

高温、高 CO₂ 对农作物影响的试验研究*

郭建平 高素华

(中国气象科学研究院 北京 100081)

摘要 在人工气候室试验研究高温和高 CO₂ 浓度对农作物的影响结果表明,高温、高 CO₂ 浓度使农作物生育进程加快,作物生育期缩短,作物的光合作用速率升高,蒸腾速率下降和气孔阻力增加;在相同的发育期使作物叶面积、根、茎、叶生长量不足,生物量下降;对不同作物产量结构的影响有差异,对小麦的影响主要是小穗数和穗粒数下降,而对玉米的影响主要是籽粒百粒重下降。高温、高 CO₂ 浓度可使农作物叶片中微量元素含量发生显著变化。

关键词 高温 CO₂ 浓度 农作物 影响

The experimental study on impacts of high temperature and high CO₂ concentration on crops GUO Jian-Ping, GAO Su-Hua (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081), *CJEA*, 2002, 10(1): 17~20

Abstract The impact of high temperature and high CO₂ concentration on crops is studied in artificial chambers. The results show that the high temperature and high CO₂ concentration would accelerate crop growth and development, shorten the growth period, increase the photosynthetic rate, decrease the transpiration rate, and increase the stomatal resistance. At the same phenophase, the leaf area and biomass of leaf, root, stalk would decrease because of insufficient growth. The impacts on yield components of different crops are different, spikelet numbers and grains number is decreased in wheat, hundred-grain weight decreased in corn. The high temperature and high CO₂ concentration change the contents of trace elements in leaves.

Key words High temperature, CO₂ concentration, Crops, Impact

CO₂ 浓度变化对农作物生长发育的影响国内外已有不少研究^[1],多数研究侧重于 CO₂ 浓度升高对作物发育进程、干物质累积、干物质分配及产量的影响。CO₂ 浓度升高对作物光合作用速率、水分利用率的影响也曾有研究^[2,4,5],关于 CO₂ 浓度升高并伴随温度变化对作物的影响在国外也有过类似的研究^[7,8],但在我国由于受试验条件的限制,以前的试验基本是在开顶式气室中进行的,由于气室的通风影响,使处理与对照间温度差异很小,因此一般是很少考虑温度的 CO₂ 单要素试验。而实际上观测结果和 GCMs 模式的预测结果均表明,当大气中 CO₂ 浓度升高后必定有温度的升高,因此仅考虑 CO₂ 浓度升高对农作物的影响是不够的。为此,中国气象科学研究院农业气象和遥感应用研究中心利用黑龙江省农业科学研究院人工气候室进行了高 CO₂ 浓度和高温的复合试验,以便进一步探讨高温、高 CO₂ 对农作物的影响。目前 CO₂ 浓度变化和高温对作物微量元素含量的影响研究尚很少,本试验在人工气候室内控制 CO₂ 浓度和温度,研究了高 CO₂ 浓度和高温对小麦、大豆和玉米的影响以及对农作物微量元素含量的影响。

1 试验材料与方法

试验在黑龙江省农业科学研究院人工气候室内进行,人工气候室内温度、湿度和日照均自动控制,使其满足小麦、大豆和玉米正常生长发育的需要。每天早晚及阴天用生理日光灯进行补光,该人工气候室结构和性能参见文献[1]。供试作物冬小麦、大豆和玉米均采用盆栽,盆口直径 36cm,高 26cm,盆内土壤质地均匀且一致,土壤肥力适宜,管理方法处理和对照相同,播种后置于人工气候室内。其中冬小麦于 11 月 10 日播种,大豆于 11 月 4 日播种,玉米于 11 月 3 日播种。试验设 2 个处理,处理 I 为高 CO₂ 浓度(约 700mg/kg,比大气背景的 CO₂ 浓度高 1 倍)和高温处理。根据目前的研究结果表明,冬春季节升温较夏季明显,在温度设置方面,根据作物生长季的时间分布,冬春季节的温度升高要高于夏季。处理 II 为对照,即 CO₂ 浓度为大

* 国家重点基础研究(973)发展规划项目(G1999043400)资助

收稿日期:2001-01-16 改回日期:2001-04-09

气背景浓度(350mg/kg左右),温度为作物正常生长发育所需的温度。第1月、第2月、第3月、第4月、第5月上旬小麦和玉米温度分别比对照增加2.5℃、4.8℃、5.8℃、5.2℃、0.9℃,大豆分别比对照增加1.2℃、1.1℃、0.8℃、0.3℃、0℃。观测项目主要有作物发育期、干物质质量、绿叶面积和光合作用速率等,收获后进行考种,在营养生长期测定叶片中微量元素含量。CO₂浓度采用日本Fushi公司生产的ZSD CO₂分析仪监测,并自动控制在一定的误差范围内(约20mg/kg),光合作用速率、气孔阻力和蒸腾速率等利用美国Licor公司生产的Li-6200光合作用系统测定,每次测定3~6个重复,取其平均值;微量元素采用等离子发射光谱法测定;生物量和叶面积通过取样测定。

2 结果与分析

2.1 高温、高CO₂对生育期的影响

试验结果表明,高温和高CO₂浓度将加速作物的生育进程,促使作物生长发育速度加快。其中冬小麦全生育期处理比对照缩短了25d,而在仅增加CO₂浓度1倍且不升高温度的试验中冬小麦全生育期仅缩短3d;玉米全生育期处理比对照缩短了16d,而在未提高温度且仅CO₂浓度升高1倍的试验中玉米全生育期无变化,这说明高温对冬小麦和玉米生育期有显著的影响,而生育期缩短对作物积累生物量和提高产量不利。试验结果还表明在温度升高较小时对大豆全生育期无影响,处理和对照的大豆植株在同一天成熟,且大豆在结荚前仍表现出高温、高CO₂浓度促进发育的作用,而后期对照的发育进程显著加快,从而使成熟期差异变小,这一结果与冬小麦和玉米表现不同,说明在一定温度范围内较小温度差异对大豆生长发育的影响不显著。

2.2 高温、高CO₂对作物叶面积与生物量的影响

作物的叶面积和生物量是作物生长发育状况好坏的主要标志,表1列出大豆、冬小麦和玉米不同生育阶段的叶面积和生物量。由表1可知,大豆在三叶期处理的叶面积比对照略小,但叶片干物质质量大于对照,这一结果与单纯增加CO₂使作物叶片厚度增加,在叶面积不增加情况下增加叶片干物质质量的结论是一致的。此外,根和茎的干物质质量也明显增加。到开花期大豆叶面积比对照增加27.6%,根、茎和叶的干物质质量分别比对照增加77.2%、129.3%和79.3%;小麦拔节期和抽穗期的叶面积、根、茎和叶的生物量均比对照下降,其主要原因是由于高温使小麦的发育进程加快,生育期缩短,作物干物质累积的时间也相应缩短,从而使作物干物质积累减少。由此可知,温度升高到一定程度后高温对小麦的负作用已超过高CO₂浓度对小麦的正效应;玉米七叶期叶面积、根、茎和叶的干物质质量均比对照小,而抽雄期玉米的叶面积和叶片干物质质量比对照有所增加,根和茎的干物质质量仍比对照有所下降,同样说明高温对玉米的负效应大于高CO₂浓度对玉米的正效应。综上所述,当温度升高超过一定范围后高温对农作物的生长发育不利。

表1 高温、高CO₂对叶面积与生物量的影响

Tab. 1 The impacts of high temperature and high CO₂ concentration on leaves area and biomass

作物 Crops	生育期 Phenophase stage	处理 Treatments	叶面积/cm ² Leaves area	根干物质质量/g Root dry weight	茎干物质质量/g Stalk dry weight	叶干物质质量/g Leaf dry weight
大豆	3叶期	处理	39.54	0.1066	0.07495	0.1450
		对照	41.06	0.0846	0.05893	0.1291
	开花期	处理	295.99	1.400	2.820	4.160
		对照	231.96	0.790	1.230	2.320
小麦	拔节期	处理	46.33	0.0252	0.0770	0.1284
		对照	53.83	0.0268	0.0874	0.1432
	抽穗期	处理	167.97	0.193	0.821	0.462
		对照	192.71	0.224	1.276	0.551
玉米	7叶期	处理	386.59	1.2622	1.3521	2.4135
		对照	417.59	1.5969	1.5367	2.8259
	抽雄期	处理	3050.40	3.760	19.3967	9.555
		对照	2895.63	5.1233	22.4467	7.4633

2.3 高温、高CO₂对光合作用速率、蒸腾速率与气孔阻力的影响

作物生物量的积累与作物光合作用速率的大小直接有关,同时也与作物叶面积的大小有关。蒸腾速率和气孔阻力的大小与作物的水分耗损和水分利用率有关。表2给出大豆(三叶期)、小麦(孕穗期)和玉米(拔

节期)的光合作用速率、蒸腾速率和气孔阻力的变化情况。表 2 表明在高温、高 CO₂ 浓度情况下这 3 种作物的光合作用速率均比对照增加,光合作用速率的提高有利于作物积累生物量,其中大豆增加 15.6%,小麦增加 15.6%,玉米的

表 2 高温、高 CO₂ 对光合作用速率、蒸腾速率与气孔阻力的影响

Tab.2 The impacts of high temperature and high CO₂ concentration on photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal resistance

作物	生育期	处理	光合作用速率/mg·dm ⁻² ·h ⁻¹	蒸腾速率/mg·dm ⁻² ·h ⁻¹	气孔阻力/s·cm ⁻¹
Crops	Phenophase stage	Treatments	Photosynthetic rate	Transpiration rate	Stomatal resistance
大豆	3 叶期	处理	22.68	0.5734	0.693
		对照	19.62	0.6168	0.640
小麦	孕穗期	处理	28.32	0.5567	0.867
		对照	24.50	0.6867	0.644
玉米	拔节期	处理	16.54	0.0781	5.249
		对照	15.65	0.1121	3.821

光合作用速率仅增加 5.7%,这一结论与仅增加 CO₂ 浓度对作物影响的试验结果基本一致,即 C₃ 作物对 CO₂ 浓度变化的反应没有 C₄ 作物敏感;蒸腾速率均比对照下降,蒸腾速率的下降有利于作物提高水分利用率和耐旱能力,其中大豆下降 7.0%,小麦下降 18.9%,玉米下降 30.3%;气孔阻力在高温、高 CO₂ 浓度下均比对照增加,其中大豆的气孔阻力增加 8.3%,小麦增加 34.6%,玉米增加 37.4%。由于小麦和玉米的温度差异较大豆高,故对小麦、玉米的蒸腾速率和气孔阻力的影响也大于对大豆的影响。

2.4 高温、高 CO₂ 对作物产量结构的影响

由表 3 可知对大豆、小麦和玉米收获时产量结构的影响,对大豆而言,高温和高 CO₂ 浓度使大豆的结荚高度降低,对提高大豆产量有利;大豆生长期处理的高温并未超过大豆的适宜温度范围,因而不会对大豆

表 3 高温、高 CO₂ 对产量结构的影响

Tab.3 The impacts of high temperature and high CO₂ concentration on yield structure

项目	结荚高度/cm	荚数/个	粒数/粒	百粒重/g	产量/g	
Items	Podding height	NO of pods	NO of grains	100 grams weight	Yield	
大豆	处理	12.78	12.65	22.40	16.00	3.5840
	对照	13.91	12.35	21.74	14.39	3.1298
项目	穗长/cm	小穗数/个	穗粒数/粒	千粒重/g	产量/g	
Items	Ear length	Spikelets	Grains	1000 grams weight	Yield	
小麦	处理	8.00	18.60	38.80	48.3376	1.8755
	对照	9.10	19.37	40.05	48.3521	1.9365
项目	穗粗/cm	穗长/cm	行粒数/粒	百粒重/g	产量/g	
Items	Diameter	Length	Grains per row	100 grams weight	Yield	
玉米	处理	3.94	9.52	20.44	15.94	39.5600
	对照	4.12	9.09	18.33	21.17	39.8115

的正常生长发育造成危害,大豆的荚数、粒数和百粒重处理均比对照高,并最终使大豆产量提高 14.5%;小麦和玉米与大豆有较大的差异,小麦和玉米生长发育过程中温度已明显升高,目前应用的品种对这种高温已产生明显的不适应,从而使小麦小穗数、穗粒数和千粒重下降,并最终导致小麦产量下降 3.2%。因在仅增加 CO₂ 浓度的试验中小麦有显著增产效应,故这种

减产可认为是由于高温对小麦的负效应大于 CO₂ 浓度的正效应所致。玉米虽也表现出减产,但减产幅度仅为 0.6%,且减产原因与小麦也不同,小麦减产原因主要是高温使小穗数和穗粒数有较大幅度下降,而千粒重下降幅度要小于小穗数和穗粒数,玉米减产主要原因是高温使玉米灌浆时间缩短,灌浆不足,使百粒重有较大幅度下降(下降 24.7%),而玉米穗长和每行粒数却有所增加,这一结论说明玉米穗分化时期高温能促进玉米的穗分化,但后期(灌浆期)高温对提高玉米产量极为不利。

2.5 高温、高 CO₂ 对叶片微量元素含量的影响

在大豆三叶期、小麦孕穗期和玉米九叶期由农业部谷物品质监督检验测试

表 4 高温、高 CO₂ 对叶片微量元素含量的影响

Tab.4 The impacts of high temperature and high CO₂ concentration on content of trace elements in leaf

作物	处理	S/mg·kg ⁻¹	Zn/mg·kg ⁻¹	Fe/mg·kg ⁻¹	Mg/ug·kg ⁻¹	Cu/mg·kg ⁻¹
Crops	Treatment					
大豆	处理	762.4	3.912	39.24	1926.0	5639.0
	对照	748.6	5.014	30.17	1824.0	5044.0
小麦	处理	969.2	5.536	25.18	486.9	1098.0
	对照	871.0	6.497	17.10	324.4	654.3
玉米	处理	363.4	2.869	22.42	736.2	895.2
	对照	339.2	3.587	25.58	577.7	671.8

中心应用等离子光谱发射法测定同叶位叶片中微量元素(S、Zn、Fe、Mg、Ca)含量结果表明,高温和高CO₂浓度对作物叶片中微量元素含量有明显的影响(见表4)。由表4可知,高温和高CO₂浓度使作物叶片中S的含量增加,其中大豆增加1.84%,小麦增加11.27%,玉米增加7.13%;Zn含量下降,其中大豆下降21.98%,小麦下降14.79%,玉米下降20.02%;大豆和小麦叶片中Fe含量增加,其中大豆增加30.06%,小麦增加47.25%,而玉米叶片中Fe含量减少12.35%;Mg含量均增加,其中大豆增加5.59%,小麦增加47.81%,玉米增加27.44%;Ca含量增加,其中大豆增加11.80%,小麦增加67.81%,玉米增加33.25%。由此可知,高温和高CO₂浓度对不同作物叶片中微量元素含量的影响趋势除玉米叶片中Fe含量与大豆和小麦的变化趋势相反外,所测定的其他元素变化基本一致,仅变化幅度有所不同。而叶片中微量元素变化由于随碳水化合物的输送,也将会影响籽粒中微量元素含量的变化,最终可能会影响籽粒品质。

3 小结与讨论

高温、高CO₂浓度使农作物生育期缩短,其中高温对生育期的影响要比高CO₂浓度的影响更大,农作物生育期缩短将不利于作物获得高产;由于高温、高CO₂浓度使农作物的生育进程加快,因此在相同的发育期使作物叶面积、根、茎、叶生长量不足,生物量下降,从而影响到产量;高温、高CO₂浓度使作物光合作用速率升高,蒸腾速率下降和气孔阻力增加,对提高单位叶面积的干物质量和水分利用率有利;高温、高CO₂浓度影响作物的产量结构,且对不同作物产量结构的影响不同,对小麦主要是影响小穗数和穗粒数,对千粒重的影响较小,而对玉米的影响主要是后期灌浆,由于灌浆时间缩短,使籽粒灌浆不足,使籽粒百粒重下降而影响产量;在一定的温度范围内适当升温对农作物的影响不大;高温、高CO₂浓度使农作物叶片中微量元素含量发生显著变化,其中S、Fe(除玉米)、Mg和Ca的含量呈增加趋势,Zn的含量呈下降趋势。作物叶片中微量元素的变化将通过干物质的输送,影响籽粒中微量元素含量的变化,且影响籽粒品质。

参 考 文 献

- 1 高素华,郭建平,王连敏等. 低温对玉米幼苗生理反应的影响. 应用气象学报,1999,10(2):238~242
- 2 郭建平等. CO₂浓度倍增对农业气候资源利用效率的影响. 气候变化对我国农业影响的研究. 北京:气象出版社,1996. 77~81
- 3 齐玉春,董云社,章 申. 农业微环境对土壤温室气体排放的影响. 生态农业研究,2000,8(1):45~48
- 4 Morrison J. L. Plant growth and water use with limited water supply in high CO₂ concentration, II. Plant dry weight partitioning and water use efficiency. Aust. J. Plant Physiol., 1984, 11: 375~384
- 5 Rogers H. H., et al. Influence of elevated carbon dioxide on water relations of soybeans. Plant Physiol., 1984, 74: 233~238
- 6 Bhattacharya N. C. Prospects of Agriculture in a Carbon Dioxide Enriched Environment. In: A Global Warming Forum Scientific, Economic, and Legal Overview (Richard A. Geyer (Ed.)), Boca Raton, FL: CRC Press, 1992. 486~505
- 7 Lin W. H. The interaction of high temperature and elevated CO₂ on photosynthetic acclimation of single leaves of rice in situ. Physiologia Plantarum, 1997, 99: 178~184
- 8 Ingram K. T. Interactive effects of elevated carbon dioxide and temperature on rice growth and development. In: Climate Change and Rice (S. Peng, Ed.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1995. 278~287