

不同耕作模式对旱地小麦旗叶光合特性 及产量的影响

王 维^{1,2}, 韩清芳¹, 吕丽霞², 侯贤清^{1,2}, 张 鹏^{1,2}, 贾志宽¹, 丁瑞霞¹, 聂俊峰¹

(1. 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 农业部西北黄土高原作物生理生态与耕作重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 通过在宁南旱区连续2年的定位试验, 比较了连年免耕(NT)、连年深松(ST)、免耕/深松(NT/ST)、深松/免耕(ST/NT)、传统翻耕(CT)5种耕作模式下冬小麦花后旗叶叶绿素相对含量(SPAD值)、光合特性和叶绿素荧光参数。结果表明, 小麦开花至灌浆期, ST、NT/ST、ST/NT和NT的旗叶叶绿素相对含量分别较CT提高32.2%、27.4%、13.5%和11%; 旗叶日均光合速率平均分别提高1.6、1.2、0.9和0.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ($P < 0.05$); 旗叶日均蒸腾速率平均分别提高1.2、0.9、0.7和0.3 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ($P < 0.05$)。ST和NT/ST处理的叶片瞬时水分利用效率较CT显著提高。开花期和灌浆期, 与CT相比, 其他4种耕作模式均提高了PSII最大光化学效率、PSII潜在活性、实际光化学效率、光化学猝灭系数和非光化学猝灭系数, 减少了光抑制程度。NT/ST、ST、ST/NT和NT处理较CT分别增产42.1%、35.3%、30.3%和23.5%, 基于产量的水分利用效率分别提高51.3%、37.8%、19.9%和14.6%。免耕、深松及二者轮耕处理可降低旱地土壤水分的无效蒸发消耗, 并提高旱地作物的蒸腾效率, 以连年深松和免耕/深松处理提高产量和水分利用效率尤为显著。

关键词: 宁南旱区; 耕作模式; 冬小麦; 叶绿素荧光参数; 产量

中图分类号: S512.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0020-07

Effects of different tillage patterns on photosynthetic characteristics and yield of dryland wheat

WANG Wei^{1,2}, HAN Qing-fang¹, LU Li-xia², HOU Xian-qing^{1,2}, ZHANG Peng^{1,2},
JIA Zhi-kuan¹, DING Rui-xia¹, NIE Jun-feng¹

(1. Institute of Water-Saving Agriculture in Dry Area of China, Northwest A&F University / Key Laboratory of Crop Physi-ecology and Tillage Science in Northwestern Loess Plateau, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The SPAD value, photosynthetic characteristics, and chlorophyll fluorescence parameters of wheat flag leaf after flowering stage were studied in a 2-year located experiment in semi-arid areas of southern Ningxia Autonomous Region using five tillage practices of successive no-tillage (NT), successive subsoiling (ST), subsoiling/no-tillage(ST/NT), no-tillage/subsoiling (NT/ST), and conventional tillage (CT). The results showed that the chlorophyll relative content under ST, NT/ST, ST/NT and NT were 32.2%, 27.4%, 13.5%, and 11% higher than CT, respectively, from flowering to filling stage. Compared with CT, the flag leaf daily average photosynthesis rate (P_n) of different tillage treatments increased by 1.6, 1.2, 0.9, and 0.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ($P < 0.05$), and the transpiration rate (T_r) increased by 1.2, 0.9, 0.7, and 0.3 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ($P < 0.05$). The water use efficiency of flag leaf under ST and NT/ST was significantly higher than that of CT. In the flowering and filling stages, compared with CT, the values of F_v/F_m , F_v/F_o , ϕ_{PSII} , qP and qN increased and the photoinhibition degree decreased for the ST, NT/ST, ST/NT and NT treatments. Grain yields increased by 42.1%, 35.3%, 30.3% and 23.5% under the NT/ST, ST, ST/NT, and NT treatments. The WUE based on crop yield increased by 51.3%, 37.8%, 19.9% and 14.6% respectively, compared with

收稿日期: 2012-07-05

基金项目: “十一五”国家科技支撑课题(2006BAD29B03); “十二五”国家科技支撑课题(2012BAD09B03)

作者简介: 王 维(1986—), 男, 河北张家口人, 硕士研究生, 主要从事旱地农业生态研究。E-mail: chengcheng2008@163.com。

通信作者: 韩清芳(1969—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事旱区农业水分高效利用研究。E-mail: hanqf88@126.com。

the CT. The continuous no-tillage, subsoiling, and two rotation tillage practices could improve the crop transpiration efficiency with limited rainfall in dryland, and reduce invalid evaporation of soil moisture. Eventually, the grain yield and WUE of the ST and NT/ST treatments were significantly improved.

Keywords: semiarid areas in southern of Ningxia; tillage practice; winter wheat; chlorophyll fluorescence parameters; yield

宁南地区地处我国西北黄土高原半干旱区,年降水量仅 280~450 mm,且分布不均,水土流失严重是引起该区作物产量低而不稳的重要原因^[1]。干旱胁迫使作物叶片气孔阻力增加和叶绿素含量减少,净光合速率下降^[2],抑制了 PS II 的光化学活性。不同耕作措施可通过调节土壤环境来影响作物的光合特性^[3]。传统翻耕模式对土壤结构破坏严重,加大了土壤水分蒸发^[4];而保护性耕作具有良好的蓄水保墒作用,可以提高作物生育期的土壤贮水量^[5-8],进而增加小麦花后的旗叶面积,提高作物的光合能力,增加生长后期干物质积累,提高小麦的籽粒产量^[9-12]。研究表明,免耕、深松耕能提高小麦叶片光合能力^[13];深松耕作结合残茬覆盖的夏玉米叶片光合速率显著高于不覆盖免耕^[14]。但是,连年免耕和连年深松也使土壤质量产生诸多问题,不利于作物的生长^[15-16]。He 等^[17]指出,免耕结合深松可提高作物产量和水分利用效率。目前,关于连年免耕、深松及二者轮耕下对旱地作物光合特性及产量的影响等方面的研究较少。本研究设置 5 种耕作处理,通过测定冬小麦开花后旗叶光合特性和叶绿素荧光

动力学参数,分析不同耕作模式下小麦叶片的光化学过程及叶绿素含量的差异,明确不同耕作模式对小麦旗叶光合能力和产量构成因素的影响,为建立适合宁南旱区的耕作模式提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验于 2008—2010 年在宁夏回族自治区彭阳县白阳镇旱作农业试验区进行。该区海拔 1 800 m,年降雨量 350~450 mm,60%降水集中分布在 7~9 三个月,无效、微效降水日数多,降水总量有限且年变率和季节变率大(见表 1),属典型的温带大陆性气候,年平均气温 6℃~8.5℃,日照时数为 2 200~2 700 h。年蒸发量 1 753.2 mm,干燥度($\geq 0^\circ\text{C}$ 的蒸发量)为 1.21~1.99,无霜期 140~160 d。土壤质地为黄绵土。耕层 0~40 cm 有机质含量为 7.18 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 50.32 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 8.55 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 84.82 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH 值为 8.5,属低等肥力水平。

表 1 试验区 2008—2010 年各月降雨量/mm

Table 1 Monthly rainfall in 2008—2010

年份 Year	月份 Month												总量 Total
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	
2008—2009	78.0	80.3	117.3	26.5	1.5	0.0	1.4	14.8	12.1	10.7	33.8	33.1	409.5
2009—2010	51.6	123.4	23.2	22.4	5.2	3.5	6.5	10.6	39.5	45.3	65.8	46.6	443.6

试验共设 5 个耕作处理,具体实施方案是:连年免耕(NT),两年度均在前茬冬小麦收获后(留茬 5~8 cm)免耕,9 月下旬直接播种;连年深松(ST),两年度均在前茬冬小麦收获后,采用中国农业大学(北京)生产的冀铲式深松机进行间隔深松整地,耕作深度 30~35 cm,宽度间隔 40 cm;免耕/深松(NT/ST),2008—2009 年度前茬小麦收获后免耕,2009—2010 年度前茬收获后进行深松处理;深松/免耕(ST/NT),前茬收获后第 1 年度进行深松处理,第 2 年度免耕;传统翻耕(CT,对照):两年度均在前茬收获后采用专用铧式犁(4~20 悬挂犁,德州)耕翻土壤,耕作深度 15~20 cm,耕后耙耱各一次。小区面

积 36 m^2 (9 m×4 m),3 次重复,小麦全生育期无灌溉,所有处理均不覆盖。冬小麦品种为西峰 26,播种期分别为 2008 年 9 月 15 日和 2009 年 9 月 18 日,收获期为 2009 年 6 月 24 日和 2010 年 7 月 10 日。各处理均于播种时基施纯氮 375 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (尿素 825 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)和 P_2O_5 90 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (过磷酸钙 750 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶绿素相对含量(SPAD 值) 于小麦开花期(2010-05-22)和灌浆期(2010-06-12),每小区随机选取 10 片旗叶,用非接触式叶绿素仪(CM-1000,美国)测定 SPAD 值。

1.2.2 旗叶光合特性 于小麦开花期和灌浆期选择晴天,随机选取具代表性植株并标记,利用便携式光合系统分析仪(Li-6400, Li-Cor, 美国)测定旗叶的光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r),重复 10 次。于 6:00~18:00,每 2 h 测定一次。

1.2.3 叶绿素荧光参数 开花期和灌浆期,田间随机选取具代表性植株并标记,利用便携式叶绿素荧光仪(PAM-2100, Walz, 德国)测定标记株旗叶的初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、可变荧光($F_v = F_m - F_0$)、光化学猝灭系数(qP)和非光化学猝灭系数(qN)及自然光条件下最大荧光(F_m')和稳态荧光(F_t),测定前经过暗适应 30 min,每处理重复 10 次。PS II 潜在活性(F_v/F_0)、PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、实际光化学效率 $[\varphi PS II = (F_m' - F_t) / F_m']$ 及光抑制程度 $(1 - qP/qN)^{[18]}$ 由上述测定参数计算得出。

1.2.4 小麦地上生物量和产量 收获期每小区随机选取 2 m² 测定小麦地上生物量及籽粒产量;选取 10 穗调查穗数、穗粒数和千粒重。所有指标均 3 次重复。

1.2.5 土壤水分测定 在播前和收获后,用土钻取 0~200 cm 土层土样,于室内烘干后测定土壤贮水量(mm),各处理重复 3 次。

1.3 计算公式

土壤贮水量(W)、作物耗水量(ET)、产量水平水分利用效率(WUE_y)和叶片瞬时水分利用效率(WUE_p)分别由如下公式计算得出:

$$W = h \times a \times b \times 10/100 \quad (1)$$

$$ET = W_1 - W_2 + P \quad (2)$$

$$WUE_y = Y/ET \quad (3)$$

$$WUE_p = P_n/T_r^{[19]} \quad (4)$$

式中, h 为土层深度(cm), a 为土壤容重($g \cdot cm^{-3}$), b 为土壤含水量(%); W_1 为播前土壤贮水量(mm), W_2 为收获后土壤贮水量(mm), P 为生育期降水量(mm); Y 为作物籽粒产量($kg \cdot hm^{-2}$); P_n 为作物叶片净光合速率($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), T_r 为叶片蒸腾速率($mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)。

1.4 统计方法

用 Microsoft Excel 2003 软件整理试验数据并绘图,用 DPS v7.05 软件进行方差分析,显著性测验采用 Duncan's 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同耕作模式对冬小麦旗叶 SPAD 值的影响

小麦花后旗叶叶绿素含量(SPAD 值)随生育进

程推进而降低(图 1)。开花期 ST 和 NT/ST 处理 SPAD 值分别较 CT 处理提高 29.3% 和 19.6% ($P < 0.05$),灌浆期 ST、NT/ST、ST/NT 和 NT 处理分别提高 36.1%、35.1%、17.2% 和 16.6% ($P < 0.05$)。说明连年深松、隔年轮耕及连年免耕较传统翻耕在开花期和灌浆期均能显著提高小麦旗叶的叶绿素含量,有效延缓花后的叶片衰老。

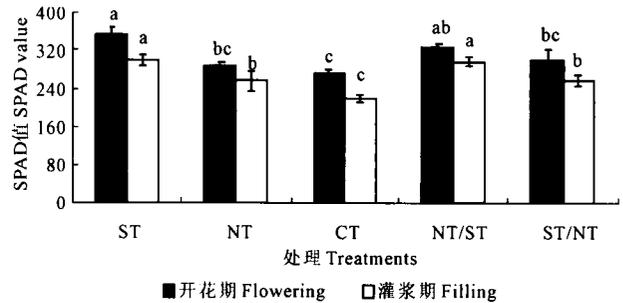


图 1 不同耕作处理对冬小麦旗叶叶绿素含量(SPAD 值)的影响

Fig.1 Effects of different tillage treatments on SPAD value of flag leaves of winter wheat

2.2 不同耕作模式对冬小麦旗叶 P_n 和 T_r 的影响

不同耕作模式下小麦旗叶净光合速率(P_n)(见图 2-A)和蒸腾速率(T_r)(见图 2-B)的日变化在开花期和灌浆期均呈双峰曲线,且开花期高于灌浆期;峰值出现在 10:00 和 14:00。

在开花期,ST、NT/ST、ST/NT 和 NT 处理的日均光合速率分别较 CT 处理提高 1.9、1.2、1.0 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 和 0.6 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,增幅分别达 17.6%、10.8% ($P < 0.05$)、9.2% 和 5.5%,ST 显著高于其他处理;灌浆期较 CT 处理(9.6 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)分别提高 14.1%、12.6% ($P < 0.05$)、9.7% 和 6.3%,说明随生育期的后移,免耕、深松及二者轮耕处理对冬小麦的光合速率的提高作用减弱。

两个生育期 T_r 以 ST 处理最高。开花期 ST、NT/ST、ST/NT、NT 各处理 T_r 分别较 CT 处理提高 1.3、0.9、0.8 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 和 0.3 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,增幅分别达 30.7%、21.7%、18.1% ($P < 0.05$) 和 7.5%;灌浆期分别较 CT 处理提高 1.2、0.9、0.6 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 和 0.2 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,增幅分别达 29.4%、21.7%、16.4% ($P < 0.05$) 和 5.9%。

2.3 不同耕作模式对冬小麦叶片 WUE_p 的影响

各处理小麦花后旗叶的水分利用效率日变化总体呈渐升趋势(图 3),且上升幅度随生育进程推进而减小,开花期各处理日均水分利用效率在 1.1~1.2 $\mu mol CO_2 \cdot mmol^{-1} H_2O$ 之间,ST 和 NT/ST 处理分别较 CT 提高 8.6% ($P < 0.01$) 和 4.7% ($P < 0.05$),ST/NT、NT 与 CT 处理间差异未达显著水平;灌浆期

各处理日均水分利用效率均较开花期略有降低,维持在 $1.0 \sim 1.2 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$,除 NT 处理外,其他各处理与 CT 处理间差异显著($P < 0.05$),说明连年深

松及深松与免耕二者轮耕处理在花后同步提高光合、蒸腾速率的情况下,使小麦叶片的水分利用率提高,而连年免耕处理提高则不明显。

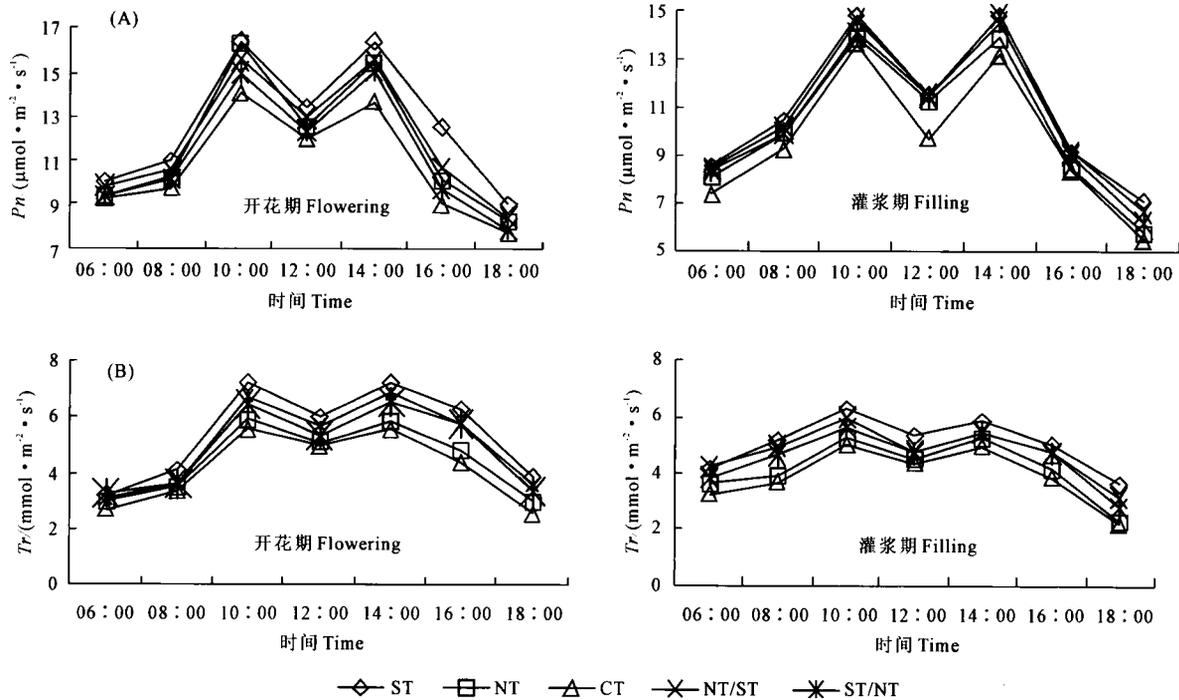


图 2 不同耕作模式下小麦开花期和灌浆期旗叶光合速率 P_n (A)和蒸腾速率 T_r (B)的日变化

Fig.2 Diurnal variation of flag leaf P_n (A) and T_r (B) under different tillage patterns at the flowering and filling stages of wheat

2.4 不同耕作模式对冬小麦旗叶荧光参数的影响

2.4.1 对冬小麦旗叶 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的影响 在开花期和灌浆期,小麦旗叶 F_v/F_m 大小均表现为 $ST > NT/ST > ST/NT > NT > CT$, F_v/F_o 大小均表现为 $NT/ST > ST > ST/NT > NT > CT$ (表 2)。开花期,

ST、NT/ST 和 ST/NT 处理 F_v/F_m 值分别较 CT 处理提高 14.1%、8.4% 和 6.8% ($P < 0.05$),NT 处理与 CT 处理差异不显著;NT/ST、ST 和 ST/NT 处理 F_v/F_o 值分别较 CT 处理提高 60.5%、57.1% 和 40.5% ($P < 0.05$),NT 与 CT 处理间差异不显著。

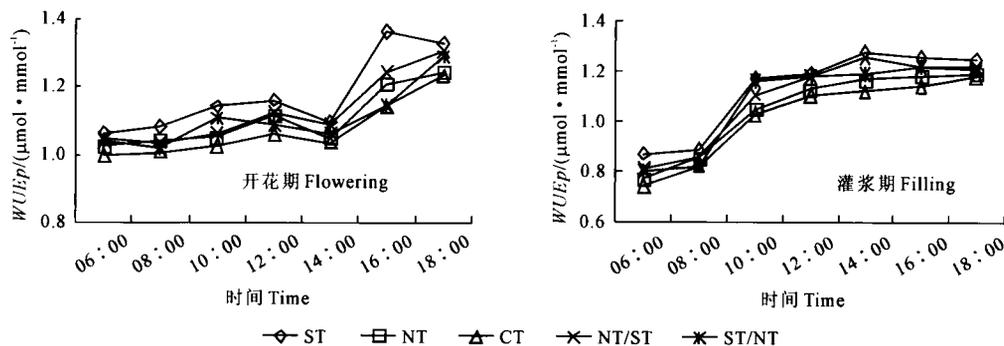


图 3 不同耕作模式下小麦开花期和灌浆期旗叶水分利用效率的日变化

Fig.3 Diurnal variation of flag leaf WUE_p under different tillage patterns at the flowering and filling stages of wheat

灌浆期 ST、NT/ST、ST/NT 和 NT 处理 F_v/F_m 值分别较 CT 处理提高 18.9%、8.6%、8.1% 和 8.0%,均与 CT 处理间差异不显著;NT/ST 处理 F_v/F_o 值最高(2.38),较 CT 处理提高 56.7% ($P < 0.05$),其他各耕作处理与 CT 处理差异不显著。不同耕作方式相比,连年深松处理有利于小麦生育后期维持较

高的 PS II 光化学最大效率,NT/ST 处理 PS II 潜在活性较高,说明 ST 和 NT/ST 处理能使冬小麦有效地将光能转化为化学能,从而为碳同化提供更充足的能量,有利于光合速率的提高。

2.4.2 对旗叶 $\phi PS II$ 、 qP 、 qN 和光抑制程度的影响 开花期 ST 和 NT/ST 处理的 $\phi PS II$ 值分别为 0.46

和 0.38, 显著高于 CT 处理 (0.26), NT 和 ST/NT 处理较 CT 处理提高均未达显著水平 (表 3)。灌浆期 ST、NT/ST、ST/NT 和 NT 处理的 $\varphi PS II$ 值分别较 CT 处理增加 0.17、0.09、0.06 和 0.05。表明 ST 处理可显著提高小麦花后旗叶的光合暗反应能力, 进而提高光合碳同化的还原力。

表 2 不同耕作处理对小麦花后旗叶 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的影响
Table 2 Effects of different tillage treatments on F_v/F_m values and F_v/F_o values of wheat flag leaf after flowering stage

处理 Treatments	开花期 Flowering		灌浆期 Filling	
	F_v/F_m	F_v/F_o	F_v/F_m	F_v/F_o
ST	0.73a	2.56a	0.69a	2.20ab
NT	0.64ab	1.90b	0.62a	1.79ab
CT	0.64ab	1.63b	0.58ab	1.52b
NT/ST	0.69a	2.62a	0.63a	2.38a
ST/NT	0.68a	2.29a	0.62a	2.04ab

注: 同列不同小写字母表示不同处理下差异达显著水平 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) in same line. The same as below.

开花期 ST、NT/ST、ST/NT 和 NT 处理的 qP 和 qN 值分别是 CT 处理的 1.33 倍和 1.08 倍、1.30 倍和 1.05 倍、1.20 倍和 1.03 倍、1.19 倍和 1.02 倍。灌浆期 ST、NT/ST、ST/NT 和 NT 处理的 qP 和 qN 值分别是 CT 处理的 1.38 倍和 1.07 倍、1.16 倍和 1.06 倍、1.10 倍和 0.99 倍、1.07 倍和 0.96 倍。说明连年深松、隔年轮耕及连年免耕较传统翻耕能显著提高

小麦生育后期旗叶 PS II 光系统光量子转化效率, 以 ST、NT/ST 处理效果显著。

开花期除 NT 处理外, ST、NT/ST 和 ST/NT 处理的 $1 - qP/qN$ 值较 CT 处理都显著降低, 而 ST、NT/ST 和 ST/NT 3 个耕作处理间差异均不显著, ST、NT/ST、ST/NT 和 NT 处理的 $1 - qP/qN$ 值分别较 CT 处理降低 181.8%、100%、45.5% 和 18.2%。灌浆期仅 ST 处理的 $1 - qP/qN$ 值显著低于 CT 处理, 其他各处理与 CT 处理差异不显著 (表 3)。说明 ST、NT/ST 和 ST/NT 处理可以减小叶片发生光抑制的可能性, 提高冬小麦叶片对光能的利用能力。

2.5 不同耕作模式对冬小麦产量构成因素及水分利用效率的影响

不同耕作模式对小麦籽粒产量及其构成的影响不同, 免耕、深松及二者轮耕模式可以通过提高穗数、穗粒数、千粒重达到显著增产的效果 (表 4)。与 CT 处理相比, NT/ST、ST、ST/NT 和 NT 处理的每 667 m^2 穗数分别增加 6.5% ($P < 0.05$)、4.6% ($P < 0.05$)、4.2% 和 2.2%; 单株穗粒数 NT/ST 和 ST 处理分别提高 11.4% 和 8.7% ($P < 0.05$), NT 和 ST/NT 处理提高 2.7% 和 0.7%; NT/ST、ST、ST/NT 和 NT 处理千粒重分别较 CT 处理提高 10.8%、8.1%、6.5% 和 3.4% ($P < 0.05$), 小麦籽粒产量分别增加 42.1%、35.3%、30.3% 和 23.5% ($P < 0.05$); 水分利用效率分别提高 51.3%、37.8%、19.9% 和 14.6% ($P < 0.05$)。

表 3 不同耕作处理对小麦花后旗叶 $\varphi PS II$ 、 qP 、 qN 和 $1 - qP/qN$ 的影响

Table 3 Effects of different tillage treatments on $\varphi PS II$ 、 qP 、 qN and $1 - qP/qN$ in flag leaf after flowering stage of wheat

处理 Treatments	开花期 Flowering				灌浆期 Filling			
	$\varphi PS II$	qP	qN	$1 - qP/qN$	$\varphi PS II$	qP	qN	$1 - qP/qN$
ST	0.46a	0.72a	0.84a	0.11b	0.41a	0.58a	0.72a	0.19b
NT	0.31bc	0.64ab	0.80a	0.22ab	0.29ab	0.45ab	0.68a	0.37a
CT	0.26c	0.54b	0.78a	0.31a	0.24b	0.42b	0.67a	0.38a
NT/ST	0.38ab	0.70a	0.82a	0.16b	0.33ab	0.49ab	0.71a	0.35a
ST/NT	0.31bc	0.65ab	0.80a	0.13b	0.30ab	0.46ab	0.70a	0.33a

表 4 不同耕作处理对小麦产量和水分利用效率的影响

Table 4 Effects of different tillage treatments on winter wheat yield and water use efficiency

处理 Treatments	穗数 Ears /($10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗粒数 Grain per spike	千粒重 1000-kernel weight/g	产量 Yield /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	播前贮水量 Pre-sowing water storage/mm	耗水量 Water consumption /mm	水分利用效率 WUEy /($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$)
ST	394.33a	32.40a	32.91a	2990.15a	309.65a	204.57b	14.62ab
NT	385.33ab	30.60ab	31.47bc	2730.17ab	286.02c	224.59a	12.16c
CT	377.00ab	29.80b	30.44c	2210.12b	284.64c	208.30b	10.61c
NT/ST	401.67a	33.20a	33.73a	3140.18a	303.89ab	195.66c	16.05a
ST/NT	393.00a	30.00ab	32.40ab	2880.14a	301.76b	226.37a	12.72bc

3 讨 论

3.1 耕作措施对小麦叶绿素含量的影响

本研究在降雨量较少的半干旱区,不同耕作模式能显著提高小麦旗叶叶绿素相对含量,使小麦花后旗叶保持较高的光合能力。在旱地不进行覆盖的情况下,连年深松、连年免耕及二者轮耕模式小麦花后旗叶叶绿素相对含量均有不同程度提高,且在灌浆期均显著高于传统翻耕处理,以连年深松处理效果最为明显,这主要因免耕和深松有利于土壤水分保蓄,进而促进叶绿素的合成,延缓了小麦叶绿素的降解^[13,20]。

3.2 耕作措施对小麦光合特性的影响

水分是影响植物光合作用的重要环境因素,水分条件的变化会影响植物光合产物的形成及其在各组成部分间的分配^[21]。作物的蒸腾速率和光合速率受土壤水分状况的影响^[22]。随着土壤含水量的下降,叶片的蒸腾速率和光合速率也明显下降^[23-24],已有研究表明,相对于常规耕作,深松覆盖相结合,可以增加土壤的蓄水和保水能力^[14],少免耕能够增加土壤贮水量、提高作物水分利用效率和全年作物产量^[25]。冬小麦花后维持较高的光合速率、延长光合时间和降低呼吸消耗,对于增加粒重、形成经济产量具有重要作用^[22]。在半干旱地区,冬小麦进入生殖生长阶段后耗水强烈,而自然降雨又相对偏少,因而播前较多的土壤蓄水对后期生长及维持较高的光合能力非常有利。本研究表明,深松处理通过打破犁底层,增强了对雨水的蓄纳能力;免耕处理相对于传统翻耕则可减少土壤水分的蒸发,显著提高土壤贮水量,不同耕作处理冬小麦播前 0~200 cm 土层土壤贮水量高低依次为 ST>NT/ST>ST/NT>NT>CT,深松、免耕及二者轮耕的耕作措施均高于传统翻耕,而开花期和灌浆期小麦光合速率和蒸腾速率大小次序与播前 0~200 cm 土壤贮水量表现一致。说明深松、免耕及二者轮耕的耕作措施通过提高播前底墒,显著提高了旱地小麦花后的光合能力($P < 0.05$),光合速率提高幅度分别达 14.1%~17.6%、9.2%~12.6%和 5.5%~6.3%。

3.3 耕作措施对小麦荧光特性的影响

植物本身的生理变化或者干旱等逆境胁迫都能够直接或间接地影响植物 PS II 的功能,叶绿素荧光的变化可以在一定程度上反映环境因子对植物的影响^[25]。本研究不同耕作处理的冬小麦,叶绿素荧光参数的总体变化与净光合速率的变化基本一致,相对于传统翻耕,免耕、深松及二者轮耕模式均能保持

较高的 PS II 的潜在活性和实际光化学效率,并有较高的光合电子传递能力,增强了小麦旗叶耗散过剩激发能的能力,减小发生光抑制的可能性,提高冬小麦抵御生长后期干旱胁迫的能力,尤以连年深松处理最为明显,这与水分条件更好的半湿润易旱区和灌溉农田的研究结论^[12,20]一致。

3.4 耕作措施对旱地小麦产量和水分利用效率的影响

旱地小麦整个生育期尤其是生育后期常常遭受干旱胁迫,土壤水分不足,导致光合能力下降^[26],产量低而不稳^[27]。已有研究表明,少、免耕等保护性耕作能改善土壤水分状况,有利于光合产物的积累,形成较高的籽粒产量与生物产量^[28]。黄明等的研究认为,免耕覆盖、深松覆盖小麦开花期和灌浆期 0~40 cm 土层土壤水分含量提高,促进了花后干物质的积累及干物质向籽粒转运,进而使得籽粒产量显著提高^[10]。本试验中,NT/ST、ST、ST/NT 和 NT 4 种耕作处理的小麦穗数、穗粒数及千粒重等产量构成因素均较传统翻耕提高,分别比传统翻耕增产 42.1%、35.3%、30.3%和 23.5%,不同耕作处理的产量变化和播前 0~200 cm 土壤贮水量变化趋势基本一致。

Hao 等^[29]研究指出,免耕的水分利用效率在多雨年份比传统翻耕低 24.1%,而在少雨年份仅低 3.2%。多年免耕导致土壤压实,容重增大,产量降低^[30],土壤深松可破除土壤板结^[31],提高作物产量和水分利用效率^[32-33]。本试验中免耕/深松、连年深松、深松/免耕和连年免耕处理产量水平水分利用效率分别较传统翻耕提高了 51.3% ($P < 0.05$)、37.8% ($P < 0.05$)、19.9%和 14.6%,免耕/深松、连年深松处理籽粒产量和水分利用效率均显著 ($P < 0.05$) 高于连年免耕和传统翻耕处理,说明深松处理对提高旱地小麦籽粒产量和水分利用效率具有重要作用。

4 结 论

1) 在不进行覆盖的情况下实施的不同耕作模式,小麦旗叶叶绿素相对含量均有不同程度提高,连年免耕对冬小麦花后旗叶的光合速率影响不是很大,连年深松和免耕/深松两个处理下小麦长势旺盛,提高了叶片光合作用能力,以连年深松处理效果最为明显。

2) 不同耕作模式能提高小麦花后旗叶 PS II 光量子转化成化学能的效率,提高旗叶的光合作用能力。相对于传统翻耕,其它 4 种耕作模式能保持较

高的 PS II 实际光化学效率,冬小麦花后旗叶 PS II 在反应中心能维持较高比例的开放程度,有较高的光合电子传递能力。

3) 不同耕作模式小麦产量和水分利用效率大小依次为 NT/ST > ST > ST/NT > NT > CT, 较 CT 处理产量分别提高了 42.1%、35.3%、30.3% 和 23.5%, 水分利用效率分别提高了 51.3%、37.8%、19.9% 和 14.6%。

参考文献:

- [1] 高旺盛. 粮食安全与农作制度建设[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2004: 188-200.
- [2] Hirasawa T, Hsiao T. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field[J]. *Field Crops Res*, 1999, 62: 53-62.
- [3] Huggins D R, Pan W L. Wheat stubble management affects growth, survival, and yield of winter grain legumes[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1991, 55: 823-829.
- [4] Gollan T, Schurr U, Schulze E D. Stomatal response to drying soil in relation to changes in the xylem sap composition of *Helianthus annuus*: I. The concentration of cations, anions, amino acids and pH in the xylem sap[J]. *Plant Cell Environ*, 1992, 15: 551-559.
- [5] Unger P W. Straw mulch rate effects on soil water storage and sorghum yield[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1978, 42: 486-491.
- [6] Blevin R L, Smith M S, Thomas G W, et al. Influence of conservation tillage on soil properties[J]. *Soil Water Conserv*, 1983, 38: 301-305.
- [7] 尚金霞, 李军, 贾志宽, 等. 渭北旱塬春玉米田保护性耕作蓄水保墒效果与增产增收效应[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(13): 2668-2678.
- [8] 孙国峰, 张海林, 徐尚起, 等. 轮耕对双季稻田土壤结构及水贮量的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(9): 66-71.
- [9] 王靖, 林琪, 倪永君, 等. 旱地保护性耕作对冬小麦光合特性及产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2009, 29(3): 480-483.
- [10] 黄明, 吴金芝, 李友军, 等. 不同耕作方式对旱作区冬小麦生产和产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(1): 50-54.
- [11] 张云兰, 王龙昌, 邹聪明, 等. 保护性耕作对小麦生长和水分利用效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(2): 71-74.
- [12] 吴金芝, 黄明, 李友军, 等. 不同耕作方式对冬小麦光合作用产量和水分利用效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(5): 17-21.
- [13] 李友军, 吴金芝, 黄明, 等. 不同耕作方式对小麦旗叶光合特性和水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(12): 44-48.
- [14] 付国占, 王俊忠, 李潮海, 等. 华北残茬覆盖不同土壤耕作方式夏玉米生长分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(4): 12-15.
- [15] Evans S D, Lindstrom M J, Voorhees W B, et al. Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture, and corn yield[J]. *Soil Tillage Res*, 1996, 38: 35-46.
- [16] Cassel D K. Tillage effects on corn production and soil physical conditions[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1995, 59: 1436-1443.
- [17] He J, Li H W, Wang X Y, et al. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China[J]. *Soil Tillage Res*, 2007, 94: 493-502.
- [18] Keck R W, Boyer J S. Chloroplast response to low leaf water potentials: III. Differing inhibition of electron transport and photo phosphorylation[J]. *Plant Physiol*, 1974, 53: 474-479.
- [19] 郭志华, 张旭东, 黄玲玲, 等. 落叶阔叶树种蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 对林缘不同光环境光能和水的利用[J]. *生态学报*, 2006, 26(4): 1047-1056.
- [20] 李友军, 黄明, 吴金芝, 等. 不同耕作方式对豫西旱区坡耕地水肥利用与流失的影响[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(2): 42-45.
- [21] 江晓东, 李增嘉, 侯连涛, 等. 少免耕对灌溉农田冬小麦/夏玉米作物水、肥利用的影响[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(7): 20-24.
- [22] 江晓东, 王芸, 侯连涛, 等. 少免耕模式对冬小麦生育后期光合特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(5): 66-69.
- [23] Cayón M G, El-Sharkawy M A, Cadavid L F. Leaf gas exchange of cassava as affected by quality of planting material and water stress[J]. *Photosynthetica*, 1997, 34: 409-418.
- [24] 高飞, 贾志宽, 路文涛, 等. 秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(3): 777-783.
- [25] 朱云集, 谢迎新, 郭天财, 等. 硫酸对两个不同穗型冬小麦品种光合特性及产量的影响[J]. *作物学报*, 2006, 26(2): 163-170.
- [26] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and photochemical quenching of chlorophyll fluorescence[J]. *Bioch Biophys Acta*, 1989, 900: 87-92.
- [27] Trethowan R M, Reynolds M, Sayre K, et al. Adapting wheat cultivars to resource conserving farming practices and human nutritional needs[J]. *Ann Appl Biol*, 2005, 146: 405-413.
- [28] 韩宾, 李增嘉, 王芸, 等. 土壤耕作及秸秆还田对冬小麦生长状况及产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(2): 48-53.
- [29] Hao X, Chang C, Conner R L, et al. Effect of minimum tillage and crop sequence on crop yield and quality under irrigation in a southern Alberta clay loam soil[J]. *Soil Tillage Res*, 2001, 59: 45-55.
- [30] Borghei A M, Taghinejad J, Minaei S, et al. Effect of subsoiling on soil bulk density, penetration resistance and cotton yield in northwest of Iran[J]. *Int J Agric Biol*, 2008, 10: 120-123.
- [31] 杜兵, 李问盈, 邓健, 等. 保护性耕作表土作业的田间试验研究[J]. *中国农业大学学报*, 2000, 5(4): 65-67.
- [32] 吕美蓉, 李增嘉, 张涛, 等. 少免耕与秸秆还田对极端土壤水分及冬小麦产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(1): 41-46.
- [33] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 等. 两年免耕后深松对土壤水分的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(1): 78-85.