

吴秀宁, 张 军, 王凤娟, 等. 肥密互作对旱地冬小麦商麦 1619 旗叶光合特性、干物质积累和产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(4): 924-930.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.04.008

## 肥密互作对旱地冬小麦商麦 1619 旗叶光合特性、干物质积累和产量的影响

吴秀宁<sup>1</sup>, 张 军<sup>1</sup>, 王凤娟<sup>1</sup>, 王新军<sup>1</sup>, 高宝云<sup>1</sup>, 赵 麟<sup>2</sup>, 敬 樊<sup>3</sup>

(1. 商洛学院, 陕西 商洛 726000; 2. 洛南县四皓街道办农业综合服务站, 陕西 商洛 726000; 3. 商洛市农业科学研究所, 陕西 商洛 726000)

**摘要:** 本研究以旱地冬小麦品种商麦 1619 为试验材料, 在大田条件下设置 4 个施肥水平 (75 kg/hm<sup>2</sup>、150 kg/hm<sup>2</sup>、225 kg/hm<sup>2</sup>、300 kg/hm<sup>2</sup>) 和 3 个种植密度 (1 hm<sup>2</sup> 1.35×10<sup>6</sup> 株, 1 hm<sup>2</sup> 1.80×10<sup>6</sup> 株, 1 hm<sup>2</sup> 2.25×10<sup>6</sup> 株), 探究肥密互作对商麦 1619 旗叶光合特性、干物质积累和产量的影响。结果表明, 随着施肥量 (150~300 kg/hm<sup>2</sup>)、种植密度的增加, 开花期、灌浆中期、灌浆后期的商麦 1619 旗叶净光合速率 ( $P_n$ )、SPAD 值整体呈上升趋势, 施肥量为 300 kg/hm<sup>2</sup>、种植密度为 1 hm<sup>2</sup> 2.25×10<sup>6</sup> 株时达到最大值。商麦 1619 籽粒产量随着施肥量、种植密度的增加总体呈先增后减的变化趋势。施肥量为 225 kg/hm<sup>2</sup>、种植密度为 1 hm<sup>2</sup> 2.25×10<sup>6</sup> 株条件下商麦 1619 产量最高, 为 5 790.35 kg/hm<sup>2</sup>。商麦 1619 籽粒产量与旗叶净光合速率、SPAD 值、地上部干物质积累量均在 0.01 水平呈正相关。本研究结果可为商麦 1619 的进一步示范推广提供指导。

**关键词:** 商麦 1619; 肥密互作; 光合特性; 干物质积累; 产量

**中图分类号:** S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)04-0924-07

## Effects of fertilizer and density interaction on flag leaf photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and yield of Shangmai 1619

WU Xiu-ning<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>, WANG Feng-juan<sup>1</sup>, WANG Xin-jun<sup>1</sup>, GAO Bao-yun<sup>1</sup>, ZHAO Lin<sup>2</sup>, JING Fan<sup>3</sup>

(1. Shangluo University, Shangluo 726000, China; 2. Agricultural Comprehensive Service Station, Sihao Sub-district Office, Luonan County, Shangluo 726000, China; 3. Shangluo Agricultural Science Research Institute, Shangluo 726000, China)

**Abstract:** Using dryland winter wheat Shangmai 1619 as experimental material, four fertilization levels (75 kg/hm<sup>2</sup>, 150 kg/hm<sup>2</sup>, 225 kg/hm<sup>2</sup>, 300 kg/hm<sup>2</sup>) and three planting densities (1.35×10<sup>6</sup> plants per hectare, 1.80×10<sup>6</sup> plants per hectare, 2.25×10<sup>6</sup> plants per hectare) were applied to investigate the effects of fertilizer and density interaction on the photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and yield of Shangmai 1619 under field conditions. The results indicated that the net photosynthetic rate ( $P_n$ ) and SPAD values of flag leaves at flowering, mid-filling and late-filling

stages showed an overall upward trend with the increase of fertilization (150–300 kg/hm<sup>2</sup>) and planting density. All of them reached the peak with the fertilizer of 300 kg/hm<sup>2</sup> and density of 2.25×10<sup>6</sup> plants per hectare. With the increase of fertilization and planting density, the grain yield of Shangmai 1619 increased first and then decreased.

收稿日期: 2021-09-07

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划项目 (21JK0613)

作者简介: 吴秀宁 (1987–), 女, 山东济宁人, 硕士, 讲师, 主要从事作物高产栽培与耕作模式优化研究。 (E-mail) wuxiuning1988@163.com

通讯作者: 王新军, (E-mail) 614648056@qq.com

Shangmai 1619 reached its highest yield ( $5\,790.35\text{ kg/hm}^2$ ) with the fertilizer of  $225\text{ kg/hm}^2$  and density of  $2.25\times 10^6$  plants per hectare. The grain yield of Shangmai 1619 was positively correlated with  $P_n$ , SPAD value of flag leaves and dry matter accumulation at 0.01 level. The results can provide guidance for further promotion of Shangmai 1619.

**Key words:** Shangmai 1619; fertilizer and density interaction; photosynthetic characteristics; dry matter accumulation; yield

小麦是世界范围内主要的粮食作物,其产量是品种本身遗传特性和栽培措施共同作用的结果<sup>[1]</sup>。在栽培措施中,施肥量和种植密度对小麦产量的影响尤为突出<sup>[2]</sup>。光合作用是植物重要的生命特征,小麦产量的 90%~95% 来自花后的光合产物<sup>[3]</sup>。施肥量和播种密度是影响作物光合特性的重要栽培因素,间接影响干物质、氮素积累,最终影响产量的形成<sup>[4]</sup>。在一定范围内,施肥量的增加会增加冬小麦分蘖,提高旗叶光合速率,促进茎叶生长,增加绿色面积,延缓功能叶的衰老进程,进而提高产量<sup>[5]</sup>。同样,在一定范围内增加种植密度有利于增大光合面积,促进群体增长,提高干物质积累量,进而提高小麦籽粒产量,但种植密度过大,会增加倒伏的概率,产量反而下降<sup>[6-7]</sup>。施肥水平和播种密度对小麦产量存在互作效应,低氮低密条件下穗粒数和千粒质量增大,但有效穗数降低,造成减产;高氮高密条件下有效穗数较高,但穗粒数降低,产量降低<sup>[8]</sup>。因此,研究种植密度和施肥量对小麦光合特性、干物质积累、氮素积累、产量的影响,对集成配套栽培技术以及充分发挥优良品种的高产潜力具有重要意义。

中国约 2/3 的小麦种植在雨养旱作区,且主要是旱地小麦,其产量水平对保障中国小麦整体高产稳产意义重大<sup>[9]</sup>。因特殊的地理位置,西北地区是中国优质小麦种植区<sup>[10]</sup>。刘璐<sup>[11]</sup>的研究结果表明,2001 年陕西省的受旱面积高达 91.9%。何斌等<sup>[12]</sup>基于主成分分析和层次分析,发现受气候条件影响,区域性干旱的发生面积和发生程度均呈增加趋势。受灌溉条件和对土地依赖性降低等因素的影响,农户多采用“一炮轰”的施肥方法<sup>[13]</sup>。商麦 1619(陕审麦 2014013 号)是商洛学院培育的旱地小麦新品种,在渭北旱塬及同类型生态区表现出较好的抗旱丰产性,但有关该品种的配套栽培技术亟待完善。本研究拟通过研究不同施肥量和种植密度条件下旱地小麦品种商麦 1619 旗叶光合特性、干物质转运及产量的变化,明确商麦 1619 在雨养旱作区的适宜密度、施肥量,以期旱地小麦的丰产栽培提

供理论依据和技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与试验设计

供试材料为小麦新品种商麦 1619,种子由商洛市农业科学研究所提供。试验于 2017–2019 年在商洛学院张村校区秦岭植物良种繁育中心试验田进行,前茬为玉米。试验地肥力均匀,可代表商洛坡塬地的肥力状况。播前五点取样,测定 0~20 cm 耕层土壤肥力。2017 年土壤理化性质为:有机质  $17.91\text{ g/kg}$ ,全氮  $1.03\text{ g/kg}$ ,速效氮  $60.12\text{ mg/kg}$ ,速效磷  $16.71\text{ mg/kg}$ ,速效钾  $104.72\text{ mg/kg}$ ;2018 年土壤理化性质为:有机质  $19.33\text{ g/kg}$ ,全氮  $1.09\text{ g/kg}$ ,速效氮  $74.83\text{ mg/kg}$ ,速效磷  $17.83\text{ mg/kg}$ ,速效钾  $113.73\text{ mg/kg}$ 。

试验采用裂区设计,主区为施肥量,设置 4 个施肥水平,依次为  $75\text{ kg/hm}^2$  (F75)、 $150\text{ kg/hm}^2$  (F150)、 $225\text{ kg/hm}^2$  (F225) 和  $300\text{ kg/hm}^2$  (F300),参考张赵星等<sup>[14]</sup>按  $N:P_2O_5:K_2O=1.00:0.67:0.76$  的比例确定氮、磷、钾肥用量;种植密度为裂区,设  $1\text{ hm}^2\ 1.35\times 10^6$  株 (D135)、 $1\text{ hm}^2\ 1.80\times 10^6$  株 (D180) 和  $1\text{ hm}^2\ 2.25\times 10^6$  株 (D225) 3 个密度水平。试验用肥依次为:尿素 (N46%)、磷酸二铵 (N18%,  $P_2O_5$  46%)、硫酸钾 ( $K_2O$  50%)。以底肥形式,播种前结合整地一次性施入。小区面积  $6.5\text{ m}^2$  ( $1.3\text{ m}\times 5.0\text{ m}$ ),3 次重复。2017 年 10 月 23 日播种,2018 年为 10 月 21 日播种,人工开沟、点播,均为次年 6 月 17 日收获,其他管理措施参照一般生产田。

### 1.2 测定指标和测定方法

**1.2.1 旗叶净光合速率和叶绿素含量** 小麦进入始花期后,每个小区随机选取中间 3 行 100 个长势基本一致的单茎进行标记。选择晴朗无风的上午 (9:00–11:00),在小麦的开花期、灌浆中期 (花后 10 d) 和灌浆后期 (花后 20 d) 随机选取标记的 5 株小麦,用 Li-6400 便携式光合仪 (LI-COR 公司产品) 测定旗叶净光合速率 ( $P_n$ )。叶绿素含量测定参考

蒋进等<sup>[4]</sup>的方法。

1.2.2 干物质 在开花期和成熟期,每个处理选取中间 2 行 1 m 植株,沿根茎结合处剪去根系带回室内。105 ℃杀青 20 min,80 ℃烘干至恒质量。按面积折合,确定地上部分的生物学产量。

1.2.3 产量 在成熟期,选取小区中间 3 行 1 m 植株用于考察穗数、穗粒数和千粒质量;选每个小区中间 3 行中间部位 2 m<sup>2</sup>计算产量。

### 1.3 数据处理

利用 Excel2003 进行数据整理,用 SPSS18.0 进行统计分析。2 年试验结果趋势基本一致。方差分析结果表明,各指标及年份间的互作不显著,故全文采用 2 年数据的平均值进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 肥密互作对商麦 1619 旗叶净光合速率和 SPAD 值的影响

表 1、表 2 显示,商麦 1619 的  $P_n$  和 SPAD 值均表现为开花期最大,之后随着灌浆进程推进而整体呈下降趋势。施肥量为 75 kg/hm<sup>2</sup>时,商麦 1619 旗叶  $P_n$  和 SPAD 值随着种植密度的增加而降低。施肥量为 150~300 kg/hm<sup>2</sup>时, $P_n$  和 SPAD 值在开花期、灌浆中期和灌浆后期随着种植密度的增加而增加。

在 D135、D180 和 D225 条件下, $P_n$  和 SPAD 值随着施肥量的增加而增大。综合来看,F75×D135、F150×D225、F225×D225 和 F300×D225 条件下商麦 1619 具有较高的  $P_n$  和 SPAD 值,F300×D225 条件下商麦 1619 的  $P_n$  和 SPAD 值均最高。

### 2.2 肥密互作对商麦 1619 地上部干物质积累的影响

表 3 显示,商麦 1619 地上部干物质积累量在不同生育阶段存在差异。在开花期,相同施肥量条件下,商麦 1619 的地上部干物质积累量均随着种植密度的增加而显著降低。以 F75 处理为例,D180、D225 处理下地上部干物质积累量分别较 D135 处理下降 8.11% 和 12.68%。在成熟期,除施肥量为 300 kg/hm<sup>2</sup>处理外,其他施肥量处理下的商麦 1619 地上部干物质积累量则随着种植密度的增加整体呈上升的趋势。相同播种密度下,商麦 1619 的地上部干物质积累量随着施肥量的增加总体呈增加的趋势。以成熟期 D135 处理为例,F150、F225、F300 处理下地上部干物质积累量较 F75 处理增加 13.60%、26.35% 和 32.12%。花后地上部干物质积累量随着施肥量和种植密度的增加总体呈增加的趋势。综合开花期和成熟期的数据来看,F300×D135 此肥密组合有利于商麦 1619 地上部干物质的积累。

表 1 不同处理对商麦 1619 旗叶净光合速率的影响

Table 1 Effects of different treatments on net photosynthetic rate ( $P_n$ ) of flag leaves in Shangmai 1619

施肥量 (kg/hm <sup>2</sup> )	种植密度 (×10 <sup>6</sup> 株/hm <sup>2</sup> )	净光合速率 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]		
		开花期	灌浆中期	灌浆后期
75	1.35	21.64±0.53d	17.68±0.65g	10.43±0.47e
	1.80	20.71±0.62d	17.04±0.44gh	9.84±0.85ef
	2.25	18.75±0.64e	16.47±0.63h	9.04±0.36f
150	1.35	23.58±0.49c	19.04±0.46f	11.83±0.92d
	1.80	24.54±0.47bc	20.73±0.83e	13.05±0.46c
	2.25	25.08±0.48ab	22.05±0.43cd	13.74±0.75abc
225	1.35	24.81±0.83ab	21.47±0.49de	13.63±0.74bc
	1.80	25.04±0.44ab	22.84±0.77bc	13.85±0.59abc
	2.25	25.73±0.68ab	23.07±0.54abc	14.04±0.47abc
300	1.35	25.84±0.79a	23.84±0.89ab	14.67±0.58ab
	1.80	25.97±0.66a	23.95±0.45a	14.85±0.92ab
	2.25	25.99±0.49a	24.07±0.54a	14.93±0.73a

同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

表 2 不同处理对商麦 1619 旗叶 SPAD 值的影响

Table 2 Effects of different treatments on SPAD value of flag leaves in Shangmai 1619

施肥量 (kg/hm <sup>2</sup> )	种植密度 (×10 <sup>6</sup> 株,1 hm <sup>2</sup> )	SPAD 值		
		开花期	灌浆中期	灌浆后期
75	1.35	53.13±3.35ef	50.64±2.29de	45.81±2.84d
	1.80	51.65±2.58f	48.87±2.86e	44.12±2.52d
	2.25	50.53±2.54f	47.92±2.87e	42.85±2.47d
150	1.35	55.15±2.17def	53.68±2.64cd	50.19±2.32c
	1.80	56.83±2.85cde	54.04±3.32bcd	52.63±2.57bc
	2.25	57.33±2.64cde	55.17±2.35bcd	53.01±2.32abc
225	1.35	57.37±2.63cde	54.72±2.53bcd	52.03±2.14bc
	1.80	58.92±2.75bcd	55.62±2.74abcd	53.84±2.67abc
	2.25	60.13±2.42abcd	56.83±2.62abc	54.05±2.63abc
300	1.35	60.94±2.85abc	57.63±2.74abc	54.04±2.52abc
	1.80	62.72±2.64ab	58.93±2.83ab	56.87±3.74ab
	2.25	64.71±2.68a	60.32±2.91a	57.62±2.73a

同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

表 3 不同处理对商麦 1619 地上部干物质积累的影响

Table 3 Effects of different treatments on dry matter accumulation of Shangmai 1619

施肥量 (kg/hm <sup>2</sup> )	种植密度 (×10 <sup>6</sup> 株,1 hm <sup>2</sup> )	地上部干物质积累量(kg/hm <sup>2</sup> )		
		开花期	成熟期	花后
75	1.35	7 341.63±141.37de	8 536.16±136.52i	1 194.53±104.65g
	1.80	6 746.34±146.31g	9 175.25±175.83h	2 428.91±212.79ef
	2.25	6 410.87±110.43h	9 242.44±142.65h	2 831.57±248.06de
150	1.35	7 675.85±75.89c	9 697.09±197.84g	2 021.24±177.07f
	1.80	6 995.03±95.14f	10 182.45±82.75f	3 187.42±279.23cd
	2.25	6 702.94±102.85g	10 645.77±145.63e	3 942.83±345.31a
225	1.35	7 941.83±141.64b	10 785.57±85.94de	2 843.74±249.13de
	1.80	7 512.96±162.74cd	10 907.37±107.74cd	3 394.41±297.37bc
	2.25	7 205.75±105.83e	11 219.39±119.57ab	4 013.64±351.62a
300	1.35	8 213.93±113.36a	11 277.87±177.83a	3 063.94±268.42cd
	1.80	7 594.37±94.95c	10 990.53±190.92bcd	3 396.16±297.52bc
	2.25	7 305.93±105.67de	11 102.45±102.47ab	3 796.52±332.59ab

同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

2.3 肥密互作对商麦 1619 产量及构成要素的影响

方差分析结果(表 4)表明,施肥量和种植密度对商麦 1619 产量及其构成要素的影响均达到显著水平。表 5 显示,商麦 1619 籽粒产量随着施肥量、种植密度的增大整体呈先增后减的变化趋势。相同施肥量条件下,除施肥量为 225 kg/hm<sup>2</sup>处理外,其余 3 个施肥水平均以 D180 处理下的商麦 1619 籽粒产

量最高。相同种植密度下,施肥量为 75~225 kg/hm<sup>2</sup>时,商麦 1619 籽粒产量随着施肥量的增加而显著增加,当施肥量增至 300 kg/hm<sup>2</sup>时,除 D135 处理下的籽粒产量继续增加外,另外 2 个种植密度处理下的籽粒产量则显著降低。

就产量构成要素来看,施肥量和种植密度对商麦 1619 有着不同程度的影响。穗数随着施肥量和种植

密度的增加呈上升趋势,以F300×D225 条件下最大,为  $1 \text{ hm}^2 4.208 3 \times 10^6$  穗。穗粒数随着施肥量(75~225  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )的增加而增加,总体随种植密度的增加而下降。以 D135 处理为例,与 F75 处理相比,F150、F225、F300 处理下穗粒数分别增加 3.98%、5.73%和 5.79%;F75 处理下,D180、D225 处理的穗粒数则较 D135 处理分别下降 2.97%和 7.23%。千粒质量则随着施肥量、种植密度的增加整体呈下降趋势,其中 F75×D180 处理下千粒质量最大,为 47.18 g, F300×

D225 处理下千粒质量最小,为 40.36 g。

表 4 产量和产量构成因素的方差分析

Table 4 Variance analysis of yield and its components

变量	F 值			
	产量	穗数	穗粒数	千粒质量
施肥量	2 667.95 **	42.81 **	37.78 **	23.56 **
种植密度	153.56 **	20.65 **	9.21 **	22.88 **
施肥量×种植密度	94.91 **	2.71	5.93 **	2.64

\*\* 表示差异达 0.01 显著水平。

表 5 不同处理对商麦 1619 产量及构成要素的影响

Table 5 Effects of different treatments on yield and its components of Shangmai 1619

施肥量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	种植密度 ( $\times 10^6$ 株, $1 \text{ hm}^2$ )	穗数 ( $\times 10^6$ 穗, $1 \text{ hm}^2$ )	穗粒数	千粒质量 (g)	产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )
75	135	3.325 2±61.83f	32.64±0.52efg	46.91±0.77ab	4 252.63±22.21k
	180	3.587 4±28.46de	31.67±0.55fg	47.18±1.01a	4 525.95±25.46i
	225	3.756 7±51.03cd	30.28±0.23h	45.13±0.96bcd	4 393.67±22.24j
150	135	3.411 4±36.28ef	33.94±0.58bcd	46.83±0.55ab	4 654.61±24.15h
	180	3.804 2±33.93c	32.81±0.66def	46.01±0.86ab	4 925.84±25.36f
	225	3.947 6±31.79bc	31.53±0.43g	45.62±0.53abc	4 809.42±24.94g
225	135	3.898 3±32.01bc	34.51±0.23b	46.13±0.96ab	5 246.13±32.51d
	180	4.048 1±47.44ab	34.14±0.11bc	45.87±0.53ab	5 656.27±25.78ab
	225	4.076 4±24.88ab	35.97±0.79a	44.13±0.81cd	5 790.35±19.97a
300	135	4.105 7±34.42ab	34.53±0.43b	45.12±0.95bcd	5 375.41±24.93c
	180	4.075 6±24.62ab	33.95±0.77bcd	43.83±0.63d	5 401.38±25.89c
	225	4.208 3±35.27a	32.99±0.81cde	40.36±0.47e	5 191.86±55.09e

同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。

## 2.4 相关性分析

表 6 显示,产量与旗叶净光合速率(开花期、灌浆中期、灌浆后期)、SPAD 值(开花期、灌浆中期、灌

浆后期)、地上部干物质积累量(开花期、成熟期、花后)均在 0.01 水平呈正相关。

表 6 产量与净光合速率、SPAD 值、地上部干物质积累量的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of yield with  $P_n$ , SPAD value and dry matter accumulation

指标	净光合速率			SPAD 值			地上部干物质积累量		
	开花期	灌浆中期	灌浆后期	开花期	灌浆中期	灌浆后期	开花期	成熟期	花后
产量	0.807 **	0.867 **	0.834 **	0.789 **	0.778 **	0.798 **	0.501 **	0.913 **	0.708 **

\*, \*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平相关。

## 3 讨论

大量研究结果表明,开花至成熟是籽粒产量形成的关键时期,改善此时期的旗叶性状可以提高小麦的单株产量和穗粒质量等产量性状<sup>[15-17]</sup>。合理的施肥量和种植密度有助于提高旗叶的光合性能,

发挥品种高产潜力,进而获得稳产高产<sup>[3]</sup>。张赵星等<sup>[14]</sup>对普冰 151 开展肥密试验,其研究表明,旗叶净光合速率和 SPAD 值均随着施肥量的增加先升后降,随着种植密度的增加而下降。在本研究中,商麦 1619 的旗叶净光合速率和 SPAD 值整体随着施肥量(150~300  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )和种植密度的增加呈上



升趋势,这可能与商麦 1619 旗叶宽大以及灌浆中后期较长的持绿性有关,亦可能是由品种、施肥量、种植密度以及环境差异引起的。此外,本试验中旗叶净光合速率和 SPAD 值随着花后生育进程的推进呈下降趋势,这与彭芹等<sup>[18]</sup>的研究结果一致。

源、库是作物产量形成的 2 个方面,“源”的生产与干物质积累密切相关,尤以开花期干物质积累最为重要<sup>[19]</sup>。焦峰等<sup>[20]</sup>在龙麦 26 上的研究结果表明,一定范围内高施肥量和低种植密度有利于小麦地上部干物质的积累。本研究也得出类似结果,相同施肥量下商麦 1619 在开花期的地上部干物质积累量随着种植密度的增加而降低,这可能与作物群体质量变差有关。在本试验中,较高种植密度条件下的下部叶片枯萎程度明显高于较低种植密度条件。较大的群体使得相对养分占有量降低,导致对养分的竞争加剧,从而使干物质积累量降低,而随着施肥量的增加,养分供应充足,表现为干物质积累进一步增加。

施肥量和种植密度是影响作物产量的重要栽培因素<sup>[21-24]</sup>,适宜的施肥量、种植密度可以有效改善产量结构,从而实现高产稳产<sup>[25]</sup>。蒋进等<sup>[4]</sup>在四川省东北部丘陵地区的研究结果表明,随着施肥量的增加,南麦 618 的有效穗数和穗粒数呈上升趋势。丁位华等<sup>[26]</sup>研究发现,BNS 杂交小麦穗数随着种植密度的增加而增加,而穗粒数则呈下降趋势。本研究也得到类似的结果,商麦 1619 的穗粒数整体随着施肥量的增加而增加,随种植密度的增加而下降。千粒质量则整体随着施肥量和种植密度的增加而下降。可见,可以通过调整施肥量和种植密度等农艺措施来调控小麦产量构成要素。

在中国,约 60% 的小麦种在雨养旱作区<sup>[10]</sup>,且降雨与小麦需水关键期错位<sup>[27]</sup>,导致旱作区小麦产量低而不稳。加之小麦种植效益偏低,为旱地小麦生产管理尤其是施肥带来巨大挑战<sup>[28]</sup>。一次性施肥因具有生产轻便、节本增效和保护环境等优点,在中国三大粮食作物上已有应用<sup>[29-30]</sup>。彭正萍等<sup>[31]</sup>的研究结果表明,一次性基施控释氮肥处理较按农户施肥习惯施肥处理增产 5.7%,氮肥利用率增加 53.7%。张英鹏等<sup>[32]</sup>在棕壤土区的试验结果表明,一次性施用缓控释肥降低了 37.0% 的氮肥用量,但仍能获得小麦的最高产量。在本研究中,结合区域小麦生产现状,通过一次性施肥和适宜的种植密度

来实现小麦增产,这对于旱地小麦丰产、高效生产具有借鉴意义。

在本研究条件下,2 年大田试验结果表明,施肥量 225 kg/hm<sup>2</sup>、密度 1 hm<sup>2</sup>2.25×10<sup>6</sup> 株为商麦 1619 高产的最佳组合。本研究结果可为商麦 1619 的进一步示范推广提供指导。

## 参考文献:

- [1] MASTRODOMENICO A T, HAEGELE J W, SEEBAUER J R, et al. Yield stability differs in commercial maize hybrids in response to changes in plant density, nitrogen fertility, and environment [J]. *Crop Science*, 2018, 58(1): 230-241.
- [2] 严惠敏,周铭瑞,徐志鹏,等. 播期对江苏省冬小麦产量及其构成的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2020, 38(4): 293-302.
- [3] 曹倩,贺明荣,代兴龙,等. 氮密互作对小麦花后光合特性及籽粒产量的影响[J]. *华北农学报*, 2012, 27(4): 206-212.
- [4] 蒋进,王淑荣,张连全,等. 种植密度和施肥量对南麦 618 农艺性状、叶绿素含量及产量的影响[J]. *南方农业学报*, 2017, 48(3): 416-421.
- [5] MAN J G, SHI Y, YU Z W, et al. Dry matter production, photosynthesis of flag leaves and water use in winter wheat are affected by supplemental irrigation in the Huang-Huai-Hai Plain of China [J]. *PLoS One*, 2015, 10(9): e0137274.
- [6] 张永丽,肖凯,李雁鸣. 种植密度对杂种小麦 C6-38/Py85-1 旗叶光合特性和产量的调控效应及其生理机制[J]. *作物学报*, 2005, 31(4): 498-505.
- [7] 张定一,张永清,闫翠萍,等. 基因型、播期和密度对不同成穗型小麦籽粒产量和灌浆特性的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2009, 15(1): 28-34.
- [8] 蔡金华,陈爱大,温明星,等. 施氮量和种植密度对镇麦 168 籽粒产量与品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(6): 1312-1320.
- [9] 余松烈. 中国小麦栽培理论与实践[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 13.
- [10] 刘玉秀,张正茂,熊建云. 抗旱节水小麦新品种普冰 9946 的选育[J]. *种子*, 2013, 32(4): 106-108.
- [11] 刘璐. 陕西省干旱气象灾害易损性分析与区划[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [12] 何斌,王全九,吴迪,等. 基于主成分分析和层次分析法相结合的陕西省农业干旱风险评估[J]. *干旱地区农业研究*, 2017, 35(1): 219-227.
- [13] 谭德水,刘兆辉,江丽华. 中国冬小麦施肥历史演变及阶段特征研究进展[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(12): 13-19.
- [14] 张赵星,刘芳亮,张保军,等. 肥密互作对旱地冬小麦品种普冰 151 旗叶光合特性、产量及品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2016, 36(8): 1069-1075.
- [15] DORDAS C. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization

- and source-sink relations [J]. *European Journal of Agronomy*, 2009, 30(2):129-139.
- [16] 吴金芝,黄明,王志敏,等. 干旱对冬小麦旗叶光合参数、产量和水分利用效率的影响[J]. *江苏农业学报*, 2021, 37(5): 1108-1118.
- [17] 罗建,魏彬,李玉娟,等. 外源茉莉酸对小麦籽粒灌浆的影响[J]. *西北农业学报*, 2020, 29(2):198-206.
- [18] 彭芹,郭骞欢,张西斌,等. 山东小麦品种更替过程中光合特性的演变[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(18): 3883-3891.
- [19] 陈传永,王元东,张春原,等. 不同玉米品种的耐密效应分析[J]. *种子*, 2020, 39(7): 131-136, 167.
- [20] 焦峰,贺海霞,任传军,等. 不同施肥和密度水平对小麦干物质积累及产量的影响[J]. *安徽农学通报*, 2013, 19(8): 28-29, 64.
- [21] 杨旸,苏宏华,王红慧,等. 不同施肥量及配套应用菌肥对黄瓜产量及抗病性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(23): 137-140.
- [22] 万倩,曹宏鑫,葛道阔,等. 不同施肥量下花期渍水胁迫对油菜籽粒充实过程的定量影响[J]. *江苏农业学报*, 2020, 36(5): 1144-1153.
- [23] 刘红超,宋涛,张朝春. 食用百合产量影响因素的整合分析[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(12): 90-94.
- [24] 王光梅,胡兵辉. 有机肥施用量和干旱时期对番茄产量及品质的影响[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(4): 1040-1049.
- [25] 谭芳,经艳,王伦旺,等. 不同施肥量和种植密度对桂糖32号甘蔗糖分和产量的影响[J]. *江苏农业学报*, 2016, 32(5): 1055-1059.
- [26] 丁位华,姜小苓,冯素伟,等. 播量对BNS型杂交小麦群体光合特性、物质积累和产量的影响[J]. *华北农学报*, 2020, 35(4): 113-119.
- [27] 程叶青,张平宇. 中国粮食生产的区域格局变化及东北商品粮基地的响应[J]. *地理科学*, 2005, 25(5): 513-520.
- [28] 张睿,李凤艳,文娟,等. 施肥模式对渭北旱地小麦产量及效益的影响[J]. *麦类作物学报*, 2018, 38(2): 191-195.
- [29] 刘兆辉,吴小宾,谭德水,等. 一次性施肥在我国主要粮食作物中的应用与环境效应[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(20): 3827-3839.
- [30] 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.
- [31] 彭正萍,刘亚男,李迎春,等. 持续氮素调控对小麦/玉米轮作系统氮素利用和表观损失的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(6): 74-79.
- [32] 张英鹏,刘兆辉,仲子文,等. 氮肥调控对冬小麦主要性状、氮素利用及土壤硝态氮时空变化的影响[J]. *江西农业学报*, 2013, 25(12): 78-81, 85.

(责任编辑:王妮)