

# 小麦不同穗位籽粒品质和形态性状分析

朱启迪<sup>1</sup> 李艳艳<sup>1</sup> 卢萌<sup>2</sup> 林圣哲<sup>2</sup> 余成强<sup>1</sup> 刘轲<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>河南科技学院/河南省现代生物育种协同创新中心, 453003, 河南新乡; <sup>2</sup>河南科技大学, 471000, 河南洛阳)

**摘要** 为探明小麦不同穗位籽粒品质和形态性状的变化规律, 以济麦 22、中麦 175 和周麦 18 为材料, 分别在开花后 10、15、20、25、30、35 和 45d 对其籽粒的蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、长度、宽度和千粒重进行测定。结果表明, 在开花后 15~35d, 其蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、长度、宽度和千粒重总体呈升高的趋势, 在开花后 35~45d, 其蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、长度、宽度和千粒重总体呈下降的趋势, 但下降不明显。小麦籽粒蛋白质含量和湿面筋含量总体上表现为下部穗位最高, 中部穗位其次, 上部穗位最低, 中部穗位和下部穗位差别不大, 但均高于上部穗位。小麦籽粒长度、宽度和千粒重总体表现为中部穗位最高, 下部穗位其次, 上部穗位最低, 中部穗位和下部穗位差别不明显, 但均明显高于上部穗位。本结论可为今后提高小麦产量和改良品质提供参考。

**关键词** 小麦; 穗位; 籽粒; 品质; 形态性状

小麦是世界上广泛种植的禾本科植物, 也是我国三大主粮作物之一, 我国小麦产量居世界前列, 近年来优质进口小麦数量不断递增<sup>[1-3]</sup>。小麦籽粒中包含很多对人体有益的营养物质, 包括蛋白质、微量元素、抗性淀粉、膳食纤维、生物活性物质及类胡萝卜素等, 是人体所需能量、蛋白质和膳食纤维的主要来源<sup>[4-8]</sup>。随着我国经济的发展和人们生活水平的不断提高, 人们对小麦品质不断提出越来越高的要求, 对食物的口感及营养有了更高的要求<sup>[9-10]</sup>。然而, 小麦穗部各小穗位和粒位的籽粒发育并不均衡, 籽粒在穗部的位置决定了小麦穗部籽粒结实与物质积累的空间分布特征, 在生长发育过程中, 小麦穗部粒数与粒重的分布具有近中优势, 即中部小穗的粒数和粒重均具有明显优势<sup>[11-13]</sup>。

小麦的小穗发育存在时空顺序, 因而不同穗位籽粒的结实特性和籽粒性状存在差异。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<sup>[14]</sup>。有研究<sup>[15]</sup>表明, 小穗结实粒数为 2 时, 以第 1 粒位的粒重最大, 小穗结实粒数为 3、4 和 5 时, 以第 2 粒位的粒重最大, 无论小穗结实粒数如何变化, 各小穗第 1 和第 2 粒位的粒重均显著大于其他粒位的粒重<sup>[16]</sup>。同时, 小麦不同穗位和不同花位的籽粒在发育过程中受到遗传特性及环境条件等因素的影响, 使其蛋白质含量存

在一定程度上的差异。一般不同穗位的同一花位籽粒间, 其下部穗位的蛋白质含量最高, 中部穗位次之, 上部穗位稍低, 小麦强势籽粒的蛋白质含量和积累量均显著高于弱势籽粒<sup>[17-18]</sup>。然而关于小麦不同穗位蛋白质含量和籽粒表型性状动态差异的报道较少。本研究从分析小麦不同穗粒籽粒蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、长度、宽度和千粒重等动态变化着手, 进一步阐明小麦籽粒发育的变化规律, 为小麦高产优质品种选育提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与设计

供试材料为济麦 22、中麦 175 和周麦 18, 试验于 2018-2019 年在河南省洛阳市河南科技大学小麦基地试验田进行。每个品种种植 10 行, 行长 6m, 行距 20cm, 试验地周围设有保护行。采用随机区组试验设计, 3 次重复。浇水、施肥和虫草害防治按大田常规管理进行。

### 1.2 田间取样

采用随机取样的调查方法, 在小麦开花后 10 (5 月 2 日)、15 (5 月 7 日)、20 (5 月 12 日)、25 (5 月 17 日)、30 (5 月 22 日)、35 (5 月 27 日) 和 45d (6 月 6 日) 取样。每个品种随机取 200 株生长发育良好且长势基本一致的小麦, 剪去旗叶

作者简介: 朱启迪, 主要从事小麦遗传育种研究工作, E-mail: zzhqqdd@163.com

基金项目: 河南省创新示范专项 (191110110700); 河南省教育厅重点科研计划项目 (17A210011); 河南科技学院高层次人才科研项目 (2015002)

收稿日期: 2021-07-16; 修回日期: 2021-11-08; 网络出版日期: 2022-04-11

以上的部分，放置于取样袋中，同时将写上取样日期和品种名称的标签放入取样袋中。样本于阴凉、干燥、通风的地方风干，然后将小麦穗按上部、中部和下部平均分成 3 部分，分别进行脱粒，将处理干净的小麦籽粒装入羊皮纸袋中备用。

### 1.3 品质和籽粒形态性状测定

采用 Perten 近红外谷物分析仪对 3 个品种不同穗位小麦籽粒的蛋白质、湿面筋和沉降值等指标进行测定。采用万深 SC-A 型自动考种及千粒重仪系统测定小麦的粒长、粒宽和千粒重。

### 1.4 数据处理

利用 Excel 2003 和 SPSS 22 软件进行数据分析和作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦不同穗位籽粒蛋白质含量分析

由图 1 可知，济麦 22、中麦 175 和周麦 18 在开花后 15~35d（5 月 7 日-27 日）籽粒蛋白质含量呈升高的趋势。济麦 22、中麦 175 和周麦 18 在开花后各个时期籽粒蛋白质含量总体上表现为下部

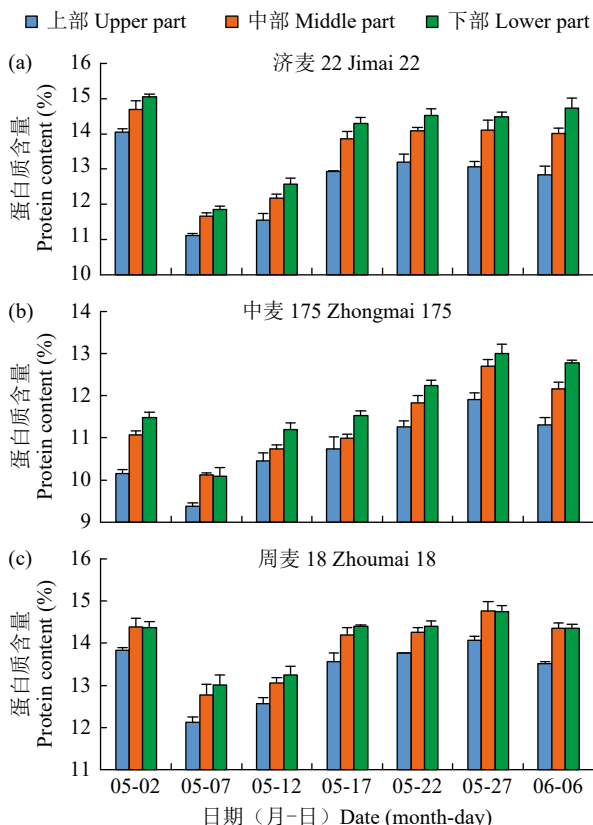


图 1 3 个小麦品种不同穗位籽粒蛋白质含量  
Fig.1 The protein contents of three wheat varieties at different spikelet positions

穗位最高，其次是中部穗位，上部穗位最低，即下部穗 > 中部穗 > 上部穗。

### 2.2 小麦不同穗位籽粒湿面筋含量分析

对 3 个小麦品种不同穗位籽粒湿面筋含量进行测定，结果（图 2）表明，济麦 22 和中麦 175 在开花后各个时期籽粒湿面筋含量均表现为下部穗 > 中部穗 > 上部穗（图 2a、2b）；周麦 18 在开花后各个时期籽粒湿面筋含量表现为中部穗位最高，其次是下部穗位，中部穗位和下部穗位差别不大，但均高于上部穗位（图 2c）。

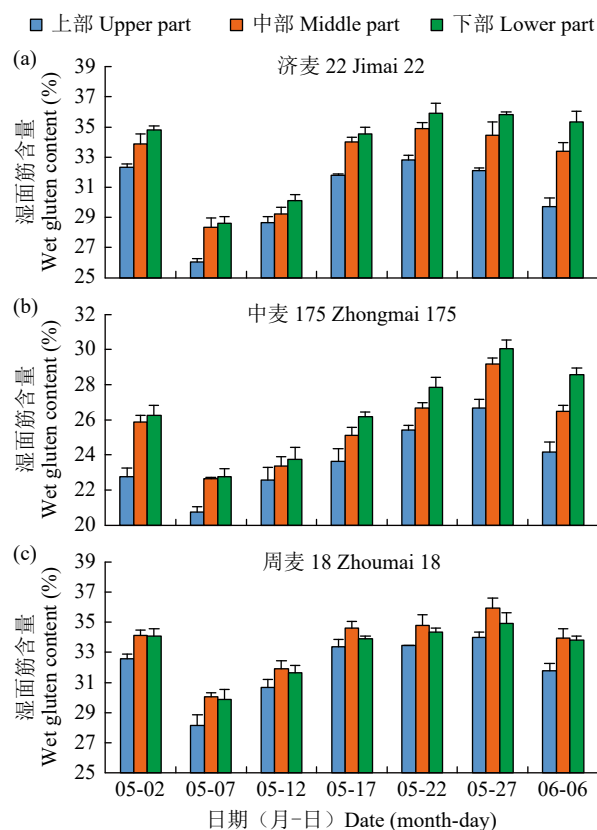


图 2 3 个小麦品种不同穗位籽粒湿面筋含量  
Fig.2 The wet gluten contents of three wheat varieties at different spikelet positions

### 2.3 小麦不同穗位籽粒沉降值分析

对 3 个小麦品种不同穗位籽粒沉降值进行测定，结果（图 3）表明，济麦 22 和周麦 18 在开花后各个时期籽粒沉降值总体上表现为下部穗 > 中部穗 > 上部穗（图 3a、3c）。中麦 175 在开花后各个时期籽粒沉降值总体上表现为中部穗位最高，其次是下部穗位，上部穗位最低（图 3b）。

### 2.4 小麦不同穗位籽粒长度分析

图 4 表明，济麦 22 和中麦 175 在开花后 10~35d

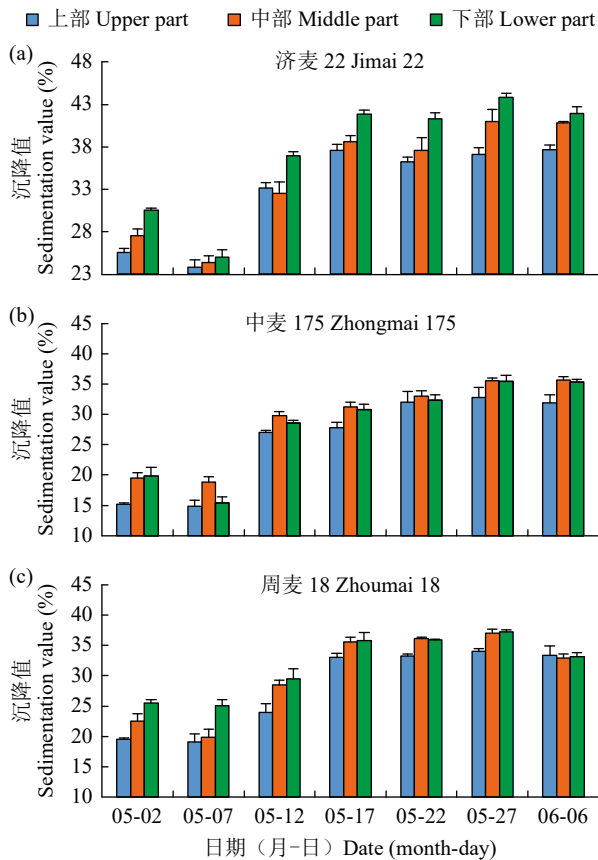


图3 3个小麦品种不同穗位籽粒沉降值  
Fig.3 The sedimentation values of three wheat varieties at different spikelet positions

(5月2日-27日)籽粒长度整体呈升高的趋势,在开花后35~45d,二者籽粒长度稍降低(图4a、4b),可能是由于随着小麦籽粒成熟度的提高,其水分降低引起的。周麦18在开花后10~45d(5月2日-6月6日)籽粒长度总体上呈升高的趋势,但变化不大(图4c)。济麦22、中麦175和周麦18在开花后各个时期籽粒长度均表现为中部穗>下部穗>上部穗,中部穗位和下部穗位籽粒长度差别不明显,但均明显高于上部穗位。

### 2.5 小麦不同穗位籽粒宽度分析

图5表明,济麦22在开花后10~30d(5月2日-22日)籽粒宽度呈升高的趋势(图5a),中麦175和周麦18在开花后10~35d籽粒宽度呈升高的趋势(图5b、5c)。济麦22在开花后各个时期籽粒长度总体上表现为中部穗>下部穗>上部穗,中部穗位和下部穗位籽粒宽度接近,但均明显高于上部穗位(图5a)。中麦175和周麦18籽粒宽度表现为中部穗位和下部穗位籽粒长度差别不明显,但均高于上部穗位。

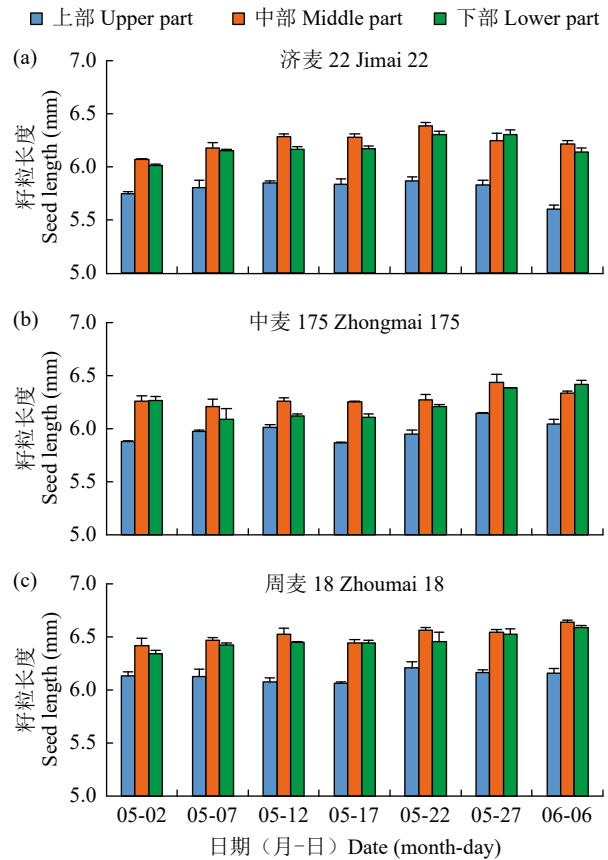


图4 3个小麦品种不同穗位籽粒长度  
Fig.4 The seed lengths of three wheat varieties at different spikelet positions

### 2.6 小麦不同穗位籽粒千粒重分析

对3个小麦品种不同穗位籽粒千粒重进行测定,结果(图6)表明,济麦22和周麦18在开花后10~30d籽粒千粒重呈升高的趋势,在开花后30~45d籽粒千粒重呈现出下降的趋势,但下降不明显(图6a、6c);中麦175在开花后10~35d籽粒千粒重呈现出升高的趋势,在开花后35~45d呈现出下降的趋势,但下降不明显(图6b)。济麦22、中麦175和周麦18在开花后各时期籽粒千粒重总体上表现为中部穗位最高,其次是下部穗位,上部穗位最低,中部穗位和下部穗位籽粒千粒重接近。

## 3 讨论

小麦不同穗位的小穗和小花发育不均衡,在生长发育过程中,穗中部的小穗和小穗内基部小花占有极大的位置优势,基部和上部的小穗和小穗内端小花的发育则受到了抑制,甚至会出现退化。有研究表明,穗器官形成的不均衡性与养分供应差异有密切关系,穗器官早期分化的不均衡性和顶营养物

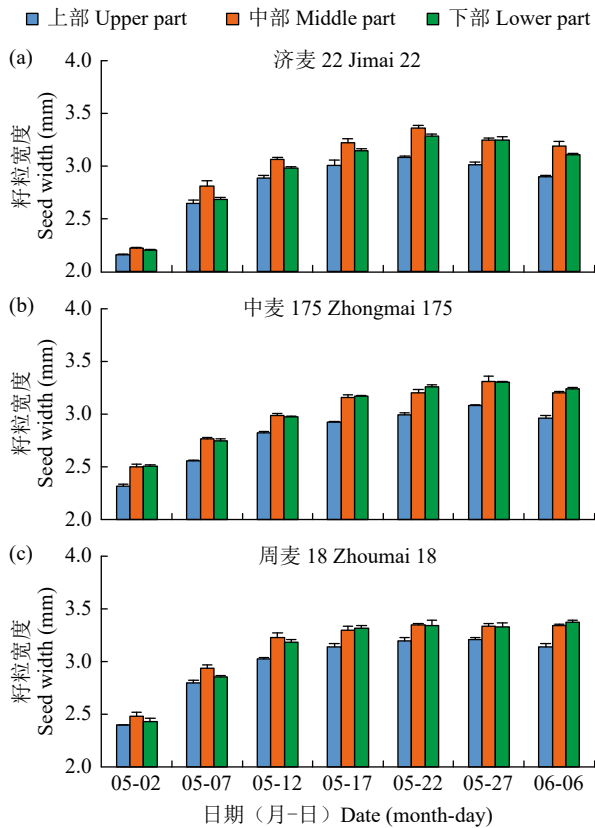


图 5 3 个小麦品种不同穗位籽粒宽度

Fig.5 The seed widths of three wheat varieties at different spikelet positions

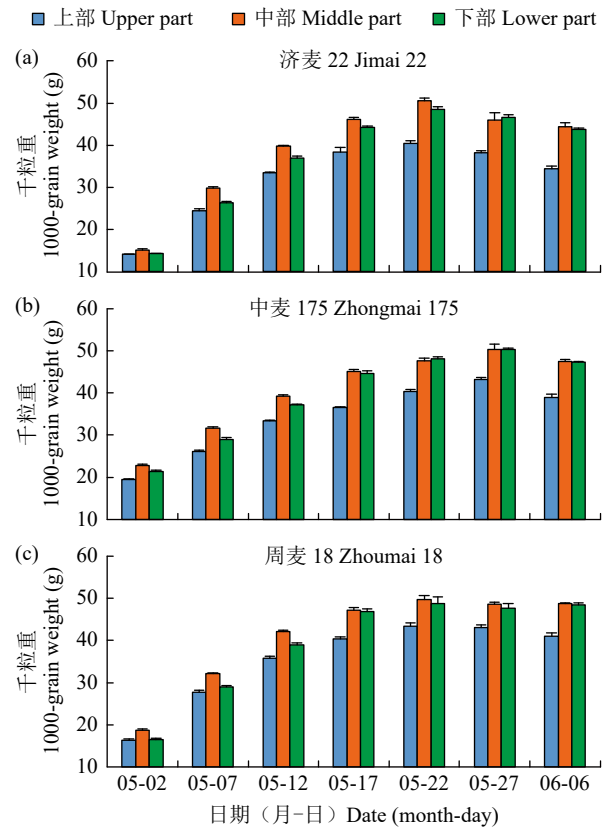


图 6 3 个小麦品种不同穗位籽粒千粒重

Fig.6 The 1000-grain weights of three wheat varieties at different spikelet positions

质的不均衡分配都会导致维管束分化的差异，这种差异又反过来促成穗器官发育的不均衡，最终导致不同分蘖穗间同一穗中不同小穗和籽粒间在产量上出现差异<sup>[19]</sup>。大粒型品种输导组织（尤其是大维管束）以及同化组织发达，使其在籽粒形成期具备了良好的物质转运与积累系统，但由于籽粒库容大，灌浆期长，易受极端气候（温度等）的影响，造成产量和品质不稳定<sup>[20]</sup>。马冬云等<sup>[21]</sup>研究发现，小麦粒重表现为中部和下部穗位高于上部穗位，中部和下部穗位的第 2 粒位籽粒对穗粒重的贡献较大。本研究发现，小麦不同穗位籽粒长度、宽度、千粒重在开花后 10~35d 整体上呈升高的趋势，之后出现小幅下降，可能是由于小麦籽粒水分降低引起的。小麦粒长、粒宽、千粒重总体上表现为中部穗位最高，其次是下部穗位，上部穗位最低，中部穗位和下部穗位接近，但均明显高于上部穗位，表明中部穗位和下部穗位对籽粒重的贡献比较大。

籽粒蛋白质含量是衡量小麦营养品质和加工品质的主要指标，籽粒蛋白质含量及其组分对小

麦品质影响较大，裴雪霞等<sup>[22]</sup>认为，从基部开始中下部小穗各粒位蛋白质含量较高，上部较低，且上部小穗蛋白质含量低于基部小穗相应粒位。小麦籽粒蛋白质在不同穗位和粒位的积累分布是有规律的，籽粒蛋白质积累量的顺序表现为穗中部粒>穗下部粒>穗上部粒，相同穗位不同粒位蛋白质积累量的顺序则是第 2 小花粒≥第 1 小花粒>第 3 小花粒<sup>[23]</sup>。本研究发现，在开花后 15~35d，济麦 22、中麦 175 和周麦 18 不同穗位籽粒蛋白质含量呈升高的趋势。济麦 22 和中麦 175 在开花后各个时期籽粒蛋白质含量整体表现为下部穗位最高，其次是中部穗位，上部穗位最低；周麦 18 在开花后各个时期籽粒蛋白质含量下部穗位和中部穗位差别很小，但均高于上部穗位。因此，在选育高产优质小麦品种过程中，应尽量减少小花位数，提高籽粒均匀度，适当增加中、下部籽粒。

#### 4 结论

对小麦不同穗位籽粒品质和表型性状进行比较分析发现，不同品种会存在一些差异。随着小麦

籽粒成熟度的提高,其籽粒蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、长度、宽度和千粒重总体上呈升高的趋势,中部穗位和下部穗位相差不大,但均高于上部穗位。因此,可以通过改良小麦不同穗位的籽粒性状,实现高产优质的目标。

#### 参考文献

- [1] 刘志勇,王道文,张爱民,等.小麦育种行业创新现状与发展趋势.植物遗传资源学报,2018,19(3):430-434.
- [2] 赵广才,常旭虹,王德梅,等.小麦生产概况及其发展.作物杂志,2018(4):1-7.
- [3] Gao S, Sun G L, Liu W H, et al. High-molecular-weight glutenin subunit compositions in current Chinese commercial wheat cultivars and the implication on Chinese wheat breeding for quality. *Cereal Chemistry*, 2020, 97(4): 762-771.
- [4] 姜小苓,张自阳,冯素伟,等.收获期对BNS杂交小麦面粉和馒头品质的影响.应用生态学报,2013,24(12):3495-3500.
- [5] 王康君,孙中伟,郭明明,等.小麦营养品质的研究进展与展望.农业与技术,2020,40(7):7-12.
- [6] Wang Y H, Zhang Q Q, Jiang S H, et al. Effect of wheat flour particle size on the quality of fresh white salted noodles. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(12): e14972.
- [7] 张勇,郝元峰,张艳,等.小麦营养和健康品质研究进展.中国农业科学,2016,49(22):4284-4298.
- [8] 买春艳,李洪杰,刘宏伟,等.北方冬麦区小麦品种产量相关性状和幼穗分化特点研究.麦类作物学报,2018,38(7):773-781.
- [9] 陶海腾,王文亮,程安玮,等.收获期对小麦粉面团流变学特性的影响.麦类作物学报,2011,31(6):1089-1093.
- [10] Zhang L L, Li X Q, Yang X M, et al. High-molecular-weight glutenin subunit composition of Chinese wheat germplasm. *Agricultural Sciences in China*, 2007, 6(8): 899-907.
- [11] 左毅,马冬云,张艳菲,等.冬小麦籽粒蛋白质含量及氮代谢关键酶活性的穗粒位差异.华北农学报,2012,27(6):202-207.
- [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.作物学报,2017,43(2):238-252.
- [13] 李小利,姜小苓,李淦,等.小麦不同穗位、花位的品质研究.江苏农业科学,2018,46(19):50-53.
- [14] 侯远玉.小麦品种间不同穗粒位粒数与粒重的变异.四川农业大学学报,1997(2):73-77.
- [15] 朱新开,郭文善,王永吉,等.大穗型小麦穗粒重分布规律及相互关系探讨.种子,2004(11):67-71.
- [16] 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.作物学报,2009,35(10):1875-1883.
- [17] 茹振钢,李淦,胡铁柱,等.强筋小麦不同穗位及花位籽粒粒重和品质的变化.麦类作物学报,2006,26(5):134-136.
- [18] 吕淑芳,苗芳,白龙.不同温度型小麦强势和弱势籽粒物质积累规律的研究.西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(12):117-122.
- [19] 李明慧,张庆琛,李刚,等.小麦穗与小穗及籽粒差异的解剖结构和生理原因研究.安徽农业科学,2008(3):938-940,949.
- [20] 远彤,郭天财,罗毅,等.冬小麦不同粒型品种茎叶组织结构与籽粒形成关系的研究.作物学报,1998,24(6):876-883.
- [21] 马冬云,郭天财,王晨阳,等.冬小麦品种粒重和淀粉特性的穗粒位差异分析.麦类作物学报,2010,30(6):1076-1079.
- [22] 裴雪霞,王姣爱,党建友,等.小麦结实粒数、粒重和品质的小穗位和粒位效应.中国农业科学,2008(2):381-390.
- [23] 巴青松,傅兆麟.小麦粒位效应研究进展.安徽农业科学,2010,38(2):653-656.

## Analysis of Wheat Kernel Quality and Morphological Characteristics at Different Spikelet Positions

Zhu Qidi<sup>1</sup>, Li Yanyan<sup>1</sup>, Lu Meng<sup>2</sup>, Lin Shengzhe<sup>2</sup>, Yu Chengqiang<sup>1</sup>, Liu Ke<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Henan Institute of Science and Technology/Henan Collaborative Innovation Center of Modern Biological Breeding, Xinxiang 453003, Henan, China; <sup>2</sup>Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, Henan, China)

**Abstract** In order to clarify the changes in wheat grain quality and morphological characteristics at different spikelet positions, using Jimai 22, Zhongmai 175 and Zhoumai 18 as materials, the protein content, wet gluten content, sedimentation value, seed length, seed width and 1000-grain weight were evaluated on the 10th, 15th, 20th, 25th, 30th, 35th and 45th day after flowering. The results showed that these indicators had generally increased from 15d to 35d after flowering and decreased from 35d to 45d after flowering, but the decrease was not obvious. The contents of protein and wet gluten at lower ear position were the highest, followed by the middle ear position, and the upper ear position was the lowest. There was little difference in contents of protein and wet gluten between the middle ear position and the lower ear position, with both higher than the upper ear position. The seed length, seed width and 1000-grain weight of middle ear position were the highest, followed by the lower ear position, and the upper ear position was the lowest. There were little difference in seed length, seed width and 1000-grain weight between the middle ear position and the lower ear position, with both higher than the upper ear position. These result provide a reference for increasing yield and quality of wheat.

**Key words** Wheat; Spikelet position; Seed; Quality; Morphological characteristic