

种植密度对晚播冬小麦荧光动力学参数和产量的影响

张耀兰,曹承富,李华伟,乔玉强,赵竹,杜世州

(安徽省农业科学院 作物研究所 安徽省农作物品质改良重点实验室 安徽 合肥 230031)

摘要:为明确晚播冬小麦合理的群体结构,以济麦22为试验材料,研究了种植密度对晚播冬小麦叶绿素荧光动力学参数和产量的影响。结果表明,增加种植密度到300万~420万/hm²时,可改善晚播小麦叶片光合功能,提高灌浆期最大光合速率(P_m)、初始斜率(α)和最小半饱和光强(L_k);其SPAD值、PSⅡ最大光化学效率(F_v/F_m)、PSⅡ潜在活性(F_v/F_o)、实际光化学效率($\Phi PSⅡ$)、荧光光化学淬灭系数(qP)和非光化学淬灭系数(qN)等叶绿素荧光动力学参数较优,最终产量明显高于其他处理。表明合理的种植密度可改善晚播冬小麦光合功能,提高籽粒产量水平。

关键词:冬小麦;密度;晚播;荧光动力学参数;产量

中图分类号:S512.01 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2013)增刊-0184-04

Effect of Planting Density on Fluorescence Induction Kinetic Parameters and Yield of Winter Wheat under Late-sowing

ZHANG Yao-lan, CAO Cheng-fu, LI Hua-wei, QIAO Yu-qiang, ZHAO Zhu, DU Shi-zhou

(Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences,

Anhui Provincial Key Laboratory of Crops Quality Improvement, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to definite a reasonable population composition of late-sowing winter wheat, we selected Jimai 22 as field experimental material and studied the effect of planting density on fluorescence induction kinetic parameters and yield of late-sowing winter wheat. The results indicated that the treatments of planting density of $300 \times 10^4 - 420 \times 10^4$ /ha could improve photosynthetic function of late-sowing wheat and increased maximum photosynthetic rate, initial slope and the minimum half-saturated light intensity. The maximum photochemical efficiency (F_v/F_m), the PSⅡ potential activity (F_v/F_o), actual photochemical efficiency of PSⅡ ($\Phi PSⅡ$), photo chemical quenching coefficient (qP) and non photo chemical quenching coefficient (qN) were higher of flag leaves and grain yield were higher in treatments of planting density of 300 - 420 10^4 /ha. In result, the reasonable planting density could improve photosynthetic function of late-sowing wheat and increase grain yield.

Key words: Winter wheat; Planting density; Late-sowing winter wheat; Fluorescence induction kinetic parameters; Grain yield

叶绿素荧光动力学技术被称为测定叶片光合功能快速、无损伤的探针^[1-2],在了解植物光系统对光能的吸收、传递、耗散、分配等方面具有独特之处,能够反映其“内在性”生理特点。种植密度是小麦生长发育、产量和品质形成关系最为密切的因素,密度通过影响植株营养状况、作物冠层的光截获和光分布特征,进而影响植株个体活力、不同叶位叶片光合速率和群体光合碳同化能力,直至影响群体干物质

生产能力。研究表明,在冬小麦品种中,单叶光合作用特征存在明显的密度效应^[3]。有关种植密度对小麦光合作用的研究已有较多报道^[4-5],研究还表明,适期晚播能维持弱春性小麦品种灌浆期较好的光合性能,获得较高的籽粒产量^[6],然而晚播冬小麦的光合性能对密度响应的研究还鲜见报道。因此,本研究以多穗型小麦品种济麦22为材料,探讨不同种植密度对晚播冬小麦叶绿素荧光参数及产量

收稿日期:2013-09-26

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD04B09;2011BAD16B06;2013BAD07B08)

作者简介:张耀兰(1980-),女,安徽五河人,助理研究员,主要从事作物栽培生理生态研究。

通讯作者:曹承富(1963-),男,安徽怀宁人,研究员,主要从事小麦栽培研究。

的影响,为晚播小麦的优质高效生产提供理论支持和实践依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2011 – 2012 年在安徽省蒙城县农业科技示范场进行,试验地前茬为玉米,土壤为砂姜黑土,地面平整。耕层土壤养分含量:有机质 16.02 g/kg,全氮 1.13 g/kg,碱解氮 85.10 mg/kg,速效磷 34.75 mg/kg,速效钾 180.58 mg/kg。供试品种选用济麦 22,试验设 6 个不同密度处理,分别为 M1 (180 万/hm²)、M2 (240 万/hm²)、M3 (300 万/hm²)、M4 (360 万/hm²)、M5 (420 万/hm²) 和 M6 (480 万/hm²)。肥料施用量为氮肥 270 kg/hm² (尿素,含 N 46%)、五氧化二磷 120 kg/hm²、氯化钾 150 kg/hm²,其中磷、钾肥全部基施,氮肥基施 60%,拔节期追施 40%。采用随机区组设计,3 次重复,小区面积 6.67 m²,10 月 30 日播种。其他田间管理与一般高产田相同。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶绿素相对含量 (SPAD) 的测定 于孕穗期 (4 月 27 日)、灌浆前期 (5 月 11 日)、灌浆中期 (5 月 19 日) 和灌浆后期 (5 月 26 日),采用日本美能达公司生产的 SPAD-502 叶绿素仪测定旗叶 SPAD 值。

1.2.2 叶片荧光动力学参数测定 于灌浆期采用德国 WALZ 公司生产的 PAM-2500 便携式调制荧光仪进行田间活体测定旗叶叶片荧光动力学参数。其中快速光曲线拟 Statistica 软件进行,快速光曲线的拟合采用 Platt 等^[7-8] 的公式: $P = P_m (1 - e^{-\alpha \cdot PAR/P_m}) e^{-\beta \cdot PAR/P_m}$ 式中 P 代表光合速率,即相对电子传递速率; P_m 代表无光抑制时的最大相对电子传递速率; α 是 $P-I$ 曲线的初始斜率,反映了光能利用的效率; β 是光抑制参数。由此可以得出公式,半饱和光强 I_K $I_K = P_m / \alpha$

1.3 统计分析

数据统计分析采用 SPSS 数据分析统计软件、Statistica 软件和 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 种植密度对晚播小麦旗叶 SPAD 值的影响

从图 1 可以看出,不同密度条件下,晚播小麦旗叶 SPAD 值在齐穗期 (4 月 25 日) 差别不大,在灌浆前-中期 (5 月 11 日、5 月 19 日) 叶绿素含量增加,各处理间差异不显著,到灌浆后期 (5 月 26 日) SPAD 值迅速下降,其中以 M6 和 M1 处理下降最

快,M4 和 M3 处理下降较缓,灌浆后期仍保持较高的叶绿素含量,有利于光合产物的积累。

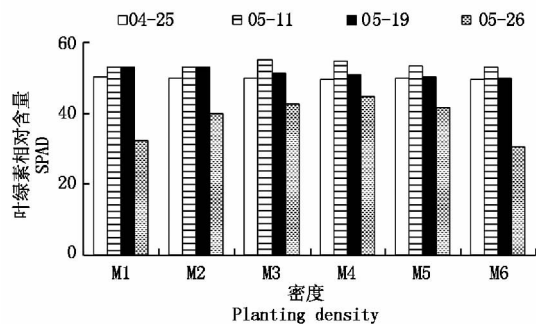


图 1 种植密度对旗叶 SPAD 值的影响

Fig. 1 Effect of planting density on SPAD of flag leaf

2.2 种植密度对晚播小麦灌浆期旗叶荧光参数的影响

荧光参数 F_v/F_m 和 F_v/F_o 分别为 PS II 最大光化学效率和 PS II 潜在活性。图 2、3 为不同种植密度处理对晚播小麦灌浆期旗叶 F_v/F_m 、 F_v/F_o 和 Φ_{PSII} 的影响。本试验条件下, F_v/F_m 和 F_v/F_o 在不同种植密度处理间差异不显著,其中以 M5 处理略高于其他处理,M1 和 M2 处理较低;但 M5 的实际光化学效率 (Φ_{PSII}) 明显高于其他种植密度处理,其次是 M4 和 M6 处理。

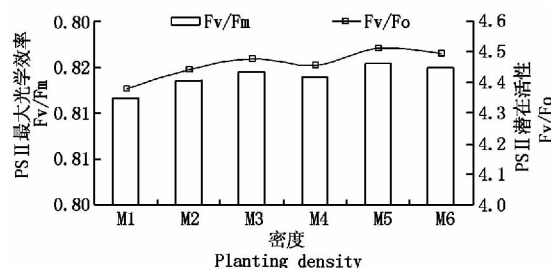


图 2 种植密度对旗叶 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的影响

Fig. 2 Effect of planting density on F_v/F_m and F_v/F_o of flag leaf

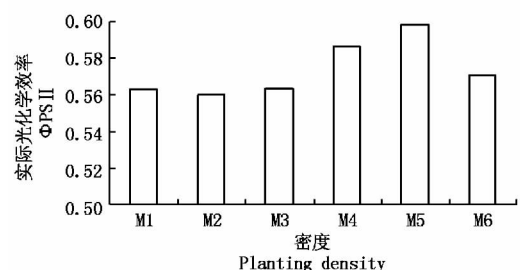


图 3 种植密度对旗叶 Φ_{PSII} 的影响

Fig. 3 Effect of planting density on Φ_{PSII} of flag leaf

荧光非光化学淬灭系数 (q_N) 反映 PS II 反应中心吸收的光能不能用于光合电子传递,而以热的形式耗散掉的光能部分。植物叶片的荧光光化学淬灭系数 (q_P) 是对 PS II 原初电子受体 QA 氧化态的一种量度,反映了 PS II 反应中心的开放程度。本试验

条件下,不同种植密度对旗叶 qN 和光化学猝灭系数(qP)的影响不同(图4)。 qN 在不同种植密度间,以M5处理的 qN 明显低于其他种植密度处理,其次是M4和M6处理,M1处理的 qN 最高。M5处理的 qP 明显高于其他处理,其次是M4处理。由此可见,M5和M4处理原初电子受体QA氧化形成能力高,PS II电子传递活性大。

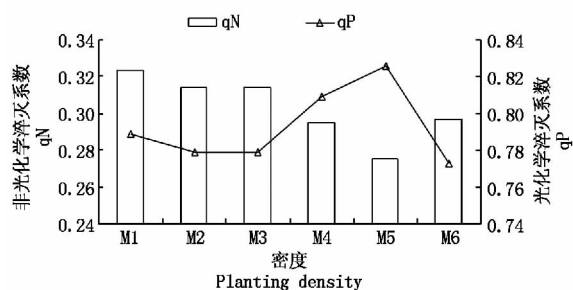


图4 不同种植密度对旗叶 qN 和 qP 的影响

Fig. 4 Effect of planting density qN and qP of flag leave

2.3 不同光强下种植密度对晚播小麦灌浆期旗叶光合特性的影响

光合作用的光响应曲线及曲线拟合的计算结果表明(图5、表1),小麦旗叶的光合电子传递速率随着光强的增加均呈上升趋势,当光强超过 $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之后,不同密度处理电子传递速率增

幅减缓。不同种植密度间,旗叶的光响应曲线模拟参数差异均未达到显著水平($P > 0.05$),旗叶最大光合速率(P_m)变化依次是 $M4 > M5 > M3 > M2 > M1 > M6$;最小半饱和光强(L_k)变化依次是 $M4 > M3 > M5 > M2 > M6 > M1$;其中M4处理 P_m 和 L_k 分别为 71.6 $207.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,明显高于其他处理;M1的 L_k 仅有 $143.8 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,较M4处理 L_k 降幅30.5%;M6的 P_m 仅为 $45.1 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,较M4处理 P_m 降幅37.0%。M5处理的初始斜率(α)明显高于其他处理,其次是M1和M4处理,M6的 α 最低。种植密度间以M5的光抑制参数(β)最小,其次是M3和M4处理。

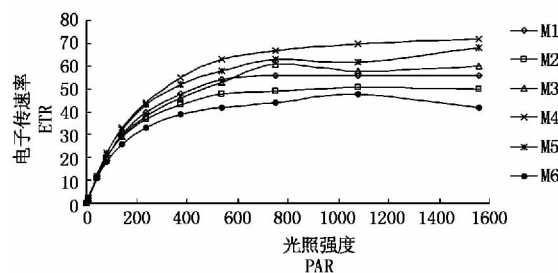


图5 不同种植密度下小麦旗叶光响应曲线

Fig. 5 Light response curve of flag leaves under different planting density

表1 不同种植密度下小麦旗叶光响应曲线模拟参数

Tab. 1 Photosynthetic parameters of cultivars in response to light under planting density

处理 Treatments	光抑制参数 β	初始斜率 α /electrons/photons	最大光合速率 P_m /($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	最小半饱和光强 L_k /($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)
M 1	0.323	0.354	50.9	143.8
M 2	0.320	0.340	56.9	167.6
M 3	0.318	0.315	66.0	190.8
M 4	0.318	0.346	71.6	207.0
M 5	0.316	0.374	66.9	179.0
M 6	0.322	0.297	45.1	152.1

表2 不同密度处理的产量性状

Tab. 2 Yield characters of different planting density

处理 Treatments	产量/(kg/hm^2) Yield	穗数/($10^4/\text{hm}^2$) Ears	穗粒数 Grains per spike	千粒质量/g 1000-grain weigh	穗长/cm Ear length	不孕小穗 Infertility spikelets
M 1	6 906.6a	689.3c	36.9a	38.7a	8.36	2.3
M 2	7 481.1a	709.2bc	36.5a	38.1a	8.40	2.8
M 3	7 593.7a	742.5ab	35.1ab	37.9a	8.46	3.0
M 4	7 654.9a	749.2ab	33.1bc	37.6a	8.36	3.0
M 5	7 556.1a	767.5a	31.7c	37.3a	8.31	3.2
M 6	7 349.9a	786.7a	29.3d	36.7a	8.18	3.3

2.4 种植密度对晚播小麦产量及产量构成因素的影响

由表2可以看出,不同密度处理产量依次为 $M4 > M3 > M5 > M2 > M6 > M1$,经方差分析结果表明,

种植密度对晚播小麦产量影响差异不显著($P > 0.05$),但M4、M3和M5处理较M1处理产量明显提高,增产9.4%~10.8%。从产量构成因素看,增

加种植密度可以显著提高晚播小麦每公顷穗数,以 M5 和 M6 处理的每公顷穗数显著高于 M1 和 M2 处理,但与 M3 和 M4 处理差异不显著。随种植密度的增加穗粒数呈减少趋势, M1 和 M2 处理穗粒数显著高于 M4、M5 和 M6,与 M3 处理差异不显著。千粒质量在各个密度处理间差异不显著。

3 讨论

播种密度是影响晚播小麦干物质积累和籽粒产量的重要农艺措施^[9-10]。晚播小麦由于冬前生育期缩短,使个体发育迟缓,单株分蘖减少,群体分蘖不足,需适当增加播种量^[11-13]。光合作用是作物产量形成的物质基础,其最基本的反应是在反应中心通过电荷分离而引起的原初能量转换,叶绿素直接参与该过程,并且可以通过叶绿素荧光来反映该过程的效率^[14-15]。叶片暗适应后打开饱和脉冲测得的荧光参数 F_v/F_m ,表示 PS II 最大光能转换效率,代表了光系统 II 的量子产量,常用于度量植物叶片 PS II 原初光能转换效率。光化学猝灭系数反映了光合活性的高低。非光化学猝灭系数反映了植物的光保护能力。本试验结果表明,晚播条件下,增加播种密度有利于提高旗叶光合作用,其中以密度在 300 ~ 420 万/hm²内,旗叶 SPAD 值、PS II 最大光能转换效率、PS II 潜在活性和荧光光化学淬灭系数分别高于其他密度处理,同时降低了非光化学猝灭系数,增加了 PS II 天线色素对光能的捕获量,减少光能的热耗散损失,从而能更好的吸收和转化光能,提高旗叶光合速率,促进光合产物的积累。

已有研究表明,小麦旗叶光合能力强,对籽粒的形成和产量具有重要影响,成熟籽粒中的干物质 20% ~ 30% 来自旗叶的光合作用^[16]。旗叶光合速率是决定籽粒产量的关键因素。本试验条件下,增加晚播小麦种植密度到 300 ~ 420 万/hm²,灌浆期最大光合速率、初始斜率和最小半饱和光强分别高于其他处理,最终产量明显高于其他处理。表明晚播小麦种植密度在 300 ~ 420 万/hm²,能够充分利用光能,并对生育后期强光具有较强的耐受力。可见,合理的种植密度可以有效的提高晚播小麦旗叶的光合性能,从而为晚播小麦增产创造有利条件。

参考文献:

- [1] 林世青,许春晖,张其德,等. 叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的应用[J]. 植物学通报, 1992, 9(1): 1-16.
- [2] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.
- [3] Zhu X K, Guo W S, Feng C N. The regulation on effect of density and nitrogenous fertilizer quantity on grain yield and quality in hybrid wheat [J]. Journal of Wheat Research, 1998, 19(2): 6-9.
- [4] 骆兰平,于振文,王东,等. 土壤水分和种植密度对小麦旗叶光合性能和干物质积累与分配的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(6): 1046-1059.
- [5] 毕常锐,白志英,李存东,等. 种植密度对小麦石新 828 光合特性及产量的调控效应[J]. 华北农学报, 2010, 25(1): 165-169.
- [6] 张甲元,周苏玫,尹钧,等. 适期晚播对弱春性小麦籽粒灌浆期光合性能的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(3): 535-539.
- [7] Platt T, Gallegos C L, Harrison W G. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton [J]. Journal of Marine Research, 1980, 38: 687-701.
- [8] Ralph P J, Gademann R. Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity [J]. Aquatic Botany, 2005, 82(3): 222-237.
- [9] 刘万代,陈现勇,尹钧,等. 播期和密度对冬小麦豫麦 49-198 群体性状和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(3): 464-469.
- [10] 董剑,赵万春,陈其蛟,等. 陕西关中地区不同冬小麦品种晚播高产的适宜播期和密度[J]. 西北农业学报, 2010, 19(3): 66-69.
- [11] Guberac V, Martincic J, Martincic J *et al.* Grain yield components of winter wheat new cultivars in correlation grain yield sowing rate [J]. Res Commun, 2000, 28(3): 307-314.
- [12] Carr P M, Horsley R D, Poland W W. Tillage and seeding rate effects on wheat cultivars: I. Grain production [J]. Crop Science, 2003, 43(1): 202-209.
- [13] Carr P M, Horsley R D, Poland W W. Tillage and seeding rate effects on wheat cultivars: II. Yield components [J]. Crop Science, 2003, 43(1): 210-218.
- [14] Lichtenthaler H K. Application of chlorophyll fluorescence in research stress physiology, hydrobiology and remote sensing [M]. Netherland: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991: 253-258.
- [15] Demming Adams B, Adams W W III, Barker D H *et al.*, Nocturnally retained zeaxanthin does not remain engaged in a state primed for energy dissipation during the summer in two Yucca species growing in the Mojave Desert [J]. Physiology Plant, 2002, 25(1): 95-103.
- [16] 徐恒永,赵君实. 高产冬小麦的冠层光合能力及不同器官的贡献[J]. 作物学报, 1995, 21(2): 204-209.