

种植密度对小麦石新 828 光合特性及产量的调控效应

毕常锐¹, 白志英¹, 李存东², 郑金凤¹, 唐光雷²

(1 河北农业大学 生命科学学院 河北 保定 071001; 2 河北农业大学 农学院, 河北 保定 071001)

摘要: 本试验于大田条件下, 研究了种植密度对冬小麦品种石新 828 在适晚播情况下生育后期旗叶光合特性及产量的调控效应。设置 4 个密度水平处理; 利用 CI-340 光合测定系统和 FMS2 型脉冲调制式荧光仪分别测定了光合特性的相关指标。试验结果表明, 种植密度对石新 828 生育后期光合特性及产量的影响显著; 每公顷基本苗 330×10^4 处理的旗叶叶绿素 (Chl) 含量、净光合速率 (P_n)、PS II 潜在活性 (F_v/F_o) 及其最大光化学效率 (F_v/F_m) 均在生育后期始终表现出明显优势, 且产量显著高于其他处理; 每公顷基本苗 210×10^4 和 270×10^4 处理由于群体相对较小, 表现出对轻度干旱逆境的脆弱性, 390×10^4 由于群体相对较大, 封闭的小气候影响了个体的发育, 最终均导致了产量的降低。小麦石新 828 在适晚播条件下, 适宜种植密度为 330×10^4 基本苗/公顷。

关键词: 小麦; 种植密度; 光合特性; 产量

中图分类号: S12.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2010)01-0165-05

Effects of Planting Density on Photosynthetic Characteristics and Grain Yield of a Wheat Cultivar Shixin 828

BI Chang-rui, BAI Zhi-ying, LI Cun-dong, ZHENG Jin-feng, TANG Guang-lei

(1. College of Life Science, Hebei Agricultural University Baoding 071001, China;

2. College of Agronomy, Hebei Agricultural University Baoding 071001, China)

Abstract: A field experiment was conducted to evaluate photosynthetic characteristics and grain yield in different planting densities of a winter wheat cultivar Shixin 828 with sowing suitable late. It was studied under four different density levels. The photosynthetic characteristics were measured using CI-340 portable photosynthesis system and FMS2 fluorescence monitoring system. The results indicated that the density can remarkably influence the photosynthesis characteristics of flag leaf and yield level. The 330×10^4 basis seedlings per ha treatment had apparent advantages in chlorophyll content, photosynthesis rate, PSII potential activity (F_v/F_o) and the maximal quantum efficiency of PSII photochemistry (F_v/F_m) of the flag leaf at late growth period and the grain yield of it was higher than that of the others significantly. The 210×10^4 and 270×10^4 basis seedlings per ha treatments represent a frail ability for gently drought as a result of less colony and the 330×10^4 basis seedlings per ha treatment influence individual growth with a poor microclimate as a result of great colony, both above reducing yield. The highest grain yield was observed in the treatment with 330×10^4 basis seedlings per ha applied.

Key words: wheat; Planting density; Photosynthetic characteristics; Grain yield

河北省是中国北方冬小麦的三大主产省之一, 因此搞好我省的小麦生产, 对于保证粮食生产安全具有重要作用。小麦—玉米两熟制是我省的主体种植模式, 近年来, 为充分利用有限的光热资源, 我省采取“适期两晚”技术 (玉米适期晚收, 小麦适期晚

播), 进而实现节水、超高产的栽培体制。

小麦产量的 90% ~ 95% 来自光合产物^[1], 尤其是生育后期的功能叶片的光合产物对籽粒的贡献可达 80%, 高产小麦品种更是如此^[2]。旗叶是小麦生育后期冠层的主要构成者, 对冠层光合的贡献可达

收稿日期: 2009-11-25

基金项目: “十一五”国家粮食丰产科技工程子专题 (2006BAD02A08); 河北省自然科学基金项目 (C2008000341)

作者简介: 毕常锐 (1980—) 女, 河北易县人, 硕士, 主要从事小麦栽培生理方面的研究。

通讯作者: 白志英 (1967—) 女, 河北正定人, 教授, 博士生导师, 主要从事小麦栽培生理方面的研究。

李存东 (1964—) 男, 河北清河人, 教授, 博士生导师, 主要从事作物栽培生理方面的研究。

32%，旗叶的光合变化基本上代表了冠层光合的趋势^[3]。合理密植是高产栽培的重要措施，前人研究表明，在常规冬小麦品种中，旗叶光合作用特征存在明显的密度效应^[4]；适宜的密度随气候、土壤、播期、品种的不同而不同^[5-8]。

石新 828是目前审定的唯一免吸浆虫且具有应用潜力的高效优质小麦品种，关于该品种种植密度对其光合特性及产量的反应规律还未见报道。因此，以小麦石新 828为材料，研究种植密度对其生育后期旗叶光合特性及产量的调控效应，以期确定该品种在适晚播下以密度为调控手段的适宜栽培措施，进而为我省以“适期两晚”技术为基础实现节水、超高产的栽培体制提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验基础与设计

试验于 2008—2009 年度在河北省辛集市河北农业大学试验站（马庄农场）进行，试验地土质为壤土，土壤养分状况为：有机质 10.06 g/kg 全氮 1.31 g/kg 碱解氮 214.73 mg/kg 速效磷 15.73 mg/kg 速效钾 186.29 mg/kg 前茬为玉米，全生育期施纯 N 324.8 kg/hm²、P₂O₅ 180 kg/hm²、K₂O 56.3 kg/hm²。生育期间于拔节期和开花期各浇一次水。

试验供试小麦品种为石新 828，10 月 13 日播种（适晚播），种植密度分别为 210×10⁴（F₁）、270×10⁴（F₂）、330×10⁴（F₃）和 390×10⁴（F₄），小区面积 45 m²（10 m×4.5 m），随机排列，3 次重复，行距 15 cm。其他管理措施同一般高产大田。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 旗叶叶绿素（Chl）含量 于抽穗期、开花期、灌浆中期和成熟前期，用 SPAD-502 叶绿素仪测定，以 SPAD 值表示叶绿素含量。在田间小区中随机选取生长一致且具有代表性的旗叶 5 片，每片叶子选 5 个点，每个点读取数据 2 次，5 片叶的 50 次数据平均值为该处理的 SPAD 值。

1.2.2 旗叶净光合速率（Pn） 抽穗期在各处理内选取生长一致的旗叶 5 片，挂牌标记，于抽穗期、开花期、灌浆中期和成熟前期，采用美国 CID 公司生产的 CI-340 光合测定系统进行测定，以 5 片旗叶 Pn 的平均值为该处理的观测结果。

1.2.3 旗叶叶绿素荧光动力学参数 于抽穗期、开花期和灌浆中期，采用英国 Hansatech 公司生产的 FMS2 型脉冲调制式荧光仪，于晴天 10:00—11:00 选取生长一致且受光方向相同的旗叶，测定前用叶夹夹住叶片中部，暗适应 15 min 后开始测

定，每片叶测定 3 次，参照 Genty 等^[9-10]的方法，测定叶片的最大荧光（F_m）、初始荧光（F₀）、可变荧光与固定荧光的比值（F_v/F₀）、可变荧光与最大荧光的比值（F_v/F_m）。

1.2.4 产量与考种 成熟时各处理取 2 m²，收获计产。并每处理取 10 株常规法考种分析。

2 结果与分析

2.1 不同密度水平对小麦石新 828 旗叶叶绿素含量的影响

前人较多研究表明，SPAD-502 叶绿素仪测定的 SPAD 值与植物叶片的叶绿素含量有极显著的正相关关系，可在不破坏叶片生长的情况下，很好的反应植株叶片的叶绿素含量^[11-13]。

试验结果（表 1）表明，各密度处理在生育后期小麦旗叶叶绿素含量随生育期的推进，均呈下降趋势，但开花期相对于抽穗期无明显变化，而后迅速下降。

不同种植密度间，F₃ 处理旗叶叶绿素含量在整个生育后期始终处于较高水平；F₁ 处理在抽穗期和开花期旗叶叶绿素含量显著低于其他各处理，而在灌浆和成熟期处于较高水平；F₂ 处理在生育后期旗叶叶绿素含量的变化基本上同 F₁ 处理，其值在各期均处于 F₁ 和 F₃ 之间；处理 F₄ 除在抽穗期外均显著或极显著低于其他各处理。由此表明，小麦石新 828 生育后期旗叶叶绿素含量存在密度效应，F₃ 处理（每公顷基本苗 330×10⁴）能延缓叶片的衰老，处理 F₁（每公顷基本苗 210×10⁴）在抽穗期旗叶叶绿素含量处于较低水平，而密度较大的处理 F₄（每公顷基本苗 390×10⁴）在抽穗期旗叶叶绿素含量较高，而随后生育期的叶绿素含量均处于较低水平，说明密度处理 F₁ 和 F₄ 均明显不利于后期光合产物的积累。

表 1 小麦生育后期不同处理旗叶 SPAD 值的变化
Tab. 1 Variation of SPAD value in flag leaf of different treatments at late growth period

密度 Density	抽穗期 Booting stage	开花期 Blooming stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
F ₁	58.87 cB	58.22 cB	53.62 aA	19.27 aA
F ₂	59.57 bAB	59.03 bAB	52.51 bB	19.26 aA
F ₃	60.21 aA	59.96 aA	53.28 aA	18.67 aA
F ₄	59.68 bA	58.23 cB	50.92 cC	13.28 bB

注：大小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平。以下相同。
Notes: Followed by different capital and small letters are significantly different at 0.01 and 0.05 levels. The same below.

2.2 不同密度水平对小麦石新 828 旗叶净光合速率（Pn）的影响

试验结果（表 2）表明，小麦石新 828 各处理旗叶净光合速率（Pn）在生育后期的变化趋势一致，均

呈由高逐渐降低的较大变化。

表 2 小麦生育后期不同处理旗叶 P_n 的变化

Tab 2 Variation of P_n in flag leaf of different treatments at late growth period

密度 Density	抽穗期 Booting stage	开花期 Blooming stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
F1	21.79 cC	20.26 aAB	16.56 aA	6.61 aA
F2	22.29 bBC	20.68 aA	16.52 aA	6.41 aA
F3	23.02 aA	20.70 aA	16.61 aA	6.19 aA
F4	22.6 abAB	19.70 bB	15.35 bB	5.49 bB

不同种植密度间,处理 F1 旗叶 P_n 在抽穗期显著低于其他各处理,而其他生育期相对较高且显著或极显著高于 F4 处理; F2 处理在生育后期旗叶 P_n 的变化基本上同 F1 处理,其值在各期均处于 F1 和 F3 之间;处理 F3 在整个生育后期旗叶 P_n 一直保持较高水平;处理 F4 除抽穗期外,各期均显著或极显

表 3 小麦生育后期不同处理旗叶叶绿素荧光参数的变化

Tab 3 Variation of fluorescence parameters in flag leaf of different treatments at late growth period

密度 Density	Fv/Fm			Fv/Fo		
	抽穗期 Booting stage	开花期 Blooming stage	灌浆期 Filling stage	抽穗期 Booting stage	开花期 Blooming stage	灌浆期 Filling stage
F1	0.855 cB	0.854 aA	0.827 aA	6.19 bB	5.91 aA	5.52 aA
F2	0.866 bAB	0.856 aA	0.824 aAB	6.30 bB	5.99 aA	5.50 aA
F3	0.876 aA	0.862 aA	0.830 aA	7.03 aA	6.04 aA	5.51 aA
F4	0.863 bcAB	0.850 aA	0.816 bB	6.45 bAB	5.78 aA	5.27 bB

随着生育期的推进,不同密度处理间 Fv/Fm 和 Fv/Fo 均存在差异, F1 和 F2 处理抽穗期表现出较低的 Fv/Fm 和 Fv/Fo,但开花和灌浆期其两值较高; F3 处理的 Fv/Fm 和 Fv/Fo 在抽穗、开花和灌浆期一直保持较大; F4 在抽穗期表现出较高的 Fv/Fm 和 Fv/Fo,但灌浆期其两值较低。由此表明 F3 处理在生育后期能始终保持较优的 PS II 最大光化学效率 (Fv/Fm) 和潜在活性 (Fv/Fo),适宜的密度有利于 PS II 天线色素把所捕获的光能以更高的速度和效率转化为化学能,从而为光合过程中碳同化提供了更加充足的能量,有利于产量的提高;而其他各密度处理在生育后期表现出不同程度的光合劣势。

2.4 不同密度水平对小麦石新 828 产量及产量构成因素的影响

试验结果 (表 4) 表明,各处理产量高低依次为 F3>F2>F4>F1,且 F3 处理与其他各处理的产量差异均达显著水平。不同处理随着密度的增大,小

表 4 不同处理间产量及产量构成因素的变化

Tab 4 Changes of yield and yield components among different treatments

密度 Density	穗数 / (10 ⁴ / hm ²) Spike number	穗粒数 / 个 Grain number per spike	千粒重 / g 1 000 grain weight	产量 / (kg / hm ²) Grain yield
F1	544.43 cC	45.7 aA	49.17 aA	8.352.63 cC
F2	630.13 bB	41.2 bB	48.59 abAB	8.800.96 bB
F3	707.22 aA	38.4 cC	48.25 bcAB	9.290.42 aA
F4	726.01 aA	36.1 dD	47.87 cB	8.658.65 bB

著低于其他各处理。由此表明,小麦石新 828 在生育后期 F3 处理处理旗叶始终保持较优的光合能力。而处理 F1 在抽穗期旗叶 P_n 较差,而在随后时期具有明显的光合潜能;处理 F4 在生育后期除抽穗期外旗叶表现出较差的光合能力。

2.3 不同密度条件下小麦石新 828 旗叶 Fv/Fo 和 Fv/Fm 的动态变化

Fv/Fo 代表光系统 II (PSII) 潜在活性, Fv/Fm 代表 PSII 的最大光化学效率^[10]。

小麦石新 828 各处理旗叶 (Fv/Fm) 在生育后期总体呈现一致的下降趋势 (表 3),但 Fv/Fm 开花期相对抽穗期均无明显变化,而后下降迅速; Fv/Fo 各期均相对迅速下降,由此表明 Fv/Fo 的下降先于 Fv/Fm 的下降。

麦单位面积穗数增加,且各处理间差异显著;各处理的穗粒数和千粒重均呈下降趋势,且整体表现为相邻密度处理间差异达显著水平。由此表明,密度对小麦石新 828 产量和产量构成因素具有显著的调节效应,密度的增大有利于穗数的形成,而不利于穗粒数和千粒重的提高,所以使得 F4 (每公顷基本苗 390×10⁴) 处理虽然获得了高的穗数,但穗粒数和粒重低于其他处理,同时 F1 (每公顷基本苗 210×10⁴) 和 F2 (每公顷基本苗 270×10⁴) 处理虽具穗粒数和粒重的优势,但单位面积穗数显著低于其他处理,均导致了产量的降低。

3 结论与讨论

3.1 不同密度水平对小麦石新 828 旗叶光合特性的调控效应

本试验通过对生育后期小麦石新 828 旗叶光合特性的变化趋势分析得出,在生育后期旗叶叶绿素

含量 (Ch)、净光合速率 (P_n)、PS II潜在活性 (F_v/F_o)及其最大光化学效率 (F_v/F_m)均呈逐渐下降趋势,由此表明在生育后期小麦旗叶的光合功能不断衰退。这与张永丽研究结果是一致的^[14]。

叶绿素是反应作物光合能力的一个重要指标。通过分析本试验旗叶叶绿素与其他光合参数之间的关系发现,旗叶 Ch在开花期无明显下降,而 P_n 随生育期的推进,均呈迅速下降趋势,由此认为叶绿素含量虽是维持较高光合速率的基础,但当叶绿素达到一定浓度后,这种作用减弱;这与前人研究结果 Ch含量只是 P_n 的一个“必要条件”相一致^[13-14]。最大光化学效率 (F_v/F_m)高值持续期与叶绿素含量相对稳定期基本一致,但 PS II潜在活性 (F_v/F_o)先于最大光化学效率 (F_v/F_m)的下降,表明固定荧光 (F_o)比可变荧光 (F_m)对叶绿素浓度的变化相对较敏感。

关于种植密度对旗叶光合特性的调控效应,前人研究结果不尽相同,王之杰等^[15]研究表明旗叶 P_n 和 Ch随密度增加没有明显的下降趋势,过低密度处理的旗叶 P_n 到后期反而低于其他密度处理;但也有人认为小麦旗叶 P_n 和 Ch随密度增加而下降^[4-14];郭天财等^[17]研究表明,适宜的密度有利于强筋型小麦 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的提高;刘开昌等^[18]发现不同的密度会导致田间小气候的不同,进而影响植株体内的生理代谢,使光合作用发生相应的改变。本试验结果表明,在适晚播条件下,小麦石新 828不同密度处理生育后期旗叶光合特性存在一定差异: F3处理 (每公顷基本苗 330×10^4)所测定的光合指标均具有明显优势, F1处理 (每公顷基本苗 210×10^4)的光合指标在抽穗期均显著低于其他各处理,而在以后时期表现出较优的光合潜能,这可能由于河北平原区春季常见的高温、少雨气候,另外过低密度处理群体数量明显低于其他各处理,导致田间蒸发量大,水分亏缺严重,从而影响个体优势的发挥,表现出对抽穗期轻度干旱逆境的脆弱性。 F4处理 (每公顷基本苗 390×10^4)的光合指标在抽穗期均较优,而在以后时期表现出较差的光合能力,这是由于高密度处理群体数量明显高于其他各处理,田间蒸发量相对小,水分损失少,其个体受干旱影响较小,故抽穗期光合指标均较优于低密度处理;但由于群体过大,田间形成郁闭的小气候,通风透光性差,因而在灌浆及以后时期显著低于其他各处理,严重影响了植株体内的生理代谢,进而影响了个体发育。由此可以得出:过低密度处理 F1和过高密度处理 F4均不利于后期光合产物的合成,适宜的密度 F3

有利于整个生育后期光合性能的提高,从而增加光合产物的积累。

3.2 不同密度水平对小麦石新 828产量及产量构成因素的调控效应

在生产上,依据品种和地域条件,选择适宜的播种密度是实现小麦高产的基础^[19]而小麦单位面积产量又是穗数、穗粒数和粒重综合作用的结果^[20]。在本试验条件下,小麦石新 828随着密度的增加,单位面积穗数也逐渐增加,但同时穗粒数和粒重明显降低,使得密度过低或过高都不利于产量的提高,只有合理的密度 (每公顷基本苗 330×10^4)才有利于穗数、穗粒数和千粒重三因素的协调发展,最终实现高产。光合作用是作物生产的基础,而生育后期功能叶片尤其是旗叶的光合功能对小麦的丰产性起着至关重要的作用,但前人关于光合作用和产量的关系研究结果不一致^[16-21]。本试验结果表明,在适晚播条件下,每公顷基本苗 330×10^4 处理旗叶光合特性的几个重要指标均在生育后期始终表现出明显优势,且最终产量显著高于其他处理,进而可以认为小麦石新 828生育后期旗叶的光合特性与籽粒产量密切相关。但此关系结果内部机制较为复杂,还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 胡廷积,杨永光,马元喜,等.小麦生态与生产技术[M].郑州:河南郑州出版社,1986:19—23
- [2] 郑丕尧.作物生理学导论[M].北京:北京农业大学出版社,1992:121—127
- [3] 徐恒永,赵君实.高产冬小麦冠层光合能力及不同器官的贡献[J].作物学报,1995,21(2):204—209
- [4] 于振文,岳寿松,沈成国,等.不同密度对冬小麦开花后叶片衰老和粒重的影响[J].作物学报,1995,21(4):412—418
- [5] Jaime L. Ibarra, Josep Manent, Javier Viudas et al. Seedling rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in mediterranean climate[J]. Agron J, 2004, 96: 1258—1265
- [6] 张永丽,于振文,王东,等.不同密度对冬小麦品质和产量的影响[J].山东农业科学,2004(5):29—30
- [7] 马瑞昆,贾秀领,蹇家利,等.冬小麦供水和种植密度与产量关系的数学模型[J].华北农学报,1991,6(S1):16—19
- [8] 杨利华,张丽华,杨世丽,等.不同株高玉米品种部分群体质量指标对种植密度的反应[J].华北农学报,2007,22(6):139—146
- [9] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron trans-

port and Photochemical quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim Biophys Acta* 1989 900: 87—92

[10] 张其德, 卢从明, 刘丽娜, 等. CO₂ 倍增对不同基因型大豆光合色素含量和荧光诱导动力学参数的影响 [J]. *植物学报*, 1997 39(10): 946—950

[11] 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 1001—4829

[12] 张宝林, 高聚林, 刘克礼. 马铃薯在不同密度及施肥处理下叶绿素含量的变化 [J]. *中国马铃薯*, 2003 (3): 137—140

[13] 艾天成, 李方敏, 周治安, 等. 作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究 [J]. *湖北农学院学报*, 2000 20 (1): 6—8

[14] 张永丽, 肖 凯, 李雁鸣. 种植密度对杂种小麦 C6-38/P85-1 旗叶光合特性和产量的调控效应及其生理机制 [J]. *作物学报*, 2005 498—505

[15] 王之杰, 郭天财, 王化岑, 等. 种植密度对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2001; 21(3): 64—67

[16] 蔡瑞国, 王振林, 李文阳, 等. 氮素水平对不同基因型小麦旗叶光合特性和子粒灌浆进程的影响 [J]. *华北农学报*, 2004 19(4): 36—41

[17] 郭天财, 王书丽, 王晨阳, 等. 种植密度对不同筋力型小麦品种荧光动力学参数及产量的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2005 25(3): 63—66

[18] 刘开昌, 张秀清, 王庆成, 等. 密度对玉米群体冠层内小气候的影响 [J]. *植物生态学报*, 2000 24(4): 489—493

[19] 雷钧杰, 宋 敏. 播种期与播种密度对小麦产量和品质影响的研究进展 [J]. *新疆农业科学*, 2007 44 (S3): 138—141

[20] 孙旭生, 林 琪, 李玲燕, 等. 氮素对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008 14(5): 840—844

[21] 王士红, 荆 奇, 戴廷波, 等. 不同年代冬小麦品种旗叶光合特性和产量的演变特征 [J]. *应用生态学报*, 2008 19(6): 1255—1260