

Study on the Change of Bulk Density of Corn after Drying and Its Mechanism

Liying Qin¹ Xiaoliang Huo²

1. Central Reserve Grain Hunchun Directly-Administered Warehouse Co., Ltd., Yanbian, Jilin, 133300, China

2. COFCO Jilin Quality Inspection Center Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract

As a major food crop in China, the quality stability of corn during storage is crucial. Bulk density serves as a key indicator for assessing corn grade and processing suitability. This study investigates the temporal variation patterns and underlying mechanisms of different initial bulk densities of dried corn kernels under identical and varying temperature conditions. Using corn samples divided into five bulk density segments (above 760 g/L, 759–750 g/L, 749–740 g/L, 739–730 g/L, and 729–720 g/L), low-temperature drying technology was employed. Bulk density measurements were conducted at 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 27, and 28 days post-drying. Results demonstrate that under identical temperature conditions and with similar levels of imperfect kernels and impurities, the bulk density differences among corn samples with varying initial densities exhibited distinct temporal variations. The high-density segment (above 760 g/L) showed significant fluctuations (5–13 g/L), with minor initial variations but pronounced mid-to-late period fluctuations. The medium-density segments (750–759 g/L and 730–739 g/L) exhibited stable performance with minimal fluctuations. The medium-density segment (740–749 g/L) demonstrated a more pronounced initial decline compared to the later period. The low-density segment (720–729 g/L) showed minimal initial changes, followed by a gradual increase in mid-period differences and a subsequent decrease. These phenomena are attributed to factors such as initial grain quality, corn structure, moisture distribution, and environmental conditions. This study has direct application value to guide the storage practice of corn, reduce post-harvest loss and improve economic benefits. It is expected that this study can serve the majority of grain workers and contribute to the sustainable development of China's grain industry.

Keywords

corn, drying, bulk density, storage time, quality change, temperature change

玉米烘干后容重变化规律及其机理研究

秦丽莹¹ 霍晓亮²

1. 中央储备粮珲春直属库有限公司, 中国·吉林 延边 133300

2. 中储粮吉林质检中心有限公司, 中国·吉林 长春 130000

摘要

玉米作为我国主要粮食作物, 其储藏期间的品质稳定性至关重要。容重是衡量玉米等级和加工适用性的重要指标。本文探讨了烘干后玉米籽粒在同一温度 and 不同温度条件下, 不同初始容重随时间变化规律及内在机理, 以 5 个容重分段 (760 g/L 以上、759–750 g/L、749–740 g/L、739–730 g/L、729–720 g/L) 的玉米为研究对象, 采用低温烘干技术, 在烘干后 1、2、3、4、5、6、11、12、27、28 d 进行容重测定, 结果表明, 在同一温度下, 不完善粒、杂质含量相差不大的情况下, 烘干后不同初始容重的玉米, 在不同时间段内, 容重差值变化不同。760 以上 (高容重段): 差值范围大, 波动剧烈, 差值在 5–13 之间, 前期容重差值波动小, 中后期容重差值波动大。750–759 (中容重段)/730–739 (中低容重段): 差值波动较小, 稳定性较强, 740–749 (中容重段) 前期下降幅度明显高于后期, 720–729 (低容重段) 前期变化不大, 中期容重差值出现增长趋势, 后期容重差值出现下降。出现这一现象与玉米初始品质、玉米结构、水分分布、环境条件等因素有关。本研究对指导玉米储藏实践、减少产后损失、提升经济效益具有直接的应用价值, 期待本研究能够真正服务于广大粮食工作者, 为我国粮食产业的可持续发展贡献力量。

关键词

玉米; 烘干; 容重; 储藏时间; 品质变化; 温度变化

1 引言

玉米是全球最重要的粮食、饲料和工业原料作物之一。

其产后干燥是保证安全储藏、减少损失的关键环节。容重是粮食籽粒在单位容积内的质量, 单位用 g/L 表示。是粮食市场评定等级、决定价格的核心物理指标, 它综合反映了籽粒的成熟度、饱满度、内部结构密实度以及加工出率潜力。

新收获的玉米含水量通常高达 25%–35%, 必须通过干

【作者简介】秦丽莹 (1984–), 女, 中国黑龙江泰来人, 本科, 工程师, 从事粮食检验研究。

燥降至安全水分（约 14%）以下。然而，干燥是一个伴随剧烈热质传递的物理过程，会导致籽粒体积收缩、内部结构改变，从而直接影响容重。在粮食交易过程中，烘干后玉米容重时增时减的现象常引发关注与争议。因此，深入系统地揭示玉米烘干后容重的变化规律，剖析其背后的物理机制与影响因素，对粮食收购工作者具有重大的理论意义与现实需求。

目前关于玉米容重的研究多聚焦于烘干工艺对单一容重等级的影响，或初始容重与品质性状的相关性，而针对不同初始容重分段在烘干后不同时期，储藏中的容重变化规律及机理尚未明确。尤其缺乏以 760 g/L 以上、759~750 g/L 等细分等级为对象，系统追踪烘干后 1~28 d 容重动态的研究。明确不同初始容重玉米的烘干后容重稳定性及调控机理，对指导粮食收购分级、优化烘干工艺参数、延长玉米储藏品质具有重要现实意义。

2 材料与方法

本文综合国内外相关研究成果，采用文献分析与数据整合的方法进行研究。所依据的核心实验数据主要来自烘干后，在同一温度下，在不同时间段内对不同初始容重的玉米进行容重测定。及在不同温度条件下，在不同时间段内对不同初始容重的玉米进行容重测定。

2.1 实验材料

选用新收获的玉米，经除杂、清理后，通过烘干塔烘干至安全水分段。选用的试验材料为水分段为安全水 13.9%-14.4%，破碎粒相差不大，烘干后初始测定容重为 760 以上，759-750，749-740，739-730，729-720 五个不同区间段容重的玉米，每组样品 10 份，每份 5kg。

2.2 实验设计

在同一温湿度环境下，在烘干后不同时间段，对不同容重区间段的玉米进行容重测定，实验采用定期取样检测的方式，跟踪容重动态变化。

将玉米样品置于模拟实际储藏环境，温度分别为低温（-6--15℃）、（11-12℃）常温（20℃），相对湿度控制在 45%-55% 之间。实验采用定期取样检测的方式，跟踪容重动态变化。

2.3 测定指标与方法

仪器：经专业机构检定合格的，吉林中谷科技有限公司生产的 GHCS-1000 型容重器

测定方法：依据国家标准（GB/T 5498-2013）

3 结果与分析

在同一温湿度（T=10℃ ,RH=40%）环境下，在烘干后不同时间段，对不同容重区间段的玉米进行容重测定，实验采用定期取样检测的方式，跟踪容重动态变化。实验数据如下：

表 1 不同初始容重段玉米容重差值随时间变化表

平均值项： 容重差值	容重分段				
	729-720	739-730	749-740	750-759	760 以上
间隔天数					
1	4	4	7	4	5
2	3	4	11	6	6
3	3	3	10	8	7
4	4	3	4	7	8
5	7	2	3	5	10
6	9	1	3	8	13
11	7	2	3	5	9
12	9	4	3	7	11
27	6	4	2	5	5
28	7	3	2	6	10



图 1 不同初始容重段的玉米容重差值随时间变化情况

从上述图表中可以看出：

760 以上（高容重段）：差值范围大，波动剧烈，差值在 5-13 之间，前期容重差值波动小，中后期容重差值波动大。

750-759（中容重段）：差值波动较小，稳定性较强，该段的差值集中在 4-8 之间，无论间隔天数如何变化，差值都没有出现极端值。说明中等容重的玉米，容重流失受时间影响较小，物理状态更稳定。

749-740（中容重段）：间隔天数≤3 天时，差值出现 7-11 的高值；间隔天数≥4 天后，差值在 2-4 之间，较为平稳。前期下降幅度明显高于后期，是中容重段中前期损失较突出的区间。

739-730（中低容重段）：全周期差值均在 1-4 之间，是所有容重段中差值最小的区间，说明该容重段的玉米在储藏过程中，容重较为稳定。

729-720（低容重段）：前期变化不大，间隔天数≤4 天时，差值在 3-4 之间，中期间隔天数 5-12 天，容重差值出现增长趋势，在 7-9 之间，后期间隔天数 27-28 天，容重差值出现下降，在 6-7 之间，总体比较平稳。说明初始容重较低的玉米，容重流失速度会随时间推移加快，这可能与低容重玉米的籽粒结构松散度更高有关。

原因分析：在同一温湿度情况下，玉米籽粒在烘干结束后，会形成一个“外干内湿”的状态，坚硬的外壳在短期内维持了籽粒的完整性和刚性，高容重段玉米籽粒饱满致密、蛋白质和淀粉含量高 [1]，导致前期容重变化不大。随着时间的增加，玉米籽粒内部水分向外部扩散，内部收缩产

生的拉应力，将已经干燥硬化的外壳拉得向内凹陷，甚至产生微裂纹。籽粒整体饱满度下降，质地变得稀松，导致容重下降。749-740 容重段玉米，籽粒结构不如高容重玉米均匀致密，烘干时，外部快速失水硬化，内部水分较高，在前期剧烈的内外水分差会迅速产生明显的内部收缩应力，导致部分籽粒出现微型变化或微调整，导致容重变化明显，快速调整期过后，结构达到新的平衡，容重趋于稳定。低容重段玉米籽粒发育不充分，结构疏松、淀粉排列不紧密。疏松的结构使内部水分迁移阻力变小，应力释放不明显，导致前期容

重变化不大，随着时间推移，持续的内部失水和应力累计，可能导致本就薄弱的结构发生延迟的、明显的松弛甚至微裂纹，使容重下降变大，后期内部变化，逐渐趋于稳定，容重也趋于稳定。

在 -6℃ ~15℃，11℃ ~12℃，20℃三个不同温度段下，在烘干后不同时间段，对不同容重区段段的玉米进行容重测定，实验采用定期取样检测的方式，跟踪容重动态变化。实验数据如下：

表 2 不同初始容重段玉米容重差值随时间变化表

间隔天数	11℃ -12℃			20℃			-6℃ ~-15℃		
	749-740	750-759	760 以上	749-740	750-759	760 以上	749-740	750-759	760 以上
1	7	3.8	5	7.8	5	9.5	2.8	3	8.7
2	5	2.8	5.5	8.2	5.3	9.8	3.2	3	6.3
4	5	3	11	8.6	5	12	3.6	4	6.8
6	6	3.8	7	9	4.8	13	3.5	4.3	7.6
22	6	3.3	4	8.4	3.6	10	3	4	8.3
27	5.8	3.5	4	8.5	2.5	10.3	2.8	4.2	8.5

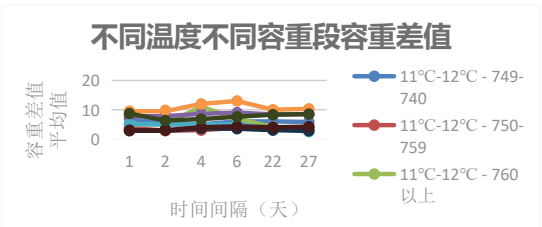


图 2 不同温度不同容重段的玉米容重差值随时间变化情况

从上述图表中可以看出：

760 以上（高容重段）：整体容重差值波动比较大，尤其是 -6℃ ~15℃，20℃这两个极端温度下，受温度影响比较大。

750-759（中容重段）：整体容重差值波动较小，稳定性较强，受温度影响较小。无论间隔天数和温度如何变化，差值都没有出现极端值。说明中等容重的玉米，容重流失受时间和温度影响较小，物理状态更稳定。

749-740（中容重段）：在中温段（11℃ -12℃）和高温段（20℃）整体容重差值波动较小，在 5-9 之间。在低温段（-6℃ ~-15℃）容重变化差值更小在 2.8-3.6 之间，较稳定。说明此容重段玉米，在低温情况下储藏，更稳定。

原因分析：结构决定敏感性：玉米初始容重越高（结构越致密坚固），在非冻结温度下，其因内部应力缓慢释放而导致的中期容重变化可能越显著；中等容重玉米因结构弹性好，整体更稳定；较低容重玉米则对温度更敏感。

温度调控进程：20℃是“准低温”储藏温度，能显著延缓品质劣变[3]。但与更低的温度比较，20℃下玉米的呼吸、水分迁移和内部应力释放过程更快。因此，容重差值变化的幅度更大，但整体仍遵循“初期调整→中期释放→后期趋稳”

的规律。11-12℃ 水分迁移温和，再分配过程平稳，容重变化小。-6℃ ~15℃ 几乎“冻结”了籽粒的所有生理生化活动和水分迁移。籽粒处于冻结状态，物理性质变化很小，内部应力也难以释放，因此容重差值总体变化较小。

4 储藏管理建议

4.1 通用存储原则

严格控制水分、杂质：水分是影响安全储藏的最关键因素。高水分玉米（如 17%）在常温下仅 52 天就可能发霉，容重急剧下降。[2] 国家标准《粮食储藏 玉米安全储藏技术规范》GB/T44340-2024 也强调了水分控制的重要性。入仓前也需严格控制杂质，最好进行过筛处理，清除破碎粒、秸秆、粉尘等杂质。提高粮堆孔隙度，利于通风降温，减少虫霉滋生。

分级存放，严禁混存：不同容重段玉米最好能分开仓房存放，避免交叉影响，降低整体损耗风险，不同容重段玉米，对温度敏感性不同，最佳储藏温度不同，容重变化规律不同，避免相互影响。低容重玉米通常结构疏松、潜在破损粒多、呼吸强度可能更高，更易滋生虫霉和引起局部发热。如果混存，可能会危机高容重玉米的安全。

严控存储环境温湿度：整体保持低温低湿环境：温度控制在 15-20℃，相对湿度 ≤65%，抑制籽粒呼吸作用和微生物活动，从根本上减缓容重下降 [4]。东北地区大型仓房可安装通风笼，便于进行通风作业，可以进行内环流通风、轴流风机通风、混流风机通风等。冬季或室外温度降至适合时，进行通风作业，这些措施可以更好的控制储粮仓房温湿度环境，确保粮食质量安全。

定期监测容重与水分：建议存放前 2 周（前期快速变

化期)每3天监测1次,2周后每周监测1次,及时掌握容重变化趋势,发现异常(如差值突然升高)立即处理。

4.2 分容重段针对性措施

760 容重以上(高容重段)核心目标:品质保全,稳定容重。

入库前先预干燥,将水分缓慢降至14%以下,缩短前期快速降重期。

存放前1周加强通风,快速散出籽粒呼吸产生的热量和水汽。

1周后密封仓库,减少外界湿度影响。

推荐技术:低温(15℃以下)或准低温(15-20℃)储藏,应用内环流控温技术。利用冬季蓄存的冷源,在夏季将粮堆中心(冷心)的冷空气抽出,循环至粮堆上层及仓内空间,可有效将表层粮温控制在20℃以下,并显著减少水分损失和品质劣变。同时需强化仓房的气密保温保冷性,仓房最好进行加装保温隔热气密装置、喷涂反光隔热涂料等,这是内环流技术高效运行的基础。

750-759(中高容重段)核心目标:稳定与经济效益平衡。

无需特殊处理,维持常规低温低湿环境即可。

入库前筛选杂质、不完善粒,减少水分快速散失。

前期通风时避免强风直吹,防止籽粒表皮开裂。

推荐技术:该容重段玉米结构弹性好,在不同温度下,容重差值变化不大,对低温依赖程度不高,准低温(20℃左右)储藏即可。这是目前大型粮库最主流的绿色储粮技术标准,既能有效抑制虫霉、延缓品质劣变,又具有较好的经济性。最好储藏在标准高大平房仓或浅圆仓中,应用内环流控温技术来维持准低温状态。

740-749及以下容重段(中低容重段)核心目标:防止品质加速劣变,安全储藏。

存储环境保持干燥,防止籽粒吸附外界水分。

入库前进行杀菌处理,抑制微生物滋生。

单独存放于通风性最好的仓库,避免闷仓。

推荐技术:低温(15℃以下)或准低温(15-20℃)储藏,该容重段玉米对温度敏感,20℃时容重差值最大,-6℃~15℃时容重差值最小。若不能严格分仓储存时,建议将低容重玉

米置于仓中下部,仓中下部由于冬季蓄冷的冷源存在,温度常年保持在零度以下,可以有效的延缓品质劣变。

5 结论、建议与产业应用展望

结论:玉米烘干后的容重遵循“烘干达峰、短期调整、长期缓降”的动态变化规律。这一规律揭示,优异的产后处理不能止步于烘干,而应延伸至整个储藏链条。

基于上述规律,对产业实践提出以下建议:

推广智能化精准干燥:大力发展并应用基于籽粒水分和温度在线检测的智能干燥系统,优先采用低温缓苏干燥工艺,从源头上生产高容重、低损伤、耐储藏的玉米。

实施“优粮优储”精细管理:对高价值、高容重玉米,配置低温或准低温仓储设施,通过传感器网络实时监控粮堆温湿度,并将容重作为动态监测指标之一,建立预警模型。

优化物流与轮换机制:在制定仓储和销售计划时,应考虑容重随时间衰减的规律。对于采用非理想工艺烘干的玉米,应优先安排出库,缩短存储周期,减少价值损失。

加强全链条品质追溯研究:未来研究应整合烘干工艺参数、储藏环境数据与容重等品质指标的长期监测结果,构建预测模型,为粮食减损和智慧型粮库建设提供更精准的决策支持。

从事粮食收储工作或贸易的人员,烘干后不应立即以当时的容重作为最终定等依据。最好让玉米在适宜条件下(如准低温)储存2-4周,待其内部水分和应力基本平衡、品质趋于稳定后,再进行容重检测和分级,这样得到的指标更可靠,能有效避免后续争议。

参考文献

- [1] 张丽,张吉旺,周伟等.玉米不同粒位子粒容重与子粒物理性状的相关分析[J].玉米科学,2015,23(2):64~68
- [2] 宋秀娟.对玉米烘干降水后容重下降的分析与解决方法[J].黑龙江粮食,2002,4:43.
- [3] 谭晓雨,丁玉琴,丁明军,张忠杰,尹君..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):P.129-138,10.
- [4] 李慧,王若兰,渠琛玲,潘柏西.玉米储藏霉变条件及其品质研究[J].河南工业大学学报自然科学版,2018,39(4):33-37.