

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

群落生态学（下）

郑 华

中国科学院生态环境研究中心
城市与区域生态国家重点实验室

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

2016年11月

内容提纲

- 群落的概念、特征和群落生态学
- 群落的组成、结构和动态
- 物种间相互作用
- 群落演替
- 群落的分类与排序
- 生物群落的分布及影响因子
- 生物多样性与稳定性

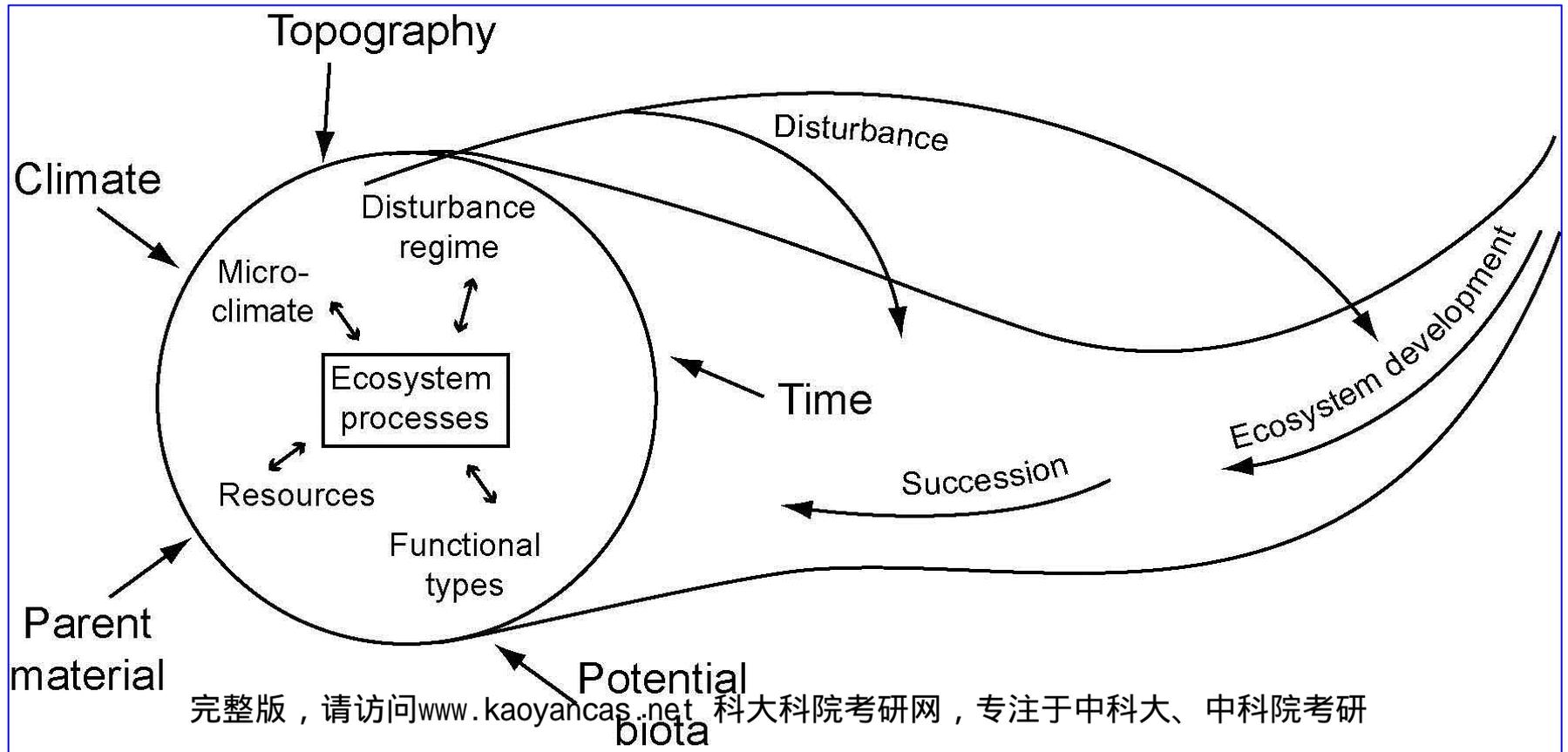
六、生物群落的分布及其影响因素

- 生物群落特征影响因素
- 生物群落分布特征

生物群落特征影响因素

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

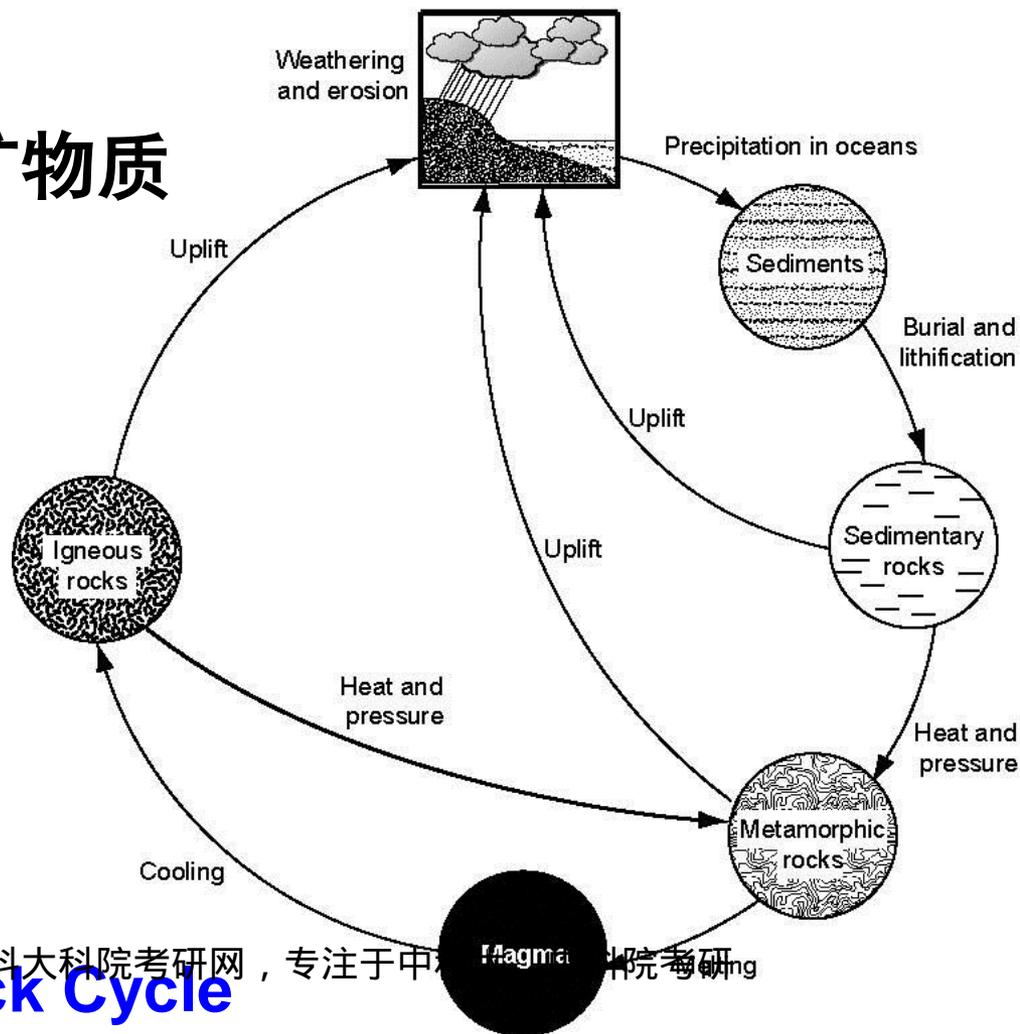
- 土壤母质 Parent material
- 气候 Climate
- 地形 Topography
- 潜在的生物区系 Potential biota
- 时间 Time



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

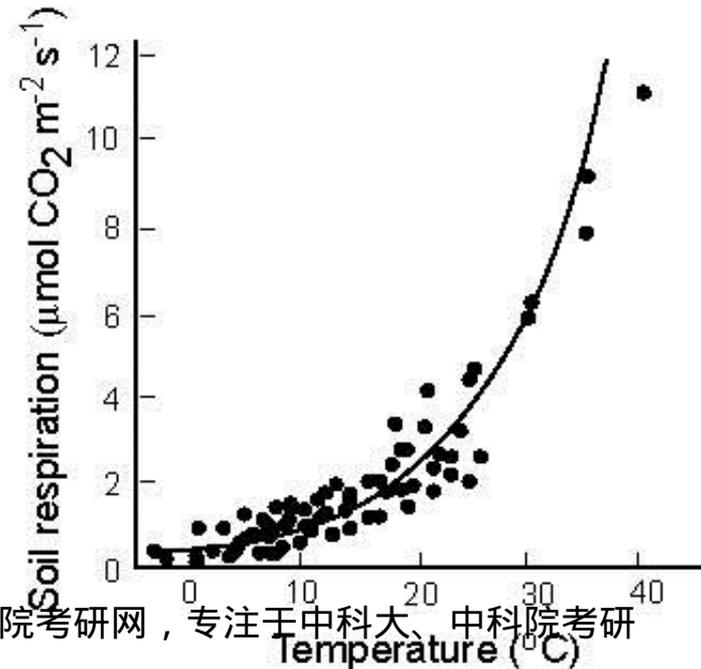
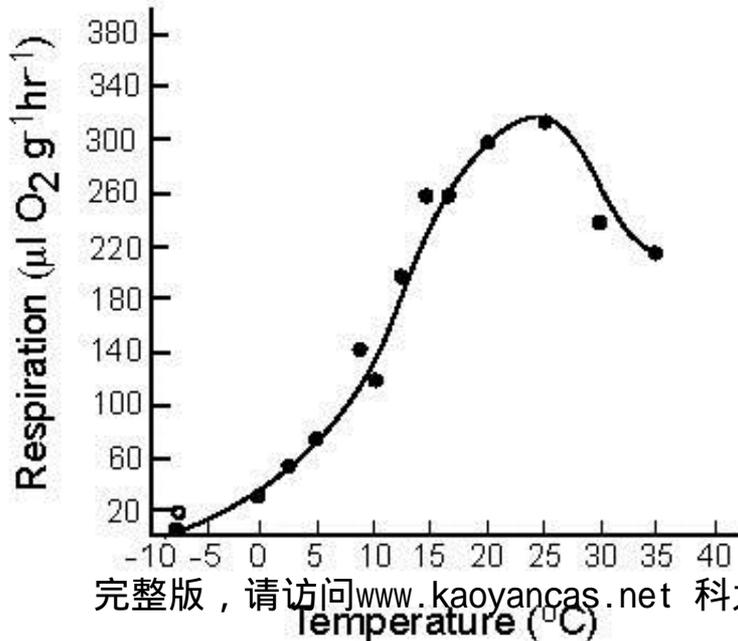
■ 土壤母质

- 基岩
- 来自其他地方的矿物质
- 后果
 - ✓ 质地
 - ✓ 化学组成



■ 气候影响

- 风化速率
- 分解与养分循环速率
- 流失速率



生物群落特征影响因素

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

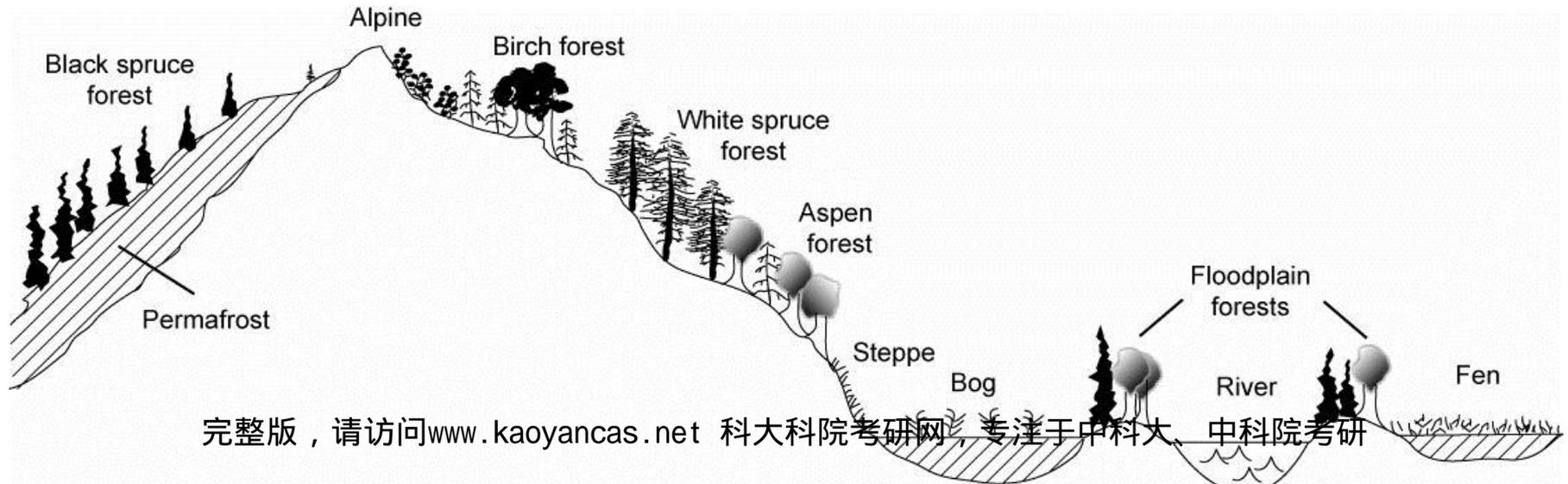
■ 地形影响

➤ 微气候效应

- ✓ 风化速率
- ✓ 质地
- ✓ 化学组成

➤ 侵蚀与沉积

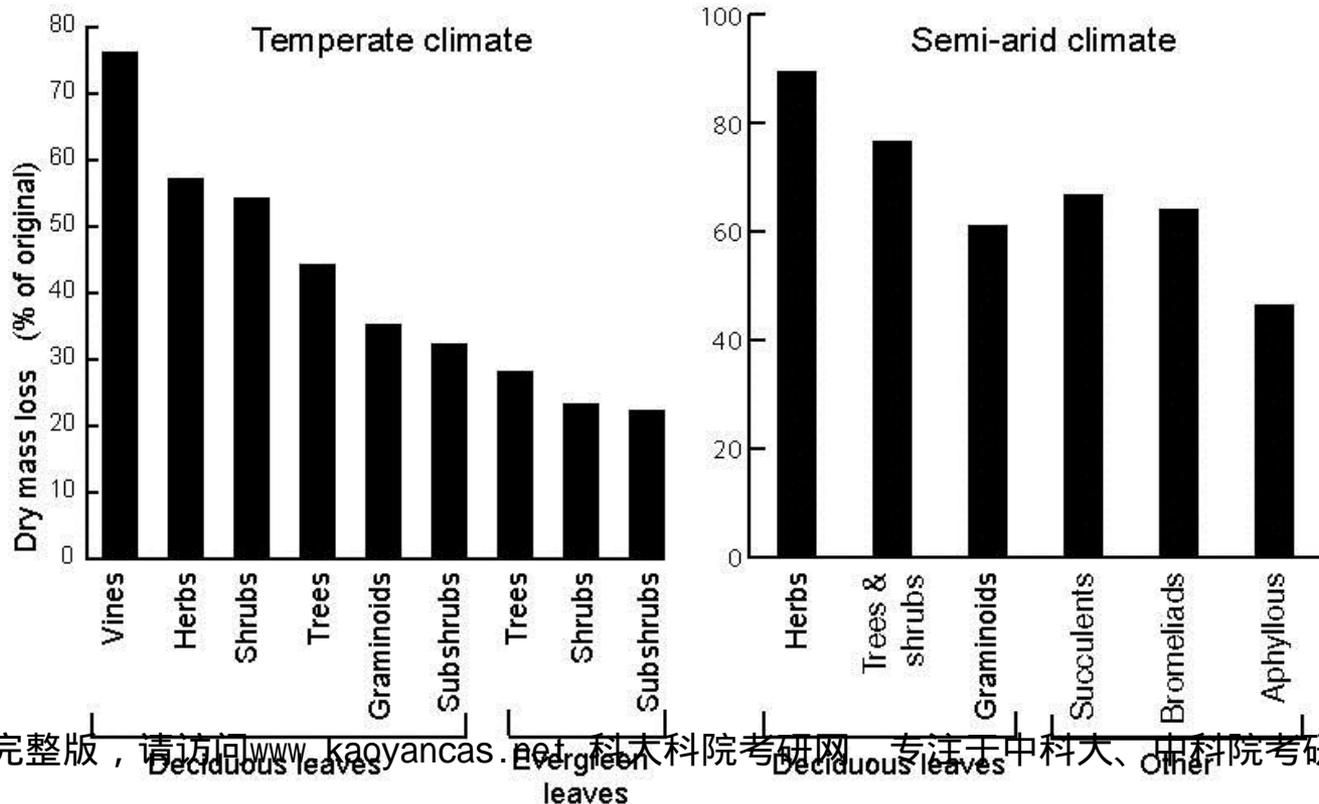
- ✓ 土壤深度
- ✓ 剖面发育



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

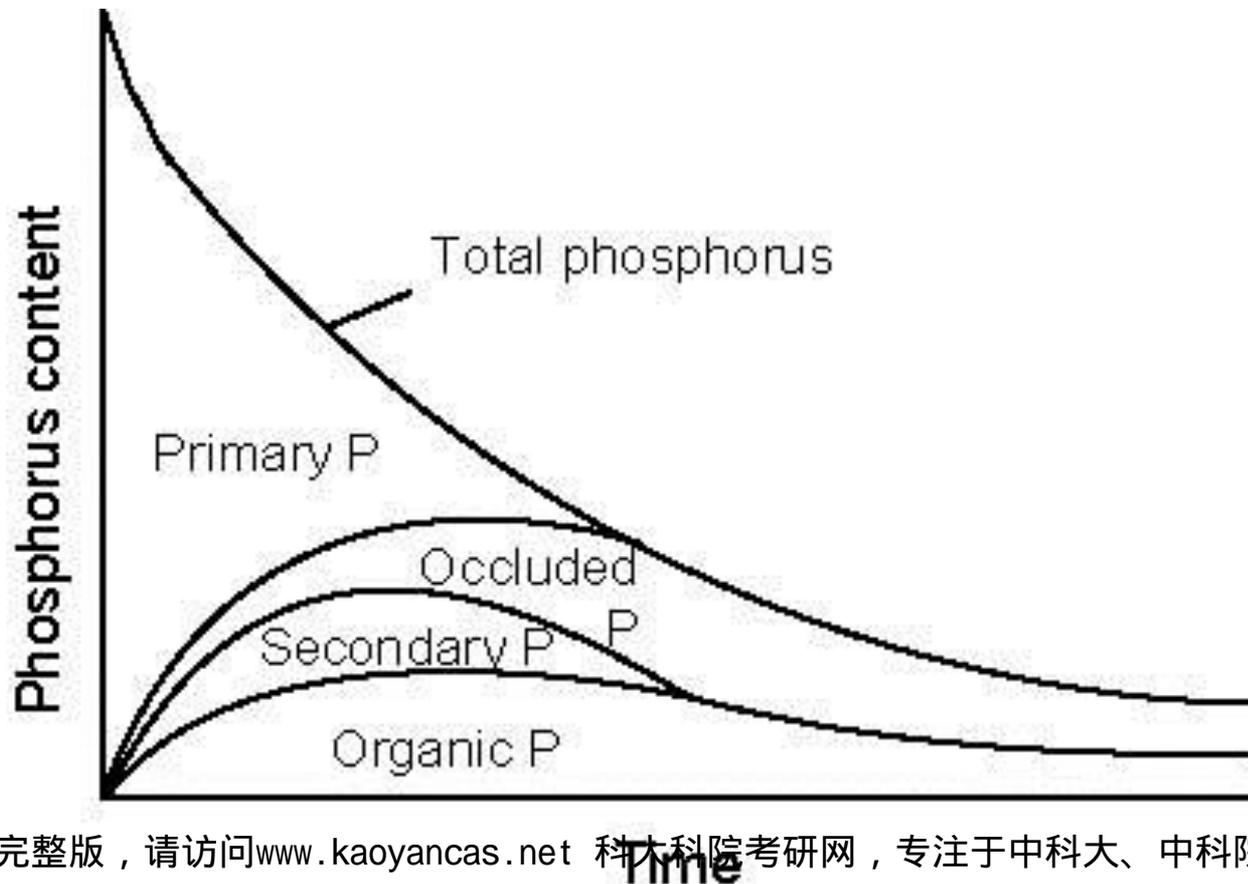
■ 潜在的生物区系

- 有机质数量与质量
- 干扰效应



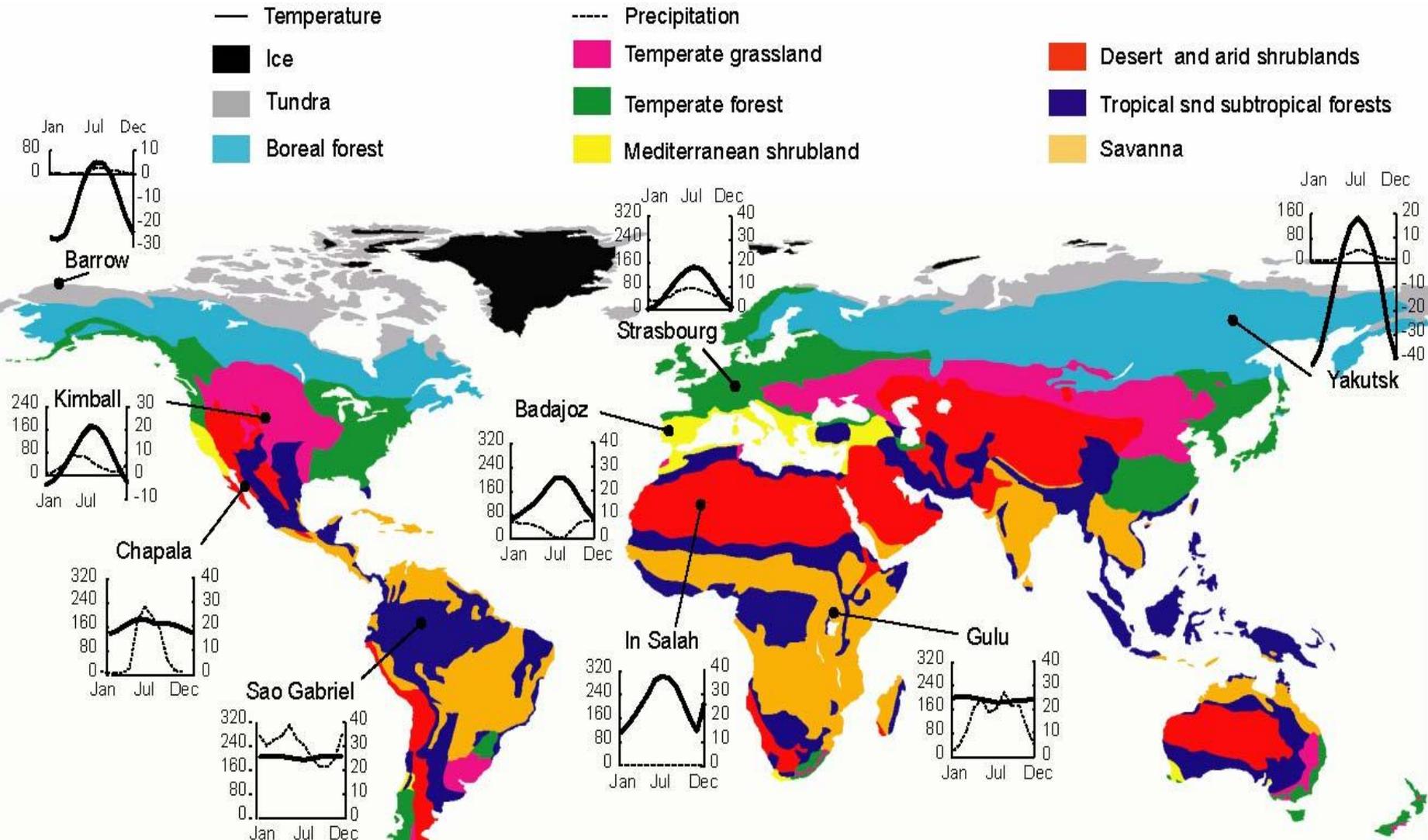
■ 时间

➤ 与其它因子的相互作用



生物群落分布特征

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



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

生物群落分布特征

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

■ 全球生态区划

热量带	湿度分区	植被类型
热带 全年日均气温 $>18^{\circ}\text{C}$	潮湿 冬季干燥 半干旱 干旱 干燥期0-2个月 超过2个月(冬天) 蒸发大于降水 全年干燥	热带雨林、季雨林 落叶林、稀树草原 灌木/草原 荒漠
亚热带 8个月气温 $>10^{\circ}\text{C}$	湿润 夏季干燥 半干旱 干旱 无干燥期 夏季干燥 蒸发大于降水 全年干燥	常绿阔(针)叶林 硬叶阔叶林 灌木/草原 荒漠
温带 4-8个月气温 $>10^{\circ}\text{C}$	海洋性 大陆性 半干旱 干旱 最冷月在 0°C 以上 最冷月在 0°C 以下 蒸发大于降水 全年干燥	落叶阔叶林、针阔混交林 针阔混交林 灌木/草原 荒漠
环北极带 1-3个月气温 $>10^{\circ}\text{C}$	环北极带	泰加林
极地 全年气温 $<10^{\circ}\text{C}$	极地	极地冻原

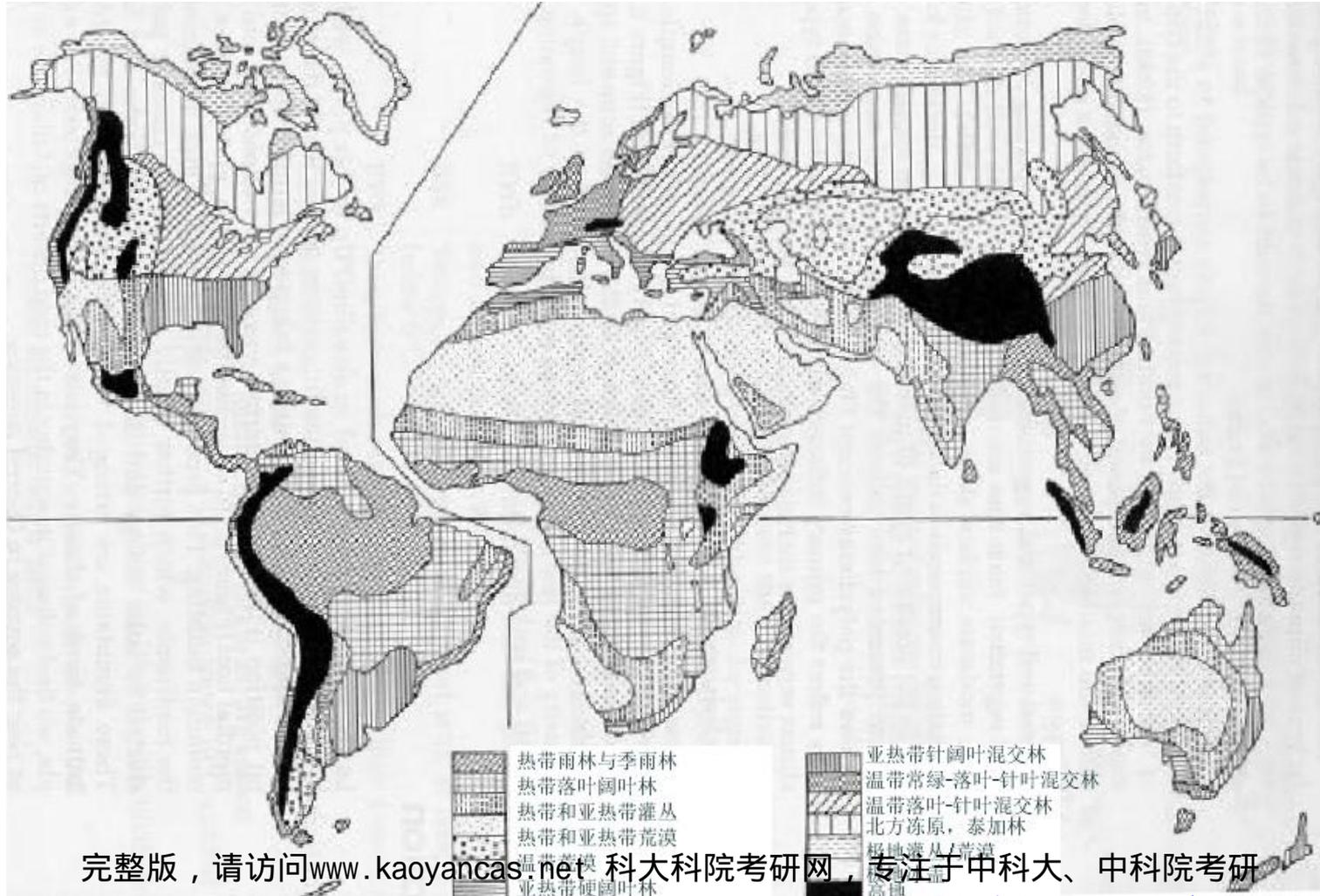
完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

联合国粮农组织，1999年，罗马

生物群落分布特征

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

■ 全球生态区划



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

联合国粮农组织，1999年，罗马

■ 植被分布三向地带性

自然带：地球上的各个地区由于所处的纬度位置和海陆位置各不相同，分别有不同的具代表性的植被和土壤类型，占有一定宽度，有规律地呈长带状分布，叫做自然带。

- **纬度地带性：**每个地带与纬线(即南北东西走向)大体平行地伸展成条带状的特点。
- **经度地带性：**大体上与经线(即东西走向)相平行伸展成条带状。
- **垂直地带性：**在高山地区，从山麓到山顶的水热状况随着高度的增加而变化，形成山地垂直气候带。

世界植被纬度地带性分布规律

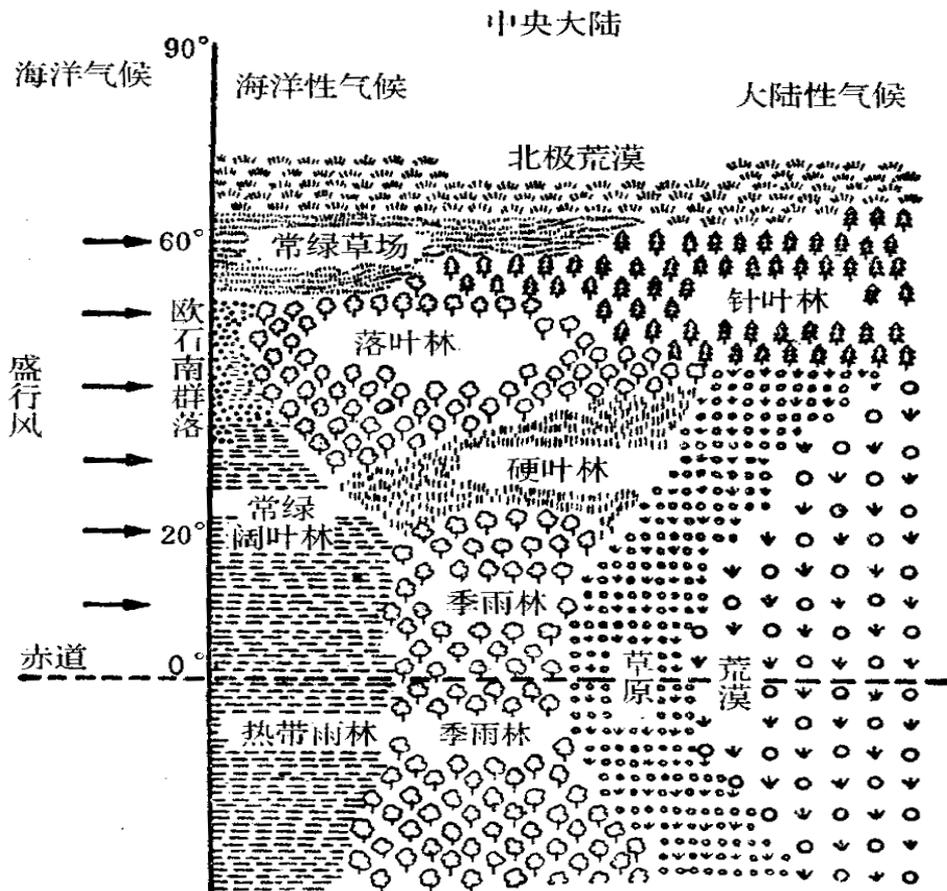


图 13-8. Brockman-Jerosch 的理想大陆分布模式
完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研
(转引自：谢尼阔夫, 1950)

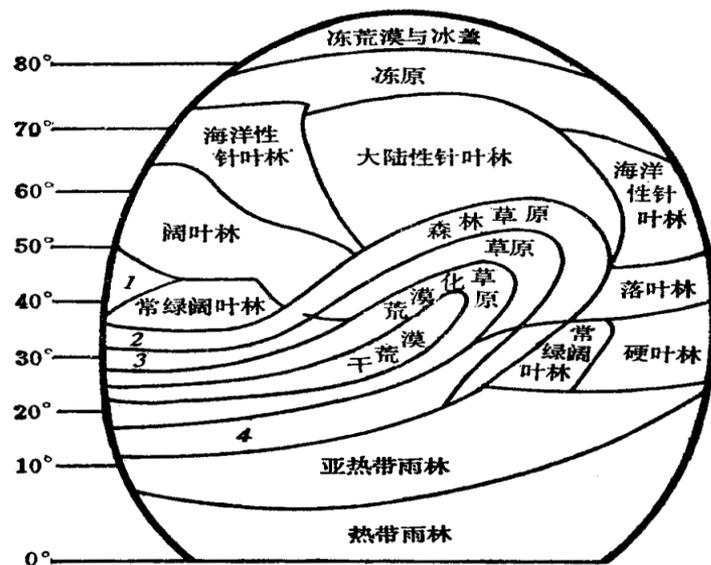
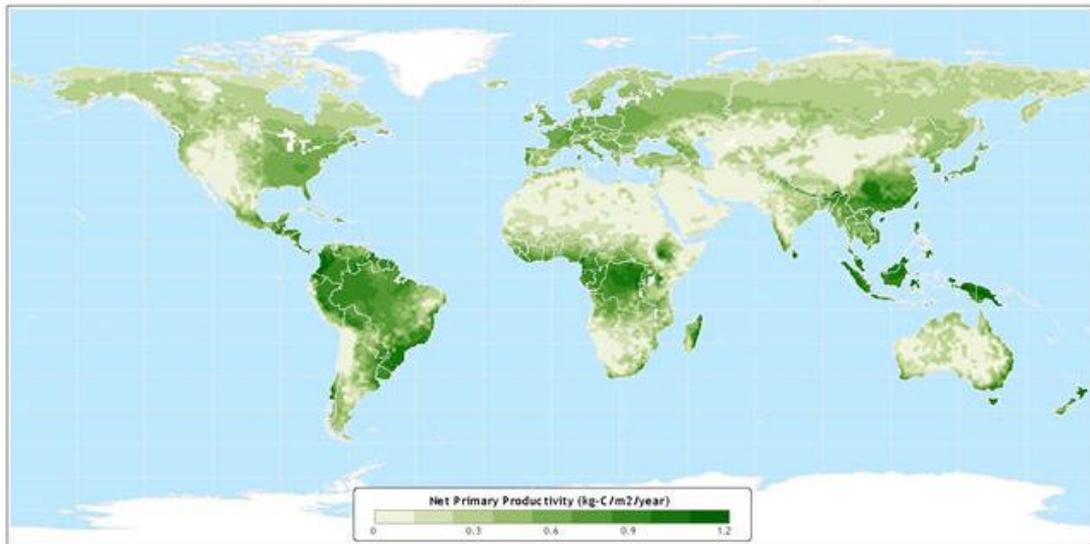
生物群落分布特征

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

世界植被纬度地带性分布规律

- 北半球自北到南依次：寒带苔原→寒温带针叶林→温带落叶阔叶林→亚热带常绿阔叶林→热带雨林。
- 欧亚大陆中部和北美中部，自北向南依次：苔原→针叶林→落叶阔叶林→草原→荒漠

Net Primary Productivity

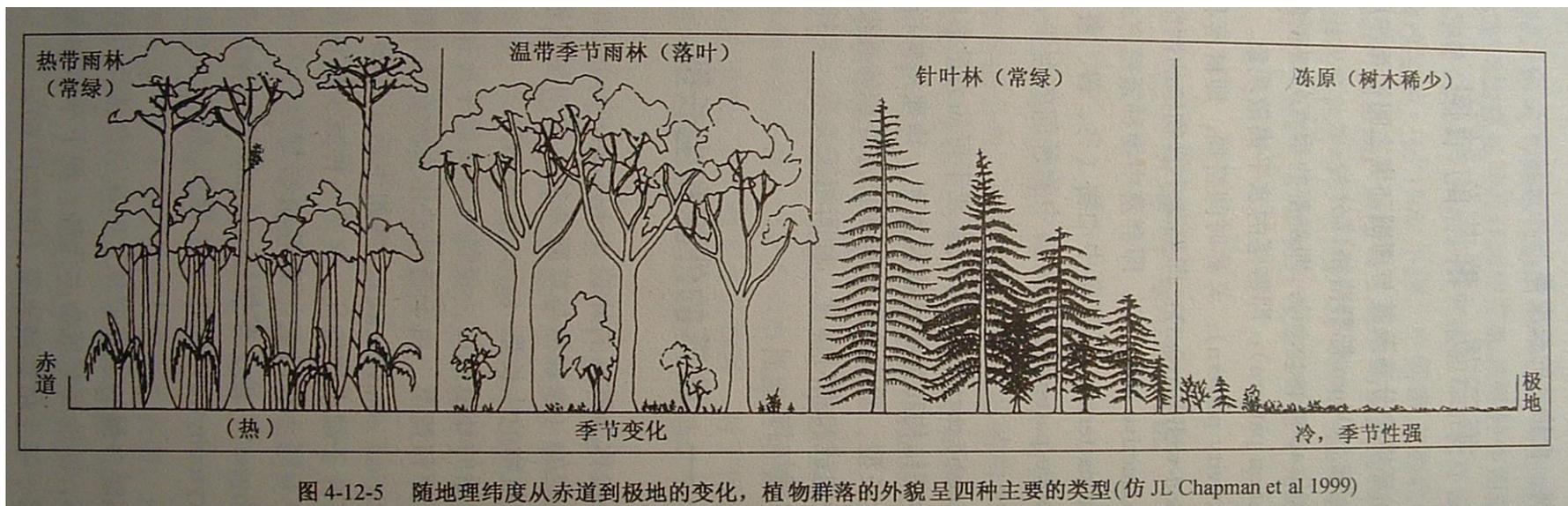


完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

Center for Sustainability and the Global Environment
University of Wisconsin - Madison

(引自：谢尼阔夫, 1950)

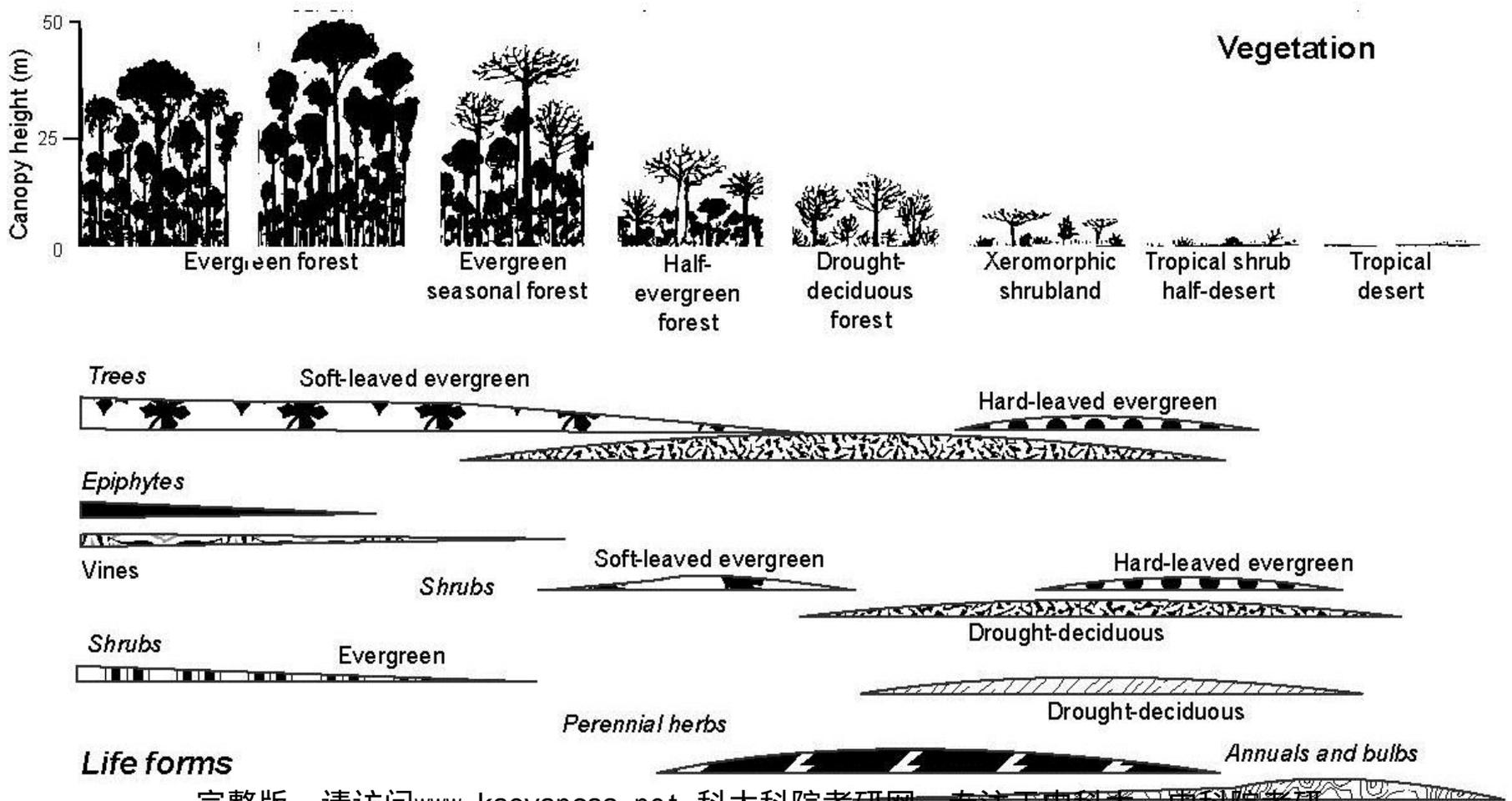
■ 植被纬度地带性分布规律



生物群落分布特征

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

热带地区植物生活型随降雨梯度分布特征

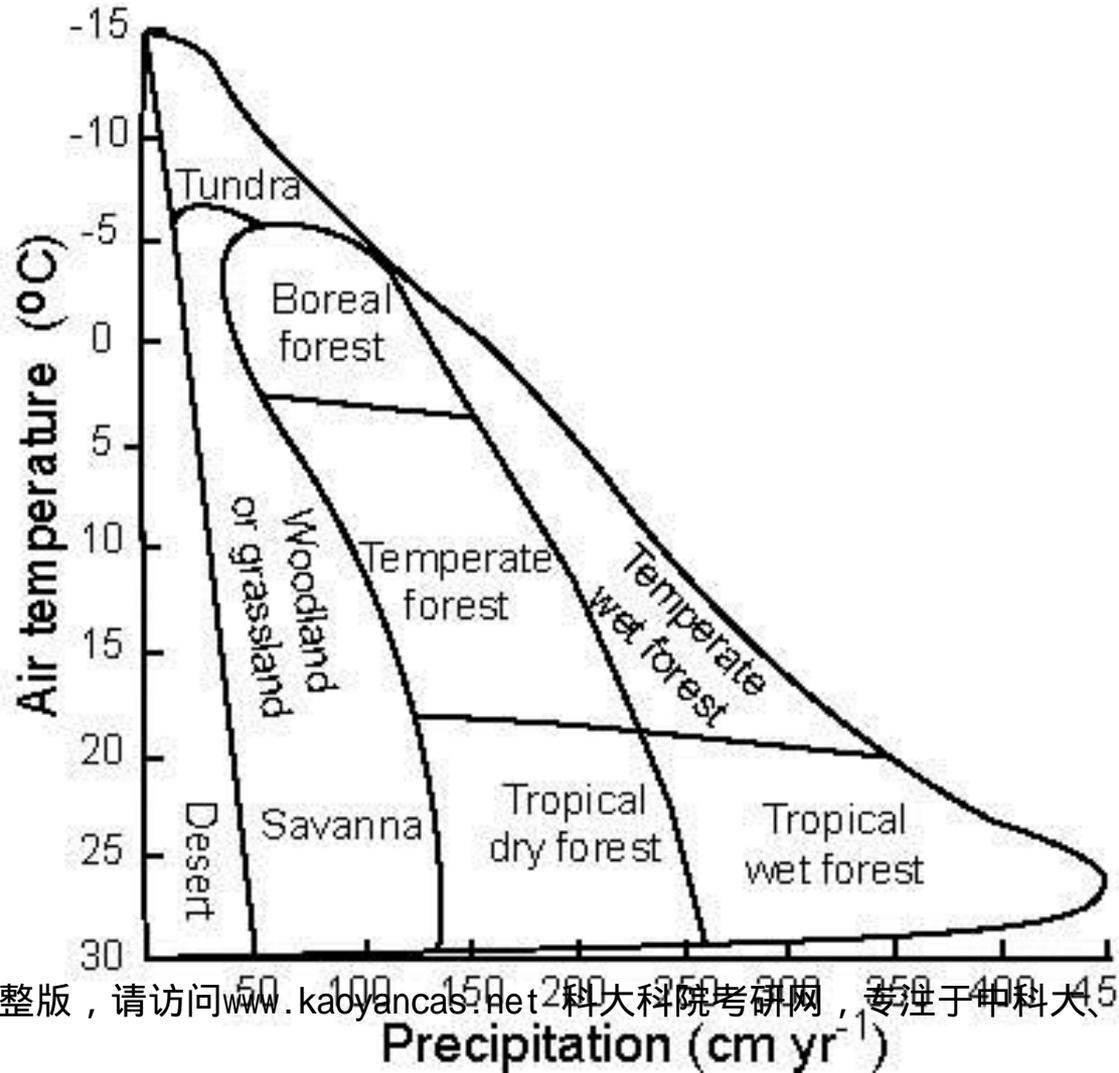


完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于申科大、中科院考研

生物群落分布特征

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

■ 植被类型与气候的关系



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

Precipitation (cm yr⁻¹)

生物群落分布特征

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

世界植被垂直地带性分布规律

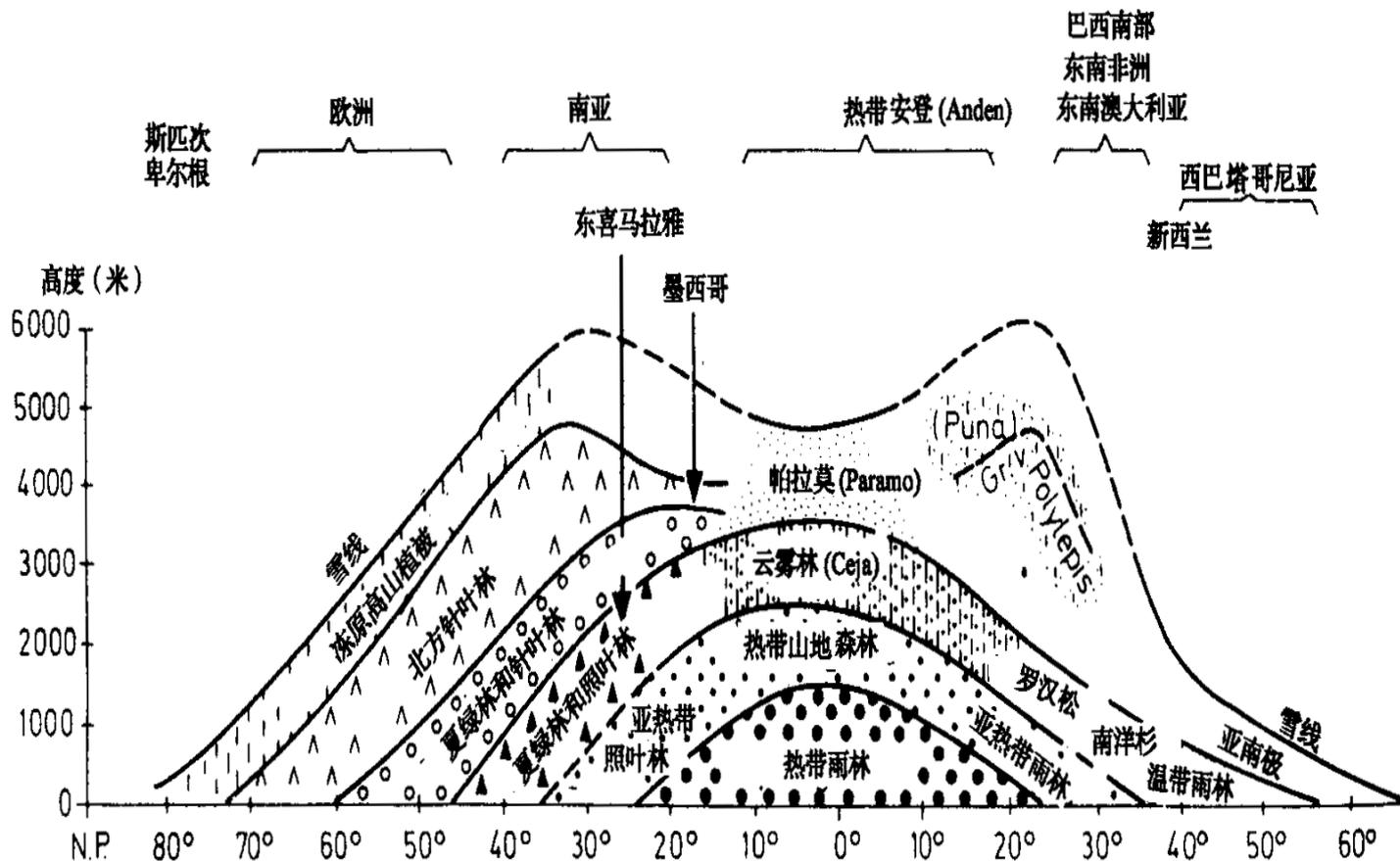


图 13-15 地球上湿润地区南北剖面上的植被垂直带和水平带
完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研
(根据：Troll & Walter, 依：Schubert, 1991, 转引自：Dierschke, 1994)

生物群落分布特征

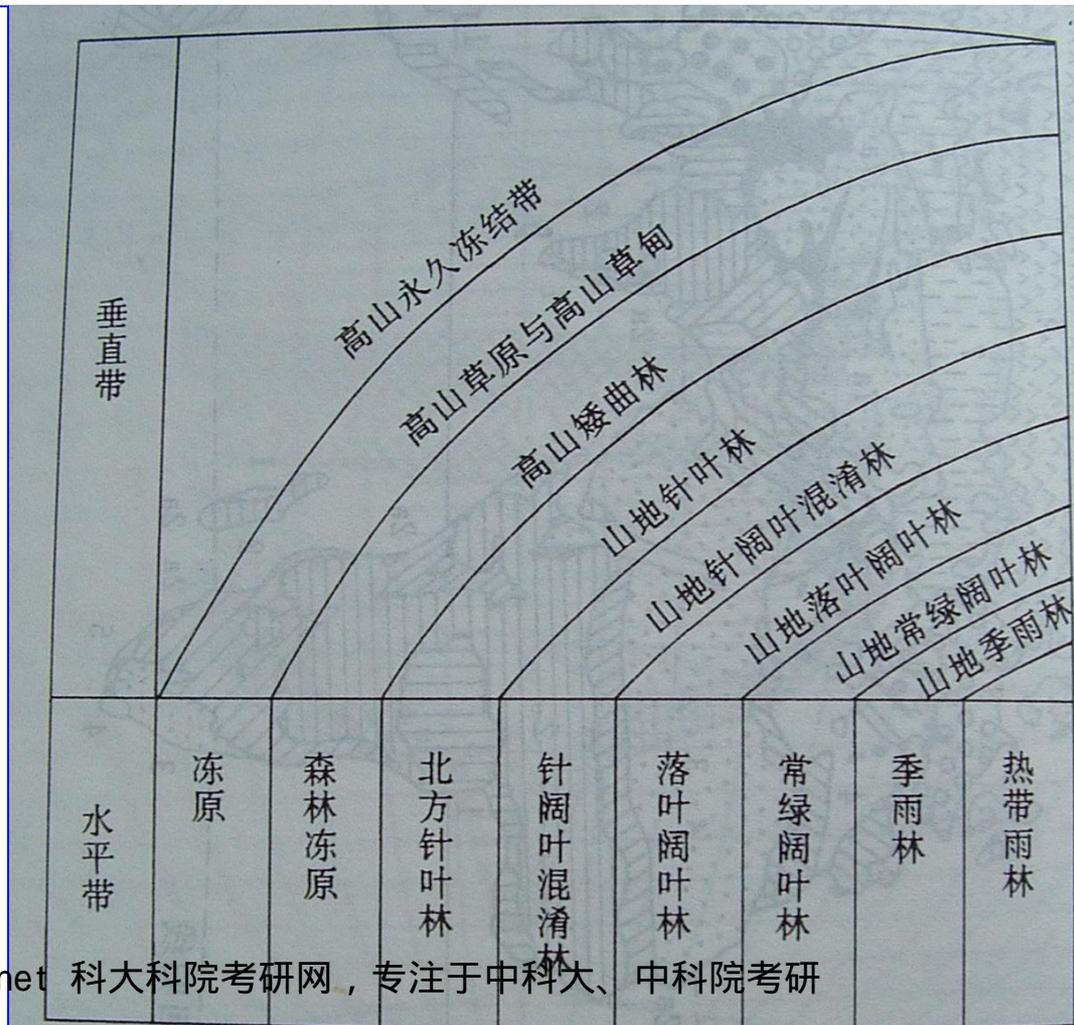
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

■ 垂直地带性分布规律

山体的植被垂直带，是反映山体所处的一定纬度和一定经度的水平地带性的特征

植被垂直地带性是从属于水平地带性的特征

在水平地带性和垂直地带性相互关系中，水平地带性是基础，它决定着山地垂直地带的系统。



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

生物群落分布特征

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

Holdridge生命地带分类系统

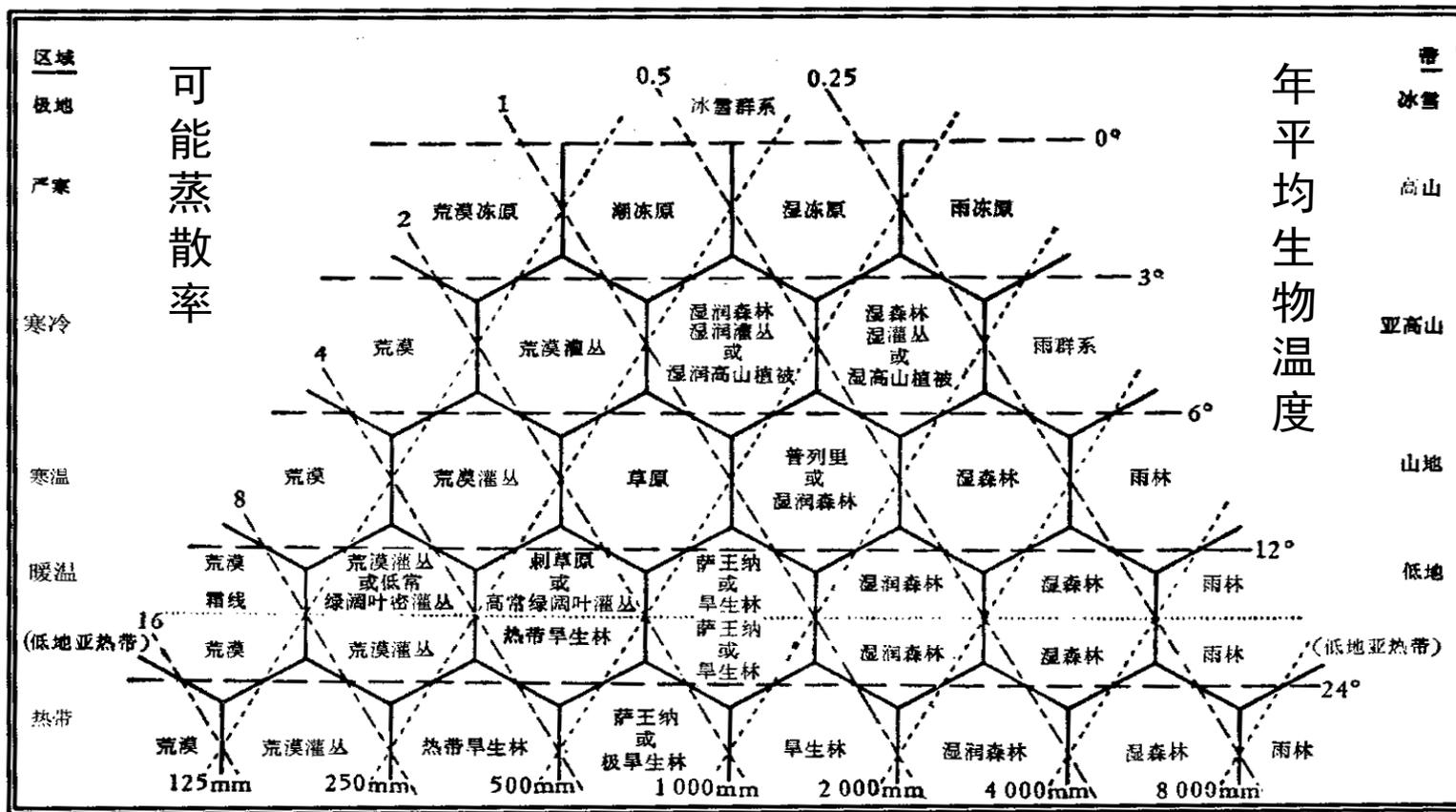


图 6-6 Holdridge 生命地带分类系统图式

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

(转引自: Beard, 1975, 1980)

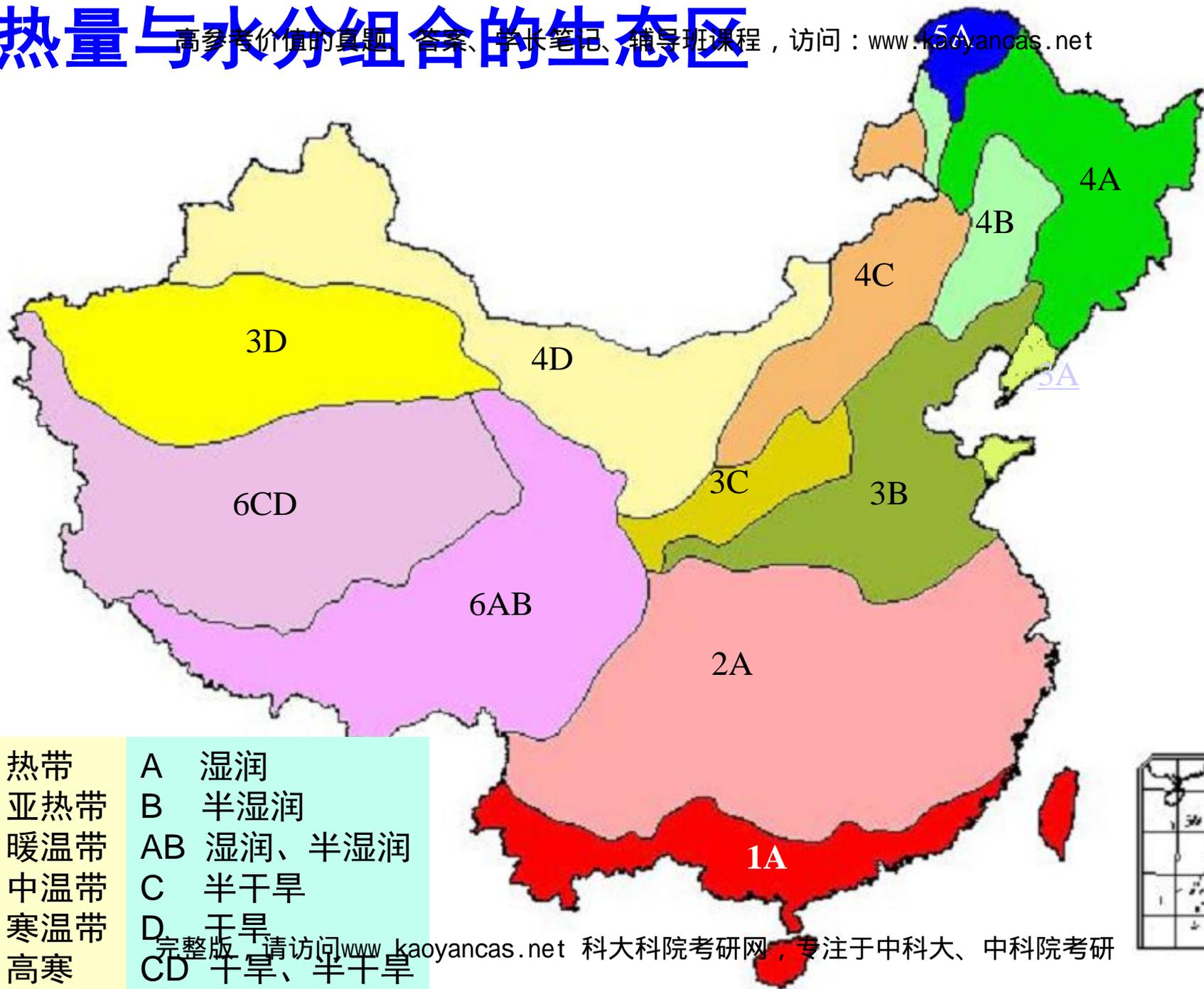
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

中国生物群落分布特征

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

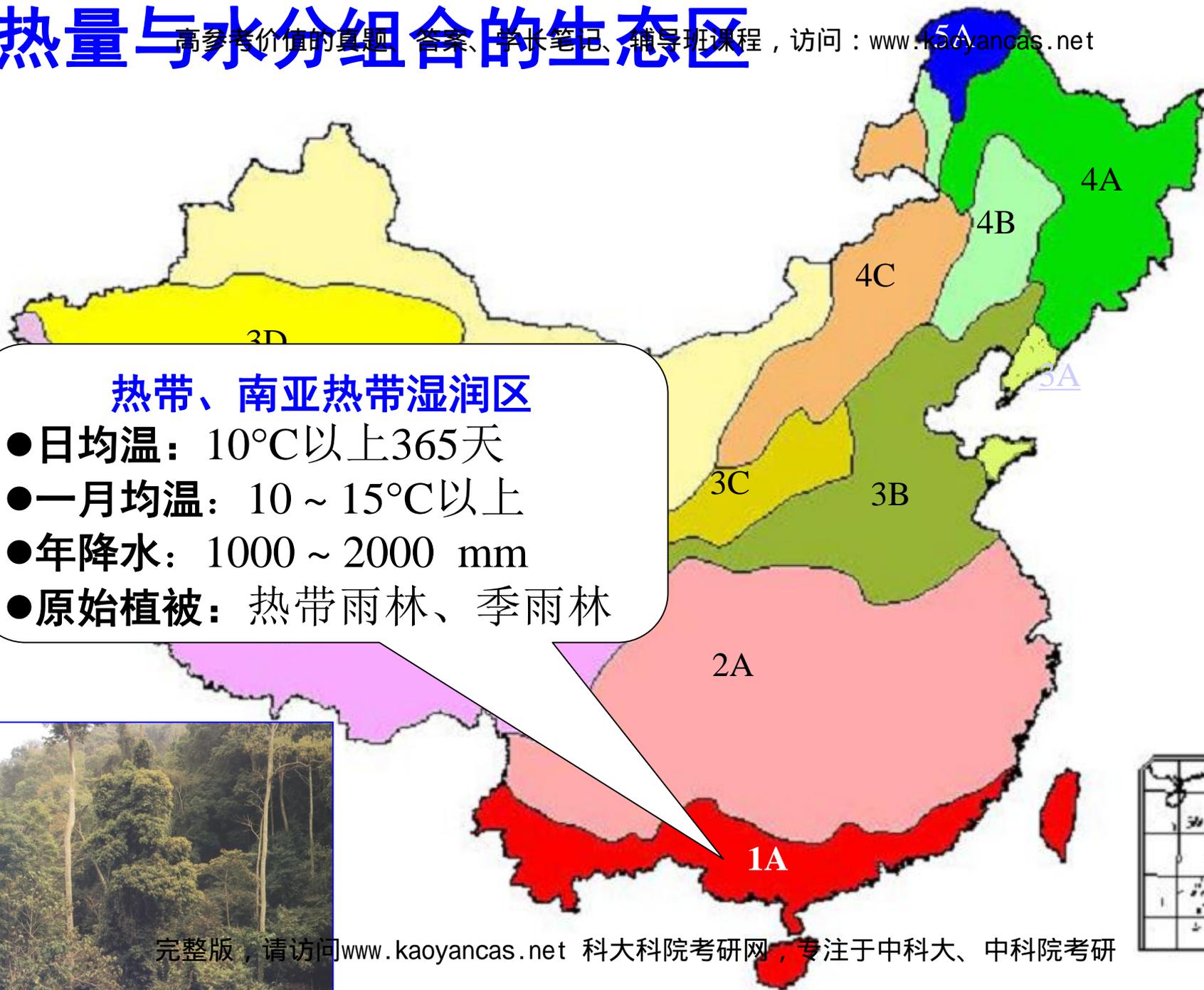
热量与水分组合的生态区

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



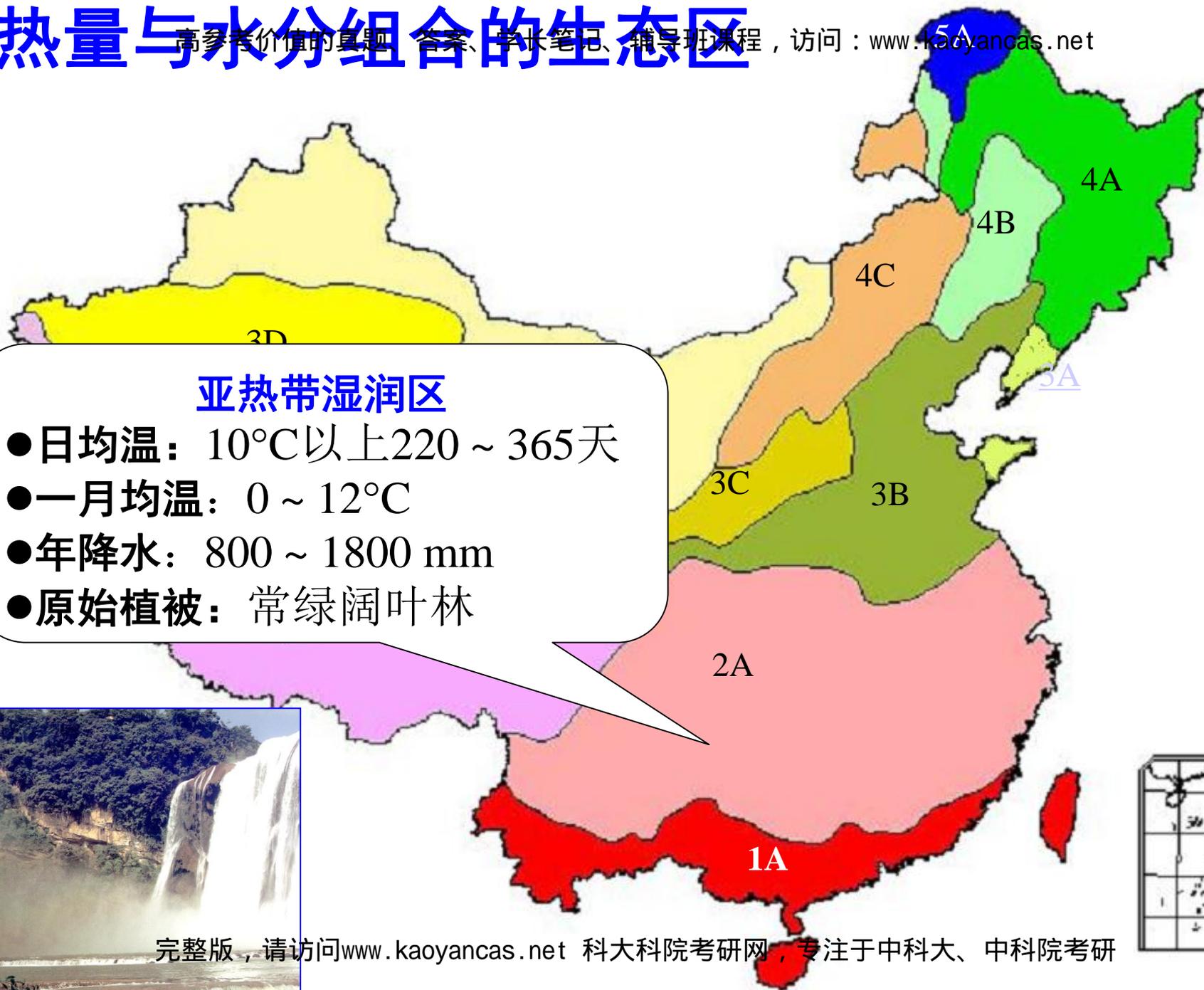
热量与水分组合的生态区

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



热量与水分组合的生态区

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

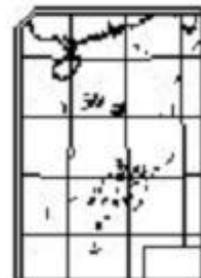


亚热带湿润区

- 日均温：10°C以上220 ~ 365天
- 一月均温：0 ~ 12°C
- 年降水：800 ~ 1800 mm
- 原始植被：常绿阔叶林

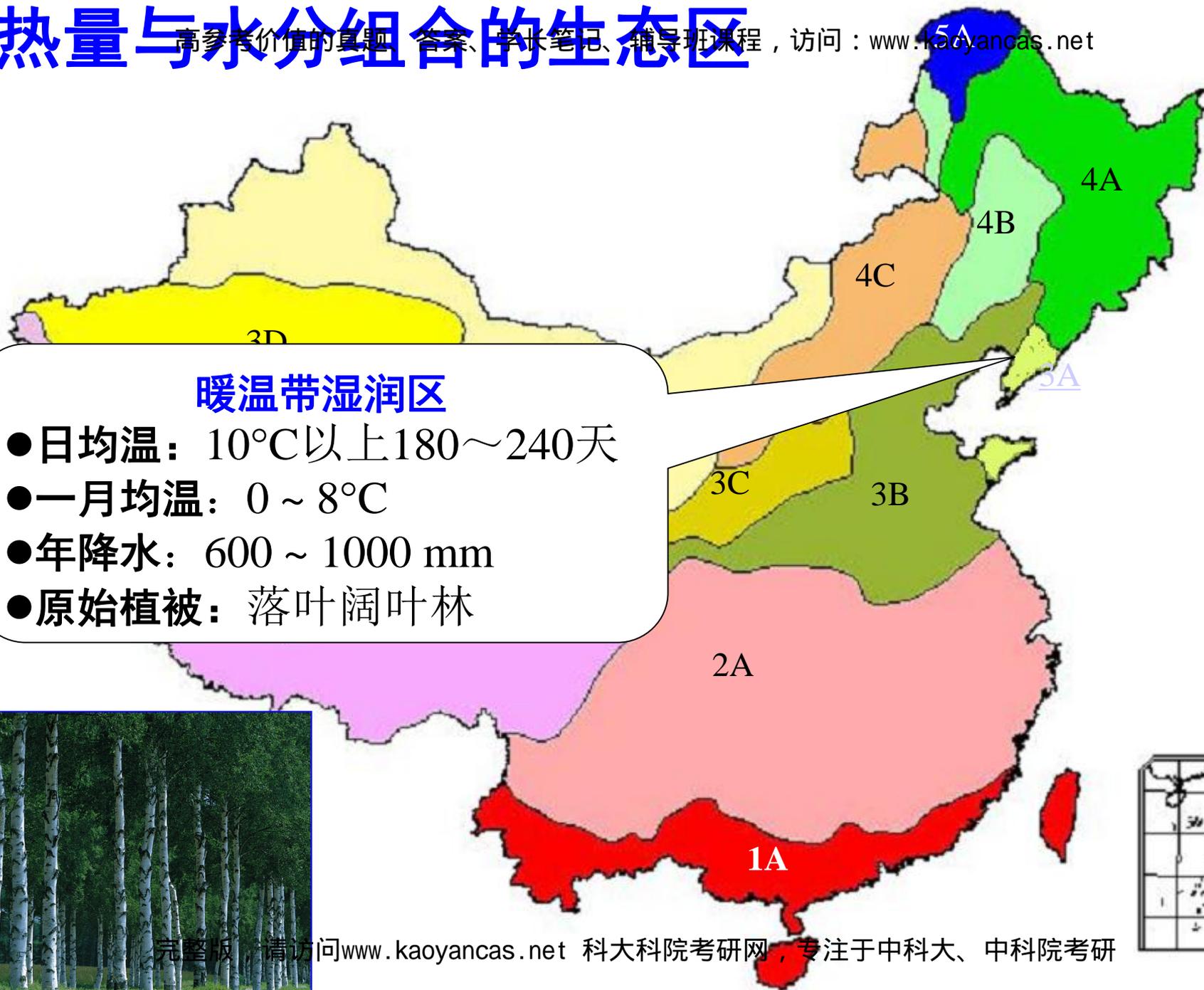


完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研



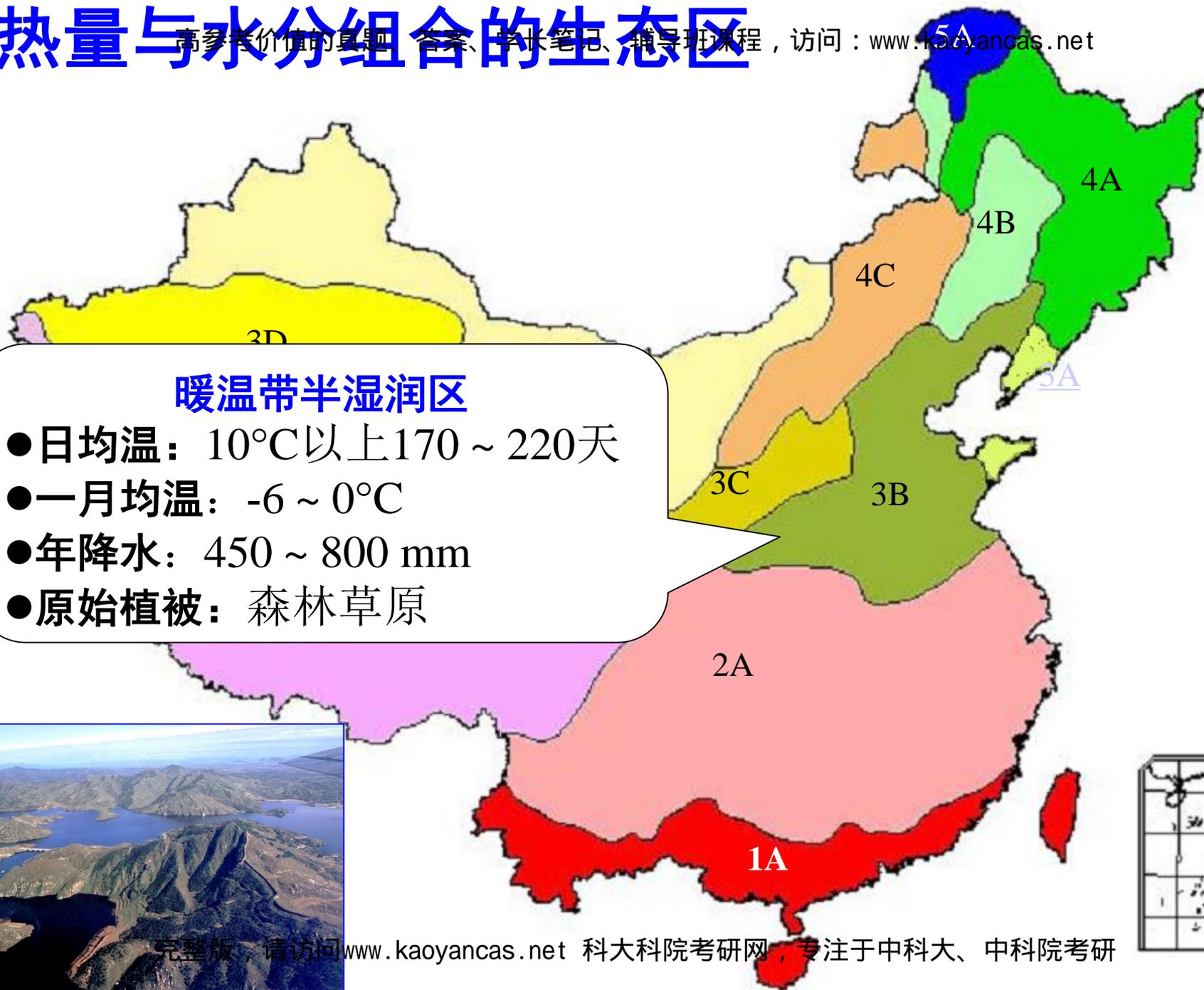
热量与水分组合的生态区

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



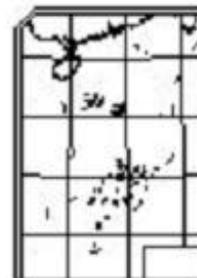
热量与水分组合的生态区

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



暖温带半湿润区

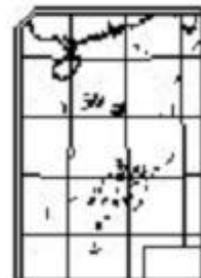
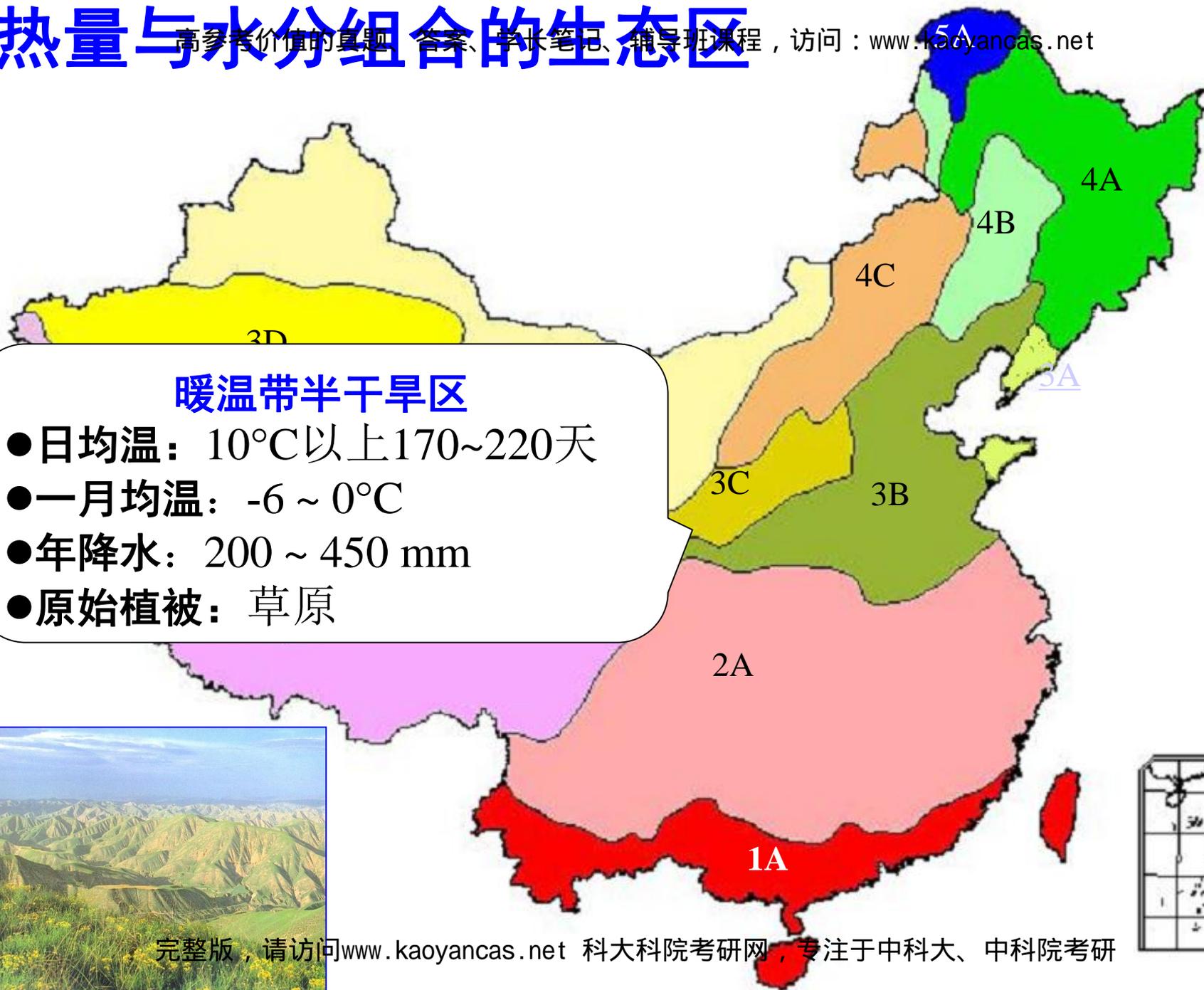
- 日均温：10°C以上170 ~ 220天
- 一月均温：-6 ~ 0°C
- 年降水：450 ~ 800 mm
- 原始植被：森林草原



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

热量与水分组合的生态区

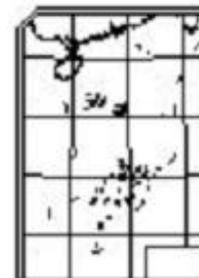
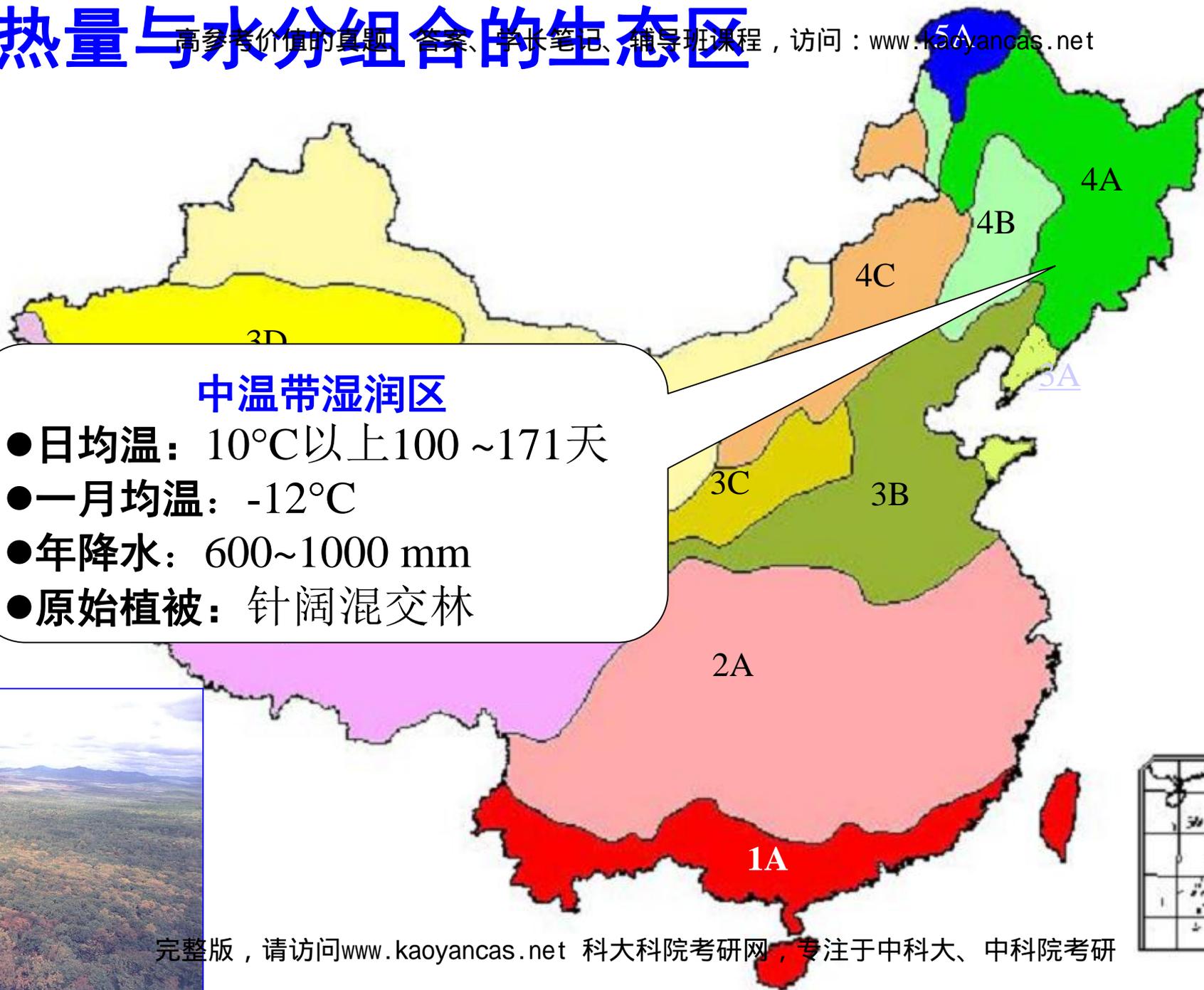
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



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

热量与水分组合的生态区

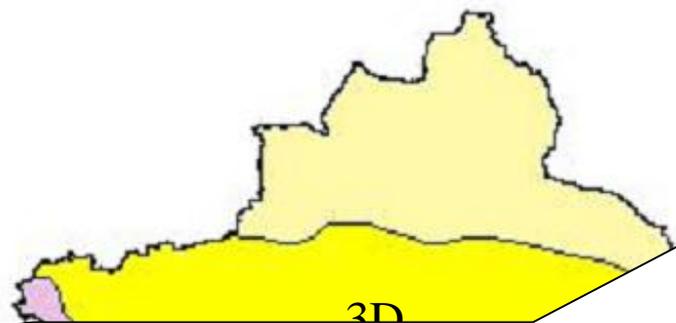
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



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

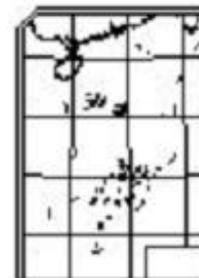
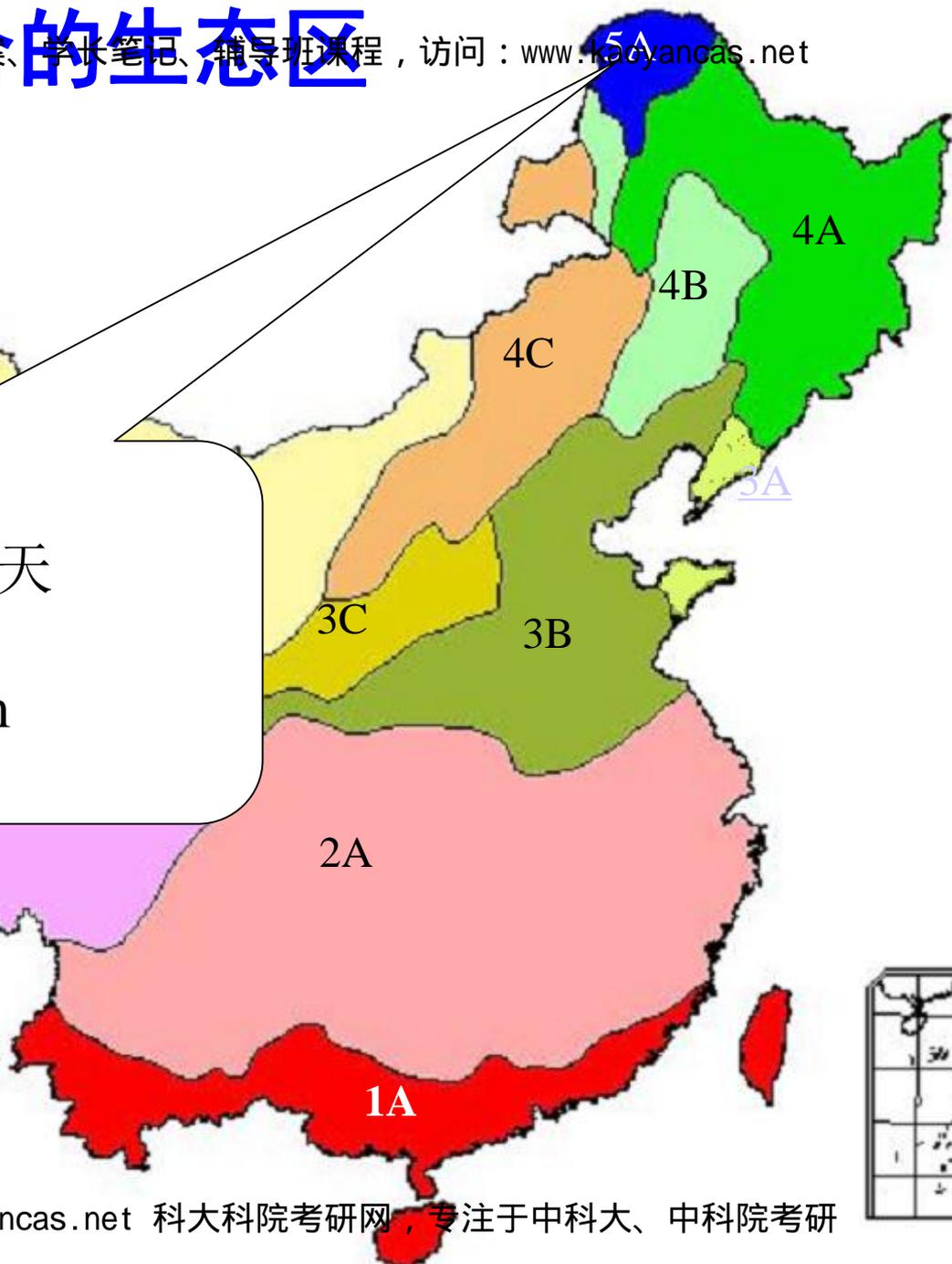
热量与水分组合的生态区

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



寒温带湿润区

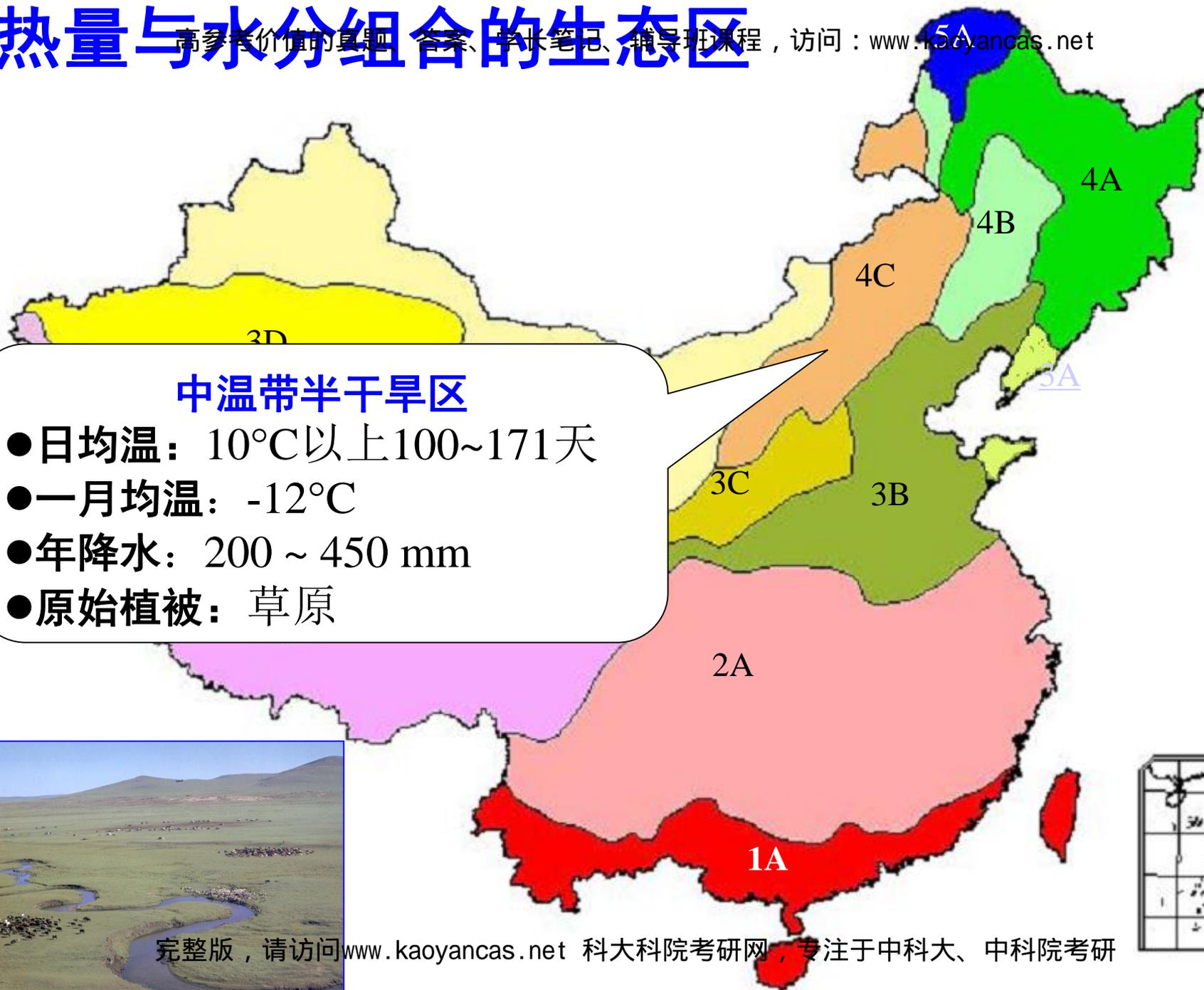
- 日均温：10°C 小于100天
- 一月均温：-20°C
- 年降水：400 ~ 800 mm
- 原始植被：针叶林



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

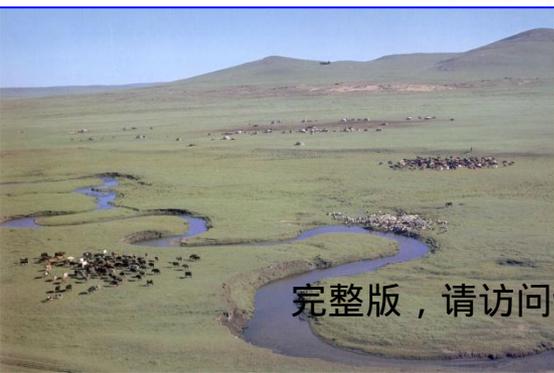
热量与水分组合的生态区

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

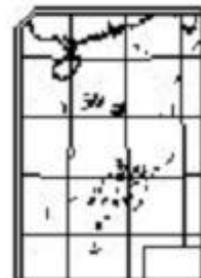


中温带半干旱区

- 日均温：10°C以上100~171天
- 一月均温：-12°C
- 年降水：200 ~ 450 mm
- 原始植被：草原

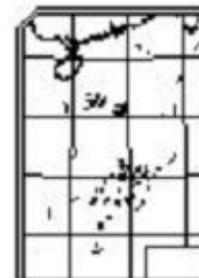
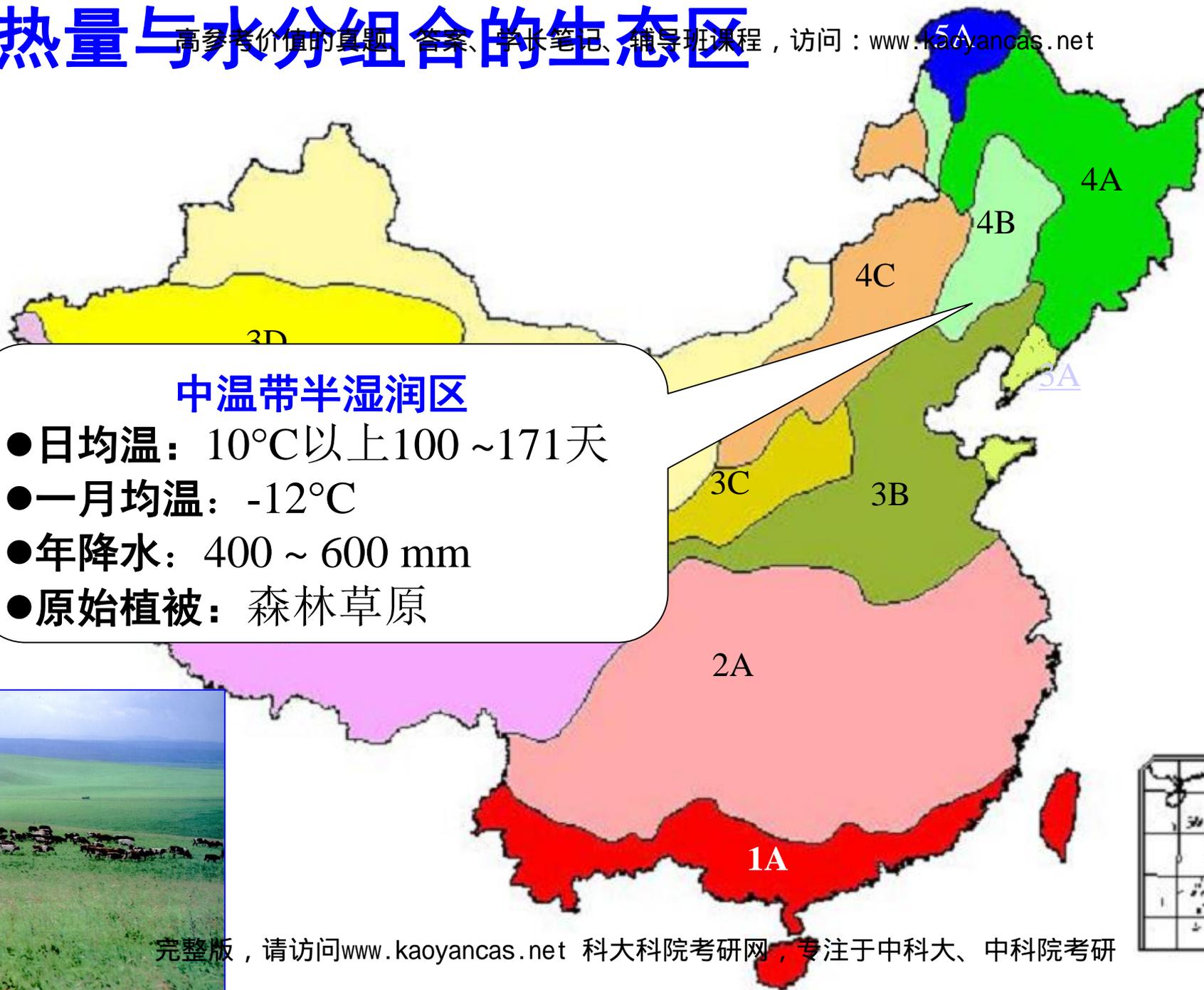


完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研



热量与水分组合的生态区

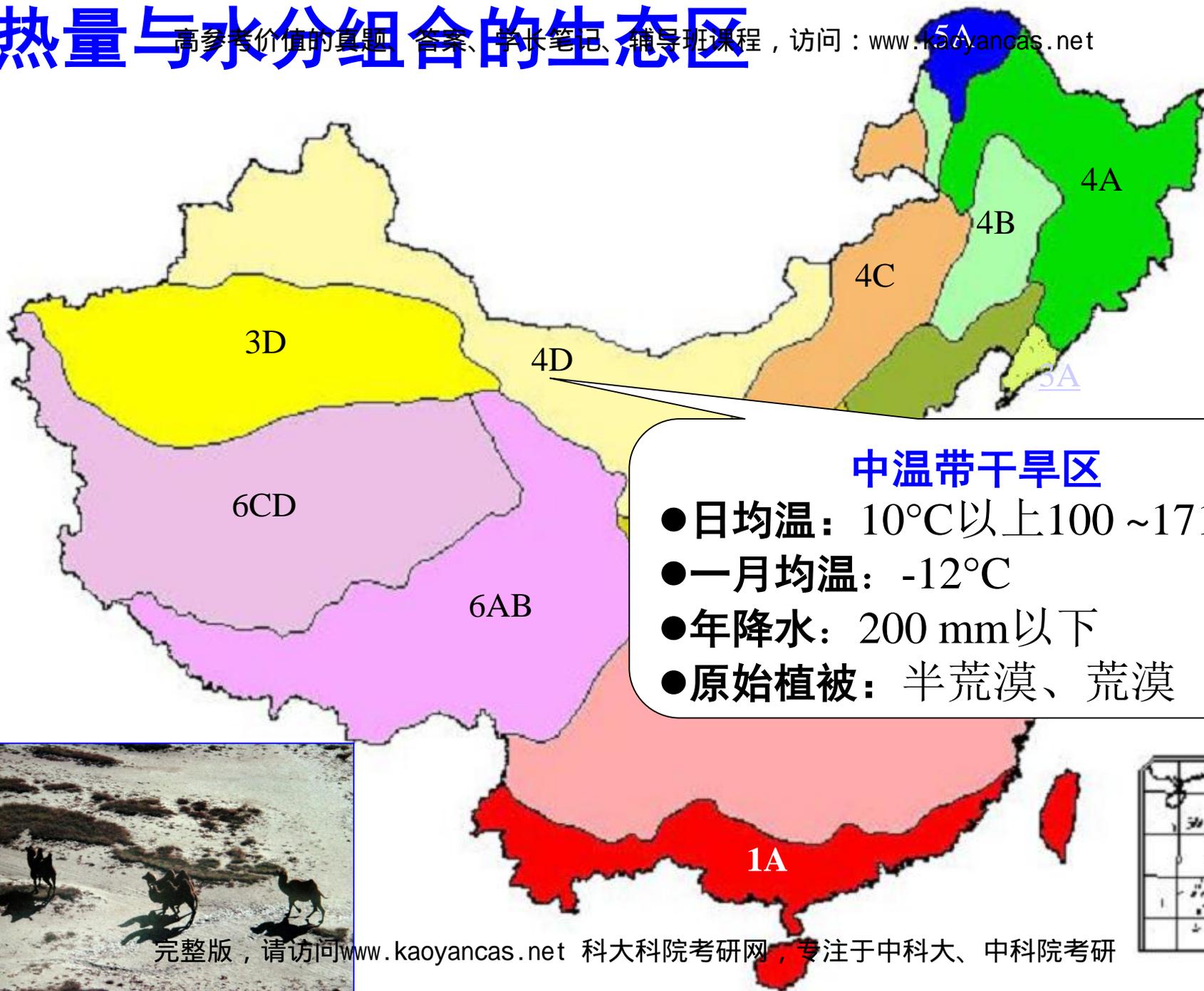
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



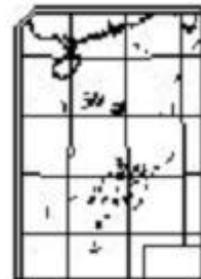
完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

热量与水分组合的生态区

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

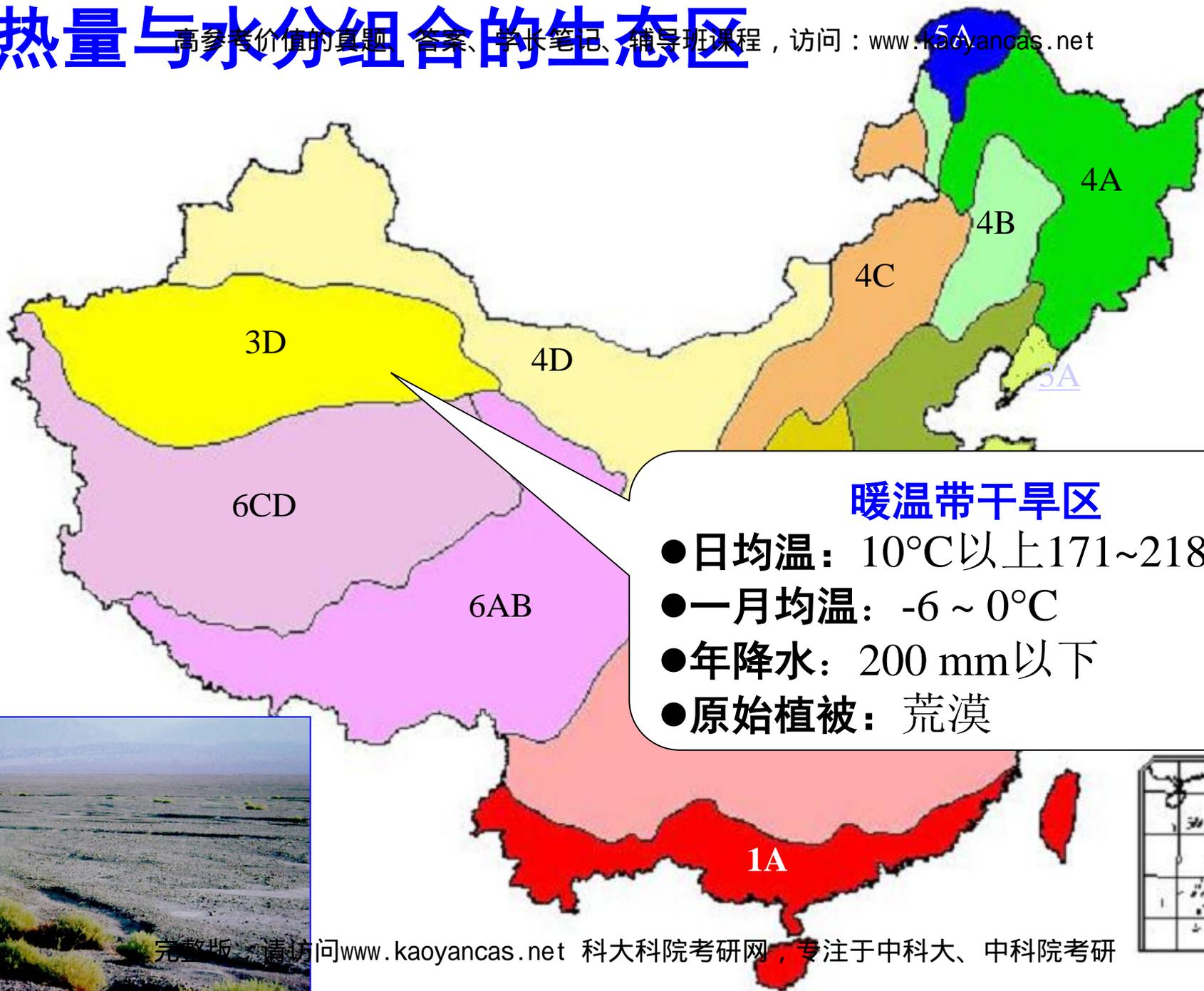


完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研



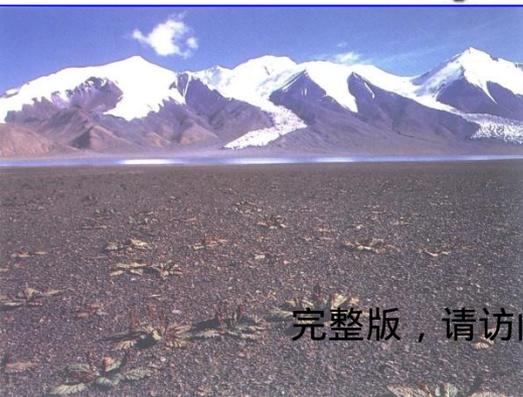
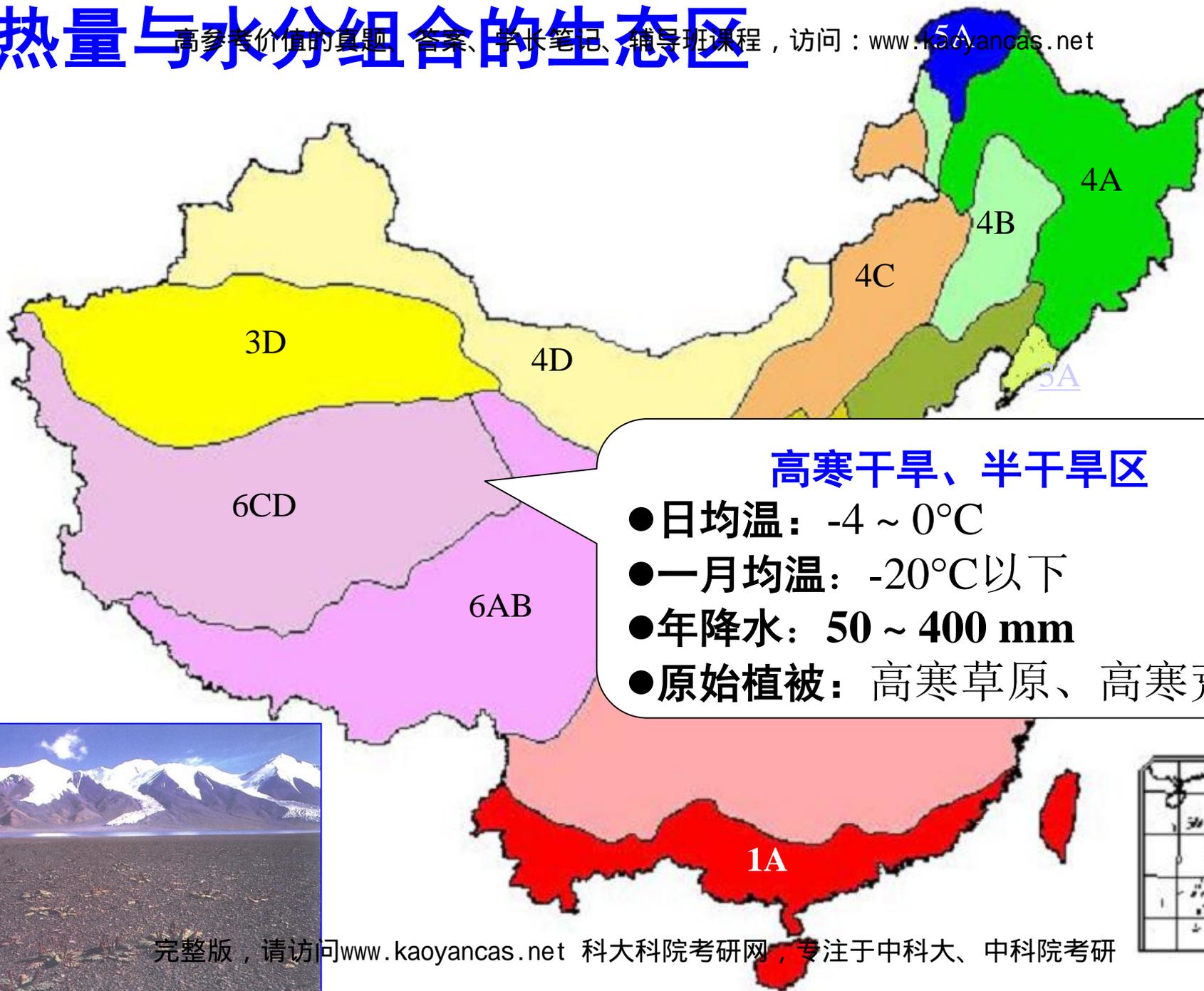
热量与水分组合的生态区

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



热量与水分组合的生态区

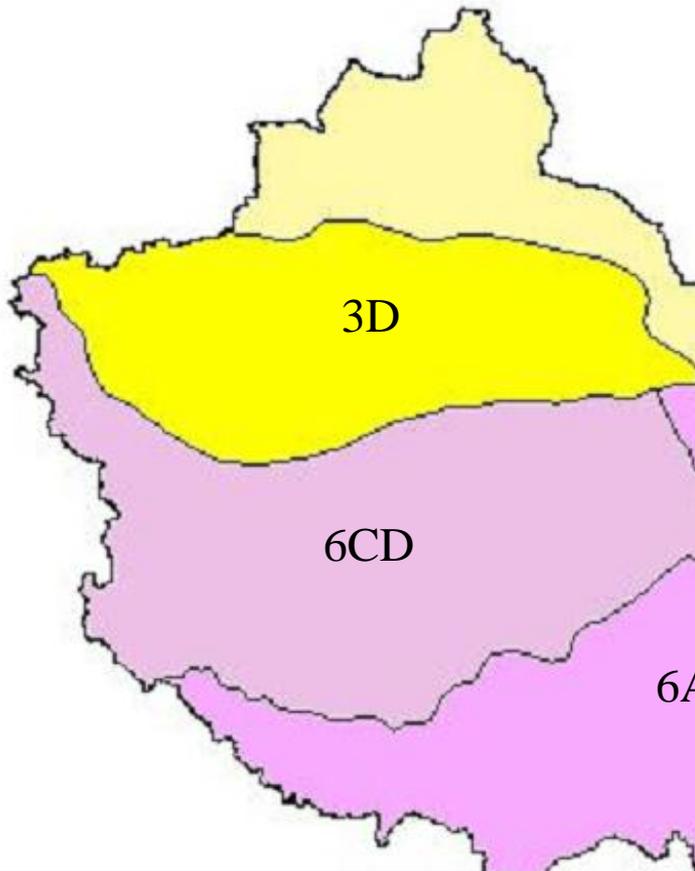
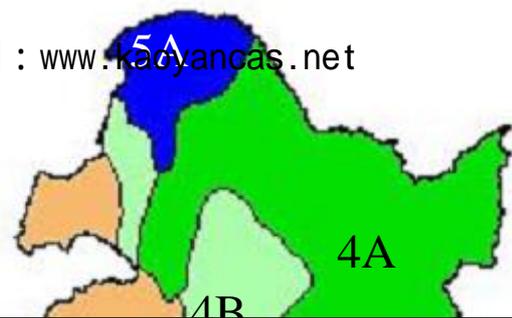
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



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

热量与水分组合的生态区

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



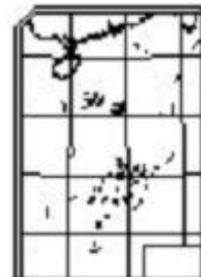
高原湿润、半湿润区

- 日均温：0 ~ 16 °C
- 一月均温：-4 ~ 8 °C
- 年降水：400 ~ 800 mm
- 原始植被：高寒草甸、高寒灌丛草甸

6AB

2A

1A



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

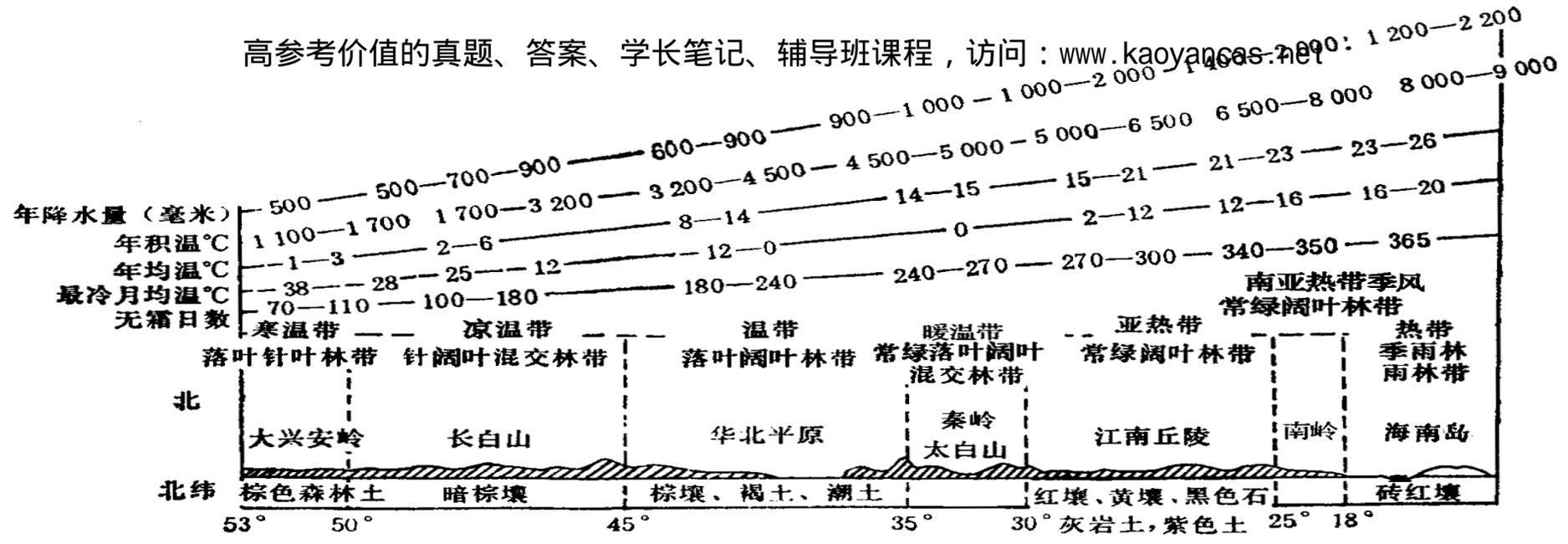


图 13-13 中国东部(120°~110°E)植被水平分布的纬向变化
(引自：侯学煜, 1983, 稍变动)

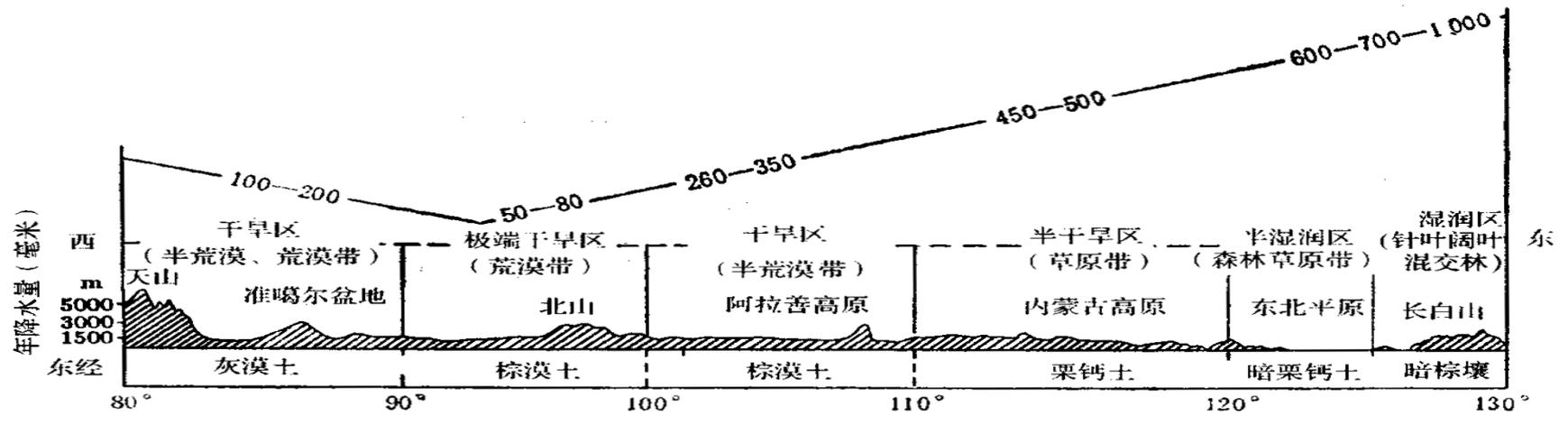
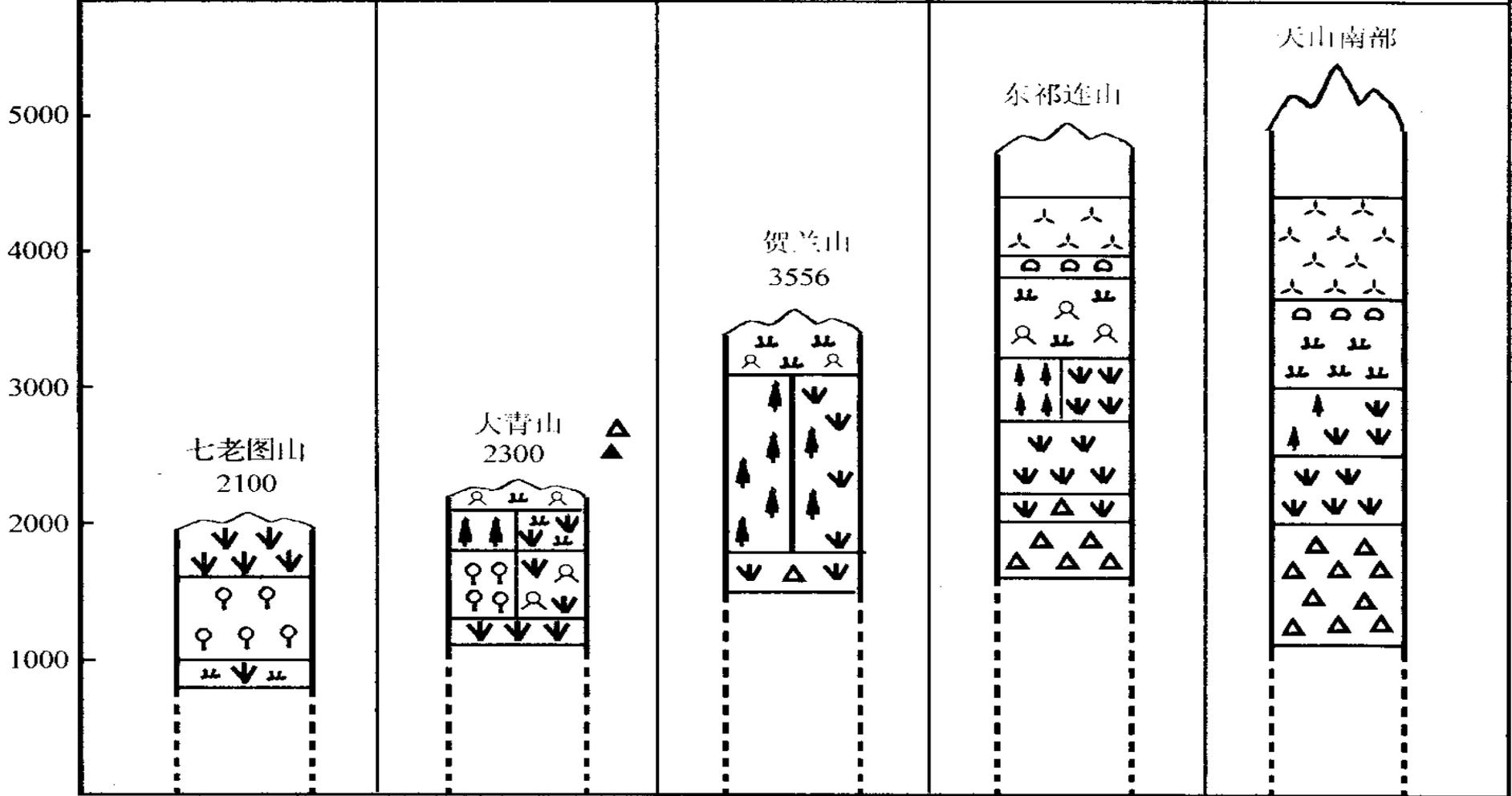


图 13-14 中国温带(40°~45°N)植被水平分布的经向变化
完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研
(引自：侯学煜, 1983, 稍变动)



阴坡 阳坡 阴坡 阳坡 阴坡 阳坡 阴坡 阳坡 阴坡 阳坡

- ▼▼ 草原
- ▼ 艹 草甸草原
- 艹 艹 草甸
- ▲▲ 荒漠
- ▲▼ 荒漠草原
- 冰雪带
- ♀♀ 落叶阔叶林
- ♣♣ 针叶林
- 只 艹 灌丛草甸
- 垫状植被
- 人 人 冰雪稀疏植被

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

图 13-17 西部干旱区山地植被垂直带谱

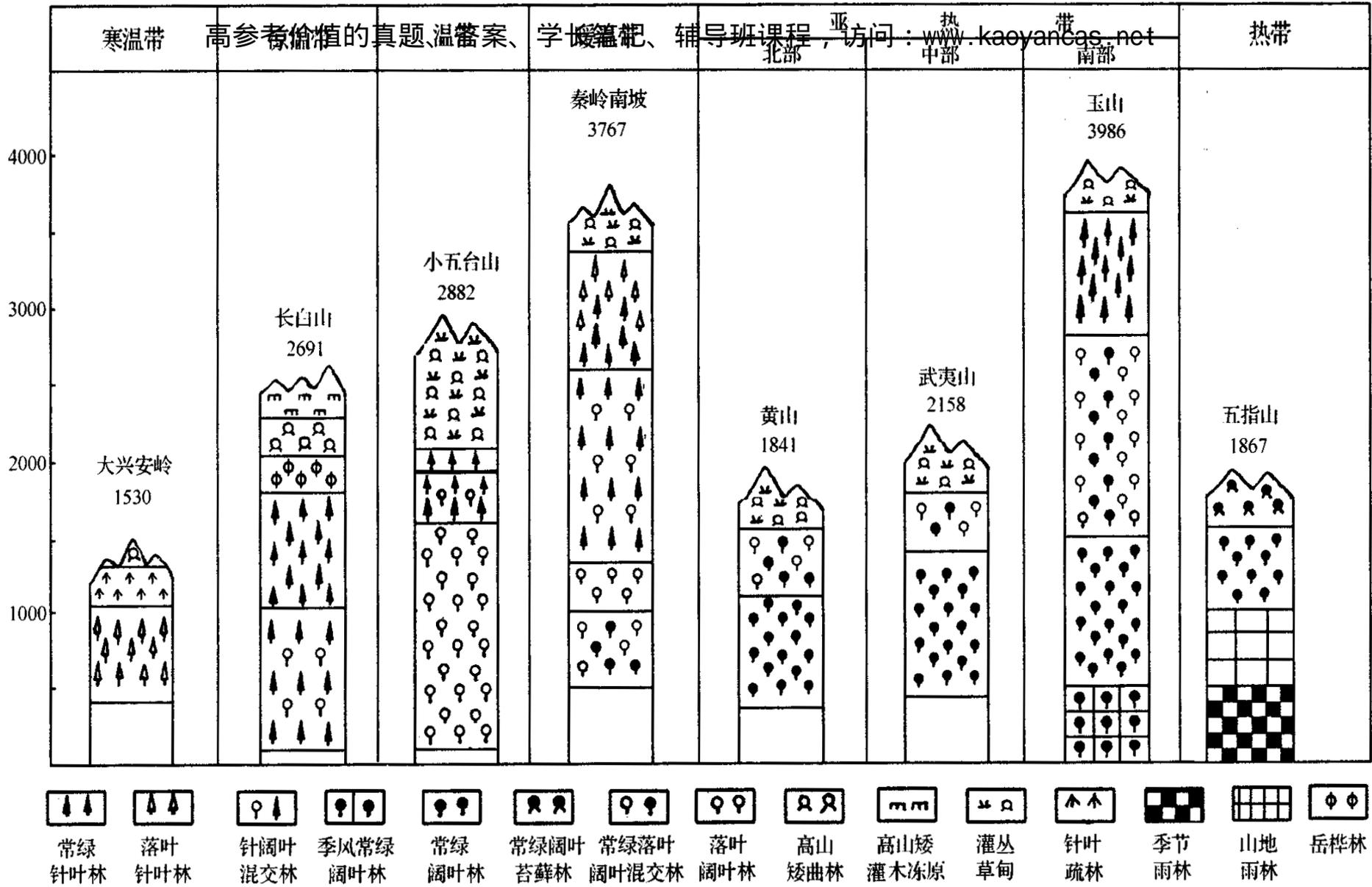


图 13-16 中国东部湿润区山地植被垂直带谱

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

(根据: 吴征镒等, 1980, 部分变动)

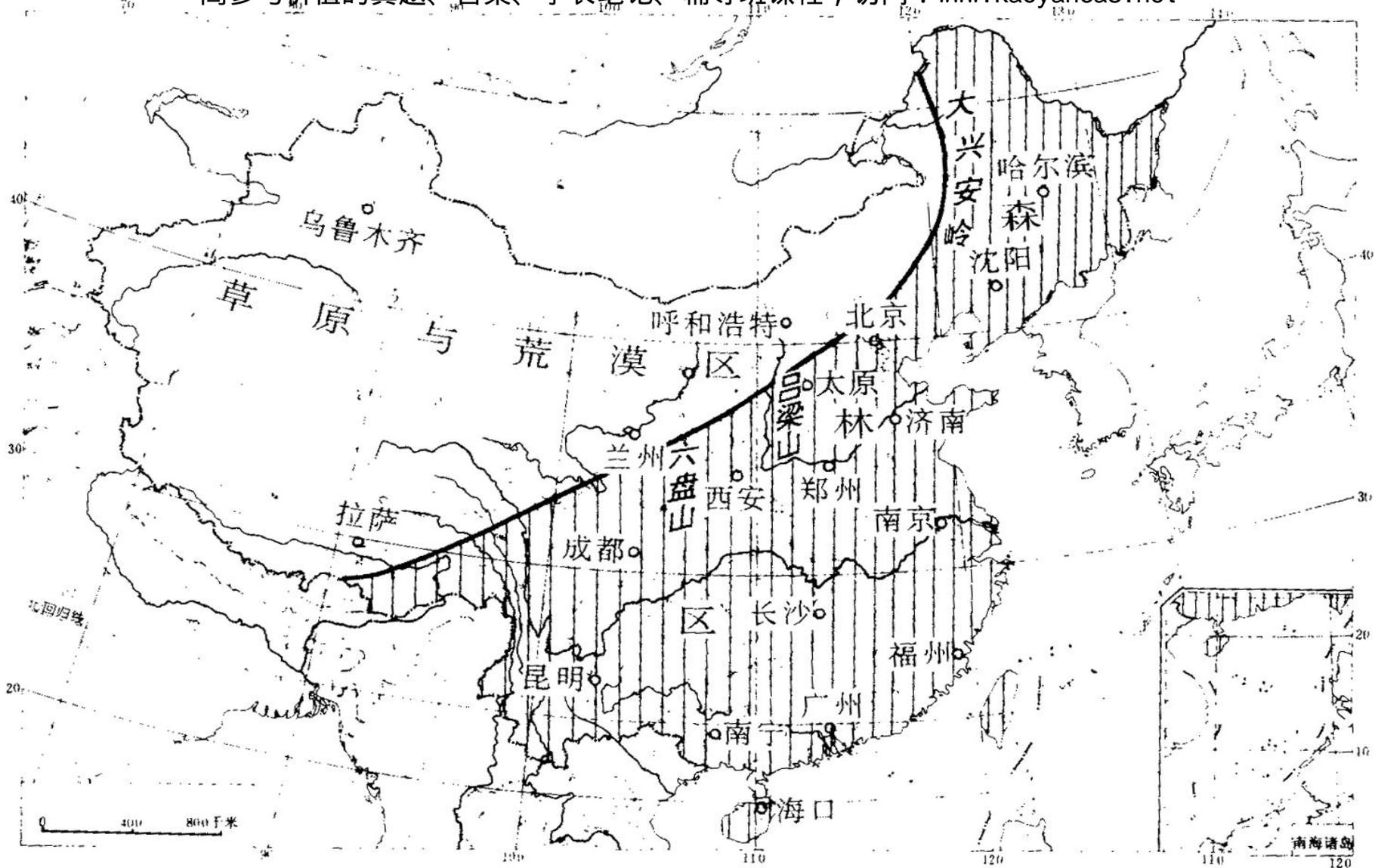
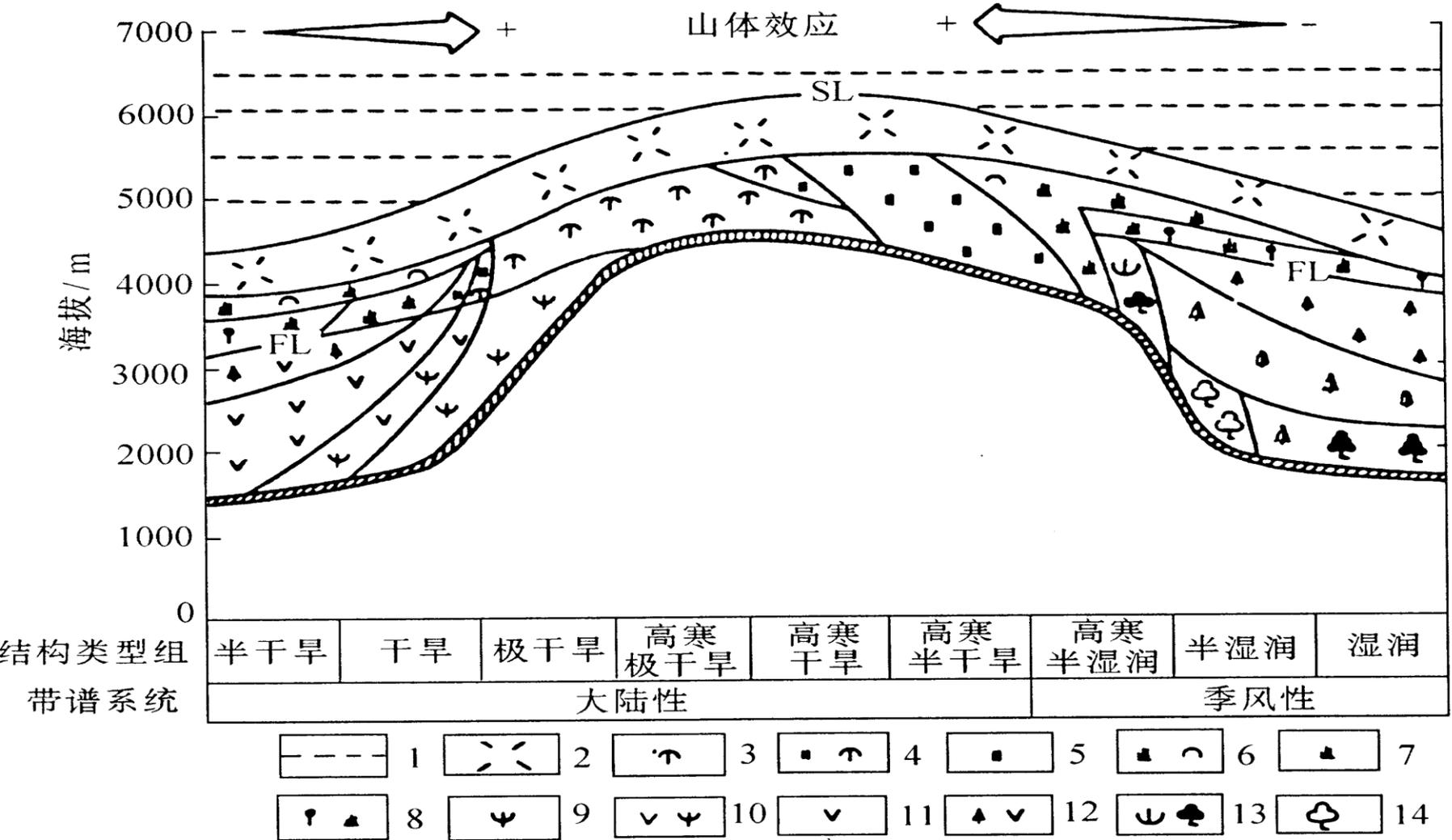
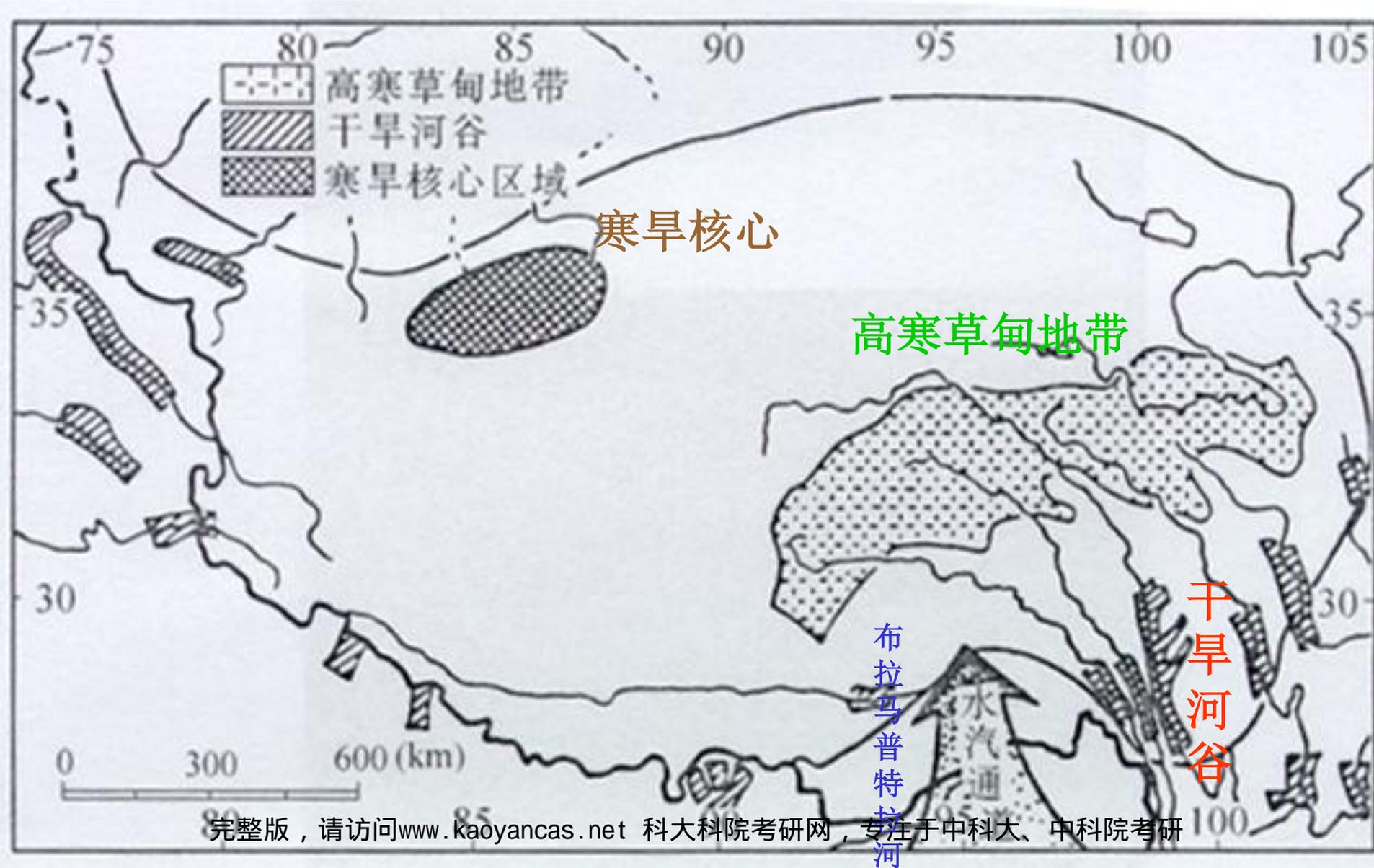


图 2-3 中国森林的水平分布图

垂直自然带结构类型的分布模式

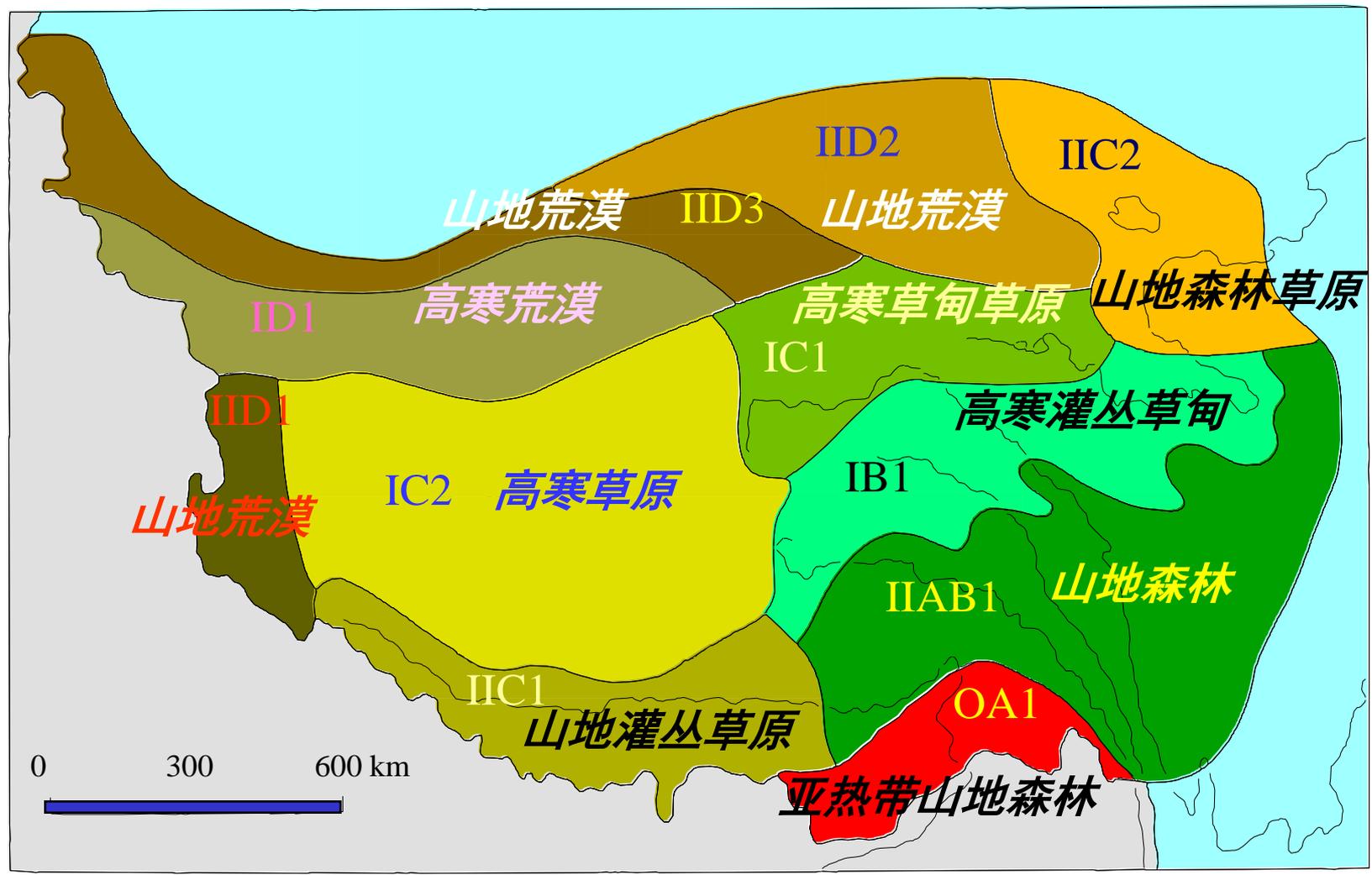


青藏高原独特的地生态现象与空间格局



青藏高原自然地域系统

学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



七、生物多样性与稳定性

- 群落多样性及其测度
- 群落多样性与稳定性观点及假说
- 典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 群落多样性

- 1943年，Williams在研究鳞翅目昆虫物种多样性时，首次提出了“多样性指数”概念，70年代以后，多样性测度方法发展迅速
- 群落多样性(community diversity)指群落中包含的物种数目和个体在中间的分布特征。实际上群落多样性研究的是物种水平上的生物多样性。
- 多样性指数是反映丰富度和均匀度的综合指标。应指出的是，应用多样性指数时，具低丰富度和高均匀度的群落与具高丰富度与低均匀度的群落，可能得到相同的多样性指数。
- 生物群落的物种多样性指数可分为： α 多样性指数、 β 多样性指数和 γ 多样性指数

■ 群落多样性

- **α 多样性**：反映群落内部物种数和物种相对多度的一个指标，主要表明群落本身的物种组成和个体数量分布的特征，或局域均匀生境下的物种数目，也称为生境内的多样性(within-habitat diversity)。
- **β 多样性**：指物种与种的多度沿群落内部或群落间的环境梯度从一个生境到另一生境的变化速率和范围。主要用以表明群落内或群落间环境异质性的对物种数和相对多度的影响。也称为生境间的多样性(between-habitat diversity)，控制 β 多样性主要因子有土壤、地貌及干扰等。
- **γ 多样性**：指不同地理地带的群落间物种的更新替代速率。主要表明群落间环境异质性大小对物种数的影响。也被称为区域多样性(regional diversity)。控制 γ 多样性的生态过程主要为水热动态、气候和物种形成及演化的历史。

■ 多样性的测度方法—— α 多样性指数

包含两方面含义：①物种丰富度；②物种均匀度。

(1) 物种丰富度指数

a. Gleason(1922)指数 $D = S/\ln A$ A 为单位面积， S 为群落中的物种数目。

b. Margalef(1951, 1957, 1958)指数 $D = (S-1)/\ln N$ S 为群落中的总数目， N 为观察到的个体总数。

(2) Simpson指数 $D = 1/\sum P_i^2$ P_i 种的个体数占群落中总个体数的比例。

(3) 种间相遇机率(PIE)指数 $D = N(N-1)/\sum n_i(n_i-1)$

n_i 为种 i 的个体数， N 为所在群落的所有物种的个体数之和。

(4) Shannon-wiener指数 $H' = -\sum P_i \ln P_i$ 式中 $P_i = n_i/N$ 。

(5) Pielou均匀度指数 $J = H/H_{\max}$

H 为实际观察的物种多样性指数， H_{\max} 为最大的物种多样性指数，

$H_{\max} = \ln S$ (S 为群落中的总物种数)

■ 多样性的测度方法—— β 多样性指数

不同群落或某环境梯度上不同点之间的共有种越少， β 多样性越大。精确测定 β 多样性具有重要意义：

①指示生境被物种隔离的程度；②比较不同地段的生境多样性；③ β 多样性与 α 多样性一起构成总体多样性或一定地段的生物异质性。

(1) Whittaker指数 (β_w) $\beta_w = S/m\alpha - 1$ S 为所研究系统中记录的物种总数； $m\alpha$ 为各样方或样本的平均物种数。

(2) Cody指数 (β_c) $\beta_c = [g(H) + l(H)]/2$ $g(H)$ 是沿生境梯度 H 增加的物种数目； $l(H)$ 是沿生境梯度 H 失去的物种数目，即在上一个梯度中存在而在下一个梯度中没有的物种数目。

(3) Wilson-Shmida指数 (β_T) $\beta_T = [g(H) + l(H)]/2\alpha$

Cody指数与Whittaker指数结合形成的。变量含义与上述相同。

■ 群落物种多样性的梯度变化及影响因素

① 纬度梯度：

- 从热带到两极随着纬度的增加，生物群落的物种多样性有逐渐减少的趋势。
- 北半球从南到北，随着纬度的增加，植物群落依次出现为热带雨林、亚热带常绿阔叶林、温带落叶阔叶林、寒温带针叶林、寒带苔原
- 伴随着植物群落有规律的变化，物种丰富度和多样性逐渐降低。

■ 群落物种多样性的梯度变化及影响因素

② 海拔梯度

- 随着海拔的升高，在温度、水分、风力、光照和土壤等因子的综合作用下，生物群落表现出明显的垂直地带性分布规律
- 大多数情况下物种多样性与海拔高度呈负相关，即随着海拔高度的升高，群落物种多样性逐渐降低。
- 喜马拉雅山维管植物物种多样性的变化，就表现了这样的规律。

■ 群落物种多样性的梯度变化及影响因素

③ 环境梯度

- 群落物种多样性与环境梯度之间的关系，有的时候表现明显，而有的时候则表现不明显。
- Gartlan（1986）研究发现土壤中P、Mg、K的水平与热带植物群落物种多样性之间存在着显著的关系
- Gentry（1982）对植物群落物种多样性进行的研究表明，在新热带森林类型，物种多样性与年降雨量呈显著正相关，而在热带亚洲森林类型，两者则不存在相关关系。

■ 群落物种多样性的梯度变化及影响因素

④ 时间梯度

- 大多数研究表明，在群落演替的早期，随着演替的进展，物种多样性增加。
- 在群落演替的后期当群落中出现非常强的优势种时，多样性会降低。

■ 群落多样性与稳定性

➤ 多数生态学家认为：

- ✓ 群落的多样性是群落稳定性的一个重要尺度，多样性高的群落，物种之间往往形成了比较复杂的相互关系，食物链和食物网更加趋于复杂，当面对来自外界环境的变化或群落内部种群的波动时，群落由于有一个较强大的反馈系统，从而可以得到较大的缓冲。
- ✓ 从群落能量学的角度来看，多样性高的群落，能流途径更多一些，当某一条途径受到干扰被堵塞不通时，就会有其它的路线予以补充。

■ 群落多样性与稳定性

➤ May (1973, 1976) 等生态学家认为：

- ✓ 生物群落的波动是呈非线形的，复杂的自然生物群落常常是脆弱的，如热带雨林这一复杂的生物群落比温带森林更易遭受人类的干扰而不稳定。
- ✓ 共栖的多物种群落，某物种的波动往往会牵连到整个群落。
- ✓ 他们提出了多样性的产生是由于自然的扰动和演化两者联系的结果，环境的多变的不可测性使物种产生了繁殖与生活型的多样化。

➤ 在群落多样性与稳定性的关系上，目前仍未定论。

■ 物种多样性在生物群落中的功能和作用

物种以什么样的机制维持生物群落的稳定？这是一个非常重要的但是目前还仍然没有解决的生态学问题，而且是生物多样性与生物群落功能关系中的核心问题。

有关物种在生态系统中作用的假说有下列4种。

(1) 冗余种假说(Redundancy species hypothesis) :

生物群落保持正常功能需要有一个物种多样性的域值，低于这个域值群落的功能会受影响，高于这个域值则会有相当一部分物种的作用是冗余的(Walker 1992)。

■ 物种多样性在生物群落中的功能和作用

(2) 铆钉假说(Rivet hypothesis):

铆钉假说的观点与冗余假说相反，认为生物群落中所有的物种对其功能的正常发挥都有贡献而且是不能互相替代的(Ehrlich,1981)，正像由铆钉固定的复杂机器一样，任何一个铆钉的丢失都会使该机器的作用受到影响。

(3) 特异反应假说(Idiosyncratic response hypothesis):

特异反应假说认为生物群落的功能随着物种多样性的变化而变化，但变化的强度和方向是不可预测的，因为这些物种的作用是复杂而多变的。

(4) 零假说(Null hypothesis)

零假说认为生物群落功能与物种多样性无关，即物种的增减不影响生物群落功能的正常发挥。

■ 关于关键种的作用

4个假说中都没有对每个物种的作用程度做出明确的说明。

在生物群落中不同物种的作用是有差别的。其中有一些物种的作用是至关重要的，它们的存在与否会影响到整个生物群落的结构和功能，这样的物种即称为关键种(Keystone species)或关键种组(Keystone group)。

关键种的作用可能是直接的，也可能是间接的；关键种的鉴定目前比较成功的研究多在水域生态系统，而陆地生态系统的成功实例相对较少(Menge等,1994)。

群落多样性与稳定性观点及假说

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

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

1、MacArthur（1955）和Elton（1958）假说

群落多样性与稳定性呈正比。

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

- 物种多样性低的岛屿比物种多样性丰富的岛屿更容易受到外来物种的侵入
- 农田生态系统更容易受到病虫害的危害
- 数学模型模拟2物种的群落是不稳定的，可能多物种会稳定
- 实验室研究表明2物种难以维持稳定，容易导致一个种被排斥掉。
- 温带群落(多样性低)比热带群落(多样性高)更容易遭受昆虫爆发的危害。
- 具有多样性高的群落，食物网络复杂，能量流动途径多，干扰的影响将会降低，抗逆性高 (portfolio effect).

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

1、MacArthur（1955）和Elton（1958）假说

群落多样性与稳定性呈正比。

2、May（1972）的挑战

群落多样性（复杂性）与稳定性负相关。

- 群落生物多样性与生产力和稳定性关系
 - 复杂的模拟系统比不复杂的系统稳定性差
 - 对于一定物种的群落，当物种之间连接性和相互作用不是很强的时候稳定性较强

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

1、MacArthur（1955）和Elton（1958）假说

群落多样性与稳定性呈正比。

2、May（1972）的挑战

群落多样性（复杂性）与稳定性负相关。

3、综合的观点（Pimm 1984）

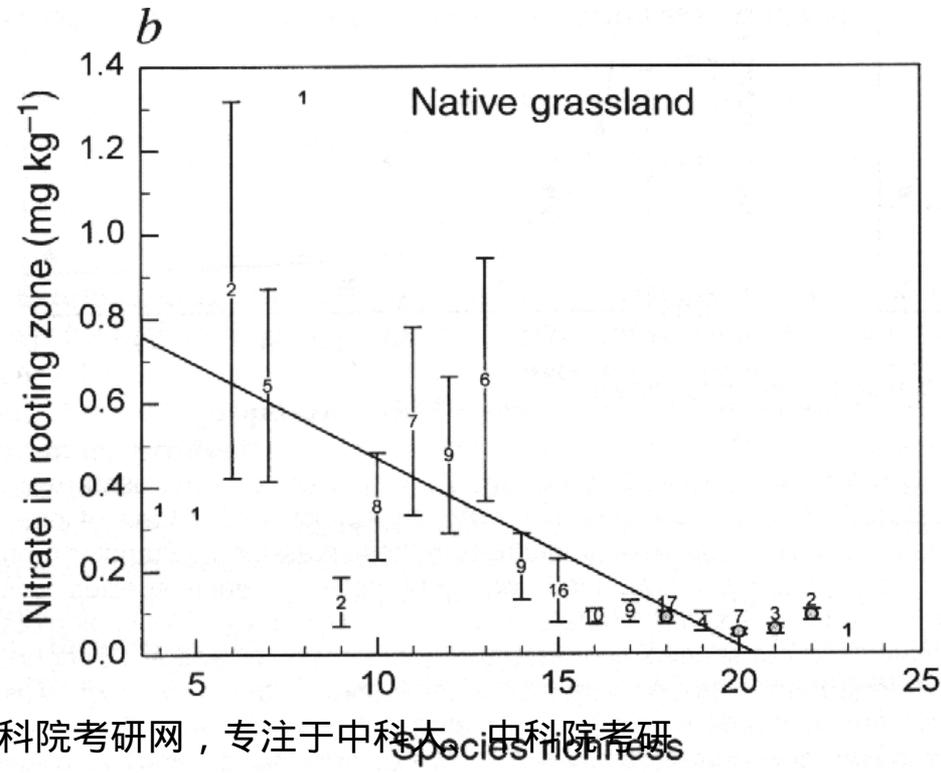
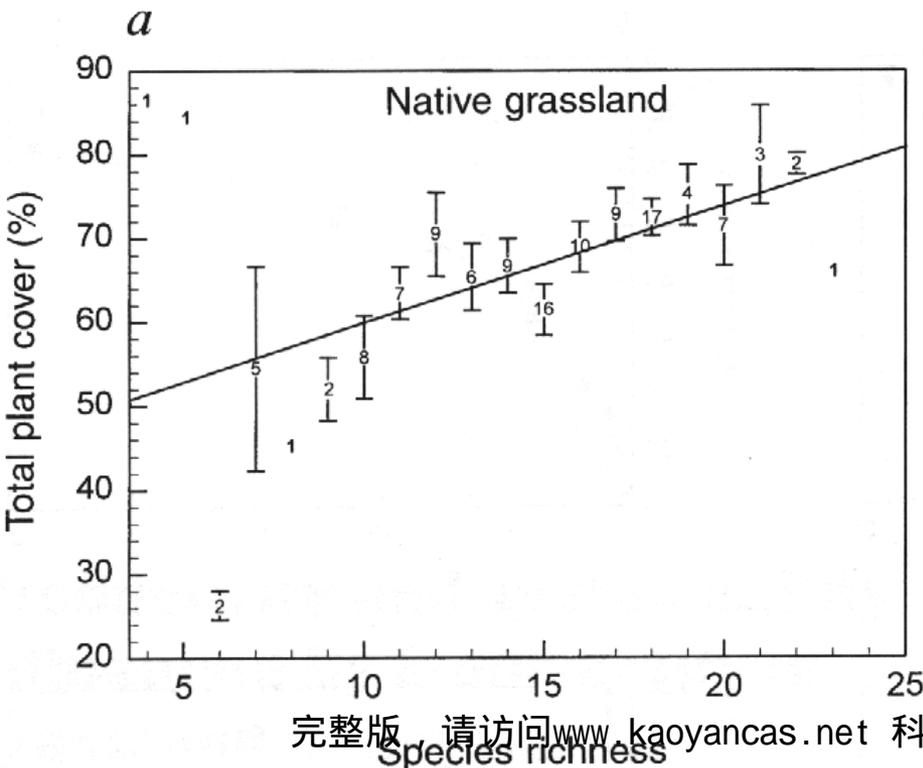
a. 多样性、稳定性和复杂性定义不同导致不同观点。

b. 物种数，种群弹性和种间关系等也很重要。

c. 不能简单结论，需要进一步研究。

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

Tilman 1994: 多样性影响生产力的稳定性，而不是种群的稳定性：群落的生产力似乎随多样性增大；养分流失降低而增大



■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

Tilman, D., J. Knops, D. Wedin, P. Reich, M. Ritchie, EVAN SIEMANN. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277: 1300-1302

The Influence of Functional Diversity and Composition on Ecosystem Processes

David Tilman,* Johannes Knops, David Wedin, Peter Reich,
Mark Ritchie, Evan Siemann

Humans are modifying both the identities and numbers of species in ecosystems, but the impacts of such changes on ecosystem processes are controversial. Plant species diversity, functional diversity, and functional composition were experimentally varied in grassland plots. Each factor by itself had significant effects on many ecosystem processes, but functional composition and functional diversity were the principal factors explaining plant productivity, plant percent nitrogen, plant total nitrogen, and light penetration. Thus, habitat modifications and management practices that change functional diversity and functional composition are likely to have large impacts on ecosystem processes.

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

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

Experiment

- 342 13x13m plots
- Herbicided and scraped bare
- 0, 1, 2, 4, 8, 16 or 32 perennial plant species added as seed (1st treatment variable)
- 0, 1, 2, 3, 4 or 5 functional groups of plants (2nd treatment variable)
 - C4 grasses, C3 grasses, legumes, non-legume forbs, woody plants
- Watered and weeded

群落多样性与稳定性观点及假说

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

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系



群落多样性与稳定性观点及假说

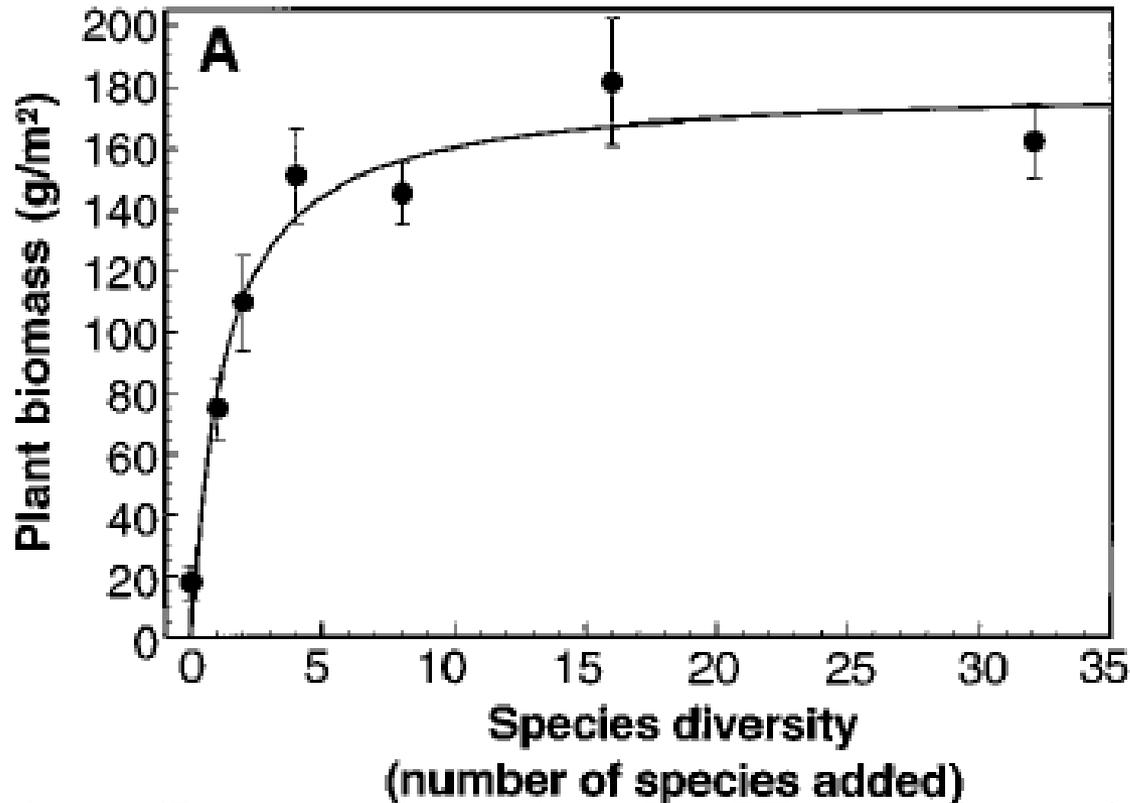
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

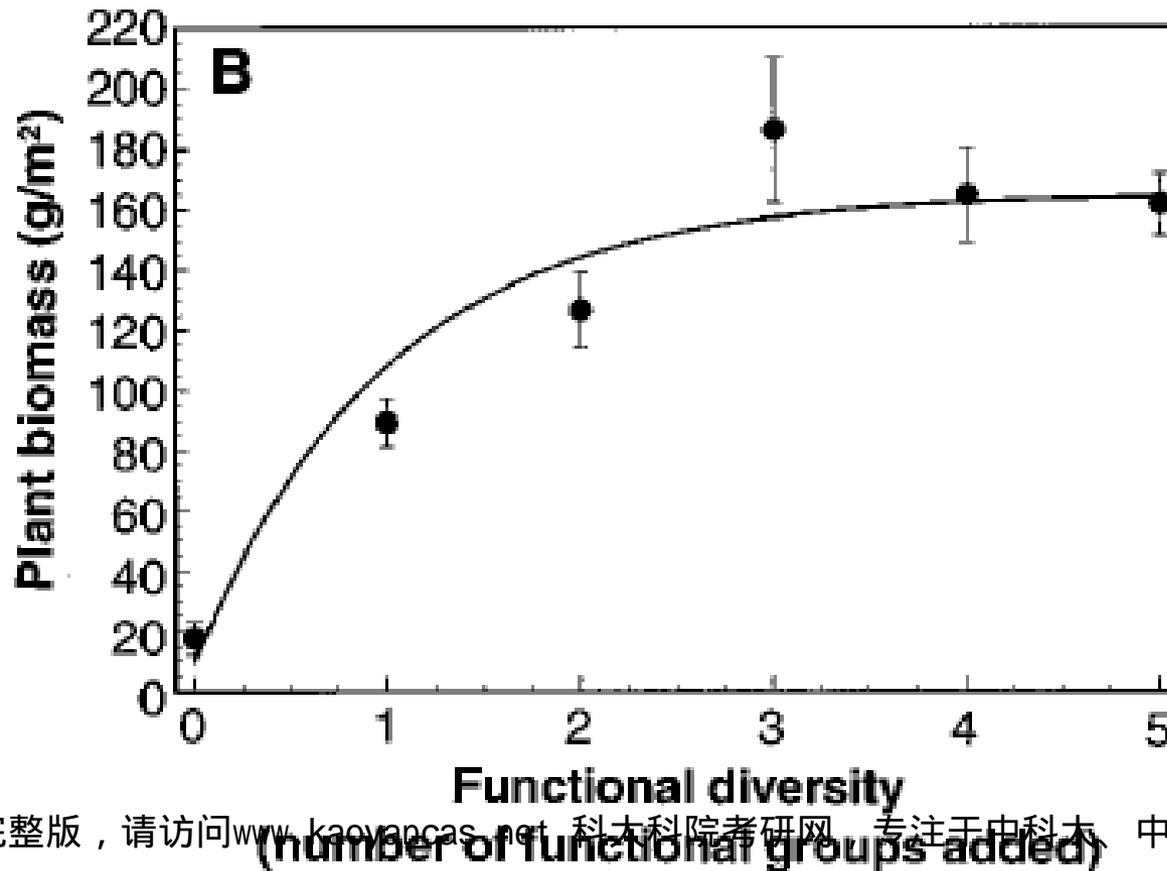


Photo by Johannes Knops

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

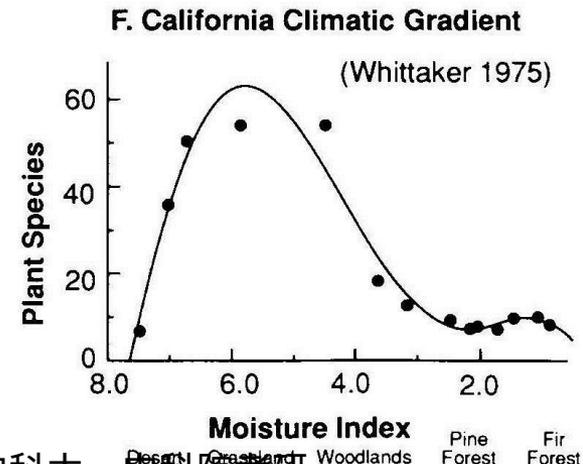
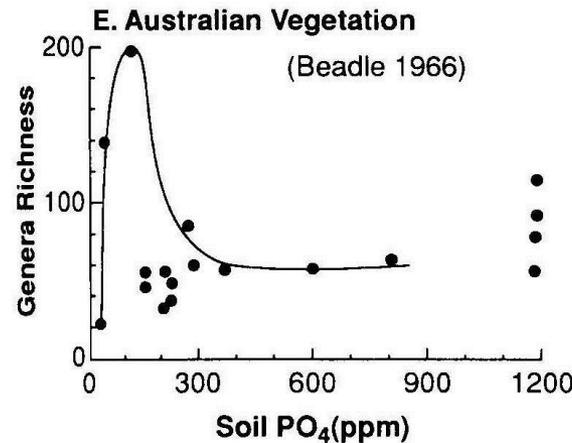
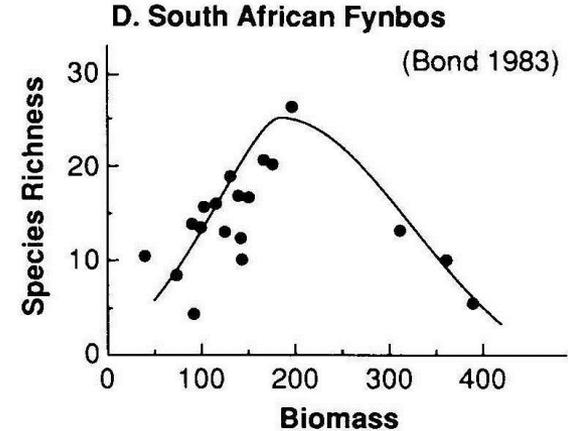
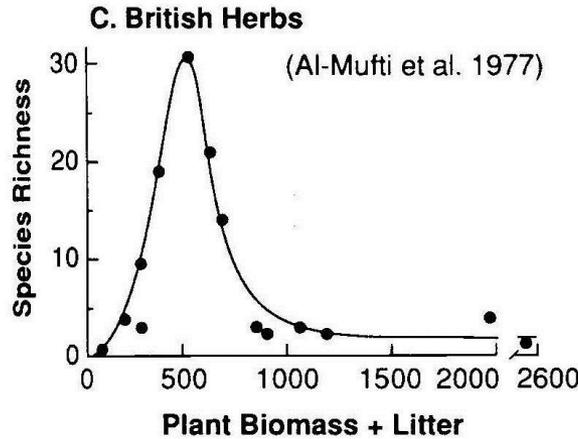


■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系



■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

- diversity has a unimodal (humped) relationship with **productivity**
- low productivity : few species can survive
- high productivity: why is diversity reduced? (competitive exclusion? loss of heterogeneity? dependence on a single limiting nutrient?)



群落多样性与稳定性观点及假说

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

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

Table 1. Dependence of ecosystem variables on diversity treatments as determined by multiple regression. Values shown are regression parameters. A separate regression was performed for each ecosystem variable. Regressions have $df = 2, 283$ to $2, 286$. NS, $P > 0.05$; *, $0.05 \geq P > 0.01$; **, $0.01 \geq P > 0.001$; and ***, $P < 0.001$ for tests of significant difference of parameter value from 0.

Response variable	Regression parameters			Overall r^2	Overall F value
	Intercept	Species diversity	Functional diversity		
Productivity	81.1***	-0.19NS	20.0***	0.09	14.0***
Plant % N	1.24***	-0.0003NS	-0.072***	0.11	17.15***
Plant total N	104.3***	-0.193NS	12.06*	0.02	3.61*
Soil NH_4	1.07***	0.003NS	-0.082**	0.04	5.60**
Soil NO_3	0.37***	0.001NS	-0.041***	0.09	13.4***
Light penetration	0.75***	0.0001NS	-0.040***	0.11	18.3***

群落多样性与稳定性观点及假说

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

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

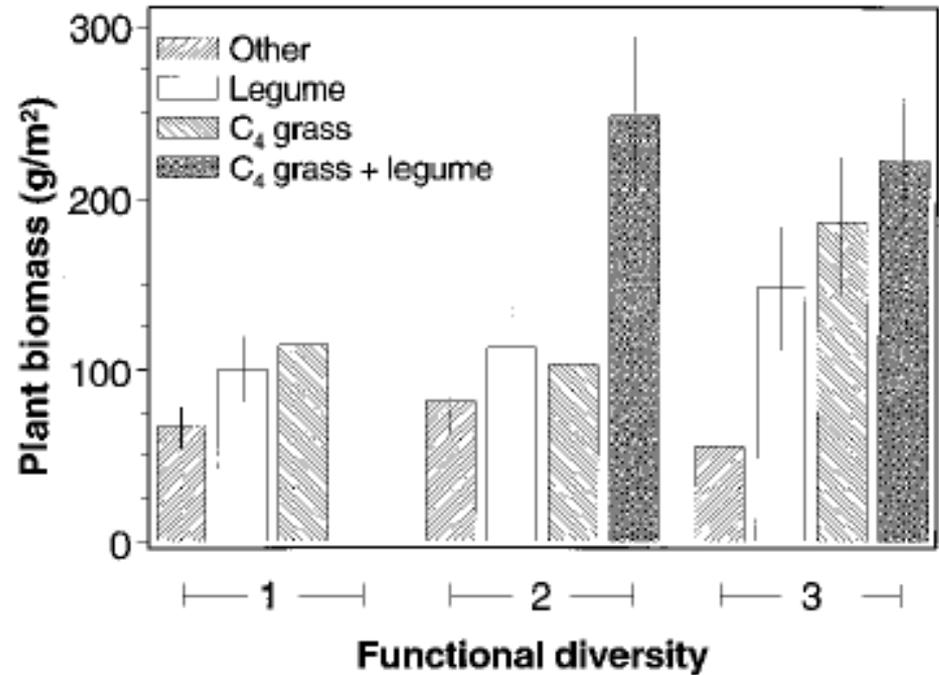


Fig. 2. Effects of functional composition on 1996 aboveground plant biomass (productivity) in plots containing at least one legume species (Legume), at least one C₄ grass species (C₄ grass), at least one of each (C₄ grass plus legume), or only species from other functional groups (Other). Mean and SE are shown, using all plots containing 1, 2, or 3 functional groups.

群落多样性与稳定性观点及假说

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

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

Table 2. Dependence of response variables on functional diversity treatments and functional composition based on ANOVAs. Functional composition was nested within each level of functional diversity. A separate analysis was performed for each ecosystem response variable.

Response variable	<i>F</i> values			Overall r^2
	Functional diversity (df = 5, 254)	Functional composition (df = 26, 254)	Overall model (df = 31, 254)	
Productivity	9.36***	2.87***	4.02**	0.33
Plant % N	22.2***	17.3***	17.4***	0.68
Plant total N	4.23**	3.92***	4.18***	0.34
Soil NH_4	2.40*	1.23NS	1.40NS	0.14
Soil NO_3	22.3***	1.17NS	4.57***	0.36
Light penetration	12.1***	3.21***	4.57***	0.36

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

- Diversity of functional groups seems to be more important in determining productivity.
- In particular, the presence of C-4 grasses (efficient N users) and/or legumes (N fixers) enhance productivity in this nitrogen-limited system.

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands

A. Hector,^{1*} B. Schmid,² C. Beierkuhnlein,³ M. C. Caldeira,⁴
M. Diemer,² P. G. Dimitrakopoulos,⁵ J. A. Finn,^{6†} H. Freitas,^{4‡}
P. S. Giller,⁶ J. Good,⁶ R. Harris,⁶ P. Högborg,⁷ K. Huss-Danell,⁸
J. Joshi,² A. Jumpponen,^{7,8} C. Körner,⁹ P. W. Leadley,^{9§}
M. Loreau,¹⁰ A. Minns,¹ C. P. H. Mulder,^{7,8||} G. O'Donovan,^{6¶}
S. J. Otway,¹ J. S. Pereira,⁴ A. Prinz,³ D. J. Read,¹¹
M. Scherer-Lorenzen,¹² E.-D. Schulze,¹² A.-S. D. Siamantziouras,⁵
E. M. Spehn,⁹ A. C. Terry,¹¹ A. Y. Troumbis,⁵ F. I. Woodward,¹¹
S. Yachi,^{10#} J. H. Lawton¹

At eight European field sites, the impact of loss of plant diversity on primary productivity was simulated by synthesizing grassland communities with different numbers of plant species. Results differed in detail at each location, but there was an overall log-linear reduction of average aboveground biomass with loss of species. For a given number of species, communities with fewer functional groups were less productive. These diversity effects occurred along with differences associated with species composition and geographic location. Niche complementarity and positive species interactions appear to play a role in generally diverse plant communities. The results support the hypothesis that sampling from the species pool.

Hector A, et al.,
Plant diversity
and productivity
experiments in
European
grasslands.
Science, 1999,
286, 1123-1127.

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

- Varying richness: 1-32 species
- Three functional groups: graminoids, N-fixing legumes, other herbs (forbs)
- Eight European field sites
- Total of 200 different plant assemblages and 480 plots.

群落多样性与稳定性观点及假说

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

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

Table 1. Details of the eight field sites, including location [site, country, degrees of latitude and longitude, and altitude above sea level (asl)]; climate (mean January and July temperatures and annual precipitation); previous land use (arable crops, horse grazing, fallow land, or none); method of site preparation (methyl bromide fumigation or steam sterilization of the soil, hand weeding only, or use of a sterile sand substrate); number of biomass harvests; and mean aboveground biomass of the plant assemblages with eight species. Aboveground biomass comprised all living and standing dead plant

material above 5 cm, harvested in two quadrats 20 cm by 50 cm once or twice each season around the times of peak biomass (where two harvests were taken, the values reported are the sum totals per plot). For brevity, we refer to accumulated net annual aboveground biomass as productivity but note that it provides only an estimate of the aboveground component of this process. All vegetation was cut to a height of 5 cm at the times of harvest and the clippings were removed. Plots received no fertilizer during the first 2 years of the experiment.

Site	Country	Latitude	Longitude	Altitude (m asl)	January mean (°C)	July mean (°C)	Annual rain (mm)	Previous land use	Site preparation	Harvests	Biomass (g m ⁻²)
Bayreuth	Germany	50°N	12°E	350	-0.1	18.2	630	Arable	Steam	2	802.2
Riverstick	Ireland	52°N	08°W	75	5.4	15.6	1130	Grazing	Bromide	2	767.5
Silwood	UK	51°N	01°W	50	3.7	16.9	652	Grazing	Bromide	1	683.4
Sheffield	UK	53°N	01°W	137	4.5	17.2	788	None	Sand	1	675.0
Lupsingen	Switzerland	47°N	08°E	439	0.7	18.3	1046	Arable	Hand	2	605.5
Lezirias	Portugal	39°N	09°W	25	9.4	26.1	588	Grazing	Heat	1	432.3
Umeå	Sweden	64°N	20°E	12	-7.0	16.1	600	Arable	Hand	1	402.9
Mytilini	Greece	39°N	27°E	30	9.6	26.5	682	Fallow	Bromide	1	336.5

群落多样性与稳定性观点及假说

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

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

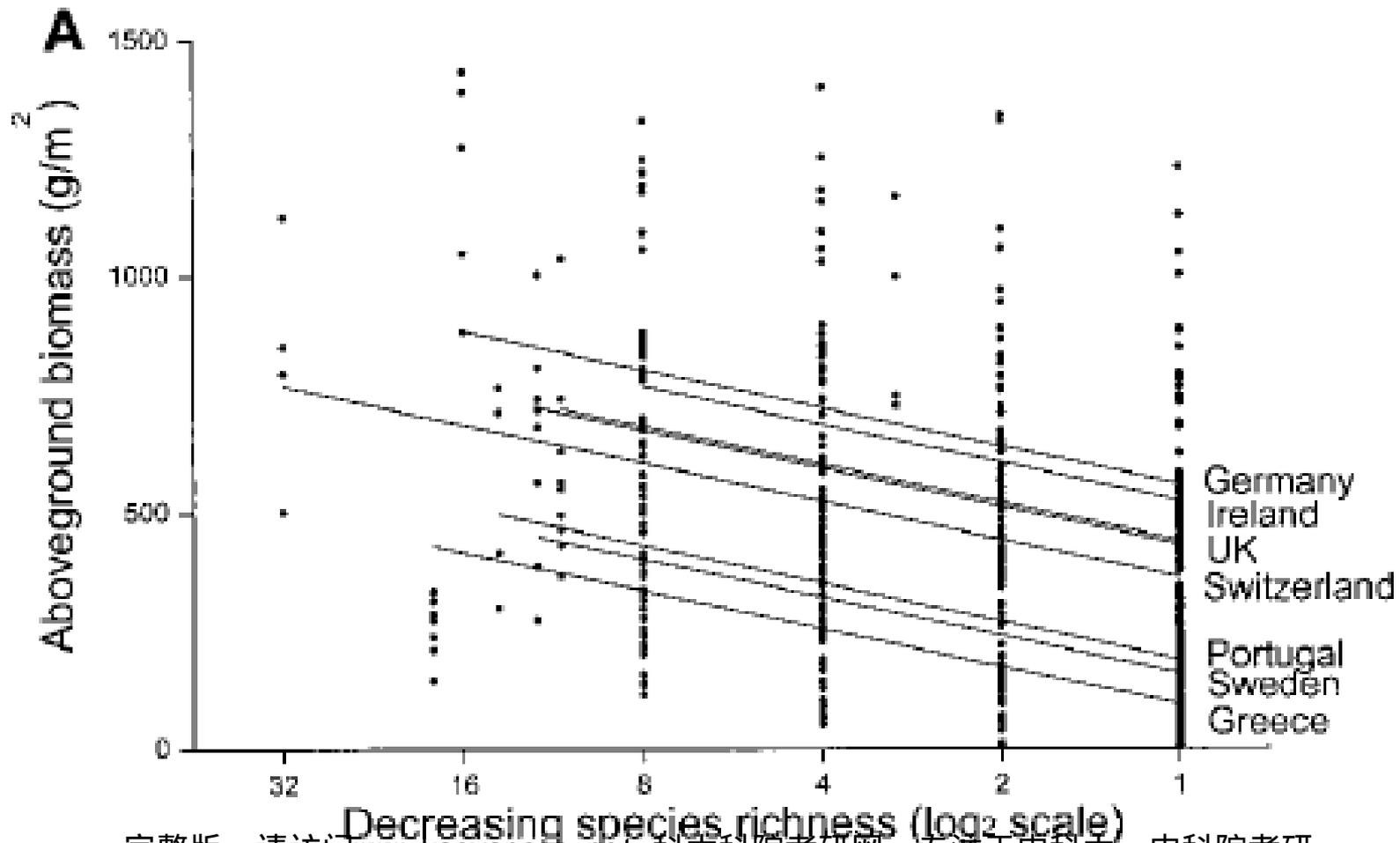
Table 2. The experimental design at each location, showing numbers of plots per species richness level and for each level of functional group richness. Plant assemblages (where an assemblage is a particular species or mixture of species) were replicated in two plots at each site, with the same assemblage sometimes occurring at more than one site.

	Species richness										
	1	2	3	4	8	11	12	14	16	18	32
Germany	20	14		10	10				6		
Ireland	20	16	4	20	10						
Silwood	22	12		12	10	10					
Sheffield	24	10		8	8		4				
Switzerland	20	14		16	10						4
Portugal	28	10		10	4			4			
Sweden	24	12		12	6		4				
Greece	14	12		10	8					8	
Functional richness											
1	172	32		14	6	2					
2		68		40	18	4					
3				4	12	4				8	4

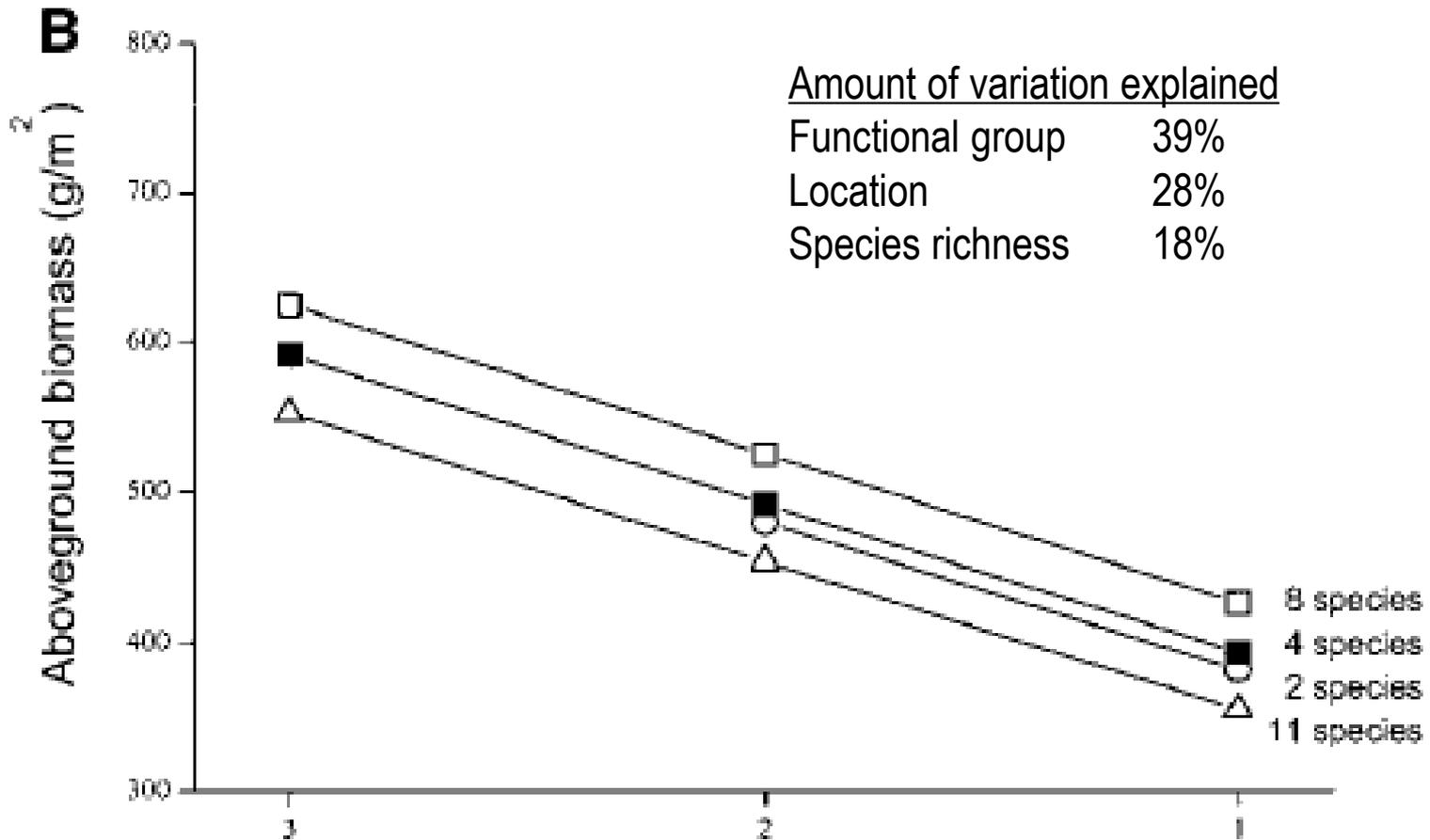
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

群落多样性与稳定性观点及假说

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系



■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系



■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

- Sampling effect--more species means more likelihood of including a species that is highly productive
- Niche complementarity--different spp doing different things acquire more resources overall (or even add resources if they fix N)
- Mutualistic interactions

➤ 多样性有利于提高生产力和养分利用效率

➤ 但是需小心的是不能高估其作用

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

生物多样性与群落稳定性

- 群落生物学和保护生物学的基本原则
- 生物多样性增加导致群落稳定性增强
- 简单的系统稳定性很难维持
- 物种丰富度低的岛屿比大陆更容易受到物种的入侵
- 农田生态系统比自然生态系统更容易受到昆虫爆发性灾害的侵袭
- 生态系统中移出一些物种后更容易受到虫害的侵袭
- 具有高生物多样性的热带群落比具有生物多样性低的温带群落对虫害具有更高的抵抗能力
- 杀虫剂的使用导致生物多样性简单化(消除了捕食者)

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

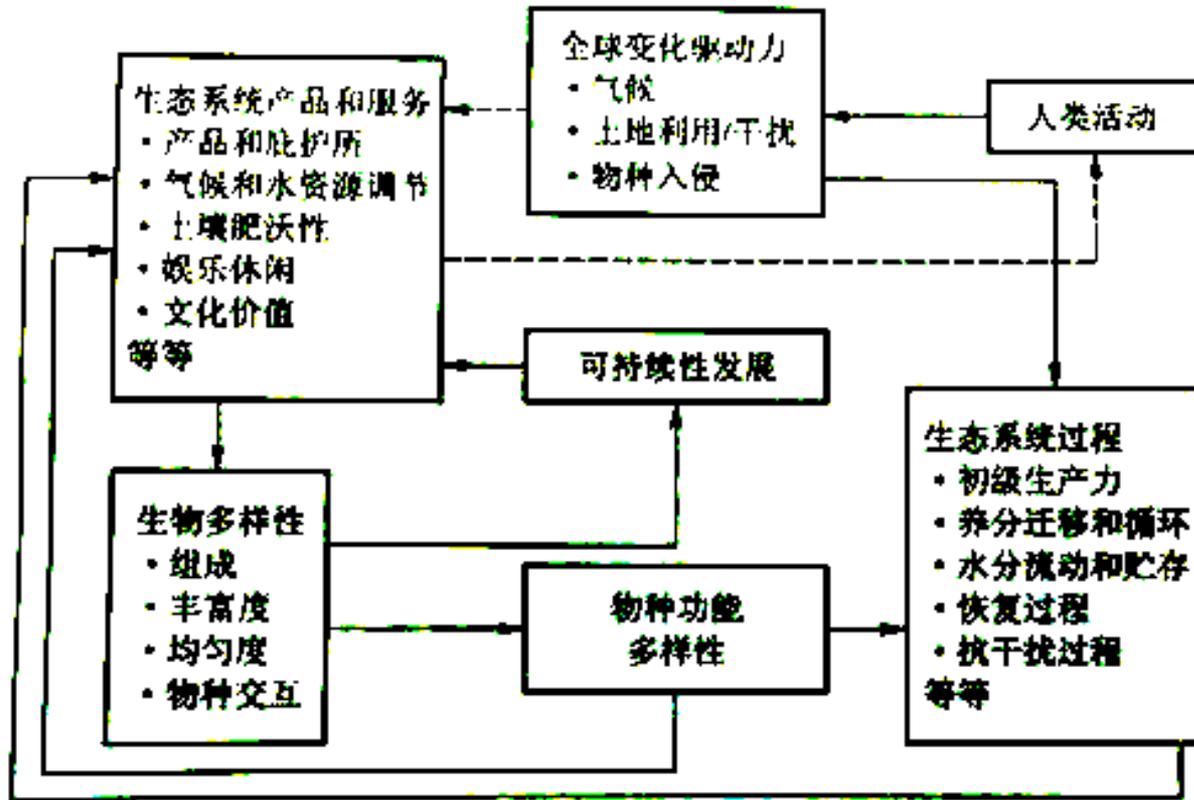


图 1-1 生物多样性与全球变化的关系

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

➤ 生态系统功能

- ✓ **广义：**生态系统属性（ecosystem properties）、生态系统产品（ecosystem goods）和生态系统服务（ecosystem services）（Christensen et al., 1996）
- ✓ **狭义：**生态系统组分的大小（如碳库或有机质库）和过程速率（如生态系统生产力，生态系统内部及其与外部所发生的能量流动、物质循环和信息传递速率，生态系统稳定性）（Hooper et al., 2005）

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

➤ 生物多样性变化对生态系统功能的影响

- ✓ 使物种特性（species traits）发生变化，进而直接影响生态系统过程
- ✓ 改变对水分、养分和光能的利用效率
- ✓ 影响群落内的食物网结构及其组分间的关系（营养结构）
- ✓ 影响干扰发生的频率、强度和范围（Chapin et al., 1997, 2000）

生物多样性影响生态系统结构、功能和动态，是控制生态系统稳定性、生产力、养分循环和外来种入侵的重要因素之一。生态系统功能的维持是生态系统产品和服务的重要基础和保障。

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

➤ 生物多样性与生态系统功能关系

- ✓ 环境科学领域八大研究挑战之一（美国NSF）
- ✓ **核心：**理解生物多样性的变化如何影响生态系统功能，以及生态系统功能的变化如何影响生物多样性。迄今为止，GEF研究核心是探讨物种丰富度和物种组成变化对生态系统功能的影响，包括：
 - ✓ 生物多样性与生态系统过程（如生产力）的关系
 - ✓ 生物多样性与生态系统稳定性的关系

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 群落生物多样性与生产力和稳定性关系

- 主要集中在生产力研究，尤其是草地
- **正相关关系**：生态系统功能随生物多样性的增加而增加，或随其降低而降低
 - 生态位互补效应（niche complementarity effect）
 - 选择效应（selection effect）或取样效应（sampling effect）
- **负相关关系**
- **二者不相关**

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 生物多样性与生态系统稳定性的关系

➤ 多数认为

- ✓ 生物多样性高低对生态系统稳定性起关键作用。生态系统的生物多样性水平高，所含的基因和物种数就较高，这使得生态系统对外界胁迫和变化可以更好地适应。
- ✓ 例如：物种越多，食物网链状结构越复杂，更多的植物可以参与到生物地球化学循环中来，更多的基因促使系统演替和进化。
- ✓ 某一特定的关系可能由多种机制导致，同一机制也可能控制多种关系，所以需要更多的研究来揭示隐

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 生物多样性与生态系统功能的关系

➤ 重要概念

- ✓ 物种剔除实验（species removal experiments）
- ✓ 人工组合群落实验（synthetic assembly experiments）
- ✓ 单一性（singularity）
- ✓ 冗余性（redundancy）
- ✓ 功能多样性（functional diversity）
- ✓ 生态位互补效应（niche complementarity effect）
- ✓ 选择效应或取样效应（selection effect or sampling effect）
- ✓ 物种补偿效应（species compensatory effect）
- ✓ 生物保险效应（biological insurance effect）
- ✓ 投资组合效应（portfolio effect）

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 生物多样性与生态系统功能关系重要概念

➤ 物种剔除实验 (species removal experiments)

- ✓ 从已经存在的自然或半自然群落中，依循预定计划剔除某些物种或功能群（包括植物，无脊椎动物，土壤动物和微生物等），进而观察生物多样性变化对生态系统功能影响的控制实验。

➤ 人工组合群落实验 (synthetic assembly experiments)

- ✓ 在已存植被彻底根除的情况下，重新建造一系列物种组成不同的人工群落，进而观察生物多样性变化对生态系统功能影响的控制实验。

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 生物多样性与生态系统功能关系重要概念

➤ 单一性 (singularity)

- ✓ 生物多样性与生态系统功能关系假说中的一种。每个物种对生态系统功能都有独特的贡献，物种的增加或减少会使生态系统功能产生明显变化。

➤ 冗余性 (redundancy)

- ✓ 生物多样性与生态系统功能关系假说中的一种。生态系统存在维持其正常功能所必需的某一生物多样性最低值；当生物多样性高于此值时，物种数的增加或减少对生态系统功能没有影响或影响很小。

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 生物多样性与生态系统功能关系重要概念

➤ 功能多样性 (functional diversity)

- ✓ 影响生态系统功能的生物多样性度量指标，如植物功能群的多样性或植物功能性状的多样性。功能多样性越高，生态系统的生产力、稳定性、以及抵抗外来入侵种的能力越高。
- ✓ 基于物种功能类群：C4禾草、C3禾草、固氮植物、非固氮植物，等
- ✓ 基于植物性状的功能：群落权重均值、Rao二次熵、生态位、功能范围等

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 生物多样性与生态系统功能关系重要概念

➤ 生态位互补效应（niche complementarity effect）

- ✓ 由于物种的生态位各异，因此生物多样性高的生态系统能够更充分地利用环境资源，从而增进生态系统功能（如，生产力增加）。
- ✓ 生态位互补效应有时也笼统将种间“促进效应”（facilitation或positive interactions）包含其内。促进效应是指物种间存在相互促进作用，从而使生物多样性高的生态系统能够更有效地利用环境资源，增进生态系统功能。
- ✓ 因此，促进效应是“生态位互增效应”，可以用来解释“超产现象”（over-yielding）——即某种植物在和与其他物种的混播群落中的生产力高于它在其单种群落中的生产力的现象。

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 生物多样性与生态系统功能关系重要概念

➤ 选择效应或取样效应 (selection effect or sampling effect)

- ✓ 随着生物多样性的增加，生态系统中含有功能性状卓著的（如特别高产的）物种的概率也增加；因此，生态系统功能也呈增加趋势。

➤ 物种补偿效应 (species compensatory effect)

- ✓ 在不断变化的环境中，某一物种或功能群在数量上的减少为其他物种或功能群的增加所补偿，从而使生态系统功能的稳定性增加。生态系统中的物种补偿效应随生物多样性的增加而趋增加。

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 生物多样性与生态系统功能关系重要概念

➤ 生物保险效应 (biological insurance effect)

- ✓ 随着生物多样性的增加，生态系统中物种的冗余程度会增加，而且对外界干扰有不同的响应对策的物种数也会增加，因此生态系统抵抗干扰的能力将随之增加，以使生态系统的稳定性得以提高。

➤ 投资组合效应 (portfolio effect)

- ✓ 购买多家公司股票的多样化投资策略往往要比只买一家公司的股票的投资策略导致全盘皆输的概率要低；与之相似，生物多样性高的生态系统也往往比生物多样性单调的生态系统表现得较为稳定。

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 1 GEF人工组合群落实验-BIODEPTH（8个欧洲国家参与）（Spehn et al., 2005; Hector et al., 1999; Loreau and Hector, 2001）

➤ 核心问题

- ✓ 生物多样性变化使得各种生态系统过程如何变化；
- ✓ 植物多样性对生态系统过程的影响如何随时间变化；
- ✓ 8个样地的生态系统过程变量在3年时间内是否呈现稳定的生物多样性效应。
- ✓ 11个生态系统过程变量：3年地上生物量；3年地下生物量；群落盖度；立株高度；冠层生物量密度；重力中心；光利用；植物地上部氮库；土壤可供无机氮；实验进行第3年标准材料1的分解；实验进行

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 1 GEF人工组合群落实验-BIODEPTH（8个欧洲国家参与）（Spehn et al., 2005; Hector et al., 1999; Loreau and Hector, 2001）

➤ 研究方法

- ✓ 剔除现有植被，利用种子重建群落；
- ✓ 物种丰富度水平变化草原种，豆科以及香草的比例来操作功能多样性；物种数1/2/4/8和32

➤ 群落类型与样地介绍

- ✓ 人工草地；
- ✓ 样地总数480个；
- ✓ 样地大小2m*2m；重复1-4次；

✓ 完整版持续时间为3年
完整版本请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 1 GEF人工组合群落实验-BIODEPTH（8个欧洲国家参与）（Spehn et al., 2005; Hector et al., 1999; Loreau and Hector, 2001）

➤ 主要结论

- ✓ 检验结果表明，植物多样性和组成对生态系统过程有显著的、积极的影响；
- ✓ 互补效应较优势物种特性引起的选择效应更为强烈、更为稳定；
- ✓ 地上多样性效应强于地下，显著的多样性效应对分解的影响仅仅只在一个样地观察到；
- ✓ 植物多样性的生态系统效应随样地和年份变化，第1年的多样性效应最弱，随后加强，表明这种效应在群落建立

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 2 生物多样性、生态系统功能、以及群落集合 (美国) (Tilman et al., 1997)

➤ 核心问题

- ✓ 物种多样性、功能多样性以及功能组成如何影响生态系统过程？例如：植物生产力、植物氮比例、植物总含氮量、光透性。

➤ 研究方法

- ✓ 实施除草剂和火烧策略，表层6-8cm土壤除去；
- ✓ 植物物种数0/1/2/4/8/18/32；
- ✓ 植物功能群1/2、3/4和5

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 2 生物多样性、生态系统功能、以及群落集合 (美国) (Tilman et al., 1997)

➤ 群落类型与样地介绍

- ✓ 人工草原；
- ✓ 样地总数289
- ✓ 样地大小13m*13m

➤ 主要结论

- ✓ 植物功能组成和功能多样性是解释植物生产力、植物氮比例、植物总含氮量、光透性的主要因子

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 3 明尼苏达州Cedar Creek草地实验（美国） （Tilman et al., 1996）

➤ 核心问题

- ✓ 种群、群落和生态系统尺度上，植物多样性怎样影响生态系统过程（动态和稳定性）。

➤ 研究方法

- ✓ 物种数1/2/4/6/8/12或者24

➤ 群落类型与样地介绍

- ✓ 人工草原；
- ✓ 样地总数147；
- ✓ 样地大小3m*3m

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 3 明尼苏达州Cedar Creek草地实验（美国） （Tilman et al., 1996）

➤ 主要结论

- ✓ 147个草原样地的生态系统生产力随物种多样性显著增加；
- ✓ 物种多样性较高时，主要的限制营养元素——土壤矿化氮，能够完全利用，从而生态系统氮损失减少；
- ✓ 临近自然草原的植物生产力和土壤氮利用率随物种丰富度增加而增加

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

- 4 氮添加对植物多样性影响实验（Tilman et al., 1987; Tilman and Downing, 1994）
 - **核心问题**
 - ✓ 生物多样性、生产力和稳定性的关系；
 - ✓ 氮添加对弃耕地演替的生态系统过程的影响
 - **研究方法**：7个氮添加处理和2个控制
 - **群落类型与样地介绍**：年久牧场和自然稀树草原（地点D）；样地总数369；样地大小4m*4m和4m*2m（地点D）
 - **主要结论**
 - ✓ 多样植物群落的初级生产力更有利于抵抗干旱，也更容易从干旱环境中恢复

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 5 BioCON（美国）（Reich et al., 2001）

➤ 核心问题

- ✓ 检验假设：多样性与组成影响生态系统生物量的提高，以及碳获取，这种生态系统受CO₂浓度升高和氮沉降影响

➤ 研究方法

- ✓ 处理：CO₂（周围的或者560 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ），物种数（1/4/9和16）以及氮水平（控制和施肥）的完全因子组合；
- ✓ 完全随机化设计样地分割的处理

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 5 BioCON（美国）（Reich et al., 2001）

➤ 群落类型与样地介绍

- ✓ 人工草地；
- ✓ 样地总数74；
- ✓ 样地大小12m²；
- ✓ 重复3次；
- ✓ 持续时间1997-1999

➤ 主要结论

- ✓ 由于CO₂浓度升高，氮浓度升高，或者它们的结合，物种数目少的集合，生物量增加的值小于物种数目高的集合

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 6 加利福尼亚州蛇纹岩一年生草地BEF实验（美国）（Hooper and Vitousek, 1997）

➤ 核心问题

- ✓ 植物功能群丰富度和组成如何影响加利福尼亚州蜿蜒草原的营养循环；
- ✓ 植物多样性如何影响生产力，资源供应以及氮淋溶损失

➤ 研究方法：

- ✓ 植物功能群：早季节一年生草本植物(E)、晚季节一年生草本植物(L)、多年生丛生禾草(P)、氮固定植物(N)；
- ✓ 处理：5格水平上的10个处理：无功能群样地；仅含一个功能群的样地；含两个功能群的样地（EL/EP和LP）；含3个功能群的样地（ELP）；含4个功能群的样地（ELPN）

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

- 6 加利福尼亚州蛇纹岩一年生草地BEF实验（美国）（Hooper and Vitousek, 1997）
 - 研究方法：
 - ✓ 方法：种植密度在含有1个功能群的处理中为200g m⁻²。在混合处理中，含有一个功能群的种植密度减为1/2、1/3或者1/4，并维持整体的种植密度恒定；
 - ✓ 样地期初没有表土，实验中将表土铺在底土上，高度接近30cm；完全随机模块设计
 - 群落类型与样地介绍：人工草地；样地总数60；样地大小1.5m*1.5m；重复6次；持续时间1991-1993
 - 主要结论：植物组成的变化比功能群数目的变化更能解释生产力和氮动态的变化

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 7 Ecotron（英国）（Naeem et al., 1994）

➤ 核心问题

- ✓ 检验生物多样性变化（群落中物种数）对生态系统功能的影响，如群落呼吸、分解、营养固持、植物生产力和水分固持

➤ 研究方法

- ✓ 总共14个模型和陆地微宇宙实验，每个1m²，各自发展、维护，随机部署在Ecotron的各个分室

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 7 Ecotron（英国）（Naeem et al., 1994）

➤ 群落类型与样地介绍

- ✓ 变化植物和动物多样性，形成低等、中等和高等的多样性微宇宙，物种数分别为9/15和31

➤ 主要结论

- ✓ 利用实验方法改变生物多样性，证明生物多样性减少的确可以改变生态系统表现

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 8 生物多样性与生态系统可靠性（reliability）实验（美国）（Naeem and Li, 1997）

- **核心问题：** 检验保险假说
- **研究方法：**
 - ✓ 采用微生物微宇宙实验法，变化功能群中物种数；
 - ✓ 处理：3个营养级水平，2个光照水平，3个功能群物种水平，4个功能群水平

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 8 生物多样性与生态系统可靠性（reliability）实验（美国）（Naeem and Li, 1997）

➤ 群落类型与样地介绍

- ✓ 3个营养级：生产者、消费者、分解者；
- ✓ 微观世界总数318；
- ✓ 培养皿直径100mm，高25mm

➤ 主要结论

- ✓ 当每个功能群物种数目增加时，复制群落的生物量和密度更加稳定；
- ✓ 表明冗余性（即功能群中有多个物种）是重要的，足够的冗余种是维持生物多样性的一个原因。

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 9 植物多样性及物种组成的生态机制研究（瑞士） （van der Heijden et al., 1998）

➤ 核心问题

- ✓ 评价微生物-植物交互作用，特别是真菌共生对生态系统变异和生产力以及植物生产力的影响

➤ 研究方法（实验1）

- ✓ 在尺寸为26.5cm*17cm*18cm容器中，建立48个微宇宙，模拟无菌室温条件下欧洲含钙草原；
- ✓ 把含有1种灌木菌根真菌或含有4种灌木菌根真菌的100g土壤接种体植入微宇宙培养基，或者把4种灌木菌根真菌的高压灭菌土壤植入培养基；
- ✓ 70个含钙物种的幼苗植入培养基

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 9 植物多样性及物种组成的生态机制研究（瑞士） （van der Heijden et al., 1998）

➤ 研究方法（实验2）

- ✓ 建立70个宏宇宙实验，模拟自然条件下北美弃耕牧场生态系统，或者23个灌木菌根真菌中提取1/2/4/8和14个物种植入生态系统的模拟；研究样地的15个最丰富指物种的100个种子输入每个宏宇宙实验

- **群落类型与样地介绍：**室温和野外实验；微宇宙总数48；每个微宇宙大小26.5cm*17cm*18cm；重复8次

➤ 主要结论

- ✓ 灌木菌根真菌的地下多样性是控制植物生产力和生态系统功能的主要因子；
- ✓ 微生物交互作用有利于生态系统功能，例如植物多样性和生产力以及变异性

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 10 物理性应力以及生物多样性与生产力关系 (新西兰) (Mulder et al., 2001)

➤ 核心问题

- ✓ 如何通过分析在稳定或者变化环境下具有多层次结构的多样性下的实验合成的新西兰苔藓类植物群落，以及分析多样性和生产力关系的变化，来检验环境变异下的高多样性价值；
- ✓ 多样性与生产力的关系能否由取样效应揭示，是否需要其他的解释

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 10 物理性应力以及生物多样性与生产力关系 (新西兰) (Mulder et al., 2001)

➤ 研究方法

- ✓ 种植植物，在一个栅格局（13行，19列，个体间隔1.5cm）的塑料托盘上（大小0.4m*0.6m）建立1/2/4/8/16/32个物种的群落（每个个体0.03g），托盘上设置排水孔；
- ✓ 物种随机等机会地分配到各个位置；
- ✓ 覆盖塑料在托盘上，并置于实验室，维持稳定湿度和低光照环境；
- ✓ 一年后，每个混合体的1个重复保持同样环境，其余重复置于高温低光照环境5d，并去除托盘上的塑料

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 10 物理性应力以及生物多样性与生产力关系 (新西兰) (Mulder et al., 2001)

➤ 群落类型与样地介绍

- ✓ 人工苔藓群落；样地总数208；样地大小0.4m*0.8m；重复2次；持续时间2年

➤ 主要结论

- ✓ 单个物种的反应说明，互助效应，而不是取样效应或者生态位互补效应，可以最好的解释结果：
- ✓ 几乎所有物种的生存能力增加，单作中对干旱抵抗能力最弱的物种生物量增加最多；
- ✓ 积极的交感可能是一个重要的但是以前被忽略的机制，这种机制将高的多样性和高的生产力在外界环境压力下联系起来

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 11 多样性与生产力关系（荷兰）（van Ruijven and Berendse, 2005）

➤ 核心问题

- ✓ 物种养分摄取，不同物种丰富度的营养元素利用率，以及它们对生产力和物种丰富度随时间变化关系的贡献的不同

➤ 研究方法：

- ✓ 表层45cm以上土壤移取；在生长季每隔一个月剔除所有其他物种，以维持群落构成的稳定；
- ✓ 选取4个草原种，4个双子叶植物。所有物种为C3多年生（无豆科植物）

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

- 11 多样性与生产力关系（荷兰）（van Ruijven and Berendse, 2005）
 - 群落类型与样地介绍
 - ✓ 人工草原；样地总数102；样地大小1m*1m*0.5m
 - 主要结论
 - ✓ 实验第二年，物种丰富度和生产力表现出积极的关系，并且这种关系随时间进一步加强；
 - ✓ 物种丰富度高时，营养元素利用效率增加时一个重要的潜在机制；
 - ✓ 时空上互补的营养原色摄取很重要

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ 物种剔除实验

- 研究种间竞争关系、群落结构变化、群落的物种多样性对生态系统过程的影响
- **优点：**研究对象是真实的自然或半自然生态系统
- **缺陷：**控制实验操作难度较大；剔除物种时往往引入人为干扰效应；群落密度变化和物种的空间隔离效应需要考虑

■ 人工组合群落实验

- 研究生物多样性变化对生态系统功能的影响
- **优点：**环境因子控制程度和处理的重复性比提出实验高；更能确切（但并非一定更真实地）解释有关物种丰富度效应的机制
- **缺陷：**结构是否能真实反映自然生态系统中生物多样性与生态系统功能之间的关系有待研究

典型实验：生物多样性与生产力、稳定性关系

■ BEF研究中的十大研究论题

- 植物功能特性如何对环境变化做出响应，进而影响物种存亡
- 生态系统功能反应格局多样化的原因和机制
- 多营养级系统中生物多样性变化对生态系统功能的影响
- 生物多样性对生态系统功能的相对影响
- 基因多样性对生态系统功能的影响以及生态系统多样性对景观生态功能的影响
- 空间异质性对生态系统功能的影响以及尺度效应
- 生态系统功能与生态系统服务的关系
- 海洋生物多样性与生态系统功能关系的研究
- 全球环境变化对生物多样性与生态系统功能关系的影响
- 理论模型建立和验证



谢谢!