

## 栽培模式及生态条件对弱筋小麦籽粒品质的影响

陈松,朱娟,吕超,王菲菲,郭宝健,许如根

(江苏省作物基因组学和分子育种重点实验室/植物功能基因组学教育部重点实验室/江苏省作物遗传生理重点实验室/  
扬州大学农学院/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心,江苏扬州 225009)

**摘要:**为研究不同栽培模式及生态条件对弱筋小麦籽粒品质的影响,以8个扬麦系列和宁麦系列弱筋小麦品种及2个中筋小麦品种为材料,分析参试小麦品种在不同栽培模式及生态条件下籽粒容重、蛋白质含量及淀粉含量的稳定性及差异性。结果表明,小麦籽粒品质既受品种遗传因素的控制,也受栽培模式及生态条件的影响。在弱筋小麦优质栽培模式[基本苗 $2.40 \times 10^6$ 株 $\cdot$ hm $^{-2}$ ,施用纯氮 $180$  kg $\cdot$ hm $^{-2}$ ,磷、钾肥以基苗肥为主,氮肥运筹按基肥:苗肥:拔节肥(倒3.5叶前)=7:1:2],弱筋小麦籽粒蛋白质含量较低,容重大,淀粉品质较高,中筋品种扬麦25和扬麦28也能够达到优质弱筋的要求。在中筋小麦高产栽培模式(基本苗 $1.80 \times 10^6$ 株 $\cdot$ hm $^{-2}$ ,施用纯氮 $240$  kg $\cdot$ hm $^{-2}$ ,磷、钾肥以基苗肥为主,氮肥运筹按基肥:苗肥:拔节孕穗肥=5:2:3)下,参试品种籽粒蛋白质含量均较高,多数品种不能达到弱筋小麦的标准。要保证弱筋小麦品质,应选择适宜良种,在常规大田栽培措施的基础上,采用第一种栽培模式,并根据当地当年气候生态条件作适当调整。

**关键词:**弱筋小麦;栽培模式;生态条件;品质

中图分类号:S512.1;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)01-0080-09

## Effect of Cultivation Mode and Ecological Conditions on Grain Quality of Weak Gluten Wheat

CHEN Song, ZHU Juan, LÜ Chao, WANG Feifei, GUO Baojian, XU Rugen

(Jiangsu Key Laboratory of Crop Genomics and Molecular Breeding/Key Laboratory of Plant Functional Genomics of the Ministry of Education/Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Agricultural College of Yangzhou University/Jiangsu Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

**Abstract:** To study the effects of different cultivation modes and ecological conditions on the grain quality of weak gluten wheat, 8 Yangmai series and Ningmai series weak gluten wheat varieties and 2 medium gluten wheat varieties were used as materials to analyze the stability and differences of grain bulk weight, protein content, and starch content of weak gluten wheat under different cultivation modes and ecological conditions. The results showed that the quality of wheat grains is not only controlled by genetic factors of the variety, but also influenced by cultivation modes and ecological conditions. Under different ecological conditions, the high-quality cultivation mode of weak gluten wheat was based on a basic seedling of  $2.40 \times 10^6$  plants  $\cdot$  hm $^{-2}$ , pure nitrogen of  $180$  kg  $\cdot$  hm $^{-2}$ , and phosphorus and potassium fertilizers mainly based on basal and seedling fertilizer. The nitrogen fertilizer was based on basal fertilizer: seedling fertilizer: jointing fertilizer (before 3.5 leaves) = 7:1:2. Under this cultivation mode, weak gluten wheat showed low protein content, good grain bulk weight,

收稿日期:2023-11-24 修回日期:2023-12-28

基金项目:江苏省种业振兴揭榜挂帅项目(JBGS2021006);国家重点研发计划项目(2017YFD0100803);江苏高校优势学科建设工程资助项目

第一作者 E-mail:1746691347@qq.com(陈松)

通讯作者 E-mail:rgxu@yzu.edu.cn(许如根)

and high starch quality. Medium-gluten varieties Yangmai 25 and Yangmai 28 could also meet the requirements of high-quality weak gluten. The high-yield cultivation mode was based on a basic seedling rate of  $1.80 \times 10^6$  plants  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>, with pure nitrogen of 240 kg  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>. Phosphorus and potassium fertilizers were mainly based on basal and seedling fertilizer, and nitrogen fertilizer was based on basal fertilizer: seedling fertilizer: jointing and booting fertilizer = 5 : 2 : 3. The tested varieties showed high protein content in their grains under this cultivation mode, and most varieties can not meet the standards of weak gluten wheat. To ensure the quality of weak gluten wheat, suitable varieties should be selected, and the first cultivation mode should be adopted based on conventional field cultivation measures, and appropriate adjustments should be made according to the local climate and ecological conditions of the year.

**Keywords:** Weak gluten wheat; Cultivation mode; Ecological conditions; Quality

弱筋小麦籽粒软质,蛋白质含量低,淀粉破损少,适合加工优质饼干和糕点<sup>[1]</sup>。依据国家标准,优质弱筋小麦籽粒容重应 $\geq 750$  g  $\cdot$  L<sup>-1</sup>,籽粒蛋白质含量 $\leq 11.5\%$ <sup>[4]</sup>。中筋小麦蛋白质含量,筋力均适中,延展性较好,适用于制作面条等食品。容重为小麦一次加工品质的重要评价指标之一,可反映弱筋小麦籽粒性状及整齐度;弱筋小麦营养品质主要反映在籽粒蛋白质含量和淀粉含量两方面,其中淀粉分为直链淀粉和支链淀粉。弱筋小麦品质既受遗传因素控制,也受栽培措施和生态环境的影响<sup>[2-3]</sup>;适当增加种植密度、减少氮肥施用有利于提高弱筋小麦品质<sup>[5-7]</sup>,适宜氮肥运筹对小麦籽粒蛋白质含量具有显著的调节作用<sup>[8]</sup>。在实际生产中,弱筋小麦和中筋小麦品种蛋白质含量相差不大,导致两类小麦在栽培管理和生态区选择上容易出现混乱,因而有必要对弱筋小麦优质生产的种植密度、肥料运筹方式及生态条件进行重点研究。本研究选用江苏近年来主体推广种植的 8 个弱筋小麦品种及 2 个中筋小麦品种为

材料,分析了栽培模式和生态条件对弱筋小麦籽粒容重、蛋白质含量、淀粉含量的影响,以期江苏省弱筋小麦优质高产栽培模式提供理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地点与材料

试验分别于 2020—2021 年度(Y<sub>1</sub>)在江苏省方强农场农科所和姜堰区农委白米镇、2021—2022 年度(Y<sub>2</sub>)在江苏省方强农场农科所进行,两试点前茬作物均为水稻,土壤均为沙壤土,土壤肥力中等偏上。姜堰区试点位于沿江高沙土地区,全年气候温暖,光照充足,雨水充沛,年平均气温为 15.4 ℃,全年无霜期平均 220 d,年平均降水量 991.7 mm。方强试点地处江苏东部沿海地区,年平均气温为 14.5 ℃,全年无霜期平均 216 d,年平均降水量为 1 014 mm。试验以江苏近年来推广种植的 8 个弱筋小麦品种及 2 个中筋小麦品种(对照)为材料,材料编号、名称、品质特性及选育单位见表 1。

表 1 参试材料编号、名称、品质特征及选育单位  
Table 1 Number, name, characteristic and breeding institutes of the materials

编号 Code	品种 Variety	品质特性 Characteristic	选育单位 Breeding institute
B <sub>1</sub>	扬麦 9 号 Yangmai 9	弱筋 Weak gluten	江苏里下河地区农科所 Yangzhou Academy of Agricultural Science
B <sub>2</sub>	扬麦 13 Yangmai 13	弱筋 Weak gluten	江苏里下河地区农科所 Yangzhou Academy of Agricultural Science
B <sub>3</sub>	扬麦 15 Yangmai 15	弱筋 Weak gluten	江苏里下河地区农科所 Yangzhou Academy of Agricultural Science
B <sub>4</sub>	扬麦 20 Yangmai 20	弱筋 Weak gluten	江苏里下河地区农科所 Yangzhou Academy of Agricultural Science
B <sub>5</sub>	扬麦 22 Yangmai 22	弱筋 Weak gluten	江苏里下河地区农科所 Yangzhou Academy of Agricultural Science
B <sub>6</sub>	扬麦 24 Yangmai 24	弱筋 Weak gluten	江苏里下河地区农科所 Yangzhou Academy of Agricultural Science
B <sub>7</sub>	扬麦 25 Yangmai 25	中筋 Medium gluten	江苏里下河地区农科所 Yangzhou Academy of Agricultural Science
B <sub>8</sub>	宁麦 9 号 Ningmai 9	弱筋 Weak gluten	江苏省农科院 Jiangsu Academy of Agricultural Science
B <sub>9</sub>	宁麦 13 Ningmai 13	弱筋 Weak gluten	江苏省农科院 Jiangsu Academy of Agricultural Science
B <sub>10</sub>	扬麦 28 Yangmai 28	中筋 Medium gluten	江苏里下河地区农科所 Yangzhou Academy of Agricultural Science

### 1.2 试验设计

本试验采用弱筋小麦优质栽培模式和中筋小麦高产栽培模式。

弱筋小麦优质栽培模式(A<sub>1</sub>):基本苗 2.40 × 10<sup>6</sup> 株 · hm<sup>-2</sup>, 按照总施氮量 180 kg · hm<sup>-2</sup> 和氮肥运筹比例 7:1:2(基肥:苗肥:拔节肥)进行肥料管理,其中基肥施用 N、P、K 各 15% 的复合肥 150 kg · hm<sup>-2</sup> + 尿素 225 kg · hm<sup>-2</sup>, 苗肥施用尿素 39 kg · hm<sup>-2</sup>, 拔节肥(倒 3.5 叶前)施用尿素 78 kg · hm<sup>-2</sup>。

中筋小麦高产栽培模式(A<sub>2</sub>):基本苗 1.80 × 10<sup>6</sup> 株 · hm<sup>-2</sup>, 按照总施氮量 240 kg · hm<sup>-2</sup> 和氮肥运筹比例 5:2:3(基肥:苗肥:拔节孕穗肥)进行肥料管理。其中基肥为 N、P、K 各 15% 的复合肥 150 kg · hm<sup>-2</sup> + 尿素 211.5 kg · hm<sup>-2</sup>; 苗肥施用尿素 105 kg · hm<sup>-2</sup>; 拔节孕穗肥施用 150 kg · hm<sup>-2</sup> 尿素。

姜堰试点(D<sub>1</sub>)小区行长 3.3 m, 行距 0.25 m, 每小区种 10 行, 人工条播。方强试点(D<sub>2</sub>)小区行长 3.3 m, 行距 0.2 m, 每小区种 10 行, 人工条播。各处理 3 次重复, 小区随机区组排列。

### 1.3 品质测定

小麦成熟后收获籽粒, 晒干扬净后在常温干燥条件下贮藏 3 个月, 使用 HGT-1000 型谷物容重器按照国家标准 GB/T 5498-2013 测定籽粒容重<sup>[9]</sup>。籽粒磨粉过 80 目筛, 用塑料自封袋封好后存放于 4 °C 冰箱备用。使用全自动凯氏定氮仪(FOSS Kjeltac 8100)进行籽粒蛋白质含量测定<sup>[10]</sup>; 使用 Megazyme 总淀粉试剂盒法(淀粉糖苷酶/α-淀粉酶方法)(K-TSTA 09/14, Megazyme In-

ternational Ireland Ltd.)测定籽粒总淀粉含量<sup>[11]</sup>, 使用碘蓝比色法按照国家标准 GB/T17891-2017 测定直链淀粉含量<sup>[12]</sup>, 籽粒中支链淀粉含量 = 籽粒总淀粉含量 - 籽粒直链淀粉含量。

### 1.4 数据处理

数据采用 Excel 2019 进行整理, 用 SPSS 26.0 进行方差分析, 用 Duncan 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦籽粒品质的品种、栽培模式及生态条件效应

方差分析(表 2)表明, 品种、栽培模式及生态条件对小麦籽粒容重、蛋白质含量、总淀粉含量、直链淀粉含量和支链淀粉含量的影响均达到极显著水平, 三个因素间的互作效应也多数显著或极显著。其中, 生态条件对容重影响较大, 其 *F* 值达到 164.23, 显著高于其他因素值, 说明环境对籽粒整齐度、综合性状具有较大影响; 籽粒蛋白质含量受栽培模式影响较大, 其 *F* 值达到 663.34, 远大于其他因素, 说明栽培模式的选择对小麦籽粒蛋白质含量调节意义重大; 淀粉性状在因素响应上差异不如蛋白质含量和容重大。由此可见, 小麦籽粒品质既受品种遗传控制外, 也受生态因素及栽培因素的影响。

### 2.2 参试小麦品种籽粒品质表现及差异

参试品种容重变化范围为 776.14~819.67 g · L<sup>-1</sup>, 其中扬麦 28 和宁麦 13 的容重分别最低和最高, 均达到优质弱筋小麦标准(表 3)。小麦籽粒蛋白质含量平均为 11.52%, 其中扬麦 13 和宁麦 13 的平均蛋白质含量较高, 分别为 12.45% 和

表 2 参试小麦品种籽粒品质的方差分析(*F* 值)

Table 2 Analysis of variance on grain quality of wheat varieties tested (*F* value)

变异来源 Source of variance	自由度 df	容重 TW	蛋白质 GP	总淀粉 TSTA	直链淀粉 AM	支链淀粉 AMP
A	1	7.61**	663.34**	14.53**	12.88**	34.12**
B	9	45.56**	18.88**	33.48**	15.55**	12.58**
P	2	164.23**	43.49**	10.27**	21.47**	7.16**
A×B	9	2.00*	0.95	3.91**	1.04	2.13*
A×P	2	15.28**	43.03**	26.46**	3.97*	20.99**
B×P	18	9.15**	3.06**	3.93**	1.53	2.44**

A:栽培模式; B:品种; P:生态条件; A×B:栽培模式与品种互作; A×P:栽培模式与生态条件互作; B×P:品种与生态条件互作。  
\*: *P* < 0.05; \*\*: *P* < 0.01。

A: Cultivation mode; B: Variety; P: Ecological conditions; A×B: Interaction between cultivation and variety; A×P: Interaction between cultivation mode and ecological conditions; B×P: Interaction between variety and ecological conditions. \*: *P* < 0.05; \*\*: *P* < 0.01. TW: Test weight; GP: Grain protein; TSTA: Total starch; AM: Amylose; AMP: Amylopectin.

表 3 参试小麦品种籽粒品质的平均表现及差异性

Table 3 Average performance and difference of grain quality of the tested wheat varieties

品种 Variety	容重 TW/ (g · L <sup>-1</sup> )	蛋白质 GP/%	总淀粉 TAST/%	直链淀粉 AM/%	支链淀粉 AMP/%
B <sub>1</sub>	794.36d	11.18a	69.51a	15.70a	53.80a
B <sub>2</sub>	808.11e	12.45c	73.81de	16.12a	57.69d
B <sub>3</sub>	783.00bc	10.90a	75.41g	18.24d	57.16d
B <sub>4</sub>	780.94ab	11.06a	75.10fg	17.65cd	57.46d
B <sub>5</sub>	779.81ab	11.25a	74.17de	17.45c	56.71cd
B <sub>6</sub>	788.67cd	11.20a	74.28ef	17.56c	56.73cd
B <sub>7</sub>	785.50bc	11.29a	73.66de	17.58c	56.08bc
B <sub>8</sub>	806.39e	11.33a	73.31cd	17.67cd	55.64b
B <sub>9</sub>	819.67f	12.70c	71.63b	16.20a	55.42b
B <sub>10</sub>	776.14a	11.86b	72.62c	16.81b	55.80bc

同列数据后不同小写字母表示品种间差异显著( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters following data in the same column indicate significant differences among different varieties ( $P < 0.05$ ).

12.70%，均不符合优质弱筋小麦要求，其余品种均能达到优质弱筋的标准。总淀粉含量变化范围为 69.51%~75.41%，其中扬麦 15 和扬麦 20 的平均总淀粉含量分别为 75.41%和 75.10%，在不同条件下表现均较好。直链淀粉含量变化范围为 15.70%~18.24%，直/支比为 27.79%~31.91%，扬麦 15、宁麦 9 号和扬麦 25 直/支比较高，不利于淀粉品质。

### 2.3 不同年份及栽培模式间小麦籽粒品质的差异

两个年度中，2021—2022 年度参试品种籽粒容重较高，一次加工品质较好，但籽粒蛋白质含量平均值偏高(12.01%)，未达到国家优质弱筋小麦标准。两年度间籽粒总淀粉含量和支链淀粉含量差异均不显著，参试品种籽粒营养品质均较高；2021—2022 年度参试品种直链淀粉含量显著低于 2020—2021 年，其蒸煮品质较好。在不同栽培模式间，籽粒容重、总淀粉含量和直链淀粉含量差异均不显著，籽粒蛋白质含量和支链淀粉含量表现为  $A_2 > A_1$ ，且栽培模式间差异显著，种植密度和施氮量对弱筋小麦蛋白质含量影响较大，随着种植密度的降低及施氮量的增加，籽粒蛋白质含量呈上升趋势。在  $A_2$  栽培模式下参试品种籽粒蛋白质含量偏高，平均为 12.37%，总淀粉含量和直/支比含量较高，直链淀粉含量低，适宜作为中筋优质面条小麦；在  $A_1$  栽培模式下参试品种蛋白质含量平均值为 10.65%，容重平均值为 786.79 g ·

L<sup>-1</sup>，籽粒品质稳定，营养品质较好，均符合优质弱筋的要求(表 4)。

2020—2021 年，参试品种的籽粒容重变化范围为 739.33~820.17 g · L<sup>-1</sup>， $A_1$ 、 $A_2$  栽培模式下宁麦 13 的容重均最高，分别为 809.67 和 820.17 g · L<sup>-1</sup>；扬麦 20 和扬麦 28 在 2020—2021 年度的平均容重均低于国家标准，籽粒品质欠佳。 $A_1$  栽培模式下，籽粒蛋白质含量变化范围为 9.55%~12.20%，平均值为 10.28%，除宁麦 13 外，其余参试品种蛋白质含量较低，弱筋品质较好； $A_2$  栽培模式下，籽粒蛋白质含量变化范围为 10.77%~13.41%，平均值为 11.02%，多数参试品种均能符合弱筋小麦的要求。不同栽培模式总淀粉含量变化范围为 68.98%~77.50%，平均值为 73.18%，扬麦 13、扬麦 15 和扬麦 25 的总淀粉含量较高，分别为 77.20%、77.26%和 77.50%；参试品种直/支比变化范围为 28.40%~33.54%，平均值为 31.37%，扬麦 13 的直/支比较低(表 5)。

2021—2022 年，参试品种籽粒容重变化范围为 767.50~829.17 g · L<sup>-1</sup>，仍以宁麦 13 的容重最高，分别为 829.17 和 819.83 g · L<sup>-1</sup>，不同栽培模式参试品种籽粒容重均达到国家优质弱筋小麦标准，一次加工品质较好。 $A_1$  栽培模式下，籽粒蛋白质含量变化范围为 9.93%~12.26%，平均值为 11.02%，除宁麦 13 和扬麦 13 籽粒蛋白质含量偏高外，其余参试品种籽粒蛋白质含量均能符合弱筋要求； $A_2$  栽培模式下，籽粒蛋白质含量变化

范围为 12.14%~13.87%，平均值为 13.01%，其蛋白质含量均高于弱筋小麦标准。籽粒总淀粉含量表现为  $A_2Y_2 > A_2Y_1, A_1Y_1 > A_1Y_2$ ，且不同年份处理间差异显著， $A_1$  栽培模式下，籽粒总淀粉含

量较低； $A_2$  栽培模式下，籽粒总淀粉含量较高。直/支比变化范围为 25.34%~33.39%，平均值为 29.23%， $A_1, A_2$  栽培模式下扬麦 13 的直/支比含量均为最低。

表 4 不同年份及栽培模式下参试小麦品种籽粒品质的平均值

Table 4 Average grain quality of the tested wheat varieties in different years and cultivation modes

因素 Factor		容重 TW/(g·L <sup>-1</sup> )	蛋白质 GP/%	总淀粉 TSTA/%	直链淀粉 AM/%	支链淀粉 AMP/%
Y	Y <sub>1</sub>	775.33a	11.00a	73.18a	17.47b	55.70a
	Y <sub>2</sub>	797.19b	12.01b	72.93a	16.48a	56.45a
A	A <sub>1</sub>	786.79a	10.65a	72.66a	17.09a	55.57a
	A <sub>2</sub>	785.73a	12.37b	73.45a	16.88a	56.58b
A <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	777.80a	10.28a	73.63b	17.63b	56.00a
	Y <sub>2</sub>	795.78b	11.02b	71.68a	16.55a	55.14a
A <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	772.85a	11.73a	72.73a	17.32b	55.41a
	Y <sub>2</sub>	798.60b	13.01b	74.17b	16.42a	57.75b

同列不同小写字母表示栽培模式或年份间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different cultivation modes or years ( $P < 0.05$ ).

表 5 不同年份及栽培模式下参试小麦品种的籽粒品质

Table 5 Grain quality of the tested wheat varieties in different years and cultivation modes

栽培模式 Cultivation mode	品种 Variety	2020—2021					2021—2022				
		容重 TW/ (g·L <sup>-1</sup> )	蛋白质 GP/%	总淀粉 TSTA/%	直链淀粉 AM/%	支链淀粉 AMP/%	容重 TW/ (g·L <sup>-1</sup> )	蛋白质 GP/%	总淀粉 TSTA/%	直链淀粉 AM/%	支链淀粉 AMP/%
A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	776.33bc	9.69ab	68.98a	15.81a	53.16ab	806.33c	10.60ab	69.98a	15.53ab	54.45a
	B <sub>2</sub>	793.83c	10.39c	77.20e	17.81c	59.40g	812.50c	12.26d	70.30a	14.67a	55.63ab
	B <sub>3</sub>	757.50ab	10.08bc	73.84cd	17.78c	56.06cde	783.00ab	10.24a	73.87cd	17.83bc	56.02ab
	B <sub>4</sub>	747.17a	9.55a	75.69de	18.85c	56.84de	792.00b	10.59ab	74.84d	16.77abc	58.10b
	B <sub>5</sub>	759.83ab	9.87ab	75.94de	18.47c	57.47ef	781.00ab	10.95abc	73.12cd	18.30c	54.80ab
	B <sub>6</sub>	772.67bc	10.10bc	72.82bc	17.87c	54.95bcd	791.67b	10.95abc	71.11ab	16.67abc	54.46a
	B <sub>7</sub>	780.17bc	9.99abc	77.50e	18.71c	58.79fg	771.00a	10.95abc	70.33a	16.83abc	53.51a
	B <sub>8</sub>	793.17c	10.82d	70.26ab	17.47bc	52.78a	818.50cd	9.93a	72.63bc	16.80abc	55.84ab
	B <sub>9</sub>	820.17d	12.20e	70.56ab	16.17ab	54.39abc	829.17d	12.11cd	70.64a	15.70ab	54.91ab
	B <sub>10</sub>	777.17bc	10.06bc	73.50cd	17.33bc	56.16cde	772.67a	11.58bcd	70.02a	16.37abc	53.66a
	平均 Average	777.80	10.28	73.63	17.63	56.00	795.78	11.02	71.68	16.55	55.14
A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	777.50de	11.93c	69.04a	16.35ab	52.58a	807.83cd	12.99abcd	69.98a	14.67a	55.30ab
	B <sub>2</sub>	805.33fg	12.75d	72.49c	16.03a	56.45cde	816.00d	13.87d	76.60c	15.49abc	61.13d
	B <sub>3</sub>	753.00ab	11.25ab	77.26d	19.40d	57.85e	790.67bc	12.14a	75.26bc	17.83d	57.45abc
	B <sub>4</sub>	741.83a	10.77a	72.36c	17.49abc	54.87abc	794.17bc	12.63abc	74.60bc	16.83cd	57.76bc
	B <sub>5</sub>	761.67bc	11.13ab	73.07c	16.59abc	56.48cde	796.00bc	13.53cd	75.29bc	17.27d	58.03c
	B <sub>6</sub>	773.67cd	11.05ab	75.48d	18.05cd	57.43de	792.67bc	12.73abc	75.58bc	16.23abcd	59.33cd
	B <sub>7</sub>	775.33cd	11.26ab	71.43bc	17.59abc	53.84ab	767.50a	12.87abcd	75.63bc	16.90cd	58.73cd
	B <sub>8</sub>	791.17ef	12.28cd	73.42c	17.93bcd	55.49bcde	817.50d	12.44ab	75.30bc	17.30d	58.01c
	B <sub>9</sub>	809.67g	13.41e	70.01ab	16.13a	53.87ab	819.83d	13.36bcd	70.11a	15.10ab	54.99a
	B <sub>10</sub>	739.33a	11.44b	72.72c	17.60abc	55.12bcd	783.83ab	13.57cd	73.39b	16.57bcd	56.81abc
	平均 Average	772.85	11.73	72.73	17.32	55.41	798.60	13.01	74.17	16.42	57.75

相同栽培模式同列数据后不同字母表示品种间差异显著 ( $P < 0.05$ )。表 7 同。

Different letters following data of same cultivation mode and column mean significant difference at 0.05 level. The same in table 7.

综上所述,在  $2.40 \times 10^6$  株  $\cdot$   $\text{hm}^{-2}$  基本苗时,适当减少氮肥施用量以及后期氮肥前移可降低籽粒蛋白质含量,提高籽粒总淀粉含量,有利于弱筋小麦生产。

## 2.4 不同试点及栽培模式间小麦籽粒品质的差异性

在 2020—2021 年度,姜堰试点 ( $D_1$ ) 的籽粒容重和支链淀粉含量均高于方强试点 ( $D_2$ ),且差异均显著;不同栽培模式间籽粒蛋白质含量表现为  $A_2 > A_1$ ,直链淀粉含量表现为  $A_1 > A_2$ ,且差异均显著(表 6)。在  $A_2$  栽培模式下,籽粒蛋白质含量平均值为 12.49%,未达到弱筋小麦标准。 $A_1$  栽培模式下,两试点间籽粒蛋白质含量、总淀粉及淀粉组分含量差异均不显著,两试点籽粒蛋白质含量平均值分别为 9.84% 和 10.28%,均低于 11.5%,符合国家弱筋小麦标准;总淀粉含量平均值分别为 73.65% 和 73.63%,直/支比分别为 31.99% 和 31.48%,籽粒营养品质较好。 $A_2$  栽培模式下, $D_1$  的籽粒蛋白质含量为 13.25%,不符合弱筋小麦标准,且总淀粉含量和支链淀粉含量均显著高于  $D_2$ ,直/支比含量较低。

$D_1$  和  $D_2$  的容重变化范围分别为 774.00~819.83 和 747.17~809.67  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , $A_1$ 、 $A_2$  下参试品种宁麦 13 的容重在两个试点均取得最大值。在姜堰试点, $A_1$  的籽粒蛋白质含量变化范围为 9.19%~10.88%,平均值为 9.84%;在方强试点, $A_1$  的蛋白质含量变化范围为 9.55%~12.20%,除宁麦 13 外,其余参试品种蛋白质含量均低于 11.5%。在姜堰试点, $A_2$  的籽粒蛋白质含量变化范围为 12.69%~14.52%,不符合国家弱筋小麦标准;在方强试点, $A_2$  的籽粒蛋白质含量变

化范围为 10.77%~13.41%,除扬麦 13、宁麦 9 号和宁麦 13 外,其余参试品种均能达到弱筋小麦的要求。姜堰试点和方强试点总淀粉含量变化范围分别为 68.84%~77.16%,和 68.84%~77.50%,平均值分别为 73.94% 和 73.18%。在姜堰试点, $A_1$  和  $A_2$  的直链淀粉含量变化范围分别为 16.78%~18.96% 和 15.06%~18.21%;在方强试点, $A_1$  和  $A_2$  的直链淀粉含量变化范围分别为 15.81%~18.71% 和 16.13%~19.40%;两个试点的直/支比变化范围分别为 27.11%~33.79% 和 28.40%~33.54%。

## 3 讨论

### 3.1 栽培模式及生态条件对弱筋小麦籽粒品质的影响

#### 3.1.1 栽培模式及生态条件对弱筋小麦籽粒容重的影响

容重属于一次加工品质指标,反映弱筋小麦籽粒整齐度。有研究表明,小麦容重随种植密度增加呈上升趋势<sup>[13]</sup>;而黄正来等<sup>[8]</sup>认为,籽粒容重受种植密度影响不大。氮肥施用量对小麦籽粒容重影响也较小<sup>[14-15]</sup>。小麦容重也受气候、土壤等生态条件因素调控,与其籽粒形成期的水分供应程度有关;在小麦籽粒灌浆期通过增加日照时长,保证适宜的温差,后期减少水分供应均能有效提高籽粒容重<sup>[16-18]</sup>。本研究结果表明,弱筋小麦籽粒容重在年份和试点间差异均极显著,不同栽培模式间差异不大,2021—2022 年度方强试点籽粒容重显著高于 2020—2021 年度,2020—2021 年度姜堰试点容重也显著高于方强试点,说明籽粒容重受气候因素和生态条件影响较大;不同密

表 6 不同试点及栽培模式下参试小麦品种籽粒品质的平均值及差异性(2020—2021)

Table 6 Average value and difference of grain quality of wheat varieties in different sites and cultivation modes(2020—2021)

栽培因素 Cultivation Factor		容重 TW/( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	蛋白质 GP/%	总淀粉 TSTA/%	直链淀粉 AM/%	支链淀粉 AMP/%
D	$D_1$	804.26b	11.55a	73.94a	17.34a	56.60b
	$D_2$	775.33a	11.00a	73.18a	17.47a	55.70a
A	$A_1$	787.68a	10.06a	73.64a	17.74b	55.90a
	$A_2$	791.90a	12.49b	73.48a	17.08a	56.40a
$A_1$	$D_1$	797.57b	9.84a	73.65a	17.85a	55.80a
	$D_2$	777.80a	10.28a	73.63a	17.63a	56.00a
$A_2$	$D_1$	810.95b	13.25b	74.24b	16.84a	57.40b
	$D_2$	772.85a	11.73a	72.73a	17.32a	55.41a

同列不同小写字母表示栽培模式或试点间差异显著( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different cultivation modes or sites ( $P < 0.05$ ).

表 7 不同试点及栽培模式参试品种籽粒品质的平均表现及差异性(2020—2021)  
Table 7 Average performance and difference of grain quality of the tested wheat varieties in different sites and cultivation modes(2020—2021)

栽培模式 Cultivation mode	品种 Variety	容重 TW/(g · L <sup>-1</sup> )		蛋白质 GP/%		总淀粉 TSTA/%		直链淀粉 AM/%		支链淀粉 AMP/%	
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	791.17bcd	776.33bc	9.19a	9.69ab	68.84a	68.98a	16.78a	15.81a	52.06a	53.16ab
	B <sub>2</sub>	815.00ef	793.83c	10.88a	10.39c	75.57c	77.20e	17.44abc	17.81c	58.13d	59.40g
	B <sub>3</sub>	800.67cd	757.50ab	9.57a	10.08bc	75.23c	73.84cd	18.41abc	17.78c	56.83cd	56.06cde
	B <sub>4</sub>	798.17cd	747.17a	10.01a	9.55a	75.96c	75.69de	18.41abc	18.85c	57.55d	56.84de
	B <sub>5</sub>	774.00a	759.83ab	9.23a	9.87ab	72.18b	75.94de	16.90a	18.47c	55.28bc	57.47ef
	B <sub>6</sub>	789.33bc	772.67bc	9.46a	10.10bc	75.16c	72.82bc	18.77bc	17.87c	56.39cd	54.95bcd
	B <sub>7</sub>	805.17de	780.17bc	9.47a	9.99abc	72.34b	77.50e	18.27abc	18.71c	54.07ab	58.79fg
	B <sub>8</sub>	802.50cde	793.17c	9.71a	10.82d	75.29c	70.26ab	18.96c	17.47bc	56.34cd	52.78a
	B <sub>9</sub>	819.33f	793.83c	10.71a	12.20e	73.96bc	70.56ab	17.32abc	16.17ab	56.64cd	54.39abc
	B <sub>10</sub>	780.33ab	777.17bc	10.21a	10.06bc	71.93b	73.50cd	17.21ab	17.33bc	54.72bc	56.16cde
	平均 Average	797.57	777.80	9.84	10.28	73.65	73.63	17.85	17.63	55.80	56.00
A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	807.00ab	777.50de	12.69a	11.93c	70.23a	69.04a	15.06a	16.35ab	55.17a	52.68a
	B <sub>2</sub>	806.00ab	805.33d	14.52b	12.75d	70.72a	72.49c	15.33a	16.03a	55.40ab	56.45cde
	B <sub>3</sub>	813.17bc	753.00ab	12.10a	11.25ab	76.98d	77.26d	18.21d	19.40d	58.77c	57.85e
	B <sub>4</sub>	812.33abc	741.83a	12.80a	10.77a	77.16d	72.36c	17.52cd	17.49abc	59.64c	54.87abc
	B <sub>5</sub>	806.33ab	761.67bc	12.80a	11.13ab	75.41cd	73.07c	17.19cd	16.59abc	58.22bc	56.48cde
	B <sub>6</sub>	812.00abc	773.67cd	12.88a	11.05ab	75.56cd	75.48d	17.76cd	18.05cd	57.80abc	57.43de
	B <sub>7</sub>	813.83bc	775.33cd	13.21a	11.26ab	74.72bc	71.43bc	17.15cd	17.59abc	57.57abc	53.84ab
	B <sub>8</sub>	815.50bc	791.17ef	12.80a	12.28cd	72.95b	73.42c	17.58cd	17.93bcd	55.37ab	55.49bcde
	B <sub>9</sub>	819.83c	809.67g	14.41b	13.41e	74.50bc	70.01ab	16.78bc	16.13a	57.73abc	53.87ab
	B <sub>10</sub>	803.50a	739.33a	14.30b	11.44b	74.17bc	72.72c	15.82ab	17.60abc	58.35bc	55.12bcd
	平均 Average	810.95	772.85	13.25	11.73	74.24	72.23	16.84	17.32	57.40	55.41

肥组合对弱筋小麦籽粒容重影响较小,在 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 栽培模式下,多数参试品种都能达到国家弱筋小麦容重标准( $\geq 750 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ),其中弱筋小麦品种扬麦 13 和宁麦 13 籽粒容重较高,稳定性也较好。

3.1.2 栽培模式及生态条件对弱筋小麦籽粒蛋白质含量的影响

弱筋小麦要求蛋白质含量低,筋力弱。研究发现,弱筋小麦籽粒蛋白质含量及组分含量随施氮量增加呈上升趋势,在施氮量为  $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时可获得较高的品质<sup>[19]</sup>。密肥组合对弱筋小麦籽粒蛋白质含量有显著调控作用,蛋白质含量随密度升高和施氮量的减少而显著降低,在  $2.25 \times 10^6 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$  基本苗和  $210 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  氮肥施用组合下实现高产优质<sup>[20]</sup>。气象条件对弱筋小麦品质性状影响较大<sup>[21]</sup>;环境效应对蛋白质含量的影响大于品种本身遗传因素,且地点生态条件效应大于年份气候效应<sup>[22-23]</sup>。灌浆期的高温不利于

弱筋小麦籽粒低蛋白的形成<sup>[24]</sup>。增密减氮能有效提高弱筋小麦产量和品质,且在  $2.40 \times 10^6 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$  基本苗、 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  氮肥施用,肥料运筹为 7 : 1 : 2 : 0 时可达到产量和品质的平衡<sup>[25]</sup>。本研究结果也表明,增加种植密度( $2.40 \times 10^6 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、减少氮肥施用( $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、施足基肥后,弱筋小麦籽粒蛋白质含量降低,且均能达到弱筋小麦国家标准( $\leq 11.5\%$ )。种植密度在  $1.80 \times 10^6 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,采用 A<sub>1</sub> 栽培模式,除扬麦 13、宁麦 13 和扬麦 28 外,其余参试品种的蛋白质含量均能达到弱筋小麦的要求。在 A<sub>2</sub> 高氮( $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  纯氮)栽培模式下,种植密度为  $1.80 \times 10^6 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,仅有扬麦 15、扬麦 22、扬麦 24 和扬麦 25 的蛋白质含量能够达到优质弱筋小麦的要求;种植密度为  $1.20 \times 10^6 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,参试品种籽粒蛋白质含量均偏高,平均值为 13.01%,姜堰试点 A<sub>2</sub> 栽培模式下,因

基本苗偏少,氮肥施用量增加,籽粒蛋白质含量偏高,平均值为 13.25%。

### 3.1.3 栽培模式及生态条件对小麦籽粒淀粉含量及其组分的影响

淀粉约占小麦籽粒干重的 70%,是小麦粉的主要成分,小麦淀粉品质对面团特性具有十分重要的影响<sup>[26]</sup>。小麦淀粉品质由遗传因素和环境因素共同调控,在不同生态区种植会表现出不同的品质差异<sup>[27]</sup>。小麦直链淀粉含量和直/支比与其全生育期的总降水量呈显著正相关,总淀粉含量与小麦生育后期的总积温有关<sup>[28]</sup>。小麦淀粉含量也受密度和肥料运筹方式的影响。刘萍等<sup>[6]</sup>研究认为,在  $1.05 \times 10^6 \sim 2.40 \times 10^6$  株  $\cdot$  hm<sup>-2</sup> 基本苗范围内,小麦淀粉含量逐渐上升。本研究表明,小麦总淀粉及其组分含量和直/支比在不同栽培模式和年份下差异均显著,说明弱筋小麦品种总淀粉含量及其组分含量受栽培因素和年份气候因素影响较大。因此,根据基本苗及当年当地气候情况,采用适宜的栽培模式有助于弱筋小麦优质生产。

### 3.2 弱筋小麦品种优质的最佳栽培模式

在本研究中,在不同年份、试点、栽培模式下,参试品种扬麦 13(蛋白质含量 12.45%)、宁麦 13(蛋白质含量 12.70%)和扬麦 28(蛋白质含量 11.86%)籽粒蛋白质含量均高于国家弱筋小麦标准(11.50%),其余参试品种蛋白质含量较低,均能达到优质弱筋要求。在 A<sub>1</sub> 栽培模式下,总施氮量为 180 kg  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>,基本苗为  $2.40 \times 10^6$  株  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>,钾肥根据试点土壤情况配套施用,氮肥运筹按基肥:苗肥:拔节肥=7:1:2,弱筋小麦品种蛋白质含量较低,籽粒一次加工品质好,营养品质较高,能够达到优质弱筋的要求。当基本苗降低至  $1.80 \times 10^6$  株  $\cdot$  hm<sup>-2</sup> 时,采用 A<sub>1</sub> 栽培模式,多数参试品种也能达到弱筋的要求。在 A<sub>2</sub> 栽培模式下,参试品种籽粒蛋白质含量较高,不能达到弱筋小麦的标准。因此,要保证弱筋小麦品质,应选择适宜良种,在常规大田栽培措施的基础上,采用 A<sub>1</sub> 栽培模式,并根据当地当年气候生态条件作适当调整。

#### 参考文献:

[1] KWEON M, SLADE L, LEVINE H. Solvent retention capacity(SRC) testing of wheat flour: Principles and value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding: A review [J]. *Cereal Chemistry*, 2011,

88(6):537.

- [2] 朱新开,郭文善,周君良,等. 氮素对不同专用小麦营养和加工品质调控效应[J]. 中国农业科学, 2003, 36(6):640.  
ZHU X K, GUO W S, ZHOU J L, *et al.* Effect of nitrogen on grain yield, nutritional quality and processing quality of wheat for different end uses [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(6):640.
- [3] 陆增根,戴廷波,姜东,等. 不同施氮水平和基追比对弱筋小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(6):75.  
LU Z G, DAI T B, JIANG D, *et al.* Effects of different nitrogen rates and dressing ratios on grain yield and quality in weak-gluten wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(6):75.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国国家标准:GB/T17893-1999 优质小麦—弱筋小麦[S]. 北京:中国标准出版社, 1999.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. National Standard of the People's Republic of China:GB/T17893-1999 High quality wheat with weak gluten [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 1999.
- [5] 胡文静,程顺和,高致富,等. 晚播条件下小麦籽粒产量、硬度与蛋白质含量对品种、施氮量和密度的响应[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(2):245.  
HU W J, CHENG S H, GAO Z F, *et al.* Response of grain yield, hardness, and protein content to cultivar, nitrogen fertilizer rate and plant density under late sowing condition [J]. *Jiangsu Journal of Agriculture Sciences*, 2018, 34(2):245.
- [6] 刘萍,郭文善,徐月明,等. 种植密度对中、弱筋小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(5):117.  
LIU P, GUO W S, XU M Y, *et al.* Effect of planting density on grain yield and quality of weak-gluten and medium-gluten wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(5):117.
- [7] 朱宇航. 迟播条件下播期和密度对江苏沿江麦区小麦产量形成与品质的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2020.  
ZHU Y H. Under the condition of late sowing the effects of sowing date and planting density on wheat yield formation and quality in Yanjiang wheat region [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2020.
- [8] 黄正来,姚大年,马传喜,等. 氮素供应对不同专用小麦品种籽粒产量和品质性状的影响[J]. 安徽农业大学学报, 1999(4):414.  
HUANG Z L, YAO D N, MA C X, *et al.* Effects of nitrogen application on yield and quality traits of different wheat varieties [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 1999(4):414.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国国家标准:GB/T 5498-2013 粮油检验—容重测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2013.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. National Standard of the People's Republic of China:GB/T 5498-2013. Grain and oil inspection-Determination of test weight [S]. Beijing:

- China Standards Publishing House, 2013.
- [10] 许如根, 黄志仁, 周学美, 等. 长江流域大麦品种籽粒蛋白质含量分析[J]. 大麦科学, 1996(1): 9.  
XU R G, HUANG Z R, ZHOU M X, *et al.* Analysis of grain protein content of barley varieties in the Yangtze River Basin [J]. *Barley and Cereal Sciences*, 1996(1): 9.
- [11] BATEY L I. Starch analysis using thermostable alpha-amylases [J]. *Starch-Stärke*, 1982, 34(4): 125.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国国家标准(GB/T17891-2017)《优质稻谷》[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. National Standard of the People's Republic of China (GB/T17891-2017) "High quality rice" [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2017.
- [13] 葛鑫. 淮北地区不同类型小麦氮肥施用技术的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2003.  
GE X. Study on technique of nitrogen fertilizer application for different types of winter wheat in Huaibei Area [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2003.
- [14] 温明星, 陈爱大, 李东升, 等. 密度和氮肥施用量对镇麦168产量和品质的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(10): 1575.  
WEN M X, CHEN A D, LI D S, *et al.* Effect of planting density and nitrogen applications on grain yield and quality of Zhenmai 168 [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2013, 27(10): 1575.
- [15] 孟维伟, 张正, 徐杰, 等. 不同施氮量对玉米花生间作下茬小麦干物质积累及产量构成的影响[J]. 华北农学报, 2018, 33(4): 175.  
MENG W W, ZHANG Z, XU J, *et al.* Effects of nitrogen fertilization on dry matter accumulation and yield components of following wheat which planted after maize peanut intercropping [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2018, 33(4): 175.
- [16] 李豪圣, 刘佳, 刘爱峰, 等. 山东省旱地小麦主要农艺性状和产量性状与气象因子的相关性分析[J]. 山东农业科学, 2013, 45(3): 28.  
LI H S, LIU J, LIU A F, *et al.* Correlation analysis of main agronomic and yield characters of dry-land wheat with meteorological factors in Shandong Province [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2013, 45(3): 28.
- [17] 张学林, 梅四伟, 郭天财, 等. 遗传和环境因素对不同冬小麦品种品质性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 249.  
ZHANG X L, MEI S W, GUO T C, *et al.* Effects of genotype and environment on winter wheat qualities [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(2): 249.
- [18] 于立河, 刘德福, 郭伟, 等. 收获期降雨对春小麦品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(4): 658.  
YU L H, LIU D F, GUO W, *et al.* Effects of raining during harvest season on quality of spring wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2007, 27(4): 658.
- [19] 马瑞琦, 王德梅, 陶志强, 等. 施氮量对北部冬麦区种植弱筋小麦产量与品质的影响[J]. 作物杂志, 2023(1): 163.  
MA R Q, WANG D M, TAO Z Q, *et al.* Effect of nitrogen application rate on yield and quality of weak gluten wheat in northern winter wheat region [J]. *Crops*, 2023(1): 163.
- [20] 葛自强. 密肥互作对弱筋小麦产量与品质的影响[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(11): 61.  
GE Z Q. Effect of density and nitrogen interaction on grain yield and quality of weak gluten wheat [J]. *Anhui Agricultural Bulletin*, 2011, 17(11): 61.
- [21] 张平平, 刘婷婷, 姚金保, 等. 栽培措施对软红冬小麦加工品质的效应[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(6): 789.  
ZHANG P P, LIU T T, YAO J B, *et al.* Effect of cultivation strategies on processing quality of soft red winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(6): 789.
- [22] NADOLSKA-ORCZYK A, GASPARIS S, ORCZYK W. The determinants of grain texture in cereals [J]. *Journal of Applied Genetics*, 2009, 50(3): 185.
- [23] 汤永禄, 吴元奇, 朱华忠, 等. 四川小麦主栽品种的品质性状表现及其稳定性[J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1910.  
TANG Y L, WU Y Q, ZHU H Z, *et al.* Quality performance and stability of main wheat cultivars in Sichuan Province, China [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(11): 1910.
- [24] 赵辉, 戴廷波, 荆奇, 等. 灌浆期温度对两种类型小麦籽粒蛋白质组分及植株氨基酸含量的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(11): 82.  
ZHAO H, DAI T B, JING Q, *et al.* Effects of temperature during grain filling on the contents of grain protein components and free amino acid in two different wheat cultivars [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(11): 82.
- [25] 徐俊, 姚远, 钱晨诚, 等. 增密减氮对弱筋小麦‘宁麦13’产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(14): 1.  
XU J, YAO Y, QIAN C C, *et al.* Weak gluten wheat 'Ningmai 13': Effect of increasing density and reducing nitrogen on yield and quality [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37(14): 1.
- [26] CAO X, TONG J, DING M, *et al.* Physicochemical properties of starch in relation to rheological properties of wheat dough (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Food Chemistry*, 2019, 297(11): 125000.
- [27] 雷振生, 吴政卿, 田云峰, 等. 生态环境变异对优质强筋小麦品质性状的影响[J]. 华北农学报, 2005, 20(3): 1.  
LEI Z S, WU Z Q, TIAN Y F, *et al.* Effects of environmental variations to main quality characters of the strong gluten wheat [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2005, 20(3): 1.
- [28] EKA J, ACHINEWHW S C, SANNI L, *et al.* Seasonal variations in the chemical and functional properties of starches from local and improved cassava varieties in high rainfall region of Nigeria [J]. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 2007, 5(3&4): 36.