

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

第六章 土壤空气和热量状况

www.cau.edu.cn

完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

第六章 土壤空气和热量状况

主要内容 (重点)

- 1.土壤空气
(重点)
- 2.土壤热量
- 3.土壤热性质
(重点)
- 4.土壤温度

教学目标 与要求

掌握土壤空气的组成与大气组成的差异及土壤空气运动的方式；了解土壤热量的来源，掌握土壤的三个热参数，理解土壤温度变化的影响因素。

教学方式 与手段

幻灯，动画演示；案例分析；

课时安排 与进度

课时数：
2课时

第六章 土壤空气和热量状况

第一节 土壤空气

- ❖ 土壤空气的组成
- ❖ 土壤空气的运动
- ❖ 土壤空气与土壤肥力

第一节 土壤空气

§ 1 土壤空气的组成与植物生长

一、土壤空气的组成与变化

土壤空气与大气组成的比较（容积%）

| 气体 | O ₂ | CO ₂ | N ₂ | 其他气体 |
|--------|----------------|-----------------|----------------|------|
| 近地面的大气 | 20.94 | 0.03 | 78.05 | 0.95 |
| 土壤空气 | 18.0- 20.03 | 0.15- 0.65 | 78.8- 80.24 | — |

第一节 土壤空气

❖ 土壤空气和进地面大气空气组成的差异

1. 土壤空气中的 CO_2 含量高于大气
2. 土壤空气中的 O_2 含量低于大气
3. 土壤空气中的水汽含量一般高于大气
4. 土壤空气中含有较高量的还原性气体（ CH_4 等）

土壤空气组成显然不是固定不变的。

第一节 土壤空气

❖ 覆膜和裸露棉田在不同生长期内土壤空气含量 (%)

| 深度 /cm | 覆 膜 | | | | 露 地 | | | |
|-----------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | 05-01 | | 07-29 | | 05-01 | | 07-29 | |
| | CO ₂ | O ₂ |
| 0 | — | — | 0.915 | — | — | 0.056 | 0.056 | — |
| 5 | 0.158 | 20.497 | 1.006 | 20.439 | 0.70 | 20.649 | 0.211 | 20.653 |
| 10 | 0.420 | 20.397 | 1.060 | 20.275 | 0.104 | 20.513 | 0.279 | 20.668 |
| 15 | 0.250 | 20.486 | 0.865 | 19.953 | 0.134 | 20.857 | 0.385 | 20.506 |
| 20 | 0.483 | 20.478 | 1.348 | 20.060 | 0.150 | 20.121 | 0.406 | 20.634 |
| 30 | 0.573 | 19.865 | 1.159 | 20.005 | 0.313 | 20.181 | 1.157 | 20.362 |
| 50 | 0.922 | 19.929 | 1.520 | 19.698 | 0.402 | 20.198 | 1.281 | 19.873 |
| 平均 | 0.615 | 20.124 | 1.268 | 19.953 | 0.269 | 20.329 | 0.847 | 20.022 |

第一节 土壤空气

❖ 土壤空气的变化规律：

♣ 随着土层深度的增加，土壤空气中 CO_2 含量增大， O_2 含量减少，无论在膜地或露地均是如此；

♣ 气温和土温升高，根系呼吸加加强，微生物活动加快，土壤空气中 CO_2 含量增加，夏季 CO_2 含量最高；

♣ 覆膜田块的 CO_2 含量明显高于未覆稻草原露地，而 O_2 则反之。

♣ 土壤空气中的 CO_2 和 O_2 的含量是相互消长的，二者的总和维持在

19~22%之间。请访问 www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

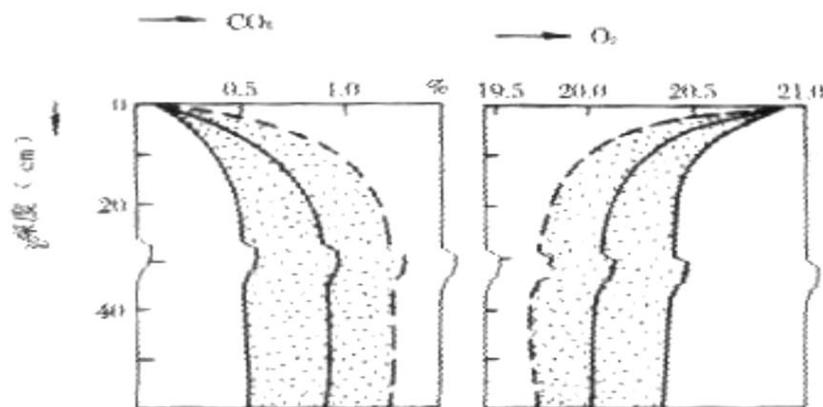


图 6-1 土壤剖面上 CO_2 和 O_2 体积含量分布示意图
(引自 J. R. Chter, 1986)

第一节 土壤空气

❖ 注意：

- ① 土壤空气对植物生长的影响，有许多过程和因素需进一步研究。如土壤微生物需 O_2 有一个很宽的范围。
- ② 仅仅一个空气容量指标并不能肯定土壤是否能满足植物和微生物对氧的需求。
- ③ 土壤中 CO_2 浓度对植物生长的影响也有待进一步研究。现有的研究表明，某一特定植物对 CO_2 浓度有一最佳值，过高或过低都会引起根系生长衰退。过高浓度 CO_2 往往伴随缺 O_2 而造成不良后果，但一定浓度 CO_2 对植物生长也有促进作用，而且 CO_2 造成的土壤溶液的微酸性也有利于有些土壤养分的释放。

二、土壤中的空气流

❖ (一) 对流

对流，又称质流，驱动力是总气压梯度，它使气流冲从高压区向低压区运动。

$$\partial P / \partial t = \alpha \partial^2 \rho / \partial x^2$$

方程4.9就是土壤空气瞬态对流的近似方程。

必须说明：

使用此方程的基本前提是流动过程属层流，且这种层流是在小的压力差作用下产生的。

二、土壤中的空气流

❖ (二) 土壤空气扩散扩散 (soil air diffusion)

土壤中气体扩散过程也可用Fick第一定律表示。

$$q = -D_s \frac{dc}{dx} \quad (4.10)$$

式中：q表示体积扩散通量[L^T-1]

D_s表示土壤中气体表观扩散系数[L²T⁻¹]

C表示气体容积分数(浓度)[L³·L₃]

x表示扩散距离 [L]

若用扩散气体的分压(P)代替浓度，方程为：

二、土壤中的空气流

❖ (二) 土壤空气扩散 (soil air diffusion)

- **气体扩散**是指气体分子由浓度大（或分压大）处向浓度小（或分压小）处的运动，它是由气体分子的热运动（或称布朗运动）引起的。
- **注意：**
 - 首先，土壤中气体表观扩散系数 D_s 必然比自由大气中的扩散系数 D_0 小。
 - 其次，水在土中的传导性主要取决于孔隙的大小分布。

第一节 土壤空气

二、土壤中的空气流

❖ (二) 土壤空气扩散扩散 (soil air diffusion)

不同充气孔隙度下草甸褐土透气率K值(北京农业大学 1989)

| 基质势(hPa) | 含水率(%) | 充气孔隙度(%) | K($\mu\text{m/s}$) |
|----------|--------|----------|----------------------|
| -9.8 | 40.24 | 14.06 | 12 |
| -98 | 25.47 | 28.83 | 133 |
| -310 | 23.07 | 31.23 | 272 |
| — | 0 | 54.30 | 682 |

三、土壤通气性(soil aeration)

❖ (一)、土壤通气性的定义和指标

土壤通气性是泛指土壤空气与大气进行交换以及土体内部允许气体扩散和通气的能力。

■ 1. 静态指标

- (1) 容积分数或充气孔隙度
- (2) 土壤的空气组成(CO₂和O₂等的含量)取样的代表性不十分确定

■ 2. 土壤通气量(soil air flux)

- **土壤通气量**是指在单位时间内，单位压力下，进入单位体积土壤中的气体总量(CO₂和O₂)，常用单位是毫升·厘米⁻²·秒⁻¹。土壤通气

完整版本，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网 专注于中科院、中科院考研

量的大小标志着土壤通气性好坏，通气量大则土壤通气性良好。

三、土壤通气性(soil aeration)

❖ (一)、土壤通气性的定义和指标

■ 3. 土壤氧化还原电位 (Eh)

- 土壤的Eh取决于土壤溶液中氧化态和还原态物质的浓度比，而后者又主要取决于土壤中的氧化压或溶解态氧的浓度，这就直接与土壤通气性相联系。因此Eh可以做为土壤通气性的指标，它指示土壤溶液中氧压的高低，反映土壤通气排水状况。

$$E_h = E_o + \frac{0.059}{n} \cdot \text{Log} \frac{[\text{氧化态}]}{[\text{还原态}]}$$

三、土壤通气性(soil aeration)

❖ (二)、土壤通气性的调节

- 1、调节土壤水分含量
- 2、改良土壤结构
- 3、通过各种耕作手段来调节土壤通性

对旱作土壤，有中耕松土，深耙勤锄，打破土表结壳，疏松耕层等措施。

对于水田土壤，可通过落水晒田、晒垡，搁田及合理的下渗速率等措施。

第一节 土壤空气

❖ 课堂测验

- 1、土壤空气质量的好坏关键不在其含量而在于其质量()
- 2、土壤空气和大气某些组成含量有差异，其他则是相同的()。
- 3、土壤空气是水汽饱和的()
- 4、土壤空气中的CO₂的数量是越低越好()
- 5、土壤空气的组成是时刻变化的()
- 6、土壤水分含量的变化导致土壤通气性的变化()。
- 7、土壤和土壤空气是矛盾的，永远无法调和的()
- 8、在土壤 通气性中，对流比扩散更重要()
- 9、土壤Eh值主要由氧体系的氧化还原电位来决定。()
- 10、土壤通气的好坏主要受含水量和结构性的影响()。

第二节 土壤热量 (soil heat)

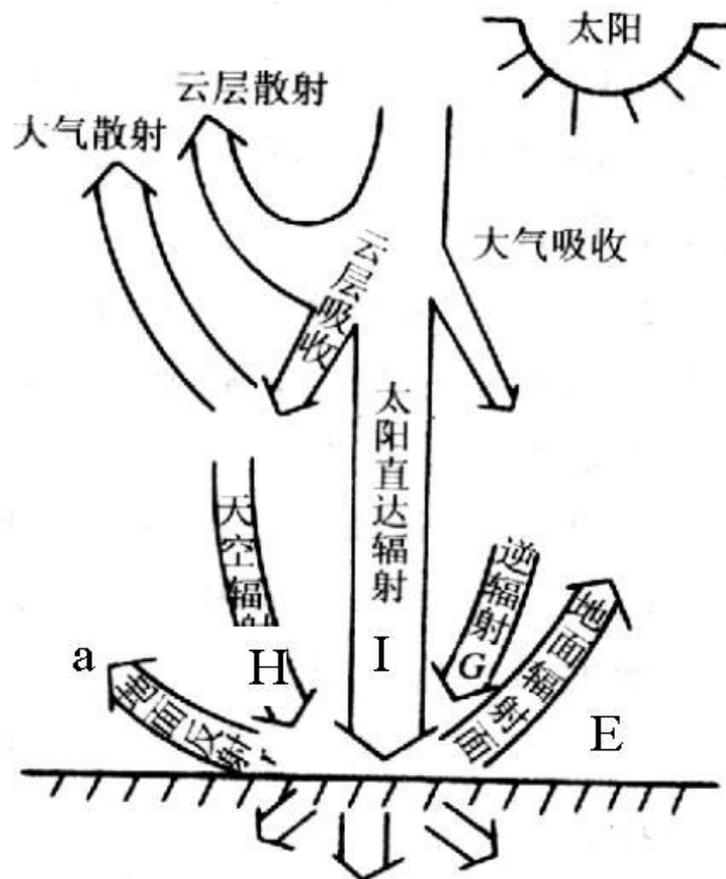
一、土壤热量的来源

❖ (一) 太阳的辐射能

垂直于太阳光下一平方厘米的黑体表面在一分钟内吸收的辐射能常数)，称作**太阳常数**，一般为 $1.9\text{k/cm}^2/\text{min}$ 。

- 99%的太阳能包含在 $0.3-4.0$ 微米的波长内，这一范围的波长通常称为短波辐射。

当太阳辐射通过大气层时，其热量一部分被大气吸收散射，一部分被云层和地面反射，土壤吸收其中的一少部分。



第二节 土壤热量 (soil heat)

一、土壤热量的来源

❖ (二) 生物热

- 据估算，含有机质4%的土壤，每英亩耕层有机质的潜能为 $6.28 \times 10^9 \sim 6.99 \times 10^9 \text{KJ}$ ，相当于20~50吨无烟煤的热量。

❖ (三) 地球内热

第二节 土壤热量 (soil heat)

二、土壤表面的辐射平衡及影响因素

❖ (一) 地面辐射平衡

- 太阳的辐射主要是短波辐射，太阳辐射透过大气层时，少部分直接到达地表的太阳能称为**太阳直接辐射 (I)**。被大气散射和云层反射的太阳辐射能，通过多次的散射和反射，又将其中的一部分辐射到地球上，一般称为**天空辐射能或大气辐射 (H)**。太阳直接辐射和大气辐射都是短波辐射。

I+H之和为投入地面的太阳总短波辐射，又称为环球辐射****

第二节 土壤热量 (soil heat)

二、土壤表面的辐射平衡及影响因素

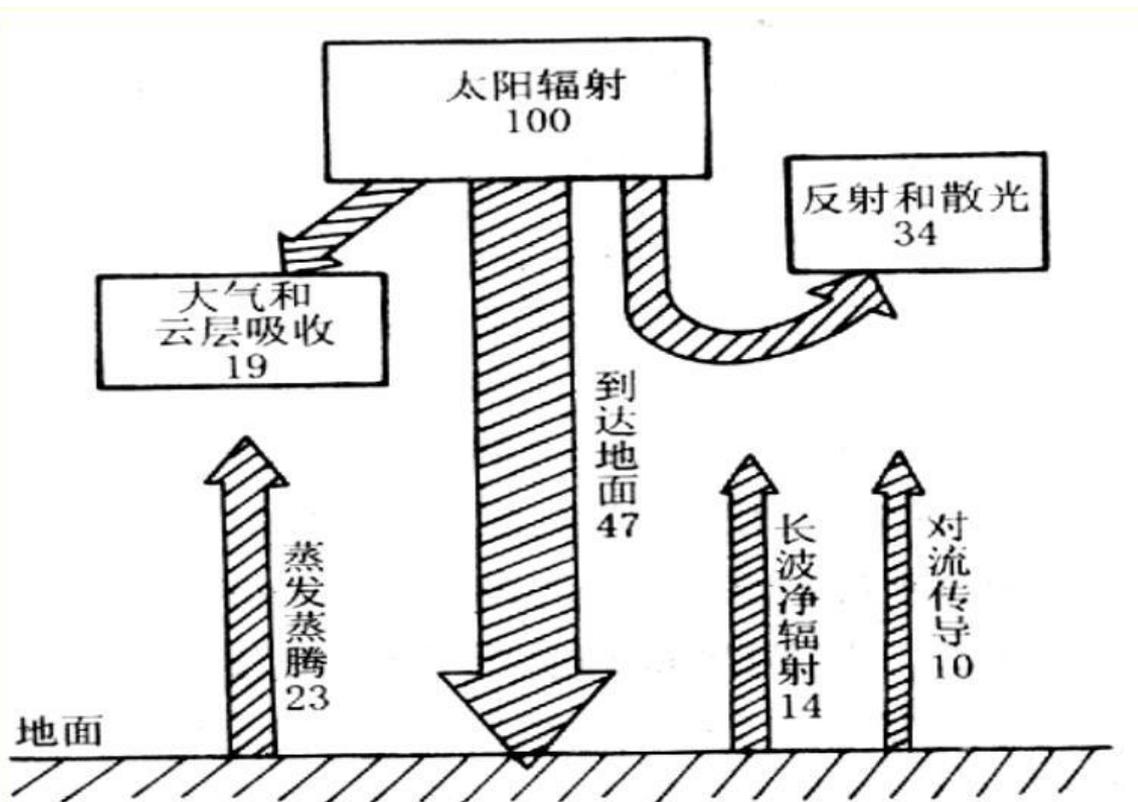


图 6-3 地面的热量平衡

[北半球的年平均值，以 $2.03\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$

第二节 土壤热量 (soil heat)

二、土壤表面的辐射平衡及影响因素

❖ (二) 影响地面辐射平衡的因素

■ 1、太阳的辐射强度

- 日照角越大，坡度越大，地面接受的太阳辐射越多。
- 在中纬度地区，南坡坡地每增加一度，约相当于纬度南移100公里所产生的影响。
- 同样，在中纬度地区，南坡比北坡接受的辐射能多，土温也比北坡高。坡度越陡，坡向的温差越大。坡向的这种差异具有巨大的生态意义和农业意义。

■ 2、地面的反射率

- 太阳的入射角越大，反射率越低，反之越大。土壤的颜色、粗糙程度、含水状况，植被及其他覆盖物等都影响反射率。

第二节 土壤热量 (soil heat)

二、土壤表面的辐射平衡及影响因素

❖ (二) 影响地面辐射平衡的因素

■ 3、地面有效辐射

▪ 影响地面有效辐射的因子有：

(1) 云雾、水汽和风：它们能强烈吸收和反射地面发出的长波辐射，使大气逆辐射增大，因而使地面有效辐射减少；

(2) 海拔高度：空气密度、水汽、尘埃随海拔高度增加而减少，大气逆辐射相应减少，有效辐射增大；

(3) 地表特征：起伏、粗糙的地表比平滑表面辐射面大，有效辐射也大；

(4) 地面覆盖：导热性差的物体如秸秆、草皮、残枝落

完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网 专注于中科院 中科院考研

叶等覆盖地面时，可减少地面的有效辐射。

第二节 土壤热量 (soil heat)

中国年太阳总辐射量分布图

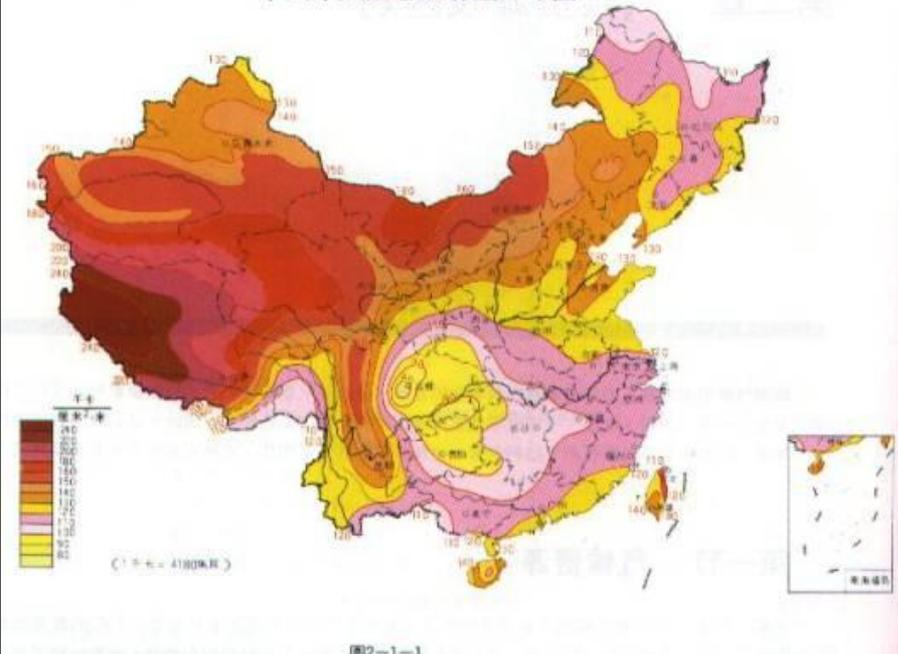
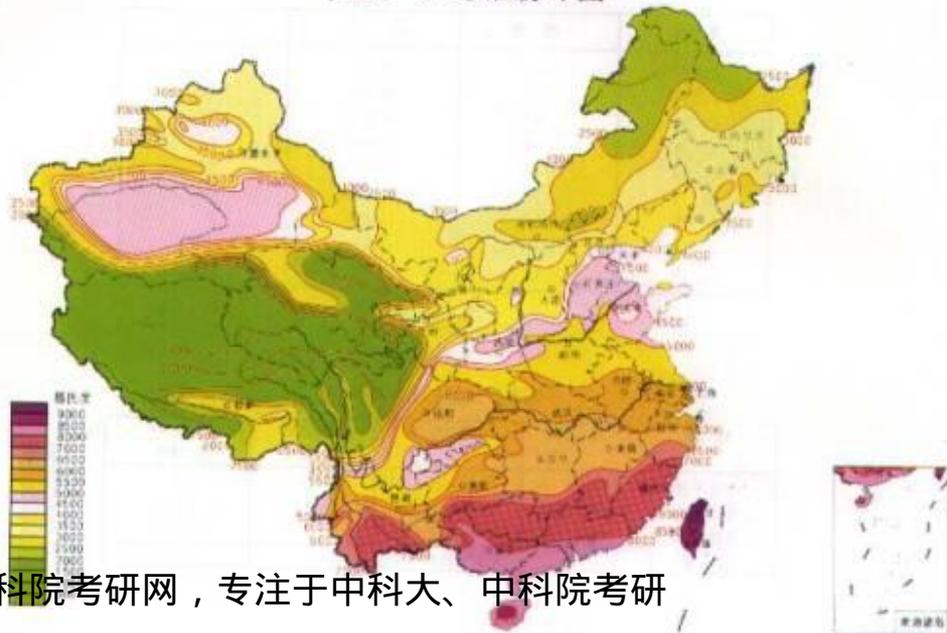


图2-1-1

中国 > 0 °C 积温分布图



第二节 土壤热量 (soil heat)

三、土壤的热量平衡

❖ 土壤热量收支平衡可用下式表示：

$$S = Q \pm P \pm LE + R$$

- S为土壤在单位时间内实际获得或失掉的热量；
- Q为辐射平衡；
- L为水分蒸发、蒸腾或水汽凝结而造成的热量损失或增加；
- P为土壤与大气层之间的湍流交换量；
- R为土面与土壤下层之间的热交换量。

第三节 土壤热性质

一、土壤热容量(soil heat capacity,soil thermal capacity)

❖ **土壤热容量**是指单位质量（重量）或容积的土壤每升高（或降低）1℃所需要（或放出的）热量。

C 代表质量（重量）热容量(mass heat capacity)，

单位是 $Jg^{-1}^{\circ}C^{-1}$ 。

C_v 代表容积热容量(volume heat capacity)，

单位是 $(Jcm^{-3}^{\circ}C^{-1})$ 。

❖ **请注意矿物质、有机质、水的两种热容量值。**

土壤的容积热容量（ C_v ）可用下式表示：

$$C_v = mC_v \cdot V_m + oC_v \cdot V_o + wC_v \cdot V_w + aC_v \cdot V_a \quad (6-7)$$

因空气的热容量很小，可忽略不计，故土壤热容量可简化为：

$$C_v = 1.9V_m + 2.5V_o + 4.2V_w \quad (Jcm^{-3} C^{-1}) \quad (6-8)$$

第三节 土壤热性质

一、土壤热容量(soil heat capacity,soil thermal capacity)



| 土壤组成物质 | 重量热容量 ($\text{Jg}^{-1}\text{c}^{-1}$) | 容积热容量 ($\text{Jcm}^{-3}\text{c}^{-1}$) |
|-------------------------|--|---|
| 粗石英砂 | 0.745 | 2.163 |
| 高岭石 | 0.975 | 2.410 |
| 石灰 | 0.895 | 2.435 |
| Fe_2O_3 | 0.682 | — |
| Al_2O_3 | 0.908 | — |
| 腐殖质 | 1.996 | 2.515 |
| 土壤空气 | 1.004 | 1.255×10^{-3} |
| 土壤水分 | 4.184 | 4.184 |

表6-1 不同土壤组分的热容量

第三节 土壤热性质

一、土壤热容量(soil heat capacity,soil thermal capacity)

要注意C和CV之间的换算，对于均质的土壤而言：

$$CV = r \cdot C \quad (1)$$

有些书上用

$$CV = p \cdot C \quad (2)$$

来表示是不正确的， p 表示土壤容重，应用下式表示

$$C = C_s M_s + C_w M_w + C_a M_a \quad (3)$$

式中 C_s , C_w , C_a 分别表示土壤固相、液相和气相的质量热容量； M_s , M_w , M_a 分别表示单位质量土壤中固相、液相和气相所占的质量(比例)。如果用容积热容量表示

$$C_v = C_{vs} V_s + C_{vw} V_w + C_{va} V_a \quad (4)$$

式中 V_s , V_w , V_a 分别表示单位容积土壤中固相、液相和气相所占的比例， C_{vs} , C_{vw} , C_{va} 分别表示土壤中固相、液相和气相的容积热容量(比例)。

第三节 土壤热性质

一、土壤热容量(soil heat capacity,soil thermal capacity)

在式(4)中，由于气体的热容量 C_v 很小，相对可以忽略，于是式(4)可写成：

$$C_V = C_{vs} \cdot V_s + C_{vw} \cdot V_w \quad (5)$$

在式(5)中， $V_w = \theta_v$ (土壤容积含水量)，根据式(1)

$$C_{vs} = r_s \cdot C_s \quad (6)$$

$$r_s = M_s / V_s = \rho / V_s$$

$$V_s = \rho / r_s \quad (7)$$

将(6)、(7)代入式(5)得

$$C_v = \rho C_s + C_{vw} \cdot \theta_v \quad (8)$$

一般情况下，水的热容量可以 $4.18 \text{ J} \cdot \text{cm}^3 / ^\circ\text{C}$ ，当有机质含量不高时，固相物质的质量热容量可以近似取 $0.85 \text{ J/g} / ^\circ\text{C}$ ，则式(8)可变为：

$$C_v = 0.85\rho + 4.18 \cdot \theta_v \quad (9)$$

第三节 土壤热性质

一、土壤热容量(soil heat capacity,soil thermal capacity)

❖ 由式(9)可以看出，

土壤热容量随土壤容重和含水量的增加而增大，对于一定土壤而其固相物质容重变化很小，而其含水量则变化很大，故水分对土壤热容量影响最大。砂土含水量一般比粘土小，而空气含量较高，所以其热容量一般较低。

第三节 土壤热性质

二、土壤导热率

❖ 导热性：

土壤具有对所吸热量传导到邻近土层性质，称为导热性。导热性大小用导热率表示。

❖ 导热率:heat conductivity,thermal conductivity

在单位厚度（**1厘米**）土层，温差为**1°C**时，每秒钟经单位断面（**1厘米²**）通过的热量焦耳数（ λ ）。其单位是 **$\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$** 。

$$\lambda = \frac{Q / AT}{(t_1 - t_2) / d} \quad \text{或} \quad \frac{Qd}{AT (t_1 - t_2)}$$

第三节 土壤热性质

二、土壤导热率

- ❖ 当土壤干燥缺水时，土粒间的土壤孔隙被空气占领，导热率就小。当土壤湿润时，土粒间的孔隙被水分占领，导热率增大。

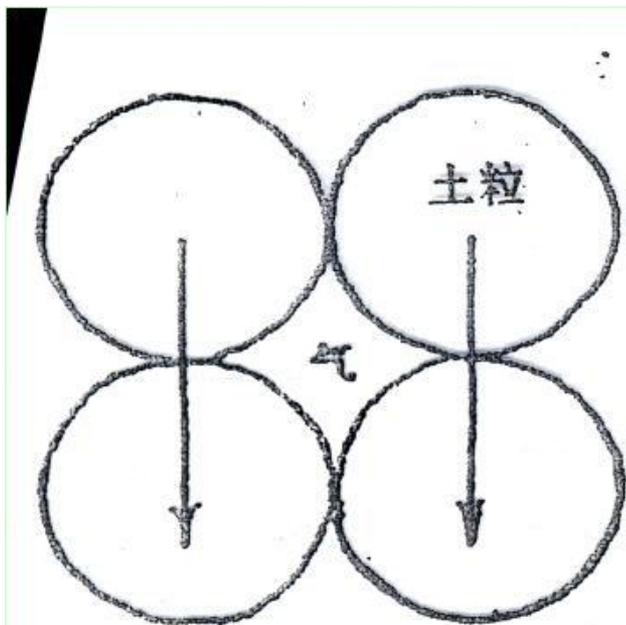


图 5.1 干燥土壤热传导示意图

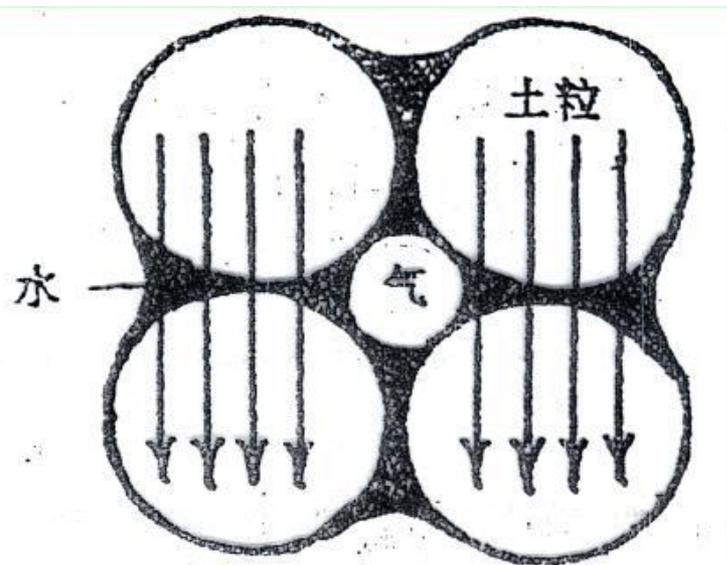


图 5.2 湿润土壤热传导示意图

第三节 土壤热性质

二、土壤导热率

表 6-4 土壤不同组分的导热率（焦耳/厘米·秒·度）

| 土壤组成成分 | 导热率 |
|--------|------------------------|
| 石英 | 4.427×10^{-2} |
| 湿砂粒 | 1.674×10^{-2} |
| 干砂粒 | 1.674×10^{-3} |
| 泥炭 | 6.276×10^{-4} |
| 腐殖质 | 1.255×10^{-2} |
| 土壤水 | 5.021×10^{-3} |
| 土壤空气 | 2.092×10^{-4} |

第三节 土壤热性质

三、土壤的热扩散率

- ❖ **土壤热扩散率** 是指在标准状况下，在土层垂直方向上每厘米距离内，1℃的温度梯度下，每秒流入1cm²土壤断面面积的热量，使单位体积（1cm³）土壤所发生的温度变化。其大小等于土壤导热率/容积热容量之比值。

$$D = \frac{\lambda}{C_v} \quad (\text{厘米}^2 / \text{秒})$$

- ❖ 上式中： λ 为土壤导热率， C_v 为土壤容积热容量。

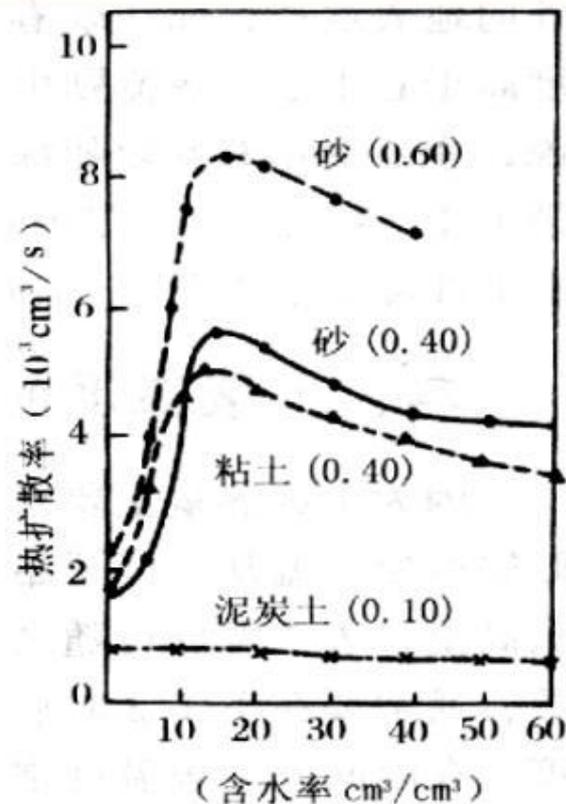


图 6-4 土壤质地和含水率对热扩散率的影响
图中为固相所占体积比

第四节 土壤温度(Soil temperature)

一、土壤温度的季节或月变化

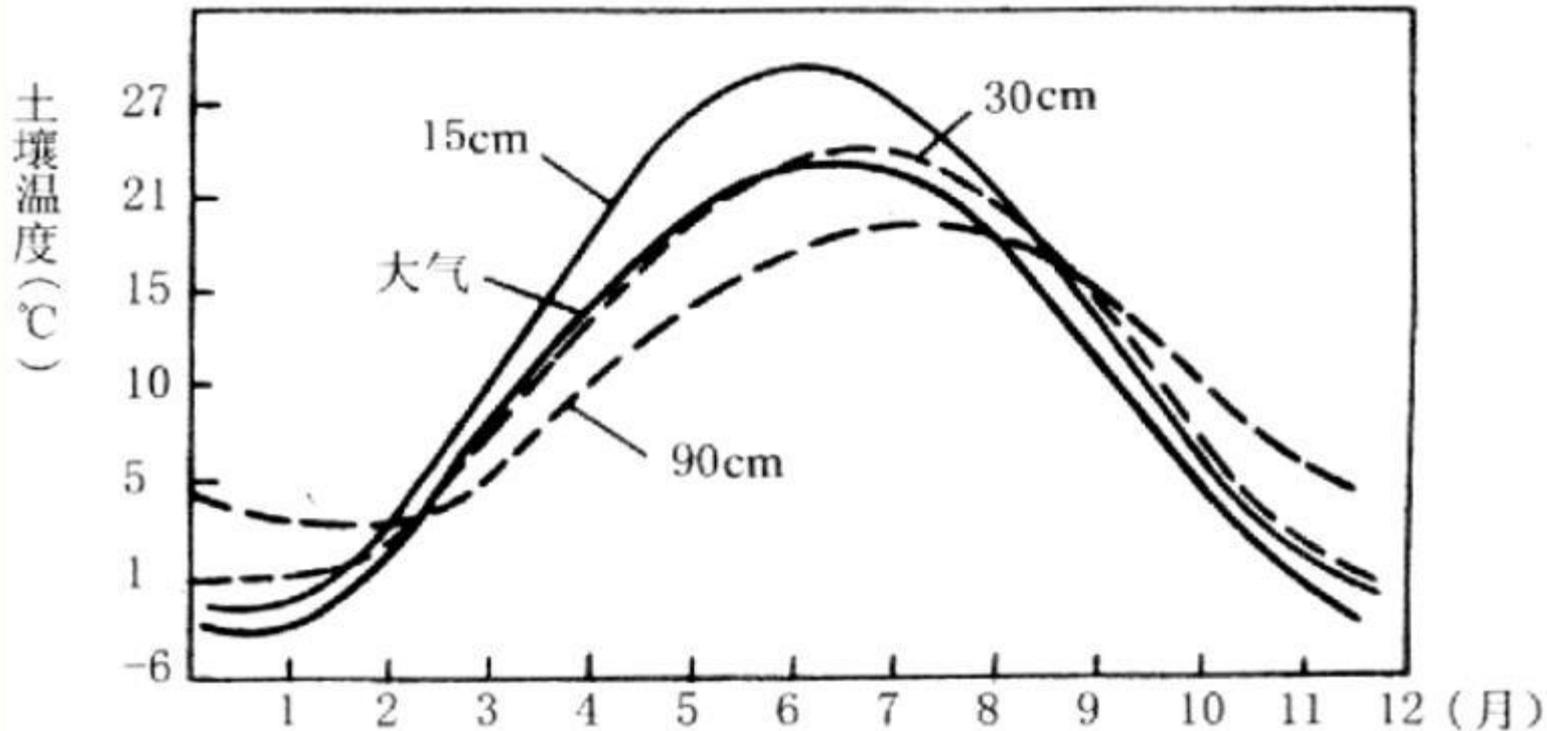
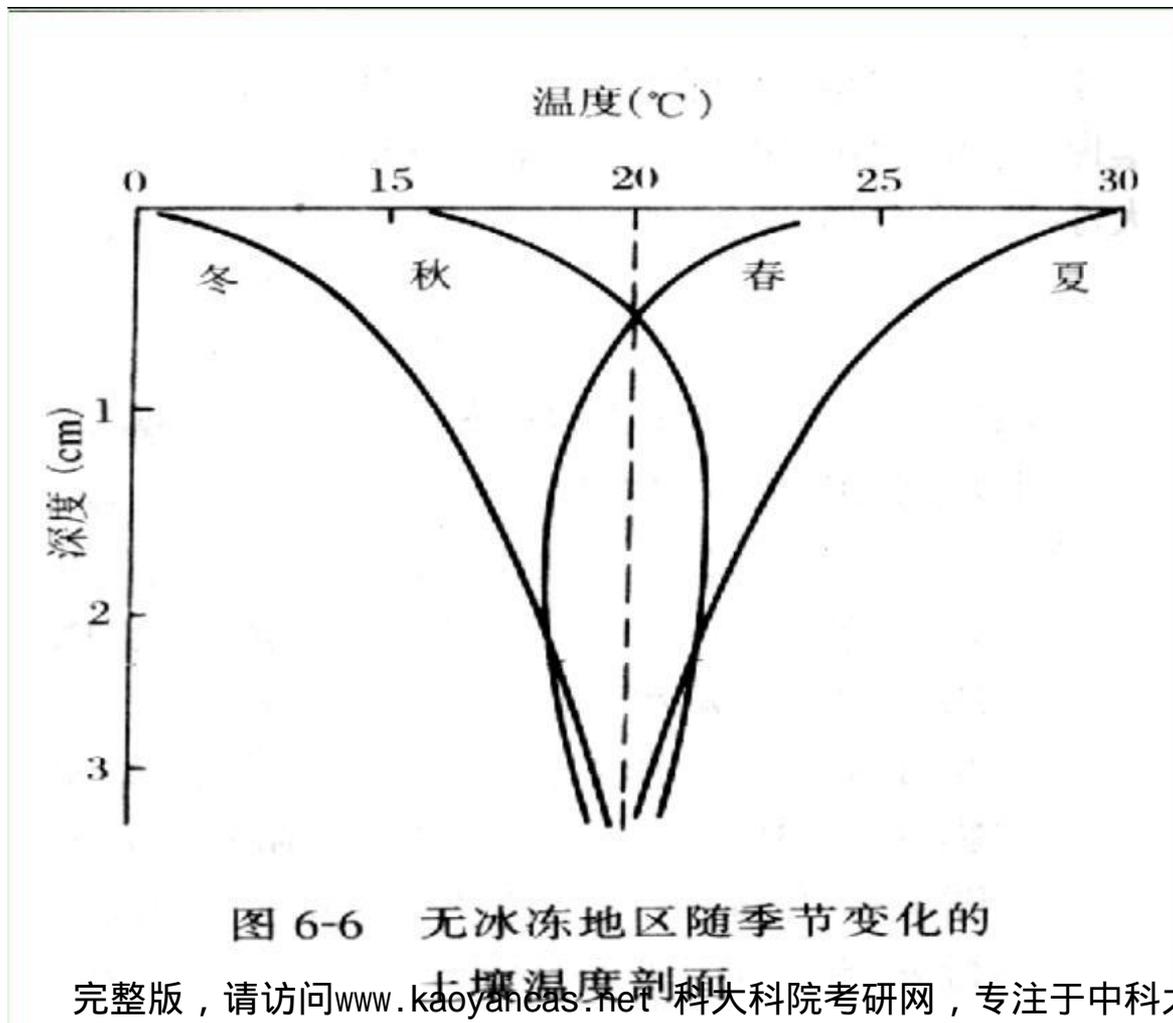


图 6-5 大气和土壤月平均温度变化

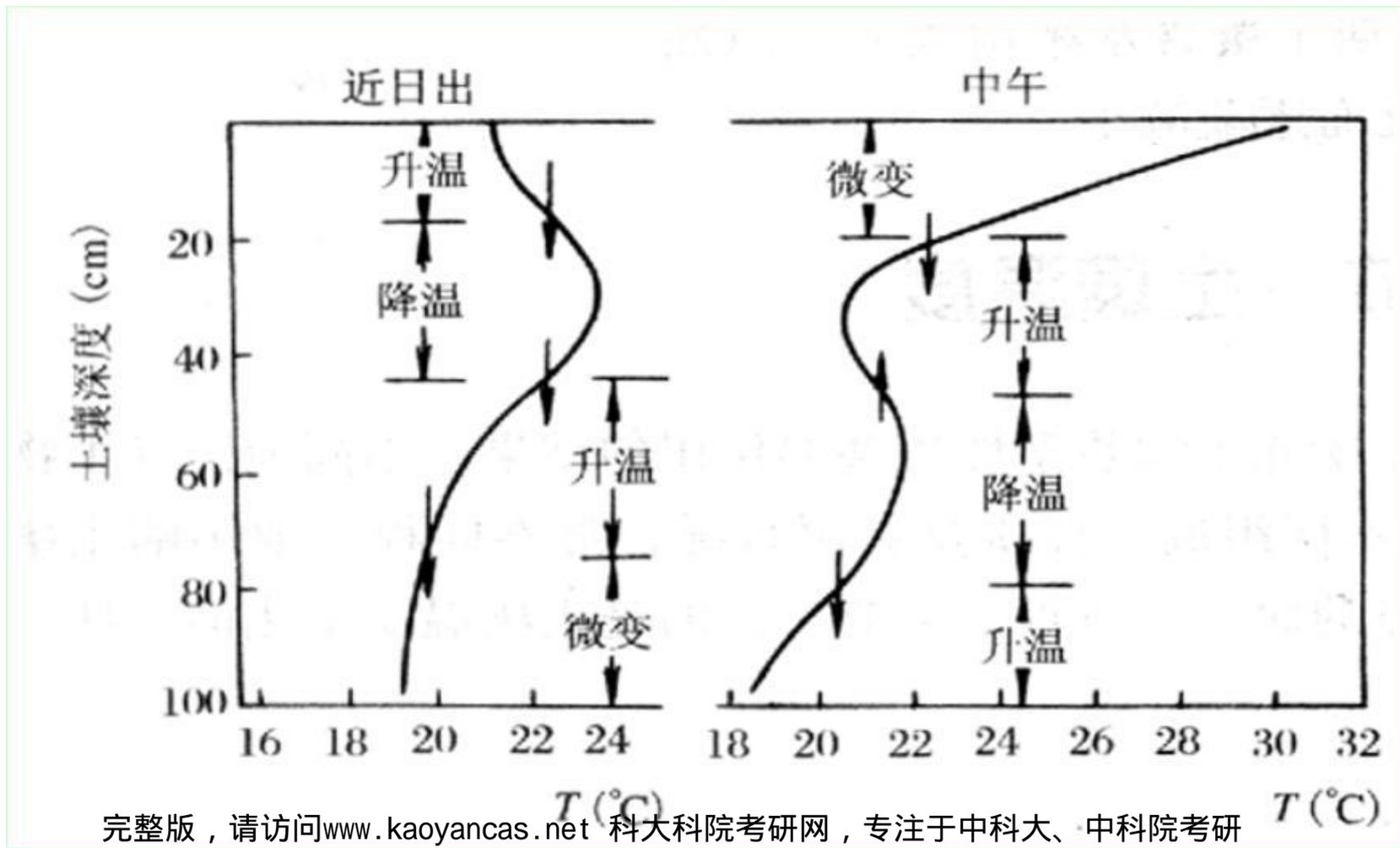
第四节 土壤温度(Soil temperature)

二、土壤温度的日变化



第四节 土壤温度(Soil temperature)

二、土壤温度的日变化



第四节 土壤温度(Soil temperature)

二、土壤温度的日变化

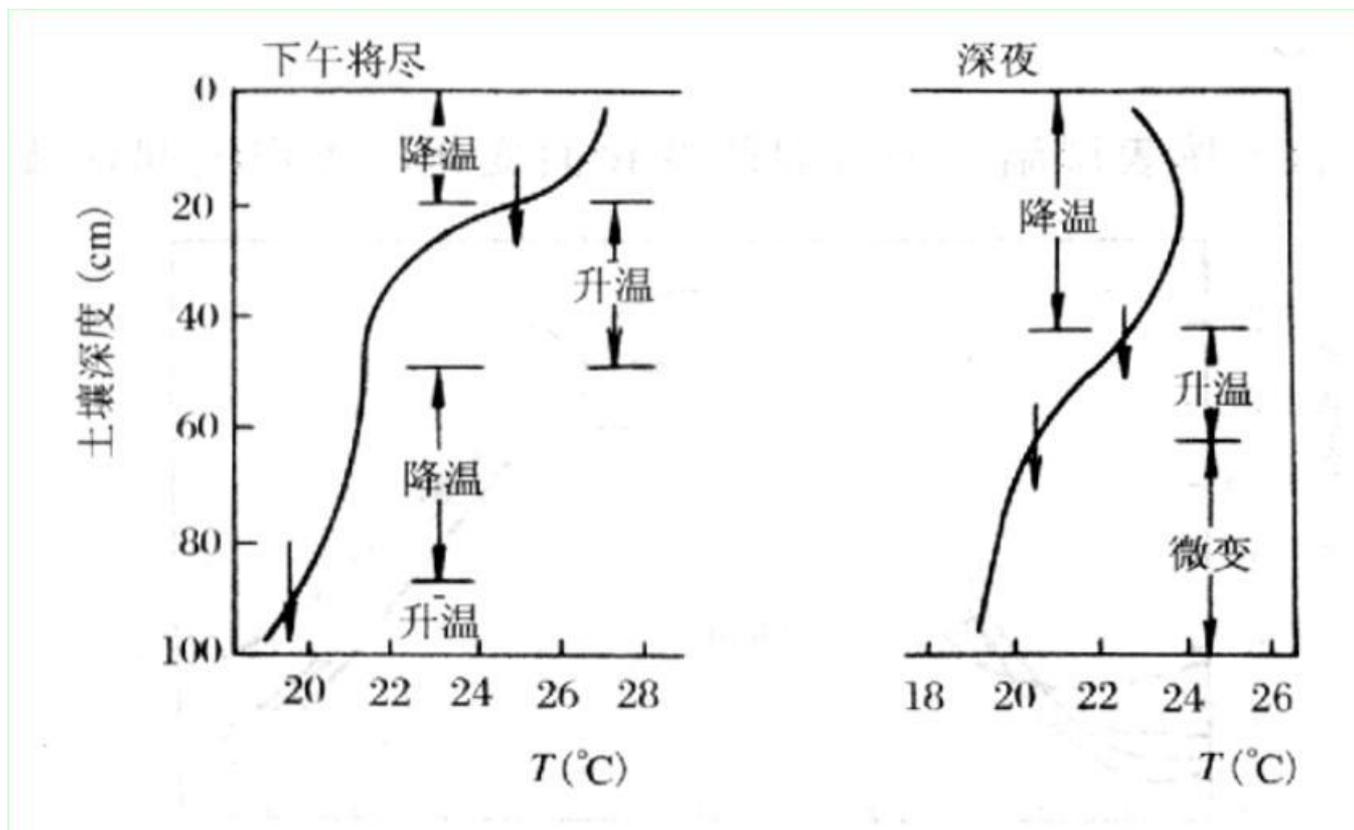


图 6-7 夏季土温随深度日变化

第四节 土壤温度(Soil temperature)

三、地形地貌和土壤性质对土温的影响

❖ (一) 海拔高度对土壤温度的影响

在山区随着高度的增加，土温还是比平地的土温低。

❖ (二) 坡向与坡度对土壤温度的影响

- ①坡地接受的太阳辐射因坡向和坡度而不同；
- ②不同的坡向和坡度上，土壤蒸发强度不一样，土壤水和植物覆盖度有差异，土温高低及变幅也就迥然不同。南坡的土壤温度和水分状况可以促进早发、早熟。

❖ (三) 土壤的组成和性质对土壤温度的影响

土壤颜色深的，吸收的辐射热量多，红色、黄色的次之，浅色的土壤吸收的辐射热量小而反射率较高。在极端情况下，土壤颜色的差异可以使不同土壤在同一时间的土表温度相差**2—4℃**，园艺栽培中或农作物的苗床中，有的在表面覆盖一层炉碴、草木灰或土杂肥等深色物质以提高土温。

第四节 土壤温度(Soil temperature)

三、地形地貌和土壤性质对土温的影响

一般在通气良好的土壤中，植物根系长、颜色浅、根毛多；而缺氧则会阻碍根系伸长和侧根萌生，根系短而粗，颜色暗，根毛大量减少。

据北京农业大学实验站对棉花地的观测，结果表明：土壤空气中 O_2 和 CO_2 含量维持在21%左右， O_2 占其中85%以上时棉花根系发育良好；当 O_2 占70%以上时，棉花根系能正常生长；而 CO_2 占60%以上时，根系生长完全停止。

第四节 土壤温度(Soil temperature)

三、地形地貌和土壤性质对土温的影响

土壤空气氧浓度临界值 (Vo1%)

| 作物 | O ₂ 临界值 | 作者 |
|------|--------------------|---------------------------|
| 大麦 | 7%~10% | Geisler 1969 |
| 玉米 | 14% | Geisler 1969 |
| 豌豆 | 20% | Ammore,1961, Geisler 1969 |
| 棉花 | 10% | Tacket 1964 |
| 谷类胚芽 | 10% | Gill 1956 |

第四节 土壤温度(Soil temperature)

课堂测验——快速判断！！

- ❖ 1、土壤含水量愈低，其热容量越小，导热率愈低土壤升温越快（ ）
- ❖ 2、灌溉可降低土壤表层土的昼夜温差。 （ ）
- ❖ 3、中耕松土，可降低土壤表层土的热容量，而促进表土升温。（ ）
- ❖ 4、一日之内土壤上下各层温度变化是同步的 （ ）
- ❖ 5、土壤热量全部来源是太阳辐射。（ ）
- ❖ 6、土温的变化与土壤肥力的高低无关。（ ）
- ❖ 7、土壤热容量随土壤容重和含水量的增加而增大（ ）。
- ❖ 8、土壤有机质含量越高，其热容量越大 （ ）
- ❖ 9、土壤热扩散率随含水量的增加而增加，随热容量的增大而减小（ ）
- ❖ 10、热扩散率表示土壤升温的难易，导热率表示是热传导的快慢。（ ）

第四节 土壤温度(Soil temperature)

本章小结：

❖ 一、概念

土壤呼吸

呼吸商

气体扩散

Eh

土壤通气性

土壤热容量

土壤导热率

壤热扩散率

土壤热状况

❖ 二、问答题

- 1、土壤空气的组成有何缺点？
- 2、土壤通气性对土壤肥力有何影响？
- 3、土壤**Eh**的意义是什么？
- 4、如何调节土壤的通气性？

第四节 土壤温度(Soil temperature)

本章小结：

❖ 二、问答题

- 5、调节土壤热状况的关键是措施是什么？为什么？
- 6、育秧时有牲畜份内欧苗床促早发的机理是什么？
- 7、在沙漠地带，为什么有“朝穿皮袄午穿纱，晚上围着火炉吃西瓜”的气候？
- 8、粘土为什么叫“冷性土”？砂土为什么叫“暖性土”？
- 9、入冬前小麦灌水可防冻，为什么？而春天灌返青水又不宜过早，又为什么？
- 10、农民为什么说“锄下有水又有火”？
- 11、地下水为什么冬暖夏凉？

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

Thank You !

www.cau.edu.cn

完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研