

施氮量和花后土壤含水量对小麦 旗叶光合特性和产量的影响

马东辉¹, 赵长星^{1,2}, 王月福^{1,*}, 吴 钢², 林 琪¹

(1. 青岛农业大学植物科技学院, 青岛 266109; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:在防雨池栽条件下,研究了施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶光合特性和产量的影响。结果表明,在相同土壤含水量下,小麦旗叶 SPAD 值、光合速率、 F_v/F_o 和 F_v/F_m 均表现为随着施氮量的增加而升高;增加施氮量有利于提高穗数,但过多 ($300\text{kg}/\text{hm}^2$) 或过少 ($150\text{kg}/\text{hm}^2$) 施氮均不利于穗粒数和千粒重的提高,而导致减产。在相同施氮量下,均表现为花后土壤含水量 60% ~ 70% 处理的旗叶 SPAD 值、光合速率、 F_v/F_o 和 F_v/F_m 最高,40% ~ 50% 处理最低,80% ~ 90% 处理居中,花后土壤含水量过高 (80% ~ 90%) 或过低 (40% ~ 50%) 导致穗粒数减少,千粒重降低,最终使产量降低。表明花后土壤含水量过高或过低均影响小麦旗叶的光合特性降低,而适当增施氮肥可以改善旗叶的光合特性,增加粒重,提高产量。

关键词:小麦;施氮量;土壤含水量;光合特性;产量

文章编号:1000-0933(2008)10-4896-06 中图分类号:Q142, Q945, Q948, S324, S512.1 文献标识码:A

Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on photosynthetic characteristics in flag leaves and yield of wheat

MA Dong-Hui¹, ZHAO Chang-Xing^{1,2}, WANG Yue-Fu^{1,*}, WU Gang², LIN Qi¹

1 College of Plant Science and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

2 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology Research Center for National Status, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4896 ~ 4901.

Abstract: In this present investigation, the effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content (SWC) on photosynthetic characteristics and yield of wheat was tested under proof-rainfall pool culture condition. The results showed that soil and plant analyzer development (SPAD) value, photosynthesis rate, PS II potential activity (F_v/F_o) and PS II photochemical efficiency (F_v/F_m) were increased with the increase in nitrogen fertilizer rate under the same SWC. Moreover, increased nitrogen fertilization benefited the increase of spike numbers per hectare. However, over high ($300\text{kg}/\text{hm}^2$) or over shortage ($150\text{kg}/\text{hm}^2$) nitrogen fertilization was unfavorable to the increase of kernel number per spike and 1000-grain weight (TGW), and in turn it could lead to yield decrease. Under the same nitrogen fertilizer rate with SWC (60% — 70%) after anthesis, SPAD value, photosynthesis rate, F_v/F_o and F_v/F_m showed the highest, whereas the treatment of SWC (40% — 50%) was the lowest and the treatment of SWC (80% — 90%) was in the middle, meanwhile,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30471026);青岛农业大学博士启动基金资助项目(630523);国家粮食科技丰产工程资助项目(2006BAD02A00)

收稿日期:2007-09-11; **修订日期:**2008-03-25

作者简介:马东辉(1978 ~),男,山东昌邑人,硕士,主要从事小麦栽培生理研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangyuefu01@163.com

Foundation item: The project was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30471026), the Doctor Initializing Foundation of Qingdao Agricultural University (No. 630523), National High-yield Grain S&T Project of China (No. 2006BAD02A00)

Received date: 2007-09-11; **Accepted date:** 2008-03-25

Biography: MA Dong-Hui, Master, mainly engaged in cultivation and physiology of wheat.

over high SWC (80%—90%) or over low SWC (40%—50%) after anthesis could cause the decrease of kernel number per spike, TGW and final yield under the same nitrogen fertilizer rate. It can be concluded that both high and low SWCs after anthesis can cause a decline in photosynthetic characteristics in wheat flag leaves, whereas proper nitrogen fertilization can improve photosynthetic characteristics in flag leaves, increase kernel weight and promote yield in wheat.

Key Words: wheat (*Triticum aestivum* L.); nitrogen fertilizer rate; soil water content; photosynthetic characteristics; yield

我国北方小麦生育期间干旱少雨,尤其是开花后易受干旱、干热风等不利因素的影响,这些因素是制约小麦生产发展的主要障碍^[1]。旗叶是小麦后期冠层的主要构成者,其对籽粒产量的贡献可达41%~43%,旗叶的光合变化基本上代表了冠层光合的趋势,而后期功能叶片的光合产物对籽粒的贡献可达80%,高产麦田更是如此^[2]。因此,研究小麦旗叶及冠层光合特性,尤其是生育后期旗叶光合生理性状的变化^[3,4],对调控旗叶光合作用,稳定提高穗粒重及产量具有积极的促进作用。水分和氮素是小麦生产的两大基本要素,以往研究主要集中在水肥单因素效应方面。然而,小麦生长发育和产量形成是水肥多因子交互作用的结果,其关系要比单因子作用复杂得多。已有许多研究者探讨了水肥多因子影响小麦产量的机理,其中水分胁迫和施氮量及施氮时期对小麦叶片光合特性的影响亦有很多研究报道^[5~12]。以往研究认为不同施氮水平和施氮时期对冬小麦产量均有影响,冬小麦在苗期、拔节期和孕穗期对肥料的需求相对较大,随氮肥用量增加或氮肥后移,特别是拔节、孕穗和开花期追施氮肥能显著提高冬小麦产量与品质。但是有关不同土壤水分条件下施氮量对花后小麦旗叶光合特性和产量影响的研究尚不够深入。为此,本试验在防雨池栽条件下,重点研究了施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶光合特性和产量的影响,旨在探讨小麦获得高产的花后适宜土壤含水量及施氮量,为小麦科学合理的补水灌溉和施用氮肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2004~2006年两个小麦生长季节,在青岛农业大学防雨池栽条件下进行,水泥池面积为2m×2m,深1.5m,不封底,小麦全生育期防降水。潮棕壤土,0~20cm土壤有机质1.12%,水解氮84.54mg/kg,速效磷32.40mg/kg,速效钾80.10mg/kg,土壤容重1.34g/cm³,土壤田间最大持水量25%。

试验设公顷施纯氮150、225、300kg 3个处理,每个氮肥处理均设置小麦开花后土壤相对含水量为田间最大持水量的40%~50%、60%~70%、80%~90% 3个处理,共计9个处理,随机排列,重复3次。

小麦开花期前各处理保持相同的土壤相对含水量(65%),从开花期开始进行水分处理,每隔5d测量1m深土壤相对含水量,补充水分达到各处理要求并保持稳定的含水量。

各处理均按公顷施有机肥45000kg、P₂O₅225kg、K₂O 112.5kg、硫酸锌15kg、硼砂15kg,连同50%氮肥撒施地表后耕翻于地下,剩余50%的氮肥于拔节期结合灌水进行追施。供试品种为优质强筋冬小麦(*Triticum aestivum* L.)济麦20,基本苗为180万株/hm²,其余管理措施同一般高产大田。

1.2 测定项目与方法

土壤含水量采用美国产503DR智能型中子水分仪,同时结合烘干法进行测定。叶绿素相对含量测定用日本产叶绿素计(Minolta SPAD-502)测定。

光合速率测定采用美国LI-COR公司生产的LI-6400型便携式光合测定系统,选择晴朗的天气于上午9:00~11:00进行,叶室类型2cm×3cm。

叶绿素荧光用英国Hansatech公司生产的FMS2调制式荧光测定仪测定,与光合作用测定同步进行田间活体测定。选取生长一致且受光方向相同的旗叶10片,测定光适应下的叶绿素荧光参数最大荧光(F_m)、初始荧光(F_o)、实际量子产量(Φ_{PSII})、稳态荧光(F_s)、光照条件下最大荧光(F_m')、PS II活性(F_v/F_o)、PS II

最大光能转换效率(F_v/F_m)、光化学猝灭系数(qP)和非光化学猝灭系数(qN)。用夹子固定小麦叶片,使各叶位叶片受光一致,交叉测量,避免辐射对不同处理的影响,将叶片充分暗适应 20 min,测定暗适应下叶绿素荧光参数(F_o 、 F_m 、 F_v 、 F_v/F_m 、 F_v/F_o)。其中,测定过程中使用的闪光光强为 $6000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,脉冲时间为 0.7 s。各处理每个叶位测定 3 张叶片,取平均值作为该叶位叶片的叶绿素荧光测量值。

产量测定是待小麦成熟后,调查小麦亩穗数、穗粒数、千粒重,同时计算出每个小区的产量,折算成每公顷产量。

1.3 数据处理方法

实验数据采用 3 个以上重复的平均值 $\pm$ 标准差(mean $\pm$ S. D., standard deviation),用 SPSS(10.0)进行数据分析,用 t 检验进行各处理组间的显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量和花后土壤水分含量对小麦旗叶叶绿素含量和净光合速率变化的影响

由表 1 和表 2 可以看出,花后小麦旗叶叶绿素含量(SPAD 值)和光合速率随成熟期的临近均呈逐渐下降的趋势。在各氮肥处理下,均表现为花后土壤含水量 60% ~ 70% 处理的旗叶 SPAD 值和光合速率最高,40% ~ 50% 处理最低,80% ~ 90% 处理居中,差异十分显著($P < 0.05$)表明花后土壤含水量过高或过低均导致旗叶叶绿素含量和光合速率降低。在花后相同土壤含水量下,旗叶 SPAD 值和光合速率表现为随着施氮量的增加而升高,而且处理间达到了显著水平($P < 0.05$)表明增施氮肥可以维持花后较高的旗叶叶绿素含量和光合速率。

表 1 施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶 SPAD 值变化的影响

Table 1 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on SPAD value of wheat flag leaves

处理 Treatment		开花后天数 Days after anthesis(d)					
施氮量 Nitrogen fertilizer rate (kg/hm^2)	含水量 Soil water content (%)	0	7	14	21	28	35
150	40 ~ 50	58.24c	49.27c	41.10b	33.47c	16.50c	7.03c
	60 ~ 70	58.70b	56.83a	51.10a	45.40ab	38.37a	18.90a
	80 ~ 90	57.96c	50.93b	47.83b	40.40bc	29.43bc	14.40bc
225	40 ~ 50	62.41ab	53.13a	46.47bc	36.03c	21.83c	10.97c
	60 ~ 70	62.03b	60.20bc	56.47a	55.33a	46.97a	24.67a
	80 ~ 90	62.30c	59.30a	54.27b	49.80ab	32.77ab	19.07b
300	40 ~ 50	63.27a	56.93ab	49.43b	41.39c	25.50c	13.80c
	60 ~ 70	63.13a	61.50ab	57.27a	55.97ab	47.13a	27.27a

数值后不同字母表示在 5% 水平上差异显著;下同 Values followed by a different letter are significantly different at the 0.05 probability level; the same below

表 2 施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶光合速率变化的影响($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Table 2 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on photosynthetic rate in wheat flag leaves

处理 Treatment		开花后天数 Days after anthesis(d)					
施氮量 Nitrogen fertilizer rate (kg/hm^2)	含水量 Soil water content (%)	0	7	14	21	28	35
150	40 ~ 50	20.1 $\pm$ 2.1	16.8 $\pm$ 1.3	14.2 $\pm$ 0.8	8.9 $\pm$ 1.0	3.6 $\pm$ 0.4	1.0 $\pm$ 0.1
	60 ~ 70	20.0 $\pm$ 2.5	18.7 $\pm$ 1.0	17.0 $\pm$ 0.5	12.2 $\pm$ 0.3	5.6 $\pm$ 0.6	2.3 $\pm$ 0.5
	80 ~ 90	20.1 $\pm$ 1.6	18.0 $\pm$ 1.4	16.2 $\pm$ 0.7	11.0 $\pm$ 0.9	4.4 $\pm$ 0.3	1.9 $\pm$ 0.2
225	40 ~ 50	21.9 $\pm$ 1.1	19.1 $\pm$ 1.3	15.4 $\pm$ 0.4	9.2 $\pm$ 0.6	4.2 $\pm$ 0.7	1.2 $\pm$ 0.4
	60 ~ 70	22.0 $\pm$ 0.9	20.7 $\pm$ 1.1	19.0 $\pm$ 0.4	15.7 $\pm$ 1.1	8.7 $\pm$ 1.0	2.9 $\pm$ 0.6
	80 ~ 90	22.1 $\pm$ 1.3	19.8 $\pm$ 1.8	18.1 $\pm$ 0.3	12.5 $\pm$ 0.8	5.6 $\pm$ 0.3	2.2 $\pm$ 0.3
300	40 ~ 50	23.0 $\pm$ 0.5	20.1 $\pm$ 0.7	16.7 $\pm$ 0.5	10.2 $\pm$ 0.1	4.9 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 0.2
	60 ~ 70	23.0 $\pm$ 1.2	22.7 $\pm$ 1.0	20.2 $\pm$ 1.1	16.1 $\pm$ 0.7	9.7 $\pm$ 0.5	3.2 $\pm$ 0.5
	80 ~ 90	22.7 $\pm$ 0.8	21.6 $\pm$ 0.9	19.2 $\pm$ 1.5	13.6 $\pm$ 0.2	6.0 $\pm$ 1.0	2.8 $\pm$ 0.3

数据均为 3 次测量的平均值 All data are the means of three independent measurements;下同 the same below

2.2 施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶绿素荧光特性的影响

在荧光诱导动力学的测定中,可变荧光(F_v)与固定荧光(F_o)的比值(F_v/F_o)可代表光系统 II (PS II) 的活性,而可变荧光(F_v)与最大荧光(F_m)的比值(F_v/F_m)反映光系统 II (PS II) 最大光能转换效率或光化学效率。由表 3 可以看出,小麦旗叶 F_v/F_o 从开花以后呈逐渐降低的趋势。在相同土壤含水量下, F_v/F_o 随施氮量增加而增大。在同一施氮量下,均表现为花后土壤含水量 60% ~ 70% 处理的旗叶 F_v/F_o 最高,40% ~ 50% 处理最低,80% ~ 90% 处理居中。

由表 4 可以看出,在同一土壤含水量下, F_v/F_m 值表现为随施氮量增加而增大。在同一施氮量下, F_v/F_m 值均表现为花后土壤含水量 60% ~ 70% 的处理最高,40% ~ 50% 处理最低,80% ~ 90% 处理居中。

表 3 施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶 F_v/F_o 的影响

Table 3 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on F_v/F_o in wheat flag leaves

处理 Treatment		开花后天数 Days after anthesis (d)					
施氮量 Nitrogen fertilizer rate (kg/hm ²)	含水量 Soil water content (%)	0	7	14	21	28	35
150	40 ~ 50	5.32c	5.00 c	4.69 c	4.41 c	3.68 c	2.53 c
	60 ~ 70	5.31c	5.16 bc	4.86 bc	4.60 bc	3.80 b	2.56 c
	80 ~ 90	5.31c	5.10 bc	4.80 bc	4.47 bc	3.72 bc	2.54 c
225	40 ~ 50	5.42b	5.14 c	4.85 bc	4.60 b	3.77 b	2.60 bc
	60 ~ 70	5.42b	5.28 ab	4.99 b	4.71 ab	3.85 b	2.69 b
	80 ~ 90	5.44b	5.22 b	4.93 b	4.68 b	3.80 ab	2.64 ab
300	40 ~ 50	5.55ab	5.28 ab	5.00 ab	4.70 ab	3.82 ab	2.70 b
	60 ~ 70	5.59a	5.46 a	5.18 a	4.81 a	3.89 a	2.75 a
	80 ~ 90	5.56a	5.37 b	5.10 ab	4.77 a	3.86 b	2.71 b

表 4 施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶 F_v/F_m 的影响

Table 4 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on F_v/F_m in wheat flag leaves

处理 Treatment		开花后天数 Days after anthesis (d)					
施氮量 Nitrogen fertilizer rate (kg/hm ²)	含水量 Soil water content (%)	0	7	14	21	28	35
150	40 ~ 50	0.842 ± 0.005	0.833 ± 0.002	0.824 ± 0.001	0.815 ± 0.006	0.786 ± 0.003	0.717 ± 0.003
	60 ~ 70	0.841 ± 0.001	0.838 ± 0.007	0.829 ± 0.007	0.822 ± 0.002	0.791 ± 0.009	0.719 ± 0.006
	80 ~ 90	0.841 ± 0.002	0.836 ± 0.009	0.828 ± 0.005	0.817 ± 0.002	0.788 ± 0.001	0.718 ± 0.002
225	40 ~ 50	0.844 ± 0.006	0.837 ± 0.011	0.829 ± 0.002	0.821 ± 0.005	0.790 ± 0.003	0.722 ± 0.001
	60 ~ 70	0.844 ± 0.003	0.841 ± 0.004	0.833 ± 0.006	0.825 ± 0.003	0.794 ± 0.001	0.729 ± 0.013
	80 ~ 90	0.845 ± 0.012	0.839 ± 0.001	0.831 ± 0.001	0.824 ± 0.008	0.791 ± 0.004	0.725 ± 0.009
300	40 ~ 50	0.847 ± 0.005	0.841 ± 0.003	0.833 ± 0.008	0.825 ± 0.004	0.793 ± 0.003	0.729 ± 0.006
	60 ~ 70	0.848 ± 0.002	0.845 ± 0.010	0.838 ± 0.003	0.828 ± 0.011	0.796 ± 0.005	0.733 ± 0.002
	80 ~ 90	0.848 ± 0.008	0.843 ± 0.004	0.836 ± 0.003	0.827 ± 0.007	0.794 ± 0.002	0.731 ± 0.010

2.3 施氮量和花后土壤含水量对小麦产量及其构成因素的影响

小麦产量主要受穗粒数和千粒重的影响。由表 5 可以看出,在 3 个氮肥水平下,各水分处理间小麦亩穗数差异不显著。各氮肥水平下,均表现为花后土壤含水量 60% ~ 70% 处理的穗粒数和千粒重最高,40% ~ 50% 处理最低,80% ~ 90% 处理居中,表明花后土壤含水量过高或过低均导致穗粒数减少,千粒重降低,最终使产量降低。

同一土壤含水量,穗数均表现为随着施氮量的增加而增加,施纯氮 225kg/hm² 的处理穗粒数最多,300kg/hm² 的处理穗粒数次之,150kg/hm² 的处理穗粒数最少。在 3 个土壤含水量下,施氮量对千粒重的影响不一

致。花后土壤缺水(40% ~ 50%), 225 kg/hm²处理的千粒重最高, 150 kg/hm²的处理次之, 300 kg/hm²的处理最低; 在土壤含水量为 60% ~ 70% 和 80% ~ 90% 的处理下, 225 kg/hm²处理的千粒重最高, 300 kg/hm²的处理次之, 150 kg/hm²的处理最低。在 3 个土壤含水量下, 籽粒产量均表现为 225 kg/hm²处理最高, 300 kg/hm²处理次之, 150 kg/hm²处理最低。表明增加施氮量有利于提高穗数, 但过多或过少施氮均不利于穗粒数和千粒重的提高, 而导致减产。

表 5 施氮量和花后土壤含水量对小麦产量及其构成因素的影响

Table 5 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on wheat yield and its component factors

处理 Treatment		穗数	穗粒数	千粒重	产量
施氮量	含水量	Spike numbers	Kernels per spike	1000-grain weight	Yield
Nitrogen fertilizer rate (kg/hm ²)	Soil water content (%)	($\times 10^4$ /hm ²)		(g)	(kg/hm ²)
150	40 ~ 50	649.2c	31.79i	33.90h	5979.5i
	60 ~ 70	645.5c	37.85c	37.98c	7624.4d
	80 ~ 90	647.3c	35.72f	36.09f	6691.5g
225	40 ~ 50	663.3b	33.71g	34.62g	6920.4f
	60 ~ 70	666.9b	39.01a	40.95a	8643.2a
	80 ~ 90	665.6b	37.11d	37.39d	7857.8c
300	40 ~ 50	680.3a	32.00h	32.89g	6146.3h
	60 ~ 70	682.5a	38.35b	38.00b	8215.2b
	80 ~ 90	681.6a	36.95e	36.17e	7439.1e

3 讨论与结论

小麦籽粒产量主要来源于花后光合物质的生产, 而光合产物的多少取决于光合面积、光合速率和光合时间的综合效应。众所周知水分和氮素是小麦生产的两大基本要素。有关水分胁迫对叶绿素荧光动力学参数的影响已有一些研究报道。梁新华^[8]等研究了干旱胁迫下不同春小麦品种生育后期旗叶叶绿素荧光动力学参数, 结果表明干旱胁迫下使可变荧光产量(F_v)下降, 小麦旗叶光系统 II (PS II) 的潜在活性(F_v/F_o)和原初光能转换效率(F_v/F_m)均降低, 但不同品种对水分胁迫的反应有差异。荧光参数的日变化研究^[7]表明, 水分调控能够调节叶绿素荧光参数, 改善光合作用, 提高光合效率。谭维娜等^[13]研究发现在花后渍水条件下, 小麦旗叶光合速率和叶绿素含量均下降, 叶绿素荧光动力学参数 F_o 上升, F_v/F_m 、 $\Phi PSII$ 均呈下降趋势。说明渍水逆境下, 小麦叶片光合机构受损, 光合功能期缩短, 从而加速植株衰老, 导致小麦干物质积累量和产量显著下降。

叶绿素含量是叶片光合功能的重要性状之一, 其含量多少将直接影响叶片的光合能力。随着施氮水平的提高, 小麦净光合速率的平均值和峰值呈先升高后降低的趋势^[9]; 生殖生长期叶面积、叶片光合速率及叶绿素含量随外源供氮水平的提高而增加^[11]。本试验研究可以得出, 产量的提高主要是由于适宜的水分处理或合理的增施氮肥有效增加了花后小麦叶片的 SPAD, 延长了光合功能持续期, 促进花前储存碳库的再转运, 显著提高了收获指数。此外, 上述结果也可反映出光合色素对叶绿素荧光参数的调节作用与其含量密切相关。

施氮还可显著提高小麦叶片 F_v/F_m 、 $\Phi PSII$ ^[12]。追施氮肥可以改善旗叶光合性能, 增加光合产物的积累^[10]; 鞠正春等^[14]认为拔节期追肥较起身期或挑旗期追肥, 改善了小麦旗叶 PS II 的活性(F_v/F_o)、光化学最大效率(F_v/F_m)、光化学猝灭系数(qP)、实际量子产量($\Phi PSII$)及光合速率, 降低了籽粒灌浆中前期非辐射能量耗散, 有利于叶片所吸收的光能较充分地用于光合作用, 提高了籽粒灌浆后期非辐射能量的耗散, 减缓了叶片光抑制程度和衰老进程。拔节期追肥可显著增加穗粒数和千粒重, 提高产量。郭天财等^[15]研究认为适当增施氮素有利于提高旗叶的叶绿素含量、PS II 潜在活性及 PS II 光化学最大效率, 从而提高光合速率和产量, 但水分不足或过多均会影响氮素对光合性能的改善, 进而影响水分及氮素的效率和产量的形成。本试验结果表明, 增施氮肥与花后保持合适的土壤含水量, 有利于提高小麦生育后期旗叶 PS II 潜在活性和光化学效

率,有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,从而为碳同化提供更加充足的能量,提高光合速率,所以最终表现出较好的穗部特征和比较高的产量。这对于指导旱区农业生产,合理施用肥料和提高肥料、水分的利用率,保证旱区农业的可持续发展具有重要意义。

References:

- [1] Yu Z W, Yue S S, Shen C G, *et al.* Effect on senescence of flag leaf in winter wheat under high yield-low norm irrigation conditions. *Acta Agronomica Sinica*, 1995, 21(4): 503—508.
- [2] Zheng P Y. The introduction of crop physiology. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1992. 121—127.
- [3] Guo T C, Wang Z J, Wang Y H. Study on diurnal changes of flag leaf photosynthetic rate for two spike-type cultivars of wheat. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2002, 22(3): 554—560.
- [4] Guo T C, Wang Z J, Hu Y J, *et al.* Study on canopy apparent photosynthesis characteristics and grain yield traits of two winter wheat cultivars with different spike type. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(5): 633—639.
- [5] Shi Z J, Fan X L. Effect of drought stress on chlorophyll II fluorescence induction kinetics in leaves of different rice genotypes. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(3): 123—126.
- [6] Shangguan Z P, Shao M A, Dyckmans J. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. *Plant Physiology*, 2000, 156: 46—51.
- [7] Zhang Q Y, Li F D, Liu M Y, *et al.* Chlorophyll a fluorescence parameters of flag leaf of the wheat and seed germinating under different water treatments. *Acta Agriculturae Boreali-sinica*, 2003, 18(1): 26—28.
- [8] Liang X H, Xu X, Xu Z Z, *et al.* Study on the relation between the effects of water stress on the flag leaf chlorophyll a fluorescence induction kinetics and the yields of spring wheat genotypes in late growth season. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(3): 72—77.
- [9] Luo F X, Yang S M, Yuan J C, *et al.* Effect of N on flag leaf photosynthetic characteristics during grain filling in Chuanmai 39. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(4): 79—84.
- [10] Kang G Z, Wang Y H, Guo T C, *et al.* Effects of nitrogen application on photosynthetic characteristics and yield of super-high-yielding wheat in the late growing and developing period. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(1): 29—31.
- [11] Cao C L, Li S X. Effect of Nitrogen Level on the photosynthetic rate, NR activity and the contents of nucleic acid of wheat leaf in the stage of reproduction. *Chinese Bulletin of Botany*, 2003, 20(3): 319—324.
- [12] Zhang L M, Shangguan Z P, Mao M C. Effects of long term application of nitrogen fertilizer on leaf chlorophyll fluorescence of upland winter wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5): 695—698.
- [13] Tan W N, Dai T B, Jing Q, *et al.* Effect of post-anthesis waterlogging on flag leaf photosynthetic characteristics and yield in wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2007, 27(2): 314—317.
- [14] Ju Z C, Yu Z W. Effects of nitrogen topdressing at different growth stage on chlorophyll fluorescence of winter wheat flag leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(3): 395—398.
- [15] Guo T C, Feng W, Zhao H J, *et al.* Effects of water and nitrogen application on photosynthetic characteristics and yield of winter wheat in the late growing and developing period. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2003, 23(9): 1512—1517.

参考文献:

- [1] 于振文, 岳寿松, 沈成国, 等. 高产低定额灌溉对冬小麦旗叶衰老的影响. *作物学报*, 1995, 21(4): 503~508.
- [2] 郑丕尧. 作物生理学导论. 北京: 北京农业大学出版社, 1992. 121~127.
- [3] 郭天财, 王之杰, 王永华. 不同穗型小麦品种旗叶光合作用日变化的研究. *西北植物学报*, 2002, 22(3): 554~560.
- [4] 郭天财, 王之杰, 胡廷积, 等. 不同穗型小麦品种群体光合特性及产量性状的研究. *作物学报*, 2001, 27(5): 633~639.
- [5] 史正军, 樊小林. 干旱胁迫对不同基因型水稻光合特性的影响. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(3): 123~126.
- [7] 张秋英, 李发东, 刘孟雨, 等. 不同水分条件下小麦旗叶绿素 a 荧光参数与子粒灌浆速率. *华北农学报*, 2003, 18(1): 26~28.
- [8] 梁新华, 许兴, 徐兆桢, 等. 干旱对春小麦叶绿素 a 荧光动力学特征及产量间关系的影响. *干旱地区农业研究*, 2001, 19(3): 72~77.
- [9] 罗付香, 杨世民, 袁继超, 等. 氮肥调控对川麦 39 灌浆期旗叶光合特性的影响. *麦类作物学报*, 2006, 26(4): 79~84.
- [10] 康国章, 王永华, 郭天财, 等. 氮素施用对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响. *作物学报*, 2003, 29(1): 29~31.
- [11] 曹翠玲, 李生秀. 供氮水平对小麦生殖生长期叶片光合速率、NR 活性和核酸含量及产量的影响. *植物学通报*, 2003, 20(3): 319~324.
- [12] 张雷明, 上官周平, 毛明策. 长期施氮对旱地小麦灌浆期叶绿素荧光参数的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(5): 695~698.
- [13] 谭维娜, 戴廷波, 荆奇, 等. 花后渍水对小麦旗叶光合特性及产量的影响. *麦类作物学报*, 2007, 27(2): 314~317.
- [14] 鞠正春, 于振文. 追施氮肥时期对冬小麦旗叶绿素荧光特性的影响. *应用生态学报*, 2006, 17(3): 395~398.
- [15] 郭天财, 冯伟, 赵会杰, 等. 水分和氮素运筹对冬小麦生育后期光合特性及产量的影响. *西北植物学报*, 2003, 23(9): 1512~1517.