

# 不同新型肥料对小麦光合特性、冠层结构及产量的影响

于国宜<sup>1</sup> 孔令聪<sup>2</sup> 张亮<sup>1</sup> 韦志<sup>2</sup> 王永玖<sup>1</sup> 王智<sup>2</sup> 杜祥备<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>安徽皖垦种业股份有限公司, 230061, 安徽合肥; <sup>2</sup>安徽省农业科学院作物研究所, 230031, 安徽合肥)

**摘要** 为明确不同新型肥料的使用效果, 为生产中合理选择肥料提供依据。以小麦品种烟农 19 为材料, 在安徽省怀远县龙亢农场设置普通化肥、保持肥、活性增效肥、活性炭肥、活性素肥、土壤改良剂+习惯施肥和习惯施肥共 7 个不同肥料处理, 研究对小麦冠层结构、光能截获率、旗叶光合特性和产量及其构成因素的影响。结果表明, 新型肥料处理较习惯施肥处理产量提高了 4.4%~10.2%, 其中活性增效肥处理产量最高。与习惯施肥处理相比, 不同新型肥料处理均提高了小麦生育后期旗叶 SPAD 值、净光合速率、冠层叶面积指数及光能截获率。综上, 新型肥料具有增产增效的优势, 尤其活性增效肥可作为小麦科学施肥的优选方案。

**关键词** 新型肥料; 小麦; 产量; 冠层结构

小麦是世界第一大粮食作物, 也是中国三大粮食作物之一<sup>[1-2]</sup>。黄淮海地区是我国小麦主产区, 目前小麦生产中普遍存在肥料用量过高、施用方式不合理、养分损失严重等问题<sup>[3-4]</sup>, 已成为制约小麦高产高效生产的主要因素之一。传统无机化肥流失快, 利用率低, 易造成环境污染<sup>[4]</sup>。因此, 高效的新型肥料及合理的施肥技术成为当前农业生产研究的热点<sup>[5]</sup>。

新型肥料是在常规有机肥和化肥的基础上, 通过物理、化学或生物方法制作的肥料, 包括微生物肥料、调节剂类、腐植酸肥料、添加剂类和氨基酸肥料等各种类型。目前市场上新型肥料种类繁多、原料多元化, 制作工艺和增效机制各不相同, 不同产品使用效果差异较大。针对不同类型的新型肥料在小麦生产上的应用效果, 不同学者开展了大量研究, 有研究<sup>[6]</sup>发现施用生物炭增加了华北平原冬小麦土壤水分含量, 提高了籽粒产量和水分利用效率; 在砂姜黑土中使用缓释肥提高了各生育期小麦次生根数、分蘖数、株高、叶面积指数、干物质重和养分积累量, 小麦产量显著提高<sup>[7-9]</sup>。面对市场上种类繁多的新型肥料, 如何选择适宜的肥料成为难题。目前有关新型肥料的研究多是针对单一肥料种类和常规肥料间对比<sup>[5-9]</sup>, 缺乏不同类型新型肥料施用效果的对比。

为明确不同新型肥料在小麦上的应用效果及

增产机理, 在安徽省怀远县龙亢农场开展大田试验, 研究不同肥料类型(普通肥、保持肥、活性增效肥、活性炭肥、活性素肥、土壤改良剂+习惯施肥和习惯施肥)对小麦叶片光合特性、冠层结构和产量的影响, 为当地小麦优质高效栽培选择适合的肥料种类及推广提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2018–2020 年在安徽省怀远县龙亢农场(116°70' E, 32°60' N)进行。前茬作物为玉米。供试土壤类型为砂姜黑土, 土壤肥力均匀, 播前 0–20cm 土层土壤速效氮 143.6mg/kg, 速效磷 17.9mg/kg, 速效钾 159.3mg/kg。

### 1.2 试验设计

共设置 7 个处理, 分别为普通化肥(尿素、磷肥和氯化钾单质肥料)、保持肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=25:14:9)、活性增效肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=25:14:9)、活性炭肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=25:14:9)、活性素肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=25:14:9)、土壤改良剂+习惯施肥(复合肥、磷酸二铵和尿素)和习惯施肥(复合肥、磷酸二铵和尿素)。所有施肥处理的氮磷钾投入量相同, 均为 N 225kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 126kg/hm<sup>2</sup> 和 K<sub>2</sub>O 81kg/hm<sup>2</sup>。普通化肥、保持肥、活性增效肥、活性炭肥和活性素肥处理的所有肥料均一次性基施, 土

作者简介: 于国宜, 主要研究方向为作物育种与栽培, E-mail: 417519709@126.com

杜祥备为通信作者, 主要从事作物栽培生理生态研究, E-mail: duxiangbei@126.com

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0301306, 2018YFD0300906)

收稿日期: 2021-04-12; 修回日期: 2021-07-19; 网络出版日期: 2022-04-21

壤改良剂+习惯施肥和习惯施肥处理的磷、钾肥全部基施，氮肥为 60%基施+40%拔节期追施。采用随机区组设计，3 次重复，小区面积 30m<sup>2</sup>。试验所用肥料均由安徽帝元生物科技有限公司提供。供试小麦品种为烟农 19，播种量为 180kg/hm<sup>2</sup>。田间管理均按当地高产栽培要求进行。于 2018 年 10 月 15 日播种，2019 年 6 月 3 日收获，2019 年 10 月 18 日播种，2020 年 6 月 2 日收获。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 叶绿素含量 分别于小麦孕穗期、开花期和灌浆期，每小区选取 20 片长势一致的旗叶用叶绿素计（Minolta SPAD 502）测定旗叶叶绿素含量相对值（SPAD 值），取平均值。

1.3.2 冠层光能截获率 于小麦起身期、拔节期、孕穗期、开花期和花后 20d，选择天气晴朗的白天正午（11:00–13:00）使用 SunScan 冠层分析仪分别测定绿叶底部和冠层顶部 10cm 处的光合有效辐射量，每小区重复 10 次。

冠层光能截获率（%）=（顶部截获光合有效辐射量–底部截获光合有效辐射量）/顶部截获光合有效辐射量×100。

1.3.3 旗叶净光合速率（P<sub>n</sub>） 分别于小麦开花期和花后 20d，每小区选取 5 片长势均匀的旗叶，利用 Li-6400 光合仪测定旗叶 P<sub>n</sub>，设定叶室光照强度 1200μmol/(m<sup>2</sup>·s)，CO<sub>2</sub> 浓度 400μmol/(m<sup>2</sup>·s)，温度

25℃。

1.3.4 小麦叶面积指数（LAI）和生物量 于小麦起身期、拔节期、孕穗期、开花期、花后 20d 和成熟期每小区选取 0.5m<sup>2</sup>，从茎基部贴地面处割下，按照不同器官（叶、茎、穗和籽粒）分样，采用比叶面积法测量绿叶面积，计算 LAI。所有样品在 105℃下杀青 30min，然后于 80℃烘干至恒重，称重并计算生物量。

1.3.5 产量 于小麦成熟期每小区取 1m 长双行，测定穗数、穗粒数和千粒重。每小区另选取 5m<sup>2</sup> 从茎基部贴地面处割下，脱粒后测产。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 处理数据，用 SPSS 16.0 进行显著性及方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对小麦产量的影响

由表 1 可知，不同施肥处理间小麦千粒重均未达到显著水平，而部分处理的穗数和穗粒数则差异显著。2 年结果均以活性增效肥处理穗数和穗粒数最高，其次为保持肥、活性炭肥、活性素肥和土壤改良剂+习惯施肥处理，普通化肥处理的穗数和穗粒数多数显著低于其他施肥处理。部分处理间产量差异显著，取 2 年试验结果平均值，普通化肥较习惯施肥处理降低 7.2%，保持肥、活性增效肥、活

表 1 不同施肥处理对小麦产量及其构成因素和生物量的影响  
Table 1 Effects of different fertilizer treatments on grain yield and its components and biomass of wheat

生长季 Growing season	处理 Treatment	穗粒数 Grains number per spike	千粒重 1000-grain weight (g)	穗数 Spike density (×10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	产量 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )	生物量 Biomass (kg/hm <sup>2</sup> )
2018–2019	普通化肥	35.8b	43.1a	480.2b	7 323.6c	16 908.1c
	保持肥	38.1a	44.2a	507.3a	8 483.8ab	19 682.4ab
	活性增效肥	38.5a	45.0a	505.5ab	8 711.2a	20 149.7a
	活性炭肥	37.6ab	43.1a	496.5ab	8 091.9b	18 794.3b
	活性素肥	37.5ab	44.3a	504.6ab	8 320.1ab	19 416.5ab
	土壤改良剂+习惯施肥	37.5ab	44.6a	507.8a	8 304.5ab	19 306.3ab
	习惯施肥	36.6ab	43.7a	493.9ab	7 816.7b	18 204.1c
	变异系数 CV (%)	2.43	1.66	2.01	5.66	5.73
2019–2020	普通化肥	35.6b	42.7a	479.1b	7 148.5c	16 574.6c
	保持肥	38.3a	43.5a	496.5a	8 151.6ab	18 911.7ab
	活性增效肥	38.6a	43.4a	504.8a	8 477.5a	19 783.6a
	活性炭肥	37.7ab	43.8a	495.6a	8 195.3ab	19 013.1a
	活性素肥	37.6ab	43.7a	496.5a	8 209.2ab	19 287.2a
	土壤改良剂+习惯施肥	37.6ab	43.1a	499.2a	8 023.3ab	18 614.1b
	习惯施肥	36.7ab	43.0a	492.4ab	7 778.9b	18 146.8b
	变异系数 CV (%)	2.74	0.92	1.60	5.37	5.57

不同小写字母表示 5%水平差异显著，下同  
Different lowercase letters indicate significant differences at 5% level, the same below

性炭肥、活性素肥和土壤改良剂+习惯施肥处理产量分别较习惯施肥处理提高 6.7%、10.2%、6.0%、4.4%和 4.7%。分析变异系数发现，产量差异的主要原因是穗粒数差异，其次是穗数。

部分处理间小麦的生物量差异显著，2 年结果均以活性增效肥处理最高，普通化肥处理最低。与习惯施肥处理相比，普通化肥下降 7.9%，保持肥、活性增效肥、活性炭肥、活性素肥和土壤改良剂+习惯施肥处理生物量分别提高 6.2%、9.9%、4.0%、6.5%和 4.3%。

## 2.2 不同施肥处理对小麦 LAI 的影响

由表 2 可知，各处理小麦群体 LAI 随着生育期的推进呈先增加后降低的趋势，开花期达到最大值。不同新型肥料处理小麦拔节期 LAI 与习惯施肥处理间无显著差异，但花后 20d 活性增效肥处理的 LAI 显著高于习惯施肥处理。2 年试验中，普通化肥处理较习惯施肥平均降低 4.2%，保持肥、活性增效肥、活性炭肥、活性素肥和土壤改良剂+习惯施肥处理全生育期平均 LAI 分别较习惯施肥处理提高 2.4%、5.4%、3.3%、2.0%和 5.9%。

表 2 不同施肥处理对小麦 LAI 的影响  
Table 2 Effects of different fertilizer treatments on LAI of wheat

生长季 Growing season	处理 Treatment	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	开花期 Anthesis	花后 20d 20 days after anthesis
2018-2019	普通化肥	3.40a	5.93b	6.64b	2.08c
	保持肥	3.20a	6.16ab	6.96ab	2.87ab
	活性增效肥	3.44a	6.24a	7.08a	2.95a
	活性炭肥	3.52a	6.20a	6.84b	2.79ab
	活性素肥	3.44a	6.15ab	6.66b	2.95a
	土壤改良剂+习惯施肥	3.28a	6.33a	6.95ab	2.87ab
	习惯施肥	3.28a	6.28a	6.72b	2.71b
2019-2020	普通化肥	3.28a	5.43b	6.14b	1.95c
	保持肥	3.04a	5.92a	6.48ab	2.62b
	活性增效肥	3.20a	5.96a	6.60a	2.87a
	活性炭肥	3.28a	5.88a	6.44ab	2.62b
	活性素肥	3.04a	5.79a	6.36ab	2.71a
	土壤改良剂+习惯施肥	3.28a	5.82a	6.48ab	2.79a
	习惯施肥	3.04a	5.53b	6.28ab	2.54b

## 2.3 不同施肥处理对小麦冠层光能截获率的影响

由表 3 可知，不同施肥处理小麦冠层光能截获

率均呈先增加后降低的趋势，拔节期的光能截获率最高。新型肥料处理小麦冠层光能截获率高于习惯

表 3 不同施肥处理对小麦冠层光能截获率的影响  
Table 3 Effects of different fertilizer treatments on canopy light interception rates of wheat

生长季 Growing season	处理 Treatment	起身期 Rising stage	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	开花期 Anthesis	花后 20d 20 days after anthesis
2018-2019	普通化肥	78.9a	95.6a	85.6b	60.1b	31.6c
	保持肥	80.7a	97.8a	89.6ab	67.9ab	45.3ab
	活性增效肥	81.6a	98.1a	94.3a	73.7a	48.7a
	活性炭肥	79.8a	96.9a	91.8a	68.9ab	43.1ab
	活性素肥	82.1a	98.4a	92.4a	70.5a	47.4a
	土壤改良剂+习惯施肥	81.4a	95.6a	89.9ab	66.4ab	46.5ab
	习惯施肥	78.7a	96.4a	89.3ab	64.6ab	42.4b
2019-2020	普通化肥	68.8a	93.9a	84.6a	59.3b	29.7c
	保持肥	70.9a	96.9a	86.5a	64.0a	36.8ab
	活性增效肥	77.4a	99.1a	89.3a	65.5a	40.9a
	活性炭肥	76.5a	97.4a	88.6a	63.4a	37.6ab
	活性素肥	75.8a	96.4a	87.9a	63.1a	36.9ab
	土壤改良剂+习惯施肥	74.6a	98.2a	86.0a	64.3a	35.5ab
	习惯施肥	71.6a	94.2a	86.4a	65.2a	33.6b

施肥处理，尤其是增加了花后冠层的光能截获率。2 年试验中，与习惯施肥处理相比，普通化肥处理光能截获率平均降低 4.7%，保持肥、活性增效肥、活性炭肥、活性素肥和土壤改良剂+习惯施肥处理生育期平均光能截获率分别提高 1.9%、6.4%、3.0%、4.0%和 2.2%。

2.4 不同施肥处理对小麦旗叶光合特性的影响

2.4.1 旗叶 SPAD 值 由表 4 可知，不同施肥处理

的小麦旗叶 SPAD 值均随生育进程呈先增后降的变化趋势，新型肥料处理在各生育期间旗叶 SPAD 值都处于较高水平，其中活性增效肥料处理高于其他大部分处理。2 年试验中，与习惯施肥处理相比，普通化肥处理 SPAD 降低 2.1%，保持肥、活性增效肥、活性炭肥、活性素肥和土壤改良剂+习惯施肥处理在全生育期平均 SPAD 分别提高 9.9%、11.7%、9.7%、8.8%和 9.6%。

表 4 不同施肥处理对小麦旗叶 SPAD 值的影响  
Table 4 Effects of different fertilizer treatments on flag leaf SPAD of wheat

生长季 Growing season	处理 Treatment	孕穗期 Booting stage	开花期 Anthesis	花后 20d 20 days after anthesis
2018-2019	普通化肥	49.9b	54.3b	39.5c
	保持肥	54.5a	59.8a	46.4ab
	活性增效肥	52.6a	59.9a	48.5a
	活性炭肥	51.2ab	56.8b	45.7b
	活性素肥	55.0a	58.2ab	43.6b
	土壤改良剂+习惯施肥	53.1ab	58.5ab	46.2ab
	习惯施肥	49.7b	56.1b	41.1bc
2019-2020	普通化肥	50.9b	48.7b	38.2c
	保持肥	53.6a	56.5a	46.2a
	活性增效肥	55.3a	58.6a	47.7a
	活性炭肥	55.1a	58.9a	48.6a
	活性素肥	53.6a	56.6a	46.7a
	土壤改良剂+习惯施肥	53.7a	59.4a	45.3a
	习惯施肥	48.5c	50.9b	42.1b

2.4.2 旗叶  $P_n$  由表 5 可知，不同新型肥料处理下，小麦旗叶  $P_n$  均高于习惯施肥处理，在花后 20d 差异达显著水平。2 年试验中，与习惯施肥处理相

表 5 不同施肥处理对小麦旗叶  $P_n$  的影响  
Table 5 Effects of different fertilizer treatments on flag leaf  $P_n$  of wheat  $\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{s})$

生长季 Growing season	处理 Treatment	开花期 Anthesis	花后 20d 20 days after anthesis
2018-2019	普通化肥	23.9b	10.6b
	保持肥	27.6a	12.3a
	活性增效肥	27.0a	12.0a
	活性炭肥	26.6a	11.9a
	活性素肥	27.3a	12.3a
	土壤改良剂+习惯施肥	27.2a	12.1a
	习惯施肥	25.1ab	10.4b
2019-2020	普通化肥	23.0b	9.5b
	保持肥	24.8ab	10.8a
	活性增效肥	25.9a	10.6a
	活性炭肥	25.3a	11.3a
	活性素肥	24.6ab	10.6a
	土壤改良剂+习惯施肥	25.9a	11.7a
	习惯施肥	22.7b	9.0b

比，普通化肥平均  $P_n$  降低 0.4%，保持肥、活性增效肥、活性炭肥、活性素肥和土壤改良剂+习惯施肥处理在全生育期平均  $P_n$  分别提高 12.2%、12.3%、11.8%、11.3%和 14.4%。

2.5 小麦冠层光合特征与产量及其构成因子相关性分析

相关性分析（表 6）表明，小麦生物量和产量均与平均光能截获率、平均 LAI、旗叶平均 SPAD 值和  $P_n$  存在极显著正相关关系。此外，穗粒数与平均光能截获率、平均 LAI 和  $P_n$  呈显著正相关，与旗叶 SPAD 值呈极显著正相关。

3 讨论

本研究明确了不同新型肥料对小麦冠层结构、光能截获率、光合特性及产量的影响。结果表明，在同等施肥量条件下，新型肥料处理的小麦产量均高于习惯施肥处理，增产范围在 4.4%~10.2%，以活性增效肥处理产量最高。普通化肥处理所有常规肥料一次性基施，产量则显著降低。对产量构成因

表 6 小麦冠层光合特征与产量构成因子的相关系数  
Table 6 Correlation coefficients between canopy photosynthetic characteristics and wheat yield components

指标 Index	穗粒数 Grains number per spike	千粒重 1000-grain weight	穗数 Spike number	产量 Yield	生物量 Biomass
平均光能截获率 Mean canopy light interception	0.626*	0.819**	0.810**	0.804**	0.789**
平均叶面积指数 Mean leaf area index	0.631*	0.778**	0.803**	0.766**	0.743**
旗叶平均 SPAD 值 Mean flag leaf SPAD	0.858**	0.622*	0.827**	0.898**	0.888**
旗叶平均 $P_n$ Mean flag leaf $P_n$	0.659*	0.724**	0.804**	0.754**	0.729**

$n=14$ ,  $R_{0.05}=0.533$ ,  $R_{0.01}=0.661$   
“\*” 和 “\*\*” 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关  
“\*” and “\*\*” indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively

素进行分析发现,新型肥料处理增产的主要原因是提高了穗粒数,其次是增加了穗数,这与吴子峰等<sup>[10]</sup>研究结果一致。因此,提高或保持足够的穗粒数和穗数成为小麦增产的关键<sup>[11-12]</sup>。

充足的生物积累量是作物高产形成的基础,较高的物质生产为籽粒形成和灌浆提供了物质基础,也为产量潜力的提高提供了可能<sup>[13]</sup>。新型肥料处理下小麦拥有较高的生物量,这是其增产的主要原因。作物的生物量由冠层截获的光能和辐射利用效率决定,光能资源的有效利用是作物高产至关重要的前提<sup>[14]</sup>。新型肥料处理下小麦生育期拥有较高的冠层 LAI 和光能截获率,这就保证了群体对光能的有效截获和利用,为高产奠定了物质基础。同时,新型肥料处理下小麦各生育期间旗叶 SPAD 值和  $P_n$  均维持在一个较高的水平,尤其是花后。说明新型肥料处理能够控制肥料释放,满足植株后期养分需求,延缓了植株早衰,后期维持较强的叶源物质生产能力<sup>[15]</sup>,为籽粒形成奠定基础,促进穗粒数形成,这与人<sup>[16]</sup>研究的合理肥料运筹可以有效提高作物叶片的光合性能、降低叶片的衰老速度,进而提高作物产量的结果一致。

本研究中不同新型肥料处理中以活性增效肥增产效果最好,其他新型肥料处理增产效果略差。前人<sup>[17-18]</sup>研究发现,活性增效肥处理增产的主要原因是在肥料中添加了增加养分有效性的增效剂,促进了土壤中肥料的可利用性,提高了作物养分和水分吸收能力,促进了作物生长,最终提高产量。本研究同样发现,活性增效肥处理促进小麦生长,使其具有较强的叶源生产能力,穗大粒多,产量显著增加。在多种作物上研究均发现,与传统化肥相比,纳米炭增效肥处理下,冬小麦增产 12.3%~19.8%<sup>[19]</sup>、玉米增产 10.9%~16.7%、水稻增产 10.3%、大豆增产 28.8%<sup>[20]</sup>。在筛选得到合适的肥料类型基础上,如何进一步完善施肥技术、优化肥料配方和

提高施肥水平,仍需要进一步研究<sup>[21]</sup>。同时在生产实际中,应结合土壤类型、基础肥力状况和作物种类等合理选择新型肥料类型。

4 结论

与习惯施肥处理相比,新型肥料处理提高了小麦产量,其增产的主要原因是延缓了生育后期叶片衰老,提高了光合性能,冠层拥有较高的 LAI 和光能截获率,具有较高的物质生产能力。其中,活性增效肥处理表现最好,可作为当前生产条件下小麦科学施肥的优选方案。

参考文献

[1] Tao F, Yokozawa M, Xu Y, et al. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 138: 82-92.

[2] 张丽英, 张正斌, 徐萍, 等. 黄淮小麦农艺性状进化及对产量性状调控机理的分析. *中国农业科学*, 2014, 47(5): 1013-1028.

[3] 胡鹏. 活性糖肽肥对水稻产量及经济效益的影响. *现代农业科技*, 2019(14): 18, 20.

[4] 陈清, 张强, 常瑞雪, 等. 我国水溶性肥料产业发展趋势与挑战. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(6): 1642-1650.

[5] 张健, 李燕婷, 袁亮, 等. 氨基酸发酵尾液可促进樱桃番茄对水溶肥料氮素的吸收利用. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(1): 114-121.

[6] 阚正荣, 濮超, 祁剑英, 等. 施用生物炭对华北平原冬小麦土壤水分和籽粒产量的影响. *中国农业大学学报*, 2019, 24(4): 1-10.

[7] 郑学博, 崔键, 马超, 等. 施肥措施对砂姜黑土小麦生长性状、营养元素累积及产量的影响. *中国生态农业学报*, 2012, 20(5): 550-555.

[8] 吴小宾, 谭德水, 木海涛, 等. 冬小麦一次性施肥氮肥产品筛选与产量效应. *中国农业科学*, 2018, 51(20): 3863-3875.

[9] 王飞, 徐梦彬, 周娜娜, 等. 不同氮肥运筹对晚播小麦农艺性状、产量及品质的影响. *山东农业科学*, 2018, 50(12): 59-63.

[10] 吴子峰, 刘倩倩, 郑良勇, 等. 不同类型新型肥料对冬小麦产量和氮素利用率的影响. *安徽农业科学*, 2020, 48(3): 167-170.

[11] Feng J F, Li F B, Deng A X, et al. Integrated assessment of the impact of enhanced-efficiency nitrogen fertilizer on N<sub>2</sub>O emission and crop yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2016, 231: 218-228.

[12] Gaju O, Reynolds M P, Sparkes D L, et al. Relationships between physiological traits, grain number and yield potential in a wheat

- DH population of large spike phenotype. *Field Crops Research*, 2014, 164: 126-135.
- [13] Lindquist J L, Arkebauer T G, Walters D T, et al. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal*, 2005, 97: 72-78.
- [14] 于淑芳, 杨力, 张民, 等. 控释肥对小麦玉米生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响. *农业环境科学学报*, 2010, 29(1): 128-133.
- [15] 何杰, 张敬昇, 王昌全, 等. 包膜控释氮肥配施尿素对冬小麦产量与氮素积累及利用的影响. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2018, 46(3): 34-42.
- [16] 杜祥备, 王家宝, 刘小平, 等. 减氮运筹对甘薯光合作用和叶绿素荧光特性的影响. *应用生态学报*, 2019, 30(4): 1253-1260.
- [17] 张志明. 氨化腐植酸增效肥料的研制与应用. *腐植酸*, 2011(5): 45-48.
- [18] 乔俊, 赵建国, 解谦, 等. 纳米炭材料对作物生长影响的研究进展. *农业工程学报*, 2017, 33(2): 162-170.
- [19] 刘键, 张阳德, 张志明. 纳米增效肥对冬小麦产量及品质影响的研究. *安徽农业科学*, 2008, 36(35): 15578-15580.
- [20] 刘键, 张阳德, 张志明. 纳米生物技术在水稻、玉米、大豆增产效益上的应用研究. *安徽农业科学*, 2008, 36(36): 15814-15816.
- [21] 梁华东, 何迅, 巩细民, 等. 我国新型肥料的现状及发展. *化肥工业*, 2015, 42(5): 1-3, 39.

## Effects of Different New Type Fertilizers on Wheat Photosynthetic Characteristics, Canopy Structure and Yield

Yu Guoyi<sup>1</sup>, Kong Lingcong<sup>2</sup>, Zhang Liang<sup>1</sup>, Wei Zhi<sup>2</sup>, Wang Yongjiu<sup>1</sup>, Wang Zhi<sup>2</sup>, Du Xiangbei<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Anhui Wanken Seed Industry Company Limited, Hefei 230061, Anhui, China;

<sup>2</sup>Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, Anhui, China)

**Abstract** In order to clarify the effects of different new fertilizers and provide a basis for reasonable fertilizer selection in production. The experiment was carried out in Longkang Farm, Huaiyuan County, Anhui province, using the wheat variety Yannong 19 as the material. A total of seven different fertilizer treatments were setted: common fertilizers, maintenance fertilizers, active synergistic fertilizers, activated carbon fertilizers, active plain fertilizers, soil conditioners + conventional fertilization and conventional fertilization. Different fertilizer treatments were investigated for their effects on wheat canopy structure, light interception, flag leaf photosynthetic properties, yield, and its components. The results showed that compared to the conventional fertilization treatment, the new type fertilizer treatments enhanced wheat yield by 4.4%-10.2%, with the active synergistic fertilizer treatment having the highest yield. Compared with the conventional fertilization treatment, the new fertilizer treatments enhanced the wheat flag leaf SPAD, net photosynthetic rate, canopy LAI, and light interception. Finally, the novel fertilizer have the benefit of improving wheat productivity and fertilizer efficiency, and particularly the activated synergistic fertilizer may be employed as the ideal scheme for scientific wheat fertilization under production settings.

**Key words** New type fertilizer; Wheat; Yield; Canopy structure