

不同宽窄行种植方式下玉米穗位叶的光合生理特征

刘铁东^{1,2}, 宋凤斌³

(1. 福建农林大学 作物科学学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学 农业生态研究所, 福建 福州 350002; 3. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012)

摘要: 种植方式是影响玉米光合生理特征的重要因素。在大田条件下, 以玉米品种北育 288 和先玉 335 为研究材料, 分析了 3 种不同种植方式 (P1, 宽窄行 170 cm + 30 cm; P2, 宽窄行 90 cm + 40 cm; CK, 匀垄 65 cm) 对玉米穗位叶叶片的 SPAD 值、叶绿素荧光动力学、净光合速率的影响。结果表明, 不同种植方式中, 2 种不同基因型玉米穗位叶叶片 SPAD 值间存在差异, 宽窄行种植方式表现出明显优势; 叶绿素荧光参数 F_o 在 P1 和 P2 中均大于 CK; F_m 和 F_v/F_m 在关键的生育时期差异显著, 表现为宽窄行 P1 和 P2 大于 CK; 3 种模式中, P1 和 P2 中净光合速率显著高于 CK。结果表明, 相对于传统种植方式, 宽窄行种植方式对提高作物生产能力和干物质积累有促进作用。

关键词: 玉米; 宽窄行种植方式; 光合特性; 穗位叶

中图分类号: S513.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2014)01-0117-05

The Comparison of Photosynthetic Characters on Ear Leaf under Different Wide-narrow Planting Patterns in Maize

LIU Tie-dong^{1,2}, SONG Feng-bin³

(1. College of Crop Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Institute of Agroecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China)

Abstract: Planting pattern affect photosynthetic characteristics of maize. In this paper, we study the effects of planting patterns on the photosynthetic characteristics of two maize cultivars (Beiyu 288 and Xianyu 335) in two planting patterns narrow-wide rows of P1, 170 cm + 30 cm (6.4 plants/m²); P2, 90 cm + 40 cm (6.4 plants/m²), and CK, uniform row of 65 cm (6.4 plant/m²). The SPAD value of leaves, chlorophyll fluorescence and photosynthetic parameters were compared at ear leaf in this experiment. The significant difference of leaf SPAD value among measured was detect, wide and narrow row planting pattern show a certain degree of superiority. Among three different planting, ear leaf chlorophyll fluorescence parameters were quiet differences in F_o ; F_m and F_v/F_m at a critical growth stages were significantly different, and net photosynthetic rate of leaf in P1 and P2 was significantly higher than CK, experimental results show that compared with traditional cultivation methods, wide and narrow row planting patterns had promoted photosynthetic characteristics.

Key words: Maize (*Zea mays* L.); Wide-narrow row planting pattern; Photosynthetic characters; Ear leaf

行栽作物的光合特性受冠层结构调节^[1], 而种植方式是影响冠层结构的重要手段。传统农艺学措施通过调整冠层结构即对枝、叶的形状、大小、朝向等进行调整来改善光截获效率^[2], 以达到作物增产的目的。不同的种植方式通过调整作物栽培行向、间距配比、密度等, 形成了不同的冠层结构^[3], 继而

影响作物的叶片发育^[4]、消光系数^[5]等特性。Bowers 等^[6]研究认为, 通过改变植株在田间的分布, 促进冠层内光合有效辐射均匀分布的做法可以提高产量。董钻等^[7]认为, 行距和密度影响小麦的群体结构、光能利用和净初级生产。同时种植密度决定了群体的大小, 而行距配置决定群体的均匀性。品种

收稿日期: 2013-09-11

基金项目: 中国科学院重大知识创新项目 (KSCX2-YW-N-077)

作者简介: 刘铁东 (1981-), 男, 吉林公主岭人, 讲师, 博士, 主要从事作物生理生态学研究。

通讯作者: 宋凤斌 (1963-), 男, 吉林前郭人, 研究员, 博士生导师, 主要从事作物生理生态学研究。

和作物群落对不同行距的反应会影响产量^[8]。

SPAD 近年来被广泛地应用于作物生产。其通过光学原理测定叶片的叶绿素含量,而叶片的叶绿素含量和叶片含氮量以及胁迫状况间有很强的关系。植物叶片的 SPAD 值受个体年龄、部位^[9]、叶片生长发育^[10]、季节、栽培模式^[11]等多方面因素的影响。因此,农业上广泛通过叶片叶绿素测定值间接地预测作物叶片氮素状况。应用 SPAD 对水稻^[12]、玉米^[9]、高粱^[13]、棉花^[14]、油菜^[15]、马铃薯^[16]等作物进行作物养分检测已有大量报道,长期定位框栽试验的结果表明,水稻不同生育时期 SPAD 值与叶绿素含量的相关系数达到了极显著水平^[17]。邬飞波等^[18]应用叶绿素计诊断短季棉的氮素营养,王娟等^[19]研究了不同生育时期棉花 SPAD 和氮素关系,结果表明,不同生育时期功能叶叶绿素含量、全氮含量及施氮水平呈极显著线性相关。

有研究表明,叶绿素荧光可以作为天然探针,用于探究植物光合作用和热耗散的情况。Hymus 等^[20]监测了针叶植物火炬松叶片每天的有效量子产额和电子传递速率等参数,发现在冬天低温条件下火炬松叶片电子传递速率明显受到抑制,与光合作用效率同步下降。Murchie 等^[21]监测了 2 种不同水稻一天内不同时期的 PS II 光化学有效量子产额和电子传递速率,表明 2 种水稻对光的响应时间不同,为育种和提高农作物产量提供了有利的证据。Patrick 等^[22]利用 PS II 有效量子产额和电子传递速率等参数研究并培育了耐水涝的玉米(*Zea mays* L.)新品种。很多研究也成功地报道了用叶绿素荧光参数表征大田及温室作物的光合特性^[23-25]。

本试验结合超大垄 30 cm + 170 cm 模式,宽窄行 40 cm + 90 cm 模式,与东北地区传统的常规 65 cm 匀垄模式进行对比,以先玉 335 和北育 288 为对象,探讨了在不同种植模式下玉米叶片叶绿素荧光和 SPAD 值以及光合速率的变化特征,旨在采用新栽培模式,为进一步提高玉米光能利用率和高产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 田间设计

试验在吉林省德惠市晨光村进行。当地土壤类型为黑质壤土,施用复合肥(N:P:K=2:1:1)900 kg/hm²,播种时施肥 500 kg/hm²,后期追肥 400 kg/hm²。试验采用大区(单区≥667 m²)对比,2 个品种,3 种植模式耦合。2 个基因型品种分别为北育 288 和先玉 335。种植模式为宽窄行 P1(170,30 cm)垄向为

南—南西 15–20 度;宽窄行 P2(90,40 cm)南北垄向;和常规模式 CK(匀垄 65 cm),南北垄向;密度均为 6.4 株/m²。宽窄行播种日期为 2010 和 2011 年 5 月初,采用机播,9 月末 10 月初收获。

1.2 SPAD 值测定

随机取样,5 次重复,测定穗位叶叶片的叶绿素相对含量,测量时间为生育期中关键时期的晴天,测量时段选在 10:00–12:00。使用 SPAD-502 叶绿素计(日本美能达公司制造)读取每片叶中间部位的叶片 SPAD 值。取所有测量植株穗位叶叶片的平均值作为该处理的 SPAD 值。

1.3 叶绿素荧光的测定

随机取样,3 次重复,对穗位叶叶片中部进行叶绿素荧光的测定。测量日期同 SPAD,每次测定时均选择晴朗无风的天气,在上午的 9:00–11:00 进行测定。测定前先用暗处理夹夹住样品叶片中部暗适应 20 min,用美国 Opti-Science 公司生产的 Os-30 型便携式叶绿素荧光仪测定叶绿素荧光诱导动力学参数,包括初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、光系统 II 的原初光能转化效率(F_v/F_m)。

1.4 净光合速率的测定

随机取样,5 次重复,以穗位叶作为测定叶片。测量日期同 SPAD。测量时选择晴朗无风的天气,在上午 10:00–14:00 进行测定。设备为美国 Li-cor 公司生产的 Li-6400 便携式光合作用测定系统,选用红蓝光源,PPFD 设为 2 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

1.5 数据分析与作图

标准误差用 EXCEL 计算,数据用 SPSS 13.0 软件分析最小显著性差异(LSD, $P < 0.05$),用 Origin 7.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同宽窄行种植方式下 SPAD 的变化

SPAD 值是一个相对叶绿素含量读数,也称绿色度。利用 SPAD 值来代表作物叶绿素的含量,已在多种作物上得到应用。图 1 显示了在冠层闭合之后,穗位叶 SPAD 值的变化情况。结果表明,在北育 288 的 3 种植模式中,SPAD 值在整个生育期中呈单峰曲线变化,其中 P2 显著大于 CK(LSD, $P < 0.05$),P1 与 P2、CK 间均无显著差异(LSD, $P < 0.05$)。3 种植模式中的最高值均出现在抽丝期。先玉 335 的 3 种植模式中,呈现同样的变化趋势,但 P2 的 SPAD 值显著高于 P1 和 CK(LSD, $P < 0.05$),而 P1 和 CK 间并没有明显的差异。

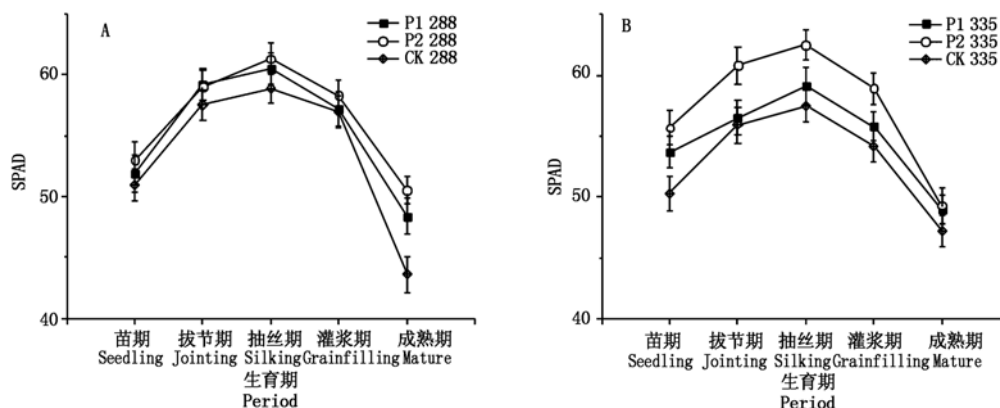


图1 三种模式中,2个基因型玉米北育288(A)和先玉335(B)叶片生育期SPAD的变化

Fig. 1 The depict of SPAD of two cultivar maize Beiyu 288 (A) and Xianyu 335 (B) under three planting patterns

2.2 不同宽窄行种植方式下叶绿素荧光的变化

初始荧光(F_o)是指反应中心未能发生光化学反应时的叶绿素荧光。与SPAD相似,图2表示3种模式中2种基因型玉米叶片的初始荧光同样表现为单峰曲线的变化趋势。在2个玉米品种中, F_o 的

值均为苗期最低,之后随着生育进程不断升高,在灌浆期达到最高,成熟期时开始下降。在生育期的不同阶段, F_o 均表现出 $P2 > P1 > CK$,其中P2均显著大于CK,但P1与其他2种模式间差异性并不显著(LSD, $P < 0.05$)。

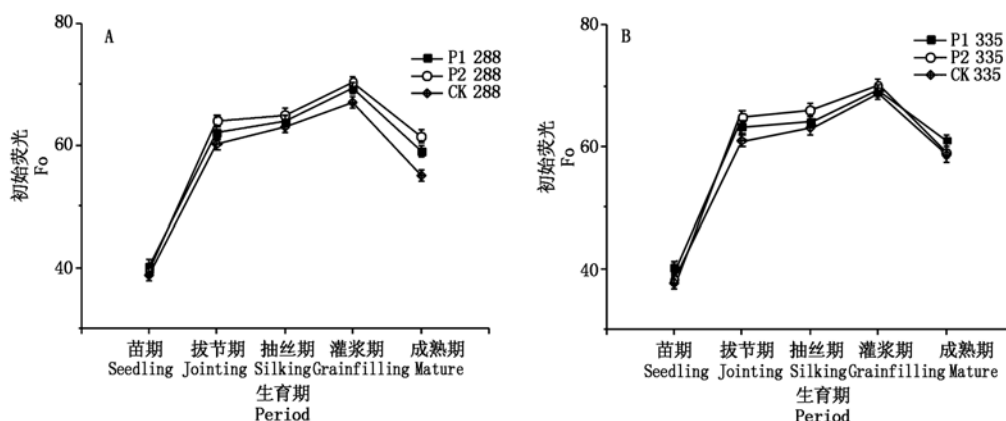


图2 不同种植方式中玉米北育288(A)和先玉335(B)叶片初始荧光的变化

Fig. 2 The depict of F_o of two cultivar maize Beiyu 288 (A) and Xianyu 335 (B) under three planting patterns

最大荧光(F_m)反应了PS II的电子传递情况。从图3可以看出,3种模式中,北育288和先玉335叶片的最大荧光均随生育进程的推进呈现出先升高后降低的趋势。与SPAD相似,P2和CK中,苗期

F_m 值最低,抽丝期最高。整个生育期中,CK中的 F_m 显著低于其他2种模式的 F_m (LSD, $P < 0.05$),而P1和P2间并没有显著的差异(LSD, $P < 0.05$)。两品种间均观察到相似的结果。

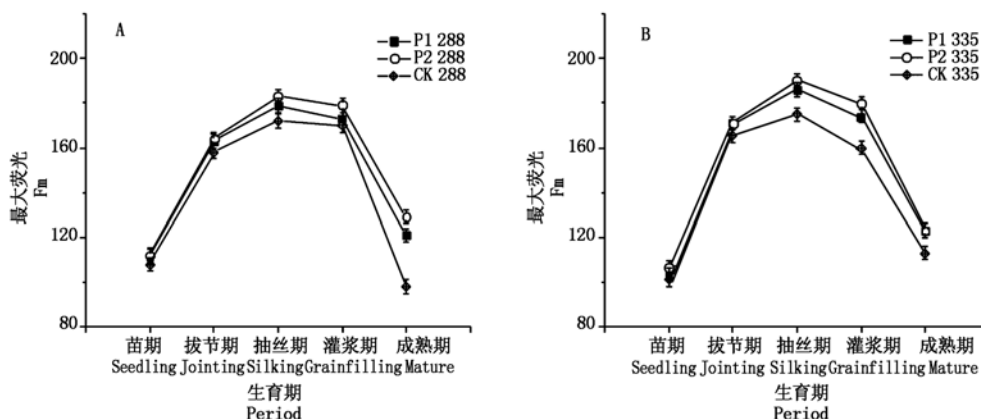


图3 不同种植方式中玉米北育288(A)和先玉335(B)叶片最大荧光的变化

Fig. 3 The depict of F_m of two cultivar maize Beiyu 288 (A) and Xianyu 335 (B) under three planting patterns

PS II 最大光化学效率 (F_v/F_m) 是表征作物光抑制和胁迫程度的良好指标和探针。除 P1 模式中的北育 288 以外,其他模式中玉米的 F_v/F_m 在生育期内均呈现先平稳升高后降低的趋势(图 4)。在北育 288 的 3 种模式中,P2 中的 F_v/F_m 都要显著高于 CK(LSD, $P < 0.05$),而 P1 在除成熟期以外的生育

期中均与 CK 间没有明显的差异(LSD, $P < 0.05$)。在先玉 335 中,P2 中的 F_v/F_m 都要显著高于 CK(LSD, $P < 0.05$);P1 在苗期与成熟期,显著高于 CK,其他时期与另外 2 种方式间的差异均不显著(LSD, $P < 0.05$)。

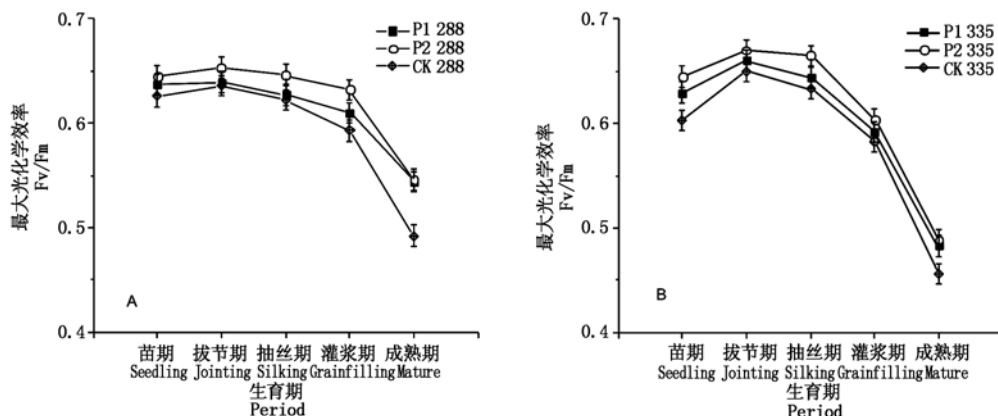


图 4 不同种植方式中玉米北育 288 (A) 和先玉 335 (B) 叶片 PS II 最大光化学效率 (F_v/F_m) 的变化

Fig. 4 The depict of F_v/F_m of two cultivar maize Beiyu 288 (A) and Xianyu 335 (B) under three planting patterns

2.3 不同宽窄行种植方式下净光合速率的变化

饱和光强下,净光合速率(P_N)反应了给定冠层中叶片的净 CO_2 吸收能力。图 5 显示了在关键时期中 P_N 的变化。不同处理间玉米叶片净光合速率表现出了相似的单峰曲线,从苗期开始, P_N 持续升高,各个处理中,均是在灌浆期达到了最大值。北育

288 的 3 个处理中,最大值分别为:38.6, 39.3, 37 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$;先玉 335 的 3 个模式中最大值分别为 39, 41, 36.4 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ 。在达到峰值之后, P_N 迅速下降。总体来看,除抽丝期外,2 个基因型均表现出宽窄行高于对照的特征。其中,P2 显著大于 CK(LSD, $P < 0.05$)。

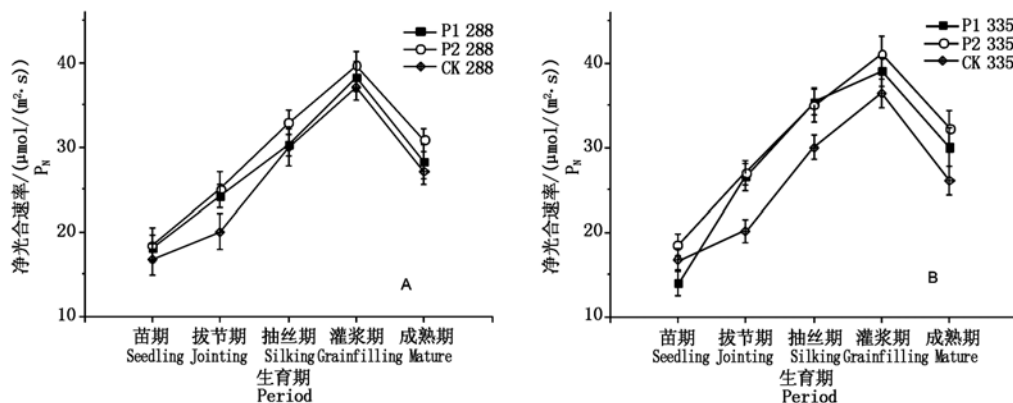


图 5 三种不同种植方式中玉米北育 288 (A) 和先玉 335 (B) 叶片净光合速率的变化

Fig. 5 The depict of P_n of two cultivar maize Beiyu 288 (A) and Xianyu 335 (B) under three planting patterns

3 结论与讨论

叶片 SPAD 值可以反应叶片中叶绿素相对含量,其值的提高预示叶片叶绿素含量增加有助于光合机构更有效的捕获光能,从而提高作物的光能利用效率,对于保障群体光合势特别是作物群体的光合势有重要的作用^[26],对于提高作物产量具有重要的意义^[27]。本试验的结果表明,在生育期的各个阶段,P2 种植方式中的 SPAD 值均显著高于 P1 和

CK,而宽窄行种植方式 P1 中的最大光合速率也要显著高于 CK,我们认为,宽窄行种植方式明显提高了玉米 SPAD 值,具有较高的 SPAD 值的玉米叶片光合能力更强,同化物产量更高,也更稳定。

热耗散是植物在长期进化过程中形成的为避免过剩光能对光合机构破坏的保护手段。在生育期的主要阶段, F_o 升高, F_m 下降,据认为与 PS II 反应中心 D1 蛋白失活和降解有关,而 D1 蛋白的可逆失活可以起到耗散过剩光能的作用^[28-29]。试验结果表

明,宽窄行种植方式中,叶片对光胁迫的适应能力高于对照。宽窄行种植方式中 F_v/F_m 较高,玉米叶片的原初光能转化效率较高,参照 SPAD 的变化特征,我们认为与传统种植模式相比,改良后的种植方式可能更利于养分,尤其是氮素营养的吸收,使叶片 SPAD 值和荧光特性有了显著的改善;同时,提高了玉米生产。

有研究表明,宽窄行的种植方式构建了新的冠层结构,引起了冠层内光环境的变化^[30],从而改善了叶片光合能力和辐射利用效率^[31-32]。本试验的结果证明了宽窄行种植方式对玉米叶片光合特性提高的促进作用,为玉米高光效物质生产提供了新的理论依据。

参考文献:

- [1] Boote K J, Loomis R S. The prediction of canopy assimilation[J]//Boote K J, Loomis R S. Modeling Crop Photosynthesis from Biochemistry to Canopy. Crop Science Society of America. Special Publication No. 19, Madison, 1991:109-140.
- [2] Maddonni G A, Otegui M E, Cirilo A G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation[J]. Field Crop Res, 2001, 71(3):183-193.
- [3] Sharratt B S, McWilliams D A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn[J]. Agronomy Journal, 2005, 97(4):1129-1135.
- [4] Singh M, Peters D B, Pendleton J W. Net and spectral radiation in soybean canopies[J]. Agronomy Journal, 1968, 60:542-553.
- [5] Flenet F, Kiniry J R, Board J E, et al. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower[J]. Agronomy Journal, 1996, 88(2):185-190.
- [6] Bowers G R, Rabb J L, Ashlock L O, et al. Row spacing in the early soybean production system[J]. Agronomy Journal, 2000, 92(3):524-531.
- [7] 董 钻. 作物栽培学总论[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [8] Tollenaar M. Genetic-improvement in grain-yield of commercial maize hybrids grown in ontario from 1959 to 1988[J]. Crop Science, 1989, 29(6):1365-1371.
- [9] 童淑媛, 宋凤斌, 徐洪文. 玉米不同叶位叶片 spad 值的变化及其与生物量的相关性[J]. 核农学报, 2008, 22(6):869-874.
- [10] 朱 艳, 刘小军, 谭子辉. 冬小麦叶色动态的量化研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(11):3851-3857.
- [11] 鱼 欢. 施氮量、氮源及栽培模式对小麦、玉米生理特性及产量的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2009.
- [12] 王鸿燕, 吴文革, 罗志祥, 等. 高产杂交水稻主要光合生理特征的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(15):7792-7793.
- [13] 黄瑞冬, 王进军, 许文娟. 玉米和高粱叶片叶绿素含量及动态的比较[J]. 杂粮作物, 2005, 25(1):30-31.
- [14] 罗新宁, 陈 冰, 张巨松, 等. 棉花氮素和 spad 值叶位分布规律研究[J]. 棉花学报, 2009, 21(5):427-430.
- [15] 朱哲燕, 鲍一丹, 黄 敏, 等. 油菜叶绿素与氮含量关系的试验研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2006, 32(2):152-154.
- [16] 苏云松, 郭华春, 陈伊里. 马铃薯叶片 spad 值与叶绿素含量及产量的相关性研究[J]. 西南农业学报, 2007, 20(4):690-693.
- [17] 吴良欢, 陶勤南. 水稻叶绿素计诊断追氮法研究[J]. 浙江农业大学学报, 1999, 25(2):135-138.
- [18] 邹飞波, 许馥华, 金珠群. 利用叶绿素计对短季棉氮素营养诊断的初步研究[J]. 作物学报, 1999, 25(4):483-488.
- [19] 王 娟, 韩登武, 任 岗, 等. Spad 值与棉花叶绿素和含氮量关系的研究[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(3):167-170.
- [20] Hymus G J, Ellsworth D S, Baker N R, et al. Does free-air carbon dioxide enrichment affect photochemical energy use by evergreen trees in different seasons? A chlorophyll fluorescence study of mature loblolly pine[J]. Plant Physiology, 1999, 120(4):1183-1191.
- [21] Murchie E H, Chen Y Z, Hubbart S, et al. Interactions between senescence and leaf orientation determine in situ patterns of photosynthesis in field-grown rice[J]. Plant Physiology, 1999, 119(2):553-563.
- [22] Patrick M, O'Neill, John F, et al. Schepers use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions[J]. Crop Sci, 2006, 46:681-687.
- [23] Rohacek K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning and mutual relationships[J]. Photosynthetica, 2002, 40(1):13-29.
- [24] Yu F Y, Robert D G. Variable chlorophyll fluorescence in response to water plus heat stress treatments in three coniferous tree seedlings[J]. Journal of Forestry Research, 2004, 15(1):24-28.
- [25] 雷逢进, 温祥珍, 李亚灵, 等. 两种不同矮蔓型西葫芦冠层光合特性的差异分析[J]. 核农学报, 2010, 24(02):382-388.
- [26] 吴文革, 孔令娟, 杨惠成, 等. 2006 双季北缘地区水稻补偿超高产栽培研究[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(11):121-128.
- [27] 曹树青, 翟虎集, 盛生兰, 等. 高产杂交水稻 II 优 129 光合碳同化特性的研究[J]. 杂交水稻, 2001, 16(1):46-50.
- [28] 徐洪文, 宋凤斌, 童淑媛. 两种不同基因型玉米苞叶叶绿素荧光特性差异分析[J]. 核农学报, 2008, 22(5):717-721.
- [29] 武立权, 沈圣泉. 水稻黄叶突变体光合特性的日变化[J]. 核农学报, 2007, 21(5):425-429.
- [30] Liu T, Song F, Liu S, et al. Canopy structure, light interception, and photosynthetic characteristics under different narrow-wide planting patterns in maize at silking stage[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2011, 9(4):1249-1261.
- [31] 刘铁东, 宋凤斌. 宽窄行种植方式对玉米光截获和辐射利用效率的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(6):118-123.
- [32] 孟战赢, 王育红, 沈东风, 等. 豫西地区行距配置对夏玉米产量及其构成因素的影响[J]. 河南农业科学, 2013, 42(7):19-22.