

朱涵珍,梅四卫,王 术,等. 旱地秸秆还田对春小麦光合特性及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(23):98-103.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.23.018

# 旱地秸秆还田对春小麦光合特性及产量的影响

朱涵珍<sup>1,2</sup>, 梅四卫<sup>1,2,3</sup>, 王 术<sup>3</sup>, 杨习文<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学农学院,河南郑州 450002; 2. 河南农业职业学院,河南郑州 451450;

3. 沈阳农业大学农学院,辽宁沈阳 110161)

**摘要:**在旱地设置普通耕作(CK)、旋耕还田(XG)、免耕还田(MG)、深松还田(SS)和深耕还田(SG)处理,连续3年(2016—2018年)研究不同秸秆还田模式对春小麦光合特性及产量的影响。结果表明,由于秸秆还田对土壤及水分和养分环境的改变,总体上秸秆还田对小麦光合特性及产量的作用大于不还田。2016—2018年春小麦叶片水分利用效率、光合速率、蒸腾速率、胞间CO<sub>2</sub>浓度和气孔导度均表现为SS>MG>SG>XG>CK,其中以深松还田效果最好,免耕还田和深耕还田次之。春小麦叶片可溶性糖、可溶性蛋白、叶绿素a和叶绿素b含量总体表现为SS>MG>SG>XG>CK;而脯氨酸和丙二醛含量总体表现为SS<MG<SG<XG<CK。2016—2018年春小麦穗数、穗粒数、千粒质量、籽粒产量和生物产量均表现为SS>MG>SG>XG>CK,说明不同模式的秸秆还田增加了春小麦穗数、穗粒数、千粒质量、籽粒产量和生物产量,其中以深松还田效果最好,免耕还田和深耕还田次之。互作效应分析表明,年份×耕作方式对穗数、穗粒数及籽粒产量的影响均达极显著水平( $P<0.01$ )。综合分析表明,影响小麦产量的主要因素为叶面积指数和叶绿素a含量;为充分发挥春小麦的产量潜力,最佳的管理措施是深松还田。

**关键词:**秸秆还田;春小麦;光合特性;产量;深松还田

**中图分类号:** S512.104;S512.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)23-0098-06

我国幅员辽阔、地大物博,拥有众多的人口,需要大量的粮食作物维持生活,受制于地理因素及气候的制约<sup>[1-3]</sup>,我国南方和北方地区的粮食作物呈现较大差异,我国北方最主要的粮食作物是小麦,水稻和小麦是南方的关键农作物。对于小麦而言,不仅具有高产优质的优势<sup>[4]</sup>,同时具有较强的适应性,能够在较为复杂的环境中生长,这对于其大面积种植起着关键作用,也是其成为主要谷物的原因<sup>[5-6]</sup>;此外,大面积种植小麦不仅保障了农业生产生活,同时对于局地气候的改善也起着关键作用。从世界粮食作物产量的角度来讲,小麦占其总量的1/4左右<sup>[7-8]</sup>,进入21世纪,农业生产不仅是量的保障,更重要的是质的保障,是可持续发展的要求,现代化农业生产成为顺应农业发展的趋势,绿色有机成为大众的需求<sup>[9-10]</sup>。对于春小麦来讲,制约其

产量的关键要素之一是光合特性,此影响因素不仅呈现突出的多样性,而且其复杂性也尤为突出,除了自身特性之外,土壤养分及水分等条件、气温等环境因素均显著制约着小麦生长<sup>[11]</sup>,而且农田管理等方面的影响效应也尤为突出;为了促进小麦种植,近年来开展了秸秆还田、有机施肥等一系列举措,旨在促进土壤肥力和活性的保持,从而改善小麦生长条件。不少学者通过实证研究发现,无论是秸秆还田,还是地膜覆盖等,耕作方式的改变会对小麦的光合作用产生突出影响,但旱地耕作条件下,秸秆还田对光合作用的影响效应研究并不多,基于此,本研究立足于旱地小麦种植,探究秸秆还田的影响效应,旨在为农业种植提供有益参考和借鉴。

我国东北地区气候寒冷,主要的粮食作物较为单一,其中冬春小麦及玉米等成为主要作物,从全国春小麦种植的角度来讲,东北地区种植面积占到了10%<sup>[11-12]</sup>,具有广泛的分布。但是在种植过程中容易出现氮素低效高损耗的问题,这一矛盾制约着小麦种植,尤其是干旱条件下具有更为突出的影响<sup>[12-14]</sup>。为了促进小麦种植的稳定高效发展,大量学者开展了相关育种研究,对不同小麦品种的生长

收稿日期:2021-04-23

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2013BAD07B07-4)。

作者简介:朱涵珍(1974—),女,河南杞县人,硕士,副教授,研究方向为小麦玉米高产优质生态生理研究。E-mail: hanzhenzhu@126.com。

通信作者:梅四卫,博士,副教授,主要从事小麦玉米高产优质生态生理研究。E-mail: Siweimeei@126.com。

特性进行了对比分析,对其环境适应性加以比较,在当前土壤质量不断下降的情况下,推行秸秆还田具有重要的现实意义,对于土壤条件的改善效果突出,进而促进小麦种植<sup>[15-17]</sup>。基于此,本研究选取东北地区春小麦,从秸秆还田的角度来分析其生长适应性,对其土壤特性加以分析对比,探究其光合特性的作用机理,从而为我国的小麦高效种植提供有益参考和借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设计

本研究所选小麦品种为周麦 18,是河南省主推的高产品种,具有广阔的种植面积,具体种植区域位于沈阳农业大学试验田(123.59°E、41.81°N),该区域属于典型的偏旱区,以砂姜黑土为主,受制于其所处的地理因素制约,其温带大陆季风气候特点突出,无论是降雨还是气温,其季节变化尤为突出。为了尽可能地降低试验误差,本研究从 2016 年 4 月开始,之后连续 3 年重复该试验。对于该区域而言,其碱解氮、速效磷及速效钾含量分别为 111.5、28.3、132.1 mg/kg,有机质含量为 14.3 g/kg;在试验区域进行随机分区,要求其长、宽分别为 20、10 m,为了避免交互影响带来的试验误差,要求其保留 5 m 的间隔;为了进行试验可比性,对于试验分区采取统一的大田管理模式,即采取标准施肥,其纯氮、磷、钾分别按 333、150、12 kg/hm<sup>2</sup> 进行施肥。

旋耕还田(XG)处理如下:在上一茬玉米收割的同时进行秸秆粉碎并还田,之后旋耕 2 遍,然后再常规播种小麦。对于免耕还田(MG)而言,依然是在上一茬玉米收割的同时采取秸秆粉碎并还田,但是播种方式为以免耕播种机进行,要求播种、施肥的深度分别为 8、13 cm。对于深松还田(SS)来讲,依然是在上一茬玉米收割的同时采取秸秆粉碎并还田,但播种前深松 1 次,免耕机播种的方式,要求深度达到 40 cm。对于深耕还田(SG)而言,秸秆还田后深耕 1 次,然后旋耕 2 次,最后采取普通播种。

### 1.2 春小麦光合特性测定

在研究过程中不仅对春小麦光合作用加以比较,同时探究其碳氮含量等相关指标,在数据测定过程中借助于 LI-6400 测量系统,为了尽可能地降低试验误差,在 7 月下旬进行指标测定,要求在晴天无风的情况下进行,从 7:00 开始每间隔 2 h 进行 1 次测定,直至 19:00 止,为了降低试验误差,各测量

进行 3 次重复;在试验过程中采取的光源为红蓝光,而对于 CO<sub>2</sub> 流量来讲,需要达到 400 mol/L,整个试验测定尽量在 22~35℃ 下进行,空气湿度尽量控制在 24%~45%,为了尽可能降低试验误差,叶片测定过程中尽量选择光照条件较为接近,同时对其净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )进行测定,并及时记录气孔导度( $G_s$ )等指标。

### 1.3 春小麦生长各指标测定

为了对小麦生长特性指标进行测定,对各个小区进行分别取样 5~10 株,要求其长势较为接近,对其株高等长势特点进行测量记录,并测量其叶面积,待其成熟后进行干质量测定。

### 1.4 叶片生理指标的测定

对 0.5 m<sup>2</sup> 的小麦分区进行收割,测量其生物量,并将其部分叶片进行烘干处理,待其恒质量时停止,要求温度达到 65℃。本研究采取浸提法测定叶绿素含量,首先将新鲜叶片研磨处理,对于可溶性蛋白、糖分的测定分别借助于染色法、比色法<sup>[15]</sup>进行。

### 1.5 产量及产量构成因素的测定

试验过程中在各个分区进行 5 m<sup>2</sup> 的取样测量,主要是测其产量及构成。

采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 进行数据统计和单因素方差分析(One-way ANOVA),*t* 检验比较各处理间的差异性。

## 2 结果与分析

### 2.1 秸秆还田对春小麦水分利用效率(WUE)的影响

由表 1 可知,春小麦水分利用效率在生长期达到最高,不同年份春小麦水分利用效率总体表现为 SS>MG>SG>XG>CK,说明不同模式的秸秆还田增加了土壤含水量,水分利用效率逐渐变大,其中以深松还田效果最好,免耕还田和深耕还田次之。

### 2.2 秸秆还田对春小麦成熟期叶片生理指标的影响

由表 2 可知,成熟期春小麦植株叶片生理指标具有明显的差异,不同年份差异并不明显,其中 2016—2018 年春小麦叶片可溶性糖、可溶性蛋白、叶绿素 a 和叶绿素 b 含量均表现为 SS>MG>SG>XG>CK,说明不同模式的秸秆还田增加了春小麦叶片可溶性糖、可溶性蛋白、叶绿素 a 和叶绿素 b 含量,其中以深松还田效果最好,免耕还田和深耕还田

表 1 秸秆还田对春小麦 WUE 的影响

年份	耕作方式	WUE( mmol/mol )				
		越冬期	生长期	开花期	抽穗期	成熟期
2016	CK	2.02 ± 0.26d	2.42 ± 0.35c	2.04 ± 0.21c	1.62 ± 0.13c	1.33 ± 0.24c
	XG	2.13 ± 0.16c	2.51 ± 0.29b	2.23 ± 0.26b	1.88 ± 0.24b	1.42 ± 0.19b
	MG	2.87 ± 0.25a	3.18 ± 0.17a	3.08 ± 0.17a	2.52 ± 0.19a	1.73 ± 0.26a
	SS	2.98 ± 0.19a	3.25 ± 0.13a	3.12 ± 0.13a	2.68 ± 0.23a	1.95 ± 0.24a
	SG	2.54 ± 0.24b	2.68 ± 0.16b	2.32 ± 0.19b	1.87 ± 0.16b	1.52 ± 0.16b
2017	CK	2.03 ± 0.21d	2.43 ± 0.32c	2.03 ± 0.25c	1.61 ± 0.16c	1.34 ± 0.26c
	XG	2.15 ± 0.12c	2.52 ± 0.24b	2.22 ± 0.22b	1.89 ± 0.27b	1.41 ± 0.15b
	MG	2.89 ± 0.21a	3.19 ± 0.10a	3.06 ± 0.15a	2.55 ± 0.15a	1.74 ± 0.24a
	SS	2.97 ± 0.14a	3.27 ± 0.16a	3.11 ± 0.17a	2.69 ± 0.24a	1.96 ± 0.22a
	SG	2.55 ± 0.23b	2.69 ± 0.13b	2.34 ± 0.13b	1.88 ± 0.12b	1.57 ± 0.17b
2018	CK	2.04 ± 0.22d	2.41 ± 0.32c	2.02 ± 0.22c	1.61 ± 0.13c	1.36 ± 0.21c
	XG	2.17 ± 0.15c	2.54 ± 0.24b	2.25 ± 0.27b	1.89 ± 0.28b	1.47 ± 0.15b
	MG	2.89 ± 0.24a	3.17 ± 0.16a	3.07 ± 0.14a	2.55 ± 0.16a	1.76 ± 0.27a
	SS	3.12 ± 0.16a	3.27 ± 0.12a	3.13 ± 0.12a	2.67 ± 0.22a	1.98 ± 0.23a
	SG	2.59 ± 0.22b	2.69 ± 0.15b	2.33 ± 0.18b	1.88 ± 0.13b	1.55 ± 0.17b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。表 2 至表 4、表 6 同。

表 2 秸秆还田对春小麦成熟期叶片生理指标的影响

年份	耕作方式	可溶性糖含量 (%)	可溶性蛋白含量 (μg/g)	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	丙二醛含量 (nmol/g)	脯氨酸含量 (μg/g)
2016	CK	0.23 ± 0.03d	105.2 ± 32.1b	1.23 ± 0.26d	0.85 ± 0.15d	24.92 ± 3.22a	8.62 ± 1.56a
	XG	0.31 ± 0.05c	113.4 ± 30.8a	1.76 ± 0.34c	1.02 ± 0.19c	21.75 ± 1.95a	7.91 ± 0.73a
	MG	0.41 ± 0.05a	119.5 ± 23.4a	2.36 ± 0.29b	1.54 ± 0.25b	16.74 ± 2.58b	7.78 ± 0.89a
	SS	0.42 ± 0.06a	121.8 ± 18.3a	3.23 ± 0.38a	1.72 ± 0.34a	15.35 ± 2.56b	6.14 ± 1.36b
	SG	0.39 ± 0.04b	117.3 ± 25.9a	2.04 ± 0.35b	1.17 ± 0.16c	23.53 ± 2.13a	8.01 ± 0.98a
2017	CK	0.24 ± 0.04d	105.1 ± 32.1b	1.27 ± 0.21d	0.84 ± 0.13d	24.34 ± 3.15a	8.78 ± 1.23a
	XG	0.32 ± 0.03c	113.5 ± 35.5a	1.79 ± 0.33c	1.01 ± 0.16c	21.33 ± 1.78a	7.94 ± 0.78a
	MG	0.41 ± 0.04a	119.3 ± 23.7a	2.38 ± 0.26b	1.56 ± 0.24b	16.45 ± 2.43b	7.73 ± 0.89a
	SS	0.45 ± 0.03a	121.2 ± 16.4a	3.25 ± 0.33a	1.74 ± 0.33a	15.18 ± 2.42b	6.26 ± 1.25b
	SG	0.38 ± 0.04b	117.1 ± 25.9a	2.03 ± 0.30b	1.18 ± 0.12c	23.79 ± 2.44a	8.08 ± 0.87a
2018	CK	0.22 ± 0.03d	105.7 ± 23.1b	1.27 ± 0.22d	0.89 ± 0.17d	25.91 ± 3.25a	8.69 ± 1.47a
	XG	0.33 ± 0.04c	114.4 ± 26.6a	1.77 ± 0.35c	1.04 ± 0.18c	22.73 ± 1.98a	7.96 ± 0.76a
	MG	0.42 ± 0.05a	119.8 ± 25.6a	2.38 ± 0.25a	1.58 ± 0.27b	17.72 ± 2.45b	7.75 ± 0.95a
	SS	0.44 ± 0.05a	122.2 ± 19.5a	3.24 ± 0.33a	1.79 ± 0.33a	16.31 ± 2.52b	6.13 ± 1.32b
	SG	0.38 ± 0.04b	117.4 ± 24.7a	2.02 ± 0.32a	1.16 ± 0.15c	23.52 ± 2.43a	8.11 ± 0.95a

次之。而 2016—2018 年春小麦叶片丙二醛含量和脯氨酸含量整体呈相反的变化趋势,均表现为 SS < MG < XG < SG < CK,说明不同模式的秸秆还田降低了春小麦叶片丙二醛含量和脯氨酸含量,其中以深松还田效果最好。

2.3 秸秆还田对春小麦光合特性参数的影响

$P_n$  和  $T_r$  分别是反映植物光合作用和蒸腾作用强弱的最重要指标, $P_n$ 、 $T_r$  越大,说明光合作用水平

越高、蒸腾作用越强。由表 3 可知,春小麦植株叶片光合特性具有明显的差异,不同年份差异并不明显,其中 2016—2018 年春小麦叶片光合速率、蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和气孔导度整体表现为 SS > MG > SG > XG > CK,说明不同模式的秸秆还田增加了春小麦的光合速率、蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和气孔导度,其中以深松还田效果最好,免耕还田和深耕还田次之。

表 3 秸秆还田对春小麦光合特性参数的影响

年份	耕作方式	$P_n$ [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	$T_r$ [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	$C_i$ ( $\mu\text{L}/\text{L}$ )	$G_s$ [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]
2016	CK	5.12 ± 0.51c	2.84 ± 0.21a	405.56 ± 51.01d	0.12 ± 0.03c
	XG	5.78 ± 0.64c	2.90 ± 0.28a	421.71 ± 53.02d	0.15 ± 0.03b
	MG	6.82 ± 0.25b	2.92 ± 0.34a	501.48 ± 35.49b	0.21 ± 0.04a
	SS	7.46 ± 0.36a	2.96 ± 0.25a	536.21 ± 36.25a	0.23 ± 0.03a
	SG	6.03 ± 0.75b	2.92 ± 0.26a	463.02 ± 62.14c	0.17 ± 0.02b
2017	CK	5.11 ± 0.51c	2.82 ± 0.23a	405.34 ± 53.01d	0.11 ± 0.02c
	XG	5.76 ± 0.64c	2.91 ± 0.21a	421.78 ± 51.04d	0.16 ± 0.04c
	MG	6.81 ± 0.25b	2.93 ± 0.32a	501.49 ± 34.43b	0.22 ± 0.04a
	SS	7.46 ± 0.36a	2.97 ± 0.22a	537.34 ± 35.14a	0.24 ± 0.06a
	SG	6.05 ± 0.75b	2.93 ± 0.25a	464.01 ± 61.15c	0.18 ± 0.02b
2018	CK	5.12 ± 0.51c	2.83 ± 0.20a	405.26 ± 52.22d	0.11 ± 0.02c
	XG	5.75 ± 0.64c	2.92 ± 0.27a	422.45 ± 53.45d	0.16 ± 0.04c
	MG	6.86 ± 0.25b	2.93 ± 0.35a	505.42 ± 38.42b	0.22 ± 0.03a
	SS	7.44 ± 0.36a	2.95 ± 0.24a	534.24 ± 35.34a	0.24 ± 0.05a
	SG	6.04 ± 0.75b	2.93 ± 0.25a	462.58 ± 60.11c	0.18 ± 0.03b

## 2.4 秸秆还田对春小麦叶片性状的影响

叶片厚度是表征植物生长过程中碳收获的叶性状指标,叶片厚度的调整是植物对遮光强度环境做出的典型形态学反映。由表 4 可知,春小麦植株叶片性状具有明显的差异,不同年份差异并不明

显,其中 2016—2018 年春小麦叶片面积、比叶重、叶面积指数和叶片厚度均表现为 SS > MG > SG > XG > CK,说明不同模式的秸秆还田增加了春小麦叶片面积、比叶重、叶面积指数和叶片厚度,其中以深松还田效果最好,免耕还田和深耕还田次之。

表 4 秸秆还田对春小麦叶片性状的影响

年份	耕作方式	叶片面积 ( $\text{cm}^2$ )	比叶重 ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	叶面积指数	叶片厚度 (mm)
2016	CK	13.08 ± 1.47c	85.32 ± 4.29c	7.13 ± 1.14c	0.31 ± 0.02c
	XG	14.15 ± 1.58b	90.13 ± 5.47b	7.26 ± 1.03b	0.42 ± 0.03b
	MG	16.25 ± 2.25b	95.47 ± 5.02b	8.99 ± 0.98b	0.49 ± 0.05b
	SS	19.32 ± 1.36a	101.23 ± 6.23a	9.56 ± 1.56a	0.53 ± 0.06a
	SG	15.13 ± 1.58b	92.16 ± 5.47b	8.24 ± 1.03b	0.48 ± 0.03b
2017	CK	13.11 ± 1.45c	85.78 ± 4.13c	7.14 ± 1.09c	0.32 ± 0.04c
	XG	14.16 ± 1.53b	90.34 ± 5.56b	7.27 ± 1.12b	0.44 ± 0.03b
	MG	16.26 ± 2.26b	95.51 ± 5.11b	8.95 ± 0.96b	0.51 ± 0.04b
	SS	19.33 ± 1.37a	101.26 ± 6.27a	9.54 ± 1.54a	0.54 ± 0.05a
	SG	15.14 ± 1.59b	92.18 ± 5.44b	8.23 ± 1.02b	0.49 ± 0.04b
2018	CK	13.07 ± 1.45c	85.33 ± 4.23c	7.14 ± 1.15c	0.32 ± 0.02c
	XG	14.18 ± 1.58b	90.35 ± 5.45b	7.28 ± 1.67b	0.44 ± 0.04b
	MG	16.23 ± 2.23b	95.52 ± 5.03b	8.97 ± 0.96b	0.50 ± 0.05b
	SS	19.34 ± 1.37a	101.24 ± 6.67a	9.53 ± 1.22a	0.54 ± 0.05a
	SG	15.12 ± 1.59b	92.18 ± 5.48b	8.25 ± 1.16b	0.49 ± 0.04b

## 2.5 秸秆还田对成熟期春小麦产量的影响

由表 5 可知,年份和耕作方式对小麦穗数、千粒质量、籽粒产量和生物产量均有极显著影响( $P < 0.01$ ),年份 × 耕作方式对小麦穗数和生物产量均

有极显著影响( $P < 0.01$ ),对小麦籽粒产量具有显著影响( $P < 0.05$ )。

由表 6 可知,春小麦产量具有明显的差异,不同年份差异并不明显,其中 2016—2018 年春小麦穗

表 5 秸秆还田下春小麦产量及其构成因素的 *F* 值

变异来源	<i>F</i> 值				
	穗数	穗粒数	千粒质量	籽粒产量	生物产量
年份	59.98 **	19.69 *	74.91 **	734.12 **	487.23 **
耕作方式	434.78 **	112.54 **	92.17 **	3 133.21 **	1 078.86 **
年份×耕作方式	55.67 **	3.09	1.45	29.55 *	21.98 **

注：\*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著。

表 6 秸秆还田下春小麦产量及其构成因素

年份	耕作方式	穗数 (万个/hm <sup>2</sup> )	穗粒数 (粒/穗)	千粒质量 (g)	籽粒产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	生物产量 (t/hm <sup>2</sup> )
2016	CK	513.34 ± 36.25e	31.25 ± 3.65d	42.25 ± 3.25d	8 244 ± 125d	15.3 ± 2.3c
	XG	556.15 ± 28.69d	33.17 ± 2.58c	44.45 ± 2.69c	8 525 ± 169c	17.9 ± 1.6b
	MG	663.23 ± 32.13c	37.87 ± 3.14ab	47.78 ± 3.02ab	9 215 ± 163a	22.1 ± 3.1a
	SS	689.15 ± 45.23a	38.34 ± 2.14a	48.43 ± 2.45a	9 367 ± 145a	23.7 ± 2.4a
	SG	573.19 ± 24.15b	33.92 ± 2.69c	45.65 ± 1.58bc	8 678 ± 158b	19.7 ± 2.6b
2017	CK	516.45 ± 36.12e	31.45 ± 3.34d	42.34 ± 3.14d	8 246 ± 114d	15.6 ± 2.1c
	XG	556.56 ± 24.45d	33.19 ± 2.23c	44.56 ± 2.54c	8 532 ± 156c	17.8 ± 1.8b
	MG	661.23 ± 31.22c	37.86 ± 3.09ab	47.73 ± 3.19ab	9 219 ± 161a	22.4 ± 3.3a
	SS	687.12 ± 44.11a	38.35 ± 2.33a	48.54 ± 2.34a	9 398 ± 134a	23.8 ± 2.5a
	SG	574.45 ± 23.13b	33.91 ± 2.61c	45.62 ± 1.43bc	8 641 ± 156b	19.6 ± 2.1b
2018	CK	515.31 ± 36.11e	31.26 ± 3.34d	42.23 ± 3.56d	8 220 ± 133d	15.2 ± 2.2c
	XG	559.11 ± 24.14d	33.18 ± 2.52c	44.44 ± 2.14c	8 557 ± 156c	18.1 ± 1.9b
	MG	662.20 ± 31.16c	37.86 ± 3.41ab	47.79 ± 3.08ab	9 276 ± 142a	22.0 ± 3.0a
	SS	688.11 ± 45.23a	38.32 ± 2.13a	48.45 ± 2.32a	9 351 ± 137a	23.6 ± 2.5a
	SG	572.12 ± 26.32b	33.91 ± 2.52c	45.61 ± 1.51bc	8 664 ± 141b	19.6 ± 2.1b

数、穗粒数、千粒质量、籽粒产量和生物产量均表现为 SS > MG > SG > XG > CK,说明不同模式的秸秆还田增加了春小麦穗数、穗粒数、千粒质量、籽粒产量和生物产量,其中以深松还田效果最好,免耕还田和深耕还田次之。

2.6 主成分分析

由表 7 可知,3 个主成分特征值 > 1,累积贡献率为 85.867%,满足主成分分析条件,故可以从前 3 个成分来表征对小麦产量的影响。从表 8 可以看出,第 1 主成分的方差贡献率最大,达到了 55.346%,负荷量绝对值 > 0.8 的影响因素为叶面积指数、光合速率和叶绿素 a 含量;代表第 2 主成分的方差贡献率为 19.287%,负荷量绝对值 > 0.8 的影响因素为叶面积指数、叶绿素 a 含量;代表第 3 主成分的方差贡献率为 11.234%,负荷量绝对值 > 0.8 的影响因素为叶片面积、光合速率。综合分析表明,影响小麦产量的主要因素为叶面积指数和叶绿素 a 含量。

表 7 主成分方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率 (%)	累积贡献率 (%)
1	7.145	55.346	55.346
2	3.167	19.287	74.633
3	1.765	11.234	85.867

3 讨论与结论

对于处于生长期的小麦来说,其光合效应尤为重要,直接影响籽粒饱满程度,进而决定其产量,在此期间,其产生了大量的光合物质。大量学者通过实证分析发现,在合理开展秸秆还田的情况下,叶绿素的降解速度被延缓,从而导致叶绿素含量得到明显的提升,对于光合效率的提升起着关键作用<sup>[18-19]</sup>。通过长期观测研究得知,对于春小麦而言,无论是穗数、穗粒数,还是千粒质量及籽粒产量,虽然存在一定的差异,但是整体而言,其具有较为接近的变化规律,即深松还田处理下具有更高值,

表 8 主成分载荷矩阵

项目	F1	F2	F3
叶片面积	0.621	-0.122	0.865
比叶重	0.362	0.156	0.245
叶面积指数	0.834	0.815	0.211
叶片厚度	-0.254	0.509	-0.423
光合速率	0.871	0.521	0.902
蒸腾速率	0.211	-0.434	0.534
胞间 CO <sub>2</sub> 浓度	-0.134	0.411	-0.423
气孔导度	0.301	0.245	-0.147
可溶性糖	0.225	0.241	0.113
可溶性蛋白含量	0.511	0.234	0.178
叶绿素 a 含量	0.865	0.852	0.746
叶绿素 b 含量	0.208	0.445	0.244
丙二醛含量	0.211	-0.145	-0.325
脯氨酸含量	-0.312	-0.134	-0.215

其次是免耕还田处理,而旋耕还田最低,但是均高于对照组,对于生物产量来说亦是如此,从中不难看出,虽然秸秆还田的程度有所差异,但是均利于作物产量的提升,尤其是深松还田处理下达到了最好的效果。此外,通过交互作用分析得知,年份及耕作的交互作用也对作物产量有突出影响。整体而言,深松还田的秸秆处理模式能够突出地提升作物产量。

受秸秆还田的影响,灌浆期小麦的叶绿素降解较为缓慢,这对于促进光合效能有突出影响。此外,温度、湿度等一系列环境因子也对其有关键影响。受秸秆还田的制约,土壤气孔度得以提升,且小麦的叶气孔导度也得以突出提升,从而促进了光合产能,主要原因在于秸秆还田促进了土壤理化特性的改变,对于微生物的生长发育及新陈代谢起着积极作用,另一方面降低了水分的蒸腾等,最终促进小麦生长<sup>[20-21]</sup>。

通过连续观测得知,在不同的秸秆还田处理模式下,小麦的光合效率差异并不显著,而蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和气孔导度呈一致的变化趋势,即深松还田处理下更高,其次是免耕还田和深耕还田处理,旋耕还田最低,但是均高于对照组,从中不难看出,虽然秸秆还田的程度有所差异,但是均利于作物光合效能的提升,尤其是深松还田处理下达到了最好的效果。

#### 参考文献:

[1] 千怀遂,魏东岚. 气候对河南省小麦产量的影响及其变化研究

[J]. 自然资源学报,2000,15(2):149-154.

- [2] 李勤英,姚凤梅,张佳华,等. 不同农艺措施对缩小冬小麦产量差和提高氮肥利用率的评价[J]. 中国农业气象,2018,39(6):370-379.
- [3] 刘宇娟,谢迎新,董成,等. 秸秆生物炭对潮土区小麦产量及土壤理化性质的影响[J]. 华北农学报,2018,33(3):232-238.
- [4] 殷文,柴强,胡发龙,等. 干旱内陆灌区不同秸秆还田方式下春小麦田土壤水分利用特征[J]. 中国农业科学,2019,52(7):1247-1259.
- [5] 陆宁海,杨蕊,郎剑锋,等. 秸秆还田对土壤微生物种群数量及小麦茎基腐病的影响[J]. 中国农学通报,2018,35(34):102-108.
- [6] 刘娜,郭丽丽,路明,等. 秸秆还田下灌水及施肥对冬小麦气孔特征的影响[J]. 节水灌溉,2019(8):14-23.
- [7] 盛海君,牛东,张宸茜,等. 稻秸秆还田与腐熟剂对小麦当季温室气体排放的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2018,39(2):29-34.
- [8] 周鹏鹏,沈莹,许姣姣,等. 长期定位耕作方式下冬小麦田根系呼吸对土壤呼吸的贡献[J]. 农业资源与环境学报,2018,36(6):766-773.
- [9] 胡明芳,赵振勇,张科. 周年秸秆还田量对南方双季稻生长及产量的影响[J]. 中国农学通报,2020,36(4):1-6.
- [10] 马璐璐,闫翠梅,冯彩莲,等. 玉米秸秆还田对假禾谷镰刀菌及小麦茎基腐病化感效应的模拟研究[J]. 河北农业大学学报,2019,42(3):38-44.
- [11] 谭娟,陈楠,董伟,等. 玉米秸秆还田量对小麦生理生态特征和产量的影响[J]. 安徽农业科学,2019,47(18):41-42,45.
- [12] 何芳芳,杨占喜,杨金娟. 不同秸秆还田对小麦生长、产量及经济效益的影响[J]. 宁夏农林科技,2018,59(4):6-9.
- [13] 魏淑艳,马洪亮,牛博英. 秸秆还田条件下小麦播前整地机的设计与试验[J]. 中国农机化学报,2018,39(4):1-4.
- [14] 宫明波,王圣健,李振清,等. 麦玉两熟秸秆长期全量还田模式下氮肥对冬小麦生长发育、产量及品质的影响[J]. 中国农学通报,2018,34(20):7-14.
- [15] 李春喜,李斯斯,邵云,等. 有机物料还田对冬小麦农田土壤温室气体排放影响的研究[J]. 中国生态农业学报(中英文),2019,27(6):815-824.
- [16] 马建辉,黄培新,姜丽娜,等. 不同秸秆还田方式配施氮肥对麦田碳平衡的影响[J]. 河南农业科学,2019,48(11):62-69.
- [17] 罗天相,谢芳芳. 秸秆及植物残体还田对土壤 N<sub>2</sub>O 排放的影响综述[J]. 江苏农业科学,2019,47(18):1-5.
- [18] 周德平,褚长彬,赵峥,等. 小麦秸秆全量还田下腐熟剂对下茬水稻产量及土壤的影响[J]. 中国农学通报,2018,34(19):102-107.
- [19] 宋广鹏,孙新素,何瑞银,等. 秸秆机械集中沟埋还田对稻麦轮作作物生长和产量的影响[J]. 土壤通报,2018,49(3):653-658.
- [20] 徐弘博,胡志超,吴峰,等. 全量稻秸还田小麦播种机秸秆分流通还田装置设计[J]. 农业工程学报,2019,35(9):19-28.
- [21] 袁梦轩,王晋峰,谭跃慧,等. 长期定位有机物料还田对关中原夏玉米—冬小麦轮作土壤 NO 排放的影响[J]. 环境科学,2018,39(6):2819-2826.