

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.06.022

赵明慧, 罗晓宏, 吴建章, 等. 空调控温对小麦粮堆空气特性及品质的研究[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(6): 189-195.

ZHAO M H, LUO X H, WU J Z, et al. Study on the effects of air conditioning temperature control on air characteristics and quality of wheat grain bulk[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(6): 189-195.

空调控温对小麦粮堆空气特性及品质的研究

赵明慧^{1,2}, 罗晓宏¹, 吴建章², 李兴军¹✉, 姜玉山³, 李莉³

- (1. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食储运国家工程研究中心, 北京 102209;
2. 河南工业大学 粮食和物资储备学院, 河南 郑州 450001;
3. 鲁粮集团平原粮食储备库有限公司, 山东 平原 253100)

摘要: 研究空调对小麦高大平房仓控温过夏的效果及评价指标, 选用鲁粮集团某库 19 仓, 在小麦入仓后第二、三年过夏期间将空调设定在 25 °C, 与对照 17 号仓比较, 粮堆表层、二层、三层及四层分别降低 3.4、2、1.5 及 1.35 °C, 含水量、相对湿度 (RH) 及湿球温度对表层粮食和整个粮堆分别降低 3.85 和 1.5 g/kg、3.55% 和 3.85%、3.65 °C 和 2.2 °C。DSC 测定的两个仓粮堆热特性参数没有显著差异。与 17 号仓比较, 19 号仓小麦 RVA 测定的糊化峰值粘度、衰减值、最终粘度略降低; 全麦粉馒头质构特性参数如硬度、黏着性、弹性、咀嚼性略降低。主成分分析确定了糊化结束温度及峰高度、糊化温度及峰值时间、质构参数如硬度及咀嚼性均是评价小麦控温过夏储藏的优选指标。扫描电镜分析表明, 与 17 号仓比较, 19 仓中小麦籽粒横截面要致密, 微孔均匀; 纵截面大淀粉颗粒之间的小淀粉颗粒少一些。结果表明: 小麦高大平房仓夏季开启空调有助于降低粮堆干球温度及籽粒间隙空气特性参数, 延缓储粮害虫生长发育, 保持小麦籽粒微观结构, 延缓品质劣变。

关键词: 小麦; 空调控温过夏; 粮堆空气特性参数; 热特性; 籽粒截面微观结构

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)06-0189-07

网络首发时间: 2024-11-07 16:05:08

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.ts.20241107.1459.020>

Study on the Effects of Air Conditioning Temperature Control on Air Characteristics and Quality of Wheat Grain Bulk

ZHAO Ming-hui^{1,2}, LUO Xiao-hong¹, WU Jian-zhang², LI Xing-jun¹✉, JIANG Yu-shan³, LI Li³

- (1. National Engineering Research Centre of Grain Storage and Logistics, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 102209, China; 2. College of Food and Strategic Reserve, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China;
3. Luliang Jituan Pingyuan Grain Storage Depot Co. LTD., Pingyuan, Shandong 253100, China)

收稿日期: 2024-04-08

基金项目: 山东省重点研发计划项目 (202CXGCO108053-3-3)

Supported by: Key Research and Development Project of Shandong Province (No. 202CXGCO108053-3-3)

第一作者: 赵明慧, 女, 1997 年出生, 硕士, 研究方向为粮食化学与工程, E-mail: minghuizhao@163.com

通信作者: 李兴军, 男, 1971 年出生, 博士, 研究员, 研究方向为粮食生化与工程, E-mail: lxj@ags.ac.cn

Abstract: This study investigated the effects and evaluation indicators of air conditioning temperature control for summer storage of wheat in large flat storage silos. In the second and third years after wheat was stored in Silo No. 19 of Luliang Jituan Pingyuan Grain Storage Depot, the air conditioning was set to 25 °C, and the conditions were compared with those in the control Silo No. 17. The temperatures at the surface, second layer, third layer, and fourth layer of the grain bulk were reduced by 3.4 °C, 2 °C, 1.5 °C, and 1.35 °C, respectively. The moisture content, relative humidity (RH), and wet-bulb temperature were reduced by 3.85 g/kg and 1.5 g/kg, 3.55% and 3.85%, and 3.65 °C and 2.2 °C for the surface grain and the entire grain bulk, respectively. No significant differences were observed in the thermal characteristic parameters of the grain bulks in the two silos. Compared with Silo No. 17, the peak viscosity, breakdown, and final viscosity of wheat in Silo No. 19 slightly decreased, and the texture parameters, such as hardness, adhesiveness, springiness, gumminess, and chewiness, also slightly decreased. Principal component analysis identified the gelatinization end temperature and peak height measured by DSC, the gelatinization temperature and peak time measured by RVA, and texture parameters such as hardness, gumminess, and chewiness as preferred indicators for evaluating the summer storage of wheat under temperature control. In-depth scanning electron microscopy analysis revealed that the cross-sections of wheat kernels in Silo No. 19 were more compact with uniformly distributed micropores, and the longitudinal sections had fewer small starch granules between large starch granules compared to those in Silo No. 17. The results indicated that operating air conditioning in large flat storage silos during summer helped reduce the dry-bulb temperature of the grain bulk and the air characteristics in the interstitial space between kernels. It also slowed the growth and development of storage pests, and maintained the microstructure of wheat kernels, which could delay quality deterioration.

Key words: wheat; air conditioning controlling temperature over summer; intergranular air properties; thermal property; microstructure in kernel cross-section

2003—2016 年期间是我国现代化粮仓高大平房仓建设的重要时期, 当前我国北方储粮区小麦高大平房仓通过秋冬季降温通风、夏季内环流等技术实现粮堆准低温储藏。筛选变化灵敏、且与最终小麦食用品质之间相关性好的指标, 是粮食储藏学科的重要课题。为了确定新收获后的小麦品质指标最佳检测时间, 通常对人工气候箱储藏样品和实仓扦样进行分析^[1-2], 国内外研究较多。展海军等^[3]分析了 77 个库存商品小麦的发芽率、脂肪酸值、还原糖含量、过氧化氢酶活性等品质指标与储藏时间的关系。柏九菊^[4]从实践角度提出储藏小麦品质控制指标应当考虑还原糖、脂肪酸值、面筋的弹性和延展性。Hu 等^[5]对在浙江省衢州市粮食储备库对储存 2 年的进口澳洲硬质麦分析表明, 脂肪酸值、电导率、丙二醛和支链淀粉的含量、峰值粘度、衰减值均增加, 而直链淀粉/支链淀粉比率减少。GBT20571—2006《小麦

储存品质判定》规定, 宜存小麦的面筋吸水率 $\geq 180\%$, 馒头品尝评分值 $\geq 70\%$ 。国外一些国家研究储藏条件对小麦蛋白质含量、降落数值、千粒重等指标的影响^[6-8]。近年来, 山东省对小麦高大平房仓开始实验空调控温过夏储粮技术, 探索小麦储藏期间粮堆空气特性参数及理化品质指标的变化规律, 以期为我国小麦品质评价提供指标参数。

1 材料与amp;方法

1.1 仪器与设备

DSC214 差示扫描量热仪: 德国耐驰 Netzsch 有限公司; RVA-TecMaster 快速粘度仪: 波通瑞华科学仪器北京(有限)公司; CT3 质构仪: 美国 Brookfield 公司; JSM-IT 700HR 型扫描电子显微镜、JEC-3000FC 型离子溅射仪: 日本电子株式会社。

1.2 实验仓房及管理

选用鲁粮集团平原粮食储备库高大平房仓 17 号、19 号为研究对象,两个仓 2021 年 7 月初装入当地新收获的白小麦,吨数各是 3 993 t 和 4 233 t,杂质率各是 0.8% 和 0.6%。每周巡检粮堆测温电缆 1 次。2022 年 7 月 8 日在 19 号仓北外墙安装两台粮仓专用空调,距离地面 5 m,每台功率 5.25 kW。19 号实验仓在夏季采用空调控温储粮技术,17 号对照仓选择常规储藏技术。两个仓的化学熏蒸作业时间为 2021 年 7 月 26 日—9 月 1 日;17 号仓 2022 年为 7 月 18 日—8 月 18 日,19 号仓为 2022 年 8 月 3 日—9 月 13 日;两个仓均为 2023 年 8 月 14 日—9 月 15 日。

在 2021 年 12 月 1—30 日期间,对两个仓均进行机械通风作业降低粮温。各采用 2 台 1.1 kW 的单侧轴流风机,进行上行吸出式智能间歇式通风,风压 220 Pa,风量 7 433 m³/h。对照仓实际通风时数累计为 360 h,降低粮温 5.2 °C。实验仓实际通风时数累计为 408 h,降低粮温 4.6 °C,而在 2022 年和 2023 年冬季期间选择自然通风。

19 号实验仓在 2022 年 7 月 14 日—8 月 2 日夏季高温时段,开启空调,温度设置在 25 °C,每天运行 24 h,使仓温维持在 25 °C 左右。在 2023 年 6 月 12 日—8 月 14 日,实验仓继续开启空调,每天运行 12 h。

1.3 扦样及分析

扦样日期分别为 2021 年 11 月 1 日、2022 年 6 月 17 日和 11 月 15 日、2023 年 10 月 20 日以 2021 年 7 月 1 日为起始点,分别对应第 3.6、11.7、16.8 及 27.9 个月。在每个仓粮面取 11 个点,每点纵深距离粮面 0.3、1.8、3.3、4.8 m,每次合计 44 份样品,每份样品各 300 g。样品含水率采用 105 °C 恒重法(GB 5009.3—2010 食品中水分的测定)。

1.4 粮堆空气特性参数分析

基于课题组测定的我国小麦平衡水分方程 MCPE 的系数,假定相邻两次扦样期间粮堆各层含水率保持不变,依据粮堆各位点的测温电缆测定的温度数据,采用课题组编写的软件《谷物粮

堆籽粒间隙空气特性计算软件 V1.0》(登记号 2021SR1038631),分析计算粮堆各位点的平衡相对湿度、含湿量及湿球温度。

1.5 热特性测定

称取 5.0 mg 全麦粉(过 80 目筛)放入铝坩埚中,按照样品:水=1:2 的比例加入蒸馏水,密封后在 4 °C 过夜平衡。然后采用差异扫描量热仪测定样品热特性,扫描温度从 20 °C 升至 110 °C,升温速度为 10 °C/min。每个样品重复测定 3 次。

1.6 快速粘度仪分析

测试程序参照 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》。

1.7 馒头质构特性的测定

采用一次发酵法制作馒头。称取全麦粉 100 g,酵母加入量 1%,加入温水 55 g。在和面机中搅拌 4 min 后,取出用压片机进行 8 次压片。揉搓成型后置于 35 °C、相对湿度 85% 的醒发箱中醒发 60 min,放入已沸腾的蒸锅中气蒸 25 min(开始冒气时计时),焖 5 min 后取出馒头,盖上纱布冷却 1 h 采用质构仪测定。选用 P/36 型探头,将冷却备用的馒头从中间切开,切成长宽高均为 20 mm 的正方体。设定参数为触发力 5 g,测前、测中、测后速度均为 1 mm/s,测试距离为 50% 样品厚度。

1.8 扫描电子显微镜观察

沿着小麦籽粒长度在中间切取靠近皮层的横截面,再切取靠近皮层的胚乳纵截面,取小麦籽粒切割面粘到有导电胶的样品台上,在离子溅射仪中喷镀铂金,再利用扫描电镜观察样品表面结构形貌,电镜加速电压 4.0 kV,放大倍数为 500~5 000 倍。

1.9 数据处理

采用随机区组实验设计,LSD 检验中同一列不同小写字母表示样品之间差异显著($P < 0.05$)。主成分分析采用 SPSS 软件 17.0 版本。

2 结果与分析

2.1 两年半储藏期间粮堆各层温度的变化

与 17 号仓比较,19 号仓在 2022 年 7 月 14

日—8月2日、2023年6月12日—8月14日期间开启空调,粮堆表层温度各降低了3.0和3.8℃(图1)。由于阴凉空气沿着粮食籽粒间隙下沉,19号仓第二层、三层及四层在2022年7月14日—8月2日期间各降低了2.2、1.8、1.4℃;在2023年6月12日—8月14日期间各降低了1.8、1.2、1.3℃。

2.2 粮堆空气特性参数的变化

由于粮堆具有两大物理特性,即孔隙率35%~55%、是热的不良导体。空调降低仓温,导致较冷空气从粮面下沉,逐渐置换粮堆籽粒间隙较高温度的空气,因而能够降低粮堆籽粒间隙空气的含湿量(绝对湿度)、相对湿度(RH)及湿

球温度(图2~3)。在2022年7月14日—8月2日、2023年6月12日—8月14日空调开启期间,粮堆表层含湿量各降低了3.5和4.2g/kg,整个粮堆含湿量各降低了1.3和1.7g/kg;粮堆表层相对湿度各降低了4.2%和2.9%,整个粮堆相对湿度各降低了3.9%和3.8%;粮堆表层湿球温度各降低了3.4和3.9℃,整个粮堆湿球温度各降低了2.1和2.3℃。

2.3 空调控温储藏期间小麦品质指标变化

从表1看出,17号和19号仓小麦两年半储藏期间,随着时间增加,差示扫描量热仪(Differential scanning calorimetry, DSC)热特性的6个指标没有显著变化($P>0.05$),在两个

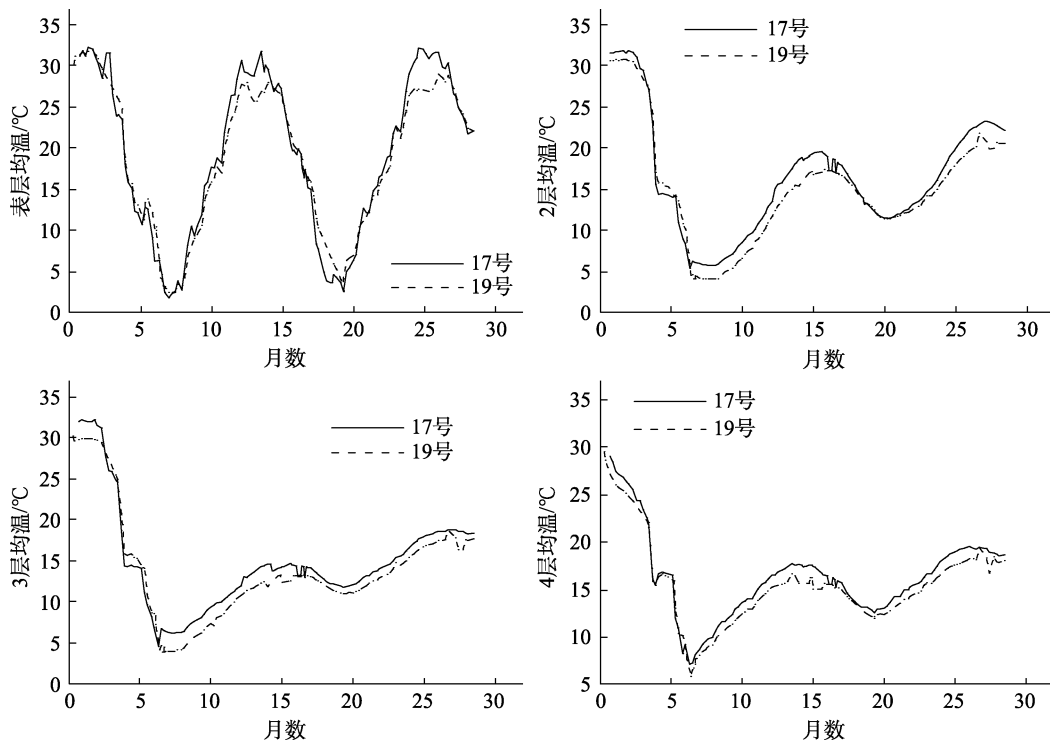


图 1 粮堆各层温度的变化

Fig. 1 Changes in grain temperature in wheat bulk

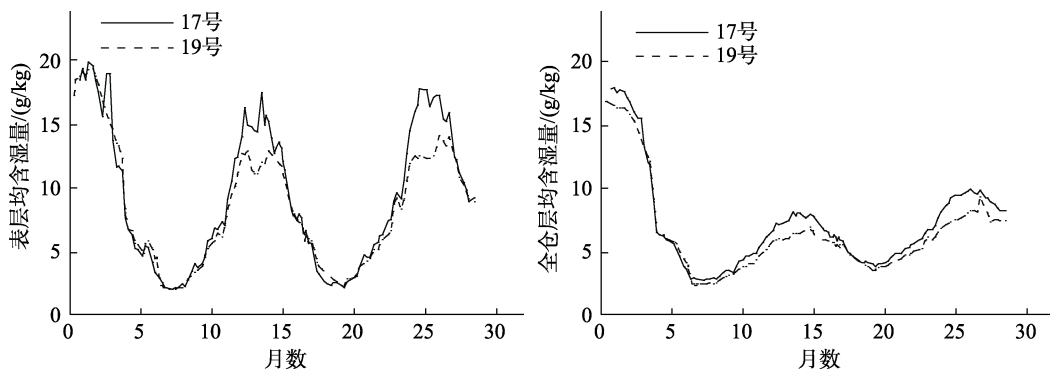


图 2 粮堆表层及全仓含湿量的变化

Fig. 2 Changes in grain humidity ratio in the surface layer and whole bulk

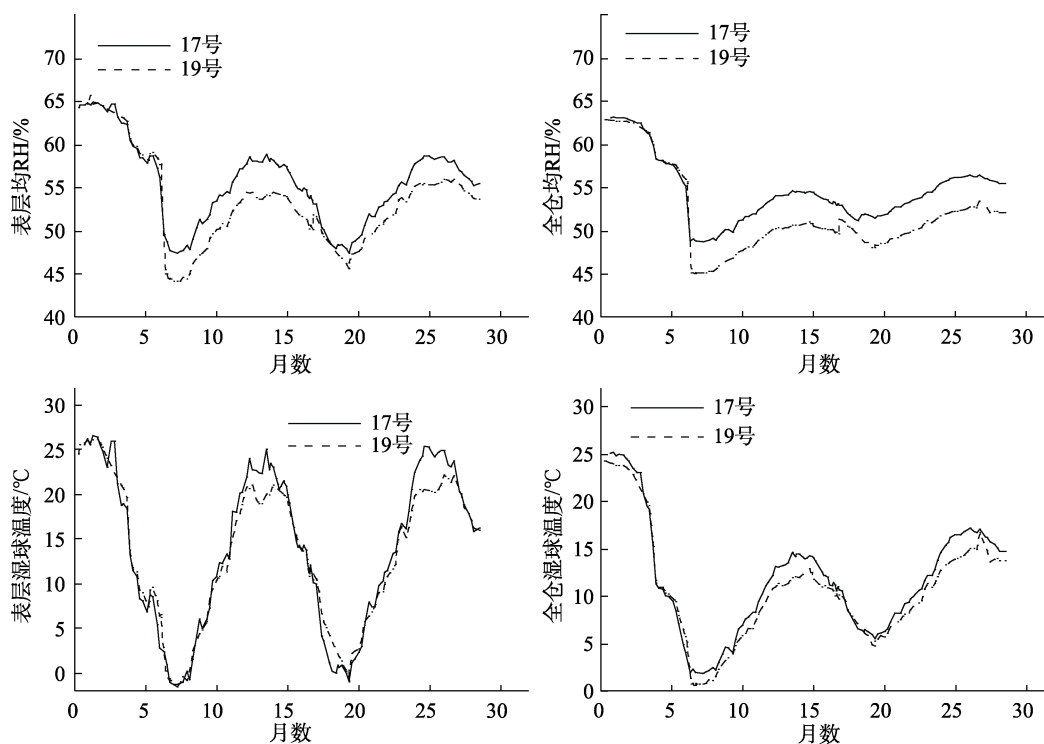


图 3 粮堆表层及全仓 RH 和湿球温度的变化

Fig. 3 Changes in relative humidity and wet bulb temperature in the surface layer and whole bulk

表 1 小麦高大平房仓储期间 DSC 测定的热特性变化

Table 1 Changes in thermal properties by DSC in the whole bulk during storage in large flat warehouse

仓号	月	糊化焓值/(J/g)	峰值温度/°C	起始温度/°C	结束温度/°C	峰宽度/°C	峰高度/(0.01 mW/mg)
17	3.6	6.01±0.25 ^a	64.61±0.57 ^a	59.23±0.52 ^a	70.53±0.80 ^a	5.87±0.22 ^a	12.11±0.67 ^b
	11.7	6.06±0.14 ^a	64.86±0.48 ^a	59.72±0.57 ^a	70.12±0.50 ^a	5.53±0.18 ^a	12.85±0.51 ^{ab}
	16.8	6.01±0.15 ^a	64.72±0.51 ^a	59.52±0.47 ^a	70.36±0.59 ^a	5.65±0.16 ^a	12.55±0.47 ^{ab}
	27.9	6.22±0.25 ^a	64.91±0.25 ^a	59.71±0.24 ^a	70.72±0.37 ^a	5.56±0.11 ^a	13.11±0.58 ^{ab}
19	3.6	6.01±0.25 ^a	64.61±0.57 ^a	59.23±0.52 ^a	70.53±0.80 ^a	5.87±0.22 ^a	12.11±0.67 ^b
	11.7	6.22±0.22 ^a	64.81±0.32 ^a	59.67±0.23 ^a	70.45±0.34 ^a	5.66±0.15 ^a	13.04±0.58 ^{ab}
	16.8	6.04±0.22 ^a	65.05±0.49 ^a	59.90±0.40 ^a	71.00±0.62 ^a	5.71±0.18 ^a	12.64±0.65 ^{ab}
	27.9	6.33±0.19 ^a	64.93±0.36 ^a	59.74±0.28 ^a	70.75±0.46 ^a	5.52±0.17 ^a	13.52±0.57 ^a

注：同一列不同小写字母表示样品之间差异显著 ($P<0.05$)，下表同。

Note: Different small superscript letters in the same column indicated significant differences between samples ($P<0.05$), the same as below.

仓之间没有显著差异。

两个仓小麦储藏期间，随着时间增加，糊化的峰值粘度对 17 号仓显著增加 ($P<0.05$)，对 19 号仓增加不显著 ($P>0.05$)；最低粘度和最终粘度显著增加 ($P<0.05$)，回生值先显著增加后减少，衰减保持不变，峰值时间和糊化温度降低 (表 2)。与 17 号仓比较，19 号仓中小麦的糊化峰值粘度、衰减、最终粘度略降低，其他指标如最低粘度、回生值、峰值时间和糊化温度在两个仓之间是相似的。

从表 3 看出，高大平房仓中小麦两年半储藏期间，小麦全粉馒头质构特性随着储藏时间增加，

硬度及咀嚼性显著增加 ($P<0.05$)，黏着性降低，回复性、内聚性及弹性保持不变。与 17 号仓比较，19 号仓硬度、黏着性、弹性及咀嚼性略降低。

采用主成分分析深入分析小麦品质指标 (图 4)，DSC 测定的糊化结束温度及峰高度、快速粘度仪 (Rapid visco analyzer, RVA) 测定的糊化温度及峰值时间、质构参数如硬度及咀嚼性均是评价小麦粮堆控温过夏储藏的优选指标。

从图 5 看出，17 号仓小麦籽粒横截面有些破坏。与 17 号仓比较，19 号仓中小麦籽粒横截面致密、微孔均匀；籽粒纵截面中大淀粉颗粒之间的小淀粉粒少一些。说明空调控低温储藏能够保持

表 2 小麦高大平房仓储期间 RVA 糊化特性变化

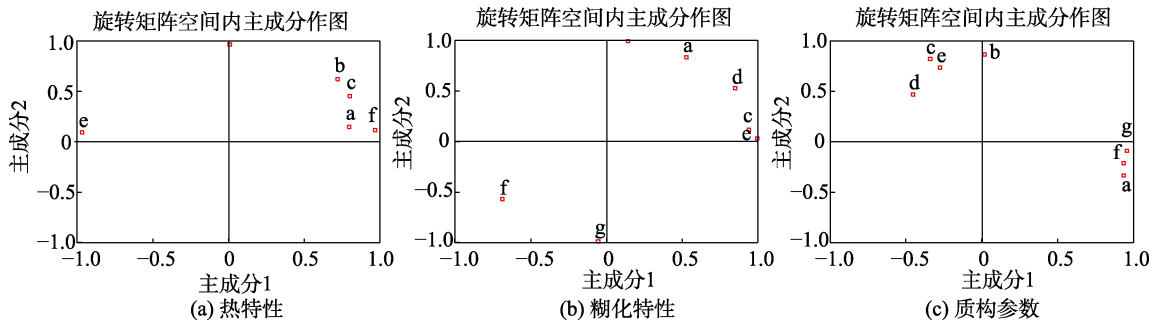
Table 2 Changes in pasting properties by RVA in the whole bulk during storage in large flat warehouse

仓号	月	峰值粘度/cp	最低粘度/cp	衰减值/cp	最终粘度/cp	回生值/cp	峰值时间/min	糊化温度/°C
17	3.6	1 350±115 ^b	1 038±65 ^b	313±59 ^a	1 895±92 ^d	859±31 ^d	6.2±0.0 ^a	89.7±1.5 ^{abc}
	11.7	1 391±84 ^b	998±74 ^b	393±27 ^b	2 134±85 ^{abc}	1 135±40 ^a	6.1±0.1 ^{abc}	90.3±0.4 ^{ab}
	16.8	1 441±97 ^{ab}	1 047±72 ^{ab}	394±67 ^a	2 064±108 ^{bcd}	1 018±59 ^{bc}	6.2±0.1 ^{ab}	89.5±0.4 ^b
	27.9	1 616±109 ^a	1 192±76 ^a	424±64 ^b	2 317±120 ^a	1 125±62 ^{ab}	6.0±0.1 ^{bc}	88.1±0.5 ^c
19	3.6	1 350±115 ^b	1 038±65 ^b	313±59 ^a	1 895±92 ^d	859±31 ^d	6.2±0.0 ^a	89.7±1.5 ^{abc}
	11.7	1 392±76 ^b	986±56 ^b	406±36 ^a	2 120±94 ^{abc}	1 134±52 ^a	6.1±0.1 ^{bc}	90.5±0.5 ^a
	16.8	1 439±86 ^{ab}	1 061±63 ^{ab}	379±40 ^a	2 046±84 ^{cd}	985±33 ^c	6.2±0.1 ^{ab}	89.3±1.8 ^{abc}
	27.9	1 541±91 ^{ab}	1 167±58 ^a	374±46 ^a	2 236±79 ^{ab}	1 069±28 ^{ab}	6.0±0.1 ^c	88.2±0.5 ^c

表 3 在小麦储藏期间全麦粉馒头质构特性变化

Table 3 Changes in texture property of whole wheat flour steamed bread during storage

仓号	月	硬度/g	黏着性(×1 000)	回复性(×100)	内聚性(×100)	弹性/mm	咀嚼性/mJ
17	3.6	4 026±85 ^b	58.7±4.2 ^a	27.1±1.2 ^{bc}	59.6±0.8 ^b	10.5±0.2 ^{abc}	246±10 ^b
	11.7	3 926±396 ^{abc}	96.3±56.3 ^{ab}	31.6±5.5 ^{abc}	62.1±2.3 ^{ab}	10.5±0.1 ^{ab}	249±19 ^{ab}
	16.8	3 824±233 ^b	64.6±9.8 ^a	30.9±2.2 ^a	63.0±1.2 ^a	10.7±0.1 ^a	253±8 ^b
	27.9	4 489±251 ^a	46.3±8.4 ^{ab}	26.5±0.7 ^c	59.7±1.1 ^b	10.4±0.2 ^{bc}	275±12 ^a
19	3.6	4 026±85 ^b	58.7±4.2 ^a	27.1±1.2 ^{bc}	59.6±0.8 ^b	10.5±0.2 ^{abc}	246±10 ^b
	11.7	3 732±187 ^c	30.9±18.3 ^{bc}	28.8±1.1 ^{ab}	62.8±1.3 ^a	10.4±0.1 ^b	238±15 ^b
	16.8	3 889±138 ^{bc}	50.4±21.4 ^{ab}	29.1±1.1 ^{ab}	60.9±1.0 ^{ab}	10.5±0.2 ^{abc}	244±11 ^b
	27.9	4 195±210 ^{ab}	24.2±2.2 ^c	28.1±3.2 ^{abc}	61.3±2.5 ^{ab}	10.2±0.1 ^c	264±11 ^{ab}

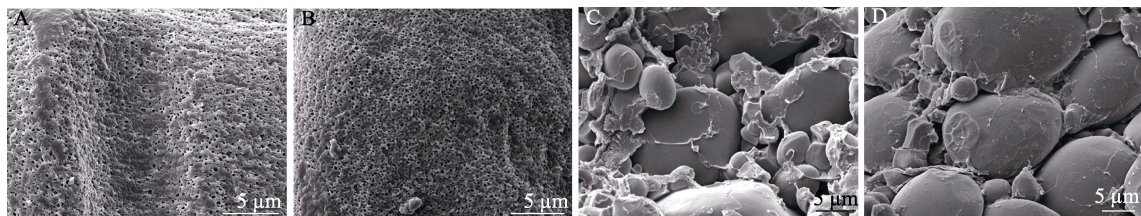


注：a,b,c,d,e,f 对热特性参数分别是糊化焓值、峰值温度、起始温度、结束温度、峰宽度及峰高度。a,b,c,d,e,f,g 对 RVA 测定的糊化特性参数分别是峰值粘度、最低粘度、衰减值、最终粘度、回生值、峰值时间、糊化温度；对质构特性参数分别是硬度、黏着性、回复性、内聚性、弹性、胶着性及咀嚼性。

Note: The thermal parameters of a, b, c, d, e, and f are gelatinization enthalpy, peak temperature, onset temperature, conclusion temperature, peak width and peak height, respectively. The pasting parameters of a, b, c, d, e, f, and g for RVA were peak viscosity, minimum viscosity, breakdown value, final viscosity, setback value, peak time and pasting temperature, respectively. The textural parameters are hardness, adhesiveness, resilience, cohesiveness, elasticity, stickiness and chewiness.

图 4 小麦储藏期间品质指标的主成分分析

Fig.4 Principal component analysis of quality indexes of wheat during storage



注：A. 17 号仓小麦横截面(5 000×), B. 19 号仓小麦横截面(5 000×), C. 17 号仓小麦纵截面(3 000×), D. 19 号仓小麦纵截面(3 000×)。

Note: A. Wheat cross-section in #17 warehouse (5 000×); B. Wheat cross-section in #19 warehouse (5 000×); C. wheat longitudinal-section in # 17 warehouse (3 000×); D. Wheat longitudinal-section in #19 warehouse (3 000×).

图 5 2023 年 10 月粮堆表层小麦籽粒样品的横截面和纵截面扫描电镜结构

Fig.5 Cross-section and longitudinal-section microstructure of wheat in bulk surface layer sampled at October 2023 with scanning electron microscopy

籽粒微观结构, 延缓品质劣变。

4 讨论

Strelec 等^[9]在奥西耶克大学将当地 3 个小麦品种包装在多层纸袋, 在 40 °C-RH 45%、4 °C-RH 45%、15 °C-RH 67% 3 种条件储藏 1 年, 与低温储藏比较, 高温储藏条件降低了过氧化物酶和多酚氧化酶活性, 却提高了降落数值和高级糖基化末端产物。干粮食在大型仓房实仓储藏期间控低温的主要目的, 是抑制储粮害虫生长发育和保持粮食营养和品质特性。本研究也显示, 在谷物粮堆过夏期间, 空调控温储藏会逐渐增加粮食水分从粮堆底层到表层的损失^[10], 优点是降低了粮堆籽粒间隙空气的 RH、含湿量及湿球温度, 有抑制储粮害虫生长发育的作用, 在理论上可以减少化学熏蒸作业药剂用量。高大平房仓小麦空调控温储藏对粮食品质的影响与常规储藏的对照仓样品比较, RVA 测定的糊化峰值粘度、衰减值、最终粘度略降低, 质构仪测定的馒头硬度、黏着性、弹性、咀嚼性略降低, 表明小麦品质指标在两年半储藏期间被很好地保持。扫描电镜观察到空调控温仓小麦籽粒横截面致密、微孔均匀; 大淀粉颗粒之间的小淀粉粒少一些, 进一步说明小麦空调控温储藏有利用保持籽粒内部微观结构。

5 结论

在高大平房仓小麦粮堆两年过夏期间, 空调控温 (设定在 25 °C) 储藏技术降低了粮堆表层温度 3.4 °C, 进而降低整个粮堆籽粒间隙空气的 RH、含湿量及湿球温度, 有利于抑制储粮害虫的生长发育。

空调控温储粮技术能够有效地保持小麦籽粒内部微观结构, 保持热特性、RVA 糊化参数、质构特性参数等品质指标, 延缓品质劣变。

参考文献:

- [1] 展海军, 李建伟, 金华丽, 等. 小麦储藏期间品质变化的研究[J]. 郑州工程学院学报, 2002, 23(2): 41-43.
ZHAN H J, LI J W, JIN H L, et al. A study on the changes in wheat quality during storage[J]. Journal of Zhengzhou Engineering College, 2002, 23(2): 41-43.
- [2] 柏九菊. 小麦储藏期间品质指标分析[J]. 粮油仓储科技通讯, 2004(2): 47-49.
BO J J. Analysis of wheat quality indexes during storage[J]. Scientific Communication for Grain and Oil Storage, 2004(2): 47-49.
- [3] HU H, QIU M M, QIU Z Z, et al. Variation in wheat quality and starch structure under granary conditions during long-term storage[J]. Foods, 2023, 12, 1886.
- [4] PETER M V, POPA M E. Effect of storage conditions on wheat quality parameters-a review[J]. Scientific Bulletin Serices F Biotechnologies, 2020, XXIV(2): 25-30.
- [5] EI-KHOLY M M, KAMEL R M. Performance analysis and quality evaluation of wheat storage in horizontal silo bags[J]. International Journal of Food Science, 2021: 1248391.
- [6] KHALID A, HAMEED A, TAHIRMF. Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality[J]. Frontiers in Nutrition, 2023, 10: 1053196.
- [7] 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 in protein and amino acids content during post-maturation of newly-harvested wheat[J]. Journal of Chinese Association of Grains and Oils, 2010, 25(2): 23-30.
- [8] 赵乃新, 马志强, 王乐凯, 等. 小麦储藏过程中品质性状变化规律分析[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(4): 67-70.
ZHAO N X, MA Z Q, WANG L K, et al. Analysis on the change of quality characters of wheat during storage[J]. Journal of Wheat Crops, 2004, 24(4): 67-70.
- [9] STRELEC I, MRŠA V, SIMOVIC D S, et al. Biochemical and quality parameter changes of wheat grains during one-year storage under different storage conditions[J]. Sustainability, 2024, 16: 1155.
- [10] GAO G B, CAO Z Y, LI X J, et al. Changes in intergranular air properties and processing quality of paddy stored in a large cooled warehouse[J]. Applied Food Research, 2023, 100298. 