

# 密度对稻田套播强筋小麦花后剑叶衰老特性的影响

朱新开, 郭凯泉, 郭文善, 封超年, 李春燕, 彭永欣

(扬州大学 小麦研究所, 江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏 扬州 225009)

**摘要:** 稻田套播小麦作为轻简栽培的一种播种方式在稻麦两熟生产中广泛应用。本试验在江苏淮北地区设计不同密度试验, 研究其对稻田套播强筋小麦花后剑叶叶绿素含量、SOD 酶活性和MDA 含量的影响, 结果表明: 随花后生育进程推移, 叶绿素含量呈下降趋势, 且随密度增加, 下降幅度增大; 花后单茎干物质积累量和单茎籽粒产量亦随密度增加而下降, 二者呈极显著负相关; 随花后生育进程推移, 剑叶SOD 酶活性呈单峰曲线变化, 可用二次曲线方程模拟, 在花后 14 ~ 16 d 达峰值, 且随密度增加峰值出现时间提前, 峰值数值呈先上升再下降的变化特征; 随花后生育进程推移, 剑叶MDA 含量呈上升的变化特征, 且随密度增大, 数值变大; 花后 35 d 剑叶SOD 酶活性与花后单茎干物质积累量和单茎籽粒产量呈极显著正相关, 而MDA 含量与花后单茎干物质积累量和单茎籽粒产量则呈显著或极显著负相关。

**关键词:** 稻田套播强筋小麦; SPAD; SOD; MDA; 衰老

中图分类号: 512. 01 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091( 2009) 06- 0065- 04

## Effects of Density on Senescence Characteristics of Strong-gluten Wheat Interplanted in Paddyfield

ZHU Xin-kai, GUO Kai-quan, GUO Wen-shan, FENG Chao-nian, LI Chun-yan, PENG Yong-xin

(Jiangsu Provincial Key Lab of Crop Genetics and Physiology, Wheat Research Institute,  
Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** Wheat interplanted in paddyfield, which was a light and predigesting cultivation method, was applied widely in area with planting rice and wheat production. The effects of different plant densities on flag leaves chlorophyll content, SOD activity and MDA content after anthesis in strong-gluten wheat interplanted in paddyfield were studied. Chlorophyll content in flag leaves kept declining after anthesis, and the declining rate increased when the density increased. The dry matter accumulation amount after anthesis per stem (DAAA) and grain yield per stem (GYPS) increased with the increase of plant density. DAAA and GYPS were very significantly negatively correlated with plant density. The trend of SOD activity in flag leaves after anthesis showed a single peak curve, the maximum value appeared in the period from the 14th to the 16th day after anthesis. MDA content in flag leaves declined after anthesis, which increased when the density increased. On the 35th day after anthesis, SOD activity in flag leaves had a very significantly positively correlation with DAAA and GYPS, but MDA content in flag leaves had a significantly or very significantly negatively correlation with DAAA and GYPS.

**Key words:** Interplanted strong-gluten wheat in paddyfield; SPAD; SOD; MDA; Senescence

小麦籽粒产量是光合物质生产、同化物运输和籽粒发育对同化物的利用等综合作用的结果, 小麦开花后, 由叶片合成蔗糖, 通过韧皮部运输到籽粒中, 并在籽粒中降解为合成淀粉的原料, 这一过程一方面与源器官的光合作用密切相关, 另一方面与库

器官籽粒产量的形成密切相关。同时小麦生育后期营养器官衰老与籽粒灌浆同步进行, 后期叶片的衰老缩短了有效光合时间, 降低了光合速率, 影响籽粒的发育和产量的发挥, 因此延缓花后叶片衰老, 使之能持续高效地为籽粒输送光合产物, 是提高小麦产

收稿日期: 2009- 10- 17

基金项目: 国家自然科学基金项目( 30971729); 江苏省科技厅项目( BE2009426); 江苏省农业三项工程资助项目(sx[ 2008] z07、sx[ 2009] z08)

作者简介: 朱新开( 1968- ), 男, 副教授, 博士, 主要从事作物营养生理、农业信息与优质高产高效栽培技术研究。

通讯作者: 郭文善( 1961- ), 男, 教授, 博士, 主要从事作物优质高产高效栽培技术研究。

量的有效途径之一<sup>[1]</sup>。有许多研究探索了小麦纯作条件下品种基因型<sup>[2,3]</sup>、生态条件<sup>[4]</sup>、栽培因子<sup>[5-7]</sup>等对小麦花后叶片衰老特性的影响及延缓衰老的途径,郭天财等<sup>[8]</sup>、贾丽等<sup>[9]</sup>研究表明,在小麦的灌浆后期,大穗型品种的光合色素存在明显优势,能够更充分地进行光合作用,同时延缓了叶片衰老,促进籽粒灌浆,对增加穗粒重具有重要意义;王蔚华等<sup>[6]</sup>研究认为氮肥基肥与追肥施用比例为 5:5 时,可有效延长剑叶功能期,提高粒重。也有研究者分析了地膜覆盖栽培对小麦花后衰老的影响<sup>[10]</sup>。稻田套播小麦由于根系分布较浅,后期的叶片易衰老,严重影响到籽粒的发育,从而最终限制产量的提高和品质的改善<sup>[11]</sup>。因此,研究稻田套播小麦生育后期衰老特性及栽培措施对衰老特性的调控及实现小麦优质高产具有重要意义。本试验通过研究密度对稻田套播小麦后期剑叶衰老特性的影响,以期对稻田套播小麦优质高产栽培提供理论依据。

# 1 材料和方法

试验于 2005-2006 年在扬州大学农学院试验基地徐州铜山沿湖农场进行,供试品种为强筋小麦品种烟农 19,采用稻田撒播套种方式。

## 1.1 试验设计

采用单因素随机区组设计,播种量设 112.5, 150, 187.5, 225, 262.5, 300 kg/hm<sup>2</sup> (基本苗分别为 120 万/hm<sup>2</sup> (D120)、180 万/hm<sup>2</sup> (D180)、240 万/hm<sup>2</sup> (D240)、300 万/hm<sup>2</sup> (D300)、360 万/hm<sup>2</sup> (D360)、420 万/hm<sup>2</sup> (D420),共 6 个水平。施氮量 240 kg/hm<sup>2</sup>,氮肥运筹为基肥:苗肥:拔节肥:孕穗肥为 3:3:2:2,氮肥:磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):钾肥(K<sub>2</sub>O)为 1:0.6:0.6,播期为 10 月 11 日;基本苗均为 277.5 万/hm<sup>2</sup>,小区面积 30 m<sup>2</sup>,重复 3 次,其他管理同高产田。

## 1.2 测定项目与方法

1.2.1 成熟期考种,计产 成熟期每小区割 2 m<sup>2</sup> 计产并测定穗数、每穗粒数、粒重、每穗结实小穗数和退化小穗数。

1.2.2 干物质积累、茎蘖动态、叶面积指数测定 分别于五叶期、拔节期、孕穗期、开花期和成穗期每小区取样 20 株,测定叶面积、茎蘖数,样本烘干后称干质量。

1.2.3 剑叶 SPAD 值测定 于开花期、花后 7, 14, 21, 28 d 用日本产 SPAD-502 型叶绿素仪测定剑叶 SPAD 值,重复 5 次。

1.2.4 剑叶丙二醛(MDA)含量测定 开花后每隔 5 d 取剑叶样,用硫代巴比妥酸法测定剑叶中丙二醛

(MDA)含量,重复 3 次。

1.2.5 剑叶超氧化歧化酶(SOD)活性 开花后每隔 5 d 剑叶取样,用比色法测定剑叶中超氧化歧化酶(SOD)活性,重复 3 次。

# 2 结果与分析

## 2.1 密度对剑叶 SPAD 值与花后干物质积累的影响

SPAD 值可反映叶绿素含量的高低。结果表明,稻田套播强筋小麦剑叶 SPAD 值随花后天数的推移呈逐渐下降的趋势,植株剑叶 SPAD 值在花后 7 d 开始逐渐下降,花后 21~28 d 下降最快,幅度最大,不同密度条件下变化趋势均一致。花后 21 d 之前,随密度增加,SPAD 值呈下降趋势,花后 21~28 d, 240 万/hm<sup>2</sup>和 300 万/hm<sup>2</sup> 两处理 SPAD 值保持较高水平(图 1)。说明高密度处理叶绿素降解速度较快,密度适宜的处理叶绿素降解速度相对较慢,延缓植株花后早衰和增强了功能叶的光合能力。

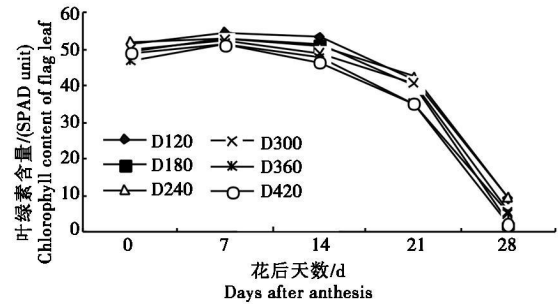


图 1 密度对剑叶 SPAD 值的影响

Fig. 1 Effects of plant density on SPAD value in flag leaves

结果表明,密度影响植株花后营养物质生产与积累及其对籽粒的贡献率,表现为随密度增加,花后单茎干物质积累量下降,二者呈极显著负相关( $r = -0.9628^{**}$ ),而花后干物质积累量与籽粒产量呈极显著正相关( $r = 0.9673^{**}$ ),因而随密度增加,单茎产量亦极显著下降( $r = -0.9510^{**}$ )(表 1)。说明适当降低密度,有利于延缓稻田套种强筋小麦的花后衰老。

表 1 密度对小麦花后干物质积累的影响

Tab. 1 Effects of plant density on dry matter accumulation after anthesis

密度 (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Density	单茎花后积累量/g Dry matter accumulation after anthesis per stem(DAA)	花后干物质对籽粒 产量的贡献率/g Ratio of DAA to grain yield	单茎产量/g Grain yield per stem
120	1.10	74.05	1.49
180	0.99	81.04	1.21
240	1.01	85.06	1.19
300	0.86	83.72	1.02
360	0.82	84.21	0.97
420	0.77	83.04	0.93

2.2 密度对剑叶 SOD 酶活性的影响

试验结果表明稻田套播强筋小麦剑叶 SOD 酶活性(以鲜质量计)呈现“单峰”曲线变化,于花后 14 d 前后达峰值,之后逐渐下降(图 2),可用二次曲线方程  $y = ax^2 + bx + c$  描述,相关系数均达显著或极显著水平(表 2),表明植株生育后期体内 SOD 活性降低,自身清除自由基能力下降,造成细胞内活性氧积累而产生毒害,是植株整体快速衰老的重要原因之一。可以看出,密度对 SOD 酶活性的影响体现在 2 个方面,一是花后 14 d 前高密度处理的酶活性较高,其中峰值呈先上升再下降的变化趋势,峰值与密度关系可用二次曲线方程  $y = -0.001x^2 + 0.7364x + 318.77(r = 0.8456^*)$  描述,峰值以 300 万/hm<sup>2</sup> 最高,峰值出现后高密度处理下降较快,低密度处理下降较慢;二是随密度增加,峰值出现时间逐渐提前。

相关分析表明,花后 35 d 的剑叶 SOD 酶活性与花后单茎干物质积累量呈极显著正相关( $r = 0.9857^{**}$ ),与

单茎产量呈极显著正相关( $r = 0.9844^{**}$ )。说明适宜密度有利于增强植株花后清除活性氧的能力,抑制光合色素的破坏,提高光合速率,延缓植株衰老,保证稻田套播小麦籽粒产量和品质的形成。

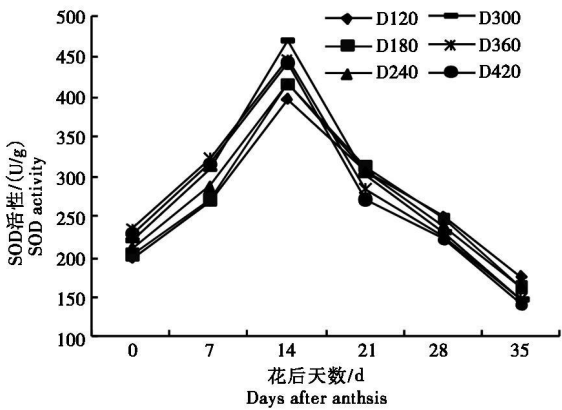


图 2 密度对剑叶 SOD 酶活性变化动态的影响  
Fig. 2 Effects of plant density on SOD activity in flag leaves

表 2 花后剑叶 SOD 酶活性变化动态方程表述  
Tab. 2 Curve equation on SOD activity of flag leaves

密度/(10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Density	方程 Equation	r	峰值出现期(花后天数) Peak time(Days after anthesis)
120	$y = -0.5303x^2 + 17.45x + 199.06$	0.9131 <sup>**</sup>	16.5
180	$y = -0.5872x^2 + 19.001x + 200.52$	0.9081 <sup>**</sup>	16.2
240	$y = -0.5652x^2 + 17.715x + 214.28$	0.9109 <sup>**</sup>	15.7
300	$y = -0.6524x^2 + 19.695x + 228.05$	0.8746 <sup>**</sup>	15.1
360	$y = -0.5671x^2 + 16.218x + 248.23$	0.8805 <sup>**</sup>	14.3
420	$y = -0.5652x^2 + 16.167x + 241.7$	0.8725 <sup>*</sup>	14.3

2.3 密度对剑叶 MDA 含量的影响

试验结果表明,稻田套播强筋小麦剑叶 MDA 含量(以鲜质量计)均随花后天数的推移呈逐渐上升的趋势,花后 28~35 d 上升最快,幅度最大,不同密度条件下的变化动态趋势基本一致,但在 MDA 含量上存在差异,表现为随密度增加,MDA 含量基本呈上升趋势,植株衰老加快(图 3)。相关分析表明,花后 35 d 的剑叶

MDA 含量与花后单茎干物质积累量及单茎籽粒产量呈显著或极显著负相关(图 4)。说明高密度处理 MDA 增加速度较快,而密度适宜的处理 MDA 增加速度相对较慢,延缓了早衰和增强了功能叶的光合能力。

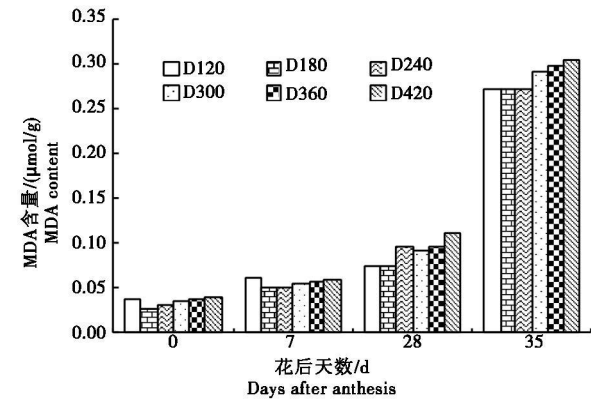


图 3 密度对剑叶 MDA 含量变化动态的影响  
Fig. 3 Effects of plant density on MDA content in flag leaves

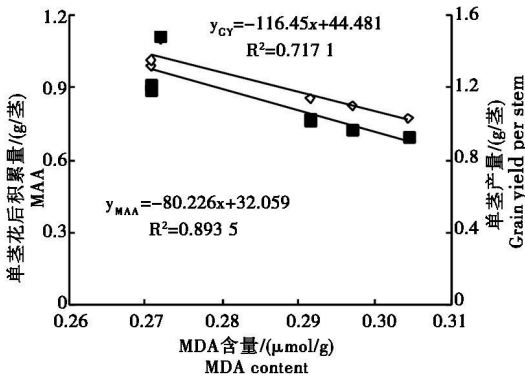


图 4 剑叶 MDA 含量与花后物质生产及籽粒产量的关系  
Fig. 4 Relationship between MDA content in flag leaves and dry matter accumulation after anthesis(MAA) and grain yield per stem(GY)

### 3 结论与讨论

有关小麦花后剑叶衰老过程中的叶绿素含量、SOD 酶活性的变化动态,前人已有较多研究,概括有三种观点:①叶绿素含量、SOD 酶活性随花后生育进程一直呈下降趋势<sup>[11]</sup>;②随花后生育进程叶绿素含量、SOD 酶活性呈先升高再下降的变化动态<sup>[2,6,10,12]</sup>;③随花后生育进程叶绿素含量呈先升高再下降、SOD 酶活性呈先下降再上升后又下降的变化动态<sup>[5]</sup>。本试验结果表明,稻田套播小麦剑叶 SOD 酶活性呈现“单峰”曲线变化,于花后 14 d 前后达峰值,之后逐渐下降,可用二次曲线方程  $y = ax^2 + bx + c$  描述,与王蔚华等<sup>[6]</sup>基本一致。

有关小麦花后剑叶衰老过程中的 MDA 含量的变化动态,前人基本也有三种研究结论:①MDA 含量随花后生育进程一直呈上升趋势<sup>[2,6,10]</sup>;②随花后生育进程 MDA 含量呈先下降再升高的变化动态<sup>[7]</sup>;③随花后生育进程 MDA 含量呈先上升再下降后又上升的变化动态<sup>[5,11]</sup>。本试验结果表明,稻田套播强筋小麦剑叶 MDA 含量均随花后天数的推移呈逐渐上升的趋势,花后 28~35 d 上升最快,幅度最大,不同密度条件下的变化动态趋势基本一致,与施大伟<sup>[2]</sup>、王蔚华等<sup>[6]</sup>基本一致。

究其小麦花后剑叶衰老过程中的叶绿素含量、SOD 酶活性、MDA 含量变化动态差异的原因,可能与不同研究者选用的品种基因型、试验时的生态条件及栽培措施不同有关。小麦籽粒灌浆过程中不同的温、水条件显著影响着叶片的衰老进程<sup>[4]</sup>,在不同密度及施用不同类型生长调节剂条件下,MDA 含量变化动态就不一致<sup>[7]</sup>,拔节期追氮后叶绿素含量呈先上升再下降的变化趋势,而不追氮则呈一直下降的变化趋势<sup>[12]</sup>。

有关密度对小麦花后衰老的影响,于振文等<sup>[13]</sup>研究表明,纯作条件下剑叶 SOD 活性随衰老进程表现为波动形式,且低密度比高密度处理 SOD 活性高。本试验结果表明,在稻田套播条件下,适当降低群体密度,一方面能有效延缓花后叶绿素的降解速度,延缓花后 MDA 的增加速度,增加 SOD 酶活性,另一方面亦能适当推迟 SOD 酶活性高峰值的出现,因而能适当延缓剑叶衰老,为花后光合作用和光合物质的生产提供有利保障,为千粒重的提高和品质的改善奠定良好基础。

因在本试验条件下,以密度处理 300 万/hm<sup>2</sup> 处理籽粒产量最高,达 6 800.07 kg/hm<sup>2</sup>,较密度 120 万/hm<sup>2</sup> 处理高 1 634.99 kg/hm<sup>2</sup>。因而对小麦群体生产而言,适当降低群体密度,能协调剑叶花后衰老与高产的矛盾,密度过低,虽小麦剑叶花后衰老减慢,但因群体生长量不足,群体光合功能不强,籽粒产量并不一定高,密度过高,既造成小麦花后群体荫蔽,有效光合面积下降,也造成光合功能下降,叶片衰老加剧,花后干物质生产量下降,籽粒产量降低。

### 参考文献:

- [1] Mahalakshmi V, Bidingner F R. Evaluation of stay green sorghum germplasm lines at ICRI SAT [J]. Crop Science, 2002, 42: 965–974.
- [2] 施大伟,陈国祥,张成军,等.两种高产小麦旗叶自然衰老过程中生理特性的比较[J].西北农业学报,2005,14(2):23–26.
- [3] Thomas H, Howarth C J. Five ways to stay green[J]. J Exp Bot, 2000, 51: 329–337.
- [4] 靳奇峰,牛俊义.小麦叶片衰老因素的研究进展与展望[J].甘肃农业科技,2003(2):17–19.
- [5] 李春喜,姜丽娜,代西梅,等.小麦氮素营养与后期衰老关系的研究[J].麦类作物学报,2000,20(2):39–41.
- [6] 王蔚华,郭文善,封超年,等.氮肥运筹对小麦花后剑叶衰老及籽粒发育的影响[J].扬州大学学报:农业与生命科学版,2002,23(4):61–65.
- [7] 王志和,姜丽娜,李春喜,等.种植密度和植物生长调节剂对小麦衰老及产量构成的影响[J].作物杂志,2003(2):15–17.
- [8] 郭天财,冯伟,赵会杰,等.两种穗型冬小麦品种旗叶光合特性及氮素调控效应[J].作物学报,2004,30(2):115–121.
- [9] 贾丽,龚月桦.大穗型小麦豫麦 66 的叶片衰老研究及氮代谢[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):57–60.
- [10] 牛一川,姚天明,安建平,等.地膜覆盖栽培对冬小麦衰老进程的影响[J].麦类作物学报,2004,24(3):90–92.
- [11] 罗培高,任正隆,吴先华,等.延缓小麦衰老的结构和生物化学机制[J].科学通报,2006,51(18):2154–2160.
- [12] 魏道智,宁书菊.拔节期追施氮肥对小麦根、叶衰老生理特性的影响[J].河北农业大学学报,2003,26(2):15–19.
- [13] 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.