

稻米三点弯曲力学特性与蒸煮食用品质的 关联性探讨

周显青, 孙晶, 张玉荣, 刘影, 高佳敏

(河南工业大学粮油食品学院, 粮食储藏与安全教育部工程研究中心, 粮食储运国家工程实验室, 河南郑州 450001)

摘要: 为探究稻米三点弯曲力学特性与其食用品质的关系, 采用物性测试仪对 9 种大米样品的三点弯曲破碎力学特性进行测试, 测定其蒸煮特性、质构特性和品尝评分值, 并分析它们之间的相关性。结果表明: 大米的破碎力与其吸水率和膨胀体积呈极显著负相关 ($r=-0.781$ 、 -0.829); 与硬度呈极显著负相关 ($r=-0.836$), 与弹性呈极显著正相关 ($r=0.744$); 与品尝评分值呈显著正相关 ($r=0.709$)。破碎变形与膨胀体积呈极显著负相关 ($r=-0.832$); 与硬度呈显著负相关 ($r=0.686$); 与品尝评分值呈正相关, 但相关性不显著。破碎强度与膨胀体积呈显著正相关 ($r=0.747$); 与硬度、弹性、咀嚼性、品尝评分值的相关性不显著。破碎能与膨胀体积呈极显著负相关 ($r=-0.765$); 与硬度呈显著负相关 ($r=-0.659$), 与弹性呈显著正相关 ($r=0.681$); 与品尝评分值呈正相关, 但相关性不显著。稻米的三点弯曲破碎力越大, 其蒸煮食用品质越好。

关键词: 大米; 力学特性; 蒸煮品质; 质构特性; 食味品质

文章编号: 1673-9078(2016)6-35-41

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.6.007

Relationships between Three-point Bending Mechanical Properties with Cooking and Edible Quality of Rice

ZHOU Xian-qing, SUN Jing, ZHANG Yu-rong, LIU Ying, GAO Jia-min

(College of Food Science and Technology, Engineering Research Center of Grain Storage and Security of Ministry of Education, Grain Storage and Logistics National Engineering Laboratory, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: To investigate the relationships between three-point bending mechanical properties and edible quality of rice, a texture analyzer was used to determine the three-point bending loads of nine types of rice samples. The cooking characteristics and texture properties were measured, and the eating quality was evaluated through sensory evaluation. Finally, relationships between three-point bending mechanical properties and edible quality of rice grains were analyzed. The results showed that the bending load at break of rice had a highly significant positive correlation with its springiness ($r = 0.774$), an extremely significant negative correlation with its water absorption rate, swelling volume, and hardness ($r = -0.781$, -0.829 , and -0.836 , respectively) and a positive correlation with its sensory evaluation ($r = 0.709$). The breaking deformation of rice had an extremely significant negative correlation with its swelling volume ($r = -0.832$), a significant negative correlation with its hardness ($r = -0.686$), and a positive correlation (not significant) with sensory evaluation. The breaking strength of rice showed a significant positive correlation with its swelling volume ($r = 0.747$), and an insignificant correlation with hardness, springiness, chewiness, and sensory evaluation. The breaking energy of rice exhibited a highly significant negative correlation with its swelling volume ($r = -0.765$), a significant negative correlation with its hardness ($r = -0.659$), a positive correlation with its springiness ($r = 0.681$), and a positive correlation (not significant) with sensory evaluation. The greater the three-point bending load of rice was, the better its edible quality became.

Key words: rice, mechanical properties, cooking characteristics, texture properties, eating quality

稻谷是我国最主要的粮食作物和口粮, 随着社会

收稿日期: 2015-07-31

作者简介: 周显青(1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向为谷物科学及产后加工与利用研究

通讯作者: 张玉荣(1967-), 女, 教授, 研究方向为粮食储藏

的发展和人民生活水平的提高, 人们开始关注大米的食用品质, 尤其是米饭食味。影响大米食味的因素较多, 大多研究集中在稻米化学成分上, 譬如直链淀粉、蛋白质、脂肪以及钠、镁等元素。研究指出直链淀粉含量与与蒸煮大米的粘度呈负相关, 而与硬度呈正相

关^[1]；稻米中蛋白质含量会影响大米蒸煮时米粒吸水率的高低^[2]；脂质、矿物质 Mg/K、Mg/N、游离脂肪酸等，都与食味品质有一定联系^[3]。而对物理特性产生的影响研究较少，稻谷在收获、运输、加工等流通过程中，均会受到不同程度的机械力的作用，如压力、摩擦力、剪切力、弯曲力等。当这些外力作用大于稻米籽粒胚乳自身的结合强度时，会造成其不同程度的爆腰或破裂，稻谷破裂后易生霉长虫，由于胚乳组织的破裂，胚芽所能得到的养料也会相应减少，从而使稻米的食味下降、营养成分降低。另外，应力裂纹能使稻谷的淀粉、蛋白质、脂肪等成分遭到破坏，严重影响大米作为主食的营养价值^[4]。目前有关稻米籽粒力学特性与食味品质关联性研究的理论体系尚未形成，但倍受学者关注，已有研究^[5-7]报道，稻米的食味值与应力松弛特性及剪切力都呈显著正相关，弹性和黏性为米饭食味品质评定的主成分因子。稻米的三点弯曲力是指稻米在加工过程中承受弯曲载荷的重要指

标，它表征稻米所能抵抗弯曲载荷的能力。有研究表明^[8]，稻米的弯曲破碎力更能反映其破碎特性，而碎米的含量对于其食味品质有较大影响，可见，籽粒弯曲力学特性与食味品质间存在着某种联系，但目前尚无此方面的研究报道。

本文探索精米的三点弯曲力学特性与其蒸煮、食味品质的关联性，试图探讨三点弯曲力学特性与食用品质之间的关系，不仅可为加工中减少破碎和爆腰，改善稻米的口感提供依据，也可为稻谷的育种提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

9种稻谷样品和主要理化指标(表1)，采样按照GB5491进行，取样后经清理除杂、包装后在4℃冷藏状态下存放。

表1 稻谷样品和主要理化指标

Table 1 Rice samples and the primary physicochemical indices

代号	名称	类型	产地	水分含量/%	蛋白质/%	直链淀粉/%	粗脂肪/%
J01	矮白稻	粳型	江苏	12.89	7.71	13.00	1.89
J02	龙稻7号	粳型	黑龙江	12.32	6.57	14.50	1.36
J03	原阳黄金晴	粳型	河南	13.44	6.26	12.95	2.02
X01	金早47	籼型	江西	12.96	6.72	23.64	1.94
X02	中二软占	籼型	广东	12.87	6.86	20.31	2.19
X03	优1899	籼型	江西	13.07	7.69	22.85	3.16
X04	85-059	籼型	江西	12.42	8.31	23.57	2.41
X05	大粒稻	籼型	湖北	12.63	8.05	22.78	2.67
X06	南集3号	籼型	江西	12.87	6.83	19.95	1.73

1.2 仪器与设备

JWXL型物性测试仪，北京东孚久恒仪器技术有限公司；JLGJ-4.5型砬谷机，台州市粮仪厂；JNMI-3型碾米机，台州市粮仪厂；电子天平，北京赛多利斯仪器系统有限公司；电磁炉，山东九阳股份有限公司。

1.3 精米样品制备

精米制备：样品经清理、砬谷和碾米得到精度符合国家标准3级大米，精米样品要充分混和均匀，然后用分样器进行分样，得到测试样品。

米饭制备：按照GB/T15682-2008制备。

1.4 试验方法

1.4.1 水分的测定

参照GB/T5497-1985 105℃恒重法测定。

1.4.2 蛋白质测定

参照国标GB/T 5511-2008测定

1.4.3 直链淀粉测定

参照国标GB/T15683-2008测定。

1.4.4 粗脂肪测定

参照GB/T5512-2008索氏抽提法测定。

1.4.5 精米厚度的测定

从样品中随机抽取完整大米样品50粒，将其置于深色台面上，在自然光下测其厚度，求平均值，作为整批精米样品的厚度。

1.4.6 大米样品三点弯曲力学特性的测定

参考周显青等^[8]糙米机械破碎力学特性试验与分析中三点弯曲力的测定方法。测定装置和典型三点弯曲-时间特征曲线如图1所示。

1.4.7 大米蒸煮特性

参考周显青^[9]大米蒸煮特性试验，测定大米吸水

率、膨胀体积。

将 7 g 大米试样放入高 10 cm、直径 4 cm 的已知质量的圆柱形金属笼内，将金属笼悬挂在装有 120 mL 50℃ 蒸馏水的高型烧杯中。在沸水锅中蒸 20 min (100℃ 开始计时)。取出金属笼置烧杯上至不再有米汤滴下，然后置于干净的干纱布上冷却 0.5 h，称重。

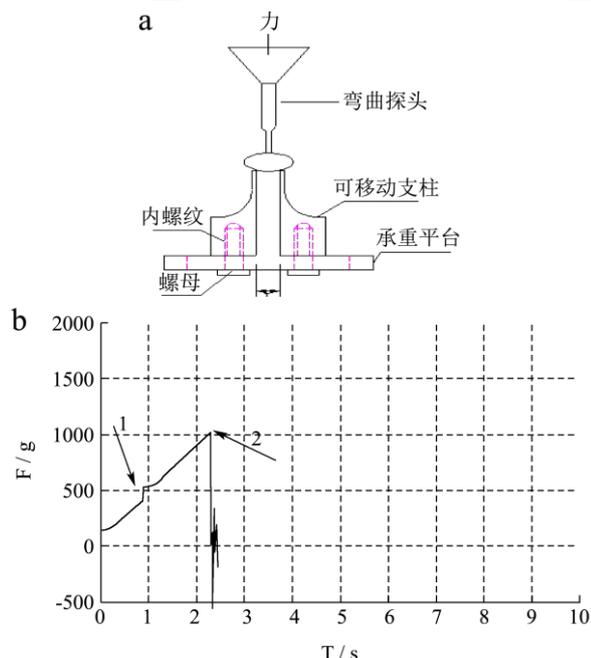


图 1 三点弯曲力学特性的测定

Fig.1 Three-point test of mechanical properties

注：a 三点弯曲测试装置，b 三点弯曲破碎力—时间特征曲线。

(1)加热吸水率

称取蒸煮后的米饭和金属笼的质量，按下式计算：

$$\text{加热吸水率} = \frac{\text{米饭质量}}{\text{大米质量}} \times 100\%$$

(2)膨胀率

量出蒸煮前大米的容积和蒸煮后米饭的容积，按下式计算：

$$\text{膨胀率} = \frac{\text{米饭容积}}{\text{大米容积}} \times 100\%$$

1.4.8 米饭质构特性的测定

米饭样品的制备按照 GB/T15682-2008 小样品米饭的制备方法。

物性仪参数设定：P35 柱型探头；测试模式为 TPA 模式；测试前速度为 1 mm/s，测试速度为 0.5 mm/s，测试后速度为 10 mm/s，压缩程度为样品厚度的 70%。质构测定时，去除铝盒表面的米粒，从铝盒中心处取 3 粒完整米粒平行放于载物台上，米粒之间要有一定间隔，并与载物台侧边相平行。每盒样品做 3 次平行实验。

1.4.9 米饭食味感官评价

评价方法按照 GB/T15682-2008 中的评价方法一（综合评分法）。

1.5 数据统计与分析

采用 VB(visual basic)编程计算相关力学特性。采用 SPSS16.0 软件对数据进行相关性分析，按照 Analyze→Correlate→Bivariate 等命令对各因素进行相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 大米的厚度与其三点弯曲力学特性指标分析

表 2 大米的厚度及其三点弯曲力学特性指标

Table 2 Thickness and indices of three-point properties of rice

样品代号	厚度/mm	破碎力/N	破碎变形/mm	破碎强度/MPa	破碎能/(N mm)
J01	2.00±0.18	15.50±5.44	0.30±0.07	8.17	2.98
J02	2.01±0.13	11.73±4.58	0.22±0.09	8.13	1.45
J03	2.21±0.07	16.39±5.13	0.26±0.09	10.81	2.29
X01	2.01±0.07	8.03±2.67	0.20±0.06	5.61	0.88
X02	1.60±0.10	7.97±2.03	0.18±0.06	17.06	0.88
X03	1.90±0.07	8.98±2.88	0.19±0.04	13.98	0.92
X04	1.90±0.10	8.95±2.90	0.14±0.05	13.83	0.63
X05	1.87±0.09	7.64±2.37	0.15±0.03	10.12	0.60
X06	1.86±0.08	8.84±3.84	0.16±0.07	12.33	0.84

已有研究发现^[10]，稻米的厚度对其三点弯曲力有显著的影响，籽粒的厚度越大，其三点弯曲作用力也越大。厚度也影响米饭蒸煮时水分的扩散速度。由此，

对 9 种大米样品的厚度及其三点弯曲破碎力、破碎变形、破碎强度和破碎能分别进行测定，结果见表 2。

由表 2 可知，9 种稻米样品的厚度存在差异，其

中粳米样品的厚度普遍大于籼米,厚度最大的是J03,为2.21 mm,厚度最小的是X02,为1.60 mm。大米样品的三点弯曲破碎力、破碎变形、破碎强度及破碎能均不同,粳米样品三点弯曲破碎力、破碎变形、破碎能均高于籼米样品,除X01的破碎强度为5.61 MPa外,籼米样品的破碎强度均高于粳米样品,这是因为破碎强度不仅与破碎力和大米的厚度有关,同时还有大米样品的宽度有关。粳米样品的破碎力在15.5 N~16.39 N之间,籼米样品的破碎力在7.64 N~8.98 N之间,各品种间的三点弯曲曲率差异性显著。厚度最大的J03样品的三点弯曲破碎力最大,为16.39 N,这主要是由于厚度大的样品的抗破碎能力强。相同厚度(J01、J02)的粳米样品的破碎力、破碎变形、破碎能均存在差异,这表明粳米样品的破碎力学特性不仅与其厚度有关,与其胚乳内物质的结合强度也有关系,J02样品的力学特性小的原因可能是其籽粒内部的结合强度小,内部存在较大的孔隙,所能承受的抗弯能力小;相同厚度(X03、X04、X05、X06)的籼米样品的破碎力、破碎变形、破碎强度相近,这说明厚度是决定籼米样品破碎力学特性的主要因素;厚度最小的X02样品的破碎力并不是最小的,但其与破碎力最小的X05样品的破碎力相差不大,这说明除了厚度,还存在着其他影响力学特性的因素,譬如样品的均匀度,样品内胚乳的质地等;相同厚度(J02、X01)的粳米和籼米样品的破碎力学特性存在着较大的差异,这是由于品种之间的差异引起的。

2.2 大米的蒸煮特性指标

不同品种大米样品的吸水率和膨胀体积测定结果见图2。

由图2可知,同种类型稻米,厚度相近(J01、J02; X03、X04; X05、X06)样品的吸水率和膨胀体积基本相近,但是也存在一定的差异,这与胚乳内部物质的结合强度有关系,J01、J02样品的力学特性差异较大,但是其蒸煮品质之间的差异却是最小的,X03、X04; X05、X06样品的力学特性相近,但是其蒸煮品质之间的差异相对较大,这说明影响力学特性的因素很多,不仅与样品厚度有关系,同时也与单个籽粒的含水率,籽粒胚乳的质地相关。总体上看,籼米的吸水率和膨胀体积比粳米大。而厚度相近的(J02、X01)样品的吸水率和膨胀体积存在着较大差异,J02吸水率为344%,X01为368%;J02膨胀体积率为380%,X01为420%,产生这一现象的原因可能是由于籼米米质疏松,直链淀粉含量高,米饭吸水性较好,而粳米的米质紧密,淀粉中的支链淀粉含量较高,米饭的涨性

小^[11]。通过测定大米的吸水率和膨胀体积,能从一定程度上反映大米的食用品质,研究表明,吸水率大,膨胀体积大的大米的食用品质较差。

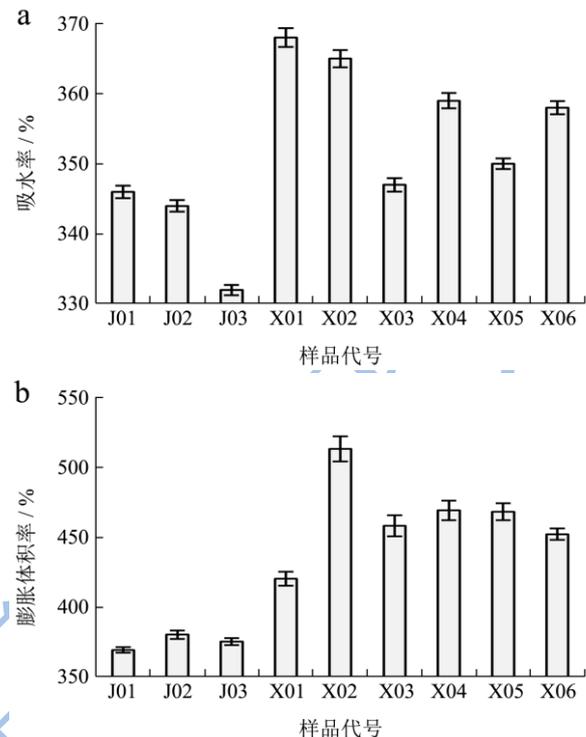


图2 不同品种大米样品吸水率和膨胀体积的变化

Fig.2 Water absorption and swelling volume of different rice samples

注: a.吸水率, b.膨胀体积图。

2.3 米饭质构特性

硬度、弹性、咀嚼性是评价米饭质构特性的三个重要指标。不同品种大米样品米饭的硬度、弹性、咀嚼性的测定结果见图3。

由图3a可知,样品J03的硬度最低,为1437 g;样品X01的硬度最高,为2127 g。由图3b可知,样品J03的弹性最高,为0.72 mm;样品X06的弹性最低,为0.56 mm,粳米样品和籼米样品的弹性相差不大;由图3c可知,样品J03的咀嚼性最低,为294.6 g mm,样品X04的咀嚼性最高,为387.9 g mm。厚度相同的(J01、J02; X03、X04; X05、X06)样品的硬度、弹性、咀嚼性均相差不大,这说明米饭的质构特性与厚度之间存在着一定的关系,故其与力学特性之间必然也存在着一定的关系。厚度相近的(J02、X01)粳米样品和籼米样品的硬度、弹性、咀嚼性均存在差异,X01样品的硬度和咀嚼性高于J02,而弹性低于J02。

相关研究表明^[12,13],直链淀粉与脂类形成的复合物能阻碍淀粉的糊化,从而可能对蒸煮大米的质构特性产生影响。在对不同品种的大米进行碾磨时,即使

碾磨时间相同，它们的碾磨程度也是有差别的，这就使得不同样品中脂类物质去除程度不一样，脂类物质去除的越完全，其淀粉的糊化就变得容易，这就导致了不同样品质构特性的不同。随着碾白度的增大，米饭的附聚性、粘结性、内部水分、光泽、饱满性、柔韧性和甜味都提高，米饭粒的完整性、气味、色泽都降低。

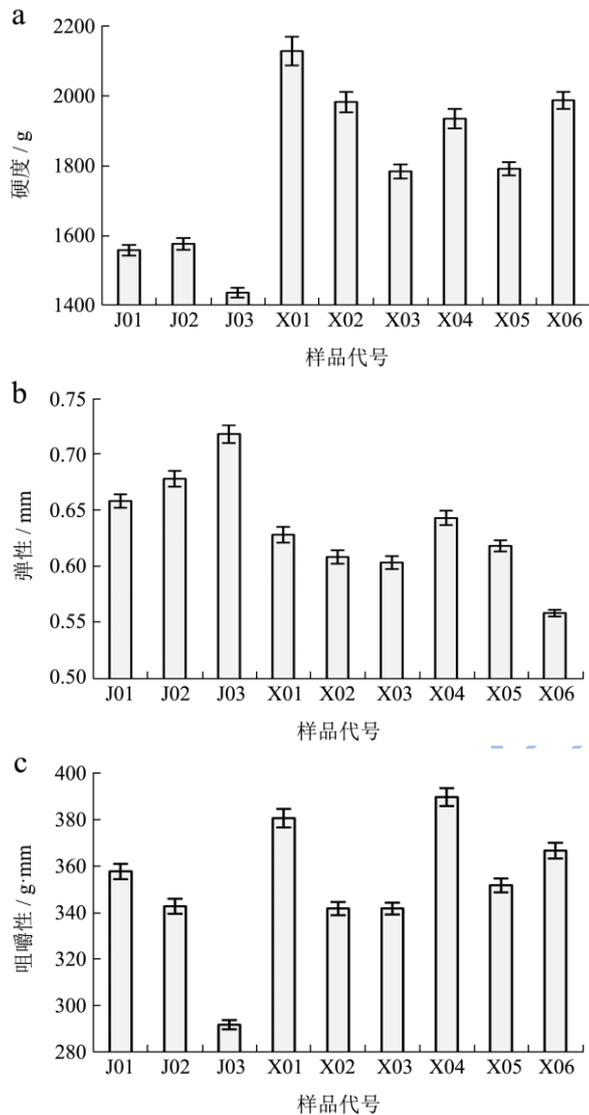


图3 米饭质构特性

Fig.3 Rice textural properties

注：a 硬度，b 弹性，c 咀嚼性。

2.4 米饭食味感官评价

通过感官评价的方法得到了米饭食味品质综合评分，结果见图4。

由图4可知，在本试验粳米样品中，J03的厚度最大，其感官评分也最高，为83分。这与粳稻样品的厚度有关，孟庆虹等^[14]研究表明粳糙籽粒的厚度与米饭食味品质呈极显著正相关，米饭的食味品质综合评

分随厚度的增大而提高。而籼稻品种的食味品质与厚度的关系不明显，这说明厚度不是决定籼稻品尝评分值的最主要因素，这可能是与其籽粒胚乳的质地有关。此外，粳稻品种的感官食味值平均为78.3分，高于籼稻品种平均71.2分，这与金丽晨^[15]的研究一致。这与不同稻种间所含的蛋白质、直链淀粉等成分的含量有关。

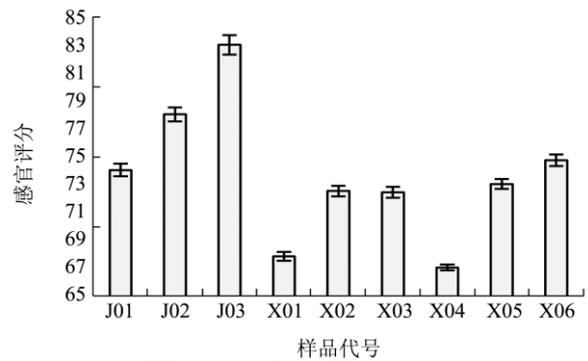


图4 米饭食味品质综合评分

Fig.4 Eating quality score of rice

2.5 相关性分析

用SPSS 16.0软件分析大米的破碎力和蒸煮品质，以及其米饭的感官评分和质构特性指标相关性分析，结果如表3所示。

由表3数据可知，厚度与破碎力呈显著正相关，相关系数为0.710，与破碎强度呈显著负相关，相关系数为-0.671；与吸水率、膨胀体积呈显著负相关，相关系数为-0.671、-0.871；与弹性呈显著正相关，相关系数为0.716；与感官评分呈正相关，但相关性不显著。直链淀粉含量与破碎力、破碎变形、破碎能呈极显著负相关，相关系数为-0.912、-0.843、-0.888；与吸水率和膨胀体积呈显著正相关，相关系数为0.709、0.776；与硬度呈极显著正相关，相关系数为0.838；与感官评分呈极显著负相关，相关系数为-0.808。蛋白质含量和脂肪含量与其力学特性及蒸煮质构特性的相关性均不显著。破碎力与破碎变形、破碎能呈极显著正相关，相关系数分别为0.882、0.913；与吸水率、膨胀体积呈极显著负相关，相关系数分别为-0.781、-0.829；与硬度呈极显著负相关，与弹性呈极显著正相关，相关系数分别为-0.836、0.744；与感官评分呈显著正相关，相关系数为0.709。破碎变形与破碎能呈极显著正相关，相关系数为0.849；与膨胀体积呈极显著负相关，相关系数为-0.832；与硬度呈显著负相关，相关系数为-0.686；与感官评分相关性不显著。破碎强度与吸水率呈负相关，但相关性不显著，与膨胀体积呈极显著负相关，相关系数为-0.832；与硬度呈显

著负相关, 相关系数为-0.686, 与弹性呈正相关, 与咀嚼性呈负相关, 但相关性不显著; 与感官评分呈正相关, 相关性不显著。破碎强度与膨胀体积呈显著正相关, 相关系数为 0.747; 与吸水率、硬度、弹性、咀嚼性、感官评分的相关性均不显著。破碎能与膨胀体积呈极显著负相关, 相关系数为-0.756; 与硬度呈显著负相关, 相关系数为-0.659, 与弹性呈显著正相

关, 相关系数为 0.681; 与感官评分呈正相关, 但相关性不显著。大米蒸煮品质与质构特性以及品尝评分值之间也存在一定的相关性, 吸水率与硬度呈极显著正相关, 相关系数为 0.905, 与咀嚼性呈显著正相关, 相关系数为 0.656; 与感官评分呈极显著负相关, 相关系数为-0.788。

表 3 大米的破碎特性与理化指标、蒸煮品质及其米饭的感官评分和质构特性指标的相关性

Table 3 Correlations of three-point bending mechanical properties with physicochemical indices, cooking and eating quality, and texture quality of rice

	厚度	直链淀粉	蛋白质	脂肪	破碎力	破碎变形	破碎强度	破碎能	吸水率	膨胀体积	硬度	弹性	咀嚼性	感官评分
厚度	1.000													
直链淀粉	-	1.000												
蛋白质	-	-	1.000											
脂肪	-	-	-	1.000										
破碎力	0.710 *	-0.912**	-0.309	-0.374	1.000									
破碎变形	0.577	-0.843**	-0.361	-0.378	0.882 **	1.000								
破碎强度	-0.669*	0.277	0.213	0.468	-0.305	-0.442	1.000							
破碎能	0.569	-0.888**	-0.244	-0.379	0.913**	0.849**	-0.331	1.000						
吸水率	-0.671*	0.709*	0.152	0.017	-0.781**	-0.568	0.126	-0.533	1.000					
膨胀体积	-0.871*	0.776*	0.373	0.541	-0.829**	-0.832**	0.747*	-0.765**	0.516	1.000				
硬度	-0.609	0.838**	0.152	-0.161	-0.836**	-0.686*	0.173	-0.659*	0.905 **	0.577	1.000			
弹性	0.716 *	-0.662	-0.272	0.286	0.774 **	0.609	-0.337	0.681*	-0.524	-0.488	-0.581	1.000		
咀嚼性	-0.359	0.618	0.525	0.003	-0.510	-0.355	-0.119	-0.219	0.656 *	0.128	0.484	-0.341	1.000	
感官评分	0.486	-0.808**	-0.605	-0.352	0.709 *	0.583	-0.110	0.487	-0.788**	-0.531	-0.730*	0.307	-0.569	1.000

注: ** $p=0.01$ 水平上的显著性, * $p=0.05$ 水平上的显著性。

随大米的破碎力的增大, 吸水率、膨胀体积和硬度减小, 弹性增大, 分析原因是由于水分通过细胞间隙而进入大米籽粒内部, 大米的吸水率和膨胀体积小, 说明籽粒内部淀粉和蛋白排列紧密, 水分不易进入籽粒内部, 同时由于淀粉和蛋白之间的紧密结合导致破碎力也较大, 故破碎力与吸水率、膨胀体积及硬度呈负相关。大米的食用品质可用硬度、粘度、粘聚性和弹性来评价, 日本学者研究认为, 米饭的硬度小, 粘度大, 硬度/粘度比值小, 则食味佳, 反之食味差。本研究发现硬度小, 弹性大、食味品质较佳的大米, 破碎力大

不同品种稻米的三点弯曲力破碎力、破碎变形、破碎强度、破碎能均存在差异, 粳稻的破碎力、破碎变形、破碎能均高于籼稻; 精米三点弯曲破碎力与破碎能、破碎变形、弹性呈极显著正相关, 与破碎强度呈负相关, 与吸水率、膨胀体积、硬度呈极显著负相关, 与感官评分呈显著正相关; 破碎变形与破碎能呈极显著正相关, 与膨胀体积呈极显著负相关, 与硬度呈显著负相关; 破碎强度与膨胀体积呈显著正相关; 破碎能与膨胀体积呈极显著负相关, 与硬度成显著负相关, 与弹性呈显著正相关; 稻米的三点弯曲破碎力越大, 其弯曲力学性能越好, 其食用品质也越好。本试验初步探讨了稻米弯曲破碎力学特性与食用品质关系, 还有待于加大样品数量进一步的验证。

3 结论

参考文献

- [1] Chanintorn Sitakalin, Jean-Francois C. Meullenet. Prediction of cooked rice texture using an extrusion test in combination with partial least squares regression and artificial neural networks [J]. Cereal Chemistry, 2011, 78(4): 391-394
- [2] Martin M, Fitzgerald M A. Proteins in rice influence cooking properties [J]. Cereal Science, 2003, 36: 285-294
- [3] Otsubo K, Nakamura S. Research on appearance quality and eating quality of rice: (8) According to the biological, physical, and chemical methods to evaluate the eating quality of rice [J]. AgronHortic, 2011, 86: 641-651
- [4] 李栋, 毛志怀. 稻谷自然晾晒后显微结构分析研究[J]. 农业工程报, 2003, 19(2): 156-159.
LI Dong, MAO Zhi-huai. Microscopic structure of rough rice after sun drying [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(2): 156-159
- [5] 张洪霞, 马小愚. 稻米食用品质的力学指标主成分分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7): 90-94
ZHANG Hong-xia, MA Xiao-yu. Principal component analysis on taste quality of brown rice based on mechanical indexes of cooked rice grain [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(7): 90-94
- [6] 张洪霞. 基于稻米力学指标主成分分析的质量评价模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 251-255
ZHANG Hong-xia. Model for evaluating paddy rice quality based on principal component analysis of its mechanical indexes [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(2): 251-255
- [7] 程玉来, 王岩, 徐正进. 稻米应力松弛特性与食味值、淀粉含量和蛋白含量相关性分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(2): 232-234
CHENG Yu-lai, WANG Yan, XU Zheng-jin. A study on stress relaxation of different variety rice [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2007, 38(2): 232-234
- [8] 周显青, 张玉荣, 褚洪强, 等. 糙米机械破碎力学特性试验与分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 255-262
ZHOU Xian-qing, ZHANG Yu-rong, CHU Hong-qiang, et al. Experiment and analysis of mechanical properties of mechanical crushing brown rice [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(18): 255-262
- [9] 周显青. 稻谷精深加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006
ZHOU Xian-qing. Rice deep processing technology [M]. Beijing, Chemical Industry Press, 2006
- [10] Siebenmorgen T J, Qin G. Relating rice kernel breaking force distributions to milling quality [J]. Transaction American society of agricultural engineers, 2005, 48(1): 223
- [11] Yadav K B, Jindal V K. Water uptake and solid loss during cooking of milled rice (*Oryza sativa L.*) in relation to its physicochemical properties [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 46-54.
- [12] Marrison W R, Azudin M N. Variation in the amylase and lipid content and some properties of rice starch [J]. Journal of Cereal Science, 1987, 5(1): 35-44.
- [13] Jung K P, Sang S K, Kwang O K. Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice [J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(2): 151-156
- [14] 孟庆虹, 潘国君, 李霞辉, 等. 粳稻品种的粒厚特征及其对食味品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(4): 427-432
MENG Qing-hong, PAN Guo-jun, LI Xia-hui, et al. Grain thickness of japonica rice varieties and its influence on eating quality [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2009, 23(4): 427-432.
- [15] 金丽晨. 稻米淀粉理化特性及分子结构与食味品质的关系[D]. 南京: 南京农业大学, 2010
JIN Li-chen. Correlations between physicochemical properties, molecular structure of rice starch and rice eating quality [D]. Nan Jing: Agricultural University