

CO₂ 浓度升高与气候变化对农业的影响研究进展*

白莉萍

(中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室 北京 100093)

林而达

(中国农业科学院农业气象研究所 北京 100081)

摘 要 全球气候变化过程加剧。阐述了 CO₂ 浓度升高及气候变化对农业的影响,包括 CO₂ 浓度升高对作物生产力的影响,CO₂ 浓度与温度升高相互影响以及 CO₂ 浓度与水分利用之间相互影响。研究表明随 CO₂ 浓度的升高,作物生产力如生物量、经济产量以及水分利用效率均将有所提高,但高温对作物生产力可能产生不利影响,并指出今后研究重点。

关键词 CO₂ 浓度增加 气候变化 农业影响

The effects of CO₂ concentration enrichment and climate change on the agriculture. BAI Li-Ping(Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093), LIN Er-Da (Institute of Agrometeorology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081), *CJEA*, 2003, 11(2):132~134

Abstract The paper shows the advances of effects of CO₂ enrichment and climate change on the agriculture inside and outside the country including the impacts of elevated CO₂ on crop productivity, interactive effects of temperature increase and atmospheric CO₂ concentration, and interactive effects of water availability and atmospheric CO₂ concentration. The study shows that the crop productivity, such as economical yields and biomass, and water utilization efficiency, increases with CO₂ concentration increase, but high temperature may have negative effect on the crop productivity. The effects of CO₂ enrichment and climate change should need further research.

Key words CO₂ concentration enrichment, Climate change, Effects on agriculture

目前全球气候变化过程加剧,并日益引起国际社会的普遍关注^[1,2],气候变化对作物产量的影响由于作物种类、品种、土壤条件、其他环境因子、CO₂ 对作物的影响以及作物适应能力不同而存在差异。IPCC 对农业影响的估测表明,气候变化会造成全球收益的微小波动,许多发达国家具有正效应,而发展中国家正效应很小,甚至产生负面影响。若全球年均气温升高几度或更高,粮食供给能力的增长将滞后于需求增长,进而影响粮食价格上涨。

1 CO₂ 浓度升高对作物生产力的影响

目前关于 CO₂ 浓度升高对作物生产力的影响研究报道较多,如大气中 CO₂ 浓度升高会提高碳水化合物转化效率,作物产量将增加 30% 左右。而 CO₂ 浓度升高产生的正效应只有在光照、水分、营养状况等条件满足时才能体现,C₃ 作物产量将因此约提高 20%~45%,C₄ 作物可提高 0%~10%^[3,8],显然 C₃ 作物增产潜力明显大于 C₄ 作物。目前试验普遍采用控制环境中 CO₂ 浓度倍增一步到位的方法,而自然生态系统和作物农田却经历的是大气 CO₂ 浓度逐步增加的过程。较为接近大田状况的 FACE(译为自由空气中 CO₂ 浓度增加)试验中当 CO₂ 浓度为 550mg/kg 时,叶面积增加及果实保留期延长,棉花产量提高 37%~48%;水分满足下春小麦产量增加 8%~12%,而 N 肥和灌溉均能满足时 2 个生长季总产量提高 15%~16%^[13]。FACE 试验中 CO₂ 浓度为 600mg/kg 时多年生牧草干物质量增加 7%,单种多年生豆科植物增加 17%。高 CO₂ 浓度下草-三叶草混种中豆科植物比例显著增加。目前 FACE 大田数据获取很少,故 CO₂ 浓度升高对诸如干物质量、产量等方面影响尚有待更多实地研究。

* 国家重点基础研究(973)发展规划项目(G1999043404)和国家自然科学基金重大项目(39899370-3)共同资助

收稿日期:2002-03-31 改回日期:2002-05-05

2 CO₂ 浓度与温度升高相互影响

CO₂ 浓度与温度升高将综合影响 C₃ 植物光合生产力,且温度升高时 CO₂ 浓度增加对光合生产力正效应更大^[8]。若全球夜间平均温度升高,则刺激暗呼吸可使作物 C 损失量增加^[4]。但 CO₂ 与温度升高相互影响,暗呼吸与光合作用比率长期接近一个常数^[9]。CO₂ 浓度增加对小麦产量的影响主要是增加分蘖数^[7],即通过刺激早期分蘖形成和存活增加穗粒数。高温促进分蘖并产生无效分蘖,一般小麦粒重、籽粒成熟率及饱满度将随 CO₂ 浓度增加而增加,但高温却抵消这些贡献,特别是异常高温所致的不育^[14]。温度与 CO₂ 浓度升高对麦穗及产量的相互影响是复杂的,且因光、N 素及水分供应水平不同,二者互作效应年间差异明显^[5,6]。适宜温度内 CO₂ 浓度倍增可使水稻产量提高 30%,抽穗天数却减少 5%~10%;若温度>26℃时其生育期缩短和花不育,每升高 1℃则水稻产量下降 10%。尤其花期出现极端高温(36.5℃以上)时,CO₂ 浓度升高对水稻产量的影响甚至是负效应,大豆也有类似报道。有些作物系统在较冷生长季中却随温度增加物候发育加速及播种期提早,可能使籽粒灌浆期有所前移,由此部分抵消高温所带来的不利影响,这些推论尚需生产中进一步证实。

3 CO₂ 浓度升高与水分利用相互影响

CO₂ 浓度增加对叶表面气孔开闭有重要影响,研究表明环境 CO₂ 浓度倍增时 C₃ 植物和 C₄ 植物气孔空隙可减少 40%,蒸腾减少 23%~46%。且 CO₂ 浓度升高降低气孔导度,气孔阻抗影响光合作用相应较小^[10],但气孔导度会随温度上升而有所变化,即 26℃温度时且伴随 CO₂ 浓度升高可减少大田水稻季节蒸散量 15%,但温度升至 29.5℃时蒸散量则增加 20%。另有研究表明棉花和春小麦 N 肥供应充足时,CO₂ 浓度升高对每单位土地面积的蒸散影响较小,而对高草草原 C₄ 类植物日蒸散量下降较大(-22%),且玉米水分大幅减少,但对于旱半干旱地区常受水分胁迫的植物生长有利。FACE 春小麦试验中 CO₂ 浓度为 550mg/kg 时,水分胁迫下作物水分利用效率增加 15%~24%;水分满足时水分利用效率增加 13%~18%^[11],而水分适度胁迫时作物产量提高 21%~25%。适宜温度下 CO₂ 浓度倍增使水稻水分利用效率约提高 50%。但温度上升超过适宜范围时,水分利用效率增加则明显减缓。常处于水分胁迫的 C₃ 作物和 C₄ 作物,因水分利用效率增加导致其生产力提高,是对 CO₂ 浓度升高的主要反应^[10],气候(温度、降雨)变化与 CO₂ 浓度升高之间相互影响可能导致土壤水分发生变化,反之,则影响水分和营养关系。故应深入研究 CO₂ 浓度升高、高温及降雨量之间相互影响。

目前我国冬小麦种植北界仅限于长城和华北北缘以南,由于气候变化,高纬度的东北、西北地区可能比其他地区增温明显,如东北地区 1961~1990 年平均气温为 5.25℃,1995~1998 年平均气温增加 1.38℃,这种热量变化为冬小麦种植北扩西延(从辽宁省大连推至沈阳地区,特别是东北一些河滩地、湿地及积雪深厚地区)提供了有利条件,同时因温度升高,蒸散加大,某些地方降雨减少,消耗量加大,可能造成小麦产量降低。张厚瑄和高素华等学者认为,未来气候变暖将有利于水稻生产的发展,但因夏季高温的影响稻米质量可能变差;而林而达、金之庆、张宇等学者则认为大气 CO₂ 浓度倍增,水稻主产区热量资源趋于丰富,但温度升高使作物发育速率加快,生育期缩短,若品种和播种、移栽期不变,水稻产量将下降。CO₂ 浓度升高时水稻籽粒淀粉容量将有所增加,而对人体营养很重要的 Fe 和 Zn 浓度则降低,且温度和 CO₂ 浓度均升高下籽粒蛋白质含量减少,对谷物品质的研究应进一步深化。张厚瑄认为未来气候变暖对玉米生产有利,可使玉米品种趋向晚熟并发展多熟制;李玉娥则预测 CO₂ 浓度倍增,我国北方春玉米和夏玉米生产潜力可分别提高 7.1%~14.8%和 8.6%~21.2%。但也有研究指出,气候变化对我国玉米生产的影响弊大于利,玉米总产量将减少 3%~6%。目前我国气候变化对农业的影响研究尚停留在统计预测及模拟模型上,而基于试验基础的求证却较少。王修兰等学者采用半封闭式同化箱测量装置测定盆栽大豆于 700mg/kg、500mg/kg 和 350mg/kg CO₂ 浓度下生物量与经济产量结果表明,700mg/kg 比 350mg/kg CO₂ 浓度下增长 41%和 33%,500mg/kg CO₂ 浓度下增长 31%和 30%,但此结果若直接推广到大田生产尚有诸多不确定性。与发达国家相比,我国在实地求证及相应开放式自动化实验设备方面尚需加强。

目前仍无充足有力证据说明温度升高与 CO₂ 浓度倍增之间对植物生长发育与生物量积累互作效应^[12],且缺乏这方面定量化信息,一般试验研究多采用 2 个 CO₂ 浓度水平,即一是当前大气 CO₂ 浓度水平,二是

CO₂ 浓度倍增水平,而植物对 CO₂ 浓度的反应为非线性,故至少应具备 3 个以上 CO₂ 浓度水平处理,且实验方法及实验设备尚有待从封闭向开放,盆栽向大田,人工环境控制向作物生态系统发展,只有贴近实际的试验结果才能充分揭示未来趋势。

参 考 文 献

- 1 叶笃正. 全球变化. 现代大气科学前沿与展望. 北京:气象出版社,1995
- 2 林而达等. 全球气候变化对中国农业影响的模拟. 北京:中国农业科技出版社,1997
- 3 王修兰,徐师华. CO₂ 浓度倍增对大豆各生育期阶段的光合作用及干物质积累的影响. 作物学报,1994,20(5):520~527
- 4 Amthor J. S. Plant respiratory responses to elevated carbon dioxide partial pressure. Advances in carbon dioxide research. USA Special Publication, 1997, 61:35~77
- 5 Batts G. R., Ellis R. H., et al. Canopy development and tillering of field-grown crops of two contrasting cultivars of winter wheat (*Triticum aestivum*) in response to CO₂ and temperature. Annals of Applied Biology, 1998, 133:101~109
- 6 Batts G. R., Ellis R. H., et al. Yield and partitioning I crops of contrasting cultivars of winter wheat in response to CO₂ and temperature in field studies using temperature gradient tunnels. Journal of Agricultural Science (Cambs), 1998, 130:17~27
- 7 Batts G. R., Morison J. I. L., et al. Effects of CO₂ and temperature on growth and yield of crops of winter wheat over several seasons. European Journal of Agronomy, 1997, 7:43~52
- 8 Bowes G., Vu J. C. V., et al. An overview of how rubisco and carbohydrate metabolism may be regulated at elevated atmospheric CO₂ concentration and temperature. Agricultural and Food Science in Finland, 1996, 5:261~270
- 9 Casella E., Soussana J. F. Long-term effects of CO₂ enrichment and temperature increase on the carbon balance of a temperate grass sward. Journal of Experimental Botany, 1997, 48:1309~1321
- 10 Drake B. G., Gonzales-Meler M. A., et al. More efficient plants: A consequence of rising atmospheric CO₂? Annu. Rev. Physiol. Plant Mol. Biol., 1997, 48:607~637
- 11 Hunsaker D. J., et al. Carbon dioxide enrichment and irrigation effects on wheat evapotranspiration and water use efficiency. Transactions of the ASAE, 1996, 39(4):1345~1355
- 12 Morison J. I. L., Lawlor D. W. Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth. Plant Cell Environment, 1999, 22:659~682
- 13 Pinter P. J., Kimball B. A., et al. Free-air CO₂ enrichment: responses of cotton and wheat crops. Carbon Dioxide and Terrestrial Ecosystems. San Diego: Academic Press, 1996. 215~249
- 14 Wheeler T. R., Hong T. D., et al. The duration and rate of grain growth, and harvest index of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to CO₂ and temperature. Journal of Experimental Botany, 1996, 47:623~630