

# 行距配置和密度对冬小麦品种 河农 822 群体质量及产量的影响

刘丽平, 胡焕焕, 李瑞奇, 李慧玲, 常春丽, 李雁鸣

(河北农业大学 农学院, 河北 保定 071001)

**摘要:**为研究不同行距配置和密度对小麦群体质量和产量的影响,以冬小麦品种河农 822 为试验材料,应用裂区设计研究了 3 种行距配置和 4 种密度的交互效应。结果表明,行距和密度的互作效应不显著。相同密度下,15 cm 等窄行种植的群体总茎数、叶面积指数、干物质积累量和产量基本上最高,20 cm 等宽行次之,16.7 cm + 16.7 cm + 26.7 cm 三密一稀种植样式最低。4 种植植密度下的群体总茎数以高密度最大,随密度降低群体总茎数减少。叶面积指数、干物质积累量和产量以中密度的较高,过大或过小密度的较低。即密度为 300 万/hm<sup>2</sup> 或 420 万/hm<sup>2</sup> 基本苗的叶面积指数及干物质积累量 > 密度为 180 万/hm<sup>2</sup> 或 540 万/hm<sup>2</sup> 基本苗。产量水平为 300 万/hm<sup>2</sup> 基本苗 > 420 万/hm<sup>2</sup> 基本苗 > 180 万/hm<sup>2</sup> 基本苗 > 540 万/hm<sup>2</sup> 基本苗。所以,河农 822 最佳的行距配置和密度为 15 cm 等行距 × 300 万/hm<sup>2</sup> 基本苗。

**关键词:**行距配置;密度;河农 822;群体质量;产量

**中图分类号:**S512.104 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2008)02-0125-07

## Effects of Spacing Pattern and Planting Density on Population Quality and Grain Yield of a Winter Wheat Cultivar Henong 822

LIU LI - ping, HU Huan - huan, LI Rui - qi, LI Hui - ling, CHANG Chun - li, LI Yan - ming

(College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:** In order to study the effects of spacing form and planting density on grain yield and population quality, an experiment by split plot designs was hold with a winter wheat cultivar Henong 822. The experiment included three spacing forms such as 15 cm, 20 cm and 16.7 cm + 16.7 cm + 26.7 cm and four planting density such as 180 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare, 300 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare, 420 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare and 540 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare. The results showed that the interaction between spacing form and planting density was not significant. The grain yield, population total stems number, leaf area index and dry matter accumulation were almost the highest under the treatment of 15 cm, followed by row spacing of 20 cm and 16.7 cm + 16.7 cm + 26.7 cm. On the other hand, the leaf area index, dry matter accumulation and grain yield of 300 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare was almost the highest, followed by 420 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare, 180 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare, and 540 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare. The population total stems number increased with the adding of basic seedlings. And the population total stems number of treat of 540 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare was the highest, followed by 420 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare, 300 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare, and 180 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare. To get higher yield, the optimum spacing form and density on henong 822 were 15 cm and 300 × 10<sup>4</sup> basic seedlings per hectare.

**Key words:** Spacing form; Density; Henong 822; Population quality; Grain yield

小麦产量的稳定增长,离不开高产配套栽培措施,行距配置和种植密度就是其中的两个重要方面。

行距配置和种植密度在很大程度上影响小麦的群体结构,进而影响群体的光能利用和干物质生产。种

收稿日期:2008-12-29

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划重大项目“粮食丰产科技工程”河北课题(2006BAD02A08)

作者简介:刘丽平(1982-),女,河北景县人,在读硕士,主要从事小麦栽培生理研究。

通讯作者:李雁鸣(1955-),男,河北河间人,教授,博士,主要从事小麦高产优质的生态生理研究。

植密度决定群体的大小,而行距配置方式则决定群体的均匀性<sup>[1]</sup>。单玉珊<sup>[2]</sup>指出,合理的群体结构需要密度与株型的合理配合,因此,掌握适宜的基本苗数,做到合理密植,是创造合理群体动态结构,形成优化产量结构的基本措施。合理密植对小麦来说,是适宜的基本苗数和配置方式的结合<sup>[3]</sup>。关于行距配置和密度对小麦的影响,前人已经做了大量工作。但是,关于在节水条件下不同行距配置和密度对高产冬小麦群体质量和产量的系统报道尚不多见,为此,本试验在节水条件下,采用河北农业大学育成的高产早熟优质中筋冬小麦品种河农 822 为试验材料,对冬小麦的群体质量及产量进行了研究,分析了不同行距配置和密度对冬小麦群体质量和产量的影响,以期通过栽培措施的调控,挖掘小麦的生产潜力,为进一步实现小麦的高产、优质提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

田间试验于 2006 - 2007 年在河北省藁城市宜安村高产大田进行,供试小麦品种为河农 822。

土壤质地为轻壤潮土,土壤 0 ~ 20 cm 耕层中有有机质含量 11.3 g/kg、全氮 1.38 g/kg、碱解氮 117.6 mg/kg、速效磷 34.8 mg/kg、速效钾 64.05 mg/kg。玉米收获后秸秆全部粉碎还田,然后浇底墒水,每 667 m<sup>2</sup> 施 N 素 15 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 9 kg, K<sub>2</sub>O 7.5 kg。其中 40 % 的氮肥作底肥,60 % 作为拔节期追肥。底肥施用的肥料为鲁西复合肥,其 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 含量分别为 12 %、18 % 和 15 %,施用量为 750 kg/hm<sup>2</sup>;拔节期追肥为尿素。底肥均匀撒施后旋耕、耙地、耱平,之后播种、做畦。

试验采取二因素裂区试验设计。主处理为行距(S),分 15 cm 等行距(S1)、16.7 cm + 16.7 cm + 26.7 cm(即当地的“三密一稀”种植模式)(S2)、20 cm 等行距(S3) 3 个水平;副处理为密度(D),分 180 万/hm<sup>2</sup>(D1)、300 万/hm<sup>2</sup>(D2)、420 万/hm<sup>2</sup>(D3)、540 万/hm<sup>2</sup>(D4) 4 个水平。主副区内随机排列,重复 3 次。共有 36 个小区,每小区的面积为 40 m<sup>2</sup>(10 m × 4 m)。小麦三叶期严格按照标准人工间苗,田间管理除依照试验设计分别实施外,均按超高产田管理措施统一进行。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 总茎(穗)数 于冬前、起身、拔节、孕穗、开花、成熟期选取定点的 1 m 长度内的 2 行或 3 行(因播种形式而不同),调查总茎(穗)数。成熟后计算以下内容:

分蘖成穗率(%) = (成熟期总穗数 - 基本苗数) / (最高总茎数 - 基本苗数) × 100 %

主茎穗比重(%) = 基本苗数 / 成熟期总穗数 × 100 %

分蘖穗比重(%) = (成熟期总穗数 - 基本苗数) / 成熟期总穗数 × 100 %

总成穗率(%) = 成熟期总穗数 / 最高总茎数 × 100 %

1.2.2 干物重 不同生育时期在各处理多点取苗 20 株,作为考察样本。把植株地下部剪掉,分器官置 105 °C 烘箱中杀青 30 min,80 °C 烘干到恒重,冷却后称重。

1.2.3 叶面积指数(LAI) 与干物重测定同步进行。在考察后的植株中选取 3 株有代表性的植株作样株,测量全部叶片的长度和宽度,并将 3 株绿叶(样叶)单独烘干称重。然后按下式计算 LAI:

$$LAI = \frac{\text{样叶面积 (cm}^2\text{)}}{\text{样叶重 (g)}} \times \frac{\text{绿叶总重 (g/20株)}}{\text{株数 (20)}} \times \frac{\text{基本苗 (株/m}^2\text{)}}{10^4} \text{ (m}^2\text{/cm}^2\text{)}$$

1.2.4 产量和产量构成因素 收获前定点调查各处理穗数,连续取 20 穗,计数每穗平均结实粒数。各处理成熟后收获 2 m × 1 m,脱粒风干计产。之后用各样点晒干的籽粒测定千粒重。

试验数据应用 SAS 程序进行方差分析,Duncan 法多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 行距配置和密度组合对群体动态的影响

由表 1 可见,各处理组合总茎数的消长均呈单峰变化,在起身期达到高峰,之后随分蘖两极分化,总茎数下降。由表 1 还可以看出,随着密度的增大,总茎数也随之增大,分蘖成穗率、总成穗率及总茎数也不相同。其中,低密度的比高密度的分蘖成穗率高,总成穗率则随密度增大而逐渐增大,总茎数以高密度的为多。主茎穗所占的比重随密度的增大而上升,分蘖穗所占的比重则下降。D1 密度的个体与群体矛盾小,分蘖成穗率高,但不利于形成高穗数。D4 密度的个体与群体矛盾突出,分蘖成穗率低。同一生育时期相同密度下的总茎数高低以 15 cm 等窄行 > 20 cm 等宽行 > 16.7 cm + 16.7 cm + 26.7 cm 三密一稀。分蘖成穗率和总成穗率也呈同样的变化趋势。所以,适宜的行距能够增加单株分蘖数,提高分蘖成穗率,从而有利于群体质量的改善。在本试验条件下,成熟期总茎数最高的 4 个组合依次为 S1D4、S1D3、S1D2 和 S1D1。

由表 2 不同的行距配置的主效应比较可见,各

时期总茎数均为 S1 > S3 > S2 ,总成穗率和分蘖成穗率亦如此。主茎穗所占的比重以 S2 最高 ,S3 次之 ,S1 最低。这主要是因为 ,在相同密度下 S1 可在减小行距的同时拉大株距 ,使植株的田间分布更为均匀 ,有效利用空间 ,抑制了无效分蘖的发生 ,利于增加分蘖和成穗 ;而 S2 ,S3 行距虽然透光性好 ,但加大

了漏光损失 ,降低了分蘖成穗率 ,不利于形成高产群体。进一步分析表明 ,冬前至拔节期 S1 的总茎数与 S3 ,S2 差异显著 ,而 S3 与 S2 差异不显著。孕穗期每 2 种行距之间均在 0.05 水平上差异显著 ,开花至成熟期三者的差异逐渐缩小。

表 1 不同行距和密度组合的群体总茎数和成穗情况

Tab.1 Total stems and ears of population in different combination of spacing patterns and planting density												
组合 Combination	苗、茎、穗数 (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Culm(spike) number								分蘖成穗率 / % Spike - bearing rate of tiller	主茎穗 比重/ % Rate of main stems bearing	分蘖穗 比重/ % Rate of tiller bearing	总成穗率 / % Total spike - bearing rate
	计划 基本苗 Proposed basic seedlings	实际 基本苗 Actual basic seedlings	冬前 Pre - winter	起身期 Erecting	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	成熟期 Maturity				
S1D1	180.0	171.1	1 146.7	1 849.0	1 824.5	710.0	654.5	643.5	28.2	26.6	73.4	34.8
S1D2	300.0	321.1	1 660.1	1 910.1	1 862.3	738.4	697.8	671.8	22.1	47.8	52.2	35.2
S1D3	420.0	434.5	1 803.4	1 916.8	1 867.9	813.4	776.7	711.7	18.7	61.0	39.0	37.1
S1D4	540.0	583.4	1 964.5	2 031.2	1 887.9	871.7	783.4	776.7	13.4	75.1	24.9	38.2
S2D1	180.0	180.0	925.0	1 661.2	1 581.2	574.2	592.3	563.4	25.9	32.0	68.0	33.9
S2D2	300.0	312.8	1 185.1	1 734.5	1 637.3	590.9	602.0	583.4	19.0	53.6	46.4	33.6
S2D3	420.0	465.0	1 376.7	1 785.1	1 285.1	650.9	630.3	605.9	10.7	76.7	23.3	33.9
S2D4	540.0	550.6	1 494.0	1 819.0	1 365.1	709.2	640.4	630.6	6.3	87.3	12.7	34.7
S3D1	180.0	174.2	1 066.7	1 577.6	1 455.9	658.8	582.8	545.2	26.4	31.9	68.1	34.6
S3D2	300.0	305.8	1 378.4	1 793.4	1 552.6	736.3	638.8	606.3	20.2	50.4	49.6	33.8
S3D3	420.0	445.0	1 482.6	1 803.4	1 650.9	767.5	650.0	621.3	13.0	71.6	28.4	34.5
S3D4	540.0	557.5	1 577.6	1 906.8	1 718.4	796.3	660.0	638.8	6.0	87.3	12.7	33.5

表 2 行距配置对群体总茎数的主效

Tab.2 The main effect of different spacing patterns on population total stems											
行距配置 Spacing pattern	苗、茎、穗数/ (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Culm(spike) number							总成穗 率/ % Total spike - bearing rate	分蘖成穗 率/ % Spike - bearing rate of tiller	主茎穗 比重/ % Rate of main stems bearing	分蘖穗 比重/ % Rate of tiller bearing
	实际 基本苗 Actual basic seedlings	冬前 Pre - winter	起身期 Erecting	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	成熟期 Maturity				
S1	377.5	1 643.7aA	1 926.8aA	1 860.6 aA	783.4aA	728.1 aA	700.9aA	36.4Aa	20.9aA	53.9bB	46.1aA
S2	377.1	1 245.2bB	1 749.9bB	1 467.2 bB	631.3cB	616.2bB	595.8bB	34.0aA	15.9bB	63.3aA	36.7bB
S3	370.6	1 376.3bB	1 770.3bB	1 594.5 bB	739.7bA	632.9bB	602.9bB	34.1aA	16.6bB	61.5aA	38.5bB

由表 3 可见 ,不同密度下总成穗率的差异不大 ,分蘖成穗率则随密度增大而降低。冬前至起身期是分蘖发生的高峰期 ,使得中、低密度群体与高密度群体的总茎数差异显著。表现为 D4 与 D2 ,D1 差异显著 ,与 D3 差异不显著 ,其中起身期 D4 与 D1 差异极显著。基本苗为 D1 的群体起点最低 ,但其分蘖成穗率较高 ,总成穗率为 34.4 % ,其中主茎穗占

30.0 % ,分蘖穗占 70.0 % ,主要依靠分蘖成穗。D4 的起点最高 ,但其分蘖成穗率低 ,仅为 8.7 % ,其中主茎穗占 82.7 % ,分蘖穗占 17.3 % ,主要依靠主茎成穗。即随种植密度增大 ,主茎穗所占的比例增大 ,分蘖穗所占比例减小。由于群体的自动调节作用 ,4 种密度水平下都取得了较高的成穗数。

表 3 种植密度对群体总茎数的主效

Tab.3 The main effect of different planting density on population total stems											
种植 密度 Planting density	苗、茎、穗数/ (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Culm(spike) number							总成穗 率/ % Total spike - bearing rate	分蘖成穗 率/ % Spike - bearing rate of tiller	主茎穗 比重/ % Rate of main stems bearing	分蘖穗 比重/ % Rate of tiller bearing
	实际 基本苗 Actual basic seedlings	冬前 Pre - winter	起身期 Erecting	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	成熟期 Maturity				
D1	175.1	1 046.2 bC	1 695.9 bB	1 620.5 aA	647.7 bC	609.8 bB	584.0 cC	34.4 aA	26.9 aA	30.0 dD	70.0 aA
D2	313.3	1 407.8bA	1 812.7 abAB	1 684.1 aA	688.5 bBC	646.2 bAB	620.5 bcBC	34.2 aA	20.5 bB	50.5 cC	49.5 bB
D3	448.2	1 554.2 abA	1 835.1 abA	1 601.3 aA	743.9 aAB	685.7 aA	646.3 abAB	35.2 aA	14.3 cC	69.3 bB	30.7 cC
D4	563.8	1 678.7 aA	1 919.0 aA	1 657.1 aA	792.4 aA	694.6 aA	682.0 aA	35.5 aA	8.7 dD	82.7 aA	17.3 dD

2.2 行距配置和密度组合对叶面积指数的影响

随着植株的生长发育,叶面积指数(LAI)也在不断地变化。由表4可见,群体的叶面积指数呈单峰曲线的变化趋势,即随着生育进程的推进,叶面积指数逐渐增长,到孕穗期达到最大值后又逐渐下降。D1 3种行距配置的LAI基本上都是S1D1>S2D1>S3D1,仅后期略有不同。D2和D3的3种行距配置

之间比较,也有这种趋势。这可能是由于早期S1行距的群体增大迅速,总茎数多,叶面积大,中后期又因植株分布均匀叶片保持较多,因而叶面积指数大。D4 3种行距配置的LAI灌浆前S1D4>S3D4>S2D4,灌浆期S1D4>S2D4>S3D4,蜡熟期S3D4>S1D4>S2D4。这可能是因为S1群体下个体分布均匀,在高密度下群体内个体间矛盾突出,LAI迅速下降。

表4 不同行距配置和密度组合的叶面积指数

Tab. 4 Leaf area index in different combinations of spacing patterns and planting density							
组合 Combination	越冬前 Pre - winter	起身期 Erecting	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	开花后 15 d 15 d after anthesis	开花后 30 d 30 d after anthesis
S1D1	2.2	2.7	6.0	8.7	6.2	4.8	1.1
S1D2	2.6	3.5	6.7	8.7	6.5	4.9	1.3
S1D3	3.0	3.9	6.8	10.1	7.5	5.6	1.6
S1D4	3.1	3.4	6.3	10.0	7.0	4.9	1.5
S2D1	1.5	2.2	5.6	6.8	5.5	4.3	1.4
S2D2	2.2	2.7	6.2	9.4	6.2	4.5	2.1
S2D3	2.4	2.5	6.7	7.6	6.0	4.3	1.4
S2D4	2.5	2.8	5.7	7.4	5.6	4.4	1.4
S3D1	1.5	2.4	4.8	6.6	5.2	4.3	1.3
S3D2	2.0	2.8	6.1	8.8	6.2	4.8	1.7
S3D3	2.5	3.1	6.5	10.2	6.7	5.0	2.2
S3D4	2.8	3.1	6.2	8.6	6.2	4.0	1.8

由表5可见,在小麦的各个生育时期,叶面积指数(LAI)均为S1>S3>S2,除了拔节期和花后30 d 3种行距配置的差异不显著外,其他时期S1与S2差异极显著,S1与S3差异也达到显著水平。这主要是因为S1的群体总茎数最多,且S1的群体光分布较均匀,冠层叶片绿色持续期长,故叶面积指数一直

很高。S3的行距大于S1,所以相同密度下株距减小,使个体间竞争加剧,导致下部绿叶持续期短。而S2大行距较宽,利于叶片伸展;而相同密度下过大的行距导致植株间距过小,叶片荫蔽,所以叶面积总小于S1和S3。

表5 行距配置对叶面积指数的主效

Tab. 5 The main effect of different spacing patterns on leaf area index							
行距配置 Spacing pattern	越冬前 Pre - winter	起身期 Erecting	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	开花后 15 d 15 d after anthesis	开花后 30 d 30 d after anthesis
S1	2.7 aA	3.4 aA	6.4 aA	9.4 aA	6.8 aA	5.1 aA	1.7 aA
S2	2.1 bB	2.5 bB	6.1 aA	7.8 bB	5.8 bB	4.4 bB	1.4 aA
S3	2.2 bB	2.8 bAB	5.9 aA	8.5 abAB	6.1 bB	4.5 bAB	1.6 aA

由表6可见,各密度处理的叶面积指数均呈单峰曲线,峰值出现在孕穗期。除越冬前随密度增大叶面积指数增加外,其他时期都是从D1到D3 LAI逐渐增大,而D4的LAI低于D3。显著性测验表明,

越冬前D1、D2与D4差异极显著,起身至开花期D1与D3的差异极显著,开花期后,各密度水平下的LAI差异不显著。

表6 密度对叶面积指数的主效

Tab. 6 The main effect of different planting density on leaf area index							
种植密度 Planting density	越冬前 Pre - winter	起身期 Erecting	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	开花后 15 d 15 d after anthesis	开花后 30 d 30 d after anthesis
D1	1.7 cC	2.4 bB	5.5 bB	7.4 bB	5.6 bB	4.5 aA	1.3 bA
D2	2.3 bB	3.0 aAB	6.3 aAB	9.0 aA	6.3 aAB	4.7 aA	1.7 aA
D3	2.6 aAB	3.1 aA	6.6 aA	9.3 aA	6.8 aA	5.0 aA	1.7 aA
D4	2.8 aA	3.1 aAB	6.1 abAB	8.7 aAB	6.2 abAB	4.4 aA	1.6 abA

2.3 行距配置和密度组合对干物质积累的影响

由表7可见,各处理的干物质积累进程均遵循S形曲线,即随生育进程的推进干物质积累量增加。

其中,起身期前干物质积累较慢,拔节后迅速增加,成熟期干物质积累量达到最大。不同处理之间的差异从冬前到成熟期逐渐缩小。同一行距配置不同密

度间干物质积累量变化很大,以 S1 为例,冬前至起身期干物质积累量为  $D4 > D3 > D2 > D1$ ,即随密度增大而增加;拔节以后  $D4$  的干物质积累量逐渐低于  $D3$ ;至成熟期干物质积累量表现为  $D3 > D2 > D1 > D4$ 。这可能是不同密度对分蘖调控,从而引起群体中个体生长差异的结果。同一密度下不同行距之

间的干物质积累量比较,以等窄行的  $S1 >$  等宽行的  $S3 >$  三密一稀的  $S2$ 。这主要是因为 在  $S1$  的条件下,相同土地面积上可以容纳更多的植株,且植株的营养面积均匀。本试验干物质积累量最高的组合依次为  $S1D3$  , $S1D2$  和  $S3D2$ 。

表7 不同行距配置和密度组合的干物质积累量

Tab.7 Dry matter accumulation in different combinations of spacing patterns and planting density							kg/ hm <sup>2</sup>
组合 Combination	冬前 Pre - winter	起身期 Erecting	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	成熟期 Maturity	
S1D1	1 304.2	3 147.5	5 283.0	8 867.3	12 526.9	21 317.3	
S1D2	2 156.9	3 959.0	6 407.2	9 287.1	13 634.6	21 737.3	
S1D3	2 586.5	4 281.0	6 477.5	10 119.4	17 037.3	21 821.2	
S1D4	3 144.3	4 298.9	6 336.8	10 863.4	15 719.8	20 710.1	
S2D1	1 194.1	2 664.7	5 110.8	7 253.0	11 087.0	16 916.1	
S2D2	1 829.8	3 243.9	5 833.4	9 550.3	13 274.7	21 567.3	
S2D3	2 195.7	3 245.6	5 711.3	9 635.3	13 380.5	20 083.6	
S2D4	2 479.5	3 465.2	5 528.7	8 985.2	11 928.2	19 529.2	
S3D1	1 335.9	2 607.1	4 617.1	9 478.7	11 238.3	19 706.2	
S3D2	1 785.6	3 351.6	5 751.9	11 074.4	13 332.3	2 1320.5	
S3D3	2 257.0	3 398.5	5 807.2	8 063.8	13 611.3	19 437.0	
S3D4	2 692.9	3 703.3	5 693.0	9 066.7	13 149.3	19 295.0	

由表 8 可见,在 3 种行距配置下,除了拔节期和成熟期干物质积累量差异不显著,其他时期均不同程度地存在差异。其中  $S1$  的干物质积累量最高, $S2$  次之, $S3$  最低。

表8 行距配置对干物质积累的主效

Tab.8 The main effect of different spacing patterns on dry matter accumulation							kg/ hm <sup>2</sup>
行距配置 Spacing pattern	冬前 Pre - winter	起身期 Erecting	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	成熟期 Maturity	
S1	2 298.0 aA	3 921.6 aA	6 126.1 aA	9 784.3 aA	14 729.7 aA	21 396.5 aA	
S2	1 924.8 bA	3 154.9 bA	5 546.1 aA	8 856.0 cB	12 417.6 bA	20 274.1 aA	
S3	2 017.9 abA	3 265.1 bA	5 467.3 aA	9 420.9 bA	12 832.8 bA	19 939.7 aA	

由表 9 可见,随种植密度增大,各时期的干物质积累量均逐渐增加。4 种密度之间冬前差异较大,起身期至孕穗期差异达到最小,开花期到成熟期又增大。4 种密度比较,冬前和起身期干物质积累量随密度增大而增加;拔节以后  $D4$  的干物质积累量

低于  $D3$  或  $D2$ ,成熟期  $D4$  的干物质积累量最小。不同时期不同密度的干物质积累量差异显著或极显著。这表明,密度对干物质的积累有很大影响。密度过小不利于干物质积累,密度过大干物重也有下降的趋势。

表9 种植密度对干物质积累的主效

Tab.9 The main effect of different planting density on dry matter accumulation							kg/ hm <sup>2</sup>
种植密度 Planting density	冬前 Pre - winter	起身期 Erecting	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	成熟期 Maturity	
D1	1 278.1 cC	2 806.4 bB	5 003.6 bB	8 533.0 bB	11 617.4 cC	20 313.2 bAB	
D2	1 924.1 bB	3 518.2 aA	5 997.5 aA	9 970.6 aA	13 413.9 bB	21 541.7 aA	
D3	2 346.4 abAB	3 641.7 aA	5 998.7 aA	9 272.8 abAB	14 676.4 aA	20 447.3 bAB	
D4	2 772.2 aA	3 822.5 aA	5 852.8 aA	9 638.4 aAB	13 599.1 bAB	19 844.8 bcB	

2.4 行距配置和密度组合对小麦产量和产量构成因素的影响

由表 10 可见,同一行距不同密度种植的小麦籽粒产量从高到低依次为  $D2 > D3 > D1 > D4$ ,即中等密度的产量最高,低密度次之,高密度最低。等窄行种植样式的产量与等宽行大致相同,三密一稀种植样式产量最低。产量高的等窄行种植与等宽行条件

下相比,不同密度之间产量差异较小。本试验条件下,种植密度  $300$  万/  $\text{hm}^2$  ×等窄行的组合 ( $S1D2$ ) 产量最高,达  $8\,918.8$   $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。其次为  $300$  万/  $\text{hm}^2$  ×等宽行 ( $S3D2$ ) 的组合,产量为  $8\,912.1$   $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

对不同行距的产量和产量构成因素进行多重比较可见, $S1$  与  $S2$  , $S3$  穗数的差异达极显著水平, $S2$  与  $S3$  之间差异不显著。不同行距配置的穗粒数差

异不显著,而千粒重的差异极显著。由于产量构成因素之间的协调作用,不同行距配置的籽粒产量差异不显著,但以 S2 的产量最低,S3 和 S1 的产量较高,且二者几乎相等。这表明,仅就小麦产量来看,15 cm 等行距和 20 cm 等行距较为理想。

由表 12 可见,单位面积穗数随种植密度增大而递增,穗粒数和千粒重则随密度增大而递减。不同密度之间比较,上述 3 个产量构成因素的差异均达

到显著或极显著水平。另外,每穗总小穗数随种植密度增大而递减,不孕小穗数则递增,但不同密度之间差异不显著。不同密度的籽粒产量比较,D2,D3 显著高于 D1,D4,尤其是以 D2 的产量最高,D4 的产量最低。其原因主要是 D2,D3 的产量构成因素较协调,所以产量较高。4 种密度水平下产量高低依次为 D2>D3>D1>D4,说明在该地区 300 万/hm<sup>2</sup> 的种植密度最为合适。

表 10 不同行距配置和密度组合的产量和产量构成因素

Tab. 10 Grain yield and yield components of different combination of spacing patterns and planting density						
组合 Combination	穗数 (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Spike number	穗粒数/个 Grain number per spike	千粒重/g 1 000 grain weight	总小穗数 (个/穗) Total spikelets per spike	不孕小穗数 (个/穗) Sterile spikelets per spike	籽粒产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Grain yield
S1D1	643.4	36.3	40.01	18.6	2.4	8 220.4
S1D2	671.7	34.3	39.57	18.9	2.4	8 918.8
S1D3	711.7	31.3	39.01	18.6	2.7	8 247.1
S1D4	776.7	30.4	37.80	18.1	2.6	8 170.4
S2D1	539.2	36.3	42.86	19.0	2.2	8 233.7
S2D2	583.4	34.2	41.06	18.7	2.1	8 422.1
S2D3	605.9	32.4	39.78	19.0	2.1	8 252.1
S2D4	632.5	29.9	39.49	18.3	2.4	8 132.1
S3D1	545.0	36.9	42.31	19.0	2.5	8 112.6
S3D2	606.3	35.5	41.15	18.8	2.4	8 912.1
S3D3	621.3	33.7	39.73	18.5	2.2	8 593.8
S3D4	638.8	32.7	39.08	18.2	2.7	7 947.1

表 11 行距配置对产量和产量构成因素的主效

Tab. 11 The main effect of different spacing patterns on grain yield and yield components						
行距配置 Spacing pattern	穗数/(10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Spike number	穗粒数/个 Grain number per spike	千粒重/g 1 000 grain weight	总小穗数/(个/穗) Total spikelets per spike	不孕小穗数/(个/穗) Sterile spikelets per spike	籽粒产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Grain yield
S1	700.9 aA	33.1 aA	39.10 bB	18.6 aA	2.5 aA	8 389.2 aA
S2	590.2 bB	33.2 aA	40.80 aA	18.7 aA	2.2 bB	8 260.0 aA
S3	602.8 bB	34.7 aA	40.57 aA	18.6 aA	2.4 abAB	8 391.4 aA

表 12 种植密度对产量和产量构成因素的主效

Tab. 12 The main effect of different planting density on grain yield and yield components						
种植密度 Planting density	穗数/(10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Spike number	穗粒数/个 Grain number per spike	千粒重/g 1 000 grain weight	总小穗数/(个/穗) Total spikelets per spike	不孕小穗数/(个/穗) Sterile spikelets per spike	籽粒产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Grain yield
D1	575.9 cB	36.5 aA	41.72 aA	18.9 aA	2.4 aA	8 188.9 bA
D2	620.4 bcAB	34.7 bB	40.59 bAB	18.8 aA	2.3 aA	8 751.0 aA
D3	646.3 abAB	32.5 cBC	39.51 cBC	18.7 aA	2.3 aA	8 364.3 abA
D4	682.7 aA	31.0 cC	38.79 cC	18.2 bA	2.6 aA	8 083.2 bA

2.5 实现高产的行距密度组合

综上所述,由于行距和密度的交互作用不显著,故最佳的行距配置水平和最佳密度水平即为最优组合,即 S1D2 和 S3D2 为最优组合。但是综合分析行距配置和密度对群体总茎数、叶面积指数、干物质积累、产量及其产量构成因素的的影响,则 S1D2 应为最佳组合,其次为 S3D2。即河农 822 在山前平原区最佳的行距配置和种植密度为 15 cm 等行距 ×300 万/hm<sup>2</sup>,其次为 20 cm 等行距 ×300 万/hm<sup>2</sup>。

3 讨论

3.1 关于密度对群体质量及产量的影响

在本试验中,密度从 D1 增加到 D4,总茎数随之增大,单位面积穗数也增加。叶面积指数随着总茎数的增大而增加,干物质的积累也呈上升趋势。从拔节期或孕穗期开始,密度增大到 D3 之后叶面积指数和干物质积累不增反降。这是因为小麦抽穗后,多阴雨天气,光照不足,叶片相互遮荫,加之白粉病大面积发生,且密度越大,病情越严重,中下部叶

片变黄甚至枯死,导致叶面积指数下降,干物质积累减少。所以提高种植密度只在小麦生长初期起作用,随着生育进程的推进,高密度对干物质积累量的增加不再起作用。小麦群体叶面积指数与密度的相互关系密切,而当群体叶面积指数达到一定值时就不再增加,甚至有下降的趋势。所以,叶面积指数也不是越大越好,在最适叶面积指数范围内,源库关系协调,产量也会随着叶面积指数的增大而增加。与此同时,单位面积穗数增加,也会导致叶面积提高,当叶面积指数超出一定范围时,叶片相互遮荫,冠层叶受光姿态不良,受光能力下降,中层叶受光能力更弱,直接影响光合强度和净光合生产力的提高,反而增加群体的呼吸强度,群体内通风透光不良,病害滋生,地上部干物质生产能力削弱,地下部根系的活力下降,直接或间接地降低每穗结实粒数和结实率,以至降低单位面积产量<sup>[4]</sup>。本试验中,D2 和 D3 的群体大小适中,绿叶面积及绿叶持续期长,干物质积累量高。D4 群体过大,下部叶衰老快,孕穗期后叶面积指数反而迅速下降,干物质生产能力弱,穗粒数和千粒重降低,使得穗数的增多不能弥补穗粒数和千粒重下降对产量的影响;D1 群体较小,通风透光条件好,但漏光损失严重,穗粒数和千粒重的增加不能弥补其穗数过少对产量的影响。这是 D2 和 D3 产量较高,D1 和 D4 产量较低的主要原因。

一般来说,小麦具有一定的自动调节能力。但是,自动调节能力有一定的限度,如果种植密度过小或过大,自身难以完全调节,最终都不能达到较合理的群体结构,造成穗数过多或过少,不能高产<sup>[5]</sup>。

### 3.2 关于不同行距配置对群体质量及产量的影响

本试验中 15 cm 等窄行种植的群体总茎数、叶面积指数、干物质积累量和产量基本上都高于 20 cm 等宽行和 16.7 cm + 16.7 cm + 26.7 cm 三密一稀种植样式。这是因为相同密度下,15 cm 等窄行种植可减小行距拉大株距,植株的营养面积均匀,分蘖成穗率高,总茎数也多。群体总茎数的增多势必导致叶面积指数的增大,叶面积指数在一定范围内的增大会增强干物质生产能力,从而使产量提高。而 16.7 cm + 16.7 cm + 26.7 cm 的种植样式宽行太宽,造成光能浪费;相同密度下株间太窄,植株叶片伸展不开,叶片相互荫蔽,光合生产能力降低,干物质积累减少,最终产量也降低。20 cm 等宽行种植行间较宽,利于叶片伸展,而株间太窄,植株叶片互叠,不

利于光能利用和干物质积累。吴玉娥等<sup>[6]</sup>研究确定,16.7 cm 窄行距通过增加穗数而增产,但未设计更窄行距。张全国等<sup>[7]</sup>研究确定行距缩至 10 cm 对强筋小麦仍表现出明显的增产作用。但是行距越窄,通风透光越差,在较湿润和光照不足年份或者使用小麦品种不当时,可能会引起小麦后期病虫害<sup>[8]</sup>。张保军等<sup>[9]</sup>研究认为三密一稀是小偃 503 在陕西岐山实现优质高产的最佳样式,而刘印杰等<sup>[10]</sup>研究认为,小麦高产田实行宽窄行种植,能充分发挥其边行优势,达到低群体、壮个体,产量三要素协调发展,有利于抗倒伏、抗旱衰,提高产量。本试验中,15 cm 等行距种植样式因为能够充分利用光能、水分和养分等生态因子,所以群体大小适中,叶面积指数和干物质积累量大,最终产量较高。由此可见,小麦的种植行距要根据特定的品种、地域和生态条件合理配置。

综上所述,不同的小麦品种要因地制宜,结合当地的生态条件,采取适宜的行距配置和密度等栽培措施,这样才能取得高产。

### 参考文献:

- [1] 董 钻,沈秀瑛.作物栽培学总论[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [2] 单玉珊.小麦高产栽培研究文集[C].北京:中国科学技术出版社,1998.
- [3] 冯永祥,杨恒山,李志刚,等.行向、行距对小麦田间光照及产量的影响[J].哲里木畜牧学院学报,2000,10(1):21-24.
- [4] 王永锐.作物高产群体生理[M].北京:科学技术文献出版社,1989.
- [5] 于振文.作物栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [6] 吴玉娥,韩占江,薛 香,等.行距对不同株型小麦产量性状的影响[J].河南科技学院学报(自然科学版),2005,25(3):14-16.
- [7] 张全国,马瑞昆,贾秀领,等.种植密度和样式对强筋小麦产量及其构成的影响[J].河北农业科学,2006,10(2):11-15.
- [8] 陈素英,张喜英,陈四龙,等.种植行距对冬小麦田土壤蒸发与水分利用的影响[J].中国生态农业学报,2006,14(3):86-89.
- [9] 张保军,由海霞,海江波.种植方式对小麦产量及品质影响的研究[J].陕西农业科学,2002(4):1-2.
- [10] 刘印杰,冯兰芝.小麦宽窄行种植对个体发育及其产量结构的影响[J].河南农业科学,1997(10):8-9.