

气候变暖对全球农业的可能影响*

毛贤敏(沈阳中心气象台 110015)

1 引言

人类活动导致大气中 CO_2 急剧增加。根据 1990 年的监测,其浓度已达 353ppm(parts per million 的缩写,意即百万分之几)。比工业革命时期(公元 1750~1800 年)增加近 25%,高于 16 万年以来的任何一年。目前每年仍增加 1.8ppm(相当于 0.5%)。

2 气候构想

气候构想是在大气环流模式(GCM)2× CO_2 气候模拟结果和使古气候复原的基础上做出的。关于大气 CO_2 当量加倍的标准,则取 2030 年为 460ppm,这表明 CO_2 浓度较工业革命前的水平提高约 60%(CO_2 作用占温室气体加热作用的 60%)。

2.1 气候极值

月平均温度或年平均温度的升高会引起某些临界温度以上的温度发生频率有所增大。降水量分布的频率变化不像温度这样确定。但是温度升高和干旱的结合对许多地区的农业生产会构成威胁。

2.2 高纬度的增温

各 GCM 几乎都预计高纬度地区气温将有较大的升高,这将减轻温度对高纬度地区农业的抑制作用,增加该地区土壤的竞争力。低纬度地区的增温虽不很显著,但也可能对农业产生重大影响。

2.3 季风降雨向极区推进

在地球变暖的情况下,热带辐合带(ITCZ)

有可能由于海陆气压梯度加大(季风季节前地表变热的结果)而进一步朝极区方向推进,且瞬变响应也可能不同。这样,非洲、亚洲和澳洲季风区某些地区的降雨可能增加。出现的降水强度可能更大,因此洪水和土壤侵蚀现象都有可能增加。

3 气候的脆弱性及风险地区

气候是限制生产潜力的一个主要因子,因此气候变化有可能对这些限制发生显著影响。温度与降水不足是贯穿整个生长期内的主要的气候限制条件。

发展中国家有 63%的土地面积从气候角度说适合于发展雨养农业(对雨养农业威胁最大的地区是亚洲西南部,该地区 17%为高寒山区,65%过于干旱,只有 18%为可能发展生产的地区)。这些限制农业的气候因子,加上不利的土壤条件(特别是耕作层浅、排水差和盐渍化)意味着在一些地区雨养农业的基础受到相当大的限制。对气候变化敏感的地区,即使投入很多,土地资源也不能充分满足当地人民的需要。这些地区占全球土地面积的 22%、人口的 11%。压力最大的地区是人口与土地潜力极不平衡的西南亚山区、印度次大陆、东南亚本土和海岛。

综合两种考虑:① CO_2 加倍平衡气候下土壤水分将减少的地区;②维持现有人口的资源承载力确定为非常脆弱的地区;可以定出气候风险地区为非洲西部和南部、阿拉伯西部、亚洲东南部、墨西哥和中美地区、巴西东部的部分地区。

4 CO_2 增加的直接效应

4.1 土壤有效水分减少

对于农业来说,最重要的结果可能主要来自因空气温度和土壤温度较高而增加的潜在蒸散量,即使在温度增加预计较其他地区要少的热带地区,从植物与土壤表面的水分散失率也将有相当可观的增加。雨季由于湿度较大、云量增大,水分消耗可能稍少一些,而旱季则很显著。6~8 月水分减少的地区有:非洲西部和南部;西欧部分地区;中国北部和中部(包括蒙

* 本文根据 WMO 有关文件摘录而成。

古);前苏联中亚和西伯利亚部分地区;美国西南部;美洲中部;巴西东部;澳大利亚西部。有些地区由于作物有效水分减少而使农业生产潜力明显下降。

4.2 光合作用、呼吸作用及生长

一般说来,光合作用是通过吸收 CO_2 而形成的碳水化合物的净积累。因此增加 CO_2 必然导致光合作用增强。 CO_2 加倍可以使瞬时光合作用速率增加 30%~100%(取决于其他环境条件)。光合产物与植物通过呼吸作用对碳水化合物消耗之间的差额就是最终的生长。同一种植物的不同品种和不同基因类型对 CO_2 的反应各不相同,这些差别为培育随 CO_2 的增加而具有较好特性的品种提供了可能性。为了充分利用这种有利机会,现在就必须鉴定出这些品种和基因类型。在绝大多数情况下,如果其他因子保持不变,那么 CO_2 对产量的影响都是有利的。大多数植物的干物质积累将由于环境 CO_2 浓度加倍而提高 10%~15%。

4.3 C_3 植物与 C_4 植物

C_3 与 C_4 这两类植物在固碳这一基本生物化学特性方面有所不同。众所公认的 C_3 植物(如小麦、水稻、大麦、块根作物和豆类)的生长对 CO_2 增加的反应比 C_4 作物(如玉米、高粱、谷子、甘蔗)要大。据估算, CO_2 加倍可以使小麦籽粒产量平均提高 35%。大多数生长在温凉或湿润生存环境的作物都是 C_3 植物。各种树木都是 C_3 植物。因此 C_3 植物占了全世界植物量的绝大部分。

尽管 C_4 作物只占世界粮食产量的五分之一,但它们却是世界热带地区特别重要的粮源;仅玉米一项就占世界粮食的 14%。另外,牧草都是 C_4 植物。 C_3 作物中约有 17 种陆生杂草,其中 14 种令人头痛的杂草属于 C_4 类植物。对 CO_2 的不同反应可使这些杂草的内在竞争性降低。 C_4 作物中的 C_3 类杂草将会增加,是一个麻烦问题。

对干旱地区有着十分重要意义的仙人掌科(包括麻和菠萝)对于 CO_2 反应微弱,因而削弱了它们对一般 C_3 类杂草的竞争优势,从而减少

产量。

4.4 植物发育

在季节性干旱地区,有效生长季的延长都和干旱风险增大相关联。由于这些地区农业栽培中的许多进步都是由于引进短日期品种所取得的,因此急需查清这些地区作物发育对 CO_2 变化的反应。

4.5 产品质量

CO_2 增加时,用较少的氮肥即可生长出同样的产量,如果不抵消这种影响,粮食食品的质量将下降。

5 气候变化的影响

5.1 对农业气候的影响

预计温度上升可延长目前农业生产力因热量不足而受到限制地区的生长季,从而导致农业上的热量界限向极区移动。由于北半球的温带农业已在较高纬度占有很大的面积,因此这里生产力的扩大将是最显著的。代表适于耕种农业的北部界限在 $2\times\text{CO}_2$ 气候条件下,这一界限将向北移动 500~1000km。西伯利亚北部土地的开发潜力比加拿大的要大;亚洲比美洲大些。年平均温度增加 1°C 将使北半球中纬度地区的谷物种植热量界限向北推进 150~200km,适耕农业的高度界限上升约 150~200m。

较高温度会促使植物迅速成熟,并缩短籽粒灌浆期。这导致农业生产区的生产潜力下降。另外,减弱作物的冬季低温锻炼(春化作用),春化作用的减弱使花芽分化减少,最终导致减产。每增温 1°C ,可能使有效的春化作用降低 10%~30%。

飓风强度将随气候变暖而加大,这一点对于低纬度尤其是沿海地区的农业具有很重要意义。由于作物产量对热或冷强度经常表现出非线性的反应,所以极端温度事件概率的变化可能是非常重要的。热带地区由于高温灾害造成农业生产损失的频率和范围可能将明显增加。高温使小麦等温带作物不再适合于某些地区,例如印度北部。还存在一些较大的可能性,即由于蒸散速率加大,一些热带和亚热带地区干旱

频率可能加大。有些地区即使有效水分减少不多也很容易发生干旱。

5.2 对农业病虫害分布的影响

研究指出,温度的增加可以使目前一些受到温度限制的害虫活动地理范围变大。和作物的影响一样,这种影响在高纬度地区可能最大。假定播种日期不变,温度增高将会导致生长季内害虫危害时间提前,造成较大危害,如美国的大豆虫害。

目前局限于热带国家的疾病,可能会蔓延开来,例如非洲猪瘟、造成美国严重损失的角状蝇和澳洲的扁虱等等。在 $2\times\text{CO}_2$ 情况下,冰岛气温比现在升高 4°C ,作物受病害的损失将增加15%。大多数农业病害在较暖条件下都可能达到十分严重程度。在降水增加地区,真菌和细菌性病原可能严重增加。在暖湿条件下,禾谷类作物易受到斑枯病等危害。

5.3 对作物产量和畜牧生产的潜在影响

美国:估计增温 $3.8\sim 6.3^\circ\text{C}$,土壤水分减少10%,可使玉米减产5%~25%。旱地小麦减产2%~3%,灌溉小麦增加5%~15%,旱地大豆减产从北到南在3%~72%(进行灌溉可大大抵消损失)。

加拿大:增温 $3\sim 4^\circ\text{C}$,水分减少可使春小麦减产19%,其他如玉米、大麦、大豆及干草产量都将下降。马铃薯和饲料作物产量也可能减少。

墨西哥和中美洲:增温 $3.3\sim 5.4^\circ\text{C}$,土壤水分减少10%~20%,导致玉米和雨养农业减产5%~25%。

巴西:取决于降水量的增加是否足以补偿因温度升高引起的潜在蒸散量的增加,如果降水量增加不多,可能会使产量大幅度减少。降水量增多有可能提高中、西部大豆产量及南部小麦产量。而霜冻频率减少则将使南部柑桔和咖啡的风险变小。

阿根廷:温度升高 $2\sim 4^\circ\text{C}$,蒸散速率至少增加10%,可能导致南美大草原变干,牲畜饲料也将受到影响。

智利:由于海洋性气候使冬季雨水增加,抵

消了蒸散作用的增加,因此牧草及牲畜饲养可获利。升高 1°C 使植物种植高度上升200m左右。降水增加可能使大麦减产、马铃薯增产。

北欧:芬兰斯堪的纳维亚农业从全球变暖中的受益可能比世界上其他任何地方都要多。芬兰预计升温 4°C 左右,并比现在要湿润。南部春小麦估计可增产10%,中部最多可达20%,目前的小麦北界附近增产更多。

冰岛牧场的载畜量可提高50%~150%。

欧洲西北部,荷兰的牧草产量可提高10%。英国的马铃薯增产50%~75%,其他一些由于夏季热量不足而勉强种植的作物,适宜范围可能往北扩大几百km。

欧洲南部,地中海生产潜力将大大降低。在气温上升 4°C 年降水量减少10%以上情况下,意大利和希腊的生物量潜力预计分别减少5%和30%。欧洲北部生物量潜力的增加与南部的减少对比是十分明显的。另外,阿尔卑斯山气候带上升450~650m。

前苏联:温度升高 1°C 将造成地区间水分状况的差异,致使中纬度的较干旱地区生产力下降,但还在适应范围内。 C_3 作物的生产潜力将有可能提高。前苏联草原和森林草原地带估计将减少农业气候生产力5%~10%,而非黑钙土地带将增加8%。若再增温 1°C (2000年以后),除前苏联欧洲部分地区外,各地农业气候生产潜力均能提高5%~10%,若再升高 2°C (约2030年),可望提高10%~20%。

中东:气温上升 3.5°C 左右,降水可能减少。以色列小麦可能减产40%。当温度稍有增加(如 1°C 时),预计大麦产量将减少5%左右。而若无灌溉,则降水量无论减少多少都会引起减产20%以上。

西非和北非:辐合带北移,预计夏季降水增加,但是蒸发量也将变大。具体影响还不能确定,但会促使蝗虫和其他害虫向北迁移。贝宁和尼日利亚等地,降水增加不足以抵消蒸发,产量将显著下降。另外在山区(如埃塞俄比亚)侵蚀和洪水将成为更加棘手的问题。

东非和南非:估计温度升高 $1.5\sim 3.5^\circ\text{C}$,

导致蒸散速率增加 5%~15%，产量高低主要取决于降水量的变化，对玉米产量和草原牧草生长（以及畜载量）有很大影响。在肯尼亚，目前气候概率为 10% 的严重干旱可使玉米减产约 30%~70%，并使饲草产量减少 15%~60%。

中国：全球增温将导致冬季风变弱、夏季风增强。因此在目前多雨地区，降水量有可能增加；与现在情况相比，雨区将进一步向西向北扩展。如果出现这种情况，那么多雨年份洪水已经相当严重的中国南方洪涝风险还可能显著增大。在温度升高 1℃ 和降水量增加 100 毫米的情况下，中国的水稻、玉米和小麦产量预计将增加 10% 左右，而北方和东部地区的产量将有一定下降。在土壤有效水分不增加的条件下，每增温 1℃，东部和中部地区的玉米产量将减少 3%。

印度：北部增温 0.5℃ 将使小麦减产 10% 左右。中部升温 0.5℃ 则可能从本来较低的产量基数上以较大比率下降。但是，如果降水量显著增加（增温 2.5℃，降水量增加 0.75mm/日）水稻产量也许会增加 7% 左右，CO₂ 的施肥效应可使这一增加再扩大到 20%。在印度中南部，由于雨季温度升高造成高粱提前成熟，籽粒灌浆受到影响，估计产量将下降。

东南亚：在平衡态 2×CO₂ 气候下，预计温度上升 0.3~0.5℃，有可能引起水稻和玉米减产（由于作物生长过快），而且使虫害造成的损失加大。菲律宾的试验表明，气候变化的综合影响，可使水稻产量提高达 30%。

日本：在气温上升 3~3.5℃ 和年降水量增加 5% 的条件下，北部（北海道）的水稻产量可增加 5% 左右，而中部地区为 2%。全国平均增加 2%~5%，北海道水稻种植上界可提高 500m 左右。种植北界可北移 100km。玉米和大豆产量估计可增加 4% 左右。如果降水量减少的话，日本最南部的甘蔗产量可能下降。

大洋洲、澳大利亚：在夏季降水增加 40%、冬季降水减少 20% 以及年平均温度增加 1~4℃ 情况下（各地情况不同），生产力增加在 10%~30%。牧草生产增加将使牲畜生产获得

提高，但高温对绵羊的影响问题也变得严重起来。因此养羊业的限制将促使养牛业的发展。

6 土地利用的变化

6.1 种植面积的变化

在前苏联及欧洲的西北部和北部，种植面积扩大最为明显。变暖有助于山区种植面积向上扩展。

美国大平原南部的作物种植面积会下降 5%~23%，但由于大湖区种植面积的扩大，可以得到部分补偿。

6.2 作物类型的变化

变种为热量需求较高的作物。估计日本北部的生长期日会增加 35%，如把早熟换成晚熟品种，产量可能增加 26%。

变种更加耐旱的作物，把各种春播作物改为秋播作物可能是避免初夏频繁出现短期干旱危害的一项战略措施。

6.3 种植地区的变化

农业地带一般都向极地方向移动，这种情况在中高纬度最显著，部分原因是由于那里变暖最明显。在北美中部，温度升高 1℃，估计其种植带就向北推移 175km。南半球同样向南移动，在 2×CO₂ 气候条件下，可能移动 6 个纬度。

7 海平面变化的影响

到 2030 年，海平面将进一步提升 10~30cm。东南亚会遭受严重影响，因为那里有几个依靠水稻生产供应具有密集人口的三角洲地区。例如孟加拉国，海平面提升 1.5m，那么将有 15% 的土地被淹没，如海平面提升 3m，淹没土地还要增加 6%，会损失掉全部农业产量的 21.3%，其中主要是水稻、甘蔗和黄麻。据认为，泰国和中国也特别易受到危害而损失掉大片农田。

在过去的 100 多年里，美国的密西西比河三角洲地区已经发生了 1m 的下倾，这里的土地损失速度为每年 250km²，据估算，路易斯安那州海平面升高 0.5m，将使全国 35% 的旱地受到损失。美国亚热带农业也会受到可观的损失。

海水倒灌是有害的,会增加水患的危险性,导致农田的盐碱化,降低河水的灌溉价值。海平面升高会提高地下盐水水位的高度,而降低其上的地下淡水深度,地下水会失去灌溉价值。

8 总结

降雨量和温度平均值相对较小的变化对极端温度和极端湿度的出现频率会产生显著的影响。例如在有些地区,年平均温度升高 1°C 或 2°C ,对温带作物造成危害的热胁迫高温天气的日数会显著增加。

世界变暖的降水多为强雷暴雨而不是面积较大的强度较小的阵雨,这将加强土壤被侵蚀的速率。

温度升高会扩大某些病虫害的地理区域,将使得目前只限于热带国家的虫害向亚热带和温带地区蔓延。

中高纬度和高纬度地区因气候变暖而引起的生产潜力的增加不可能抵消掉中纬度一些主要粮食输出地区生产潜力的大幅度下降。