

施肥与品种及其种子大小对冬小麦 光合及叶绿素荧光特性的影响

吉春容^{1,2}, 李世清^{1,2*}, 李生秀²

(1 西北农林科技大学 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨陵 712100; 2 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西杨陵 712100)

摘要:以土垫旱耕人为土为供试土样, 采用4个冬小麦品种、3种播种方式和4种施肥方式进行盆栽试验, 研究施肥、品种和种子大小对小麦叶片光合和叶绿素荧光特性的影响。结果表明: (1) 在开花期和灌浆期, 旗叶叶绿素相对含量(SPAD值)均为NP配施最高, 其平均值分别比对照显著增加17.83%和13.01%; NP配施条件下, 在开花期和灌浆期SPAD均为大粒单播较高并显著高于小粒单播; 开花期和灌浆期SPAD分别以远丰998和咸农390最高并显著高于其它品种, 平均比最低的白芒麦分别高17.68%和18.75%。(2) 对旗叶净光合速率来说, 开花期的NP配施处理比对照略有下降, 而单施N和P分别比对照显著降低13.03%和23.17%, 灌浆期的平均值以NP配施最高且比对照显著提高6.95%; 小偃6号在开花期显著高于其余品种4.01%~6.19% ($P < 0.05$), 而白芒麦和咸农390则在灌浆期具有较明显优势, 均分别显著高于其余品种约16.60%~26.91%; 在开花期和灌浆期, 2种单播方式平均值相近且显著高于混播方式。(3) 就叶片Fv/Fm和Fv/Fo值而言, NP配施明显高于其它施肥处理, 且NP均衡供应时远丰998和混播方式具有明显优势。可见, 氮磷配施有利于提高各品种SPAD值、Pn以及叶片Fv/Fm和Fv/Fo比值, 能有效改善植株的光合特性; 施肥与品种、施肥与播种方式以及播种方式与品种存在显著交互作用, 宜因种施肥。

关键词: 冬小麦; 种子大小; 光合; 叶绿素荧光

中图分类号: Q945.79 **文献标识码:** A

Effects of Fertilization, Variety and Seed Size on Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence of Winter Wheat

Ji Chunrong^{1,2}, Li Shiqing^{1,2*}, Li Shengxiu²

(1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A pot experiment was carried out to compare the photosynthesis and chlorophyll fluorescence of four winter wheat varieties. The experiment also included three sowing ways and four fertilizer treatments. The results showed that: (1) The highest SPAD was obtained at flowering and filling stage with NP treatments, and there were significant differences among different fertilization treatments. Comparing to no nitrogen treatment, SPAD increased 17.83% and 13.01% with NP treatments at flowering and filling stage, respectively. SPAD of big seed was significantly higher than that of small seed with NP treatment at flowering and filling stage. SPAD of Yuanfeng 998 and Xiannong 390 were significantly higher than those of

*收稿日期: 20070227; 修改稿收到日期: 20071022

基金项目: 国家自然科学基金(30571116, 30230230); 西北农林科技大学创新团队资助

作者简介: 吉春容(1983-), 女(汉族), 在读博士生, 主要进行植物营养生理生态的研究工作。E-mail: jcr_1_tq@163.com

* 通讯作者: 李世清, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤植物氮素营养研究。E-mail: sqli@ms.iswc.ac.cn

the other varieties, and increased 17.68% and 18.75% comparing to ̄Baimangmai₀, respectively. (2) Comparing to no nitrogen treatment, Pn of NP treatment decreased appreciably, and of N and P treatment decreased significantly 13.03% and 23.17% at flowering stage, respectively. At filling stage, the average Pn of NP treatment was the highest, and significantly increased 6.95% than that without no nitrogen treatment. Pn of ̄Xiaoyan 6₀ was significantly higher than other varieties at flowering stage, but ̄Baimangmai₀ and ̄Xiannong 39₀ were significantly higher from 16.60% to 26.91% than those of other varieties at filling stage, respectively. The average of big and small seed was closer, and was significantly higher than mixed seed. (3) The Fv/Fm and Fv/Fo value of leaf with NP treatment were obvious higher than those of other fertilization treatments, and ̄Yuanfeng 998₀ and sowing ways of mixed seed with NP treatment were the highest. The research suggested that applying nitrogen and phosphorus together was beneficial to increase the SPAD value, Pn, Fv/Fm and Fv/Fo value of leaf, which also could improve the ability of photosynthesis of plant. There were remarkable interactions among fertilization, varieties, seed size and applying fertilizer should be related to the difference of varieties.

Key words: winter wheat; seed size; photosynthesis; chlorophyll fluorescence

种子是形成下一代植物的幼体和植物生长发育的基础。种子大小对小麦出苗和幼苗生长具有一定影响。据研究, 与小粒种子相比, 大粒种子不仅出苗早、种子根数和分蘖数多, 而且苗期叶片营养(特别是 N 和 P₂O₅) 水平和产量也高^[1]; 但 Yantai 等^[2] 研究表明, 在适宜播种深度下, 小麦小粒种子较大粒种子出苗早, 而出苗率几乎一致。刘万代等^[3] 研究发现, 大粒种子植株小穗数多, 粒重高, 产量可比小粒增产 13.4%; Gan 和 Stobbe^[4] 也有类似研究结果。但迄今的相关研究很少涉及到叶片的光合荧光特性。不同品种间植株光合荧光特性存在明显差异, 氮素供应状况与植株光合作用的关系也十分密切^[5,7]。一些研究认为^[8,11], 增施氮肥有利于提高旗叶的叶绿素含量, 可以改善旗叶光合性能, 提高籽粒产量。康玲玲等^[12] 研究表明, 增施氮肥有助于小麦植株体内碳氮代谢的同步提高, 明显提高旗叶光合速率。氮素供应状况对荧光参数和动力学过程也会产生明显影响^[13], 如张雷明等^[14] 试验研究表明, 施氮可显著提高叶片 PS II 的 Fv/Fm(最大光化学量子效率)和 Fv/Fo(PS II 的潜在活性)等叶绿素荧光参数; 董彩霞等^[15] 研究发现, 不同形态的氮素对叶绿素荧光参数存在显著影响, 饱和光强下用 NH₄⁺ 2N 和 NO₃⁻ 2N 培养的幼苗 Fv/Fm 下降, 下降程度为 CK > NH₄⁺ > NO₃⁻。

可见, 在品种、施肥对小麦光合和叶绿素荧光特性的影响以及种子大小对幼苗生长和产量的影响等方面前人做了大量研究, 获得了许多重要的结果, 但多为单因素研究试验, 在不同大小粒种子的播种方式下, 品种与施肥等多因素对小麦光合作用和叶绿素荧光特性有何影响, 迄今报道尚少。据此, 本研

究以不同年代冬小麦品种为供试材料, 通过盆栽试验, 以期回答上述问题, 为大田生产中合理的选播栽培提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

盆栽试验以土垫早耕人为土为供试土样(表 1), 米氏盆(25 cm @ 20 cm) 为试验盆钵, 每盆装土 8.5 kg, 试验在西北农林科技大学水土保持研究所进行。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Properties of soil used in experiment

有机质 O. M. (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有效磷 Aval. P (mg/kg)	NO ₃ ⁻ 2N (mg/kg)	NH ₄ ⁺ 2N (mg/kg)
14.35	0.82	3.36	9.83	17.64

试验设不同年代冬小麦品种、播种方式和施肥 3 个因子。品种选用 ̄白芒麦₀(BMM, 20 世纪 60 年代)、̄咸农 39₀(XN39, 20 世纪 70~ 80 年代)、̄小偃 6 号₀(XY6, 20 世纪 90 年代后期)、̄远丰 998₀(YF998, 近期) 4 个不同年代冬小麦品种; 播前人为将各品种种子分为大、中、小粒 3 类, 播种时仅用大、小粒 2 类(表 2) 组成小粒单播(S)、大粒单播(B) 以及大小粒等比例混合播种(M) 3 种播种方式; 施肥设不施肥(CK)、单施氮(N)、单施磷(P) 和氮磷配施(NP) 4 种方式, 每千克土壤施 N 0.2 g, 施 P₂O₅ 0.15 g, 以尿素为氮源, 磷酸二氢钾为磷源。组成完全试验方案, 共 48 个处理, 3 次重复。2004 年 10 月 15 日播种, 每盆播 14 粒, 对大小粒混播方式中的大小粒播种位置进行标记, 出苗后定植至 10 株(对混播, 大小粒苗各保留 5 株)。生育期内适时浇水、除

表 2 播前不同品种的千粒重

Table 2 Thousand kernels weight of different variety (g)

籽粒类型 Seed size	品种 Variety			
	远丰 998 YF998	小偃 6 号 XY6	咸农 39XN39	白芒麦 BMM
混合粒 Mixed seed, M	49.74	41.14	30.70	19.89
大粒 Big seed, B	59.70	49.74	38.89	26.19
小粒 Small seed, S	36.09	32.68	24.48	15.15

草、松土,记录各生育期;成熟时各处理按株收获,考种计产。

1.2 分析测定

在开花期和灌浆期用 LI6400 便携式光合仪采用标准光源测定旗叶净光合速率(Pn),同时分别用叶绿素仪(SPAD502)和光合叶绿素荧光成像仪(IMAGING-PAM, Germany)测定未离体旗叶叶绿素指标值(SPAD,反映相对叶绿素含量的无量纲指标)和叶绿素荧光动力学参数。在测定叶绿素荧光动力学参数前将叶片进行暗室反应 15 min。各处理每盆均测定 3 片旗叶。

不同处理间测定结果用 SAS 软件进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 施肥、品种和大小粒播种对叶绿素相对含量(SPAD 值)的影响

叶绿素是将光能转化为化学能的重要组分,其含量与光合速率呈正相关^[16],可快速测定的 SPAD 值能够有效反映叶绿素含量相对值。方差分析表明,施肥对不同品种、不同播种方式冬小麦 SPAD 值的影响达显著水平($P < 0.05$)(表 3),且施肥与品种、施肥与播种方式以及施肥与播种方式和品种间具有显著交互作用($P < 0.05$)。

2.1.1 不同施肥水平间的差异 由表 3 可知:与对照相比较,开花期各品种和各播种方式的植株叶片 SPAD 值均以 NP 配施最高且显著高于对照,平均值比对照显著增加 17.83%;单施 N 处理次之,3 个品种和小粒播种显著高于对照,但平均值与对照相当;单施 P 处理最低,各品种和各播种方式均显著低于对照,其平均值比对照显著降低 20.53%。与开花期相似,灌浆期各品种和各播种方式的植株叶片 SPAD 值也以 NP 配施和单施 N 处理较高(平均值分别比对照显著增加 13.0%和 12.68%),单施 P 处理较低(平均值比对照显著降低 39.61%),而且所有品种和播种方式与对照差异均达到显著水平(P

< 0.05);与开花期相应品种和播种方式相比,灌浆期单施 N 处理叶片 SPAD 值均有较大幅度增加(平均上升 11.15%),而单施 P、NP 配施处理均有明显减少(平均分别下降 24.85%和 5.18%),对照大部分略有降低(平均降低 1.12%)。可见,无论是开花期还是灌浆期,各施肥处理的植株叶片 SPAD 值总体都表现为 NP 配施> 单施 N> 单施 P。

2.1.2 不同品种间的差异 不同品种间植株叶片叶绿素相对含量差异显著($P < 0.05$)。从表 3 可以看出:开花期,以近期品种“远丰 998”叶片 SPAD 值最高(平均为 43.54),并显著高于其它品种;其次是 70~80 年代品种“咸农 39”(平均为 41.69)和 90 年代品种“小偃 6 号”(平均为 41.41),二者间差异不显著;早期品种“白芒麦”叶片 SPAD 值最低,平均值仅为 37.00,与前 3 个品种分别相差 17.7%、12.7%、11.9%。灌浆期,以“咸农 39”叶片 SPAD 值最高(平均值 42.44)且显著高于其它品种,“小偃 6 号”和“远丰 998”SPAD 值居中,早期品种“白芒麦”叶片 SPAD 值仍最低(平均 35.74),而且各品种间植株叶片 SPAD 值差异均达到显著水平($P < 0.05$)。

2.1.3 不同播种方式间的差异 不同播种方式间植株叶片叶绿素相对含量存在明显差异(表 3),大小粒植株叶片 SPAD 值因品种和施肥不同而异。开花期,大小粒混播(M)和大粒单播(B)植株叶片 SPAD 值在对照和 NP 配施条件下相近且显著高于小粒单播(S),在单施 N 和 P 处理中也相近但却显著低于小粒单播(S);3 种播种方式的平均值以小粒单播较高,并且显著高于大粒单播和大小粒混播。灌浆期,对不施肥(CK)和单施 N 处理,均以小粒单播植株叶片 SPAD 值显著高于混播和大粒单播;单施 P 时,混播和小粒单播显著高于大粒单播,但二者间差异不显著;NP 配施时大粒单播显著高于混播和小粒单播;3 种播种方式的平均值以小粒单播(39.83)和大粒单播(39.14)较高,并且二者均显著高于大小粒混播(38.89)。

表 3 不同处理下冬小麦叶绿素相对含量(SPAD) 差异
Table 3 SPAD of winter wheat with different treatments

生育期 Growth stage	因素 Actor	品种 Variety				播种方式 Sowing way			平均 M ₃ Average
		BMM	XN39	XY6	YF98	M	B	S	
开花期 Flowering stage	CK	37.28 d	44.98 a	40.11 c	42.28 b	41.33 a	41.44 a	40.71 b	41.16
	N	38.26 c	42.58 ab*	43.76 a*	40.43 b*	40.73 b	40.38 b	42.66 a*	41.26
	P	29.05 c*	32.73 b*	31.73 bc*	37.34 a*	32.45 b*	32.21 b*	33.48 a*	32.71*
	NP	43.40 d*	46.48 c*	50.03 b*	54.10 a*	48.41 a*	49.53 a*	47.58 b*	48.50*
平均 M ₁ Average		37.00 c	41.69 b	41.41 b	43.54 a	40.73 b	40.89 b	41.11 a	
灌浆期 Filling stage	CK	37.18 c	44.76 a	41.13 b	39.74 b	40.24 b	39.80 b	42.06 a	40.70
	N	41.95 c*	47.78 a*	45.62 b*	48.10 a*	44.67 b*	46.10 a*	46.83 a*	45.86*
	P	22.52 c*	30.51 a*	18.75 d*	26.56 b*	25.47 a*	23.66 b*	24.63 a*	24.58*
	NP	41.32 c*	46.71 b*	46.70 b*	49.24 a*	45.18 b*	46.99 a*	45.81 b*	45.99*
平均 M ₂ Average		35.74 d	42.44 a	38.05 c	40.91 b	38.89 b	39.14 a	39.83 a	

注: 同行不同字母表示相同施肥水平下, 品种间和播种方式间的差异达显著水平($P < 0.05$); * 表示相同品种或播种方式下各施肥处理与不施肥对照间的差异达显著水平($P < 0.05$); M₁ 和 M₂ 为各品种或播种方式平均值, M₃ 为各施肥处理平均值. 下同.

Notes: Different letters in the same line means significant difference ($P < 0.05$) of varieties or sowing ways at same fertilization level; * means significant difference ($P < 0.05$) between fertilization and CK with the same variety or sowing way; M₁ and M₂ mean the average of different varieties or sowing ways, M₃ means the average of different fertilization treatments. Same as below.

不同播种方式下, 各品种间植株叶片 SPAD 值存在较明显差异(图 1). 开花期, 早期品种 \bar{o} 白芒麦 \bar{o} 和 \bar{o} 咸农 39 \bar{o} 均以大粒单播植株叶片 SPAD 值较高, 而近期品种 \bar{o} 远丰 998 \bar{o} 和 \bar{o} 小偃 6 号 \bar{o} 均以大小粒混播植株叶片 SPAD 值显著较高, 小粒单播次之, 大粒单播最低, 大小粒播种间差异均显著. 灌浆期, 各品种叶片 SPAD 值在不同播种间差异表现不一致, \bar{o} 白芒麦 \bar{o} 大粒单播植株叶片 SPAD 值比混播和小粒单播分别高出 14.3% 和 11.9%, \bar{o} 咸农 39 \bar{o} 小粒单播显著高于混播和大粒单播, 而 \bar{o} 小偃 6 号 \bar{o} 和 \bar{o} 远丰 998 \bar{o} 以混播明显较高, 大粒单播明显较低. 不同时期品种叶片 SPAD 值在不同播种方式下表

现出的差异可能与其遗传特性有关.

2.2 施肥、品种和播种方式对冬小麦净光合速率的影响

开花期和灌浆期各处理的净光合速率方差分析结果表明(表 4), 施肥对各品种、不同播种方式冬小麦净光合速率具有显著影响($P < 0.05$), 且施肥与品种、施肥与播种方式以及播种方式与品种间存在显著交互作用($P < 0.05$).

2.2.1 不同施肥水平间的差异

开花期, 以不施肥 CK 净光合速率最大(平均 $20.03 \text{ Lmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 其次是 NP 配施, 但二者间差异不显著; 单施 N 和单施 P 处理的净光合速率较低, 它们分别比

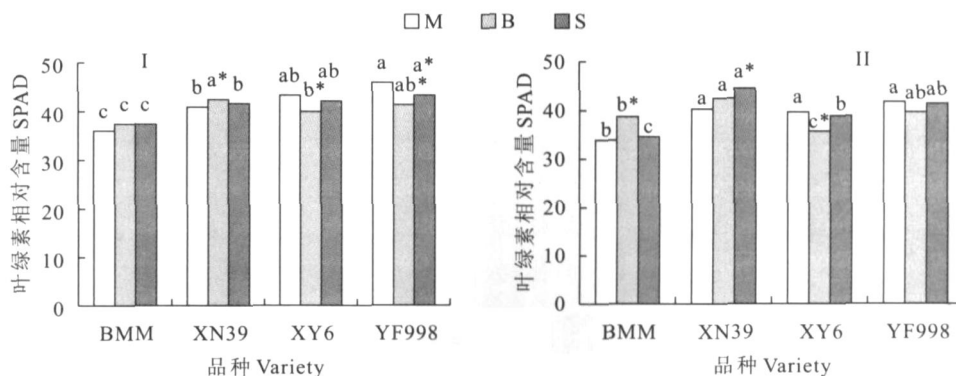


图 1 不同播种方式下开花期(\bar{N}) 和灌浆期(\bar{o}) 各品种叶绿素相对含量

同系列不同字母表示品种间的差异达显著水平($P < 0.05$); * 表示大、小粒单播与混播间的差异达显著水平($P < 0.05$). 下同.

Fig. 1 SPAD of different varieties under different sowing ways at flowering (\bar{N}) and filling (\bar{o}) stage

Different letters in the same series means significant difference ($P < 0.05$); * means significant

difference ($P < 0.05$) among big seed, small seed and mixed seed. Same as below

表 4 不同处理下各生育期冬小麦叶片净光合速率

Table 4 The Pn of winter wheat leaves in different treatments at growth stages ($\text{Lmol CO}_2! \text{ m}^{-2}! \text{ s}^{-1}$)

生育期 Growth stage	因素 Factor	品种 Variety				播种方式 Sowing way			平均 M ₃ Average
		BMM	XN39	XY6	YF998	M	B	S	
开花期 Flowering stage	CK	19.76 b	19.31 b	21.04 a	20.01 ab	19.32 b	20.44 a	20.32 a	20.03
	N	14.99 c*	17.32 b*	18.44 ab*	18.93 a	15.25 b*	18.89 a*	18.12 a*	17.42 *
	P	16.81 a*	14.59 b*	16.04 a*	14.12 b*	15.31 ab*	14.78 b*	16.08 a*	15.39 *
	NP	19.76 a	20.63 a	19.23 a*	17.34 b*	18.38 b	20.18 a	19.16 ab	19.24
平均 M ₁ Average		17.83 b	17.97 b	18.69 a	17.60 b	17.07 b	18.58 a	18.42 a	
灌浆期 Filling stage	CK	16.48 a	17.50 a	17.28 a	12.67 b	15.93	16.48	15.54	15.98
	N	19.64 a*	17.19 b	13.41 c*	13.41 c	15.64	16.52	15.58	15.91
	P	14.14 b*	16.34 a	12.30 c*	13.48 bc	12.23 b*	14.65 ab*	15.30 a	14.06 *
	NP	19.12 a*	18.33 a	16.54 b	14.37 c*	16.15 b	16.51 b	18.62 a*	17.09*
平均 M ₂ Average		17.35 a	17.34 a	14.88 b	13.48 b	14.99 b	16.04 ab	16.26 a	

对照降低 13.03% 和 23.17% ($P < 0.05$), 即施肥后冬小麦开花期净光合速率比不施肥对照略有下降或显著降低. 进入灌浆期, 各施肥处理的净光合速率平均值表现为 NP 配施 > CK > 单施 N > 单施 P, 而且 NP 配施和单施 P 都与对照有显著差异, 二者分别比对照提高 6.95% 和 -12.02%, 但各品种和播种方式间的表现有差异. 可见, 相对 CK 而言, NP 配施能提高灌浆期大部分品种和播种方式的小麦叶片净光合速率, 而单施磷却显著降低大部分处理的植株叶片 Pn. 说明养分均衡供应有利于增加冬小麦灌浆期的光合速率.

2.2.2 不同品种间的差异 表 4 显示, 不同品种间冬小麦叶片净光合速率差异达到显著水平 ($P < 0.05$). 在开花期, 小偃 6 号的 Pn 在对照和各施肥条件下均表现较突出, 其平均值 ($18.69 \text{ Lmol CO}_2! \text{ m}^{-2}! \text{ s}^{-1}$) 显著高于其余品种达 4.01% ~ 6.19%. 进入灌浆期, 白芒麦与咸农 39 旗叶净光合速率具有较明显优势且平均值相近, 均分别显著高于品种小偃 6 号和远丰 998 约 16.60% 和 26.91%. 另外, 与开花期相比较, 灌浆期各品种旗叶净光合速率值有所下降, 并以 90 年代品种小偃 6 号和远丰 998 表现较为明显, 这与 90 年代品种在灌浆以前已经形成较大库源, 后期以大量转移光合同化物质为主有关.

2.2.3 不同播种方式间的差异 不同播种方式间植株叶片净光合速率 (Pn) 也存在显著差异 (表 4), 其植株叶片净光合速率因品种和施肥不同而异. 开花期, 大粒单播和小粒单播植株叶片净光合速率平均值显著高于混播, 但不同施肥处理差异有所不同; 对不施肥 (CK)、单施 N 和 NP 配施, 均以大粒单播

植株叶片 Pn 最高, 混播最低; 单施 P 时, 小粒单播植株叶片 Pn 较高, 大粒单播的最低, 二者间差异显著. 灌浆期, 小粒单播植株叶片平均值 Pn 最高, 比混播显著高出 8.47%, 但与大粒单播的相近. 其中, 不施肥 CK 和单施 N 时, 各播种方式间植株叶片 Pn 差异不显著, 但均以大粒单播 Pn 较高; 而单施 P 和 NP 配施时, 小粒单播植株叶片 Pn 显著高于混播和大粒单播.

不同播种方式下, 各品种植株叶片 Pn 存在显著差异 (图 2). 开花期 (图 2, N), 除早期品种白芒麦大粒单播植株叶片 Pn 显著高于混播和小粒单播的外, 咸农 39、小偃 6 号和远丰 998 均以小粒单播略高于其它播种方式. 灌浆期 (图 2, O), 白芒麦和咸农 39 以大粒单播植株叶片 Pn 较高, 而小偃 6 号和远丰 998 均以小粒单播的最高, 混播最低.

2.3 施肥、品种和播种方式对叶绿素荧光特性的影响

叶绿素荧光是光合作用的探针, 通过对各种荧光参数分析可获得有关光能利用途径的信息, 其中初始荧光 Fo 和最大荧光 Fm 分别表示 PS 反应中心处于完全开放和完全关闭时的荧光产量, 可变荧光 Fv 反映 PS 活性的变化, Fv/Fm 代表 PS 原初光能转化效率, Fw/Fo 表示 PS 的潜在活性^[17, 18], Fw/Fm 和 Fv/Fo 比值越大, 光合效率越高.

2.3.1 施肥、品种和大小粒播种对 Fv/Fm 的影响

不同处理下各冬小麦品种叶片叶绿素荧光动力学测定结果 (开花期和灌浆期 2 次测定结果平均值) 见图 3, 不同施肥处理、品种和播种方式 Fv/Fm 值均有明显差异.

在不施肥条件下(CK)(图 3, \tilde{N}), 就 3 种播种方式相比较, 小粒单播方式的植株叶片 Fv/Fm 在各参试品种中均较高; 大粒单播方式除在 \bar{o} 咸农 39 \bar{o} 中较低外, 在其它品种中均较高并与小粒单播的接近; 大小粒混播方式仅在 \bar{o} 咸农 39 \bar{o} 中较高并与小粒单播的相近, 其余品种的均明显低于 2 种单播方式, 即在不施肥时小粒种子植株叶片光能转化效率较高. 而就 4 个品种比较, \bar{o} 小偃 6 号 \bar{o} 无论在那种播种方式下其 Fv/Fm 都明显高于其余品种, \bar{o} 远丰 998 \bar{o} 也在 2 种单播方式明显高于 \bar{o} 白芒麦 \bar{o} 和 \bar{o} 咸农 39 \bar{o} , 说明在不施肥时近代品种植株叶片具有较高的光能转化效率.

对于单施 N(图 3, \bar{o}) 处理, 就播种方式而言, 大小粒混播的 Fv/Fm 除在 \bar{o} 白芒麦 \bar{o} 中略低于单播方式外, 在其余品种中均明显高于单播, 在近期品种 \bar{o} 远丰 998 \bar{o} 和 \bar{o} 小偃 6 号 \bar{o} 中表现得尤为突出; 大粒单播的 Fv/Fm 仅在 \bar{o} 白芒麦 \bar{o} 中存在优势, 而小粒单播的 Fv/Fm 在所有品种中都居中或者偏低. 各品种间相比较, \bar{o} 小偃 6 号 \bar{o} 的 Fv/Fm 在 3 种播种方式下均比其它品种有绝对优势, 其余品种的 Fv/Fm 在混播方式下相近, 在单播方式下均以 \bar{o} 远丰 998 \bar{o} 明显较低. 即在单施氮肥情况下混播有利于提高品种叶片的光能转化效率, 并以近代品种 \bar{o} 小偃 6 号 \bar{o} 效果最明显.

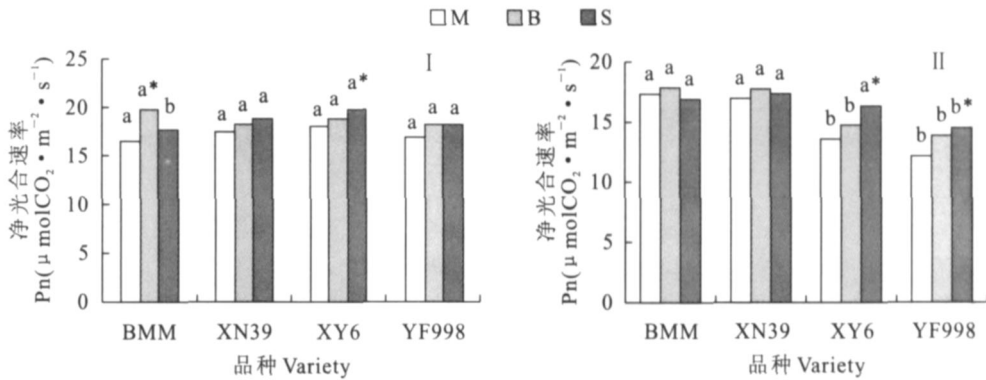


图 2 不同播种方式下开花期(\tilde{N})和灌浆期(\bar{o})各品种的净光合速率

Fig. 2 The Pn of different varieties under different sowing ways at flowering (\tilde{N}) and filling (\bar{o}) stage

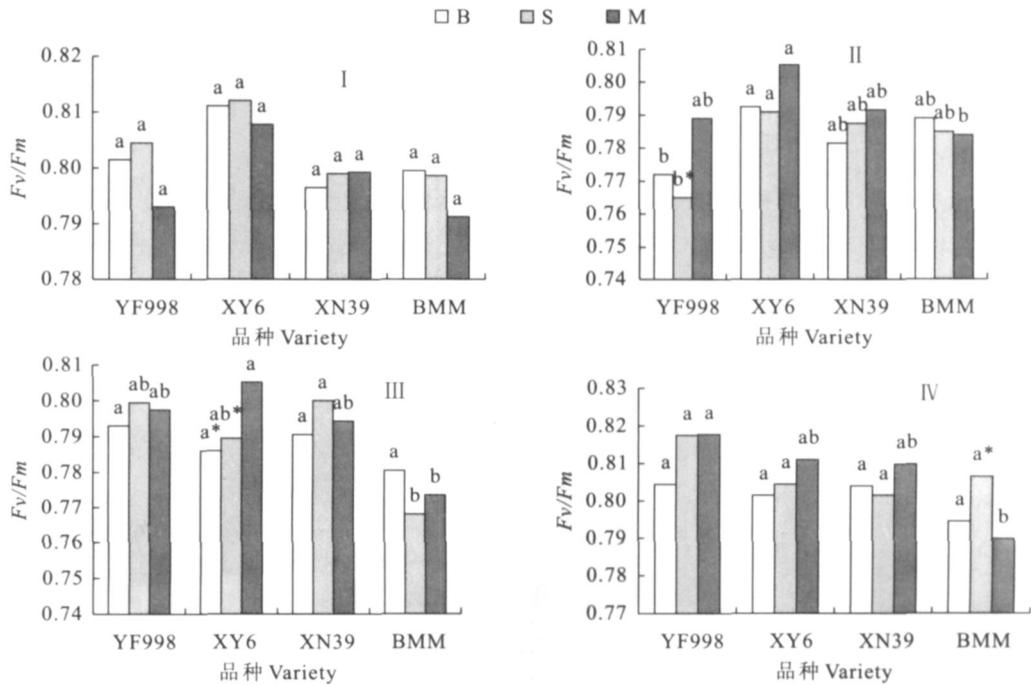


图 3 不同施肥处理对 Fv/Fm 的影响

\tilde{N} : 对照; \bar{o} : 单施 N; \bar{o} : 单施 P; \bar{o} : NP 配施; 下同

Fig. 3 Effect of different fertilization on Fv/Fm

\tilde{N} : CK; \bar{o} : N; \bar{o} : P; \bar{o} : NP; Same as below

单施 P(图 3, \hat{O})时,大小粒混播的 F_v/F_m 仅在 \hat{o} 小偃 6 号 \hat{o} 中有绝对优势,在其它品种中均居中;大粒单播的 F_v/F_m 仅在 \hat{o} 白芒麦 \hat{o} 中有明显优势,其余品种均偏低;小粒单播的 F_v/F_m 除在 \hat{o} 白芒麦 \hat{o} 中较低外,在其余品种中都最高或居中.4 个品种比较, \hat{o} 白芒麦 \hat{o} 的 F_v/F_m 在 3 种播种方式下均明显低于其它品种,而其它 3 品种在各播种方式下都比较接近.

对 NP 配施(图 3, \hat{O}),混合播种方式的叶片 F_v/F_m 除在 \hat{o} 白芒麦 \hat{o} 中偏低外,在其余品种中均有明显优势;大粒单播的叶片 F_v/F_m 在近代品种中偏低,在在在品种中居中;小粒播种方式在 \hat{o} 白芒麦 \hat{o} 和 \hat{o} 远丰 998 \hat{o} 中有明显优势,在其余品种中较高.各品种间相对而言, \hat{o} 远丰 998 \hat{o} F_v/F_m 在 3 种播种方式下均有较明显优势.

各施肥处理间比较, NP 配施时各品种叶片 F_v/F_m 值均高于其它施肥处理,说明 NP 配施有利于增加光合效率.从播种方式和施肥处理平均值看, \hat{o} 小偃 6 号 \hat{o} F_v/F_m 最大,60 年代品种 \hat{o} 白芒麦 \hat{o} 最小;在 NP 均衡供应时(图 3, \hat{O}),随品种时代的演变, F_v/F_m 不断增大;对不施肥(CK)、单施 N、单施 P 处理, \hat{o} 小偃 6 号 \hat{o} F_v/F_m 均大于 \hat{o} 白芒麦 \hat{o} 和 \hat{o} 咸农 39 \hat{o} .这可能是因为 90 年代品种具有较高利用土

壤养分能力,从而维持 F_v/F_m 处于较高水平.

2.3.2 施肥、品种和大小粒播种对 F_v/F_o 的影响

F_v/F_o 是反映 PS \hat{O} 潜在活性的重要指标.本研究发现,对不施肥 CK,各品种在不同播种方式下的 F_v/F_o 有差异(图 4, \hat{N}):无论那种播种方式下, \hat{o} 小偃 6 号 \hat{o} 品种的叶片 F_v/F_o 均明显高于其余品种,其余品种在单播方式下,以 \hat{o} 远丰 998 \hat{o} 植株叶片 F_v/F_o 较高,在混播方式下以 \hat{o} 咸农 39 \hat{o} 稍高,说明 90 年代品种大粒植株叶片 PS \hat{O} 具有较大潜在活性;就播种方式而言,各品种内均以单播方式的 F_v/F_o 较高,而混播方式的植株叶片 F_v/F_o 较低.

单施 N 条件下(图 4, \hat{O}),各品种大粒植株叶片 F_v/F_o 均高于小粒植株,且除 \hat{o} 白芒麦 \hat{o} 外各品种的混播植株叶片 F_v/F_o 明显高于单播植株叶片,而以 \hat{o} 远丰 998 \hat{o} 在单播和混播方式下差异更为明显;无论那种播种方式下,品种间均以 \hat{o} 小偃 6 号 \hat{o} 的 F_v/F_o 最高.在单施 P 时(图 4, \hat{O}),各品种植株叶片 F_v/F_o 的差异缺乏规律性.单播方式下,除早期品种 \hat{o} 白芒麦 \hat{o} 大粒植株叶片 F_v/F_o 明显高于小粒植株外,其它 3 个品种其大粒植株均低于小粒植株;而在混播方式下 \hat{o} 远丰 998 \hat{o} 、 \hat{o} 小偃 6 号 \hat{o} 和 \hat{o} 咸农 39 \hat{o} 的植株叶片 F_v/F_o 高于大粒单播植株. NP 配施时(图 4, \hat{O}),除 \hat{o} 白芒麦 \hat{o} 外各品种混播方式植株叶片 F_v/F_o 均明显高于

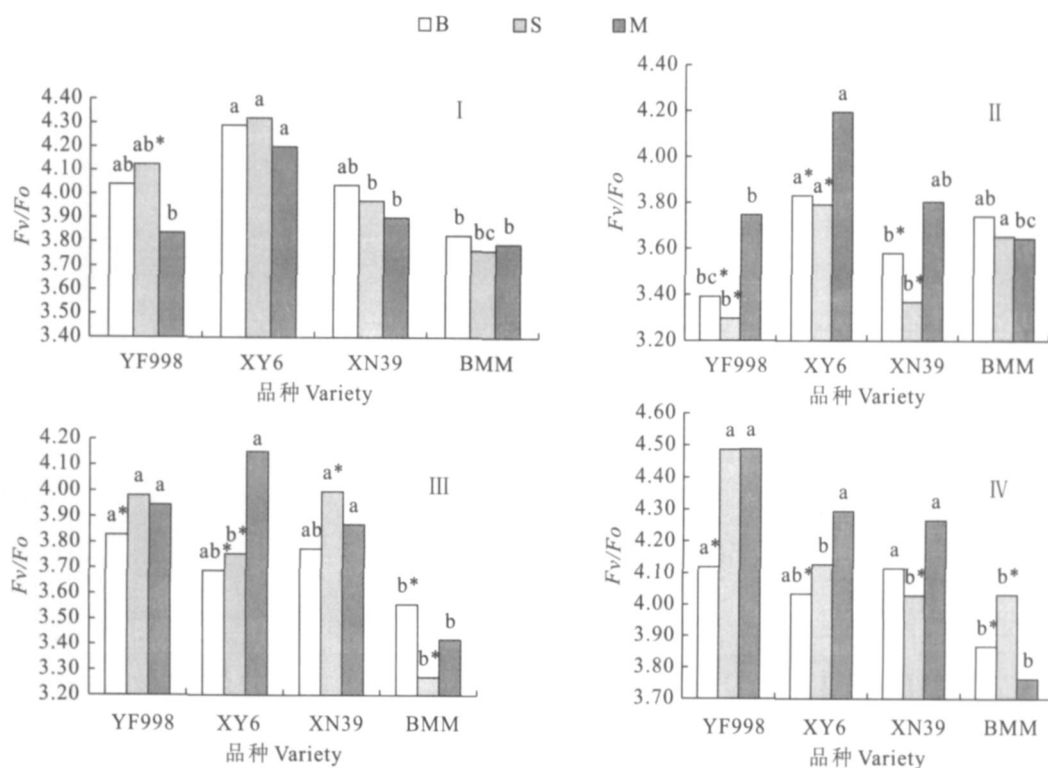


图 4 不同施肥处理对 F_v/F_o 的影响

Fig. 4 Effect of different fertilization on F_v/F_o

单播植株, 而小粒单播又比大粒单播表现突出. 就品种而言, 各种播种方式下均以远丰 998 植株叶片 Fv/Fo 最高, 具有明显优势. 从播种方式和施肥处理平均看, 小偃 6 号 Fv/Fm 最大, 60 年代品种白芒麦最小; NP 配施明显高于其它施肥处理, 此时随品种逐渐演替, Fv/Fo 也不断增大.

3 讨论

3.1 叶绿素含量和净光合速率与施肥、品种和大小粒播种的关系

光合色素是光合作用的物质基础, 叶绿素含量及其消长与光合强度密切相关. 叶绿素含量的高低在很大程度上反映了植株生长状况和叶片的光合能力^[19], 且增施氮肥有利于提高旗叶的叶绿素含量, 可以改善旗叶光合性能, 提高籽粒产量. 本试验结果部分与之相一致, 植物叶片叶绿素含量和光合速率除因品种不同而异外, 施肥对其也存在显著影响. 氮磷配施能显著提高植株叶片叶绿素相对含量和净光合速率, 但氮肥单施对其没有显著影响, 单施磷肥后叶绿素相对含量和净光合速率均略有降低, 其原因还有待于进一步研究.

光合作用是植物体内极为重要的代谢过程, 是判断植物生长的关键指标^[20]. 从目前文献看^[124], 关于冬小麦不同种子大小的研究大多以探讨对小麦生长发育或繁殖体性状研究为主, 并未涉及光合荧光特性的测定以及与施肥的关系. 本试验结果表明, 不

同种子大小冬小麦叶绿素含量及光合作用的差异因品种、施肥不同而异. 不同品种大小粒植株叶片 SPAD 和 Pn 差异变化并无明显规律性, NP 配施处理下各品种大粒植株叶片 SPAD 和 Pn 均大于小粒植株, 显然养分均衡供应有利于增加叶片叶绿素含量, 提高光合速率.

3.2 叶绿素荧光特性与施肥、品种和大小粒播种的关系

氮素供应状况对荧光参数产生明显影响, 施氮可显著提高 PS II 的 Fv/Fm (最大光化学量子效率)、 Fv/Fo (潜在活性) 等荧光参数^[11, 14]. 本试验测定结果与之基本一致, 与不施肥(CK)相比, 施肥后植株叶片 PS II 原初光能转化效率较高, 具有较大的潜在活性; 单施 N 时各品种大粒植株叶片 Fv/Fm 和 Fv/Fo 均高于小粒植株, 并以品种远丰 998 和小偃 6 号较为明显; 但单施 P 和 NP 配施时, 各品种冬小麦叶片 Fv/Fm 和 Fv/Fo 的差异变化并无明显规律性.

以上结果说明, 在本试验范围内, 氮磷配施有利于提高各品种叶绿素相对含量 (SPAD 值)、净光合速率 (Pn) 以及叶片 Fv/Fm 和 Fv/Fo 比值, 对提高光合效率和增加同化产物的累积极为有利; 不同种子大小植株光合及叶绿素荧光特性因品种不同而异, 其在不同施肥水平下差异变化的普遍规律还有待于进行更加深入的研究.

参考文献:

- [1] LIU W D (刘万代), DUAN SH SH (段舜山), QIAO J L (乔建礼). Effect of seed size on the reproductive body of winter wheat [J]. *Crop Research (作物研究)*, 1998, 4: 18- 22 (in Chinese).
- [2] YANTAI GAN. Relative date of wheat seedling emergence and its impact on grain yield [J]. *Crop Science*, 1992, 32: 1 275- 1 281.
- [3] LIU W D (刘万代), HAN J F (韩锦峰). Effect of seed size on the reproductive body and yield of winter wheat [J]. *Seed (种子)*, 1998, 2: 11 - 13 (in Chinese).
- [4] GAN Y, STOBBE E H. Effect of variation in seed size and planting depth on emergence, infertile plants, and grain yield of spring wheat [J]. *Can. J. Plant Sci.*, 1995, 75: 565- 570.
- [5] LIU Y (刘毅), LI SH Q (李世清), LI D F (李东方). Responding sensitivities of different wheat varieties to nitrogen [J]. *Acta Bot. Boréal Occident. Sin.* (西北植物学报), 2005, 25(10): 1 983- 1 991 (in Chinese).
- [6] SHANGGUAN Z P, SHAO M A, DYCKMANS J. Effect of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat [J]. *J. Plant Physiol.*, 2000, 56: 46- 51.
- [7] GUO T C (郭天财), WANG ZH J (王之杰), HU T J (胡廷积), ZHU Y J (朱云集), WANG CH Y (王晨阳), WANG H C (王化岑), WANG Y H (王永华). Study on canopy apparent photosynthesis characteristics and grain yield traits of two winter wheat cultivars with different spike type [J]. *Acta Agronomica Sinica (作物学报)*, 2001, 27(5): 634- 639 (in Chinese).
- [8] JIANG D (姜东), YU ZH W (于振文), LI Y G (李永庚), YU S L (余松烈). Effects of different nitrogen application levels on changes of sucrose content in leaf culm, grain and photosynthate distribution and grain starch accumulation of winter wheat [J]. *Scientia Agricultura*

- Sinica(中国农业科学), 2002, 35(2): 157- 162(in Chinese).
- [9] GUO T C(郭天财), FENG W(冯伟), ZHAO H J(赵会杰), ZHU Y J(朱云集), WANG CH Y(王晨阳), YAN Y L(阎耀礼), LUO Y(罗毅). Effects of irrigation and fertilizer application regimes on photosynthetic characteristics of flag leaves and yield traits of wheat [J]. Acta Bot. Boreal. Occident. Sin. (西北植物学报), 2003, 23(9): 1 512- 1 517(in Chinese).
- [10] PAN Q M(潘庆民), YU ZH W(于振文). Effect of nitrogen topdressing stage on grain quality and yield of winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops(麦类作物学报), 2002, 22(2): 65- 69(in Chinese).
- [11] GUO T C(郭天财), WANG ZH J(王之杰), WANG Y H(王永华). Study on diurnal changes of flag leaf photosynthetic rate for two spike-type cultivars of wheat[J]. Acta Bot. Boreal. Occident. Sin. (西北植物学报), 2002, 22(3): 554- 560(in Chinese).
- [12] KANG L L(康玲玲), WEI Y CH(魏义长), ZHANG J L(张景略). Effects of soil moisture and fertilizer on physiological property and yield of winter wheat [J]. Agricultural Research in the Arid Areas(干旱地区农业研究), 1998, 16(4): 21- 27(in Chinese).
- [13] LI CH X(李春喜), ZHANG G F(张根发), SHI H E(石惠恩). Effects of nitrogen on the dynamic change of nitrate reductase activity and grain protein content of wheat [J]. Acta Bot. Boreal. Occident. Sin. (西北植物学报), 1995, 15(4): 276- 281(in Chinese).
- [14] ZHANG L M(张雷明), SHANGGUAN ZH P(上官周平), MAO M C(毛明策), YU G R(于贵瑞). Effects of long-term application of nitrogen fertilizer on leaf chlorophyll fluorescence of upland winter wheat[J]. Chin. J. of Appl. Ecol. (应用生态学报), 2003, 14(5): 695- 698(in Chinese).
- [15] DONG C X(董彩霞), TIAN J CH(田纪春), ZHAO SH J(赵世杰). Effects of different nitrogen forms(NH_4^+ , NO_3^-) on the chlorophyll fluorescence in seedling leaves of high protein wheat cultivars[J]. Acta Bot. Boreal. Occident. Sin. (西北植物学报), 2002, 22(2): 229- 234(in Chinese).
- [16] ZHANG DZH(张殿忠), WANG P H(汪沛洪). Relationship between water stress and plant nitrogen metabolism. Effects of fertilizer nitrogen on nitrogen metabolism in water stressed wheat leaves[J]. Journal of Northwest Science University of Agriculture and Forestry(Nat. Sci. Ed.)(西北农林科技大学学报!自然科学版), 1998, 16(4): 15- 21(in Chinese).
- [17] KOU W F(寇伟锋), LIU ZH P(刘兆普), CHEN M D(陈铭达), ZHENG Q S(郑青松), ZHAO G M(赵耕毛), ZHENG H W(郑宏伟). Effects of sea water at different concentration on the photosynthesis and chlorophyll fluorescence properties of oil sunflower seedlings [J]. Acta Bot. Boreal. Occident. Sin. (西北植物学报), 2006, 26(1): 73- 77(in Chinese).
- [18] LIU J Y(刘家尧), YI Y J(衣艳君), ZHANG Q D(张其德). Effects of salt stress on chlorophyll fluorescence induction kinetics in wheat leaves with different salt tolerance[J]. Chinese Bulletin of Botany(植物学通报), 1998, 15(2): 46- 49(in Chinese).
- [19] XU H F(徐惠凤), LIU X T(刘兴土), JIN Y M(金研铭), ZHANG J H(张建华), XU K ZH(徐克章). Study on sunflower chlorophyll and the specific leaf weight[J]. System Science and Comprehensive Studies in Agriculture(农业系统科学与综合研究), 2003, 19(2): 97 - 100(in Chinese).
- [20] HE J(何军), XU X(许兴), LI SH H(李树华), MI H L(米海莉), ZHANG Y P(张源沛), ZHAO T CH(赵天成), MA Y P(马有朋). Effects of water stress on photosynthetic pigment in leaves and chlorophyll fluorescence of *Cynanchum komarovii* [J]. Acta Bot. Boreal. Occident. Sin. (西北植物学报), 2004, 24(9): 1 594- 1 598(in Chinese).