

水肥空间耦合对冬小麦光合特性的影响^{*}

张依章^{1,3}, 张秋英^{2,3}, 孙菲菲^{1,3}, 董宝娣^{1,3}, 陈四龙^{1,3}, 刘孟雨^{1*}

(1 中国科学院遗传发育研究所农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021;

2 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 在防雨棚管栽试验条件下, 以品种“3279”为研究材料, 通过 7 种不同处理来研究水肥空间耦合对冬小麦光合特性的影响, 试验结果表明: 不同的水肥耦合处理中, 冬小麦的光合速率、气孔导度、细胞间隙 CO_2 浓度有所不同, 三者之间有很好的平衡关系。其中, 深层施肥处理其小麦在生长后期能够维持较高的光合速率, 但气孔导度却有所降低, 有效地减少了水分散失, 表现出很好的节水潜力。同样水分条件下维持同样高的光合速率时, 深层施肥的肥上灌水与肥下灌水相比, 其受水分影响小, 叶绿素含量下降快。深施肥 20 cm 处灌水处理, 在开花后小麦叶片光合作用最强, 气孔导度小, 细胞间隙 CO_2 浓度高, 具有更好的节水潜力。

关键词: 冬小麦; 水肥耦合; 光合特性

中图分类号: S 512.1² **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)02-0057-04

水肥是农业生产中的两个重要的因子和主要调控手段。各养分之间以及作物与水肥间相互激励和颀抗的动态平衡关系, 以及作物生长发育和产量的形成对这些相互作用的影响称作作物的水肥耦合效率^[1]。小麦在生长发育期间受水、肥、热、风等很多因素的影响, 在诸多因素中, 水肥的作用尤为重要。关于土壤水分或氮肥对冬小麦生理特性的影响研究, 以往学者已做了不少工作^[2~3], 许多研究^[4~9]表明, 合理运筹水肥对小麦光合特性具有明显的调控效应, 是实施小麦高产高效的重要措施。在早期的研究中, 人们对水分和产量或肥料与产量之间的相互关系进行了很多研究, 也得出不少的结论^[1~9]。作物产量的高低首先取决于光合系统的面积和效率, 而水肥是影响冬小麦光合作用不可缺少的因素, 研究^[10]表明, 作物光合作用依赖于土壤水肥变化, 水肥不足会抑制气孔的开放和作物的光合作用。但以上研究侧重于单因子对小麦光合特性及产量的调控效应, 然而不同浇水方式与不同施肥方式相互作用(二者耦合)对冬小麦光合特性影响研究很少, 对于如何在水分受限制的条件下, 合理施用肥料, 提高水分的利用效率, 达到以肥调水、提高作物产量的目的研究还不够。因此, 在现有的耕作制度下, 研究冬小麦水肥时空耦合对华北地区小麦节水高产栽培具有非常重要的应用价值。本试验初步研究了在不同浇水方式

与不同施肥方式下, 冬小麦光合特性及一些生理指标的变化, 探讨不同的水肥耦合条件下对冬小麦光合特性的影响, 以更好地调整养分、水分在土壤中的空间分布, 来更好地提高农田作物水分利用效率。

1 材料和方法

1.1 试验材料与方法

供试小麦品种为莱州 3279, 本试验于 2002~2003 年度在太行山山前平原的中国科学院栾城生态系统试验站进行。该站位于东经 114°40′, 北纬 37°50′, 海拔 50.1 m, 为暖温带半湿润半干旱气候。

在防雨棚中, 水肥处理的试验设置在高 75 cm, 直径 10.5 cm 的 PVC 管内。在距管上端 20.30.40 cm 处各打一直径为 0.4 cm 的小孔。取贫瘠砂土, 过直径 1.0 mm 的筛, 土壤基础养分含量为有机质 0.14%, 碱解氮 5 mg/kg、速效磷 3 mg/kg、速效钾 25.2 mg/kg, 每管装砂土 7.15 kg。试验设 7 个水肥控制处理(见表 1), 处理 1.2.5 为肥上灌水, 即灌水位置在施肥层以上, 处理 3.4.6.7 为肥下灌水, 即灌水位置在施肥层以下。每处理设 3 个重复。肥料选用硫酸钾(K₂O 54%)、尿素(N 46%)和磷酸二铵(N 18%、P₂O₅ 46%)。在装管的同时一并施入土壤, 每盆施肥量折合 N 9.6 g、P₂O₅ 6.9 g、K₂O 1.62 g。每盆总重量为 7.77 kg。水分采用孔注入法, 每次所需水

* 收稿日期: 2005-10-20

基金项目: 中国欧盟合作项目 SUSDEV CHINA(ICA 4CT-2002-10004)

作者简介: 张依章(1981-), 男, 山东济宁人, 硕士, 研究方向为作物水分关系与调控

通讯作者: 刘孟雨, E-mail: mengyulu@ms.siziam.ac.cn

量根据作物生长阶段进行调整(以植株不发生水分亏缺为准)。于 2002 年 10 月 5 日播种。每管播 30 粒种子,出苗后间苗至 10 棵。

表 1 试验水肥处理方案 (2002~2003 年)

Table 1 Water fertility treatments in pot cultivating experiment (2002~2003)							
项 目 Item	处 理 Treatment						
	1	2	3	4	5	6	7
施肥深度 Fertilization depth (cm)	25	25	25	25	10	10	10
浇水方式 Irrigation (cm)	表面 Topsoil	20	30	40	表面 Topsoil	20	30

表 2 不同时期各处理灌水量

Table 2 Irrigation of different treatments in each period				
时间 Period	处理 1 Treat - ment 1	处理 2~4 Treat - ment 2~4	处理 5 Treat - ment 5	处理 6~7 Treat - ment 6~7
至挑旗期前 Before flagstage	2440	2440	4100	4100
至抽穗期前 Before tasselling	2750	2540	4420	4170
至开花期前 Before anthesis	2910	2620	4620	4230
至灌浆前期 Before milk filling	3270	2730	5000	4440

1.2 测定项目

选取晴朗无风的天气,采用英国 Li COR 公司生产的 Li-6400 型光合系统测定仪,测定不同水肥处理的冬小麦挑旗期、开花期的旗叶净光合速率 (P)、气孔导度 (C)、细胞间隙 CO_2 浓度 (CO_2),每个处理测 5 株,交叉测量,以排除太阳辐射对不同水分处理的影响。

在挑旗期、抽穗期、开花期、灌浆前期用叶绿素测定仪 (SPAD 503) 测定植株叶绿素含量,同时测定株高。

2 结果与讨论

2.1 不同处理冬小麦两个时期光合速率变化

图 1 可以看出深层施肥的各个处理,从挑旗至开花光合速率都在不断增强,处理 1~4 在开花期均表现出很高的光合速率,而浅层施肥处理 6、7 表现为生长后期光合速率下降,这表明浅层施肥处理冬小麦在由营养生长转向生殖生长时合成有机物速率下降,不利于产量的形成。

挑旗期浅层施肥处理 5 的光合速率明显低于处理 6 和处理 7 的一个原因是由于在相同灌水条件下,表面灌水存在土壤表面水分的无效蒸发。

至开花期不同施肥处理的灌水总量不同:深层

施肥处理 (1~4 的灌水量明显低于浅层施肥处理 (5~7),但其光合速率仍比浅层施肥处理的高,说明深层施肥比浅层施肥有更好调水能力,深层施肥处理的肥水耦合效应更好。

结合表 2 我们还可以看出:在相同灌水量条件下,深层施肥处理 2 在开花期的光合速率大于处理 3、4 说明在开花期肥上灌水处理比肥下灌水处理能够维持更高的光合速率,肥水耦合效应更好。

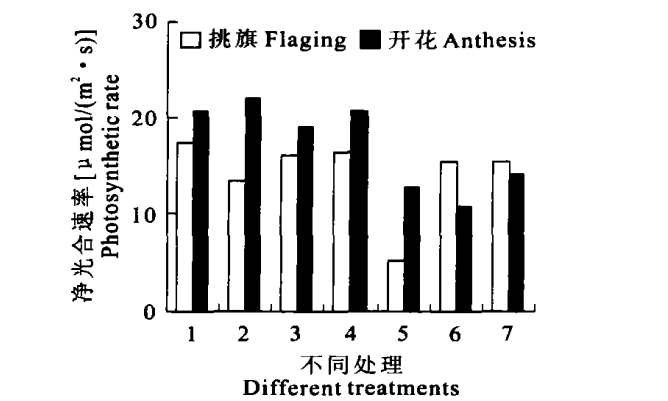


图 1 不同处理间净光合速率的变化

Fig. 1 Variation of photosynthetic rate among different treatments

2.2 冬小麦不同处理气孔导度、细胞间隙 CO_2 浓度的变化

从图 2 可以看出:从开花期到挑旗期,深层施肥处理 1~4 的气孔导度都有所降低,但光合作用却在提高;但浅层施肥处理 5~7 气孔导度与光合速率的变化趋势一致,即高光合速率表现为高的气孔导度。这就表明在维持较高的光合速率时,深层施肥处理能够有效减少水分的散失,而浅施肥处理则是以大量水分散失为代价的。

在开花期深层施肥处理 2 的气孔导度低于其它 3 个深层施肥处理,但其光合速率却明显高于其它 3 个处理,说明在维持相同的光合速率的条件下肥上灌水处理 2 散失的水分更少,水分利用效率更高。

由图 3 可以看出,细胞间隙 CO_2 浓度变化趋势与光合速率的变化基本一致,说明细胞间隙 CO_2 浓度与气孔导度、光合速率之间三者具有很好的相关关系。深层施肥处理的细胞间隙 CO_2 浓度开花期略有提高,但其气孔导度在开花期却是降低的,这可以说明深层施肥处理对叶肉细胞胞间 CO_2 浓度具有微调作用(处理 3 的气孔导度降低幅度大,所以其胞间 CO_2 浓度也呈下降趋势)。而在浅层施肥各处理中未发现这种微调作用,可见施肥方式对冬小麦叶内细胞光合作用微生态环境起一定调节的作用。

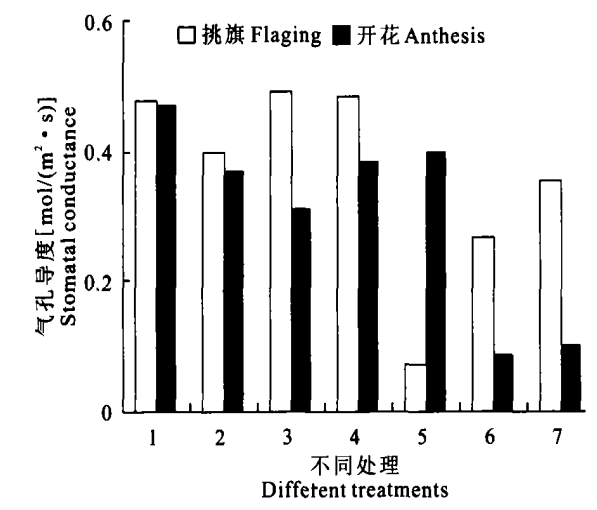


图 2 不同处理间气孔导度的变化

Fig. 2 Variation of stomatal conductance among different treatments

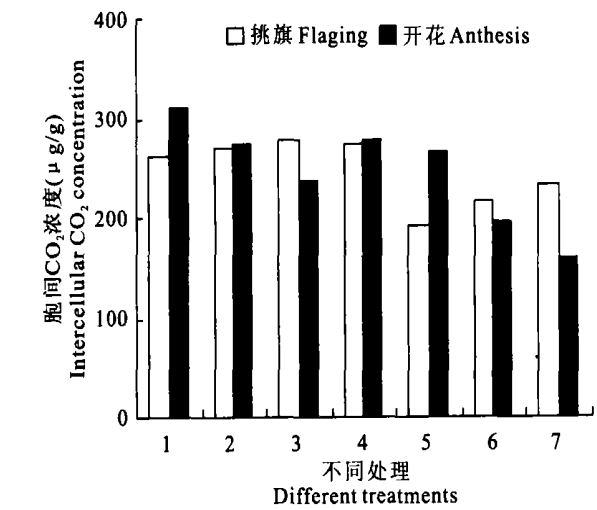


图 3 不同处理细胞间隙CO₂浓度的变化

Fig. 3 Variation of intercellular CO₂ among different treatments

2.3 不同处理冬小麦叶绿素的变化

从表 3 可以看出,从挑旗期到灌浆期,7 个试验处理的冬小麦旗叶叶绿素含量的变化趋势一致,即随生育期的推进叶绿素含量不断增高,在开花期达到最大,然后开始下降。深层施肥肥上灌水处理比肥下灌水处理叶绿素降低快,说明在冬小麦籽粒灌浆期肥上灌水处理比肥下灌水处理有更大比例的矿质营养元素被分配到生殖器官参与籽粒形成,有利于高产。

深层施肥处理的灌水量低于浅层施肥处理的灌水量,但深层施肥处理的冬小麦的叶绿素含量在各个时期都显著高于浅层施肥处理叶绿素含量,这说明水分不是影响的主要因素,与灌水量相比,冬小麦

不同的施肥方式对叶绿素形成有更为显著的影响。这与于振文等对不同灌水量条件下小麦旗叶叶绿素含量在籽粒形成期与灌浆期处理间无显著差异的研究结果相一致^[1]。

表 3 不同处理冬小麦不同时期叶绿素含量(SPAD 值)

Table 3 Chlorophyll content (SPAD) of wheat under different treatments

处 理 Treatments	挑旗期 Flaging	抽穗期 Tasselling	开花期 Anthesis	灌浆期 Grouting
1	49.58 _a	59.48 _a	58.18 _a	55.32 _a
2	50.62 _a	54.88 _b	59.12 _a	53.26 _{ad}
3	49.48 _a	56.14 _b	57.96 _{ab}	55.00 _a
4	50.60 _a	57.88 _{ab}	59.14 _a	56.20 _{ac}
5	44.68 _b	49.34 _d	52.72 _c	49.60 _d
6	42.12 _b	52.56 _c	54.86 _c	49.44 _d
7	41.54 _b	55.84 _b	55.62 _{ac}	52.10 _{bd}

注: * 相同字母表示处理之间差异不显著,不同字母表示处理之间差异显著。

Noet: * The same letters indicate insignificant differences; Different letters indicate significant differences.

3 小 结

- 1) 在开花期,深层施肥处理在灌水量少的情况下,较浅层施肥处理光合速率大,细胞间隙CO₂浓度高,叶绿素含量高;气孔导度开花期比挑旗期低,但比浅层施肥处理要高,未表现出水分亏缺。
- 2) 在冬小麦开花期,深层施肥深灌水处理(2~4)的灌水量比表面灌水(处理1)减少的情况下,但光合速率、细胞间隙CO₂浓度、叶绿素含量维持较高水平,说明深层灌水比表面灌水对改善小麦生育后期光合特性具有良好作用。
- 3) 灌水量相同的条件下,处理2 25cm 深施肥以及 20cm 灌水),在冬小麦生长后期光合速率最高,气孔导度低,细胞间隙CO₂浓度高,表现出良好的节水潜力。
- 4) 对叶绿素的研究发现:灌水量的多少对植株叶绿素含量影响不显著,这与报道的研究结果相一致;而不同的施肥方式对植株叶绿素含量有显著影响,不同的灌水方式对旗叶衰老有影响,肥上灌水处理比肥下灌水处理旗叶叶绿素含量降低速度快。

参 考 文 献:

[1] 张秋英,刘晓冰,金 剑,等. 水分耦合对玉米光合特性及产量的影响[J]. 玉米科学, 2001, 9(3): 64~67.

[2] 康玲玲,魏义长,张景略. 水肥条件对冬小麦生理特性及产量影响的试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(4): 21~28

[3] 王邦锡. 旱地施肥对春小麦产量和水分利用效率影响[J]. 干

旱地区农业研究, 1990(4): 98~ 104

[4] 张其德, 刘合芹, 张建华, 等. 限水灌溉对冬小麦旗叶某些光合特性的影响[J]. 作物学报, 2000 26 6 : 869~ 872

[5] 张秋英, 李发东, 刘孟雨, 等. 水分胁迫对冬小麦旗叶叶绿素 a 荧光参数光合速率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2002 20 (3): 80~ 84

[6] 潘庆民, 于振文. 追氮时期对冬小麦籽粒品质和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2002 22 3 : 65~ 69

[7] 李世清, 李生秀. 水肥配合对玉米产量和肥料效果的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1994 12 1 : 145~ 148

[8] 汪德水, 程突国, 张美荣. 旱地土壤中的肥水激励机制[M]. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[M]. 北京: 中国农业科技出版杜, 1995 195~ 203

[9] 何 萍, 金继运, 林 葆. 玉米高产施肥营养生理研究进展[J]. 玉米科学, 1998 6 3 : 72~ 76 12~ 16

[10] 梁宗锁, 李新有. 节水灌溉条件下玉米气孔导度与光合速度的关系[J]. 干旱地区农业研究, 1996 14 3 : 101~ 105

[11] 于振文, 亓新华, 田奇卓, 等. 水浇地冬小麦节水高产高效灌溉方案及生理基础. 小麦节水节肥高产栽培理论与技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001 71~ 78

Effect of water and fertilizer interaction
on photosynthetic characteristics of winter wheat

ZHANG Yi zhang^{1, 3}, ZHANG Qiu ying^{2, 3}, SUN Fei fei^{1, 3}
DONG Bao di^{1, 3}, CHEN Si tong^{1, 3}, LIU Meng yu¹

(¹ Center for Agricultural Resources Research, Institute of
Genetic and Developmental Biology, CAS, Shijiazhuang 050021, China;
² Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;
³ Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 10039, China)

Abstract: Effect of water and fertilizer interaction on photosynthetic characteristics of wheat variety 3279 was studied by pot cultivation under rainproof shelter with 7 water and fertilizer interaction treatments. The results showed that, under different treatments, the photosynthetic rate, the stomatal conductance and the intercellular CO₂ concentration of winter wheat were different, but there was a balance relation among these three characters. Deep fertilization could maintain a high photosynthetic rate in the late stage of wheat growing, but reduced the stomatal conductance and the water transpiration, being effective for water saving. Under the same water condition, compared to the treatment of irrigation under fertilizer, that above fertilizer was affected little by water and caused a rapid drop of chlorophyll content. Under the treatment of deep fertilization and irrigation at 20 cm, the photosynthetic rate of wheat after blooming was the highest, the stomatal conductance was low, and the intercellular CO₂ concentration was high, showing a considerable water saving potential.

Key words: winter wheat; water and fertilizer interaction; photosynthetic characteristics