



第3讲 生命的能量环境

罗建川

中国科学技术大学生命科学学院

注：本PPT仅供学习使用，请勿上传至网络或另作他用。

主要内容

- 一、生命的环境与能量代谢的特点
- 二、地球上光和温度的分布
- 三、生物对光的适应规律
- 四、生物对温度的适应规律

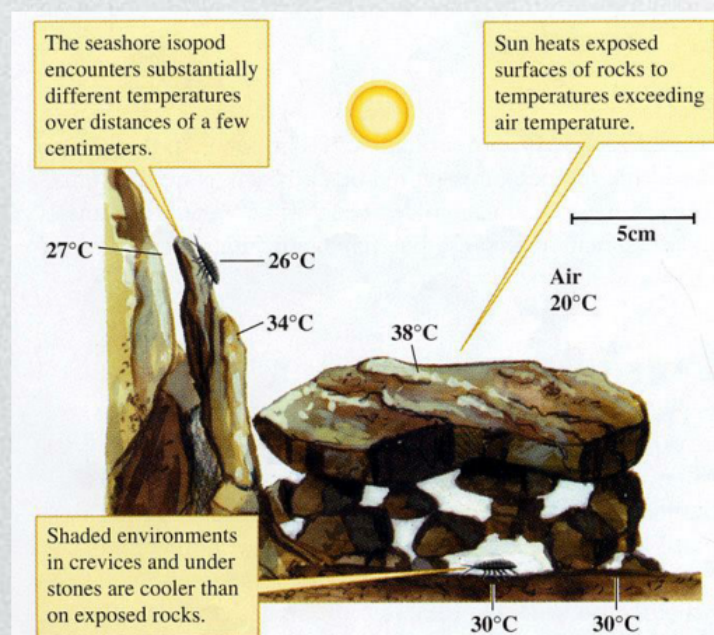
一、生命的环境与能量代谢的特点

(一) 生命的环境

- **环境**是直接或间接影响某一特定生命体生存的一切事物的总和。
- **生态因子**：环境中对生物的生长、发育、生殖、行为和分布有着直接或间接影响的环境要素，如温度、湿度、食物、氧气等。
- **生态因子三要素**：大小（数量）、质量、性能。
- 根据因子性质划分：**能量环境、物质环境**。



- **生态环境**：特定空间各种生态因子之和。生态因子的分类：气候因子、土壤因子、地形因子、生物因子、人为因子。



不同的生境

(二) 能量代谢的特点

生命能量的基础——太阳能转为化学能

- 生命能量本质为化学能，传递和转化形式ATP, ADP；
- 生命获得能量途径为光合磷酸化、氧化磷酸化、无氧呼吸；
- 生命的每个层次都是由下一级的无序状态在能量作用下发展到上一级的有序状态；
- 生命系统是不断地由无序到有序，按照负熵趋势进行发育演化；而生命体的呼吸、死亡与分解，是由有序到无序，按照正熵释放自由能的过程，最终以红外线释放到环境中。
- 生命系统的结构层次：细胞 → 组织 → 器官 → 系统 → 个体 → 种群和群落 → 生态系统 → 生物圈。

能量转化效率

进入生态系统的太阳光能量，只有少部分被绿色植物吸收，其余大部分能量未被吸收或以热的形式离开生态系统。

在自然生态系统中，营养级之间能量的转化，大致只有1 / 10 转移到下一个营养级以组成生物量（“十分之一定律”）。

能量流动特点？

能量金字塔



影响植物能量重新分配的实验

1990年，美国斯坦福大学的专家发现，对拟南芥每天人为地触摸两次，实验组植物体的高度比对照组（未实施每天人为触摸的植物）低3~4倍。2005年，通过研究，发现经常抚摸的细胞壁增厚。

此外，风力、声波、压力等影响植物。



农业和畜牧业中能量重新分配现象。

畜牧业中能量分配现象

表1 不同饲养模式白羽肉鸡生长性能测定结果

饲养模式	10 日龄只均重	20 日龄只均重	30 日龄只均重	出栏只均重
试验组	308.33 ± 13.02 ^a	933.67 ± 22.06 ^a	1629.33 ± 23.13 ^a	2387.67 ± 33.33 ^a
对照组	278.67 ± 9.26 ^a	885.33 ± 6.12 ^a	1571.67 ± 46.43 ^a	2114.00 ± 45.18 ^b

表2 不同饲养模式对白羽肉鸡成活率及料肉比的影响

饲养模式	每个重复养殖数量	每个重复出栏均数	成活率	料肉比
试验组	19500	18679 ± 81	95.79 ± 0.29 ^a	1.74 ± 0.01 ^a
对照组	19500	18558 ± 66	95.17 ± 0.24 ^a	1.82 ± 0.02 ^a

表3 不同饲养模式对饲养白羽肉鸡经济效益影响

饲养模式	鸡苗投入	饲料投入	兽药、疫苗投入	水电费、折旧费、其他投入	垫料剂药投入	人工机械投入	总投入	总收入	毛利
试验组	5.85	23.26	0.78	1.37	0.26	0.10	32.93	37.91	4.98
对照组	5.85	21.42	0.78	1.37	1.30	0.50	31.22	33.35	2.13

注：每组饲养白羽肉鸡19 500只，鸡苗按3元/羽，饲料3 000元/t，兽药、疫苗0.4元/羽，水电费、折旧费、其他1.37元/羽，出栏单价按8.5元/kg。

图表来源：两种养殖模式对快大型肉鸡生长性能及养殖效益的影响

二、地球上光和温度的分布

(一) 光的分布及变化规律

太阳辐射的强度、时间（代表辐射的量）和光谱成分（代表辐射的光质）对生物的生长发育和地理分布产生重要的影响。

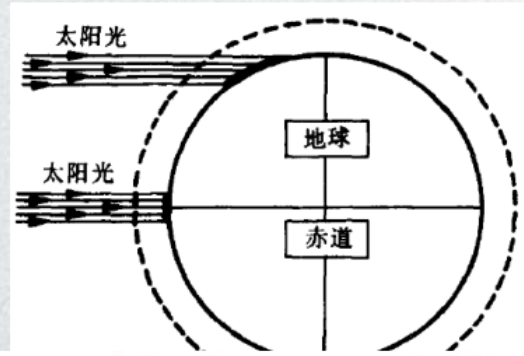
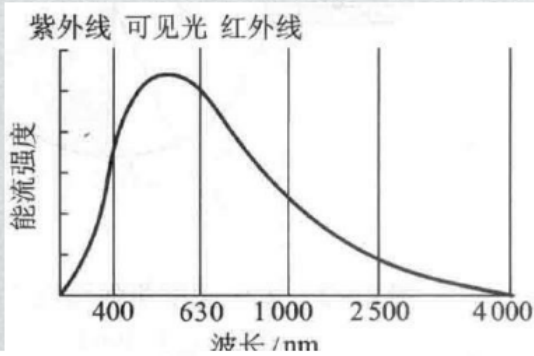


表 1.1 不同纬度地区日照的最长日和最短日(日照时间长度:小时数,分钟数)对照表

纬度	0	10	20	30	40	50	60	65	66.5
最长日	12,0	12,35	13,13	13,56	14,51	16,09	18,30	21,09	24,0
最短日	12,0	11,25	10,47	10,04	9,09	7,51	5,30	2,51	0,0



植物群落内的光照情况

发育良好的植物群落，林冠可吸收70%的光，反射20%的光，只有10%的光可透射到林冠下面。



阳光充足的针叶林



热带雨林（西双版纳）

水体环境的光照情况

- 水体中太阳辐射的减弱比大气中更为强烈，光质也有更大变化。

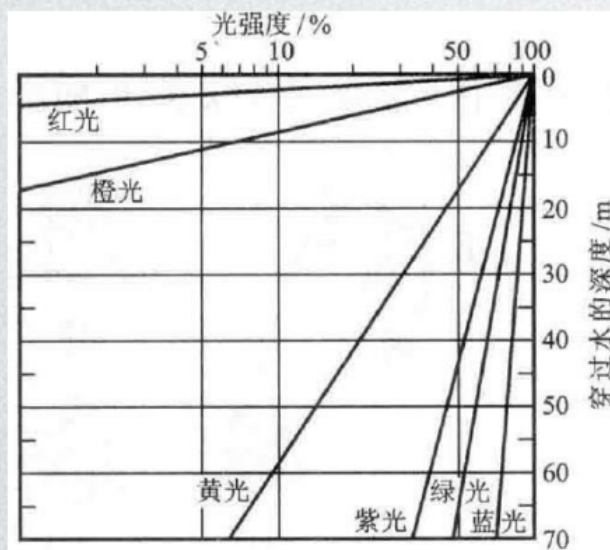


图 2-4 各种波长的光穿过蒸馏水时的强度变化(引自 Kormondy, 1996)

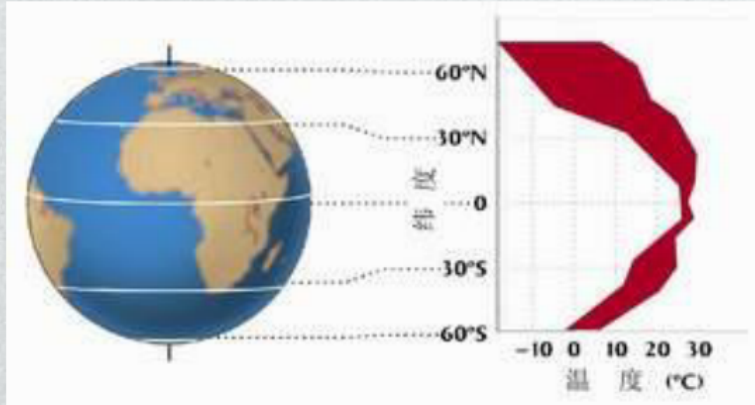
- 绿藻分布在上层水中，褐藻分布在较深水层中，红藻分布在最深层。

(二) 温度的分布及变化规律

- 阳光与温度是紧密联系的2个生态因子（长波红外线是地表热量的基本来源）

1. 地表大气温度的分布与变化

- 大气温度主要取决于太阳辐射量和地球表面水陆分布。



(引自Ricklefs, 2001)

- 大约纬度每增加1度，年平均温度降低0.5°C。

地面热量的来源

地面热量收支公式为：

$$R = (S + S' + E_a) - [(S + S')\alpha + E_c] \quad (\alpha \text{ 为反射率})$$

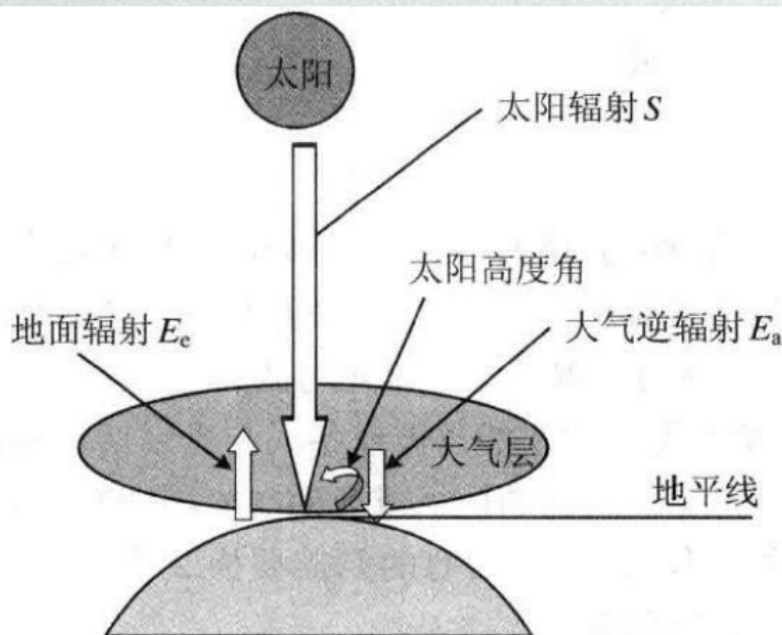


图 1.6 地面热量来源示意图(引自沈显生, 2008)

- 在白天，R为正；在夜晚，R为负。白天与黑夜的热量收支变化过程称为日周期。
- 在夏半年，R为正；在冬半年，R为负。夏半年与冬半年的热量收支变化过程称为年周期。

温度年较差的变化规律


表 2-1 我国不同纬度地区的温度变化

(引自云南大学生物系编《植物生态学》，1980)

地点	北纬	年平均温度℃	最热月平均温度℃	最冷月平均温度℃	年较差℃	≥20℃ (月数)	≥15℃ (月数)	≥10℃ (月数)	≤5℃ (月数)
漠河	53°23'	-4.5	18.1	-30.8	48.9	0	3	3	7
里河	50°15'	-0.4	19.8	-25.8	45.6	0	3	5	5
齐齐哈尔	47°20'	+3	22.7	-20.1	42.8	3	3	5	5
哈尔滨	45°45'	3.6	22.9	-19.8	42.7	2	3	5	5
长春	43°53'	4.8	22.9	-16.9	39.9	3	4	5	5
沈阳	41°46'	7.4	24.8	-12.8	37.6	3	5	5	5
北京	39°57'	11.8	26.1	-4.7	30.8	4	5	7	3
青岛	36°04'	12.0	25.3	-1.5	26.8	3	6	6	2
南京	32°04'	15.7	28.0	2.2	25.8	5	7	8	0
温州	28°01'	18.5	29.0	7.7	21.3	6	8	10	0
福州	26°05'	19.8	28.5	10.9	17.8	6	8	12	0
广州	23°0'	21.9	28.3	13.7	14.6	7	10	12	0
海口(海南)	20°0'	24.1	28.6	17.5	11.1	9	12	12	0
西沙群岛	16°50'	26.5	29.0	23	6.0	12	12	12	0

我国部分城市四季的时间

根据候温划分：10℃以下为冬季；22℃以上为夏季。

城市	春始 	日数	夏始 	日数	秋始 	日数	冬始 	日数
黑河	5.11	125					9.13	240
昆明	1.31	315					12.12	50
广州	11.1	170	4.20	195				
福州	10.18	205	5.11	160				
上海	3.27	75	6.10	105	9.23	60	11.22	125
武汉	3.17	60	5.16	135	9.28	60	11.27	110
重庆	2.15	80	5.6	145	9.28	80	12.17	60

影响温度空间分布的因素：

- 海洋：由于水的比热大于空气，海洋可调节海岸区域温度，使同一纬度不同地区的温度有很大差异。
- 山脉：地表温度受**山脉走向**、**地形变化**及**海拔高度**的影响。

东西走向的山脉，对南北暖冷气流常具阻挡作用，使山坡两侧温度明显不同。如秦岭山脉。

封闭山谷与盆地，白天受热强烈，地面温度增高，夜晚冷空气沿山坡下沉，形成逆温现象。昼夜温差极大。

气温随海拔升高而降低，在干燥空气中海拔每升高100 m，气温下降 1°C ，潮湿空气中下降 0.6°C 。

2. 土壤和水体温度变化

(1) 土壤：不同性质的土壤，热容量和热导率不同，随气温变化温度变化模式也不同。随土壤深度，土壤最高温和最低温出现时间后延。

(2) 水：水热容大，温度变化小于气温，随深度增加，变化幅度更小。温带深水湖泊，由于水温的季节变化，**春秋季**水体出现垂直混合，使**初级生产力**升高。

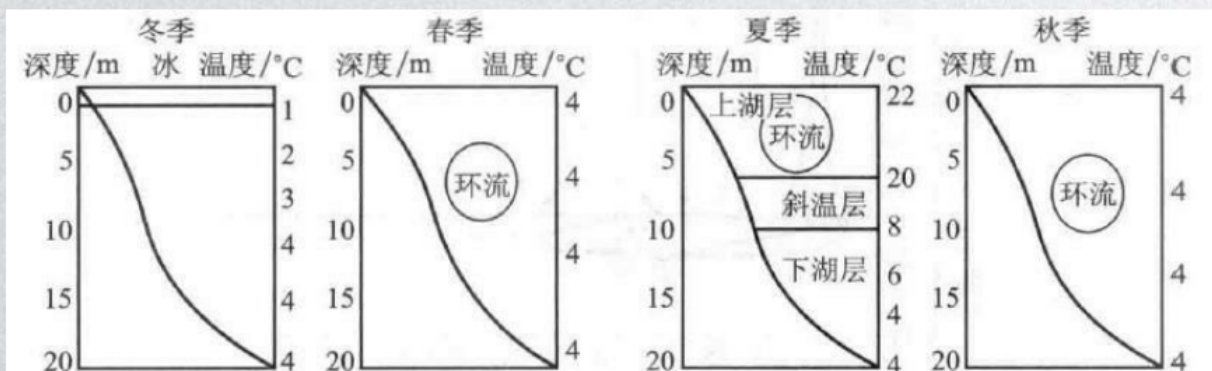


图 2-13 典型温带深湖水温垂直分布的季节变化(转引自孙儒泳,1992)

三、生物对光的适应规律

(一) 生物对光质的适应

1. 光质对植物的影响

- **光合有效辐射**：绿色植物依赖叶绿素进行光合作用，将辐射能转换成具丰富能量的糖类。但光合作用系统只能够利用太阳光谱的一个有限带，即380-710 nm波长的辐射能。

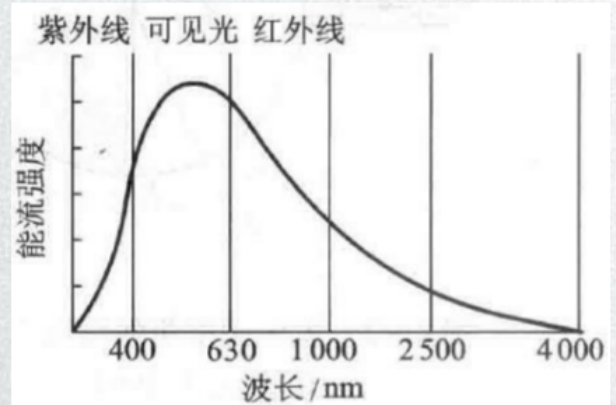


图 2-1 进入地球大气的太阳光谱
(引自 Mackenzie 等,1998)

光质影响光合强度

叶绿素吸收最强的光谱部分是640-660 nm波长的红光和430-450 nm波长的蓝紫光，吸收最少的是绿光。（**红光对糖的合成有利，蓝紫光有利于蛋白质的合成**）

表 1 各种叶绿素的分布及最大吸收光带

叶绿素	分布
叶绿素 a	所有绿色植物中
叶绿素 b	高等植物、绿藻、眼虫藻、管藻
叶绿素 c	硅藻、甲藻、褐藻、鹿角藻
叶绿素 d	红藻、蓝藻
叶绿素 f	藻青菌
细菌叶绿素	各种厌氧光合细菌

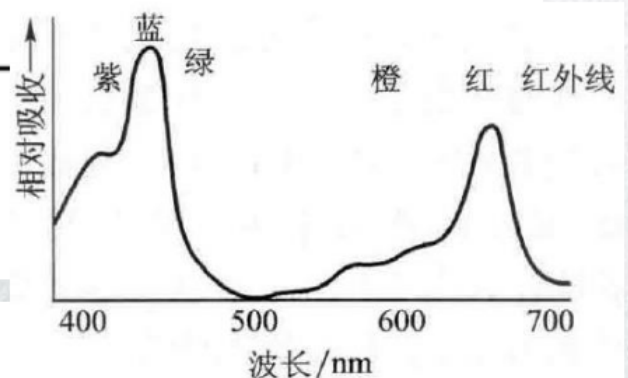


图 2-5 叶绿素 a 吸收光谱
(引自 Mackenzie 等,1998)

植物对光质的适应

调整植物形态、向光性及色素的形成。

	色素
蓝藻门	叶绿素a、 β -胡萝卜素、蓝藻黄素、蓝藻叶黄素、蓝藻藻蓝蛋白、蓝藻藻红蛋白
红藻门	叶绿素a、叶绿素d、叶黄素、 β -胡萝卜素、红藻红素、红藻蓝素等
黄藻门	叶绿素a、叶绿素c、 β -胡萝卜素、叶黄素
硅藻门	叶绿素a、叶绿素c、 β -胡萝卜素、岩藻黄素、硅藻黄素等
褐藻门	叶绿素a、叶绿素c、 β -胡萝卜素、叶黄素及褐藻素
绿藻门	叶绿素a、叶绿素b、叶黄素和 β -胡萝卜素等

2. 光质对动物的影响

人类和许多脊椎动物能看见的光只是在可见光波范围内，相比植物，光质对动物的影响较小。

如：短波的**紫外线**有杀菌作用，可引起人类皮肤产生红疹及皮肤癌，但促进体内维生素D的合成。紫外线又是昆虫新陈代谢所依赖的。

(二) 生物对光照强度的适应

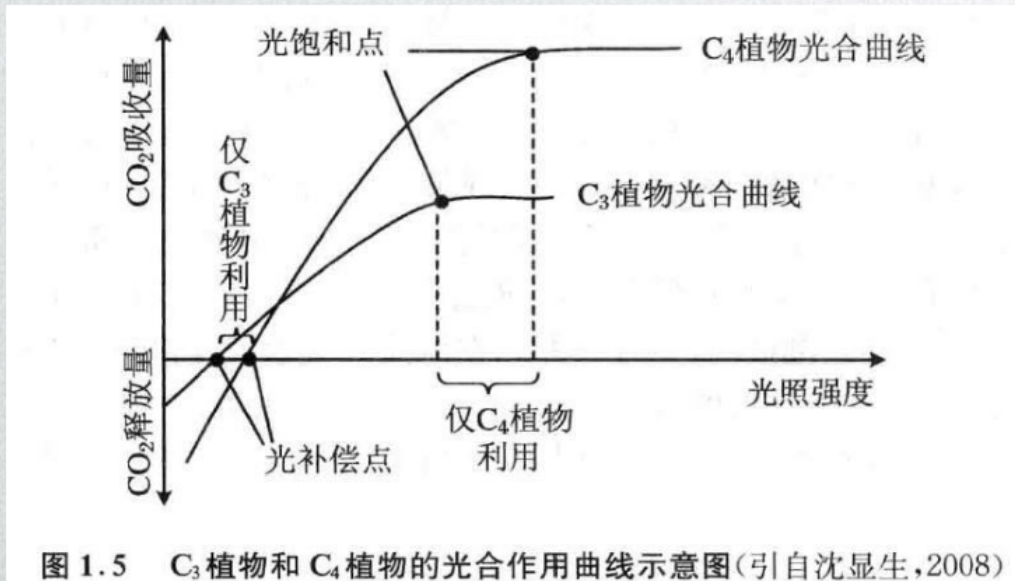
1. 光照强度的生态作用

- 光强影响动物生长发育
- 光强改变动物体色
- 影响植物叶绿素的形成（黄化现象）
- 促进植物细胞的生长和分化
- 有利于果实的成熟和品质的提高



2. 植物对光强的适应

光合能力的差异



C₃植物和C₄植物对光照强度的耐受幅度是不同的，C₃植物比C₄植物更能忍耐弱光环境，而C₄植物比C₃植物更加适应强光环境。

阳生速生乔木——桉树 (*Eucalyptus*)，异形叶



- 阴地植物比阳地植物能更有效利用低强度的辐射光



热带雨林群落内部植物对弱光环境的适应

3. 动物对光强的适应

- 光照强度使动物的视觉器官形态上产生了遗传的适应性变化。



- 动物的活动行为与光照强度密切相关（昼行性动物和夜行性动物）。
- 动物每天开始活动的时间常常由光照强度决定。

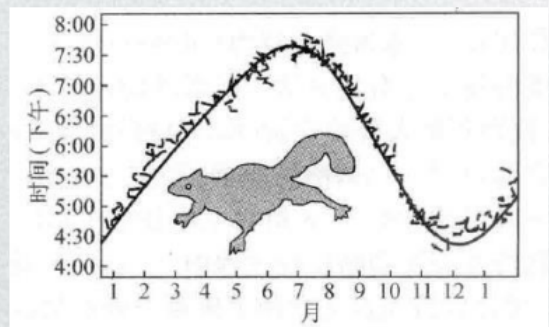


图 2-9 美洲飞鼠活动开始的日时间季节变化 (引自 Mackenzie 等, 1998)

(三) 生物对光照周期的适应

1. 植物的光周期现象

- **光周期现象**：植物的开花结果、落叶及休眠，动物的繁殖、冬眠、迁徙和换毛换羽等，是对日照长短的规律性变化的反应。

根据植物开花的光周期反应，可把植物分为4种类型

- **短日照植物**：日照长度短于临界日长条件下开花的植物，如水稻、菊花
- **长日照植物**：日照长度长于临界日长条件下才能开花的植物，如小麦、菠菜
- **中日照植物**：昼夜长度接近相等时才开花的植物，如甘蔗。
- **日中性植物**：开花不受日照时间影响。

2. 动物的光周期现象

- 根据恒温动物的繁殖分为：

长日照动物——在春夏交配繁殖，鸟、兽

短日照动物——在秋交配繁殖，山羊、鹿

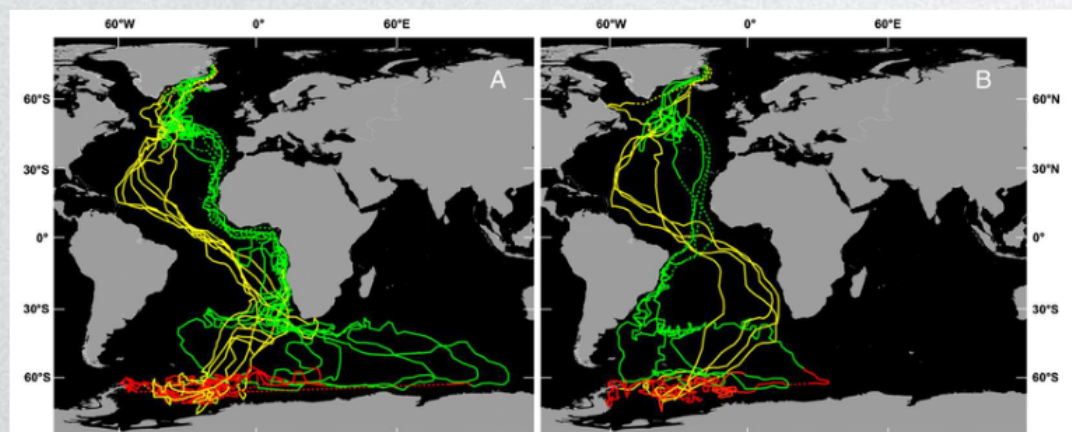
无光周期反应——家鼠、猪

- 换毛和换羽的光周期现象
- 动物迁徙的光周期现象



Sterna paradisaea

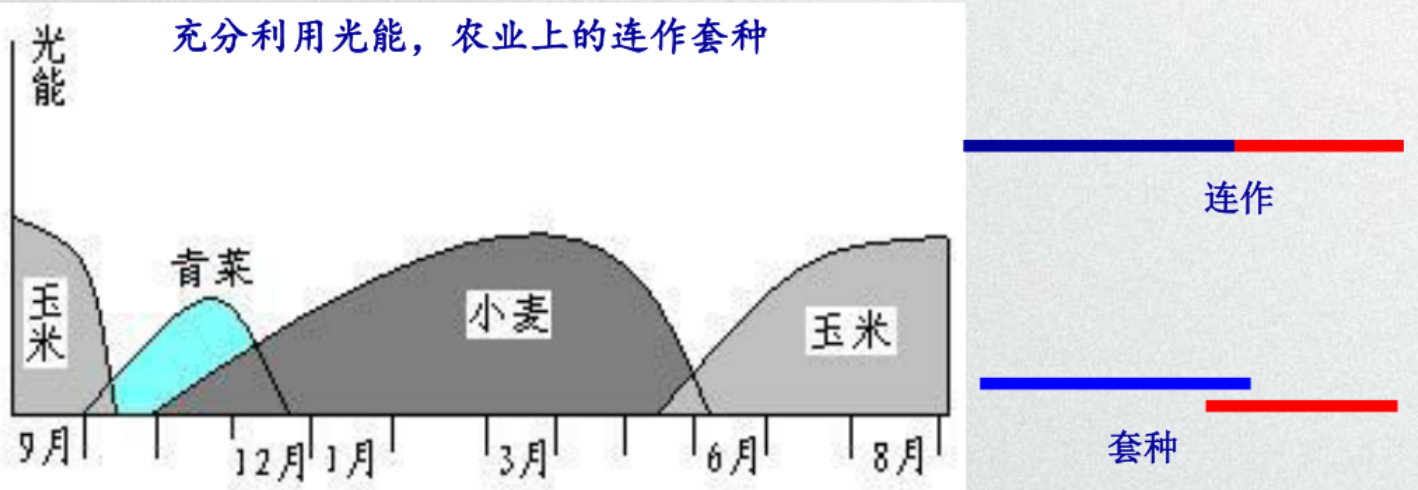
PNAS, 2010,
107(5):2078-2081



光能在生产中的应用

- 农业上彩色薄膜
- 立体温室
- 花卉生产
- 养鸡场照明.....

阳光是农业生产的重要资源



四、生物对温度适应规律

(一) 温度的生态作用

- 生物体内的生化反应必须在一定温度范围内才能正常进行，环境温度直接影响生命能量的代谢速率。**温度对生命影响的本质（酶活性）。**
- 环境中温度的改变会引起其它生态因子的改变，如：水中溶氧含量、降水、风、湿度等，从而间接影响生物。

1. 生物学零度与积温

• **生物学零度**——各种生物都有一个代谢活动的最低温度。低于该温度生物受到伤害。如：香蕉18℃

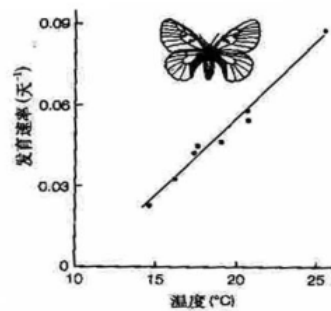
• **积温**——在生物某发育阶段或生活史，逐天的温度累计值。

(1) 活动积温——大于0℃ 的积温。

(2) 有效积温——大于生物学零度的积温。

植物和变温动物在生长发育过程中必须从环境中摄取一定的热量才能完成某一阶段的发育，这个发育阶段所需要的总热量是一常数，称为**有效积温**。

菜白蝶在温度10℃以上，
开始从卵到蛹的发育。



积温定律：每种生物某发育阶段或生活史，需要的有效积温是个常数（固定值）。

一般起源于或适于高纬度地区种植的植物，所需有效积温较少，反之较多。麦子1000~1600日度，棉花、玉米2000~4000日度，椰子约5000日度。

有效积温法则的公式： $K = N (T - C)$

K：有效积温，N：发育历期，

T：发育期间平均环境温度，C：生物学零度。

如何求C 值？

根据 $K_1 = K_2$,

得到 $N_1 (T_1 - C) = N_2 (T_2 - C)$

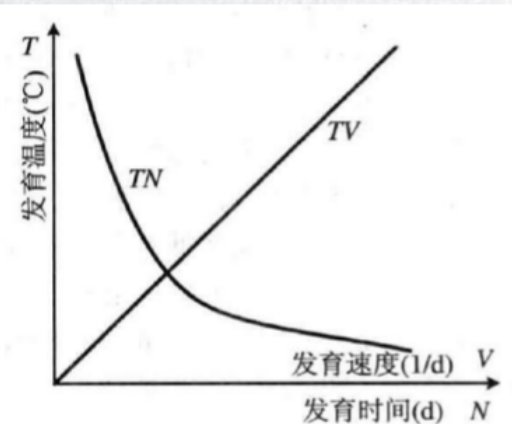


图 1.9 实蝇发育时间、发育速率与温度的关系(沈显生绘)

有效积温法则在农业上的应用

- (1) 可预测某地区害虫发生的世代数；
- (2) 可作为农业规划、引种、作物布局、预测农时的重要依据；
- (3) 预测生物地理分布北界；
- (4) 预测害虫来年发生程度；
- (5) 利用天敌昆虫进行害虫防治时，可以用来计算天敌昆虫合适的释放时间。

局限性：发育速率与温度并不都是直线关系；发育还受其它生态因子影响；发育起点温度通常在恒温下获得，而自然界是变温的。

2. 温度对动物繁殖的影响

- 温度可影响鱼类的最小性成熟年龄、繁殖期、孵化率等。
- 孵化温度可改变动物的雌雄比例，如鳄鱼。



扬子鳄 *Alligator sinensis*

扬子鳄卵在29-34℃温度区间具有最高出壳成活率；扬子鳄全雌和全雄的定向性别孵化温度为分别为：29℃、34℃。

（方黎明等，*野生动物学报*，2015）

温度如何影响鳄鱼卵的孵化性别？

- 温度会影响昆虫的产卵量、交配和卵的孵化率。

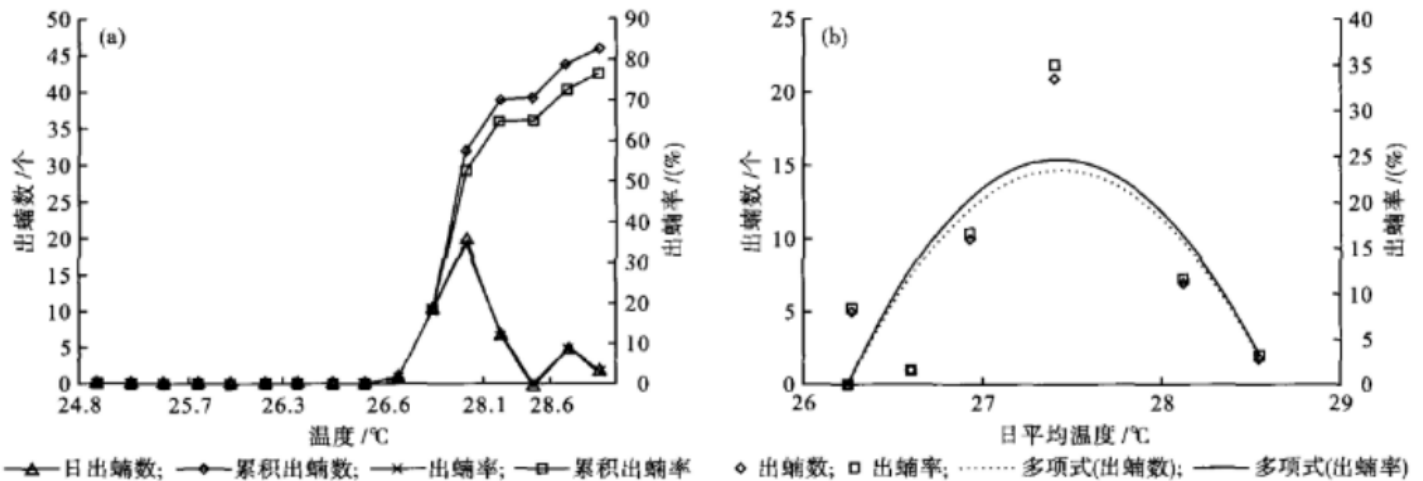


图2 环境温度(a)和日平均温度(b)对亚洲飞蝗孵化数(率)的影响

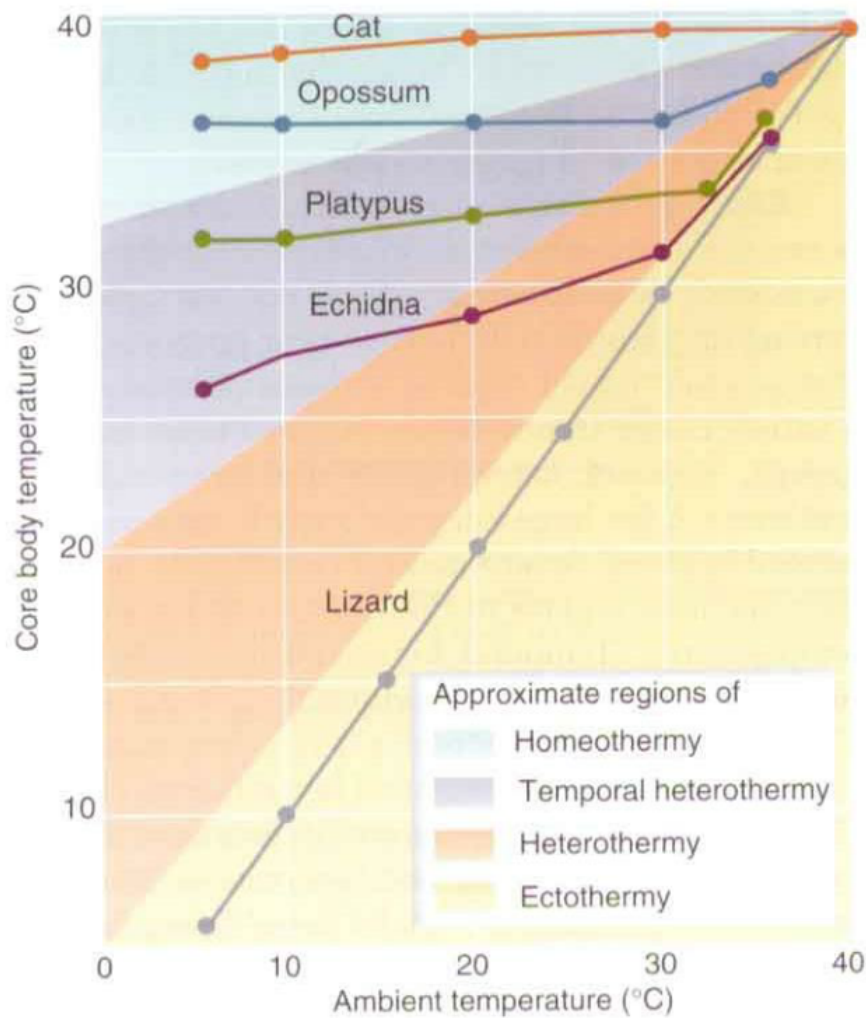
亚洲飞蝗出蛹数、出蛹率、累积出蛹数、累积出蛹率均随日平均气温升高而增大。日最低温度连续3 d稳定通过25.0°C时,蝗虫开始萌动、孵化;在26.0°C左右时孵化最快。(乐章燕等,气象与环境学报,2013)

(二) 生物对温度的适应

1. 温度与动物类型

- 根据血液温度高低: 温血动物/冷血动物
- 根据血液温度变化: 常(恒)温动物/变温动物
- 据血液温度(能量)来源: 内温动物/外温动物

异温动物(heterothermy): 常温动物中具有休眠习性,在冬眠过程中体温降低的动物(熊)。



猫
有袋类
鸭嘴兽
针鼹鼠
蜥蜴

恒温类
短暂变温
异温类
变温类

2. 生物对低温的适应

(1) 植物对低温的适应

- 形态适应：芽和叶片受到油脂类物质保护、表面有蜡粉和密毛、植株矮小，常呈垫状或莲花状。
- 生理适应：减少细胞中水分，增加糖类、脂肪和色素等物质以降低冰点、增加抗寒能力。

“抗冻蛋白基因”



南极发草



天山雪莲

植物对低温适应

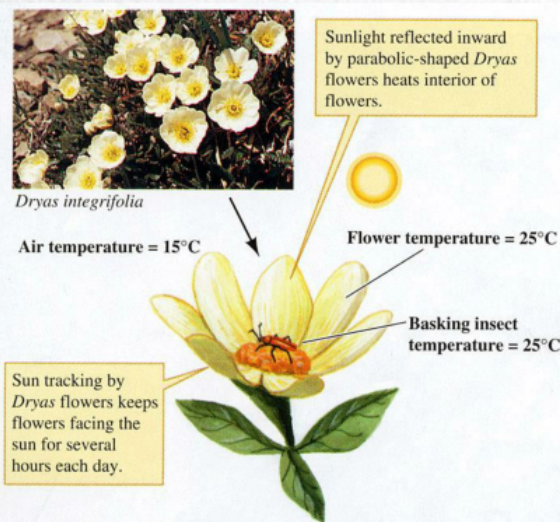
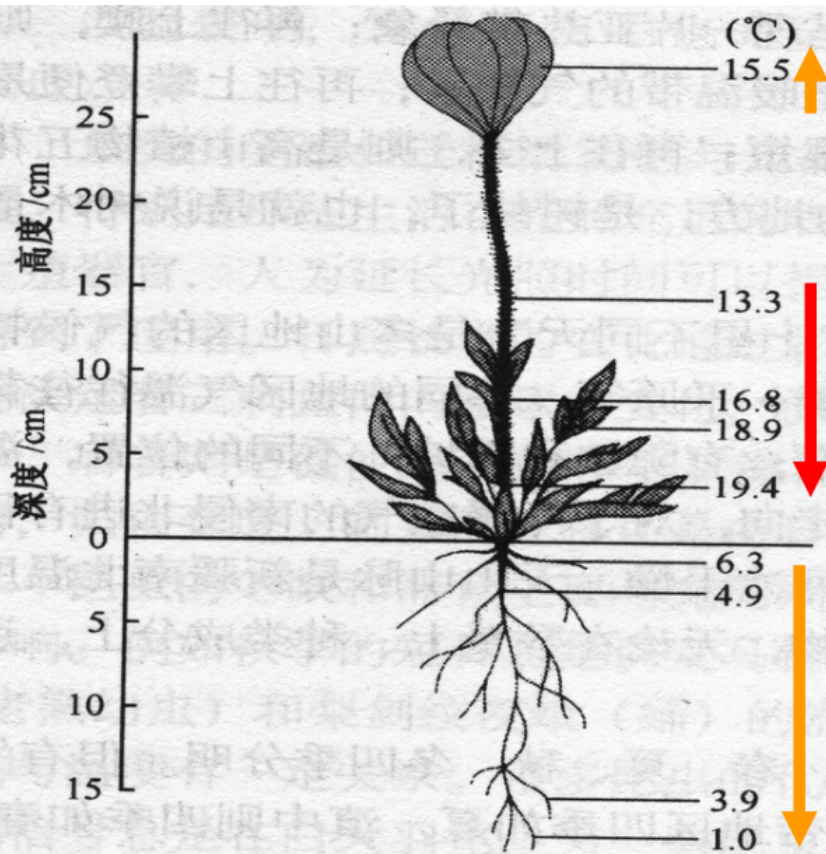


图 2-9 北极植物 *Novosievaersia glacialis* 在气温 11.7°C 时各部位的温度变化 (引自 Mackenzie, 1999)

低温作为一种刺激物起作用，诱导或促进植物的发育和开花。这种经过低温诱导的植物的发育或繁殖，称为**春化作用**。

(2) 动物对低温的适应

形态适应

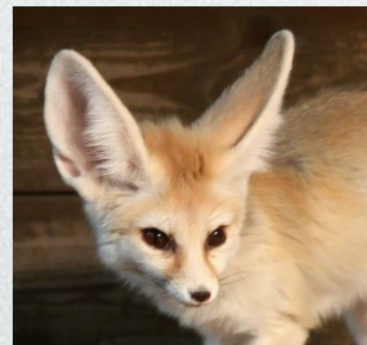
- **Bergman 定律**：同种恒温动物的身体，在寒冷地区个体大，在温暖地区个体小。
- **Jordan 定律**：水生同种脊椎动物，在寒冷水域个体大，在温暖地区个体小。
- **Allen 定律**：同种恒温动物的突出部分，在寒冷地区小，在温暖地区大。如：北极狐、赤狐、非洲大耳狐。



北极狐



赤狐



非洲大耳狐

- 寒冷地区的内温动物在冬季增加了羽、毛的密度，提高了羽、毛的质量，增加了皮下脂肪的厚度。

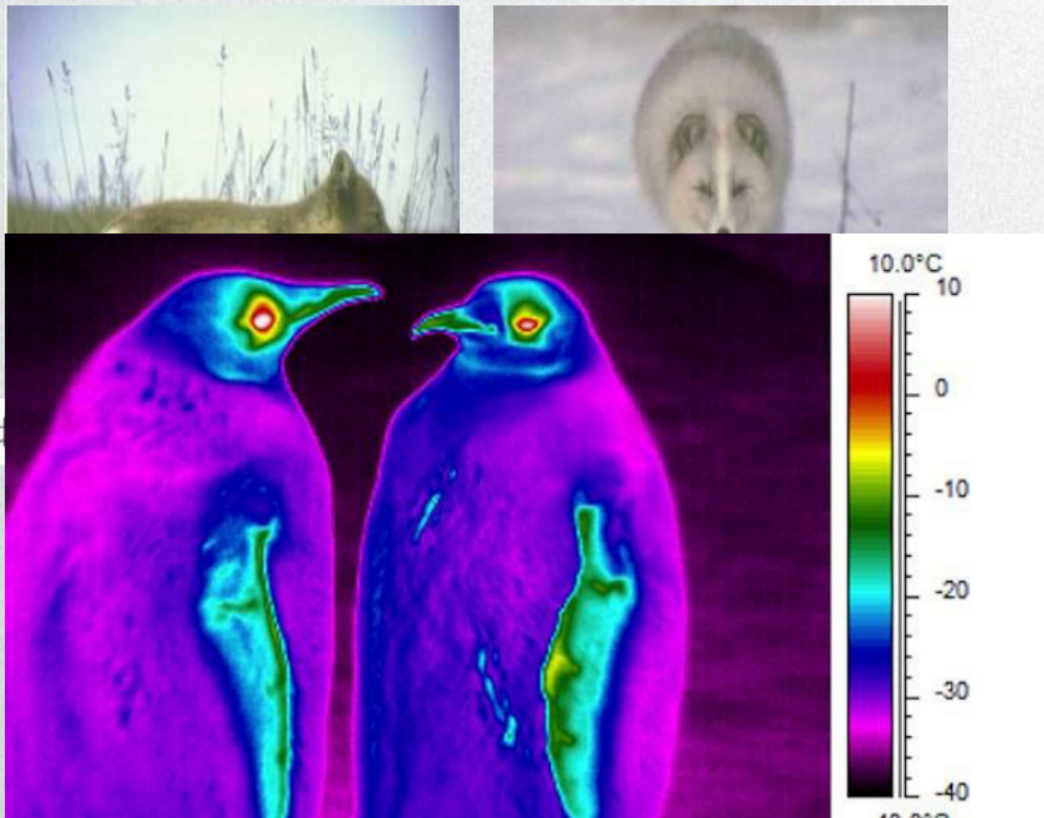


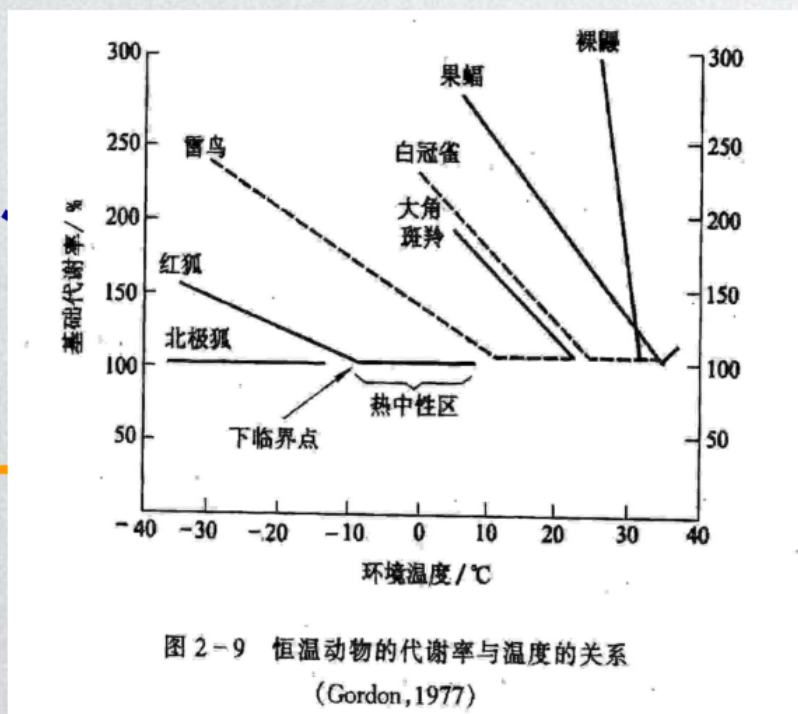
图 2-21

(,2000)

生理适应

热中性区：在某一环境温度范围内，动物代谢率最低，耗氧量不随环境温度而改变，这个最低代谢区的环境温度称热中性区。

耗氧量



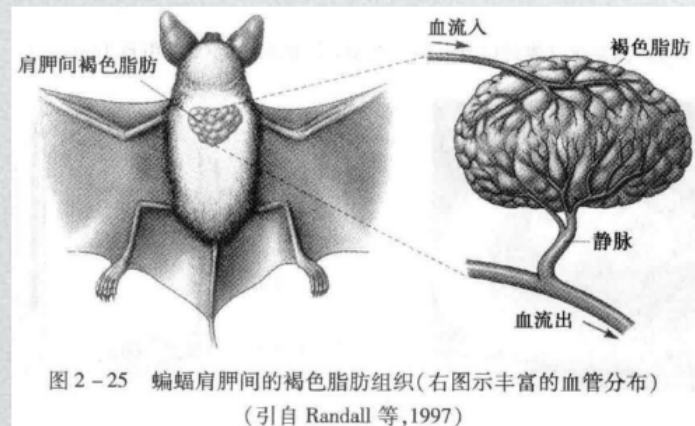
在一定环境温度内，耗氧量在基础代谢水平的能力。

度

图 2-9 恒温动物的代谢率与温度的关系
(Gordon, 1977)

A. 增加产热：颤抖性产热与非颤抖性产热

- **颤抖性产热 (ST)**：产生在骨骼肌中，由肌原纤维非自主的有节律的收缩，由高级神经中枢控制。
- **非颤抖性产热 (NST)**：不涉及肌肉活动而释放化学能的产热机制。NST主要发生在褐色脂肪组织 (BAT) 中。小型哺乳动物冷适应性产热的主要热源。



B. 逆流热交换机制

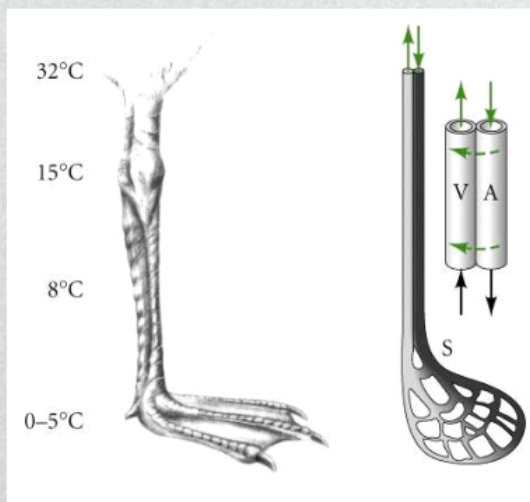


图 2-23 在冰上, 鸥的脚和腿皮肤温度
(引自 Ricklefs 等, 2000)

C. 局部异温性

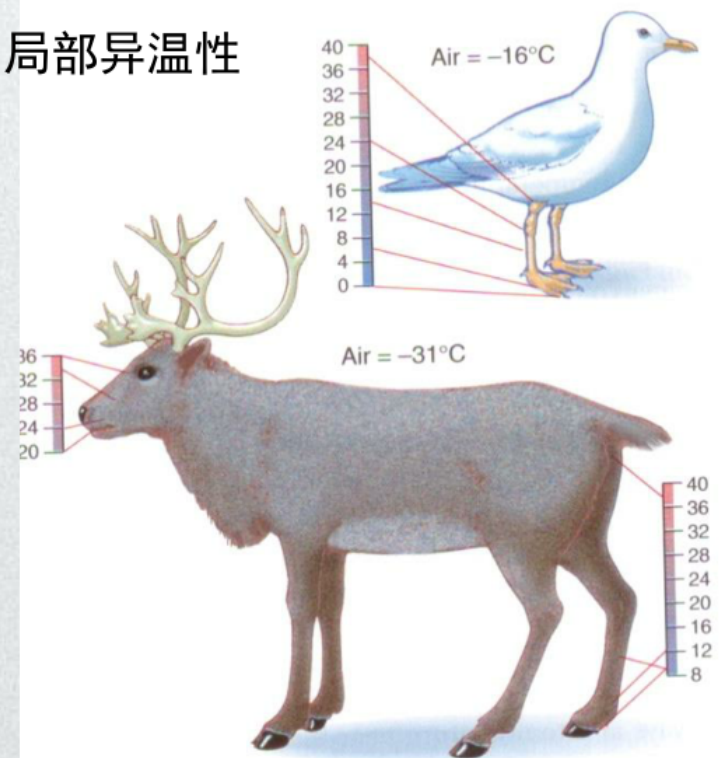


Figure 17-24 Endotherms can be regionally heterothermic. Temperatures in the extremities of Arctic birds and mammals are much lower than their core temperature of about 38°C.

引自 Ricklefs *et al.*, 2000

行为适应

- 迁徙
- 集群
- 穴居
- 休眠



恒温动物的休眠——真冬眠和假冬眠。

真冬眠：代谢降低，体温高于环境 $1-2^{\circ}\text{C}$ ，当到 0°C 时，褐色脂肪团颤动产热会惊醒动物，以免冻死，如黄鼠、蝙蝠。

假冬眠：深睡，体温变化不大，体温略低，如：熊、臭鼬。

变温动物的休眠——处在冬眠（代谢率最低，体温最低 1°C ）状态过冬（有冻死的）。

(3) 极端低温对生物的影响

- **冷害**：温度在冰点以上，但低于喜温生物对温度的耐受下限而使生物受害或死亡。它可能是通过破坏了膜结构造成的，它是喜温生物向北方引种和扩张分布区的主要障碍。
- **冻害**：冰点以下低温使生物体内形成冰晶，蛋白质失活变性造成生物受害或死亡。

超冷现象：动物（昆虫）体液温度下降到冰点以下而不结冰的现象，如小叶蜂、极地鱼类等。

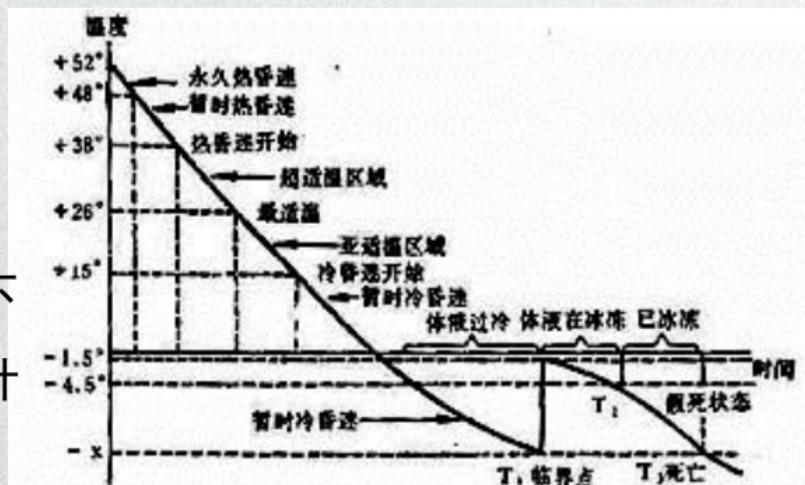


图 2-8 昆虫的温度关系(仿 Allee 等, 1949)

3. 生物对高温的适应

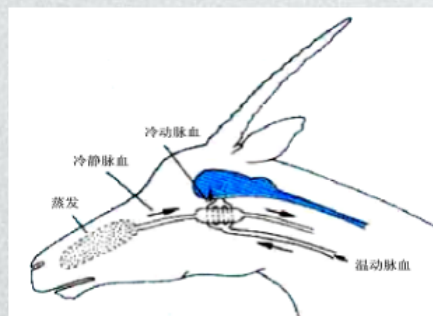
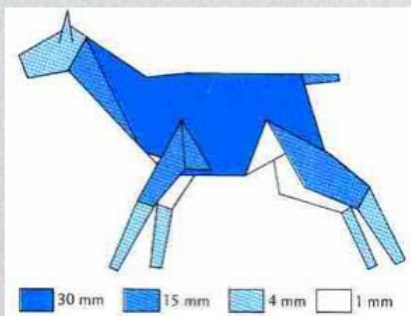
(1) 植物对高温的适应

- 形态适应：生有密绒毛和鳞片；体色呈白、银白，叶片发光；叶片垂直主轴排列，使叶缘向光；在高温条件下叶片对折；树干和根茎生有厚的木栓层，具绝热和保护作用。
- 生理适应：降低细胞含水量，增加糖或盐的浓度，这有利于减慢代谢率，增加原生质的抗凝结能力；靠旺盛的蒸腾作用避免植物体过热。



(2) 动物对高温的适应

- 形态适应：皮毛在高温下起隔热作用；夏季毛色变浅，具光泽；多数哺乳动物的精巢持久的或季节性的下降到腹腔外，比体核温低几度。有蹄动物的颈动脉在脑下部形成复杂的小动脉网，包围在从较冷的鼻区过来的静脉血管外面，通过逆流热交换而降温，使脑血液温度比总动脉血低 3°C 。



- 生理适应：放松恒温性，使体温有较大幅度的波动。

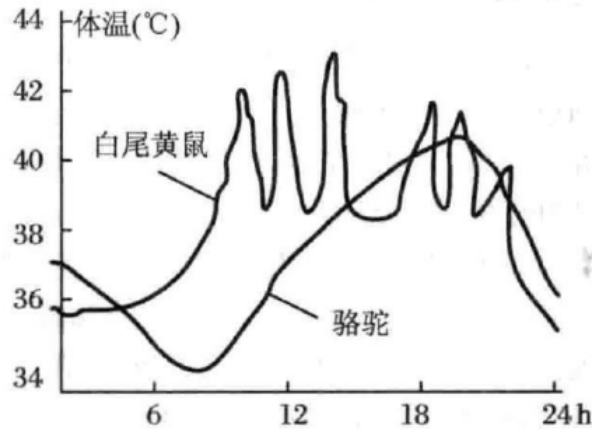


图 1.15 白尾黄鼠和骆驼的日体温变化情况(仿 Gordon,1977)

- 行为适应：穴居、昼伏夜出、夏眠或夏季滞育。

夏眠——处在昏睡（维持基础代谢，体温接近正常）状态渡过高温或缺水夏天。

4. 生物对周期性变温的适应

- 变温有利于：

植物生长

植物开花

植物种子萌发

块根和块茎的生长

提高产品的品质

变温与形态（紫罗兰叶恒温时全缘，变温时缺刻）

变温与生态分布（郁金香喜变温；但红杉喜恒温）

5. 温度与物候

- 温度节律决定生物体的时钟，与光线无关 (*Nature*, 2015-11-25)
- 物候——生物长期适应原产地的气候条件，形成了与此相适应的发育节律。
- Hopkins定律：在北美洲温带地区，自南向北1度，自东向西5度，自山下向上400英尺，同种植物的物候阶段在春季推迟4天；在秋季提前4天。
- Mashoum家族的发现：祖孙5代人，在连续192年对房前7棵乔木进行观察，结果（1）物候有周期，约12年。（2）物候的迟与早，与1-5月的降水有关系。

我国东部地区桃花的物候

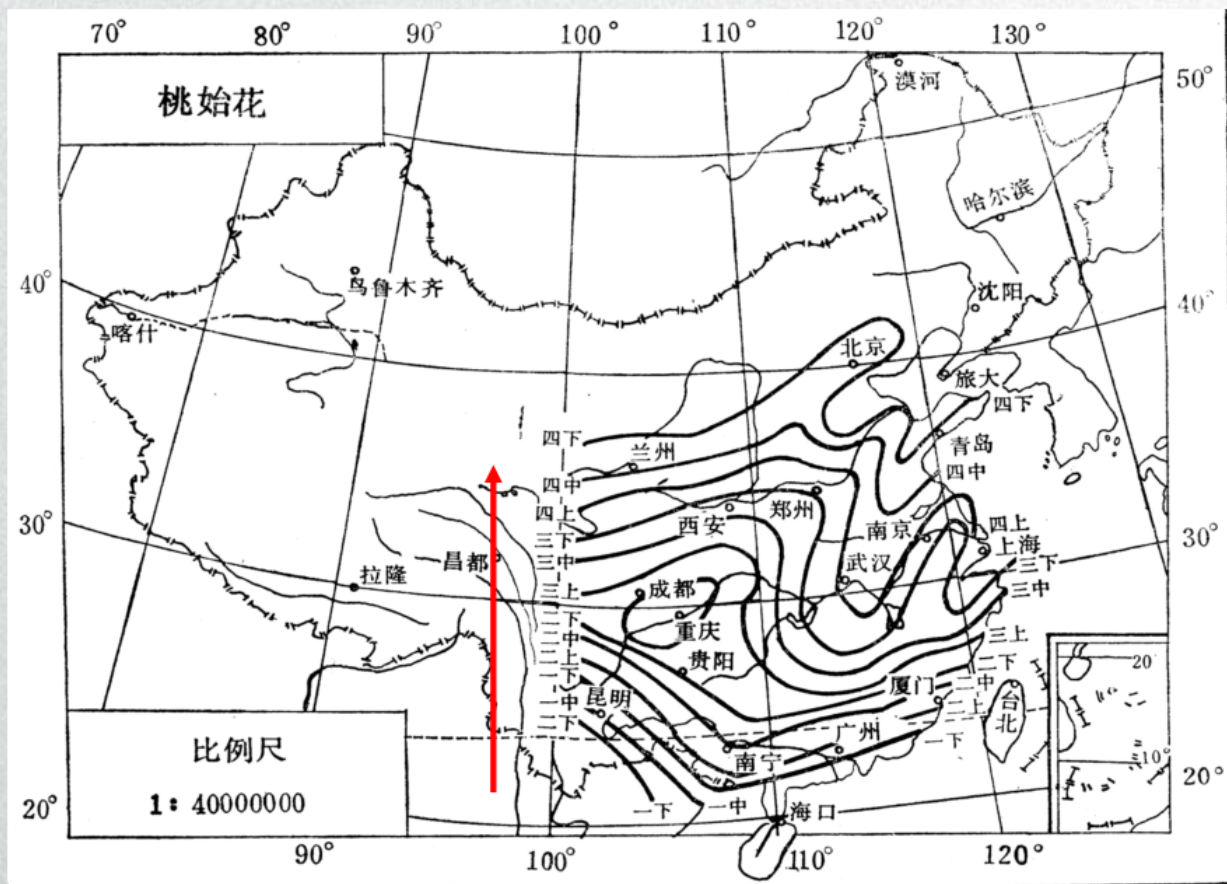


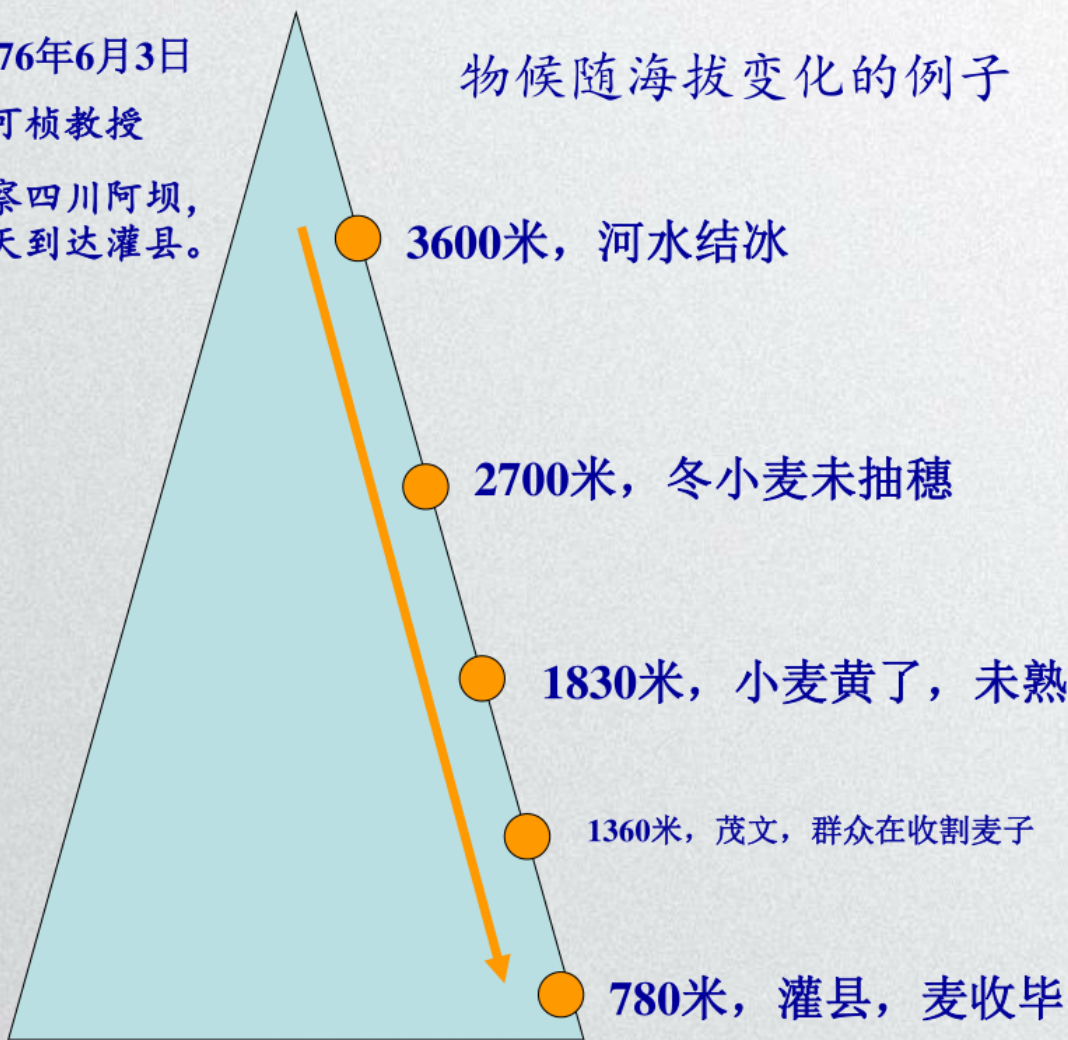
图 3-39 我国东南部的桃始花等候线(1935—1936)图 (仿竺可桢等, 1963)

1976年6月3日

竺可桢教授

考察四川阿坝，
当天到达灌县。

物候随海拔变化的例子



生命的能量环境小结

- 生物对体外能量环境的适应策略：形态、颜色、行为、繁殖、生活史。
- 生物对体内能量环境的适应策略：组织结构、生理生化、体制与寿命、主动调节机制。
- 通过光合磷酸化和氧化磷酸化获得能量，生物从不浪费能量，达到最经济、最优化利用能量。