

冀西山区不同玉米品种苗期光合特性研究

冯伟¹ 杨军芳¹ 周晓芬¹ 焦永刚² 杜晓东³

(1. 河北省农林科学院 农业资源环境研究所 河北 石家庄 050051; 2. 河北省农林科学院 经济作物研究所, 河北 石家庄 050051; 3. 河北省农林科学院 农业信息与经济研究所 河北 石家庄 050051)

摘要: 在冀西山区旱作玉米区选取 6 个品种研究玉米苗期的光合特性, 分别测定了叶绿素含量、净光合速率 (P_n)、光强-光合响应曲线 (P_n -PAR)、蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i) 和作物水分利用率 (WUE) 等指标。结果表明, 不同品种苗期叶片叶绿素含量分为 2 组, 叶绿素含量较高的品种为邢抗 2 号、承玉 5 号、泰玉 2 号、鲁单 981, 含量较低的品种为浚单 20、郑单 958。其中, 组内品种叶绿素含量差异不显著, 组间品种叶绿素含量差异达显著水平。在 $(2\ 526 \pm 23)\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的自然光范围内, 承玉 5 号的 P_n 分别比浚单 20 和郑单 958 高 8.5% 和 8.4%, 但不同品种间 P_n 差异不显著。不同品种的 P_n 、 Tr 、 G_s 和 WUE 随光量子通量密度 ($PPFD$) 的增加呈交错递增趋势, 彼此间呈正相关关系。不同品种的 C_i 随 $PPFD$ 的增加呈交错下降趋势。当 $PPFD$ 为 $2\ 317\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 各品种的 P_n 、 Tr 、 G_s 、 C_i 和 WUE 的排列顺序不完全一致。

关键词: 山区; 旱地玉米; 苗期; 光和特性

中图分类号: S513.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)增刊-0122-05

Study on Photosynthetic Characteristics of the Seedling Stage of Different Maize Hybrids in West Mountainous Regions of Hebei Province

FENG Wei¹, YANG Jun-fang¹, ZHOU Xiao-fen¹, JIAO Yong-gang², DU Xiao-dong³

(1. Institute of Agro-resources and Environment, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 2. Institute of Economic Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 3. Institute of Agricultural Information and Economy, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: Photosynthetic test of the seedling stage of maize selected six different maize varieties studied in west mountainous regions of Hebei Province. The paper explored their relationships by measuring the chlorophyll content, net photosynthetic rate (P_n), response curve of light intensity and photosynthesis (P_n -PAR), transpiration rate (Tr), stomatal conductance (G_s), intercellular CO_2 concentration (C_i) and crop water use efficiency (WUE). The results showed that the chlorophyll contents of seeding leaf of the different varieties were divided into two groups. One group that the chlorophyll contents of the varieties were higher was Xingkang 2, Chengyu 5, Taiyu 2 and Ludan 981, the other was Jundan 20 and Zhengdan 958. The chlorophyll contents in group were not significant and the chlorophyll contents between groups were a significant level. When natural light range was $(2\ 526 \pm 23)\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, P_n of Chengyu 5 is 8.5% and 8.4% higher than that of Jundan 20 and Zhengdan 958 respectively, but P_n differences did not significant between different species. With photosynthetic photon flux density ($PPFD$) increased, P_n , Tr , G_s and WUE of different maize varieties were the alternate increasing trend, and they were a positive relationship between each other. C_i of different maize varieties were the alternate downward trend with $PPFD$ increased. When $PPFD$ was $2\ 317\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, P_n , Tr , G_s , C_i and WUE of different maize varieties does not completely consistent.

Key words: Mountainous region; Dryland maize; Seedling stage; Photosynthetic characteristics

收稿日期: 2012-09-20

基金项目: 河北省科技厅项目(11231005D-1)

作者简介: 冯伟(1977-), 男, 河北井陉人, 助理研究员, 硕士, 主要从事植物营养等方面的研究。

通讯作者: 杨军芳(1975-), 男, 河北灵寿人, 副研究员, 主要从事土壤与植物营养研究。

玉米作为我国的三大作物之一,因工业和养殖业等方面需求的增加而备受关注。同时,全球气候变暖和水资源的日益匮乏,干旱又成了制约玉米发展的瓶颈之一。河北冀中南平原以西太行山浅山区一带的保定、石家庄、邢台、邯郸的 19 个县市(包括满城、唐县、顺平、曲阳、平山、井陉、灵寿、行唐、赞皇、元氏、鹿泉、临城、内丘、邢台、沙河、永年、邯郸、武安、磁县),目前玉米种植面积达 32.3 万 hm^2 ^[1],其中丘陵和浅山区都占有较大面积。受地形、地势、气候等自然因素影响以及多年来科技投入和新技术研发方面不足,玉米产量一直徘徊不前。光合作用是植物将太阳能转换为化学能的过程,是植物生产力的最主要因素^[2-4],而光合能力的强弱在相当程度上取决于物种的遗传特性^[5],本研究选取了 6 个不同的玉米品种进行冀西山区旱作玉米试验,通过该区域玉米苗期光合特性的变化,探讨不同品种间的光合特性关系,为进一步提高玉米的光合效率和抗旱、高产提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验区概况与试验设计

试验位于河北省井陉县上安东村。该地属于暖温带、半干旱、半湿润、大陆性季风气候,年平均气温 13.5℃,年日照时数为 2 375.6 h,年平均积温 4 700 ~

4 900℃,年平均降雨量 500 ~ 600 mm(表 1),无霜期 191 d。地形为山区,土壤为石灰性褐土,有机质含量 24.2 g/kg,碱解氮 86.10 mg/kg,速效磷 11.97 mg/kg,速效钾 171.00 mg/kg。前茬作物为玉米。气候光照充足、雨热同季,满足玉米种植的需求。最近几年,由于缺水,耕作制度由一年两熟变成了一年一熟;同时试验区域常年春旱严重,当地农民玉米种植仍以夏播为主,一般在 6 月中上旬雨后播种。

试验设 6 个处理:处理 1,浚单 20;处理 2,邢抗 2 号;处理 3,承玉 5 号;处理 4,郑单 958;处理 5,泰玉 2 号;处理 6,鲁单 981。3 次重复,小区面积 20 m^2 ,随机区组排列。试验于 2011 年 6 月 18 日播种,2011 年 10 月 7 日收获。肥料品种为尿素,过磷酸钙和硫酸钾,施用量分别为纯 N 260 kg/hm^2 , P_2O_5 72 kg/hm^2 , K_2O 90 kg/hm^2 ,1/3 尿素和全部磷、钾肥底施,2/3 尿素大喇叭口期穴施追肥。耕作方式为深翻少耕,秸秆还田。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶绿素的测定 采用浙江托普仪器有限公司的 TYS-A 型叶绿素测定仪测定,每个小区测定 30 组数据,取平均值。测定时间为 2012 年 7 月 10 日上午 9:30 - 10:30。测定部位为顶部完全展开的第一片功能叶中部。

表 1 2011 年井陉县各月降水量

Tab. 1 The precipitation of different month in Jingxing in 2011

月份 Months	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
降水量 Rainfall	0.2	11.8	0.9	8.2	38.9	51.5	148.5	115.6	97.2	23.3	44.8	1.9

1.2.2 净光合速率(P_n)和光强-光合响应曲线(P_n -PAR)的测定 光合特性采用叶片连体方式测定,测试仪器为 TPS-2 便携式光合仪,叶室面积 2.5 cm^2 ,气体流速为 300 mL/min 。苗期测定部位为顶部完全展开的第一片功能叶中部,分别对各小区 3 株玉米进行光合强度和光强-光合响应曲线的测定,每次测定重复记录 3 组数据,结果取平均值。主要测定指标有蒸腾速率(Transpiration rate, T_r)、气孔导度(Stomatal conductance, G_s)、净光合速率(Net photosynthetic rate, P_n)和胞间 CO_2 浓度(Intercellular CO_2 concentration, C_i),并计算水分利用效率(Water use efficiency, $WUE = P_n/T_r$)。

净光合速率(P_n)测定:选择晴朗无风的天气。测定时间:苗期为 2011 年 7 月 10 日上午 9:30 - 10:30。叶室温度 31℃。光源类型均为自然光。

光强-光合响应曲线(P_n -PAR)测定:在上午 8:30 - 11:30,下午 2:00 - 5:00 分别对苗期(2011

年 7 月 6 - 7 日)进行测定。叶室温度(29 ± 1)℃,叶片温度(28 ± 1)℃,光源类型均为 LED 光源,通过设定一系列光合光通量密度(Photosynthetic photo flux density, PPFD)梯度,测定光强分别为 0, 59, 132, 220, 293, 381, 543, 858, 1 833, 2 317 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时叶片的光合速率(Photosynthetic rates, P),绘制光强-光合响应曲线。

1.2.3 数据分析 采用 DPS 和 Excel 软件进行数据的分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种间叶绿素含量的差异

叶片的叶绿素含量是反映叶片生理活性的重要指标之一,与叶片光合机能大小具有密切关系^[6],其含量的多少影响着叶片对光能的吸收和转换^[7-8],是光合作用中最重要的色素分子^[9]。从图 1 中来看,苗期不同品种间叶绿素含量分为 2 组,一

组为邢抗2号、承玉5号、泰玉2号和鲁单981,另一组为浚单20和郑单958。各组组内差异不明显,组间差异达显著水平。其中,承玉5号叶绿素含量最高为22.7 mg/g,分别比含量较低的浚单20和郑单958高21.4%和19.5%,差异达极显著水平。

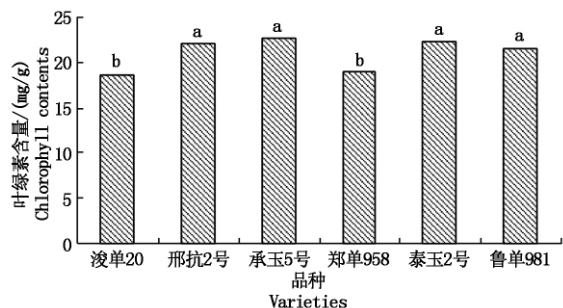


图1 不同品种的叶绿素含量

Fig. 1 Chlorophyll contents of different varieties

2.2 不同品种间净光合速率的变化

光合速率是光合作用中一个描述光合机构功能状况的指标^[10]。净光合速率(P_n)是研究植物光合作用状况的最重要指标,在植物生理生态领域得到了广泛应用^[11]。图2是在光强为(2526 ± 23) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的自然光范围内,测定的不同品种的净光合速率。结果显示,不同品种间净光合速率差异均没有达到显著水平,但净光合速率的变化与图1中叶绿素含量的趋势基本相似,即叶绿素含量高的一组,其净光合速率值也高;排列顺序上,叶绿素含量由高到低为:承玉5号>泰玉2号>邢抗2号>鲁单981,净光合速率的排序则为:承玉5号>鲁单981>邢抗2号>泰玉2号。另一组叶绿素含量顺序与净光合速率的顺序一致。试验结果与刘克礼(春玉米)^[8]、刘贞琦(水稻)^[12]、魏书奎(核桃)^[13]、张秋英(冬小麦)^[14]等的研究结果基本一致,即叶绿素的多寡对光合速率的高低有直接影响^[15]。

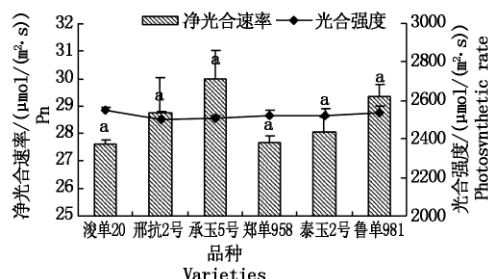


图2 不同品种净光合速率的变化

Fig. 2 The change of Net photosynthetic rate (P_n) in different varieties

2.3 不同光量子同量密度时旱地夏玉米光合特性的变化

光强-光响应曲线(P_n -PAR)反映了植物光合速率随光照强度增减的变化规律,植物叶片光合作用

对光的响应曲线是研究光合作用特性的最主要内容之一^[16]。图3表明,不同玉米品种在10个不同PPFD时的净光合速率趋势基本一致。由于玉米的光饱和点较高,在PPFD为2317 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时仍未达到其光饱和点。在高PPFD时,不同品种的净光合速率为:邢抗2号>承玉5号>泰玉2号>鲁单981>浚单20>郑单958,其顺序与叶绿素和净光合速率的趋势基本一致,这说明,玉米幼苗叶片叶绿素含量和净光合速率以及光合-光响应曲线之间呈正相关关系。

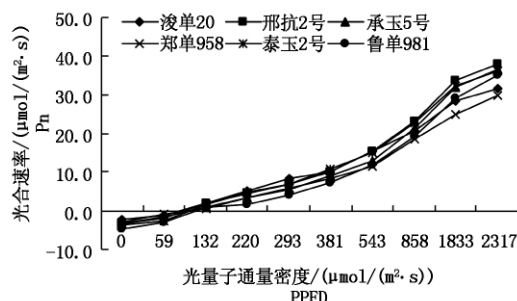


图3 不同品种的光强-光合响应曲线

Fig. 3 Response curve of light intensity and photosynthesis (P_n -PAR) of different varieties

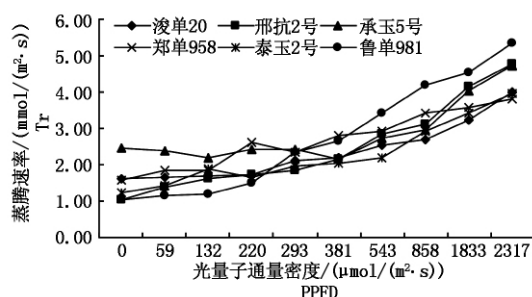


图4 不同品种的蒸腾速率

Fig. 4 Transpiration rate (T_r) of different varieties

蒸腾作用是水分以气体状态通过植物体的表面从体内扩散到大气中的过程,具有促进水分、矿物质、有机物运输,降低叶片的温度,有利于气体交换等作用。蒸腾速率(T_r)指植物在一定时间内单位叶面积蒸腾的水量,其快慢受植物形态结构和多种外界因素的综合影响^[6,17]。气孔导度(G_s)是植物遭受环境胁迫的敏感指标之一,可用于预测植物遭受水、热等环境胁迫的程度^[18-19]。从图4、5来看, T_r 和 G_s 之间为正相关关系。不同品种随着PPFD的增加, T_r 和 G_s 均呈现递增的趋势,但品种间 T_r 与 G_s 的递增不是一一对应的递增关系。在图4中,不同品种间 T_r 随着PPFD的增加是交错递增的,图5中 G_s 的情况也相同;在最高PPFD时, T_r 的顺序为:鲁单981>邢抗2号>承玉5号>浚单20>泰玉2号>郑单958,而 G_s 的排列顺序为:邢抗2号>浚单20>泰玉2号>承玉5号>鲁单981>郑单958。

结合图3 P_n 的排序及仪器记录的测定时间、叶室温度和叶片温度来看,测定单叶光合特性时,上午测定的数值要稍高于下午测定的数值,尤其是下午5:00左右测定的郑单958,假如上午测定可能数值要更高些。

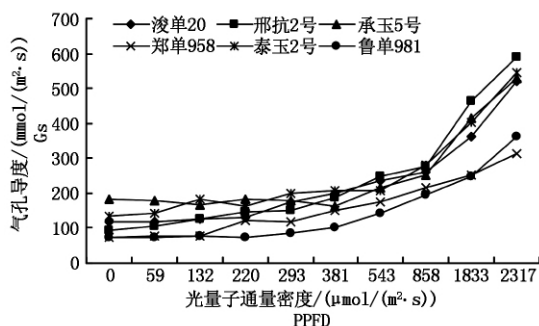


图5 不同品种的气孔导度

Fig. 5 Stomatal conductance (G_s) of different varieties

胞间 CO_2 浓度 (C_i) 是光合生理生态研究中经常用到的一个参数,特别是在光合作用的气孔限制分析中, C_i 的变化方向是确定光合速率变化的主要原因和是否为气孔因素的必不可少的判断依据^[20]。实际上, C_i 的大小取决于4个可能变化的因素: 叶片周围空气的 CO_2 浓度、气孔导度、叶肉导度和叶肉细胞的光合活性^[21]。在研究实践中, C_i 和 P_n 之间有3种关系: 负相关、正相关和无相关。本试验结果(图6) C_i 和 P_n 之间为负相关关系。随着 PPFD 的不断增大, P_n 也随着增加,但 C_i 则相应地递减。这说明 P_n 随光强增加而增高主要是叶肉细胞的光合活性增大的结果,而不是 C_i 降低的结果。在 PPFD 由 $1833 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 转变到 $2317 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, C_i 有一个比较明显的增加趋势,这可能是因为 C_i 和 G_s 共同作用的结果。

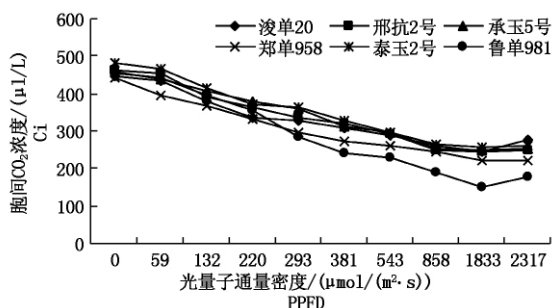


图6 不同品种的胞间 CO_2 浓度

Fig. 6 Intercellular CO_2 concentration (C_i) of different varieties

作物水分利用率 (WUE) 是指一定时间内单位面积的干物质与同期该面积水分消耗量之比,综合反映作物对土壤水分的利用程度,即每毫克水生产多少干物质^[22]。本研究玉米叶片水分利用效率采用光合速率与蒸腾速率之比来表示^[23-24]。从图7

可以看出,苗期玉米的 WUE 随 PPFD 的增加而增加,与 P_n 、 Tr 、 G_s 的趋势相同。在 PPFD 由 $1833 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 升到 $2317 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,除郑单958和鲁单981外,其余各品种均略有降低,这可能是因为 PPFD 在一定范围时, P_n 增加趋势变缓,而 Tr 相对增加量较大的缘故。

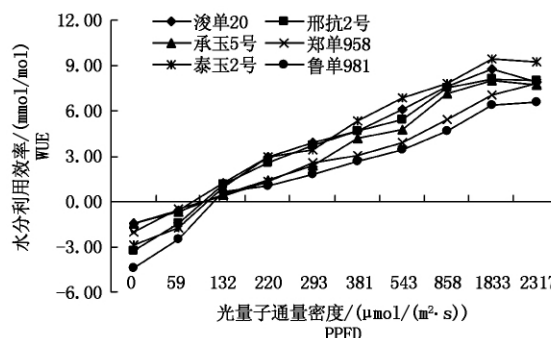


图7 不同品种的水分利用效率

Fig. 7 Water use efficiency (WUE) of different varieties

3 结论

不同品种苗期叶片叶绿素含量分为2组,叶绿素含量较高的品种为邢抗2号、承玉5号、泰玉2号、鲁单981,含量较低的品种为浚单20、郑单958。其中,组内品种叶绿素含量差异不显著,组间品种叶绿素含量差异达显著水平。

在 $(2526 \pm 23) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的自然光范围内,不同品种间净光合速率 (P_n) 有差异,但差异不显著。其中, P_n 最大的承玉5号分别比最小的浚单20和郑单958高8.5%和8.4%。

P_n -PAR 响应图中,不同品种的 P_n 随光量子通量密度 (PPFD) 的增加呈交错递增趋势。在 PPFD 为 $2317 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, P_n 依次排序为邢抗2号 > 承玉5号 > 泰玉2号 > 鲁单981 > 浚单20 > 郑单958,其顺序与叶绿素含量的趋势基本一致。

不同品种间蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 (G_s) 和作物水分利用率 (WUE) 的递增趋势与 P_n -PAR 曲线图基本相似;当 PPFD 为 $2317 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,各品种的依次排序不同。其中, Tr 顺序为: 鲁单981 > 邢抗2号 > 承玉5号 > 浚单20 > 泰玉2号 > 郑单958; G_s 顺序为: 邢抗2号 > 浚单20 > 泰玉2号 > 承玉5号 > 鲁单981 > 郑单958; WUE 顺序为: 泰玉2号 > 邢抗2号 > 浚单20 > 郑单958 > 承玉5号 > 鲁单981。

随着 PPFD 的增加,不同品种的胞间 CO_2 浓度 (C_i) 呈逐步交错下降趋势。当 PPFD 为 $2317 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, C_i 的顺序为: 浚单20 > 泰玉2号 > 承玉5号 > 邢抗2号 > 郑单958 > 鲁单981。

参考文献:

- [1] 河北省统计局, 河北省人民政府办公厅. 河北农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [2] 苗玲, 李向民, 史沉鱼, 等. 矿质元素比对红富士苹果树光合特性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(07): 171-175.
- [3] 张晓红, 李玉华, 王慧新, 崔瑞, 陆岩, 蔡立夫, 吴丹. 风沙半干旱区地膜覆盖技术对花生产量与光合特性的影响[J]. 河北农业科学, 2009, 13(4): 4-5, 10.
- [4] 张士昌, 郭进考, 底瑞耀, 等. 不同水分条件下不同抗旱基因型小麦的产量及旗叶光合特性比较[J]. 河北农业科学, 2009, 13(8): 4-6.
- [5] Huang Z Y, Dong X J, Jiang G M, et al. Primary studies on the daily dynamic changes of photo-synthesis and transpiration of *Salix psammophila* [J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2002, 22(4): 817-823.
- [6] 鲍巨松. 玉米叶片生理研究[J]. 农牧情报研究, 1981: 7-11.
- [7] 沈业杰, 尹光华, 佟娜, 等. 玉米抗旱相关生理生化指标研究及品种筛选[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(4): 176-180.
- [8] 刘克礼, 盛晋华. 春玉米叶片叶绿素含量与光合速率的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1998, 19(2): 48-51.
- [9] 李磊, 李向义, 林丽莎, 等. 塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应[J]. 生态学报, 2012, 32(2): 0578-0587.
- [10] 赵大芹, 贺超兴, 陶莲, 等. 有机土栽培对大白菜产量和品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2008, 3: 53-55.
- [11] 钱莲文, 张新时, 郭建宏, 等. 半常绿-常绿杨树 3 个无性系光合特性研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2008, 44(4): 424-428.
- [12] 刘贞琦, 刘振业, 马达鹏, 等. 水稻叶绿素含量及其与光合速率关系的研究[J]. 作物学报, 1984, 10(1): 57-62.
- [13] 魏书奎, 于继洲, 宣有林, 等. 核桃叶片的叶绿素含量与光合速率关系的研究[J]. 北京农业科学, 1994, 12(5): 31-33.
- [14] 张秋英, 李发东, 刘孟雨. 冬小麦叶片叶绿素含量及光合速率变化规律的研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 95-98.
- [15] 刘振业. 光合作用的遗传与育种[M]. 贵州: 贵州人民出版社, 1984.
- [16] 谭念童, 林琪, 李玲燕, 等. 限量补灌对旱地冬小麦灌浆期旗叶光响应及产量的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(4): 145-151.
- [17] 李东方, 张胜利, 吴大付. 金银花叶片净光合速率日变化影响因子研究[J]. 山西农业科学, 2009, 37(12): 14-17.
- [18] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33: 241-244.
- [19] 罗青红, 胡杨, 灰叶胡杨对水分胁迫的光合生理响应[D]. 石河子: 石河子大学, 2006.
- [20] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. *Annu Rev Plant Physiol*, 1982, 33: 317-345.
- [21] 陈根云, 陈娟, 许大全. 关于净光合速率和胞间 CO₂ 浓度关系的思考[J]. 植物生理学通讯, 2010, 46(1): 64-66.
- [22] 王静. 玉米带状种植田间结构与其光合及蒸腾作用关系的研究[J]. 中国农村小康科技, 2009, 2: 38-42.
- [23] Kramer P J, Kozlowski T T. *Physiology of woody plants* [M]. London: Academic Press, 1979.
- [24] 刘芝芹, 涂璟. 干旱地区植物水分利用效率研究进展[J]. 湖北林业科技, 2010, 3: 36-39.