

# 不同类型新型肥料对冬小麦产量和氮素利用率的影响

吴子峰<sup>1</sup>, 刘倩倩<sup>2,3</sup>, 郑良勇<sup>4</sup>, 张存岭<sup>5</sup>, 乔玉强<sup>3</sup>, 陈天河<sup>6</sup>, 徐汝民<sup>6</sup>, 唐俊<sup>2\*</sup>, 曹承富<sup>3\*</sup>

(1. 安徽省农业技术推广总站, 安徽合肥 230001; 2. 阜阳师范学院, 安徽阜阳 236037; 3. 安徽省农业科学院作物研究所, 安徽合肥 230031; 4. 固镇县农业技术推广中心, 安徽蚌埠 233700; 5. 安徽省濉溪县科学技术协会, 安徽淮北 235100; 6. 安徽省帝元生物科技有限公司, 安徽合肥 230036)

**摘要** [目的] 筛选适宜安徽淮北砂姜黑土区小麦专用型新型肥料及土壤改良剂。[方法] 以土壤改良剂和 10 种不同类型的新型肥料为材料, 分析不同肥料处理对小麦产量、经济效益及氮素利用的综合影响。[结果] 不同新型肥料及土壤改良剂对小麦的增产效果不同, 与常规施肥、推荐施肥相比分别增产 2.1%~8.7%、1.3%~7.9%, 净收入分别增加 105.0~901.5、25.5~807.0 元/hm<sup>2</sup>, 氮肥偏生产力分别提高 2.1%~8.7%、0.6%~7.1%, 氮肥农学效率分别提高 18.7%~77.0%、10.1%~64.2%。[结论] 总养分含量为 48% 的增效肥、控失肥 I 和活性糖肥料 3 种新型肥料, 其综合效果较优, 一次性基肥技术可替代推荐施肥。

**关键词** 新型肥料; 冬小麦; 产量; 经济效益; 氮肥偏生产力

中图分类号 S512.1<sup>+</sup>1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)03-0167-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.03.049



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Effects of Different New-type Fertilizers on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Winter Wheat

WU Zi-feng<sup>1</sup>, LIU Qian-qian<sup>2,3</sup>, ZHENG Liang-yong<sup>4</sup> et al (1. Anhui Agricultural Technology Extension General Station, Hefei, Anhui 230001; 2. Fuyang Normal University, Fuyang, Anhui 236037; 3. Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230031; 4. Guzhen County Agricultural Technology Promotion Center, Bengbu, Anhui 233700)

**Abstract** [Objective] To select optimum new-type fertilizers and soil amendments for wheat production in lime concretion black soil area of Huaibei plain. [Method] Soil amendments and ten different types of new fertilizers were investigated, and the comprehensive effects of different fertilizer treatments on wheat yield, economic benefit and nitrogen uptake and utilization were analyzed. [Result] Different new fertilizers and soil amendments had different yield-increasing effects on wheat. Compared with traditional fertilization and recommended fertilization, new fertilizers and soil amendments increased yield by 2.1%~8.7%, 1.3%~7.9%, respectively, and net income increased by 105.0~901.5 yuan/hm<sup>2</sup>, 25.5~807.0 yuan/hm<sup>2</sup>. Nitrogen use efficiency increased by 1.6%~6.1% and 0.8%~5.5%, respectively. [Conclusion] Three kinds of new fertilizers, such as 48% of total effective fertilizer, controlled loss of fertilizer I and active sugar fertilizer, had better comprehensive effects. The one-off application of new wheat-specific fertilizers could replace the recommended fertilization.

**Key words** New fertilizer; Winter wheat; Yield; Economic benefit; Nitrogen partial factor productivity

氮肥作为小麦生长过程中需求最大的肥料类型, 其对小麦的增产效果最显著, 因此筛选出适宜小麦生长的氮肥类型及合理的氮肥施用方式对提高小麦产量具有重要作用<sup>[1-2]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来, 氮肥施用量在我国的粮食生产中增加迅速, 其总施用量增加了近 1.5 倍<sup>[3]</sup>, 但作物的增产速率只有 10% 左右<sup>[4]</sup>, 这不仅导致肥料的浪费, 同时大量施加的氮肥会导致土壤板结、土壤肥力下降等一系列问题<sup>[5]</sup>。如何提高氮肥利用率和作物产量在农业上具有重要意义, 而稳定性、缓控释型等新型肥料可以通过对土壤中养分的控制及氮素的转化过程来达到以上目的<sup>[6-8]</sup>。阚正荣等<sup>[9]</sup>研究表明, 施用生物炭可以提高冬小麦的籽粒产量。Zheng 等<sup>[10]</sup>研究表明, 包膜控失型肥料不仅可以显著增加小麦产量, 而且对肥料利用率具有明显的提高作用。郑学博等<sup>[11]</sup>研究显示, 与常规施肥相比, 施用控失肥和缓释肥后小麦产量分别增加 1.13% 和 6.65%, 且其氮肥回收率分别提高 10.5% 和 13.7%。因此, 合理地运用新型肥料, 做到因地制宜, 在农业上将是一个重大突破。

笔者于 2017—2018 年在安徽省濉溪县开展田间试验, 通过对控失肥、炭基肥、保持性肥料和活性糖肥料等 10 种新型肥料及土壤改良剂对小麦产量、经济效益与氮肥偏生产力、农学利用率等的影响差异分析, 筛选出效果较好的新型肥料, 以期对砂姜黑土区小麦高效丰产提供理论依据。

### 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 试验于 2017 年 10 月—2018 年 6 月在安徽省农业科学院作物研究所濉溪县杨柳农业科学院实验站开展, 实验站位于安徽省淮北市濉溪县孙疃镇(116°45'E、33°37'N), 气候属于暖温带湿润季风气候。供试土壤为砂姜黑土, 前茬作物为大豆, 机收后秸秆粉碎还田, 旋耕耙实。试验开始前耕层土壤(0~20 cm)基础化学性质: pH 7.21, 有机碳 18.88 g/kg, 全氮 1.12 g/kg, 全磷 1.12 g/kg, 全钾 35.31 g/kg, 碱解氮 86.59 mg/kg, 有效磷 38.50 mg/kg, 速效钾 136.07 mg/kg。

**1.2 试验设计** 试验材料为不同的肥料种类, 由安徽帝元生物科技有限公司提供。试验共设置 14 个处理, 分别为增效型肥料 10 个(T1~T10), T11 为土壤改良剂基施+基追普通肥, 对照为常规施肥(CK1)和推荐施肥(CK2), 另设不施氮处理(N0), 具体肥料施用量与时期见表 1。每个处理 3 次重复, 小区面积为 10.08 m<sup>2</sup>。供试小麦品种为安科 157, 播种密度 225×10<sup>4</sup>/hm<sup>2</sup>, 行距 20 cm。播种时间为 2017 年 10 月 19 日, 收获时间为 2018 年 6 月 3 日。

**1.3 灌溉及病虫害防治** 2017 年 11 月 2 日人工开沟条播,

**基金项目** 国家重点研发计划项目(2018YFD0300901, 2017YFD0201708); 安徽省自然科学基金项目(1608085MD87); 研究生创新研究计划项目(2017CXJH06)。

**作者简介** 吴子峰(1981—), 男, 安徽固镇人, 农艺师, 硕士, 从事农业技术推广、小麦栽培研究。\*通信作者: 唐俊, 教授, 博士, 从事应用微生物学研究; 曹承富, 研究员, 从事小麦高产栽培理论与技术研究。

**收稿日期** 2019-05-09

播后微喷 40 min, 12月 25 日浇越冬水微喷 40 min。2018 年 3 月 8 日双氟磺草胺化除。3 月 9 日用氯氟氰菊酯、吡虫啉防治蚜虫、麦蜘蛛一次; 4 月 22、29 日用戊唑醇酰胺防治赤霉病、白粉病。

表 1 各处理施肥种类和养分投入

Table 1 Types of fertilizers and application rates in different treatments

kg/hm<sup>2</sup>

| 代号<br>Code | 肥料处理<br>Fertilizer treatment                                                  | 施肥量<br>Fertilizer<br>application<br>amount | 养分总投入 Nutrient application amount |                    |                               |                  |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|
|            |                                                                               |                                            | N                                 |                    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|            |                                                                               |                                            | 基肥<br>Basal                       | 追肥<br>Top-dressing |                               |                  |
| N0         | 不施氮                                                                           | 207                                        | 0                                 | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| CK1        | 常规施肥 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9)        | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| CK2        | 推荐施肥 45% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 15-15-15)       | 990                                        | 112.5                             | 111                | 112.5                         | 112.5            |
| T1         | 基施控失肥 I 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9)     | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| T2         | 基施控失肥 II 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9)    | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| T3         | 基施保持肥 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9)       | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| T4         | 基施炭基肥 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9)       | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| T5         | 基施强化肥 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9)       | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| T6         | 基施增效肥 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9)       | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| T7         | 基施活性糖肥料 I 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9)   | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| T8         | 基施活性糖肥料 II 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9)  | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| T9         | 基施活性糖肥料 III 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9) | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| T10        | 基施活性肥 48% (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 25-14-9)       | 900                                        | 225.0                             | 0                  | 126.0                         | 81.0             |
| T11        | 土壤改良剂+基追普通肥 (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 为 15-15-15)    | 990                                        | 112.5                             | 111                | 112.5                         | 112.5            |

## 1.4 测定指标与方法

**1.4.1 产量与产量构成要素。**在小麦 3 叶期, 于每个小区中挑选 2 个具有代表性且长势较均匀的 1 m 样品区段进行定点标记, 调查记录其基本苗, 至小麦收获期统计标记样品区段的穗数, 并计算单位面积小麦的有效穗数。各小区经人工脱粒后测定小麦的穗粒数及穗粒重。每个小区采用自走履带式全喂入联合收割机 (4LZ-0.8, 湖南) 进行收割, 自然晒干后进行称重记录产量, 并测定千粒重。

**1.4.2 效益计算。**小麦籽粒单价是 2.3 元/kg, 常规复合肥和新型肥料价格分别为 1 875、2 025 元/hm<sup>2</sup>, 追肥用工 225 元/hm<sup>2</sup>。

净增收 (元/hm<sup>2</sup>) = 新增收入 - 新增投入

**1.4.3 氮肥利用率。**氮肥偏生产力 (kg/kg) = 籽粒产量/施氮量<sup>[12]</sup>。氮肥农学效率 (kg/kg) = (施氮处理籽粒产量 - 不施氮对照籽粒产量)/施氮量<sup>[13]</sup>。

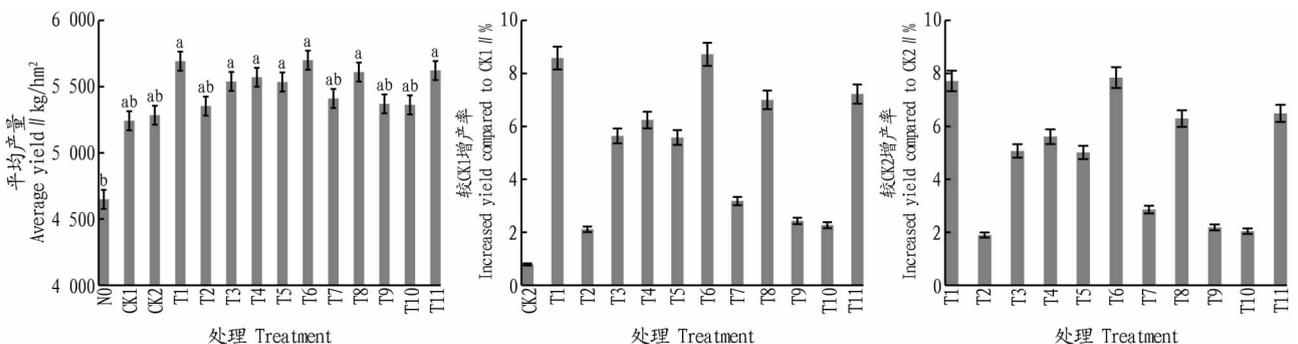
**1.5 数据处理** 试验数据采用 Excel 2016 进行整理、基础计算及画图; 采用 IBM SPSS Statistics 22 进行方差分析

(ANOVA)。

## 2 结果与分析

**2.1 不同肥料处理的小麦产量与产量要素** 不同肥料处理下小麦的产量及增产率见图 1。由图 1 可知, 施加氮肥可以提高小麦产量, 但常规施肥 (CK1)、推荐施肥 (CK2)、控失肥 II (T2)、活性糖肥料 I (T7)、活性糖肥料 III (T9) 和活性肥 (T10) 与不施氮肥对照 (N0) 的小麦产量差异不显著。

基施新型肥料 (T1~T10) 和土壤改良剂+基追普通肥 (T11) 的小麦产量为 5 353.5~5 700.0 kg/hm<sup>2</sup>, 与 CK1、CK2 相比分别增产 2.1%~8.7%、1.3%~7.9%, 但未达显著差异。基施增效肥 (T6) 产量最高, 为 5 700.0 kg/hm<sup>2</sup>, 与 CK1、CK2 相比增幅分别为 8.7%、7.9%。其次为基施控失肥 I (T1), 产量为 5 692.50 kg/hm<sup>2</sup>, 较 CK1、CK2 增幅分别为 8.6%、7.7%。基施活性糖肥料 (T8) 和土壤改良剂+基追普通肥 (T11) 产量也较高, 其较 CK1 增产 7.0%~7.2%, 较 CK2 增产 6.2%~6.4%。综上, 与常规普通肥相比, 新型肥料对提高小麦产量具有一定作用。



注: 不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different treatments at 0.05 level

图 1 不同肥料处理下小麦产量和增产率

Fig. 1 Wheat yield and yield increase in different fertilization treatments

由表 2 可知,与 N0 相比,基施新型肥料(T1~T10)、土壤改良剂+基追普通肥(T11)和推荐施肥(CK2)均可显著提高有效穗数。与 CK1、CK2 相比,T1~T11 有效穗数分别提高 7.7%~23.3%、0.9%~17.0%。基施强化肥(T5)的有效穗数显著高于 CK1、CK2 处理,且与 CK1 相比,基施控失肥(T1)、活性糖肥料 I(T7)的有效穗数显著增加,其余新型肥料处理虽能增加有效穗数,但未与 CK1、CK2 达显著差异。不同肥料处理间的穗粒数差异均未达显著水平。千粒重最高的为 N0 处理,且显著高于 T1~T11。CK1、CK2 的千粒重略高于其他氮肥处理,且均与 T7 达显著差异,同时 CK1 的千粒重显著高于土壤改良剂+基追普通肥(T11)。

**2.2 不同肥料处理的增收效益** 基施新型肥料(T1~T10)、土壤改良剂+基追普通肥(T11)的增收效益见表 3。由表 3 可知,与 CK1 相比,新型肥料及土壤改良剂处理小麦产量增加 111.0~457.5 kg/hm<sup>2</sup>,增加收入 255.0~1 051.5 元/hm<sup>2</sup>,净增收为 105.0~901.5 元/hm<sup>2</sup>。其中,基施增效肥(T6)、基施控失肥 I(T1)的增收效果最好,分别为 901.5、885.0 元/hm<sup>2</sup>,其次为基施活性糖肥料(T8)的增收为 694.5 元/hm<sup>2</sup>,基施保持肥(T3)、基施炭基肥(T4)和基施强化肥(T5)的增收为 523.5~603.0 元/hm<sup>2</sup>。与 CK2 相比新型肥料及土壤改良剂处理的增产、新增收入、净增收分别为 69.0~415.5 kg/hm<sup>2</sup>、160.0~957.0 元/hm<sup>2</sup>、25.5~807.0 元/hm<sup>2</sup>,增收效果最好的 T6、T1

分别为 807.0、789.0 元/hm<sup>2</sup>,T3、T4、T5 和 T8 的增收为 427.5~600.0 元/hm<sup>2</sup>。土壤改良剂+基追普通肥(T11)虽然增收效果较好,但由于投入较大,其增收效果较差。

表 2 不同肥料处理下小麦产量构成因素

Table 2 Yield components of wheat in different fertilization treatments

| 处理代号<br>Treatment<br>code | 有效穗数<br>Effective spike<br>number// $\times 10^6$ /hm <sup>2</sup> | 穗粒数<br>Kernel number<br>per spike//粒 | 千粒重<br>1 000-grain<br>weight//g |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| N0                        | 6.47±1.02 c                                                        | 26.97±2.92 a                         | 38.55±1.74 a                    |
| CK1                       | 7.12±0.59 bc                                                       | 25.40±1.93 a                         | 37.47±2.32 ab                   |
| CK2                       | 7.60±0.37 b                                                        | 29.02±5.45 a                         | 36.80±1.13 abc                  |
| T1                        | 8.26±0.63 ab                                                       | 29.35±2.49 a                         | 35.60±0.75 bed                  |
| T2                        | 8.04±0.49 ab                                                       | 26.60±3.46 a                         | 34.81±0.42 bed                  |
| T3                        | 7.92±0.65 ab                                                       | 28.85±1.08 a                         | 35.01±1.16 bc                   |
| T4                        | 7.73±0.53 b                                                        | 27.02±1.03 a                         | 34.92±1.74 bed                  |
| T5                        | 8.89±0.48 a                                                        | 26.85±1.82 a                         | 34.88±1.57 bed                  |
| T6                        | 7.67±0.94 b                                                        | 27.13±1.68 a                         | 36.35±1.51 abcd                 |
| T7                        | 8.31±0.45 ab                                                       | 28.53±3.35 a                         | 33.92±1.11 d                    |
| T8                        | 8.13±0.60 ab                                                       | 29.52±0.84 a                         | 35.38±0.42 bed                  |
| T9                        | 8.21±0.64 ab                                                       | 26.78±1.88 a                         | 35.74±1.69 bed                  |
| T10                       | 7.80±0.29 ab                                                       | 28.25±1.00 a                         | 35.54±1.35 dbc                  |
| T11                       | 8.03±0.49 ab                                                       | 27.58±4.90 a                         | 34.16±1.90 cd                   |

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different treatments( $P<0.05$ )

表 3 不同肥料处理小麦效益

Table 3 Benefits of wheat in different fertilization treatments

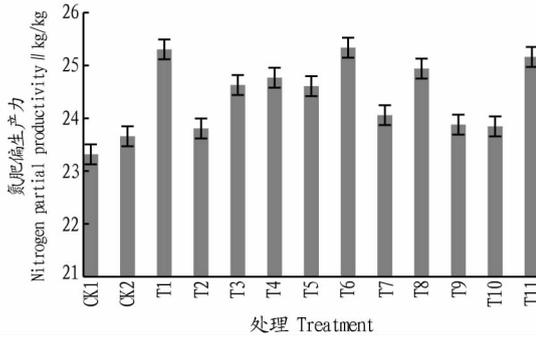
| 处理代号<br>Treatment<br>code | 产量<br>Yield<br>kg/hm <sup>2</sup> | 新增投入<br>New investment<br>元/hm <sup>2</sup> | 较 CK1 增产<br>The increased<br>yield compared<br>with CK1<br>kg/hm <sup>2</sup> | 新增收入<br>New income<br>元/hm <sup>2</sup> | 净增收<br>Net income<br>元/hm <sup>2</sup> | 较 CK2 增产<br>The increased<br>yield compared<br>with CK2<br>kg/hm <sup>2</sup> | 新增收入<br>New income<br>元/hm <sup>2</sup> | 净增收<br>Net income<br>元/hm <sup>2</sup> |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| CK1                       | 5 242.5                           | —                                           | —                                                                             | —                                       | —                                      | —                                                                             | —                                       | —                                      |
| CK2                       | 5 284.5                           | —                                           | —                                                                             | —                                       | —                                      | —                                                                             | —                                       | —                                      |
| T1                        | 5 692.5                           | 150.0                                       | 450.0                                                                         | 1 035.0                                 | 885.0                                  | 408.0                                                                         | 939.0                                   | 789.0                                  |
| T2                        | 5 353.5                           | 150.0                                       | 111.0                                                                         | 255.0                                   | 105.0                                  | 69.0                                                                          | 160.5                                   | 10.5                                   |
| T3                        | 5 539.5                           | 150.0                                       | 295.5                                                                         | 681.0                                   | 531.0                                  | 255.0                                                                         | 585.0                                   | 435.0                                  |
| T4                        | 5 571.0                           | 150.0                                       | 327.0                                                                         | 753.0                                   | 603.0                                  | 286.5                                                                         | 658.5                                   | 508.5                                  |
| T5                        | 5 535.0                           | 150.0                                       | 292.5                                                                         | 673.5                                   | 523.5                                  | 252.0                                                                         | 577.5                                   | 427.5                                  |
| T6                        | 5 700.0                           | 150.0                                       | 457.5                                                                         | 1 051.5                                 | 901.5                                  | 415.5                                                                         | 957.0                                   | 807.0                                  |
| T7                        | 5 410.5                           | 150.0                                       | 166.5                                                                         | 384.0                                   | 234.0                                  | 126.0                                                                         | 289.5                                   | 139.5                                  |
| T8                        | 5 610.0                           | 150.0                                       | 367.5                                                                         | 844.5                                   | 694.5                                  | 325.5                                                                         | 750.0                                   | 600.0                                  |
| T9                        | 5 370.0                           | 150.0                                       | 127.5                                                                         | 292.5                                   | 142.5                                  | 85.5                                                                          | 198.0                                   | 48.0                                   |
| T10                       | 5 362.5                           | 150.0                                       | 118.5                                                                         | 273.0                                   | 123.0                                  | 78.0                                                                          | 178.5                                   | 28.5                                   |
| T11                       | 5 622.0                           | 750.0                                       | 378.0                                                                         | 871.5                                   | 121.5                                  | 337.5                                                                         | 775.5                                   | 25.5                                   |

**2.3 不同肥料处理的氮肥偏生产力和氮肥农学效率** 基施新型肥料(T1~T10)、土壤改良剂+基追普通肥(T11)的氮肥偏生产力和氮肥农学效率均高于常规施肥(CK1)和推荐施肥(CK2)处理(图 2)。CK1、CK2 的氮肥偏生产力分别为 23.3、23.6 kg/kg, T1~T11 的氮肥偏生产力为 23.8~25.3 kg/kg, 与 CK1、CK2 相比分别增加 2.1%~8.7%、0.6%~7.1%。CK1、CK2 和 T1~T11 的氮肥农学效率分别为 2.6、2.8 kg/kg 和 3.1~4.7 kg/kg, 与 CK1、CK2 相比分别增加 18.7%~77.0%、10.1%~64.2%。其中 T1、T6、T8、T11 的两者均较高。

### 3 结论与讨论

产量和增收效益是评价肥料效果的重要指标,邢素丽等<sup>[14]</sup>研究表明施用控失肥等新型肥料与普通肥料相比其产量可增加 7.9%~10.4%,孙克刚等<sup>[15]</sup>、吴小宾等<sup>[16]</sup>研究表明新型肥料可显著增加小麦产量。该研究结果表明,基施新型肥料(T1~T10)和土壤改良剂+基追普通肥比常规施肥(CK1)、推荐施肥(CK2)分别增产 2.1%~8.7%、1.3%~7.9%,其中基施增效肥(T6)、基施控失肥 I(T1)、基施活性糖肥料(T8)和土壤改良剂+基追普通肥(T11)的增产效果最

优。与CK1、CK2相比,T1~T11净收入分别增加105.0~901.5、25.5~807.0元/hm<sup>2</sup>。其中,T11虽然增收效果较好,



但因为投入较大,其增收效果较差。T6、T1和T8处理的增产增收效果均较好。

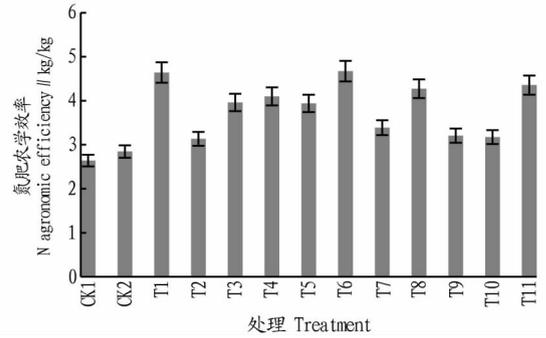


图2 不同肥料处理下氮肥偏生产力和氮肥农学效率

Fig. 2 Nitrogen partial productivity and nitrogen agronomic efficiency in different fertilization treatments

分析不同处理下小麦产量构成因素的影响可得,新型肥料对穗粒数的影响不显著,而对单位面积有效穗数则有促进作用,比常规施肥、推荐施肥分别高7.7%~23.3%、0.9%~17.03%,这与王飞等<sup>[17]</sup>、马洪波等<sup>[18]</sup>的研究结果一致;新型肥料除T7显著低于普通肥料处理外,其他新型肥料的千粒重与普通肥料(CK1、CK2)差异未达显著水平。由此可知,在该地区中新型肥料对小麦增产的有效途径是增加单位面积有效穗数。

在农业生产中合理使用缓控释等新型肥料是提高肥料效率的重要手段<sup>[19-20]</sup>,何杰等<sup>[21]</sup>研究表明施用控失肥对小麦的氮肥偏生产力和农学利用率有提高作用。氮肥效率的提高,一方面是氮肥当季利用的提高,另一方面是提高肥料有效性。该研究结果表明,与CK1和CK2相比,新型肥料和土壤改良剂的氮肥偏生产力分别提高2.1%~8.7%、0.6%~7.1%,氮肥农学效率分别提高18.7%~77.0%、10.1%~64.2%,其中T6、T1、T11、T8的效果较好。

综上,总养分含量为48%的增效肥、控失肥I和活性糖肥料3种新型肥料,其综合效果较优,一次性基施技术可替代大田推荐施肥。

## 参考文献

- [1] ROBERTS T L. The role of fertilizer in growing the world's food [J]. Better crops with plant food, 2009(2): 12-15.
- [2] 吴中伟,樊高琼,王秀芳,等. 不同氮肥用量及其生育期分配比例对四川丘陵区带状种植小麦氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1338-1348.
- [3] 中华人民共和国农业部. 新中国农业60周年统计资料[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [4] DUAN Y H, XU M G, GAO S D, et al. Nitrogen use efficiency in a wheat-corn cropping system from 15 years of manure and fertilizer applications [J]. Field crops research, 2014, 157(2): 47-56.
- [5] 李文高. 有机-无机肥料配施培肥砂姜黑土研究[J]. 安徽农业科学, 2000, 28(5): 636-637.

- [6] GALLOWAY J N, TOWNSEND A R, ERISMAN J W, et al. Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions [J]. Science, 2008, 320(5878): 889-892.
- [7] 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 [J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2016, 231: 218-228.
- [8] CHEN X, ZHANG F, RÖMHELD V, et al. Synchronizing N supply from soil and fertilizer and N demand of winter wheat by an improved N<sub>min</sub> method [J]. Nutrient cycling in agroecosystems, 2006, 74(2): 91-98.
- [9] 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[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(4): 1-10.
- [10] ZHENG W K, ZHANG M, LIU Z G, et al. Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system [J]. Field crops research, 2016, 197: 52-56.
- [11] 郑学博, 崔健, 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[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 550-555.
- [12] CASSMAN K G, PENG S, OLK D C, et al. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems [J]. Field Crops Res, 1998, 56(1/2): 7-39.
- [13] NOVOA R, LOOMIS R S. Nitrogen and plant production [J]. Plant & soil, 1981, 58(1/2/3): 177-204.
- [14] 邢素丽, 李孝兰, 杨军芳, 等. 新型尿素对小麦产量和氮肥利用率的应用效果研究[J]. 河北农业科学, 2017(6): 40-43.
- [15] 孙克刚, 和爱玲, 金修宽, 等. 大颗粒包膜尿素控释肥在冬小麦上的施用效果[J]. 磷肥与复肥, 2013, 28(5): 86-87.
- [16] 吴小宾, 谭德水, 林海涛, 等. 冬小麦一次性施肥氮肥产品筛选与产量效应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20): 3863-3875.
- [17] 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[J]. 山东农业科学, 2018, 50(12): 59-63.
- [18] 马洪波, 孙若晨, 吴建燕, 等. 控失尿素和含锌锰元素对小麦产量和肥料利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(13): 8-13.
- [19] HUTCHINSON C M. Influence of a controlled release nitrogen fertilizer program on potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber yield and quality [J]. Acta horticulturae, 2005, 684: 99-102.
- [20] KANG B K, HAN S H. Production of seed potato (*Solanum tuberosum* L.) under the recycling capillary culture system using controlled release fertilizers [J]. Japanese society for horticultural science, 2005, 74(4): 295-299.
- [21] 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累积及利用的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(3): 34-42.

(上接第145页)

- [10] 赖传雅, 梁钧, 白志良, 等. 荸荠秆枯病病原菌研究[J]. 广西农业大学学报, 1996, 15(2): 93-97.
- [11] 方中达. 植物研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [12] 赵琳琳, 陈威, 黄俊斌, 等. 荸荠茎点霉秆枯病菌侵染过程的超微观察[J]. 植物病理学报, 2016, 46(6): 841-845.
- [13] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [14] LV R J, ZHENG L, ZHU Z X, et al. First report of stem blight of *Eleocharis*

*is dulcis* caused by *Phoma bellidis* in China [J]. Plant disease, 2011, 95(9): 1190.

- [15] 黄麟, 杨济云, 方玉兰, 等. 杉木炭疽菌遗传转化及附着胞发育过程的细胞核行为观察[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(6): 68-72.
- [16] 许有斌, 廖海澄, 陈金华, 等. 利用绿色荧光蛋白GFP研究稻瘟病菌与水稻的互作[J]. 植物保护, 2017, 43(6): 53-61.
- [17] 张晓林, 张俊娥, 贺璞慧中, 等. 胶孢炭疽菌侵染杨树叶片的组织病理学研究[J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(3): 101-109.