

网络出版时间:2025-02-14

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20250214.1401.006

高低畦种植模式对黄河三角洲地区小麦植株形态、 产量和品质的影响

王宁,孙一鸣,何忠振,韩哲,于家川,武利峰,高琪,杨婕,刘树泽

(滨州市农业科学院,山东滨州 256600)

摘要:为明确高低畦种植模式对黄河三角洲地区小麦的效应,以小麦品种济麦22和衡观35为材料,小畦种植模式为对照,于2021-2023连续两年,研究了高低畦模式对小麦株高构成指数、叶面积指数、产量及其构成因素、籽粒品质等指标的影响。结果表明,与对照相比,高畦种植的小麦株高显著降低,穗下节和株高指数显著升高;低畦种植小麦株高明显增加,穗下节和株高指数显著降低;高、低畦小麦的叶面积、叶面积指数均有所增加,叶面积指数降低,穗数增加11.15%~20.26%,产量提高了9.73%~14.15%;高畦比低畦小麦具有更高有效穗数,用三分之一的土地面积贡献41.18%的产量。在籽粒品质方面,高畦和低畦小麦的蛋白质含量、湿面筋含量、稳定时间、延伸性、拉伸面积等品质指标均与对照差异不显著。综上所述,高低畦种植能显著提高小麦产量,对籽粒品质性状影响不显著;高畦较低畦小麦具有更高的群体数量,对产量贡献更大;高低畦种植可作为黄河三角洲地区小麦高产种植模式。

关键词:小麦;高低畦种植模式;植株形态;产量;品质

中图分类号:S512.1;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)03-0378-08

Influence of High- and Low-Ridge Planting Mode on the Morphology, Yield and Quality of Wheat in the Yellow River Delta Region

WANG Ning, SUN Yiming, HE Zhongzhen, HAN Zhe, YU Jiachuan,

WU Lifeng, GAO Qi, YANG Jie, LIU Shuze

(Binzhou Academy of Agricultural Sciences, Binzhou, Shandong 256600, China)

Abstract: To clarify the effects of high- and low-ridge planting patterns on wheat in the Yellow River Delta Region, the effects of high- and low-ridge planting mode on wheat plant height component index, leaf area index, yield and yield component factors, grain quality and other indicators were studied from 2021 to 2023, using wheat varieties Jimai 22 and Hengguan 35 as materials. The small ridge planting mode was used as control. The results showed that compared with the control, the plant height of wheat planted in high-ridge significantly decreased, while the peduncle and plant height index significantly increased. The plant height of wheat planted in low-ridge significantly increased, while the peduncle and plant height index significantly decreased. The leaf area and leaf area index of wheat in high- and low-ridge increased, while the functional leaf area index decreased. The number of spikes was increased by 11.15% to 20.26%, and the yield was increased by 9.73% to 14.15%. Wheat in high-ridge had more effective spikes than that in low-ridge did, contributing 41.18% of the yield with one-third of the planting area. In terms of wheat grain quality, there were no significant differences in protein content, wet gluten content, stability time, extensibility, and stretching area between high- and low-ridge wheat and the control. In summary, high- and low-ridge planting can

收稿日期:2024-03-08

修回日期:2024-04-28

基金项目:国家小麦产业技术体系项目(CARS-03-59)

第一作者 E-mail:wangningfy@163.com(王宁)

通讯作者 E-mail:lshuze@163.com(刘树泽)

significantly increase wheat yield, but has no significant impact on grain quality traits. High-ridge wheat has a higher population size and a greater contribution to yield compared to low-ridge wheat. High- and low-ridge planting can be used as a high-yield wheat planting mode in the Yellow River Delta Region.

Keywords: Wheat; High- and low-ridge planting; Plant morphology; Yield; Quality

黄河三角洲位属黄河冲积平原,处于华北低降水区,域内年均降水量约为 600 mm,且主要集中在夏季 7—8 月份,降水资源不足严重制约了该区农业的高质量发展。当前,引黄灌溉为当地农业的主要供水方式,黄河三角洲核心区年引黄灌溉的毛引水量高达 $2.43 \times 10^8 \text{ m}^3$,但供水总量仍低于作物需求量,农田净灌溉量缺口至少为 $1.26 \times 10^8 \sim 2.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1]。黄河三角洲麦区隶属于黄淮冬麦区,是中国小麦的主产区,保障该区域小麦高产与稳产对中国粮食安全具有重要意义^[2-3]。为了解决灌溉问题,提高小麦的水分利用效率,很多学者提出了不同的栽培方式和肥水管理措施^[4-11],并取得了良好的效果。

小畦种植是黄河三角洲麦区的主要种植模式,该模式较节水,但田埂占据全田面积的三分之一,土地资源利用率较低,限制了小麦产量的提升。小麦高低畦种植模式能保持较高的水分利用率,且能提高土地资源利用效率^[12];该模式是利用特定的机械将传统的畦埂加宽为高畦,原有畦面为低畦,使两个畦面形成 12~15 cm 高度差,高畦与低畦上均种植小麦^[13];灌溉时,高畦作为田埂发挥束水作用,低畦则作为水流通道,利用水分测渗实现高畦供水。这种模式能减少过水面积,加快水流推进速度,提高灌溉效率。刘俊明等^[14]研究发现,较于小畦种植和垄作种植,高低畦种植小麦的水分利用效率分别提升 7.69% 和 6.87%。WU 等^[15]认为,高低畦种植模式可通过降低株

高、减少受风面积增强小麦的抗倒伏性,从而提高产量。目前,有关小麦高低畦种植模式的研究相对较少,尤其是两种畦面小麦的植株形态、产量和品质间的差异。因此,本研究通过田间试验,对高低畦种植模式下小麦植株形态、产量和品质相关指标进行分析,以期为黄河三角洲地区小麦高产种植提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2021—2022、2022—2023 年度冬小麦生长季在山东省滨州市农业科学院博兴县店子镇马庄村试验点(118.29°E,37.06°N)进行。试验点位于华北平原冬小麦和夏玉米一年两熟种植区,年平均降水量为 600 mm,年均气温为 12.5 °C,年均日照时数 2 595 h,无霜期 180 d。土质为粉沙壤土,有机质含量 1.33%,碱解氮含量 59.69 mg·kg⁻¹,速效磷含量 10.67 mg·kg⁻¹,速效钾含量 127.57 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验采用小畦种植(图 1)和高低畦种植(图 2)两种模式,小畦种植(SBF)幅宽为 1.5 m,由畦面和田埂组成,畦面宽 1.0 m,田埂宽 0.5 m、高 15 cm,畦面种植四行小麦。高低畦种植幅宽 1.5 m,高畦呈梯形,上面宽 0.5 m,下部宽 0.7 m,低畦面宽 0.8 m,两畦面高度差为 0.12~0.15 m;高畦(HLC-H)播种 2 行小麦,低畦(HLC-L)播种

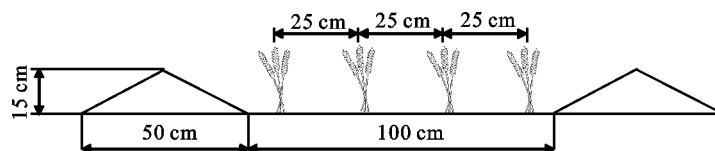


图 1 小畦种植示意图

Fig. 1 Diagram of small ridge planting

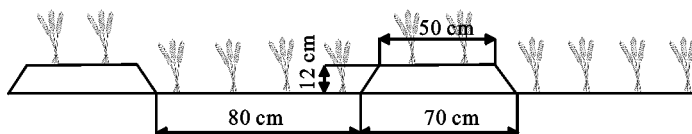


图 2 高低畦种植示意图

Fig. 2 Diagram of high and low-ridge planting

4 行。小区面积 667 m²,重复 3 次。试验所用小麦品种为当地主栽品种济麦 22(JM22)和衡观 35(HG35),播种时间为每年 10 月中旬,播种量为 120 kg·hm⁻²。所有处理肥料用量:氮肥 150 kg·hm⁻²,50%基施,50%拔节期追施;磷肥和钾肥均 120 kg·hm⁻²,全部基施。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 株高及株高构成指数测定

在成熟期,每个小区测量 15 株小麦的株高和各节间长度;计算株高及穗下节构成指数,株高构成指数(I_L)为穗下节和倒二节长度之和与株高的比值,穗下节构成指数(I_1)为穗下节长度与穗下节和倒二节长度之和的比值^[16]。

1.3.2 叶面积及叶面积指数测定

在小麦花后第 10 天,每个小区随机采集 15 个单茎,测叶片的长度(L_{ij})和最大叶宽(B_{ij}),二者之积乘 0.85 得到叶面积,结合群体密度计算小麦叶面积指数(LAI)。

$$LAI=0.85 \times \rho \times \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (L_{ij} \times B_{ij})}{m}$$

式中, n 为第 j 株的总叶片数, m 为测定株数, ρ 为种植密度。

1.3.3 生物量测定

在开花期和成熟期,每个小区采集 1 m 长度的小麦植株,去除根系,将植株分为穗、茎、叶鞘、叶片 4 部分,在烘箱 105 °C 杀青 30 min 后,80 °C 烘至恒重称干重。计算花前干物质转运量和花后干物质积累量及其对籽粒产量的贡献率^[17]。

花前干物质转运量=开花期植株干物质质量—

成熟期非籽粒干物质质量

花前干物质对籽粒产量贡献率=开花期干物质转运量/成熟期籽粒干重×100%

花后干物质积累量=成熟期干物质质量—开花期干物质质量

花后干物质对籽粒产量贡献率=开花后干物质积累量/成熟期籽粒干重×100%

1.3.4 产量及其构成因素测定

于成熟期,选取 1 m 行长代表性植株调查有效穗数;分别选取 50 穗调查小穗数、穗粒数和千粒重;收割行长 4 m 的小麦植株,脱粒、晾干后测重,并计算产量。

1.3.5 籽粒品质测定

小麦籽粒蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率、稳定时间、延伸性、拉伸面积、容重等指标使用瑞典 Perten DA7250 型近红外分析仪分析。

1.4 统计分析

试验数据采用 SPSS 23.0 进行统计分析,采用 Excel 2019 绘图。

2 结果与分析

2.1 种植模式对小麦株高及株高构成指数的影响

JM22 和 HG35 的穗下节长度均表现为 SBF >HLC-H >HLC-L,且 SBF 显著高于 HLC-L;在高低畦模式中,两品种 HLC-H 处理的穗下节长度均大于 HLC-L 处理(表 1)。两品种 HLC-L 处理的株高均显著高于 HLC-H 处理,增幅为 10.20%~14.18%;SBF 处理的株高介于二者之间,与二者差异均不显著。

表 1 不同模式下小麦株高相关指标

Table 1 Related indexes wheat plant height under different planting modes

年度 Year	品种 Cultivar	种植模式 Planting model	L_1 /cm	L /cm	I_1	I_L
2021—2022	JM22	HLC-H	23.96b	65.66b	0.562a	0.649a
		HLC-L	21.77c	74.97a	0.531b	0.547b
		SBF	26.29a	71.81ab	0.569a	0.644a
	HG35	HLC-H	22.62ab	68.17b	0.562b	0.591a
		HLC-L	20.85b	76.11a	0.532c	0.515c
		SBF	24.16a	73.25ab	0.581a	0.568b
2022—2023	JM22	HLC-H	24.31ab	63.17b	0.584a	0.659a
		HLC-L	22.84b	70.33a	0.553b	0.587b
		SBF	26.10a	68.73ab	0.591a	0.642a
	HG35	HLC-H	22.17ab	70.89b	0.562b	0.557a
		HLC-L	21.62b	78.12a	0.546c	0.507b
		SBF	24.18a	75.74ab	0.581a	0.549a

L :株高; L_1 :穗下节长度; L_2 :第二节间长度; I_1 :穗下节构成指数; I_L :株高构成指数。相同年度相同品种同列数据后不同小写字母代表不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

L : Plant height; L_1 : Length of the peduncle; L_2 : Second internode length; I_1 : Component index of the peduncle; I_L : Plant height component index. Different lowercase letters following data in same year, variety and column represent significant differences between different treatments at 0.05 level. The same in tables 2—5.

与 SBF 相比,两品种高低畦种植的穗下节 I_L 均有所降低, JM22 的 HLC-H、HLC-L 降幅分别为 1.18%~1.23%、6.43%~6.68%, HLC-L 与 SBF 处理间差异显著; HG35 的 HLC-H、HLC-L 分别降低 3.26%~3.27%、6.02%~8.43%, 三个处理间差异均显著; 两品种 HLC-H 处理的 I_L 均有所增加, JM22 和 HG35 增幅分别为 0.78%~2.65%和 1.46%~4.05%; 两品种 HLC-L 处理的 I_L 显著降低, JM22 和 HG35 降幅分别为 8.57%~15.06%和 7.65%~9.33%。

2.2 小麦叶面积及叶面积指数的变化

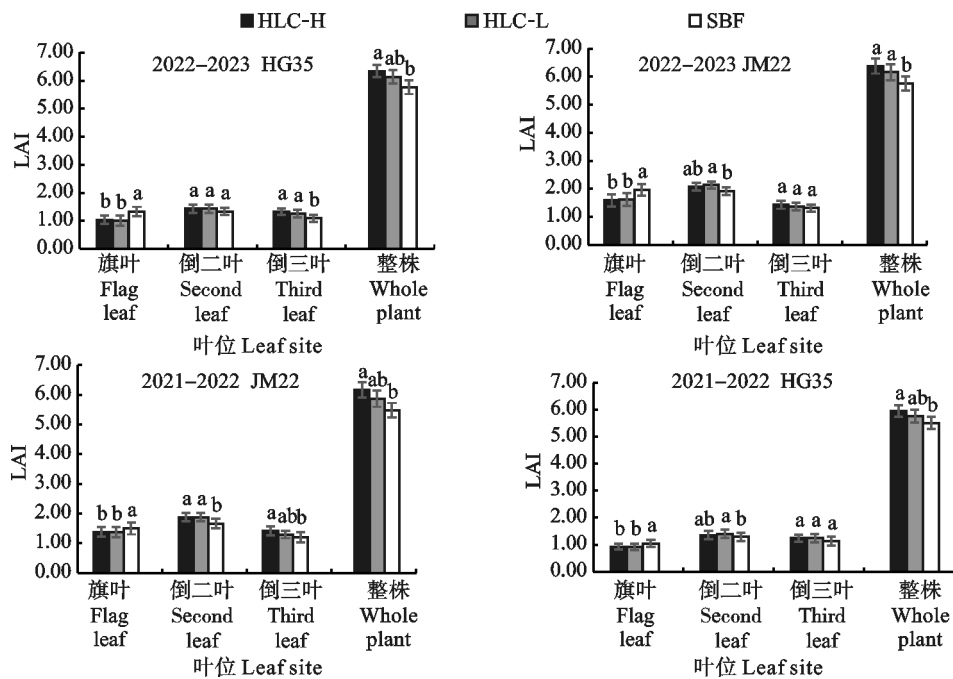
由表 2 可知, SBF 处理的旗叶叶面积最大,

2022—2023 年度显著大于 HLC-H 和 HLC-L 处理; 在高低畦种植模式中, HLC-H 处理的旗叶面积大于 HLC-L, 对 2021—2022 年度的 JM22, 二者间有显著差异。倒二叶、倒三叶及整株的叶面积均表现为 HLC-H>HLC-L>SBF, 且 HLC-H 与 SBF 间三个指标均呈现显著差异。SBF 处理整株叶面积偏小, 但其功能叶比率较高, 在 2022—2023 年度显著高于 HLC-H 和 HLC-L。

由图 3 可知, 灌浆期 JM22 和 HG35 的整株 LAI 表现为 HLC-H>HLC-L>SBF。两个年度中, JM22 和 HG35 的 HLC-H 处理 LAI 分别较 SBF 增加 12.41%、10.76%和 7.99%、9.80%, 差

表 2 不同种植模式下小麦灌浆期叶面积
Table 2 Leaf area of the wheat at grain-filling stage under different planting modes

年度 Year	品种 Cultivar	种植模式 Planting model	叶面积 Leaf area/cm ²				功能叶比率 Rate of functional leaves/%
			旗叶 Flag leaf	倒二叶 Second leaf	倒三叶 Third leaf	整株 Whole plant	
2021—2022	JM22	HLC-H	21.66a	27.58a	20.63a	90.38a	77.31ab
		HLC-L	19.67b	26.91a	18.52b	84.12ab	77.39ab
		SBF	21.98a	24.33b	17.61b	80.17b	79.73a
	HG35	HLC-H	17.54a	25.66a	23.45a	112.36a	59.32ab
		HLC-L	17.11a	26.12a	23.17a	107.68a	61.66a
		SBF	18.27a	22.46b	19.64b	96.11b	62.81a
2022—2023	JM22	HLC-H	23.06b	30.24a	20.88a	93.27a	79.53b
		HLC-L	21.88b	28.91a	18.54b	83.80ab	82.73b
		SBF	27.24a	26.69b	18.15b	80.01b	90.09a
	HG35	HLC-H	19.25b	26.33a	24.45a	116.98a	59.86b
		HLC-L	18.68b	26.74a	23.31a	114.5a	59.99b
		SBF	22.79a	23.04b	18.66b	99.05b	65.11a



相同叶位图柱上不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Different letters above columns of same leaf site mean significant differences among treatments ($P < 0.05$). The same in figure 4.

图 3 不同种植模式下小麦叶面积指数

Fig. 3 Leaf area index of wheat under different modes

异均显著;JM22 和 HG35 的 HLC-L 处理分别较 SBF 增加 7.12%、6.94%和 4.72%、6.41%,差异显著性不尽相同。两个品种 SBF 处理的旗叶 LAI 显著高于 HLC-H 和 HLC-L 处理,后两者间差异不显著;SBF 处理的倒二叶和倒三叶 LAI 均低于 HLC-H 和 HLC-L。

2.3 种植模式对小麦干物质转运特性的影响

由表 3 可知,花前干物质转运量及其对籽粒产量贡献率均表现为 HLC-H>SBF>HLC-L, HLC-H 显著高于 HLC-L 和 SBF 处理, HLC-L 与 SBF 处理间无显著差异。JM22 和 HG35 的花后干物质积累量及其对籽粒产量的贡献率

在三个处理间均无显著差异;花后干物质积累量对籽粒产量贡献率分别为 65.54%~73.03%与 79.91%~83.08%,说明籽粒干物质主要来自花后同化物积累。

2.4 种植模式对小麦产量及其构成因素的影响

由表 4 可知,2021—2022 年度、2022—2023 年度,高低畦模式下 JM22 的籽粒产量较 SBF 分别增加 14.15%、11.81%,HG35 增产幅度分别为 10.19%和 9.73%,差异均显著,说明高低畦种植模式可显著增加小麦产量。两个品种的 HLC-H 处理与 HLC-L 的产量占比分别为 38.90%~41.18%与 58.82%~61.10%。

表 3 不同种植模式下小麦单茎干物质转运及积累量

Table 3 Transport and accumulation of dry matter per stem under different planting modes

年度 Year	品种 Cultivar	种植模式 Planting model	开花前 Before anthesis		开花后 After anthesis	
			转运量 Translocation amount/g	对籽粒产量贡献率 Contribution to grain yield/%	积累量 Dry matter accumulation amount/g	对籽粒产量贡献率 Contribution to grain yield/%
2021—2022	JM22	HLC-H	3.36a	30.00a	7.84a	70.00a
		HLC-L	2.74b	26.96b	7.42a	73.03a
		SBF	2.88b	27.04a	7.77a	72.96a
	HG35	HLC-H	3.02a	20.09a	12.01a	79.91a
		HLC-L	2.60b	18.30b	11.61a	81.70a
		SBF	2.69b	19.34ab	11.22a	80.66a
2022—2023	JM22	HLC-H	2.96a	34.46a	5.63b	65.54b
		HLC-L	2.33c	28.35b	5.90ab	71.65a
		SBF	2.70b	30.46b	6.15a	69.54ab
	HG35	HLC-H	2.48a	18.30a	11.07a	81.70a
		HLC-L	2.25b	16.92b	11.06ab	83.08a
		SBF	2.35ab	18.12a	10.62b	81.88a

表 4 不同种植模式下小麦产量相关指标

Table 4 Wheat yield related indicators under different planting modes

年度 Year	品种 Cultivar	种植模式 Planting model	穗数 Spike number/ ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗粒数 Grain number	千粒重 1 000-grain weight/g	籽粒产量 Grain yield/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	万穗产量 10 000-spike yield/kg
2021—2022	JM22	HLC	702a			8 084a	
		HLC-H	273	36.81a	43.77a	3 329	12.21a
		HLC-L	429	35.96a	41.56a	4 755	11.06b
		SBF	616b	37.66a	43.81a	7 082b	11.49ab
	HG35	HLC	659a			7 308a	
		HLC-H	243	39.17a	43.14a	3 007	12.37a
		HLC-L	416	38.44a	43.35a	4 301	10.33b
		SBF	548b	40.21a	41.21a	6 632b	12.10a
2022—2023	JM22	HLC	676a			8 859a	
		HLC-H	265	41.00a	46.28a	3 631	13.73a
		HLC-L	412	37.08b	46.22a	5 228	12.70b
		SBF	608b	42.42a	44.71a	7 924b	13.02ab
	HG35	HLC	660a			8 014a	
		HLC-H	243	41.96a	44.89a	3 118	12.82a
		HLC-L	417	41.40a	44.61a	4 896	11.74b
		SBF	580b	42.81a	42.38a	7 303b	12.60a

在产量构成因素中,两个年度 JM22 的 HLC 处理的穗数较 SBF 处理分别增加 14.00%和 11.15%,HG35 分别增加 20.26%和 13.91%,且差异均显著,说明高低畦模式能显著增加小麦穗数;穗粒数和千粒重均表现为 SBF>HLC-H>HLC-L,但差异均不显著。

对小麦行穗数进行分析发现(图 4),行穗数从高到低依次为 SBF、HLC-H、HLC-L,其平均值分别为 147.04、127.94、104.08 · m⁻¹,三者间均呈现显著性差异。

由表 4 可知, JM22 和 HG35 的万穗产量分

别在 11.06~13.37 kg、10.33~12.82 kg 之间,且均表现为 HLC-H>SBF>HLC-L,说明 HLC-H 处理小麦更具有生产力。

2.5 种植模式对冬小麦籽粒品质的影响

由表 5 可知,不同处理对两个小麦品种的各品质指标效应不尽相同,蛋白质含量、湿面筋含量、稳定时间、延伸性和拉伸面积均表现为即 SBF>HLC-H>HLC-L;除 HG35 的 SBF 处理稳定时间、拉伸面积显著高于 HLC-L 外,其他指标在处理间无显著差异,说明高低畦模式对两个品种的籽粒品质影响不大。

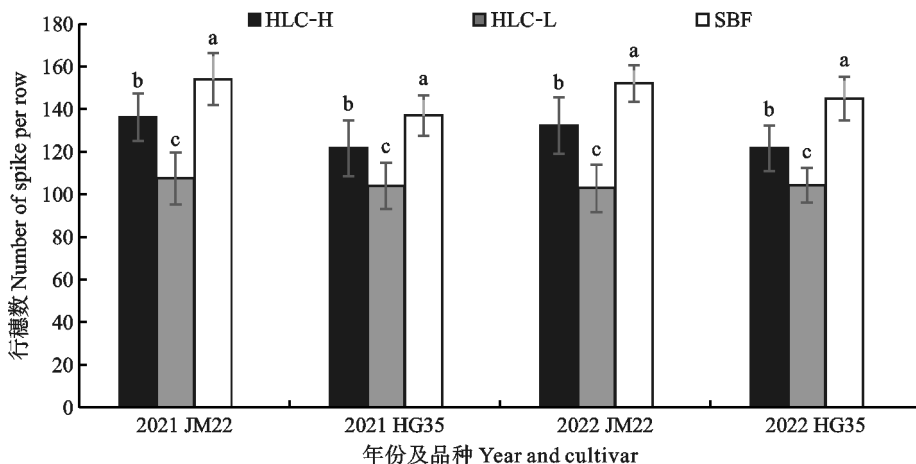


图 4 不同种植模式下小麦行穗数

Fig. 4 Spike number per row of wheat under different planting modes

表 5 2022—2023 年度不同种植模式下小麦品质性状

Table 5 Wheat grain quality traits under different planting modes in 2022—2023

品种 Cultivar	种植模式 Planting model	蛋白质含量 Protein content/%	湿面筋含量 Wet gluten content/%	吸水率 Water absorption/%	稳定时间 Stability time/min	延伸性 Extensibility/mm	拉伸面积 Stretching area/cm ²	容重 Test weight/(g · L ⁻¹)
JM22	HLC-H	13.21a	29.19a	65.40a	5.64a	134.38b	53.61a	797a
	HLC-L	12.81a	28.82a	65.34a	5.28a	132.60b	51.25a	795a
	SBF	13.66a	29.52a	65.77a	5.82a	145.36a	54.52a	795a
HG35	HLC-H	13.39a	28.90a	61.78a	6.02ab	141.58a	60.17ab	798a
	HLC-L	13.32a	28.78a	61.79a	5.86b	140.96a	55.58b	796a
	SBF	13.45a	29.98a	62.02a	6.27a	146.67a	61.67a	800a

3 讨论

高低畦种植模式是一种全田覆盖的种植方式,土地利用接近 100%,较小畦模式空间相对封闭,通过高畦形成的不透水屏障有效减少了土壤水分的无效蒸发,实现增产与节水的有机结合。然而,高畦与低畦在光照、热量、水分和空间利用上的差异,会对小麦的生长形态、品质其产量产生

影响。

朱新开等^[18]提出小麦植株的生产力可以通过其株高和穗下节间构成指数评估;刘兆晔等^[19]则发现,株高及各节间构成指数与产量间呈正相关,穗下节间构成指数与产量呈极显著正相关。在本研究中,高低畦模式对小麦的株高及其构成指数、叶面积及其指数均产生了显著影响;低畦种植的小麦植株为了获得更多的光热资源,株高增

加,导致株高及穗下节构成指数的下降;高畦种植小麦具有空间优势,株高相对较低,使株高指数提高,形成更理想群体结构,这可能是高低畦模式高产的关键因素之一。

叶面积及 LAI 是衡量小麦光合效率和群体规模适宜性的重要指标。在小麦生长过程中,功能叶特别是旗叶对籽粒灌浆贡献最大^[20]。本研究显示,相较于对照,高低畦种植模式显著提高了小麦整株 LAI,旗叶面积、旗叶 LAI 和功能叶所占比例有所下降。对光能效率而言,减小上部叶片面积有利于优化群体内部的通风和光照条件,而增大下部叶片面积则有利于减少漏光损失。高低畦模式有利于小麦植株构建理想光效利用株型,但也可能会造成下部叶片的过度密集,增加生长后期如白粉病等病害发生的风险。

本研究发现,高低畦模式能够显著提高小麦穗数,对穗粒数、千粒重的影响不大;高低畦模式较小畦模式增加三分之一的播种行数,但其行穗数有所减少,这可能是产量增幅仅为 11.15%~20.26% 的原因。衡量生产力,发现高畦模式每万穗小麦的产量最高,结合行穗数优势,高畦仅占用三分之一的土地产出高达 41.18% 的小麦产量。在 2022—2023 年度,两小麦品种在高低畦模式下的穗数与 2021—2022 年度差异不大,但产量、穗粒数、千粒重以及万穗产量均有所上升。这可能与 2022 年初小麦拔节期黄河三角洲地区出现严重的倒春寒有关,加之同年 6 月中下旬气温过高,引发干热风灾害,导致 2021—2022 年度的产量降低。鉴于此,在开展后续研究时,应考虑外部环境因素的影响,并通过相应的影响系数对试验结果进行校正。高低畦种植模式实现了产量的显著增长,对籽粒的蛋白质含量及其他品质参数,如湿面筋含量、面团稳定时间、延伸性和拉伸面积等影响不显著。祁皓天等^[21]研究表明,小麦湿面筋含量及其形成和稳定时间,随着密度的增加而呈现下降的趋势。丁明亮等^[22]也发现,种植密度的增加对小麦蛋白质含量、湿面筋含量、容重及形成时间等产生了负面影响。本研究与上述结果相似。

当前,黄河三角洲麦区推广的高低畦种植主要为“两高四低”模式,但该模式是否为最优的生产模式,仍有待进一步的验证和研究。在本研究中,相较于低畦,高畦模式能够构建利于高产的理想株型且具有更多的群体数量,因而产量更高。鉴于此,后续可通过扩展高畦面积、优化高畦

小麦种植行数等试验,设置更优的高、低畦面配比,以期找到能够实现最高产量和最佳品质的种植模式。

4 结论

在黄河三角洲麦区,高低畦种植模式能显著提升小麦的产量,增产幅度为 9.73%~14.15%,但对籽粒品质影响不大;与低畦种植小麦相比,高畦种植具有更优的植株形态和群体数量,穗数对产量的贡献更大。

参考文献:

- [1]左强,吴训,石建初,等.黄河三角洲滨海盐碱地可持续利用的水土资源约束与均衡配置策略[J].中国工程科学,2023,25(4):169.
ZUO Q, WU X, SHI J C, et al. Constraints and coordinated allocation strategies of water and land resources for sustainable use of coastal saline-alkali land in the Yellow River Delta [J]. *Strategic Study of CAE*, 2023, 25(4): 169.
- [2]茹振钢,冯素伟,李淦.黄淮麦区小麦品种的高产潜力与实现途径[J].中国农业科学,2015,48(17):3388.
RU Z G, FENG S W, LI G. High-yield potential and effective ways of wheat in Yellow & Huai River valley facultative winter wheat region [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(17): 3388.
- [3]朱保磊,陈金平,师令智,等.黄淮麦区小麦品种(系)籽粒硬度分布及其对品质和产量性状的影响[J].安徽农业科学,2021,49(10):35.
ZHU B L, CHEN J P, SHI L Z, et al. Distribution of wheat varieties (lines) hardness in Huanghuai wheat region and their influence on yield and quality characters [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(10): 35.
- [4]YANG W, LIU W, LI Y, et al. Increasing rainfed wheat yield by optimizing agronomic practices to consume more subsoil water in the Loess Plateau [J]. *The Crop Journal*, 2021, 9(6):1427.
- [5]LIU Y, LIN Y, HUO Z, et al. Spatio-temporal variation of irrigation water requirements for wheat and maize in the Yellow River Basin, China, 1974—2017 [J]. *Agricultural Water Management*, 2022, 262:107451.
- [6]王磊,樊廷录,闫妍,等.不同覆盖栽培对旱作冬小麦土壤水分、产量和品质的影响[J].水土保持学报,2023,37(3):248.
WANG L, FAN T L, YAN Y, et al. Effect of different mulch cultivation on soil moisture, yield and quality of dryland winter wheat [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2023, 37(3):248.
- [7]LIU Y, LIAO Y, LIU W. High nitrogen application rate and planting density reduce wheat grain yield by reducing filling rate of inferior grain in middle spikelets [J]. *The Crop Journal*, 2021, 9(2):412.

- [8]李瑞雅,孙敏,任爱霞,等.耕作模式和播种方式对旱地小麦产量形成的影响[J].干旱地区农业研究,2022,40(2):25.
LI R Y,SUN M,REN A X,*et al.* Effects of tillage and seeding methods on yield formation of dryland wheat [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*,2022,40(2):25.
- [9]刘环环,刘强,任红晓,等.水肥运筹对强筋小麦产量和品质的影响[J].河北农业科学,2023,27(5):56.
LIU H H,LIU Q,REN H X,*et al.* Effects of different micro irrigation fertilization modes on yield and benefits of winter wheat [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*,2023,27(5):56.
- [10]LI D,ZHANG D,WANG H,*et al.* Optimized planting density maintains high wheat yield under limiting irrigation in North China Plain [J]. *International Journal of Plant Production*,2020,14(1):115.
- [11]董浩,毕军,夏光利,等.灌溉和种植方式对冬小麦生育后期旗叶光合特性及产量的影响[J].应用生态学报,2014,25(8):2265.
DONG H,BI J,XIA G L,*et al.* Effects of irrigation and planting patterns on photosynthetic characteristics of flag leaf and yield at late growth stages of winter wheat [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2014,25(8):2265.
- [12]耿爱民,武利峰,刘渤,等.一种小麦高低畦种植方法:CN104718937A[P].2015-06-24.
GENG A M,WU L F,LIU B,*et al.* A kind of wheat high and low furrow planting method:CN104718937A [P].2015-06-24.
- [13]武利峰,吴艳芳,杨婕,等.一种两高四低高低畦种植施肥播种一体机:CN209824364U[P].2019-12-24.
WU L F,WU Y F,YANG J,*et al.* A kind of high and low cultivation planting, Fertilization and Sowing Machine: CN209824364U [P].2019-12-24
- [14]刘俊明,高阳,司转运,等.栽培方式对冬小麦耗水量、产量及水分利用效率的影响[J].水土保持学报,2020,34(1):210.
LIU J M,GAO Y,SI Z Y,*et al.* Effects of cultivation methods on water consumption yield and water use efficiency of winter wheat [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2020,34(1):210.
- [15]WU L F,HAN X W,ISLAM S,*et al.* Effects of sowing mode on lodging resistance and grain yield in winter wheat [J]. *Agronomy*,2021,11(7):1378.
- [16]魏燮中,吴兆苏.小麦植株高度的结构分析[J].南京农业大学学报,1983,6(1):15.
WEI X Z,WU Z S. Architectural analysis of plant height of common wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*,1983,6(1):15.
- [17]张振,赵俊晔,石玉,等.不同播幅对小麦花后叶片光合特性和产量的影响[J].作物学报,2024,50(4):983.
ZHANG Z,ZHAO J Y,SHI Y,*et al.* Effects of different sowing space on photosynthetic characteristics after anthesis and grain yield of wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*,2024,50(4):983.
- [18]朱新开,郭文善,李春燕,等.小麦株高及其构成指数与产量及品质的相关性[J].麦类作物学报,2009,29(6):1037.
ZHU X K,GUO W S,LI C Y,*et al.* Relationship of plant height component indexes with grain yield and quality in wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2009,29(6):1037.
- [19]刘兆晔,于经川,牟春生,等.小麦株高构成指数的研究[J].莱阳农学院学报,2000,17(2):123.
LIU Z Y,YU J C,MOU C S,*et al.* A study on the plant height component indexes of wheat [J]. *Journal of Laiyang Agricultural College*,2000,17(2):123.
- [20]钮力亚,王伟伟,王伟,等.小麦功能叶对产量及其构成因素的影响[J].作物研究,2018,32(4):295.
NIU L Y,WANG W W,WANG W,*et al.* Effect of functional leaf of wheat on yield and yield components [J]. *Crop Research*,2018,32(4):295.
- [21]祁皓天,董永利,李川,等.播种方式和播量对冬小麦‘西农20’产量及品质的影响[J].西北农业学报,2021,30(1):32.
QI H T,DONG Y L,LI C,*et al.* Effects of sowing method and sowing rate on yield and quality of winter wheat ‘Xinong 20’ [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*,2021,30(1):32.
- [22]丁明亮,刘佳,李绍祥,等.小麦新品种‘云麦110’产量和品质性状对不同种植密度的响应[J].中国农学通报,2022,38(24):1.
DING M L,LIU J,LI S X,*et al.* Responses of yield and quality traits of new wheat variety ‘Yunmai 110’ to different planting densities [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2022,38(24):1.