



农业气象学原理

刘琰琰

成都信息工程大学 大气科学学院

办公室：信达楼A213

E-mail: liuyy@cuit.edu.cn

Tel: 18202892206

QQ: 81756969

第五章 CO_2 、风与农业生产



主要内容

§ 1 二氧化碳对农业生物的影响

§ 2 农田二氧化碳时空变化及其调控

§ 3 其他温室气体对农业生物的影响

§ 4 风对农业生产的影响及调控

本章重点与难点

CO_2 饱和点与补偿点等基本概念，C循环、 CO_2 与光合作用、 CO_2 增加对农业生产的影响、群体
 CO_2 通量及浓度变化规律、 CO_2 调控技术。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

一、二氧化碳基本状况

1、大气中 CO_2 浓度及其长期演变趋势

工业革命前（1750~1800年）：280ppmv。其后不断增加，增长速度不断加快。

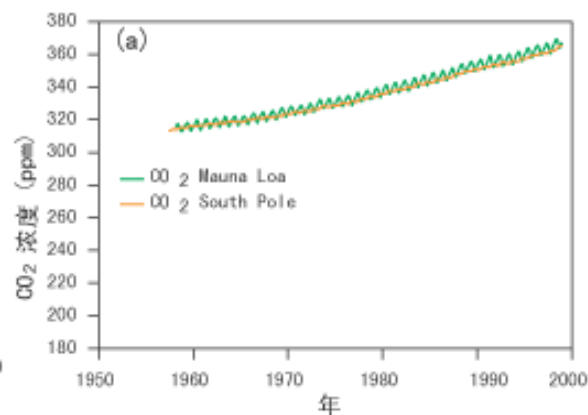
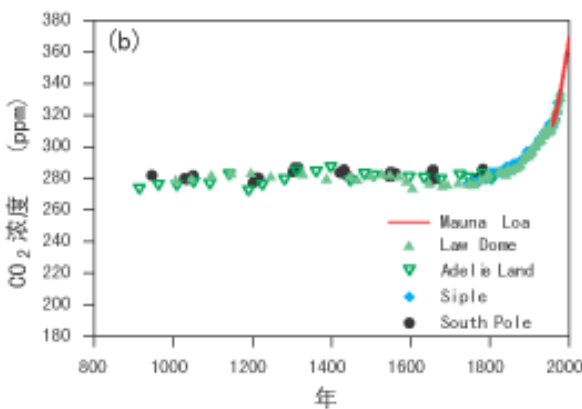
年增长速度：

1840~1900年，0.12ppmv；

1900~1960年，0.34ppmv；

1960~2000年，1.32ppmv。

至2000年，全球大气中的 CO_2 浓度已经达到369ppmv。



哥本哈根联合国气候变化会议



附表1 与会方承诺减排信息

与会方	承诺细节		承诺状态	是否包括土地利用、土地利用变化和林业 (LULUCF)	机制引入
	2020年减排范围	参照年			
澳大利亚	5%-15%或25%	2000	官方宣布	是	是
白俄罗斯	5%-10%	1990	考虑中	是	量化限制和减排目标(QELROs)依据具体条件而定
加拿大	20%	2006	官方宣布	初步定为 2006 年总排放量的 2%到-2%	无重要使用
克罗地亚 ^a	5%	1990	考虑中	是	待定
欧盟 ^b	20%-30%	1990	立法通过	若减排为 20%则不包括; 若减排为 30%则在-3%到 3%之间	初步估计: 若减排 20%则为 4%若减排 30%则为 9%
冰岛	15%	1990	官方宣布	可观贡献	限制机制使用
日本	25%	1990	官方宣布	初步定为 1990 年排放量的 1.5%至-2.9%	待定

哥本哈根协议-合作起来尽快减少碳排放



附表1 与会方承诺减排信息

与会方	承诺细节		承诺状态	是否包括土地利用、土地利用变化和林业（LULUCF）	机制引入
	2020年减排范围	参照年			
哈萨克斯坦	15%	1992	官方宣布	待定	待定
列支敦士登	20%-30%	1990	官方宣布	否	10%-40%
摩纳哥	20%	1990	官方宣布	否	是
新西兰	10%-20%	1990	官方宣布	是	是
挪威	30%-40%	1990	官方宣布	约 6%	是
俄罗斯	15%-25%	1990	官方宣布	待定	待定
瑞士	20%-30%	1990	官方宣布	是（根据现有计算规则）	初步估计，若减排 20%则为 36%，若减排 30%则为 42%
乌克兰	20%	1990	考虑中	待定	是
美国	14%-17%	2005	考虑中	是	是

哥本哈根协议-合作起来尽快减少碳排放



发展中国家自愿减排承诺

	国家	目标
1	巴西	到2020年按 BAU 削减排放36.1-38.9%
2	中国	到2020年在2005年水平上削减碳密度40-45%
3	哥斯达黎加	到2021年实现碳中和
4	印度	到2020年在2005年水平上削减排放密度20-25%
5	印度尼西亚	到2020年单方按 BAU 削减排放26%，在国际支援下削减41%
6	马尔代夫	到2019年实现碳中和
7	墨西哥	到2050年在2000水平上削减排放50%
8	菲律宾	在1990年水平上削减排放50%（未透露实现该目标的具体时间）
9	朝鲜	至2020年削减排放低于2005年水平4% 或按 BAU 水平削减30%（单方）
10	新加坡	到2020年按 BAU 水平削减排放16%
11	南非	到2020年按 BAU 水平削减排放34%， 到2025年削减42%（都将在得到支援的情况下实现）

第五章 CO₂、风与农业生产



中国展现减排决心

中国最早指定实施《应对气候变化国家方案》

- 2007年6月，《中国应对气候变化国家方案》出台，成为发展中国家颁布的第一部应对气候变化的国家方案。

中国近年来节能减排力度最大

中国新能源和可再生能源增长速度最快

- 近20年，中国累计节能量占全球总节能量的58%，目前可再生能源装机容量占全球24%，已成为世界节能和利用新能源、可再生能源的第一大国。
- 2024年，中国新能源汽车产销量双双突破1280万辆，连续十年领跑全球，在全球新能源汽车市场中的占比达到70%。

世界上人工造林面积最大的国家

- 森林蓄积量方面，中国人工造林11.8亿亩，是全世界人工造林最多的国家。目前中国的森林覆盖率已经超过22%，超额完成了此前宣布的到2020年实现较2005年增加13亿立方米的目标。“美国航空航天局公布了一组研究数字，说世界绿色的增加四分之一来自中国，植树造林占42%。” 我国已提前三年达到哥本哈根世界气候大会承诺减排目标

中国在2017年底的碳强度比2005年下降46%，已经提前三年实现下降40-45%的上限目标。

第五章 CO₂ 与农业生产

2021年两会上，碳达峰、碳中和被首次写入政府工作报告

碳达峰是指就是在某一个时点，二氧化碳的排放不再增长达到峰值，之后逐步回落。我国承诺2030年前，二氧化碳的排放不再增长，达到峰值之后逐步降低。

碳中和是指企业、团体或个人测算在一定时间内直接或间接产生的温室气体排放总量，然后通过植树造林、节能减排等形式，抵消自身产生的二氧化碳排放量，实现二氧化碳“零排放”。



今年两



企业



团体

碳中和是指企业 团体或个人测算在一定时间内

第五章 CO_2 风与农业生产

《2030年前碳达峰行动方案》，2021年

《2030年前碳达峰行动方案》聚焦“十四五”和“十五五”两个碳达峰关键期，提出提高非化石能源消费比重、提升能源利用效率、降低二氧化碳排放水平等目标。

- 到2025年，非化石能源消费比重达到20%左右，单位国内生产总值能源消耗比2020年下降13.5%，单位国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%，为实现碳达峰奠定坚实基础。



- 到2030年，非化石能源消费比重达到25%左右，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降65%以上，顺利实现2030年前碳达峰目标。

第五章 CO₂ 风与农业生产

碳达峰十大行动



一是能源绿色低碳转型行动。推进煤炭消费替代和转型升级，大力发展新能源，因地制宜开发水电，积极安全有序发展核电，合理调控油气消费，加快建设新型电力系统。

二是节能降碳增效行动。全面提升节能管理能力，实施节能降碳重点工程，推进重点用能设备节能增效，加强新型基础设施节能降碳。

三是工业领域碳达峰行动。推动工业领域绿色低碳发展，实现钢铁、有色金属、建材、石化化工等行业碳达峰，坚决遏制高耗能高排放项目盲目发展。

四是城乡建设碳达峰行动。推进城乡建设绿色低碳转型，加快提升建筑能效水平，加快优化建筑用能结构，推进农村建设和用能低碳转型。

五是交通运输绿色低碳行动。推动运输工具装备低碳转型，构建绿色高效交通运输体系，加快绿色交通基础设施建设。

六是循环经济助力降碳行动。推进产业园区循环化发展，加强大宗固废综合利用，健全资源循环利用体系，大力推进生活垃圾减量化资源化。

七是绿色低碳科技创新行动。完善创新体制机制，加强创新能力建设和人才培养，强化应用基础研究，加快先进适用技术研发和推广应用。

八是碳汇能力巩固提升行动。巩固生态系统固碳作用，提升生态系统碳汇能力，加强生态系统碳汇基础支撑，推进农业农村减排固碳。

九是绿色低碳全民行动。加强生态文明宣传教育，推广绿色低碳生活方式，引导企业履行社会责任，强化领导干部培训。

十是各地区梯次有序碳达峰行动。科学合理确定有序达峰目标，因地制宜推进绿色低碳发展，上下联动制定地方达峰方案，组织开展碳达峰试点建设。

第五章 CO₂ 风与农业生产



《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030年）》，2022年

一是能源绿色低碳转型科技支撑行动。立足以煤为主的资源禀赋，抓好煤炭清洁高效利用，增加新能源消纳能力，推动煤炭和新能源优化组合，保障国家能源安全并降低碳排放；

二是低碳与零碳工业流程再造技术突破行动。是以原料燃料替代、短流程制造和低碳技术集成耦合优化为核心，引领高碳工业流程的零碳和低碳再造；

三是建筑交通低碳零碳技术攻关行动。是以围绕交通和建筑行业绿色低碳转型目标，以脱碳减排和节能增效为重点，大力推进低碳零碳技术研发与推广应用；

四是负碳及非二氧化碳温室气体减排技术能力提升行动。聚焦提升CCUS、绿色碳汇、蓝色碳汇等负碳技术能力，对甲烷、氧化亚氮等非二氧化碳温室气体监测和减量替代技术进行针对性部署；

五是前沿颠覆性低碳技术创新行动。围绕驱动产业变革的目标，聚焦基础研究最新突破，加快培育颠覆性技术创新路径，引领实现产业和经济发展方式的迭代升级；

六是低碳零碳技术示范行动。形成一批可复制可推广的先进技术引领的节能减碳技术综合解决方案，并开展一批典型低碳技术应用示范，促进低碳技术成果转移转化；

七是碳达峰碳中和管理决策支撑行动。加强碳减排监测、核查、核算、评估技术体系研究建议，提出不同产业门类、区域的碳达峰碳中和发展路径和技术支撑体系；

八是碳达峰碳中和创新项目、基地、人才协同增效行动。着力加强国家科技计划对低碳科技创新的系统部署，推动国家绿色低碳创新基地建设和人才培养，加强项目、基地和人才协同，提升创新驱动合力和国家创新体系整体效能；

九是绿色低碳科技企业培育与服务行动。加快完善绿色低碳科技企业孵化服务体系，培育一批低碳科技领军企业，优化绿色低碳领域创新创业生态；

十是碳达峰碳中和科技创新国际合作行动。持续深化低碳科技创新领域国际合作，构建国际绿色技术创新国际合作网络，支撑构建人类命运共同体。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

二、二氧化碳与碳循环

碳循环是指碳素在地球的各个圈层(大气圈、水圈、生物圈、土壤圈、岩石圈)之间迁移转化和循环周转的过程。

在漫长的地球历史进程中，碳循环最初只是在大气圈、水圈和岩石圈中进行，随着生物的出现，有了生物圈和土壤圈，碳循环便在五个圈层中进行。碳循环的主要途径是：大气中的 CO_2 被陆地和海洋中的植物吸收，然后通过生物或地质过程以及人类活动干预，又以 CO_2 的形式返回到大气中。

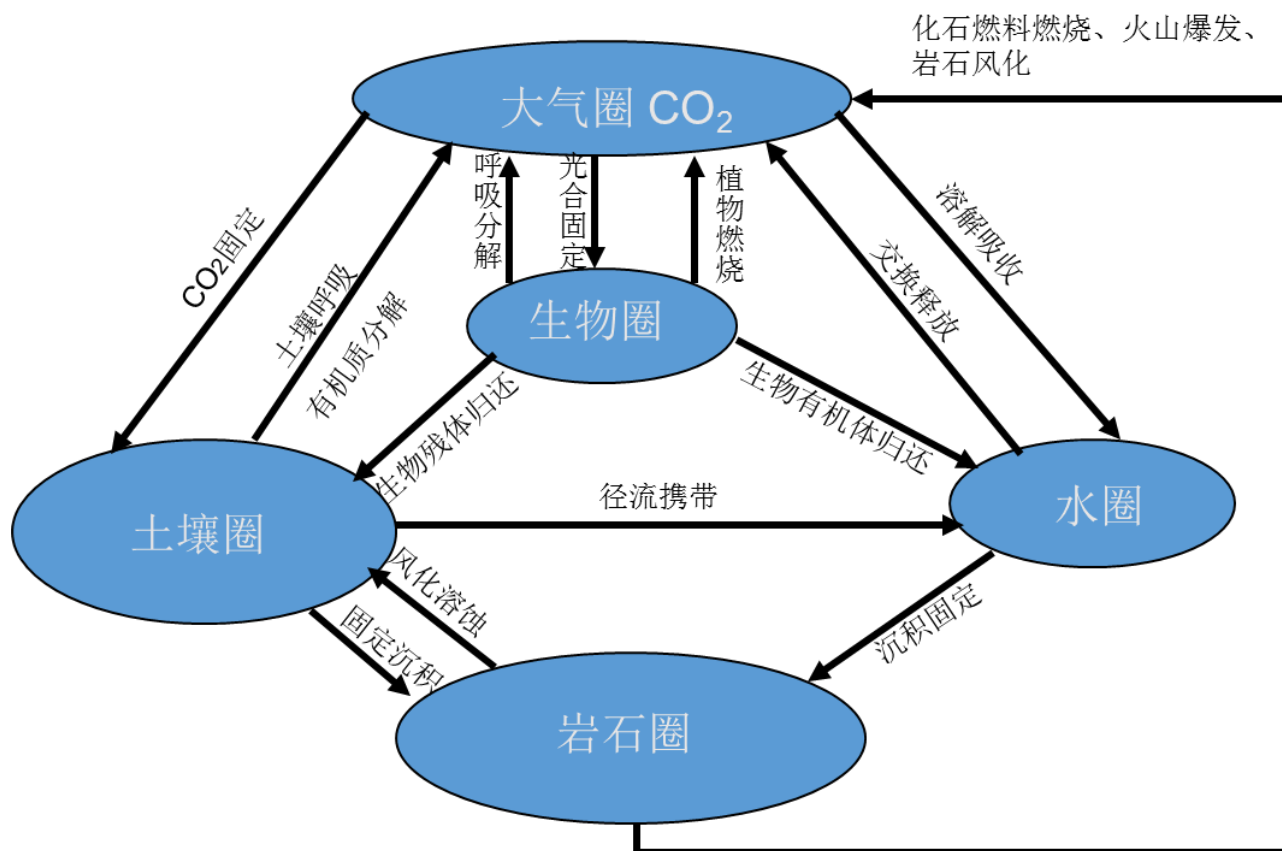
第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

二、二氧化碳与碳循环

碳循环简图



第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

二、二氧化碳与碳循环

(1) 大气中的源和汇

a、大气中的 CO_2 的源

● **海洋**。它是人类活动影响前大气中 CO_2 最重要的一个源。据估算，全球由海洋到大气的 CO_2 平均净通量约为 $4.151 \times 10^{14} \text{ g(C)}/\text{a}$ 。

● **地幔（土壤）**。它是大气中 CO_2 的另一个重要的源，每年约 $0.273 \times 10^{14} \text{ g(C)}$ 的 CO_2 由地幔直接进入大气，是全球化石燃烧释放量的十倍多，占全球 CO_2 交换量的25%。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

二、二氧化碳与碳循环

(1) 大气中的源和汇

a、大气中的 CO_2 的源

● **人类活动。**包括大量使用煤、石油、天然气等矿物质燃料向大气排放 CO_2 以及植物破坏。

有些研究的估算认为，在1850~1950年的100年间，由于人类活动而进入大气中的碳达 $1.8 \times 10^{11}\text{T}$ ，其中1/3来自化石燃料燃烧，其余2/3则来源于植被特别是森林被破坏影响大气碳平衡的结果。

第五章 CO₂、风与农业生产



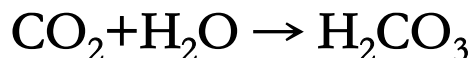
第一节 二氧化碳对农业生物的影响

二、二氧化碳与碳循环

(1) 大气中的源和汇

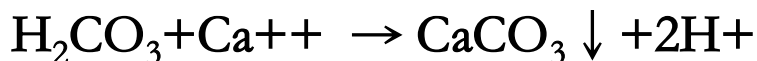
b、大气中CO₂的汇

● **水圈**。大气中CO₂溶解进入水圈。



● **生物圈**。机制主要是植物通过光合作用吸收大气中的CO₂而形成有机物，即光合作用进入生物圈。据估算，陆地生态系统与大气中CO₂交换的净通量为 $4.342 \times 10^{14} \text{ g(C)}/\text{a}$ 。

● **岩石圈**。大气中CO₂淋化进入岩石圈。



第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

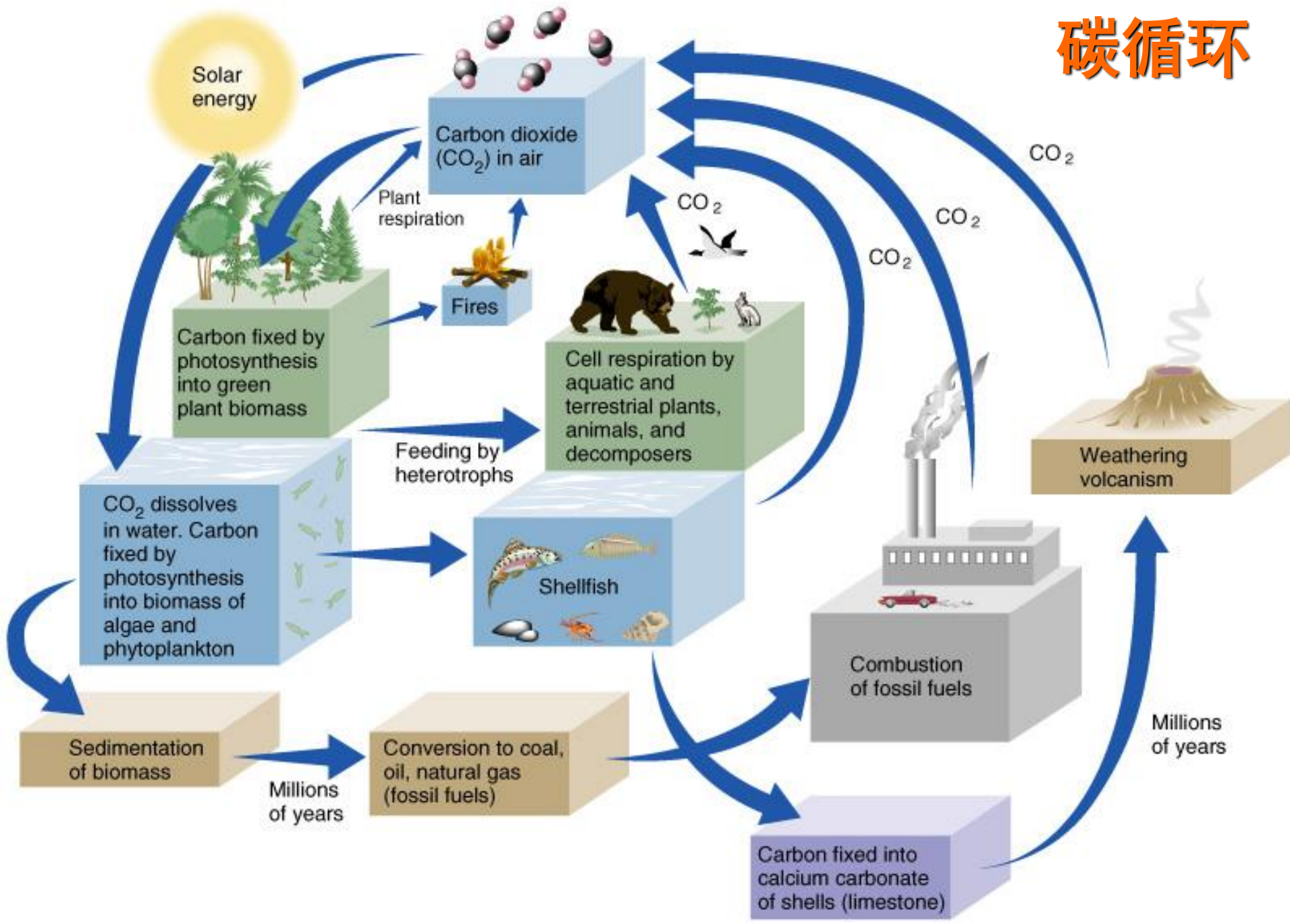
二、二氧化碳与碳循环

(2) 碳循环

火山爆发、岩石风化、化石能源的燃烧都产生 CO_2 ；同时，所有生物的呼吸以及有机物分解过程也都产生 CO_2 。从**生物圈中**的碳循环过程看，植物的光合作用是推动碳循环的原动力，且只有 CO_2 形态的碳才能进入碳循环。

另外，对整个地球而言，二氧化碳在高纬度及两极地区水温低的海洋中溶解度要高于低纬及赤道地区水温高的海洋。因此寒冷海洋大量吸收大气中的 CO_2 ，并通过深层“寒流”再输送到热带地区，从而完成了全球水陆 CO_2 的循环。

碳循环





第五章 CO_2 、风与农业生产

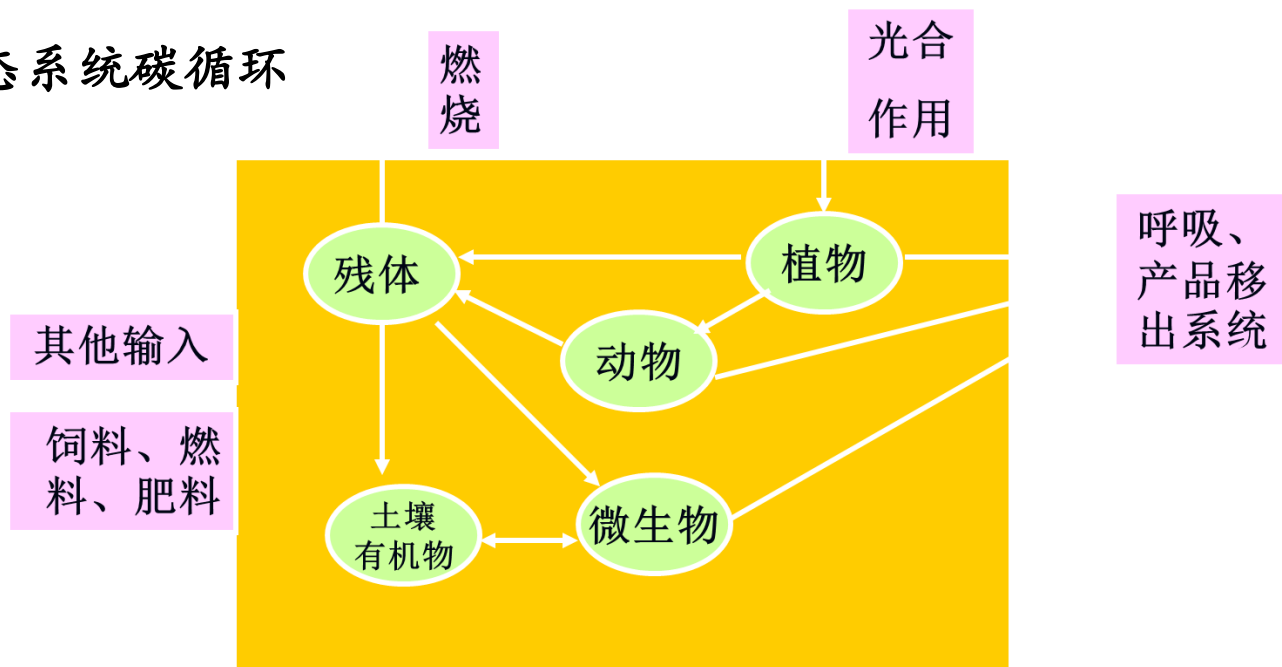


第一节 二氧化碳对农业生物的影响

二、二氧化碳与碳循环

(2) 碳循环

b、农业生态系统碳循环



农业生态系统碳循环模式

第五章 CO₂、风与农业生产

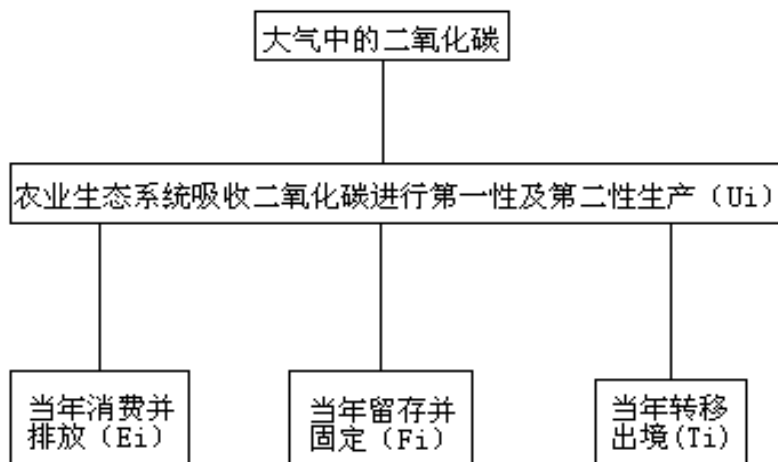


第一节 二氧化碳对农业生物的影响

二、二氧化碳与碳循环

(2) 碳循环

b、农业生态系统碳循环



农田生态系统碳循环可表示为：

吸收量=固定量+释放量+转移量

从碳平衡角度，可用

$$\begin{aligned}\text{碳平衡}(Bi) &= \text{吸收量}(Ui) - \text{排放量}(Ei) \\ &= \text{固定量}(Fi) + \text{转移量}(Ti)\end{aligned}$$

式中，i为年度。

由上式可知，如果 $Bi > 0$ ，则 $Ui > Ei$ 或 $Fi + Ti > 0$ ，说明系统周年内有了一定的碳积累，即固定于系统中，对大气而言吸收多于排放，为碳之汇，反之则为碳之源。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

1、植物对 CO_2 的吸收和利用

(1) 植物吸收 CO_2 的过程

a、从大气通过湍流和对流交换输送到叶片附近。这段路程最长， CO_2 与叶片的距离以m或cm来计算，该段路程阻力最小。

b、从叶片周围通过气孔到达叶肉细胞的表面。距离不到1cm，此段路程是气相扩散，其阻力的大小首先决定于气孔阻力的大小，此外 CO_2 分子还要克服叶片内表皮阻力，才能到达叶肉细胞表面。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

1、植物对 CO_2 的吸收和利用

(1) 植物吸收 CO_2 的过程

c、从叶肉细胞的表面进入到叶绿体内。

距离最短，在1mm以下，在这段路程中， CO_2 首先要克服叶肉阻力（约为2~10 s/cm），其后 CO_2 分子要穿过原生质液相，才能到达叶绿体，再进入到叶绿体内层的光化学反应中心。

上述过程表明， CO_2 在由空气到叶绿体内羧化位置的物理传递过程中受到一系列阻力的影响，包括：

● 叶片边界层阻力 ● 气孔阻力 ● 叶肉阻力

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

1、植物对 CO_2 的吸收和利用

(2) CO_2 的饱和点与补偿点

植物吸收利用 CO_2 的状况，与周围空气的 CO_2 浓度有关。即浓度不同， CO_2 向叶内扩散量不同（有两方面的影响），则光合速率不同。

a、 CO_2 补偿点（ CO_2 compensation point）

植物光合作用所吸收的 CO_2 与呼吸作用释放的 CO_2 达到平衡时，**环境中的 CO_2 浓度称补偿点。**

- CO_2 补偿点时的净光合速率等于零，无干物质的积累。
- CO_2 补偿点是了解和衡量作物光合作用与呼吸作用关系的一个重要生理指标。所以低 CO_2 补偿点往往可以作为作物高光合效率的指标。
- CO_2 补偿点还与作物的发育及环境有关。

第五章 CO_2 、风与农业生产

第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

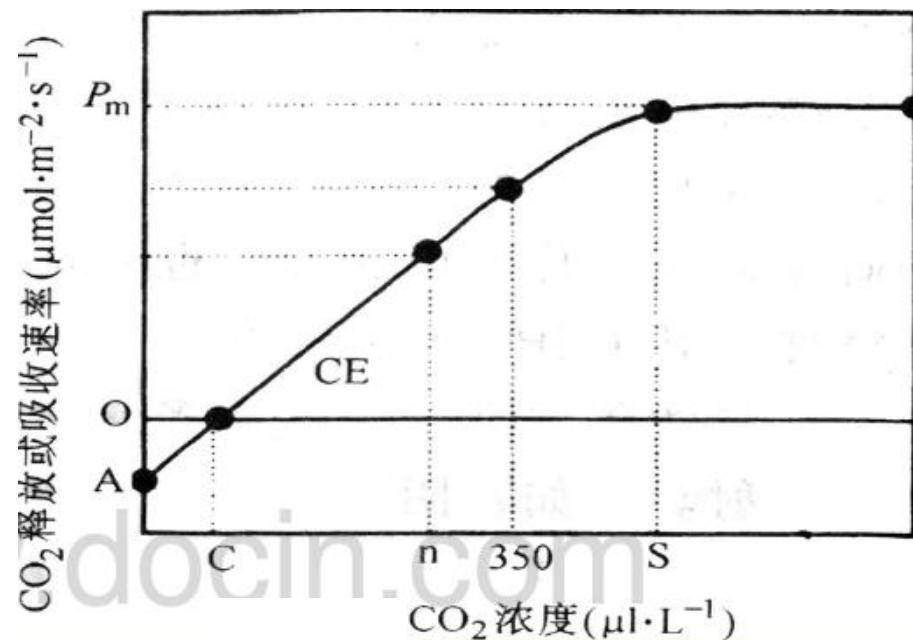
1、植物对 CO_2 的吸收和利用

(2) CO_2 的饱和点与补偿点

b、 CO_2 饱和点 (CO_2 saturation point)

在辐射能充分满足的条件下，植物光合速率不再随 CO_2 浓度增加而增大时的环境中的 CO_2 浓度称为 CO_2 饱和点。

当达到 CO_2 饱和点时，光合速率达到最大，这时的光合速率反映了光合电子传递和光合磷酸化的活性，被称为光合能力。



叶片光合速率对细胞间隙 CO_2 浓度响应示意图
C: CO_2 补偿点; n: 空气浓度下细胞间隙 CO_2 浓度; S: CO_2 饱和点; P_m : 最大光合速率;
CE: 羧化效率; OA: 总呼吸速率

第五章 CO_2 、风与农业生产

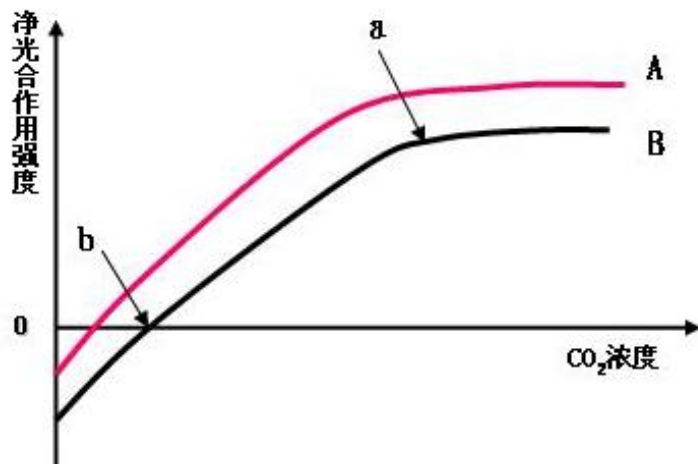


第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

1、植物对 CO_2 的吸收和利用

(2) CO_2 的饱和点与补偿点



各种植物的 CO_2 补偿点不同，玉米、高粱、谷子等 C_4 植物的补偿点一般小于 10ppm 称低 CO_2 补偿点植物；

小麦、水稻、棉花、大豆等 C_3 植物的补偿点为 $40\sim 150\text{ppm}$ ，称为高 CO_2 补偿点植物。

多数植物的 CO_2 饱和点为 $800\sim 1800\text{ppm}$ ，现在大气中 CO_2 的浓度约为 370ppm 。大大超过补偿点而远离饱和点， CO_2 浓度的增加，必定加快光合作用的强度，增加农作物的光合产量，从而加快植物生长。

第五章 CO_2 、风与农业生产

第一节 二氧化碳对农业生物的影响

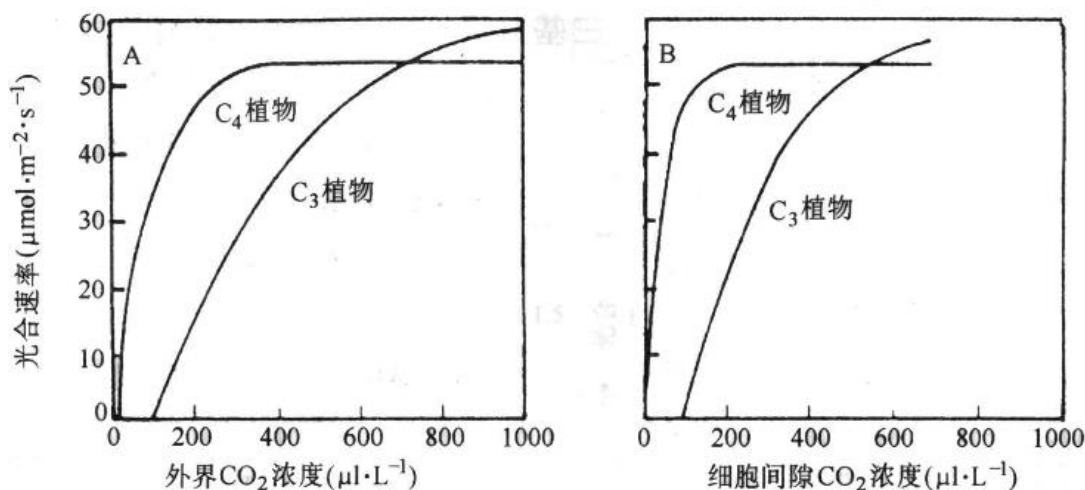
三、二氧化碳与植物

1、植物对 CO_2 的吸收和利用

(3) 影响作物同化 CO_2 速率的因子

a、种间差异

C_4 植物同化 CO_2 的速率比 C_3 植物大的多。据测定，在适宜的环境条件和同样的光强、 CO_2 浓度下， C_4 植物的产量要比 C_3 植物高出近一倍。



第五章 CO₂、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

1、植物对CO₂的吸收和利用

(3) 影响作物同化CO₂速率的因子

b、光强的影响

光强 (I)、CO₂浓度 (C) 与光合强度 (P) 的关系:

$$P = DC(Max) * C * \frac{I}{a + I}$$

式中，DC(Max)为光达到饱和且CO₂为某一浓度时的植物同化 CO₂ 速率；a 为常数。

可见，同化作用在光强较弱时受到光强的限制，而在光强较强时受到CO₂浓度的限制，这正是限制因子学说的观点。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

1、植物对 CO_2 的吸收和利用

(3) 影响作物同化 CO_2 速率的因子

c、温度的影响

在光强和 CO_2 浓度条件得到满足时，光合作用强度随温度的变化呈抛物线型。显然，作物同化 CO_2 的速率受温度的影响，也存在着同样的关系。（表5.2）

d、水分的影响

水分含量的多少通过气孔开度大小来影响作物同化 CO_2 的速率。

当水分不足时，气孔变狭，减少 CO_2 吸收；同时原生质的水合作用减弱，光合能力降低。（ C_4 、 C_3 植物对比？）而水分过多时 CO_2 吸收亦会逐渐减弱甚至停止。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

1、植物对 CO_2 的吸收和利用

(3) 影响作物同化 CO_2 速率的因子

e、风的影响

风的影响主要包括三个方面。

一是空气流动可不断地从群体外部向群体内部输送和补充 CO_2 ；二是加强群体内部的湍流交换，把下层叶片以及土壤呼吸放出的 CO_2 带到光合能力较强的群体上层；三是风速逐渐增大会使 CO_2 扩散阻力明显减少。

f、群体结构的影响

直立叶片较多的群体，通风、透光情况良好，有利于群体中 CO_2 的扩散，对提高群体光合能力及干物质积累有利。

第五章 CO_2 、风与农业生产

第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、 CO_2 浓度增加对作物的影响

(1) 直接影响 CO_2 浓度增加对作物直接影响的试验研究

1、试验装置与设备

人工增加 CO_2 浓度也称为 CO_2 施肥，研究 CO_2 浓度增加对作物影响的试验装置主要有温室、人工气候箱、气室和开放式试验田（free-air CO_2 enrichment）等。



第五章 CO_2 、风与农业生产

FACE Experiments



第五章 CO_2 、风与农业生产

Swiss (ETH) FACE Experiment



Desert Ecosystem to Long-term Elevated Atmospheric CO_2 : The Nevada Desert FACE Facility



第五章 CO_2 、风与农业生产

Experiment Designs in the Field



第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、 CO_2 浓度增加对作物的影响

(1) 直接影响 CO_2 浓度增加对作物直接影响的试验研究

2、部分试验研究数据

(1) CO_2 浓度增加对作物光合作用的影响

冬小麦： CO_2 浓度在600ppm之内，光合速率P与 CO_2 浓度几乎是直线关系；

春小麦： CO_2 浓度倍增时，P增大2.569倍；

大豆： CO_2 浓度为500，600，700ppm时，P分别升高80%、143%、205%。

第五章 CO₂、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、CO₂浓度增加对作物的影响

(1) 直接影响 CO₂浓度增加对作物直接影响的试验研究

2、部分试验研究数据

(2) CO₂浓度倍增对作物发育期和株高的影响

作物	大豆		冬小麦		棉花		玉米	
项目	成熟期	株高(cm)	成熟期	株高(cm)	吐絮盛期	株高(cm)	成熟期	株高(cm)
处理 700×10 ⁻⁶	1992年9月23日	126	1993年5月30日	82	1993年9月12日	94	1994年9月15日	237
对照 350×10 ⁻⁶	1992年9月25日	116	1993年6月3日	68	1993年9月20日	82	1994年9月15日	239
发育期								
提前天数	2		4		8		0	
增高量		10		14		12		- 2
增高率(%)		8.6		20.6		14.6		- 0.9

从上表可知, CO₂浓度倍增使棉花发育提前8d,冬小麦和大豆分别提前4d和2d,对玉米(C4)没有影响。CO₂浓度倍增对冬小麦株高的影响最为明显,增高量达14cm,其次是棉花和大豆,对玉米影响不大。

第五章 CO₂、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、CO₂浓度增加对作物的影响

(1) 直接影响 CO₂浓度增加对作物直接影响的试验研究

2、部分试验研究数据

(3) CO₂浓度倍增对作物生物量(干重)的(g/株)的影响

作物	大豆			冬小麦			棉花			玉米		
项目	地下	地上	总	地下	地上	总	地下	地上	总	地下	地上	总
处理 700×10 ⁻⁶	3.9	30.4	34.3	1.9	12.8	14.7	11.2	113.1	124.3	41.2	107.1	148.3
对照 350×10 ⁻⁶	1.6	16.7	18.3	0.9	9.8	10.7	7.8	76.3	84.1	26.7	97.4	124.1
增长率(%)	143.8	82.0	87.4	111.1	30.6	36.1	43.6	48.2	48.0	54.3	10.0	19.6

从上表可知,CO₂浓度增加,作物生物量随之增加,但4种作物地下和地上两部分生物量的增长率并不平衡,大豆和冬小麦根的增长最为明显,其次为玉米,而棉花根的增长率略低于地上的增长率。

第五章 CO₂、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、CO₂浓度增加对作物的影响

(1) 直接影响 CO₂浓度增加对作物直接影响的试验研究

2、部分试验研究数据

(4) CO₂浓度倍增对作物产量 (g/株) 的影响

作物	大豆	冬小麦	棉花*	玉米
处理 700×10 ⁻⁶	12.2	5.9	20.9	149.0
对照 350×10 ⁻⁶	7.3	4.6	16.4	121.2
增长率(%)	67.1	28.3	27.4	22.9

* 棉花产量为皮棉

CO₂浓度增加, 4 种作物产量呈增加趋势, 其中大豆增长最为明显, 增长率达67.1%, 冬小麦和棉花次之, 且增长幅度十分相近, 玉米仍最小。

第五章 CO₂、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、CO₂浓度增加对作物的影响

(1) 直接影响 CO₂浓度增加对作物直接影响的试验研究

2、部分试验研究数据

(5) CO₂浓度增加对黄瓜生长发育的影响

处理	观测日期 (日/月)	26号温室						44号温室					
		株高 (cm)	茎围 (cm)	功能叶片数 (个)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	挂果数 (个)	株高 (cm)	茎围 (cm)	功能叶片数 (个)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	挂果数 (个)
施用	1/1 (基础苗情)	39.0						35.6					
	21/1	89.2	2.8	14.7	12.4	16.0	1.3	83.3	2.6	14.5	10.6	14.0	/
	14/2		3.9		15.5	22.9			3.0		15.9	20.8	
未施	1/1 (基础苗情)	39.3						34.3					
	21/1	56.7	2.7	13.2	9.7	13.6	0.2	49.0	2.4	12.7	8.2	10.9	/
	14/2		3.0		13.2	18.9			2.6		15.0	18.5	
差值	1/1	- 0.3						1.3					
	21/1	32.5	0.1	1.5	2.7	2.4	1.1	34.3	0.2	1.8	2.4	3.1	/
	14/2		0.9		2.3	4.0			0.4		0.9	2.3	

备注:表中茎围是指从顶端向下第5片叶子基部的周长,功能叶指除枯黄叶以外可进行光合作用的叶片,叶长、叶宽统一测量顶端往下第5片叶子。

第五章 CO₂、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、CO₂浓度增加对作物的影响

CO₂浓度增加对作物直接影响的试验研究

(1) 直接影响

2、部分试验研究数据

(6) 温室蔬菜施用CO₂ 气肥后的增产作用

蔬菜种类	施 用							未 施		增产与投入产出比	
	始放期	停放期	施放天数 (d)	单间产量 (kg)	总产量 (kg)	总增产值 (元)	总投入 (元)	单间产量 (kg)	总产量 (kg)	增产比 (%)	投入产出比 (总投入/总增产值)
冬黄瓜	1997年01月01日	1997年03月15日	74	272.7	3546.0	3758.76	340.00	136.3	954.0	100.1	1:11.1
秋黄瓜	1997年11月17日	1997年12月05日	19	8.6	68.5	22.06	27.95	7.7	15.3	11.7	1:0.7
秋西葫芦	1997年11月14日	1997年11月30日	17	21.7	130.0	42.30	32.18	18.5	37.0	17.2	1:1.3
芹菜	1997年11月14日	1997年12月17日	34	214.5	2145.0	470.88	45.11	160.0	800.0	34.1	1:10.4
芹菜	1997年11月14日	1997年12月05日	22	177.5	1950.0	245.96	38.36	151.5	605.0	17.2	1:6.4
芹菜	1997年11月14日	1997年12月17日	34	203.5	2240.0	396.00	46.91	158.5	475.0	28.4	1:8.4
油菜	1997年11月14日	1997年12月20日	37	129.0	2455.0	286.52	45.52	100.0	100.0	29.0	1:6.3
春黄瓜	1998年03月01日	1998年04月30日	61	391.5	5873.0	2640.60	211.00	220.0	1100.0	78.0	1:12.5
春黄瓜	1998年03月01日	1998年04月30日	61	383.4	6134.8	2790.88	211.00	232.1	812.3	65.2	1:13.2
春黄瓜	1998年03月01日	1998年04月30日	61	304.5	4567.5	2320.05	211.00	202.4	1011.8	50.4	1:11.0

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、 CO_2 浓度增加对作物的影响

(1) 直接影响

- 促进了植物的光合作用，增加了植物生物量的累积；
- 显著提高了 C_3 作物产量，但对 C_4 作物产量的影响很小；
- 降低了 C_3 和 C_4 作物气孔导度，非常显著的提高了所有作物水分利用率；对植物生长的促进作用，水分不足与水分充足时二者相当或前者大于后者
- 对非豆科植物生长的促进作用要受到土壤低氮水平的限制，而对豆科植物则不受氮肥水平限制；

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、 CO_2 浓度增加对作物的影响

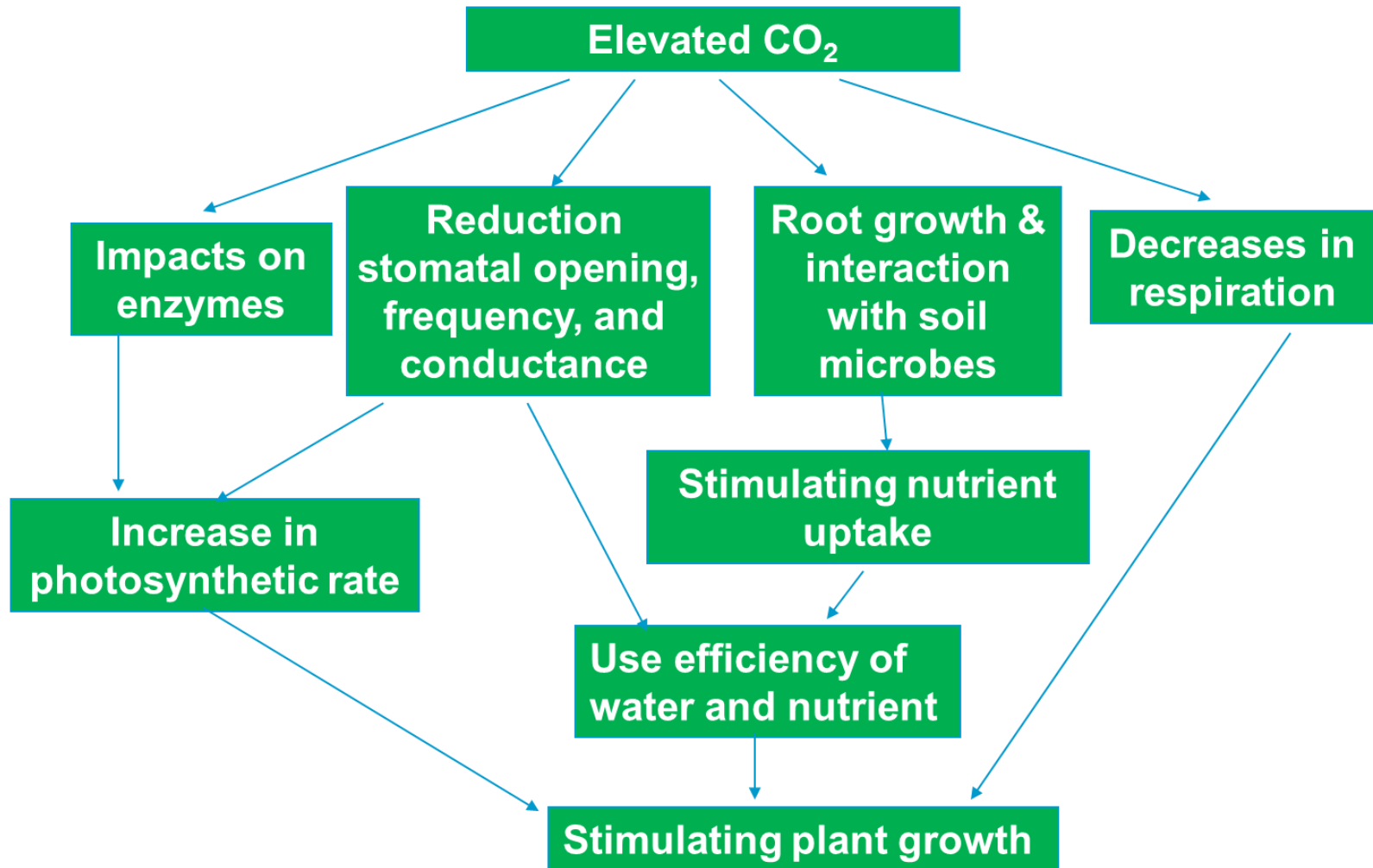
(1) 直接影响

- 对根系生长的促进作用要大于地上部分；
- 降低了植物体内的氮含量，但是作物体内碳水化合物及某些其它含碳化合物含量增加，且叶部含量要明显高于植物其它器官；
- 对大多数作物的物候略有加速；
- 对某些土壤微生物具有显著影响，对有些则无，但都增加了微生物活性；
- 土壤对大气 CO_2 的固定量增加。

第五章 CO_2 、风与农业生产



Elevated CO_2 on Crop Growth



第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、 CO_2 浓度增加对作物的影响

(2) 间接影响

主要是通过 CO_2 浓度增加引起全球气候变化，从而对全球农业生物产生影响。

- 使各地作物生长季延长，从而使农作物种植界限和耕作制度发生变化。
- 在中纬度地区，可减弱低温对作物的胁迫作用，使产量和质量提高。
- 可能使害虫数量大幅度增加，危害期延长。
- 可能加速农药和肥料的分解，降低杀虫剂和除草剂的效率。

关注：3月26日，2024年农业气候资源普查和区划试点启动会在京召开

https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/zwfw/202303/t20230306_5345223.html

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1760024127904829303&wfr=spider&for=pc>

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1794651499139003853&wfr=spider&for=pc>

第五章 CO_2 、风与农业生产



第一节 二氧化碳对农业生物的影响

三、二氧化碳与植物

2、 CO_2 浓度增加对作物的影响

(2) 间接影响

●可能使一些地区更加湿润，而使另一些地区更加干旱。

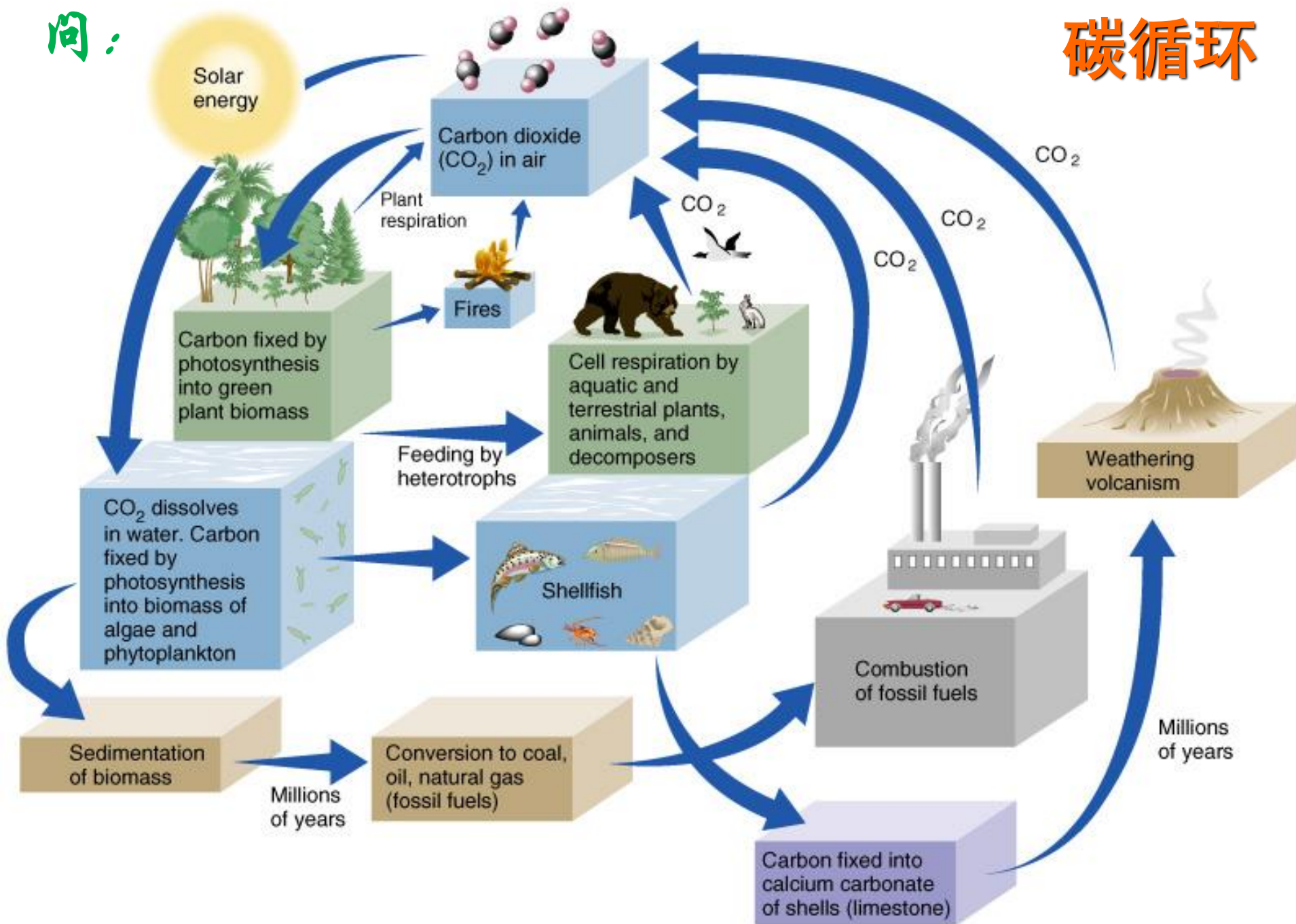
● CO_2 浓度增加虽对植物蒸腾有抑制作用，会使植物的水分利用率随之提高，但它导致的气候变暖又可使蒸发量增加，减小水分的有效性，这两种效应的方向是相反的。

(3) 有利影响 (P235-236)

(4) 不利影响 (P236-237)

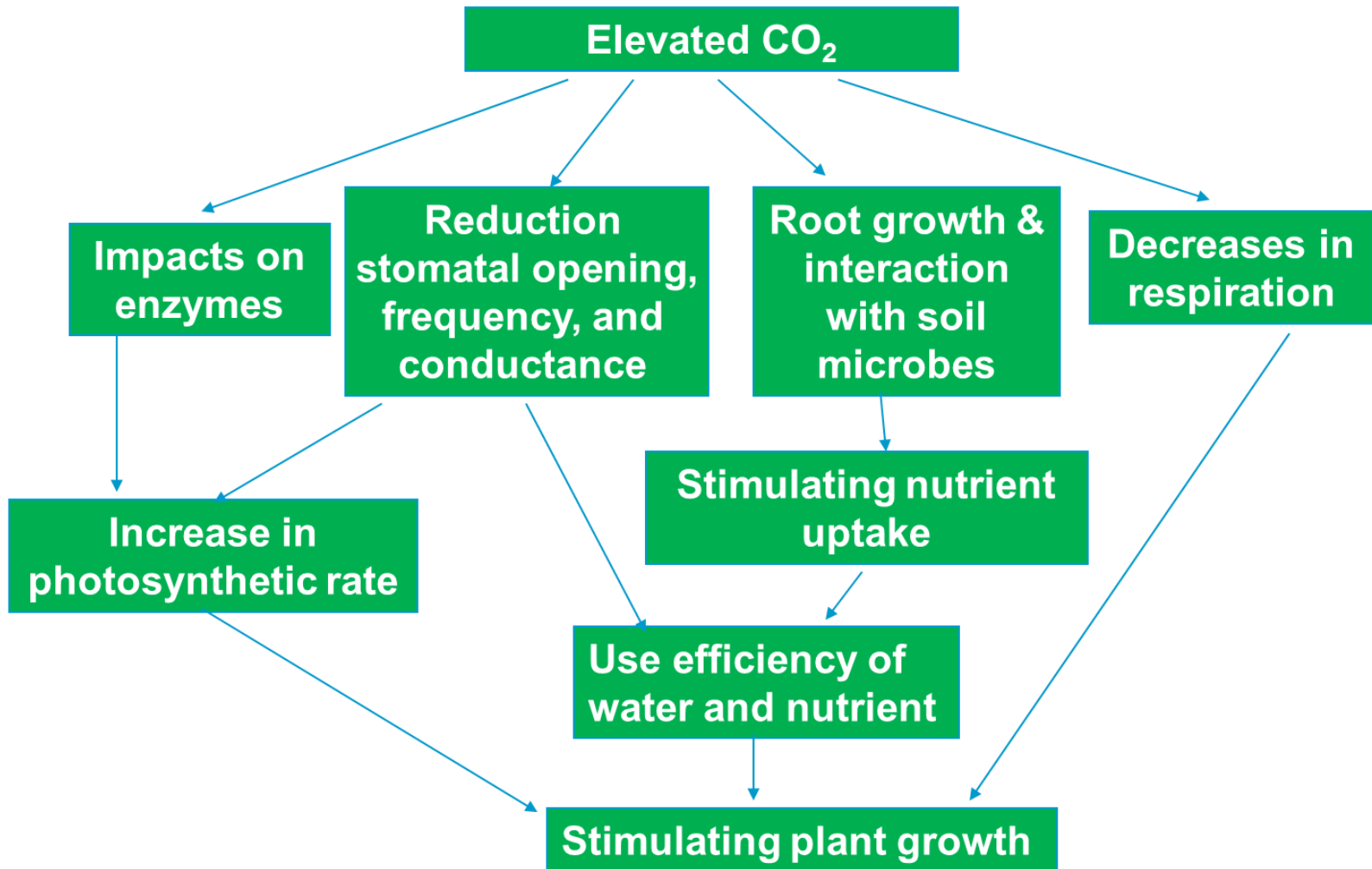
问:

碳循环





Elevated CO₂ on Crop Growth



第五章 CO₂、风与农业生产



第二节 农田CO₂时空变化及其调控

一、CO₂通量的变化（什么是通量？）

1、农田上方CO₂通量变化

近地层中CO₂的垂直通量，决定于湍流扩散机制,可以从湍流扩散角度来得到农田上方CO₂的铅直输送公式，即：

$$F_c = -\rho K_c \frac{\partial c}{\partial z}$$

式中， F_c 为铅直方向的CO₂通量； ρ 为空气密度； K_c 为CO₂湍流交换系数； $\frac{\partial c}{\partial z}$ 为平均CO₂浓度的铅直梯度。

第五章 CO_2 、风与农业生产



在大气近于中性条件下，考虑下垫面粗糙度影响，依据相似性原理，公式可以改写为

$$F_c = -\rho K_c \frac{\partial c}{\partial z}$$



$$F_c = \rho k^2 \frac{(u_2 - u_1)(c_2 - c_1)}{(\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d})^2}$$

式中， u_1 、 u_2 和 c_1 、 c_2 分别为 z_1 、 z_2 高度上的平均风速和 CO_2 浓度； k 是卡门常数，范围0.35-0.43，一般取值0.4； d 为零平面位移，一般相当于植被高度的70-80%。

第五章 CO₂、风与农业生产



第二节 农田CO₂时空变化及其调控

一、CO₂通量的变化

1、农田上方CO₂通量变化

如在上式中令： $z_1 = z_0 + d$ ， $z_2 = z$ ，由于 z_0 为粗糙度，

因此 $u_1 = u_{z_0 + d} = 0$ ，则上式变为：

$$F_c = \rho k^2 \frac{(u_2 - u_1)(c_2 - c_1)}{\left(\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d}\right)^2}$$



$$F_c = \rho k^2 \frac{u_z(c_z - c_0)}{\left(\ln \frac{z - d}{z_0}\right)^2}$$

可见，农田上方铅直方向CO₂通量变化的主要影响因子为：

CO₂浓度差、风速、大气层结稳定程度。

第五章 CO₂、风与农业生产



第二节 农田CO₂时空变化及其调控

一、CO₂通量的变化

2、群体CO₂通量变化

可用下式来表示群体中z高度CO₂扩散情况：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial z} (f_c k_c \frac{\partial c}{\partial z}) \\ & = f_l(z)p(z) - f_l(z)r_p \end{aligned}$$

式中， $f_l(z)$ 为叶面积密度； $p(z)$ 为单位叶面积的CO₂吸收（光合）强度； r_p 为单位叶面积的CO₂排出（呼吸）强度。

第五章 CO₂、风与农业生产



第二节 农田CO₂时空变化及其调控

一、CO₂通量的变化

2、群体CO₂通量变化

将CO₂浓度和通量仅仅看成是高度的函数，且将公式右边的两项合并，则上式可变为：

$$\frac{\partial}{\partial z} (f_c k_c \frac{\partial c}{\partial z}) = f_l(z) P(z)$$

式中， $P(z) = p(z) - r_p$ 为净吸收的CO₂量，则：

$$d(f_c k_c(z) \frac{dc}{dz}) = f_l(z) P(z) dz$$

第五章 CO₂、风与农业生产



第二节 农田CO₂时空变化及其调控

一、CO₂通量的变化

2、群体CO₂通量变化

积分可得：

$$\begin{aligned} & f_c \left[k_c(H) \frac{dc}{dz} - k_c(z) \frac{dc}{dz} \right] \\ &= \int_z^H f_l(z) P(z) dz \end{aligned}$$

即：

$$q_c(z) = q_c(H) - \int_z^H f_l(z) P(z) dz$$

上式即作物群体内CO₂通量的表达式， $q_c(H)$ 为作物群体表面的CO₂通量， H 为群体高度。

第五章 CO₂、风与农业生产



第二节 农田CO₂时空变化及其调控

一、CO₂通量的变化

2、群体CO₂通量变化

$$q_c(z) = q_c(H) - \int_z^H f_l(z)P(z)dz$$

$P(z) = p(z) - r_p$ 为净吸收的CO₂量

由作物群体内CO₂通量的表达式可知：

● 白天时

$$P(z) > 0, \quad q_c(z) < q_c(H),$$

CO₂通量向下。

● 夜晚时

$$P(z) < 0, \quad q_c(z) > q_c(H),$$

CO₂通量向上。

第五章 CO₂、风与农业生产



第二节 农田CO₂时空变化及其调控

一、CO₂通量的变化

2、群体CO₂通量变化

CO₂通量随高度的变化速率，可以由农田上方CO₂通量公式取偏导给出：

$$\begin{aligned}\frac{\partial q_c}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(f_c k_c \frac{\partial c}{\partial z} \right) \\ &= f_c \left(\frac{\partial k_c}{\partial z} \frac{\partial c}{\partial z} + k_c \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right)\end{aligned}$$

由于CO₂通量随高度的变化，主要是植物光合作用同化CO₂或呼吸作用释放CO₂所引起的，因此 $\partial q_c / \partial z$ 也就相当于某一层叶片净光合作用强度。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

一、 CO_2 通量的变化

2、群体 CO_2 通量变化

由上述分析可知：

● 当 $\partial q_c / \partial z > 0$ 时，即净光合作用强度大于零， CO_2 净吸收量为正，此区域称为 CO_2 汇。

● 当 $\partial q_c / \partial z < 0$ 时，即净光合作用强度小于零， CO_2 净吸收量为负，此区域称为 CO_2 源。

● 当 $\partial q_c / \partial z = 0$ 时，即净光合作用强度等于零， CO_2 净吸收量为零，此区域为 CO_2 补偿点。

一般而言， CO_2 源和汇的强度主要是取决于光合作用总面积和光合效率。

第五章 CO₂、风与农业生产



第二节 农田CO₂时空变化及其调控

二、CO₂浓度的变化

用CO₂通量变化公式进一步整理，可得到群体上方和群体内任意高度CO₂浓度表达式：

群体上方：

$$C_z = C_0 + \frac{q_c}{f_c \partial \ell^2 u_z} \left(\ln \frac{z-d}{z_0} \right)^2$$

群体内：

$$C(z) = C(H) - \int_z^H \left(\frac{q_c(H) - \int_z^H f_l(z) P(z) dz}{k_c(z)} \right) dz$$

式中，C(H)是作物表层的CO₂浓度。

从式中可以看出，大气与农田群体中的CO₂浓度会受到许多环境和生物因子的影响，是不断变化的。

第五章 CO_2 、风与农业生产

第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

二、 CO_2 浓度的变化

CO_2 浓度的时间变化规律：

(1) 日变化规律：晴朗无风天气下，近地层 CO_2 浓度呈现明显的昼低夜高的变化规律，夏季尤为突出。白天，群体是 CO_2 的汇而大气是 CO_2 的源，这时 CO_2 由大气向群体中输送，这种 CO_2 浓度随高度而递增的分布型称之为**光合型**；夜间，群体是 CO_2 的源而大气是 CO_2 的汇，这时， CO_2 由群体向大气输送，这种 CO_2 浓度随高度而递减的分布型称之为**呼吸型**；而在傍晚、清晨相互转化。

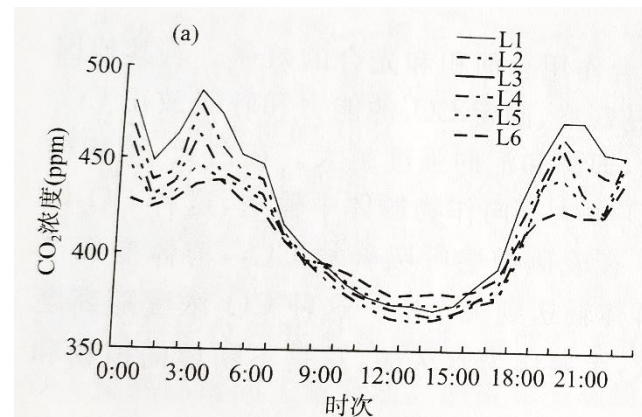
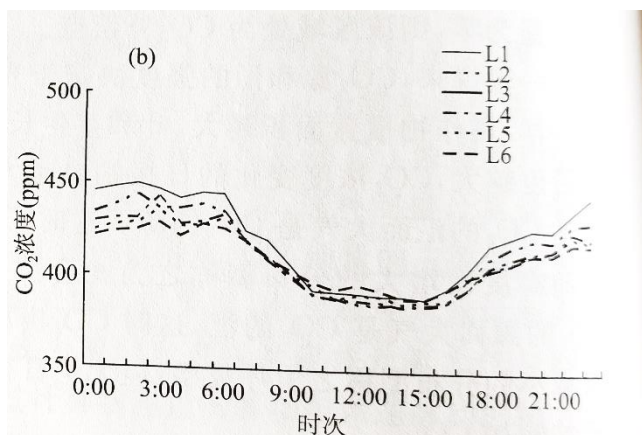


图 5.3 禹城麦田中不同高



度 CO_2 浓度随时间的变化

第五章 CO_2 、风与农业生产



第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

二、 CO_2 浓度的变化

CO_2 浓度的时空变化规律：

(2) 全年各月 CO_2 浓度的变化昼低夜高，夏季明显，与农业生物在一年内的兴衰密切相关，表现为暖季低而冷季高。

(3) 大气中 CO_2 浓度的变化，一般波动到16公里处。越接近地面波动越大，且随高度的增加，最高值明显滞后。

(4) 群体内 CO_2 浓度的时空分布，因群体种类、状态以及气象条件等而有很大变化。如风力大时或通风好的群体中 CO_2 浓度变化小，反之则变化大。

第五章 CO_2 、风与农业生产

第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

二、 CO_2 浓度的变化

CO_2 浓度的垂直分布

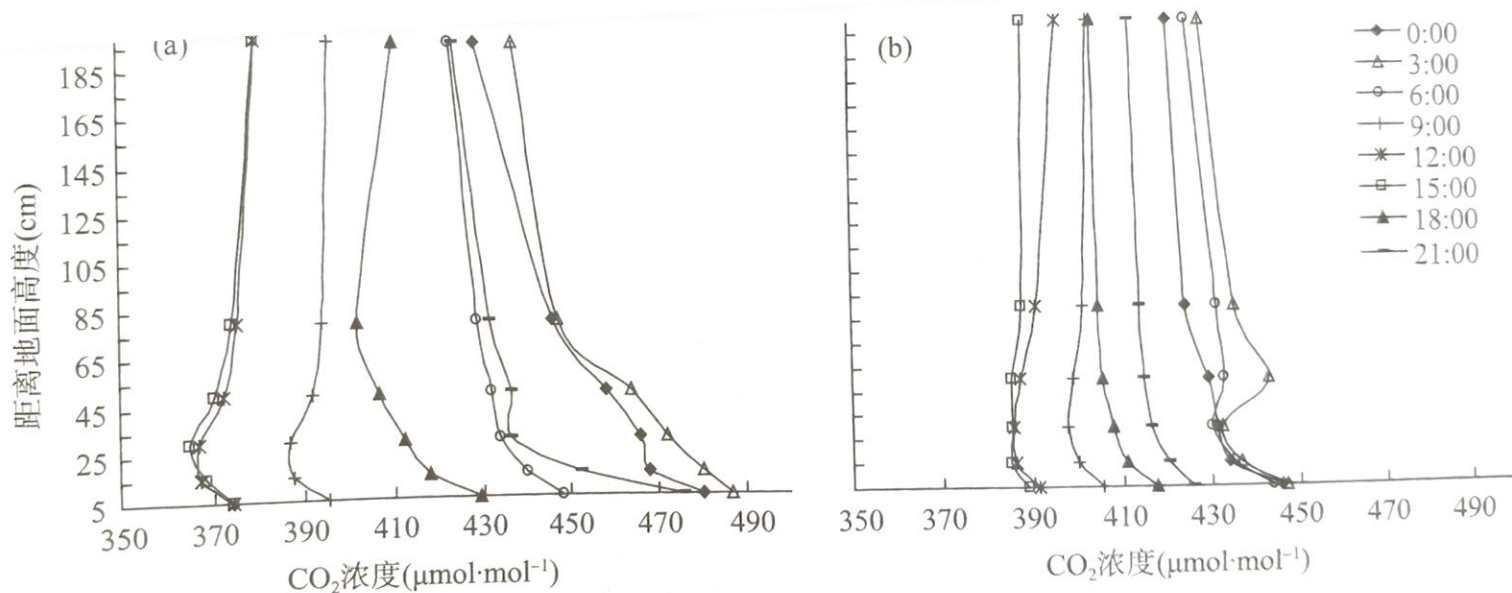


图 5.4 麦田 CO_2 浓度的垂直分布(日序 96~114, 2008 年)

(a)晴天;(b)雨天

第五章 CO_2 、风与农业生产



第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

三、农田 CO_2 调控

1、土壤 CO_2 释放的调节

(1) 原理

土壤空气中 CO_2 的浓度远高于大气，因此土气间的浓度差导致了土壤 CO_2 释放。土壤中 CO_2 的释放量因土壤温度、含水量及有机质含量不同而有很大差异。因此，可以采取措​​施，改变土壤物理性质和环境条件等以达到调节 CO_2 释放量的目的。

(2) 主要措施

- a、松土。增加土壤孔隙度，提高地温。
- b、增湿。增强土壤微生物的活动。
- c、施肥。增加土壤腐殖质含量，腐殖释放 CO_2 。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

三、农田 CO_2 调控

2、田间 CO_2 浓度调节

(1) 合理密植，改善田间的通风条件；**整枝打叶**，使土壤中释放的 CO_2 尽量被光合机能强的绿色叶片吸收利用。

(2) 种植行向要与当地盛行风向一致，改善田间通风条件，以有利于 CO_2 随风进入农田。

(3) 栽培时要宽行窄株距，改善群体内通风条件，亦可起到提高农田中 CO_2 浓度的作用。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

三、农田 CO_2 调控

3、 CO_2 施肥

(1) CO_2 气源

a.干冰。价格昂贵，且降低气温。

b. CO_2 发生剂。碳酸氢铵、碳酸盐加稀硫酸、石灰石加盐酸在 CO_2 发生器中化学反应释放 CO_2 。成本较高，安全性差，易造成有毒气体污染。

c.工业尾气。如酒精生产过程中产生的 CO_2 气体，压缩于钢瓶中。使用效果比较理想。

d.燃料。燃烧天然气、石油、煤油燃料释放 CO_2 。有污染。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

三、农田 CO_2 调控

3、 CO_2 施肥

(2) CO_2 施肥应注意的问题

a. 施用时间

以作物的 CO_2 临界期（生殖生长期）、最大需要期（营养、生殖生长两旺期）、 CO_2 限制期（光照强、气温较高、供水充足时）增施 CO_2 ，效果较好。

b. 施用浓度

一般维持在正常 CO_2 浓度2~3倍左右的水平即可达到较好的施肥效果，不宜超过10倍。过多会使气孔关闭，从而影响 CO_2 的吸收。

第五章 CO₂、风与农业生产

第二节 农田CO₂时空变化及其调控

三、农田CO₂调控

3、CO₂施肥

(2) CO₂施肥应注意的问题

c. CO₂施肥量计算

$$I = \frac{Q}{At} \left[C_{\text{内}} + \frac{Dc}{k} \ln P^* \right] - Rp - \frac{Q}{At} C_{\text{外}}$$

I—CO₂的施肥量 (g.m⁻².h⁻¹);

Q—通风量 (Q=VN/3600) , V为温室的容积 (m³) , N为通风次数;

A—设施土地面积 (m²) ;

C_内—设定温室内二氧化碳浓度 (g.m⁻²); C_外—外界二氧化碳浓度 (g.m⁻²);

Dc—叶内与周围N空气间CO₂扩散速度; k—辐射衰减系数;

P*—作物群体光合作用量 (g.m⁻².h⁻¹); Rp—作物群体呼吸量 (g.m⁻².h⁻¹)

第五章 CO_2 、风与农业生产



第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

三、农田 CO_2 调控

3、 CO_2 施肥

(3) 温室 CO_2 施肥效果

①有利于培养壮苗。

②坐果多,果实膨大早。试验证明,施用 CO_2 区的黄瓜比对照区增加雌花数20%~30%,增加坐果率5%,番茄的坐果数增加15%~20%。

③增加产量,改善品质。在适宜的条件下,增施 CO_2 气肥可显著提高作物产量并改善蔬菜的品质,提高商品率。

④提高作物抗病能力。

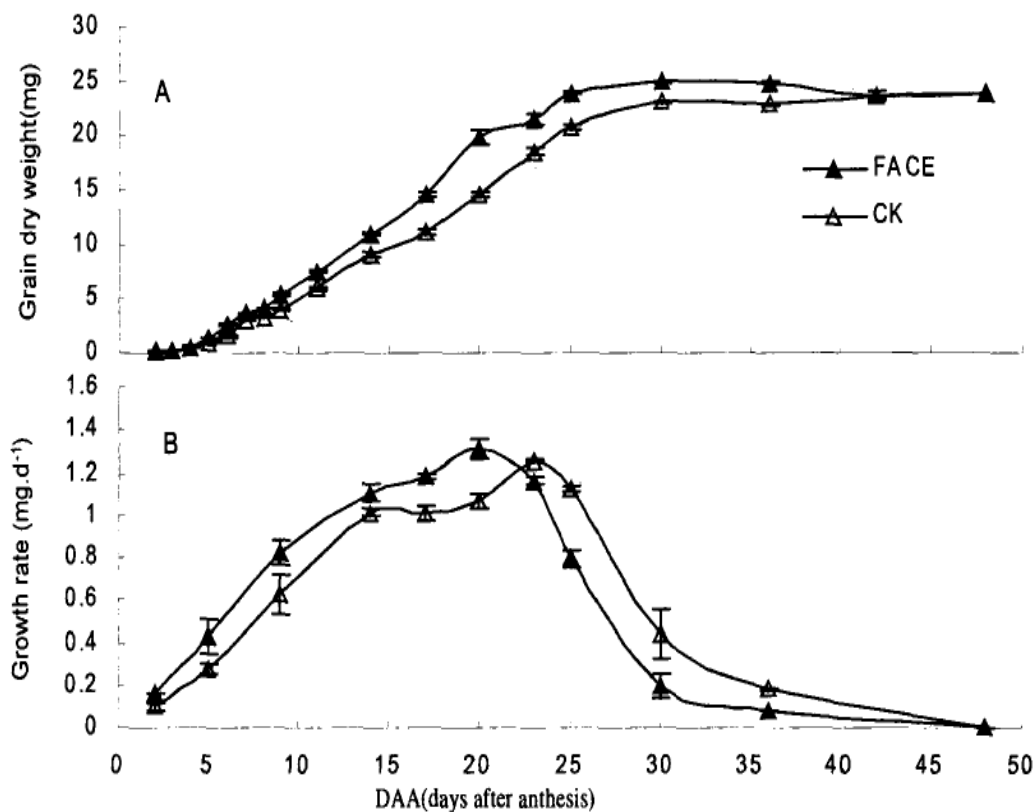
第五章 CO_2 、风与农业生产

第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

三、农田 CO_2 调控

3、 CO_2 施肥

(3) 温室 CO_2 施肥效果



free-air CO_2 enrichment

图 1-2 FACE 对水稻籽粒干物重(A)及生长速率(B)的影响。

Fig.1-2 Effects of FACE on the grain dry weight (A) and growth rate(B) of rice grain.

第五章 CO_2 、风与农业生产

第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

三、农田 CO_2 调控

3、 CO_2 施肥

(3) 温室 CO_2 施肥效果

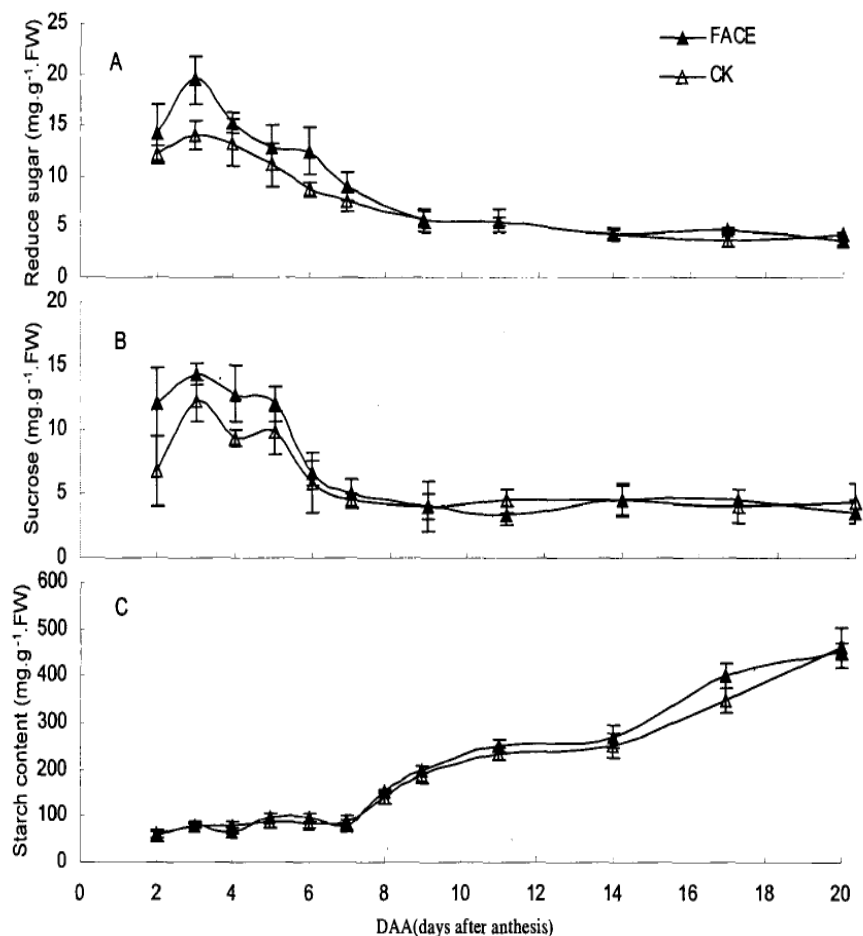


图 1-3 FACE 对水稻灌浆早期籽粒中还原糖(A)、蔗糖(B)和淀粉含量(C)的影响。

FIG. 1-3 Effects of FACE on the contents of reducing sugar(A), sucrose(B) and starch(C) in grain during early grain filling stage.

第五章 CO_2 、风与农业生产

第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

三、农田 CO_2 调控

3、 CO_2 施肥

(3) 温室 CO_2 施肥效果

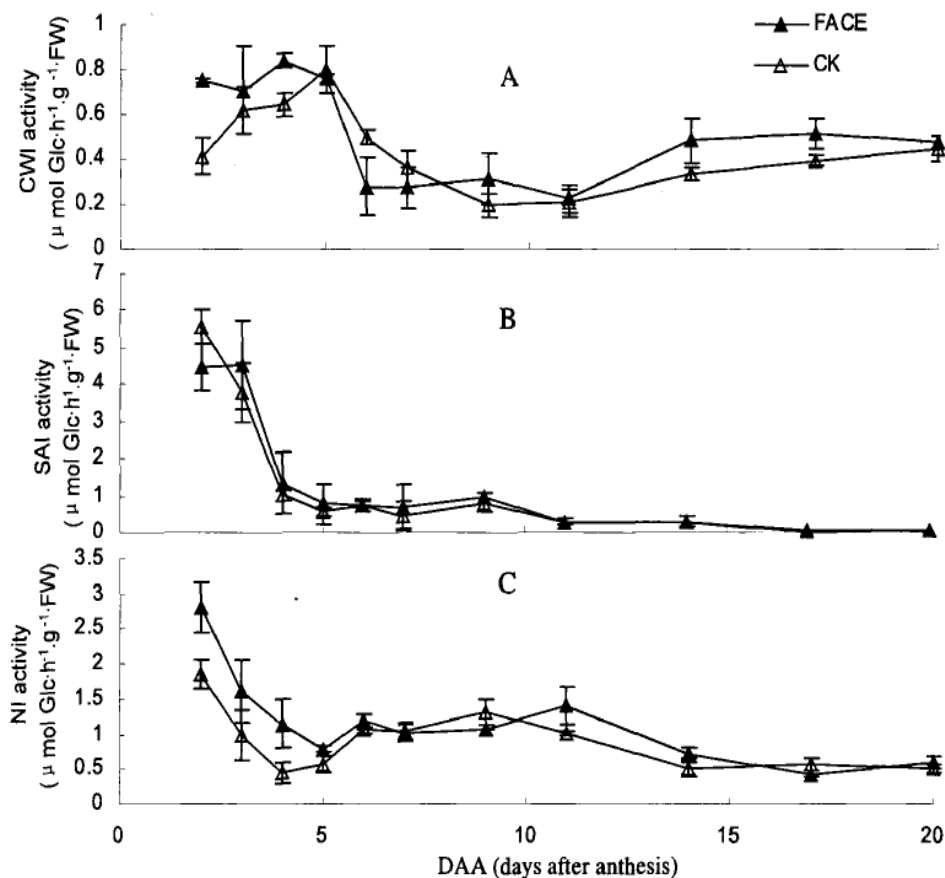


图 1-4 FACE 对水稻灌浆早期籽粒中细胞壁转化酶(A)、可溶性酸性(B)及中性转化酶(C)活性的影响

Fig. 1-4 Effects of FACE on the activities of CWI (A), SAI (B) and NI (C) in early grain filling stage

第五章 CO_2 、风与农业生产

第二节 农田 CO_2 时空变化及其调控

三、农田 CO_2 调控

3、 CO_2 施肥

(3) 温室 CO_2 施肥效果

CO_2 对甜瓜光合速率的影响

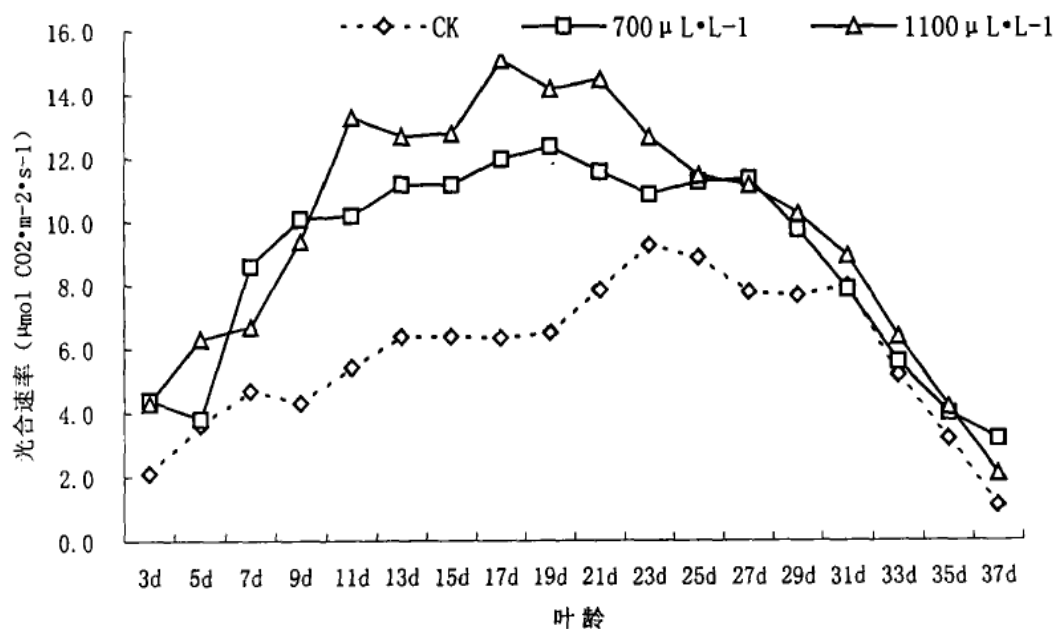


图3 伊丽莎白不同叶龄日平均光合速率

Fig 3 Diurnal average photosynthetic rate in muskmelon

第五章 CO_2 、风与农业生产



第三节 其他温室气体对农业生物的影响（结合文献阅读进行自学）

1. 甲烷浓度变化及其对农业生物的影响
2. 臭氧浓度变化及其对农业生物的影响
3. 氧化亚氮浓度变化及其对农业生物的影响

第五章 CO_2 、风与农业生产

第四节 风对农业生产的影响及调控

2018年8月11日下午，垫江县新民镇遭遇大风袭击，瞬间风力达到八级，造成现代农业园区的400多亩塑料大棚受损，棚内的农作物损失惨重。据初步统计，这次极端天气，共造成新民镇七桥村、明月村400多亩西瓜、葡萄等农作物不同程度受损，遭受风灾的塑料大棚有1000多个，受灾面积达到400多亩，直接经济损失300多万元。



第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

一、风的生态作用

1、风对植物外部形态的影响



新西兰班克斯半岛



- (1) 植株低矮、树冠过分尖削、呈流线型的外形
- (2) 叶子比正常的叶小，常带有褐色或红色的斑点，尤其在叶片边缘
- (3) 树干常向盛行风方向倾斜，较小的枝条成为屈曲状，且整株植物以同样的状态发生倾斜

第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

一、风的生态作用

1、风对植物外部形态的影响



(4) 小的枝条很短，常有不规则的分枝，彼此互相交错

(5) 许多风向的枝条死亡，有时只在背风向看到新枝条和新鲜叶片、向风面只有根部或树干的基部发出的枝条能保持稍好的状态

(6) 树干的横剖面中心偏外

(7) 在寒冷风大的迎风坡面，森林可能衰退而成为密灌丛

第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

一、风的生态作用

2、风对植物内部机理的影响

风对植物内部机理最重要的影响是具有强烈的**干燥作用**。带走植物体表面及其附近的湿润空气，加速蒸散，使植物干化。

在平坦的地面上，蒸发速度随风速的平方根而增加。

3、风的传输作用

风能帮助许多植物传播花粉、孢子、种子和果实，大多数陆生植物依赖风媒繁殖，以不断扩大生长区域；

风速影响授粉效率和传播体的传播距离。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

二、风对农业生产的有利影响

1、调节农田小气候环境

风通过影响农田湍流交换强度，对空气的各种物理属性—热量、动量、以及水汽、二氧化碳等组成成分的输送产生影响，从而调节农田小气候环境。（夏季，日灼病；秋冬，防霜冻；日谷风，夜山风）

2、调节光合作用

风可以加速作物冠层内部的二氧化碳流通，主要通过调节植物叶片气孔开张度，改善叶肉细胞间隙二氧化碳浓度，进而提高作物光合作用率。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

二、风对农业生产的有利影响

3、调节蒸腾作用

风对植物蒸腾作用的调节，不仅在于风可以改变大气水蒸气浓度，风还通过调整叶片气孔运动，使叶片气孔下空间的水蒸气浓度发生变化，以此改变植物散失水分的动力，并改变叶片水分扩散阻力，遇有适宜风速时，提高作物蒸腾速率。

4、其他作用

风的传输作用可以帮助风媒植物进行异花授粉和传播。

风与害虫取食、迁飞等活动的关系密切，降低底层大气污染物扩散，减少受害面积，但同时可能加重局地受害程度。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

三、风对农业生产的不利影响

1、风害

(1) 大风伴有强降水

风对植物的机械损伤与损伤程度，主要取决于风速、风的阵性以及植物对风的抗性。

风害与作物生育期有关，作物处在幼苗期，果树处在开花前期或果初期，风害较轻。当作物已抽穗开花，或果树正在开花或果后期，风害较重。

台风是我国东南沿海夏秋季节最主要的灾害性天气之一。

第五章 CO_2 、风与农业生产



三、风对农业生产的不利影响

1、风害

(2) 大风伴低温

秋、冬季冷空气南下时形成的大风伴随低温、干燥天气，会造成越冬作物异常落叶，抑制花芽分化，花器官发育不良，结实量降低或品质下降。

干冷的寒风还加速农田蒸发，加剧干旱的危害。华北春旱严重的地区，寒风常常是主要因素之一。

寒潮，大范围强冷空气活动引起气温骤降、风速急剧增大时的天气过程。

寒露风灾害常发生在中国南方的秋季，是一种典型的低温风害。秋季，当南方的晚稻正处于孕穗、抽穗、开花及灌浆阶段，若遭受低温风害时，会严重影响晚稻结实和其他秋作物的正常成熟，形成“杀青”，造成减产。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

三、风对农业生产的不利影响

1、风害

(3) 大风伴高温



每年的5、6月间，当华北地区小麦处于扬花灌浆期时，如遇高温低湿并伴有一定风力的天气，会使小麦遭受干热风灾害，对小麦产量形成极为不利。

焚风使沿途草木、庄稼迅速变黄干枯，叶子纷纷脱落，造成高温逼熟、干旱或火灾。

季风均会在不同程度上影响农业生产，造成巨大经济损失（夏季风的强弱，影响不同地区偏旱或偏涝）。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

三、风对农业生产的不利影响

2、风沙害

风沙害是因为风沙活动或风沙现象引起的风沙天气灾害，对农作物和农业生产的危害主要包括：

流沙淹没农作物、耕地甚至村庄，作物长期遭受风沙害，会使根系暴露，影响生长发育，最终影响产量。

风沙害的危害程度因作物生长发育的不同阶段而异（高粱、冬小麦等出苗后一两周内遭受风沙害，影响最重）。

与沙尘暴相伴的大风本身具有强大的破坏力，导致庄稼倒伏。

附在农作物叶面上的尘土直接减弱植物的光合作用和呼吸作用，严重阻碍作物生长。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

三、风对农业生产的不利影响

3、风蚀

风蚀是地表松散物质被风吹扬或搬运的过程，以及地表受到风吹起颗粒的磨蚀作用。

主要发生在干旱、半干旱气候区和遭受周期性干旱的湿润地区，对当地的农业生产是一个严重威胁，耕地如无防风设施，很易受到风蚀，形成风蚀沙地，严重风蚀可造成土地沙漠化或荒漠化。

在农田，大风可以把肥沃土壤的颗粒吹走，使表层土壤剥蚀，种子裸露或被吹走而缺苗，甚至使作物干枯死亡。

在冬季，对于休闲地或种有冬麦等覆盖度较小的田地，表土剥蚀现象更严重。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

三、风对农业生产的不利影响

4、风传播病虫害、污染物

风与农作物病虫害的关系主要表现为：

- (1) 风是作物某些病虫害侵染循环的必要外界条件；
- (2) 风能作为病虫害传播的载体，引起作物病虫害蔓延；
- (3) 大风造成的植物机械损伤，为病原菌从伤口进入植物体或害虫寄生提供了条件。大风过后，稻白叶枯病、胡麻叶枯病及稻瘟病常大面积发生。
- (4) 风对污染物有整体输送作用，也既是将污染物吹到污染源的下风方，形成污染源下风方的污染区，危害区域内农业生产。
- (5) 风对污染烟气起到冲淡稀释的作用。
- (6) 风还传播杂草种子，扩大繁殖区，也是风对农业生产不利的方面。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第四节 风对农业生产的影响及调控

四、防风固沙措施

- 1、从加强农作物自身对抗风害能力的角度出发，根据当地气候特点，选育种植抗风作物和品种，苗期促进根系和茎秆发育，提高抗风能力。
- 2、改善栽培措施，实现田间科学管理（适度深耕、培土、合理密植、田间留茬）。
- 3、重视灾害性天气的监测和预警，防患于未然。
- 4、根据风沙运动规律及其动力过程，构建防风固沙的物理隔离屏障，如营造防护林、设置风障、防风篱等，以此削弱近地表风速，减少风沙流输沙量，延缓或阻止沙丘前进，直接保护作物免受风害。
- 5、提高对防风固沙重要性的认识，群策群力，将防御风沙灾害纳入到国家和地方政府减灾管理体系。

第五章 CO_2 、风与农业生产



第五节 适应未来气候变化的农业对策（结合文献阅读进行自学）

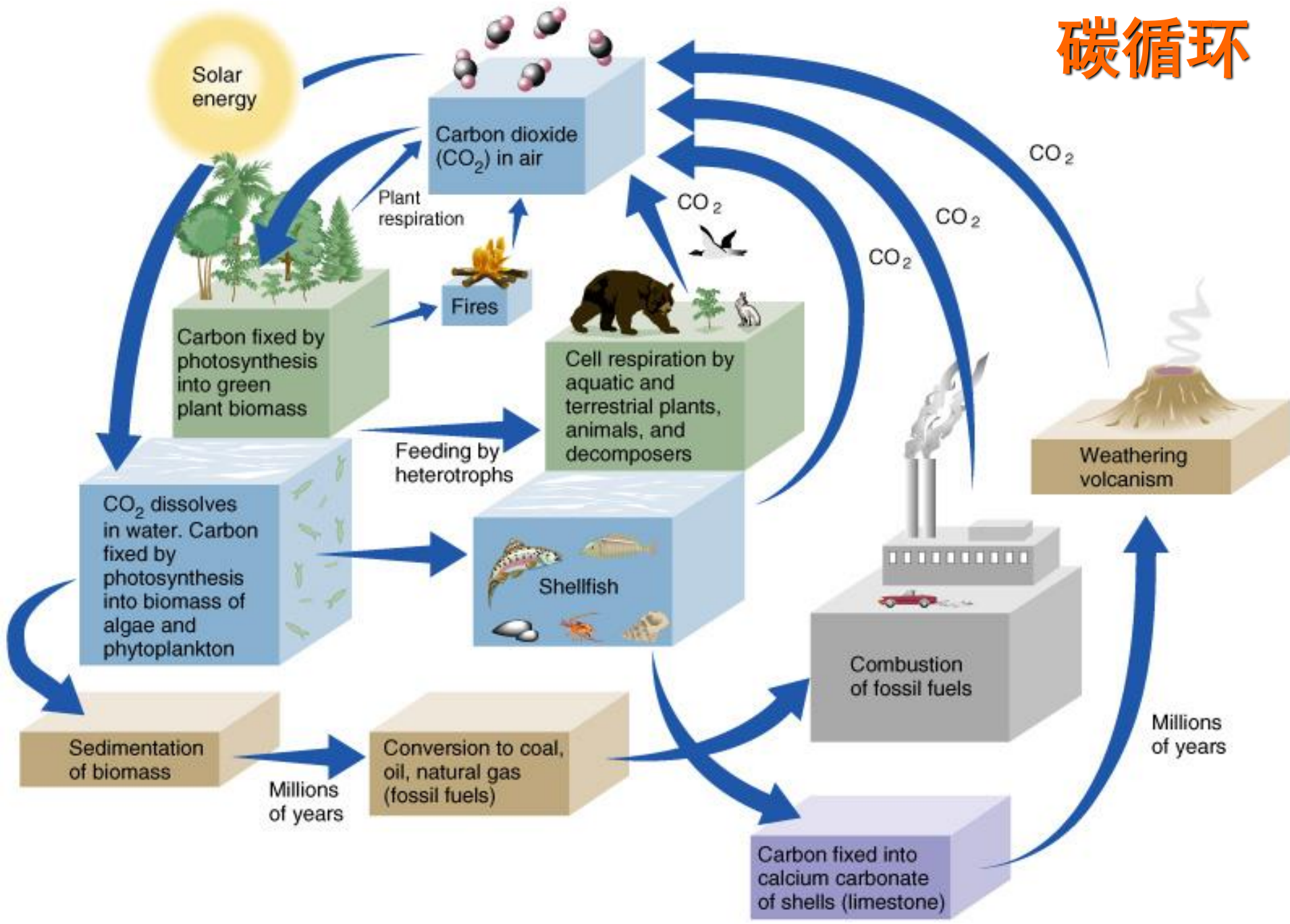
1. 气候变化对种植制度的影响
2. 气候变化对作物（任选一种或几种作物）发育期的影响
3. 气候变化对水稻产量的影响
4. 气候变化对玉米产量的影响
5. 气候变化对小麦产量的影响
6. 气候变化对作物病虫害的影响
7. 适应气候变化的农业对策



作业

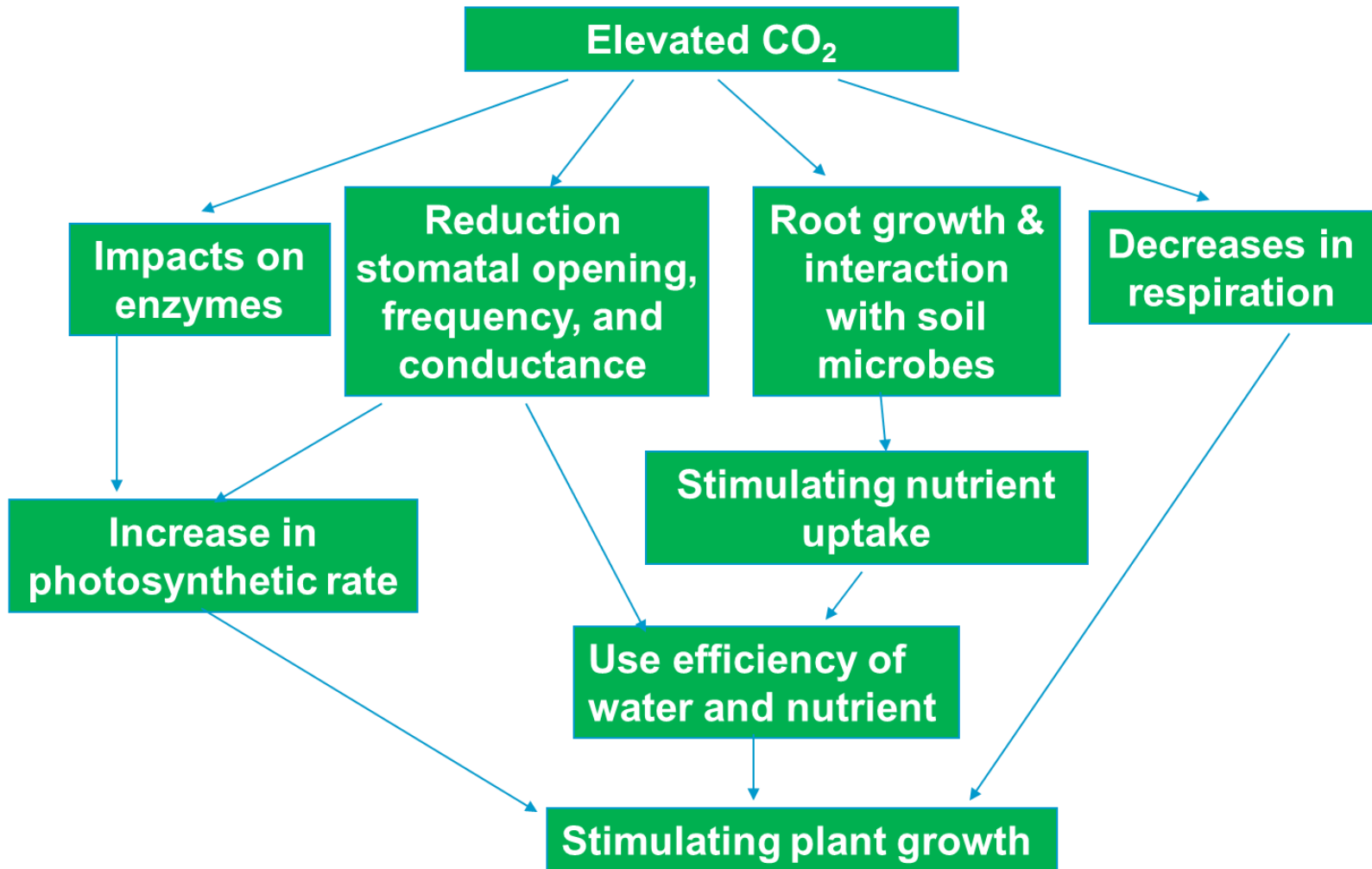
P267 一、二、三

碳循环





Elevated CO₂ on Crop Growth





谢 谢 !