

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

吴金芝¹, 黄明¹, 李友军¹, 陈明灿¹, 姚宇卿², 郭大勇¹, 黄海霞¹

(1. 河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471003; 2. 洛阳市农业科学研究所, 河南 洛阳 471022)

摘 要: 豫西旱地大田条件下, 对一次深翻、免耕覆盖、深松覆盖、传统耕作 4 种耕作方式冬小麦叶面积指数、旗叶光合特性、干物质积累与分配及小麦产量和水分利用效率进行试验分析。结果表明, 在小麦生育后期, 深松覆盖和免耕覆盖能有效延缓小麦旗叶叶绿素降解, 维持较高的叶面积指数, 改善旗叶光合性能, 促进干物质积累, 产量分别比传统耕作提高 9.26% 和 10.22%, 水分利用效率分别比传统耕作提高 10.29% 和 15.57%。与传统耕作相比, 深松覆盖灌浆中后期旗叶光合速率提高了 5.48%, F_v/F_o 值提高了 26.72%, F_v/F_m 值提高 4.88%, $\phi PSII$ 值和 $1-qP/qN$ 值与其它耕作方式相比差异不显著。

关键词: 保护性耕作; 光合作用; 冬小麦; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S512.1⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)05-0017-05

我国北方丘陵地区多旱少雨并且水土流失严重, 是引起小麦产量低而不稳的重要原因。近年来, 具有节水抗旱作用的保护性耕作措施日益引起人们的重视。王晓燕^[1]、常旭虹^[2]、高国雄^[3]等研究表明, 保护性耕作能减少地表径流、减缓土壤的水蚀和风蚀、有效地防止沙尘暴的发生。郭清毅^[4]、赵聚宝^[5]等指出保护性耕作具有良好的保墒作用, 能有效提高土壤贮水量和水分利用效率。刘鹏程^[6]、温随良^[7]、袁家福等^[8]认为保护性耕作可以增加土壤肥力, 改善土壤结构, 减缓土壤退化, 有利于提高土壤有机质含量, 还可以提高有机质活性, 增加土壤养分的供应强度。同时, 前人在保护性耕作与作物产量关系上做了大量的研究, 几乎所有的研究结果均显示保护性耕作提高了作物产量。但前人的研究主要集中在保护性耕作与土壤性状及作物产量关系上, 而对保护性耕作条件下作物生长发育规律的报道较少。因此, 本试验对深松覆盖、免耕覆盖、一次深翻和传统耕作 4 种耕作方式中小麦干物质积累与分配、小麦生育中后期旗叶的光合特性、产量及水分利用效率进行了研究, 旨在为在豫西地区推广保护性耕作技术提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验在河南科技大学农学院试验场进行。试验

采用随机区组设计, 共设 4 个处理, 一次深翻(RT): 收获时保留 10~15 cm 残茬并且打场后秸秆不还田。7 月 1 日深翻(25~30 cm), 同时耙磨(5~8 cm); 免耕覆盖(NT): 收割时留 30 cm 残茬, 秸秆还田; 深松覆盖(ST): 收获时保留 30 cm 残茬, 7 月 1 日间隔 60 cm 深松 30~35 cm, 秸秆还田; 传统耕作(CT): 收获时保留 5~6 cm 的残茬, 秸秆和麦穗带走。7 月 1 日, 翻地 20 cm, 播种前翻地 20 cm, 并同时结合施肥, 接着耙磨、播种。小区面积为 3 m×10 m, 三次重复。供试品种为洛阳 9769, 各处理肥料施用量均为: N 135 kg/hm²; P₂O₅ 90 kg/hm²; K₂O 75 kg/hm², 全生育期无灌水, 其它管理同常规大田。

1.2 测试指标及方法

分别于冬前、越冬期、起身期、拔节期、挑旗期、开花期、灌浆中期和灌浆后期取样 10 株测定群体结构指标。

成熟期田间取 3.6 m² 样方计产, 室内考种按常规方法进行, 另外取样 10 株测定穗干重, 籽粒干重, 穗下节、倒 2~3 节、倒 4~5 节和余节干重, 旗叶、倒 2~3 叶、倒 4~5 叶和余叶干重, 旗叶鞘、倒 2~3 叶鞘、倒 4~5 叶鞘和余叶鞘干重。分配指数 = 植株器官干物质重/总干物质重^[8]。

旗叶叶绿素(Chl)含量: 用 80% 的丙酮浸提法测定^[9]。

收稿日期: 2008-04-20

基金项目: 河南省科技攻关项目“旱地‘两高一节’耕作技术体系研究与应用”(0424060032); 科技部《国家粮食丰产科技工程》“河南小麦夏玉米两熟丰产高效技术集成研究与示范”(2004BA520A-06)

作者简介: 吴金芝(1978—), 女, 河南潢川人, 讲师, 主要从事作物高产栽培理论与技术研究。E-mail: yywujz@126.com。

通讯作者: 李友军, 博士, 教授。E-mail: kdlyj@sina.com。

旗叶光合特性:小麦开花期挂牌标记同一日开花的单茎,于灌浆中后期(5月18日)10:00~11:00用英国 PPS 公司生产的 CIRAS-1 型光合作用测定系统测定旗叶净光合速率(P_n),每个小区重复测定 10 次。

叶绿素荧光特性:在测净光合速率的同时,用英国 Hansatech 公司的 FMS2 脉冲调制式荧光仪测定经过暗适应 15 min 的旗叶最大荧光(F_m)、固定荧光(F_0)、最大初始荧光(F'_0)、稳态荧光(F_s)和光照条件下最大荧光(F_m'),每个小区重复测定 10 次。并计算 PSII 活性(F_v/F_0)、PSII 最大光能转换效率(F_v/F_m)、实际光化学效率(ϕ_{PSII}),光抑制程度。分别按下列公式计算^[10]: $F_v/F_0 = (F_m - F_0)/F_0$, $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$, $F_v'/F_m' = (F_m' - F'_0)/F_m'$, $\phi_{PSII} = (F_m' - F_s)/F_m'$, $qP = (F_m' - F_s)/(F_m' - F_0)$, $qN = (F_m - F_m')/F_m'$ 。光抑制程度用 $1 - qP/qN$ 衡量^[10]。

水分测定:试验期间每 10 d 用 TDR 水分测定仪测定土壤含水量(V/V),测定深度为 160 cm,分为 9 层,依次为 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~70、70~90、90~120 与 120~160 cm。

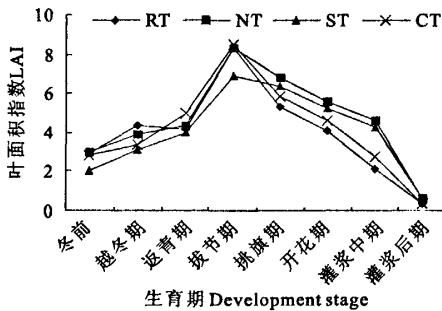


图 1 不同耕作方式对冬小麦叶面积指数的影响

Fig.1 Effects of different tillage systems on LAI

2.1.2 不同耕作方式对小麦旗叶叶绿素含量的影响 4 种耕作方式小麦花后叶绿素含量均随灌浆进程的推进呈先升后降的趋势(图 2),灌浆前期维持较高的叶绿素含量,花后 15 d 之后急剧下降,到花后 30 d 时叶绿素已基本降解完全。耕作方式间比较,一次深翻叶绿素含量前期上升最快,达到高峰时间早,花后 5 d 开始下降,传统耕作次之,峰值出现在花后 10 d,而深松覆盖和免耕覆盖在花后 15 d 时才达到最大。深松覆盖和免耕覆盖叶绿素含量达到峰值前低于一次深翻和传统耕作,达到峰值后能维持较高的叶绿素含量,一直高于一次深翻和传统耕

另在试验地设有自动与人工记录两种降雨量记录装置。

水分利用效率 = 小麦经济产量 / 小麦生育期总耗水量;土壤蓄水量(mm) = 土壤含水量(V/V) × 土层厚度(mm);生育期总耗水量 = 播前土壤蓄水量 + 生育期间降水量 - 收获后土壤蓄水量。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对冬小麦光合性状的影响

2.1.1 不同耕作方式对小麦叶面积指数的影响

由图 1 可以看出,不同耕作方式对冬小麦叶面积指数的影响不同,免耕覆盖和一次深翻处理叶面积系数呈双峰曲线,第一个峰值出现在越冬期,第二个峰值出现在拔节期;深松覆盖和传统耕作呈单峰曲线,峰值出现在拔节期。拔节期叶面积指数峰值的高低为传统耕作 > 一次深翻 > 免耕覆盖 > 深松覆盖。耕作方式间比较,冬前期至拔节期,深松覆盖叶面积指数一直低于其它耕作处理;挑旗期至灌浆中期,免耕覆盖的叶面积指数降低速度较缓慢,深松覆盖次之,传统耕作再次,一次深翻下降最快。成熟期叶面积指数传统耕作 < 一次深翻 < 免耕覆盖 < 深松覆盖。

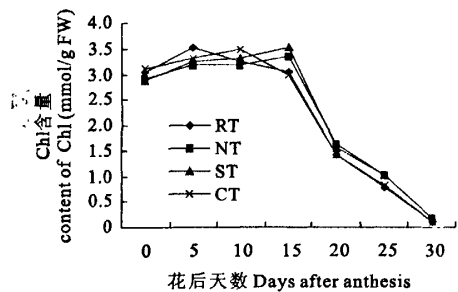


图 2 不同耕作方式对冬小麦旗叶叶绿素含量的影响

Fig.2 Effects of different tillage systems on chl content

作,说明深松覆盖和免耕覆盖能延缓叶绿素的降解,维持较高的叶绿素含量,从而保证其有较长的叶片功能持续期,为籽粒中积累光合产物提供更多的“源”。

2.1.3 不同耕作方式对旗叶光合特性的影响 由表 1 可以看出,灌浆中后期旗叶净光合速率深松覆盖显著高于一次深翻,高于传统耕作和免耕覆盖但差异不显著,分别比一次深翻、免耕覆盖和传统耕作提高了 13.54%、8.82% 和 5.48%。 F_v/F_0 深松覆盖、免耕覆盖、一次深翻间差异不显著,但均显著高于传统耕作,以深松覆盖效果最好,比传统耕作提高了 26.72%。 F_v/F_m 值深松覆盖显著高于免耕覆盖

和传统耕作,分别比一次深翻、免耕覆盖和传统耕作提高了 0.55 %、3.69 % 和 4.88 %。 ϕ PS II 值免耕覆

盖最大,光抑制程度深松覆盖较强,但 ϕ PS II 值和 $1 - qP/qN$ 值各处理间差异均不显著。

表 1 不同耕作方式对冬小麦灌浆中后期光合特性的影响

Table 1 Effects of different tillage systems on photosynthesis characteristics in the later filling stage of winter wheat

处理 Treatment	Pn	Fv/F ₀	Fv/Fm	ϕ PS II	$1 - qP/qN$
RT	11.52a	5.89b	0.85bc	0.16a	0.67a
NT	12.02ab	5.61b	0.83ab	0.17a	0.64a
ST	13.08b	6.07b	0.86c	0.16a	0.68a
CT	12.40ab	4.79a	0.82a	0.16a	0.65a

2.2 不同耕作方式对干物质积累与分配的影响

2.2.1 不同耕作方式对小麦干物质积累的影响

由图 3 可以看出,不同耕作方式小麦生物干重呈“S”型曲线增加,拔节前增长缓慢,之后迅速,开花后又变慢。花前小麦生物干重深松覆盖小于其它耕作处理,挑旗期最明显,比传统耕作低 16.5 %,比免耕覆盖低 29.4 %。花后一直表现为免耕覆盖 > 深松覆盖 > 传统耕作 > 一次深翻,成熟期免耕覆盖和深松覆盖分别比传统耕作高 7.5 % 和 7.3 %。说明深松覆盖和免耕覆盖能有效地延缓小麦生育后期植株衰

老,提高小麦干物质积累能力,增加小麦生物干重,起到了增源的作用。

2.2.2 不同耕作方式对小麦籽粒干物质积累的影响

4 种耕作方式中籽粒干重增长速率均呈“慢~快~慢”的变化特征(图 4),花后 0~15 d 深松覆盖和免耕覆盖较低,但各处理差异不大,之后深松覆盖和免耕覆盖增长速度较快,花后 25 d 后籽粒干重一直高于传统耕作和一次深翻。花后 35 d 时差异最大,以深松覆盖最高,免耕覆盖次之,一次深翻再次,传统耕作最低。

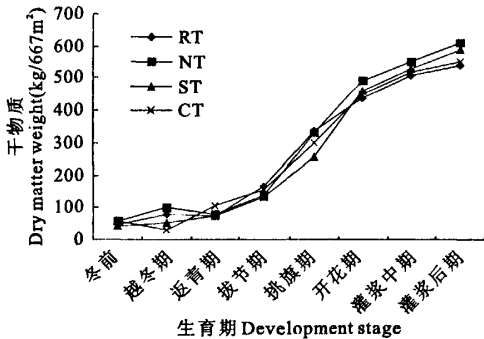


图 3 不同耕作方式对小麦干物质积累的影响

Fig.3 Effects of different tillage systems on dry matter partitioning

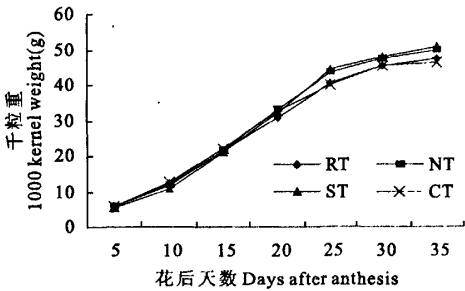


图 4 不同耕作方式对小麦籽粒干物质积累的影响

Fig.4 Effects of different tillage systems on grain dry matter partitioning

2.2.3 不同耕作方式对灌浆后期小麦干物质分配的影响

由表 2 可知,4 种耕作方式小麦成熟期各器官分配指数变化均表现为:穗 > 籽粒 > 茎 > 鞘 > 穗轴及颖壳 > 叶。叶、茎中分配指数,深松覆盖最高,与一次深翻、传统耕作间差异显著;鞘的分配指数深松覆盖最低,免耕覆盖次之,一次深翻再次,传统耕作最高,各处理间差异不显著;免耕覆盖和深松覆盖穗轴 + 颖壳分配指数较大,而籽粒分配指数较小;穗的分配指数深松覆盖 < 传统耕作 < 免耕覆盖 < 一次深翻,深松覆盖显著低于其它处理。

2.3 不同耕作方式对冬小麦产量和水分利用效率的影响

2.3.1 不同耕作方式对冬小麦产量构成因素的影响

如表 3 所示,有效穗数免耕覆盖显著高于其它耕作处理,深松覆盖高于一次深翻和传统耕作,但差异不显著。穗粒数深松覆盖显著高于其它耕作处理,分别比一次深翻、免耕覆盖和传统耕作高 10.21 %、6.05 %、7.13 %;千粒重深松覆盖显著高于传统耕作,比传统耕作高出 4.37 %,但与一次深翻和免耕覆盖差异不显著。产量免耕覆盖和深松覆盖间差异不明显,但均显著高于传统耕作,分别比传统

耕作高 10.22 % 和 9.26 % ,传统耕作亦显著高于一次深翻。

表 2 不同耕作方式对灌浆后期冬小麦干物质分配指数 (%) 的影响

Table 2 Effects of different tillage systems on index of dry matter partitioning in the later filling stage of winter wheat

处理 Treatment	叶 Leaf	茎 Stalk	鞘 Stem	籽粒 Kernel	穗轴颖壳 Cob and Lemma	穗 Spike
RT	6.185a	21.379a	11.438a	53.321b	7.677a	60.998b
NT	6.685ab	21.476a	11.158a	50.839a	9.842b	60.681b
ST	7.080b	23.599b	11.016a	49.870a	8.436ab	58.306a
CT	6.263a	21.499a	11.795a	52.278b	8.165a	60.443b

表 3 不同耕作方式对冬小麦产量构成因素的影响

Table 3 Effects of different tillage systems on yield and its components in wheat

处理 Treatment	有效穗数 Efficient spike (10 ⁴ /hm ²)	穗粒数 Kernel number/spike	千粒重 1000 kernel weight (g)	产量 Grain Yield (kg/hm ²)	比 CT 高 Higher than CT (%)
RT	440.00a	34.00a	47.27ab	4574.07a	-4.73
NT	485.00b	35.35a	48.17ab	5291.67c	10.22
ST	441.50a	37.48b	48.80b	5245.37c	9.26
CT	440.00a	34.99a	46.75a	4800.93b	—

2.3.2 不同耕作方式对水分利用效率的影响

由表 4 可以看出,4 种耕作方式水分利用效率存在较大差异,免耕覆盖最高,深松覆盖次之,传统耕作再次,一次深翻最低。经差异显著性分析,免耕覆盖和深松覆盖差异不显著,但均显著高于传统耕作和一次深翻。说明免耕覆盖和深松覆盖具有提高土壤水分利用效率的作用,水分利用效率分别比传统耕作提高 15.57 % 和 10.29 %。

表 4 不同耕作方式对冬小麦水分利用效率的影响

Table 4 Effects of different tillage systems on WUE of winter wheat

处理 Treatment	播前土壤贮水 Water storage at seeding time (mm)	收获土壤贮水 Water storage at raping time (mm)	生育期降水 Rainfall during growth period (mm)	总耗水 Total water consumption (mm)	产量 Grain yiled (kg/hm ²)	水分利用效率 WUE [kg/(hm ² ·mm)]
RT	310.93a	99.17a	104.50	316.26c	4574.07a	14.46a
NT	320.16c	129.99c	104.50	294.67a	5291.67c	17.96b
ST	316.45b	114.83b	104.50	306.12b	5245.37c	17.14b
CT	312.64a	108.14ab	104.50	309.00b	4800.93b	15.54a

3 结果与讨论

光合作用对小麦产量的贡献可达 90 % ~ 95 % ,尤其是在生育后期,功能叶片的光合产物对籽粒的贡献可达 80 % ,是小麦产量形成的关键,因此,小麦光合生理的调控成为小麦栽培研究的重点^[11]。姜东等研究指出光系统Ⅱ较光系统Ⅰ对水分胁迫更为敏感^[12],作为光合作用的重要指标叶绿素荧光参数经常被用于评价光合机构的功能和环境胁迫对其的影响^[13]。前人关于保护性耕作与光合性状的研究较少,王法宏等指出深松改善了旗叶光合特性^[14]。李友军等研究表明少耕、免耕覆盖、深松覆盖能提高叶片光合作用能力^[15]。本研究结果表明,在小麦生育后期,深松覆盖、免耕覆盖能延缓旗叶叶绿素的降

解,提高叶面积指数,有利于小麦叶片光合性能的提高。灌浆中后期深松覆盖旗叶光合性能最优,与传统耕作相比,旗叶光合速率提高 5.48 %,PSⅡ潜在活性提高 26.72 %,PSⅡ最大光化学效率提高 4.88 %,PSⅡ的实际光化学效率和光抑制程度与其它耕作方式相比差异不显著。说明深松覆盖减轻了干旱胁迫对光系统Ⅱ的破坏程度,从而改善旗叶光合特性,提高 PSⅡ活性和转化效率,增大 PSⅡ反应中心开放部分比例,使光合色素吸收的光能更充分地用于光合作用,增加非辐射能量的热耗散,有助于小麦旗叶有效地防护强光对光合膜的损伤,延缓旗叶衰老,这对促进小麦籽粒灌浆,增加粒重具有积极意义。这是因为深松覆盖明显提高了土壤水分贮蓄和利用能力,亦明显提高了各层土壤养分含量,尤以

0~20 cm 土层效果最好,为小麦生长发育和旗叶光合作用的进行提供了良好的环境^[16]。

在自然降雨的条件下,豫西地区小麦整个生育期尤其是生育后期土壤水分不足,小麦遭受干旱胁迫,植株衰老加速,且水分利用效率低下,导致小麦产量低而不稳。前人研究表明,保护性耕作因其能改善土壤水分、养分状况,从而有利于小麦产量提高^[4-8]。本研究表明,深松覆盖、免耕覆盖能提高植株干物质积累量,增加对小麦籽粒源的供应,从而提高灌浆中后期的籽粒增长速率,提高小麦千粒重,获得较高的产量。深松覆盖和免耕覆盖产量和水分利用效率显著高于传统耕作。与传统耕作相比,深松覆盖和免耕覆盖有效穗数分别提高 0.23%、10.23%;穗粒数分别提高 7.11%、1.00%,千粒重分别提高 4.39%、3.37%,产量分别提高 9.26%、10.23%,水分利用效率分别提高 10.29% 和 15.57%。

不同耕作方式对作物生长和环境的影响具有累积效应,同一耕作方式对光合特性的影响存在年际间差异^[15],但前人关于不同耕作方式对小麦光合特性多年效应的研究鲜见报道。本结果是在连续进行了 5 年同种耕作模式同品种的长期定位试验处理后测定的。研究结果在一定程度上能够反映耕作方式对小麦光合作用、产量和水分利用效率的影响规律。

参考文献:

[1] 王晓燕,高焕文,李洪文.保护性耕作对农田地表径流与土壤

- 水蚀影响的试验研究[J].农业工程学报,2000,16(3):66—69.
- [2] 常旭虹,赵广才,张 雯.作物残茬对农田土壤风蚀的影响[J].水土保持学报,2005,19(1):28—31.
- [3] 高国雄,吴发启,同维恒.保护性耕作是防止沙尘暴发生的有效途径[J].水土保持通报,2004,24(1):66—68.
- [4] 郭清毅,黄高宝.保护性耕作对旱地麦-豆双序列轮作农田土壤水分及利用效率的影响[J].水土保持学报,2005,19(3):165—169.
- [5] 赵聚宝,梅旭荣,谢军红.秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J].中国农业科学,1996,29(2):59—66.
- [6] 刘鹏程,丘华昌.不同方式秸秆培肥土壤的模拟实验[J].土壤肥料,1994,13(4):19—23.
- [7] 温随良,刘 军.陇中旱地少免耕覆盖对提高养分效应的研究[J].甘肃农业大学学报,1996,10(1):27—31.
- [8] 袁家福.麦田秸秆覆盖及增产作用[J].生态农业研究,1996,4(3):61—65.
- [9] 邹 琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [10] 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.
- [11] 胡廷积,杨永光,马云喜,等.小麦生态与生产技术[M].河南:河南科技出版社,1986.19—23.
- [12] 姜 东,谢祝捷,曹卫星,等.花后干旱和渍水对小麦光合特性和物质运转的影响[J].作物学报,2004,30(2):175—182.
- [13] Lichtenthaler H K. In vivo chlorophyll fluorescence as a tool for stress detection in plants. In application of chlorophyll fluorescence[M]. Dordrecht, kluwer Academic publishers, 1988. 143—149.
- [14] 王法宏,王旭清,任德昌.土壤深松对小麦根系活性的垂直分布及旗叶衰老的影响[J].核农学报,2003,17(1):56—61.
- [15] 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.
- [16] 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.

Effects of different tillage systems on the photosynthesis functions, grain yield and WUE in winter wheat

WU Jin-zhi¹, HUANG Ming¹, LI You-jun¹, CHEN Ming-can¹,

YAO Yu-qing², GUO Da-yong¹, HUANG Hai-xia¹

(1. Agricultural College, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China;

2. Luoyang Academy of Agricultural Sciences, Luoyang, Henan 471022, China)

Abstract: The effects of four different tillage systems including reduce tillage (RT), no tillage (NT), sub soiling tillage(ST) and conventional tillage(CK) on LAI, dry matter partitioning, photosynthesis characteristics, grain yield and WUE in winter wheat were determined. The results showed as following: after treating with ST and NT, the degradation of chlorophyll pigment can be restrain effectively, the LAI will stay at a high level, and the photosynthesis characteristics of flag leaf will be improved. Therefore, the dry matter partitioning in wheat will be promoted. After treating with ST, the grain yield and WUE will improve by 9.26% and 10.29%, and with NT these items will be 10.22% and 15.57% respectively. Compared with CT, the Pn, Fv/F₀ and Fv/Fm of wheat flag leaf in the later grain-filling stage were increased by 5.48%, 26.72% and 4.88% respectively. The significance of $\phi P SII$ and $1 - qP/qN$ with ST were not evident compared to other tillage treatments.

Keywords: conversation tillage; photosynthesis function; winter wheat; grain yield; WUE