

基于玻璃化转变的稻谷爆腰产生机理分析

刘木华, 吴颜红, 曾一凡, 周小梅

(江西农业大学工学院, 南昌 330045)

摘要: 稻谷爆腰是造成碎米的主要原因之一, 为此, 人们一直在探讨产生稻谷爆腰的机理。介绍了一种新的稻谷爆腰机理——基于玻璃化转变的稻谷爆腰机理。根据该机理分析了稻谷干燥和缓苏过程中爆腰的产生原因。基于玻璃化转变的稻谷爆腰机理, 干燥过程中, 当稻谷颗粒由外表向里形成玻璃态时, 颗粒内部形成玻璃态和橡胶态两个部分。由于玻璃态和橡胶态的弹性模量和膨胀系数有很大的差别, 因此在一定水分梯度条件下, 银纹(微裂纹)从两者交界处产生, 并可能进一步扩展成爆腰。稻谷缓苏过程中, 颗粒内部如果存在橡胶态区, 则其不同含水率部分就会在不同水分梯度下分别进入玻璃态, 如果此时水分梯度足够, 就会引起各部分不均匀收缩和各不相同的应力、应变, 这样使玻璃态层产生大量银纹, 银纹持续生长即产生爆腰。最后, 介绍了两种控制稻谷爆腰的干燥工艺——变温干燥工艺和高温干燥工艺。

关键词: 玻璃化转变; 爆腰; 稻谷干燥; 干燥工艺

中图分类号: S375; S551

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0030-05

0 引言

稻谷通常都在较高水分状态下收获, 因此必须干燥到安全水分以下才能进行储存。经人工干燥后的稻谷不可避免地会产生爆腰。稻谷爆腰是影响稻谷出米率的重要原因; 此外, 它也是影响干燥机生产效率的主要原因。为了设计出干燥品质好且干燥效率高的干燥机, 必须研究稻谷爆腰的产生机理。由此, 人们对稻谷爆腰进行过很多研究, 提出了一些分析稻谷爆腰的理论方法^[1-13]。但这些理论都不能很好、完整地解释稻谷爆腰的各种现象, 并且不容易达到控制稻谷爆腰的干燥工艺要求。

近年来, 一种称为玻璃化转变的现象在食品的干燥及贮藏品质控制研究中得到广泛的关注^[14-17]。玻璃化转变是指物质在一定温度下, 其物理形态由橡胶态向玻璃态转变的过程, 对应的物质温度即为玻璃化转变温度。当食品或农产品处于橡胶态时, 其物理性质表现为有较好的弹性, 能容忍大的变形; 当食品或农产品处于玻璃态时, 其物理性质表现为脆性, 变形能力小。对谷物食品来说, 通过玻璃化转变温度可以确定一个临界含水率, 这个临界含水率对谷物食品加工和贮藏的品质控制有重要意义。如外界温度为 24℃ 时, 快餐食品的临界含水率为 12.3%, 大于这个临界含水率则快餐食品将失去脆性, 口感质量变差^[15-17]。食品干燥过程中的粘结、结构塌陷等都与玻璃化转变有关^[14]。受食品中玻璃化转变现象的启发, Cnossen、Siebenmorgen、Perdon、Yang、Bautista、刘木华、曹崇文等研究了稻谷的玻璃化转变现象, 研究结果表明玻璃化转变对稻谷的爆腰有很大的影响^[18-25]。在此基础上, 相关研究者提出了一种基于玻璃化转变理论的稻谷爆腰产生机理, 并据此可得到控制稻谷爆腰的干燥工艺^[14]。

1 传统的稻谷爆腰机理

传统理论认为爆腰的形成是由于稻谷颗粒在热湿梯度作用下产生的拉压应力的结果^[1-11, 26-30]。这种理论认为干燥过程中稻谷表面因为失水承受拉应力, 内部承受压应力; 而吸湿条件下, 颗粒表层将因吸湿产生压应力, 内部则受到反作用的拉应力, 当拉应力超过材料强度极限后则爆腰产生。颗粒表层的吸湿可以从外界吸湿, 也可从颗粒内部吸湿。这种理论不考虑颗粒内部物质结构及各组成成分的差别。

刘当慧^[13]提出, 稻谷的爆腰是由于稻谷内部的楔压力引起的, 因而提出了一种“楔压力”理论。因为稻米表面有密集的毛细管, 毛细管呈楔形, 直径较大的向外(即颗粒表面)。当水分通过毛细管向籽粒内部渗透时, 由于籽粒毛细管本身直径的减少, 从而阻碍了水分继续向籽粒内部的渗入, 于是在毛细管中形成了一种吸附层边界。沿着这个边界, 被吸附的水分向里渗透而产生“楔压力”, 正是这种“楔压力”使稻谷产生了爆腰。

除上面两种用于分析稻谷爆腰产生机理的理论外, 人们还考虑了颗粒的内部结构使稻谷爆腰的机理。稻米中含有大量淀粉(精米中 90% 的干物质为淀粉)。淀粉在胚乳中的浓度分布是由外向里递增。朱智伟^[26]研究后认为稻米的吸胀能力除与表皮有关外, 还与淀粉结构有关。Kunze 和 Hall^[3, 4]发现具有最厚最宽外形的品种龟裂最严重, 但也有 2 个外形极为相似的品种, 其抗拉能力却相差很大, 为此他们推测稻米的化学成分可能起到重要作用。因此, 应火东^[12]认为, 稻谷的爆腰一方面与其形状有关, 另一方面与胚乳中的淀粉结构, 特别是直链淀粉含量有密切关系。

上述三种理论在解释受热和吸湿条件下的稻谷爆腰有一定的可行性。但不好解释在干燥结束后稻谷颗粒不再受热也不吸湿条件下的冷却过程中稻谷的爆腰和出米率下降, 同样也不好解释缓苏减少爆腰的原因。基于玻璃化转变的稻谷爆腰机理能较好地解释这些原因。

收稿日期: 2002-11-18

基金项目: 江西省教育厅科技基金和江西省自然科学基金资助项目
作者简介: 刘木华, 博士, 副教授, 江西南昌市昌北开发区 江西农业大学工学院, 330045。Email: suikehmh@sohu.com

2 基于玻璃化转变理论的稻谷爆腰产生机理分析

2.1 稻谷的玻璃化转变及其特征

干燥过程中, 水分和温度对稻谷的热特性和物理特性的影响已经有许多学者研究过。Siebenmorgen 和 Perdon 等人研究发现^[18-21], 在一定含水率和温度条件下, 稻谷的物理特性会发生质的变化。这个变化与高分子物理中定义的玻璃化转变现象相吻合。后来的进一步研究表明, 稻谷干燥过程中发生了玻璃化转变现象^[18-21]。稻谷玻璃化转变的产生原因是谷物中的淀粉等组成成分为部分结晶、部分非晶态的物质。而且谷物颗粒在水分或温度变化(如干燥脱水或吸湿)过程中, 物理性质的变化主要发生在非晶态部分。玻璃化转变以玻璃化转变温度来表征, 图 1 是文献中的玻璃化转变温度及其曲线。物料温度在玻璃化转变温度以上, 则物料呈现橡胶态, 反之呈玻璃态。

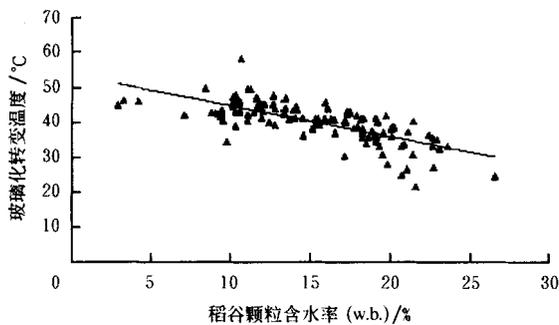


图 1 稻谷的玻璃化转变温度^[7]

Fig 1 Glass transition temperature of rice grain^[7]

稻谷玻璃化转变使稻谷的物理特性产生较大变化: 在橡胶态时, 稻谷弹性模量小, 而膨胀系数大; 在玻璃态时, 稻谷弹性模量大, 而膨胀系数小。Perdon 等人^[18-21]研究得出稻谷在橡胶态时的受热体积膨胀系数是玻璃态时的 5 倍左右。所以, 稻谷产生玻璃化转变后材料性质变脆, 容忍变形能力小, 而且即使在很小变形的情况下也会产生很大的应力。稻谷玻璃化转变可以发生在干燥过程中、干燥结束后、冷却和缓苏过程中。由于产生玻璃化转变后, 稻谷的材料特性变脆, 因此在上述过程中都有可能使稻谷爆腰产生。

2.2 稻谷干燥过程中的爆腰产生机理分析

根据玻璃化转变的观点, 当稻谷颗粒的温度和水分状态处于水稻颗粒玻璃化转变温度以下时, 以淀粉为主要成分的稻谷颗粒表现为玻璃态物质, 膨胀系数、比体积和扩散系数等都低, 但弹性模量高; 当稻谷颗粒温度上升到玻璃化转变温度以上后, 水稻经过玻璃化转变, 从玻璃态变化到橡胶态, 这时, 水稻具有很高的膨胀系数、比体积和扩散系数, 但弹性模量小^[14]。

如果用玻璃化转变状态图来分析干燥时颗粒内部存在橡胶态和玻璃态的物理状态可得图 2。设水稻干燥介质温度大于颗粒初始水分对应的玻璃化转变温度: 以图 1 为例, 当稻谷初始含水率为 25% 时, 其玻璃化转变温度为 30~40 之间, 采用大于 40 热空气进行干燥,

当颗粒整体温度高于玻璃化转变温度时, 干燥首先使颗粒产生单纯由于失水引起的外拉内压。但是很快由于表面玻璃态开始形成, 玻璃态物质的收缩更大, 即外拉力量成倍增大。在颗粒内部会形成如图 2 所示的明显的两个区域。靠近表面一层为由玻璃态物质及正进行玻璃化转变的物质组成, 它们承受拉应力; 中心层为由处于橡胶态的物质组成, 承受压应力。在玻璃态层和橡胶态层之间是玻璃化转变开始点 B (主要对应稻谷颗粒的淀粉组织)。在谷物内部, 这些玻璃化转变开始点集合可组成一个不规则的椭球面。

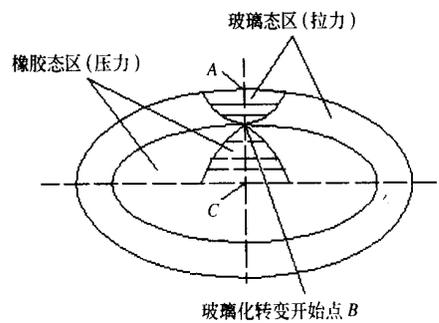


图 2 干燥时稻谷颗粒内部应力分布和物理状态变化示意图

Fig 2 Stress distribution and physical state in rice grain during drying

因为玻璃态表面的弹性模量大, 小变形即能产生很大的应力, 所以表面进入玻璃化转变区要承受很大的拉应力。但由于糙米四周表面是主要由蛋白质构成, 蛋白质比颗粒内部有更高的材料特性, 所以表面拉应力不易超过稻谷材料的极限强度, 表面不易产生裂纹。

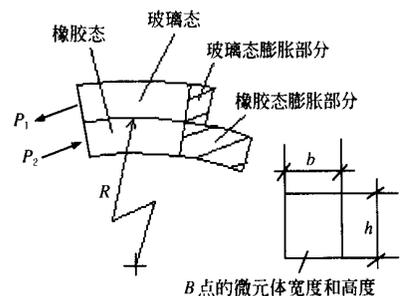


图 3 玻璃化转变开始点 B 处微元体

Fig 3 Starting point B of glass transition

但在两层之间的玻璃化转变开始点 B 处(图 3), 其水分梯度将会达到最大值。如果我们假设在 B 处取一宽为 b 、高为 h 的微元体, 这个微元体处于玻璃态和橡胶态的交界处, 则微元体上部分为玻璃态, 产生较小的膨胀; 下部分为橡胶态, 产生很大的膨胀。这种膨胀包含有热膨胀和水分膨胀。因为橡胶态的热膨胀系数是玻璃态的 5 倍左右, 所以根据材料力学中的弯曲应力原理, 在微元体 B 的上部分(处于玻璃态)会由于微元体下部分(处于橡胶态)膨胀而呈受最大的拉应力。这个拉应力是 B 点水分梯度和稻谷温度的函数。所以玻璃态的拉应力与稻谷温度及水分梯度呈正比。稻谷温度越高则拉应力越大, B 点水分梯度越大则拉应力越大。如果水分梯度足够大则很可能在 B 点处产生微裂纹, 进而由于玻璃

态的拉应力使微裂纹向玻璃态部分扩展,最终稻谷爆腰产生。

2.3 缓苏过程中产生爆腰的原因分析

人们为了控制稻谷爆腰,常在稻谷干燥过程中使用缓苏操作工艺。缓苏是不加热的情况下使稻谷在仓内保温保持一定时间。因为缓苏使稻谷水分从中心向表面迁移,这样能使稻谷内部水分梯度逐渐减小。缓苏是降低颗粒内部水分梯度的主要方法。缓苏时,水稻颗粒内部水分扩散主要沿短轴进行。这是因为在短轴方向的驱动力更大(缓苏开始时水分梯度更大)。经过缓苏以后,颗粒内部的水分分布趋于均匀,认为这样可抑制稻谷爆腰产生。

但是,有许多研究人员的结果表明,缓苏过程中稻谷的爆腰仍然可能继续发生^[5,7]。对此人们一直还没弄清楚原因。这里,我们可以用玻璃化转变的观点来进行解释。因为在缓苏过程中稻谷内部也有水分梯度和玻璃化转变存在,所以缓苏也会影响稻谷裂纹的形成。因为不同的缓苏温度决定了稻谷内部是否有玻璃化转变的存在,所以缓苏温度对稻谷的爆腰有影响^[14]。我们分两种情况加以分析:

1) 当准备缓苏时,稻谷表面尚未形成玻璃化即颗粒存在玻璃态成分。这时,如果采用高于玻璃化转变温度的缓苏温度,使稻谷颗粒在橡胶态下,表面和中心水分梯度逐渐接近平衡,则颗粒内部水分梯度消失,这样再进入到玻璃态就不会产生裂纹;如果采用低于玻璃化转变温度的缓苏温度,此时颗粒内部各部分存在很大水分梯度差,那么稻谷内部不同含水率部分就会在不同水分梯度下分别进入玻璃态,由于发生玻璃化转变时存在有水分梯度,从而引起各部分不均匀收缩和各不相同的应力、应变。这样与干燥过程中的情况一样,会使玻璃态部分产生大量银纹(即微裂纹),银纹持续生长即产生爆腰。

2) 当准备缓苏时,稻谷表面已形成玻璃化(即颗粒已存在有玻璃态成分)。这时,如果采用高于玻璃化转变温度的缓苏温度,颗粒内部橡胶态区的水分向玻璃态的外层扩散,外层将重新形成橡胶态。从玻璃态返回到橡胶态一般不会产生裂纹,因为这时颗粒容忍变形的能力已变得越来越高。而且根据玻璃化转变理论的观点,这个过程还能修复玻璃态下的银纹;但如果采用低于玻璃化转变温度的缓苏温度,那么稻谷橡胶态区中不同含水率部分就会在不同水分梯度下分别进入玻璃态,而此时同样存在有水分梯度,从而引起各部分不均匀收缩和各不相同的应力、应变,这样使玻璃态层产生大量银纹,银纹持续生长即产生爆腰。

由此看来,稻谷的缓苏温度选择对爆腰的影响是非常大的。如果采用的缓苏温度不当,则可能会加速爆腰的产生。

通过对玻璃化转变理论中的银纹分析观点可以认为^[10],稻谷干燥过程中颗粒进入玻璃态时,如果其内部应力和温湿度条件达到银纹引发临界条件,则会产生银纹。此时,如果继续存在足够大的应力作用下,银纹产生

破裂,稻谷爆腰因此产生;如果我们在稻谷出现爆腰以前采用高于玻璃化转变温度的缓苏温度,一方面可快速降低稻谷内部的水分梯度,从而更快降低稻谷内部应力,使稻谷在水分均匀的情况下进入玻璃态,避免了应力损伤,防止稻谷进入玻璃态时产生银纹并诱发爆腰;另一方面高缓苏温度能使已产生银纹的颗粒得以退火而消除银纹或微裂纹,这样既提高了干燥效率又控制了爆腰产生。

3 控制稻谷爆腰干燥工艺分析

上面的分析使我们对稻谷爆腰的原因有了较深刻的了解,也可以由此得到控制稻谷爆腰的干燥工艺。

在干燥过程中,因为稻谷内部水分梯度只有在稻谷存在玻璃化转变时,才能对稻谷爆腰的产生起作用,所以为了避免干燥过程中稻谷爆腰的产生,建议采用两种措施^[14]:

使稻谷在玻璃态下干燥,即使有大的水分梯度也不会爆腰,因此可不采用缓苏操作。通过玻璃化转变温度曲线可看出(图4),干燥过程中稻谷的玻璃化转变温度是越来越高(因为稻谷含水率逐渐降低)。因此为了保证干燥过程一直在颗粒的玻璃态下进行,应该采用干燥介质温度逐渐升高的变温干燥工艺。这样也能保证稻谷在玻璃态下干燥,从而抑制爆腰率产生,并免除缓苏操作工艺。

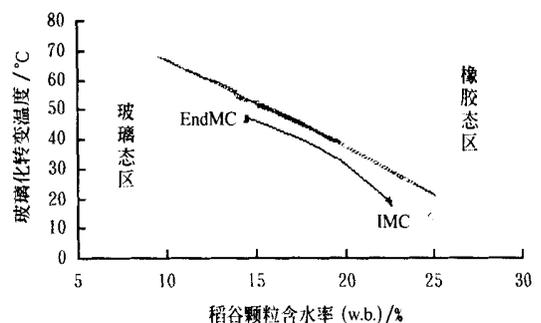


图4 文献[10]测得的玻璃化转变温度曲线

(MC表示干燥初始状态,EndMC表示干燥结束状态)

Fig 4 Curve of glass transition temperature in reference [10]

(MC is the starter of drying, EndMC is the end of drying)

使稻谷在较高温度下干燥(即使稻谷一直处于橡胶态下干燥),这时必须干燥一定时间后使稻谷缓苏足够时间以降低内部水分梯度,使内部水分均匀,以防止颗粒内部有些部分进入玻璃态;而且采用的缓苏温度应高于稻谷此时的玻璃化转变温度。这样能有效地降低稻谷爆腰和提高产米率。称这种干燥工艺为高温干燥工艺。在实际生产中,虽然人们认识到缓苏对防止稻谷爆腰的好处,但由于对其机理不了解,所以很难把握和确定缓苏温度。这是因为缓苏温度选择不当仍然不能起到减少爆腰的作用。所以,掌握了稻谷的玻璃化转变观点,就能够有效地应用缓苏工艺来防止爆腰产生。使用把握的原则是,应该先使稻谷在橡胶态下颗粒内部温度和含水率均匀一致,然后即使有玻璃化转变发生,也可防止稻谷爆腰产生。

当然,在使用上面提到的干燥工艺前,我们须知道

所要干燥的稻谷品种的玻璃化转变温度。现在的研究表明^[19], 测量稻谷玻璃化转变温度较好的方法是采用热机械法(TMA)。目前要急迫研究是不同稻谷品种的玻璃化转变温度差别及其规律, 有了这些规律就能很好地使用控制稻谷爆腰的干燥工艺。此外需要说明的一点是, 稻谷干燥前处于橡胶态或玻璃态对采用何种干燥工艺没影响, 因为此时稻谷内部无水分梯度。

4 结论与讨论

1) 基于玻璃化转变的稻谷爆腰机理能更好地解释传统稻谷爆腰产生机理难以解释的问题, 而且能较好地用于生产实践中。

2) 干燥过程中, 稻谷颗粒在一定条件下会存在因水分和温度变化引起的玻璃化转变, 由此使得其物理特性变脆, 在足够大水分梯度的影响下产生爆腰现象。

3) 稻谷缓苏过程中, 如果缓苏温度选择不当, 同样可能存在玻璃化转变。只有使玻璃化转变发生在稻谷内部水分梯度足够小时, 才能防止缓苏过程中稻谷爆腰的发生。在实际生产与试验中, 稻谷缓苏有时会出现稻谷爆腰增加的现象, 传统稻谷裂纹产生机理往往无法解释这种情况, 而玻璃化转变能较好地阐述这个问题, 并得到稻谷缓苏温度的选择方法。

4) 生产上为了避免稻谷爆腰的产生, 可以采用以下两种干燥工艺: 第一, 可以采用变温干燥工艺, 使稻谷在玻璃态下干燥, 即使存在大的水分梯度也不会产生爆腰, 而且可不采用缓苏操作。第二, 采用高温干燥工艺, 使稻谷在较高温度下干燥(即稻谷处于橡胶态), 这时必须干燥一定时间后使稻谷缓苏足够时间以降低内部水分梯度, 使内部水分均匀, 当然采用的缓苏温度应足够高, 这样既能有效地控制稻谷爆腰又提高干燥效率。

5) 目前, 稻谷玻璃化转变的研究逐步得到重视, 它对稻谷干燥和贮藏中品质控制有重要的意义。但还有许多困难需要克服。稻谷是多成分复杂物质, 其玻璃化转变温度不易测定, 还需深入研究测定方法, 以便建立相应的稻谷玻璃化转变温度数据库。稻谷内部各成分的分布不均, 颗粒个体小, 这使得对稻谷内部的玻璃化转变具体过程的可视化研究带来很大困难, 笔者也正在进行该方向的研究。虽然进行过初步的实验室试验研究, 本文提出的理论和工艺还需在实际干燥试验或生产中作进一步改进, 以便为高效高品质干燥机的设计提供充分的依据。

[参 考 文 献]

[1] Kunze, Prasad Grain fissuring potential in harvesting and drying of rice[J]. Trans A S A E, 1978, 21: 361- 366
 [2] Kunze Fissuring of the rice grain after heated air drying [J]. Trans A S A E, 1979, 22: 1197- 1202
 [3] Kunze, Hall Relative humidity changes that cause brown rice to crack[J]. Trans of the A S A E, 1965, 8(3): 396- 399
 [4] Kunze, Hall Moisture adsorption characteristics of brown rice[J]. Trans of the A S A E, 1967, 10(4): 448-

450

[5] Shama, Kunze Post-drying fissure developments in rough rice[J]. Trans A S A E, 1982, 25: 465- 468
 [6] Kunze, Choudhury, Moisture adsorption related to tensile strength of rice[J]. Cereal Chem, 1972, 49(6): 684- 696
 [7] Handerson The causes and characteristics of rice checking [J]. Rice J, 1954, 57(5): 16- 18
 [8] 毛志怀 曹崇文论文选编[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
 [9] Yamaguichy. Experimental study on the internal stress cracking of rice kernel(part 2)—A comparison between thermal and moisture stress, and an arrangement of rice cracking data on the weibull probability[J]. Journal of the Society of Agricultural Machinery, 1980, 42 (2): 251 - 257.
 [10] Yamaguichy. Experimental study on the internal stress cracking of rice kernel (part 3)—on the changes of cracked rice percentage during drying, Moisture adsorption and preserving processes[J]. Journal of the Society of Agricultural Machinery, 1980, 42(3): 397- 402
 [11] 村田敏 精白米水浸时的裂纹研究[J]. 农业机械学会志, 1992, 54(1): 67- 72
 [12] 应火冬. 水稻在吸湿环境中的裂纹生成研究进展及应用 [J]. 农业工程学报, 1994, 9(2): 96- 101.
 [13] 刘当慧. 稻谷在干燥过程中爆腰形成的原因及其控制途径的研究与探讨[A]. 无锡市食品工程学会 1979 年年会论文集[C]. 1979
 [14] 刘木华. 水稻干燥品质的模拟和控制机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
 [15] 王振宇. 淀粉的玻璃化转变及其对食品品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2000(2): 40- 42
 [16] 林珊莉, 张水华, 张海德, 等. 玻璃化转变对食品加工和品质的影响[J]. 广西轻工业, 2001(2): 19- 21.
 [17] 丁 耀, 杨玉玲. 浅谈谷物食品的玻璃化转变与稳定性的控制[J]. 江苏食品, 2001, 106(3): 28- 31.
 [18] Siebenmorgen T T, Perdon A A. Applying glass transition principle to explain fissure formation during the drying process [J]. Presented at the 1999 international starch technology conference, June 7~ 9, 1999, Urban, L.
 [19] Cnossen A G, Siebenmorgen T J, Perdon A A, et al A Hypothesis for explaining fissure formation in rice kernels during the drying process[A]. Proceedings of the 12th International Drying Symposium DS2000[C]. Paper No. 63, 2000
 [20] Yang W, Siebenmorgen T J, Jia C C, et al Cross-flow drying of rough rice as mapped on its glass transition state diagram [A]. Proceedings of the 12th International Drying Symposium DS2000[C]. Paper No. 68, 2000
 [21] Yang W, Jia C C, Siebenmorgen T J, et al Intra-kernel moisture gradients and glass transition temperatures in relation to head rice yield variation during heated air drying of rough rice[A]. Proceedings of the 12th International Drying Symposium DS2000[C]. Paper No. 69, 2000
 [22] 刘木华, 杨德勇. 高分子科学中的玻璃化转变理论在谷物

- 干燥和储存中的应用初探[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 95- 98
- [23] 刘木华, 曹崇文. 水稻颗粒玻璃化转变的试验研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(2): 52- 54
- [24] 刘木华, 曹崇文. 用玻璃化转变理论来解释谷物裂纹产生机理[J]. 化工进展, 2000(11): 16- 19
- [25] 刘木华, 曹崇文. The study of rice safe drying temperature [A]. 2002 年第 13 届国际干燥技术年会论文集[C]. 中国北京
- [26] 朱智伟. 皮层对稻米吸胀及硬度的影响[J]. 中国水稻研究所年报(1990), 1991.
- [27] 张家年, 王庆松, 谭 军. 含水率和环境条件对稻谷吸湿产生裂纹的影响[J]. 粮食与饲料工业, 1999(12): 14- 15
- [28] 杨国峰, 王肇慈. 稻谷裂纹研究的现状及发展[J]. 中国粮油学报, 1997(2): 1- 6
- [29] 郑先哲, 王成芝. 水稻爆腰增率与干燥条件关系的试验研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 194- 197.
- [30] 刘 斌, 李业波, 毛志怀. 水稻吸湿过程的内部传质及裂纹机理研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 117- 121.
- [31] 刘木华, 曹崇文. 稻谷种子安全干燥温度模型研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3), 174- 178

Fissure formation in rice kernel based on glass transition theory

Liu Muhua, Wu Yanhong, Zeng Yifan, Zhou Xiaomei

(Engineering College, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: The fissure formation in rice kernel has been studied by many researchers, because it is the major cause to reduce the head rice yield. The reason for fissure formation based on glass transition was introduced during drying and tempering in this paper. In the course of drying, the glass state was formed in kernel appearance and inner part of kernel was still in rubbery state, and there was an interface between rubbery and glass state. Because the thermal expansion coefficient of rubbery state was many times larger than that of glass state, the tiny fissure formed in the interface between rubbery and glass state under an enough moisture gradient, and then the tiny fissure extended to a big fissure. In the course of tempering, the different parts of rubbery state in kernel can transit to glass state under different moisture gradients, the tiny fissure formed in the part of glass state. Based on the above analysis, two methods to prevent the fissure formation can be obtained. One method is changing temperature drying, the rice kernel must still be in glass state during drying. The other method is high temperature drying, the rice kernel must still be in rubbery state.

Key words: glass transition; fissure; rice drying; drying technology