

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.01875

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

屈会娟^{1,2} 李金才^{1,2,*} 沈学善^{1,2} 李如意² 魏凤珍¹ 张 一¹

¹ 安徽农业大学农学院,安徽合肥 230036; ² 河南农业大学国家小麦工程技术研究中心, 河南郑州 450002

摘 要: 利用重穗型小麦品种兰考矮早八和中间型品种周麦 18, 研究了不同播种密度对结实粒数与粒重的小穗位和粒位效应的影响。结果表明, 不同穗型冬小麦品种小穗位结实粒数、小穗重及不同粒位粒重均随着小穗位自基部至顶部呈先增后降的二次曲线变化; 不同穗型冬小麦品种穗部籽粒的分布差异显著, 主茎穗的结实特性及粒重均优于分蘖穗; 随着播种密度的下降, 穗部结实特性和粒重有优化的趋势, 重穗型品种兰考矮早八对密度的反应更为敏感, 中间型品种周麦 18 小穗位和粒位对播种密度的调节效应较强; 不同部位小穗粒重因结实粒数的差异表现出不同的粒位效应, 下部和中部小穗位的第 2 粒位粒重较大, 而位于上部和顶部小穗位第 1 粒位粒重较大, 第 3 粒位粒重次于第 1 和第 2 粒位, 第 4 粒位粒重最小。在小麦栽培中, 应在保证主茎穗的基础上适当增加分蘖穗的比例。并在保证结实粒数的基础上提高粒重, 尤其是下部小穗的结实粒数和粒重。同时, 在保证第 1、2 粒位粒重的前提下最大限度地发挥第 3、4 粒位的粒重潜力, 可以使小麦实现高产稳产。

关键词: 冬小麦; 播种密度; 穗型; 小穗位; 粒位

Effects of Plant Density on Grain Number and Grain Weight at Different Spikelets and Grain Positions in Winter Wheat Cultivars

QU Hui-Juan^{1,2}, LI Jin-Cai^{1,2,*}, SHEN Xue-Shan^{1,2}, LI Ru-Yi², WEI Feng-Zhen¹, and ZHANG Yi¹

¹ College of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; ² Nation Engineering Research Center of Wheat, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: Seed-setting traits and grain weight are influenced by either genetic factor or cultivation environment in wheat (*Triticum aestivum* L.), such as plant density. Due to the unbalanced development of a spike, grain number and grain weight at different spikelets and grain positions are largely different. Although their distributions have been described in earlier reports, the effect of plant density is not clear. This study focused on the effect of plant density on the grain number and grain weight of two wheat cultivars (Lankao Aizao 8 of large-spike type and Zhoumai 18 of medium-spike type) at different spikelets and grain positions. The grain number, spikelet weight, and grain weight with the spikelets positions from the bottom to the top increased first and then decreased. The differences of seed-setting traits between two cultivars were significant. Meanwhile, seed-setting traits of main spike were superior than that of tillering spike. Under low sowing density, the seed setting characteristics and grain weight in Lankao Aizao 8 were more superior than those in Zhoumai 18, and those of main stem spike were more superior than those of tillering spike. The effects of spikelet and grain positions on the weight of individual grain varied with the grain number of spikelet. For the basal and middle spikelets, the grain weight was higher at second grain position than at the first one, whereas it was inverse for the upper and top spikelets. The grain weight was lower in the third grain position than in the first and second grain position, and the least in the fourth grain position. In conclusion, appropriate plant density is important for high yield of different spike-type cultivars, and in wheat production we should properly increase the proportion of tillering spike on the basis of ensuring main stem spike number; increase grain weight on the basis of ensuring fertile grain number especially for basal spikelet; and develop the potential of grain weight in the third and fourth grain positions on the basis of ensuring that in the first and second grain positions of spikelet.

Keywords: Winter wheat; Plant density; Spike type; Spikelet position; Grain position

本研究由国家科技支撑计划项目(2009BADA6B03 和 2007BAD89B10), 国家粮食丰产科技工程项目(2006BAD02A), 安徽省自然科学基金项目(070411013)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 李金才, E-mail: ljcs122423@126.com

第一作者联系方式: E-mail: qhjuan120@126.com

Received(收稿日期): 2008-12-09; Accepted(接受日期): 2009-04-18.

穗粒数和粒重是小麦构成产量的两个重要因素, 由于气候、土壤、生产条件和栽培措施等因素的影响, 生产上往往表现出粒重和粒数的波动, 不同小穗和不同粒位的籽粒因营养物质供应水平、遗传因素和外界环境因素的影响而呈现发育不均衡性, 导致其结实特性与粒重有很大差异^[1-8]。小麦穗部粒数与粒重的分布具有近中优势, 即中部小穗无论是粒数还是粒重都具有明显的优势^[4-9], 而不同粒位的粒重分布比较复杂, 同一小穗上, 粒重分布重心随结实率的不同而不同^[10-12]。虽然前人已对麦穗发育的不均衡性及不同小穗位和粒位间籽粒结实数、粒重的空间分布进行了描述^[1-14], 但播种密度对主茎和分蘖的不同小穗位和粒位的籽粒结实特性研究较少。本文分析了不同播种密度下重穗型品种兰考矮早八和中间型品种周麦 18 穗部籽粒结实数及粒重的空间分布特征, 旨在为探索高产条件下稳定提高粒重的有效途径和栽培措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

选用重穗型品种兰考矮早八和中间型品种周麦 18, 于 2005—2006 年在河南农业大学科教示范园区进行试验。试验地土壤为中壤土, 田菁掩埋做基肥, 0~20 cm 土层含有机质 11.50 g kg⁻¹、碱解氮 69.20 mg kg⁻¹、速效磷 44.40 mg kg⁻¹、速效钾 217.30 mg kg⁻¹。

设基本苗每公顷 150 万、225 万和 300 万株 3 个水平。氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)肥分别施用 225.0、135.0 和 75.0 kg hm⁻²。磷、钾肥作为底肥一次性施入, 氮肥 50% 基施, 50% 于拔节期追施。采用裂区设计, 品种为主区, 密度为副区, 3 次重复, 小区面积 9.9 m²,

行距 20 cm。10 月 12 日播种, 其余管理措施同一般高产田。

1.2 取样与结实特性测定

于成熟期每小区取 1 m 双行内生长发育良好, 长势基本一致的植株 20 株, 自然晾晒 1~2 周。每株分主茎穗和分蘖穗, 每穗自基部第 1 个小穗至顶小穗依次编号, 将麦穗划分为下、中、上部(分别为第 1~7 小穗、第 8~15 小穗、第 16~21 小穗)和顶小穗。每小穗自基部至顶部按粒位依次编号, 将不同小穗位的不同粒位籽粒对号装袋、计数, 并分别称取干重。从上述双行取样中, 选择其中 1 行考察主茎穗与分蘖穗的结实特性, 包括做穗位效应和粒位效应的 20 株。

1.3 数据分析

采用 DPS (Data Processing System) 软件和 Microsoft Excel。

2 结果与分析

2.1 播种密度对主茎和分蘖穗结实特性的影响

2.1.1 播种密度对不同穗型冬小麦品种穗部结实特性和产量构成因素的影响 兰考矮早八的单穗结实小穗数、结实粒数和千粒重均高于周麦 18, 种植密度相同时单株成穗数、单位面积穗数则较低。两品种的单株成穗数、结实粒数、千粒重和产量随密度增加而降低, 而穗数随密度增加而增加, 单穗结实小穗数和单穗不孕小穗数则随密度变化有所差异(表 1)。

2.1.2 播种密度对不同穗型冬小麦品种主茎穗和分蘖穗结实特性的影响 种植密度相同时兰考矮早八的主茎穗和分蘖穗的单穗结实小穗数、结实粒数

表 1 不同密度下两个小麦品种穗部结实特性与产量构成因素
Table 1 Seed-setting traits of spike and yield components in two wheat cultivars under three plant densities

播种密度 Plant density	单株成穗数 Spikes per plant	单穗结实小穗数 Fertile spikelets per spike	单穗不孕小穗数 Sterile spikelets per spike	穗数 Spikes ($\times 10^4$ hm ⁻²)	结实粒数 Grains per spike	千粒重 1000-grain weight (g)	籽粒产量 Grain yield (kg hm ⁻²)
兰考矮早八 Lankao Aizao 8							
AL	2.66±0.15 a	19.55±0.88 a	3.74±0.53 a	432.50±20.0 b	50.38±1.08 a	45.49±1.72 a	8798.8 a
AM	1.87±0.10 b	19.34±0.90 a	3.45±0.51 a	455.00±10.0 ab	50.06±1.89 a	43.33±0.21 b	8613.4 ab
AH	1.47±0.04 c	19.20±0.70 a	3.58±0.20 a	472.50±7.5 a	48.10±1.37 b	42.52±1.34 b	8226.4 c
周麦 18 Zhoumai 18							
ZL	3.53±0.10 a	17.45±0.89 a	3.09±0.31 b	594.21±24.28 c	42.04±0.90 a	40.64±0.36 a	8706.14 a
ZM	2.58±0.10 b	17.62±0.65 a	3.65±0.46 ab	630.03±15.00 b	38.90±0.66 b	40.01±0.04 a	8697.38 a
ZH	2.07±0.09 c	17.50±0.44 a	3.87±0.12 a	671.32±23.75 a	34.75±0.72 c	39.86±1.49 a	8113.50 b

表中数据为 3 个重复的平均值±标准差, 数据后不同字母表示同一品种不同密度处理间差异显著(SSR 法)。

Data in the table are mean ± SD of 3 replicates. Values followed by different letters are significantly ($P < 0.05$) different among density treatments for a cultivar according to SSR test. AL, AM, and AH denote 150×10^4 , 225×10^4 , and 300×10^4 plants hm⁻² of Lankao Aizao 8, respectively; ZL, ZM, and ZH denote 150×10^4 , 225×10^4 , and 300×10^4 plants hm⁻² of Zhoumai 18, respectively.

和单穗重均高于周麦 18 (表 2)。两品种的主茎穗结实特性要优于分蘖穗,基部不孕小穗数明显多于顶部不孕小穗数。兰考矮早八主茎穗单穗重随密度增加而下降的幅度达到显著水平,分蘖穗的单穗重则随密度增加变化不大;而密度增加对周麦 18 的主茎穗的单穗重影响较小,对其分蘖穗的单穗重影响差异则达到显著水平。可见兰考矮早八的主茎穗和周麦 18 的分蘖穗单穗重对播种密度更敏感。

2.2 不同穗型冬小麦品种小穗结实粒数的分布

2.2.1 小穗结实粒数的分布 小麦主茎穗和分蘖穗结实粒数均随着小穗位自下部至顶部呈现先增后降的二次曲线变化趋势,主茎穗小穗结实粒数明显高于分蘖穗(图 1)。主茎穗 R^2 值均大于 0.7,分蘖穗 R^2 值均大于 0.8 (表 3),均达极显著水平。但不同小穗位结实粒数呈不对称分布,以中部第 8 至第 10 小穗结实粒数最多。自下部至最多小穗位,每小穗结实粒数随小穗位上升呈线性增加趋势,自小穗最多结实粒数的小穗位至顶小穗则呈缓降趋势,结果表

明,穗下部各小穗结实粒数间的差异比中上部小穗间差异大。

2.2.2 播种密度对不同部位小穗结实粒数的影响

随着播种密度的下降,每穗结实小穗数与小穗结实粒数呈增加的趋势,不孕小穗数则呈降低的趋势(图 1)。除了基部第 1、2 小穗与顶部 2~3 个小穗结实粒数始终保持较低水平外,其他下部小穗结实粒数随种植密度下降而增加的幅度最大,而中部小穗和上部小穗结实粒数随种植密度下降而增加的幅度较小,表明下部小穗结实特性对播种密度更为敏感。就品种而言,增加播种密度对周麦 18 结实粒数的影响程度显著小于对兰考矮早八,表明兰考矮早八穗粒数的形成对群体密度的反应更敏感。可见,大群体小麦单穗结实粒数的降低主要是由于下部小穗结实粒数减少所致。

2.3 不同穗型冬小麦品种结实籽粒粒重的分布

不同小穗位粒重的分布特征因不同结实粒位有所差异(图 2),第 1、2、3 结实粒位的粒重随小穗位

表 2 不同密度水平下两个小麦品种主茎穗和分蘖穗结实特性
Table 2 Seed-setting traits of main-stem and tiller spikes in two wheat cultivars under three plant densities

播种密度 Plant density	主茎穗 Main stem spike				
	结实小穗数 FSN	顶部不孕小穗数 SSN at top	基部不孕小穗数 SSN at bottom	结实粒数 GNP	单穗重 SW (g)
兰考矮早八 Lankao Aizao 8					
AL	20.83±0.97 a	0.61±0.10 a	1.93±0.28 a	56.26±3.13 a	2.55±0.09 a
AM	19.97±0.29 a	0.55±0.14 ab	2.38±0.13 a	54.48±2.12 a	2.37±0.11 b
AH	20.33±0.51 a	0.30±0.10 b	2.10±0.20 a	55.78±1.26 a	2.29±0.16 b
周麦 18 Zhoumai 18					
ZL	18.55±0.71 a	0.34±0.25 a	2.52±0.04 b	44.57±3.24 a	1.71±0.06 a
ZM	18.66±0.57 a	0.54±0.24 a	2.75±0.23 ab	43.35±2.86 a	1.67±0.04 a
ZH	18.93±0.51 a	0.36±0.17 a	2.94±0.19 a	41.71±1.21 a	1.62±0.13 a
播种密度 Plant density	分蘖穗 Tiller spike				
	结实小穗数 FSN	顶部不孕小穗数 SSN at top	基部不孕小穗数 SSN at bottom	结实粒数 GNP	单穗重 SW (g)
兰考矮早八 Lankao Aizao 8					
AL	18.79±0.14 a	1.55±0.25 ab	2.92±0.40 ab	45.76±1.70 a	2.02±0.10 a
AM	18.72±0.53 a	1.25±0.18 b	2.78±0.44 b	47.22±3.10 a	2.02±0.17 a
AH	17.49±0.26 a	2.04±0.13 a	3.46±0.40 a	42.18±2.81 a	1.86±0.18 a
周麦 18 Zhoumai 18					
ZL	17.00±0.51 a	0.36±0.09 b	2.80±0.26 b	42.80±1.67 a	1.64±0.08 a
ZM	17.15±0.44 a	0.65±0.09 a	3.15±0.30 ab	38.13±3.52 b	1.50±0.09 a
ZH	16.72±0.58 a	0.41±0.17 b	3.68±0.20 a	34.60±2.62 b	1.29±0.06 b

表中数据为 3 个重复的平均值±标准差,数据后不同字母表示同一品种不同密度处理间差异显著(SSR 法)。
Data in the table are mean ± SD of 3 replicates. Values followed by different letters are significantly ($P < 0.05$) different among density treatments at within cultivars according to SSR test. FSN: fertile spikelet number; SSN: sterile spikelet number; GNP: grain number per spike; SW: spike weight. AL, AM and AH denote 150×10^4 , 225×10^4 , and 300×10^4 plants hm^{-2} of Lankao Aizao 8, respectively; ZL, ZM, and ZH denote 150×10^4 , 225×10^4 , and 300×10^4 plants hm^{-2} of Zhoumai 18, respectively.

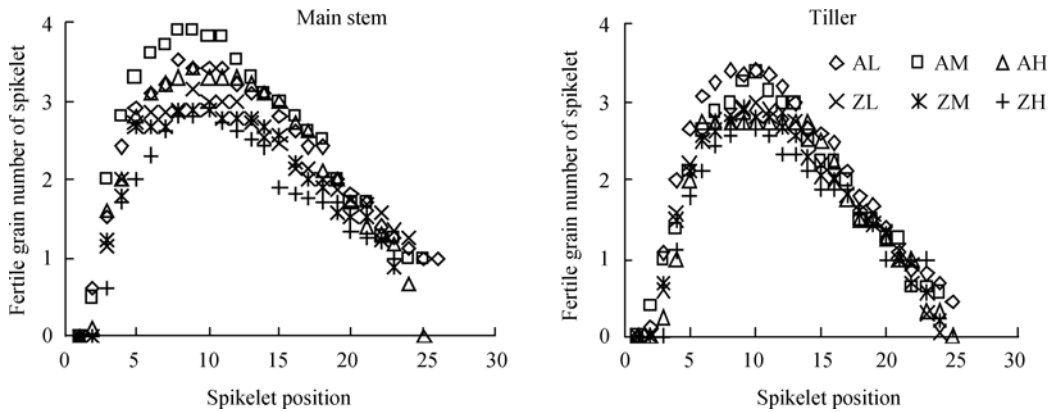


图 1 不同密度水平下两个小麦品种不同小穗位的结实粒数

Fig. 1 Fertile grain number at different spikelet positions in two cultivars under three plant densities

AL, AM, and AH denote 150×10^4 , 225×10^4 , and 300×10^4 plants hm^{-2} of Lankao Aizao 8, respectively; ZL, ZM, and ZH denote 150×10^4 , 225×10^4 , and 300×10^4 plants hm^{-2} of Zhoumai 18, respectively.

表 3 不同小穗位结实粒数的拟合方程

Table 3 Fitting equations to describe grain number (y) for given spikelet position (x)

处理 Treatment	主茎穗 Spike of main stem		分蘖穗 Tiller spike	
	方程 Equation	决定系数 R^2	方程 Equation	决定系数 R^2
AL	$y = -0.0167x^2 + 0.4164x + 0.5938$	0.779**	$y = -0.0205x^2 + 0.4935x + 0.1447$	0.810**
AM	$y = -0.0205x^2 + 0.4884x + 0.6568$	0.770**	$y = -0.0215x^2 + 0.5116x - 0.1202$	0.854**
AH	$y = -0.0219x^2 + 0.5361x + 0.0507$	0.886**	$y = -0.0205x^2 + 0.5065x - 0.4020$	0.863**
ZL	$y = -0.0173x^2 + 0.4350x + 0.1810$	0.732**	$y = -0.0218x^2 + 0.5227x - 0.3052$	0.889**
ZM	$y = -0.0203x^2 + 0.4893x - 0.0568$	0.831**	$y = -0.0202x^2 + 0.4840x - 0.2134$	0.870**
ZH	$y = -0.0188x^2 + 0.4593x - 0.1705$	0.791**	$y = -0.0191x^2 + 0.4712x - 0.4436$	0.801**

** Significant at $P < 0.01$. Treatments described as in Fig. 1.

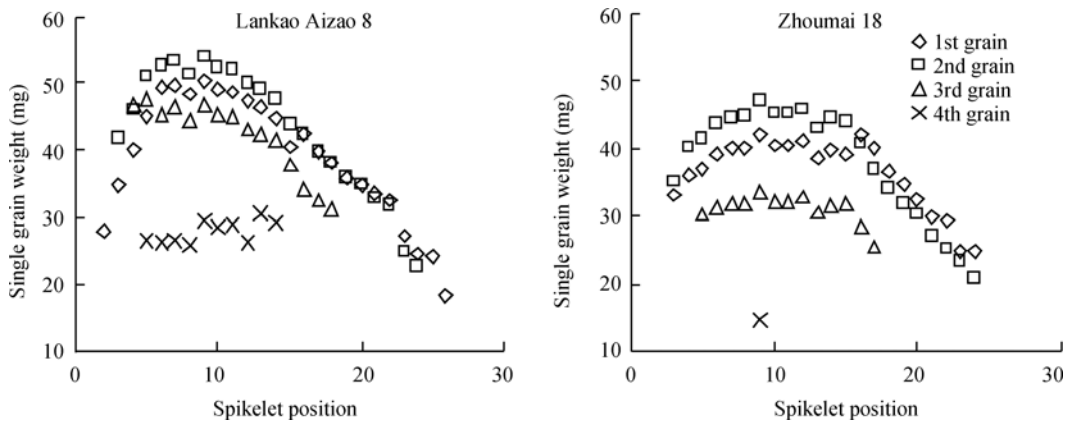


图 2 两品种第 1~4 粒位单粒重在不同小穗位的分布

Fig. 2 Single-grain weight distribution of the first to fourth grains at different spikelet positions

呈二次曲线的变化趋势，其拟合方程 R^2 值均达到极显著水平(表 4)。第 1、2 结实的粒重大于第 3、4 粒位的粒重，以下部小穗位和中部小穗位第 2 粒位的粒重最大。兰考矮早八各结实粒位的粒重大于周麦 18 (图 2)，第 1、2 结实粒位的粒重差异更为明显，不同播种密度对兰考矮早八粒重的影响显著大于对周

麦 18 的影响。可见兰考矮早八的粒重对播种密度更敏感。

2.4 不同穗型冬小麦品种小穗重的分布

2.4.1 小穗重的分布 小麦主茎穗和分蘖穗不同部位小穗重随着小穗位自下部至顶部呈二次曲线的变化趋势(图 3)，主茎穗小穗重高于分蘖穗。主茎穗

R^2 值均大于 0.70, 分蘖穗 R^2 值均超过 0.75, 达极显著水平(表 5)。其中以中部第 8~12 小穗位小穗重最大, 下部第 4~7 小穗位小穗重其次。自第 1~10 小穗位, 每小穗小穗重随小穗位上升呈线性增加趋势, 自第 11 小穗位至顶小穗则呈缓降趋势, 结果表明穗

下部各小穗小穗重间的差异比中上部小穗间差异大。
2.4.2 密度对不同部位小穗重的影响 不同密度处理下, 兰考矮早八主茎穗和分蘖穗小穗重均明显高于周麦 18, 尤其在低密度水平下差异更大(图 3)。随着播种密度的下降, 每穗结实小穗重呈增加的趋

表 4 两品种各粒位单粒重在不同小穗位分布的拟合方程
Table 4 Fitting equations to describe single grain weight (y, mg) for given grain position at different spikelet positions (x) in two wheat cultivars

粒位 Grain position	方程 Equation	决定系数 R^2
兰考矮早八 Lankao Aizao 8		
1	$y = -0.1420x^2 + 3.1578x + 29.911$	0.859**
2	$y = -0.1309x^2 + 2.3270x + 40.841$	0.948**
3	$y = -0.1231x^2 + 1.5903x + 41.799$	0.962**
4	$y = -0.0056x^2 + 0.4734x + 23.836$	0.440
周麦 18 Zhoumai 18		
1	$y = -0.1086x^2 + 2.4453x + 27.701$	0.944**
2	$y = -0.1425x^2 + 2.9025x + 30.596$	0.964**
3	$y = -0.1243x^2 + 2.4683x + 20.759$	0.815**

** Significant at $P < 0.01$.

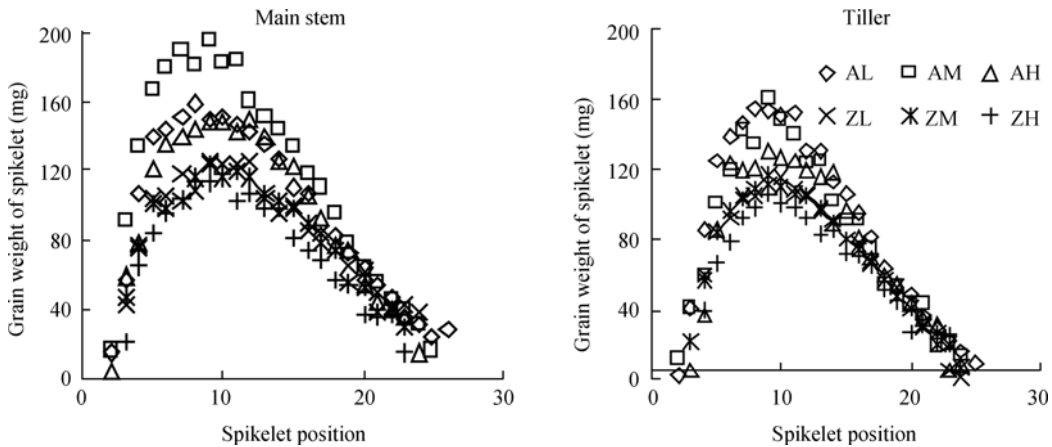


图 3 不同播种密度下两个品种小穗重在不同小穗位的分布
Fig. 3 Distribution of grain weight per spikelet at different spikelet positions in two cultivars under three plant densities
Treatments described as in Fig. 1.

表 5 3 个播种密度下小穗重在不同小穗位分布的拟合方程
Table 5 Fitting equations to describe spikelet weight (y, mg) for given spikelet position (x) under three plant densities

处理 Treatment	主茎穗 Spike of main stem		分蘖穗 Tiller spike	
	方程 Equation	决定系数 R^2	方程 Equation	决定系数 R^2
AL	$y = -0.7672x^2 + 18.160x + 28.567$	0.734**	$y = -0.9275x^2 + 21.529x + 8.7403$	0.776**
AM	$y = -1.0451x^2 + 23.800x + 32.077$	0.769**	$y = -0.9759x^2 + 22.534x - 2.5928$	0.800**
AH	$y = -1.0424x^2 + 24.593x - 3.2076$	0.861**	$y = -0.9872x^2 + 23.633x - 22.358$	0.834**
ZL	$y = -0.7619x^2 + 18.564x + 2.3065$	0.785**	$y = -0.8293x^2 + 19.540x - 10.981$	0.884**
ZM	$y = -0.8740x^2 + 20.661x - 6.0164$	0.866**	$y = -0.8018x^2 + 18.929x - 8.4592$	0.854**
ZH	$y = -0.8628x^2 + 20.216x - 11.794$	0.847**	$y = -0.7797x^2 + 18.778x - 19.6670$	0.827**

** Significant at $P < 0.01$. Treatments described as in Fig. 1.

势。除了下部第 1、2 小穗与顶部 2~3 个小穗位的小穗重始终保持较低水平外,其他下部小穗位小穗重随密度下降而增加的幅度最大,而中部小穗和上部小穗小穗重随密度下降而增加的幅度较小,表明下部小穗结实特性对播种密度更为敏感。就品种而言,增加播种密度对周麦 18 小穗重的影响程度显著小于兰考矮早八,表明小穗重高的小麦品种,其穗粒数的形成对群体密度的反应更敏感。可见,大群体小麦单穗重的降低受下部小穗位小穗重的影响。

2.5 不同穗型冬小麦品种单粒重的分布

2.5.1 小穗单粒重的分布 小麦主茎穗和分蘖穗不同部位小穗单粒重随着小穗位自下部至顶部呈二次曲线的变化趋势(图 4),兰考矮早八主茎穗和分蘖穗单粒重相差不大,而周麦 18 主茎穗单粒重高于分蘖穗。主茎穗 R^2 值均大于 0.58,分蘖穗 R^2 值均超过 0.74,达极显著水平(表 6)。其中除下部 1~2 小穗位与顶部 2~3 个小穗位的单粒重较低外,自下部至顶部的小穗位单粒重的变化趋势比较缓慢,尤以分蘖穗的变化更缓,表明主茎穗的小穗单粒重对不同部位小穗反应更敏感。

2.5.2 密度对不同部位小穗单粒重的影响 随着播种密度的下降,两品种不同部位小穗单粒重变化趋势有所差异。兰考矮早八除第 2 小穗外,下部小穗和顶小穗单粒重随密度的下降有增加趋势,中部和上部小穗单粒重则随密度的下降波动较大,主茎穗的波动幅度大于分蘖穗;周麦 18 不同部位小穗单粒重则对密度的变化较不敏感。表明不同部位的小穗重随着穗粒数的变化有一定的调控能力,而周麦 18 的调控能力更强。

2.5.3 不同小穗位的结实粒数、单粒重与小穗重相关分析 两品种不同小穗位小穗重与结实粒数极显著正相关(图 5),而不同小穗位单粒重与结实粒数之间的线性相关系数较小,小穗重与单粒重之间也呈极显著正相关关系(兰考矮早八、周麦 18 相关系数分别为 0.825 和 0.798)。可见,增加小穗结实粒数和结实籽粒的粒重在提高小穗重方面具有同等重要的作用。

2.6 不同粒位粒重的分布

不同粒位粒重的分布因小穗结实粒数的不同而不同。结实 2 粒的小穗主要分布在基部第 3 至 4 小

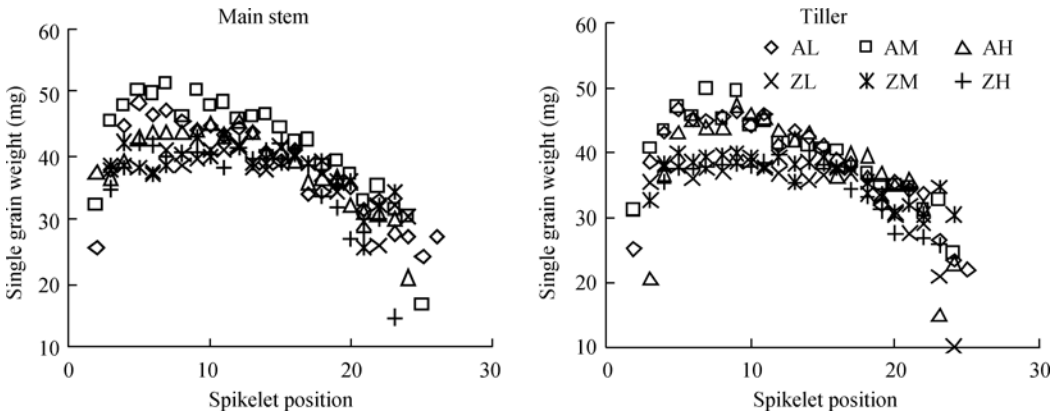


图 4 不同播种密度下两个品种单粒重在不同小穗位的分布
Fig. 4 Distribution of single grain weight at different spikelet positions in two cultivars under three plant densities
Treatments described as in Fig. 1.

表 6 3 个播种密度下单粒重在不同小穗位分布的拟合方程
Table 6 Fitting equations to describe single grain weight (y, mg) for given spikelet position (x) under three plant densities

处理 Treatment	主茎穗 Spike of main stem		分蘖穗 Tiller spike	
	方程 Equation	决定系数 R^2	方程 Equation	决定系数 R^2
AL	$y = -0.0836x^2 + 1.6633x + 35.361$	0.731**	$y = -0.1143x^2 + 2.4186x + 31.694$	0.806**
AM	$y = -0.1152x^2 + 2.2679x + 37.503$	0.849**	$y = -0.0919x^2 + 1.7618x + 36.355$	0.777**
AH	$y = -0.1020x^2 + 2.0312x + 33.710$	0.929**	$y = -0.1685x^2 + 3.9534x + 21.958$	0.722**
ZL	$y = -0.0653x^2 + 1.3443x + 33.480$	0.772**	$y = -0.1076x^2 + 2.1591x + 28.423$	0.837**
ZM	$y = -0.0580x^2 + 1.1474x + 35.161$	0.585**	$y = -0.0506x^2 + 1.0269x + 33.838$	0.744**
ZH	$y = -0.1279x^2 + 2.5942x + 29.067$	0.836**	$y = -0.0794x^2 + 1.6340x + 30.329$	0.820**

** Significant at $P < 0.01$. Treatments described as in Fig. 1.

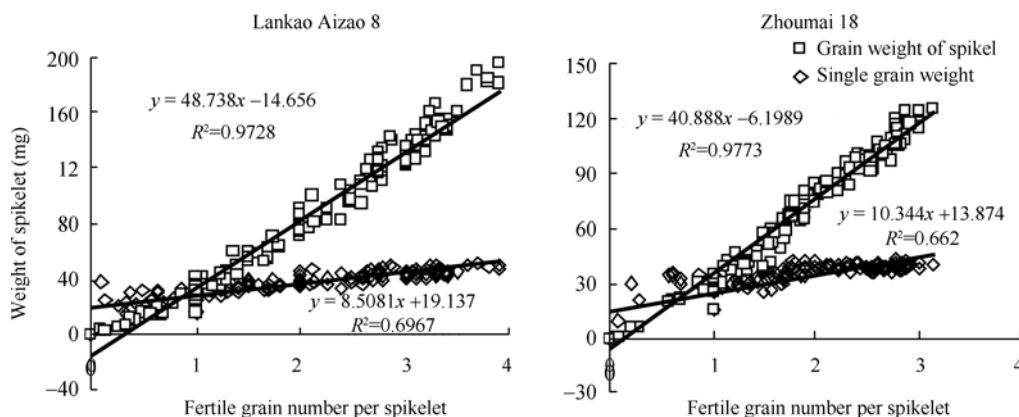


图 5 不同小穗位小穗重与其结实粒数、粒重的关系

Fig. 5 Relationship among spikelet weight, fertile grain number, and single grain weight at different spikelet positions
Treatments described as in Fig. 1.

穗和顶部小穗。基部小穗粒重第 2 粒位>第 1 粒位, 顶部小穗第 1 粒位>第 2 粒位, 并且自下而上粒位间粒重差异逐渐增大(图 6-A)。结实 3 粒的小穗, 粒重在粒位间的分布因小穗位置和品种的不同有所差异。兰考矮早八下部 3 粒小穗, 粒重表现为第 3 粒位>第 2 粒位>第 1 粒位; 上部的 3 粒小穗, 第 15 小穗粒重表现为第 2 粒位>第 3 粒位>第 1 粒位, 而第 16 小穗以后粒重表现为第 1 粒位>第 2 粒位>第 3 粒位(图 6-C)。周麦 18 的第 5 至 15 小穗粒重均表现为第 2 粒位>第 3 粒位>第 1 粒位, 而第 16 小穗以后粒重表现为第 1 粒位>第 2 粒位>第 3 粒位(图 6-D), 表明第 2、第 3 粒位籽粒具有较大的增重潜力。结实 4 粒的小穗不同粒位粒重变化趋势相同, 均表现为第 2 粒位>第 1 粒位>第 3 粒位>第 4 粒位(图 6-E), 第 1、2 粒位粒重间的差异不明显, 但显著大于第 3、4 粒位的粒重。不论小穗结实粒数如何变化, 各小穗第 1、2 粒位粒重均显著大于其他粒位粒重, 其次为第 3 粒位粒重, 表明 1、2 粒位为干物质积累的强势库, 而第 3、4 粒位为干物质积累的潜力库。

3 讨论

小麦各小穗粒重、结实粒数和不同粒位的粒重和结实率呈偏纺锤形分布, 不同穗位的小穗粒重和各小穗粒位粒重分布及不同粒位的粒重分布均有一定差异, 这种差异导致了不同穗位、不同粒位、不同小穗位间结实粒数的不同和粒重的不均匀^[7]。籽粒在穗部的位置决定小麦穗部籽粒结实与物质积累的空间分布特征^[13]。本研究发现, 两种穗型冬小麦品种主茎穗与分蘖穗的籽粒结实数、小穗重与单粒重在不同小穗位间的分布都呈二次曲线变化, 表现

出籽粒发育的近中优势。对不同小穗位而言, 下部小穗的结实特性主要决定每穗结实粒数, 而顶部小穗籽粒的物质积累则主要决定粒重, 这与小麦穗分化中小穗、小花发育规律有关^[15], 潘洁等^[13]、裴雪霞等^[14]也得到相同的结果。

张晓融等^[16]认为, 穗器官早期分化的不均衡性以及营养物质的不均衡分配导致维管束分化的差异, 进而使得同一穗中不同小穗和籽粒之间在产量上出现差异。茹振钢等^[17]发现, 强筋优质小麦的千粒重因穗位、花位不同而异。在本研究中, 不同粒位粒重的空间分布因结实粒数的变化表现出规律性, 第 1、2 粒位籽粒为干物质积累的强势库, 第 3、4 粒位为干物质积累的潜力库, 这与潘洁等^[13]的研究结果相似, 表明在保证第 1、2 粒位粒重的前提下最大可能地发挥第 3、4 粒位的粒重潜力, 可以获得较高单穗重。重穗型品种兰考矮早八第 3 粒位的增重潜力优于中间型品种周麦 18, 其第 4 粒位的结实率和增重潜力也值得重视。

播种密度对小麦粒重的分布和结实数具有较大的影响。随密度的增大, 其穗粒重、穗粒数均呈下降趋势, 造成这种现象的原因是高密度条件下, 第 3、4 粒位和基部与上部第 1、2 粒位结实数下降^[5]。在品种间小穗结实粒数差异的基础上, 其小穗重的差异更为明显, 基因型差异可反映在各个小穗位上, 构成了不同穗型结构的本质特征^[18]。生产中在追求大穗的同时, 应协调好穗粒数和粒重的关系, 使二者乘积达最大, 单穗重才最高^[19]。本研究结果表明, 重穗型品种兰考矮早八穗部结实特性优于中间型品种周麦 18, 主茎穗优于分蘖穗。随着密度的下降, 单穗的结实小穗数、每小穗结实粒数和单粒重有增加

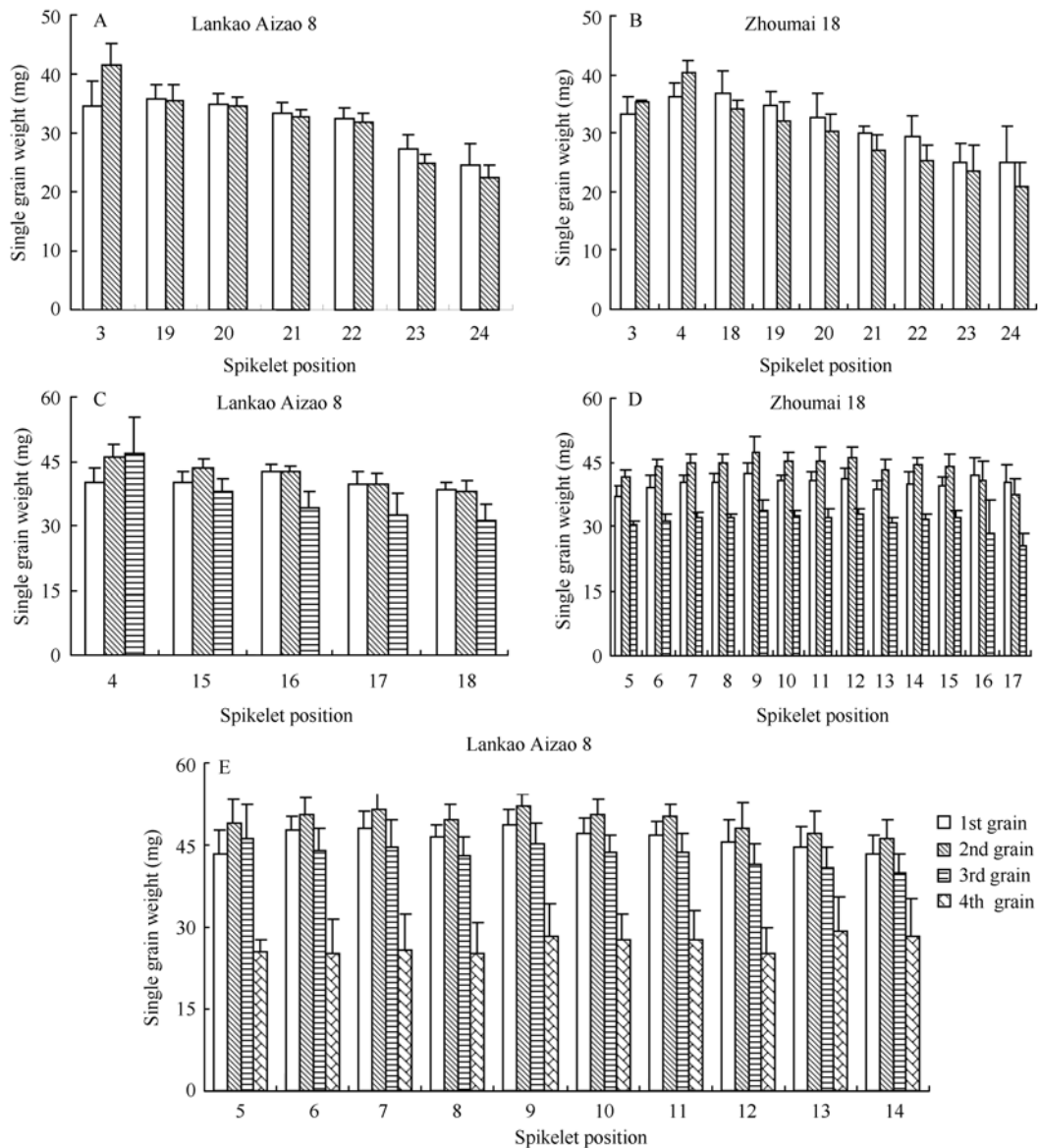


图 6 两粒(A 和 B)、三粒(C 和 D)和四粒(E)结实小穗不同粒位的粒重
Fig. 6 Single grain weight of different grain position in 2-grain spikelet (A and B), 3-grain spikelet (C and D), and 4-grain-spikelet (E)

的趋势, 而兰考矮早八的增加幅度更大, 表明兰考矮早八的小穗位效应和粒位效应对播种密度更敏感, 而周麦 18 小穗位和粒位对播种密度的调节效应较强。由于不同密度群体间单穗重差异较大, 尤其是高密度条件下差异的幅度超出了自身对群体大小的调控范围, 因此高密度虽然单位面积穗数较多, 但是弥补不了单穗重较低造成的差异, 这种情况在重穗型品种兰考矮早八中表现得更为明显。

4 结论

不同穗位、不同粒位的小麦籽粒因小穗、小花发育规律而异, 两种穗型冬小麦品种主茎穗与分蘖

穗的籽粒结实数、小穗重与单粒重在不同小穗位间的分布都呈二次曲线变化, 呈现出籽粒发育的近中优势, 主茎穗优于分蘖穗。第 1 粒位和第 2 粒位粒重相近, 都高于第 3 粒位和第 4 粒位, 两品种第 1 粒位和第 2 粒位具有较大的增产潜力, 第 3 粒位具有较大的提升潜力, 重穗型品种兰考矮早八各粒位的增重潜力和提升潜力优于中间型品种周麦 18, 其第 4 粒位的结实率和增重潜力也值得重视。随着播种密度的下降, 单穗的结实小穗数、每小穗结实粒数和单粒重有增加的趋势, 而兰考矮早八的增加幅度更大, 周麦 18 对密度的调控效应较强。在小麦栽培中, 应尽量在保证主茎穗的基础上适当增加分蘖穗的比

例, 在保证结实粒数的基础上提高粒重尤其是下部小穗的结实粒数和粒重, 在保证第 1、2 粒位粒重的前提下最大可能地发挥第 3、4 粒位的粒重潜力, 可以使小麦实现高产稳产。

References

- [1] Hanft J M, Jones R J, Stumme A B. Dry matter accumulation and carbohydrate concentration patterns of field-grown and in vitro cultured maize kernels from the tip and middle ear positions. *Crop Sci*, 1986, 26: 568–572
- [2] Pal M S, Zhang G P, Chen J X. Influence of genotypes and nitrogen fertilization on leaf morphogenesis and tillering behaviors in winter wheat. *J Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2000, 20(1): 28–33
- [3] Chen Y, Yuan L P, Wang X H, Zhang D Y, Chen J, Deng Q Y, Zhao B R, Xu D Q. Relationship between grain yield and leaf photosynthetic rate in super hybrid rice. *J Plant Physiol Mol Biol*, 2007, 33: 235–243
- [4] Daniel J M, Guatavo A S. Individual grain weight responses to genetic reduction in culm length in wheat as affected by source-sink manipulations. *Field Crops Res*, 1995, 43: 55–66
- [5] Li C-X(李春喜), Shi H-E(石惠恩), Jiang L-N(姜丽娜). Investigation on the grain weight distribution characteristic of wheat in different densities. *Acta Bot Boreali-Occident Sin* (西北植物学报), 1999, 19(1): 132–137 (in Chinese with English abstract)
- [6] Huang K-H(黄开红), Shi W-Q(石伟旗), Bian Z-H(卞祖华). Relations between wheat anthesis characteristic and grain-set rate. *J Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 1990, (6): 5–8 (in Chinese)
- [7] Li C-X(李春喜), Jiang L-N(姜丽娜), Shi H-E(石惠恩), Ji S-D(姬生栋). Distribution of grain number and grain weight on tillers in wheat. *Gengzuo yu Zaipei* (耕作与栽培), 1999, (6): 5–9 (in Chinese)
- [8] He M-R(贺明荣), Wang Z-L(王振林), Zhang J-C(张杰昌). Distribution of photo assimilate to different parts of wheat era after anthesis and its relation to kernel weight per era. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2000, 26(2): 190–194 (in Chinese with English abstract)
- [9] Guo W-S(郭文善), Peng Y-X(彭永欣). Cultivation and Physiology in Wheat. Nanjing: Southeast University Press, 1992. pp 42–49 (in Chinese)
- [10] Dong Z-G(董正国). Distribution characteristic of wheat grain weight. *Foreign Agron—Triticeae Crops* (国外农学——麦类作物), 1991, (8): 47–49 (in Chinese)
- [11] Hou Y-Y(侯远玉). Variation of grain weight and grain set between ear sections in different ear-type of wheat genotypes. *J Sichuan Agric Univ* (四川农业大学学报), 1997, 15(2): 218–222 (in Chinese with English abstract)
- [12] Li M-L(李孟良), Shi X-Q(时侠清). Difference of grain weight era at different grain positions in wheat. *Seeds* (种子), 2001, (1): 17–19 (in Chinese)
- [13] Pan J(潘洁), Jiang D(姜东), Cao W-X(曹卫星), Sun C-F(孙传范). Effects of spikelet and grain positions on grain number, weight and protein content of wheat spike. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2005, 31(4): 431–437 (in Chinese with English abstract)
- [14] Pei X-X(裴雪霞), Wang J-A(王姣爱), Dang J-Y(党建友), Wang X-B(王秀斌), Zhang D-Y(张定一). Effects of spikelet and grain position on fertile spikelet number, grain weight and quality of wheat. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2008, 41(2): 381–390 (in Chinese with English abstract)
- [15] Yu Z-W(于振文). Crop Cultivation (in Northern Area) (作物栽培学·北方本). Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese)
- [16] Zhang X-R(张晓融), Wang S-Z(王世之). Studies on the anatomical and physiological factors influencing the unbalanced development of the spikes. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1993, 19(2): 103–109 (in Chinese with English abstract)
- [17] Ru Z-G(茹振钢), Li G(李淦), Hu T-Z(胡铁柱), Li L-B(栗利波). Analysis of grain weight and quality at different floret position of strong glutinin wheat. *J Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2006, 26(5): 134–136 (in Chinese with English abstract)
- [18] Li C-D(李存东), Cao W-X(曹卫星), Zhang Y-C(张月晨), Dai T-B(戴廷波). Floret position differences in seed setting characteristic of different sowing dates and varieties. *Acta Agric Boreali-Sin* (华北农学报), 2001, 16(2): 1–7 (in Chinese with English abstract)
- [19] Zhu X-K(朱新开), Guo W-S(郭文善), Wang Y-J(王永吉), Feng C-N(封超年), Peng Y-X(彭永欣). Study of distribution rule of wheat grain weight and their relationship. *Seed* (种子), 2004, 23(11): 67–71 (in Chinese)