

不同冬小麦品种光合作用对环境因子响应的初步研究

王振华^{1,2}, 孙宏勇¹, 张喜英¹, 陈素英¹, 裴冬¹

(1. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 不同作物品种对环境因子的响应不同, 而对作物生长影响最大的环境因子是光照和 CO₂ 浓度。研究不同冬小麦品种对环境因子的响应非常有意义。试验于 2006 年 3–6 月在中国科学院栾城农业生态试验站进行, 采用 LI-6400 便携式光合仪测定了 8 个冬小麦品种在不同光照和 CO₂ 浓度条件下光合作用的变化。结果表明: 光合作用对光强和 CO₂ 浓度响应的特征参数, 在不同冬小麦品种间表现出明显的差异; 叶片水分利用效率在不同冬小麦品种间差异显著, 并随着光照强度和 CO₂ 浓度的增加而呈二次曲线变化。

关键词: 冬小麦; 品种; 光合作用; 环境因子

中图分类号: S512.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2007)01-0009-04

Response of Photosynthesis of Different Winter Wheat Cultivars to Environmental Factors

WANG Zhen-hua^{1, 2}, SUN Hong-yong¹, ZHANG Xi-ying¹, CHEN Su-ying¹, PEI Dong¹

(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology,

Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: There was significant difference in the response of different crop varieties to the environmental factors which mainly included light rate and CO₂ concentrate. It was very necessary to study the response of environmental factors on the winter wheat growth. Field experiments were conducted to study response of light rate and CO₂ concentrate to photosynthesis on different winter wheat varieties from March to June in 2006. The results showed that photosynthesis parameters of different winter wheat varieties in response to light rate and CO₂ concentrate presented significant difference. The significant difference of leaf water use efficiency (WUE) in different winter wheat cultivars was observed. Leaf WUE changed with the increase of light rate and concentrate of CO₂.

Key words: Winter wheat; Varieties; Photosynthesis; Environmental factor

华北平原是我国冬小麦生产的主产区, 产量占全国总产量的 65% 左右^[1]。然而, 该区又是水资源严重缺乏的地区之一, 太行山山前平原区的地下水水位正以每年平均 1 m 的速度下降, 这主要是由于冬小麦的种植面积增加, 水分利用效率低和降水的减少共同作用形成的^[2]。发展高水效品种是实现农业高产稳产而又节约水资源的一条主要途径^[3–6]。

植物的光合作用是作物生长发育的一个重要生理过程, 它是干物质积累和产量形成的基础^[7]。较高的光合碳同化能力是作物获得高产的前提, 它的快慢与环境中的光照和 CO₂ 浓度有着非常密切的关

系^[8–13]。研究不同光照强度和 CO₂ 浓度下的植物光合速率和蒸腾作用的变化对于提高产量和水分利用效率有着非常重要的意义。本研究的目的是研究不同冬小麦品种光合作用对光照强度和环境中 CO₂ 的变化规律, 为冬小麦品种的选育、作物生长模型及作物与环境的相互作用的模拟研究提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地基本情况

试验于 2006 年在中国科学院栾城农业生态系统试验站进行。该站位于东经 114°40′, 北纬 37°50′,

收稿日期: 2006-10-21

基金项目: 国家“973”计划项目(2005CD121106); 河北省科学技术研究与发展计划(06220112D)

作者简介: 王振华(1980–), 男, 河北邯郸人, 硕士, 主要从事节水农业研究工作。

海拔 50.1 m,属于暖温带半湿润半干旱季风气候,光热资源较丰富,年总辐射量 5 433 kJ/cm²,年日照时数 2 608 h,年平均气温 12.3℃。多年平均降水量 480.7 mm,且主要集中在 7~9 月,雨热同期。该站土壤类型为褐土,质地为壤土。土壤较肥沃,耕层(0~30 cm)有机质含量 12~13 g/kg,全氮含量 0.7~0.8 g/mg,碱解氮 60~80 mg/kg,速效磷 15~20 mg/kg,速效钾 150~170 mg/kg。0~30 cm 土体的平均容重 1.47 g/cm³,平均田间持水量(容积)34%。

1.2 试验设计与实施

供试作物为 8 个冬小麦品种,如石新 733、5385、大粒 2 号、科农 213、科农 208、9905、烟 361、9204,试验于 2005 年 10 月 3 日至 2006 年 6 月 15 日进行,播前浇足底墒水,在冬小麦生育期间的拔节期和抽穗期灌水 2 次。小区面积 5 m×6.5 m,每处理 4 个重复,大田常规施肥。

试验测定项目:在冬小麦的灌浆期用 LI-6400 便携式光合测定系统测定旗叶的光响应曲线(光饱和点,光补偿点),光强分别为 50, 100, 200, 400, 800, 1 000, 1 200, 1 500, 1 800 μmol/(m²·s)。测定前先用锡纸进行叶片遮光处理 20 min 以上。CO₂ 响应曲线(CO₂ 补偿点,羧化速率等),用小钢瓶控制环境中的 CO₂ 浓度,分别为 400, 300, 200, 100, 50, 300, 500, 600, 800 μmol/mol。小麦成熟后,对每个小麦品种取样,测定其产量。

数据分析:用 SPSS 软件和光合助手软件进行分析光饱和点,光补偿点以及 CO₂ 补偿点,羧化速率和光合作用的一些主要参数。

2 结果与分析

2.1 不同冬小麦品种光合作用对光照强度的响应

净光合作用对光强的响应能够用非直角双曲线方程来模拟^[14],表达为:

$$P_n = \frac{\alpha + P_{\max} - \sqrt{(\alpha + P_{\max})^2 - 4\alpha KP_{\max}}}{2K} - R_{\text{day}}$$

其中, P_n 为净光合速率, α 为初始量子效率, I 为光照强度, P_{\max} 为最大光合速率, K 为曲角,反映光合曲线的弯曲程度, R_{day} 为光下呼吸速率。

光饱和点说明了作物能够充分利用光能的程度,即作物需光的上限^[15],光饱和点越高说明其可利用的光照强度越大,光饱和点的研究对于提高光合作用有着非常重要的意义。由表 1 可以看出,不同冬小麦品种的光饱和点差异明显,最大相差 680 μmol/(m²·s),而以科农 208、大粒 2 号和 9905 较大,其次是科农 213、9204 和烟 361,而石新 733 和 5385 的最低。光补偿点是指在此时光合作用吸收的 CO₂ 量与呼吸作用放出的 CO₂ 量相等,表观光合速率等于零,作物需光的下限^[16]。光补偿点在不同品种间也表现出明显的不同,最大相差 115.1 μmol/(m²·s),以科农 208、烟 361 和 9204 的较高,其余品种较低。烟 361 和 9204 的光下呼吸速率相对较高,科农 213 的最低。除科农 208 的初始量子效率明显的低以外,其他品种间没有显著的差异。曲角以科农 208 和大粒 2 号的较大,石新 733 的最低。不同冬小麦品种的最大光合速率在灌浆期间表现出明显的不同,以大粒 2 号,科农 213 和 9905 的较高,达到了 29.0 μmol/(m²·s) 以上,科农 208 的最低,只有 17.0 μmol/(m²·s)。

2.2 不同冬小麦品种光合作用对 CO₂ 浓度的响应

环境中 CO₂ 浓度的高低,直接影响植物的光合速率^[17,18]。在一定范围内,植物的光合速率随环境中 CO₂ 浓度的增高而增加,但达到一定程度时再增加 CO₂ 的浓度,光合速率也不再增加,此时环境中 CO₂ 的浓度称二氧化碳饱和点。在光照充足的情况下,当作物光合作用消耗的 CO₂ 与呼吸作用所释放的 CO₂ 达到平衡时,环境中的 CO₂ 浓度称为 CO₂ 补偿点。环

表 1 不同冬小麦品种的光响应特征参数

Tab. 1 Characteristic parameters of light response of different winter wheat cultivars

品种 Cultivars	光饱和点 /(μmol/(m ² ·s)) Light saturation point	光补偿点 /(μmol/(m ² ·s)) Light compensation point	光下呼吸速率 /(μmol/(m ² ·s)) Day respiratory rate	初始量子效率 Elementary quantum rate	曲角 Convexity	最大光合速率 /(μmol/(m ² ·s)) Maximum photosynthetic rate
石新 733 Shixin 733	997c	34.1c	0.93	0.027 4	0.24	26.4
5385	978c	36.6c	1.07	0.029 3	0.55	27.5
大粒 2 号 Dali 2	1 504a	50.9b	1.04	0.020 4	0.92	29.6
科农 213 Kenong 213	1 240b	26.9c	0.66	0.024 3	0.53	29.5
科农 208 Kenong 208	1 556a	142.0a	1.71	0.012 0	0.99	17.0
9905	1 436a	72.2b	1.56	0.021 5	0.56	29.4
烟 361 Yan 361	1 215b	128.0a	3.14	0.024 5	0.31	26.6
9204	1 226b	104.0a	2.46	0.023 3	0.53	26.4

境中 CO₂ 浓度增高会对植物吸收 CO₂ 产生两方面的影响^[19], 一是增加叶片内外 CO₂ 浓度差, 促进 CO₂ 向叶内扩散; 二是 CO₂ 浓度过高会引起气孔开度减小, 阻止 CO₂ 向叶内扩散。由表 2 可以看出, 不同冬小麦品种的叶片羧化速率有一定的差异, 最大相差 1.5 μmol/(m²·s), 大粒 2 号的羧化速率达到了 2.68

表 2 不同冬小麦品种的光合作用- CO₂ 响应特征参数

Tab 2 Characteristic parameters of photosynthesis- CO₂ response of different winter wheat varieties

品种 Cultivars	最大光合速率 /(μmol/(m ² ·s)) Maximum photosynthetic rate	羧化速率 /(μmol/(m ² ·s)) Carboxylation efficiency	总呼吸速率 /(μmol/(m ² ·s)) Total respiration	CO ₂ 补偿点 /(μmol/mol) CO ₂ compensation point
石新 733 Shixin 733	33.10	1.69b	7.49c	5.73b
5385	35.48	1.38c	6.44d	5.72b
大粒 2 号 Dali 2	38.40	2.68a	11.86a	6.41a
科农 213 Kenong 213	36.36	1.83b	9.03b	6.56a
科农 208 Kenong 208	34.99	1.92b	9.55b	6.84a
9905	40.31	1.38c	7.20c	6.34a
烟 361 Yan 361	33.12	1.64b	7.74c	6.18a
9204	36.84	1.18c	5.62d	5.61b

2.3 不同冬小麦品种的叶片水分利用效率差异分析

水分利用效率是指作物每消耗 1 kg 水时所形成的干物质克数。叶片水平的水分利用效率用测定的光合速率与蒸腾速率的比值来表示^[20]。从图 1 可以看出, 冬小麦叶片水分利用效率随着光照强度的变化而呈曲线变化。叶片的水分利用效率随着光照强度的增加而增加, 当到一定程度后, 叶片的水分利用效率达到最大值, 而后随着光照强度的增加叶片水分利用效率是下降的趋势。从图 1 还可以看出, 在相同光照强度的条件下, 不同冬小麦品种间的叶片水分利用效率存在着明显的差异。石新 733、

μmol/(m²·s) 以上, 其余品种 1.0~ 2.0 μmol/(m²·s)。总呼吸速率在不同品种间差异明显, 以大粒 2 号最大, 达到了 11.86 μmol/(m²·s), 而 9204 的呼吸速率最低, 只有 5.62 μmol/(m²·s), 其余品种介于两者之间。石新 733、5385 和 9204 的 CO₂ 补偿点都在 5.6~ 5.7 μmol/mol, 相对低于其他几个品种。

5385、大粒 2 号、科农 213 和科农 208 明显高于烟 361、9204 和 9905 等几个冬小麦品种的叶片水分利用效率。在叶片水分利用效率较高的冬小麦品种中, 大粒 2 号又明显高于其他品种。

从图 2 可以看出, 冬小麦叶片水分利用效率随 CO₂ 浓度的变化而呈曲线变化。CO₂ 浓度从 0 增加到 700 μmol/mol, 叶片水分利用效率是逐渐提高的, 而后 CO₂ 浓度再增加, 水分利用效率趋于稳定, 并开始表现有下降趋势。从图 2 还可以看出, 在相同的 CO₂ 浓度条件下, 不同冬小麦品种间的叶片水分利

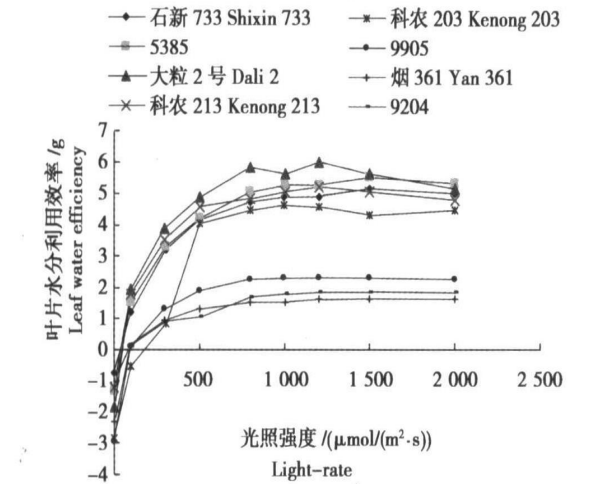


图 1 不同冬小麦品种的叶片水分利用效率对光强的响应

Fig 1 Response of leaf water efficiency of different winter wheat cultivars to light-rate

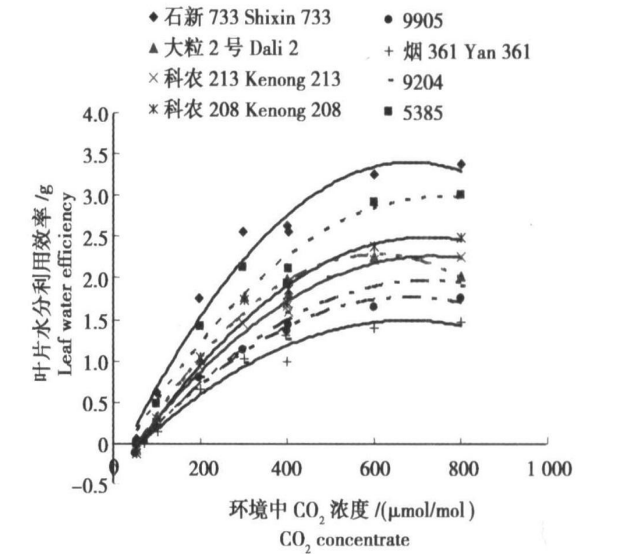


图 2 不同冬小麦品种的叶片水分利用效率对 CO₂ 浓度的响应

Fig 2 Response of leaf water efficiency of different winter wheat cultivars to concentrate of CO₂

用效率差异显著。石新 733 的叶片水分利用效率最高,其次是 5385,烟 361 的最低,其他品种介于其间。

2.4 不同冬小麦品种间的产量差异

图 3 对不同冬小麦品种间的产量进行比较。从图 3 可以看出,石新 733 和 9204 的产量相对较高,其次是 5385,大粒 2 号,科农 213,科农 208 和 9905,烟 361 产量最低。

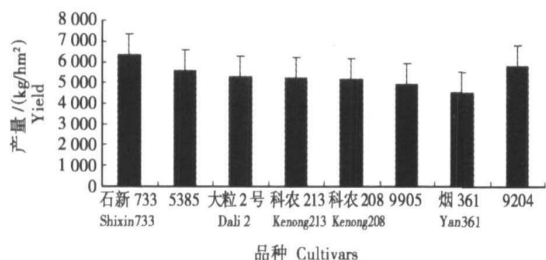


图 3 不同冬小麦品种的产量

Fig 3 Grain yield of different winter wheat cultivars

3 结论

不同冬小麦品种的光合作用对光强和 CO_2 浓度的响应表现出明显的差异,集中反映在几个特征参数上。科农 208、大粒 2 号和 9905 的光饱和点较高,能够利用较强的光照进行光合作用,但并不是光饱和点越大,品种的光合速率就越大。叶片水分利用效率在不同冬小麦品种间差异显著,并随着光照强度和 CO_2 浓度的增加呈二次曲线变化。大粒 2 号、5385、石新 733、科农 208 和科农 213 等 5 个品种叶片水分利用效率相对较高。冬小麦品种间的产量差异明显,其中石新 733 和 9204 的产量较高,烟 361 产量最低。

参考文献:

[1] 曹广才. 华北小麦[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
[2] 胡春胜, 张喜英, 程一松, 等. 太行山前平原地下水动态及超采原因[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(2): 89–91.
[3] 刘昌明, 王会肖. 节水农业内涵商榷[M]//石元春, 刘昌明, 龚元石. 节水农业应用基础研究进展. 北京: 中国农业出版社, 1995: 7–19.
[4] 山 仑, 邓西平, 康绍忠. 我国半干旱地区农业用水现状及发展方向[J]. 水利学报, 2002, 9: 27–31.
[5] 陈秀敏, 谢俊良, 孙书雯, 等. 节水高产冬小麦新品种衡

4041 的选育[J]. 华北农学报, 2003, 18(专辑): 84–85.

[6] 张永平, 王志敏, 吴永成. 节水高产栽培小麦品种光合性状分析[J]. 华北农学报, 2004, 19(3): 47–54.
[7] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 第 4 版. 北京: 高等教育出版社.
[8] 陆佩玲, 于 强, 刘建栋. 冬小麦光合作用与蒸腾作用对环境因子的响应[J]. 地理科学进展, 1998, 17(增): 190–197.
[9] 刘 莹. 不同年代冬小麦品种旗叶解剖结构及光合速率日变化的研究[J]. 华北农学报, 2002, 17(增刊): 66–70.
[10] 牛立元, 王启亮, 王瑞芳. 黄淮平原冬小麦旗叶光合特性研究[J]. 河南农业科学, 2004(4): 3–5.
[11] 董树亭, 余松烈, 元新华. 高产冬小麦群体呼吸速率变化与光合作用关系的研究[J]. 华北农学报, 1989, 4(4): 6–10.
[12] 陈晓远, 高志红, 罗远培, 等. 水分胁迫效应对小冬生长发育的影响研究[J]. 华北农学报, 2004, 19(3): 43–46.
[13] Ericl Singsaas, Donaldr Ort, Evanh Delucia. Diurnal regulation of photosynthesis in understory saplings [J]. RESARCH New Phytol, 2000, 145: 39–49.
[14] 索恩利. 植物生理的数学模型[M]. 王天铎, 译. 北京: 科学出版社, 1980.
[15] 陆佩玲, 罗 毅, 刘建栋, 等. 华北地区冬小麦光合作用的光响应曲线的特征参数[J]. 应用气象学报, 2000, 11(2): 236–241.
[16] 陆佩玲, 于 强, 刘建栋. 冬小麦光合作用与蒸腾作用对环境因子的响应[J]. 地理科学进展, 1998, 17(增): 190–197.
[17] 郭程瑾, 肖 凯, 李雁鸣, 等. 不同生态型小麦品种旗叶光合性能的研究[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(3): 42–46.
[18] 殷毓芳, 张存良, 姚凤霞, 等. 冬小麦不同品种光合速率与气孔导度等性状之间的关系的研究[J]. 作物学报, 1995, 21(5): 561–567.
[19] Hafiz Maherali, Evan H, Delucia. Interactive effects of elevated CO_2 and temperature on water transport in ponderosa pine[J]. American Journal of Botany, 2000, 87(2): 243–249.
[20] 高延军, 张喜英, 陈素英, 等. 冬小麦品种间水分利用效率的差异及其影响因子分析[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(5): 45–49.