

## 增效复合肥减氮施用对小麦-玉米产量和养分效率的影响

张富源, 叶 赞, 王 丽, 朱 荣, 刘子君, 穆 静, 齐永波, 章力干\*

(安徽农业大学资源与环境学院, 农田生态保育与污染防治安徽省重点实验室, 合肥 230036)

**摘 要:** 为了探明增效复合肥减氮施用对小麦-玉米产量和养分效率的影响, 2017-2020 年度在安徽省涡阳县布置不同增效复合肥及其减氮施用的田间试验。试验共设置 9 个处理, 分别为不施肥 (CK)、常规复合肥 (CF)、腐殖酸复合肥 (HF)、氨基酸复合肥 (AF)、海藻酸复合肥 (SF)、常规复合肥减氮 20% (CR)、腐殖酸复合肥减氮 20% (HR)、氨基酸复合肥减氮 20% (AR) 和海藻酸复合肥减氮 20% (SR)。结果表明: 不减氮处理小麦和玉米 3 年的平均产量高低顺序分别为 AF > SF > HF > CF、SF > HF > AF > CF; 减氮处理小麦和玉米 3 年的平均产量分别为 AR > SR > HR > CR、HR > SR > AR > CR; 周年平均产量 SF > AF > HF > AR > SR > HR > CF > CR, 增效复合肥减氮处理较增效复合肥不减氮处理周年产量下降 6.37%, 较 CF 处理周年产量增加 3.51%, 较 CR 处理周年产量增加 10.40%。施用增效复合肥的处理小麦穗粒数较 CF 处理平均增加 19.30%, 施用增效复合肥的处理玉米穗粒数较 CF 处理平均增加 5.80%, 增效复合肥减氮处理较增效复合肥不减氮处理小麦、玉米穗粒数分别下降 3.40% 和 2.60%。养分效率是衡量小麦、玉米吸收利用肥料效果的重要指标, 小麦季增效复合肥不减氮的处理氮、磷和钾肥利用率较 CF 处理平均提高了 10.32%, 增效复合肥减氮处理与 CR 处理相比, 氮、磷和钾肥吸收利用率平均提高了 7.94%, 增效复合肥处理小麦季平均肥料农学效率、偏生产力较 CF 处理分别提高了 3.19 和 3.17 kg·kg<sup>-1</sup>, 减氮 20% 后, 施用 3 种增效复合肥的处理肥料农学效率、偏生产力较 CR 处理分别提高 3.10 和 3.15 kg·kg<sup>-1</sup>; 玉米季增效复合肥不减氮的处理氮、磷和钾肥吸收利用率较 CF 处理平均提高了 7.35%, 增效复合肥处理玉米季肥料的农学效率、偏生产力较 CF 处理分别提高了 0.97 和 0.66 kg·kg<sup>-1</sup>, 减氮 20% 后, 施用 3 种增效复合肥的处理较 CR 处理氮、磷和钾肥吸收利用率分别提高了 4.87%、4.71% 和 9.03%。综上, 试验条件下增效复合肥较普通复合肥等养分条件下能显著提高小麦、玉米的产量和养分效率, 增产主要体现在增加小麦和玉米穗粒数; 增效复合肥减氮施用条件下, 小麦季较普通复合肥处理呈现增产, 玉米季呈现减产, 而周年产量表现为减肥稳产。

**关键词:** 冬小麦; 夏玉米; 增效复合肥; 减氮施肥; 产量; 养分利用率

中图分类号: S512.110.62; S513.062 文献标识码: A 文章编号: 1672-352X (2022)03-0388-07

## Effects of synergistic compound fertilizer on wheat-maize yield and nutrient efficiency

ZHANG Fuyuan, YE Yun, WANG Li, ZHU Rong, LIU Zijun, MU Jing, QI Yongbo, ZHANG Ligan

(Anhui Province Key Laboratory of Farmland Ecological Conservation and Pollution Prevention, School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

**Abstract:** In order to provide a basis for rational application of synergistic compound fertilizer, the effects of nitrogen reduction application of synergistic compound fertilizer on wheat and maize yield and nutrient efficiency were explored through a field experiment of different synergistic compound fertilizers and nitrogen reduction application in Guoyang county, Anhui Province from 2017 to 2020. There were nine treatments in the experiment: No fertilizer (CK), conventional compound fertilizer (CF), humic acid compound fertilizer (HF), amino acid compound fertilizer (AF), alginate compound fertilizer (SF), conventional compound fertilizer 20% N reduction (CR), humic acid compound fertilizer 20% N reduction (HR), amino acid compound fertilizer 20% N reduction (AR) and alginate compound fertilizer 20% N reduction (SR). The results showed that the order of average yield of wheat and maize without N reduction was AF > SF > HF > CF, SF > HF > AF > CF, respectively. The average yield of wheat and maize treated with N reduction was AR > SR > HR > CR and HR > SR > AR > CR, respectively. The order of annual average yield was SF >

收稿日期: 2021-12-09

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0200402, 2018YFD0800301) 资助。

作者简介: 张富源, 硕士研究生。E-mail: 1161019666@qq.com

\* 通信作者: 章力干, 副教授。E-mail: zhligan@ahau.edu.cn

AF>HF>AR>SR>HR>CF>CR。The annual yield with nitrogen-reducing compound fertilizer treatment was 6.37% lower than that of non-nitrogen-reducing treatment, and the annual yield increased by 3.51% compared with CF treatment and 10.40% with CR treatment, respectively. The grain number per ear of wheat in the treatment of synergic compound fertilizer increased 19.30% on average compared with that of CF, and the grain number per ear of corn in the treatment of synergic compound fertilizer increased 5.80% on average compared with that of CF. The grain number per ear of wheat and maize in the treatment of nitrogen-reducing compound fertilizer decreased 3.40% and 2.60%, respectively, compared with that in the treatment of nitrogen-reducing compound fertilizer. Nutrient efficiency is an important index to measure the effect of fertilizer absorption and utilization of wheat and maize. The utilization rates of N, P and K in the treatment of wheat season synergistic compound fertilizer without reducing N increased by 10.32% on average compared with CF treatment, and the utilization rates of N, P and K increased by 7.94% on average compared with CR treatment. The agronomic efficiency and partial productivity of HF, AF and SF treatments were increased by 3.19 and 3.17 kg·kg<sup>-1</sup>, respectively, compared with CF treatment. After 20% N reduction, the agronomic efficiency and partial productivity of HF, AF and SF treatments were increased by 3.10 and 3.15 kg·kg<sup>-1</sup>, respectively, compared with CR treatment. Compared with CF, the absorption and utilization rates of N, P and K fertilizer in the treatment without reducing N increased by 7.35% on average, and the agricultural efficiency and partial productivity of maize fertilizer in the treatment with HF, AF and SF increased by 0.97 and 0.66 kg·kg<sup>-1</sup>, respectively. Compared with CR treatment, the utilization rates of N, P and K increased by 4.87%, 4.71% and 9.03% after 20% N reduction, respectively. In conclusion, compared with common compound fertilizer, the yield and nutrient efficiency of wheat and maize under experimental conditions were significantly increased by increasing grain number per ear of wheat and maize. Under the application of synergistic compound fertilizer and nitrogen reduction, the yield of wheat and maize was higher and lower than that of ordinary compound fertilizer, while the annual yield was stable and slimming.

**Key words:** winter wheat; summer maize; synergistic compound fertilizer; nitrogen reduction fertilization; production; nutrient availability

肥料对种植业起着至关重要的作用, 化肥投入是粮食增产的主要手段, 有关数据表明化肥对粮食增产的贡献率高达 40%<sup>[1]</sup>。农业生产中化肥的过量施用和养分不平衡投入, 导致我国化肥实际利用率偏低(我国的化肥利用率平均仅 33%<sup>[2]</sup>)。化肥的利用率低不仅造成资源浪费, 还带来了一系列的耕地质量退化和农业生态环境问题<sup>[3]</sup>。化肥的减量施用和平衡施肥是当前农业绿色发展面临的重要课题<sup>[4]</sup>, 目前化肥减量的重要技术手段之一就是肥料增效减量, 通过添加新型增效载体而生产的新型增效肥料也应运而生。利用腐殖酸、氨基酸、海藻酸等增效载体添加生产的增效肥料最受业界关注<sup>[5-7]</sup>, 是近年来投入成本低、技术工艺简单、产业化发展最快的新型肥料, 有关腐殖酸、氨基酸、海藻酸增值复合肥对作物的生长、产量、品质和氮素吸收利用等方面的影响已有较多研究<sup>[8-10]</sup>, 结果表明新型增效复合肥均能不同程度地促进水稻、棉花、马铃薯、玉米等作物的生长发育、提高作物产量、改善农产品品质和促进氮素吸收利用<sup>[11-14]</sup>。本研究从新型增效复合肥减氮施肥入手, 探究 3 种新型增效复合肥对安徽砂姜黑土小麦-玉米轮作体系的籽粒产量和养分利用效率的影响, 为增效复合肥效应评价和合理施用提供理论依据, 也为小麦-玉米轮作制化肥减量和丰产优质提供技术和产品支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况和试验设计

试验位于安徽省亳州市涡阳县城东镇郭寨村民组(33°27' N, 115°53' E), 试验地属于温暖带半湿润大陆性季风气候。年均气温在 14.4℃左右, 年均降水量 830 mm 左右, 无霜期 218 d。主要种植方式为麦-玉轮作。供试土壤类型为砂姜黑土, 播前土壤基本理化性质: 有机质含量 25.90 g·kg<sup>-1</sup>, 全氮 1.47g·kg<sup>-1</sup>, 速效磷 26.10 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 210 mg·kg<sup>-1</sup>, pH 6.67 (土:水=1:2.5)。

田间试验时间为 2017 年 10 月至 2020 年 6 月, 种植体系为冬小麦和夏玉米一年两熟轮作, 供试冬小麦品种为丰德纯麦 1 号, 夏玉米品种为华皖 267。冬小麦于每年 10 月播种, 次年 6 月收获, 夏玉米于 6 月播种, 当年 10 月收获。

试验共设 9 个处理: (1) 空白处理 (CK); (2) 常规复合肥 (CF); (3) 腐殖酸增效复合肥 (HF); (4) 氨基酸增效复合肥 (AF); (5) 海藻酸增效复合肥 (SF); (6) 常规复合肥减氮 20% (CR); (7) 腐殖酸增效复合肥减氮 20% (HR); (8) 氨基酸增效复合肥减氮 20% (AR); (9) 海藻酸增效复合肥减氮 20% (SR)。每个处理 3 次重复, 田间随机排列, 小区面积 28 m<sup>2</sup> (长 7 m×宽 4 m)。试验中氮肥

施用量均以纯 N 计：冬小麦 CF 处理施氮量为 225 kg·hm<sup>-2</sup>，处理 HF、AF、SF 施氮量与 CF 处理一致；CR 处理施氮量为 180 kg·hm<sup>-2</sup>，处理 HR、AR、SR 施氮量与 CR 处理一致，氮素按基肥：拔节肥按 6：4 施用，除 CK 外，各处理磷肥和钾肥施用量相同，并作为基肥一次性施用；夏玉米 CF 处理施氮量为 300 kg·hm<sup>-2</sup>，处理 HF、AF、SF 施氮量与 CF 处理一致；CR 处理施氮量为 240 kg·hm<sup>-2</sup>，处理 HR、AR、SR 施氮量与 CR 处理一致，氮素按基肥：大喇叭口期肥按 7：3 施用，除 CK 外，各处理磷肥和钾肥施用量相同，并作为基肥一次性施用。施肥时因各种肥料带入的氮素、磷素和钾素含量不同，故用尿素、普通过磷酸钙和氯化钾调配等养分，不同处理肥料用量见表 1。

表 1 不同处理肥料用量  
Table 1 Different fertilizer dosages (kg·hm<sup>-2</sup>)

处理	冬小麦			夏玉米		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
不施肥处理	0	0	0	0	0	0
不减氮施肥处理	225	105	75	300	45	60
减氮施肥处理	180	105	75	240	45	60

供试肥料：小麦季腐植酸复合肥（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=18-16-10，腐植酸添加量 0.5%）、氨基酸复合肥（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=26-12-10，氨基酸添加量 0.5%）、海藻酸复合肥（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=22-10-10，海藻酸添加量 0.5%）；玉米季腐植酸复合肥（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=26-6-8，腐植酸添加量 0.5%）、氨基酸复合肥（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=24-5-8，氨基酸添加量 0.5%）、海藻酸复合肥（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=28-6-8，海藻酸添加量 0.5%）。3 种复合肥都是通过向普通肥料中添加天然活性物质腐植酸、氨基酸、海藻酸等，经过熔融或混合造粒而生产，分别由山东农大肥业科技有限公司、深圳芭田生态工程股份有限公司和江西开门子肥业集团有限公司提供。

## 1.2 方法

**1.2.1 样品获取干物质累积量** 每年小麦成熟期随机取 10 株植株，玉米成熟期随机取 5 株植株，测量干物质量。将成熟小麦和玉米按籽粒和茎叶两部分器官分样，置于烘箱 105 ℃ 杀青 15 min，然后转至 65 ℃ 烘箱烘干至恒重，其后称重磨细，用于植株氮素、磷素和钾素含量的测定。

**1.2.2 测定项目** 植株全氮、磷、钾参照中国农业出版社第三版《土壤农化分析方法》<sup>[15-16]</sup>进行测定。

**1.2.3 相关指标计算公式**<sup>[17-18]</sup> 植株氮素总积累量/（kg·hm<sup>-2</sup>）=∑ 植株各器官干重 × 氮含量

植株磷素总积累量/（kg·hm<sup>-2</sup>）=∑ 植株各器官

干重×磷含量

植株钾素总积累量/（kg·hm<sup>-2</sup>）=∑ 植株各器官干重 × 钾含量

氮肥吸收利用率/% = 植株氮素总积累量/施氮肥量×100

磷肥吸收利用率/% = 植株磷素总积累量/施磷肥量×100（按 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 折算）

钾肥吸收利用率/% = 植株钾素总积累量/施钾肥量×100（按 K<sub>2</sub>O 折算）

肥料农学效率/（kg·kg<sup>-1</sup>）=（施肥小区籽粒产量 - 不施肥小区籽粒产量）/施肥量

肥料偏生产力/（kg·kg<sup>-1</sup>）= 施肥作物产量/施肥量

**1.2.4 计产与考种**<sup>[18]</sup> 每年小麦成熟期调查各处理穗数，成熟时各小区收割 2 m<sup>2</sup>（1 m × 2 m），脱粒晒干，折算成实际产量（kg·hm<sup>-2</sup>），同时每小区取 10 株代表性植株进行室内考种，调查穗部性状，并测定其每穗粒数和粒重。夏玉米每小区收 30 株折算实际产量。同时每小区取 5 株，用以考察产量构成。

**1.2.5 数据处理与统计** 试验数据处理及分析分别采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS Statistics 19（Duncan's 新复极差法进行多重比较，显著性检验水平为 0.05）完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对安徽砂姜黑土小麦产量及其构成因素的影响

由表 2 可见，不减氮的 AF 处理小麦平均产量最高，其次是 SF 和 HF 处理，分别较 CF 处理增产 22.70%、21.10% 和 20.30%，但 AF、SF 和 HF 处理间小麦产量在统计上无显著差异；氮肥减施的 AR 处理小麦平均产量最高，2018 年最高达 9 000.90 kg·h<sup>-2</sup>，2017、2019 年与 HR 和 SR 处理间无显著差异，AR、HR 和 SR 处理较 CR 处理增产显著，较 CR 处理平均增产 17.60%，3 种增效复合肥减氮处理较增效复合肥不减氮处理产量减低，平均降低了 5.30%。从表 3 小麦考种结果看，增效复合肥对小麦产量构成因素影响明显，主要影响小麦穗粒数。2017、2018 年 AF、SF 和 HF 处理小麦穗粒数显著高于 CF 处理，分别较 CF 处理增加 23.10%、29.60% 和 20.60%，2019 年 AF、SF 和 HF 处理小麦穗数显著高于 CF 处理，分别较 CF 增加 4.40%、3.70% 和 6.10%，4 个处理间小麦千粒重无显著差异，SF 处理小麦平均千粒重最低。3 种增效肥减氮处理与 CF 处理小麦千粒重间无显著差异，但 AR 处理的穗粒数显著高于 CR 处理。

表 2 不同处理冬小麦产量

Table 2 Yields of winter wheat under different treatments

(kg·hm<sup>-2</sup>)

处理	2017 年	2018 年	2019 年	3 年平均产量
CK	5 157.45 <sup>f</sup>	4 249.50 <sup>d</sup>	3 591.15 <sup>d</sup>	4 332.70 <sup>g</sup>
CF	6 360.00 <sup>e</sup>	5 254.05 <sup>c</sup>	7 800.60 <sup>b</sup>	6 471.55 <sup>f</sup>
HF	7 008.45 <sup>abc</sup>	7 903.05 <sup>b</sup>	8 437.35 <sup>a</sup>	7 782.95 <sup>b</sup>
AF	7 121.55 <sup>a</sup>	8 613.60 <sup>ab</sup>	8 092.95 <sup>ab</sup>	7 942.70 <sup>a</sup>
SF	7 096.5 <sup>ab</sup>	8 388.45 <sup>ab</sup>	8 028.30 <sup>b</sup>	7 837.75 <sup>ab</sup>
CR	6 342.00 <sup>e</sup>	5 539.65 <sup>c</sup>	7 098.60 <sup>c</sup>	6 326.75 <sup>e</sup>
HR	6 758.55 <sup>bcd</sup>	7 981.05 <sup>bc</sup>	7 233.60 <sup>c</sup>	7 324.40 <sup>d</sup>
AR	6 632.55 <sup>de</sup>	9 000.90 <sup>a</sup>	7 315.05 <sup>c</sup>	7 649.50 <sup>bc</sup>
SR	6 739.95 <sup>cd</sup>	8 154.60 <sup>b</sup>	7 147.50 <sup>c</sup>	7 347.35 <sup>d</sup>

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

表 3 不同处理冬小麦产量构成因素

Table 3 Yield components of winter wheat under different treatments

处理	2017 年			2018 年			2019 年		
	亩穗数/ (10 <sup>4</sup> 个)	穗粒数	千粒重/g	亩穗数/ (10 <sup>4</sup> 个)	穗粒数	千粒重/g	亩穗数/ (10 <sup>4</sup> 个)	穗粒数	千粒重/g
CK	27.87 <sup>b</sup>	29.13 <sup>c</sup>	41.61 <sup>b</sup>	24.00 <sup>de</sup>	28.45 <sup>d</sup>	48.68 <sup>b</sup>	37.53 <sup>d</sup>	17.60 <sup>e</sup>	42.64 <sup>c</sup>
CF	36.90 <sup>a</sup>	30.10 <sup>c</sup>	45.38 <sup>ab</sup>	27.38 <sup>a</sup>	34.96 <sup>c</sup>	51.45 <sup>a</sup>	42.97 <sup>c</sup>	30.43 <sup>ab</sup>	46.79 <sup>a</sup>
HF	37.27 <sup>a</sup>	32.23 <sup>ab</sup>	46.05 <sup>ab</sup>	25.20 <sup>c</sup>	46.23 <sup>b</sup>	50.20 <sup>ab</sup>	44.87 <sup>ab</sup>	31.53 <sup>a</sup>	46.76 <sup>a</sup>
AF	36.93 <sup>a</sup>	33.07 <sup>a</sup>	46.84 <sup>a</sup>	26.31 <sup>ab</sup>	48.13 <sup>ab</sup>	51.34 <sup>a</sup>	44.57 <sup>ab</sup>	30.37 <sup>ab</sup>	46.91 <sup>a</sup>
SF	35.80 <sup>a</sup>	32.20 <sup>ab</sup>	45.80 <sup>ab</sup>	27.23 <sup>a</sup>	52.12 <sup>a</sup>	50.79 <sup>ab</sup>	45.60 <sup>a</sup>	30.17 <sup>bc</sup>	45.78 <sup>b</sup>
CR	35.80 <sup>a</sup>	29.90 <sup>bc</sup>	46.68 <sup>a</sup>	23.03 <sup>e</sup>	34.81 <sup>c</sup>	49.02 <sup>b</sup>	42.97 <sup>c</sup>	27.70 <sup>d</sup>	46.78 <sup>a</sup>
HR	37.77 <sup>a</sup>	30.43 <sup>bc</sup>	45.24 <sup>ab</sup>	24.63 <sup>cd</sup>	44.78 <sup>b</sup>	49.72 <sup>ab</sup>	44.23 <sup>b</sup>	27.77 <sup>d</sup>	46.18 <sup>ab</sup>
AR	36.60 <sup>a</sup>	32.23 <sup>ab</sup>	47.66 <sup>a</sup>	26.40 <sup>ab</sup>	48.22 <sup>ab</sup>	51.21 <sup>a</sup>	42.60 <sup>c</sup>	29.00 <sup>c</sup>	46.44 <sup>ab</sup>
SR	35.83 <sup>a</sup>	32.10 <sup>ab</sup>	47.28 <sup>a</sup>	25.45 <sup>bc</sup>	46.51 <sup>b</sup>	48.94 <sup>b</sup>	44.70 <sup>ab</sup>	27.00 <sup>d</sup>	46.45 <sup>ab</sup>

表 4 不同处理夏玉米产量

Table 4 Yields of summer maize under different treatments (kg·hm<sup>-2</sup>)

处理	2017 年	2018 年	2019 年
CK	7 420.05 <sup>d</sup>	5 678.85 <sup>c</sup>	5 980.80 <sup>d</sup>
CF	8 484.45 <sup>c</sup>	8 223.45 <sup>ab</sup>	10 825.05 <sup>a</sup>
HF	8 887.05 <sup>ab</sup>	8 706.45 <sup>ab</sup>	10 576.95 <sup>ab</sup>
AF	8 826.45 <sup>b</sup>	8 899.95 <sup>a</sup>	10 227.45 <sup>b</sup>
SF	9 021.45 <sup>a</sup>	9 030.60 <sup>a</sup>	10 832.40 <sup>a</sup>
CR	7 420.05 <sup>d</sup>	7 933.95 <sup>b</sup>	9 679.35 <sup>c</sup>
HR	8 606.55 <sup>c</sup>	8 550.05 <sup>b</sup>	9 738.30 <sup>c</sup>
AR	8 550.45 <sup>c</sup>	8 006.85 <sup>b</sup>	9 360.60 <sup>c</sup>
SR	8 484.45 <sup>c</sup>	8 383.20 <sup>ab</sup>	9 631.50 <sup>c</sup>

## 2.2 不同施肥处理对安徽砂姜黑土玉米产量及其构成因素的影响

由表 4 可以看出, 不同施肥处理产量差异明显。

在不减氮处理中 SF 处理产量最高, 其次是 HF 处理, 分别较 CF 处理增产 4.90% 和 2.30%, SF 和 HF 处理间无显著差异; 减氮处理中 HR、AR 和 SR 处理间产量无显著差异, 较 CR 处理平均增产 5.90%, 较 CF 处理平均减产 5.20%, 较 HF、AF 和 SF 处理、平均减产 7.90%。从玉米产量构成结果看(表 5), 施肥较对照明显增加玉米穗粒数和千粒重, 施肥处理间效应差异较大, 其中 SF 处理在玉米穗粒数和千粒重上效果相对 CF 处理大多年份有明显增加, 但 HF 和 AF 处理间玉米穗粒数和千粒重无显著差异。减氮施肥各处理间除 2018 年外, 穗粒数和千粒重均无显著差异。

表 5 不同处理夏玉米产量构成因素

Table 5 Yield components of summer maize under different treatments

处理	2017 年			2018 年			2019 年		
	亩穗数/个	穗粒数	千粒重/g	亩穗数/个	穗粒数	千粒重/g	亩穗数/个	穗粒数	千粒重/g
CK	3 820	419.67 <sup>b</sup>	338.83 <sup>d</sup>	4 160	359.60 <sup>d</sup>	306.80 <sup>c</sup>	4 193	328.50 <sup>c</sup>	318.50 <sup>b</sup>
CF	3 820	448.33 <sup>a</sup>	352.47 <sup>bc</sup>	4 160	434.87 <sup>c</sup>	309.30 <sup>b</sup>	4 193	535.28 <sup>a</sup>	390.20 <sup>a</sup>
HF	3 820	455.33 <sup>a</sup>	353.80 <sup>bc</sup>	4 160	467.13 <sup>ab</sup>	313.73 <sup>ab</sup>	4 193	535.87 <sup>a</sup>	384.73 <sup>a</sup>
AF	3 820	456.33 <sup>a</sup>	355.27 <sup>b</sup>	4 160	461.00 <sup>ab</sup>	316.77 <sup>a</sup>	4 193	504.81 <sup>ab</sup>	382.47 <sup>a</sup>
SF	3 820	466.33 <sup>a</sup>	360.13 <sup>a</sup>	4 160	471.33 <sup>a</sup>	317.83 <sup>a</sup>	4 193	516.03 <sup>ab</sup>	388.03 <sup>a</sup>
CR	3 820	458.67 <sup>a</sup>	346.63 <sup>cd</sup>	4 160	431.27 <sup>c</sup>	303.27 <sup>d</sup>	4 193	500.85 <sup>ab</sup>	378.43 <sup>a</sup>
HR	3 820	453.00 <sup>a</sup>	351.23 <sup>c</sup>	4 160	430.87 <sup>c</sup>	318.47 <sup>a</sup>	4 193	515.09 <sup>ab</sup>	375.53 <sup>a</sup>
AR	3 820	451.33 <sup>a</sup>	350.87 <sup>c</sup>	4 160	435.87 <sup>c</sup>	315.10 <sup>a</sup>	4 193	488.98 <sup>b</sup>	379.33 <sup>a</sup>
SR	3 820	460.33 <sup>a</sup>	348.70 <sup>cd</sup>	4 160	446.47 <sup>bc</sup>	306.87 <sup>c</sup>	4 193	489.48 <sup>b</sup>	372.97 <sup>a</sup>

### 2.3 不同施肥处理对安徽砂姜黑土麦玉周年影响

由表 6 可知, 不减氮处理中, HF、AF 和 SF 处理较 CF 处理增产显著, 其中 2019 年 HF 处理产量最高达 19 014.30 kg·hm<sup>-2</sup>, CK 处理产量逐年递减, 3 种增效复合肥处理产量逐年递增; 纵观 3 个年份的周年产量, SF 处理增产效果较为稳定。减氮处理中, HR、AR 和 SR 处理 2017、2018 年较 CF 处理增产显著, 2019 年较 CF 处理平均减产 9.80%; HR、AR 和 SR 处理较 CR 处理平均增产 14.70%, 较增效肥不减氮处理平均减产 11.90%。

### 2.4 不同施肥处理对安徽砂姜黑土麦玉养分吸收利用率的影响

由表 7 可知, HF、AF 和 SF 处理的小麦氮、磷和钾肥的利用率均值分别达到 41.84%、24.48% 和 49.68%, 较 CF 处理分别提高了 10.12%、3.49% 和 17.36%, 其中 SF 处理的磷肥和钾肥利用率最高分别达到 28.62% 和 56.48%, AF 处理氮肥利用率最高达 50.23%, 3 种增效复合肥较 CF 处理氮、磷和钾肥的利用率差异显著; 减氮 20% 后, 施用 3 种增效复合肥处理对小麦的养分吸收利用均有不同程度的促进作用, 与 CR 处理相比, 氮、磷和钾肥的吸收

利用率分别提高了 11.37%、2.03% 和 10.43%。由表 8 可知, CF 处理的玉米氮、磷和钾的平均吸收利用率分别达到 28.85%、21.27% 和 36.43%, HF、AF 和 SF 处理的玉米氮、磷和钾平均吸收利用率较 CF 处理分别提高了 13.40%、3.90% 和 4.76%, 其中, 以 SF 处理养分吸收效果最好, 氮、磷和钾吸收利用率分别达到了 43.32%、26.23% 和 42.39%; 减氮 20% 后, 施用 3 种增效复合肥处理较 CR 处理相比, 氮、磷和钾肥的吸收利用率分别提高了 4.87%、4.71% 和 9.03%。

表 6 不同处理周年产量

处理	2017 年	2018 年	2019 年
CK	12 577.50 <sup>i</sup>	9 928.35 <sup>h</sup>	9 571.95 <sup>h</sup>
CF	14 844.45 <sup>g</sup>	13 477.50 <sup>g</sup>	18 625.65 <sup>e</sup>
HF	15 895.50 <sup>c</sup>	16 609.50 <sup>d</sup>	19 014.30 <sup>a</sup>
AF	15 948.00 <sup>b</sup>	17 513.55 <sup>a</sup>	18 320.40 <sup>d</sup>
SF	16 117.95 <sup>a</sup>	17 419.05 <sup>b</sup>	18 860.70 <sup>b</sup>
CR	13 762.05 <sup>h</sup>	13 473.60 <sup>g</sup>	16 777.95 <sup>f</sup>
HR	15 365.10 <sup>d</sup>	16 031.10 <sup>f</sup>	16 971.90 <sup>e</sup>
AR	15 183.00 <sup>f</sup>	17 007.75 <sup>c</sup>	16 675.65 <sup>g</sup>
SR	15 224.40 <sup>e</sup>	16 537.80 <sup>e</sup>	16 779.00 <sup>f</sup>

表 7 不同处理小麦养分利用率

处理	2017 年			2018 年			2019 年		
	N/%	P/%	K/%	N/%	P/%	K/%	N/%	P/%	K/%
CK	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CF	35.10 <sup>d</sup>	20.50 <sup>c</sup>	34.02 <sup>c</sup>	23.35 <sup>d</sup>	22.22 <sup>c</sup>	26.71 <sup>c</sup>	36.72 <sup>cd</sup>	20.24 <sup>bc</sup>	36.23 <sup>b</sup>
HF	41.40 <sup>bc</sup>	23.67 <sup>abc</sup>	48.84 <sup>ab</sup>	35.12 <sup>ab</sup>	27.41 <sup>ab</sup>	50.75 <sup>a</sup>	43.16 <sup>bc</sup>	16.48 <sup>c</sup>	50.50 <sup>ab</sup>
AF	42.55 <sup>b</sup>	23.33 <sup>abc</sup>	49.93 <sup>ab</sup>	38.28 <sup>bc</sup>	28.12 <sup>ab</sup>	43.39 <sup>b</sup>	50.23 <sup>a</sup>	28.24 <sup>a</sup>	49.77 <sup>ab</sup>
SF	43.63 <sup>b</sup>	21.50 <sup>bc</sup>	44.41 <sup>b</sup>	37.28 <sup>ab</sup>	28.62 <sup>a</sup>	53.09 <sup>a</sup>	44.95 <sup>ab</sup>	22.96 <sup>ab</sup>	56.48 <sup>a</sup>
CR	39.17 <sup>c</sup>	22.50 <sup>bc</sup>	35.73 <sup>c</sup>	30.78 <sup>c</sup>	21.68 <sup>c</sup>	31.83 <sup>c</sup>	32.42 <sup>d</sup>	23.12 <sup>ab</sup>	41.70 <sup>ab</sup>
HR	41.54 <sup>bc</sup>	28.00 <sup>a</sup>	46.60 <sup>ab</sup>	44.34 <sup>bc</sup>	31.16 <sup>a</sup>	48.36 <sup>ab</sup>	43.79 <sup>b</sup>	15.79 <sup>c</sup>	41.02 <sup>ab</sup>
AR	42.44 <sup>b</sup>	25.00 <sup>abc</sup>	52.60 <sup>a</sup>	50.01 <sup>a</sup>	24.45 <sup>bc</sup>	48.34 <sup>ab</sup>	48.21 <sup>ab</sup>	22.95 <sup>ab</sup>	43.55 <sup>ab</sup>
SR	47.38 <sup>a</sup>	25.67 <sup>ab</sup>	51.33 <sup>ab</sup>	45.30 <sup>ab</sup>	24.17 <sup>bc</sup>	47.33 <sup>ab</sup>	46.43 <sup>ab</sup>	22.93 <sup>ab</sup>	42.50 <sup>ab</sup>

表 8 不同处理玉米养分利用率

处理	2017 年			2018 年			2019 年		
	N/%	P/%	K/%	N/%	P/%	K/%	N/%	P/%	K/%
CK	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CF	25.88 <sup>c</sup>	18.00 <sup>bc</sup>	35.58 <sup>cd</sup>	28.49 <sup>f</sup>	23.57 <sup>ab</sup>	38.25 <sup>b</sup>	32.19 <sup>c</sup>	22.25 <sup>c</sup>	35.45 <sup>d</sup>
HF	47.60 <sup>a</sup>	20.91 <sup>abc</sup>	38.25 <sup>bc</sup>	36.74 <sup>d</sup>	23.54 <sup>ab</sup>	43.33 <sup>ab</sup>	40.13 <sup>ab</sup>	25.49 <sup>b</sup>	38.63 <sup>c</sup>
AF	47.17 <sup>a</sup>	20.74 <sup>abc</sup>	37.42 <sup>cd</sup>	39.07 <sup>cd</sup>	28.02 <sup>a</sup>	44.32 <sup>a</sup>	39.58 <sup>ab</sup>	29.12 <sup>a</sup>	41.58 <sup>b</sup>
SF	43.06 <sup>ab</sup>	22.69 <sup>ab</sup>	36.33 <sup>cd</sup>	43.26 <sup>ab</sup>	27.19 <sup>a</sup>	42.69 <sup>ab</sup>	43.63 <sup>a</sup>	28.82 <sup>a</sup>	48.16 <sup>a</sup>
CR	45.97 <sup>ab</sup>	16.70 <sup>c</sup>	35.42 <sup>d</sup>	32.56 <sup>e</sup>	21.81 <sup>b</sup>	30.68 <sup>c</sup>	32.59 <sup>c</sup>	23.51 <sup>c</sup>	32.36 <sup>c</sup>
HR	45.00 <sup>ab</sup>	24.33 <sup>a</sup>	37.25 <sup>cd</sup>	45.30 <sup>a</sup>	25.50 <sup>ab</sup>	42.49 <sup>ab</sup>	37.33 <sup>b</sup>	26.57 <sup>b</sup>	42.26 <sup>b</sup>
AR	42.91 <sup>ab</sup>	21.98 <sup>ab</sup>	43.25 <sup>a</sup>	40.83 <sup>bc</sup>	25.28 <sup>ab</sup>	45.00 <sup>a</sup>	41.86 <sup>ab</sup>	27.02 <sup>ab</sup>	40.00 <sup>bc</sup>
SR	39.74 <sup>a</sup>	25.60 <sup>a</sup>	40.58 <sup>b</sup>	39.46 <sup>cd</sup>	24.58 <sup>ab</sup>	44.45 <sup>a</sup>	44.80 <sup>a</sup>	27.53 <sup>ab</sup>	41.35 <sup>b</sup>

### 2.5 不同施肥处理对肥料利用率的影响

由表 9 可知, HF、AF 和 SF 处理小麦季肥料的农学效率、偏生产力较 CF 处理也分别平均提高了

3.19 和 3.17 kg·kg<sup>-1</sup>, 减氮 20% 后, 施用 3 种增效复合肥处理肥料的农学效率、偏生产力较 CR 处理也均提高明显, 其中, AR 处理的肥料农学效率、偏

生产力较 CR 处理分别平均提高了 3.72 和 3.77 kg·kg<sup>-1</sup>; CF 处理玉米季肥料的农学效率、偏生产力也平均达到了 6.93 和 22.43 kg·kg<sup>-1</sup>, HF、AF 和 SF 处理玉米季肥料的农学效率、偏生产力较 CF 处理也平均提高了 0.97 和 0.66 kg·kg<sup>-1</sup>, 其中, SF 处理

农学效率和偏生产力较 CF 处理分别提高了 24.10% 和 4.90%。减氮 20% 后, 施用 3 种增效复合肥处理肥料的农学效率、偏生产力较 CR 处理也均提高明显, 但总体上较不减氮的 3 种增效复合肥处理有所降低。

表 9 不同处理肥料利用率

Table 9 Fertilizer utilization rate of different treatments kg·kg<sup>-1</sup>

处理	2017 年				2018 年				2019 年			
	小麦		玉米		小麦		玉米		小麦		玉米	
	AE	PFP	AE	PFP	AE	PFP	AE	PFP	AE	PFP	AE	PFP
CK	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CF	3.09 <sup>b</sup>	15.82 <sup>d</sup>	2.54 <sup>c</sup>	20.27 <sup>c</sup>	2.48 <sup>c</sup>	12.97 <sup>d</sup>	6.28 <sup>ab</sup>	20.30 <sup>c</sup>	10.41 <sup>b</sup>	19.26 <sup>b</sup>	11.96 <sup>a</sup>	26.73 <sup>bc</sup>
HF	4.20 <sup>a</sup>	16.93 <sup>c</sup>	3.54 <sup>ab</sup>	21.23 <sup>b</sup>	9.02 <sup>b</sup>	19.51 <sup>c</sup>	7.48 <sup>ab</sup>	21.50 <sup>bc</sup>	11.98 <sup>a</sup>	20.83 <sup>a</sup>	11.35 <sup>a</sup>	26.12 <sup>cd</sup>
AF	4.11 <sup>a</sup>	16.84 <sup>c</sup>	4.54 <sup>ab</sup>	21.09 <sup>b</sup>	10.78 <sup>ab</sup>	21.27 <sup>bc</sup>	7.95 <sup>a</sup>	21.98 <sup>bc</sup>	11.13 <sup>ab</sup>	19.98 <sup>ab</sup>	10.49 <sup>ab</sup>	25.25 <sup>d</sup>
SF	4.17 <sup>a</sup>	16.90 <sup>c</sup>	5.54 <sup>a</sup>	21.55 <sup>b</sup>	10.22 <sup>b</sup>	20.71 <sup>bc</sup>	8.28 <sup>a</sup>	22.30 <sup>abc</sup>	10.97 <sup>b</sup>	19.82 <sup>b</sup>	11.98 <sup>a</sup>	26.75 <sup>bc</sup>
CR	3.30 <sup>b</sup>	18.03 <sup>b</sup>	6.54 <sup>d</sup>	20.85 <sup>bc</sup>	3.58 <sup>c</sup>	15.39 <sup>d</sup>	5.57 <sup>b</sup>	23.00 <sup>ab</sup>	8.68 <sup>c</sup>	17.53 <sup>c</sup>	10.72 <sup>ab</sup>	23.90 <sup>e</sup>
HR	4.39 <sup>a</sup>	19.26 <sup>a</sup>	7.54 <sup>ab</sup>	24.18 <sup>a</sup>	10.37 <sup>b</sup>	22.17 <sup>bc</sup>	5.85 <sup>b</sup>	23.33 <sup>ab</sup>	9.01 <sup>c</sup>	17.86 <sup>c</sup>	10.89 <sup>ab</sup>	28.23 <sup>a</sup>
AR	4.32 <sup>a</sup>	19.19 <sup>a</sup>	8.54 <sup>abc</sup>	24.03 <sup>a</sup>	13.20 <sup>a</sup>	25.00 <sup>a</sup>	5.75 <sup>b</sup>	23.21 <sup>ab</sup>	9.21 <sup>c</sup>	18.06 <sup>c</sup>	9.80 <sup>b</sup>	27.13 <sup>abc</sup>
SR	4.47 <sup>a</sup>	19.36 <sup>a</sup>	9.54 <sup>bc</sup>	23.84 <sup>a</sup>	10.85 <sup>ab</sup>	22.65 <sup>ab</sup>	6.68 <sup>ab</sup>	24.30 <sup>a</sup>	8.80 <sup>c</sup>	17.65 <sup>c</sup>	10.58 <sup>ab</sup>	27.92 <sup>ab</sup>

### 3 讨论与结论

合理施肥及减氮, 提高作物养分利用率和肥料效率对粮食生产安全和环境保护意义重大, 而在肥料中氮素对作物产量影响最直接和明显<sup>[19-21]</sup>。

产量是评价施肥是否合理的重要依据之一, 前人研究结果证实增效复合肥较普通肥料能明显提高小麦、玉米产量<sup>[22-27]</sup>, 本试验进一步深入探究了 3 种增效复合肥减氮 20% 对小麦-玉米轮作体系产量、产量构成、养分利用率和肥料效率的影响。结果表明: 不减氮处理小麦和玉米 3 年的平均产量分别为 AF>SF>HF>CF、SF>HF>AF>CF; 减氮处理小麦和玉米 3 年的平均产量 AR>SR>HR>CR、HR>SR>AR>CR; 周年平均产量 SF>AF>HF>AR>SR>HR>CF>CR。等养分条件下, 增效复合肥增产明显, 较 CR 处理周年产量增加 10.40%, 其中小麦季 AF 增产效果最为明显, 增效复合肥处理较 CF 处理小麦平均增产 22.70%, AR 处理小麦 2018 年最高产量达 9 000.90 kg·hm<sup>-2</sup>, 表现为减氮增产, 与武金果<sup>[28]</sup>研究结果相一致; 夏玉米季增效复合肥表现出同样的等养分增产稳产特征, 其中海藻酸增效复合肥表现最明显, SF 处理较 CF 处理增产 4.90%, SR 处理较 CR 增产 5.90%, 与袁亮等<sup>[10]</sup>、李志坚等<sup>[29]</sup>研究结果相同。

增效复合肥减氮较不减氮施肥减产明显, 本研究中增效肥减氮处理较不减氮处理小麦玉米周年产量降幅达 6.37%; 与常规复合肥不减氮处理(CF)比较, 增效复合肥小麦季和玉米季表现出不同效应, 小麦季增效肥减氮增产, 平均增产达 14.97%, 而玉

米季则表现为减氮减产, 减幅达 3.98%, 周年产量则表现为小幅增产 3.50%。本研究中, 玉米季腐殖酸减氮 20% 较常规施氮复合肥处理(CF)产量下降 5.20%, 与李欢等<sup>[30]</sup>腐殖酸液肥减氮 20% 与常规施氮玉米产量无显著差异的研究结果不一致, 可能与腐殖酸液肥和颗粒肥在养分吸收和转化过程上不同有关。有关增效复合肥种类在不同作物上的效应差异机制需要进一步深入研究。

另外, 连续 3 年的麦玉轮作试验结果显示作物产量趋势表现一致, 和常规复合肥比较, 增效复合肥减氮试验的持续进行未表现出明显的作物减产趋势。由此可见, 在砂姜黑土麦-玉轮作体系采取增效复合肥减氮施用模式, 可以保障作物持续丰产。有关减氮模式下的土壤—作物体系的养分平衡和土壤肥力的演变规律有待长期定位试验监测。

产量由产量构成因子共同决定, 增效复合肥通过影响产量构成因子提高产量, 施用增效复合肥的处理小麦穗粒数较 CF 处理平均增加 19.30%, 施用增效复合肥的处理玉米穗粒数较 CF 处理平均增加 5.80%, 增效复合肥减氮处理较不减氮处理小麦、玉米穗粒数分别下降 3.40% 和 2.60%, 其中 SF 处理影响小麦穗粒数效果最为突出, 较 CF 增产达 22.10%。SR 处理较 CF 处理增产 12.80%。李金鑫等<sup>[31]</sup>研究发现海藻酸主要通过增加小麦穗数和粒重实现增产。

养分效率是影响小麦、玉米产量构成因子的主要因素, 小麦季增效复合肥不减氮的处理氮、磷和钾肥利用率较 CF 处理平均提高了 10.32%, 增效复

合肥减氮处理氮、磷和钾肥吸收利用率与 CR 处理相比平均提高了 7.94%，HF、AF 和 SF 处理小麦季肥料的农学效率、偏生产力较 CF 处理分别提高了 3.19、3.17 kg·kg<sup>-1</sup>，减氮 20%后，施用 3 种增效复合肥的处理肥料农学效率、偏生产力较 CR 处理均明显提高。与李欢等<sup>[30]</sup>、李金鑫等<sup>[31]</sup>的研究结果一致；玉米季增效复合肥不减氮的处理氮、磷和钾肥吸收利用率较 CF 处理平均提高了 7.35%，HF、AF 和 SF 处理玉米季肥料的农学效率、偏生产力较 CF 处理分别提高了 0.97 和 0.66 kg·kg<sup>-1</sup>，与周勇明<sup>[32]</sup>、计小江等<sup>[33]</sup>研究结果相一致，减氮 20%后，施用 3 种增效复合肥的处理较 CR 处理氮、磷和钾肥吸收利用率分别提高了 4.87%、4.71%和 9.03%与李欢等<sup>[30]</sup>、李金鑫等<sup>[31]</sup>研究结果基本吻合。连续 3 年的增效复合肥减氮施用田间试验表明，腐殖酸、氨基酸和海藻酸增效复合肥均能明显提高小麦、玉米的穗粒数、养分利用率和肥料效率，从而提高作物产量。等养分投入时，增效复合肥均明显增产；减氮施肥时，常规复合肥小麦、玉米和周年产量均明显下降，而增效复合肥减氮较普通复合肥表现为小麦明显增产，玉米小幅减产，周年产量小幅增产趋势；减氮条件下，氮磷钾肥利用率提升明显；增效复合肥减氮施用较增效复合肥不减氮处理表现为明显减产。综合考虑产量和养分效率，增效复合肥减氮施用是经济可行的减氮增效技术路径。

## 参考文献:

- [1] 冯尚善, 崔荣政, 王臣. 我国新型肥料产业发展现状及展望[J]. 磷肥与复肥, 2020, 35(10): 1-3.
- [2] 农业部. 我国主要农作物肥料利用率达 33%[J]. 云南农业, 2013(12): 75.
- [3] 王科, 李浩, 张成, 等. 化肥过量施用的危害及防治措施[J]. 四川农业科技, 2017(9): 33-35.
- [4] 杨佳利. 环境约束下绿色农业发展的意义和提升路径[J]. 中国市场, 2021(9): 68-69.
- [5] 谢荔, 成学慧, 冯新新, 等. 氨基酸肥料对‘夏黑’葡萄叶片光合特性与果实品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(2): 31-37.
- [6] 曾宪成, 李双. 让腐植酸在补充和提升土壤肥力中发挥重要作用: 开展“土壤腐植酸肥力综合指数”研究刻不容缓[J]. 腐植酸, 2014(2): 1-8.
- [7] 李军, 袁亮, 赵秉强, 等. 腐植酸尿素对玉米生长及肥料氮利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 524-530.
- [8] 谭习羽, 程雄, 黄淑芬, 等. 海藻肥在水稻上最新应用进展[J]. 农学报, 2018, 8(10): 23-27.
- [9] 姚单君, 张爱华, 杨爽, 等. 新型氮肥对水稻产量养分积累及吸收利用的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(10): 2121-2126.
- [10] 袁亮, 赵秉强, 林治安, 等. 增值尿素对小麦产量、氮肥利用率及肥料氮在土壤剖面中分布的影响[J]. 植物

营养与肥料学报, 2014, 20(3): 620-628.

- [11] 张水勤, 袁亮, 李伟, 等. 腐植酸尿素对玉米产量及肥料氮去向的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(5): 1207-1214.
- [12] 武新娟, 金光辉, 唐贵, 等. 不同施肥类型对马铃薯生长发育及产量效益的影响[J]. 中国马铃薯, 2020, 34(3): 158-163.
- [13] 蒋东, 章力干, 齐永波, 等. 增效复合肥减氮施用对稻田水氮素流失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(6): 1342-1350.
- [14] 韩哲, 陈宝成, 曹兵, 等. 几种新型肥料对水稻增产增效的试验研究[J]. 肥料与健康, 2020, 47(4): 14-20.
- [15] 杨新泉, 冯锋, 宋长青, 等. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 373-376.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 李刘霞. 氮磷钾配施对砂姜黑土冬小麦干物质生产、养分吸收利用及土壤酶活性的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [18] 王永华, 黄源, 辛明华, 等. 周年氮磷钾配施模式对砂姜黑土麦玉轮作体系籽粒产量和养分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(6): 1031-1046.
- [19] 咎亚玲, 王朝辉, 周玲, 等. 不同养分投入的各品种小麦产量及养分效率差异研究[J]. 农业机械学报, 2012, 43(9): 91-98.
- [20] 薛泽民, 要娟娟, 赵萍萍, 等. 氮肥分配对冬小麦/夏玉米轮作产量和氮肥效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(1): 59-63, 102.
- [21] 孙婷, 张建芳, 比拉力·艾力, 等. 氮素运筹对滴灌春小麦氮素吸收、利用及产量的影响[J]. 塔里木大学学报, 2019, 31(4): 29-40.
- [22] 狄雅莉. 化肥配施氨基酸肥料在冬小麦-夏玉米轮作系统中的减氮增效研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [23] 闫军营, 孙笑梅, 程传凯, 等. 腐殖酸与氮肥配施对豫北潮土冬小麦光合特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(21): 104-110.
- [24] 张鑫, 牛世伟, 叶鑫, 等. 不同施肥处理对辽北春玉米土壤理化性质及产量的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(9): 2013-2017.
- [25] 高岩, 韩西红, 王海朋, 等. 海藻酸复混肥料对玉米产量及品质的影响[J]. 南方农业, 2020, 14(2): 147-149.
- [26] 王莉莉, 张兆冬, 王永露, 等. 氮肥与肥料增效剂配施对小麦产量、肥料利用率及经济效益的影响[J]. 现代农业科技, 2020(12): 8-9.
- [27] 李焯. 氮肥类型及其减量对小麦—玉米产量和土壤养分的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [28] 武金果. 小麦施用增效复合肥增产效果研究初报[J]. 河南农业, 2014(3): 20-21.
- [29] 李志坚, 林治安, 赵秉强, 等. 增效磷肥对冬小麦产量和磷素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(6): 1329-1336.
- [30] 李欢, 杨清夏, 李扬, 等. 减氮及增施腐殖酸对玉米产量和氮肥利用率的影响[J]. 生态学杂志, 2021, 40(5): 1331-1339.
- [31] 李金鑫, 李絮花, 刘敏, 等. 海藻酸增效复混肥料在冬小麦上的施用效果[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1): 153-159.
- [32] 周勇明, 商照聪, 宝德俊, 等. 海藻酸尿素对夏玉米产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014(3): 23-26.
- [33] 计小江, 陈义, 唐旭, 等. 复混肥对水稻产量、氮素吸收和土壤肥力的影响[J]. 浙江农业科学, 2014, 55(7): 991-994.