

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

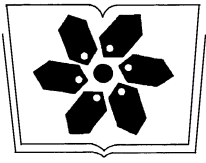
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 5 期
Vol.31 No.5
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 5 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布..... 弋良朋,王祖伟 (1195)

蕙兰病株根部内生细菌种群变化..... 杨 娜,杨 波 (1203)

森林不同土壤层全氮空间变异特征..... 张振明,余新晓,王友生,等 (1213)

基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测..... 罗 翀,徐卫华,周志翔,等 (1221)

黑河胜山自然保护区红松和红皮云杉生长释放判定及解释..... 王晓春,赵玉芳 (1230)

两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性..... 李维焕,于兰兰,程显好,等 (1240)

2005—2009 年浙江省不同土地类型上空对流层 NO₂ 变化特征 程苗苗,江 洪,陈 健,等 (1249)

关帝山天然次生针叶林林隙径高比 符利勇,唐守正,刘应安 (1260)

鄱阳湖湿地水位变化的景观响应..... 谢冬明,郑 鹏,邓红兵,等 (1269)

模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响..... 涂利华,戴洪忠,胡庭兴,等 (1277)

喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响 耿 健,崔楠楠,张 杰,等 (1285)

不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响 马忠明,杜少平,薛 亮 (1295)

干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响 张仁和,郑友军,马国胜,等 (1303)

不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征 张永平,张英华,王志敏 (1312)

水分亏缺下紫花苜蓿和高粱根系水力学导度与水分利用效率的关系 李文娆,李小利,张岁岐,等 (1323)

美洲森林群落 Beta 多样性的纬度梯度性 陈圣宾,欧阳志云,郑 华,等 (1334)

水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响..... 李 强,朱启红,丁武泉,等 (1341)

蚯蚓在植物修复芫污染土壤中的作用..... 潘声旺,魏世强,袁 馨,等 (1349)

石榴园西花蓟马种群动态及其与气象因素的关系..... 刘 凌,陈 斌,李正跃,等 (1356)

黄山短尾猴食土行为..... 尹华宝,韩德民,谢继峰,等 (1364)

扎龙湿地昆虫群落结构及动态..... 马 玲,顾 伟,丁新华,等 (1371)

浙江双栉蝠蛾发生与土壤关系的层次递进判别分析..... 杜瑞卿,陈顺立,张征田,等 (1378)

低温导致中华蜜蜂后翅翅脉的新变异 周冰峰,朱翔杰,李 月 (1387)

双壳纲贝类 18S rRNA 基因序列变异及系统发生 孟学平,申 欣,程汉良,等 (1393)

基于物理模型实验的光倒刺鲃生态行为学研究 李卫明,陈求稳,黄应平 (1404)

中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化 何吉成 (1412)

城市承载力空间差异分析方法——以常州市为例..... 王 丹,陈 爽,高 群,等 (1419)

水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例 程怀文,李玉文,徐中民 (1430)

寄主植物叶片物理性状对潜叶昆虫的影响..... 戴小华,朱朝东,徐家生,等 (1440)

专论与综述

C₄ 作物 FACE (free-air CO₂ enrichment) 研究进展 王云霞,杨连新,Remy Manderscheid,等 (1450)

研究简报

石灰石粉施用剂量对重庆酸雨区受害马尾松林细根生长的影响..... 李志勇,王彦辉,于澎涛,等 (1460)

女贞和珊瑚树叶片表面特征的 AFM 观察 石 辉,王会霞,李秧秧,刘 肖 (1471)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 284 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2011-03

不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征

张永平^{1,2}, 张英华¹, 王志敏^{1,*}

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010018)

摘要:为揭示小麦叶片与非叶绿色器官的光合活性在一日中的变化特性及其在器官间的差异性,探讨群体及不同器官光合日变化对不同供水条件的响应特征,在田间设置生育期不灌水(I0)、灌2水(I2,拔节水+开花水)和灌4水(I4,起身水+孕穗水+开花水+灌浆水)3个处理,于灌浆期测定了群体光合与呼吸速率的日变化,旗叶片、叶鞘、穗、穗下节间各器官光合速率、蒸腾速率、气孔导度及叶绿素荧光参数的日变化。结果表明,灌浆期小麦穗和穗下节间光合速率日变化呈单峰曲线,而旗叶叶片与旗叶鞘光合速率均呈双峰型,表现出不同程度的午休。随着灌水次数减少,各器官光合速率降低,叶片对严重水分亏缺的反应大于各非叶器官。器官光合速率的日变化与 F_v/F_m 变化相一致,而与气孔导度日变化有较大差异。各器官上午的累积光合量均高于下午,上午光合量占日总光合量的比例为51%—62%,随着灌水次数减少而增大。不同灌水处理群体光合速率、呼吸速率日变化均未出现午休现象。春季浇2水处理与春浇4水处理相比,灌浆期群体光合速率及日光合积累量没有显著差异。综合研究认为,小麦叶与非叶器官光合性能及其日变化特征有较大不同,非叶光合对水分亏缺的敏感性低于叶片,生育期浇2水可以获得与浇4水相似的群体日光合积累量。

关键词:小麦; 非叶器官; 光合特性; 光合日变化; 节水栽培

Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes

ZHANG Yongping^{1,2}, ZHANG Yinghua¹, WANG Zhimin^{1,*}

1 College of Agronomy and Bio-technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, 010018, Inner Mongolia, China

Abstract: The wheat in northern China is subject to drought stress, which leads to decreases in both the leaf photosynthetic capability and grain yield, at the grain filling stage. The green leaves and non-leaf organs, such as spike, stem and sheath, play very important roles in wheat photosynthesis. The diurnal photosynthetic variation (DPV) can determine the response of wheat to the environment. However, most of the research on DPV is focused on the leaf blade. Very little research have concerned DPV and midday depression of green non-leaf organs in wheat. The purpose of this study was to determine the DPV characteristics of green leaf blade and non-leaf organs in wheat, so as to investigate the response characteristics and responses of DPV of wheat canopy and green non-leaf organs to different irrigation regimes, and detect differences in diurnal photosynthesis accumulation among the green organs. A field experiment was conducted with three irrigation treatments [no irrigation, two times irrigation (irrigation applied at jointing and anthesis), and four times irrigation (irrigation applied at double ridge, booting, anthesis and grain filling stage)] in the growth period of wheat. The diurnal variations of the canopy photosynthetic and respiration rates and the net photosynthetic rate, respiration rate, stomatal conductance and chlorophyll fluorescence parameters in flag leaf blade, leaf sheath, ear and peduncle were measured at the grain filling stage. The diurnal variations of the net photosynthetic rate in the ear and the peduncle showed a single-peak curve, while those in the

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(2009CB118605);国家自然科学基金项目(30960184);农业部现代农业产业技术体系建设项目

收稿日期:2010-08-27; **修订日期:**2011-02-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhimin206@263.net

flag leaf blade and the leaf sheath were a double-peak curve, i. e., a midday depression occurred at around 12 pm, at the grain filling stage. The net photosynthetic rate decreased in all the investigated organs with decrease of the irrigation time. Under serious drought conditions, the leaf photosynthetic rate and diurnal photosynthetic accumulation decreased significantly, but those of the non-leaf organs were not affected so much as those of the leaf blade. The diurnal variation of net photosynthetic rate in all the investigated organs was coincident with that of the F_v/F_m and differed slightly from that of stomatal conductance. The photosynthetic accumulation of all the investigated organs was higher in the morning than in the afternoon with the morning photosynthetic accumulation occupying 51% to 62% of the diurnal photosynthetic accumulation. The photosynthetic accumulation in the morning was increased with the reduction in irrigation times. No midday depression was found in the canopy photosynthetic rate and canopy respiration rate under different irrigation treatments. In addition, no significant difference was observed in canopy photosynthetic rate and diurnal photosynthetic accumulation amount between the two times and the four times irrigation. There were significant differences in photosynthetic performance and the diurnal variation characteristics between wheat leaf blade and non-leaf organs. The net photosynthetic rate in leaf blade was more sensitive to water deficit than that in the non-leaf organs. Light water deficit did not affect canopy photosynthetic rate significantly. The canopy photosynthetic rate was less affected than the net photosynthetic rate of the leaf blade by serious water deficit. Two times irrigation in the growth period of wheat achieved a similar canopy diurnal photosynthetic accumulation amount to that of the four times irrigation. The combination of cultivars with higher water usage efficiency, limited rates of irrigation and nitrogen fertilizer, and higher planting density with more non-leaf organs were the best choice to achieve high grain yield for wheat in northern China.

Key Words: wheat; non-leaf organs; photosynthetic characteristics; diurnal photosynthetic variation (DPV); water-saving cultivation

华北地区是我国小麦主产区,该区水资源紧缺,发展小麦节水栽培意义重大^[1]。在节水灌溉条件下,灌浆期土壤干旱胁迫易导致叶片光合能力下降,从而使粒重降低。如何增强植株整体光合耐逆性,补偿干旱对叶片光合功能的不利影响,是实现小麦节水高产需要研究的重要生理问题。小麦抽穗后的光合器官除叶片外,还有绿色穗、茎、鞘等非叶器官。不同绿色器官的结构与功能存在较大差异^[2-3]。深入揭示小麦不同绿色器官光合作用对后期干旱逆境的反应与适应性及其机制,对于节水抗逆栽培实践具有重要指导意义。作物器官的光合速率在一日内呈现出不同的变化特征,光合日变化特征是作物光合对环境反应特性的重要方面,是光合机构-功能-环境在一日内动态互作的表现^[4-5]。关于不同作物叶片光合速率的日变化,前人已有较多研究,通常认为,光合速率的日变化表现出单峰曲线或双峰曲线2种类型,C4植物多表现为前者,而C3植物多表现为后者^[4-5]。双峰曲线所表现出的午间光合速率降低,被称为“午休”现象^[4-5]。“午休”会造成光能的部分浪费。小麦叶片光合存在较严重的“午休”,它可引起一部分碳同化物的损失,并可能导致10%的产量降低^[6-7]。导致光合午休的原因很复杂,与气孔因素与非气孔因素均有关系,午休的程度和持续时间因品种和栽培环境不同而有差异^[7-11]。然而,目前对小麦光合作用日变化的研究主要集中在叶片上,对叶片以外非叶器官(穗、节间和鞘)的光合日变化特征、“午休”特性及其对于干旱等逆境胁迫的反应特性尚不清楚^[3]。本文在春季不同水分供给条件下,研究冬小麦灌浆期群体及叶与非叶器官光合日变化规律及其对水分的反应特性,探讨不同器官日光合量的差异及其影响因素,为小麦节水栽培提高整株光合生产能力提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与试验设计

试验于2001—2003年度在中国农业大学吴桥试验站进行。2a试验均设春季不灌水(I0)、春季灌2水(I2,拔节+开花)和春季灌4水(I4,起身+孕穗+开花+灌浆)3个处理,在2001—2002年度测定不同时期群体光合基础上,2002—2003年度于开花-灌浆期同期测定群体及各器官光合速率及相关性状。2002—2003年度

小麦生长期共降雨 112.1 mm,属于平水年份。播种前浇底墒水 750 m³/hm²,于 10 月 13 日播种,供试品种为石家庄 8 号,基本苗为 6×10⁶株/hm²。不浇冻水。春季灌水处理每次灌水定额 750 m³/hm²。每处理 3 次重复,随机区组排列,小区面积 50 m²。各处理施肥量均为有机肥(鸡粪+土杂粪)30 m³/hm²,磷酸二铵 300 kg/hm²,硫酸钾 150 kg/hm²,尿素 225 kg/hm²,硫酸锌 15 kg/hm²,均作底肥一次性施入。其它田间措施按节水高产栽培技术^[1]实施。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 土壤水分含量测定

在小麦开花、灌浆和成熟期,于各处理小区,每隔 20 cm 土层用土钻取土,置 105℃ 烘箱烘干,测定 2 m 土体内的土壤含水率。

1.2.2 群体光合与呼吸日变化测定

采用同化箱法^[12]测定群体光合及呼吸速率。在小麦灌浆期选天气晴朗日(花后 13—14d),采用 BAU 便携式光合测定系统,从 8:00 开始至 18:00,每隔 2h 测定 1 次,并同步测定光照强度、气温和相对湿度,并用便携式植物冠层测温仪测冠层温度。每次测光合速率之后用遮光布罩住同化箱测定呼吸速率,每点均重复 3—5 次。各时期均测定空白地土壤呼吸并从群体光合、呼吸测定值中扣除。群体光合及呼吸速率以单位土地面积(m²)、单位时间(h)增加或减少的 CO₂量(mmol)表示。

1.2.3 器官光合速率日变化测定

于灌浆期在各处理小区选穗型、叶型及穗下节间大小相似的代表性植株进行标记,参照张永平^[13]方法测定标记株旗叶叶片、穗下节间(旗叶鞘未包被部分)、旗叶鞘及整个穗的光合速率。在花后 15—16 d,从 8:00 至 18:00,每隔 2h 测定 1 次,并同步测定光照强度、气温和相对湿度。测定时利用 2 台 BAU 便携式光合测定系统(预调一致)、分 2 组同时进行。穗、穗下节间和叶鞘光合测定采用特制的桶形同化室。光合测定完成后测各器官光合面积,叶面积采用长宽系数法(长×宽×0.82),穗面积的测定参见文献^[13],穗下节间及旗叶鞘面积按圆柱形表面积测定。

1.2.4 日累积光合量计算

在群体光合及器官光合日变化基础上,按公式 $\sum P_n = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (P_i + P_{i+1}) \times t_i$ 计算日光合量^[14],其中 $\sum P_n$ 为日累积光合量值,简称日光合量, P_i 和 P_{i+1} 分别为第 i 次和第 $i+1$ 次实测净光合速率值, t_i 为第 P_i 次和 P_{i+1} 次观测间隔时间(h), n 为测定次数。

1.2.5 叶绿素荧光参数日变化测定

用 FIM—1500 便携式叶绿素荧光仪进行荧光诱导动力学参数(初始荧光 F_0 和最大荧光 F_m)的测定,测定前暗适应 20min。根据测定结果计算可变荧光值 $F_v(F_m - F_0)$ 和 PS II 原初光能转化效率 F_v/F_m 值。日变化的测定从 8:00 开始至 18:00,每隔 2h 测定 1 次旗叶叶片、旗叶鞘、穗下节间及穗部器官外稃、内稃、护颖的荧光参数,并同步测定空气温度和相对湿度。

1.2.6 气孔导度与蒸腾速率测定

在灌浆期用稳态气孔仪(美国,LI-Cor1600)测定标记植株不同器官的气孔导度和蒸腾速率的日变化。从 8:00 至 18:00,在田间每隔 2 h 测定 1 次不同器官的气孔导度和蒸腾速率。每处理每器官重复 5 次以上。

以上试验数据使用 SPSS13.0 和 Excel2003 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同灌水处理土壤水分状况

由图 1 可见,小麦开花至成熟期,不同灌水处理的土壤含水率都随土层加深而增大,2 m 土体各层土壤含水率在处理间的表现均为 I4>I2>I0。根据试验地土壤水分特征曲线及水分亏缺等级划分,春季不浇水(I0)处理,开花期 0—40cm 土层出现轻、中度水分亏缺,开花后水分亏缺土层逐渐深入到 60 cm 土层以下,灌浆期

60 cm 土层发生重度、极度水分亏缺;I2处理开花期各土层土壤水分适宜,但灌浆期上层土壤处于轻度的水分胁迫状态;而I4处理小麦开花至成熟期持续处于适宜或良好的供水环境中。因此在籽粒灌浆期,3 个处理的小麦供水条件明显不同。

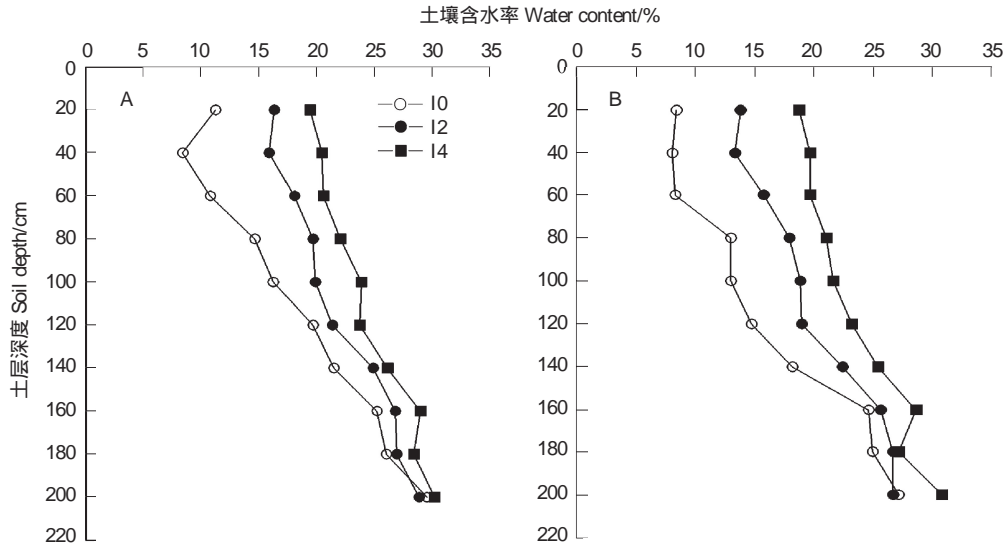


图 1 各灌水处理在开花期(A)、灌浆期(B)不同土层土壤含水率

Fig. 1 Soil water content in different soil layers at anthesis (A) and grain-filling (B) stages under the 3 irrigation treatments

I0:不灌水(对照); I2:灌2水(拔节和开花,每次灌水 750 m³/hm²); I4:灌4水(分蘖、拔节、开花和灌浆,每次灌水 750 m³/hm²)

2.2 群体光合速率日变化

于小麦灌浆期测定了不同灌水处理群体光合速率日变化,结果表明,不同灌水处理群体光合速率 1 天的变化均呈单峰曲线特征(图 2)。从 8:00 开始,随着光强和气温升高,湿度减小,群体光合速率逐渐增大,10:00 达到最大值;之后直至 18:00 缓慢下降。光强、气温分别在 12:00 和 14:00 达一天中最高值,而空气相对湿度在 14:00 降为最低,之后又有所回升。冠层温度的日变化与气温日变化相一致。

不同灌水处理间比较,群体光合速率基本表现为 I2>I4>I0;冠层温度以 I0 处理最高,其次是 I2 处理, I4 处理最低。在 10:00 之前,不同灌水处理群体光合速率、冠层温度差异较小,随着时间推移差异逐渐增大,16:00 之后差异又趋于减小。

相关分析表明(表 1),1 天中不同灌水处理冠层温度与气温呈极显著正相关,而与空气相对湿度呈显著

表 1 不同灌水处理群体光合速率(P_n)、冠层温度(CT)与环境因素的相关系数

Table 1 Correlation between canopy photosynthetic rate, canopy temperature and environment condition

指标 Index	I0 CT	I2 CT	I4 CT	光强 Light radiation	气温 Air temperature	湿度 Air humidity	I0 P _n	I2 P _n	I4 P _n
I0 CT	1.0000								
I2 CT		1.0000							
I4 CT			1.0000						
光强 Light radiation	0.1547	0.1124	0.1250	1.0000					
气温 Air temperature	0.9609 **	0.9606 **	0.9505 **	-0.1222	1.0000				
湿度 Air humidity	-0.9358 **	-0.9250 **	-0.9091 *	0.1817	-0.9879 **	1.0000			
I0 P _n	-0.2299	-0.2706	-0.2755	0.8960 *	-0.4871	0.5102	1.0000		
I2 P _n	-0.1041	-0.1581	-0.1580	0.9300 **	-0.3708	0.3856		1.0000	
I4 P _n	-0.1115	-0.1645	-0.1859	0.8563 *	-0.3638	0.3575			1.0000

** 表示相关达到极显著水平(P<0.01), * 表示相关达到显著水平(P<0.05)

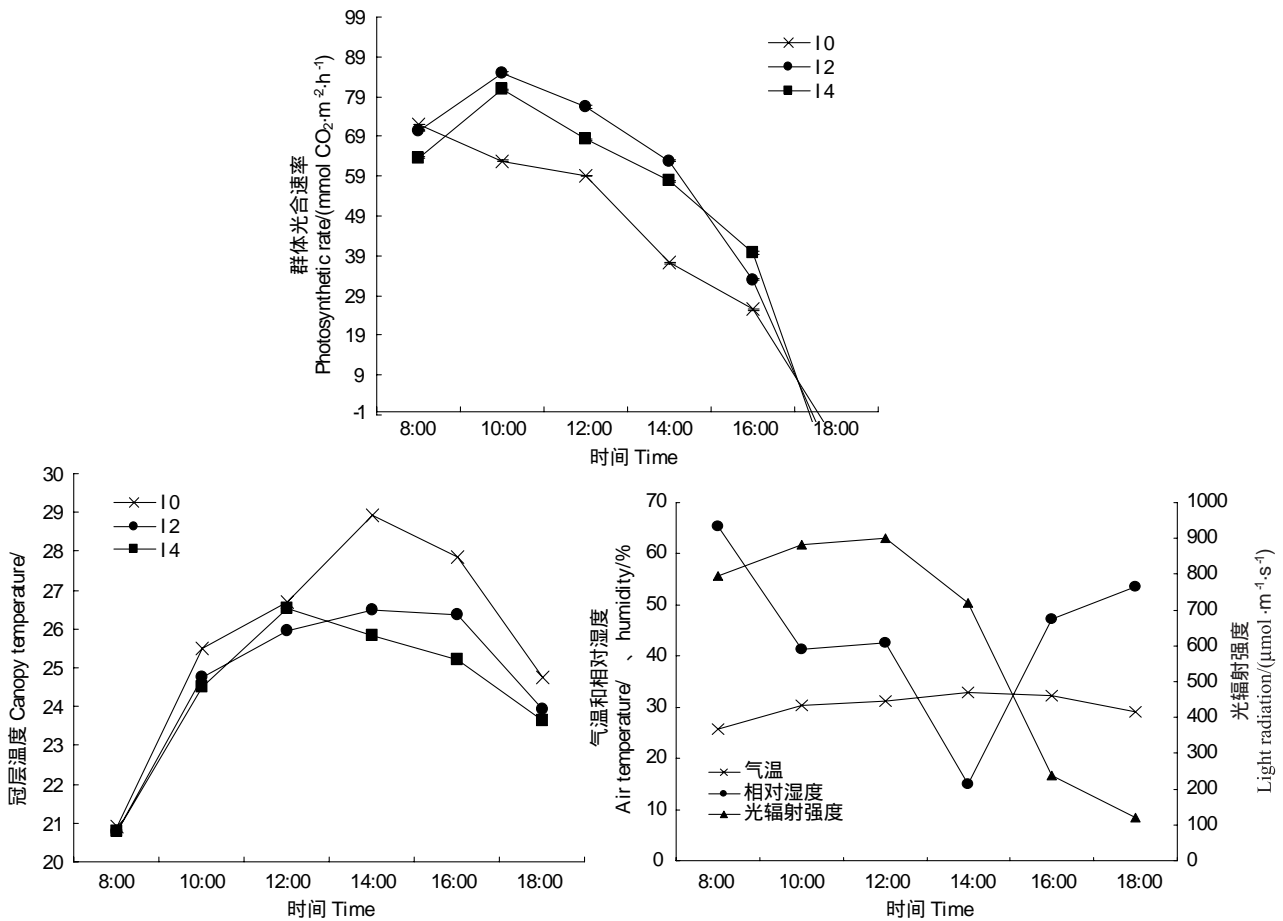


图2 不同灌水处理群体光合速率、冠层温度及环境条件日变化

Fig. 2 The diurnal variation of canopy photosynthetic rate, canopy temperature and environment conditions

10: 不灌水(对照); 12: 灌2水(拔节和开花, 每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$); 14: 灌4水(分蘖、拔节、开花和灌浆, 每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)

负相关; 群体光合速率与光照强度呈显著正相关, 与冠层温度、相对湿度及气温相关不显著。说明, 在本试验条件下, 光强是影响群体光合的主要因素。

2.3 群体呼吸速率日变化

由图3可见, 不同灌水处理群体呼吸速率日变化均呈单峰曲线, 12处理峰值出现在12:00, 而10和14处理于14:00达到一天中最高值。峰值过后, 各处理群体呼吸速率以不同速度下降。与群体光合日变化比较, 群体呼吸速率一天中变化相对较平缓。处理间比较, 10处理一日中所测群体呼吸均小于其他处理, 12和14处理之间群体呼吸的差异主要出现在下午, 14高于12。统计分析表明, 一天中不同灌水处理群体呼吸速率与冠层温度、相对湿度及气温的相关性均未达到显著水平。

2.4 不同绿色器官光合速率日变化

灌浆期不同器官光合速率的日变化表现不同的特征(图4):

旗叶和叶鞘的光合日变化均呈双峰曲线, 不同灌水

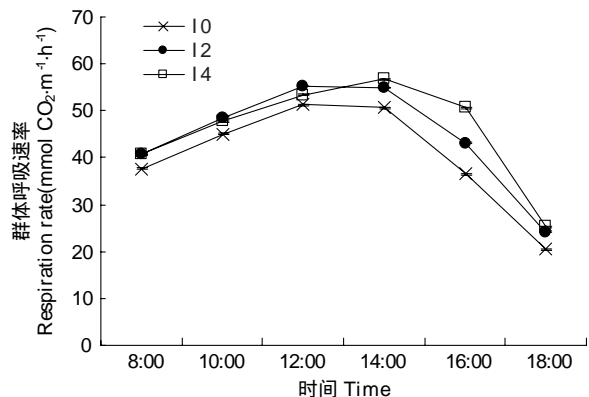


图3 不同灌水处理群体呼吸速率日变化

Fig. 3 The diurnal variation of canopy respiration rate in different irrigation treatments

10: 不灌水(对照); 12: 灌2水(拔节和开花, 每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$); 14: 灌4水(分蘖、拔节、开花和灌浆, 每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)

处理均有不同程度的“午休”现象,午休时间约在 12:00 前后。随供水减少,叶片与叶鞘的光合速率均表现降低,与 I4 处理比较, I2 处理降低程度较小, I0 处理不仅降低幅度大,而且使叶片“午休”时间提前。水分亏缺对叶片日光合的影响大于对叶鞘日光合的影响。

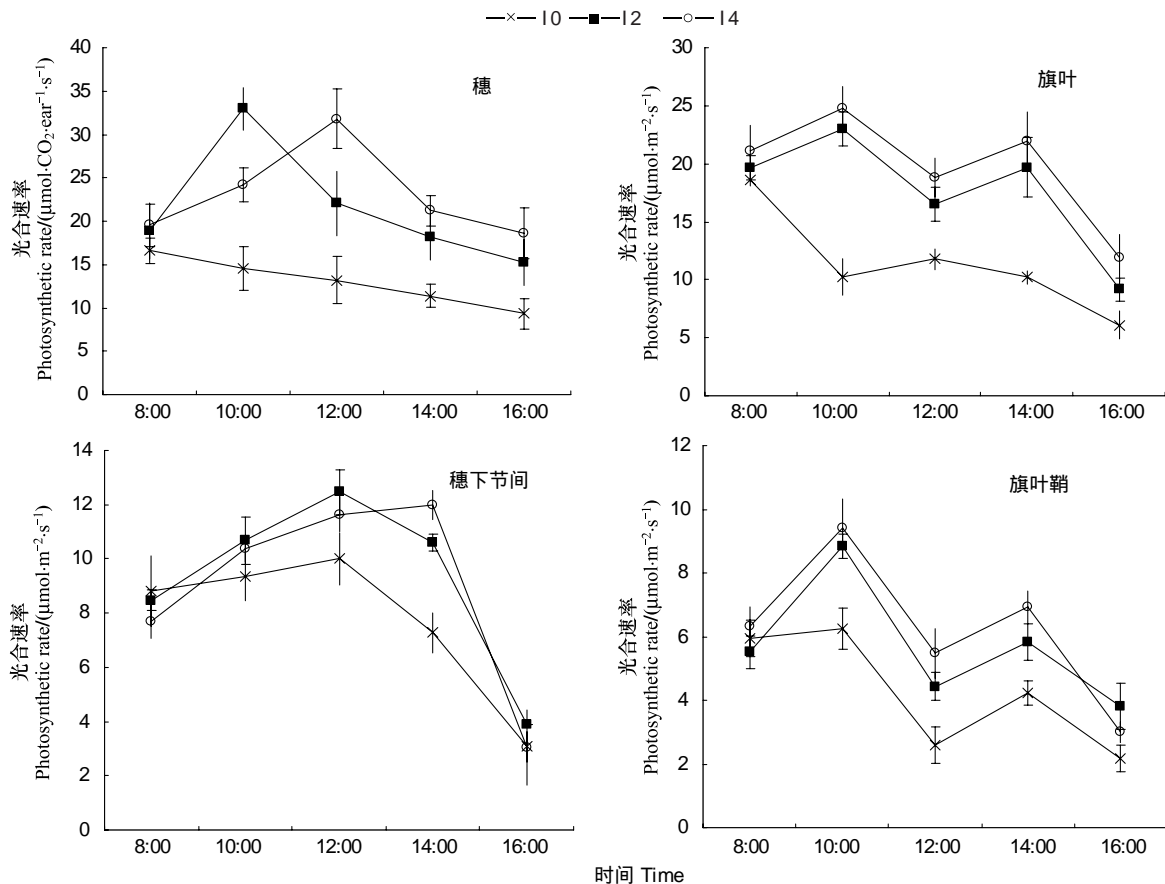


图 4 不同灌水处理器官光合速率日变化

Fig. 4 The diurnal variation of different organs' photosynthetic rate in different irrigation treatments

I0: 不灌水(对照); I2: 灌 2 水(拔节和开花,每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$); I4: 灌 4 水(分蘖、拔节、开花和灌浆,每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)

穗光合日变化基本呈单峰曲线,但其峰值出现时间因供水条件不同而变, I4 处理峰值出现在 12:00 左右, I2 处理峰值出现在 10:00 左右, I0 处理峰值不明显,以 8:00 左右光合较高。从全日平均光合速率看, I2 与 I4 处理无显著差异, I0 处理穗型较小,其单穗光合显著低于 I2 与 I4 处理,但其单位面积光合与其他处理的差异较小。

穗下节间光合日变化为单峰曲线型,其峰值出现的时段为 12:00—14:00。I2 处理与 I4 处理两者全日光合速率基本相近,无显著差异。I0 处理在中午前后的光合速率明显低于其他两个处理,但其在早晚的光合与其他处理并无明显差异。

对照当日气温、光强及相对湿度的日变化发现(图 2),叶片器官光合出现“午休”现象的 12:00 左右,正是光强达到最大值之时,而 14:00 左右气温达一天最高,相对湿度降为最低点,光强也开始迅速降低。据此推测,中午强光和高叶温可能是引发器官光合“午休”的主要环境因素。

2.5 不同绿色器官气孔特性指标日变化

灌浆期同时测定了旗叶和旗叶鞘气孔导度、蒸腾速率的日变化(图 5)。由图可以看出,器官表面温度、气孔导度和蒸腾速率均呈单峰曲线变化,峰值出现在 13:00 左右。不同灌水处理比较, I2 与 I4 处理的旗叶表面温度、气孔导度及蒸腾速率差异不明显,但均显著高于(气孔导度和蒸腾速率)或低于(表面温度) I0 处理;旗

叶鞘表面温度日变化表现为 $I_0 > I_2 > I_4$,且下午差异大于上午。旗叶鞘气孔导度、蒸腾速率的日变化,不同灌水处理间差异未达到显著水平。

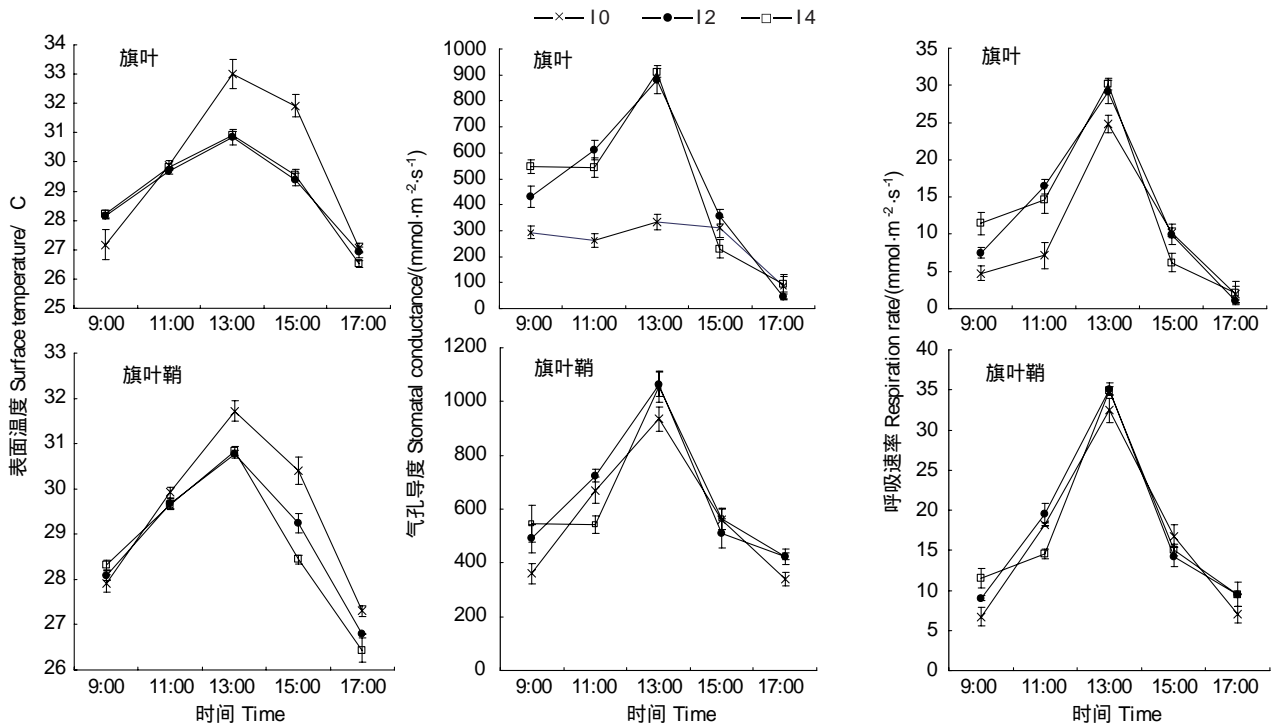


图5 不同灌水处理冬小麦器官气孔特性指标日变化

Fig. 5 The diurnal variation of stomatal trait index of different wheat organs in different irrigation treatments

I_0 : 不灌水(对照); I_2 : 灌2水(拔节和开花,每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$); I_4 : 灌4水(分蘖、拔节、开花和灌浆,每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)

2.6 不同绿色器官叶绿素荧光参数(F_v/F_m)日变化

灌浆前期对不同灌水处理不同器官 F_v/F_m 值的测定表明(图6),旗叶、旗叶鞘、穗下节间和护颖 F_v/F_m 值日变化均呈“V”型曲线变化,中午13:30—15:30时段出现最低值,之后随光强减弱 F_v/F_m 值回升到接近早晨水平,此日变化动态反映了其中午PS II活性可逆失活,出现光合作用光抑制的过程。比较不同灌水处理发现,灌水越少, F_v/F_m 值中午降幅越大,午后回升幅度越小。其中,旗叶叶片和穗护颖表现最为明显,而灌水对旗叶鞘、穗下节间 F_v/F_m 值日变化的影响较小。

灌浆后期对不同灌水处理旗叶和穗下节间 F_v/F_m 值日变化的活体测定(图7)结果与上相似。结合前述器官光合速率和气孔导度的日变化,分析表明,光合速率的日变化与 F_v/F_m 值的日变化较为一致,而与气孔导度的变化有较大差异。可见,在本试验条件下,气孔因素并非是决定器官光合动态特征或午休现象的主导因素。

2.7 群体及各器官的日累积光合量

分析一天中不同器官净光合累积量(表2),可以看出,器官间日光合量存在明显差异,总体表现为旗叶叶片 > 旗叶鞘 > 穗下节间 > 穗, I_0 和 I_2 处理的旗叶节以上非叶器官(穗下节间+旗叶鞘+穗)总光合量大于旗叶叶片。不同灌水处理比较,随灌水减少各器官日光合量下降,但光合降低幅度叶片明显大于各非叶器官。与 I_4 处理比较, I_0 处理不同器官日光合量下降幅度分别为:旗叶67%、穗43%、叶鞘38%、穗下节间34%。 I_2 处理与 I_4 处理之间比较,旗叶日光合量差异较大,而各非叶器官的日光合量差异很小。

灌浆期群体日光合累积量以 I_2 处理最高, I_4 处理其次, I_0 处理最低。比较分析, I_2 处理与 I_4 处理群体日光合量未有明显差异; I_0 处理显著低于 I_4 处理,但其群体光合量降低幅度明显小于各器官光合量的下降幅度。这主要是由于 I_0 和 I_2 处理旗叶叶片较小,下层叶片受光较好、光合活性较高所致。从群体或器官一天中不同

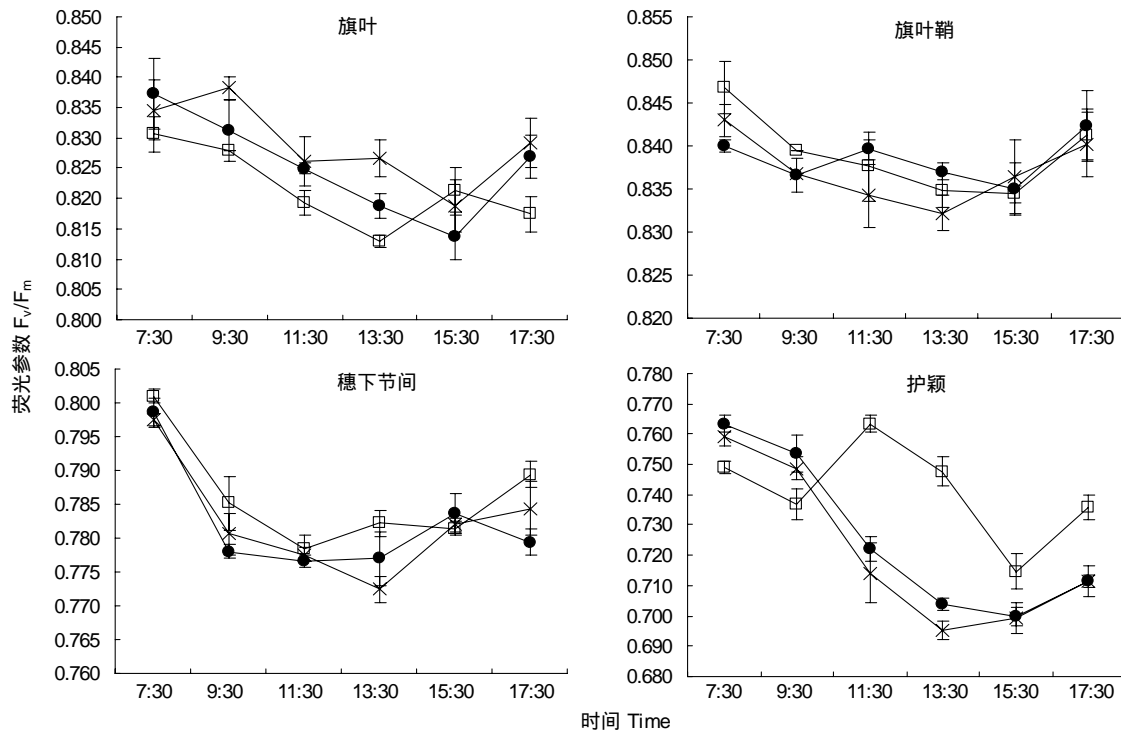


图 6 灌浆前期(5月16日)不同灌水处理器官叶绿素荧光参数(F_v/F_m)日变化

Fig. 6 The diurnal variation of F_v/F_m in different organs of wheat in different irrigation treatments at filling stage (16/5)

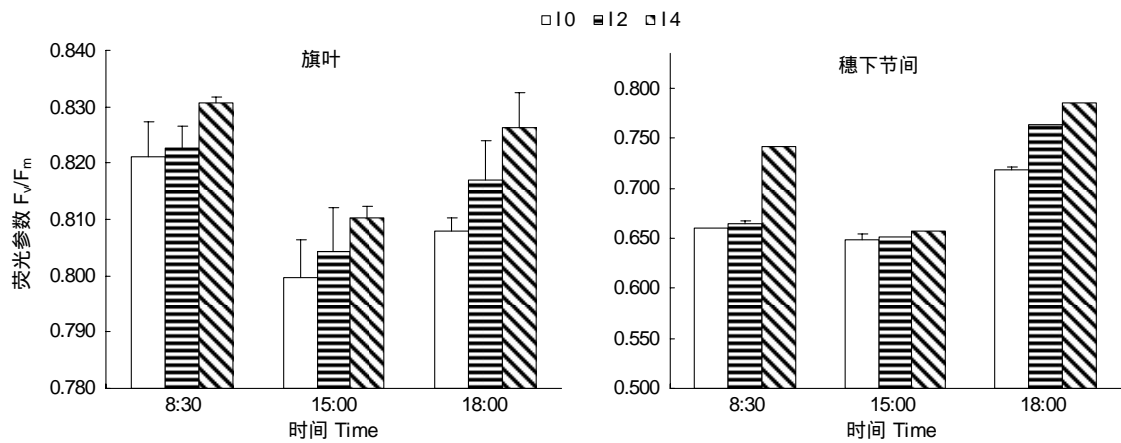


图 7 灌浆后期(5月26日)不同灌水处理器官叶绿素荧光参数(F_v/F_m)日变化

Fig. 7 The diurnal variation of F_v/F_m in different organs of wheat in different irrigation treatments at filling stage (26/5)

10: 不灌水(对照); 12: 灌 2 水(拔节和开花,每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$); 14: 灌 4 水(分蘖、拔节、开花和灌浆,每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)

时段累积光合量的分布看,8:00—12:00 光合累积量均大于 12:00—16:00 的光合累积量,上午光合累积量占当日总光合累积量的比例为 51%—61%,此比例随着灌水减少而有增大的趋势。

3 讨论

小麦是 C3 植物,对其叶片光合速率的日变化特征和光合“午休”现象已有较多研究^[6-10],但目前对叶片以外的非叶器官光合日变化特性并未有深入的探讨。本试验对不同器官的测定表明,灌浆期旗叶叶片光合日变化呈现双峰曲线特征,表现一定程度的午休,这与前人的研究结果一致;叶鞘在一天中的光合速率低于叶片,但光合变化趋势与叶片相似;穗和穗下节间光合速率日变化则呈单峰曲线,峰值出现在中午或中午前后,

并没有明显的“午休”现象。可见,不同绿色器官光合特性是不同的。前人对干旱胁迫是否会改变不同器官光合日变化特征研究较少,从本试验看,水分处理影响各器官光合速率,严重水分胁迫会使光合速率峰值或“午休”出现的时间提前,但并未明显改变光合日变化趋势。不同器官对不同水分的反应也有一定差异,随着供水减少,各器官光合速率均降低,与I4处理相比,I2处理光合下降幅度均较小(差异不显著),I0处理光合下降幅度均较大,但以叶片受影响程度最重,不仅其光合“午休”明显提前,而且其“午休”后的光合回升幅度很小。总体看,各非叶器官光合对逆境的敏感性均较低于叶片。

表2 不同灌水处理下群体冠层每日累积光合量($\text{mmol CO}_2/\text{m}^2$)及不同器官每日累积光合量($\mu\text{mol CO}_2/\text{器官}$)

Table 2 Diurnal photosynthetic accumulation quantity of canopy and various organs in different irrigation treatments

群体与器官 Canopy and organs	处理 Treatments	日总光合量 Diurnal photosynthetic amount	8:00—12:00		12:00—16:00	
			光合量 Photosynthetic amount	占总光合量比例 The percent of morning to diurnal photosynthetic amount/%	光合量 Photosynthetic amount	占总光合量比例 The percent of afternoon to diurnal photosynthetic amount/%
群体 Canopy	I0	433.11(81)	256.82	59.3	176.29	40.7
	I2	570.53(106)	316.67	55.5	253.86	44.5
	I4	536.59(100)	293.18	54.6	243.41	45.4
旗叶叶片 Flag leaf blade	I0	285.06(33)	171.63	60.2	113.43	39.8
	I2	526.99(60)	300.44	57.0	226.54	43.0
	I4	876.44(100)	479.47	54.7	396.97	45.3
穗下节间 Peduncle	I0	154.42(66)	88.32	57.2	66.11	42.8
	I2	211.44(90)	112.11	53.0	99.33	47.0
	I4	234.17(100)	119.14	50.9	115.03	49.1
旗叶鞘 Flag leaf sheath	I0	181.66(62)	104.77	57.7	76.89	42.3
	I2	257.06(87)	150.87	58.7	106.19	41.3
	I4	295.02(100)	170.43	57.8	124.59	42.2
穗 Ear	I0	73.51(57)	41.20	56.0	32.31	44.0
	I2	126.32(99)	74.77	59.2	51.54	40.8
	I4	128.15(100)	66.24	51.7	61.91	48.3
非叶器官 Non-leaf organs	I0	409.60(62)	234.29	57.2	175.31	42.8
	I2	594.82(90)	337.75	56.8	257.06	43.2
	I4	657.34(100)	355.81	54.1	301.53	45.9

群体日光合累积量按每平方米土地面积计算,单位: $\text{mmol CO}_2/\text{m}^2$;器官日光合累积量按每个器官计算,单位: $\mu\text{mol CO}_2/\text{器官}$;括号中的数值为处理间相对值

对于叶片光合“午休”的机理存在不同的观点。XU^[5]研究认为,自然条件下晴天中午过饱和光强造成光抑制及光呼吸的增强,是植物光合作用效率降低的主要原因。李霞^[14]在水稻上研究发现,中午强光高温引起PS II反应中心可逆失活,影响到ATP和NADPH同化力的产生,进而发生 F_v/F_m 值下降,这可能是叶片光合速率中午降低的主要生理原因之一。但也有研究^[9]提出,非气孔限制在“午休”光合下降中所占比例远低于气孔限制,“午休”的发生与维持主要由气孔限制引起。本试验测定了不同器官的光合速率、气孔导度、 F_v/F_m 值及环境条件的日变化,对比分析发现,叶片与叶鞘光合速率日变化与气孔导度相关不明显(图5—7)。暗示,非气孔因素可能是引起器官光合“午休”的主要原因,中午强光下 F_v/F_m 降低及RUBPCase活性降低^[15]可能是重要的影响因素。在本试验中,小麦穗和穗下节间的光合活性不仅没有表现出明显的“午休”现象,反而在中午强光和高温时段光合速率达最大值,其原因或机理尚待进一步探讨。

小麦旗叶节以上器官是开花后主要光合器官^[16]。从不同器官日光合同化量看,虽然旗叶叶片日光合总量大于各非叶器官,但穗、穗下节间和叶鞘光合总量与叶片相当,特别是在严重水分亏缺(I0处理)条件下,旗叶日光合量显著下降,而各非叶器官日光合量降低较少,非叶器官总光合量超过叶片,突显出非叶器官光合耐

逆优势。考虑到穗器官在灌浆期强烈的呼吸作用^[17],本试验所测净光合值实际上低估了穗光合能力。关于小麦穗等非叶绿色器官的光合耐逆性,近年来已有较多报道^[17-21]。Morgan^[21]研究表明,穗器官比叶片具有较强的渗透调节能力,在干旱胁迫下,穗器官相对于叶片能维持较高的水势。已有研究^[18-19],小麦非叶器官(穗颖、节间和鞘)具有较高水平的 PEP 羧化酶(PEPC)活性,且在适度高温、干旱胁迫的诱导下,其酶活性明显增加,C₄代谢活性的增强对 C₃代谢活性的降低有一定的补偿作用。这是否是非叶器官光合耐逆性高于叶片的内在原因,还有待深入研究。各器官上午的光合累积量占总光合量的 51%—62%,且随着灌水次数减少而增大,说明,逆境对器官光合的影响在下午表现更为明显,上午器官光合机能与条件优于下午,对日光合量的贡献相对较大。

从群体角度分析,不同灌水处理群体光合速率、呼吸速率日变化均呈单峰曲线,并未出现午休现象,这与前人报道的结果相似^[22-23]。环境因子中光强是影响群体光合的主要因素,气温对群体呼吸的影响较大。灌浆期群体日光合累积量以春 2 水处理最高,其次为春 4 水处理,不浇水处理最低。春 2 水处理通过拔节前控水使群体叶面积相对春 4 水处理减小,群体结构改善^[13],群体呼吸减少,维持了灌浆期较高的群体日光合累积量,其产量和水分利用效率均较高。综上所述,在小麦节水栽培中,通过限制灌水、适当增加种植密度和控制单茎叶面积等措施,相对增加群体中穗、节间和鞘等非叶器官面积,不仅可稳定或增加群体日光合累积量,而且可增强群体的光合耐逆性,有利于实现抗旱节水与高产的统一。

4 结论

小麦叶与非叶绿色器官光合日变化表现不同的特点,叶片与叶鞘日光合呈双峰曲线型变化,存在不同程度“午休”,而穗和穗下节间的日光合呈单峰曲线型变化,无明显午休现象。叶片光合对水分亏缺的敏感性明显大于各非叶器官,严重水分亏缺下叶片光合速率和日光合量显著降低,而非叶器官降幅较小。群体光合日变化呈单峰曲线,轻度水分亏缺对群体光合无明显影响,严重水分亏缺对群体光合量的降低幅度也小于对叶片光合量的降低幅度。因此认为,在控制适宜叶面积基础上,适当增加群体中非叶光合面积,发挥其光合耐逆机能,有利于抗旱和节水高产。

References:

- [1] Lan L W, Zhou D X. Studies on water-saving and high-yielding of winter wheat. Beijing: China Agricultural University Press, 1995: 1-6.
- [2] Araus J L, Brown H R, Febrero A, Bort J, Serret M D. Ear photosynthesis, carbon isotope discrimination and the contribution of respiratory CO₂ to differences in grain mass in durum wheat. *Plant, Cell and Environment*, 1993, 16(4): 383-392.
- [3] Wang Z M, Wei A L, Zheng D M. Photosynthetic characteristics of non-leaf organs of winter wheat cultivars differing in ear type and their relationship with grain mass per ear. *Photosynthetica*, 2001, 39(2): 239-244.
- [4] Xu D Q. Ecology, Physiology and biochemistry of midday depression of photosynthesis. *Plant Physiology Communications*, 1990, (6): 5-10.
- [5] Xu D Q, Shen Y G. Diurnal variations in the photosynthetic efficiency in plants. *Acta Photophysiological Sinica*, 1997, 23(4): 410-416.
- [6] Xu D Q, Ding Y, Wu H. Relationship between diurnal variations of photosynthetic efficiency and midday depression of photosynthetic rate in wheat leaves under field conditions. *Acta Photophysiological Sinica*, 1992, 18(3): 279-284.
- [7] Han F S, Zhao M, Zhao S S. Study on the causes for photosynthetic decrease of wheat at the middle day (I). *Acta Agronomica Sinica*, 1984, 10(2): 137-143.
- [8] Zheng G S, Wang T. Nonstomatic limitations in midday depression of photosynthesis in winter wheat leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(5): 799-800.
- [9] Wang T, Zheng G S, Zou Q. A study on photosynthetic midday depression of wheat and mechanism under drought and well-watered conditions. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1997, 12(4): 48-51.
- [10] Zhang S Y, Wu H, Shen Z X, Zhong H M. The response of midday depression of diurnal variation of net photosynthetic rate of wheat leaves on ecological factors in the field environment of Qinghai Plateau. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1995, 15(3): 212-218.
- [11] Niu L Y, Ru Z G, Liu M J. Studies on the diurnal variation of photosynthesis of flag leaf and evaluation method of photosynthetic potentiality in winter wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2002, 22(2): 51-54.
- [12] Dong S T. Studies on the relationship between canopy apparent photosynthesis and grain yield in high-yielding winter wheat. *Acta Agronomica*

- Sinica, 1991, 17(6): 461-469.
- [13] Zhang Y P, Wang Z M, Wang P, Zhao M. Canopy photosynthetic characteristics of population of winter wheat in water-saving and high-yielding cultivation. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(10): 1143-1149.
- [14] Zhang R X, Liu X Z, Fang Z W, Xuan Y N, Yan J Y, Zheng Y F, Yang Z M. The capacity of photosynthetic assimilation of carbon after leaf expansion in wheat — an estimation of leaf source capacity(LSC). *Scientia Agricultura Sinica*, 1997, 30(1): 84-91.
- [15] Li X, Liu Y L, Jiao D M. The Relationship between diurnal variation of fluorescence parameters and characteristics of adaptation to light intensity in leaves of different rice varieties with high yield (*Oryza sativa* L.). *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(2): 145-153.
- [16] Wang T, Zheng G S, Zou Q. Changes of Ribulose 1,5-Bisphosphate carboxylase activity during midday photosynthetic depression. *Plant Physiology Communications*, 1996, 32(4): 257-260.
- [17] Evans L T, Wardlaw I F, Fischer R A. *Wheat*//Evans L T. *Crop Physiology: some case histories*. Cambridge: Cambridge University Press, 1975: 101-150.
- [18] Bort I, Brown R H, Araus J L. Refixation of respiratory CO₂ in the ears of C₃ cereals. *Journal of Experimental Botany*, 1996, 47(10): 1567-1575.
- [19] Wei A L, Wang Z M, Zhai Z X, Gong Y S. Effect of soil drought on C₄ photosynthesis enzyme activities of flag leaf and ear in wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(5): 508-512.
- [20] Xu X L, Zhang Y H, Wang Z M. Effect of heat stress during grain filling on phosphoenolpyruvate carboxylase and ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activities of various green organs in winter wheat. *Photosynthetica*, 2004, 42(3): 317-320.
- [21] Xu X L, Zhang Y H, Wang Z M. Effect of heat stress on photosynthetic characteristics of different green organs in winter wheat during grain-filling stage. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(6): 571-577.
- [22] Morgan J M. Osmotic adjustment in the spikelets and leaves of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 1980, 31(2): 655-665.
- [23] Guo T C, Wang Z J, Hu T J, Zhu Y J, Wang C Y, Wang H C, Wang Y H. 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): 632-639.
- [24] Li N N, Li H, Pei Y T, Shi Y H, Tian Q Z, Xie L J, Wang S L, Liu X, Xu F J. Effects of allocations of row-spacing on photosynthetic characteristics and yield structure of winter wheat cultivars with different spike types. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(14): 2869-2878.

参考文献:

- [1] 兰林旺, 周殿玺. 小麦节水高产研究. 北京: 中国农业大学出版社, 1995: 1-6.
- [4] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化. *植物生理学通讯*, 1990, (6): 5-10.
- [5] 许大全, 沈允钢. 植物光合作用效率的日变化. *植物生理学报*, 1997, 23(4): 410-416.
- [6] 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. *植物生理学报*, 1992, 18(3): 279-284.
- [7] 韩凤山, 赵明, 赵松山. 小麦午睡原因的研究 I. 大田生态因子与午睡的关系. *作物学报*, 1984, 10(2): 137-143.
- [8] 郑国生, 王焘. 田间冬小麦叶片光合午休过程中的非气孔限制. *应用生态学报*, 2001, 12(5): 799-800.
- [9] 王焘, 郑国生, 邹琦. 干旱与正常供水条件下小麦光合午休及其机理的研究. *华北农学报*, 1997, 12(4): 48-51.
- [10] 张树源, 武海, 沈振西, 钟海民. 青海高原小麦叶片净光合速率日变化的中午降低现象对环境生态因素的响应. *西北植物学报*, 1995, 15(3): 212-218.
- [11] 牛立元, 茹振钢, 刘明久. 小麦光合作用日变化及光合潜势评价方法研究. *麦类作物学报*, 2002, 22(2): 51-54.
- [12] 董树亭. 高产冬小麦群体光合能力与产量关系的研究. *作物学报*, 1991, 17(6): 461-469.
- [13] 张永平, 王志敏, 王璞, 赵明. 冬小麦节水高产栽培群体光合特征. *中国农业科学*, 2003, 36(10): 1143-1149.
- [14] 张荣铨, 刘晓忠, 方志伟, 宣亚南, 颜景义, 郑有飞, 杨志敏. 小麦叶片展开后光合固碳能力——叶源量的估算. *中国农业科学*, 1997, 30(1): 84-91.
- [15] 李霞, 刘友良, 焦德茂. 不同高产水稻品种叶片的荧光参数的日变化和光适应特性的关系. *作物学报*, 2002, 28(2): 145-153.
- [16] 王焘, 郑国生, 邹琦. 小麦光合午休过程中 RuBPCase 活性的变化. *植物生理学通讯*, 1996, 32(4): 257-260.
- [19] 魏爱丽, 王志敏, 翟志喜, 龚元石. 土壤干旱对小麦旗叶和穗器官 C₄ 光合酶活性的影响. *中国农业科学*, 2003, 36(5): 508-512.
- [23] 郭天财, 王之杰, 胡廷积, 朱云集, 王晨阳, 王化岑, 王永华. 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): 632-639.
- [24] 李娜娜, 李慧, 裴艳婷, 石玉华, 田奇卓, 谢连杰, 王树亮, 刘鑫, 徐凤娇. 行株距配置对不同穗型冬小麦品种光合特性及产量结构的影响. *中国农业科学*, 2010, 43(14): 2869-2878.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 5 March, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes YI Liangpeng, WANG Zuwei (1195)

Population dynamics of endophytic bacteria isolated from the roots of infected *Cymbidium faberi* YANG Na, YANG Bo (1203)

Spatial variability of forest soil total nitrogen of different soil layers ZHANG Zhenming, YU Xinxiao, WANG Yousheng, et al (1213)

Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model LUO Chong, XU Weihua, ZHOU Zhixiang, et al (1221)

Growth release determination and interpretation of Korean pine and Koyama spruce in Shengshan National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China WANG Xiaochun, ZHAO Yufang (1230)

Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals LI Weihuan, YU Lanlan, CHENG Xianhao, et al (1240)

Characters of the OMI NO₂ column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009 CHENG Miaomiao, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (1249)

The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain FU Liyong, TANG Shouzheng, LIU Yingan (1260)

Landscape responses to changes in water levels at Poyang Lake wetlands XIE Dongming, ZHENG Peng, DENG Hongbing, et al (1269)

Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsi* plantation, Rainy Area of West China TU Lihua, DAI Hongzhong, HU Tingxing, et al (1277)

Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees GENG Jian, CUI Nannan, ZHANG Jie, et al (1285)

Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang (1295)

Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seedling ZHANG Renhe, ZHENG Youjun, MA Guosheng, et al (1303)

Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, WANG Zhimin (1312)

The root system hydraulic conductivity and water use efficiency of alfalfa and sorghum under water deficit LI Wenrao, LI Xiaoli, ZHANG Suiqi, et al (1323)

Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1334)

Influence of silts on growth and development of *Acorus calamus* and *Acorus tatarinowii* in turbid water LI Qiang, ZHU Qihong, DING Wuquan, et al (1341)

Roles of earthworm in phytoremediation of pyrene contaminated soil PAN Shengwang, WEI Shiqiang, YUAN Xin, et al (1349)

Population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) along with analysis on the meteorological factors influencing the population in pomegranate orchards LIU Ling, CHEN Bin, LI Zhengyue, et al (1356)

Geophagy of *Macaca Thibetana* at Mt. Huangshan, China YIN Huabao, HAN Demin, XIE Jifeng, et al (1364)

The structure and dynamic of insect community in Zhalong Wetland MA Ling, GU Wei, DING Xinhua, et al (1371)

Analysis of layer progressive discriminant relations between the occurrence of *Bipectilus zhejiangensis* and soil DU Ruiqing, CHEN Shunli, ZHANG Zhengtian, et al (1378)

New mutations in hind wing vein of *Apis cerana cerana* (Hymenoptera: Apidae) induced by lower developmental temperature ZHOU Bingfeng, ZHU Xiangjie, LI Yue (1387)

18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class MENG Xueping, SHEN Xin, CHENG Hanliang, et al (1393)

Laboratory study on ethology of *Spinibarbus hollandi* LI Weiming, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping (1404)

Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China HE Jicheng (1412)

Approach to spatial differences analysis of urban carrying capacity: a case study of Changzhou City WANG Dan, CHEN Shuang, GAO Qun, et al (1419)

Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring CHENG Huaiwen, LI Yuwen, XU Zhongmin (1430)

Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects DAI Xiaohua, ZHU Chaodong, XU Jiasheng, et al (1440)

Review and Monograph

Progresses of free-air CO₂ enrichment (FACE) researches on C₄ crops: a review WANG Yunxia, YANG Lianxin, Remy Manderscheid, et al (1450)

Scientific Note

Influence of limestone powder doses on fine root growth of seriously damaged forests of *Pinus massoniana* in the acid rain region of Chongqing, China LI Zhiyong, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1460)

Leaf surface microstructure of *Ligustrum lucidum* and *Viburnum odoratissimum* observed by Atomic force microscopy (AFM) SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang, LIU Xiao (1471)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 5 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 5 2011

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

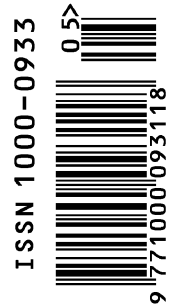
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元