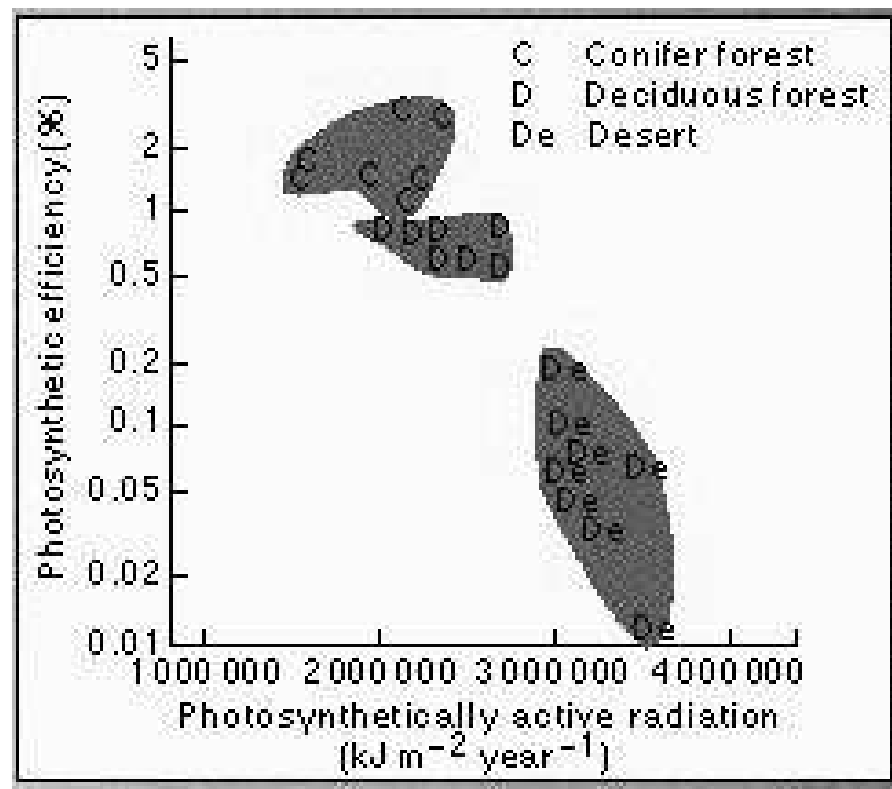
Production

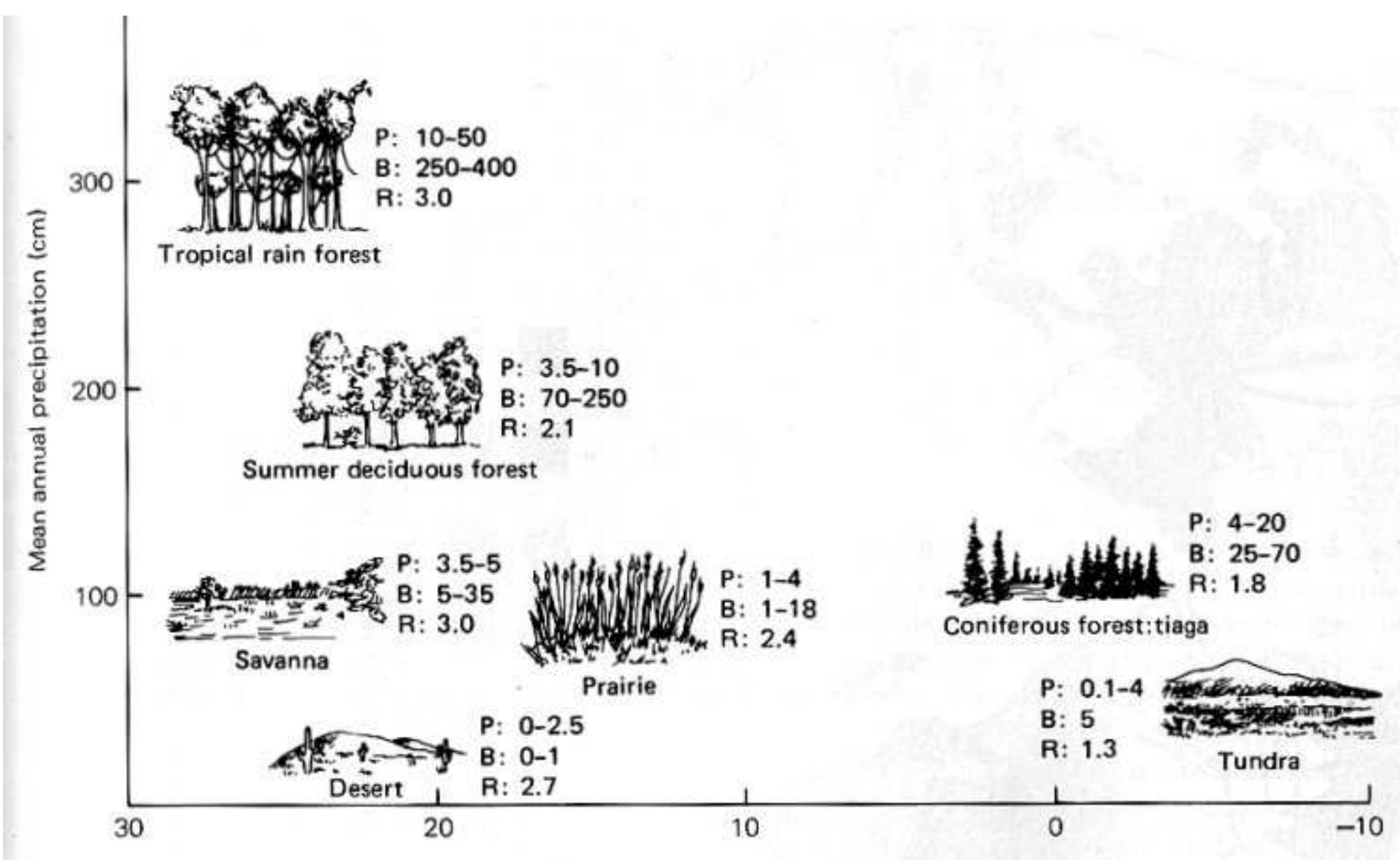


Production

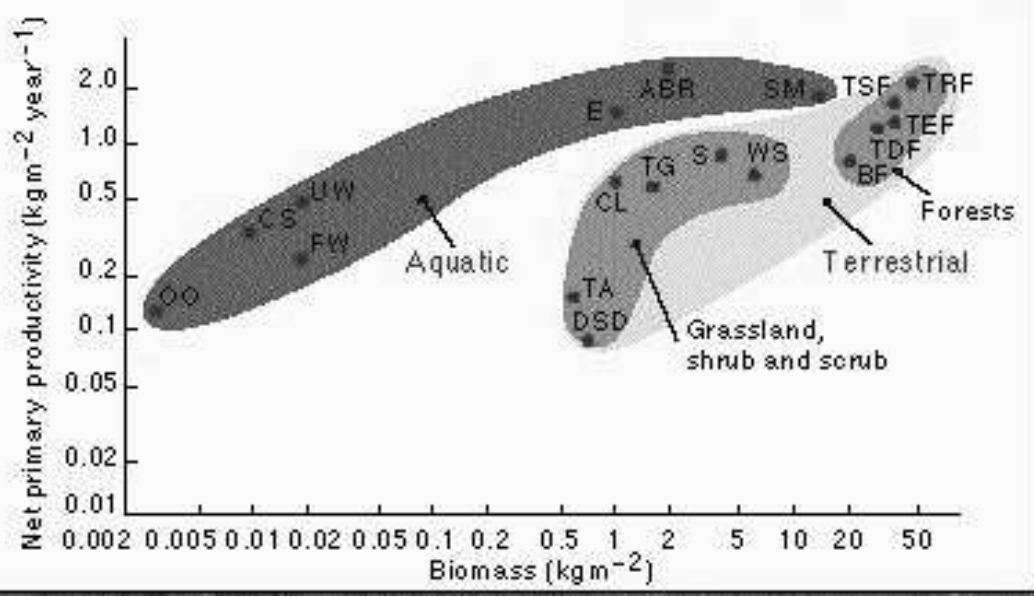


	<b>Kcal/m<sup>2</sup>/day</b>	<b>Efficiency (%)</b>
Transeau's cornfield	33	1.6
Gaastra's sugar beet field	—	2.2
Sugarcane	74	1.8
Water hyacinths	20-40	1.5
Tropical forest plantation	28	0.7
Microscopic alga culture on pilot scale	72	3.0
Sewage pond on seven-day turnover	144	2.8
Tropical rain forest	131	3.5
Coral reefs	39-151	2.4
Tropical marine meadows	20-144	2.0
Galveston Bay, Texas (fertilized by wastes)	80-232	2.5
Silver Springs, Florida (vegetated bottom)	70	2.7
Subtropical blue water (open sea)	2.9	0.09
Hot deserts	0.4	0.05
Arctic tundra	1.8	0.08





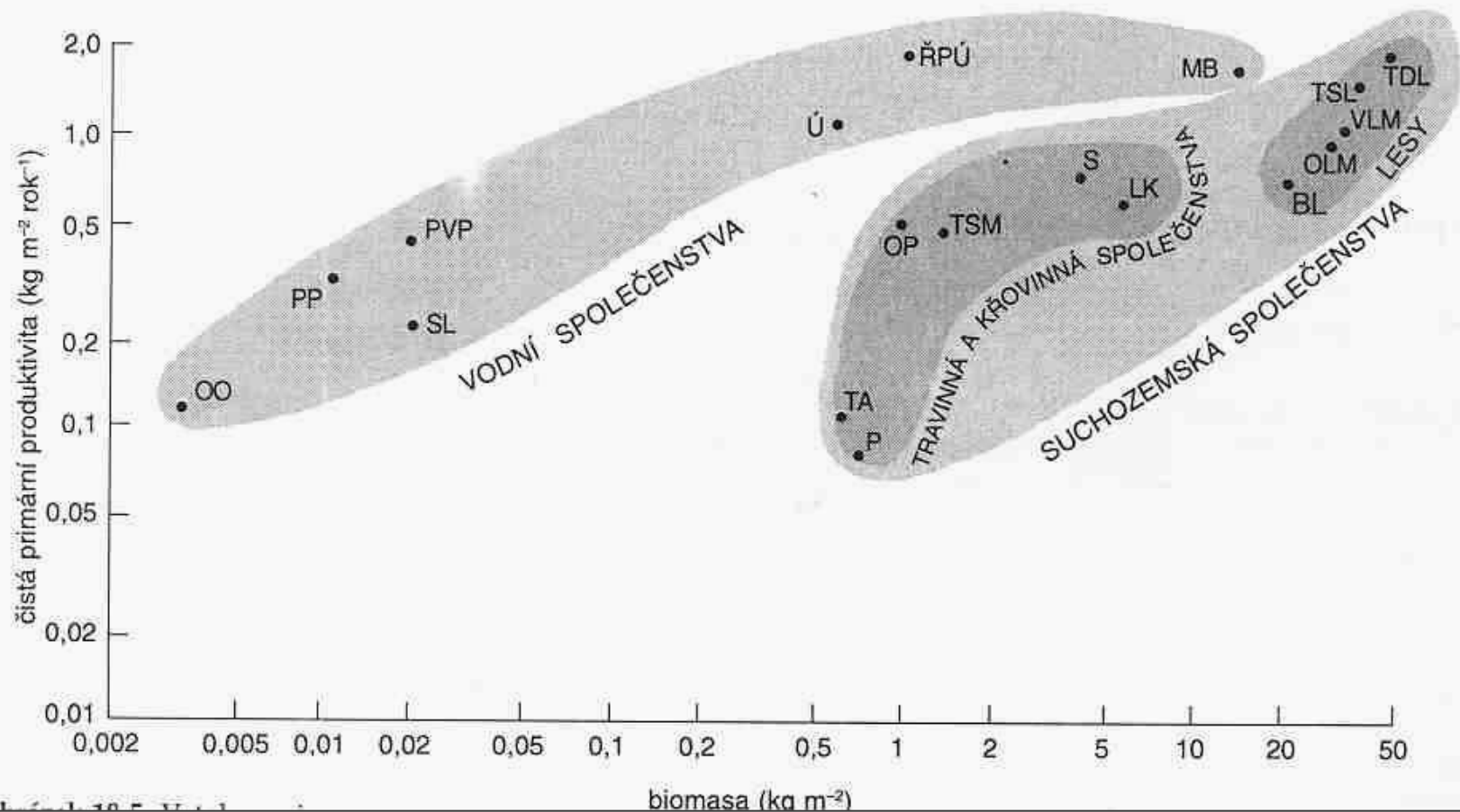
- WS Woodland and scrubland
- S Savannah
- TG Temperate grassland
- TA Tundra and alpine
- DSD Desert and semi-desert
- CL Cultivated land
- SM Swamp and marsh
- TRF Tropical rainforest
- TSF Tropical seasonal forest
- TEF Temperate evergreen forest
- TDF Temperate deciduous forest
- BF Boreal forest
- OO Open ocean
- CS Continental shelf
- UW Upwelling zone
- ABR Algal beds and reefs
- E Estuaries
- FW Freshwater lakes and streams



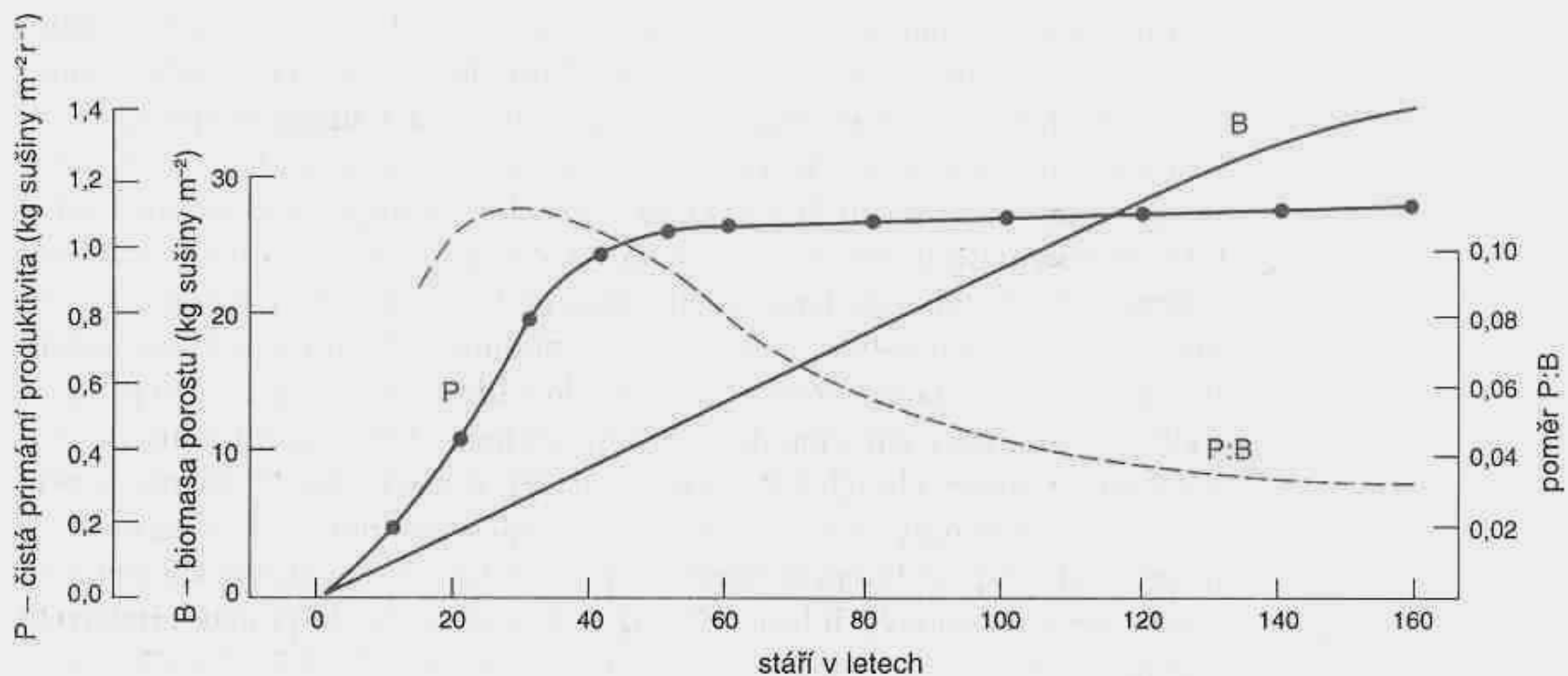
OO otevřený oceán  
 PP pevninský práh  
 PVP pásmo vzestupných proudů  
 ŘPÚ řasová pole a útesy  
 Ú ústí řek  
 SL sladkovodní jezera a toky  
 MB močály a bažiny

TDL tropický deštný les  
 TSL tropický sezonní les  
 VLM vždyzelený les mírného pásma  
 OLM opadavý les mírného pásma  
 BL boreální les  
 LK lesní a křovinné formace

S savana  
 TSM travinná společenstva mírného pásma  
 TA tundra a alpská vegetace  
 P poušť a polopoušť  
 OP orná půda

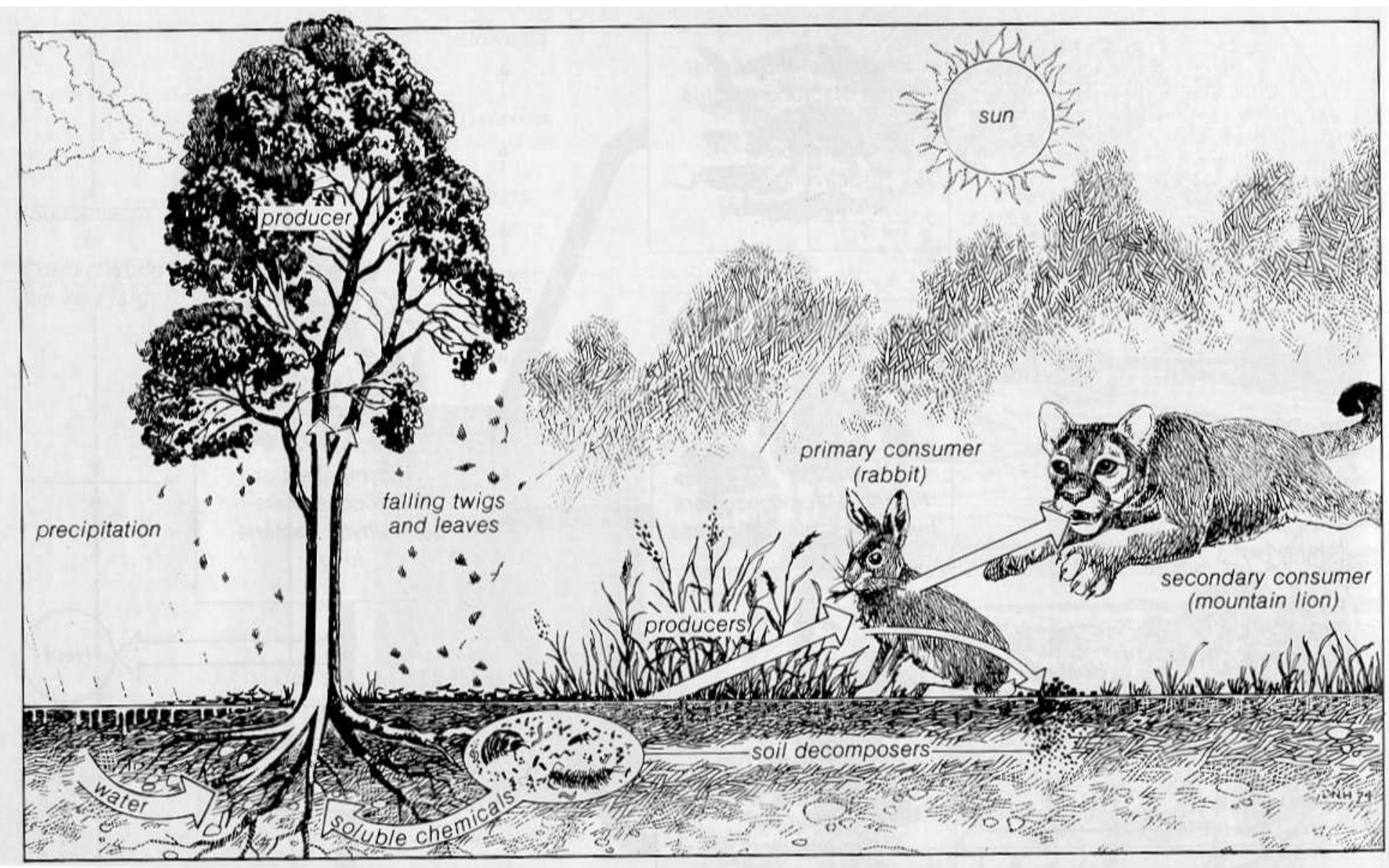


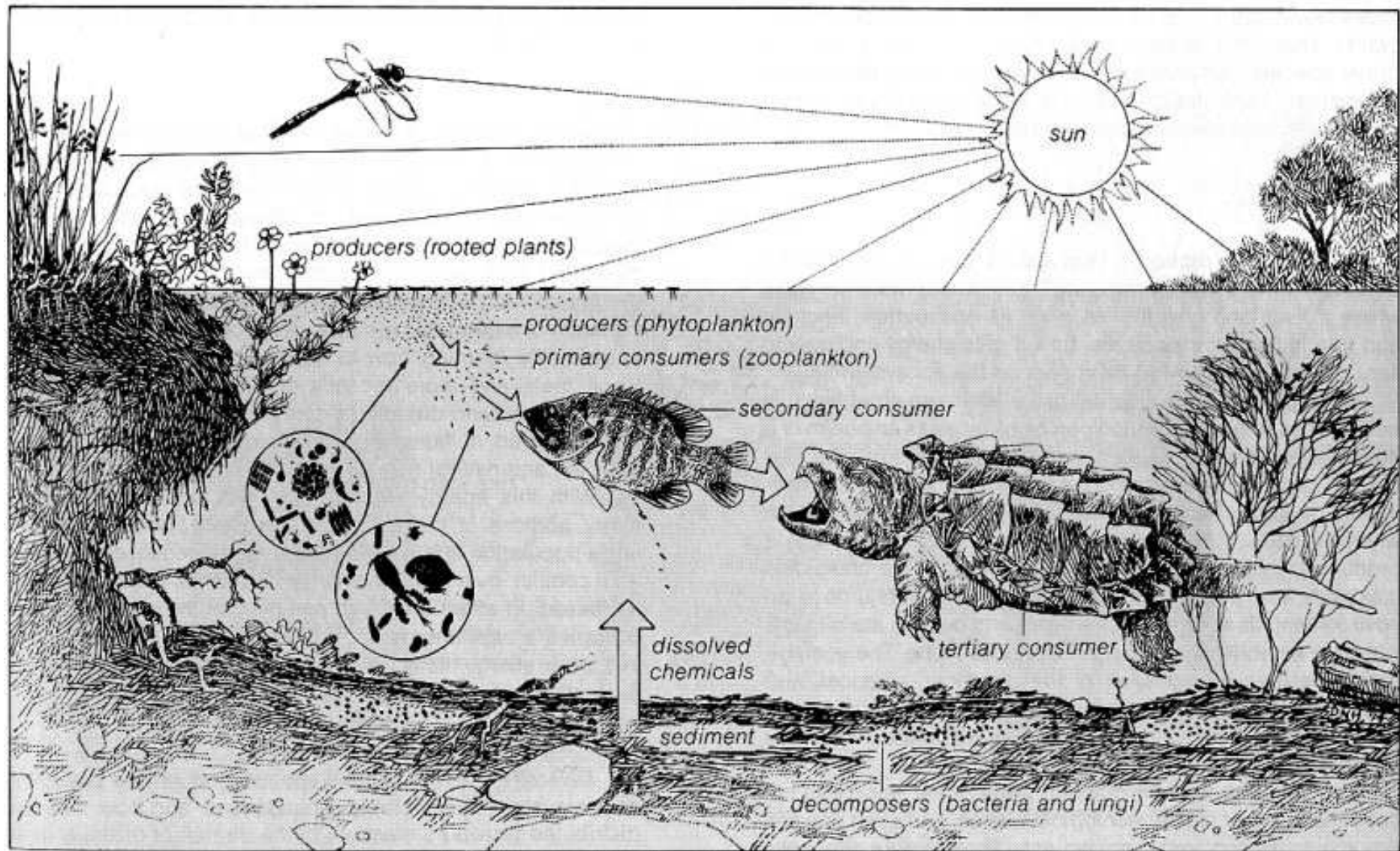




**Obrázek 18.6.** Roční čistá primární produkce nadzemních částí ( $P$ ), biomasa ( $B$ ) a poměr produktivity k biomase ( $P:B$ ) v sukcesi lesa zahájené po požáru na Long Island, New York. Produktivita se rychle zvyšovala, když společenstva procházela stadii bylin a keřů až ke stadiu lesa, kdy se po 40 až 50 letech ustálila asi na  $1,05 \text{ kg m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ . Biomasa v této době stále ještě rostla a dá se očekávat, že za 200 let dosáhne v dospělém dubovém lese hodnoty asi  $40 \text{ kg m}^{-2}$ . Poměr  $P:B$  by za 20–40 let po požáru dosáhl hodnoty asi 0,1 a po 160 letech by klesl na pouhých 0,03. (Whittaker & Woodwell 1968, 1969)

	AREA * 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	NET PRIMARY PRODUCTIVITY, PER UNIT AREA † dry g/m <sup>2</sup> /yr		WORLD NET PRIMARY PRODUCTION ** 10 <sup>9</sup> dry tons/yr	BIOMASS PER UNIT AREA ‡ dry kg/m <sup>2</sup>		WORLD BIOMASS ** 10 <sup>9</sup> dry tons
		<i>normal</i>			<i>normal</i>		
		<i>range</i>	<i>mean</i>		<i>range</i>	<i>mean</i>	
Lake and stream	2	100–1,500	500	1.0	0–0.1	0.02	0.04
Swamp and marsh	2	800–4,000	2,000	4.0	3–50	12	24
Tropical forest	20	1,000–5,000	2,000	40.0	6–80	45	900
Temperate forest	18	600–2,500	1,300	23.4	6–200	30	540
Boreal forest	12	400–2,000	800	9.6	6–40	20	240
Woodland and shrubland	7	200–1,200	600	4.2	2–20	6	42
Savanna	15	200–2,000	700	10.5	0.2–15	4	60
Temperate grassland	9	150–1,500	500	4.5	0.2–5	1.5	14
Tundra and alpine	8	10–400	140	1.1	0.1–3	0.6	5
Desert scrub	18	10–250	70	1.3	0.1–4	0.7	13
Extreme desert, rock and ice	24	0–10	3	0.07	0–0.2	0.02	0.5
Agricultural land	14	100–4,000	650	9.1	0.4–12	1	14
Total land	149		730	109.		12.5	1,852.
Open ocean	332	2–400	125	41.5	0–0.005	0.003	1.0
Continental shelf	27	200–600	350	9.5	0.001–0.04	0.01	0.3
Attached algae and estuaries	2	500–4,000	2,000	4.0	0.04–4	1	2.0
Total ocean	361		155	55.		0.009	3.3
Total for earth	510		320	164.		3.6	1,855.





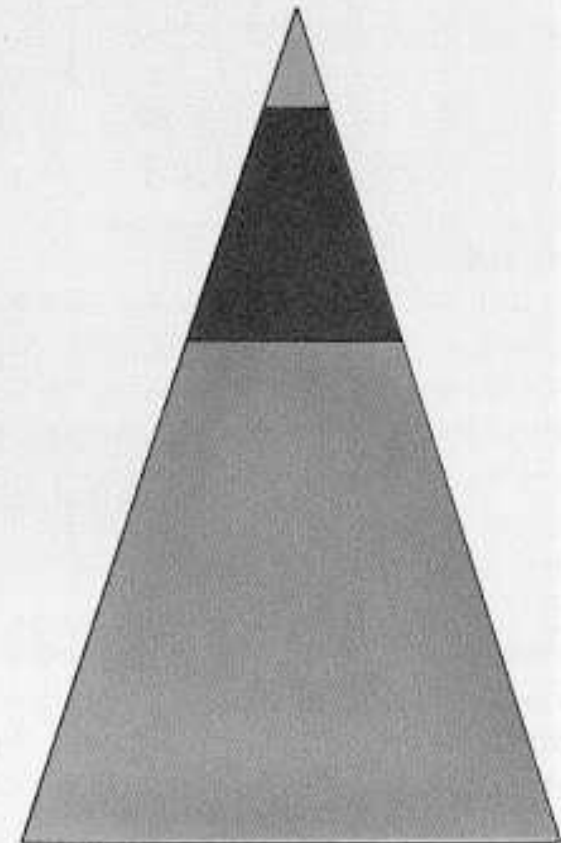




Total Combined  
Weight of  
All Carnivores = Biomass of  
Third  
Trophic  
Level

Total Combined  
Weight of  
All Herbivores = Biomass of  
Second  
Trophic  
Level

Total Combined  
Weight of  
All Producers = Biomass of  
First  
Trophic  
Level



Segments of Pyramid Show  
Relative Biomass at  
Each Trophic Level



Total Combined  
Weight of  
All Carnivores

=

Biomass of  
Third  
Trophic  
Level

Total Combined  
Weight of  
All Herbivores

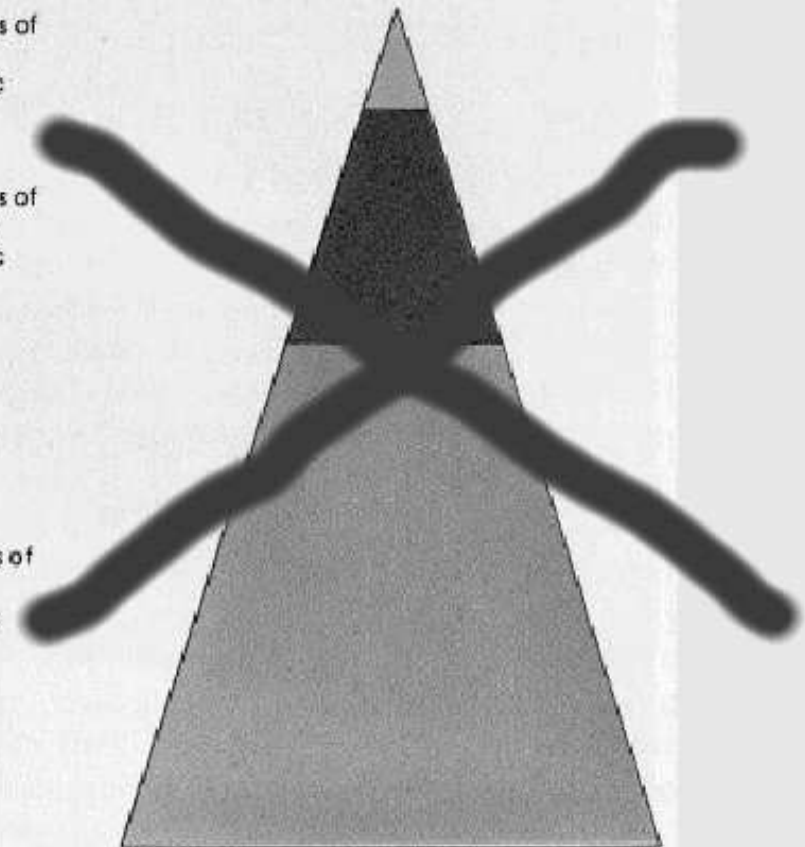
=

Biomass of  
Second  
Trophic  
Level

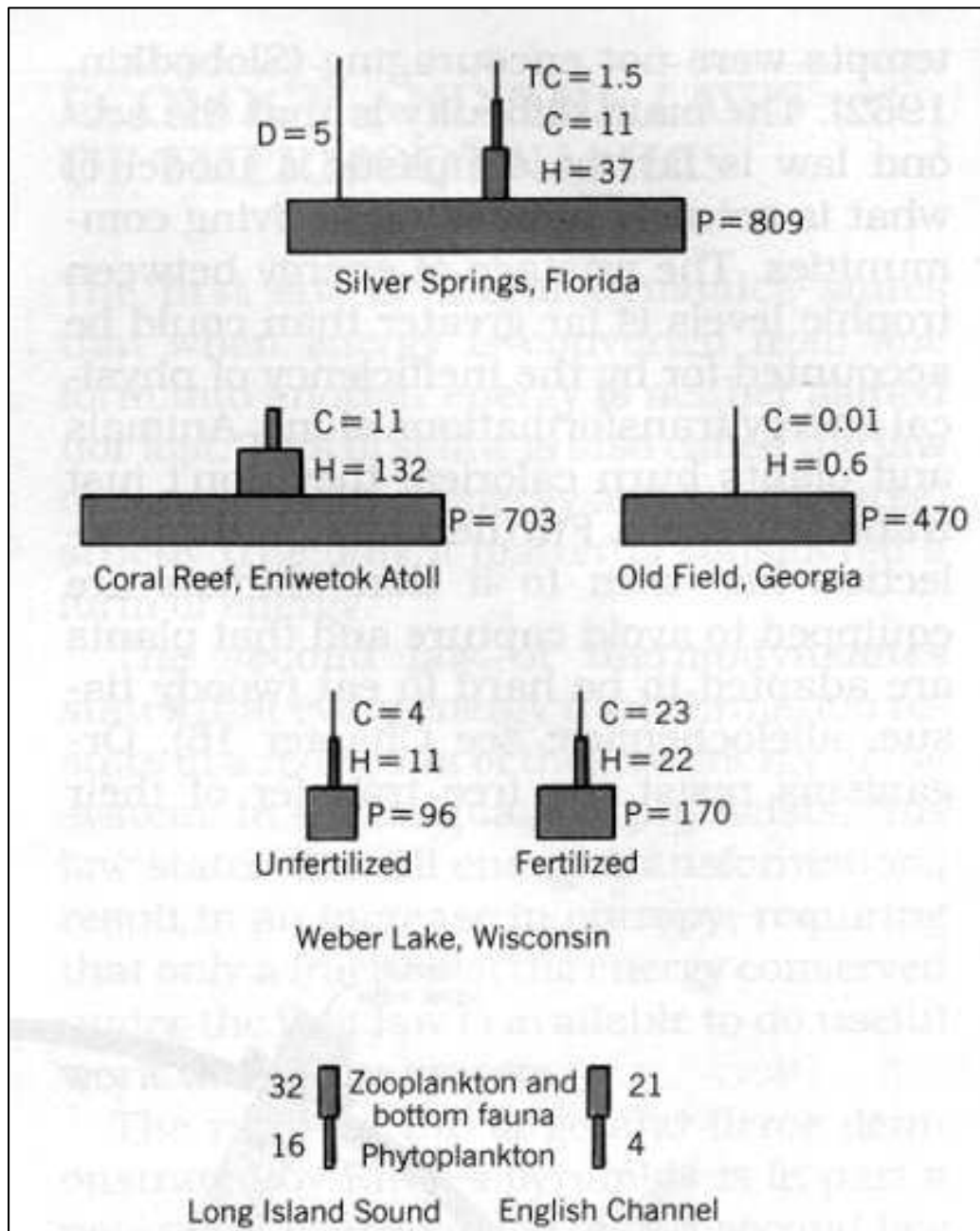
Total Combined  
Weight of  
All Producers

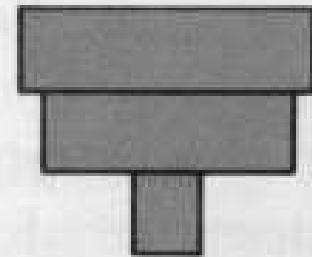
=

Biomass of  
First  
Trophic  
Level



Segments of Pyramid Show  
Relative Biomass at  
Each Trophic Level





Primary carnivores (pelagic fish) 1.8

Herbivores (zooplankton) 1.5

Producers (phytoplankton) 0.4

Biomass  $gm^{-2}d^{-1}$



Primary carnivores 0.0016

Herbivores 0.15

Producers 0.4

Productivity  $gm^{-2}d^{-1}$



# Účinnost přenosu energie

Lindeman 1942

poměr hrubých produkcí trofických hladin - **Lindemanova účinnost**

*ekologická účinnost (mezi trofickými hladinami):*

**rostlin** = rychlost asimilace (fotosyntézy) / dopadající sluneční radiace

**herbivorů** = rychlost asimilace herbivorů / hrubá primární produkce

**primárních karnivorů** = rychlost asimilace karnivorů / rychlost asimilace herbivorů

*uvnitř trofické hladiny:*

**účinnost asimilace** = asimilovaná potrava (stravitelná energie) / pozřená potrava

**ekologická růstová účinnost** = čistá produkce / pozřená potrava

**produkční účinnost** = čistá produkce / asimilovaná potrava (stravitelná energie)

**exploatační účinnost** - mezi trofickými hladinami vztažená na **čistou** produkci

**konzumační účinnost** - kolik % **čisté celkové produkce** ( $P_{n-1}$ ) je sežráno ( $I_n$ )

**následující trofickou hladinou**, tj.  $I_n / P_{n-1}$

**asimilační účinnost** - kolik je z pozřené potravy metabolizováno ( $A_n$ , asimilováno),

tj.  $A_n / I_n$

**produkční účinnost** - jak je využita asimilovaná potrava na **čistou produkci** ( $P_n$ ), tj.

$P_n / A_n$

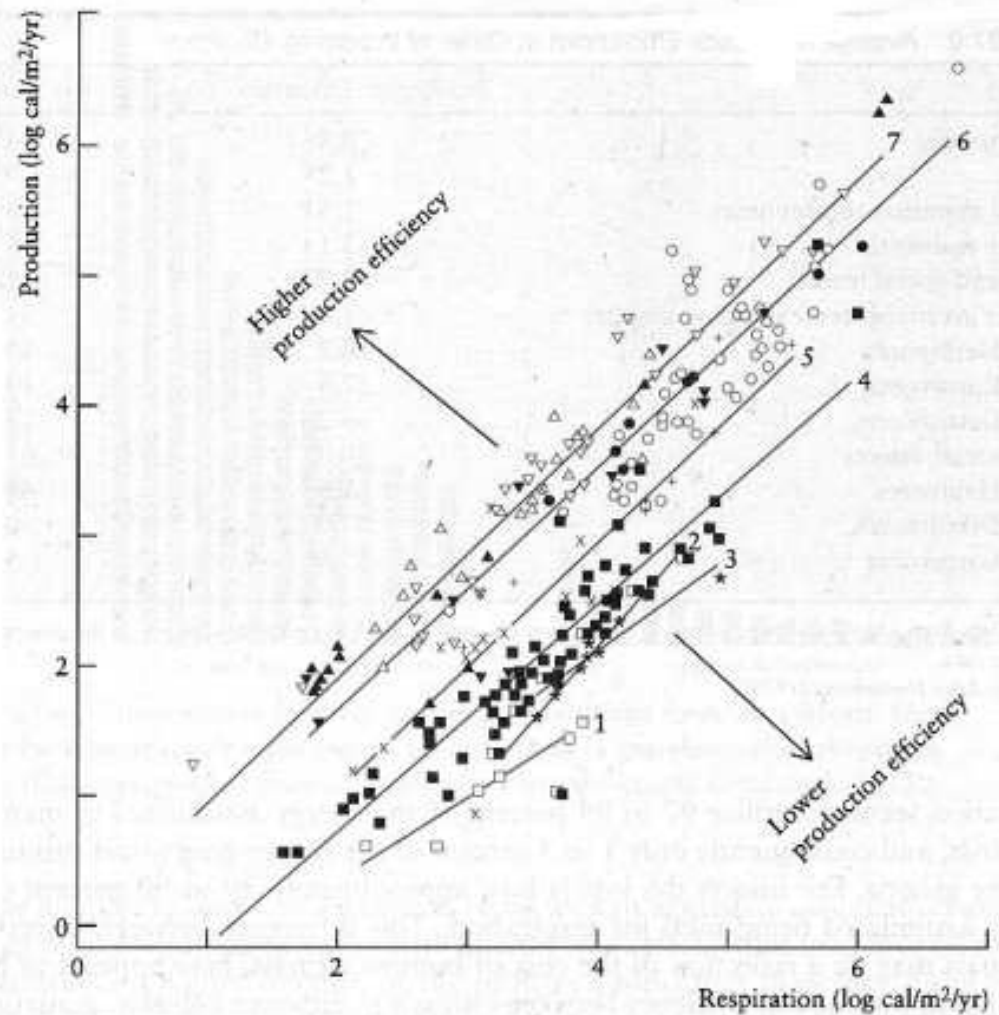
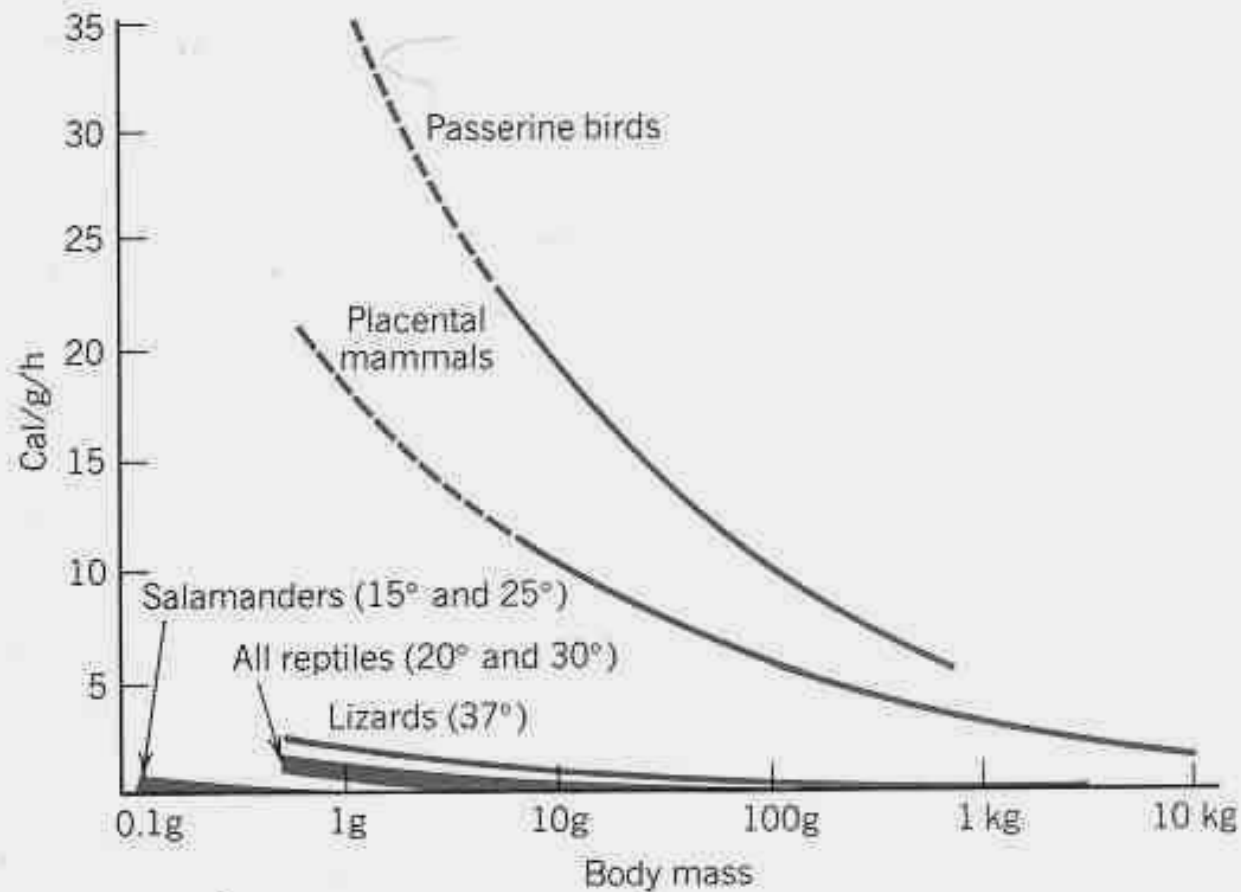


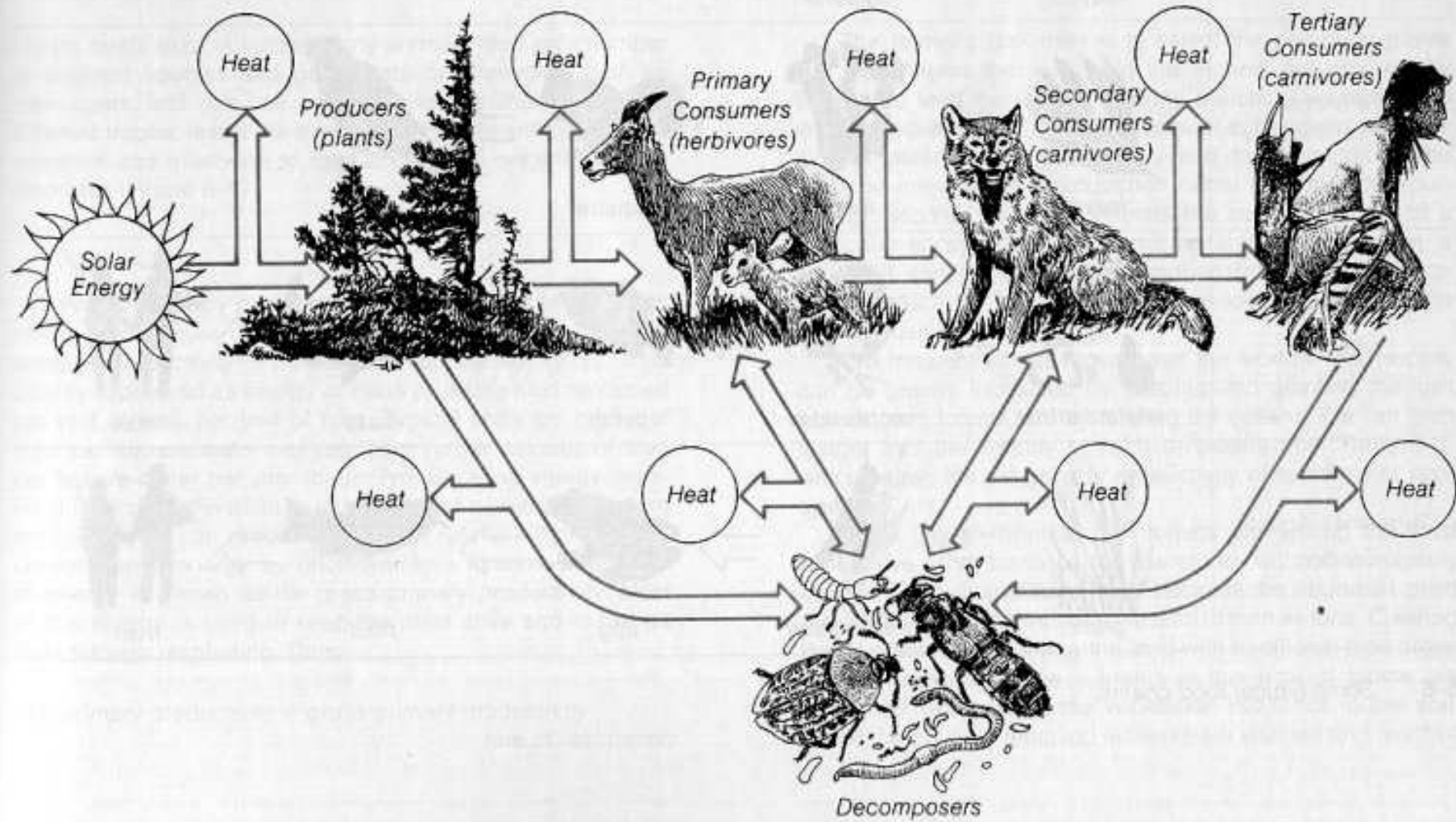
Figure 27.4 The relationship between respiration and production (both as  $\log_{10}$   $\text{cal/m}^2/\text{yr}$ ) in natural populations of animals. The regression lines of the seven derived groups are shown: 1 = insectivores, 2 = small mammal communities, 3 = birds, 4 = other mammals, 5 = fish and social insects, 6 = noninsect invertebrates, and 7 = nonsocial insects. Symbols are:  $\square$  insectivores,  $\blacksquare$  small mammal communities,  $\blacksquare$  other mammals, \* birds, + fishes, x social insects,  $\circ$  molluscs,  $\bullet$  Crustacea,  $\blacktriangledown$  other noninsect invertebrates,  $\Delta$  Orthoptera,  $\blacktriangle$  Hemiptera, and  $\nabla$  other nonsocial insects. (After Humphreys 1979.)

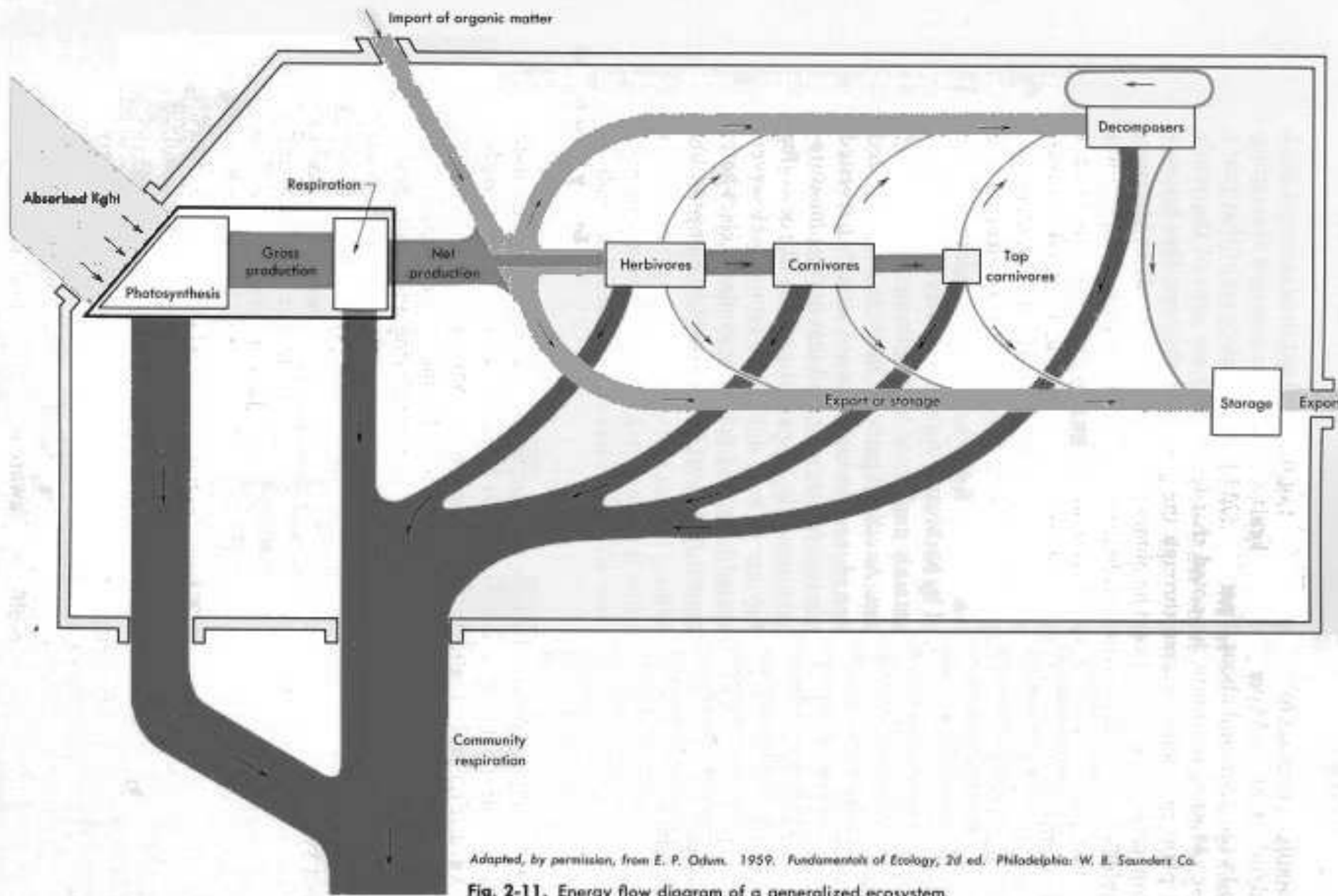


**FIGURE 6.2**

**Resting metabolism as a function of body size and temperature.**

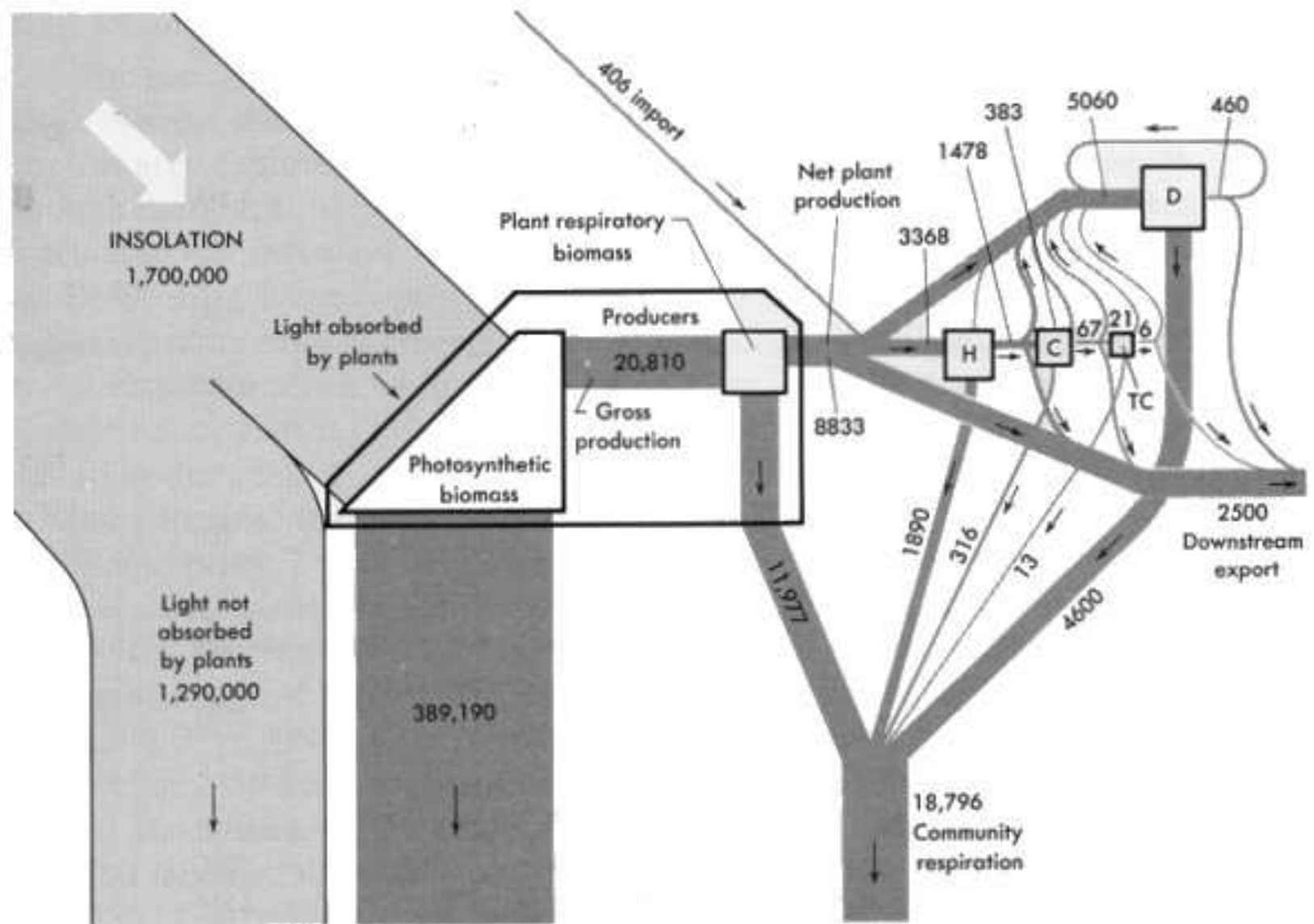
Ectothermic animals can be small because their energy consumption for maintenance is low. A bird weighing 1 gram would use about 30 times the energy of a reptile of the same weight. Not surprisingly, 1-gram reptiles exist but 1-gram birds do not. (From Pough, 1983.)





Adapted, by permission, from E. P. Odum. 1959. *Fundamentals of Ecology*, 2nd ed. Philadelphia: W. B. Saunders Co.

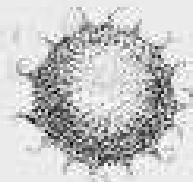
Fig. 2-11. Energy flow diagram of a generalized ecosystem.



Redrawn, by permission, from H. T. Odum, 1957. *Ecological Monographs* 27: 55-112.

**Fig. 2-9.** Energy flow diagram for Silver Springs, Florida in kilocalories per square meter per year.

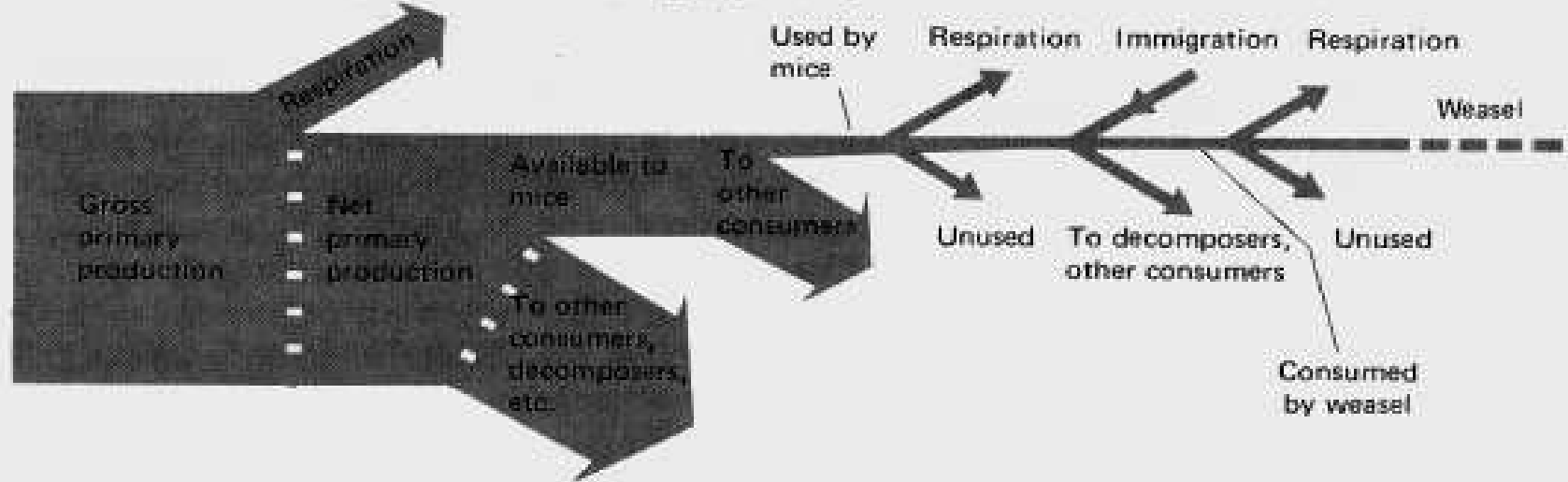
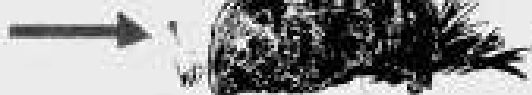
Cal/ha/year

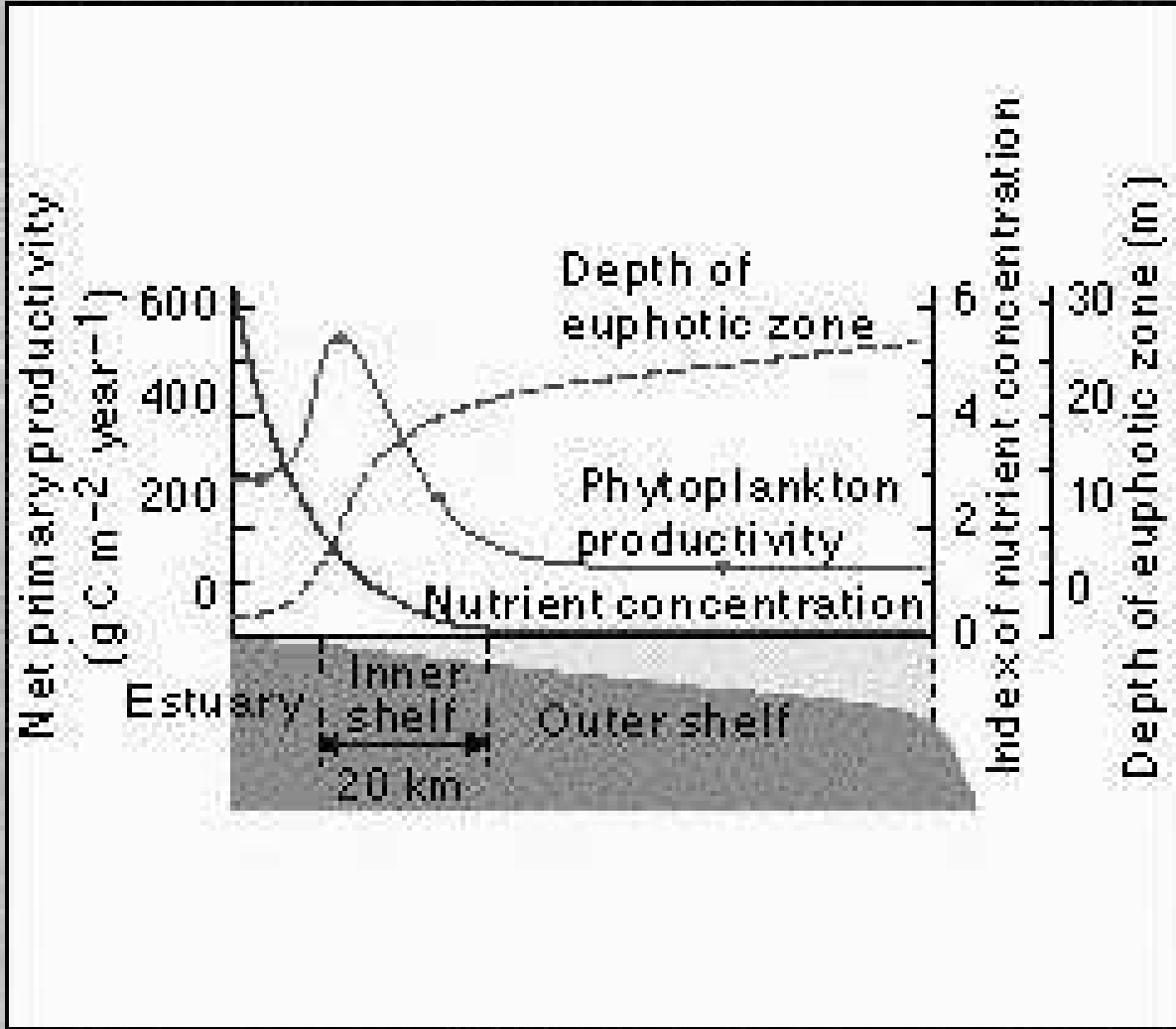


Sun's energy utilized

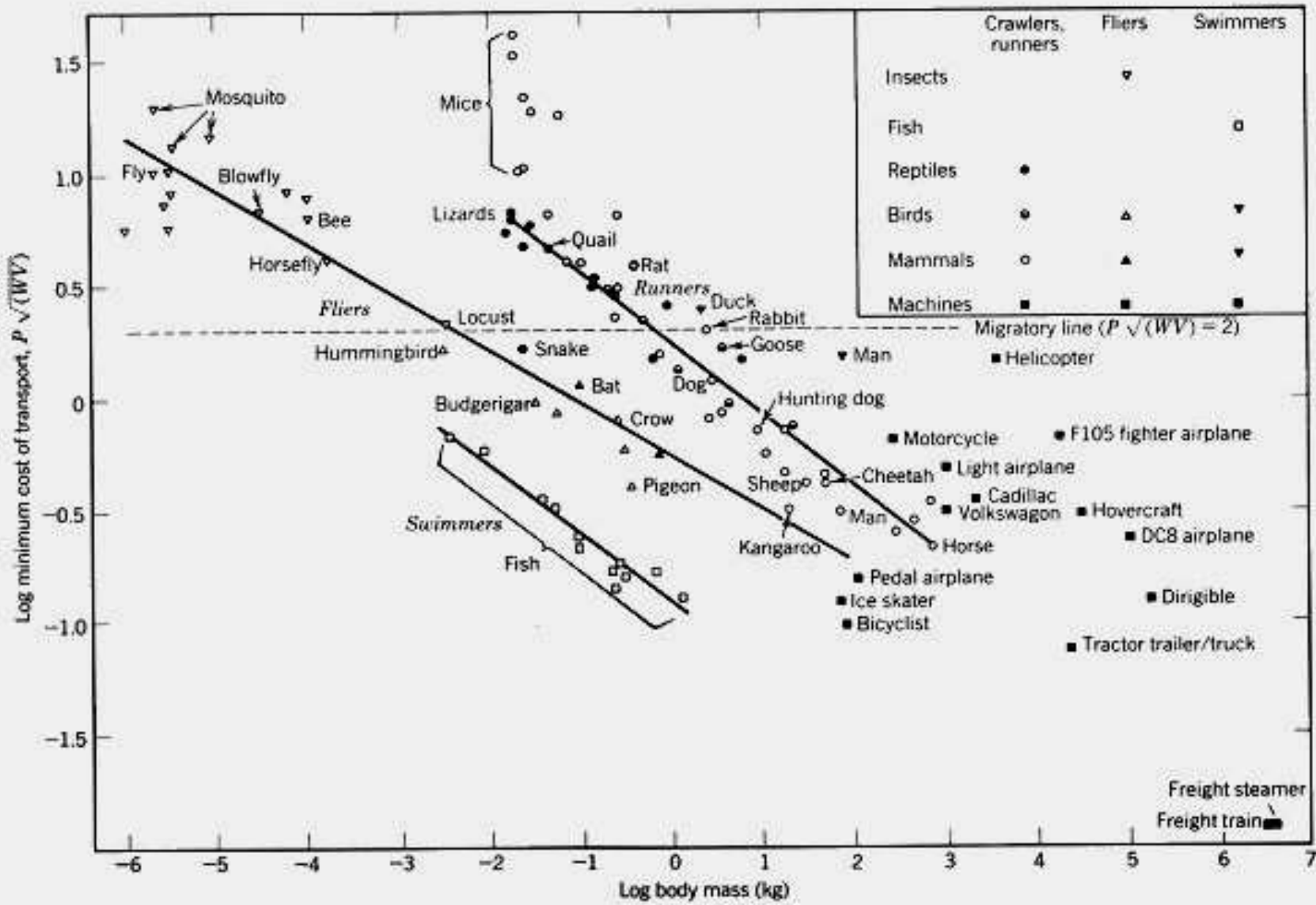
Sun's energy utilized	$47.1 \times 10^8$
Gross production	$58.3 \times 10^6$
Respiration	$8.76 \times 10^6$
Net production	$49.5 \times 10^6$
Available to mice	$15.8 \times 10^6$
To other consumers	$15.45 \times 10^6$
Used by mice	$250 \times 10^3$
Mouse respiration	$170 \times 10^3$

Wasted or unused food	74,064
Mouse production	5,170
Immigration	$13.5 \times 10^3$
To decomposers and other consumers	$12 \times 10^3$
Consumed by weasel	5,824
Weasel respiration	5,434
Wasted or unused food	260
Weasel production	130









# ENERGY SOURCES AND END USES

