

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.02.016

洪宇, 常柳, 段晓亮, 等. 强筋小麦氮气气调启封后品质变化规律研究[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(2): 124-130.

HONG Y, CHANG L, DUAN X L, et al. Study on variation law of strong gluten wheat quality after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(2): 124-130.

# 强筋小麦氮气气调启封后 品质变化规律研究

洪宇, 常柳, 段晓亮, 孙辉✉, 吴海彬, 周桂英, 靳宇, 刘辉

(国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食品质营养研究所, 北京 100037)

**摘要:** 以强筋小麦-济麦44为实验材料, 采用气调盒充氮至氮气浓度为98%, 储存1个月后启封, 以自封袋储存样品为对照, 研究启封后6个月的品质变化。结果表明, 气调启封后小麦的水分含量、面筋吸水量, 小麦粉的降落数值、面筋含量、面筋指数、峰值粘度、最终粘度、粉质参数、拉伸参数与对照样品均表现出相同的变化规律; 小麦粉降落数值气调启封后样品与对照样品在20℃下储存结束期(即第六个月)具有显著性差异, 在30℃下没有显著性差异, 气调启封后样品和对照样品组间也没有显著性差异, 无法说明气调启封后对小麦粉降落数值有影响; 气调启封后短期内储藏可能具有一定的保水作用, 但其绝对差值较小, 在20℃和30℃下气调启封后与对照样品第六个月水分含量的绝对差值分别为0.3%和0.4%, 对实际生产中的影响较小; 除水分含量和降落数值以外, 其他指标没有显著差异。

**关键词:** 小麦; 氮气气调; 启封; 品质

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)02-0124-07

## Study on Variation Law of Strong Gluten Wheat Quality after Unsealing of Controlled Atmosphere with Nitrogen

HONG Yu, CHANG Liu, DUAN Xiao-liang, SUN Hui✉, WU Hai-bin, ZHOU Gui-ying, JIE Yu, LIU Hui

(Institute of Food Quality and Nutrition, Academy of National Food and  
Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

**Abstract:** High gluten wheat Jimai 44 was used as the experimental material, and stored in a controlled atmosphere box with a nitrogen concentration of 98%. After storage for 1 month, it was unsealed. The quality change law of 6 months after unsealing was studied, and the samples stored in self sealed bags were used as the control. The results showed that the moisture content, water absorption of gluten, falling number, gluten content, gluten index, peak viscosity, final viscosity, farinograph parameters and tensile parameters of wheat after controlled atmosphere unsealing all showed the same changes as those of the control samples. The falling value of wheat flour has significant difference at the end of storage period (i.e. the sixth month)

收稿日期: 2022-12-23

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (JY 2003-2)

Supported by: Fundamental Research Funds of non-profit Central Institutes (No. JY 2003-2)

作者简介: 洪宇, 女, 1988年出生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为粮油品质分析与标准制修订。E-mail: hy@ags.ac.cn.

通讯作者: 孙辉, 女, 1971年出生, 博士, 研究员, 研究方向为粮油品质分析与标准制修订。E-mail: sh@ags.ac.cn.

at 20 °C, and there is no significant difference at 30 °C, while there is no significant difference among the whole storage period, which does not mean that the falling value of wheat flour is affected after controlled atmosphere with nitrogen. The short-term storage after controlled atmosphere with nitrogen may have a certain water retention effect, but the absolute difference is small. The absolute difference of moisture content between the samples after controlled atmosphere with nitrogen and the control samples in the sixth month at 20 °C and 30 °C is 0.3% and 0.4% respectively, which has little impact on actual production. Except for water content and falling number, there is no significant difference in other indicators.

**Key words:** wheat; nitrogen atmosphere; unsealed; quality

小麦是世界三大粮食作物之一，也是我国仅次于稻谷的第二大口粮。我国小麦播种面积和产量均占粮食作物的 22% 左右，在口粮消费中占 40% 以上，是世界最大的小麦生产国和消费国，分别占全球小麦生产和消费总量的 17% 和 16%<sup>[1]</sup>。目前，我国小麦储藏主要依靠药物熏蒸控制害虫，药物熏蒸不仅对环境有一定的影响，同时对操作人员也会产生危害。随着社会的发展，人们对食品安全及环境保护越来越重视，因此低温储粮和气调储粮逐渐被人们所重视<sup>[2-3]</sup>。与常规熏蒸储粮相比，氮气气调储粮能够有效的防治储粮害虫，为储粮害虫抗性治理和磷化氢替代技术提供了新方法<sup>[4]</sup>，同时氮气气调储藏没有任何污染，是一种公认的绿色储粮方法。一般氮气气调储藏是通过向密封环境冲入高浓度氮气，使粮堆氮气浓度达到 98% 以上维持 1 个月左右，起到杀虫的效果<sup>[4]</sup>。但是小麦氮气气调储藏对小麦品质影响的研究主要集中于储藏过程中小麦品质的变化，在实际生产应用中，主要是短期内对小麦进行氮气气调后即启封，并不是长期在高浓度氮气气调下进行储藏，但气调启封后小麦品质的变化规律研究并不多，因此本研究对小麦进行 98% 浓度的氮气气调 1 个月后启封，研究气调启封后品质的变化规律，分析氮气气调启封后小麦的品质与常规储粮小麦品质的差异，为氮气气调储粮技术的推广应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及处理方法

以强筋小麦-济麦 44 为实验材料，采用气调盒充氮至氮气浓度为 98%，在 20 °C 恒温箱中储存 1 个月后启封，启封后样品均分为 2 份，分别

储存在 20 °C 和 30 °C 的恒温箱中，每月取样一次，共取样 6 次，以自封袋储存样品为对照。

### 1.2 主要仪器设备

试验磨 MLU-202: 瑞士布勒公司; 容重仪 hgt-1000A: 上海东方衡器; 硬度指数测定仪 JYD100×40: 无锡穗邦科技有限公司; 近红外光谱仪 NOVA: 福斯 (美国 FLOWSERVE 公司); 电热鼓风干燥箱 DGG-9140A: 上海森信实验仪器有限公司; 面筋仪 GM2200、降落数仪 FN1900: 瑞典波通仪器公司; 快速粘度测试仪 RVA super4: Newport Science Corp. 公司; 粉质仪 Farinograph-TS、拉伸仪 Extensograph-E: 布拉本德公司。

### 1.3 指标检测方法

制粉按照 NY/T 1094.2—2006《小麦实验制粉 第 2 部分: 布勒氏法 用于硬麦》及 NY/T 1094.4—2006《小麦实验制粉 第 4 部分: 布勒氏法 用于软麦统粉》进行; 小麦籽粒水分按照 GB/T 24898—2010《粮油检验 小麦水分含量测定 近红外法》测定; 小麦粗蛋白含量按照 GB/T 24899—2010《粮油检验 小麦粗蛋白质含量测定 近红外法测定》; 容重按照 GB/T 5498—2013《粮油检验 容重测定》测定; 硬度指数按照 GB/T 21304—2007《小麦硬度测定 硬度指数法》测定; 降落数值按照 GB/T 10361—2008《小麦、黑麦及其面粉, 杜伦麦及其粗粒粉 降落数值的测定 Hagberg-Perten 法》测定; 面筋含量按照 GB/T 5506.2—2008《小麦和小麦粉 面筋含量 第 2 部分: 仪器法测定湿面筋》测定; 面筋指数按照 LS/T 6102—1995《小麦粉湿面筋质量测定法面筋指数法》测定; 淀粉糊化特性按照 GB/T 24853—2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定快速粘度

仪法》测定；粉质参数按照 GB/T 14614—2019 《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法》测定；拉伸参数按照 GB/T 14615—2019 《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 拉伸仪法》测定。

#### 1.4 数据分析

样品的差异显著性分析采用 SPSS 17.0 软件进行配对样品 t 检验分析,制图使用 origin85 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 储藏品质指标的变化

小麦在气调启封后(以下简称气调后)20 ℃和 30 ℃条件下储藏样品的气味和色泽均正常;水分含量呈现波动式变化,30 ℃条件下,对照样品第六个月水分含量低于初始的水分含量,气调后第六个月的水分含量高于初始水分含量,20 ℃储藏条件下,水分含量整体呈现上升的趋势。t 检验分析显示随储藏时间变化 6 个月整体的气调后样品和对照样品的水分含量在 30 ℃储藏下没有显著性差异,在 20 ℃储藏条件下有显著性差异(表 1),20 ℃对照样品的水分含量平均值为 10.3%,而气调后样品的平均值为 10.4%。储藏后第六个月 20 ℃和 30 ℃气调后样品的水

分含量均显著高于对照样品(图 1a,表 2),20 ℃对照样品水分含量第六个月为 10.4%,气调后样品为 10.7%,差值为 0.3%,30 ℃下对照样品水分含量为 9.9%,气调后样品为 10.3%,差值为 0.4%,说明 98%浓度的氮气气调启封后短期内储藏可能具有一定的保水作用。推测是由于氮气气调使样品处于缺氧状态,在缺氧状态下储藏,一些需要水及氧气的反应减少,因此水分变化速率较有氧状态下更慢,但其作用机制仍需进一步研究。虽然对照与气调后样品在储藏第六个月有显著性差异,但其绝对差值较小,对于实际生产中的影响较小。研究表明<sup>[5]</sup>气调储藏能减少小麦水分的散失,但不明显。

面筋吸水量反应了小麦蛋白质的持水能力,是小麦重要的储存品质指标,反映小麦面筋蛋白的质量好坏,是评判小麦是否宜存的重要依据。气调后和未气调样品的面筋吸水量随储藏时间的延长呈现波动式的下降,这与孙辉等<sup>[6-7]</sup>研究结果,随着储藏时间的增加,小麦粉面筋吸水率下降一致,但气调后样品与对照组之间及第六个月结果均没有显著性差异(表 1、表 2),储存过程中面筋吸水量大于 180%,根据《小麦储存品质判定规则》<sup>[8]</sup>判定面筋吸水量指标为宜存状态(图 1b)。

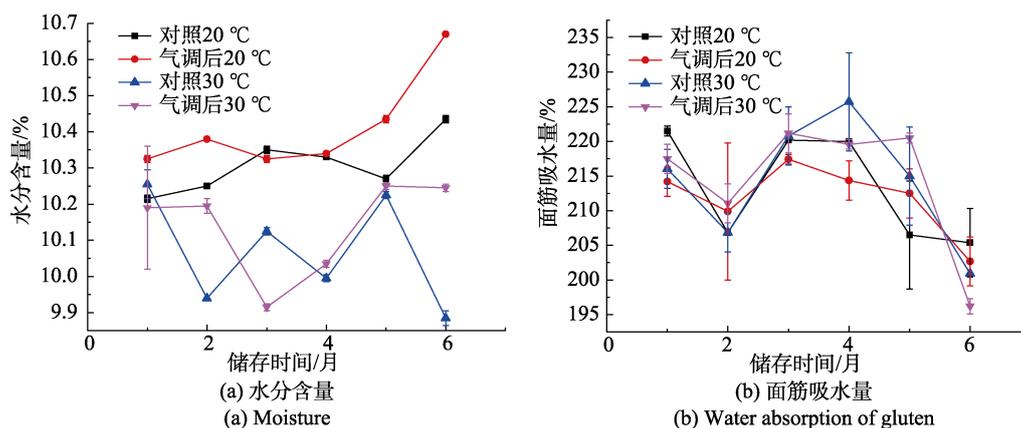


图 1 气调后样品和对照样品储存过程中水分含量、面筋吸水量的变化(横坐标为气调后储存时间/月)

Fig.1 Changes of moisture content and water absorption of gluten during storage of the control samples and the samples of after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen (Abscissa is storage time after unsealing/month)

表 1 气调启封后 6 个月的储藏样品与对照样品组间水分含量和面筋吸水量的差异显著性分析

Table 1 Significant difference analysis of moisture content and water absorption of gluten between the control samples and the samples after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen in six months %

| 评价指标  | 对照 20 ℃  | 气调启封 20 ℃ | P 值 (20 ℃) | 对照 30 ℃  | 气调启封 30 ℃ | P 值 (30 ℃) |
|-------|----------|-----------|------------|----------|-----------|------------|
| 水分含量  | 10.3±0.1 | 10.4±0.1  | 0.047      | 10.1±0.2 | 10.1±0.1  | 0.464      |
| 面筋吸水量 | 213±8    | 212±5     | 0.490      | 214±9    | 212±15    | 0.151      |

表 2 气调启封储存第 6 个月样品和对照样品水分含量和面筋吸水量的差异显著性分析

Table 2 Significant difference analysis of moisture content and water absorption of gluten between the sample after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen and the control samples in the sixth month

| P 值 (sig.) | 20 °C-济麦 44 | 30 °C-济麦 44 |
|------------|-------------|-------------|
| 水分含量/%     | 0.014       | 0.018       |
| 面筋吸水量      | 0.705       | 0.656       |

## 2.2 小麦粉品质指标的变化

降落数值随储藏时间的延长均显著升高, 降落数值反映了小麦粉中  $\alpha$ -淀粉酶的活性<sup>[6]</sup>,  $\alpha$ -淀粉酶活性降低, 降落数值则升高, 说明随着储藏时间的延长,  $\alpha$ -淀粉酶活性均降低, 在 20 °C 和 30 °C 下储藏气调后样品在第 6 个月时降落数值均比对照组高 (图 2a), 20 °C 下具有显著性差异 (表 4), 说明气调后样品比对照样品  $\alpha$ -淀粉酶的活性降低的更多, 有研究<sup>[5,9]</sup>表明氮气气调储藏比常规储藏降落数值升高的较慢, 在常温条件下常规储藏和充氮储藏小麦降落数值的差别不大<sup>[7]</sup>, 在糙米上与空气储藏相比抑制效果不明显<sup>[10]</sup>。本研究中进行的小麦粉降落数值的测定, 只有在 20

°C 下储存结束期 (即第六个月) 具有显著性差异 (表 4), 气调后和未气调样品组间也没有显著性差异 (表 3), 因此不能说明气调启封后对降落数值有影响。气调后样品与对照样品的湿面筋含量均有不同程度的下降趋势 (图 2b), 在 20 °C 下对照样品的最终值与初始值有显著性差异, 其他均无显著性差异, 湿面筋含量的下降可能与面筋吸水量下降有关; 面筋指数呈现上升的趋势 (图 2c), 但最终结果与初始值均无显著性差异, 有研究发现小麦储藏一段时间, 小麦品质有所改善, 主要不是因为蛋白质含量的变化, 而是蛋白质组成的改变<sup>[11]</sup>, 在一定时间内, 随着储藏时间的增加, 麦谷蛋白含量会升高<sup>[12]</sup>, 因此储藏过程中谷蛋白含量的增加, 导致面筋指数升高, 但气调后样品与对照样品组间和第六个月结果均无显著性差异 (表 3、表 4); 气调后样品和对照样品的峰值粘度、最低粘度和最终粘度变化趋势一致, 均有不同程度的下降 (图 3), 从图 2d 和图 2e 中可以更直观的看出峰值粘度和最终粘度的下降趋势, 20 °C 气调后样品第六个月的峰值粘度和最终粘度与对照基本一样, 30 °C 气调后样品第六个月的峰

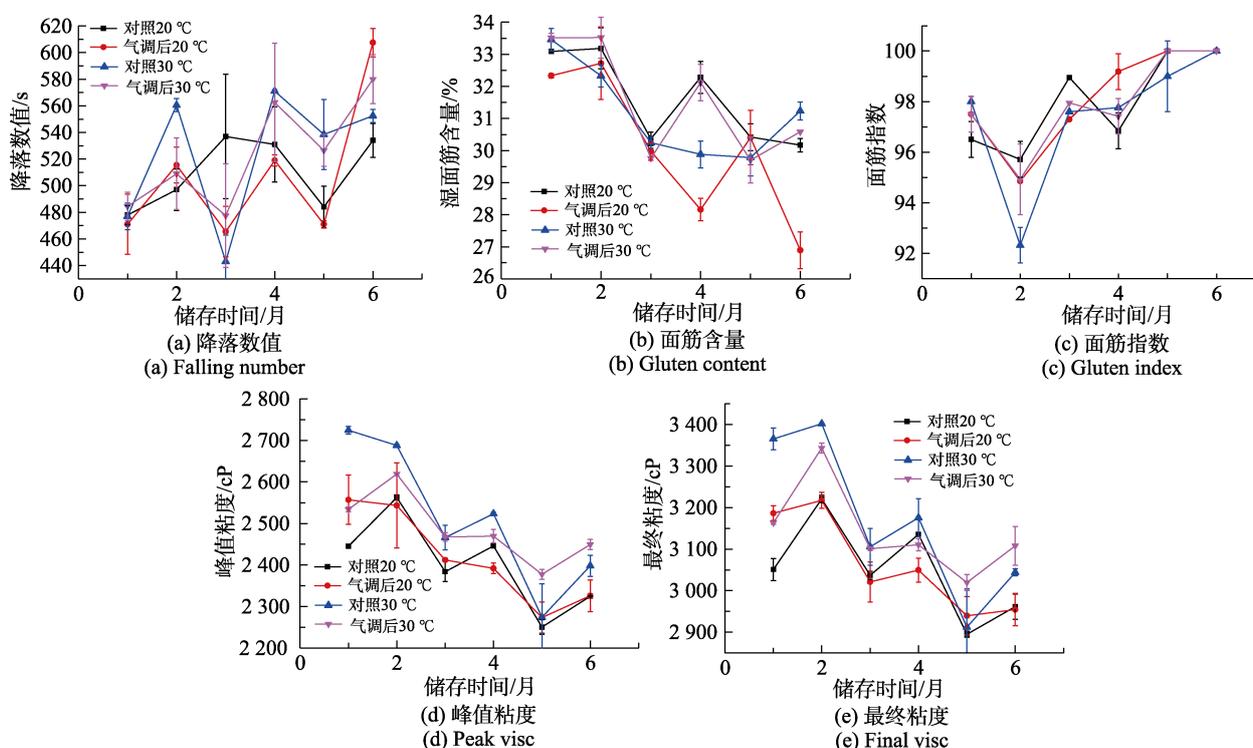


图 2 气调后和未气调的济麦 44 在不同温度下小麦粉品质指标的变化 (横坐标为气调后储存时间/月)

Fig.2 Changes of quality index of wheat flour during storage of the control samples and the samples of after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen (Abscissa is storage time after unsealing/month)

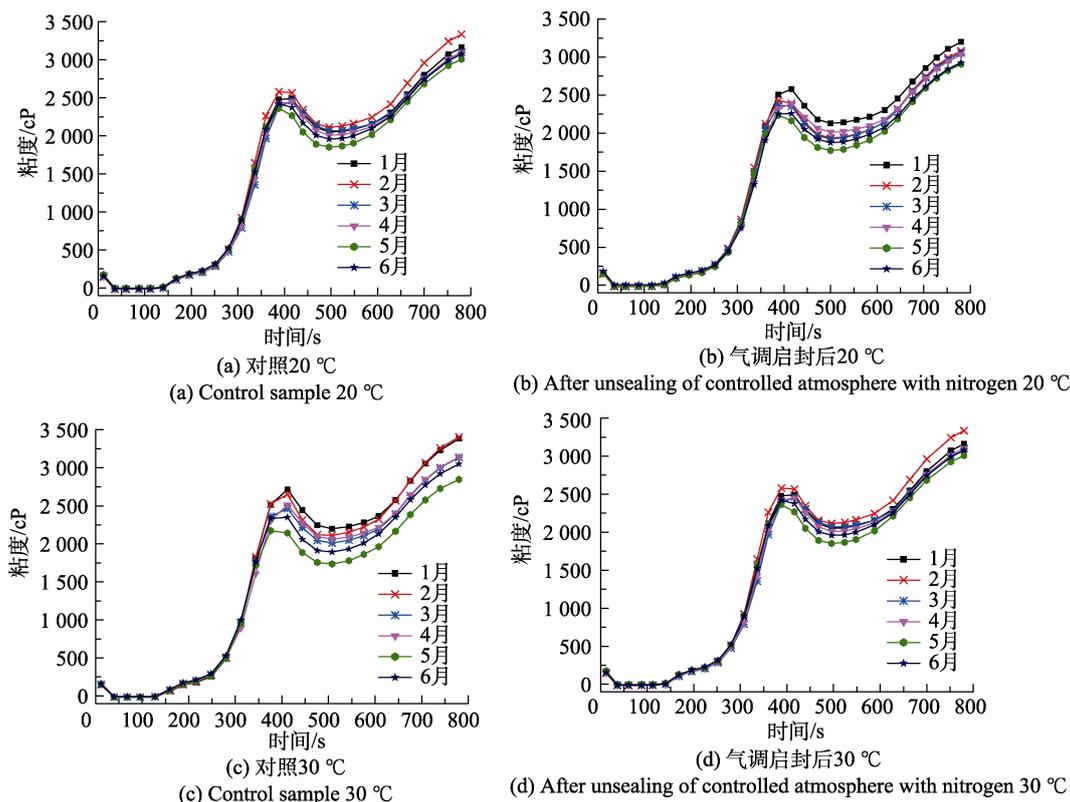


图 3 气调后样品和对照样品的 RVA 图

Fig.3 RVA diagram of the control samples and the samples of after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen

表 3 气调启封后 6 个月的储藏样品与对照样品组间小麦粉品质指标的配对 t 检验分析结果

Table 3 Significant difference analysis of quality index of wheat flour between the control samples and the samples after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen in six months

| 评价指标    | 对照 20 °C  | 气调启封 20 °C | P 值 (20 °C) | 对照 30 °C  | 气调启封 30 °C | P 值 (30 °C) |
|---------|-----------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|
| 降落数值/s  | 510±27    | 508±54     | 0.925       | 524±52    | 523±41     | 0.975       |
| 面筋吸水量   | 213±8     | 212±5      | 0.490       | 214±9     | 212±15     | 0.565       |
| 湿面筋含量/% | 31.6±1    | 30.1±2     | 0.087       | 31.1±1.5  | 31.5±1.8   | 0.444       |
| 面筋指数    | 98±2      | 98±2       | 0.818       | 97±3      | 98±2       | 0.321       |
| 峰值粘度/cP | 2 402±108 | 2 417±114  | 0.535       | 2 512±172 | 2 486±82   | 0.562       |
| 最终粘度/cP | 3 050±117 | 3 061±117  | 0.724       | 3 167±189 | 3 141±109  | 0.580       |

值粘度和最终粘度稍高于对照样品, 但均没有显著性差异 (表 4), 气调后样品与对照样品组间也无显著性差异 (表 3), 有研究表明, 随着储藏时间的增加, 小麦粉的峰值粘度增大<sup>[8,13]</sup>; 随着水分含量的升高, 小麦粉的峰值粘度降低<sup>[14-15]</sup>, 本研究中峰值粘度的降低可能与水分含量的升高有关。

### 2.3 小麦粉流变学特性指标的变化

吸水量整体呈现波动式下降 (图 4a), 吸水量的下降受硬度指数和面筋吸水量下降的综合影响, 硬度指数下降, 制粉过程中破损淀粉含量降低, 会导致吸水量的下降, 气调后样品和对照样

表 4 气调启封储存第 6 个月样品和对照样品小麦粉品质指标的差异显著性分析

Table 4 Significant difference analysis of quality index of wheat flour between the control samples and the ones after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen in the sixth month

| P 值 (sig.) | 20 °C-济麦 44 | 30 °C-济麦 44 |
|------------|-------------|-------------|
| 降落数值/s     | 0.013       | 0.344       |
| 湿面筋含量/%    | 0.107       | 0.205       |
| 面筋指数       | -           | -           |
| 峰值粘度/cP    | 0.965       | 0.303       |
| 最终粘度/cP    | 0.910       | 0.348       |

注: “-” 是由于平均值及标准差均一样, 无法计算差异显著性。

Note: because the average value and standard deviation are the same, and the difference significance cannot be calculated. It is marked with “-”.

品的吸水量组间和第六个月结果均没有显著性差异；稳定时间呈现波动性变化，最终的稳定时间均高于初始稳定时间，30 °C 比 20 °C 下储存变化更明显，稳定时间的增加说明了小麦的面筋质量和面团的韧性和耐揉性有所增加，但气调后样品和对照样品组间没有显著性差异（表 5），30 °C 气调后样品第六个月的稳定时间显著性高于对照样品（图 4b、表 6），但 20 °C 气调后样品第六个月稳定时间低于对照样品，与 30 °C 并未表现出一致的规律，因此 30 °C 的显著性差异不能说明气调启封后对稳定时间有影响。

拉伸能量主要受最大拉伸阻力和延伸性的综合影响，储藏过程中拉伸能量呈现波动式变化（图 4c），气调后样品与对照样品组间及第六个

月结果均没有显著性差异（表 5、表 6）；最大拉伸阻力整体呈现先上升后下降的趋势，第六个月储藏样品比最初值有所升高（图 4d），拉伸阻力的上升也证明了在储藏过程中面团的韧性有所增强，气调后样品与对照样品组间没有显著性差异（表 5），气调后样品的最大拉伸阻力的波动性比对照样品高，20 °C 气调后样品第六个月的最大拉伸阻力在 0.05 水平上显著高于对照样品，但 30 °C 气调后样品低于对照样品，与 20 °C 并未表现出一致的规律，因此 20 °C 的显著性差异不能说明气调启封后对最大拉伸阻力有影响；延伸性呈波动式变化（图 4e），气调后样品和对照样品组间和第六个月结果均没有显著性差异（表 5、表 6）。

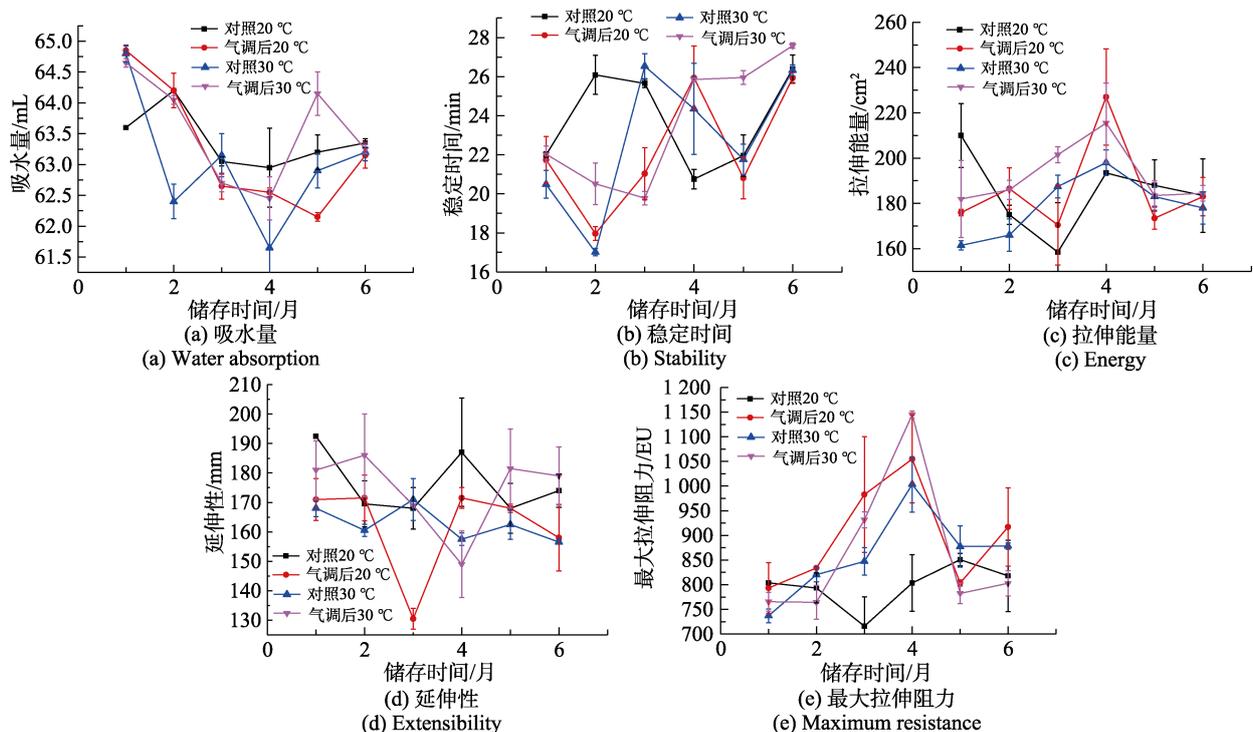


图 4 气调后和未气调的济麦 44 在不同温度下面团流变学特性参数的变化（横坐标为气调后储存时间/月）

Fig.4 Changes of rheological parameters of dough during storage of the control samples and the ones of after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen (Abscissa is storage time after unsealing/month)

表 5 气调启封后 6 个月的储藏样品与对照样品组间粉质参数和拉伸参数的配对 t 检验分析结果

Table 5 Significant difference analysis of rheological parameters of dough between the control samples and the ones after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen in six months

| 评价指标                         | 对照 20 °C | 气调启封 20 °C | P 值 (20 °C) | 对照 30 °C | 气调启封 30 °C | P 值 (30 °C) |
|------------------------------|----------|------------|-------------|----------|------------|-------------|
| 吸水量(500 FU)/%                | 63.4±0.5 | 63.3±1.1   | 0.687       | 63.0±1.0 | 63.5±0.9   | 0.515       |
| 稳定时间/min                     | 23.8±2.5 | 22.2±3.1   | 0.431       | 22.7±3.7 | 23.6±3.3   | 0.071       |
| 拉伸能量 135 min/cm <sup>2</sup> | 185±17   | 186±21     | 0.895       | 179±14   | 192±14     | 0.849       |
| 延伸性 135 min/mm               | 177±11   | 162±16     | 0.056       | 163±6    | 174±14     | 0.499       |
| 最大拉伸阻力 135 min/EU            | 798±45   | 898±106    | 0.125       | 861±87   | 865±151    | 0.891       |

表 6 气调启封储存第 6 个月样品和对照样品粉质参数和拉伸参数的差异显著性分析

**Table 6 Significant difference analysis of rheological parameters of dough between the control samples and the ones after unsealing of controlled atmosphere with nitrogen in the sixth month**

| P 值 ( sig. )                 | 20 °C-济麦 44 | 30 °C-济麦 44 |
|------------------------------|-------------|-------------|
| 吸水量(500 FU)/%                | 0.295       | 0.795       |
| 稳定时间/min                     | 0.605       | 0.049       |
| 拉伸能量 135 min/cm <sup>2</sup> | 0.942       | 0.545       |
| 延伸性 135 min/mm               | 0.156       | 0.179       |
| 最大拉伸阻力 135 min/EU            | 0.032       | 0.184       |

### 3 结论

气调启封后小麦的水分含量、面筋吸水量, 小麦粉的降落数值、面筋含量、面筋指数、峰值粘度、最终粘度、粉质参数、拉伸参数与对照样品均表现出相同的变化规律。除水分含量外, 其他指标在储存过程中气调启封后样品和对照样品组间均没有显著性差异, 粉质稳定时间和最大拉伸阻力气调启封后样品在储存第六个月的结果与对照样品在 0.05 水平上有显著性差异, 但 20 °C 和 30 °C 的第 6 个月气调启封后样品和对照样品之间的差异的规律并不相同, 因此不能说明气调启封后对粉质稳定时间和最大拉伸阻力有影响。气调启封后样品的降落数值均高于对照样品, 但降落数值只有在 20 °C 下储存 6 个月具有显著性差异, 无法说明气调启封后对降落数值有影响。气调启封后样品的水分含量第六个月结果均高于对照样品, 并且 20 °C 气调启封后样品和对照样品组间有显著性差异, 说明气调启封后短期内储藏可能具有一定的保水作用, 但其绝对差值较小, 在 20 °C 和 30 °C 下水分含量的绝对差值分别为 0.3% 和 0.4%, 对于实际生产中的影响较小。

### 参考文献:

- 孙果忠. 我国小麦种业发展现状及未来建议[J]. 农业科技通讯, 2021(7): 4-8.  
SUN G Z. Development status and future suggestions of wheat seed industry in China[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2021(7): 4-8.
- 高全良. 绿色储粮技术的应用[J]. 现代食品, 2021(20): 47-49.  
GAO Q L. Application of green grain storage technology[J]. Modern Food, 2021(20): 47-49.
- 黄熠林, 杨红彪, 苏志松. 氮气气调储粮技术应用实践[J]. 粮食科技与经济, 2019, 44(12): 34-36.
- YANG Y L, YANG H B, SU Z S. Application of nitrogen gas regulated grain storage technology[J]. Food Science and Technology and Economy, 2019, 44(12): 34-36.
- 袁小平, 严忠军, 付鹏程. 粮食气调储藏技术的优势及应用前景[J]. 粮食储藏, 2012, 41(5): 16-19.  
YUAN X P, YAN Z J, FU P C. Advantage of controlled atmosphere storage of grain and its application sprospect[J]. Grain Storage, 2012, 41(5): 16-19.
- 杨绍铭. 小麦气调储藏过程中加工品质变化规律及机理研究[D]. 河南工业大学, 2020.  
YANG S M. Study on the changing law and mechanism of processing quality of wheat during controlled atmosphere storage[D]. Henan University of Technology, 2020.
- 孙辉, 姜薇莉, 田晓红, 等. 小麦粉储藏品质变化规律研究[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(3): 77-82.  
SUN H, JIANG W L, TIAN X H, et al. Quality changes of wheat flour during storage in controlled condition[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2005, 20(3): 77-82.
- 焦义文. 气调储藏对小麦品质的影响研究[D]. 河南工业大学, 2014.  
JIAO Y W. Effect of controlled atmosphere on wheat quality[D]. Henan University of Technology, 2014.
- 小麦储存品质判定规则: GB/T 20571—2006[S].  
Guidelines for evaluation of wheat storage character: GB/T 20571—2006[S].
- 李彭. 实仓充氮气调储粮应用技术研究[D]. 河南工业大学, 2016.  
LI P. Solid warehouse fill nitrogen storage technology research[D]. Henan University of Technology, 2016.
- 王若兰. 糙米气调储藏稳定性研究[D]. 河南工业大学, 2011.  
WANG R L. The study on stability of husked rice in controlled atmosphere storage[D]. Henan University of Technology, 2011.
- 徐瑞, 谭晓荣, 王晓曦. 小麦后熟期间主要品质相关因素的变化[J]. 农业机械, 2012(15): 54-57.  
XU R, TAN X R, WANG X X. Changes of wheat quality related factors during the period of after-ripening[J]. Farm Machinery, 2012(15): 54-57.
- XU R, TAN X R, WANG X X. Changes of wheat quality related factors during the period of after-ripening[J]. Farm Machinery, 2012(15): 54-57.
- 韦志彦, 王金水, 张艳, 等. 新收获小麦后熟过程中蛋白质和氨基酸含量的变化[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(2): 23-30.  
WEI Z Y, WANG J S, ZHANG Y, et al. Changes of protein and amino acid contents in newly harvested wheat during the period of after-ripening[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(2): 23-30.
- 吴小丽. 不同储藏条件对小麦粉糊化特性的影响[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(4): 7-9+13.  
WU X L. Effects of different storage conditions on gelatinization characteristics of wheat flour[J]. Cereal & Food Industry, 2020, 27(4): 7-9+13.
- 夏书磊. 谷物糊化特性的测定方法与相关性研究[D]. 河南工业大学, 2017.  
XIA S L. Methods to determine the gelatinization properties of grain and correlation studies[D]. Henan University of Technology, 2017.
- 李明菲. 不同热处理方式对小麦粉特性影响研究[D]. 河南工业大学, 2016.  
LI M F. Study on the effects of different heat treatment on wheat flour characteristics[D]. Henan University of Technology, 2016. 