

稻谷自然晾晒后显微结构分析研究

李 栋, 毛志怀
(中国农业大学)

摘 要: 通过研究自然晾晒后稻谷内部的显微组织结构, 可以分析稻谷应力裂纹的生成扩展机理。通过扫描电子显微镜观察, 发现自然晾晒后的稻谷胚乳组织结构遭到轻微破坏, 产生应力裂纹, 籽实皮与胚乳之间的结合区域也有应力裂纹产生。应力裂纹首先生成在胚乳组织的中心部位, 然后向四周扩展。产生应力裂纹时, 只是裂纹两侧的胚乳组织遭到破坏, 其它部位的胚乳组织状态良好。大多数应力裂纹扩展的路径都是穿越细胞壁, 沿着淀粉颗粒的边缘进行扩展。分析研究稻谷自然晾晒后胚乳组织的形态结构以及应力裂纹的显微形态、生成位置和扩展方向, 对稻谷应力裂纹检测技术的提高和干燥品质的评价都具有重要的价值。

关键词: 自然晾晒; 显微结构; 应力裂纹; 裂纹扩展机理; 稻谷

中图分类号: S513; S375

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)02-0156-04

1 引 言

稻谷产生应力裂纹是指籽粒的胚乳组织出现裂缝, 而籽粒的籽实皮组织仍然保持完整。稻谷在收获、干燥和贮藏等过程中往往会产生一定数量的应力裂纹, 这使稻米的机械强度减弱, 在加工和储运等过程中易产生碎米, 碎米价格只有整米价格的三分之一, 因此经济损失比较大。此外, 稻米破裂之后容易生霉长虫, 由于胚乳组织的破裂, 胚芽所能得到的养料也会相应减少, 这些都会降低种子的生命力^[1]。

传统观察稻谷应力裂纹的方法是灯箱法, 这种方法与观察者的精神状态、视觉状况和分辨能力有很大关系, 观察结果会有一定误差。灯箱法还具有一定的局限性, 它只能观察稻米的外部裂纹, 对稻米内部应力裂纹的产生位置和形态大小均无法精确观察, 对稻米内部应力裂纹的显微结构和附近组织的状况更无法知晓。这就需要改进稻谷应力裂纹的检测方法, 以达到更高精度, 获得更多的应力裂纹信息^[2]。近几年来, 农业工程专家们采用了一些新的物理和化学方法, 如计算机视觉法^[3]、图像处理法^[4]、神经网络法^[5]、激光法^[6]、比色法^[7]和 CO₂ 测定法^[8]等, 进行了谷物损伤和应力裂纹的检测。但是由于稻谷籽粒较小, 个体差异较大, 而且以上方法无法观测到籽粒内部, 因此这些方法没有得到推广应用。目前能够比较清晰地观测到稻谷籽粒内部结构的技术主要有核磁共振法(MRI)和扫描电子显微镜法(SEM)。利用核磁共振技术能够无损地进行稻谷籽粒的断层扫描, 获取籽粒内部的多层扫描图像, 从而可以确定籽粒内部的水分分布以及应力裂纹的位置和形态, 其缺陷是不能观察到应力裂纹的显微结构^[9]。利用扫描

电子显微镜能够将稻谷籽粒的内部结构放大上万倍, 这样就能够全面观察应力裂纹的显微形态和内部组织。

在自然晾晒过程中, 稻谷籽粒从太阳光的照射中获取热量, 籽粒内部的水分迁移到表面, 从而达到干燥目的。自然晾晒过程会造成稻谷品质的变化, 籽粒内部结构也会随之改变。对自然晾晒后稻谷内部的显微组织进行分析研究, 有助于全面了解稻谷籽粒的形态结构和力学特性, 从而可以进一步分析稻谷应力裂纹的生成扩展机理。分析研究稻谷应力裂纹的生成位置和扩展方向以及稻谷产生应力裂纹后其内部组织结构的变化, 对稻谷应力裂纹检测技术的提高和干燥品质的评价等都具有非常重要的指导意义, 目前关于自然晾晒后稻谷显微结构的分析研究还少见报道。

2 试验材料及方法

试验用水稻品种为“桂 99”, 是从广西桂林地区收获的新鲜水稻。通过手工脱粒后立即放入恒温箱中保存, 存放温度设定为 0℃, 以保持稻谷的新鲜度。经检验证明, 在温度为 0℃ 的状态下短时间存放稻谷不会影响其品质^[10]。自然晾晒是在秋天晴朗无风的天气条件下进行, 晾晒时的空气平均温度为 20℃, 稻谷的初始含水率为 23%, 到终了含水率为 13% 时停止晾晒, 晾晒持续时间为 4 d。自然晾晒后, 随机选取完整饱满的稻谷籽粒作为实验样品备用。

传统的制样方法是将选定的实验样品浸泡后再剖分, 然后干燥到要求的含水率。这种制样方法使试验样品又经历了一次加湿和干燥过程, 增加了稻谷籽粒的破损程度。为了避免发生这种情况, 试验时采用液氮冷冻法制备实验样品, 使稻米在不受任何外力的作用下自然断裂。试验时随机从备用的试验样品中选取若干粒稻米, 经液氮冷冻后, 用镊子柄轻轻敲击, 使稻米沿最易破裂的地方自然断开。试验中发现稻米都是沿着籽粒的横轴方向(即径向)破裂断开的, 也就是说, 应力裂纹一般是沿着稻米的横轴方向产生并扩展的。

将制备好的试验样品粘在导电胶上, 放入日本产

收稿日期: 2002-08-22

基金项目: 教育部高等学校骨干教师资助计划项目

作者简介: 李 栋(1973-), 男, 博士, 讲师, 主要从事农产品加工及贮藏方面的研究。北京市海淀区清华东路 17 号 中国农业大学工学院 50#, 100083。Email: w lj@cau.edu.cn



EIKO B-3 型离子涂层溅射仪中, 溅射金膜 2 h, 溅射的金属是 99.999% 的纯金, 溅射金膜的厚度是 20 nm, 溅射金膜的目的是使试验样品获得一个导电表面^[11]。试验所用的仪器设备为日本产 HITACHI S-530 型扫描电子显微镜, 观测时采用 25 kV 的加速电压。

3 自然晾晒稻谷的显微组织结构分析

3.1 胚乳组织的显微形态

自然晾晒后, 稻谷内部组织的显微形态与其原始的显微形态相比, 差别较大的部分是胚乳组织, 在稻谷籽粒内部, 胚乳组织的显微形态在不同区域显示出不同的变化趋势。通过扫描电子显微镜观测自然晾晒后的稻谷, 其胚乳组织结构的显微形态如图 1 所示。在一些区域内, 胚乳组织的结构未遭到破坏, 如图 1a 所示, 细胞结构保持完好无损, 有明显的细胞壁, 细胞内充满淀粉颗粒, 淀粉颗粒紧密地排列在一起。而在另外一些区域内, 胚乳组织的结构遭到初步破坏, 如图 1b 所示, 一部分细胞正处在解体过程中, 细胞壁发生断裂, 淀粉颗粒之间的结合遭到破坏, 淀粉颗粒从细胞内脱落出来。一部分细胞的细胞壁与相邻细胞的细胞壁之间开始出现分离, 产生应力裂纹。还有一部分细胞保持完好, 细胞轮廓清晰, 淀粉颗粒之间的结合紧密。

由此可见, 经过自然晾晒后, 稻谷胚乳组织的结构已经遭到轻微破坏, 这主要是因为稻谷在自然晾晒过程中经历了频繁的升温 and 降温过程, 以及不同胚乳组织区域的结构强度有差别所致。如果稻谷在秋季自然晾晒, 从初始含水率 23% 降到终了含水率 13% 大约需要 4 d 时间, 那么稻谷就会经历 4 次升温 and 降温过程, 在此过程中, 稻谷内部会产生温度梯度, 从而形成热应力。稻谷胚乳组织在热应力的作用下会产生拉伸、压缩和弯曲, 最终导致细胞壁的破裂消失以及淀粉颗粒的离散。

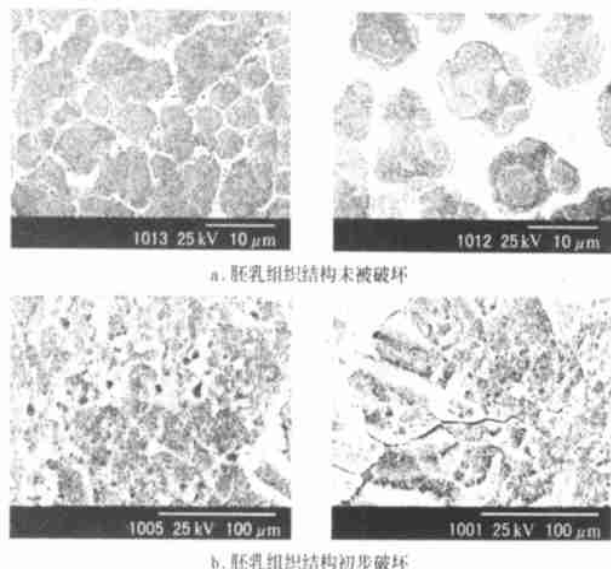


图 1 自然晾晒后胚乳组织结构的显微形态
Fig 1 Microscopic structure of endosperm tissue after sun drying

实皮的显微结构如图 2 所示。从图 2 可以看出, 稻谷籽实皮是纤维状组织, 且层层紧密结合, 没有被破坏的痕迹。但是籽实皮与胚乳之间的结合却比较薄弱, 在个别区域出现了应力裂纹, 这说明籽实皮与胚乳之间的结合容易被破坏。产生这种情况主要是因为稻谷籽实皮与胚乳的膨胀率和收缩率都不相同, 在长时间自然晾晒过程中, 产生反复拉压和弯曲作用, 破坏了籽实皮与胚乳之间的结合, 从而产生应力裂纹。从图 2 还可以看出, 籽实皮与胚乳之间的应力裂纹不与胚乳中的应力裂纹相连贯。

通过扫描电子显微镜观测稻谷的胚组织, 从显微图像可以看出胚组织的细胞均匀且紧密地结合在一起, 没有应力裂纹和破损现象产生。

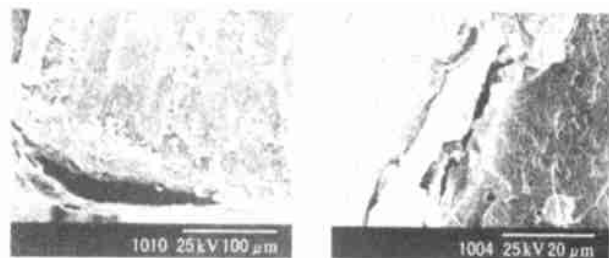


图 2 自然晾晒后籽实皮的显微结构
Fig 2 Microscopic structure of seed capsule after sun drying

3.2 胚乳中应力裂纹的显微形态

通过灯箱法观察, 自然晾晒后稻谷的应力裂纹(爆腰)率一般较少, 小于 3%。但是, 即使用灯箱法没有观察到表面有裂纹的稻米, 通过扫描电子显微镜的观测, 其内部胚乳中仍然存在着一定数量的应力裂纹, 只是裂纹的长度和宽度都比较小。胚乳中的应力裂纹属于局部裂纹, 即在某一区域内存在短裂纹。应力裂纹广泛分布在胚乳中, 无统一方向, 大多数呈以籽粒中心为中心的放射状分布, 裂纹的轮廓线曲曲折折。出现应力裂纹时, 只是裂纹两侧的胚乳组织遭到破坏, 其它部位的组织状态良好, 无更小的微裂纹存在, 如图 3 所示。

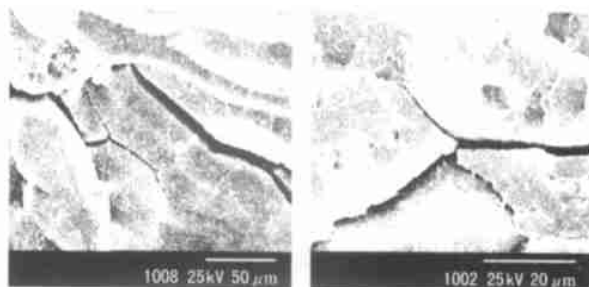


图 3 自然晾晒后胚乳中应力裂纹的显微结构
Fig 3 Microscopic structure of stress cracks in endosperm tissue after sun drying

3.3 胚乳中应力裂纹的生成扩展

通过扫描电子显微镜观测稻谷籽实皮附近的应力裂纹, 可以看出应力裂纹离籽实皮越近, 则裂纹越窄。因为大多数应力裂纹相对于籽粒中心呈放射状分布, 所以应力裂纹生成在离籽实皮较远的区域, 然后向籽实皮方向扩展, 但是没有能力穿越糊粉层, 因此不能撕裂籽实

经过自然晾晒后, 通过扫描电子显微镜观测稻谷籽

皮,如图4所示。

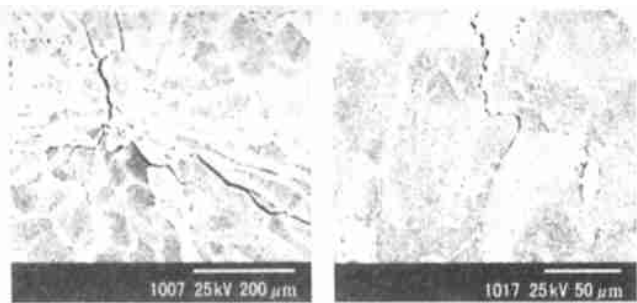


图4 自然晾晒后应力裂纹末端的显微结构

Fig 4 Terminal microscopic structure of stress cracks after sun drying

自然晾晒后,稻谷内部大多数应力裂纹扩展的路径都是穿越细胞壁,沿着淀粉颗粒的边缘扩展。但是也有特殊情况,如有一部分应力裂纹不仅沿着淀粉颗粒的边缘扩展,而且还撕裂了一些淀粉颗粒,将淀粉颗粒分为两部分,如图5所示。

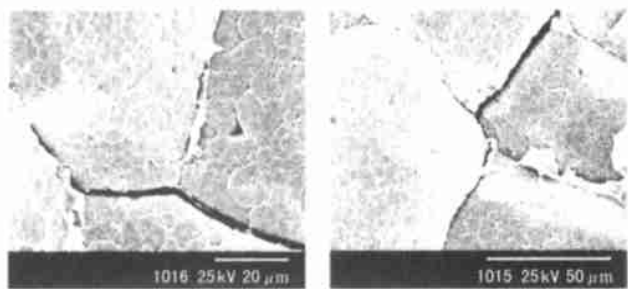


图5 自然晾晒后应力裂纹穿越胚乳细胞的显微结构

Fig 5 Microscopic structure of stress cracks through endosperm tissue after sun drying

自然晾晒时,由于稻谷的温升较慢,干燥速度较低,因此产生的热应力和湿应力较小,籽粒的收缩量较小。这些因素对于淀粉颗粒与蛋白质间质之间结合的网络结构影响不大,淀粉颗粒与蛋白质间质之间的结合仍然比较紧密。淀粉颗粒和蛋白质间质之间的结合强度与淀粉颗粒内部的抗破裂强度相比,差别不大,所以稻谷在自然晾晒过程中,干燥产生的应力作用于淀粉颗粒时,有可能把淀粉颗粒之间的蛋白质间质撕裂,也有可能把淀粉颗粒撕裂。

稻谷胚乳组织的细胞较大,呈多边形,当受到拉伸、压缩和弯曲等力作用时,很容易产生应力裂纹。在自然晾晒过程中,细胞壁消失和应力裂纹穿越细胞壁扩展的事实可以证明稻谷胚乳组织细胞的细胞壁是比较脆弱的,能够承受的应力作用非常小,以至于细胞壁很容易被撕裂。稻谷胚乳组织细胞的细胞壁与淀粉颗粒或者蛋白质间质之间的结合则比较紧密,自然晾晒时干燥产生的应力作用很难撕裂它们之间的结合。即使应力足够大,在撕裂细胞壁与淀粉颗粒或者蛋白质间质之间的结合以前,细胞壁已经遭到破坏,并且产生破裂,应力裂纹

沿着细胞壁破裂的断口继续向前扩展。

4 结 论

1) 自然晾晒后,稻谷胚乳组织结构遭到轻微破坏,产生应力裂纹。稻谷籽实皮与胚乳之间的结合区域也有应力裂纹产生,但这些裂纹不与胚乳中的裂纹相贯通。稻谷胚组织没有应力裂纹和破损现象产生。

2) 用灯箱法没有观察到裂纹的稻米,通过扫描电子显微镜的观察,发现其胚乳组织中仍然存在着一定数量的应力裂纹,只是裂纹的长度和宽度都比较小。

3) 应力裂纹首先生成在胚乳组织的中心部位,然后向籽实皮方向扩展,扩展的界限在糊粉层附近。出现应力裂纹时,只是裂纹两侧的胚乳组织遭到破坏,其它部位的胚乳组织状态良好。

4) 稻谷内部大多数应力裂纹扩展的路径都是穿越细胞壁,沿着淀粉颗粒的边缘进行扩展。但也有一部分裂纹不仅沿着淀粉颗粒的边缘扩展,而且还穿越淀粉颗粒的内部进行扩展,并撕裂这些淀粉颗粒。

[参 考 文 献]

- [1] 李 栋 稻谷干燥应力裂纹生成扩展及抑制的试验研究和机理分析[D] 北京:中国农业大学,2001.
- [2] 朱文学 干燥过程中谷物应力裂纹和发芽率的模拟与试验研究[D] 北京:中国农业大学,1997.
- [3] Howarth M S, Stanwood P C. Tetrazolium staining viability seed test using colour image processing[J]. Transactions of the ASA E, 1993, 36(6): 1937~ 1940.
- [4] Zayas L, Converse H, Steele J. Discrimination of whole from broken corn kernels with image analysis[J]. Transactions of the ASA E, 1990, 33(5): 1642~ 1645.
- [5] Liao K, Paulsen M R, Reid J F. Corn kernel breakage classification by machine vision using a neural network classifier[J]. Transactions of the ASA E, 1993, 36(6): 1949~ 1953.
- [6] Gunasekaran S, Paulsen M R, Shove G C. A laser optical method for detecting corn kernel defects[J]. Transactions of the ASA E, 1986, 29(1): 294~ 304.
- [7] Chowdhury M H, Buchele W F. Colorimetric determination of grain damage[J]. Transactions of the ASA E, 1976, 19(4): 807~ 808.
- [8] Steele J L, Saul R A, Hukill W V. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production[J]. Transactions of the ASA E, 1969, 12(5): 685~ 689.
- [9] Song H, Litchfield J B. Measuring stress cracking in corn by MRI[J]. ASA E Paper, 1991, No. 7002.
- [10] Jindal V K, Herum F L, Mensah J K. Effects of repeated freezing-thawing cycles on the mechanical strength of corn kernels[J]. Transactions of the ASA E, 1978, 21(2): 367~ 374.
- [11] 马金鑫,朱国凯 扫描电子显微镜入门[M] 北京:科学出版社,1985.

Microscopic structure of rough rice after sun drying

Li Dong, Mao Zhihui

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The microscopic structure of rice kernel is studied after sun drying in order to research the initiation and propagation theory of stress cracks of rough rice. The microscopic structure of rice kernel is observed by Scanning Electronic Microscope. The structure of the endosperm tissue of rice kernel is damaged slightly after sun drying, and stress cracks are produced. The stress cracks are also produced between the seed capsule and the endosperm tissue. The stress cracks are generated in the center of endosperm tissue first, then propagated. When stress cracks are produced, both sides of the endosperm tissue are damaged. Others are not damaged. Most stress cracks are propagated along the edge of the starch granule, and through the cell wall. The morphosis of endosperm tissue and microscopic structure of stress cracks of rice kernel are analysed. It is important through the stress cracks of rough rice to improve the observation technology. It is significant in order to estimate the quality of rice after drying.

Key words: sun drying; microscopic structure; stress cracks; propagation theory of stress cracks; rough rice