

匀播和施氮量对冬小麦群体、光合及干物质积累的影响

张金汕¹ 贾永红² 孙鹏¹ 刘冲¹ 王欢¹ 罗四维¹ 石书兵^{1*}

(1. 新疆农业大学 农学院, 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆农业科学院 奇台麦类试验站, 新疆 奇台 831800)

摘要 为探明匀播方式和施氮量对冬小麦群体、光合及干物质积累的影响, 选用‘新冬 22 号’(‘XD 22’)和‘新冬 46 号’(‘XD 46’)为材料, 采用裂区试验设计, 主区播种方式设匀播(UN)和常规条播(DR)2 个处理, 副区施氮量设 0(N_0)、150(N_{150})、300(N_{300})、450(N_{450})和 600(N_{600}) kg/hm² 5 个水平, 测定冬小麦分蘖成穗、叶面积指数、净光合速率、干物质转运、分配及产量等指标。结果表明: 1) 一定范围内, 随着施氮量增加, 小麦单株茎数、成穗数和群体叶面积指数(LAI)增大; 与 DR 相比, UN 小麦单株茎数、成穗数、群体叶面积指数也增大, 尤其增大了灌浆期叶面积指数。2) 随着施氮量增大; 匀播提高了小麦叶片净光合速率, 尤其提高了冠层中、下部叶片的净光合速率。3) 随着施氮量增大, 小麦花前茎鞘、叶片干物质积累量、营养器官干物质转运量和转运率、植株营养器官干物质转运对籽粒的贡献率、穗数、穗粒数及产量均先增大后减小; 与 DR 相比, UN 提高小麦植株营养器官干物质转运量、转运率、穗数、穗粒数和产量, 2 个品种于 N_{300} 和 N_{450} 水平下产量达到最大; 在 N_0 、 N_{150} 、 N_{300} 、 N_{450} 和 N_{600} 水平下, ‘新冬 22 号’UN 比 DR 分别增产 11.79%、5.36%、4.55%、5.24% 和 8.73%; ‘新冬 46 号’分别增产 10.98%、7.07%、14.81%、14.55% 和 16.10%。综上所述, 匀播方式改善了群体结构, 提高群体中、下层的光合特性, 促进营养器官干物质积累及向籽粒中的转移, 进而提高产量, 尤其施氮量为 300 和 450 kg/hm² 增产效果最佳。

关键词 冬小麦; 匀播; 施氮; 光合; 产量

中图分类号 S512.1

文章编号 1007-4333(2021)07-0012-13

文献标志码 A

Effect of uniform pattern and N application rate on colony, photosynthesis and dry matter accumulation of winter wheat

ZHANG Jinshan¹, JIA Yonghong², SUN Peng¹, LIU Chong¹, WANG Huan¹, LUO Siwei¹, SHI Shubing^{1*}

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Qitai County Wheat Experiment Station, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Qitai 831800, China)

Abstract In order to explore the effect of uniform planting pattern and N application rate on the colony, photosynthesis and dry matter accumulation of winter wheat, experiments were carried out to determine the tillering heading, leaf area index, net photosynthetic rates, dry matter accumulation, transport and yield formation of winter wheat. ‘Xindong 22’ (‘XD 22’) and ‘Xindong 46’ (‘XD 46’) were taken as study material. Split-plot experiment design was applied, the main plot was the planting patterns of the main plot were uniforming (UN) and drilling (DR), and the N application rate levels of subplot were 0, 150, 300, 450 and 600 kg/hm², where were marked as N_0 , N_{150} , N_{300} , N_{450} and N_{600} , respectively. The results showed that: 1) With the increase of N application rate, the number of stems per plant, number of panicles, and LAI of wheat increased. The number of stems per plant, number of panicles and LAI were also increased, especially at the filling stage. 2) With the increase of N application rate, the net photosynthetic rate in wheat leaves were firstly increased and then decreased. Uniform planting increased the net photosynthetic rate of wheat leaves, especially the net photosynthetic rate of middle and lower canopy leaves. 3) With the increase of nitrogen

收稿日期: 2020-08-24

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技援疆项目(2016E02003)

第一作者: 张金汕, 讲师, 主要从事小麦高产栽培研究, E-mail: zhangjinshan0530@sina.com

通讯作者: 石书兵, 教授, 主要从事小麦高产栽培研究, E-mail: ssb@xjau.edu.cn

application, the stem sheath, leaf dry matter accumulation, dry matter transfer volume and transport rate of vegetative organs, dry matter transport contribution rate of vegetative organs to grains, spikelet, grains per spike and yield of wheat before flower first increased and then decreased. Compared with the regular planting, the uniform planting increased the dry matter transport volume, transport rate and yield of vegetative organs of wheat plants, spikelet, grains per spike and the yield of the two varieties reached the maximum at the level of N_{300} and N_{450} . At the levels of N_0 , N_{150} , N_{300} , N_{450} and N_{600} , the production of uniform planting ratio of 'XD 22' respectively increased by 11.79%, 5.36%, 4.55%, 5.24%, 8.73%, and of 'XD 46' increased by 10.98%, 7.07%, 14.81% and 14.55%, 16.10%. To sum up, the uniform planting pattern improved the population structure, the photosynthetic characteristics of middle and lower layer of winter wheat plants. It also promoted the transfer of organs to grain dry matter accumulation and nutrition, and increase production. and the yield increases were the highest at N applications of 300 and 450 kg/hm².

Keywords winter wheat; uniform planting pattern; N application; photosynthesis; yield

小麦匀播种植是生产上的一项增产新技术,与常规条播种植相比,匀播麦种的分布更均匀,更有利于小麦个体生长和构建合理群体,进而达到高产^[1]。赵广才等^[2]研究认为,小麦匀播种植创造了单株营养均衡的条件,使幼苗个体对土壤营养竞争减小,有利于壮苗和优势穗的形成。匀播小麦群体能均匀接受光照,群体光合效率较高,有助于干物质积累和提高产量。郝德有等^[3]研究表明,匀播麦苗疏密通过单株分蘖调节实现群体均匀,改善群体的通风透光性能,促进对光热资源的充分利用。张幸温等^[4]研究表明,匀播小麦的株距和播深一致,使小麦个体能够充分有效利用土地农田资源,提高了小麦有效分蘖数,增加小麦产量。

氮是作物产量最重要的养分限制因子^[5]。关于施氮对作物光合、干物质积累与转运、产量的影响,已有大量研究。一般认为,适宜的种植密度下,增加施氮量可使小麦群体净光合速率、干物质积累及产量在0~300 kg/hm²呈增大趋势,但超过300 kg/hm²时反而下降^[6-8]。施氮能促进小麦的光合作用,主要体现在直接和间接影响2个方面,直接影响是提高小麦叶片叶绿素含量,增强光合作用及抗氧化酶活性,进而提高光合速率,间接影响是通过增加小麦叶片数、增大叶面积和延缓叶片衰老从而增加光合有效面积^[9]。由此可知,有效延缓叶片的衰老,促进绿色叶片中光合产物持续地向籽粒中转运,是提高小麦产量的重要途径^[10],然而,匀播方式下关于施氮对小麦群体光合及干物质转运规律的相关研究则鲜见报道。本研究选用2个冬小麦品种,在不同种植方式下设置5个施氮量处理,比较分析常规条播和匀播下小麦植株光合、干物质积累和产量构成的形成规律,旨在探究匀播小麦的增产机制,以期新疆冬

小麦匀播技术的推广运用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2017—2018年在新疆农业科学院奇台麦类试验站(83°74' E, 43°98' N)进行。试验地土壤为灌溉灰漠土,试验前田间土壤肥力条件,见表1。播前施纯磷(P_2O_5) 150 kg/hm²。供试小麦品种为当地普遍栽培的'新冬22号'('XD 22')和'新冬46号'('XD 46')。前茬作物为玉米。

采用裂区试验设计,设种植方式为主区,共2个水平:匀播(UN),常规条播(DR);裂区为施氮量(N),共5个水平:0(N_0),150(N_{150}),300(N_{300}),450(N_{450})和600 kg/hm²(N_{600})。氮肥用量按施尿素的量进行,50%作为底肥施入,50%于拔节期施入(随滴灌水施入),于分蘖期、拔节期、抽穗期、灌浆期和蜡熟期进行5次滴灌浇水,灌水总量为4500 m³/hm²,其中当地生产上尿素施用量为400~450 kg/hm²。种植密度为225万株/hm²,播种分为人工匀播(采用打孔排种板固定株距)和人工条播,匀播株间距6.67 cm,常规条播行长5 m,行距20 cm,播深3~4 cm。试验小区为2 m×5 m=10 m²。其他管理措施同中产田一致。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 净光合速率(P_n)的测定

于花后0、7、14和21 d,用英国Hansatech公司生产的TPS-2光合仪,在晴天11:00—13:00,测定小麦群体上、中和下部叶片净光合速率(P_n),闭路系统,LED光源,叶室CO₂浓度为380 μmol/mol,光量子通量密度为1200 μmol/(m²·s),叶片温度为23~27℃,各处理选取挂牌标记的植株5株,取平均值。

表1 试验地土壤肥力条件

Table 1 Soil fertility conditions of the trial site

土层深度/ cm Soil depth	pH	有机质/ (g/kg) Organic matter	全氮/ (g/kg) Total N	碱解氮/ (mg/kg) Available N	速效磷/ (mg/kg) Available P	速效钾/ (mg/kg) Available K
0~20	8.08	2.47	0.34	30	9	135.70
>20~40	8.13	2.40	0.33	34	10	137.80
>40~60	8.12	1.27	0.34	31	11	128.90
>60~80	8.14	0.90	0.19	22	6	110.10

1.2.2 干物质和产量的测定

选取长势一致且同一天开花的植株挂牌标记,分别于开花后0和35 d(成熟期)取15株样,按茎鞘(茎秆+叶鞘)、叶片、籽粒、穗轴和颖壳等不同器官进行分样处理,于105℃杀青,80℃烘干至恒重,称重法测定干物质。成熟期选取10株样室内考种,并在各小区实收4 m²测产。干物质转运计算参照文献[11-12]:

干物质转运量(TAA) = 开花期营养器官干物质重 - 成熟期营养器官干物质重;

干物质转运率(TAR) = (开花期营养器官干物质 - 成熟期营养器官干物质) / 开花期营养器官干物质 × 100%。

1.3 数据处理及分析

用Excel 2007和DPS 7.05统计软件进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 匀播和施氮量对冬小麦群体的影响

2.1.1 对冬小麦分蘖成穗的影响

由表2可知,施氮量对单株成穗率无规律性影响。随着施氮量增大,‘新冬22号’单株茎数、单株成穗数均增大,‘新冬46号’单株茎数增大,而单株成穗数表现为先增大后减小。与DR相比,UN方式下‘新冬22号’和‘新冬46号’单株茎数分别提高10.18%和30.19%($P < 0.05$);单株成穗数分别增高5.88%和17.25%($P > 0.05$)。‘新冬22号’单株成穗率UN比DR低0.10%($P > 0.05$),而‘新冬46号’UN比DR高13.67%($P > 0.05$)。综上,匀播方式和一定范围内增施氮肥都能显著提高小麦单株茎数和单株成穗数,但对单株成穗率无显著

影响。

2.1.2 对冬小麦叶面积指数的影响

由图1可知,不同生育时期,播种方式和施氮量对小麦群体上、中和下部叶的影响不同。随着施氮量增大,不同播种方式下各冠层叶面积指数均呈增大趋势。播种方式对叶面积指数影响显著,与DR相比,在开花期和灌浆期,UN处理的‘新冬22号’上部叶叶面积指数分别提高1.59%和0.58%,中部叶分别提高2.58%和3.38%,下部叶分别提高5.99%和11.02%;‘新冬46号’在开花期和灌浆期,上部叶叶面积指数UN处理比DR高5.99%和11.02%,中部叶分别高6.06%和11.21%,下部叶分别高4.60%和5.64%。综上,增施氮肥和匀播方式均能增加小麦群体叶面积指数,且匀播方式对小麦灌浆期叶面积指数的影响显著。

2.2 匀播和施氮量对冬小麦叶片净光合速率的影响

由表3可知,随着施氮量增加,‘新冬22号’和‘新冬46号’不同冠层叶片在不同播种方式和生育时期,叶片 P_n 均表现为先增大后减小;在2种播种方式下,小麦的上、中和下部叶 P_n 均于 N_{450} 处理达到最大。

‘新冬22号’的上部叶片 P_n 在 N_0 、 N_{150} 、 N_{300} 、 N_{450} 和 N_{600} 处理下,UN比DR分别高5.75%、5.73%、5.53%、5.16%和1.33%,中部叶分别高4.84%、16.79%、2.56%、8.33%和11.31%,下部叶分别高20.18%、9.32%、3.19%、9.22%和27.95%。

‘新冬46号’上部叶片 P_n 在 N_0 、 N_{150} 、 N_{300} 、 N_{450} 和 N_{600} 处理下,UN比DR分别高7.74%、4.74%、1.60%、5.95%和17.09%,中部叶在 N_0 和 N_{600} 处理下分别下降0.45%和2.78%,而在 N_{150} 、

表 2 不同播种方式和施氮量下冬小麦的分蘖成穗情况

Table 2 Second tillers of winter wheat under different planting patterns and N application treatments

项目 Index	品种 Variety	种植方式 Planting pattern	N_0	N_{150}	N_{300}	N_{450}	N_{600}	平均 Average
单株茎数 Stem number per plant	XD 22	DR	4.47 c	4.67 c	5.00 b	5.77 a	5.63 a	5.11 b
		UN	4.87 d	5.07 d	5.47 c	6.06 b	6.67 a	5.63 a
		平均 Average	4.67 c	4.87 c	5.23 b	5.92 a	6.15 a	
	XD 46	DR	4.47 b	4.80 ab	5.07 ab	5.81 a	5.84 a	5.20 b
		UN	5.73 b	6.47 ab	6.57 ab	7.43 a	7.63 a	6.77 a
		平均 Average	5.10 c	5.63 bc	5.82 abc	6.62 ab	6.73 a	
单株成穗数 Panicle number per plant	XD 22	DR	2.33 b	2.40 b	2.47 b	2.80 a	2.73 a	2.55 a
		UN	2.12 d	2.43 c	2.78 b	3.01 a	3.14 a	2.70 a
		平均 Average	2.22 d	2.42 c	2.63 b	2.91 a	2.93 a	
	XD 46	DR	3.10 d	3.23 d	3.37 c	3.83 a	3.57 b	3.42 a
		UN	3.64 d	3.84 c	3.90 c	4.22 b	4.45 a	4.01 a
		平均 Average	3.37 c	3.54 b	3.64 b	4.03 a	4.01 a	
单株成穗率/% Percentage of earbearing tiller per plant	XD 22	DR	47.72 b	47.96 b	50.54 ab	51.47 a	51.50 a	49.84 a
		UN	57.49 a	50.10 b	45.12 c	47.22 bc	49.03 b	49.79 a
		平均 Average	52.61 a	49.03 b	47.83 b	49.35 b	50.27 ab	
	XD 46	DR	30.56 a	32.69 a	33.43 a	27.07 a	30.64 a	30.88 a
		UN	30.72 a	34.59 a	35.58 a	39.73 a	34.86 a	35.10 a
		平均 Average	30.64 a	33.64 a	34.51 a	33.40 a	32.75 a	

注：UN 为匀播方式，DR 为条播方式。‘XD 22’，‘新冬 22 号’；‘XD 46’，‘新冬 46 号’。 N_0 ，N 0 kg/hm²； N_{150} ，N 150 kg/hm²； N_{300} ，N 300 kg/hm²； N_{450} ，N 450 kg/hm²； N_{600} ，N 600 kg/hm²。同列不同小写字母，表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: UN indicate uniforming, DR indicate drilling. ‘XD 22’ indicate ‘Xindong 22’, ‘XD 46’ indicate ‘Xindong 46’. N_0 , N 0 kg/hm²; N_{150} , N 150 kg/hm²; N_{300} , N 300 kg/hm²; N_{450} , N 450 kg/hm²; N_{600} , N 600 kg/hm². Different letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 level. The same below.

N_{300} 和 N_{450} 处理下，分别增大 8.11%、13.16% 和 20.86%，下部叶分别比 DR 高 19.96%、3.83%、16.20%、21.53% 和 5.64%。综上，匀播方式能显著提高叶片 P_n ，且对不同冠层的影响由大到小为下部 > 中部 > 上部。

2.3 匀播和施氮量对冬小麦干物质转运、分配及产量的影响

2.3.1 对冬小麦成熟期干物质分配比例的影响

由表 4 可知，施氮量对成熟期小麦茎秆干物质占全株干物质的比例无显著影响，而叶片干物质比例、穗轴及颖壳干物质比例因品种和种植方式的不同而差异显著。其中，施氮量对‘新冬 22 号’干物质

在叶片中的分配比例无显著影响，但对‘新冬 46 号’有显著影响；随着施氮量的增高，‘新冬 22 号’干物质在籽粒中的分配比例呈增高趋势，而对‘新冬 46 号’无显著影响。

播种方式对茎秆干物质比例无显著影响。‘新冬 22 号’成熟期叶片干物质分配比例在不同播种方式下，无显著影响，而‘新冬 46 号’在匀播方式下比条播平均高 6.91%；‘新冬 22 号’穗轴+颖壳中的干物质分配在匀播下比条播高 7.79%，而‘新冬 46 号’则无显著差异；‘新冬 22 号’籽粒中的干物质分配比例在匀播方式下比条播高 10.06%，但‘新冬 46 号’无显著差异。

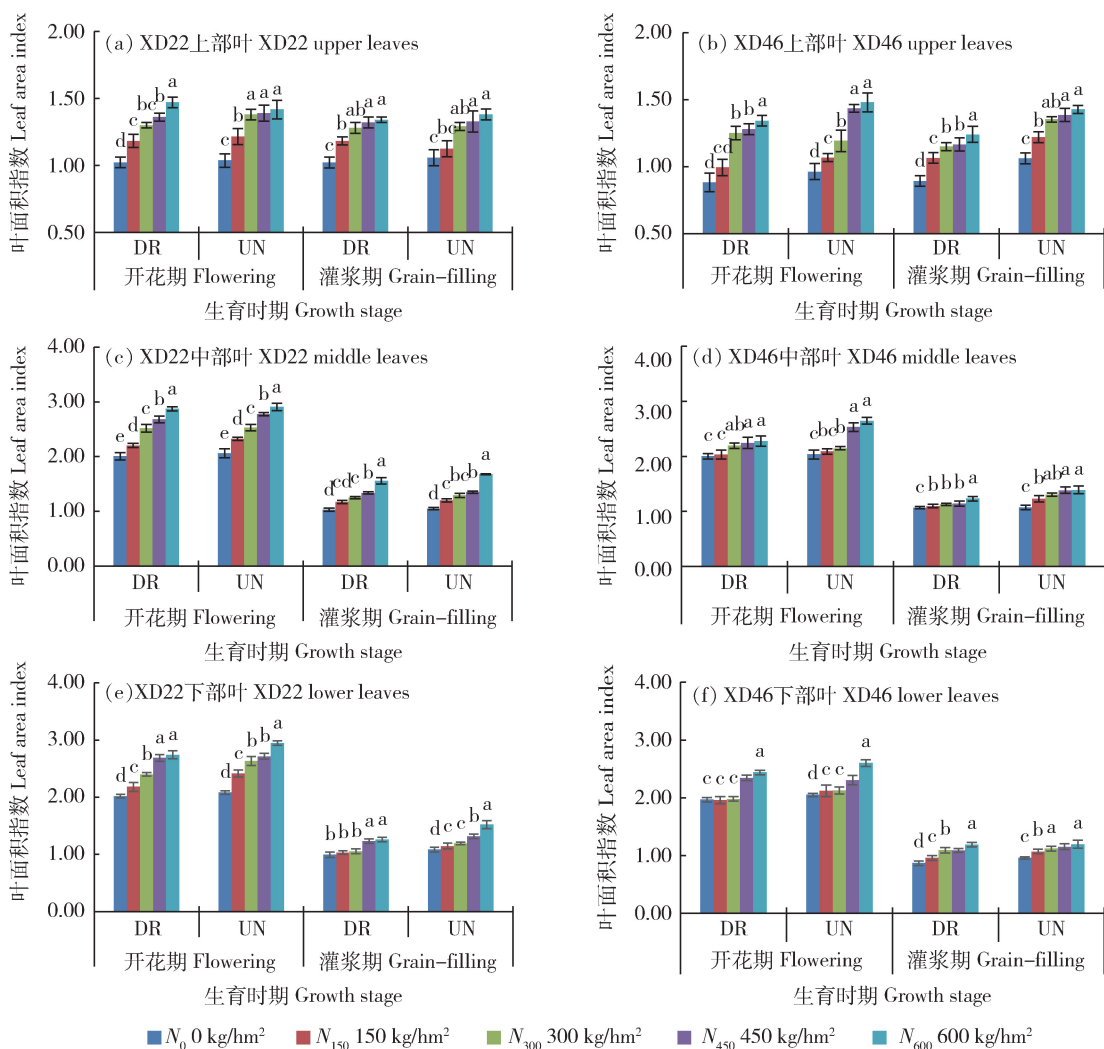


图1 不同播种方式和施氮量下冬小麦群体不同冠层叶面积指数的变化

Fig. 1 Change of leaf area index of winter wheat under different planting patterns and N application treatments

2.3.2 对冬小麦花后干物质转运的影响

由表5可知,‘新冬22号’茎鞘花后干物质转运量在DR下, N₆₀₀处理最大, UN下, N₄₅₀处理最大;花后干物质转运率在2种播种方式下,均是N₆₀₀处理达到最大;叶片干物质转运量随施氮量增大,在DR下先增大后下降,而转运率则无显著差异;营养器官总干物质转运量和转运率均随施氮量先增大后减小,且于N₃₀₀处理下达到最大;与DR相比,UN的转运量和转运率分别高出34.22%和48.50%。‘新冬46号’茎鞘花后干物质转运量与‘新冬22号’表现一致;花后干物质转运率在2种播种方式下,则均于N₄₅₀处理下达到最大;叶片干物质转运量和转运率均随着施氮量的增加先增大后下降。施氮量对穗轴+颖壳的干物质转运量和转运量影

响不显著。

UN显著提高小麦植株营养器官干物质转运量和转运率。‘新冬22号’茎鞘干物质转运量和转运率UN比DR分别高30.89%和21.32%,叶片干物质转运量和转运率分别高19.23%和3.96%,穗轴+颖壳干物质转运量和转运率分别高21.04%和8.61%。‘新冬46号’茎鞘的干物质转运量和转运率UN比DR高5.27%和2.76%,叶片干物质转运量高9.43%,干物质转运率无显著影响,穗轴+颖壳干物质转运量和转运率则分别高8.57%和2.22%。综上,在一定范围内,提高施氮量可以提高小麦营养器官干物质转运量和转运率,施氮量过度,则呈现下降趋势。匀播方式能提高植株营养器官干物质转运量和转运率。

表 3 不同播种方式和施氮量下冬小麦开花后叶片的 P_n
 Table 3 P_n of winter wheat after anthesis under different planting patterns and N application treatments $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{S})$

品种 Variety	种植方式 Planting pattern	上部叶 Upper leaves						中部叶 Middle leaves						下部叶 Lower leaves					
		N_0	N_{150}	N_{300}	N_{450}	N_{600}	N_0	N_{150}	N_{300}	N_{450}	N_{600}	N_0	N_{150}	N_{300}	N_{450}	N_{600}			
XD 22	DR	16.53 c	18.84 bc	21.71 b	24.24 a	21.06 b	14.06 b	14.53 b	16.80 a	17.89 a	15.65 ab	6.64 c	8.91 b	10.67 a	10.96 a	8.98 b			
	UN	17.48 c	19.92 bc	22.91 b	25.49 a	21.34 b	14.74 c	16.97 b	17.23 b	19.38 a	17.42 b	7.98 c	9.74 b	11.01 a	11.97 a	11.49 a			
	比率/% Ratio	5.75	5.73	5.53	5.16	1.33	4.84	16.79	2.56	8.33	11.31	20.18	9.32	3.19	9.22	27.95			
XD 46	DR	14.86 b	16.66 ab	17.45 a	17.98 a	14.45 b	11.20 bc	12.20 b	13.68 a	14.00 a	11.16 c	4.56 b	6.27 ab	7.10 a	6.41 a	5.67 b			
	UN	16.01 c	17.45 b	17.73 b	19.05 a	16.92 bc	11.25 c	13.19 b	15.48 a	16.92 a	11.47 b	5.47 b	6.51 b	8.25 a	7.79 a	5.99 b			
	比率/% Ratio	7.74	4.74	1.60	5.95	17.09	0.45	8.11	13.16	20.86	2.78	19.96	3.83	16.20	21.53	5.64			

表4 不同播种方式和施氮量下冬小麦成熟期干物质在不同器官中分配的比例
Table 5 Dry matter percentage in different varieties of winter wheat under different planting patterns and N application treatments

品种 Variety	播种方式 Planting pattern	施氮处理 Treatment of N fertilizer rate	茎鞘 Stem and sheath	叶片 Leaf	穗轴+颖壳 Spike axis and kernel hus	籽粒 Grain	%
XD 22	DR	N_0	31.99 a	10.67 a	10.34 a	47.00 b	
		N_{150}	32.18 a	10.23 a	10.17 a	47.42 b	
		N_{300}	31.51 a	10.59 a	10.32 a	47.59 b	
		N_{450}	31.05 a	10.31 a	9.98 a	48.66 ab	
		N_{600}	30.33 a	9.56 b	9.67 a	50.44 a	
		平均 Average	31.41 a	10.27 a	10.10 a	48.22 b	
	UN	N_0	28.67 a	9.42 a	8.94 a	52.98 a	
		N_{150}	28.33 a	9.67 a	9.49 a	52.51 a	
		N_{300}	28.04 a	9.89 a	9.80 a	52.27 a	
		N_{450}	26.50 a	9.42 a	9.10 a	54.98 a	
		N_{600}	28.16 a	9.74 a	9.50 a	52.60 a	
平均 Average		27.94 a	9.63 a	9.37 b	53.07 a		
XD 46	DR	N_0	32.13 a	9.16 a	9.87 b	48.84 b	
		N_{150}	31.55 a	9.07 a	9.86 b	49.51 ab	
		N_{300}	31.91 a	9.50 a	9.86 b	48.72 b	
		N_{450}	30.23 a	8.67 b	9.25 a	51.85 a	
		N_{600}	32.22 a	9.22 a	10.12 a	48.45 b	
		平均 Average	31.61 a	9.12 b	9.79 a	49.47 a	
	UN	N_0	31.29 a	9.37 b	9.98 b	49.35 a	
		N_{150}	32.15 a	9.64 ab	9.79 b	48.42 a	
		N_{300}	31.51 a	10.42 a	10.01 a	48.05 a	
		N_{450}	30.25 a	9.99 a	10.24 a	49.52 a	
		N_{600}	30.94 a	9.33 b	10.44 a	49.29 a	
平均 Average		31.23 a	9.75 a	10.09 a	48.93 a		

2.3.3 对冬小麦花前干物质转运对籽粒贡献的影响

由表6可知,施氮量和播种方式对植株营养器官干物质向籽粒转运的贡献率均有显著影响。2个品种在2种播种方式下,随着施氮量增加,呈先增大后下降。‘新冬22号’叶片干物质转运对籽粒的贡献随施氮量增大先增大后下降,而对‘新冬46号’则

无显著影响。穗轴+颖壳的贡献率随施氮量不同无显著变化。‘新冬22号’营养器官对籽粒总贡献率随施氮量先增大后下降,且2种方式下均于 N_{300} 处理最大。不同播种方式对‘新冬22号’营养器官总干物质贡献率有显著影响,而对‘新冬46号’营养器官总干物质贡献率无显著影响。

表 5 不同播种方式和施氮量下冬小麦花前干物质在不同器官中转运

Table 5 Dry matter percentage in different varieties of winter wheat under different planting patterns and N application treatments

品种 Variety	种植方式 Planting pattern	施氮处理 Treatment of N fertilizer	茎鞘 Stem and sheath		叶片 Leaf		穗轴+颖壳 Spike axis and kernel husk		营养器官总和 Total vegetative organs	
			TAA/ (kg/km ²)	TAR/%	TAA/ (kg/km ²)	TAR/%	TAA/ (kg/km ²)	TAR/%	TAA/ (kg/km ²)	TAR/%
XD 22	DR	N ₀	956.55 c	12.34 c	208 2.21 b	47.89 b	535.89 b	19.62 a	454 8.91 c	30.68 a
		N ₁₅₀	117 1.59 b	14.00 b	222 5.19 b	49.31 ab	533.15 b	18.99 a	508 2.13 b	32.40 a
		N ₃₀₀	134 7.53 a	15.61 ab	248 2.56 a	50.33 a	549.63 b	18.72 a	579 6.45 a	35.12 a
		N ₄₅₀	130 8.23 a	14.37 b	274 0.89 a	51.74 a	708.50 a	22.26 a	552 3.25 a	31.41 a
		N ₆₀₀	146 2.09 a	16.64 a	235 7.86 ab	50.51 a	637.98 a	21.46 a	424 6.10 c	25.85 b
	平均 Average	124 9.20 b	14.59 b	237 7.74 b	49.96 b	593.03 b	20.2 1a	503 9.37 a	31.09 a	
	UN	N ₀	146 3.45 c	17.00 b	252 3.83 b	51.80 a	623.24 c	21.85 a	292 6.73 c	17.92 a
		N ₁₅₀	158 7.42 b	17.50 ab	292 8.67 a	53.41 a	708.51 b	22.05 a	389 7.35 b	21.94 a
		N ₃₀₀	167 3.05 b	18.07 a	296 5.6 a	52.56 a	706.79 b	21.05 a	431 8.68 a	23.65 a
		N ₄₅₀	173 2.66 a	17.78 ab	305 7.69 a	51.78 a	808.35 a	22.70 a	258 7.48 c	13.47 b
N ₆₀₀		171 8.87 a	18.15 a	269 8.93 b	50.15 a	742.13 a	22.09 a	372 9.35 ab	20.47 a	
平均 Average	163 5.09 a	17.70 a	283 4.94 a	51.94 a	717.80 a	21.95 a	349 1.92 b	19.49 a		
XD 46	DR	N ₀	111 7.06 c	15.46 b	187 0.63 b	51.79 b	443.50 b	19.12 b	343 1.19 c	26.08 b
		N ₁₅₀	130 9.74 bc	17.30 ab	220 0.44 a	54.99 a	483.49 b	19.81 ab	399 3.67 b	28.50 a
		N ₃₀₀	137 0.41 b	17.38 ab	216 1.12 ab	52.70 ab	478.74 b	19.21 b	401 0.26 b	27.70 a
		N ₄₅₀	147 4.15 b	17.91 ab	237 3.63 a	55.05 a	558.70 a	21.28 a	440 6.48 a	29.05 a
		N ₆₀₀	183 0.13 a	22.58 a	211 4.48 ab	54.08 a	555.26 a	21.98 a	449 9.88 a	30.94 a
	平均 Average	142 0.30 a	18.13 a	214 4.06 b	53.72 a	503.94 a	20.28 a	406 8.30 b	28.45 a	
	UN	N ₀	120 9.28 b	16.49 b	205 8.76 b	52.89 b	573.14 a	22.68 a	384 1.17 b	27.93b
		N ₁₅₀	122 2.20 b	15.77 b	220 7.47 b	53.01 b	570.89 a	22.32 a	400 0.56 b	27.64b
		N ₃₀₀	166 1.19 a	19.97 a	232 0.60 ab	51.31 b	505.50 b	19.28 a	448 7.29 b	29.02 ab
		N ₄₅₀	184 2.74 a	21.51 a	272 9.88 a	55.14 a	537.95 a	19.11 a	511 0.57 a	31.29 a
N ₆₀₀		154 0.63 a	19.42 a	241 4.51 ab	55.61 a	548.10 a	20.26 a	450 3.24 ab	30.06 a	
平均 Average	149 5.21 a	18.63 a	234 6.24 a	53.59 a	547.12 a	20.73 a	438 8.57 a	29.19a		

注：TAA 表示干物质转运量，TAR 表示干物质转运率。

Note: TAA indicates dry matter transport volume, TAR is dry matter transport rate.

2.3.4 匀播和施氮量对冬小麦产量的影响

由表7可知,播种方式和施氮量对小麦穗数和产量构成的影响均显著。随着施氮量增大,2个品种穗数、穗粒数和产量均表现为先增加后减小。‘新冬22号’的穗数在2种播种方式下均于 N_{300} 水平下达到最大,‘新冬46号’在2种播种方式下

表现不同,DR于 N_{150} 水平达到最大,而UN在 N_{300} 水平最大。2个品种穗粒数均于 N_{450} 水平下达到最大。‘新冬22号’的千粒重在DR下表现为增加趋势,UN下表现为先增加后下降的趋势,‘新冬46号’在2种播种方式下均表现为先增加后下降。

表6 不同播种方式和施氮量下冬小麦花前贮藏物对籽粒的贡献率

Table 6 Contribution rate of pre-anthesis storage to grains of winter wheat under different planting patterns and N application treatments

品种 Variety	种植方式 Planting pattern	施氮处理 Treatment of N fertilizer	茎鞘/% Stem and sheath	叶/% Leaf	穗轴+颖壳/% Spike axis and kernel husk	营养器官总和/% Summation of vegetative organs
XD 22	DR	N_0	9.58 b	20.25 ab	5.37 ab	45.58 bc
		N_{150}	11.05 a	20.98 ab	5.03 b	47.92 b
		N_{300}	12.24 a	23.19 a	4.99 b	52.66 a
		N_{450}	10.85 ab	22.72 a	5.87 a	45.79 b
		N_{600}	12.00 a	19.35 b	5.24 ab	34.85 c
		平均 Average	11.14 a	21.30 a	5.30 a	45.36 a
	UN	N_0	10.91 a	19.11 ab	4.72 a	22.16 c
		N_{150}	11.45 a	21.12 a	5.11 a	28.10 b
		N_{300}	12.00 a	20.97 a	5.00 a	30.54 a
		N_{450}	10.42 a	18.39 b	4.86 a	15.56 c
		N_{600}	11.87 a	18.63 b	5.12 a	25.75 b
平均 Average		11.33 a	19.64 a	4.96 a	24.42 b	
XD 46	DR	N_0	12.16 b	20.36 a	4.83 a	37.35 a
		N_{150}	13.47 b	22.62 a	4.97 a	41.06 a
		N_{300}	13.92 ab	21.95 a	4.86 a	40.73 a
		N_{450}	12.83 b	20.66 a	4.86 a	38.36 a
		N_{600}	19.60 a	22.65 a	5.95 a	48.19 a
		平均 Average	14.40 a	21.65 a	5.09 a	41.14 a
	UN	N_0	12.65 b	21.54 b	6.00 a	40.19 b
		N_{150}	12.56 b	22.69 b	5.87 a	41.12 b
		N_{300}	16.53 a	23.09 ab	5.03 a	44.64 a
		N_{450}	16.89 a	25.02 a	4.93 a	46.84 a
		N_{600}	15.28 a	23.95 ab	5.44 a	44.66 a
平均 Average		14.78 a	23.26 a	5.45 a	43.49 a	

表 7 不同播种方式和施氮量下冬小麦的产量和产量构成

Table 7 Yield and its components of winter wheat under different planting patterns and N application treatments

品种 Variety	指标 Index	处理 Treatment	N_0	N_{150}	N_{300}	N_{450}	N_{600}	平均 Average	
XD 22	穗数/($10^4/\text{hm}^2$) Spikelet	DR	482.81 c	541.26 abc	593.91 a	558.25 ab	520.73 bc	539.39 b	
		UN	569.66 c	622.13 bc	701.30 a	657.29 ab	589.67 bc	628.01 a	
		平均 Average	526.23 c	581.69 bc	647.60 a	607.77 ab	555.20 bc		
	穗粒数 Grains per spike	DR	32.03 d	33.08 cd	34.01 bc	36.08 a	35.11 ab	34.06 b	
		UN	34.77 b	36.33 ab	36.77 ab	37.86 a	37.75 a	36.70 a	
		平均 Average	33.40 c	34.70 bc	35.39 ab	36.97 a	36.43 ab		
	千粒重/g 1 000-grain weight	DR	52.75 b	54.32 b	56.14 a	56.62 a	57.05 a	55.38 a	
		UN	51.62 c	53.03 bc	54.17 ab	55.31 a	54.82 ab	53.79 a	
		平均 Average	52.19 c	53.67 bc	55.15 ab	55.96 a	55.94 a		
	产量/(kg/hm^2) Yield	DR	7 066.70 c	7 866.71 b	8 233.38 ab	8 520.04 a	8 400.04 a	8 017.37 b	
		UN	7 900.04 d	8 288.71 cd	8 607.71 bc	8 966.71 ab	9 133.38 a	8 579.31 a	
		平均 Average	7 483.37 c	8 077.71 b	8 420.54 ab	8 743.38 a	8 766.71 a		
	XD 46	穗数/($10^4/\text{hm}^2$) Spikelet	DR	469.27 b	552.15 a	543.22 a	483.58 b	457.41 b	501.12 b
			UN	516.06 b	573.76 ab	607.09 a	572.46 ab	554.29 ab	564.73 a
			平均 Average	492.67 b	562.95 a	575.16 a	528.02 ab	505.85 b	
穗粒数 Grains per spike		DR	28.58 c	30.43 b	32.89 a	33.20 a	32.50 a	31.52 a	
		UN	30.33 c	31.57 bc	32.54 b	34.30 a	31.49 bc	32.05 a	
		平均 Average	29.46 d	31.00 c	32.72 ab	33.75 a	32.00 bc		
千粒重/g 1 000-grain weight		DR	48.08 c	49.15 bc	50.19 b	51.95 a	49.94 b	49.86 a	
		UN	47.10 c	47.75 bc	48.75 b	50.06 a	50.53 a	48.84 a	
		平均 Average	47.59 d	48.45 cd	49.47 bc	51.01 a	50.24 ab		
产量/(kg/hm^2) Yield		DR	5 766.70 c	6 133.37 c	6 300.03 bc	7 100.04 a	6 833.37 ab	6 426.70 b	
		UN	6 400.04 d	6 566.70 cd	7 233.37 bc	8 133.38 a	7 933.37 ab	7 253.37 a	
		平均 Average	6 083.37 c	6 350.03 bc	6 766.70 b	7 616.71 a	7 383.37 a		

‘新冬 22 号’的产量在 DR 下于 N_{450} 水平下达到最大,‘新冬 46 号’在 2 种播种方式下,均于 N_{300} 水平下达到最大。与 DR 相比,UN 显著提高小麦成穗数、穗粒数和产量,而千粒重表现为下降,其中,‘新冬 22 号’和‘新冬 46 号’在不同施氮水平下,穗数平均显著提高 7.01% 和 12.86%;UN 下‘新冬 22 号’的穗粒数平均增加 7.75%,‘新冬 46 号’增加 1.68%。在 N_0 、 N_{150} 、 N_{300} 、 N_{450} 和 N_{600} 水平下,‘新冬 22 号’的产量 UN 比 DR 分别提高 11.79%、5.36%、4.55%、5.24% 和 8.73%;‘新冬 46 号’则分别提高 10.98%、7.07%、14.81%、14.55% 和 16.10%。这表明,在一定范围内增施氮肥可以提高冬小麦产量及产量构成,而匀播则主要是通过增加小麦穗数进而增加产量。

3 讨论

3.1 播种方式和施氮量对小麦群体及光合特性的影响

小麦植株较高的干物质积累是小麦高产的前提^[13]。播种方式可以改变小麦群体的通风、透光状况,尤其能改变植株下部叶片的光合能力,进而改变小麦生物产量^[14]。De Bruin 等^[15]和 Jost 等^[16]研究表明,农作物产量与播种方式密切相关,优化作物空间布局和冠层结构,能提高群体光合效率,有利于提高单产。氮素对光合和产量形成有重要影响^[17]。研究表明,增大施氮量,小麦叶片的叶绿素含量提高,旗叶光合性能得到改善,可有效延长其绿色叶面积持续时间,进而有利于提高灌浆中、后期旗叶的光合速率^[18-19]。

本研究表明,施氮量和匀播都能显著提高小麦单株茎数和单株成穗数。这可能是由于匀播方式下氮肥在土壤中分布均匀,吸收也较均匀缓慢,不但满足了小麦生育前期的氮素需求,也为后期提供一定量的氮需求。研究还表明,施氮和匀播均提高群体叶面积指数,尤其生育后期,匀播方式主要增大群体中、下部的叶面积指数,这一结果主要由于匀播小麦群体结构更合理,改善群体微环境,延长中、下部叶的衰老,且条播方式下,行内和行间的透光差异较大,行内透光弱,行间透光强,而太弱或太强的光照均不利于叶绿素的生物合成,匀播方式小麦植株透光均匀,这可能是导致匀播小麦叶绿素含量提高的原因之一。

3.2 播种方式和施氮量对小麦干物质积累与转运的影响

Wang 等^[20]研究表明,在常规条播种植方式下,因株距过小,常造成小麦个体发育不良、田间通风透光条件差、资源利用率低和病虫滋生的现象,进而影响产量。孙运红等^[21]研究发现,小麦施氮量在 0~240 kg/hm² 时,随施氮量增加干物质积累增加。叶优良等^[13]认为,随着施氮增加,对小麦叶片、茎鞘花前贮存干物质向籽粒中转移的转运量呈增加趋势,其转运率和对籽粒的贡献率表现相同的变化规律。王月福等^[12]研究认为,随施氮量的增加,开花后营养器官贮存干物质的转运量、转运率和干物质转运对籽粒的贡献率均表现为先增大后下降,且于 180 kg/hm² 时达最大。史力超等^[22]研究表明,在滴灌条件下,增施适量的氮肥有利于小麦干物质的积累及其向籽粒的转运。本研究表明,在一定的范围内,增加施氮量有利于小麦茎鞘、叶片干物质的积累,同时,可以提高小麦营养器官干物质转运量、转运率和干物质转运对籽粒的贡献率;施氮量过度,则呈现下降趋势。与条播相比较,匀播方式增大了小麦叶片干物质的积累,尤其是能提高群体抽穗和开花期叶片、穗轴+颖壳的干物质的积累,且能提高植株营养器官干物质转运量和转运率。而匀播方式下,群体中下部叶的衰老延长,光合增强,因此,植株营养器官干物质转运量和转运率提高可能是合理的群体结构改变了不同冠层叶片干物质向籽粒中的转运比例。今后,可进一步研究匀播方式下,群体上、中和下部叶干物质的积累、分配和转运规律。

4 结论

一定范围内增施氮素能提高冬小麦单株茎数、单株成穗数,不同冠层叶片 P_n 均成先增大后下降,增加了小麦茎鞘、叶片干物质的积累,同时提高小麦营养器官干物质转运量和转运率,施氮量过度,则呈现下降趋势。匀播方式改善了群体结构,提高群体中、下部的光合特性,促进营养器官干物质积累和向籽粒中的转移,尤其提高群体穗数,进而提高产量,且本试验条件下,匀播方式施氮量为 300~450 kg/hm² 效果最佳。

参考文献 References

[1] 赵广才. 小麦立体匀播技术绿色节本高产高效[J]. 农民科技

- 培训, 2016(1): 42-44
- Zhao G C. The high-efficient and high-yield of three-dimensional well technology for green cost-saving wheat[J]. *Farmers Science and Technology*, 2016 (1): 42-44 (in Chinese)
- [2] 赵广才, 郝德有, 常旭虹, 王德梅, 杨玉双. 小麦立体匀播技术[J]. 农业科技通讯, 2015(7): 184-186
- Zhao G C, Hao D Y, Chang X H, Wang D M, Yang Y S. Wheat three-dimensional planting technology[J]. *Agricultural Science and Technology Communication*, 2015 (7): 184-186 (in Chinese)
- [3] 郝德有, 郝志青. 小麦机械化匀播无垄栽培理论与技术[J]. 北京农业, 2014(21): 15-17
- Hao D Y, Hao Z Q. Mechanized wheat sowing without ridge cultivation theory and technology[J]. *Beijing Agriculture*, 2014(21): 15-17 (in Chinese)
- [4] 张幸温, 付桂明, 刘松华, 李志轩. 浅谈小麦精量匀播技术[J]. 河北农机, 2015(6): 25-26
- Zhang X W, Fu G M, Liu S H, Li Z X. Introduction to wheat precise seeding technology[J]. *Hebei Agricultural Machinery*, 2015(6): 25-26 (in Chinese)
- [5] Schiltz S, Munier J N, Jeudy C, Burstin J, Salon C. Dynamics of exogenous nitrogen partitioning and nitrogen remobilization from vegetative organs in pea revealed by ¹⁵N in vivo labeling throughout seed filling[J]. *Plant Physiology*, 2005, 137(4): 1463-1473
- [6] 段文学, 于振文, 张永丽, 王东, 石玉. 施氮量对旱地小麦耗水特性和产量的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(9): 1657-1664
- Duan W X, Yu Z W, Zhang Y L, Wang D, Shi Y. Effects of nitrogen rate on the influence of the water consumption characteristics and yield of wheat in soil of dryland[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(9): 1657-1664 (in Chinese)
- [7] 马存金, 刘鹏, 赵秉强, 张善平, 冯海娟, 赵杰, 杨今胜, 董树亭, 张吉旺, 赵斌. 施氮量对不同氮效率玉米品种根系时空分布及氮素吸收的调控[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 845-859
- Ma C J, Liu P, Zhao B Q, Zhang S P, Feng H J, Zhao J, Yang J S, Dong S T, Zhang J W, Zhao B. Regulation of nitrogen application rate on temporal and spatial distribution of roots and nitrogen uptake in different N use efficiency maize cultivars[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2014, 20(4): 845-859 (in Chinese)
- [8] 张铭, 蒋达, 缪瑞林, 许轲, 刘艳阳, 张军, 张洪程. 不同土壤肥力条件下施氮量对稻茬小麦氮素吸收利用及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(1): 135-140, 148
- Zhang M, Jiang D, Liao R L, Xu K, Liu Y Y, Zhang J, Zhang H C. Effects of N application rate on nitrogen absorption, utilization and yield of wheat under different soil fertility after rice[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(1): 135-140, 148 (in Chinese)
- [9] 曹翠玲, 李生秀. 施氮水平对小麦生殖生长期旗叶净光合速率、NR活性和核酸含量及产量的影响[J]. 植物学通报, 2003, 20(3): 319-324
- Cao C L, Li S X. Effect of nitrogen level on the photosynthetic rate, NR activity and the contents of nucleic acid of reproduction[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2003, 20(3): 319-324 (in Chinese)
- [10] 罗培高, 任正隆, 吴先华, 张怀渝, 张怀琼, 冯娟. 延缓小麦衰老的结构和生物化学机制[J]. 科学通报, 2006, 51(18): 2154-2160
- Luo P G, Ren Z L, Wu X H, Zhang H Y, Zhang H Q, Feng J. Structure and biochemical mechanism of delaying senescence of wheat[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(18): 2154-2160 (in Chinese)
- [11] Witt C, Dobermann A, Abdurachman S. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia[J]. *Field Crops Research*, 1999(63): 113-118
- [12] 王月福, 于振文, 李尚霞, 余松烈. 氮素营养水平对小麦花后碳同化、运转和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(2): 55-59
- Wang Y F, Yu Z W, Li S X, Yu S L. Effect of nitrogen nutrition on carbon assimilation and transfer and yield after wheat anthesis[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2002, 22(2): 55-59 (in Chinese)
- [13] 叶优良, 王玲敏, 黄玉芳, 马迎辉, 李欢欢, 朱云集. 施氮对小麦干物质累积和转运的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(3): 488-493
- Ye Y L, Wang L M, Huang Y F, Ma Y H, Li H H, Zhu Y J. Effect of nitrogen application on dry matter accumulation and translocation in wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2012, 32(3): 488-493 (in Chinese)
- [14] 李升东, 王法宏, 司纪升, 孔令安, 冯波, 秦晓胜, 孙志刚. 不同种植模式下小麦干物质积累及分配对源库关系的影响[J]. 华北农学报, 2008(1): 87-90
- Li S D, Wang F H, Si J S, Kong L A, Feng B, Qin X S, Sun Z G. Effects of dry matter accumulation and distribution on source-sink relationships in wheat under different planting patterns[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008(1): 87-90 (in Chinese)
- [15] De bruin J L, Pedersen P. Effects of row spacing and seedling rate on soybean yield[J]. *Agronomy Journal*, 2008, 100(3): 704-710
- [16] Jost P H, Cothren J T. Growth and yield comparisons of cotton planted in conventional and ultranarrow row spacings[J]. *Crop*

- Science, 2000, 40(2): 430-435
- [17] Foulkes M J, Hawkesford M J, Barraclough, P B. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects [J]. *Field Crops Research*, 2009, 114(3): 329-342
- [18] Gao Y, Li Y, Zhang J. Effects of mulch, N fertilizer, and plant density on wheat yield, wheat nitrogen uptake, and residual soil nitrate in a dryland area of China [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 85(2): 109-121
- [19] 赵俊晔, 于振文. 施氮量对小麦旗叶光合速率和光化学效率、籽粒产量与蛋白质含量的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2006, 26(5): 92-96
Zhao J Y, Yu Z W. Effect of nitrogen fertilizer rate on photosynthetic rate and photochemical efficiency of flag leaf, grain yield and protein content of winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(5): 92-96 (in Chinese)
- [20] Wang F H, Xu H L, Wang X Q. Effect of raised bed planting on diseases and lodging resistance of wheat [J]. *Japanese Journal of Crop Science*, 2003, 72(1): 136-137
- [21] 张运红, 孙克刚, 杜君, 杜保池, 和爱玲, 丁华, 许为钢, 程小龙. 施氮水平对不同基因型优质小麦干物质积累、产量及氮素吸收利用的影响 [J]. *河南农业科学*, 2017, 46(4): 10-16
Zhang Y H, Sun K G, Du J, Du B C, He A L, Ding H, Xu W G, Cheng X L. Effect of application level of nitrogen on dry matter accumulation, yield and nitrogen uptake and utilization of different genotypes of high-quality wheat [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2017, 46(4): 10-16 (in Chinese)
- [22] 史力超, 朱云, 翟勇, 侯振安, 冶军. 施氮对滴灌春小麦干物质积累、转运及产量的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2015, 35(6): 844-849
Shi L C, Zhu Y, Zhai Y, Hou Z A, Ye J. Effect of nitrogen application on dry matter accumulation, translocation and yield of drip irrigation spring wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(6): 844-849 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅