

# 荒漠绿洲区不同灌溉定额对春小麦 光合特性及产量的影响

马莉<sup>1</sup>, 宋佃星<sup>1</sup>, 王全九<sup>2,3</sup>

(1. 宝鸡文理学院 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721013;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

3. 西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 为了明确荒漠绿洲区不同灌溉定额对春小麦光合特性及产量的影响, 通过田间观测试验, 分析了6种不同灌溉定额对春小麦的叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度日变化以及子粒产量的影响。结果显示, 高灌溉定额下(360、420、480 mm), 春小麦叶片净光合速率和蒸腾速率曲线的变化曲线呈单峰曲线变化, 无“午休”现象, 而低灌溉定额下(0、240、300 mm)光合速率呈双峰曲线, 有“午休”现象, 同时高灌溉定额处理下的气孔导度大于低灌溉定额处理; 土壤含水量与全生育期春小麦光合速率之间的关系式呈二次曲线关系, 当土壤含水量增加到约12%~13%时, 光合速率达到最大临界值, 而后出现下降。W4处理下的春小麦叶片净光合速率和蒸腾速率高于其它处理, 子粒产量、千粒重和水分利用效率(WUE)也最大, 是适宜该地区春小麦生长的最佳灌溉量。可见, 过度灌溉抑制了春小麦的光合速率, 导致减产。同时, 降低了春小麦的水分利用效率, 造成水资源的浪费。

**关键词:** 春小麦; 灌溉定额; 光合特性; 产量因素; 水分利用效率; 荒漠绿洲

**中图分类号:** S274.1; S512.1+2 **文献标志码:** A

## Effects of different irrigation quotas on photosynthetic characteristics and yield of spring wheat in desert oasis

MA Li<sup>1</sup>, SONG Dian-xing<sup>1</sup>, WANG Quan-jiu<sup>2,3</sup>

(1. Key lab of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating of Shaanxi Province, Baoji University of Arts and Sciences,

Baoji, Shaanxi 721013, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau,

Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Institute of Water Resources, Xi'an Technology University, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

**Abstract:** In order to define the effects of different irrigation quotas on photosynthetic characteristics and yield of spring wheat in desert oasis, through the field observation and experiment, has analyzed the effects of six different irrigation quotas on the leaf net photosynthetic rate, transpiration rate, daily change of stomatal conductivity and grain yield of spring wheat. The results showed that: Under high irrigation quotas (360 mm, 420 mm and 480 mm), the change curves of the spring wheat leaf net photosynthetic rate and transpiration rate were showed unimodal curve change, and no “noon break” phenomenon. But under the low irrigation quotas (0, 240 mm and 300 mm), the photosynthetic rate was showed bimodal curve, and existed a “lunch break” phenomenon. At the same time, the stomatal conductance by high irrigation quota treatments was greater than the low irrigation quota treatments. The relationship of soil water content on photosynthetic rate of spring wheat in whole growth period was showed the quadratic curve. The photosynthetic rate was reached the maximum critical value when the soil water content was increased to about 12% to 13%, and then it was declined. The leaf net photosynthetic rate, transpiration rate, grain yield, thousand grains weight and water use efficiency (WUE) total were the biggest under W4 treatment, it was the optimal irrigation amount for spring wheat growth in this areas. So, excessive irrigation was restrained the photosynthetic rate of spring wheat, caused the yield decreases, reduced the WUE and caused the waste of water resources.

**Keywords:** spring wheat; irrigation quota; photosynthetic characteristics; yield factor; WUE; desert oasis

收稿日期:2015-07-30

基金项目:国家自然科学基金重点项目(91025018);宝鸡文理学院重点项目(ZK15054, ZK12052)

作者简介:马莉(1982—),女,陕西延安人,讲师,博士,主要从事土壤物理和农业水土工程方面的研究。E-mail: mali4166@163.com。

光合作用是一切绿色植物进行干物质累积和产量形成的基础,也是反映农作物主要生理性状的重要指标之一。目前关于农作物的光合作用的研究主要在玉米<sup>[1-3]</sup>、大豆<sup>[4]</sup>、小麦<sup>[5-8]</sup>、高粱<sup>[9]</sup>等方面。在光合作用的形成机理、变化特征以及对作物生长的响应等方面国内外众多学者做了大量的研究,有学者认为重度水分胁迫降低了作物光合作用的潜在活力,最终导致产量的降低<sup>[10]</sup>。也有学者认为适当的水分亏缺可以提高冬小麦的利用效率<sup>[11-12]</sup>。还有学者认为施肥量的增加可以提高小麦叶绿素的含量,延长叶片功能,提高光合效率、穗重和子粒产量<sup>[13]</sup>。而针对荒漠绿洲区灌溉为主的条件下,春小麦光合作用生理生态以及对子粒产量的影响研究鲜见,因此本文选取荒漠绿洲区春小麦为研究对象,通过分析净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和土壤含水量等的变化特征,探寻不同灌溉定额对春小麦光合特性及子粒产量的影响,试图为荒漠绿洲区灌溉农业的发展提供一定的理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验布置在中国科学院临泽内陆河流域研究站(39°20'N, 100°08'E, 海拔 1 382 m),该试验站位于荒漠绿洲区,绿洲外与巴丹吉林沙漠的南缘相接,属于黑河中游,气候属干旱荒漠气候类型,干旱少雨且季节分布不均,主要集中在 7、8 月份。地带性土壤为灰棕荒漠土、沙壤土及沙土。土壤含沙量大,孔隙度大,结构松散,保水效果较差。供试春小麦品种为

“1068”,此品种具有植株较低、茎干较粗、抗倒性强、穗粒大等特点。人工播种,播前深翻,为了保证出苗,播种前灌水量均为 90 mm,播量为 140 kg·hm<sup>-2</sup>,每个试验小区施肥量相同,其中施底肥磷酸二铵 170 kg·hm<sup>-2</sup>,硝酸铵 135 kg·hm<sup>-2</sup>,拔节期追施尿素 150 kg·hm<sup>-2</sup>。

### 1.2 试验设计

试验设置 6 个不同灌水处理,分别为 W1(240 mm)、W2(300 mm)、W3(360 mm)、W4(420 mm)、W5(480 mm)、W0(0 mm,对照),其中 W3 为当地常规灌溉标准,采用畦灌的方法分别在拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期四个时期灌溉,每个处理设置 3 个重复。小区面积 4 m × 5 m = 20 m<sup>2</sup>,随机区组排列,用水表控制灌溉量,灌水定额如表 1。

### 1.3 试验项目测定及方法

在春小麦子粒形成的关键期——灌浆期进行春小麦光合日变化的测定。采用美国 LI-COR 公司生产的 Li-6400 便携式光合仪对春小麦叶片光合与蒸腾日变化进行测定。选择晴朗的天气,采用开放式气路、内置人工光源(光强为 1 300 μmol·s<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>),每个小区随机选取 3 株长势良好、上部完全展开的小麦叶片(旗叶),观测其净光合速率(*P<sub>n</sub>*)、蒸腾速率(*T<sub>r</sub>*)、气孔导度(*Cond*)等。每个叶片重复观测 3 次。观测时间为 8:00 到 18:00,每 2 h 观测 1 次。春小麦成熟时,每个小区选取 1 m<sup>2</sup> 的 2 个代表性样方,单独收割、晾晒,进行考种和测产。将晒干后的实测子粒产量按 13% 子粒含水量进行校正。

表 1 春小麦灌水实验方案

Table 1 The irrigation experimental scheme for spring wheat

处理 Treatment	阶段灌溉量 Irrigation stage/mm				灌溉总量/mm Amount for irrigation
	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Heading stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage	
W1	60	60	60	60	240
W2	75	75	75	75	300
W3	90	90	90	90	360
W4	105	105	105	105	420
W5	120	120	120	120	480
W0	0	0	0	0	0

采用 TDR 水分测定仪和烘干法相结合的方法,以 20 cm 为间隔,测定 3 m 土体内各土层的土壤含水量,并利用土壤水分平衡法计算不同处理的作物耗水量。春小麦田间总耗水量计算公式如下<sup>[14]</sup>:

$$ET = P + I + \Delta W$$

式中,*ET* 为作物耗水量(mm);*P* 为小麦生育期降水

量(mm);*I* 为小麦生育期内的灌溉量(mm); $\Delta W$  为土壤储水量(mm)。

作物水分利用效率(WUE)计算公式为:

$$WUE = Y/ET$$

式中,*WUE* 为水分利用效率(kg·hm<sup>-2</sup>·mm<sup>-1</sup>);*Y* 为子粒产量(kg·hm<sup>-2</sup>);*ET* 为作物耗水量(mm)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌溉定额下春小麦光合速率变化特征

叶片净光合速率 ( $P_n$ ) 用来反映作物利用光能产生碳水化合物的能力, 其影响因素一般包括: 叶片温度和湿度、胞间  $\text{CO}_2$  的浓度、土壤水分和养分含量等。根据图 1 所示, 高灌水处理的光合速率 ( $P_n$ ) 高于低灌水处理的。叶片光合速率 ( $P_n$ ) 的大小依次为  $W_4 > W_5 > W_3 > W_2 > W_1 > W_0$ , 其中  $W_4$  处理的光合速率 ( $P_n$ ) 最大, 在中午 12 点达到  $24.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。就曲线的变化趋势来看,  $W_3$ 、 $W_4$ 、 $W_5$  灌水处理的小麦光合速率 ( $P_n$ ) 的日变化总体趋势呈单峰曲线变化, 即从早上 8:00 随着太阳高度角的增大而变大, 在中午 12:00 左右达到全天光合最大值, 而后随着太阳高度角的减小而减小, 光合速率呈下降趋势。 $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_0$  处理的下光合速率呈双峰曲线。在中午 12:00 达到最大值后, 14:00 下降到最低值, 进入“午休”状态, 16:00 达到次一级的波峰, 最后下降到全天最低值。

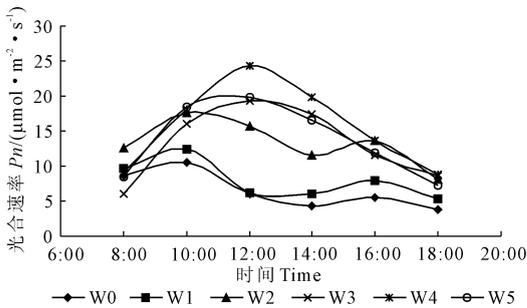


图 1 不同灌溉定额下春小麦光合速率日变化

Fig.1 The daily change of  $P_n$  of spring wheat under different irrigation quotas

### 2.2 不同灌溉定额下春小麦蒸腾速率变化特征

蒸腾作用是春小麦维持水分和营养物质传输、吸收与减弱温度变化幅度, 维持体温的重要途径。春小麦蒸腾量的大小受到叶片气孔阻力、土壤含水量和气候因子的影响。

由图 2 可知, 蒸腾速率总体上是随着灌溉量的增加而增加的。全天平均蒸腾速率的大小依次为  $W_4 > W_5 > W_3 > W_2 > W_1 > W_0$ ,  $W_4$  处理的蒸腾速率最大。在  $W_3$ 、 $W_4$ 、 $W_5$  灌水处理下, 蒸腾速率呈现了单峰曲线, 在中午的 14:00 达到最大值, 与光合速率的最大值相比出现了滞后。这与叶片温度和大气温度的最大值出现在午后 14:00 特点相一致。 $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_0$  处理下的叶片蒸腾速率呈现了双峰曲线, 第一个峰值出现在早上 10:00, 第二个峰值在下午

16:00, 这和光合速率日变化曲线特征一致。

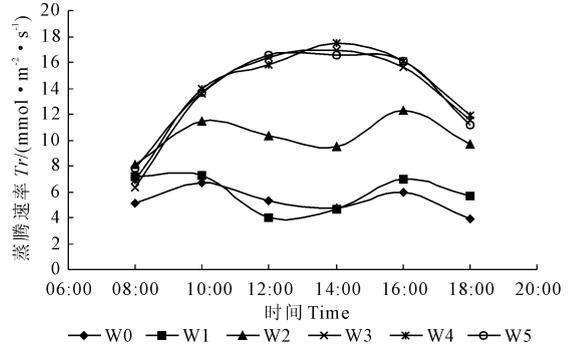


图 2 不同灌溉定额下春小麦蒸腾速率日变化

Fig.2 The daily change of  $Tr$  of spring wheat under different irrigation quotas

### 2.3 不同灌溉定额下春小麦气孔导度变化特征

气孔导度是叶片与外界大气进行水汽和  $\text{CO}_2$  交换的主要通道, 是气孔开闭程度的重要指标, 直接影响到作物蒸腾速率的大小和光合作用的强弱程度, 进而影响作物的水分利用效率 (WUE)。图 3 显示了不同灌溉处理下小麦叶片气孔导度日变化呈波动变化。 $W_1$ 、 $W_2$  和  $W_0$  处理下的小麦气孔导度日变化呈“V”字型。随着太阳高度的增加, 日照强度加强, 气孔开放, 气孔导度逐渐增大, 在早上 8:00 为最高值, 而后又随着气温和表层地温升高, 小麦叶片温度上升, 气孔随着蒸腾量的增加出现了收缩 (图 3), 从而导致了气孔导度的下降, 在 14:00 降到最低值, 此时的小麦植株体内的水汽传输受到限制, 小麦出现“午休”现象。有学者研究认为是由于较高的温度 ( $30^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ ) 导致气孔的关闭 [15]。之后, 随着光照强度的减弱和气温的下降, 气孔导度又缓慢上升。 $W_3$ 、 $W_4$  和  $W_5$  处理下的小麦气孔导度随着太阳辐射强度的增加呈先增加后减小的趋势, 从早上 8:00 上升到中午 12:00 达最大值, 而后在午后 14:00 降到

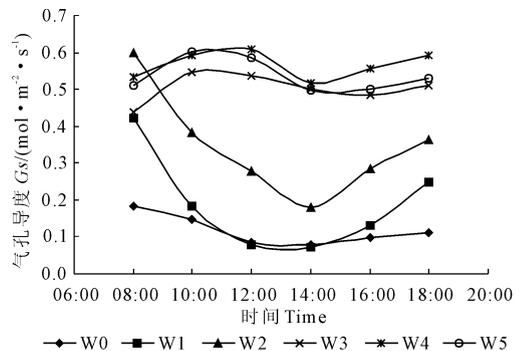


图 3 不同灌溉定额下春小麦叶气孔导度的日变化特征

Fig.3 The daily change characteristics of  $G_s$  of spring wheat under different irrigation quotas

最低值,气孔导度也下降到最小值,而后有所回升,但是总体波动幅度不大。

#### 2.4 不同灌溉定额下土壤含水量对春小麦全生育期内光合的影响

随着春小麦的生长,光合特征在各个生育期内也有所差异。实验结果显示,春小麦全生育期内光合速率( $P_n$ )大小依次为拔节期>抽穗期>灌浆期>扬花期,高灌水处理的光合速率大于低灌水和对照(W0)处理。而土壤含水量一方面随着剖面土层的加深而增大,另一方面随着灌溉定额的增加而增加。根据土壤含水量计算 W0~W5 的春小麦全生育期的耗水量分别为 246.9、456.1、507.9、556.9、593.8、640.6 mm。对不同灌溉定额下土壤含水量与光合速率之间的曲线关系进行回归分析,结果显示,土壤含水量与春小麦全生育期光合速率之间呈二次曲线关系,关系式为: $y = -771.98x^2 + 176.32x + 8.4246$ 。式中, $y$  为光合速率( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), $x$  为土壤含水量( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )。方差分析结果显示,相关系数  $R^2 = 0.73$ ,  $P < 0.001$ ,呈显著相关。可见,在一定土壤含水量范围内,春小麦的光合速率呈增加趋势,当土壤含水量增加到大约 12%~13%时,光合速率则出现了下降趋势(如图4),可见过度灌溉抑制了春小麦的光合作用。

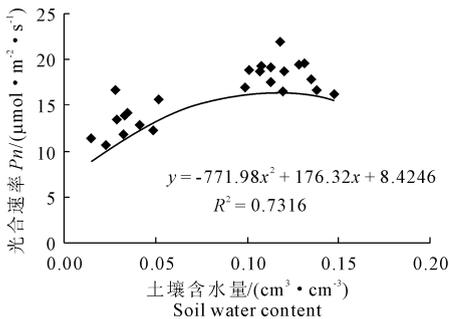


图4 光合速率与土壤含水量的曲线关系

Fig.4 The relationship between soil water content and  $P_n$

#### 2.5 不同灌溉定额下春小麦产量与水分利用效率特征

由表2可知,不同灌溉定额对春小麦的产量及其构成要素的影响也不同,2012年各灌水处理的子粒产量由高到低依次为  $W4 > W5 > W3 > W2 > W1 > W0$ 。其中  $W4$  处理下的春小麦子粒产量最大,为  $7012.46 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。千粒重由大到小依次为  $W4 > W5 > W3 > W2 > W1 > W0$ 。子粒产量和千粒重与灌溉水量之间并不是简单的线性关系,而是呈二次曲线关系,即随着灌溉量的增加呈先增加后减少的趋势,过度灌水不利于小麦子粒的形成。采用 SPSS 软件

对各灌水处理下的春小麦产量及其构成要素进行相关性分析,结果显示,  $W3$ 、 $W4$ 、 $W5$  处理下小麦子粒产量之间无显著性差异,而与  $W0$ 、 $W1$  和  $W2$  之间存在显著性差异。千粒重  $W4$ 、 $W5$  和  $W1$ 、 $W2$ 、 $W3$  处理之间差异性显著。各灌水处理下的春小麦穗数和每穗小穗个数差异不显著。春小麦的穗长也是随着灌溉量的增加而呈先增加后减小的趋势。各灌水处理中均是  $W3$  处理的春小麦的穗数最多,但产量和千粒重却是  $W4$  处理的最大,可见在穗数合理的前提下,土壤含水量适当,小穗结实数多,导致千粒重和子粒产量增加,这是春小麦获得超高产的一个重要原因。如表2所示,  $W0$  与其它处理间在子粒产量、千粒重、穗数、每穗小穗个数和穗长均差异显著。最高的耗水量和灌溉量处理下的作物水分利用效率(WUE)并不是最大,如  $W5$  处理,而  $W4$  处理的春小麦水分利用效率(WUE)大于其它水分处理,为  $11.81 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。是  $W3$  处理的春小麦的穗数最多,但产量和千粒重确是  $W4$  处理的最大,可见在穗数合理的前提下,土壤含水量适当,小穗结实数多,导致千粒重和子粒产量增加,这是春小麦获得超高产的一个重要原因。如表2所示,  $W0$  与其它处理间在子粒产量、千粒重、穗数、每穗小穗个数和穗长均差异显著。最高的耗水量和灌溉量处理下的作物水分利用效率(WUE)并不是最大,如  $W5$  处理,而  $W4$  处理的春小麦水分利用效率(WUE)大于其它水分处理,为  $11.81 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。

### 3 结论与讨论

春小麦光合作用的强弱直接影响春小麦后期干物质的累积和子粒产量。在小麦光合速率日变化特征的研究方面,一部分学者认为由于强光、高温、干旱和低湿的土壤等环境条件引起了作物气孔关闭、光暗呼吸加强,抑制了光合作用,小麦出现了“午休”现象,导致光合速率的日变化呈现双峰曲线。而另一部分学者研究结果显示小麦无“午休”现象,光合速率日变化为单峰曲线<sup>[16-17]</sup>。本研究结果显示,低灌溉定额( $W0$ 、 $W1$ 、 $W2$ )处理的光合速率呈双峰曲线,有“午休”现象,而高灌水处理下( $W3$ 、 $W4$ 、 $W5$ ),春小麦叶片净光合速率和蒸腾速率曲线的变化曲线呈单峰曲线变化,中午 12:00 时达到顶峰,无“午休”现象。可见,高灌水处理可以有效抑制春小麦的“午休”现象,这与谭念童等的研究结果一致<sup>[17]</sup>。同时高灌水处理的气孔导度大于低灌水处理,这是由于土壤含水量的增加有利于作物气孔与外界的气体交换,增强光合产物的累积<sup>[18]</sup>。春小麦生育期内光合

表 2 春小麦产量及其构成因素

Table 2 The spring wheat grain yield and its constituent elements

灌溉处理 Treatment	产量 Grain yield ( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	千粒重 1000 - grains weight/g	每穗小穗个数 Spikelet No. per spike	穗数 Spike No.	穗长 Spike length /cm	水分利用效率 WUE ( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$ )
W1	5086.40c	41.19bc	14.62a	503.33a	8.73b	9.74
W2	5973.30b	43.09bc	14.90a	507.67a	8.90b	11.15
W3	6423.02ab	46.57ab	14.90a	535.67a	8.75b	11.76
W4	7012.46b	50.90a	15.63a	528.33a	9.94a	11.53
W5	6797.12ab	49.16a	15.6a	507.67a	8.90b	11.81
W0	2404.54d	40.53c	12.03b	446.67a	6.86c	10.61

注:表中数据为 3 个灌水处理的平均值;同列数据后不同小写字母表示  $P=0.05$  水平有显著性差异。

Note: Data in table were the average value by three replications. In same column the data after marked the different lowercase letter indicated the significant difference at the  $P=0.05$  level.

速率( $P_n$ )大小依次为拔节期 > 抽穗期 > 灌浆期 > 扬花期。土壤含水量和春小麦全生育期光合速率之间呈二次曲线关系,光合速率随着土壤含水量的增加呈先增加后减小的趋势,当土壤含水量增加到大约 12% ~ 13% 时,光合速率则出现了下降趋势,而吴海卿等<sup>[19]</sup>认为土壤水分超过 64% 后,光合速率几乎为等值变化,因此过度灌溉不利于春小麦的光合作用。但从春小麦的光合速率、子粒产量及水分利用效率来看,在荒漠绿洲区 W4 处理下的叶片净光合速率和蒸腾速率高于其它处理,所形成的子粒产量、千粒重和水分利用效率(WUE)也最大。因此, W4 处理是适宜该地区春小麦水生长的最佳灌溉量。而过度灌溉(如 W5 处理)不但抑制了春小麦的光合速率,不利于小麦子粒产量的形成,而且降低了春小麦的水分利用效率,导致了水资源的浪费。因此,在绿洲灌溉农业生产中,应建立科学适当的灌溉制度,提高作物的水分利用效率。

#### 参考文献:

- [1] 王 群,李潮海,栾丽敏,等.不同质地土壤夏玉米生育后期光合特性比较研究[J].作物学报,2005,31(5):628-633.
- [2] 曹彩云,郑春莲,李科江,等.长期定位施肥对夏玉米光合特性及产量的影响研究[J].中国生态农业学报,2009,17(6):1074-1079.
- [3] Mahdi G, Seyed M M, Mohmmad B, et al. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage[J]. Agricultural Water Management, 2009,96:809-821.
- [4] 李初英,孙祖东,陈怀珠,等.不同遮光胁迫对大豆产量性状及产量的影响[J].大豆科学,2006,25(3):294-298.
- [5] Wang Z, Yin Y, He M, et al. Allocation of photosynthates and grain growth of two wheat cultivars with different potential grain growth in response to pre- and post-anthesis shading[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2003,189(5):280-285.
- [6] Li H W, Jiang D, Wollenweber B, et al. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat [J]. European Journal of Agronomy, 2010,33(4):267-275.
- [7] Mu H R, Jiang D, Wollenweber B. Long-term low radiation decreases leaf photosynthesis, photochemical efficiency and grain yield in winter wheat[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2010,196:38-47.
- [8] 赵风华,王秋凤,王建林,等.小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理[J].生态学报,2011,31(24):7526-7532.
- [9] 孙 璐,周宇飞,李丰先,等.盐胁迫对高粱幼苗光合作用和荧光特性的影响[J].中国农业科学,2012,45(16):3265-3278.
- [10] 张秋英,李发东,高克昌.水分胁迫对冬小麦光合特性及产量的影响[J].西北植物学报,2005,25(6):1184-1190.
- [11] 杨贵羽,罗远培,李保国.不同土壤水分处理对冬小麦根冠生长的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):104-109.
- [12] Rab A, Jensen H E, Mogensen V O. Dry matter production of spring wheat subjected to water stress at various growth stages[J]. Cereal Research Communication, 1984,12(1-2):19-25.
- [13] Camara M, Payne W A, Rasmussen P E. Long-term effects of tillage, nitrogen, and rainfall on winter wheat yields in the Pacific Northwest[J]. Agronomy Journal, 2003,95(4):828-835.
- [14] Guo Weihua, Li Bo, Zhang Xinshi, et al. Effects of water stress on water use efficiency and water balance components of Hippophae rhamnoides and Caragana intermedia in the soil plant atmosphere continuum[J]. Agroforest System, 2010,80(3):423-435.
- [15] 王 玲,谢德体,刘海隆.玉米叶面积指数的普适增长模型[J].西南农业大学学报(自然科学版),2004,6(3):303-311.
- [16] 赵 鸿,杨启国,邓振镛,等.半干旱雨养区小麦光合作用、蒸腾所用及水分利用效率特征[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):125-129.
- [17] 谭念童,林 琪,姜 雯,等.限量灌溉对旱地小麦旗叶光和特性日变化和产量的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(4):805-811.
- [18] 张绪成,郭天文,谭雪莲,等.氮素水平对小麦根-冠生长及水分利用效率的影响[J].西北农业学报,2008,17(3):97-102.
- [19] 吴海卿,段爱旺,杨传福.冬小麦对不同土壤水分的生理和形态响应[J].华北农学报,2000,15(1):92-96.