

# 秸秆还田方式和施肥对冬小麦生理特性及产量的影响<sup>①</sup>

李 玮<sup>1,2</sup>, 张佳宝<sup>1\*</sup>, 张丛志<sup>1</sup>, 信秀丽<sup>1</sup>

(1 封丘农田生态系统国家实验站, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:**通过大田试验研究了不同秸秆还田方式及施肥对冬小麦叶片光合特性、SPAD 值及产量的影响。结果表明: 秸秆还田和施肥对冬小麦光合特性的日变化影响显著, 秸秆行间掩埋推迟了日光合速率的高峰值, 施肥大幅度增加了小麦的日光合速率; 秸秆覆盖(SFR)和秸秆行间掩埋(ISFR)抑制了冬小麦生育前期的光合速率, 而秸秆行间掩埋增加了小麦生育后期旗叶的气孔导度和光合速率, 小麦整个生育期 ISFR 处理的光合速率变化幅度最大, 峰值最高。不同秸秆还田方式对冬小麦叶片的 SPAD 值及产量无显著影响( $P>0.05$ ), 但短期的秸秆还田有降低产量的趋势; 施肥可明显提高冬小麦生育后期叶片的光合特性、SPAD 值及产量( $P<0.05$ )。

**关键词:** 秸秆还田方式; 施肥; 光合特性; SPAD 值; 产量

中图分类号: S311

植物光合作用是全球碳循环及其他物质循环的重要环节, 也是作物物质生产的基础, 因此, 研究作物不同情况下的光合特性对于农作物的生产具有重要意义。秸秆还田是促进农业可持续发展的有效方式<sup>[1]</sup>。近年来关于秸秆还田在农业生产中的作用已有较多报道, 秸秆还田可培肥地力, 改善土壤结构和理化性质, 提高土壤保水保肥能力, 优化农田生态环境<sup>[2-7]</sup>; 秸秆还田还可提高小麦生育后期叶面积系数, 延缓冬小麦植株衰老过程中叶片叶绿素的降解和光合作用下降而增产<sup>[8-11]</sup>。但也有试验结果表明秸秆还田可降低作物产量<sup>[12]</sup>。前人的研究焦点主要集中在单一秸秆还田方式、还田量、翻埋程度等方面, 而关于秸秆的施入方式配合施用氮肥对冬小麦光合特性影响的研究则很少见报道。因此, 在黄淮海平原开展田间试验, 通过设置秸秆移除、秸秆覆盖、秸秆行间掩埋 3 种秸秆还田方式配施氮肥, 研究秸秆还田对冬小麦光合特性及产量的影响, 探讨适宜黄淮海平原农业生产的秸秆还田方式, 为秸秆还田的推广应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地点位于河南省封丘县中国科学院封丘农业生态国家实验站(35°01'N, 114°32'E)。该地区属于半干旱半湿润的暖温带季风气候, 年平均降水 615 mm, 67%的降水集中在 6—9 月; 平均气温为 13.9 ℃, 最低月均气温出现在 1 月, 为 -1.0 ℃, 最高月均气温 27.2 ℃, 出现在 7 月。该区域土壤发育为黄河冲积物潮土, 农田耕作为冬小麦-夏玉米轮作制度, 试验初耕层土壤的平均基本肥力指标为: 有机质 8.0 g/kg, 全氮 0.6 g/kg, 全磷 0.86 g/kg, 全钾 19.17 g/kg, 碱解氮 40.92 mg/kg, 速效磷 16.71 mg/kg, 速效钾 63.67 mg/kg, pH = 8.57, 体积质量 1.48 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 试验设计

试验设计见表 1。还田秸秆为上一季玉米秸秆, 切成 20~50 mm 长, 施用量为 7 500 kg/hm<sup>2</sup>。播种前, 在播种小麦的行间开挖 20 cm 深、25 cm 宽埋入秸秆, 在秸秆上施用化肥后进行掩埋。小麦条播, 行距为 20 cm, 播种 3 行小麦掩埋 1 行秸秆。还田玉米秸秆的养分含量为: 全氮 9.01 g/kg, 全磷 0.82 g/kg, 全

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2011CB100506)、中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX2-EW-N-08)、江苏省自然科学基金项目(BK2011884)和国家自然科学基金项目(40901107)资助。

\* 通讯作者(jbzhang@issas.ac.cn)

作者简介: 李玮(1980—), 女, 甘肃定西人, 博士研究生, 主要从事作物生理生态、土壤物理研究。E-mail: wli@issas.ac.cn

钾 53.52 g/kg, 有机碳 314.9 g/kg, 含水量 280 g/kg。小麦整个生育期施用化肥总氮为 210 kg/hm<sup>2</sup>, 磷钾分别为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>157 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 105 kg/hm<sup>2</sup>, 不包括还田秸秆带入土壤的养分。小麦返青期追施氮肥, 施肥方式为均匀撒播在小区内。小区面积 5 m × 8 m, 4 次重复。试验用小麦品种为郑麦 9023, 由河南农科院提供, 播种量 225 kg/hm<sup>2</sup>, 2010 年 10 月 13 日播种, 2011 年 6 月 1 日收获。

表 1 试验设计  
Table 1 Experimental design

处理	秸秆还田方式	施肥
NSF0	秸秆移除, NS	不施肥, F0
SF0	秸秆覆盖, S	不施肥, F0
NSFR	秸秆移除, NS	常规施肥, FR
SFR	秸秆覆盖, S	常规施肥, FR
ISFR	秸秆行间掩埋, IS	常规施肥, FR

注: 常规施肥为氮肥 40%播种施肥, 60%拔节期追肥; 磷钾肥播种时一次性施入。

### 1.3 测定项目与方法

冬小麦叶片光合速率、气孔导度、蒸腾速率采用 LI-6400 便携式光合仪(LI-COR 公司生产, US)的固定红蓝光源测定, 光量子通量密度为 1 500 μmol/(m<sup>2</sup> · s)。于晴天的上午 9:00—11:00 在小麦拔节期(4 月 11 日)随机选择植株最上部 10 片完全展开叶, 抽穗期(4 月 25)、灌浆期(5 月 12 日)和腊熟期(5 月 27 日)随机选取生长状态良好的 10 片旗叶进行活体测定。灌浆期光合特性日变化分别在 8:00—10:00、10:00—12:00、12:00—14:00、14:00—16:00 选取 10 片旗叶进行活体测定。冬小麦主要叶片的瞬时水分利用效

率 (WUE)用光合速率(Pn)与蒸腾速率(Tr)的比值表示。

SPAD 值测定: 使用日本产的 SPAD-502 叶绿素含量测定仪分别于 3 月 11 日、4 月 6 日、4 月 20 日、5 月 1 日、5 月 12 日、5 月 22 日, 在小麦生长前期选择 10 片完全展开叶、旗叶出现后选择 10 片旗叶对叶片上、中、下部进行测量, 每叶片的最终 SPAD 值为叶片上、中、下部的平均值。

### 1.4 数据分析

运用 Microsoft Excel 2003 进行数据计算及作图; SPSS 16.0 数据处理系统进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 冬小麦光合特性的日变化

从整体变化趋势看, 小麦光合速率、气孔导度、蒸腾速率和水分利用效率的日变化表现为单峰型, 蒸腾速率和水分利用效率的日变化呈现相反的趋势(图 1)。早晨 8:00 时光照已经增强, 光合速率较高; 8:00 之后随着光照的增加, 叶片温度的上升, 气孔导度的变大, 光合速率增加, 在 10:00 前后出现峰值, 但与 8:00 的光合速率相比增加幅度不大。在此过程中, 叶温升高, 细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度迅速降低, 使 CO<sub>2</sub> 的供应受到影响, 气孔部分关闭, 使得部分植株出现光合午休现象, 导致此后叶片光合速率下降, 蒸腾速率加强, 水分利用效率降低。14:00 之后, 光合速率又缓慢恢复。由图 1 可以看出, 常规施肥下, 相对于秸秆移除(NSFR), 秸秆覆盖(SFR)增加了早晨小麦叶片的光合速率, 而秸秆行间掩埋(ISFR)措施下降低, 三者统计学上差异显著(P<0.05)。NSFR 和 SFR 处

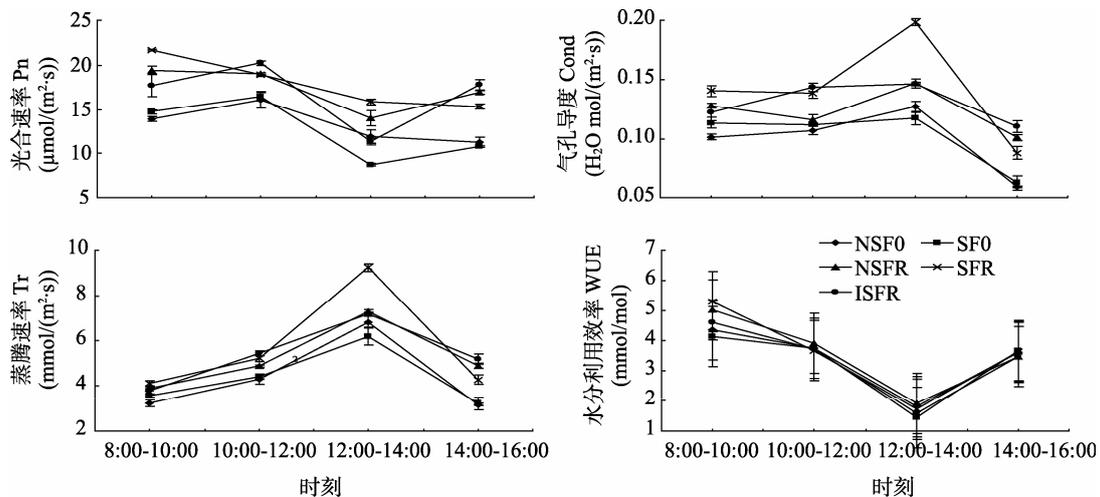


图 1 冬小麦灌浆期光合速率、气孔导度、蒸腾速率和水分利用效率的日变化

Fig.1 Daily changes in Pn, Cond, Tr and WUE of the winter wheat during the filling stage under the different treatments

理在 8:00—10:00 时已出现光合速率的峰值,而 ISFR 处理在 10:00—12:00 才出现,并且 12:00 之后迅速下降。小麦光合速率、气孔导度、蒸腾速率和水分利用效率日变化施肥处理(NSFR, SFR)高于不施肥处理(NSF0, SF0),并且在统计学上差异显著 ( $P<0.05$ )。这表明秸秆还田和施肥措施对冬小麦日光合特性有显著影响。

### 2.2 冬小麦光合特性各生育期的变化

图 2 表明,冬小麦生长前期,叶片的光合速率和水分利用效率呈现逐渐升高的趋势,灌浆期达到高峰,之后快速降低。小麦整个生长季,各处理光合速率在不同生育期的表现不同,生育前期表现为 NSFR>NSF0>SF0>SFR>ISFR,灌浆期各处理出现峰值,具体表现为 ISFR>NSFR>SFR>SF0>NSF0; ISFR 处理光合的变化幅度最大,与 NSFR 和 SFR 处理在

统计学上差异显著( $P<0.05$ )。常规施肥不同秸秆还田方式的各处理(NSFR、SFR、ISFR),气孔导度在抽穗期达到高峰,且 NSFR 处理的峰值最大;不施肥处理(NSF0、SF0)的气孔导度在拔节期时已出现高峰,之后随生育期的推进呈下降趋势。蒸腾速率在小麦抽穗期时各处理均达高峰,且 NSFR 处理的峰值最大。以上表明,施氮肥有利于提高冬小麦叶片的光合速率;秸秆还田抑制小麦生育前期的光合,而秸秆行间掩埋促进生育后期的光合,相比秸秆覆盖,秸秆行间掩埋光合速率的变化幅度更大。

### 2.3 秸秆还田方式及施肥对冬小麦叶片 SPAD 值的影响

SPAD 值能较好地表达叶绿素含量的变化趋势,叶绿素含量的高低,直接反映了小麦叶片功能活性的强弱和光合作用强度的高低<sup>[13]</sup>。由图 3 可看出,冬

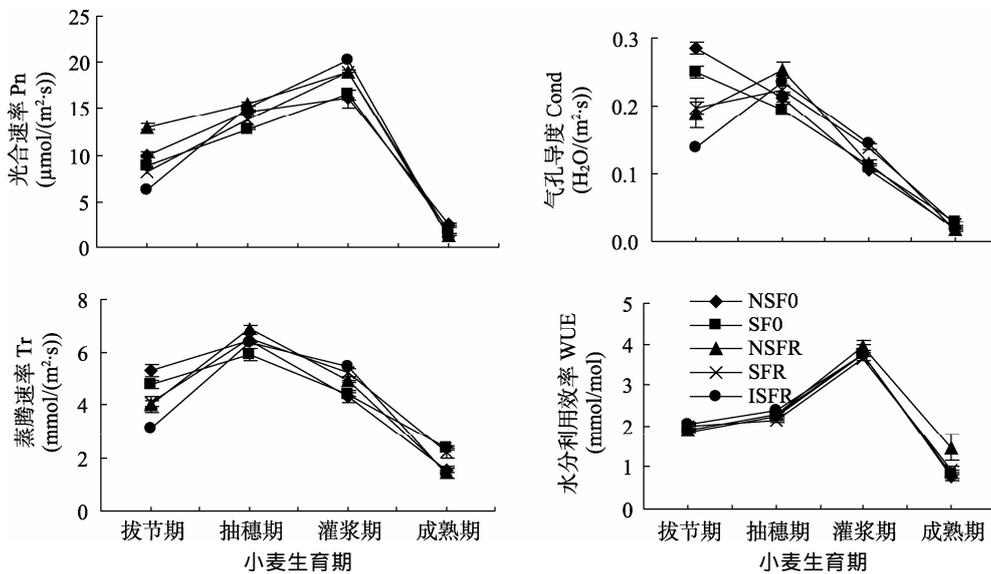


图 2 不同处理冬小麦各生育期光合速率、气孔导度、蒸腾速率和水分利用效率的变化  
Fig. 2 Changes in Pn, Cond, Tr and WUE of the winter wheat during the growth season under the different treatments

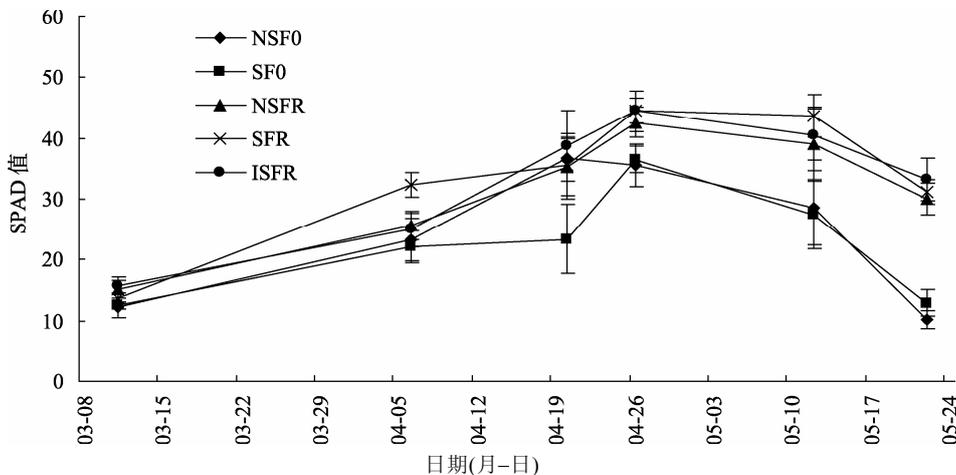
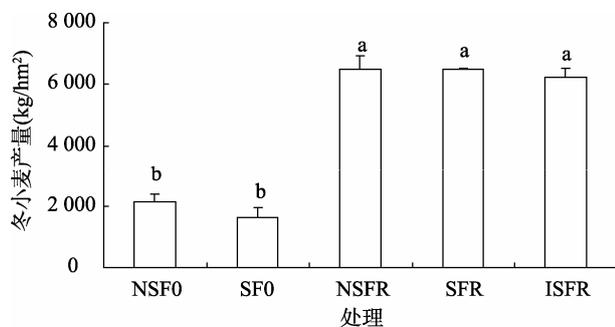


图 3 不同秸秆还田方式和施肥对冬小麦叶片 SPAD 值的影响  
Fig. 3 Effects of the different straw returning methods and fertilization on SPAD value of the winter wheat

小麦 SPAD 值在整个生育期内呈单峰曲线变化,各处理 SPAD 值均在 4 月 26 日最高,然后下降。NSF0 和 SF0 处理的 SPAD 值在整个生育期较低,表明小麦叶片叶绿素含量相对较低,不利于光合作用。常规施肥下,秸秆还田的各处理间 SPAD 值差异不大,表明冬小麦叶片的 SPAD 值受氮肥的影响显著,不同秸秆还田方式对其影响不大。

#### 2.4 不同秸秆还田方式对冬小麦产量的影响

由图 4 可以看出,秸秆还田配施氮肥处理在产量上显著高于不施氮肥的处理 ( $P<0.05$ );不施肥条件下秸秆移除处理的产量高于秸秆覆盖的处理,但统计学上差异不显著 ( $P>0.05$ );施肥条件下,不同秸秆还田方式各处理间产量在统计学上无显著差异 ( $P>0.05$ ),但 ISFR 处理的产量略低于 NSFR 和 SFR 处理。表明秸秆还田在短期内有降低产量的趋势。



(图中小写字母不同表示处理间差异达到  $P<0.05$  显著水平)

图 4 不同秸秆还田方式和施肥对冬小麦产量的影响

Fig.4 Effects of the different straw returning methods and fertilization on yield of winter wheat

### 3 讨论与结论

叶片光合作用日变化是植物生产过程中物质积累与生理代谢的基本单元,也是分析环境因素影响作物生长和代谢的重要手段。这一过程受作物本身的遗传特性和环境条件的共同制约<sup>[14-17]</sup>。叶片光合碳同化受到光合有效辐射、土壤水分状况、植物营养状况等许多因素的影响<sup>[18-21]</sup>,其直接表现形式是叶片的光合速率。刘义国等<sup>[22]</sup>研究表明,与单施氮肥处理比较,秸秆还田能明显改善冬小麦的光合特性,提高小麦千粒重,进而提高小麦产量。秸秆因素的光合速率、荧光动力学参数的单独效应表现为秸秆还田>秸秆不还田<sup>[23]</sup>。玉米秸秆 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 的还田量对接茬冬小麦旗叶有抗衰老及增产效应<sup>[24]</sup>。小麦秸秆翻埋还田,玉米叶片的光合速率和蒸腾速率在 12:00—15:00 持续出现高峰,高、中、低 3 个秸秆还田量处理的叶片光合速率、蒸腾速率显著高于秸秆不还田处理,秸秆

还田可提高土壤的水分利用和蓄水能力,促进作物的光合速率,进而使作物增产<sup>[25]</sup>。

氮素对作物光合作用的影响主要是通过叶片气体交换参数、叶绿素含量和 Rubisco 活性 3 个方面来实现,而且这 3 个方面互相影响<sup>[15, 26]</sup>。施氮增加了冬小麦叶片含氮量,提高了光合速率,当氮素供给降低时,叶片含氮量显著降低,并导致叶片光合能力下降<sup>[27-28]</sup>。Kathju 等<sup>[29]</sup>研究认为,氮素提高了谷子叶片叶绿素含量和光合速率值,但对气孔导度无显著作用。在叶片光能利用和碳同化方面,氮素显著降低了叶片的呼吸作用,提高了光合作用,这主要是由于施氮优化了 Rubisco 加氧/羧化酶的作用比例<sup>[30]</sup>。因此,氮素改善了叶片气孔运动状况,提高了叶片光合色素含量,促进了其对光能的吸收,并可能优化 Rubisco 加氧/羧化酶的作用比例来提高对 CO<sub>2</sub> 的同化,最终实现较高的光合碳同化能力。

该试验结果表明,秸秆还田和施肥对冬小麦光合特性的日变化影响显著,秸秆行间掩埋推迟了日光合速率的高峰值,施肥大幅度增加了小麦的日光合速率;秸秆还田抑制了冬小麦生育前期的光合速率,而秸秆行间掩埋(ISFR)增加了小麦生育后期旗叶的气孔导度,进而促进了光合速率,整个生育期 ISFR 处理的光合变化幅度最大,峰值最高。不同的秸秆还田方式对冬小麦叶片的 SPAD 值及产量无显著影响 ( $P>0.05$ ),但短期内的秸秆还田有降低产量的趋势;施肥可明显提高冬小麦生育后期叶片的光合特性、SPAD 值及产量 ( $P<0.05$ )。

#### 参考文献:

- [1] 赵鹏,陈阜. 豫北秸秆还田配施氮肥对冬小麦氮利用及土壤硝态氮的短期效应[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(4): 19-23
- [2] 武志杰,张海军,许广山,张玉华,刘春萍. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 539-542
- [3] 刘建国,卞新民,李彦斌,张伟,李崧. 长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1 027-1 032
- [4] 田慎重,宁堂原,王瑜,李洪杰,仲惟磊,李增嘉. 不同耕作方式和秸秆还田对麦田土壤有机碳含量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 373-378
- [5] 劳秀荣,孙伟红,王真,郝艳如,张昌爱. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623
- [6] Kapkiyai JJ, Karanja NK, Qureshi JN, Smithson PC, Woomeer PL. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan nitisol under long-term fertilizer and organic input

- management[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(13): 1 773–1 782
- [7] 李其昀, 张萍, 贾晓东, 于磊, 翟照博, 王洪涛. 秸秆覆盖对冬小麦的影响[J]. *农机化研究*, 2009(3): 137–140, 146
- [8] 高茂盛, 廖允成, 吴清丽, 温小霞, 刘永丽, 崔莉荣. 麦秸翻压还田对隔茬冬小麦旗叶抗性的生理效应[J]. *生态学报*, 2007, 27(10): 4 197–4 202
- [9] 赵四申, 张西群, 贾素梅, 段汝浩, 王月英. 玉米秸秆整株还田对小麦生长发育及产量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(1): 145–147
- [10] 刘阳, 李吾强, 温晓霞, 廖允成. 玉米秸秆还田对接茬冬小麦旗叶光合特性的影响[J]. *西北农业学报*, 2008, 17(2): 80–85
- [11] 刘世平, 陈后庆, 陈文林, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 张洪程. 不同耕作方式与秸秆还田周年生产力的综合评价[J]. *农业工程学报*, 2009 (4): 82–85
- [12] 李录久, 杨哲峰. 秸秆直接还田对当季作物产量效应[J]. *安徽农业科学*, 2000, 28(4): 450–450, 457
- [13] 薛香, 吴玉娥. 小麦叶片叶绿素含量测定及其与 SPAD 值的关系[J]. *湖北农业科学*, 2010, 49(11): 2 701–2 702, 2 751
- [14] 胡昌浩, 潘子龙. 夏玉米同化产物积累与养分吸收分配规律的研究[J]. *中国农业科学*, 1982(1): 56–64
- [15] 赵全仁, 陈秉焱, 毕江涛, 李若泰, 王彩凤. 旱地春小麦不同覆盖栽培水肥效应研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(1): 76–80
- [16] Wicks GA, Crutchfield DA, Burnside OC. Influence of water (*Triticum-aestivum*) straw mulch and metolachloron corn(*Zea-mays* L.) growth and yield[J]. *Weed Science*, 1994, 42(1): 141–147
- [17] Allmaras RR, Nelson WW. Corn (*Zea mays* L.) root configuration as influenced by some row-interrow variants of tillage and straw mulch management[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 1971, 35(6): 974–980
- [18] Loggini B, Scartazza A, Brugnoli E, Navari-izzo F. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought[J]. *Plant Physiology*, 1999, 119(3): 1 091–1 099
- [19] 陈屏昭, 王磊, 代勋, 刘忠荣, 蒋彬, 樊钦平. 缺磷强光下脐橙的过剩能量耗散机制[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(6): 1 061–1 066
- [20] 林植芳, 彭长连, 孙梓健, 林桂珠, 温达志. 4 种木本植物叶片的光合电子传递和吸收光能分配特性对光强的适应[J]. *植物生理学报*, 2000, 26(5): 387–392
- [21] 任红旭, 陈雄, 孙国钧, 王亚馥. 抗旱性不同的小麦幼苗对水分和 NaCl 胁迫的反应[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(5): 718–722
- [22] 刘义国, 林琪, 王月福, 郭家选, 刘洪军. 秸秆还田与氮肥耦合对冬小麦光合特性及产量形成的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(1): 42–44
- [23] 吕美蓉, 宁堂原, 张涛, 赵建波, 李洪杰, 李增嘉. 少免耕和秸秆还田对冬小麦光合特性的影响[J]. *山东农业科学*, 2008(6): 5–8
- [24] 郑伟, 张静, 刘阳, 温晓霞, 廖允成, 高茂盛. 低施肥条件下秸秆还田对冬小麦旗叶衰老的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(9): 4 968–4 975
- [25] 高飞, 贾志宽, 路文涛, 韩清芳, 杨宝平, 侯贤清. 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
- [26] Niinemets U, Portsmouth A, Truus L. Leaf structural and photosynthetic characteristics, and biomass allocation to foliage in relation to foliar nitrogen content and tree size in three *Betula* species[J]. *Annals of Botany*, 2002, 89(2): 191–204
- [27] Grassi G, Meir P, Cromer R, Tompkins D, Jarvis PG. Photosynthetic parameters in seedlings of *Eucalyptus grandis* as affected by rate of nitrogen supply[J]. *Plant Cell and Environment*, 2002, 25(12): 1 677–1 688
- [28] Cechin I, Fumis T. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse[J]. *Plant Science: An International Journal of Experimental Plant Biology*, 2004, 166(5): 1 379–1 385
- [29] Kathju S, Burman U, Garg BK. Influence of nitrogen fertilization on water relations, photosynthesis, carbohydrate and nitrogen metabolism of diverse pearl millet genotypes under arid conditions[J]. *The Journal of Agricultural Science*, 2001, 137(3): 307–318
- [30] Villa CM, Ulery AL, Catalan V, Ernesto A, Remmenga MD. Salinity and nitrogen rate effects on the growth and yield of chile pepper plants[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2003, 67(6): 1 781–1 789

# Effects of Residue Returning Methods and Fertilizer Application on Physiological Characteristics and Yield of Winter Wheat(*Triticum aestivum*)

LI Wei<sup>1,2</sup>, ZHANG Jia-bao<sup>1\*</sup>, ZHANG Cong-zhi<sup>1</sup>, XIN Xiu-li<sup>1</sup>

(1 State Experimental Station for Agro-Ecology, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** A field experiment was carried out to study the effects of the different straw returning methods and fertilizer application on physiological property, SPAD value and the yield of winter wheat. The results indicated that straw returning and fertilization influenced significantly the daily change of physiological property of winter wheat. The peak value of daily photosynthetic rate (Pn) was deferred under the treatments of straw buried between lines of crops (ISFR), and fertilization substantially increased the daily change in photosynthetic rate. Straw returning treatments (ISFR, SFR) inhibited the photosynthetic rate during the early stage of wheat growth, and promoted the stomata conductance (Cond) and photosynthetic rate of the flag leaf of wheat at the late growth stage under the ISFR treatment compared with NSFR and SFR. In whole developing stage of wheat, ISFR treatment had the bigger variation scope of photosynthetic rate and the highest peak value. Different straw returning methods did not influence significantly SPAD value and yield of wheat ( $P>0.05$ ), but fertilization increased significantly physiological property, SPAD value in the late growth and yield of wheat ( $P<0.05$ ).

**Key words:** Residue returning methods, Fertilizer application, Photosynthetic performance, SPAD value, Yield