

如何量度气候变化影响？

戴永久

北京师范大学

全球变化与地球系统科学研究院

Outline:

- Introduction
- Domains of human vulnerability
- Climate change metrics at the intersection of the human and earth systems

1. Introduction

- 北京初雪

文学家、三流歌手

自然科学家(微观、气象学家)

政府官员

算命先生

老百姓

- 清华大学

- 姑娘 (前提定义、范围) “丰乳肥臀”

因子(因素)分析

- 道库恰耶夫(Dokuchaev)土壤地带性学说:

$$S = F(c, o, r, p, t, \dots)$$

c 气候因素; o 生物因素; r 地形因素

p 母质因素; t 时间

- 土壤流失模型:

$$A = R K L S B E T$$

A 多年土壤流失量

R 降雨侵蚀力; K 土壤可蚀性因子;

L 坡长; S 坡度; B 水土保持生物措施因子;

E 水土保持工程措施因子; T 水土保持耕作措施因子;

量纲分析

- 钱学森先生在三十年前在《土岩爆破文集》的序言中所指出的：“由于爆炸力学要处理的问题远比经典的固体力学或流体力学要复杂，似乎不宜一下子想从力学基本原理出发，构筑爆炸力学理论。近期还是靠小尺寸模型实验，**但要用比较严格的无量纲分析，从实验结果总结出经验规律**，这也是过去半世纪行之有效的研究方法。”

谈庆明，量纲分析，中国科学技术大学出版社，2000

- 1914年， Buckingham建立量纲分析与相似理论的 π 定理，他指出， **每个物理定律都可以用几个无量纲量（称之为 Π ）来表述，而且问题中的各无量纲数之间满足一定的函数关系。**

Π 定理： 设某个物理问题涉及 n 个物理量，其中有 m 个独立量纲，则可以形成 $n-m$ 个无量纲量 $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{n-m}$ 它们构成一个关系式：

$$F(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{n-m}) = 0$$

- 量纲有两类：
一类是基本量纲，它们是彼此独立，不能互相导出的，必须人为地设定；

另一类是导出量纲，由基本量纲导出。

在SI单位制中定义了七大基本量纲，长度m、质量kg、时间s、电流A、热力学温度K、发光强度cd、物质的量mol，其余物理量的量纲均可由上述基本量纲推导。

Π 定理应用举例:

- 近地面风速随高度变化:

对中性大气层结 $\partial\theta/\partial z = 0$, 可以认为风速随高度的廓线 $\partial u/\partial z$ 是由动量通量(u_*)和高度 z 决定, 即

$$f(\partial u/\partial z, u_*, z) = 0$$

式中有三个物理量, 即 $n=3$, 有两个独立量纲: 长度(m)和时间(s), 可以确定一无因次的 Π :

$$\Pi = \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^a u_*^b z^c = \left(\frac{1}{s}\right)^a \left(\frac{m}{s}\right)^b (z)^c$$

式中左边是无量纲量, 右边也应是无量纲量, 因此有:
 $b+c=0$; $a+b=0$. 取 $a=1$, 即有, $b=-1$, $c=1$.

$$\Pi = \frac{z}{u_*} \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^a$$

引进kamann常数 $k_0 = 0.35$, 即有: $\frac{k_0 z}{u_*} \frac{\partial u}{\partial z} = 1 \implies u(z) = \frac{u_*}{k_0} \ln \frac{z}{z_0}$

- 2005年1月，戴世强课题组的一位硕士生完成了一篇关于**行人流**的论文，他通过量纲分析，用Buckingham Π 定理导出了一个稠密行人流的离心力模型，也就是说，行人间的排斥力可用离心力来模化，并且用此模型进行计算机仿真，成功地再现了行人流中的一些自组织现象，如逆向行人流的成行现象、突发事件下人们疏散时在门口的成拱现象等。---戴世强

社会经济问题应用：

- 量度

社会、经济发展 $\longleftrightarrow$ 自然资源及可再生性
平衡.

人类活动与全球变化相互作用的定量研究方法

人类对地球系统的影响

(1) 人类活动对大气圈的影响

大气成分：温室气体、气溶胶（硫酸盐和矿物质气溶胶等）、O₃、VOC

由人类活动导致的大气成分变化对全球/区域气候的影响

(2) 人类对陆地的影响（土地利用和土地覆盖变化+城市化）

人类对陆地的影响

人类活动导致的土地利用/土地覆盖变化对全球/区域陆地生态/气候的影响

(3) 人类对水圈的影响

- 人类活动对水文水资源的影响
- 由人类活动导致的陆地水文过程变化对全球/区域气候的影响

(4) 人类对生物圈的影响

- 人类活动对生态系统的影响
- 由人类活动导致的生态系统变化对全球/区域气候的影响
- 气候变化和人类活动对陆地生态系统碳水循环的影响

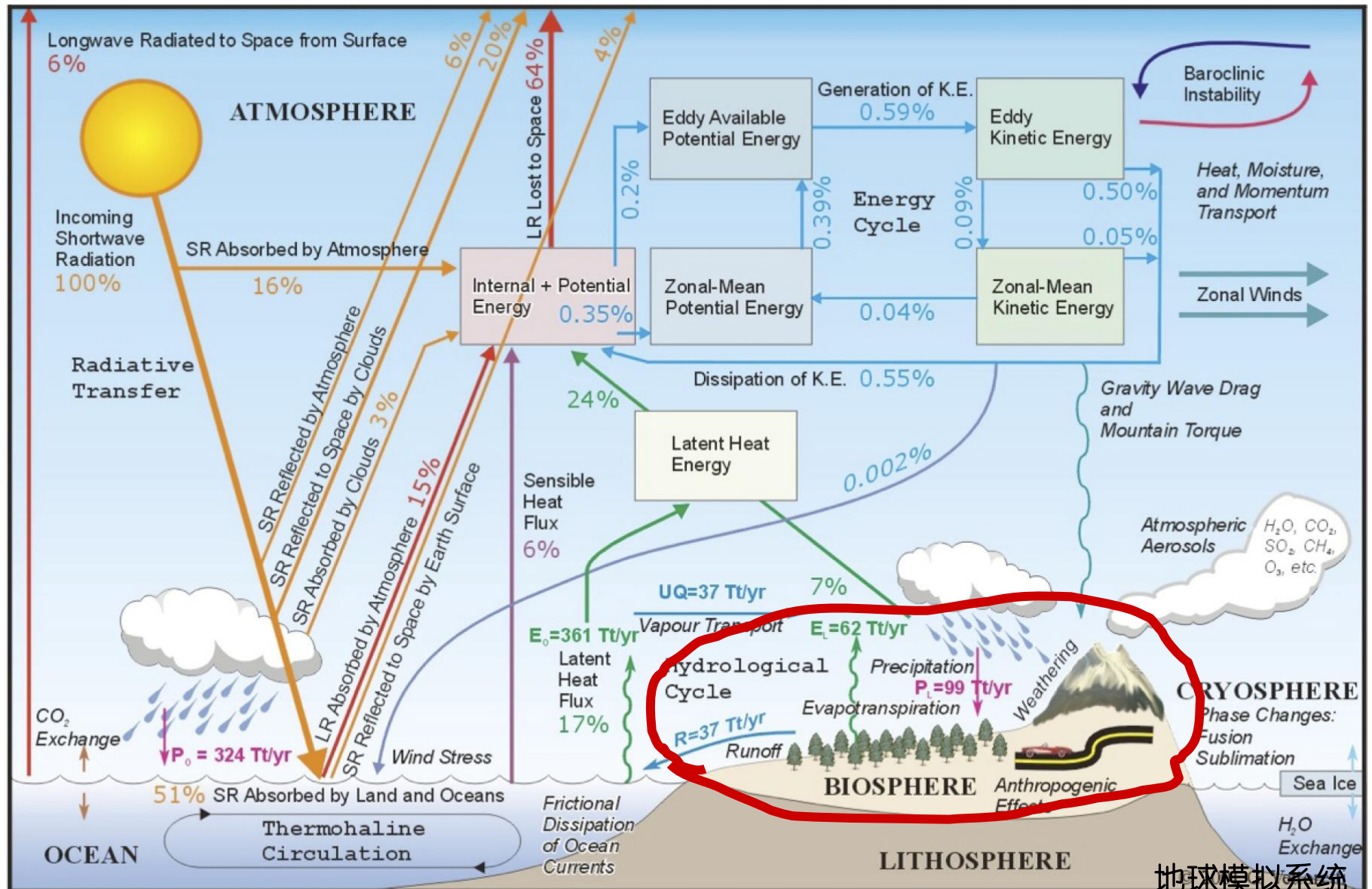
(5) 人类对冰冻圈的影响

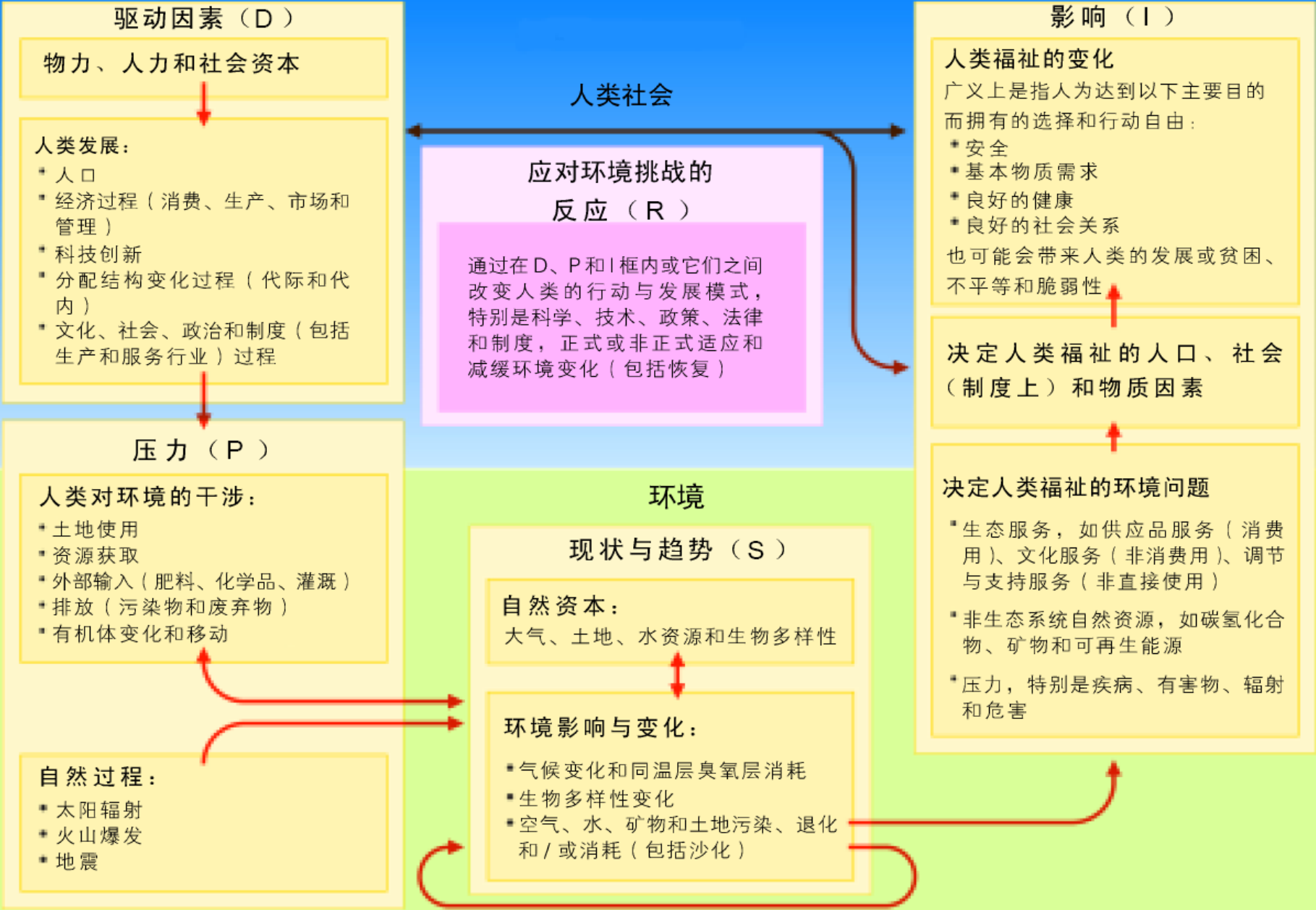
(6) 人类对土壤和岩石圈的影响

全球环境变化对人类的影响

- (1) 人类对全球环境变化的脆弱性
- (2) 全球环境变化对人类健康的影响
- (3) 食物安全（土地退化、谷物产量、…）

Models of Everything





不断“收缩”的地球

1900年
7.91



1950年
5.15



1987年
2.60



2005年
2.02



2030年
1.69

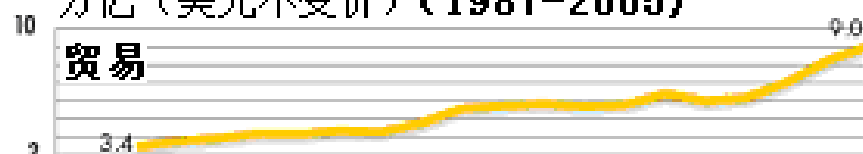


2050年
1.63

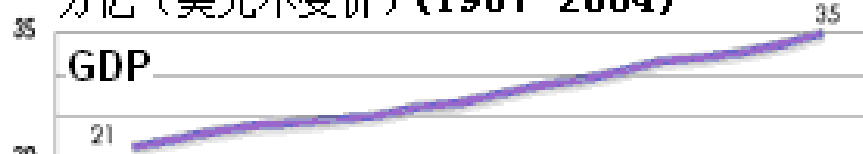


人均土地面积（单位：公顷）

万亿（美元不变价）（1987-2005）



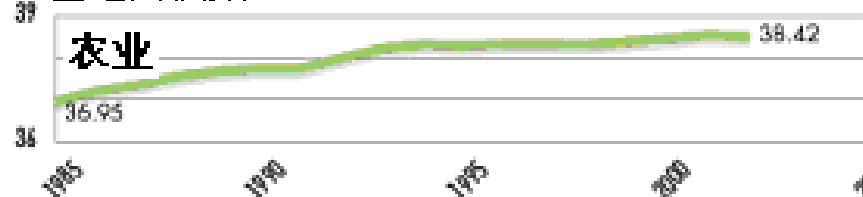
万亿（美元不变价）（1987-2004）



10亿吨（1990-2003）



土地面积数%（1987-2002）



Desertification

Reduced carbon sequestration into above- and below-ground carbon reserves

Reduces primary production and nutrient cycling

Decreased plant and soil organisms' species diversity

Reduced soil conservation

Increase in extreme events (floods, droughts, fires...)

Soil erosion

Reduced structural diversity of vegetation cover and diversity of microbial species in soil crust

Reduced carbon reserves and increased CO₂ emissions

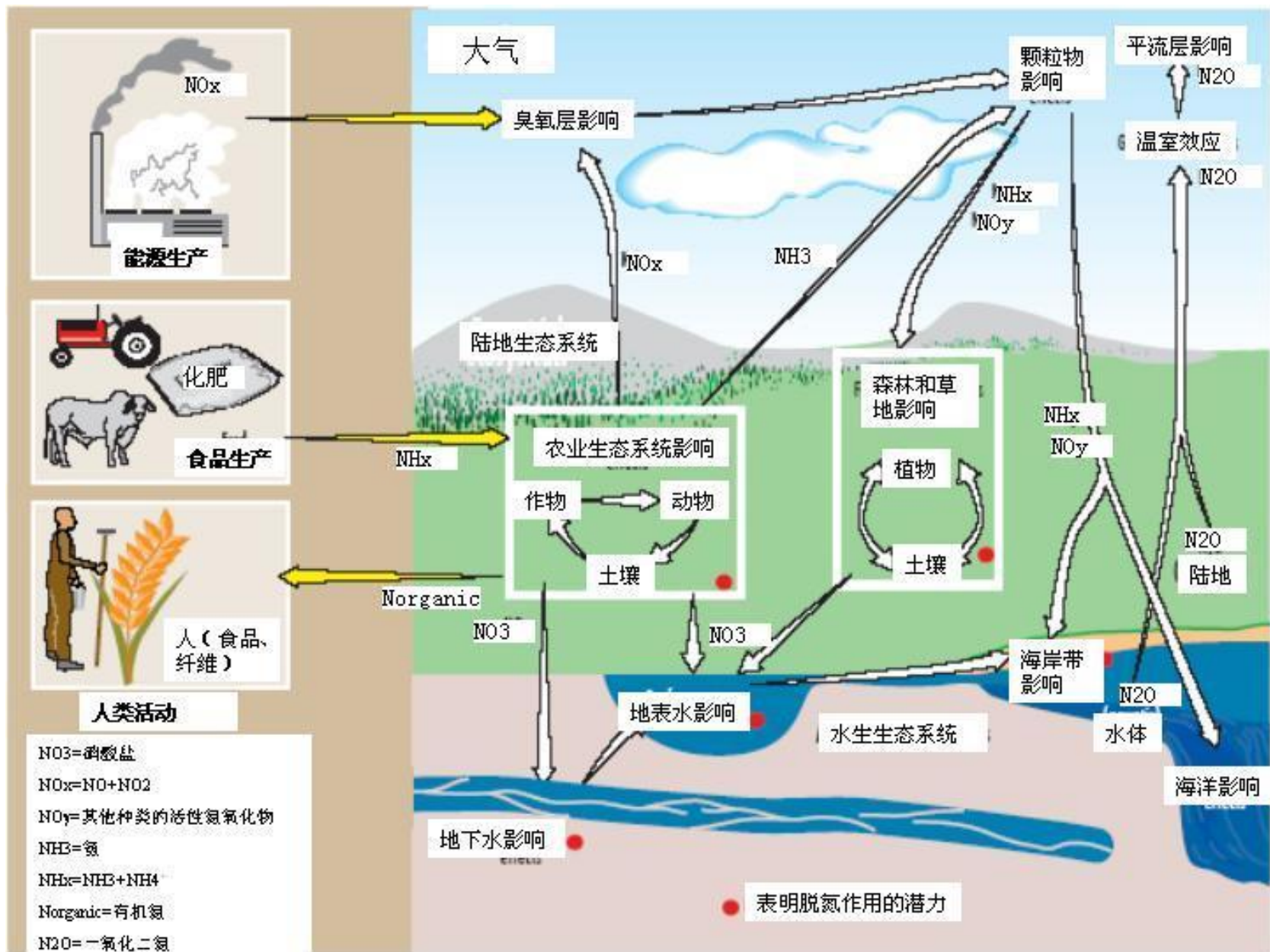
Loss of nutrients and soil structure

Climate change

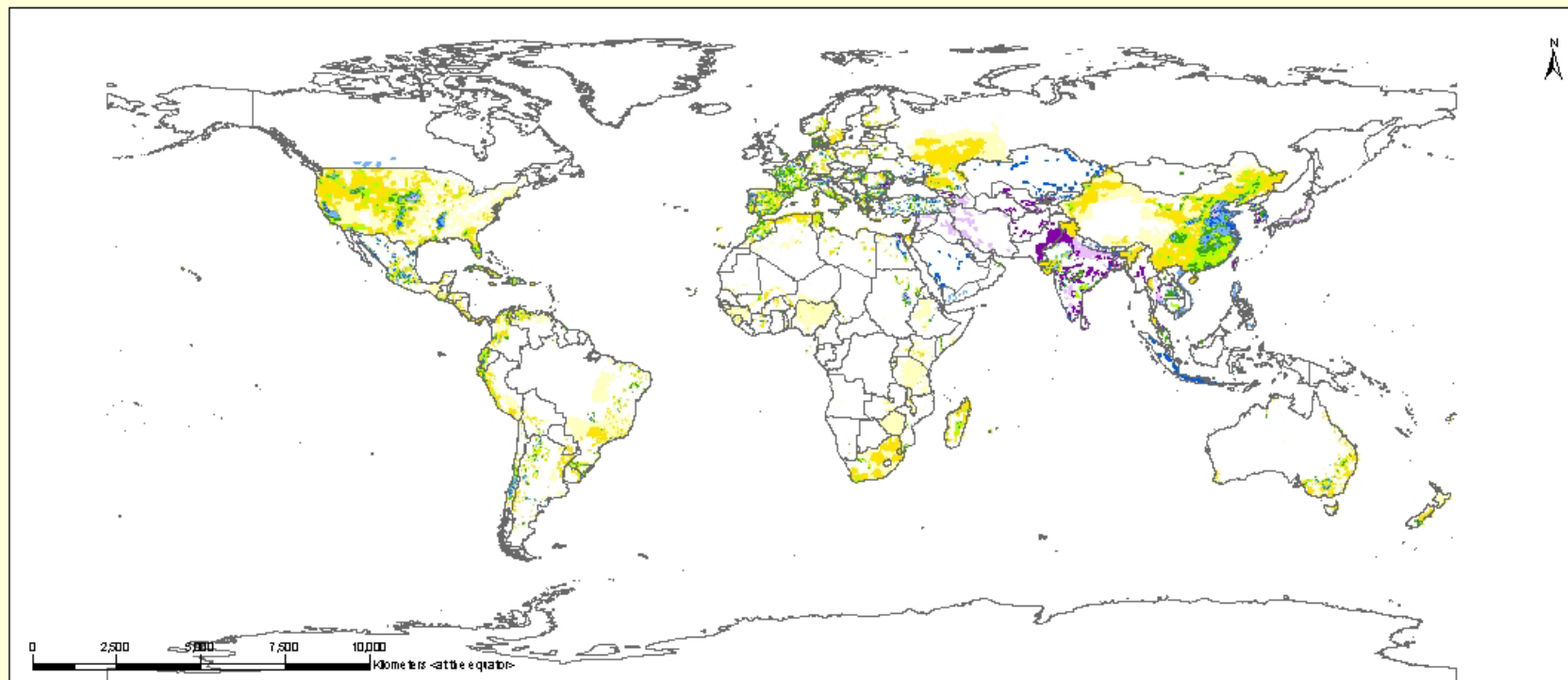
Biodiversity loss

Increases and reductions in species abundances

Change in community structure and diversity



Global map of irrigated areas



Geographic Projection

LEGEND

Percentage irrigated

0 - 0.1

0.1 - 1

1 - 5

5 - 10

10 - 20

20 - 35

35 - 50

50 - 75

75 - 100

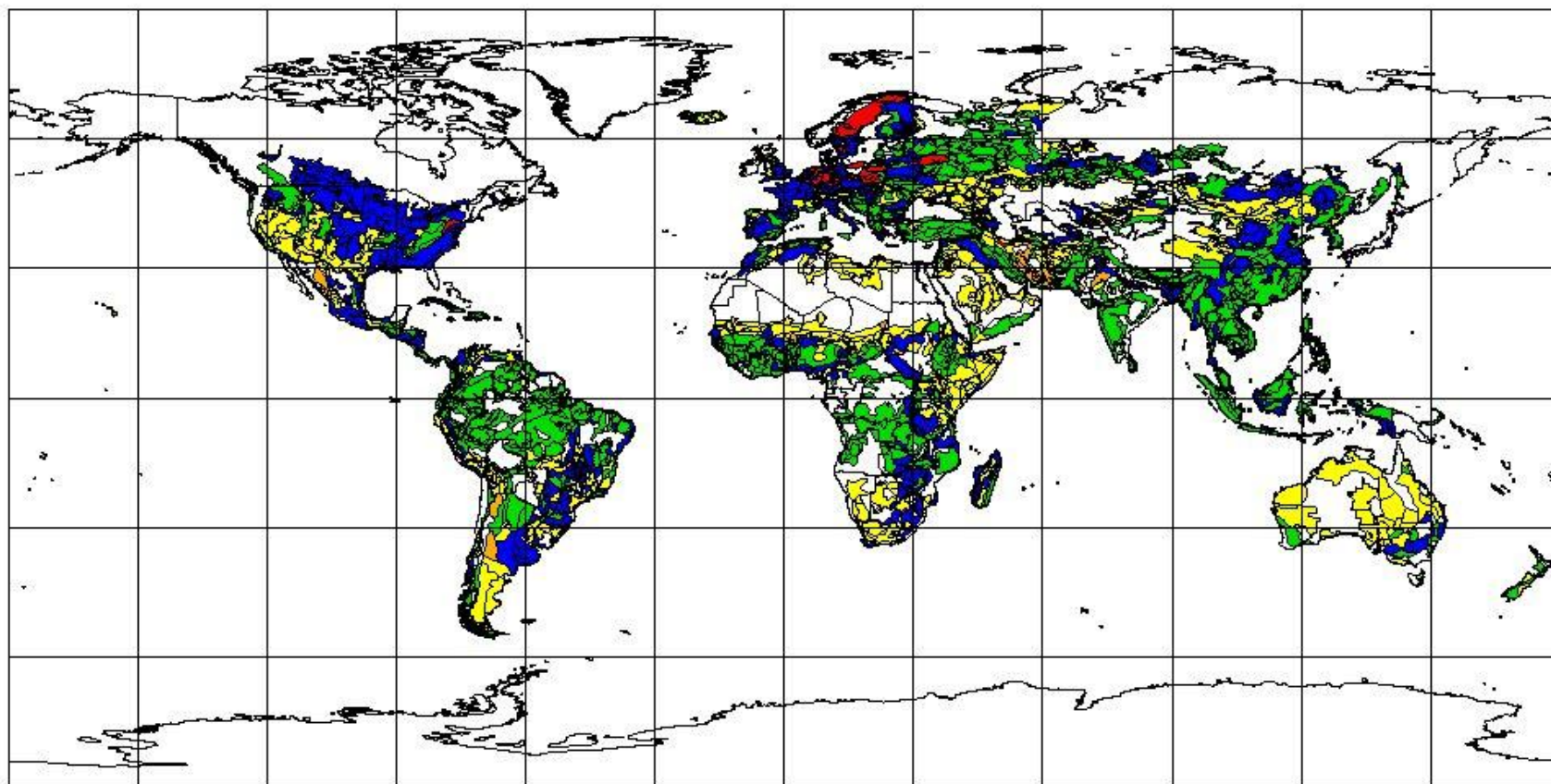


Source: Center for Environmental Systems Research of the University of Kassel / FAO - AGLW

Food and Agriculture Organization of the United Nations



Primary causes associated with primary soil degradation



Primary 1st Cause

- Overgrazing
- Overexploitation of vegetation
- Deforestation/removal of vegetation
- Agricultural activities
- (Bio)industrial activities

1) 定量化人类活动对于耦合系统的影响，确定人与地球环境耦合系统变化的原因、结构和属性特点（**阈值、临界负荷、转折点及惯性**）；

2) 评估人与地球环境耦合系统变化是如何影响生态系统服务的；

3) 确定脆弱的和可持续发展的人与环境耦合系统对于相互作用的干扰（包括气候变化）表现出的特点和动态变化。

存在的问题：

- 人类活动对地球系统影响的过程模型建立，以及参数的确定；
- 模型及参数的检验或标定；
- 过程的尺度转换问题：
 - 小尺度 $\leftrightarrow$ 大尺度 (upscaling)
 - 大尺度 $\leftrightarrow$ 小尺度 (downscaling)
 - 单体植被 $\leftrightarrow$ 群落植被（行为）
 - 小涡 $\leftrightarrow$ 大涡（行为）
- 人类活动、社会经济、文化、政治和和谐发展的数学表达。

