

地球与人类文明



05 / 海水盐度的演变

陈斌 gischen@pku.edu.cn 北京大学地球与空间科学学院

目录

- › 大海：最古老的水资源
- › 海水盐度演化模式
- › 海水盐度演化过程
- › 海水盐度演化的意义



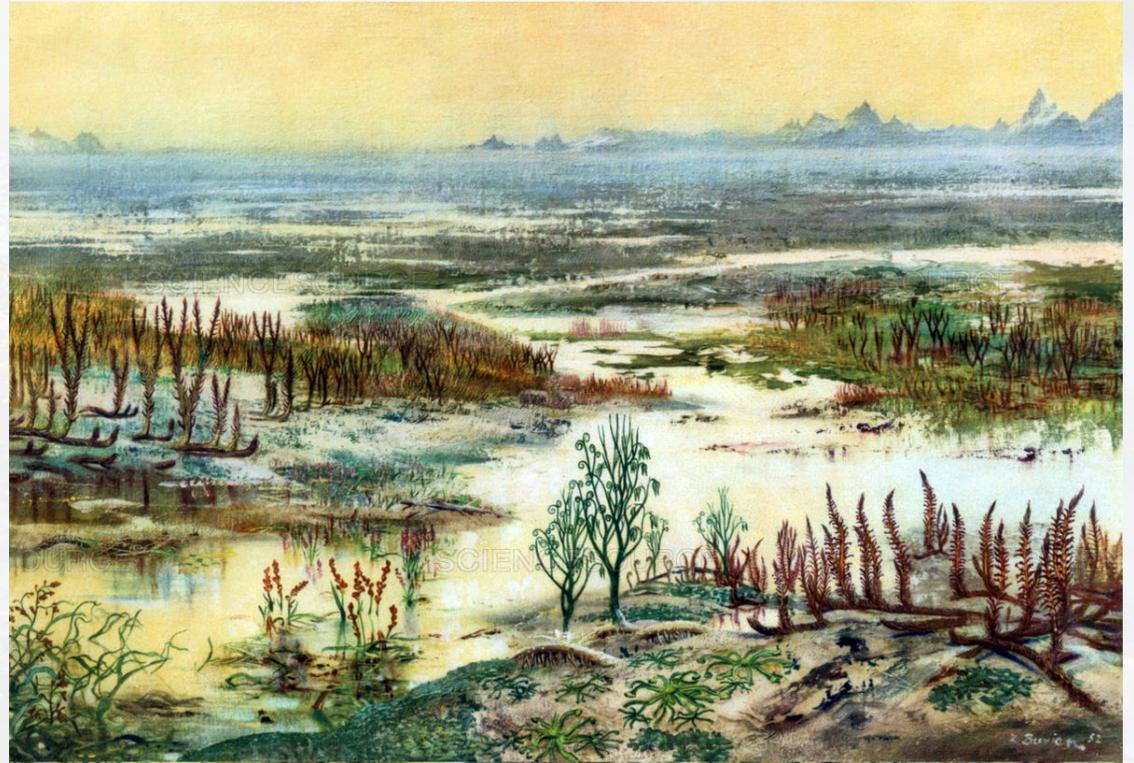
现代陆上淡水资源来源

- › 海洋蒸发水汽，由风送入陆地
- › 山系阻挡，上升遇冷形成降雨
 - 一部分变为冰川积雪
 - 一部分汇入江河湖泊
 - 一部分渗入地下成为浅层地下水
 - 一部分蒸发
- › 地下水还能补充干旱季节的河流
- › 通过河流和地下水流回大海



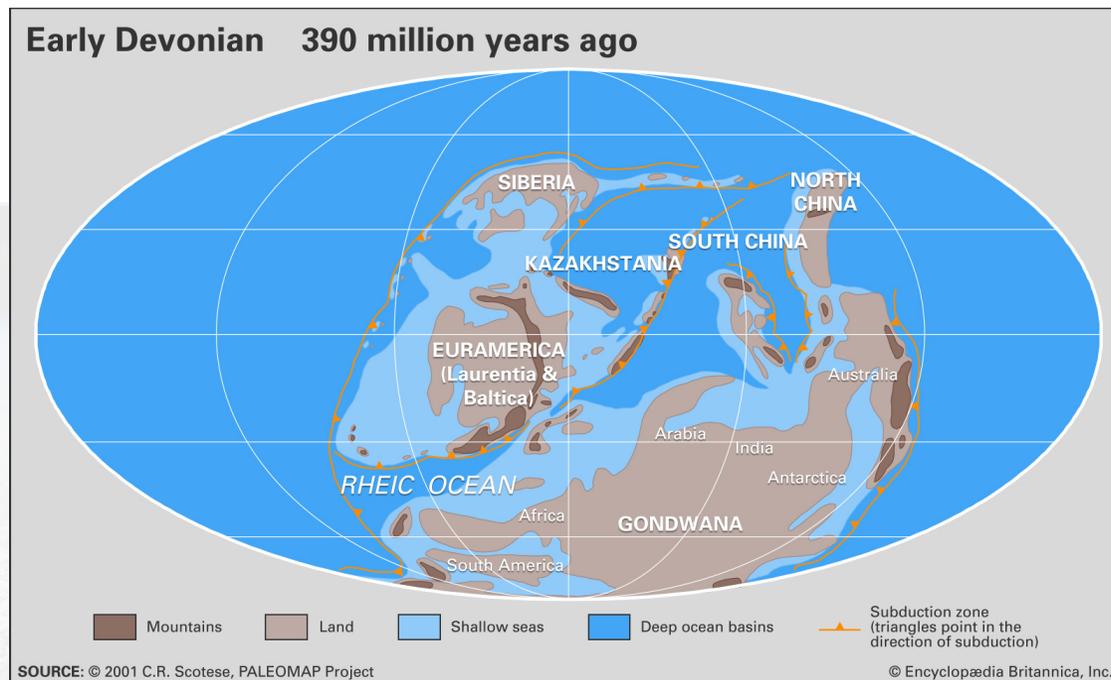
古生代中生代陆上少大规模降雨

- › 古生代中生代大部分时间里，行星风系和季风环流都比较弱
- › 仅有局部地域由短暂的对流雨
地面受热，湿热空气上升遇冷形成的降雨
- › 维持蕨类植物和恐龙生存的大片浅水域和沼泽地长期存在不干涸？
生命登陆之初，十分脆弱
成煤过程的泥炭聚集期也需要长时间维持水位覆盖



主要水源来自大海

- › 除了雨水外，水源只有大海
咸水问题后续讨论
- › 而且必须具备一定的地质地形条件
地势平坦透水，海水可渗透至陆地远处
- › 古生代中生代陆上缺少山系，地势比较平坦，具有大片浅水域
图为古生代泥盆纪早期（3.9亿年前）大陆板块分布：少山系、多浅水域、地形平坦
- › 地壳上升及沉积作用导致海水变浅
缩小（海退）



与海水存在水力联系

- › 石炭纪二叠纪是重要成煤期
华夏古陆分布着许多滨海沼泽，生长着茂盛的蕨类森林，统称华夏植物群
造就了现在华北地区丰富的煤炭资源
- › 对煤层广泛研究发现浅水域和沼泽有海水入侵或退出
陆地环境物夹杂海洋环境物
海进海退解释了煤层的许多重要特点
- › 晚古生代陆上特别是近海区，与海水有密切的水力联系



中生代以后水域逐渐消失

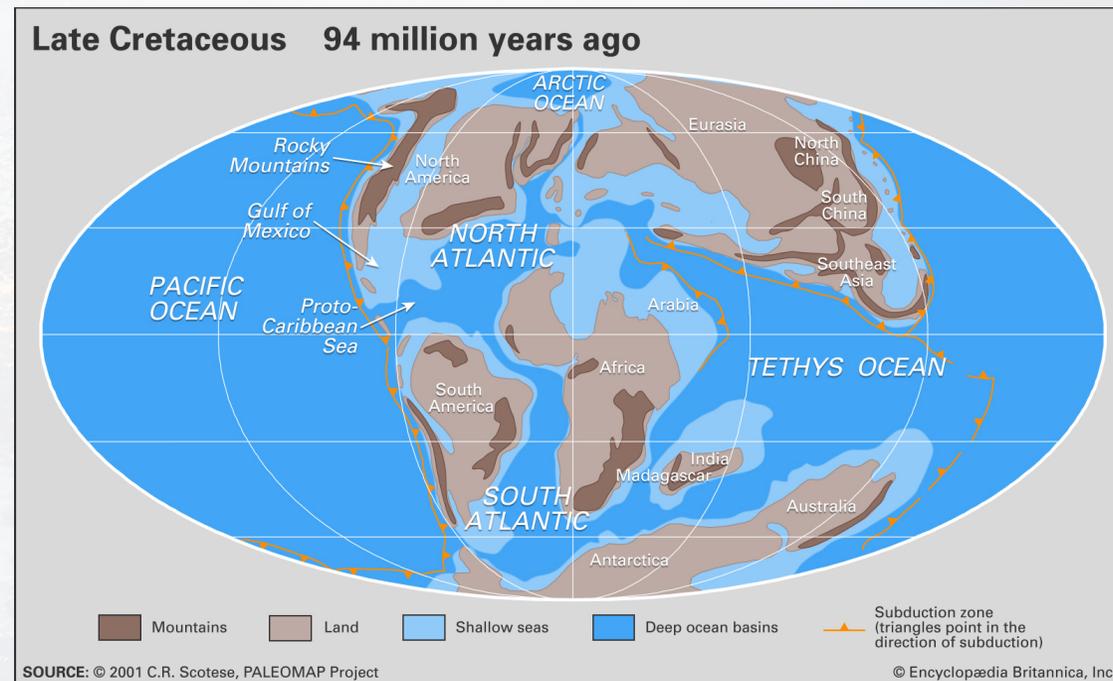
- 联合古陆开始解体，陆上地形趋于复杂引起海退

图为白垩纪晚期（约0.9亿年前）大陆板块分布：山系增多，地形复杂

- 许多浅水域与大海开始阻隔，逐渐切断联系

最终浅水域消失，恐龙衰亡

- 进入新生代后，大规模风雨开始登场，形成陆上新的水资源



海水盐度演化的模式

- › 生物水环境分为淡水和咸水，两者相差极大
仅有极少数物种能同时适应两种水环境
- › 淡水和咸水的渗透压相差极大
避免细胞不断吸水膨胀破裂
也要避免细胞不断失水变成干
- › 适应淡水和适应咸水，生物细胞的渗透压调节功能是完全相反的
- › 陆生的动植物基本都是适应淡水环境



鳗鱼适应海水和淡水

海水盐度演化的模式

- › 但所有的生物祖先都生活在海洋中
- › 如何能演化出适应截然不同水环境的物种？
地球的水环境一定是变化的
而原始海洋是当时唯一的水系
- › 海水盐度变化的两种可能性
最初就已经是咸水或接近现在的盐度
最初是淡水或略带一点盐度，盐度长期增加，演变为现在的咸水



海水盐度演化的模式

- › 大海中水的来源是淡水
 - 比较公认的说法是来自于地球内部火山爆发岩浆活动的水蒸气
 - 也有认为来自彗星坠入地球
- › 海水何时开始变咸？
- › 现代科学对古海洋研究尚未有确凿的信息
 - 而且对海水盐度变化的研究更少
- › 可从古生物进化特点为依据进行合理推测



生物登陆演变过程

› 浅水域和沼泽地是环境变化过程中，生物从海洋到全陆生的登陆过渡区

环境	生物	时间
大海	原始海洋生物	约4亿年前
浅水域和沼泽地	蕨类植物（水媒） 两栖类动物，鱼类	约4亿~2.5亿年前
陆地	裸子植物（风媒） 爬行类动物（恐龙）	约2.5亿~0.65亿年前

海水盐度变化

- › 第一种可能，不太符合逻辑
- › 裸蕨从浅水域和沼泽地开始登陆
- › 演化出适应淡水环境的陆生裸子植物和恐龙
陆地咸水域并非普遍现象
- › 如果海水一直是咸水，不容易解释浅水域和沼泽地如何从具有相当盐度变为淡水系统



海水盐度变化

- › 第二种可能，能够圆满解释生物演化的各个阶段
- › 海水在近30亿年的形成过程中，盐度增加一直很慢，接近淡水
约4亿年前，浅水域和沼泽地缓慢出现
- › 淡水环境下水生裸蕨逐渐登陆，变为全陆生裸子植物，鱼类变为陆地爬行类
- › 海水完全变咸只能是古生代以后的某个时间内开始



一些演化观点的辨析

› 海洋鱼类从咸水海洋游入淡水河口演化为淡水鱼

大河入海口无法存在到足够物种演化的时间尺度

没有环境变迁的压力，咸水生物不会主动脱离适应环境进入淡水

› 古生代中生代陆地上没有大规模的风雨，也无法形成大规模内陆河流



适应咸水环境的红树林

› 适应咸水环境，具有独特的生存方式

在海边淤泥中具有力学稳定性的独特根系

叶片具有较厚肉质，能排盐

树皮具有厚革质

细胞渗透压高，利于从海水吸收水份

› 繁衍方式独特，在空气中育种后才掉入淤泥中成长，避免咸水对幼子的损害



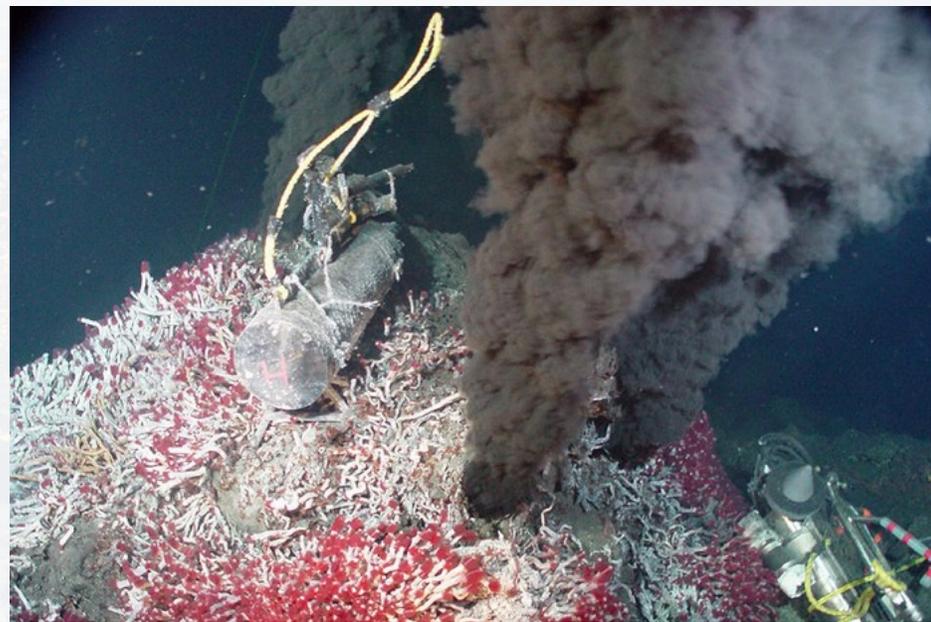
海水盐度演化过程

- › 海洋是地球上最大的“死水”
- › 容纳、积累和储存了进入其中的一切物质
- › 其中包括了让水变咸的可溶性无机盐，主要是氯、钠和镁等
- › 海水盐度增加的物质来源
 - 海底来源
 - 陆地来源



盐类物质的海底来源

- › 地球内部物质不断向上分化出较轻的物质，称为挥发组分
包括大量的水气和可溶气体
- › 挥发组分通过断裂带、火山等部位进入海水
火山喷发带出气体主要是水、二氧化碳和二氧化硫
- › 大洋中脊区的热液活动也将盐类带入海水
主要是硫化物，钙的含量相对较多
- › 对海水咸化作用异常缓慢



盐类物质的陆地来源

- › 河流入海时，将陆上大量风化物物质带入海中
- › 全世界每年经河流带入海洋中各种物质达49亿吨
- › 海水中的钙镁钾钠等离子主要通过河流从陆地带入
氯化钠在海水盐类物质中占70%，氯化镁占14%
- › 海底岩石中的钠、钙等元素通过各种作用进入海水的可能性比较小



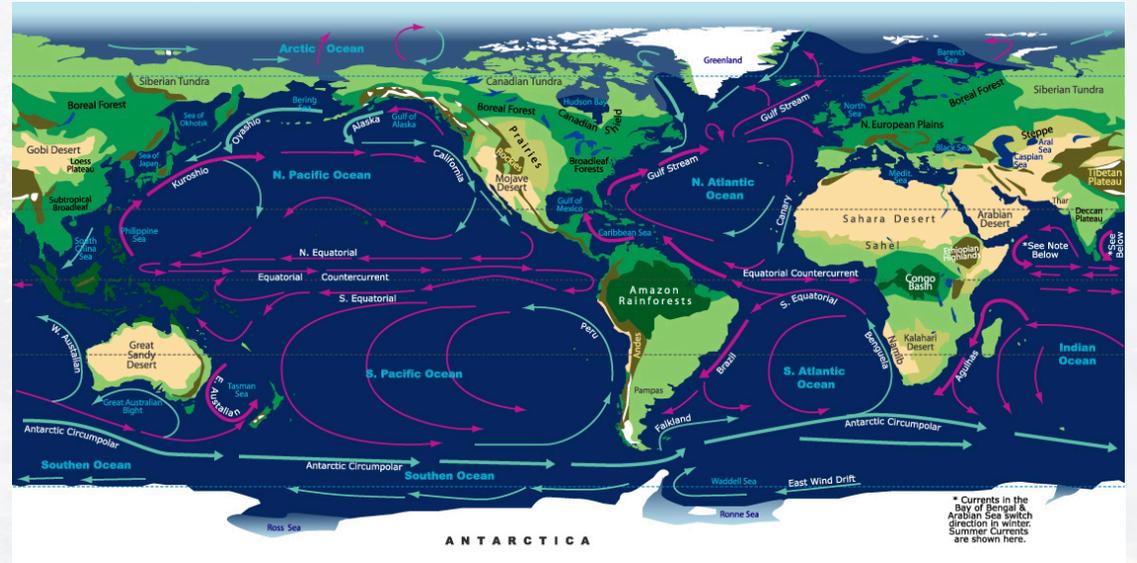
大规模江河形成的地质年代

- › 根据风起源的地质年代，由大气环流形成的江河出现于中生代晚期
- › 随着联合古陆的解体和板块相互作用，使得全球地形日趋复杂
- › 大规模河流在新生代走向全面发展
- › 并随着各大洲地质条件变化，江河也经历兴衰和孕育发展过程



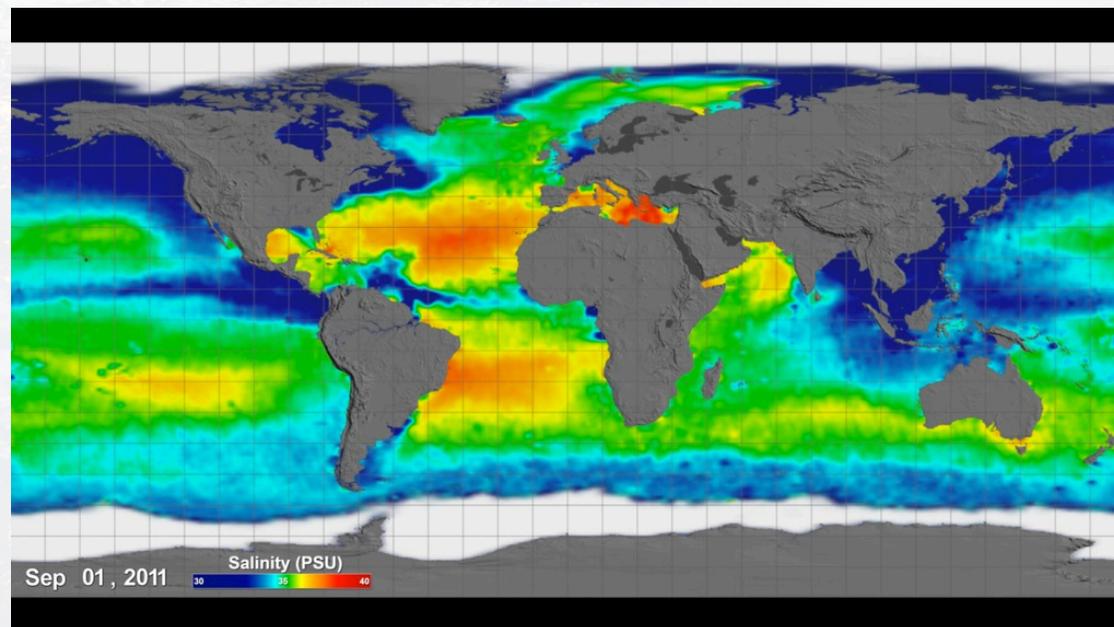
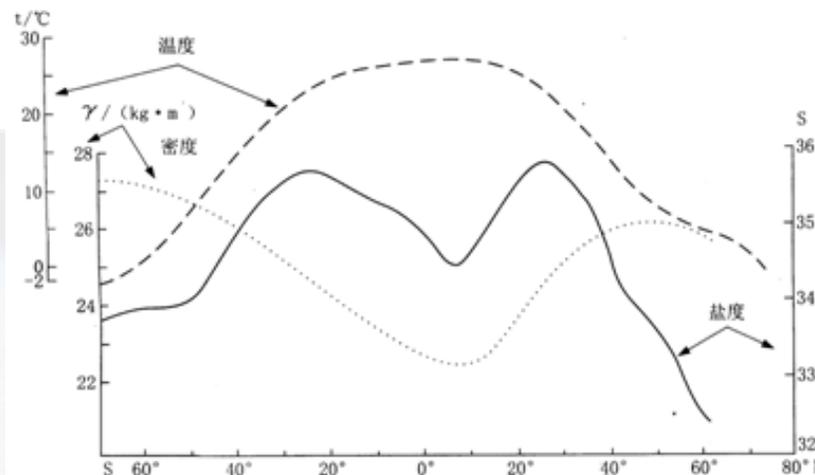
海水盐度的演化过程

- 海水盐度增加的速度在河流大规模介入之前，非常缓慢
仅有海底岩石的来源
而且火山喷发和岩浆活动形成的水量要远多于可溶性气体的溶解量
海水盐度不太高的状况持续到中生代后期
- 随着全球气温下降，地形复杂，四季、降雨和江河逐渐出现
- 海水盐度增加的速度逐步加快
- 洋流让整个海水盐度趋向大致均匀



现代各大洋盐度分布

- › 现在世界上各大洋平均盐度3.5%
随位置和深度而异
- › 赤道附近雨量充沛，降水量大于蒸发量，海水表面盐度稍低
- › 南北回归线附近，降水量小于蒸发量，海水表面盐度最高
- › 自回归线向高纬度延伸的地区，由于气候转冷，蒸发量变小，盐度也随之降低
- › 盐度之最：红海4%，波罗的海1%



海水盐度的生物影响因素

- › 海洋生物存在也是影响盐度的一个重要因素
- › 海洋生物越来越多，不断吸收各种矿物质，死亡后沉积到海底固定起来
- › 典型代表是由珊瑚和贝壳残骸沉积形成的大量石灰岩
- › 但生物本身不是海水中化学元素的来源，只是起了某种盐度的调节作用



含有贝壳化石的石灰岩



科罗拉多大峡谷

海水盐度变化的综合因素

海水盐度演化在科学上尚未得出结论

包括地质因素、河流因素、生物因素和海水与周边物质交换的因素

各种因素交织导致过程相当复杂

我们认为河流从陆地冲刷风化物进入海洋的过程是连续和大量的

是海水盐度快速增加的主要因素

河流大规模出现之前，海水盐度较低

这个基本观点与生命登陆、海水咸化两大自然事件顺序展开相符合



海水盐度演化的意义

- › 地球上的水只有两种存在方式
盐度较高的海水
陆地上的淡水
- › 海水必然咸化
容纳、积累并储存进入其中的一切物质
- › 陆上水资源必为淡水
只能由大气环流将水汽带至内陆降水
不断做整体运动，无法累积盐类物质
- › 不同的水系决定了两种生物生存方式：淡水生物和咸水生物



自然事件的发展逻辑

- › 原本完全生活在海洋中的一部分生物如何进入陆地变为以淡水为生的物种
- › 物种演化以环境变迁为动力，以自然选择为途径
- › 两大自然事件的必然顺序
生物登陆，依赖淡水
大规模河流介入，海水咸化



自然事件的发展逻辑

合乎发展逻辑的线索

早期海洋完全是淡水

地壳运动产生大范围浅水域和沼泽地

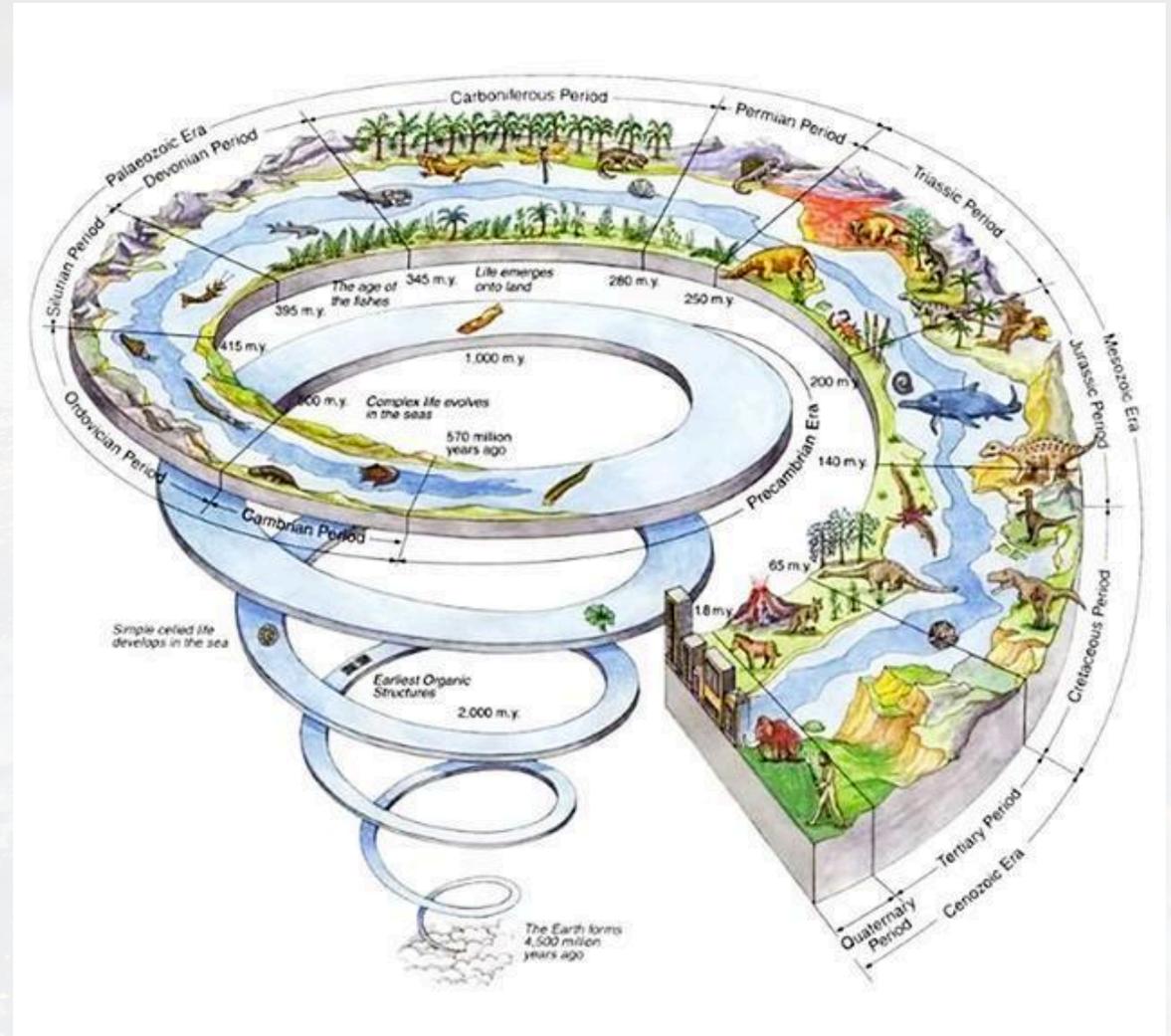
生物通过浅水域和沼泽地逐步登陆

地壳运动海退导致浅水域和沼泽地消失

大规模风雨出现产生内陆淡水资源

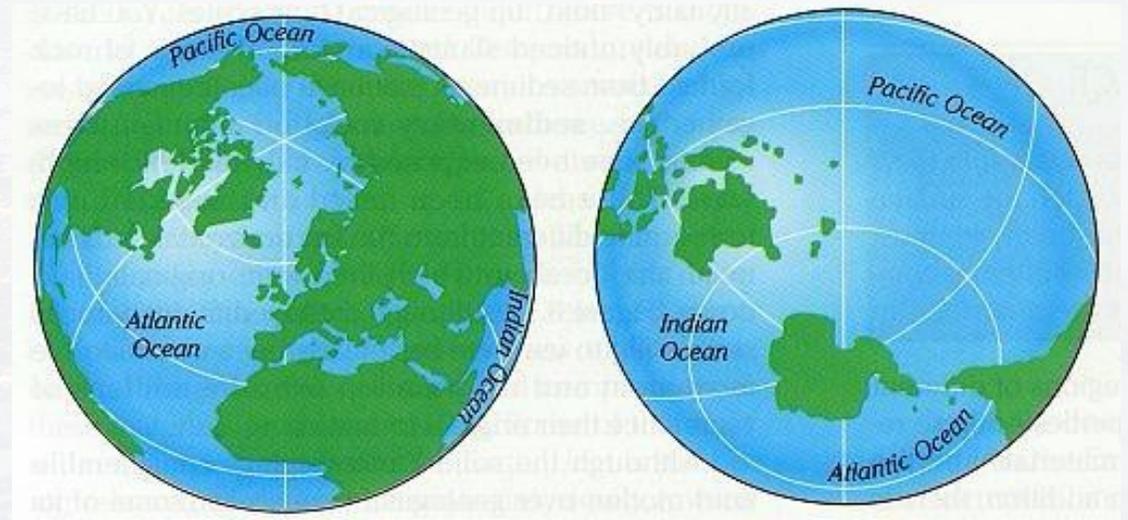
江河携带风化物进入海洋，加速咸化

海洋生物逐步演化为适应咸水



海水咸化过程对人类文明起源的意义

- › 陆地是文明展开的理想场所
- › 海水盐度变化的宏观事件顺序帮助生物完成登陆这一重大“使命”
海水如果过早咸化，生命登陆将难以完成
- › 海水咸化是创造人类所需的自然环境的一个必要因素
海洋占据地球表面大部分面积
淡水和咸水的比热相差较大
完全淡水的海洋其升温幅度和蒸发量均会大大减少，使得大规模风雨减弱



陆半球 48%陆地
水半球 90%海洋

海水咸化过程对人类文明起源的意义

- 海水总量、面积、盐度极大影响地球环境

海洋演化过程对人类文明出现至关重要

- 生命登陆、风雨出现、海水咸化这三大自然事件依次登场

- 地球演化的严格顺序是人类文明起源和发展的自然逻辑

- 让原本荒芜的陆地充满生机，点亮文明之光

