DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.01.017
谭晓雨，丁玉琴，丁明军，等. 准低温条件下不同含水量玉米储存品质和微观结构变化[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(1): 129-138.
TAN X Y, DING Y Q, DING M J, et al. Study on storage quality change and microstructure of maize with different moisture content under quasi-low temperature[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(1): 129-138.

准低温条件下不同含水量玉米储存品质和微观结构变化

谭晓雨[1,3]，丁玉琴[1]，丁明军[2]，张忠杰[3,4]，尹　君[3,4]✉

（1. 中南林业科技大学 食品科学与工程学院，湖南 长沙 410000；
2. 保定市粮油质量检测中心，河北 保定 071000；
3. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食储运研究所，北京 100037；
4. 粮食储运国家工程研究中心，北京 100037）

摘　要：玉米因富含营养物质、自身胚部大，易受到虫霉等侵染，造成其品质劣变，因此玉米保质保鲜储存具有一定的挑战，为此需要明晰玉米的储存品质规律与变化。以初始含水量分别为13.04%、14.03%、14.99%玉米为研究对象，以常温储藏环境（25 ℃）为对照研究在温度 20 ℃准低温储存期间玉米的容重、脂肪酸值、发芽率、霉菌活动等品质与安全指标变化规律及玉米籽粒微观结构变化。实验结果表明：在 20 ℃下，三个不同初始含水量的玉米的发芽率、脂肪酸值、容重较 25 ℃储存环境下变化均较慢，均处于宜存范围。真菌孢子数随储存时间延长而急剧上升，且与玉米初始水分含量具有显著性相关，即 14.99%的玉米储存至 120 d，真菌孢子数量级别已达到严重危害程度，13.04%、14.03%、14.99%玉米的安全储存期分别为 180 d、180 d 和 100 d。储存期间的玉米微观结构发生了渐变，即表面由平滑整齐变为凹凸褶皱，淀粉颗粒排列由结构紧密逐渐变为稀疏无序。由此可知，玉米在（准）低温储存条件下，储存时间和初始含水量是影响玉米储存品质和微观结构变化的主要因素。研究结果为实现玉米产后保质减损提供新的视角。

关键词：玉米；准低温储藏；品质储存；微观结构

中图分类号：TS210.1；S-3　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1007-7561(2024)01-0129-10

Study on Storage Quality Change and Microstructure of Maize with Different Moisture Content under Quasi-low Temperature

TAN Xiao-yu[1,3], DING Yu-qin[1], DING Ming-jun[2], ZHANG Zhong-jie[3,4], YIN Jun[3,4]✉

(1. School of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410000, China; 2. Baoding Grain and Oil Quality Testing Center, Baoding, Hebei 071000, China; 3. Institute of Grain Storage and Logistics, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China; 4. National Engineering Research Centre for Grain Storage and Logistics, Beijing 100037, China)

收稿日期：2023-07-10
基金项目：中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(JY2210)
Supported by: Fundamental Research Funds of the Central Research Institutes (No.JY2210)
作者简介：谭晓雨，女，1998 年出生，在读硕士生，研究方向为粮食干燥、储藏工艺。E-mail: 1620685505@qq.com
通讯作者：尹君，女，1980 年出生，博士，副研究员，研究方向为节能环保干燥技术。E-mail: yjun@ags.ac.cn

Abstract: Corn is abundant in carbohydrate, protein, carbohydrates and other nutrients. However, because of its large embryo, it is easy to be infected by microorganisms and insects, which leads to the deterioration of corn quality. Therefore, the quality preservation and storage of corn is a challenge. So it is necessary to clarify the rule and change of corn storage quality. Corns with initial water content of 13.04%, 14.03% and 14.99% were taken as reasearch objects in this paper. During storage between 70% relative humidity and 20 ℃ (quasi-low temperature environment) , the changes laws of quality indexes such as bulk density, fatty acid value, germination rate, mold activity and microstructure of corn grain were studied emphatically. Otherwise changes of storage quality of corn at 70% relative humidity and 25 ℃ (room temperature environment) were compared. Therefore it can provide reference for safe storage of high-quality corn. The results demonstrated that the germination rate, fatty acid value and bulk density of corn under 20 ℃ were slower than those under 25 ℃. And they were in the suitable storage range in accordance with the national standard. The number of fungal spores increased sharply with the prolonged storage time. Meanwhile it showed significant correlation with the initial moisture content of corn. In other words, the number of fungal spores for corn under 14.99%w.b was stored for 120 d, and the safe storage periods of corn under 13.04%w.b, 14.03%w.b and 14.99%w.b were 180 d, 180 d and 100 d, respectively. The microstructure of corn kernel changed gradually during storage. It means the appearance changed from smooth and tidy to concave and convex folds. Furthermore, the arrangement of starch granules changed from tight structure to sparse and disordered structure. The main factors of corn quality and microstructure change were corn initial water content and storage time, during storage at quasi-low temperature environment. So the change laws of corn storage quality with different water content were explored, so as to provide new research perspective for maize post-harvest to reduce loss and guarantee qualtiy.

Key words: corn; quasi low temperature storage; storage quality; microstructure

玉米作为我国重要的战略储备物资之一，种植区域分布广，产量逐年稳中上升，储备总量也随之增加[1]。据农业信息中心统计，我国玉米的主要消费途径是饲料、淀粉工业、酒精工业、口粮。玉米作为口粮的比例在逐年下降，作为饲料和工业原料的比重则逐年增加[2]。

与其他粮种相比而言，玉米因其胚部大，几乎占全籽粒体积的三分之一，占全粒重量的10%~15%；其呼吸强度大，吸湿性强，带菌量大，含有丰富的营养物质，容易酸败，故玉米是不易储存的粮种之一，即储存稳定性较差[3]。

东北地区是玉米的主要产区之一，由于地理和气候的原因，玉米通常收获时谷物水分含量高。含水量是影响玉米安全储存的重要因素之一。玉米籽粒水分含量越高，其呼吸作用越强，真菌孢子等也更易于繁衍，从而加快了玉米品质劣变速率。曹俊[4]等提出控制玉米水分对安全储存有重要意义。张海洋[5]等通过对不同水分稻谷在不同温度下模拟储存研究发现，13.1%的水分含量是稻谷真菌生长临界的水分值。脂肪酸值受真菌生长的影响程度要大于水分含量和温度，水分含量13.1%以下的稻谷，没有真菌生长，脂肪酸值上升缓慢。水分含量 14.0%以上的稻谷，真菌生长加快，脂肪酸值上升速度加剧。发芽率受温度影响程度最大，低温储存可以抑制真菌生长保持稻谷品质。

低温储粮是通过一定的技术将粮食平均温度控制在 20 ℃（准低温储粮）或 15 ℃（低温储粮）的一种绿色储粮技术[6]。则玉米（准）低温储存可以减缓其呼吸强度和代谢速度，可减少或避免药剂熏蒸，最大限度的保持玉米的新鲜品质。在储存过程中，玉米易受到害虫和霉菌的侵染，发生品质变化，还会受到熏蒸剂等药剂污染。随着生活水平的不断提高，人们对绿色安全、品质优良、营养健康的粮油食品需求更为迫切。因此，实施绿色保质储粮措施是极其重要的。

本文以玉米在 25 ℃常温储存条件下的品质变化为对照。探究不同含水量的玉米在准低温的

储存环境下品质变化规律、籽粒水分及霉菌对储存品质的影响和微观结构的变化。为延长玉米储存时间提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

原始样品：玉米（京科 25 号）：2021 年收获于北京市平谷区。

样品处理：玉米样品的初始水分含量为 15.7%，过筛、除杂后，通过自然晾晒使玉米水分含量分别降到 13.04%、14.03%、14.99%，将样品密封于自封袋，置于 20 ℃、70% RH 恒温恒湿培养箱中储存，每 20 d 抽取样品并测定相关品质指标。

1.2 仪器与设备

HZ502A 型电子天平：慈溪红砖衡器设备有限公司；JSFM 型粮食水分磨：杭州绿博仪器有限公司；DGGGD-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱：上海森信实验仪器有限公司；ML104 型分析天平：梅特勒-拖利多仪器（上海）有限公司；CHCS-1000AP 电子容重器：辽宁赛亚斯科技有限公司；FSJ-II 锤式旋风磨：郑州中谷机械设备有限公司；Climacell 型恒温恒湿箱：艾立特生命科学（上海）有限公司；KZ-3B 型电热恒温振荡水槽：上海一恒科学仪器有限公司；E1010 型离子溅射仪、S-3000N 型扫描电子显微镜：日本日立公司。

1.3 实验方法

1.3.1 储存品质指标测定

水分测定根据 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》中直接干燥法测定；容重测定根据 GB/T 5498—2013《粮油检验 容重测定》的方法测定；脂肪酸值测定根据 GB/T 20570—2015《玉米储存品质判定规则》中的直接滴定法测定；真菌孢子数测定根据 LS/T 6132—2018《粮油检验 储粮真菌的检测 孢子计数法》的方法测定。

生活力测定采用 2,3,5-氯化三苯基四氮唑（TTC）染色法[7-8]，根据实验需要进行改进。即随机选取完整的玉米样品 100 粒，加入纯净水，室温下浸泡 2~6 h，用刀片将籽粒胚部切去一半，将每颗籽粒的一半分别置于两个洁净培养皿中以备用，将其中一半籽粒置于水中煮沸 5 min，杀死细胞，作为阴性对照，向含有籽粒的培养皿中加入 TTC 溶液，以全部浸没为度，放入 30~35 ℃的恒温箱内保温 0.5~1 h，倒出 TTC 染色液，用自来水冲洗 2~3 次，立即观察种子着染色情况。

1.3.2 籽粒微观结构测定

玉米籽粒表面和内部组织结构观察。从玉米样品中随机抽取 10 粒完整、外形一致的玉米籽粒，再从中选取 3 粒完整籽粒用扫描电子显微镜在 15 KV 电压下做平行观察。玉米籽粒内部组织结构的淀粉颗粒形态观察，用解剖刀沿玉米顶端 1 mm 处及尾部 1 mm 处横切去两端，选择靠近玉米糊粉层的胚乳淀粉进行观察[9]，每个处理 3 次重复。将处理好的玉米样品用导电胶固定在样品盘，用离子溅射仪对样品进行喷金，分别在 1 000 倍和 5 000 倍下观察玉米籽粒的表面形态和淀粉颗粒组织结构。

1.4 数据处理

采用 Excel、Origin、SPSS 软件处理实验数据。

2 结果与分析

2.1 容重的变化

容重受籽粒的饱满程度、质量、形状、含水量、杂质、外界环境等多因素影响，它是描述玉米品质等级的关键指标之一。渠琛玲[10]等探究认为玉米的容重与含水量和营养品质密切相关，含水量越高，玉米容重越低，营养成分（如蛋白质和淀粉）含量越高，容重越高。在玉米实仓储存中，营养物质的变化是影响容重变化主要因素之一，如图 1a 所示，在 20 ℃储存环境下，13.04%、14.03%、14.99%的玉米容重分别降低了 10、14、19 g/L，如图 1b 所示，在 25 ℃储存环境下，13.04%、14.03%、14.99%分别降低了 10、19、32 g/L。随着储存时间的延长，玉米容重均呈下降趋势，且水分越高，容重下降的幅度越大，与吴丽丽[11]的研究结果一致。温度较高的环境下，在储存过程中高水分玉米的呼吸作用和代谢作用加快，则玉米的有机物质的消耗，营养成分的分解和含量的下降，是容重下降的主要原因。

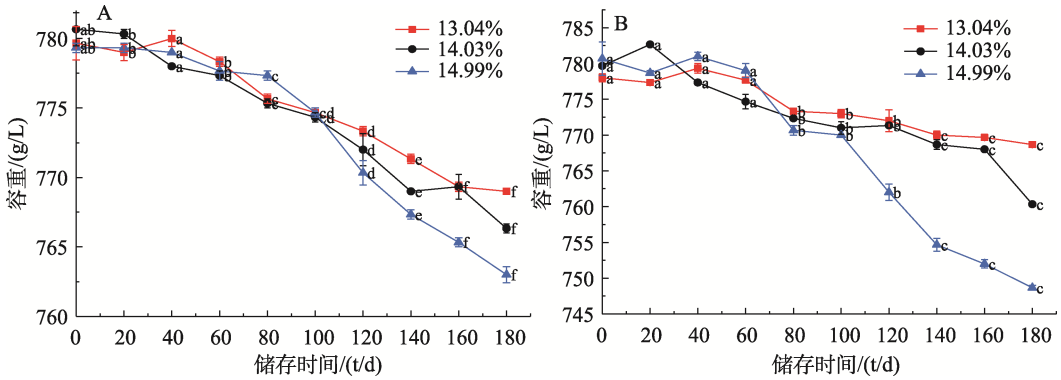
2.2 生活力的变化

不同含水量的玉米在储存过程中生活力的变化由图 2 可知，玉米储存前均有较高的生活力，随着储存时间的增长呈现下降的趋势。从实验数据中可以看出，含水量越高的玉米生活力下降速度越快。如图 2a 所示，在 20 ℃的储存条件下，13.04%、14.03%和 14.99%的玉米生活力分别下降了 3%、4%和 5%；在 25 ℃的储存条件下（如图 2b），13.04%、14.03%和 14.99%的玉米生活力分别下降了 4%、6%和 9%。准低温储存条件下玉米生活力的变化幅度较常温储存环境下的玉米生活力较小，在储存过程中，温度越高，随着含水量的升高，玉米生理活动会呈现上升趋势，即生命活动力旺盛，呼吸强度加大，且自身糖类等代谢活动会产生乙醛等毒性物质，储存时间的延长降低了降解乙醛等毒性物质的酶活力，造成玉米活力的降低。玉米在准低温条件下，呼吸作用和自身糖类等代谢作用减慢，则玉米可较长时间保持高活力[12]。

2.3 脂肪酸值含量的变化

玉米储存过程中，玉米水分含量较低的玉米由于微生物活动较少，因此以氧化为主，水分含量高的玉米由于活跃的微生物作用，使得脂肪的变化以水解作用为主，在这一过程中，甘油被微生物消耗，而脂肪酸则在玉米籽粒中积累。其含量和储存品质成正相关。

脂肪酸值是玉米储存品质判定的关键指标之一。由图 3 可知，三个不同含水量的玉米脂肪酸值呈现出随时间上升的总趋势，根据 GB/T 20570—2015 判定准则，在 180 d 的储存期中，三个不同含水量的玉米样品均不大于 65（KOH/干基）mg/100 g，处于宜存范围内。在准低温储存环境下脂肪酸值的变化如图 3a 所示，13.04%、14.03%、14.99%的玉米脂肪酸值分别增加了 12.93、15.84、21.2（KOH/干基）

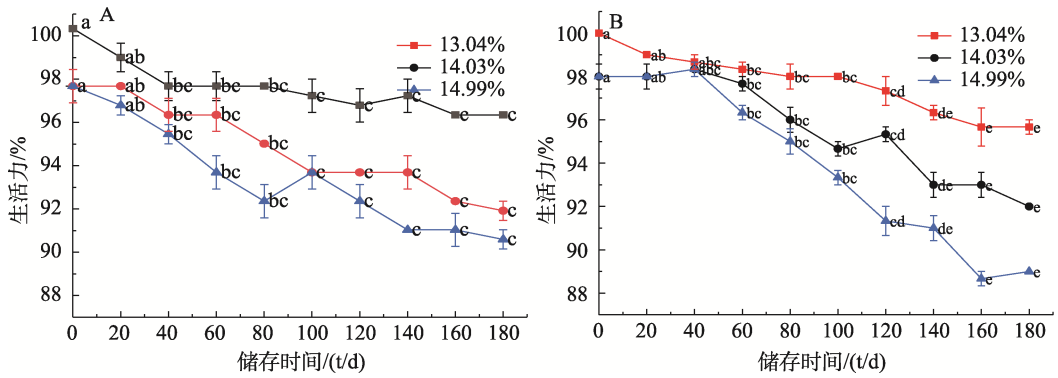


注：A 为 20 ℃；B 为 25 ℃。不同小写字母代表数据间有显著差异（$P<0.05$），下同。

Note: A: 20 ℃; B: 25 ℃. Different lowercase letters represent significant differences between data ($P<0.05$), the same below.

图 1 不同含水量的玉米容重变化

Fig.1 Changes of bulk density of maize with different water content



注：A 为 20 ℃；B 为 25 ℃。

图 2 不同含水量的玉米生活力变化

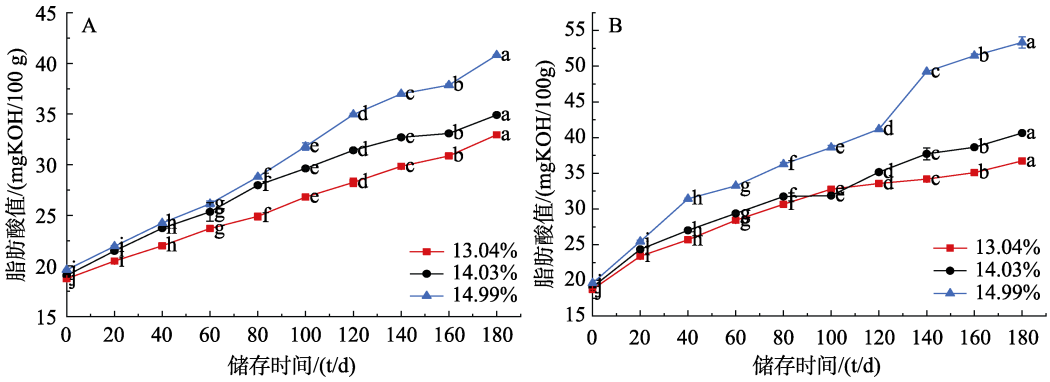
Fig.2 Changes of maize viailitywith different water content

mg/100 g，由图 3b 可知在常温储存环境下不同含水量的玉米脂肪酸值的变化情况，13.04%、14.03%、14.99%的玉米脂肪酸值分别增加了 18、21.57、33.72 （KOH/干基）mg/100 g，脂肪酸值的增加速度与玉米含水量成正相关，对玉米的脂肪酸值有显著性影响，水分含量越高，水解和氧化作用越明显，所以高水分样品脂肪酸值增长比较快。所以含水量高的玉米样品脂肪酸值的上升速度快和幅度大，但在准低温储存条件下的玉米脂肪酸值总体增加较慢，因低温可以降低玉米的呼吸强度和脂肪酶的活性，从而抑制脂肪分解成游离脂肪酸，延缓脂肪酸值的上升速度。

2.4 真菌孢子数的变化

玉米因其胚部大和营养物质丰富，在田间收获和存储过程中均易受微生物侵染，谷物的霉菌大多属于丝状真菌，它们产生孢子进行繁殖，谷物中孢子的数量可以反映霉菌的生长情况，霉菌的孢子具有较强的抗逆性，对环境的适应能力强，比霉菌的数量更容易生长[13]。

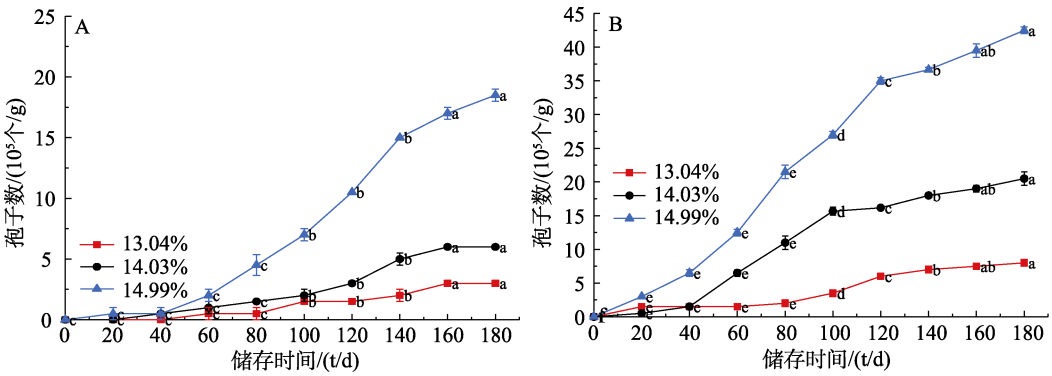
根据 LS/T 6132—2018 储粮安全性评价级别参考表，结果见图 4a，13.04%、14.03%、14.99%储存至 180 d 和 14.99%储存至 100 d 时，玉米储存状况均处于临界状态，真菌孢子数的检出量为 10^5 个/g，经显微观察，此阶段的优势真菌为灰绿曲霉，且它对玉米储存品质的危害影响较小[14]。14.99%的玉米储存至 120 d，真菌孢子数的检出量就达到 10^6 个/g，达到了危害的级别。与图 4b 相比，25 ℃的条件下 13.04%、14.03%、14.99%分别储存至 180 d、60 d、40 d 内玉米真菌孢子均处于临界状态；14.03%、14.99%储存至 80 d、60 d 时，玉米的真菌孢子数的检出量为 10^6 个/g，对储粮安全性造成严重的影响。在同一储存温度，随



注：A 为 20 ℃；B 为 25 ℃。

图 3 不同含水量的玉米脂肪酸值变化

Fig.3 Changes of fatty acid value of maize with different water content



注：A 为 20 ℃；B 为 25 ℃。

图 4 不同含水量的玉米真菌孢子数变化

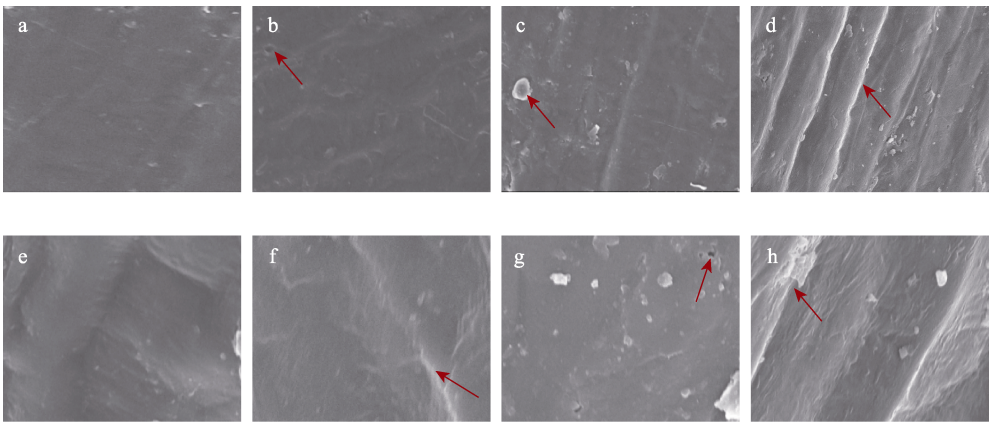
Fig.4 Changes in spore number of maize fungi with different water content

着水分的升高，真菌孢子数增长越迅速，引起玉米品质的劣变速度加快，高水分的玉米真菌孢子数的增加量超过宜存范围，因此为保证储粮的安全，高水分需降低水分至安全水平，减少霉菌的生长。

2.5 玉米籽粒表面微观结构变化

对 20 ℃的储存条件下不同含水量的玉米储存至 0、60、120、180 d 的样品分别放大 1 000 倍和 5 000 倍数进行玉米微观结构观察。

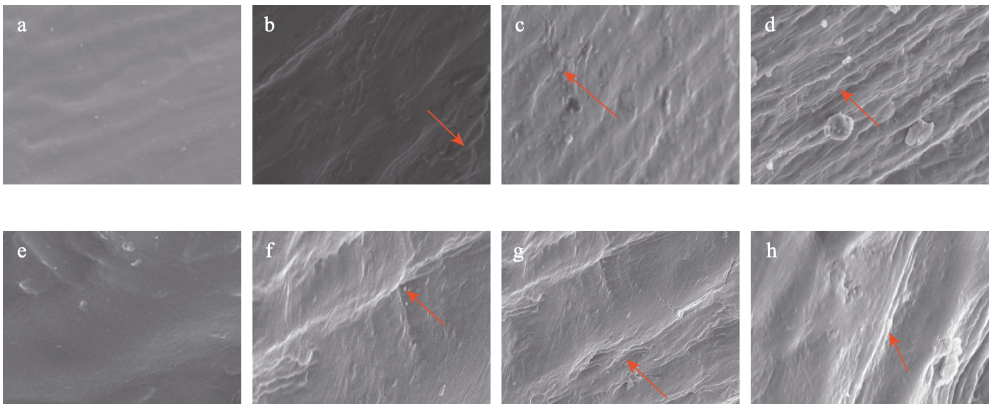
由图 5~7 所示，图 5a、5e、6a、6e、7a、7e 分别为不同含水量的玉米储存前放大 1 000 倍和 5 000 倍玉米籽粒的表面结构图，表面较平整光滑，无明显褶皱、无凹陷；玉米表面随着储存时间增加而出现了明显差别，玉米表层网状结构出现了显著变化。不同含水量的玉米储存至 60 d 的 1 000 倍（如图 5b、6b、7b 所示）扫描电镜玉米表面图，玉米表面产生轻微的褶皱，较 0 d 的玉米表面差异不大；放大至 5 000 倍（如图 5f、6f、7f 所示），表面开始变得不光滑平整，有褶皱。储存至 120 d 时扫描电镜下 1 000 倍图像（如图 5c、6c、7c 所示），表面褶皱增多，粗糙，网状结构更为明显；当放大至 5 000 倍（图 5g、6g、7g）与储存至 60 d（图 5f、6f、7f）相比，出现明显的褶皱和微孔。储存至 180 d 时（如图 5d、6d、7d），扫描电镜 1 000 倍下观察网状结构更加明显，放大至 5 000 倍观察（如图 5h、6h、7h），褶皱增多，凹凸不平整。推测在储存过程中玉米水分含量减少，造成籽粒干扁，表皮粗糙，表面皱缩[15]。不



注：a、b、c、d 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 1 000 倍扫描电镜图；e、f、g、h 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 5 000 倍扫描电镜图。

图 5 不同储存时间的 13.04%玉米籽粒表面结构图

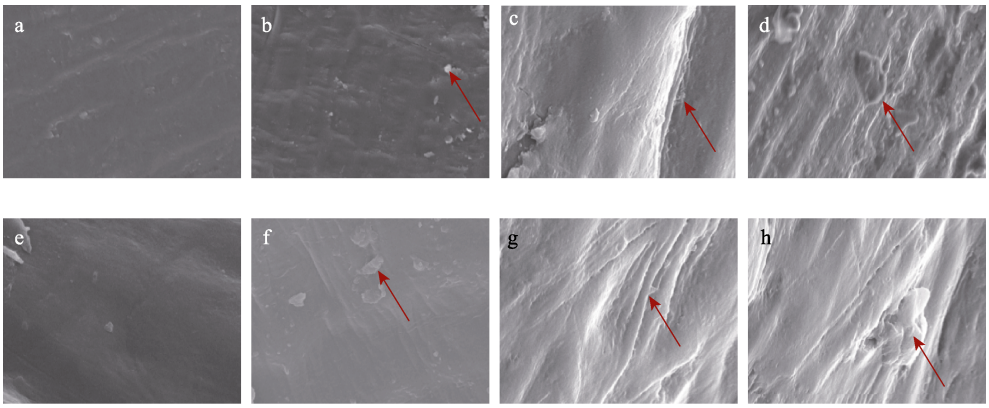
Fig.5 The appearance structure of 13.04% corn grains with different storage times



注：a、b、c、d 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 1 000 倍扫描电镜图；e、f、g、h 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 5 000 倍扫描电镜图。

图 6 不同储存时间的 14.03%玉米籽粒表面结构图

Fig. 6 The appearance structure of 14.03% corn grains with different storage times



注：a、b、c、d 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 1 000 倍扫描电镜图；e、f、g、h 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 5 000 倍扫描电镜图。

图 7　不同储存时间的 14.99%玉米籽粒表面结构图

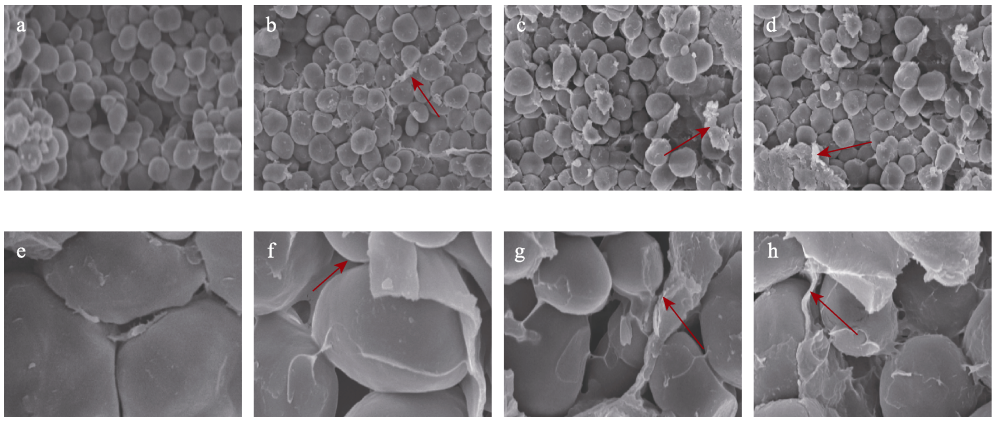
Fig. 7　The appearance structure of 14.99% corn grains with different storage times

同的储存条件对玉米表面结构都有一定的影响；含水量越高在储存过程中，玉米表面结果的变化越明显。

2.6　玉米籽粒淀粉颗粒微观结构变化

谷类作物胚乳含有丰富的淀粉，颗粒状态的大小和排列形式的紧密度，影响了淀粉品质[16]。马秀凤研究表明玉米籽粒淀粉形态与基质蛋白和可溶性糖等物质的结合程度与籽粒的品质具有相关性[17]，新鲜玉米淀粉颗粒呈多面体形，其中部分未成熟颗粒呈球形，排列整齐，嵌在其中的蛋白质层，新鲜玉米淀粉颗粒大小不一、多呈圆形或椭圆形，表面较光滑，无凹陷[18]。

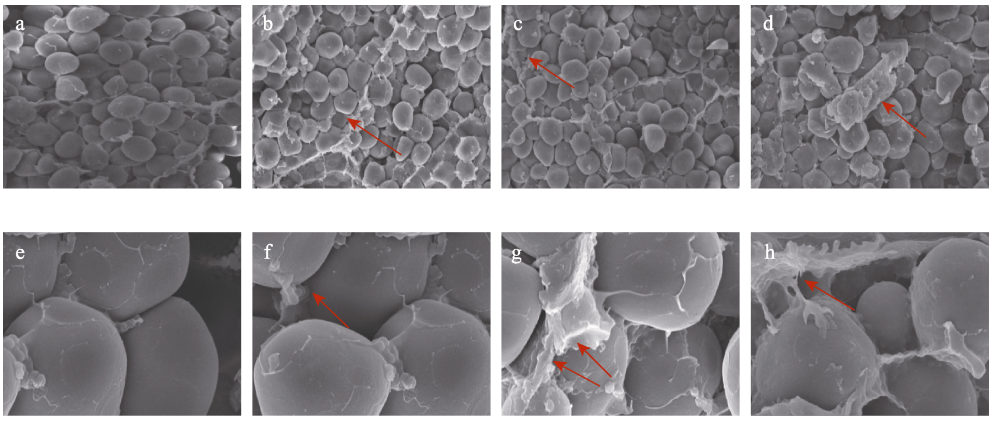
从图 8~10 各水分玉米籽粒淀粉颗粒扫描电镜对比图，图 8a、8e、9a、9e，10a、10e 分别为不同含水量的玉米储存前（0 d）放大 1 000 倍和 5 000 倍的玉米籽粒淀粉颗粒的扫描电镜图，可以清晰的看到玉米籽粒的淀粉颗粒饱满，排列整齐、结构紧密，只有零星的基质蛋白穿插其中，淀粉颗粒与基质蛋白紧密相连。储存至 60 d 时，在 1 000 倍的扫描电镜观察下如图 8b、9b、10b 所示，不同含水量的玉米淀粉颗粒间的基质蛋白比 0 d 略多，淀粉颗粒表面开始出现些许棱，但总体较 0 d 没有明显的变化，在 5 000 倍观察下，如图 8f、9f、10f 所示，玉米淀粉颗粒间基质蛋白增多。储存至 120 d 时，在 1 000 倍的扫描电镜观察下如图 8c、9c、10c 所示，淀粉颗粒表面出现了不光滑平整的变化，胚乳细胞复合淀粉体开始裂解并泄漏出内部的小淀粉颗粒，且小淀粉颗粒增多，颗粒间的基质蛋白增多。在 5 000 倍的扫描电镜观察下，如图 8g、9g、10g 所示，淀粉颗粒与基质蛋白之间出现间隙，且含水量越高，间隙越大。储



注：a、b、c、d 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 1 000 倍扫描电镜图；e、f、g、h 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 5 000 倍扫描电镜图。

图 8　不同储存时间的 13.04%玉米淀粉颗粒微观结构

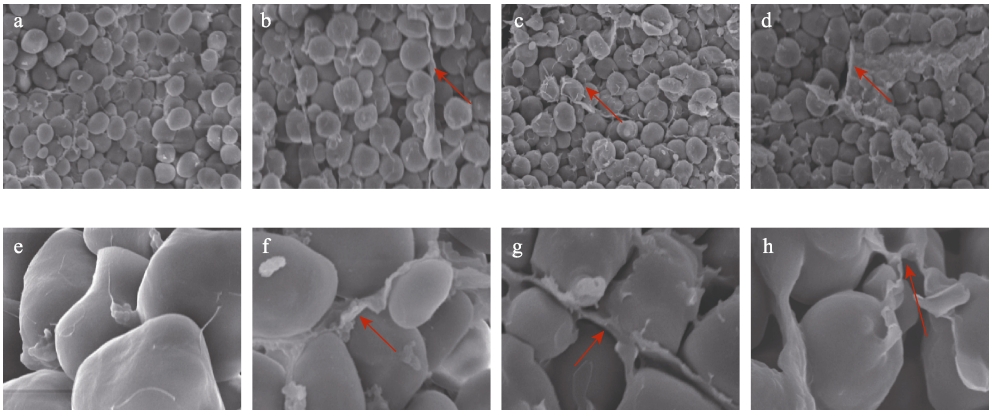
Fig.8　Microstructure of 13.04% corn starch particles with different storage times



注：a、b、c、d 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 1 000 倍扫描电镜图；e、f、g、h 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 5 000 倍扫描电镜图。

图 9　不同储存时间的 14.03%玉米淀粉颗粒微观结构

Fig.9　Microstructure of 14.03% corn starch particles with different storage times



注：a、b、c、d 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 1 000 倍扫描电镜图；e、f、g、h 为 0 d、60 d、120 d 和 180 d 的 5 000 倍扫描电镜图。

图 10　不同储存时间的 14.99%玉米淀粉颗粒微观结构

Fig.10　Microstructure of 14.99% corn starch particles with different storage times

存至 180 d，在 1 000 倍观察下如图 8d、9d、10d 所示，淀粉颗粒形状大小不均，排列无规则，不规则填充物明显增加，淀粉颗粒与基质蛋白的间隙变大，当扫描电镜放大至 5 000 倍如图 8h、9h、10h，玉米淀粉颗粒结合松散，甚至出现断裂。14.99%水分含量的玉米淀粉颗粒较 13.04%和 14.03%的玉米变化更明显，淀粉颗粒受到的损伤更大。故玉米的含水量和储存时间对淀粉颗粒的形态结构有明显的影响。

在玉米在储存期间，主要由淀粉提供养分维持生命活动，淀粉有利于霉菌寄生；微生物生长需消耗营养物质，且霉菌分泌胞外酶，降解玉米中淀粉等营养物质[19]。随着储存时间的延长，水解酶和淀粉酶活性加强，玉米淀粉含量减少；且淀粉分子的酶解作用降低了玉米淀粉颗粒的完整性，受损的淀粉颗粒数量增加[20]。

3　结论

以 25 ℃、70%RH 的储存条件为对照，研究玉米在准低温储存环境下主要储存品质指标变化规律。结果表明，玉米在准低温储存环境下经过 180 d 的储存，容重和发芽率逐渐下降，但相比储存于 25 ℃的环境下变化幅度较小，13.04%、14.03%、14.99%的玉米容重分别降低了 10、14、19 g/L，生活力分别降低 3%、4%、5%。脂肪酸值随着储存时间的延长而增大，水分含量越高脂肪酸值增值幅度越大和上升速率越快，但仍在宜存范围内。水分含量是影响储存期玉米霉菌活动的主要因素，玉米真菌孢子数随着储存时间的延长而增加，且根据标准判定 13.04%、14.03%玉米

的安全储存期为 180 d、14.99%玉米的安全储存期为 100 d;两个含水量较低的玉米可安全度过 180 d。玉米表面和淀粉颗粒的微观结构在储存过程中受到一定程度的破坏，表面微观结构由平滑整齐变为凹凸褶皱；淀粉颗粒由结构紧密逐渐变为稀疏无序，水分含量越高，变化越明显。因此，在（准）低温储存下，玉米储存时长和水分含量对玉米的品质和微观结构有重要影响。

本实验采用玉米准低温储存和常温储存方法相对照，通过控制储存温度和初始水分含量两个主要因素，研究了其对玉米储存品质指标和微观结构变化的影响，剖析了玉米储存多品质变化规律，为玉米绿色储存技术提供了数据基础和实践指导。

在本研究中发现，真菌孢子数与其它品质指标的变化差异较大，所以只通过某一个指标单独评价玉米储存品质是不客观的，应采取综合评价。虽然在准低温条件下玉米的发芽率、脂肪酸值等指标均在宜存范围内，但是高水分的玉米真菌孢子数检出量在 120 d 就对玉米安全储存产生严重的影响。因此在玉米储存前应控制玉米含水量保持在安全范围内，防止玉米在储存过程中的霉变、虫害等，保持玉米品质，延长储存时间。

参考文献：

[1] 胡元森, 段永康, 王改利, 等. 不同储藏年限玉米主要品质变化研究[J]. 农业机械, 2011(8): 64-67.
HU Y S, UAN Y K, WANG G L, et al. Main quality change of maie stored in consecutive period of years[J]. Farm Machinery, 2011(8): 64-67.

[2] 蔺宏艳. 我国玉米生产现状及策略研究[J]. 农家参谋, 2018(8): 76.
LIN H Y. Current situation and strategy of maize production in China[J]. The Farmers Consultant, 2018(8): 76.

[3] 高文迪, 董光宇, 唐守凯, 等. 氮气气调储藏玉米的发展[J]. 北京农业, 2015(15): 305.
GAO W D, DONG G Y, TANG S K, et al. Development of nitrogen gas regulating and storage of corn[J]. Beijing Agriculture, 2015(15): 305.

[4] 曹俊, 陈银基, 蒋伟鑫, 等. 玉米水分控制与储藏技术[J]. 粮油仓储科技通讯, 2015, 31(4): 13-19.
CAO J, CHEN Y J, JIANG W X, et al. Techniques for moisture control and storage of maize[J]. Scientific Communication for Grain and Oil Storage, 2015, 31(4): 13-19.

[5] 张海洋, 欧阳毅, 祁智慧, 等. 稻谷储存水分和温度对真菌生长和稻谷主要品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(2): 39-43.
ZHANG H Y, OU Y Y, QI Z H, et al. Effects of rice storage water and temperature on fungal growth and main rice quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2017, 25(2): 39-43.

[6] 韩越, 胡月英. 低温储粮技术的研究现状与思考[J]. 粮油仓储科技通讯, 2019, 35(6): 30-34.
HAN Y, HU Y Y. The research status and thinking of low-temperature grain storage technology[J]. Liangyou Cangchu Keji Tongxun, 2019, 35(6): 30-34.

[7] 宋志刚, 赵曙国, 郭成亮, 等. 玉米发芽率快速检测方法的研究[J]. 检验检疫科学, 2003, 13(4): 37-41+47.
SONG Z G, ZHAO S G, GUO C L, et al. Study on the rapid detection method of the germination rate in maize[J]. Inspection and Quarantine Science, 2003, 13(4): 37-41+47.

[8] 王若兰, 马良, 梁竣祺. 高温储藏玉米品质变化研究[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(1): 98-101.
WANG R L, MA L, LIANG J Q. Study on storage quality of maize under high temperature[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2015, 23(1): 98-101.

[9] 李瑞敏, 张忠杰, 姚渠, 等. 冷等离子处理对玉米籽粒外观及结构的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(11): 1-11.
LI R M, ZHANG Z J, YAO Q, et al. Effect of cold plasma treatment on corn kernel appearance and structure[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(11): 1-11.

[10] 渠琛玲, 万立昊, 李慧, 等. 玉米霉变程度与敏感品质变化关系研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(11): 76-80.
QU C L, WAN L H, LI H, et al. Relationship between the degree of maize mildew and the changes of sensitive quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(11): 76-80.

[11] 吴丽丽. 玉米籽粒容重相关性分析[J]. 现代农村科技, 2012, (6): 62-63.
WU L L. Correlation analysis of maize grain bulk density[J]. Modern Rural Science and technology, 2012, (6): 62-63.

[12] 张玉荣, 贾少英, 周显青. 糙米储藏陈化过程中生理生化指标变化特性[J]. 农业工程学报, 2011, (9): 375-380.
ZHANG Y R, JIA S Y, ZHOU X Q. Changing characteristic of physical and chemical indices during brown rice storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, (9): 375-380.

[13] 陈梓豪. 稻谷储藏品质变化规律及预测模型的研究[D]. 湖南: 中南林业科技大学, 2022: 17.
CHEN Z H. Study on the changing law of rice storage quality and the prediction model[D]. Hunan: Central South University of Forestry and Technology, 2022: 17.

[14] 欧阳毅, 祁智慧, 李春元, 等. 玉米储藏真菌早期预测的研究

[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(5): 52-55.
OU Y Y, QI Z H, LI C Y, et al. Early prediction of fungus hazard during com storage[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2017, 25(5): 52-55.

[15] 刘爽. 不同储藏时间三大主粮品质特性变化研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2017: 43.
LIU S. Study on the change of quality characteristics of three main staple grain in different storage time[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2017: 43.

[16] 陆大雷, 郭换粉，董策, 等. 生长季节对糯玉米淀粉粒分布和热力学特性的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1998-2003.
LU D L, GUO H F, DONG C, et al. Starch granule size distribution and thermal properties of waxy maize cultivars in growing seasons[J]. The Crop Jouranal, 2010, 36(11): 1998-2003.

[17] 马秀凤. 不同胚乳类型玉米籽粒超微结构、品质及配合力比较研究[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2016: 31.
MA X F. Comparative study on ultrastructure, quality and combining ability of differenten do sperma type maize grain[D]. Shanxi: Northwest A&F University, 2016: 31.

[18] WANG S Q, WANG L L, FAN W H, et al. Morphological analysis of common edible starch granules by scanning electron microscopy[J]. Food Science, 2011, 32(15): 74-79.

[19] 张明丹. 不同储藏温湿度对玉米品质特性的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021: 41.
ZHANG M D. Effects of different storage temperature and humidity on quality characteristics of maize[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021: 41.

[20] 梁停停, 任凤芸, 刘则学. 玉米不同储存期淀粉含量和结构特性的变化[J]. 养猪, 2021, (3): 22-24.
LIANG T T, REN F Y, LIU Z X. Analysis on the changes of starch content and structure characteristics of corn in different storage periods[J]. Swine Production, 2021, (3): 22-24.

备注：本文的彩色图表可从本刊官网（http//lyspkj.ijournal.cn）、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。