

李晓航, 蒋志凯. 不同带宽与行距配置对垄作冬小麦农艺性状、品质及水分利用的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(4): 426-434.

LI Xiaohang, JIANG Zhikai. Effects of different bandwidth configurations on the agronomic traits, quality, and water use efficiency of ridge planting winter wheat[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(4): 426-434.

不同带宽与行距配置对垄作冬小麦农艺性状、品质及水分利用的影响

李晓航^{1,2}, 蒋志凯¹

(1. 新乡市农业科学院, 河南 新乡 453000; 2. 中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453002)

摘要: 为筛选出适宜强筋冬小麦高效的垄作栽培模式, 在大田试验条件下, 研究常规条播(TCK)、垄作2条带宽幅播种(T2)、垄作常规条播的3条带(T3)及垄作常规条播4条带(T4)不同结构配置处理方式对冬小麦群体分蘖、茎秆特性、光合特性、品质和水分利用效率等方面的影响。结果表明: 在冬小麦整个生育时期T4处理下的分蘖数量显著低于其他处理, 成熟期时T2处理的冬小麦群体数量显著高于其他处理。4种处理下的叶面积指数随着生育进程的推进呈先升高后降低的单峰曲线波动, 在孕穗期出现峰值。在花后7, 14, 21 d, 以及TCK处理下的光合作用参数显著低于T2、T3处理, 但显著高于T4处理。垄作栽培有助于降低冬小麦株高、重心高度、节间长度, 均显著低于TCK处理。随着垄台上冬小麦行距的减少, 冬小麦的株高、重心高度、节间长度逐渐升高, 三者均表现为T2<T3<T4。T2与TCK、T3、T4处理相比较, 其籽粒产量分别提高3.0%、1.5%和14.0%, 水分利用效率分别提高4.2%、0.6%和10.1%。综上所述, T2是有利于强筋小麦稳产保质节水抗倒的较优栽培方式。

关键词: 冬小麦; 宽幅播种; 垄作; 农艺性状; 光合特性; 水分利用效率

中图分类号: S274.1

文章编号: 1000-1700(2024)04-0426-09

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Different Bandwidth Configurations on the Agronomic Traits, Quality, and Water Use Efficiency of Ridge Planting Winter Wheat

LI Xiaohang^{1,2}, JIANG Zhikai¹

(1. Xinxiang Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang Henan 45300, China;

2. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang Henan 453002, China)

Abstract: In order to select lodging-resistant ridge bed planting models with high efficiency that is suitable for the strong gluten winter wheat, the effects of different planting treatments with different structural configurations such as conventional border sowing (TCK), 2 bands wide ridge bed sowing (T2), 3 bands (T3) conventional ridge bed strip sowing and 4 bands (T4) conventional ridge bed strip sowing on the population tillers, stem feature, agronomic traits, photosynthetic characteristics, quality, and water use efficiency of winter wheat are investigated under the field experimental environment. The results indicate that the number of tillers under the T4 planting treatment was significantly lower than that of other

收稿日期: 2023-10-20

基金项目: 国家小麦产业技术体系建设专项(CARS-3-2-35); 河南省重大科技专项(221100110700); 河南省现代农业产业技术体系建设专项(HARS-22-01-Z3)

第一作者: 李晓航(1987-), 女, 博士研究生, 助理研究员, 从事小麦育种及栽培研究, E-mail: li.xiaohang@163.com

通信作者: 蒋志凯(1966-), 男, 研究员, 从事新品种选育及栽培技术研究, E-mail: 13298613179@126.com

planting models throughout the entire growth period of the winter wheat, and the population size under the T2 planting treatment was significantly higher than that of other treatments during the maturity period of the winter wheat. The leaf area index under the four planting treatments fluctuates in an unimodal curve that increase at first and then decrease with the progress of the growth, and peaked at the booting stage. At the 7d, the 14d, and the 21d after flowering, the photosynthetic parameters under the TCK planting treatment were significantly lower than those of the T2 and T3 planting treatments, but significantly higher than those of the T4 planting treatment. Ridge bed planting can help reduce the plant height, the center height of gravity, and the length between nodes of the winter wheat. The values of all these indicators of the three planting treatments were significantly lower than those of the TCK planting treatment. As the spaces among the rows of the winter wheat on the ridge decreases, the stem height, the center height of gravity, and the length between nodes of the winter wheat gradually increase. A sequence of $T2 < T3 < T4$ can be observed. Compared with TCK, T3, and T4 planting treatments, the T2 planting treatment has an increased grain yield of 3.0%, 1.5% and 14.0%, respectively, and an increased water use efficiency of 4.2%, 0.6% and 10.1%, respectively. To sum up, the T2 planting treatment and the T3 planting treatment are the optimal planting methods to ensure the stable yield, good quality, high water-use efficiency and lodging resisiof the strong gluten winter wheat.

Key words: winter wheat; wide-width sowing; ridge planting; agronomic characteristic; photosynthetic characteristic; water use efficiency

据统计,我国每年小麦平均消费量占三大主粮消费总量的44%,是保证我国粮食安全的重要物质基础。为了满足巨大的小麦制品消费需求,追求高产是中国小麦生产的重要目标,但忽略了对小麦品质的需求。随着国民经济水平的提高,人们逐渐从小麦品质及营养特性提升等方面对优质专用小麦提出了新的要求^[1-2]。加强对优质小麦品种配套栽培技术的深入探索,以便解决目前研究过多集中在育种方向,配套栽培技术却仍有不足的现状。群体结构、分蘖数量、光能转化效率,与此同时源、库、流关系的协调及产量提升和品质调优都将受到栽培技术的影响^[3-4]。近年来针对冬小麦群体结构的研究是冬小麦栽培研究的热点问题,其群体结构调控的重要措施之一便是利用不同的播种方式。利用冬小麦株行距配置的播种方法作为一项实操性较强的栽培技术可以用于调控小麦生长发育进程,协调群体与个体之间的关系,群体结构得以改变,个体性状得以改良,生理代谢过程得以变化^[5-6]。通过设置适宜的行距构建出高效能利用率的群体结构,不仅作物群体自上而下的形态构造和微环境受到影响,与此同时还能够在提高水分和光能利用率方面功能凸显。以往冬小麦利用常规机械条播方式播种,造成株距偏小,株间竞争压力增加,单株营养空间缩小,冠层结构不优,直接影响品种的遗传特性的充分表达和周围空间的光照、温度和水分等资源高效转化^[7]。宽幅播种技术是一项以扩大行距、加宽播幅为核心的新型播种技术,具有行距大、播幅宽的特点^[8]。宽幅精播可实现冬小麦植株在行内均匀分布,边行资源优势明显,单株之间养分竞争减低,可利用营养面积增大,优质个体所占比例增加,良好的通风透光条件,都促使光合产物向籽粒的运输,进而增加作物千粒重,达到增产的目的^[9-11]。有研究结果显示,作物单株的生长潜力在条带播种宽度加大的栽培方式下可得到进一步发挥,改善群体生长光温微环境,以实现群体数量适宜,单株素质优良,植株抗倒伏能力增强和籽粒产量增加^[12]。冬小麦垄作栽培有利于改善田间小气候,提高光能利用率和小麦抗病、抗倒伏能力。垄作栽培一般表现为土壤表面呈波浪形,地表面积增加。垄作配套的灌溉方式一般为沟灌,能将作物所需的水分和肥料从水源处小流量、均匀、准确及时地直接输送至作物根部附近的土壤中,供作物吸取利用,有利于改善品质和产量提高。基于本研究前期对垄作栽培模式的研究结论,本试验针对这两种栽培方式相结合的小麦种植新技术,以期筛选出华北地区冬小麦高产抗倒品质优的结构配置栽培模式,满足小麦产业绿色高效发展的理论和技术需求^[13-14]。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验于2018-2019年在小麦主产区黄淮海平原中部进行。该地区气候属于温暖的半湿润半干旱

地区,小麦生长季的温度和降水量如图1。在冬小麦生长期间常年平均降水量为165.8 mm,常年平均气温约为13.9 °C,年平均积温2 178.5 °C,试验设置地点土壤为沙壤土,垄台上(0~20 cm)土壤平均容重为1.26 g·cm⁻³,20~100 cm土壤平均容重为1.32 g·cm⁻³,田间持水率23.6% (质量含水率),土壤pH值8.32;2017-2018年播种前土壤基础地力为:有机质1.398%、全氮0.092%、全磷2.01 g·kg⁻¹、全钾19.80 g·kg⁻¹、速效磷15.3 mg·kg⁻¹、速效钾109 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

供试材料为强筋品种新麦26,TCK为冬小麦常规平作条播,种植行距为20 cm,利用传统灌溉方式处理即畦灌(土壤表面出现积水即为灌溉完成,约为60 mm)。结合前期试验对垄台规格的设定试验,同时采用山东引进的起垄播种机,起垄规格为垄台宽为45 cm,垄沟“V”字形宽为30 cm,垄沟深度为18 cm,每个小区3垄4沟,小区面积2.4 m×8 m,小区之间设置1.5 m宽平作条播(全生育期不灌水)为隔离区,防止不同处理之间水流侧渗相互影响。在垄台上分别采取宽幅播种和常规条播,宽幅种植的播幅8 cm,垄台种植2个宽幅带(T2)T2行距约为25 cm;垄台常规条播(苗带宽2~3 cm),播种3行和4行(T3、T4),T3处理为大、小行距分别约为40 cm和15 cm,T4处理为大小行距40 cm和10 cm。播种前依据设定的密度、千粒重、种子发芽率和出苗率确定单位面积的播种量,然后根据播种方式的不同调整播种机的下种量,基本苗为2.7×10⁶株·hm⁻²。为保证出苗质量在整地时期统一灌底墒水,播种前根据设定密度、千粒重、种子发芽率和出苗率确定单位面积的播量。在拔节期按255 kg·hm⁻²追施尿素(含纯N质量分数46%)。垄栽沟灌方式肥料施于沟内,平作畦灌的施肥方式为撒施,并在施肥后立即灌水,平作和垄作的灌水定额分别为60 mm和50 mm,整个生育期灌水3次。T2、T3、T4利用垄沟灌溉,水平面不超过垄台。其他栽培管理措施同大田生产,生育期温度和降水情况如图1。

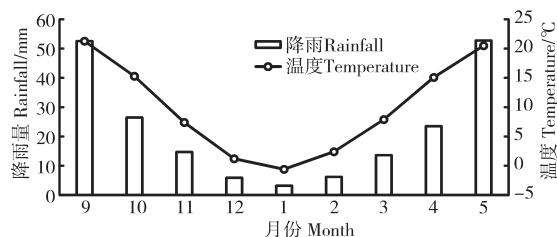


图1 2018-2019年冬小麦生育时期试验地降雨和温度
Figure 1 Rainfall and temperature during winter wheat growing period in 2018-2019

1.3 测定项目及方法

1.3.1 群体动态 小麦群体动态调查采用定点调查的方法,三叶期在各小区选取具有代表性的1 m双行固定样点,分别在小麦越冬期、返青期、拔节期、孕穗期和开花期等关键生育时期调查小区内1 m双行群体动态分蘖数。

1.3.2 小麦叶面积指数测定 叶面积指数(LAI)分别在越冬期、拔节期、孕穗期、开花期、成熟期取样,每个小区取0.2 m²,选取长势一致的10株小麦,利用直接量出每株各绿叶的长度和最宽处的宽度,相乘以后再乘以0.83系数,取其平均值,求出单株叶面积,则:

$$LAI = \frac{\text{单株叶面积} \times \text{单位土地面积内株数}}{\text{单位土地面积}} \quad (1)$$

1.3.3 光合指标测定 利用美国Li-COR公司生产的Li-6400XT型便携式光合仪,在冬小麦开花期和开花后的7,14,21,28d,每个处理选取3个样点,每样点选取5株生长均匀良好的植株,于9:00至11:00对旗叶净光合速率(Pn)、胞间CO₂浓度(Ci)、气孔导度(Gs)和蒸腾速率(Tr)进行测定^[15]。

1.3.4 茎秆形态特征和干物重测定 在冬小麦乳熟期不同处理小区选取有代表性的30株,将根部去掉后,测定地上部鲜重、株高和重心高度(完整植株茎秆基部到该茎平衡支点的位置),剥除基部第二节间叶鞘剪下节间,称量节间鲜重,测量节间长度,用游标卡尺(精度0.01 mm)测定第二节间的壁厚和直径;将基部第二节间105 °C杀青1 h后放入烘箱内,烘箱温度75 °C,48 h后取出称取干重(g)。节间充实度计算公式为^[16]:

$$\text{节间充实度}(\%) = \frac{\text{节间干重}}{\text{节间长度}} \times 100 \quad (2)$$

1.3.5 面粉粉质指标测定 经用旋风磨(Foss公司,美国)制作全麦粉,然后利用GM2200型面筋测定仪测定籽粒湿面筋含量;用Quadrumat Junior试验磨粉机(德国Brabender公司)磨粉,过100目筛,用于

品质指标测定。采用Farino Graph-E型粉质仪(德国 Brabender公司)测定面粉粉质特性指标。

1.3.6 小麦产量相关指标和水分利用效率的测定 收获前,每小区选取长势均匀的1 m样段,随机取20穗,混合脱粒测穗粒数;每个小区取样方1 m²测有效穗数。分小区收获,折算为公顷和用电子天平称量千粒重。计算公式水分利用效率=产量/生育期耗水量,得出冬小麦WUE^[17]。

1.3.7 数据处理方法 采用SPSS 17.0软件处理试验数据,用LSD法进行处理间多重比较,采用Excel 2010绘制图表,图表中数据为平均值。

2 结果与分析

2.1 不同水平结构配置下对冬小麦群体总茎蘖数的影响

冬小麦在不同的种植模式下,其由于个体、群体之间的水平配置结构的不一致构建出不同的微环境,因此会影响冬小麦随着生育时期的推进的分蘖特性。由图2可知,TCK、T2、T3、T4处理下的冬小麦群体总茎数的动态变化一致表现为先增加后减少,最大值出现在冬小麦的拔节时期,其中宽幅垄作的T2处理高于其他处理,播种时期的基本苗是相同的,T4处理下冬小麦在整个生育时期都表现出总分蘖低于其他处理,由于其位于垄台边行的个体偏少,借助边行的资源优势被削弱,中间两行行距过于窄小,造成内部叶片之间遮蔽严重、通风效果差,不利于个体分蘖的良好发育。条带播种的TCK、T3、T4行距为20,15,10 cm,总分蘖在不同生育期随着行距的缩小先增大后减少,在行距15 cm时高于其他两个处理,该处理下的群体微环境得以改善,可见适当缩小行距更加有利于分蘖的形成。

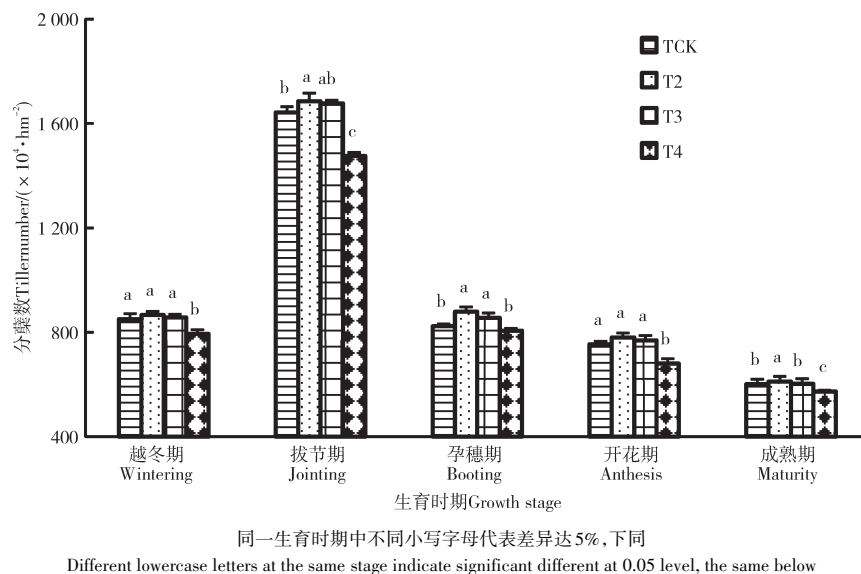


图2 不同处理对冬小麦群体总茎蘖数的影响

Figure 2 Effect of different treatment on total number of population stems at different growth stages in winter wheat

2.2 冬小麦叶面指数(LAI)在不同水平结构配置的变化

由图3可知,4种处理下冬小麦的LAI均表现出随着生育进程的推进呈先升高后降低的倒“U”形曲线波动,在孕穗期出现峰值之后由于无效分蘖的死亡和叶片渐衰,LAI开始下降。垄作种植处理下的T2、T3、T4处理下鉴于其苗期叶片较小,垄沟尚在生育前期未完全被叶片封闭,在越冬期的LAI在4个处理之间并无较大差异。从拔节期到灌浆期冬小麦的LAI表现为:T2>T3>TCK>T4,尤其在拔节期T2处理下的LAI变化为最为明显,较T3、TCK、T4处理分别增加20%、31.2%和35.4%。从孕穗期到灌浆期TCK、T2、T3、T4处理下的LAI降幅分别为66.7%、55.2%、58.5%和74.3%,可见T4处理降幅最大。此外,T4处理下的LAI从拔节期开始始终表现为最小。T4处理下随着生育进程垄台上的冬小麦个体竞争激烈,不利于个体发育,群体结构过于紧密,叶片彼此重合度高,引起个体早衰,叶片功能期缩短;T2和T3处理则由于垄沟的存在,边行优势优于等行距的TCK处理,叶片可以充分利用垄沟空间得以更好发育。

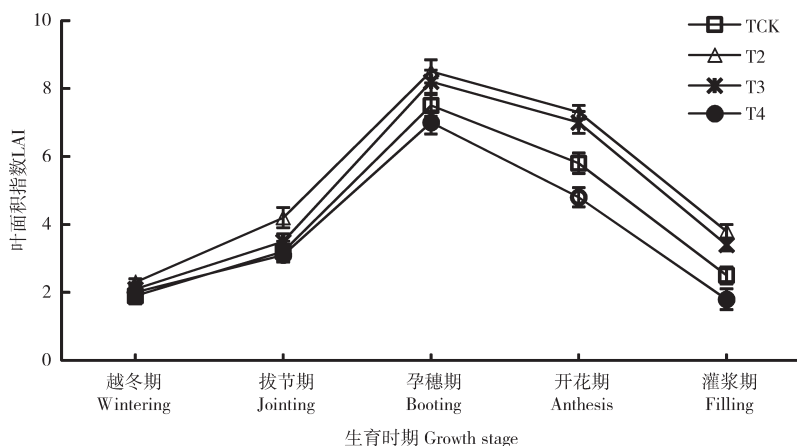


图3 不同处理对冬小麦叶面积指数的影响

Figure 3 Effect of different treatment on LAI in winter wheat

2.3 不同水平结构配置对小麦旗叶光合作用的影响

由图4可知,冬小麦花后旗叶光合参数Pn、Ci、Gs、Tr在不断发育进程中均呈先升高后降低的趋势,Pn、Ci、Gs这三个指标参数在花后7d达到最大值。在花后0d和28d时,TCK、T2、T3处理下的冬小麦花后旗叶4个光合参数没有显著性差异,且T2>T3>TCK,在花后7,14,21d,TCK处理显著低于T2、T3处理且显著高于T4处理。可见T4处理下的过小的带间距造成冬小麦个体间养分竞争激烈,旗叶光合作用受阻,不利于光合产物的形成。T2、T3处理在冬小麦花后期间保持较长时间的高值光合速率,花后第7天的最大光合速率值显著高于TCK处理,而TCK处理在花后12d之后降幅大于T2、T3处

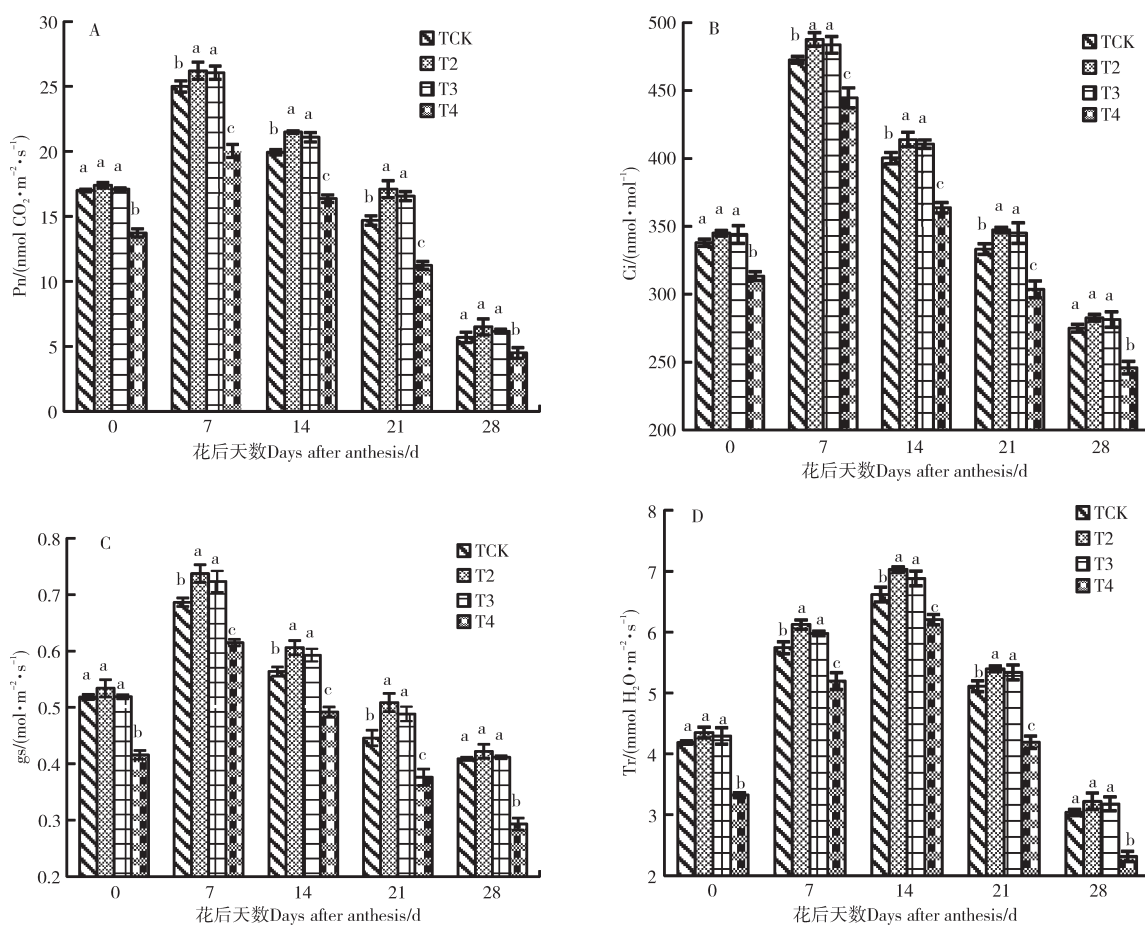


图4 不同处理冬小麦开花后旗叶光合参数

Figure 4 Photosynthetic parameters of winter wheat flag leaves under different treatments

理。垄作处理促使冬小麦高效利用空间资源,光合面积增大,垄沟间通风效果显著,这些因素均有助于旗叶光合参数达到偏高水平;T2宽幅处理下冬小麦群体净光合速率高于T3处理,差异不显著。总之,垄作宽幅播种有益于提升旗叶花后净光合速率且维持较长的高值时期,为最终获得冬小麦籽粒高产奠定基础。

2.4 冬小麦在不同水平结构配置下茎秆特征

合理的作物的空间结构配置有益于冬小麦形成适宜的群体结构,个体和群体之间的矛盾得以协调解决。由表1可知,T2、T3、T4处理显著影响冬小麦的株高、重心高度、节间长度,可见垄作栽培有助于降低冬小麦株高、重心高度、节间长度,均显著低于TCK处理。随着垄台上冬小麦行距的减少,冬小麦的茎秆株高、重心高度、节间长度逐渐升高,三者均表现为T2<T3<T4,垄台上种植行数由3行增加至4行,虽然单行密度减少,但是该处理下的行距减小显著促使了植株的纵向发育,因此T4处理下植株、重心高度和节间长度显著高于T2和T3处理,小麦的横向发育受到阻碍表现在壁厚、节间干重、节间充实度、单茎干物重显著低于T2、T3处理。垄作宽幅播种的T2处理,冬小麦在该种植方式下茎秆的伸长生长被减弱,使得冬小麦的株高、重心高度显著低于T3和T4处理,但是节间长度与T3差异不显著,T2处理下植株变矮,重心降低,节间缩短,节间充实度大,充分体现出该结构配置下显著提高了冬小麦茎秆质量,有益于提升抗倒性和产量。

表1 不同结构配置下茎秆形态特征及单茎干物重(乳熟期)

Table 1 Stem morphology and dry weight per stem in different plant (milky stage)

处理 Treatment	株高/cm Plant height	重心高度/cm Height of gravity	节间长/cm Internode length	茎粗/cm outside diameter	壁厚/mm Wall thickness	节间充实度/(mg·cm ⁻¹) Culm filling degree	单茎干物重/g Dry weight per stem
TCK	81.8 ^a	50.1 ^a	10.9 ^a	0.436 ^b	1.020 ^b	9.28 ^b	4.34 ^b
T2	76.4 ^d	46.0 ^d	9.5 ^c	0.463 ^a	1.028 ^a	10.10 ^a	4.43 ^a
T3	77.2 ^c	47.1 ^c	9.8 ^{bc}	0.452 ^a	1.023 ^b	9.99 ^a	4.37 ^b
T4	78.6 ^b	48.4 ^b	10.2 ^b	0.411 ^c	0.966 ^c	8.40 ^c	3.97 ^c

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($p < 0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters in the same list indicate significant different at 0.05 level, the same below.

2.5 不同水平结构配置对冬小麦籽粒品质的影响

由表2可知,在TCK、T2、T3处理下强筋小麦新麦26品种的品质指标(包括吸水率、湿面筋含量、面团稳定时间和最大拉伸阻力)均无显著差异,可见T2处理在提高籽粒产量的同时并未显著降低其籽粒品质,并且在蛋白质含量指标上高于其他处理。植株对土壤氮素的吸收和转化效率会影响小麦籽粒中的蛋白质含量,氮素在籽粒中的积累是一多半来源于花前贮存营养器官中的干物质,另一部分则依靠花后对外界氮素的吸收^[8],冬小麦在利用宽幅带状播种后可显著提高其花后氮素积累量以及对籽粒氮素积累的贡献率,进一步维持了籽粒蛋白含量的稳定,实现了强筋小麦增产增效与稳定品质的协调发展。T4处理下的籽粒蛋白质含量显著低于其他处理,该处理下的较低透光率和个体竞争较为激烈,都不利于提高植株下层叶片和茎秆的光合效率和健壮个体的形成,同时衰老进程的提前和灌浆时间的缩短,严重影响干物质的积累量和氮源的利用转化和转运,进而最终体现在籽粒蛋白质含量的降低。冬小麦宽幅精播种模式可提高籽粒产量和改善品质,可能与以下原因有关:首先,宽幅精播种优化了冬小麦冠层结构,可导致叶面积指数的垂直分布发生变化,从而截获和转化更多的光合有效辐射,诱导更多的光合底物和能量参与产量和蛋白质的形成,有利于协调高产和优质之间的矛盾,其涉及到深层次的生理机制需要开展下一步研究加以解释。

表2 不同结构配置对冬小麦籽粒品质的影响

Table 2 Effects of sowing pattern on grain quality in strong gluten wheat

处理 Treatment	吸水率/% Water absorption	蛋白质含量/% Protein	湿面筋含量/% Wet gluten	稳定时间/min Stabilization time	最大拉伸阻力/E.U. Maximum tensile resistance
TCK	68.6 ^a	15.59 ^a	32.13 ^a	16.3 ^a	799 ^a
T2	68.2 ^a	16.20 ^a	31.90 ^a	16.6 ^a	806 ^a
T3	68.8 ^a	16.10 ^a	32.20 ^a	16.2 ^a	804 ^a
T4	68.1 ^a	15.31 ^b	31.72 ^a	16.2 ^a	793 ^a

2.6 不同水平结构配置对冬小麦产量及其构成因素和水分利用效率的影响

由表3可知,从产量构成来看,新麦26在不同处理下其单位面积穗数、穗粒数和千粒重大小均表现为:T2>T3>TCK>T4,T2处理较其他3个条播处理的单位面积穗数差异显著,因此可知,T2处理最为明显的体现在增加单位面积穗数,该处理对冬小麦的穗粒数和千粒重的影响与T3处理之间差异不显著。行距最小的T4处理其产量构成因素、籽粒产量、水分利用效率均显著低于其他处理,可见该结构配置不利于冬小麦高质量群体的构建,进而影响冬小麦籽粒产量。T2与TCK、T3、T4处理相比较,其籽粒产量分别提高3.0%、1.5%和14.0%,水分利用效率分别提4.2%、0.6%和10.1%。T3处理与TCK处理相比为行距缩小的常规条带播种,T3处理下冬小麦冠层覆盖度增加,土壤蒸发减少,有利于提高水分利用效率,同时耦合垄作播种处理的边际效应,对穗粒数和千粒重调节效果较为凸显,使得该配置下冬小麦籽粒产量和水分利用效率均显著高于TCK处理。

表3 不同处理小麦籽粒产量及其构成因素和水分利用效率

Table 3 Wheat grain yield, yield components and water use efficiency under different treatments

处理 Treatment	穗数/($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$) Spikes	穗粒数 Grains per spike	千粒重/g 1000-grain weight	籽粒产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Grain yield	水分利用效率/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$) Water use efficiency
TCK	601 ^b	33.9 ^a	43.4 ^b	8601 ^b	16.7 ^b
T2	611 ^a	34.2 ^a	43.8 ^a	8876 ^a	17.4 ^a
T3	603 ^b	34.1 ^a	43.8 ^a	8785 ^{ab}	17.3 ^a
T4	574 ^c	32.9 ^b	42.7 ^c	7788 ^c	15.8 ^c

3 讨论与结论

合理的小麦群体结构是指根据当地自然条件和生产条件以及品种特性和栽培术,使麦田的群体大小、分布、长相和动态有利于群体与个体的协调发展,改善光合性能,从而能经济有效地利用光能和地力,争取穗足、粒多、粒饱,达到高产、优质、高效的目的。品种自身株型特点和田间配置方式与田间通风透光状况密切相关,群体质量、抗倒能力及产量的提高依赖于良好的通风透光条件^[19-20]。垄台上的窄行距种植有利于小麦群体均匀分布叶片,光能截获增加,降低漏光损失,普通畦作的行距则大于垄台上种植的行距,群体透光率增加,LAI在孕穗期一开花期开始下降幅度较大,都不利于光合作用的持续高效进行。增强抗倒伏能力一直以矮化作物株高为主要手段,效果尤为显著,然而较矮的株高势必会引起一系列负面效应,例如叶层集中、群体内部透光性差,空气流通缓慢、植株营养供应不足引起早衰、病虫害加重、籽粒减产等。垄作宽幅播种则实现了矮化植株、籽粒产量品质的稳定、作物抗逆性增强等方面协同提升。宽幅播种方式在前人研究已经表明该种植方式下由于冬小麦单株的营养面积增大,空气流通性较好等外界条件使得作物个体强壮,群体穗多穗壮,产量提升效应显著^[21]。同时,作物利用宽幅精播有利于小麦地下根系生长,次生根在越冬前不仅数量增加而且分蘖力增强,植株的抗逆性明显提升,最终实现高产。

随着周围环境条件的变化,冬小麦整个生育期都会随之做出调整和应对^[22-23]。受种植模式影响的农田微环境和小麦自身所携带的遗传特性都会作用于小麦这种应对环境变化的能力^[24-25]。籽粒最后产量的多少取决于有效穗数、穗粒数、千粒重等产量三因素,而这三者的形成依赖于拔节期,扬花期和灌浆期的作物发育的优劣人们在生产过程中通过调控作物种植的空间配置,其生理特性、产量及品质都会受到较大影响,因此选择适宜的种植模式有利于实现作物的高产与优质。适宜的株行距配置对于改善田间通风透光状况效果显著,而良好的通风透光状况有利于作物群体质量、抗倒能力及产量的提高^[26]。宽幅播种相比较于一般的常规条播种植模式,使得小麦株间距增大,个体之间生存空间竞争减弱,单株的分蘖力和成穗率得以提升,生育中后期的叶面积指数、光合有效辐射截获率和光合主要有效参数及光能利用力都一并有所提高,进一步促使花后作用的进程和光合产物的积累^[27-28]。

本研究结论得出垄作宽幅播种有益于提高小麦群体空间分布均匀度,解决了群体和个体之间的矛盾得以解决,单株分蘖和成穗数的提高得益于垄作宽幅带播种,加大播幅可显著改善个体之间分布

过于集中的不利竞争,并且约束分蘖发育的群体环境压力得以减弱,这与吕丽华的研究结论是一致的^[29]。同时可以提升个体的发育能力,构建合理群体长势,提高单位产量;垄作宽幅处理下冬小麦的茎秆的株高在一定程度上得到控制,形成基部粗壮的茎秆,抗倒伏能力增强的同时使得茎秆物质转运能力和对叶片和穗的支撑力协同提升^[30-32]。宽幅播种则可以扩大单株营养面积,光合作用能力提升,茎秆质量改善进而抗倒伏能力增加,有效平衡籽粒和营养器官间的光合产物分配比例,实现高产和抗倒伏的平衡。宽幅条播,这与前人研究结果基本一致本试验条件下,宽幅播种小麦的群体光合速率在开花期和灌浆期亦均显著高于常规条播^[33]。

本研究结果表明,T2处理是将宽幅带播种与垄作沟灌相结合的冬小麦新型种植方式,该处理下麦苗在苗带内均匀分布,在一定单位的种植面积上实现了缩小行距扩大株距的效果,作物个体间的集中程度减弱,弱化了个体之间的竞争,群体结构更加合理,提高群体内部透光率和光合能力,产量三因素更为协调。冬小麦在T2处理下保持着良好的群体结构可以在生育后期依旧可以保证较高的群体数量和光合参数,为籽粒产量提升创造有利条件。同时垄作沟灌相较于传统畦灌减少了灌溉用水量,所以T2处理可实现籽粒产量和水分利用效率优于其他处理。T3处理在垄台相较于平作TCK处理行距缩小,光捕获量增加,同时垄沟的存在提高了其边行效应,反之T4处理的相较于TCK处理垄台上行距过于窄小,叶片之间相互遮挡,光合作用减弱,光合产物积累明显在受阻,该空间配置处理下籽粒产量显著降低。

参考文献:

- [1] 赵广才,常旭虹,王德梅,等.小麦生产概况及其发展[J].作物杂志,2018(4):1-7.
- [2] 王秀丽,孙君茂.中国小麦消费分析与未来展望[J].麦类作物学报,2015,35(5):655-661.
- [3] 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):32-40.
- [4] 初金鹏,朱文美,尹立俊,等.宽幅播种对冬小麦‘泰农18’产量和氮素利用率的影响[J].应用生态学报,2018,29(8):2517-2524.
- [5] 孔令英,赵俊晔,张振,等.宽幅播种下基本苗密度对小麦旗叶光合特性及叶片和根系衰老的影响[J].应用生态学报,2023,34(1):107-113.
- [6] 冯学颖,刘景辉,赵宝平,等.宽幅条播和种植密度对燕麦光合特性及干物质积累量的影响[J].麦类作物学报,2022,42(12):1527-1534.
- [7] 刘冲,贾永红,张金汕,等.播种方式和施磷对冬小麦群体结构、光合特性和产量的影响[J].应用生态学报,2020,31(3):919-928.
- [8] 熊淑萍,曹文博,张志勇,等.行距和播种量对冬小麦冠层光合有效辐射垂直分布、生物量和籽粒产量的影响[J].应用生态学报,2021,32(4):1298-1306.
- [9] 郝瑞煊,孙敏,任爱霞,等.宽幅条播冬小麦水分利用与干物质积累、品质的关系及播种密度的调控研究[J].作物杂志,2022(2):119-126.
- [10] 刘运景,郑飞娜,张秀,等.宽幅播种对强筋小麦籽粒产量、品质和氮素吸收利用的影响[J].作物学报,2022,48(3):716-725.
- [11] 张睿,李淑琳,王荣成,等.宽幅带状旋播对小麦产量及品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(1):79-85.
- [12] 段剑钊,李世莹,郭彬彬,等.宽幅播种对冬小麦群体质量及产量的影响[J].核农学报,2015,29(10):2013-2019.
- [13] 李晓航,盛坤,蒋志凯.基于多层次模糊评判法对小麦调亏沟灌方式的分析[J].江苏农业学报,2022,38(3):635-641.
- [14] 李晓航,盛坤,杨丽娟,等.冬小麦垄作交替隔沟灌溉的研究现状与展望[J].中国农学通报,2016,32(33):34-38.
- [15] 孙鹏,张金汕,贾永红,等.立体匀播和种植密度对冬小麦农艺性状及光合特性的影响[J].麦类作物学报,2019,39(7):844-850.
- [16] 郑亭,陈溢,樊高琼,等.株行配置对带状条播小麦群体光环境及抗倒伏性能的影响[J].中国农业科学,2013,46(8):1571-1582.
- [17] 韩东伟,何建宁,李浩然,等.灌水时期对冬小麦个体、群体结构和冠层光合作用的影响[J].江苏农业学报,2022,38(3):577-586.
- [18] ZHOU B W, SERRET M D, ELAZAB A, et al. Wheat ear carbon assimilation and nitrogen remobilization contrib-

- ute significantly to grain yield[J].*Journal of Integrative Plant Biology*,2016,58(11):914-926.
- [19] 田文仲,张媛菲,马 雯,等.行距和播量对比对高产小麦品种‘洛麦 23’群体质量及产量的影响[J].*西北农业学报*,2018,27(3):347-353.
- [20] 盖盼盼,马尚宇,耿兵婕,等.渍水和增温对小麦根系形态、生理和地上部物质积累的影响[J].*南京农业大学学报*,2022,45(4):637-646.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 施凌天,丁国辉,夏云鹏,等.结合激光雷达和三维性状分析的田间小麦产量分级研究[J].*南京农业大学学报*,2023,46(6):1011-1021.
- [24] 郑飞娜,初金鹏,张 秀,等.播种方式与种植密度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.
- [25] 邢海峰,高翠萍,王雪寅,等.三周龄小麦地上部浸提液对农田杂草的化感作用研究[J].*沈阳农业大学学报*,2022,53(3):294-301.
- [26] 朱元刚,初金鹏,张 秀,等.不同播期冬小麦氮素出籽效率与氮素利用及转运的相关性[J].*应用生态学报*,2019,30(4):1151-1160.
- [27] 华一帆,秦际远,王 洁,等.播种方式与缓控释氮肥一次性基施对冬小麦干物质积累转运和产量的影响[J].*植物营养与肥料学报*,2022,28(12):2185-2200.
- [28] 刘运景,郑飞娜,张 秀,等.宽幅播种对强筋小麦籽粒产量、品质和氮素吸收利用的影响[J].*作物学报*,2022,48(3):716-725.
- [29] 吕丽华,梁双波,张丽华,等.不同小麦品种产量对冬前积温变化的响应[J].*作物学报*,2016,42(1):149-156.
- [30] 冯学颖,米俊珍,刘景辉,等.宽幅条播和种植密度对燕麦抗倒伏性及产量的影响[J].*麦类作物学报*,2021,41(7):914-920.
- [31] 牟海萌,孙丽芳,王壮壮,等.施氮量和种植密度对两冬小麦品种抗倒性能和籽粒产量的影响[J].*中国农业科学*,2023,56(15):2863-2879.
- [32] 汪 涛,张 毅,赵晓雪,等.小麦抗倒伏茎秆形态指标及 QTL 分析[J].*华北农学报*,2023,38(2):99-105.
- [33] 邵敏敏,黄 玲,徐兴科,等.不同行距与苗带宽度互作对宽幅精播小麦产量形成的影响[J].*山东农业科学*,2019,51(4):30-34.

[责任编辑 亓 国]