



播种密度与播种方式对小麦不同穗位结实特性及产量的影响

梁翠丽¹,田向东²,海江波¹,乔佳秀¹,罗洁¹,米璐璐¹

(1.西北农林科技大学农学院,陕西杨凌 712100;2.陕西省咸阳市淳化县农业技术推广中心,陕西咸阳 711200)

摘要 为探讨不同播种密度与播种方式对小麦穗部结实特性及产量的影响,以播种密度为主区,设4个水平:D1(112.5 kg/hm²)、D2(150 kg/hm²)、D3(187.5 kg/hm²)、D4(225 kg/hm²);播种方式为副区,设置为宽幅播(K)、条播(T)、穴播(X)。结果表明:小麦群体总茎数随播种密度的增加而增加,苗期为:X>K>T,返青期和收获期为:T>X>K。不同穗位结实小穗数、小穗结实率、小花数均在高播种密度(D3、D4)下达到最大值。X和K在高密度下更有利于改善小穗和小花结实特性,尤其是对下部穗位效果更显著。随播种密度的增加,产量、穗粒数和千粒质量均呈先减后增趋势,X的产量和穗粒数表现均优于K和T,产量在D4X组合达到最大值(10 062.83 kg/hm²),说明穴播配合高播种密度(D3、D4)可在增产的同时使产量构成因素更加协调。穗部结实特性对小麦产量有着重要影响,上部穗位结实特性指标与产量及其构成要素基本呈负相关,下部穗位结实特性指标与产量及其构成要素基本呈正相关。因此,适当提高播种密度时,配合穴播或宽幅播,对增产和改善不同穗位结实特性具有积极作用。

关键词 播种方式;播种密度;穗位;结实特性;产量

中图分类号 S512.1;S352.2;S352.3 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2021)06-0796-11

小麦在粮食生产中占有重要地位,其产量和品质受基因型和环境(生态条件和栽培技术)的综合影响,播种密度和播种方式是其中重要的栽培技术。播种密度适宜是保证小麦高产的必要条件之一,播种密度过小,易浪费土地;播种密度过大,易影响幼苗发育,导致生长缓慢,最终影响产量^[1]。播种密度的调整可有效协调小麦单位面积穗数与穗粒数、千粒质量的关系,进而获取高产^[2]。适当增加播种密度有利于提高有效穗数,从而增加产量,但当播种密度超过一定范围后,会导致穗粒数和千粒质量降低,从而导致产量降低^[3]。王夏等^[4]则认为随着播种密度的增加,有效穗数增加,穗粒数减少,千粒质量无明显变化规律。通过改变播种方式可以建立合理的小麦群体结构,可协调个体与群体关系,为高产奠定基础^[5]。郑飞娜等^[6]研究发现,与条播相比,宽幅播种配合高播种密度能够有效缓解单位面积穗数增加与单穗粒质量降低之间的矛盾。也有研究^[7]结果表明,宽幅播种比条播增产6.3%~11.6%,增产效果显著。

禾本科植物的穗部性状发育存在着不均衡性^[8],这种不均衡性在小麦穗部性状发育上表现出“近中优势”特征,即小麦中部穗位的籽粒比靠近基部和顶部穗位的籽粒发育好、产量高、品质优^[9]。小麦穗部性状发育的不均衡性在一定程度上限制着小麦籽粒产量的提高^[10]。为了充分挖掘小麦籽粒产量潜力,前人围绕小麦不同穗位的粒数、粒质量、品质做了比较系统的研究^[11-12],但主要集中在播种密度^[13]、施氮量^[14]、叶面喷素等对其的影响方面^[15]。而关于播种密度与播种方式及其互动对小麦穗部结实特性在不同穗位的分布特征以及对产量的影响研究较少。因此,探究播种密度与播种方式对小麦不同穗位结实特性及其产量的影响,揭示小麦不同穗位籽粒发育变化规律及其不同穗位籽粒的增产效应,这对丰富小麦高产栽培理论具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

本试验于2019年—2020年在西北农林科技

收稿日期:2021-01-16 修回日期:2021-04-09

基金项目:陕西省2021年度创新能力支撑计划(2021XYSF-12)。

第一作者:梁翠丽,女,硕士研究生,从事旱区高效农作制度与作物栽培技术的研究。E-mail:2749098719@qq.com

通信作者:海江波,男,副教授,硕士生导师,主要从事高效农作制度及农业生态的研究。E-mail:haijiangbo@126.com

大学斗口农作物试验示范站进行。该试验示范站位于东经 108°52', 北纬 34°37' 的陕西省咸阳市泾阳县云阳镇兴隆村。试验年份平均气温 10.65 °C, 小麦全生育期降水量为 122.68 mm (图 1)。试验地土壤为壤土, 耕层 (0~60 cm) 土壤基础养分含量为: 全氮含量为 1.39 g/kg、速效氮含量为 86.8 mg/kg、速效磷含量为 16.83 mg/kg、速效钾含量为 232.07 mg/kg, 有机质含量为 18.02 g/kg、pH 7.9, 属于中等肥力。试验地前茬夏季休闲, 播种前旋耕两次整地。

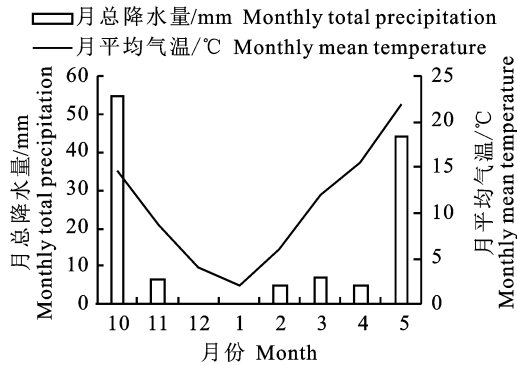


图 1 试验期间气象条件

Fig. 1 Meteorological conditions during trial

1.2 试验设计

本试验采用二因素随机区组设计, 播种密度为主区, 播种方式为副区, 播种密度设置 4 个水平, 分别为: D1 (112.5 kg/hm²)、D2 (150 kg/hm²)、D3 (187.5 kg/hm²)、D4 (225 kg/hm²); 播种方式设宽幅播 (K)、条播 (T)、穴播 (X) 3 个处理, 3 次重复, 共 36 个小区, 每个小区面积 7 m² (3.5 m × 2 m)。条播行距 22 cm, 幅宽 2 cm; 宽幅播行距 25 cm, 幅宽 8 cm; 穴播行距 25 cm, 穴距 13.5 cm。播种密度根据试验品种的千粒质量 47 g 进行折算, 其中穴播方式每穴播种密度分别为 8、11、13、16 粒。试验施肥水平相同: 小麦复混肥 (N-P₂O₅-K₂O 比例为 24-15-5): 尿素 (含氮 46.4%, 施氮量 390 kg/hm²) + 过磷酸钙 (含 P₂O₅ 13%, 施肥量 937.5 kg/hm²) + 硫酸钾钙 (含 K₂O 24%, 施肥量 157.5 kg/hm²), 均以基肥的形式于旋耕整地前一次性施入。试验于 2019 年 10 月 1 日播种, 2020 年 6 月 3 日收获。试验品种为冬小麦品种“西农 805”。试验田其他措施同高产田栽培技术要求。

1.3 测定项目与方法

苗期和返青期总茎数: 在小麦的出苗期选取 1 m 的样段进行标记, 调查样段两侧的麦苗数量

作为苗期总茎数。在小麦返青期对苗期预留样段内的样品进行统计调查, 作为返青期总茎数, 统计结果单位均以万株/hm² 记录。

穗位划分: 小麦穗下部 4 个小穗为下部穗位、上部 4 个小穗为上部穗位, 其余为中部穗位。

采样方法: 小麦开花后, 在每个小区随机选取生长发育良好、长势一致的 15 株小麦进行标记, 小麦成熟时采样。按照不同穗位从下至上, 剥取每个小穗, 统计不同穗位小穗数、每个小穗的小花数和粒数, 并分别将剥好的 15 个麦穗按照不同穗位进行称重, 计算不同穗位小穗结实率、小花结实率和粒质量等。

产量统计: 小麦成熟后, 统计每个小区的 1 m 双行样段内的穗数, 在每个小区选取代表性麦穗 20 个, 统计其单穗籽粒数, 求得平均值。收获后, 晒干去杂, 使用数粒板数取 1 000 粒籽粒, 进行称量, 重复 3 次取平均值作为千粒质量。最后计算其理论产量。

1.4 数据处理

采用 WPS 2019 对试验数据进行整理, 应用 SPSS 26.0 对数据统计分析, 利用 Origin 2020 进行作图, 采用 Duncan's 法进行多重比较和差异显著性分析。

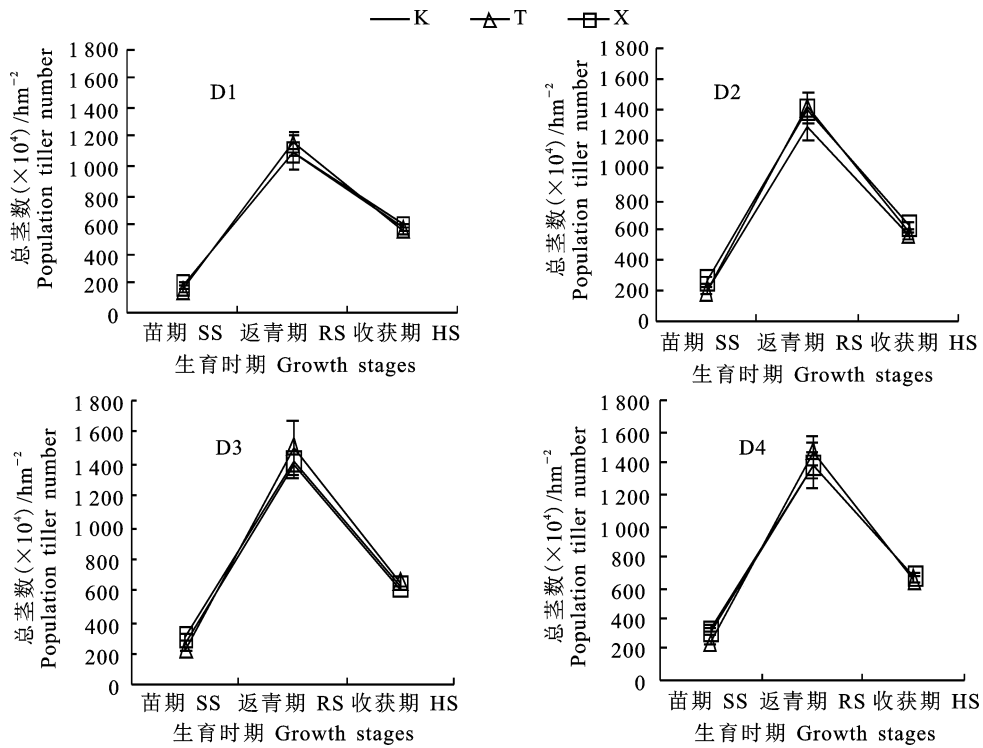
2 结果与分析

2.1 播种密度与播种方式对小麦群体结构动态变化的影响

由图 2 可知, 总茎数随小麦生育期的推进呈先增后减的趋势, 并在返青期达到高峰。总茎数在苗期和收获期均随播种密度的增加而增加, 增幅分别为: 11.30% ~ 65.45% 和 3.94% ~ 14.92%; 在返青期则随播种密度的增加呈先增后减的趋势, 并在 D3 达到最大值, 较其他播种密度增幅为: 1.43% ~ 29.27%。总茎数在不同播种方式间表现为: 苗期 X > K > T, X 分别较 T 和 K 显著增加了 30.28%、14.56%; 返青期和收获期 T > X > K, 其中, T 较 X 和 K 在返青期分别增加了 2.79% 和 7.85%, 收获期分别增加了 2.95% 和 6.30%。上述结果表明, 播种密度对总茎数的影响大于播种方式, 高密度 (D3) 条播 (T) 更有利于返青期和收获期穗数的增加。

2.2 播种密度与播种方式对小麦穗部经济性状的影响

2.2.1 对不同穗位结实小穗数的影响 由表 1



D 代表播种密度, K、T 和 X 分别代表宽幅播、条播和穴播。SS、RS 和 HS 分别代表苗期、返青期和收获期, 下同

D stands for seeding rate, K, T and X stand for wide precise sowing, drill sowing and dibbling sowing respectively. SS, RS and HS stand for seedling stage, rejuvenation stage and harvest stage respectively, the same below

图 2 不同处理下的群体结构动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of population structure under different treatments

表 1 不同处理下的结实小穗数

Table 1 Number of fertile spikelets under different treatments

处理 Treatment		结实小穗数 Fertile spikelet			总 Total
密度 Density	播种方式 Sowing method	下部 Bottom	中部 Middle	上部 Upper	
D1	K	0.67 bc	13.33 ab	0.73 e	14.73 a
	T	0.87 a	13.80 ab	1.07 cde	15.73 a
	X	0.93 a	13.67 ab	1.37 bc	15.97 a
D2	K	0.40 bc	13.01 b	1.47 abc	14.88 a
	T	0.35 c	13.65 ab	1.27 bc	15.27 a
	X	0.73 abc	13.47 ab	1.60 ab	15.80 a
D3	K	0.60 abc	13.87 ab	1.33 bc	15.80 a
	T	0.63 abc	13.33 ab	1.07 cde	15.03 a
	X	0.80 ab	13.27 ab	1.80 a	15.87 a
D4	K	0.67 abc	14.00 ab	1.13 cde	15.80 a
	T	0.73 abc	14.47 a	0.80 de	16.00 a
	X	1.00 a	13.53 ab	1.20 bcd	15.73 a
方差分析 Variance analysis	D	4.350 *	1.550	8.423 **	0.883
	M	5.683 *	0.843	12.642 **	1.772
	D×M	2.412 *	1.048	5.722 **	1.197

注: D、M 分别代表播种密度、播种方式; D×M 交互效应。同一列的不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。*、** 分别表示在 5%、1% 水平上差异显著。K、T、X 分别代表宽幅播、条播和穴播, 下同。

Note: D and M represent seeding rate and sowing mode, respectively; D×M Interaction effects. Different letters within the same columns indicate significant differences at 0.05 level. * and ** mean significant differences at 5% and 1% levels, respectively. K, T and X represent wide precise sowing, drill sowing and dibbling sowing, respectively, the same below.

可知,播种密度、播种方式及其互作对下部穗位结实小穗数影响显著,对上部穗位结实小穗数影响达极显著,对中部穗位和总结实小穗数影响不显著。不同穗位结实小穗数表现为:中部>上部>下部。相同播种方式下,随播种密度的增加,下部和中部穗位结实小穗数均呈先减后增的趋势,上部穗位结实小穗数呈先增后减的趋势。相同播种密度下,X较K和T显著提高了下部和上部穗位结实小穗数。总结实小穗数则随播种密度的增加呈先减后增的趋势,并在D4处达到最大值,X更有助于提高结实小穗数。上述结果表明,高播种密度(D4)配合穴播(X)更有利于增加结实小穗数。

2.2.2 对不同穗位小花数的影响 如图3所示,

仅有播种密度对中部穗位小花数、上部穗位小花数、总小花数影响显著,播种方式以及播种密度与播种方式互作对不同穗位小花数均无显著影响。不同穗位小花数表现为:中部>上部>下部。K和X下,不同穗位小花数除上部穗位小花数外,均随播种密度的增加呈先减后增的趋势,并在D4处达最大值,但处理间显著不差异。高播种密度下,不同穗位小花数基本表现为:X>K>T,处理间差异不显著。且下部穗位小花数、中部穗位小花数和总小花数均在D4X处理达最大值,上部穗位小花数最大值也出现在D3X处理,由此可知,穴播(X)配合高播种密度(D3、D4)更有利于增加小花数。

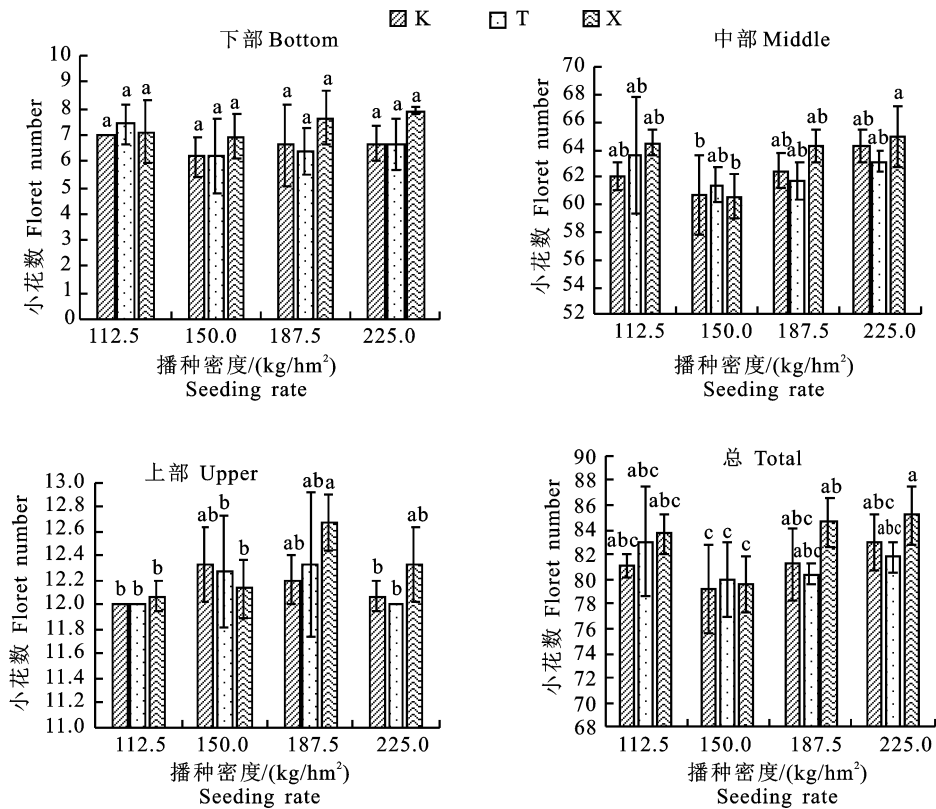


图3 不同处理下的小花数

Fig. 3 Number of florets under different treatments

2.2.3 对不同穗位结实率的影响 由表2可知,播种密度和播种方式对下部穗位小穗结实率有显著影响,对上部穗位小穗结实率有极显著影响,对中部穗位小穗结实率影响不显著。且不同穗位小花结实率表现为:中部>上部>下部。相同播种方式下,随播种密度的增加,下部和中部穗位小穗结实率呈先减后增的趋势,上部穗位小穗结实率呈先增后减的趋势。高播种密度下,X比K和T更有利于提高不同穗位小穗结实率。上述结果表

明,下部穗位和上部穗位小穗结实率对播种密度和播种方式的改变更敏感,穴播(X)配合高播种密度(D3、D4)更有利于提高小穗结实率。

2.2.4 对不同穗位的小花结实率的影响 由图4可知,播种密度对下部穗位小花结实率和总小花结实率有显著影响,播种方式对中部穗位小花结实率有显著影响,播种密度和播种方式互作对下部穗位小花结实率有极显著影响。不同穗位小花结实率表现为:中部>下部>上部。相同播种

方式下,随播种密度的增加,中部和上部穗位小花结实率呈先增后减的趋势,并在 D3 处达到最大值。相同播种密度下,中部和上部穗位小花结实率均表现为:T>K>X,而 X 处理的下部穗位小

花结实率表现优于 K 和 T。可见,X 有利于下部穗位小花结实率提高,而 D3T 处理更有利于中部穗位和上部穗小花结实率的提高。

表 2 不同处理下的小穗结实率

Table 2 Seed setting rate of spikelets under different treatments

处理 Treatment		小穗结实率/% Spikelet setting rate			总 Total
密度 Seeding rate	播种方式 Sowing method	下部 Bottom	中部 Middle	上部 Upper	
D1	K	16.67 abc	96.50 a	18.33 e	66.64 b
	T	21.67 a	96.54 a	26.67 cde	70.13 ab
	X	23.33 a	95.69 ab	34.17 bc	70.27 ab
D2	K	9.92 bc	92.14 b	36.67 abc	68.95 ab
	T	8.75 c	95.49 ab	31.67 bc	68.49 ab
	X	18.33 abc	95.43 ab	40.00 ab	70.59 ab
D3	K	15.00 abc	95.41 ab	33.33 bc	70.10 ab
	T	15.83 abc	92.76 ab	26.67 cde	67.95 b
	X	20.00 ab	95.31 ab	45.00 a	73.03 a
D4	K	16.67 abc	95.43 ab	28.33 cde	68.90 ab
	T	18.33 abc	94.34 ab	20.00 de	68.56 ab
	X	25.00 a	95.83 ab	30.00 bcd	71.10 ab
方差分析 Variance analysis	D	4.350 *	1.391	8.423 **	0.487
	M	5.683 *	0.457	12.642 **	4.227 *
	D×M	2.412 *	1.14	5.722 **	1.374

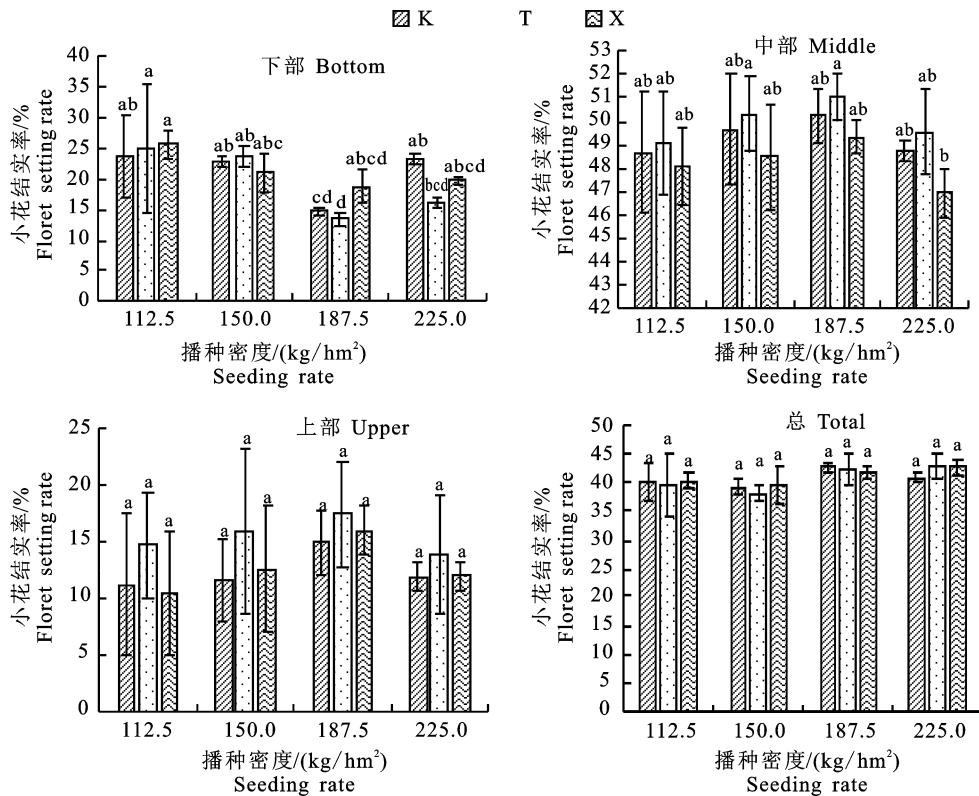


图 4 不同处理下的小花结实率

Fig. 4 Seed setting rate of florets under different treatments

2.2.5 对不同穗位粒质量的影响 粒质量对小麦产量提高具有决定性作用。由表 3 可知,播种密度和播种方式及其互作对上部穗位粒质量的影响达极显著水平,播种方式、播种密度与播种方式互作对不同穗位粒质量影响均达显著或极显著水平。不同穗位粒质量表现为:中部>下部>上部。除上部穗位粒质量外,随播种密度的增加,K 的不同穗位粒质量均呈先减后增的趋势,并在 D4 处达最大值;在 X 和 T 条件下,则呈先增后减的趋势,并在 D3 处达最大值。相同播种密度下,不

同穗位粒质量均表现为 K 和 X 优于 T。上述结果表明,K 与 X 在播种密度水平较高时对粒质量的影响更显著,这对于进一步挖掘小麦产量潜力具有重要意义。

2.3 播种密度与播种方式对小麦产量构成因素及产量的影响

由表 4 可知,播种密度和播种方式及其互作对产量和有效穗数的影响达显著或极显著水平,播种密度对穗粒数、千粒质量也有极显著影响,而播种方式对穗粒数和千粒质量影响不显著。相同

表 3 不同处理下的不同穗位穗粒质量

Table 3 Spikelet mass of different spikelet positions under different treatments

处理 Treatment		穗粒质量/mg Spikelet mass			总 Total
密度 Seeding rate	播种方式 Sowing method	下部 Bottom	中部 Middle	上部 Upper	
D1	K	80.13 a	1 543.48 abc	29.43 d	1 653.04 abc
	T	43.67 c	1 349.41 cd	32.73 d	1 425.81 e
	X	60.70 abc	1 418.52 bcd	59.34 b	1 538.57 bcde
D2	K	49.27 c	1 334.57 d	49.26 bcd	1 433.10 de
	T	48.79 c	1 390.54 bcd	36.43 cd	1 475.75 cde
	X	62.19 abc	1 493.06 abcd	62.49 b	1 617.73 abcd
D3	K	59.80 bc	1 516.51 abcd	59.06 b	1 635.38 abcd
	T	55.85 bc	1 450.92 abcd	45.27 bcd	1 552.04 abcd
	X	75.76 ab	1 575.88 ab	82.07 a	1 733.71 ab
D4	K	72.47 ab	1 618.82 a	59.19 b	1 750.49 a
	T	46.56 c	1 332.34 d	45.31 bcd	1 424.21 e
	X	72.29 ab	1 512.37 abcd	55.84 bc	1 640.51 abcd
方差分析 Variance analysis	D	2.005	2.076	6.155 **	2.756
	M	11.864 **	5.647 **	16.229 **	8.298 **
	D×M	4.173 **	2.727 *	5.545 **	3.439 **

表 4 不同处理下的产量及产量构成因素

Table 4 Yield and yield component factors under different treatments

处理 Treatment		有效穗数/ ($\times 10^4$)/hm ⁻² Spike number	穗粒数 Grains per spike	千粒质量/g 1 000-kernel mass	产量/ (kg/hm ²) Yield
密度 Seeding rate	播种方式 Sowing mode				
D1	K	574.00 fg	33.02 ab	47.67 a	9 068.17 b
	T	560.76 g	32.46 abc	47.28 a	8 228.83 cde
	X	594.33 defg	32.47 abc	46.90 a	8 414.00 bcd
D2	K	560.67 g	31.47 bc	47.04 a	7 466.83 e
	T	583.71 efg	32.10 abc	46.62 a	8 010.00 de
	X	625.33 cd	32.08 abc	46.45 a	8 367.00 bcd
D3	K	604.67 def	30.93 c	46.38 a	8 179.17 de
	T	646.21 bc	30.97 c	46.22 a	7 999.00 de
	X	619.33 cde	31.89 abc	46.41 a	8 405.83 bcd
D4	K	682.33 ab	33.43 a	47.13 a	10 057.67 a
	T	659.12 abc	31.93 abc	47.43 a	8 979.50 bc
	X	687.33 a	33.09 ab	47.64 a	10 062.83 a
方差分析 Variance analysis	D	37.423 **	5.328 **	2.730 **	31.933 **
	M	4.623 *	0.953	0.179	5.007 **
	D×M	12.533 **	2.167	0.957	11.388 **

播种方式下,随播种密度的增加,产量、穗粒数和千粒质量均呈先减后增的趋势,产量、有效穗数均在 D4 处达到最大值。相同播种密度下,X 的产量、有效穗数和穗粒数表现优于 K 和 T。在 D4X 处理,产量最高(10 062.83 kg/hm²),有效穗数也最高(687.33×10⁴/hm⁻²),穗粒数和千粒质量也与最大值差异不显著,说明穴播(X)配合高播种密度(D3、D4)可在增产的同时使产量构成因素更加协调。

2.4 穗部结实特性与产量及其构成要素的相关性分析

由表 5 可知,穗部结实特性对小麦产量有着重要影响。在所有穗部结实特性指标中,与产量

呈显著正相关的,从大到小分别是:下部穗粒质量、下部结实小穗数、下部小穗结实率、中部穗粒质量和单穗粒质量;与有效穗数呈显著正相关的是结实小穗数;与穗粒数呈显著正相关的,从大到小分别是:中部穗位小花数、下部穗位小花结实率、总小花数、下部穗位粒质量,与穗粒数呈显著负相关的是中部和上部穗位小花数;与千粒质量呈显著负相关的是上部穗位结实小穗数及其结实率。此外,上部穗位结实特性指标与产量和产量构成要素基本呈负相关,下部穗位结实特性指标与产量和产量构成要素基本呈正相关,说明可以从提高下部穗位结实特性入手,从而提高产量。

表 5 穗部结实特性与产量及其构成要素的相关性

Table 5 Correlation between spikelet setting characters and yield and its components

性状 Character	穗位 Spikelet position	产量 Yield	有效穗数 Spike number	穗粒数 Grains per spike	千粒质量 1 000-kernel mass
小花数 Floret number	下 Bottom	0.157	0.164	0.265	0.055
	中 Middle	0.211	0.241	0.365 *	0.061
	上 Upper	-0.108	0.05	-0.308	-0.085
	总 Total	0.206	0.248	0.341 *	0.057
小花结实率 Floret setting rate	下 Bottom	0.168	-0.209	0.357 *	0.132
	中 Middle	-0.254	-0.012	-0.446 **	-0.16
	上 Upper	-0.099	0.132	-0.381 *	-0.051
	总 Total	-0.008	0.214	0.069	-0.043
结实小穗数 Fertile spikelet	下 Bottom	0.346 *	0.265	0.164	0.117
	中 Middle	0.066	0.3	0.207	0.001
	上 Upper	-0.225	-0.072	-0.282	-0.367 *
	总 Total	0.075	0.331 *	0.11	-0.134
小穗结实率 Spikelets setting rate	下 Bottom	0.346 *	0.265	0.164	0.117
	中 Middle	0.291	0.079	0.284	0.095
	上 Upper	-0.225	-0.072	0.282	-0.367 *
	总 Total	0.099	0.157	-0.098	-0.108
穗粒质量 Spikelet mass	下 Bottom	0.367 *	-0.048	0.332 *	0.055
	中 Middle	0.338 *	0.157	0.175	-0.101
	上 Upper	0.086	0.161	-0.068	-0.048
	总 Total	0.343 *	0.152	0.179	-0.088

注: * 和 ** 分别表示相关性达到 0.05 和 0.01 显著水平。

Note: * and ** indicate that correlation reaches significant level of 0.05 and 0.01, respectively.

3 讨论

3.1 播种密度与播种方式对小麦群体结构动态变化的影响

小麦群体结构和功能是小麦产量形成的基

础^[16],合理的播种方式和播种密度能够创建合理的群体结构,促进小麦群体与个体协调发展^[17]。安霞等^[18]研究发现小麦群体总茎数在整个生育期内表现为先增后减的趋势,并于返青期达最大值,本试验结果与此表现一致。播种密度显著影

响小麦群体茎蘖消长^[19],有研究表明,随播种密度的增加,基本苗数、高峰分蘖数、有效穗数均增加,但当播种密度过大时,基本苗过多,无效分蘖增多,群体竞争激烈,最终会导致成穗率降低。在本试验中,播种密度对苗期总茎数、收获期总茎数有显著影响,苗期、返青期、收获期总茎数均随着播种密度的增加而增加,其中,返青期总茎数在D4处略微下降,与羊彬等^[20]研究结果一致。石玉华等^[21]研究发现,宽幅播在越冬前、拔节前以及成熟期的单株和群体分蘖数、成穗数均显著高于条播;条播小麦的单位面积茎蘖数和最高分蘖数大于穴播^[22]。本试验发现,不同播种方式间,基本苗数表现为: $X > K > T$,返青期和收获期总茎数均表现为: $T > X > K$,与前人研究^[21-22]结果一致。

3.2 播种密度与播种方式对小麦穗部结实特性的影响

有研究表明穗部特性对小麦产量有重要作用^[23-24],小麦穗粒数^[13]、粒质量^[25]和品质^[26]等在不同穗位和粒位间均存在近中优势。本研究中,不同穗位结实小穗数、小穗结实率、小花数均呈:中部 $>$ 上部 $>$ 下部;而不同穗位小花结实率和粒质量呈:中部 $>$ 下部 $>$ 上部,这与李豪圣等^[12]的研究结果一致,说明下部穗位小花结实率的提高可有效增加粒质量。有研究发现播种密度对小穗和小花发育具有调控效应^[27],结实小穗数、穗粒数、粒质量^[28]随播种密度的增加而减少^[29]。本研究表明,高播种密度(D3、D4)有利于不同穗位小穗和小花的发育,尤其是对下部穗位效果更加显著。赵奇等^[30]研究发现X的小穗数、结实小穗数、穗粒数、产量均高于T。本研究发现,X和K在高密度(D3、D4)下更能够发挥出改善不同穗位小穗和小花结实特性、提高穗粒质量的优势,尤其是下部穗位的穗粒质量对播种密度和播种方式的改变更敏感,这与贺明荣等^[31]研究的结论相似。因此,增加播种密度,利用X或K播种方式,改善下部穗位和上部穗位小穗、小花结实特性,进而提高粒质量,对进一步挖掘小麦超高产潜力十分重要。

3.3 播种密度与播种方式对小麦产量构成及产量的影响

小麦产量构成三要素中对于产量进一步提升贡献最重大的因素是穗粒数^[32]。播种密度对产量构成和产量均有影响,但影响程度随环境而

异^[33]。本研究中,随播种密度的增加,产量、穗粒数和千粒质量均呈先减后增的趋势,产量、有效穗数均在D4达到最大;不同播种方式间,X的产量、有效穗数、穗粒数大于K和T,说明X配合高播种密度(D3、D4)可在增产的同时使产量构成因素更加协调。就产量构成因素来说,播种密度和播种方式对千粒质量的调控效应小于对穗粒数和有效穗数的调控效应,这与邵玉伟等^[34]和Twizerimana等^[35]的研究结果相似。闫雪等^[36]指出小穗数、穗粒数和粒质量之间相互影响,生产上不能仅依靠一个性状来增加产量。本研究结果表明,穗部结实特性对小麦产量有着重要影响,上部穗位结实特性指标与产量和产量构成要素基本呈负相关,下部穗位结实特性指标与产量和产量构成要素基本呈正相关,因此,未来可以从提高下部穗位结实特性入手,从而提高产量。

由于本试验仅对一个品种的冬小麦进行了分析研究,而前人研究^[12]结果表明不同品种间穗部特征存在差异,因此,本试验的结论是否具有普遍性,未来仍需要进一步在多种类型小麦品种间进行验证。

4 结论

播种密度和播种方式对小麦产量和不同穗位结实特性有重要影响。在小麦高产栽培中,适当的高播种密度(187.5~225 kg/hm²),配合穴播或宽幅播,对增产和改善不同穗位结实特性具有积极作用,尤其是对下部穗位促进作用更显著,这对实现小麦高产稳产具有重要的理论指导意义。

参考文献 Reference:

- [1] 孙家涛,王传新. 农业栽培技术对小麦品质影响的相关分析[J]. 农业与技术, 2019, 39(9): 105-106.
SUN J T, WANG CH X. Correlation analysis of effects of agricultural cultivation techniques on wheat quality [J]. *Agriculture and Technology*, 2019, 39(9): 105-106.
- [2] 淮贺举,陆洲,秦向阳,等. 种植密度对小麦产量和群体质量影响的研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(9): 1-4.
HUAI H J, LU ZH, QIN X Y, et al. Advances of researches in plant density effects on the wheat yield and population quality [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(9): 1-4.
- [3] 王希恩,韩瑜,王德贤,等. 播期与密度对旱地冬小麦天选55号产量及品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2018(2): 51-55.
WANG X E, HAN Y, WANG D X, et al. Effects of sowing

- date and density on yield and quality of winter wheat Tianxuan 55 in dryland [J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2018(2):51-55.
- [4] 王 夏,胡 新,孙忠富,等. 不同播期和播量对小麦群体性状和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(21): 170-176.
- WANG X, HU X, SUN ZH F, *et al.* Effect of different sowing dates and planting density on group characters and yield of wheat [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(21): 170-176.
- [5] 霍李龙,苗 芳,贾丽芳,等. 种植方式对关中灌区冬小麦冠层光合及产量性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(8): 1098-1104.
- HUO L L, MIAO F, JIA L F, *et al.* Effects of planting pattern on canopy photosynthesis and yield traits of winter wheat in the irrigation area of central Shanxi [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2017, 37(8): 1098-1104.
- [6] 郑飞娜,初金鹏,张 秀,等. 播种方式与播量互作对大穗型小麦品种产量和氮素利用率的调控效应[J]. 作物学报, 2020, 46(3): 423-431.
- ZHENG F N, CHU J P, ZHANG X, *et al.* Interactive effects of sowing pattern and planting density on grain yield and nitrogen use efficiency in large spike wheat cultivar [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2020, 46(3): 423-431.
- [7] 段菊萍. 小麦宽幅播种技术[J]. 陕西农业科学, 2012, 58(4): 268-269.
- DUAN J P. Wide-width sowing technology of wheat [J]. *Shaanxi Agricultural Sciences*, 2012, 58(4): 268-269.
- [8] 巴青松,傅兆麟. 小麦粒位效应研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(2): 653-656.
- BA Q S, FU ZH L. Research progress on the grain position effect of wheat [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(2): 653-656.
- [9] 潘 洁,姜 东,曹卫星,等. 小麦穗籽粒数、单粒重及单粒蛋白质含量的小穗位和粒位效应[J]. 作物学报, 2005(4): 431-437.
- PAN J, JIANG D, CAO W X, *et al.* Effects of spikelet and grain positions on grain number, weight and protein content of wheat spike [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005(4): 431-437.
- [10] 李艳霞,杨卫兵,尹燕桦,等. 小麦小穗不同粒位粒重形成的生理特性差异[J]. 作物学报, 2019, 45(11): 1715-1724.
- LI Y X, YANG W B, YIN Y Y, *et al.* Difference of physiological characteristics of grain weight at various kernel positions in wheat spikelets [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(11): 1715-1724.
- [11] 李小利,姜小苓,李 淦,等. 小麦不同穗位、花位的品质研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19): 50-53.
- LI X L, JIANG X L, LI G, *et al.* Study on quality of different spikelet position and floret position of wheat [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(19): 50-53.
- [12] 李豪圣,曹新有,宋健民,等. 不同小麦品种粒重和蛋白质含量的穗粒位效应分析[J]. 作物学报, 2017, 43(2): 238-252.
- LI H SH, CAO X Y, SONG J M, *et al.* Effects of spikelet and grain positions on grain weight and protein content of different wheat varieties [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43(2): 238-252.
- [13] 屈会娟,李金才,沈学善,等. 播种密度对冬小麦不同穗位与粒位结实粒数和粒重的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(10): 1875-1883.
- QU H J, LI J C, SHEN X S, *et al.* Effects of plant density on grain number and grain weight at different spikelets and grain positions in winter wheat cultivars [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(10): 1875-1883.
- [14] 王 伟,李青松,王宜伦,等. 施氮量对小麦穗花发育及穗粒数的影响[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(5): 668-673.
- WANG W, LI Q S, WANG Y L, *et al.* Effect of amount nitrogen applied on young spike development and kernel number of winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(5): 668-673.
- [15] 田艳云,张国钊,郑春风,等. 孕穗期叶面喷素对小麦穗粒数和粒重的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(7): 919-924.
- TIAN Y Y, ZHANG G ZH, ZHENG CH F, *et al.* Effect of foliar spray on spike kernels and grain weight at booting stage in winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(7): 919-924.
- [16] CHEN W, ZHANG J, DENG X. The spike weight contribution of the photosynthetic area above the upper internode in a winter wheat under different nitrogen and mulching regimes[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 7(1): 89-100.
- [17] MAYDUP M L, ANTONIETTA M, GUIAMET J J, *et al.* The contribution of spikelet photosynthesis to grain filling in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Field Crops Research*, 2010, 119(1): 48-58.
- [18] 安 霞,张海军,孙爱清,等. 播量对不同类型冬小麦群体动态和产量的影响[J]. 中国种业, 2016(10): 41-43.
- AN X, ZHANG H J, SUN A Q, *et al.* Effect of different seeding rate on population dynamics and grain yield of winter wheat [J]. *China Seed Industry*, 2016(10): 41-43.
- [19] HAYATULLAH K, KHAN M A, IQTIDAR H, *et al.* Effect of sowing methods and seed rates on grain yield and yield components of wheat variety Pak-81 [J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2000, 3(7): 1177-1179.
- [20] 羊 彬,张 勇,杜 斌,等. 不同播期、播种量对宽幅条播小麦群体结构及产量的影响试验初报[J]. 上海农业科技, 2018(5): 59-61.
- YANG B, ZHANG Y, DU B, *et al.* Effects of different sowing date and sowing amount on population structure and yield of broad sowing wheat [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2018(5): 59-61.
- [21] 石玉华,初金鹏,尹立俊,等. 宽幅播种提高不同播期小麦

- 产量与氮素利用率[J]. 农业工程学报, 2018, 34(17): 127-133.
- SHI Y H, CHU J P, YIN L J, *et al.* Wide-range sowing improving yield and nitrogen use efficiency of wheat sown at different dates [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(17): 127-133.
- [22] 陈留根, 刘红江, 沈明星, 等. 不同播种方式对小麦产量形成的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(4): 786-791.
- CHEN L G, LIU H J, SHEN M X, *et al.* Effects of different seeding modes on grain yield formation of wheat [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 31(4): 786-791.
- [23] WEI C, ZHANG J J, DENG X P. The spike weight contribution of the photosynthetic area above the upper internode in a winter wheat under different nitrogen and mulching regimes[J]. *The Crop Journal*, 2019, 7(1): 89-100.
- [24] MAYDUP M L, ANTONIETTA M, GUIAMET J J, *et al.* The contribution of ear photosynthesis to grain filling in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Field Crops Research*, 2010, 119(1): 48-58.
- [25] CALDERINI D F, ORTIZ-MONASTERIO I. Grain position affects grain macronutrient and micronutrient concentrations in wheat[J]. *Crop Science*, 2015, 43(1): 141-151.
- [26] 茹振钢, 李 淦, 胡铁柱, 等. 强筋小麦不同穗位及花位籽粒粒质量和品质的变化[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(5): 134-136.
- RU ZH G, LI G, HU T ZH, *et al.* Analysis of grain weight and quality at different floret position of strong glutinin wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(5): 134-136.
- [27] 李小霞, 李世清. 栽培模式、施氮量和播种密度对小麦穗粒数的影响[J]. 农业科技与信息, 2007(4): 8-9.
- LI X X, LI SH Q. Effects of cultivation mode, Nitrogen application rate and sowing density on grain number per spikelet of wheat [J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2007(4): 8-9.
- [28] 胥益锋, 潘玉良, 熊圣国, 等. 不同播期和密度对小麦穗部特征的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2011(4): 38-41.
- XU Y F, PAN Y L, XIONG S G, *et al.* Effects of different sowing dates and densities on spikelet characteristics of wheat [J]. *Barley and Cereal Sciences*, 2011(4): 38-41.
- [29] 孙志刚, 任海英, 盛 坤, 等. 种植密度对 2 种穗型冬小麦品种穗部特征的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(17): 57-58.
- SUN ZH G, REN H Y, SHENG K, *et al.* Effects of different planting densities on spike characters of two spike types of winter wheat cultivars[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(17): 57-58.
- [30] 赵 奇, 雷钧杰, 陈兴武, 等. 不同播种方式对冬小麦生物特性及其产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2001, 38(6): 313-314.
- ZHAO Q, LEI J J, CHEN X W, *et al.* Effect of different planting patterns on biological property and wheat yield of winter wheat [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2001, 38(6): 313-314.
- [31] 贺明荣, 王振林, 张杰昌. 小麦开花后光合物质在不同穗位间的分配及其与穗粒重的关系[J]. 作物学报, 2000, 26(2): 190-194.
- HE M R, WANG ZH L, ZHANG J C. Distribution of photoassimilate to different parts of wheat ear after anthesis and its relation to kernel weight per ear [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(2): 190-194.
- [32] 王兆龙, 曹卫星, 戴廷波. 小麦穗粒数形成的基因型差异及增粒途径分析[J]. 作物学报, 2001, 37(2): 236-242.
- WANG Z L, CAO W X, DAI T B. Genotypic differences in formation of kernel number per spike and analysis of improvement approaches in wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 37(2): 236-242.
- [33] LLOVERAS J, MANENT J, VIUDAS J, *et al.* Seeding rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a mediterranean climate[J]. *Agronomy Journal*, 2004, 96(5): 1258-1265.
- [34] 邵玉伟, 海江波, 罗宏博, 等. 不同密度对关中灌区穴播冬小麦光合特性及产量影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(5): 667-676.
- SHAO Y W, HAI J B, LUO H B, *et al.* Effects of different densities on photosynthetic characteristics and yields of winter wheat under bunch planting in guanzhong irrigation areas [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2016, 25(5): 667-676.
- [35] TWIZERIMANA A, NIYIGABA E, MUGENZI I, *et al.* The combined effect of different sowing methods and seed rates on the quality features and yield of winter wheat[J]. *Agriculture*, 2020, 10(5): 153.
- [36] 闫 雪, 史雨刚, 王曙光, 等. 小麦穗部特征与产量的相关性分析[J]. 山西农业科学, 2015, 43(9): 1073-1075.
- YAN X, SHI Y G, WANG SH G, *et al.* Correlation analysis between panicle traits and yield in wheat [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2015, 43(9): 1073-1075.

Effects of Seeding Rate and Sowing Mode on Fruiting Characters and Yield of Different Spikelet Positions in Wheat

LIANG Cuili¹, TIAN Xiangdong², HAI Jiangbo¹,
QIAO Jiaxiu¹, LUO Jie¹ and MI Lulu¹

(1. College of Agronomy, Northwest A& F University, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. Agricultural Technology Extension Center of Chunhua County, Xianyang City, Shaanxi Province, Xianyang Shaanxi 712100, China)

Abstract To explore the effects of different seeding rates and sowing modes on spikelet fruiting characters and yield, the seeding rate was the main area and 4 levels were set: D1(112.5 kg · hm⁻²), D2(150 kg · hm⁻²), D3(187.5 kg · hm⁻²), D4(225 kg · hm⁻²); the sowing mode was the sub-area, and it was set as wide precise sowing(K), drill sowing(T), and dibbling sowing(X). The results showed that the total number of stems of wheat population increased with the increase of the seeding rate. It was X>K>T at the seedling stage, and T>X>K was in both the rejuvenation period and the harvest period. The number of spikelets, spikelet setting rate, and the number of florets in different spikelets positions reached the maximum under the condition of high seeding rate(D3, D4). X and K were more conducive to improving the fruiting characteristics at different spikelet and floret positions under high seeding rate condition, especially at lower spikelet position. With the increase of seeding rate, the yield, grain number per spike and 1 000-grain mass showed a trend of decrease at first and then trend of increase. The performance of X yield and grain number per spike was better than that of K and T, and the yield reached the maximum under the combination of D4X(10 062.83 kg · hm⁻²), which indicated that X combined with high seeding rate could increase yield, while yield components were more coordinated. The spikelet setting characteristics had an important influence on the yield of wheat. The setting property index of upper spikelet position was negatively correlated with yield and yield components, while the setting property index of the lower spikelet position was positively correlated with yield and yield components. Therefore, when the seeding rate is properly increased, the combination of dibbling sowing or wide precise sowing has a positive effect on yield-increasing and improvement of the fruiting characters at different spikelet positions.

Key words Sowing mode; Seeding rate; Spikelet position; Fruiting character; Yield

Received 2021-01-16

Returned 2021-04-09

Foundation item Shaanxi Provincial Innovation Ability Support Plan in 2021(No. 2021XYSF-12).

First author LIANG Cuili, female, master student. Research area: efficient farming systems and crop cultivation techniques in arid areas. E-mail: 2749098719@qq.com

Corresponding author HAI Jiangbo, male, associate professor, master supervisor. Research area: efficient system of crops and agricultural ecology. E-mail: haijiangbo@126.com

(责任编辑:成敏 Responsible editor: CHENG Min)