

# 施肥对小麦叶片光合特性的影响

王建林, 房全孝, 李举华, 唐海琴

(莱阳农学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:** 为了揭示肥料对小麦光合速率的影响效应, 进而提高小麦的光合生产力, 以小麦品种莱农 0245 为研究对象, 对比分析了施肥和不施肥 2 种处理下, 灌浆期旗叶的光合速率、蒸腾速率、气孔导度以及水分利用率对光强响应特征。结果表明: 正常施肥时小麦的光合速率、蒸腾速率、气孔导度、水分利用率都随光强的增强而逐渐增大。不施肥条件下, 蒸腾速率和气孔导度随光强的增强而逐渐增大, 而在高光强 ( $> 1\ 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ) 下, 会产生光抑制现象, 光合速率降低, 这也造成水分利用率的降低。正常施肥条件下的光合速率、蒸腾速率、气孔导度均高于不施肥条件下。因此, 适量施肥可以明显改善小麦的光合能力。

**关键词:** 小麦; 施肥; 光合作用; 蒸腾作用; 气孔导度; 水分利用率

中图分类号: S512.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2007)02-0115-04

## Effect of Photosynthetic Characteristic of Wheat Under Different Fertilization

WANG Jian-lin, FANG Quan-xiao, LI Ju-hua, TANG Hai-qin

(Laiyang Agricultural College, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** In order to reveal the effect of fertilization to photosynthetic rate, and increase the photosynthetic productivity of wheat, we took the wheat variety Lainong 0245 as the object of study. The response characteristics of photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and water use efficiency to light intensity were researched and analyzed during the filling-grain period of flag leaves. It indicated that under normal fertilization conditions, photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and water use efficiency all gradually increased with the light intensity enhancement. Under no fertilization condition, transpiration rate and stomatal conductance gradually increased with the light intensity enhancement. Yet, when light intensity exceeded  $1\ 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , it was appeared photoinhibition, photosynthetic rate and water use efficiency decreased. Photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance under normal fertilization was higher than those under no fertilization. So, fertilization would remarkably improve photosynthesis of the wheat.

**Key words:** Wheat; Fertilization; Photosynthesis; Transpiration; Stomatal conductance; Water use efficiency

植物光合作用是生态系统生产力形成与演化的基础, 也是全球碳循环及其他物质循环的重要环节, 是作物物质生产的基础, 不同作物的光合特性是国内外研究者普遍关注的问题之一, 并对其进行了广泛而深入地研究<sup>[1-10]</sup>。光合特性研究成为农业和林业生产的核心, 各种农业生产的耕作制度和栽培措施都是为了更好地进行光合作用。小麦(*Triticum aestivum* L.) 是世界第一, 我国第三大粮食作物, 广泛分布于我国北方各省区, 研究小麦的光合特性对于农田生态系统的碳过程模拟以及我国粮食安全具有

重要意义。在我国北方限制农业生产力的主要因素为水分和养分, 养分不但直接影响小麦的生长发育及生命史的完成, 而且影响小麦的光合特性<sup>[11]</sup>。研究养分对植物光合特性的影响, 提高水分利用率和肥料利用率是重中之重。在农业生产中, 由于土壤中的养分不断地被作物吸收, 而作物产品大部分为人们所利用, 田地的养分越来越少, 因此, 施肥成为提高作物产量和质量的一个重要手段, 要增产就要往地里追加养料。

小麦旗叶的光合速率是决定其产量的关键因

收稿日期: 2006-09-28

基金项目: 山东省中青年科学家奖励基金资助(2005BSB01177)

作者简介: 王建林(1976-), 男, 河北唐山人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事植物生理生态研究。

素<sup>[12, 13]</sup>, 其籽粒产量与灌浆期旗叶光合产物关系密切<sup>[14]</sup>, 成熟籽粒中的干物质 20%~30% 来自旗叶的光合作用<sup>[15]</sup>, 土壤养分与小麦的生长发育、光合作用以及产量之间有密切的关系: 氮素是植物体内蛋白质、核酸、叶绿素和一些激素等的重要组成部分, 是限制植物生长和产量形成的首要因素<sup>[16]</sup>。低磷处理使植株吸磷量减少, 细胞内磷浓度降低, 导致光合磷酸化水平下降, ATP 生成减少, 能荷降低<sup>[17, 18]</sup>。 $K^+$  是促使气孔开放的重要离子。施肥可以提高植株叶片叶绿素含量, 促进电子传递, 促使气孔开放, 利于光合色素把所捕获的光能以更高的速度和效率转化为化学能, 改善光合性能, 并延长绿叶功能期, 提高  $CO_2$  固定速率<sup>[19]</sup>, 增加光合产物的积累, 从而提高小麦产量<sup>[20, 21]</sup>。为此, 本文以小麦品种莱农 0245 为研究对象, 设不施肥和正常施肥两种养分处理, 对小麦的灌浆期旗叶的光合速率、蒸腾速率、气孔导度以及水分利用率对光强的相应特征进行研究和分析。以便揭示肥料对光合速率的影响效应, 为提高小麦的光合生产力, 实现小麦超高产提供理论依据。

# 1 材料和方法

## 1.1 试验设计

试验于 2004–2005 年在莱阳农学院试验站进行, 试验田土壤为潮褐土, 肥力水平中等, 土层有机质含量为 4.10 g/kg, 全氮量 0.50 g/kg, 全磷(P) 量 0.46 g/kg, 土壤有效磷(P) 15 mg/kg, 土壤速效钾(K) 38 mg/kg。选用莱阳农学院近年选育出的新品种(系) 莱农 0245 为试验材料, 于 2004 年 10 月 3 日播种, 试验设不施肥( $A_1$ ) 和施肥( $A_2$ ) 2 种处理, 施肥处理在播种时施有机肥(腐熟豆粕) 2 250 kg/hm<sup>2</sup>, N 240 kg/hm<sup>2</sup>,  $P_2O_5$  240 kg/hm<sup>2</sup>,  $K_2O$  240 kg/hm<sup>2</sup> 作为基肥, 在起身期追施尿素, 折合 N 69 kg/hm<sup>2</sup>, 不施肥处理既不施基肥、也不进行追肥。生育期间分别在冬前、起身和灌浆期进行灌溉, 灌溉采用大水漫灌, 田间持水量达 100% 为止。其它栽培管理同一般生产田。

## 1.2 测定方法

在小麦灌浆期(5 月中旬) 选择晴天用 LI-6400 便携式光合测定仪对旗叶的光合速率、蒸腾速率、气孔导度等指标及相关的生态环境进行测定。光合测定仪的流速设定为 500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  在光合速率对光强响应机制的测定过程中, 叶室温度为 25℃, 光合有效辐射(PAR) 设定为 2 000, 1 800, 1 600, 1 400, 1 200, 1 000, 800, 600, 400, 200, 100, 60, 20, 10, 0

$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  等 15 个水平。

# 2 结果与分析

## 2.1 光合速率对光强的响应

图 1 为不同施肥条件下(不施肥与施肥条件下) 光合速率( $P_n$ ) 对光强(PAR) 的响应关系。光强在 0~1 200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  的范围内光合速率随光强增强而增大, 且在光强很低的条件下光合速率增长较快。光强在 1 200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  以上时, 施肥条件下, 出现光饱和现象, 光合速率基本保持不变, 不施肥条件下, 出现光饱和现象后, 产生光抑制现象使光合速率有下降的趋势。2 条曲线比较, 施肥条件下光合速率明显高于不施肥条件下的光合速率。

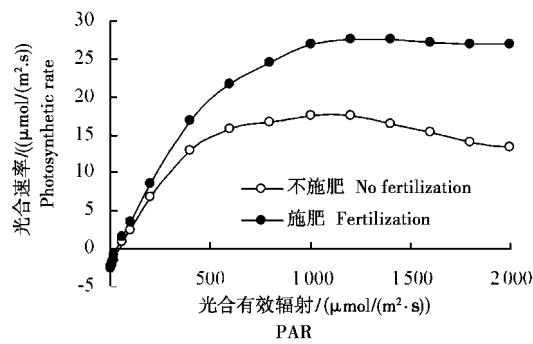


图 1 光合速率对光强的响应

Fig. 1 Response on photosynthetic rate to light intensity

在光强较小的情况下, 光强成为影响光合速率的主要因素, 所以随着光强增加光合速率增大较快。当到达一定限度时出现了光饱和现象, 甚至产生光抑制现象。在正常施肥条件下, 由于光合色素合成较多, 光合色素把所捕获的光能以更高的速度和效率转化为化学能, 从而为 C 同化提供更加充足的能量; 有利于光系统反应中心维持较高比例的开放程度, 捕光能力较强, 利用其进行光反应的能力也较强, 不易产生光饱和与光抑制现象。反之, 在不施肥条件下, 光能容易过量造成光合系统的破坏产生光抑制现象, 这也就是不施肥条件下光合速率呈下降趋势的主要原因。

## 2.2 气孔导度对光强的响应

不同施肥条件下(不施肥与施肥条件下) 气孔导度( $g_s$ ) 对光强的响应关系如图 2 所示。从图 2 可以看出, 气孔导度随着光强的增加而逐渐增大, 且增长速率逐渐减小。比较两条曲线, 施肥条件下气孔导度总是高于不施肥条件下的气孔导度。

分析其原因: 光照可促进气孔的开放, 当光强增强时气孔导度增大。在气孔运动的  $K^+$  离子泵动学说中,  $K^+$  是促使气孔开放的重要离子。正常施肥条件下, 由于施入了钾肥而促进气孔的开放。此外, 矿

质元素影响一些植物激素如 IAA、CTK 的合成, 而 IAA、CTK 植物激素可以促进气孔开放, 从而也影响气孔导度。

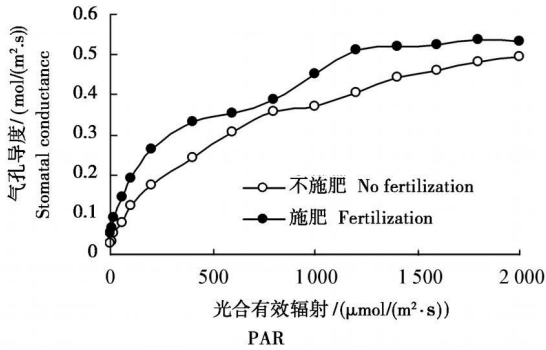


图2 气孔导度对光强的响应

Fig. 2 Response on stomatal conductance to light intensity

### 2.3 蒸腾速率对光强的响应

图3为2种不同处理条件下蒸腾速率( $T_r$ )随光强的变化。从图可以看出, 蒸腾速率随光强的增强而逐渐增大, 但增长的速率逐渐减小。2条曲线的走向似平行说明在施肥条件下蒸腾速率较不施肥条件下同等比例增加。

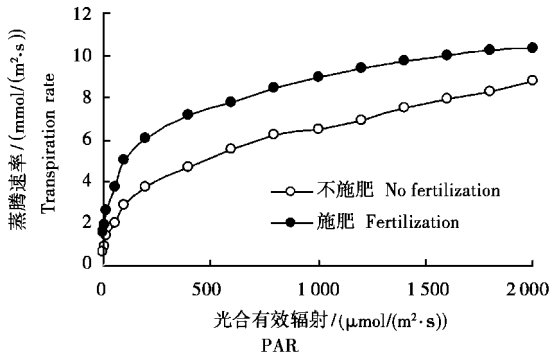


图3 蒸腾速率对光强的响应

Fig. 3 Response on transpiration rate to light intensity

究其根本原因: 植物蒸腾作用主要通过气孔进行, 在一定光强范围内, 随光强增加气孔导度逐渐增大, 如上所述。同样蒸腾速率也以同样的方式增加。另外, 正常施肥使整个植物体的新陈代谢旺盛, 使根系的吸水能力, 茎导管的输水能力以及叶肉细胞和叶脉的输水能力等显著增强, 所以正常施肥水分充足时, 蒸腾速率较大。在此范围内蒸腾速率也同等比例的增大, 说明光是直接或间接的影响蒸腾速率的主要因素。

### 2.4 水分利用效率对光强的响应

在叶片尺度上, 水分利用率(WUE) = 光合速率 / 蒸腾速率, 由图4可知, 在较低光强条件下(小于  $600 \mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ) 水分利用率随着光强的增强逐渐的增大, 且在不施肥条件下水分利用率更高。在大于  $600 \mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$  时不施肥条件下水分利用率明

显下降, 而在正常施肥条件下水分利用率基本保持不变。

分析其原因: 从上述光合速率和蒸腾速率对光强的响应可知, 在较低光照强度, 不施肥条件下的光合速率虽然较低, 但其蒸腾速率更低, 使得水分利用率反而较高, 但在较高的光强条件下(大于  $600 \mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ) 时, 对于不施肥条件下的小麦, 由于本身叶绿素、光合系统等差异使其产生光饱和现象, 甚至光抑制现象, 光合速率有所降低, 而蒸腾速率还在增加, 所以使水分利用率降低, 低于正常施肥条件下的小麦。

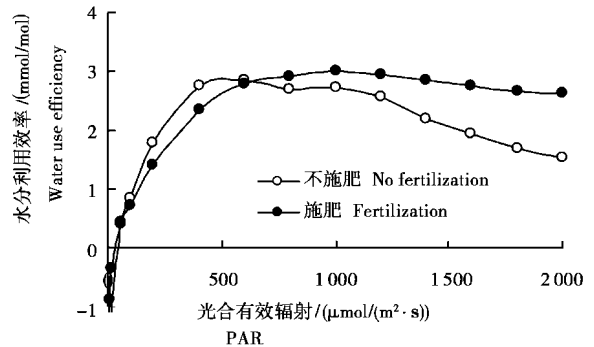


图4 水分利用效率对光强的响应

Fig. 4 Response on WUE to light intensity

## 3 结论与讨论

对灌浆期小麦旗叶在正常施肥与不施肥条件下的光合特性进行了研究。结果表明: 在较低光强下, 光合速率随光强增强而增大, 且在光强很低的条件下光合速率增长较快。在高光强下, 出现光饱和现象, 光合速率不再增加, 在不施肥条件下甚至出现光抑制现象使光合速率有下降的趋势。施肥条件下光合速率明显高于不施肥条件下的光合速率。气孔导度、蒸腾速率随着光强的增加而逐渐增大, 且施肥条件下气孔导度、蒸腾速率总是高于不施肥条件下的气孔导度、蒸腾速率。在较低光强条件下(小于  $600 \mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ) 水分利用率随着光强的增强逐渐的增大, 且在不施肥条件下水分利用率更高。在大于  $600 \mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$  时不施肥条件下水分利用率明显下降, 而在正常施肥条件下水分利用率基本保持不变。

植物的光合作用是指光合色素利用  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  把光能转化为化学能贮存在植物体内的过程。在光合作用过程中, 光能的捕获和  $\text{CO}_2$  的固定主要由叶绿素完成, 施肥对作物叶绿素、光合速率、暗反应的主要酶以及光呼吸等都有明显的影响, 直接或间接影响着光合作用。氮素既是叶绿素的主要成分, 又是构建作物组织的重要物质, 因此适当增施氮肥有利于作物叶片叶绿素的合成, 促进作物组织的建

成<sup>[22]</sup>。不施肥条件下,由于缺乏合成叶绿素的主要元素 N、Mg 等使其合成受阻,叶绿素的含量很少,光合作用过程中捕光色素很少,光合反应中心色素少,光合反应光反应微弱。K 和 P 等参与糖代谢而影响光合产物的运输,缺乏时使光合产物不能及时的运出从而影响光合速率。同样 P 参与光合作用中间产物转运和能量传递。所以缺乏时对光合速率的影响也比较大。正常施肥使植物获得足够养分,植物组织、器官发育比不施肥条件下好很多,植物体内合成更多的生命代谢物质,植物的整个代谢过程都旺盛很多,因此适量施肥可以明显改善小麦的生理性态和生命活动。

#### 参考文献:

- [1] 许大全,丁 勇,武 海. 田间小麦叶片光合效率日变化与光合“午睡”的关系[J]. 植物生理学报, 1992, 18 (3): 27– 283.
- [2] 薛 松,汪沛洪,许大全. 水分胁迫对冬小麦 CO<sub>2</sub> 同化作用的影响[J]. 植物生理学报, 1992, 18(1): 1– 7.
- [3] Farquhar G D, von Caemmerer S, Berry J A. A biochemical modal of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> species [J]. Planta, 1980, 149: 78– 90.
- [4] 谷俊涛,屈 平,刘桂茹,等. 不同小麦品种抗旱机制与花期旗叶光合特性的关系[J]. 华北农学报, 2002, 17 (1): 1– 5.
- [5] 时晓伟,洪 霞,王 辉. 小麦早熟高产品种光合生理特性分析[J]. 华北农学报, 2002, 17(2): 5– 10.
- [6] 赵海祯,梁哲军,齐宏立. 不同时期水肥耦合对旱地小麦光合特性和产量的影响[J]. 华北农学报, 2002, 17(增刊): 61– 65.
- [7] 陈青君,张福墁,王永健. 临界低温弱光对黄瓜光合特性及其酶变化的影响[J]. 华北农学报, 2003, 18(4): 31– 23.
- [8] 周志勇,万勇善,刘凤珍. 改变源库比对花生光合特性及产量的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(1): 75– 78.
- [9] 刘玉冬. 根区温度对黄瓜幼苗生长和光合特性的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(1): 86– 88.
- [10] 蔡瑞国,王振林,李文阳. 氮素水平对不同基因型小麦旗叶光合特性和子粒灌浆进程的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(4): 36– 41.
- [11] Shang guan Z P, Shao M, Dyckmans J. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat [J]. Journal of Plant Physiology, 2000, 156: 46– 51.
- [12] 金善宝. 中国小麦学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 162– 166.
- [13] 郭天财,彭文博,王向阳,等. 小麦灌浆后青枯骤死原因分析及控制[J]. 作物学报, 1997, 23(4): 474– 481.
- [14] 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): 4– 7.
- [15] 张耀兰,齐 华,金路路,等. 氮肥对春小麦叶片光合特性的影响[J]. 辽宁农业科学, 2005, (5): 6– 7.
- [16] 徐恒永,赵君实. 高产冬小麦的冠层光合能力及不同器官的贡献[J]. 作物学报, 1995, 21(2): 204– 209.
- [17] 孙 曦. 植物营养原理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [18] Jacob J, Lawlor D W. In vivo photosynthetic electron transport does not limit photosynthetic capacity in phosphate deficient sunflower and maize leaves [J]. Plant, Cell and Environment, 1993, 16: 785– 795.
- [19] Fredeen A J, Raab T K, Rao I M, *et al.* Effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Glycine max* (L.) Merr [J]. Planta, 1990, 181: 399– 405.
- [20] Seeni S A, Gnanam A. Isozymes of glucose-6-phosphate dehydrogenase and NAD<sup>+</sup> malate dehydrogenase in shoot-forming foliar discs of tobacco [J]. Plant Cell Physiology, 1981, 22: 968– 978.
- [21] 郭天财,贺德先,王志和. 小麦穗粒重研究进展[A]. 小麦穗粒重研究[C]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 1– 15.
- [22] 肖 凯,张荣铄,钱维朴,等. 小麦生育后期根叶生理功能衰退性研究[J]. 中国农业科学, 1997, 30(5): 34– 41.
- [23] 薛青武,陈陪元. 灌浆期土壤干旱条件下氮素营养对小麦旗叶光合作用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1989, (3): 86– 93.
- [24] 蔡瑞国,王振林,李文阳. 氮素水平对不同基因型小麦旗叶光合特性和子粒灌浆进程的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(4): 39– 44.