

# 种植密度对青海高寒山区青麦 10 号春小麦群体性状及产量的影响

朱丽丽<sup>1,2</sup> 李想<sup>1,2</sup> 宋生禄<sup>3</sup> 李文军<sup>4</sup> 王元兰<sup>5</sup> 王富姐<sup>5</sup> 徐慧君<sup>6</sup> 陈志国<sup>1,7,8</sup>

<sup>1</sup> 中国科学院西北高原生物研究所,青海西宁 810008;

<sup>2</sup> 中国科学院大学,北京 100049;

<sup>3</sup> 海东市乐都区农业技术推广中心,青海海东 810700;

<sup>4</sup> 海东市乐都区种子站,青海海东 810700;

<sup>5</sup> 海东市乐都区农牧局,青海海东 810700;

<sup>6</sup> 门源县种子站,青海门源 810300;

<sup>7</sup> 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室,青海西宁 810008;

<sup>8</sup> 青海省作物分子育种重点实验室,青海西宁 810008)

**摘要** 利用方差分析和相关分析方法研究种植密度对春小麦品种青麦 10 号产量及产量构成因素的影响,以确定其在青海春麦主产区适宜的种植密度。结果表明,种植密度对青麦 10 号各农艺性状的影响显著,综合各群体性状指标,以中密度处理(675 万粒/hm<sup>2</sup>)可以获得较高产量。

**关键词** 小麦;青麦 10 号;群体性状;产量;青海高寒山区

中图分类号 S512 文献标识码 A

文章编号 1007-5739(2021)06-0003-04

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5739.2021.06.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Effect of Planting Density on Population Quality and Yield of Spring Wheat Qingmai 10 in the Alpine Mountain Area of Qinghai

ZHU Lili<sup>1,2</sup> LI Xiang<sup>1,2</sup> SONG Shenglu<sup>3</sup> LI Wenjun<sup>4</sup> WANG Yuanlan<sup>5</sup> WANG Fujie<sup>5</sup>  
XU Huijun<sup>6</sup> CHEN Zhiguo<sup>1,7,8</sup>

<sup>1</sup> Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining Qinghai 810008; <sup>2</sup> Chinese Academy of Sciences University, Beijing 100049; <sup>3</sup> Ledu District Agricultural Technology Extension Center of Haidong City, Haidong Qinghai 810700;

<sup>4</sup> Ledu District Seed Station of Haidong City, Haidong Qinghai 810700; <sup>5</sup> Ledu District Agriculture and Animal Husbandry Bureau of Haidong City, Haidong Qinghai 810700; <sup>6</sup> Menyuan County Seed Station, Menyuan Qinghai 810300; <sup>7</sup> Key Laboratory of Plateau Biological Adaptation and Evolution, Chinese Academy of Sciences, Xining Qinghai 810008; <sup>8</sup> Key Laboratory of Crop Molecular Breeding of Qinghai Province, Xining Qinghai 810008)

**Abstract** Variance analysis and correlation analysis were used to study the effect of planting density on yield and yield components of spring wheat Qingmai 10, so as to determine the suitable planting density in the main production area of spring wheat in Qinghai Province. The results showed that planting density had significant effect on the agronomic characters of Qingmai 10, and the medium density treatment (6.75 million grains per hectare) could obtain higher yield.

**Keywords** wheat; Qingmai 10; population character; yield; alpine mountain area of Qinghai

小麦是一种在世界范围内广泛种植的谷类作物,也是我国主要的粮食作物<sup>[1]</sup>。小麦的产量和品质直接

关系到国家粮食安全和人民的生活质量<sup>[2]</sup>,是保障国家粮食安全的头等大事。

近年来,随着耕地面积逐渐减少,对小麦品种产量、适应性等要求越来越高,合理的群体结构是小麦获得高产稳产的基础<sup>[3]</sup>。适宜的小麦种植密度是发挥小麦新品种增产潜力,保证小麦高产、优质、高效的重要因素之一<sup>[4]</sup>。

种植密度是影响小麦生长发育及产量形成的重要因素之一。合理密植是小麦获得高产的最基本要

**基金项目** 中国科学院种子创新研究院(INASEED);海西州财政支持农业项目(HXNM-001);青海省种子工程项目(2019016);青海省重点研发与转化计划项目(2020-NK-122)。

**作者简介** 朱丽丽(1994—),女,青海海东人,硕士,从事作物遗传育种研究工作。

\* 通信作者

收稿日期: 2020-10-05

求,一定范围内,随着播种密度的增加,籽粒产量提高,超过一定种植密度后开始下降。小麦分蘖能力受种植密度影响显著,可通过减少分蘖来缓解高种植密度下个体间的竞争压力,增加分蘖来补偿低种植密度单位面积的穗数<sup>[4]</sup>。

在小麦高产栽培中,要达到目标产量,建立合理的群体至关重要<sup>[5]</sup>。播种量较小时,株间光照增加,叶片中叶绿素含量较高,保证了上部叶片良好的光合能力,从而延缓了中下部叶片的衰老,有利于粒数和千粒重的增加,从而为获得高产奠定生理基础;播种量较大时,群体通风透光性差,不利于下部叶片的光合作用,光照不足会导致叶片衰老,甚至凋亡<sup>[5]</sup>。

目前,青海省小麦生产中普遍存在不同程度的播量过大问题,引起小麦的群体偏大、植株旺长、茎秆瘦弱,进而引发植株易倒伏、早衰、籽粒不饱满、产量不高等问题。由于品种特性、生态环境和管理水平的差异,不同生产条件下,小麦适宜种植密度往往不一致<sup>[5]</sup>。本研究以小麦品种青麦 10 号为材料,探讨不同种植密度对其产量及构成因素的影响,以期为该品种的栽培及标准化生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况

门源回族自治县位于青海省东北部,平均海拔 2 866 m,耕地面积 7.33 万  $\text{hm}^2$ 。属高原大陆性气候,具有日照时间长、太阳辐射强、昼夜温差大等高原寒温湿润性气候特征。试验安排在平坦的缓坡旱地进行。供试春小麦新品种为青麦 10 号,该品种于 2019 年通过青海省省级审定。

### 1.2 试验设计

根据种植密度不同,试验共设 6 个处理,即 525 万、600 万、675 万、750 万、825 万、900 万粒/ $\text{hm}^2$ 。3 次重复,随机区组设计,南北行向,每小区 16 行,行长 5.0 m,行距 0.2 m,小区面积 15.0  $\text{m}^2$ 。按发芽粒数 525 万~900 万粒/ $\text{hm}^2$  计算播种量,根据田间出苗率、种子发芽率、种子净度计算每行播种量。

田间记载各处理生育期、基本苗、有效穗数、株高、抗病性、抗逆性等。出苗后 10 d 定点查苗,收获期在定点样方内取样考种。田间管理按当地大田进行。

### 1.3 各群体性状及产量的隶属度值

隶属函数评估法是根据模糊数学的原理,利用隶属函数进行综合评估,在多指标测定基础上对植物特性进行综合性评价。不同种植密度下小麦的多个指标表现不一,任何单一指标的研究都存在一定的局限性,不能准确选择小麦的最优密度,通过多个指标进

行综合评价,使单一指标对选择最佳密度的片面性得到其他指标的弥补和缓和,使评定结果与实际结果较为接近。

对青麦 10 号的不同密度处理,利用下式求群体性状指标隶属函数值<sup>[6]</sup>:

$$R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中, $X_i$  为指标测定值, $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$  为所有参试材料某一指标的最小值和最大值。

若某一指标与种植密度负相关,可通过反隶属函数计算其隶属函数值:

$$R(X_i) = 1 - [(X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})]$$

将不同密度处理的不同指标的隶属函数值进行累加,求其平均值,即为综合评价指数。

## 1.4 数据分析方法

采用 WPS、SPSS 22.0 软件进行方差分析,并通过 Excel 生成误差棒图片;对种植密度与各性状进行 Pearson 相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 对株高、穗长、结实穗数、不实穗数、穗粒数的影响

研究结果表明,随着密度的增加,群体内个体之间竞争加剧,株高呈上升趋势,高密度处理下(750 万~900 万粒/ $\text{hm}^2$ )的株高明显高于低密度处理(525 万~675 万粒/ $\text{hm}^2$ )。不同处理之间穗长差异不显著,表明穗长受密度影响较小。青麦 10 号在不同处理下的结实穗数差异不显著,但低密度处理(525 万粒/ $\text{hm}^2$ )时,小麦的结实性最好,小穗数最多,为 19.30 个,随着密度的增加,结实性下降,并在 900 万粒/ $\text{hm}^2$  高密度处理下降到最小值(18.82 个)。不实小穗数在低密度处理(525 万~675 万粒/ $\text{hm}^2$ )之间和高密度处理(750 万~900 万粒/ $\text{hm}^2$ )之间差异均不显著,但高处理与低处理之间差异显著,随着密度的增加,不实小穗数总体呈上升趋势,在 900 万粒/ $\text{hm}^2$  处理下达到最大值(3.42 个),说明密度越大,不实小穗数越多。

随着密度增加,青麦 10 号穗粒数在 600 万粒/ $\text{hm}^2$  处理时达到最大值(44.05 粒),之后开始下降,且在 900 万粒/ $\text{hm}^2$  处理达到最小值(39.32 粒),说明随着密度增加,穗粒数下降(表 1)。

### 2.2 对小麦基本苗、最高茎数、穗数及产量的影响

随着种植密度的增加,田间青麦 10 号基本苗数增加,在 525 万粒/ $\text{hm}^2$  处理下为最小值(503.1 万株/ $\text{hm}^2$ ,出苗率达到 83.9%),在 900 万粒/ $\text{hm}^2$  处理下为最大值(739.95 万株/ $\text{hm}^2$ ,出苗率达到 82.2%),符合试验设计要求。青麦 10 号最高茎数在 6 个密度处理下的差异不显著,说明青麦 10 号品种群体调节能力很强,青麦

表 1 不同密度处理下小麦群体性状、产量构成因素及产量

种植密度/万粒·hm <sup>-2</sup>	株高/cm	穗长/cm	结实穗数	不实穗数	穗粒数
525	105.90±0.77 b	9.38±0.12 b	19.30±0.18 a	2.50±0.15 b	43.37±1.10 a
600	106.13±0.87 b	9.40±0.10 b	18.90±0.23 a	2.48±0.17 b	44.05±1.02 a
675	104.85±0.95 b	9.12±0.14 b	18.95±0.18 a	2.59±0.18 b	41.24±1.25 a
750	107.60±0.95 a	9.30±0.13 b	19.00±0.17 a	3.10±0.17 a	40.35±1.14 b
825	107.27±0.88 b	9.83±0.16 a	19.18±0.21 a	3.12±0.19 a	40.75±1.51 a
900	107.35±0.93 a	9.40±0.16 b	18.82±0.23 a	3.42±1.38 a	39.32±1.26 b

  

种植密度/万粒·hm <sup>-2</sup>	基本苗/万株·hm <sup>-2</sup>	最高茎数/万个·hm <sup>-2</sup>	穗数/万穗·hm <sup>-2</sup>	小区产量/kg
525	503.10±46.65 b	1 180.50±89.40 a	540.30±33.00 b	20.70±1.14 a
600	556.65±5.25 b	1 231.05±117.60 a	562.20±29.70 b	22.27±1.14 a
675	595.20±33.00 b	1 350.90±82.50 a	578.70±27.15 b	18.07±0.89 a
750	646.80±40.05 a	1 284.75±20.55 a	544.80±13.50 b	20.63±2.90 a
825	722.10±32.70 a	1 283.85±73.95 a	581.85±9.30 b	21.50±2.90 a
900	739.95±34.65 a	1 322.40±21.75 a	630.30±18.60 a	20.27±0.52 a

10 号穗数只有 900 万粒/hm<sup>2</sup> 处理与其他处理之间差异显著。随着密度的增加,穗数增加,在 525 万粒/hm<sup>2</sup> 处理下为最小值(540.3 万穗/hm<sup>2</sup>),在 900 万粒/hm<sup>2</sup> 处理下达到最大值(630.3 万穗/hm<sup>2</sup>)。

青麦 10 号在 6 个密度处理下小区产量差异不显著,这与青麦 10 号品种株高适中、抗倒伏、群体自身调节能力强有关。随着种植密度增加,小区产量在 600 万粒/hm<sup>2</sup> 处理下达到最大值(22.27 kg),说明适当降低密度,增加个体调节能力,既可降低种子生产成本,又可有效避免因倒伏造成的产量锐减。

### 2.3 对倒伏率的影响

由表 2 可知,青麦 10 号倒伏率在 6 个处理间差异不显著,说明种植密度对青麦 10 号的倒伏率影响不大。在 825 万粒/hm<sup>2</sup> 处理下达到最大值(0.81%)。

表 2 不同密度对小麦倒伏率的影响

种植密度/ 万粒·hm <sup>-2</sup>	倒伏率/%			
	平均			
525	0.600	0.167	0.875	0.55±0.36 a
600	0.333	0.800	0.833	0.66±0.28 a
675	0.333	0.200	0.875	0.47±0.36 a
750	0.600	0.333	0.889	0.61±0.28 a
825	0.800	0.800	0.833	0.81±0.02 a
900	0.600	0.750	0.900	0.75±0.15 a

### 2.4 相关分析

由表 3 可知,穗数和穗粒数与种植密度的相关系数分别为 0.774 和-0.908,且穗粒数与种植密度之间成显著的相关关系,小麦产量与密度之间有负相关关系,但不显著,说明青麦 10 号的自身调节能力较强。

### 2.5 青麦 10 号不同种植密度间的综合指标

对不同密度处理的青麦 10 号,按照每个性状的

表 3 种植密度与各指标之间的相关性分析

指标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1(密度)	1.000										
2(株高)	0.669	1.000									
3(穗长)	0.358	0.554	1.000								
4(结实穗数)	-0.447	-0.080	0.400	1.000							
5(不实穗数)	0.948**	0.820*	0.368	-0.312	1.000						
6(穗粒数)	-0.908*	-0.545	-0.081	0.348	-0.901*	1.000					
7(基本苗)	0.993***	0.688	0.461	-0.377	0.934**	-0.872*	1.000				
8(最高茎数)	0.695	0.017	-0.229	-0.623	0.502	-0.762	0.652	1.000			
9(穗数)	0.774	0.220	0.148	-0.598	0.646	-0.632	0.745	0.644	1.000		
10(倒伏率)	0.674	0.768	0.852*	-0.087	0.678	-0.353	0.735	0.029	0.504	1.000	
11(小区产量)	-0.072	0.518	0.656	0.167	0.025	0.394	-0.001	-0.643	-0.204	0.637	1.000

注:\*表示 P<0.05,\*\*表示 P<0.01,\*\*\*表示 P<0.001。

指标测定值计算每一个性状的隶属函数值,通过平均隶属度的大小对密度处理进行排名并选择最佳密度。由表 4 可知:密度越高,平均隶属度越大;密度越低,平均隶属度越小。

### 3 结论与讨论

试验结果表明:青麦 10 号随着种植密度增加,株高明显增加,差异显著;穗长和结实小穗数差异不明显,性状比较稳定;不实小穗数总体呈上升趋势。产量构成三要素中,虽然穗数在 900 万粒/hm<sup>2</sup> 处理下达到

最大值(630.3 万穗/hm<sup>2</sup>),倒伏率也在 825 万粒/hm<sup>2</sup> 处理下达到最大值(0.81%),但穗粒数在 600 万粒/hm<sup>2</sup> 处理(低密度)下达到最大值(44.05 粒),小区产量也最高(22.27 kg),千粒重最高。因此,在生产上可以适当降低播种密度,以有效避免倒伏风险,降低生产成本。

高密度下,小麦群体茎蘖数较大,但易形成郁闭,影响通风透光,导致无效分蘖增加,影响产量增加<sup>[7]</sup>;低密度时,小麦生长需求的养分充足,植株个体发育健壮,成穗率高,有利于提高作物的抗倒伏能力<sup>[8-13]</sup>。本

表4 不同种植密度间的综合指标(隶属函数值)

种植密度/ 万粒·hm <sup>-2</sup>	株高	穗长	结实小穗	不实小穗	穗粒数	基本苗	最高茎数	穗数	倒伏率	小区产量	平均	排名
525	0.382	0.366	0	0.021	0.144	0	0	0	0.235	0.373	0.152	6
600	0.465	0.394	0.833	0	0	0.226	0.297	0.243	0.559	0	0.302	5
675	0	0	0.729	0.117	0.594	0.389	1.000	0.427	0	1.000	0.426	4
750	1.000	0.254	0.625	0.660	0.782	0.607	0.612	0.050	0.412	0.390	0.539	3
825	0.880	1.000	0.250	0.681	0.698	0.925	0.607	0.462	1.000	0.183	0.669	2
900	0.909	0.394	1.000	1.000	1.000	1.000	0.833	1.000	0.824	0.476	0.844	1

试验中,青麦10号最适宜的种植密度为中密度播量(播种量675万粒/hm<sup>2</sup>,保苗562.2万株/hm<sup>2</sup>)。

此外,穗数和穗粒数与种植密度的相关系数分别为0.774和-0.908,且穗粒数与种植密度成差异显著的相关关系,小麦产量与密度之间成负相关关系,但差异不显著,说明青麦10号的自身调节能力很强<sup>[2,14]</sup>。

#### 4 参考文献

- [1] 王建贺,刘丹,王从磊,等.种植密度和氮肥水平对小麦新品种‘津强7号’产量及农艺性状的影响[J].中国农学通报,2019,35(21):14-18.
- [2] 武江燕,刘宏胜,牛俊义,等.旱地春小麦种植密度与产量及农艺性状的相关性分析[J].甘肃农业科技,2018(8):73.
- [3] 付亮,蒋志凯,夏彦丽,等.种植密度对新麦35产量和生理特性的影响[J].安徽农业科学,2019,47(14):18-19.
- [4] 柴芳梅,高甜甜,柴守玺,等.种植密度对甘肃不同生态区小麦产量形成的影响[J].作物杂志,2020(3):154-160.
- [5] 周秋峰,于沐,张果果.种植密度对小麦生长及产量的影响[J].安徽农业科学,2018,46(20):35-37.
- [6] 高峰,顾振东,吕剑,等.基于模糊数学隶属函数法综合评

(上接第2页)

此,生物有机肥和化肥配合施用,既可实现农业废弃物的循环利用,又可最大限度地减轻环境污染,把农业生产经济活动真正纳入生态环境保护中,实现生态的良性循环与农业的可持续发展。

#### 4 参考文献

- [1] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等.长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):406-410.
- [2] 韩晓玲,张乃文,贾敬芬.生物有机无机复混肥对番茄产量、品质及土壤的影响[J].土壤肥料,2005(3):51-53.
- [3] 徐明岗,于荣,孙小凤,等.长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):459-465.
- [4] 沈德龙,曹凤明,李立.我国生物有机肥的发展现状及展望[J].中国土壤与肥料,2007(6):1-5.
- [5] 施晓晖,赵国军,张新峰.伊宁县发展鲜食玉米生产的优势及对策[J].中国农业信息,2012(4):80.
- [6] 孙治强,赵卫星,张文波.不同氮肥施用模式对日光温室生菜品质及土壤环境影响[J].农业工程学报,2005,21(增刊1):159-161.
- [7] 罗华,李敏,胡大刚,等.不同有机肥对肥城桃果实产量及

价黄瓜生物物质栽培基质[J].甘肃农业大学学报,2019,54(6):93-101.

- [7] 贾丽娜,张俊丽,卢超,等.种植密度对渭北旱作区小麦群体性状和产量的影响[J].中国农学通报,2019,35(7):15.
- [8] 邵庆勤,周琴,王笑,等.种植密度对不同小麦品种茎秆形态特征、化学成分及抗倒性能的影响[J].南京农业大学学报,2018,41(5):808-816.
- [9] 姚金保,马鸿翔,张平平,等.种植密度和施氮量对小麦宁麦24籽粒产量和品质的影响[J].江苏农业科学,2018,46(15):41-44.
- [10] 张宗卷.陕西凤翔县水地小麦播期和种植密度试验[J].农业工程技术,2020,40(8):13.
- [11] 王倩茜,崔明灼,严美玲,等.不同种植密度对烟农173产量及光合特性的影响[J].安徽农学通报,2019,25(23):45.
- [12] 杜佳林,侯海鹏,董家行,等.小麦新品种小偃60栽培密度试验研究[J].天津农林科技,2015(1):9-10.
- [13] 王建国,季春梅,于风华,等.小麦新品种宁丰458栽培密度试验研究[J].现代农业科技,2014(9):19.
- [14] 石祖梁.土壤—小麦植株系统氮素运移及高效利用的生态基础[D].南京:南京农业大学,2011.

品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(4):955.

- [8] 赵满兴,刘慧,白二磊,等.腐殖酸肥或生物有机肥替代部分化肥对土壤肥力、红枣产量和品质的影响[J].西北农业学报,2019,28(6):981-987.
- [9] 邢鹏飞,圣超,马鸣超,等.有机肥替代部分无机肥对华北农田土壤理化特性酶活性及作物产量的影响[J].中国土壤与肥料,2016(3):98-104.
- [10] 谢军,赵亚南,陈轩敬,等.有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率[J].中国农业科学,2016,49(20):3934-3943.
- [11] 何浩,危常州,李俊华,等.商品有机肥替代部分化肥对玉米生长、产量及土壤肥力的影响[J].新疆农业科学,2019,56(2):325-332.
- [12] 谢军红,柴强,李玲,等.有机氮替代无机氮对旱作全膜双垄沟播玉米产量和水氮利用效率的影响[J].应用生态学报,2019,30(4):1199-1206.
- [13] 冯剑,胡小斌,何臻铸,等.有机肥氮替代化肥氮对甜玉米产量及品质的影响[J].安徽农业科学,2020,48(16):157.
- [14] 刘斌,黄玉溢,陈桂芬.生物有机肥对甜玉米产量及土壤肥力的影响[J].广西农业科学,2008,39(4):500-503.
- [15] 闫佳会,侯璐,姚强,等.有机肥替代化肥对大葱产量、品质和土壤氮淋失的影响[J].西北农业学报,2020,29(8):