

陈琛, 刘家俊, 邓垚, 等. 氮肥运筹对强筋小麦镇麦 18 产量及干物质生产的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(2): 368-376.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.02.009

## 氮肥运筹对强筋小麦镇麦 18 产量及干物质生产的影响

陈琛, 刘家俊, 邓垚, 郭瑞, 姚维成, 申雪懿, 温明星, 龚红兵, 姚克兵, 李东升  
(江苏丘陵地区镇江农业科学研究所, 江苏 镇江 212400)

**摘要:** 为了探索适宜淮南地区强筋小麦干物质生产的氮肥运筹, 本研究以红皮强筋小麦镇麦 18 为试验材料开展二因素裂区试验。主因素为施氮量, 设置低氮  $N_1$  (210 kg/hm<sup>2</sup>)、中氮  $N_2$  (240 kg/hm<sup>2</sup>)、高氮  $N_3$  (270 kg/hm<sup>2</sup>) 3 个水平。副因素为施氮比例, 设置  $R_1$  (基肥: 分蘖肥: 拔节肥: 穗肥=5:1:2:2)、 $R_2$  (基肥: 分蘖肥: 拔节肥: 穗肥=3:1:3:3) 2 个水平, 分析不同施氮量和施氮比例组合对镇麦 18 产量及其构成因素、单茎和群体干物质生产量、各器官干物质生产量及经济系数的影响。结果表明: 相同施氮量下, 中施氮水平时,  $R_1$  施氮比例可显著提高成熟期生物产量, 中低施氮水平时,  $R_1$  施氮比例可显著提高经济产量;  $R_1$  施氮比例下, 成熟期生物产量及经济产量随施氮量的增加先增加后降低, 以中施氮水平时最高。总体上,  $N_2R_1$  组合经济产量较其他组合高 8.75%~76.62%, 是最适宜江苏淮南麦区红皮强筋小麦的氮肥运筹。

**关键词:** 小麦; 施氮量; 施氮比例; 产量; 干物质生产

**中图分类号:** S512.1<sup>+</sup>2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)02-0368-09

## Effects of nitrogen fertilizer management on yield and dry matter production of the strong gluten wheat Zhenmai 18

CHEN Chen, LIU Jia-jun, DENG Yao, GUO Rui, YAO Wei-cheng, SHEN Xue-yi, WEN Ming-xing, GONG Hong-bing, YAO Ke-bing, LI Dong-sheng

(Zhenjiang Institute of Agricultural Sciences in Hilly Area of Jiangsu Province, Zhenjiang 212400, China)

**Abstract:** In order to explore the nitrogen fertilizer application suitable for dry matter production of strong-gluten wheat in the southern region of Huaihe River in Jiangsu, this study conducted a two-factor split plot experiment using Zhenmai 18, a strong gluten wheat with red skin, as the experimental material. The main factor was nitrogen application rate, and three levels were set: low nitrogen  $N_1$  (210 kg/hm<sup>2</sup>), medium nitrogen  $N_2$  (240 kg/hm<sup>2</sup>), and high nitrogen  $N_3$  (270 kg/hm<sup>2</sup>). The secondary factor was the ratio of nitrogen application, and two levels of  $R_1$  (basal fertilizer: tillering fertilizer: jointing fertilizer: panicle fertilizer=5:1:2:2) and  $R_2$  (basal fertilizer: tillering fertilizer: jointing fertilizer: panicle fertilizer=3:1:3:3) were set. The effects of different nitrogen application rates and nitrogen application ratio combinations on yield and its components, dry matter production per stem and population, dry matter production of various organs and economic coefficient of Zhenmai 18 were analyzed. Under the same nitrogen application rate,  $R_1$  could significantly increase the biological yield at the mature stage at the medium nitrogen application level, and  $R_1$  could significantly increase the economic yield at the low and medium nitrogen application levels. When the ratio of nitrogen application was  $R_1$ , the biological yield and economic yield at maturity increased first and then decreased with the increase of nitrogen application rate, and the highest was at medium nitrogen application level. In gener-

收稿日期: 2022-11-21

基金项目: 江苏省农业自主创新基金项目 [CX(21)1001]; 镇江市重点研发计划——现代农业项目 (NY2021005); 江苏省作物遗传生理重点实验室开放课题 (YCSL202001)

作者简介: 陈琛 (1990-), 男, 江苏丹阳人, 博士, 助理研究员, 主要从事小麦育种与栽培生理研究。(E-mail) 852235436@qq.com

通讯作者: 李东升, (E-mail) 363877339@qq.com

ally increase the biological yield at the mature stage at the medium nitrogen application level, and  $R_1$  could significantly increase the economic yield at the low and medium nitrogen application levels. When the ratio of nitrogen application was  $R_1$ , the biological yield and economic yield at maturity increased first and then decreased with the increase of nitrogen application rate, and the highest was at medium nitrogen application level. In gener-

al, the economic yield under  $N_2R_1$  treatment was 8.75%–76.62% higher than that under other treatments, and  $N_2R_1$  was the most suitable nitrogen application method for red-skin strong-gluten wheat in Huainan wheat area of Jiangsu province.

**Key words:** wheat; nitrogen application rate; ratio of nitrogen application; yield; dry matter production

小麦是中国的主要粮食作物之一,近40%的人以面粉为主食,能否实现小麦的高产和稳产直接关系到中国的粮食安全<sup>[1-2]</sup>。红皮强筋小麦是中国南方地区重要的优质小麦资源,以淮南地区首个红皮强筋小麦镇麦168为代表,镇麦系列小麦种植面积目前已接近淮南地区小麦总种植面积的1/3,提高强筋小麦产量对提升淮南地区小麦总产量与麦农收益均有重要现实意义。生产上大多采用增施氮肥促高产,但氮肥施用量和施用比例不合理、不平衡的现象严重制约着小麦产量的进一步提高,施氮技术已成为栽培学研究的重点。氮素是小麦生长所需的重要营养元素之一,施氮总量以及基肥追肥施用比例都对小麦产量的形成具有关键作用<sup>[3-6]</sup>。合理的氮肥运筹,可以提高小麦叶片的叶绿素含量,改善叶片光合性能,促进营养物质的转运,加快干物质的积累,推动产量的增加和品质的提升<sup>[7-9]</sup>。研究表明,在一定范围内,小麦产量会随着施氮量的增加而提高,但施氮量超过临界值后便会下降,因此适量施氮更有利于促进小麦的生长发育,收获高产<sup>[10-13]</sup>。小麦生长过程中,多次施用氮肥的效果要比单次施用的效果好,其中在拔节、孕穗期等关键时期增加追肥能更好地满足小麦生长的养分需求,显著提高产量<sup>[14-19]</sup>。崔秀珍等<sup>[20]</sup>认为基追比为5:5时能获得最佳穗数、穗粒数和产量,魏建伟等<sup>[21]</sup>则认为小麦的氮肥最适基追比为3:7,也有学者认为基追比4:6能够获得最大的光合效益进而促进产量增加<sup>[22]</sup>。目前,关于小麦的氮肥施用量和基肥追肥施用比例已经有许多报道,但结论不一,且针对淮南红皮强筋小麦氮肥运筹方式的报道较少。本研究以优质红皮强筋小麦品种镇麦18为试验材料,通过设置不同施氮量和基肥追肥比例组合,分析不同处理间产量、干物质积累量以及经济系数的差异,探索不同氮肥运筹对小麦产量形成的影响,以期为淮南区红皮强筋小麦高产栽培技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

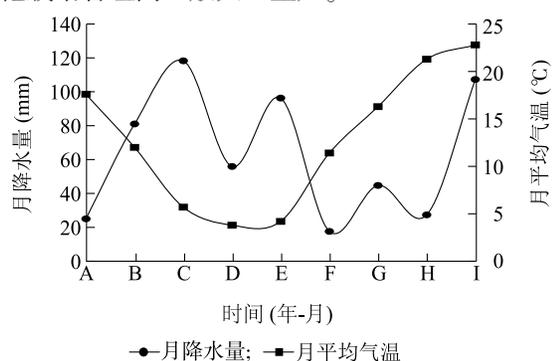
### 1.1 供试地点与材料

本研究于2018–2019年在镇江市农业科技创

新中心试验基地(31°57′57.95″N, 119°18′5.83″E)进行,小麦全生育期月均温与月降水量见图1。试验前茬作物为水稻,土壤类型为板浆白土,0~20 cm耕层土壤(风干样)有机质16.4 g/kg,土壤全氮1.13 g/kg,碱解氮81.3 mg/kg,速效磷33.2 mg/kg,速效钾70.4 mg/kg。试验品种为优质红皮强筋常规小麦品种镇麦18。

### 1.2 试验设计

试验采用二因素裂区设计,主因素为施氮量,设 $N_1$ (210 kg/hm<sup>2</sup>纯氮)、 $N_2$ (240 kg/hm<sup>2</sup>纯氮)和 $N_3$ (270 kg/hm<sup>2</sup>纯氮)3个处理;副因素为氮肥基施追施比例,设 $R_1$ (基肥:分蘖肥:拔节肥:穗肥=5:1:2:2)和 $R_2$ (基肥:分蘖肥:拔节肥:穗肥=3:1:3:3)2个处理,每组合重复3次,共18个小区。于2018年11月5日播种镇麦18,按照基本苗1 hm<sup>2</sup> 2.25×10<sup>6</sup>株进行人工条播,行距为26.7 cm,每小区面积为13.34 m<sup>2</sup>。磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)5 kg、钾肥(K<sub>2</sub>O)3 kg基施。其他栽培管理同一般大田生产。



A: 2018-10; B: 2018-11; C: 2018-12; D: 2019-01; E: 2019-02; F: 2019-03; G: 2019-04; H: 2019-05; I: 2019-06。

图1 2018–2019年试验地小麦全生育期月均温与月降水量  
Fig.1 Average monthly temperature and monthly precipitation during the whole growth period of wheat in the experiment site from 2018 to 2019

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 生育期的记载 在小麦生长发育过程中分别记载各组合小区小麦的扬花和成熟日期。

1.3.2 基本苗和有效穗数的测定 出苗后对每组合小区进行间苗、定苗,统计小区基本苗。成熟期调

查有效穗数。

1.3.3 干物质质量的测定 在普查穗数(茎蘖数)的基础上,拔节期、扬花期和成熟期每个重复取代表性植株30株,拔节期测定整株干物质质量,扬花期和成熟期分别测定茎鞘(茎秆和叶鞘)、叶、穗干质量。测定方法为105℃杀青30min,80℃烘至恒质量(72h左右)后称质量。

1.3.4 产量及产量构成调查 收获前调查有效穗数,成熟期每小区连续取样30株,测定每穗粒数、结实小穗数、千粒质量,并计算产量。

#### 1.4 数据处理和统计分析

扬花后生物产量比例表示从扬花期至成熟期的生物产量占全生育期生物产量的比例;经济系数表示单位面积籽粒产量与单位面积生物产量的比值。用Excel进行数据处理和图、表绘制,用SPSS 19.0统计软件进行统计分析,采用Duncan's法进行多重比较。

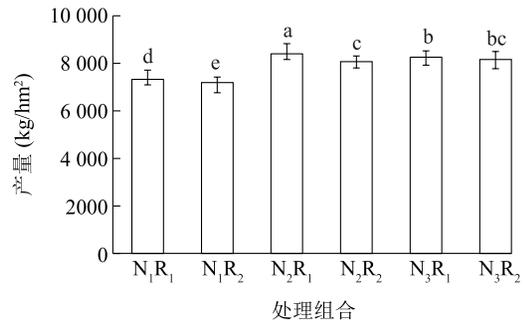
## 2 结果与分析

### 2.1 氮肥运筹对产量的影响

由图2可知,随着施氮量的增加, $R_1$ 施氮比例下产量呈先上升后下降趋势, $N_1R_1$ 组合产量较 $N_2R_1$ 、 $N_3R_1$ 组合分别降低12.78%、11.24%; $R_2$ 施氮比例下产量呈上升趋势, $N_1R_2$ 组合产量较 $N_2R_2$ 和 $N_3R_2$ 组合分别降低10.95%、11.92%。施氮量相同时, $N_1R_1$ 组合较 $N_1R_2$ 组合产量提高1.92%, $N_2R_1$ 组合较 $N_2R_2$ 组合产量提高4.06%, $N_3R_1$ 组合较 $N_3R_2$ 组合产量提高1.14%,以 $N_2R_1$ 组合产量最高, $N_1R_2$ 组合产量最低。方差分析结果表明,不同施氮量间( $F_N = 557.33^{**}$ )、不同施氮比例间( $F_R = 131.82^{***}$ )和不同施氮量×施氮比例间( $F_{N \times R} = 511.89^{**}$ )产量均差异极显著。且相同施氮量下,中低施氮水平时, $R_1$ 施氮比例的产量高于 $R_2$ 施氮比例的产量。

### 2.2 氮肥运筹对产量构成因素的影响

由表1可知,随着施氮量的增加, $R_1$ 和 $R_2$ 施氮比例下的有效穗数均呈上升趋势。 $R_1$ 施氮比例下, $N_1R_1$ 组合有效穗数较 $N_2R_1$ 和 $N_3R_1$ 组合分别降低5.44%、5.73%; $R_2$ 施氮比例下, $N_1R_2$ 组合有效穗数较 $N_2R_2$ 和 $N_3R_2$ 组合分别降低4.17%、8.41%。施氮量相同时, $N_1R_1$ 组合有效穗数较 $N_1R_2$ 组合高6.67%, $N_2R_1$ 组合较 $N_2R_2$ 组合高8.10%, $N_3R_1$ 组合较 $N_3R_2$ 组合高3.64%。可见,增加施氮总量、增



$N_1$ :210 kg/hm<sup>2</sup>纯氮; $N_2$ :240 kg/hm<sup>2</sup>纯氮; $N_3$ :270 kg/hm<sup>2</sup>纯氮;  
 $R_1$ :基肥:分蘖肥:拔节肥:穗肥=5:1:2:2; $R_2$ :基肥:分  
蘖肥:拔节肥:穗肥=3:1:3:3。图柱上不同小写字母表示  
差异显著( $P < 0.05$ )。

图2 不同氮肥运筹的镇麦18产量

Fig.2 Yields of Zhenmai 18 under different nitrogen fertilizer managements

加氮肥基施用量有助于有效穗的提高。方差分析结果表明,各组合间有效穗数差异均未达显著水平。

表1 不同氮肥运筹对镇麦18产量构成因素的影响

Table 1 Effects of nitrogen fertilizer management on yield components of Zhenmai 18

施氮量	施氮比例	有效穗数 ( $\times 10^4, 1 \text{ hm}^2$ )	每穗粒数	千粒质量 (g)
$N_1$	$R_1$	503.55±25.33a	33.69±0.42a	44.31±1.38a
	$R_2$	472.05±24.15a	34.48±0.44a	44.94±1.30a
$N_2$	$R_1$	532.50±20.25a	36.30±0.34a	45.68±1.15a
	$R_2$	492.60±18.45a	36.74±0.85a	46.52±1.00a
$N_3$	$R_1$	534.15±11.70a	35.89±0.27a	45.26±0.62a
	$R_2$	515.4±25.50a	36.39±0.91a	45.57±1.72a

$N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 见图2注。同一列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

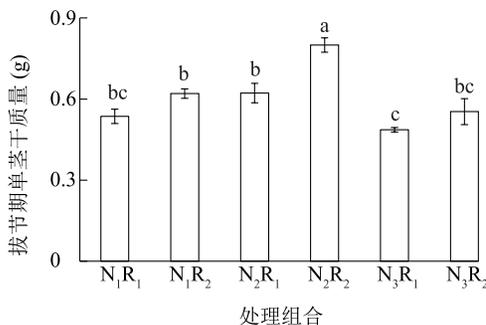
随着施氮量的增加, $R_1$ 和 $R_2$ 施氮比例下的每穗粒数均呈先上升后下降趋势, $R_1$ 施氮比例下, $N_1R_1$ 组合每穗粒数较 $N_2R_1$ 和 $N_3R_1$ 组合分别降低7.19%、6.13%; $R_2$ 施氮比例下, $N_1R_2$ 组合每穗粒数较 $N_2R_2$ 和 $N_3R_2$ 组合分别降低6.15%、5.25%。施氮量相同时, $N_1R_1$ 组合每穗粒数较 $N_1R_2$ 组合降低2.29%, $N_2R_1$ 组合较 $N_2R_2$ 组合降低1.20%, $N_3R_1$ 组合较 $N_3R_2$ 组合降低1.37%。可见,适当增加施氮总量有助于每穗粒数的提高,而提高氮肥基施用量则会导致每穗粒数下降。方差分析结果表明,各组合间每穗粒数差异均未达显著水平。

随着施氮量的增加, $R_1$ 和 $R_2$ 施氮比例下的千粒质量均分别呈先上升后下降趋势, $R_1$ 施氮比例下,

$R_1N_1$  组合千粒质量较  $R_1N_2$  和  $R_1N_3$  组合分别降低 3.00%、2.10%;  $R_2$  施氮比例下,  $N_1R_2$  组合个粒质量较  $N_2R_2$  和  $N_3R_2$  组合分别降低 3.40%、1.38%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合千粒质量较  $N_1R_2$  组合降低 1.40%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$  组合降低 1.81%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合降低 0.68%。可见,适当增加施氮总量有助于千粒质量的提高,而提高氮肥基施用量会导致千粒质量下降。方差分析结果表明,各组合间千粒质量差异均未达显著水平。

### 2.3 氮肥运筹对不同时期单茎干物质积累量的影响

**2.3.1 拔节期单茎干物质积累量的差异** 不同处理组合下拔节期单茎干物质积累量的差异如图 3 所示。随着施氮量的增加,  $R_1$ 、 $R_2$  施氮比例下拔节期单茎干物质积累量均呈先上升后下降的趋势。  $R_1$  施氮比例下,  $N_1R_1$  组合单茎干物质积累量较  $N_2R_1$  组合降低 13.85%, 较  $N_3R_1$  组合提高 10.20%;  $R_2$  施氮比例下,  $N_1R_2$  组合单茎干物质积累量较  $N_2R_2$  组合降低 22.48%, 较  $N_3R_2$  组合提高 12.05%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合单茎干物质积累量较  $N_1R_2$  组合降低 13.56%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$  组合降低 22.21%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合降低 12.11%。以  $N_2R_2$  组合单茎干物质积累量最高,  $N_3R_1$  组合单茎干物质积累量最低。相同施氮量时, 表现为  $R_2$  施氮比例下单茎干物质积累量均高于  $R_1$  施氮比例下单茎干物质积累量。表明  $N_2R_2$  组合有利于促进单茎干物质的积累。方差分析结果表明, 各组合间单茎干物质积累量差异均未达显著水平。



$N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  见图 2 注。图柱上不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 3 不同氮肥运筹下镇麦 18 拔节期单茎干物质积累量的差异  
Fig.3 Differences in dry matter accumulation single stem of Zhenmai 18 at jointing stage under different nitrogen fertilizer managements

**2.3.2 成熟期单茎各器官干物质积累量的差异** 由表 2 可知,随着施氮量的增加,  $R_1$  施氮比例下的成熟期单茎茎鞘质量呈先上升后下降的趋势。  $R_1$  施氮比例下,  $N_1R_1$  组合单茎茎鞘质量较  $N_2R_1$  组合降低 10.13%, 较  $N_3R_1$  组合提高 3.65%;  $R_2$  施氮比例下,  $N_1R_2$  组合单茎茎鞘质量较  $N_2R_2$  组合降低 11.66%, 较  $N_3R_2$  组合降低 20.88%。相同施氮量条件下,  $N_1R_1$  组合单茎茎鞘质量较  $N_1R_2$  组合降低 1.39%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$  组合降低 3.07%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合降低 24.73%。  $N_3R_2$  组合单茎茎鞘质量最高,  $N_3R_1$  组合单茎茎鞘质量最低。方差分析结果表明, 各组合间成熟期单茎茎鞘质量差异均未达显著水平。

表 2 不同氮肥运筹对镇麦 18 成熟期单茎各器官干物质积累量的影响

Table 2 Effects of different nitrogen fertilizer managements on dry matter accumulation of each organ on single stem at maturing stage

施氮量	施氮比例	成熟期单茎茎鞘质量 (g)	成熟期单茎叶质量 (g)	成熟期单茎穗质量 (g)
$N_1$	$R_1$	1.42±0.05a	0.36±0.02a	1.54±0.09a
	$R_2$	1.44±0.05a	0.34±0.02a	1.50±0.10a
$N_2$	$R_1$	1.58±0.04a	0.50±0.03a	1.81±0.17a
	$R_2$	1.63±0.05a	0.42±0.02a	1.72±0.12a
$N_3$	$R_1$	1.37±0.02a	0.33±0.01a	1.77±0.03a
	$R_2$	1.82±0.03a	0.40±0.03a	1.75±0.02a

$N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  见图 2 注。同一列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

随着施氮量的增加,  $R_1$  和  $R_2$  施氮比例下的成熟期单茎叶质量均呈先上升后下降的趋势。  $R_1$  施氮比例下,  $N_1R_1$  组合单茎叶质量较  $N_2R_1$  组合降低 28.00%, 较  $N_3R_1$  组合提高 9.09%;  $R_2$  施氮比例下,  $N_1R_2$  组合单茎叶质量较  $N_2R_2$  组合降低 19.05%, 较  $N_3R_2$  组合降低 15.00%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合单茎叶质量较  $N_1R_2$  组合提高 5.88%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$  组合提高 19.05%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合降低 17.50%。  $N_2R_1$  组合单茎叶质量最高,  $N_3R_1$  组合最低。方差分析结果表明, 各组合间成熟期单茎叶质量差异均未达显著水平。

随着施氮量的增加,  $R_1$  施氮比例下的成熟期单茎穗质量呈先上升后下降的趋势。  $R_1$  施氮比例下,  $N_1R_1$  组合单茎穗质量较  $N_2R_1$  降低 14.92%, 较  $N_3R_1$  组合降低 12.99%。  $R_2$  施氮比例下, 成熟期单

茎穗质量随着施氮量的增加呈上升趋势,  $N_1R_2$  组合单茎穗质量较  $N_2R_2$  组合降低 12.79%, 较  $N_3R_2$  组合降低 14.29%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合单茎穗质量较  $N_1R_2$  组合高 2.67%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$  组合提高 5.23%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合提高 1.14%。 $N_2R_1$  组合单茎穗质量最高,  $N_1R_2$  组合最低。方差分析结果表明, 各组合间成熟期单茎穗质量差异均未达显著水平。

## 2.4 氮肥运筹对群体各器官干物质积累量的影响

### 2.4.1 扬花期群体各器官干物质积累量的差异

由表 3 可知, 随着施氮量的增加,  $R_1$  和  $R_2$  施氮比例下的扬花期茎鞘干物质积累量均呈先上升后下降趋势。 $R_1$  施氮比例下,  $N_1R_1$  组合茎鞘干物质积累量较  $N_2R_1$  组合显著降低 1.86%, 较  $N_3R_1$  组合提高 3.22%。 $R_2$  施氮比例下,  $N_1R_2$  组合茎鞘干物质积累量较  $N_2R_2$  组合显著降低 6.07%, 较  $N_3R_2$  组合降低 2.46%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合茎鞘干物质积累量较  $N_1R_2$  组合显著降低 4.30%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$  组合显著降低 8.40%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合显著降低 9.56%。 $N_2R_2$  组合茎鞘干物质积累最高, 方差分析结果表明, 显著高于其他组合。

随着施氮量的增加,  $R_1$  施氮比例下的扬花期叶干物质积累量均呈先下降后上升趋势。 $R_1$  施氮比例下,  $N_1R_1$  组合叶干物质积累量较  $N_2R_1$  组合提高 4.20%, 较  $N_3R_1$  组合降低 0.19%。 $R_2$  施氮比例下, 扬花期叶干物质积累量随施氮量的增加呈先上升后下降趋势,  $N_1R_2$  组合叶干物质积累量较  $N_2R_2$  组合显著降低 18.15%, 较  $N_3R_2$  组合显著降低 13.44%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合叶干物质积累量较  $N_1R_2$  组合提高 5.63%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$  组合显著降低 17.03%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合显著降低 8.40%。 $N_2R_2$  组合叶干物质积累量最高, 方差分析结果表明, 显著高于其他组合。

随着施氮量的增加,  $R_1$  和  $R_2$  施氮比例下的扬花期穗干物质积累量均呈先上升后下降趋势。 $R_1$  施氮比例下,  $N_1R_1$  组合穗干物质积累量较  $N_2R_1$  组合显著降低 14.93%, 较  $N_3R_1$  组合降低 9.35%。 $R_2$  施氮比例下, 扬花期穗干物质积累量随施氮量的增加呈先上升后下降趋势,  $N_1R_2$  组合穗干物质积累量较  $N_2R_2$  组合显著降低 15.06%, 较  $N_3R_2$  组合显著降低 13.74%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合穗干物质积累量较  $N_1R_2$  组合提高 0.90%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$

组合提高 0.75%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合降低 3.99%。 $N_2R_1$  组合穗干物质积累量最高,  $N_1R_2$  组合最低。方差分析结果表明, 不同施氮量间、不同施氮量×施氮比例间扬花期穗干物质积累量差异均达显著水平, 而不同施氮比例间差异不显著。

表 3 不同氮肥运筹对镇麦 18 扬花期群体各器官干物质积累量的影响

Table 3 Effects of different nitrogen fertilizer managements on dry matter accumulation in different organs of Zhenmai 18 at blooming period

施氮量	施氮比例	扬花期 茎鞘干物质 积累量 (g/m <sup>2</sup> )	扬花期 叶干物质 积累量 (g/m <sup>2</sup> )	扬花期 穗干物质 积累量 (g/m <sup>2</sup> )
N <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	412.73±7.08cd	165.42±1.59c	81.68±1.80b
	R <sub>2</sub>	431.27±5.82b	156.61±2.03c	80.95±1.32b
N <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	420.57±8.19bc	158.76±1.35c	96.01±1.99a
	R <sub>2</sub>	459.14±8.09a	191.34±1.53a	95.30±2.03a
N <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	399.86±6.14c	165.74±1.78c	90.10±2.78ab
	R <sub>2</sub>	442.13±5.58ab	180.93±2.87b	93.84±1.57a

N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub> 见图 2 注。同一列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

### 2.4.2 成熟期群体各器官干物质积累量的差异

由表 4 可知, 随着施氮量的增加,  $R_1$  施氮比例下的成熟期茎鞘干物质积累量呈先上升后下降趋势。 $R_1$  施氮比例下,  $N_1R_1$  组合茎鞘干物质积累量较  $N_2R_1$  组合降低 10.27%, 较  $N_3R_1$  组合提高 3.54%。 $R_2$  施氮比例下, 成熟期茎鞘干物质积累量随着施氮量的增加呈上升趋势,  $N_1R_2$  组合茎鞘干物质积累量较  $N_2R_2$  组合显著降低 11.49%, 较  $N_3R_2$  组合显著降低 21.01%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合茎鞘干物质积累量较  $N_1R_2$  组合降低 1.61%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$  组合降低 2.94%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合显著降低 24.94%。 $N_3R_2$  组合茎鞘干物质积累量最高,  $N_3R_1$  组合最低。方差分析结果表明,  $N_3R_2$  组合茎鞘干物质积累量显著高于其他组合。

随着施氮量的增加,  $R_1$  和  $R_2$  施氮比例下的成熟期叶干物质积累量均呈先上升后下降趋势。 $R_1$  施氮比例下,  $N_1R_1$  组合叶干物质积累量较  $N_2R_1$  组合显著降低 27.94%, 较  $N_3R_1$  组合显著提高 10.44%。 $R_2$  施氮比例下,  $N_1R_2$  组合叶干物质积累量较  $N_2R_2$  组合显著降低 18.36%, 较  $N_3R_2$  组合降低 14.12%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合叶干物质积累量较  $N_1R_2$  组合提高 4.95%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$

组合显著提高 18.92%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合显著降低 18.39%。 $N_2R_1$  组合叶干物质积累量最高,  $N_3R_1$  组合最低。

表4 不同氮肥运筹对镇麦18成熟期群体各器官干物质积累量的影响

Table 4 Effects of different nitrogen fertilizer managements on dry matter accumulation in different organs of Zhenmai 18 at maturing stage

施氮量	施氮比例	成熟期 茎鞘干物质 积累量 (g/m <sup>2</sup> )	成熟期 叶干物质 积累量 (g/m <sup>2</sup> )	成熟期 穗干物质 积累量 (g/m <sup>2</sup> )
N <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	713.45±11.73cd	182.00±2.51c	773.88±10.29a
	R <sub>2</sub>	725.10±13.12c	173.41±2.58cd	752.89±11.75a
N <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	795.13±12.28bc	252.58±2.31a	909.00±16.15a
	R <sub>2</sub>	819.19±11.93b	212.40±3.72b	866.49±15.24a
N <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	689.03±11.42d	164.80±2.18d	893.14±13.78a
	R <sub>2</sub>	918.01±11.09a	201.93±3.01bc	879.78±15.29a

N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub> 见图2注。同一列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

由表4可知,随着施氮量的增加,R<sub>1</sub>施氮比例下的成熟期穗干物质积累量呈先上升后下降趋势。R<sub>1</sub>施氮比例下, $N_1R_1$ 组合穗干物质积累量较 $N_2R_1$ 组合降低14.86%,较 $N_3R_1$ 组合降低13.35%。R<sub>2</sub>

表5 不同氮肥运筹对镇麦18不同生育期生物产量的影响

Table 5 Effects of different nitrogen fertilizer managements on biological yield of Zhenmai 18 at different growth stages

施氮量	施氮比例	拔节期生物产量 (g/m <sup>2</sup> )	扬花期生物产量 (g/m <sup>2</sup> )	成熟期生物产量 (g/m <sup>2</sup> )	扬花后生物产量比例 (%)
N <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	57.88±1.25cd	659.82±6.54d	1 669.33±25.11e	38.85±0.83a
	R <sub>2</sub>	69.13±1.18b	668.84±8.78cd	1 651.40±19.20e	37.61±1.28a
N <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	63.88±1.77bc	675.34±4.12c	1 956.71±20.85ab	43.52±1.07a
	R <sub>2</sub>	76.11±1.31a	745.78±6.76a	1 898.08±27.44c	35.07±1.01a
N <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	57.89±1.01cd	655.70±8.34d	1 746.97±25.59d	43.32±1.00a
	R <sub>2</sub>	59.64±1.36c	716.90±5.57b	1 999.71±26.46a	36.09±0.86a

N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub> 见图2注。同一列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

随着施氮量的增加,R<sub>1</sub>和R<sub>2</sub>施氮比例下的扬花期生物产量均呈先上升后下降趋势。R<sub>1</sub>施氮比例下, $N_1R_1$ 组合扬花期生物产量较 $N_2R_1$ 组合显著降低2.30%,较 $N_3R_1$ 组合提高0.63%。R<sub>2</sub>施氮比例下, $N_1R_2$ 组合扬花期生物产量较 $N_2R_2$ 组合显著降低10.32%,较 $N_3R_2$ 组合显著降低6.70%。施氮量相同时, $N_1R_1$ 组合扬花期生物产量较 $N_1R_2$ 组合降低1.35%, $N_2R_1$ 组合较 $N_2R_2$ 组合显著降低9.45%, $N_3R_1$ 组合较 $N_3R_2$ 组合显著降低8.54%。

施氮比例下,成熟期穗干物质积累量随着施氮量的增加呈上升趋势, $N_1R_2$ 组合穗干物质积累量较 $N_2R_2$ 组合降低13.11%,较 $N_3R_2$ 组合降低14.42%。施氮量相同时, $N_1R_1$ 组合较 $N_1R_2$ 组合提高2.79%, $N_2R_1$ 组合较 $N_2R_2$ 组合提高4.91%, $N_3R_1$ 组合较 $N_3R_2$ 组合提高1.52%。 $N_2R_1$ 组合穗干物质积累量最高, $N_1R_2$ 组合最低。

## 2.5 氮肥运筹对群体干物质生产量 and 经济系数的影响

2.5.1 群体干物质生产量的差异 由表5可知,随着施氮量的增加,R<sub>1</sub>和R<sub>2</sub>施氮比例下拔节期生物产量均呈先上升后下降趋势。R<sub>1</sub>施氮比例下, $N_1R_1$ 组合拔节期生物产量较 $N_2R_1$ 组合降低9.39%,较 $N_3R_1$ 组合降低0.02%。R<sub>2</sub>施氮比例下, $N_1R_2$ 组合拔节期生物产量较 $N_2R_2$ 组合显著降低9.17%,较 $N_3R_2$ 组合显著提高15.91%。施氮量相同时, $N_1R_1$ 组合较 $N_1R_2$ 组合显著降低16.27%, $N_2R_1$ 组合较 $N_2R_2$ 组合显著降低16.07%, $N_3R_1$ 组合较 $N_3R_2$ 组合降低2.93%。 $N_2R_2$ 组合拔节期生物产量最高, $N_1R_1$ 组合最低。方差分析结果表明, $N_2R_2$ 组合拔节期生物产量显著高于其他组合。

$N_2R_2$ 组合扬花期生物产量最高, $N_3R_1$ 组合最低。方差分析结果表明, $N_2R_2$ 组合扬花期生物产量显著高于其他组合。

随着施氮量的增加,R<sub>1</sub>施氮比例下的成熟期生物产量呈先上升后下降趋势。R<sub>1</sub>施氮比例下, $N_1R_1$ 组合成熟期生物产量较 $N_2R_1$ 组合显著降低14.69%,较 $N_3R_1$ 组合显著降低4.44%。R<sub>2</sub>施氮比例下,成熟期生物产量随着施氮量的增加呈上升趋势。 $N_1R_2$ 组合成熟期生物产量较 $N_2R_2$ 组合显著降

低 13.00%, 较  $N_3R_2$  组合显著降低 17.42%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合成熟期生物产量较  $N_1R_2$  组合提高 1.09%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$  组合显著提高 3.09%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合显著降低 12.64%。 $N_3R_2$  组合成熟期生物产量最高,  $N_1R_2$  组合最低。

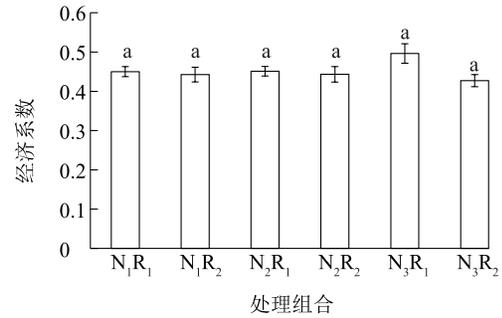
随着施氮量的增加,  $R_1$  施氮比例下的扬花后生物产量比例呈先上升后下降趋势。 $R_1$  施氮比例下,  $N_1R_1$  组合扬花后生物产量比例较  $N_2R_1$  组合降低 10.73%, 较  $N_3R_1$  组合降低 10.32%。 $R_2$  施氮比例下, 扬花后生物产量比例随着施氮量的增加呈先下降后上升趋势。 $N_1R_2$  组合扬花后生物产量比例较  $N_2R_2$  组合提高 7.24%, 较  $N_3R_2$  组合提高 4.21%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合扬花后生物产量比例较  $N_1R_2$  组合提高 3.30%,  $N_2R_1$  组合较  $N_2R_2$  组合提高 24.09%,  $N_3R_1$  组合较  $N_3R_2$  组合提高 20.03%。 $N_2R_1$  组合扬花后生物产量比例最高,  $N_2R_2$  组合最低。方差分析结果表明, 不同组合间差异均未达显著水平。

**2.5.2 经济系数的差异** 不同施氮量与不同施氮比例组合的经济系数如图 4 所示。随着施氮量的增加,  $R_1$  施氮比例下经济系数呈上升趋势,  $N_1R_1$  组合经济系数较  $N_2R_1$  组合降低 0.21%, 较  $N_3R_1$  组合降低 9.32%。随着施氮量的增加,  $R_2$  施氮比例下经济系数呈先上升后下降趋势,  $N_1R_2$  组合经济系数较  $N_2R_2$  组合降低 0.13%, 较  $N_3R_2$  组合提高 3.63%。施氮量相同时,  $N_1R_1$  组合经济系数较  $N_1R_2$  组合高 1.68%,  $N_2R_1$  组合经济系数较  $N_2R_2$  组合高 1.76%,  $N_3R_1$  组合经济系数较  $N_3R_2$  组合高 16.21%, 其中以  $N_3R_1$  组合经济系数最高,  $N_3R_2$  组合经济系数最低。相同施氮量条件下, 经济系数均表现为  $R_1$  施氮比例高于  $R_2$  施氮比例。方差分析结果表明, 不同施氮量间、不同施氮比例间和不同施氮量 $\times$ 施氮比例间经济系数差异均未达显著水平。

### 3 讨论

#### 3.1 氮肥运筹对产量及其构成因素的影响

合理的氮肥运筹对小麦产量的提高具有积极影响<sup>[23-25]</sup>。已有研究表明, 适当的增加施氮量能显著增加小麦的有效穗数、穗粒数、千粒质量, 产量也相应提高<sup>[26-28]</sup>。但关于施氮量、施氮比例及其组合对小麦产量的调控, 前人的研究结果差异较大。吴进东等<sup>[29]</sup>认为, 氮肥施用时期适当后移能有效提



$N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  见图 2 注。图柱上不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 4 不同氮肥运筹对镇麦 18 经济系数的影响

Fig. 4 Effects of different nitrogen fertilizer managements on economic coefficients of Zhenmai 18

高小麦的穗粒数、千粒质量和产量, 基追比 3:7 最为合适; 刘红胜等<sup>[30]</sup>则认为 5:5 的基追比在各种种植密度下都能获得最高产量, 是最佳的基追比; 冯变娥等<sup>[31]</sup>发现, 基追比 7:3 的施肥模式下能显著增加有效穗数、穗粒数和千粒质量, 实际产量最高。本研究中, 随着施氮量的增加, 小麦的有效穗数有增加趋势, 穗粒数、千粒质量和产量都呈现先上升后下降的趋势。在施氮比例方面, 本研究结果表明, 施氮量相同时,  $R_1$  施肥比例下的产量均高于  $R_2$  施肥比例, 表明氮肥施用适当前移有利于提高产量。综合来看, 240 kg/hm<sup>2</sup> 纯氮的施氮量并配合基肥: 分蘖肥: 拔节肥: 穗肥 = 5:1:2:2 的施氮比例是镇麦 18 高产栽培的氮肥运筹。

#### 3.2 氮肥运筹对不同时期干物质生产量 and 经济系数的影响

小麦的干物质生产和分配是小麦产量形成的基础, 而氮肥运筹对这个过程具有重要的调控作用<sup>[32-34]</sup>。已有学者认为, 在一定范围内随着施氮量的增加, 会提高小麦叶片、茎鞘的干物质生产量, 同时营养器官中储存的干物质向籽粒的转运量会显著增加, 有利于籽粒灌浆充实和高产<sup>[35-37]</sup>。除施氮量外, 不同时期的氮肥施用比例同样会影响小麦干物质的生产和分配。有研究结果<sup>[7]</sup>表明, 多施拔节肥能有效提高花前干物质的积累量和花后干物质的转运能力, 为高产提供物质基础。孙婷等<sup>[38]</sup>认为, 氮肥采用基肥: 拔节肥: 孕穗肥 = 4:4:2 的施肥模式, 在适宜的施氮量下能提高氮素向籽粒的转运效率, 促进籽粒干物质的积累。本研究结果表明, 施氮

能增加小麦单茎各器官的干物质生产量,进而提高群体的干物质积累,促进产量形成,但施氮量过多反而会使干物质生产量下降,中氮水平(240 kg/hm<sup>2</sup>纯氮)是最佳施氮量。在氮肥基追比方面,氮肥施用前移,拔节期单茎的干物质积累量增加,保障了开花灌浆前充足的干物质储备,推动了扬花后干物质向籽粒的转运和分配,使得成熟期单茎和群体都具有较高的穗质量,促进最终产量的实现。从经济系数上看,中低氮处理下不同追施比例间的经济系数差异不大,高氮条件下 R<sub>1</sub> 施氮比例的经济系数高于 R<sub>2</sub> 施氮比例,这可能是由于后期追肥量多导致了一定程度的徒长。从群体调控角度而言,尽管成熟期生物产量 N<sub>2</sub>R<sub>2</sub> < N<sub>2</sub>R<sub>1</sub> < N<sub>3</sub>R<sub>2</sub>,但产量以 N<sub>2</sub>R<sub>1</sub> 组合最高,表明 N<sub>3</sub>R<sub>2</sub> 组合在氮肥的利用效率(氮素籽粒生产效率)和谷草比均较 N<sub>2</sub>R<sub>1</sub> 组合低。综合来看,总施氮量为 240 kg/hm<sup>2</sup> 的情况下,采用基肥:分蘖肥:拔节肥:穗肥=5:1:2:2 的施氮比例能够有效调控镇麦 18 群体大小,并有利于保障花前充足的干物质储备、促进花后干物质向籽粒转移,更容易获得高产。

#### 参考文献:

- [1] 赵俊峰,于振文. 我国小麦生产现状与发展小麦生产能力的思考[J]. 农业现代化研究, 2005(5): 344-348.
- [2] 翟辰洋. 推进江苏省现代种业高质量发展的路径探讨[J]. 中国种业, 2021(2): 3-6.
- [3] 张耀兰,曹承富,李华伟,等. 氮肥运筹对晚播冬小麦产量、品质及叶绿素荧光特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(5): 965-971.
- [4] 蒋进,李小雨,王淑荣,等. 不同施氮量对弱筋小麦产量和品质的影响[J]. 作物研究, 2022, 36(1): 9-13.
- [5] TIAN Z W, JING Q, DAI T B, et al. Effects of genetic improvements on grain yield and agronomic traits of winter wheat in the Yangtze River Basin of China[J]. Field Crops Research, 2011, 124(3): 417-425.
- [6] 朱统泉,袁永刚,曹建成,等. 不同施氮方式对强筋小麦群体及产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(1): 150-152.
- [7] XU H, DAI X, CHU J, et al. Integrated management strategy for improving the grain yield and nitrogen-use efficiency of winter wheat[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(2): 315-327.
- [8] 段文学,于振文,张永丽,等. 施氮量对旱地小麦氮素吸收转运和土壤硝态氮含量的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(15): 3040-3048.
- [9] ARDUINI I, MASONI A, ERCOLI L, et al. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate[J]. European Journal of Agronomy, 2006, 25(4): 309-318.
- [10] LI Q, HOU L, HAN W. Effects of nitrogen rates on grain yield and quality of wheat in different soil fertility[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(6): 561-567.
- [11] ABAD A, LLOVERAS J, MICHELENA A. Nitrogen fertilization and foliar urea effects on durum wheat yield and quality and on residual soil nitrate in irrigated Mediterranean conditions[J]. Field Crops Research, 2004, 87(2/3): 257-269.
- [12] 郭明明,董召娣,易媛,等. 氮肥运筹对不同筋型小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(11): 1559-1565.
- [13] KARTSEVA T, DOBRIKOVA A, KOICHEVA K, et al. Optimal nitrogen supply ameliorates the performance of wheat seedlings under osmotic stress in genotype-specific Manner[J]. Plants, 2021, 10(3): 493.
- [14] 潘庆民,于振文,王月福. 追氮时期对小麦光合作用、<sup>14</sup>C 同化物运转分配和硝酸还原酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2001(4): 631-636.
- [15] 杨祯来,付增云,郭梅. 不同追肥时期对冬小麦产量和品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(S1): 204-205.
- [16] 吴光磊,郭立月,崔正勇,等. 氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累与转运的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5128-5137.
- [17] MENG Q, YUE S, HOU P, et al. Improving yield and nitrogen use efficiency simultaneously for maize and wheat in China: a review[J]. Pedosphere, 2016, 26(2): 137-147.
- [18] 代新俊,夏清,杨珍平,等. 氮肥后移对强筋小麦氮素积累转运及籽粒产量与品质的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(3): 289-294.
- [19] KUBAR M S, FENG M, SAYED S, et al. Agronomical traits associated with yield and yield components of winter wheat as affected by nitrogen managements[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2021, 28(9): 4852-4858.
- [20] 崔秀珍,吴国梁,黄中文. 不同追氮时期追氮量对强筋小麦产量及其性状的影响[J]. 河南职业技术学院学报, 2004, 32(3): 4-5.
- [21] 魏建伟,李丁,李强,等. 氮肥运筹对节水高产冬小麦产量及水分利用率的影响[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(13): 25-26.
- [22] 田纪春,陈建省,王延训,等. 氮素追肥后移对小麦籽粒产量和旗叶光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2001, 34(1): 1-4.
- [23] ALCOZ M M, HONS F M, HABY V A. Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual soil nitrogen[J]. Agronomy Journal, 1993, 85: 1198-1203.
- [24] SHAH S A, HARRISON S A, BOQUET D J, et al. Management effects on yield and yield components of late-planted wheat[J]. Crop Science, 1994, 34(5): 1298-1303.
- [25] HAWKESFORD M J. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 59

- (3): 276-283.
- [26] 陆增根,戴廷波,姜东,等. 不同施氮水平和基追比对弱筋小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(6): 75-80.
- [27] 张文静,江东国,黄正来,等. 氮肥施用对稻茬小麦冠层结构及产量、品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(2): 164-174.
- [28] 师箴,高斯曼,李彤,等. 施氮量对不同叶绿素含量小麦生长、产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(9): 1134-1142.
- [29] 吴进东,丁广礼,朱旺生,等. 氮肥后移与花后叶面喷施 6-BA 对冬小麦产量和品质的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(2): 343-349.
- [30] 刘红胜,盛玉凤,王竞绍. 种植密度和氮肥运筹对 2 种穗型小麦生长及产量的影响[J]. 现代农业科技, 2021(9): 1-3.
- [31] 冯变娥,张凤洁,乔俊芳,等. 氮肥运筹对不同种植方式冬小麦群体结构及产量的影响[J]. 激光生物学报, 2015, 24(3): 293-300.
- [32] 赖宁,耿庆龙,信会男,等. 有机肥替代部分化学氮肥对新疆超晚播冬小麦产量、氮磷吸收利用及土壤肥力的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(21): 215-220.
- [33] 赵颖,周枫,罗佳琳,等. 稻秸还田下不同施肥管理措施对土壤养分、冬小麦产量和氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(5): 1167-1174.
- [34] 王慧,吴迪,李东升,等. 氮肥施用量和运筹比例对稻茬晚播小麦群体结构、光合性能及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(20): 97-102.
- [35] 张金汕,贾永红,孙鹏,等. 匀播和施氮量对冬小麦群体、光合及干物质积累的影响[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(7): 12-24.
- [36] TIAN Z, LIU X, GU S, et al. Postponed and reduced basal nitrogen application improves nitrogen use efficiency and plant growth of winter wheat [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(12): 2648-2661.
- [37] 张法全,王小燕,于振文,等. 公顷产 10000 kg 小麦氮素和干物质积累与分配特性[J]. 作物学报, 2009, 35(6): 1086-1096.
- [38] 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.

(责任编辑:成纾寒)