

不同加工程度大米食味变化分析

苏慧敏¹, 张敏^{1,2,*}, 苗菁², 赵兵^{1,2}

(1.北京工商大学 北京食品营养与人类健康高精尖创新中心, 北京 100048;

2.北京工商大学 北京市食品添加剂工程技术研究中心, 北京 100048)

摘要:为研究大米加工程度对米饭食味的影响, 对不同加工程度大米进行基本理化指标、质构、感官品质及风味测定。结果表明, 随着加工程度提高, 大米食味值增大, 总脂肪、蛋白质含量降低, 米饭硬度减小。蒸煮可显著增加米饭的水溶性蛋白质含量。大米加工程度越高, 米饭风味成分含量损失越严重。相对于糙米, 碾磨3 min、碾磨6 min、碾磨9 min的大米米饭挥发性成分总量分别减少了50.7%、73%、79%。碾磨6 min和碾磨9 min大米在理化性质(食味值、粗蛋白、直链淀粉、脂肪含量)、质构(黏度、平衡、弹性)均无显著差异。

关键词:大米; 加工程度; 理化指标; 感官品质; 风味成分

Changes in Rice Taste with Milling Degree

SU Huimin¹, ZHANG Min^{1,2,*}, MIAO Jing², ZHAO Bing^{1,2}

(1. Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives,

Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: To study the effect of rice milling degree on rice taste, the basic physicochemical properties, texture, sensory quality and flavor of rice milled to different degrees were tested. The results showed that rice taste value increased while total fat and protein contents and hardness decreased as the degree of milling increased. The cooking procedure could significantly increase the water-soluble protein content of rice. The higher the degree of milling of rice was, the more rice flavor components were lost. Compared to unpolished rice, the total amounts of volatile components of 3, 6, and 9 min milled rice were reduced by 50.7%, 73%, and 79%, respectively. No significant differences in physicochemical properties, texture and flavor levels were seen between 6 min and 9 min milling of rice.

Key words: rice; milling degree; physicochemical properties; sensory quality; flavor

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618010

中图分类号: TS21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 18-0058-06

引文格式:

苏慧敏, 张敏, 苗菁, 等. 不同加工程度大米食味变化分析[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 58-63. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618010. <http://www.spkx.net.cn>

SU Huimin, ZHANG Min, MIAO Jing, et al. Changes in rice taste with milling degree[J]. Food Science, 2016, 37(18): 58-63. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618010. <http://www.spkx.net.cn>

大米的食味是人们对米饭的综合感觉, 通常采用理化分析和感官评定相结合的方法进行鉴定。随着科技发展, 米饭的质构测定和风味物质测定在大米食味评定中, 将逐渐取代主观的感官评定^[1-3]。

大米食味计是利用近红外光分析仪开发出的可快速准确测定大米部分理化指标, 并对大米食味品质——食味值进行客观打分的一种先进仪器^[4-5]。米饭硬度黏度仪

是近年研发出来用于测定米饭质构特征的仪器。一般认为, 米饭硬度小, 黏度大, 硬度/黏度比值小, 则食用品质较佳^[6]。

有关大米加工程度与米饭食味之间的关系研究, 贾奎连等^[7]的结果证实, 大米营养成分和加工程度呈反比, 大米食用品质和加工程度呈正比; 李爽等^[8]指出, 碾米不充分会引起米饭带有米糠味和饭粒变黄, 但过度碾米则

收稿日期: 2016-03-10

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31371830)

作者简介: 苏慧敏 (1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。E-mail: 892853839@qq.com

*通信作者: 张敏 (1972—), 女, 教授, 博士, 研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。E-mail: xzm7777@sina.com

会使米饭无味以及口感差。蛋白质对米饭食味有较大影响,丁毅等^[9]研究表明,粳稻中蛋白质含量的升高会降低淀粉水合的有效水量,从而影响淀粉糊化并最终导致大米蒸煮食味品质的降低。大米加工过程中引起的蛋白质变化导致的食味差异,值得进一步研究。

目前已经鉴定出米饭中100多种风味成分,主要是一些醛、酮、酸、酯、醇、烃以及杂环等化合物。Park等^[10]发现2-甲基-3-呋喃硫醇和2-乙酰-1-吡咯啉是韩国非香稻“Choochung”中风味活性最强的化合物,2-甲基-3-呋喃硫醇首次被认为是非香稻潜在的风味活性化合物。苗菁等^[11]研究发现,2-乙酰基-1-吡咯啉、香草醛、1-辛烯-3-醇、壬醛、4-乙烯基苯酚、4-乙烯基创木酚、己醛、辛醛、庚醛、戊醛等物质对米饭整体风味轮廓起到关键作用。由于风味成分提取方法和稻谷品种的不同,米饭风味物质测定结果相差较大。有关不同加工程度大米中风味成分的变化情况研究较少。本实验拟采用固相微萃取-气相色谱-质谱(solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS)联用的方法,测定不同加工程度大米米饭中风味成分变化规律,以期为大米加工及方便米饭产品的研发提供基础理论数据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

空育131号稻谷 黑龙江产地采购; C₈~C₂₁系列正构烷烃 国药集团化学试剂有限公司; 2-甲基-3-庚酮(色谱纯) 北京化学试剂公司; 氦气 北京氦普分气体工业有限公司。

1.2 仪器与设备

THU35C实验型砵谷机、TM05C实验型碾米机、RHS1A米饭硬度黏度仪、JSWL200大米食味计 日本株式会社佐竹制作所; U-3900紫外分光光度计 日本Hitachi科技公司; 890A-7000B GC-MS联用仪、手动SPME装置、30/50 μm二甲基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS)灰色萃取头及手柄 美国Agilent公司; DB-Wax毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm) 美国J&W公司。

1.3 方法

1.3.1 不同加工程度大米制备

将产地采购稻谷进行砵谷、碾磨,碾磨时间分别为3、6、9 min。将糙米、碾磨3 min、碾磨6 min、碾磨9 min大米分别编号为样品1、样品2、样品3、样品4。

1.3.2 米饭的制备

参照苗菁等^[11]的方法,称取50 g大米样品置于带盖密

闭铝盒中,用适量自来水淘洗,加入75 mL自来水,浸泡30 min,上笼蒸煮30 min,保温焖制15 min。

1.3.3 基本理化指标及质构测定方法

大米总脂肪含量,参照GB/T 14772—2008《粮油检验:稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》方法进行测定;大米食味值、粗蛋白含量、直链淀粉含量,使用大米食味计测定;水溶性蛋白质含量,采用考马斯亮蓝法测定^[12],以干质量计;米饭质构,使用米饭硬度黏度仪测定。水溶性蛋白质含量-吸光度标准曲线如图1所示。

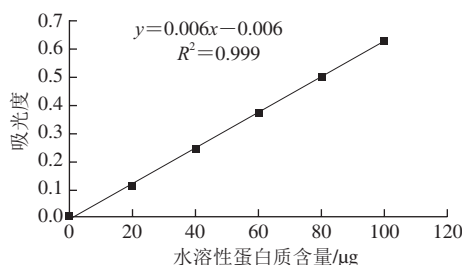


图1 水溶性蛋白质标准曲线

Fig. 1 Standard curve for water-soluble protein content

1.3.4 米饭感官评价方法

按照1.3.2节小量样制备米饭,参照GB/T 15682—2008《粮油检验:稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》对米饭观察并品尝。

1.3.5 米饭风味成分测定

挥发性物质提取,萃取前把SPME萃取纤维头在GC-MS进样口老化,老化温度为250 ℃,时间为10 min。快速称取5 g蒸煮好的新鲜米饭,加入1 μL含量为0.816 μL/mL的2-甲基-3-庚酮置于40 mL顶空瓶中,用聚四氟乙烯隔垫密封。60 ℃条件下水浴平衡20 min,插入萃取纤维,顶空取样40 min,然后在GC-MS进样口解吸5 min,进行GC-MS联机分析。

GC条件: DB-WAX毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 进样口温度为250 ℃; 升温程序为: 初温40 ℃,保持3 min,以5 ℃/min升温到200 ℃,再以10 ℃/min升到230 ℃,保持3 min。载气为氦气,流速为1.2 mL/min。不分流进样。

MS条件: 电子电离源; 电子能量70 eV; 传输线温度280 ℃; 离子源温度230 ℃; 四极杆温度150 ℃; 质量扫描范围m/z 55~500。

1.4 数据处理

采用DPS软件进行数据统计处理,所有实验重复3次,取平均值。

风味成分定性分析,以NIST 11谱库检索及保留指数(retention index, RI)为主,结合人工谱图解析进行确定。化合物RI按下式计算。

$$RI = 100 \times n + 100 \times \frac{t_a - t_n}{t_{n+1} - t_n}$$

式中: t_a 为样品a的保留时间/min; t_n 为正构烷烃 C_n 的保留时间/min(样品a的保留时间落在正构烷烃 C_n 和 C_{n+1} 之间); t_{n+1} 为正构烷烃 C_{n+1} 的保留时间/min。

风味成分定量分析, 设定内标物质2-甲基-3-庚酮的峰面积为1, 其他物质按照峰面积百分比定量。

2 结果与分析

2.1 大米基本理化指标

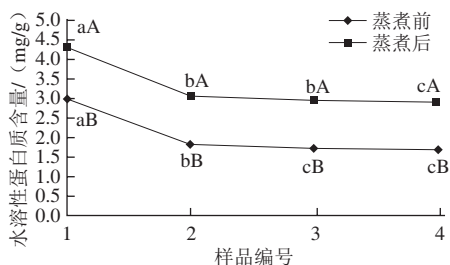
表1 不同加工程度大米理化指标

Table 1 Physicochemical indicators of different milling degree rice

指标	样品1	样品2	样品3	样品4
出米率/%	84.4±0.3 ^a	67.5±0.8 ^b	59.1±0.4 ^c	54.9±0.8 ^d
食味值	79.5±0.5 ^c	85.5±0.5 ^b	89±0.1 ^a	90.0±0.1 ^a
粗蛋白含量/%	9.3±0.1 ^a	7.2±0.2 ^b	6.6±0.1 ^c	6.4±0.1 ^c
直链淀粉含量/%	16.2±0.1 ^c	19.6±0.1 ^b	20.3±0.06 ^a	20.3±0.1 ^a
脂肪含量/%	3.3±0.2 ^a	1.7±0.2 ^b	0.9±0.1 ^c	0.7±0.1 ^c

注: 同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

由表1可知, 大米在加工过程中, 出米率显著降低, 食味值逐渐增大。这表明对糙米进行一定程度加工可满足人们对米饭适口性的要求。碾磨6 min和碾磨9 min的大米, 食味值则无显著性差异; 过度加工造成生产成本提高, 环境污染, 利用价值降低。加工严重损失大米的蛋白质含量, 从糙米到碾磨9 min大米, 粗蛋白含量损失率达32%。大米中的蛋白质含量与食味值之间存在一定的负相关关系, 这与芮闯等^[13]研究结果相一致。直链淀粉一般存在于大米胚乳当中, 加工过程中逐渐脱去皮层、糊粉层和部分胚, 损失大量蛋白质、矿物质, 使得直链淀粉含量相对提高。这和王萌等^[14]的研究结果存在一定差异, 可能由加工方式和表示形式不同造成。脂肪含量逐渐降低, 和张兰等^[15]的研究结果一致。



不同小写字母表示不同样品之间差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示同一样品蒸煮前后差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 不同加工程度蒸煮前后大米、米饭水溶性蛋白含量

Fig. 2 Water-soluble protein contents in different milling degree rice

由图2可知, 4个样品经蒸煮后水溶性蛋白的含量分别提高了42.1%、68.7%、70.4%、68.1%, 原因可能是蛋

白质在热作用下降解成多肽、寡肽或氨基酸等可溶性成分。此外, 大米蛋白由谷蛋白、清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白组成, 其中清蛋白是水溶性蛋白。随着加工程度的提高, 大米中蛋白的含量减少, 使其清蛋白及可溶性蛋白含量降低^[16], 这也是引起不同加工程度大米可溶性蛋白含量产生差异的主要原因。

刘珊等^[17]研究结果也表明, 高温导致米饭中蛋白质水溶性增强。糙米水溶性蛋白质提高幅度小于其他3种大米, 可能是糙米中蛋白质、纤维、脂肪含量高, 分子交联更为密切, 相同蒸煮时间和温度条件下大米结构变化较小。

2.2 米饭质构的变化

表2 不同加工程度米饭质构水平

Table 2 Texture properties of different milling degree rice

指标	样品1	样品2	样品3	样品4
硬度/N	53.21±4.12 ^a	40.77±3.33 ^b	40.18±3.04 ^b	34.89±2.25 ^c
黏度/N	1.18±0.29 ^b	3.33±1.18 ^a	4.12±1.18 ^a	4.12±1.86 ^a
平衡	0.02±0.00 ^b	0.16±0.03 ^a	0.17±0.03 ^a	0.19±0.05 ^a
弹性	0.80±0.03 ^a	0.74±0.01 ^b	0.75±0.03 ^b	0.76±0.02 ^b

注: 表中数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

由表2可知, 随着加工程度的提高, 米饭硬度显著减小。Seki等^[18]指出, 如果大米吸水不充足, 米粒中的淀粉粒就得不到充分糊化和膨胀, 最终导致米饭偏硬。Martin等^[19]在稻米中分别添加蛋白酶和二硫苏糖醇来酶解蛋白质和切断蛋白质之间的二硫键, 结果表明破坏蛋白质和切断二硫键后, 米饭的快速黏度仪的黏度曲线都整体下降, 认为蛋白质的水合作用和通过二硫键而形成的网络结构在蒸煮过程中影响米饭的质地。糙米中蛋白质含量最高, 籽粒结构紧密, 大量蛋白体堵塞在淀粉体间的空隙, 导致糙米吸水速度慢, 吸水量减少, 而且蛋白质之间的二硫键会阻止糊化过程中淀粉颗粒的膨胀。周显青等^[20]的结果也显示, 米饭硬度与大米脂肪含量、蛋白质含量呈显著正相关。因此, 随着大米加工程度的提高, 米饭硬度减小的可能原因是, 蛋白质、脂肪含量逐渐减少, 大米淀粉颗粒在糊化过程中所受到的阻力减小, 糊化更为完全。

糙米碾磨加工后, 米饭黏度上升, 平衡值增大, 弹性减小。平衡值代表米饭黏度和硬度的比值, 数值越大表示米饭越软。不同加工程度的大米, 米饭的黏度、平衡值和弹性之间差异不显著。

2.3 米饭的感官评价分析

由表3可知, 糙米米饭的整体评价较差。2号样品偏硬、适口性略差; 4号样品的完整性和口感欠缺; 3号样品的总体感觉最佳。

表3 不同加工程度米饭感官评价结果
Table 3 Sensory evaluation results for different milling degree rice

指标	描述			
	1号样品	2号样品	3号样品	4号样品
气味	严重的豆腥 异味、米糠味	香气浓郁	气味清香宜人	香气清淡
外观结构 适口性	发黄, 黯淡无光泽, 结构紧密完整 黏牙, 硬度很大	米饭洁白, 稍有光 泽, 结构紧密完整 略微偏硬, 有嚼劲	米饭洁白, 有明显光 泽, 大部分结构紧密完 整软硬适中, 有嚼劲	米饭洁白, 有明显光 泽, 饭粒出现爆花 偏软, 嚼劲略小

2.4 米饭风味成分的变化

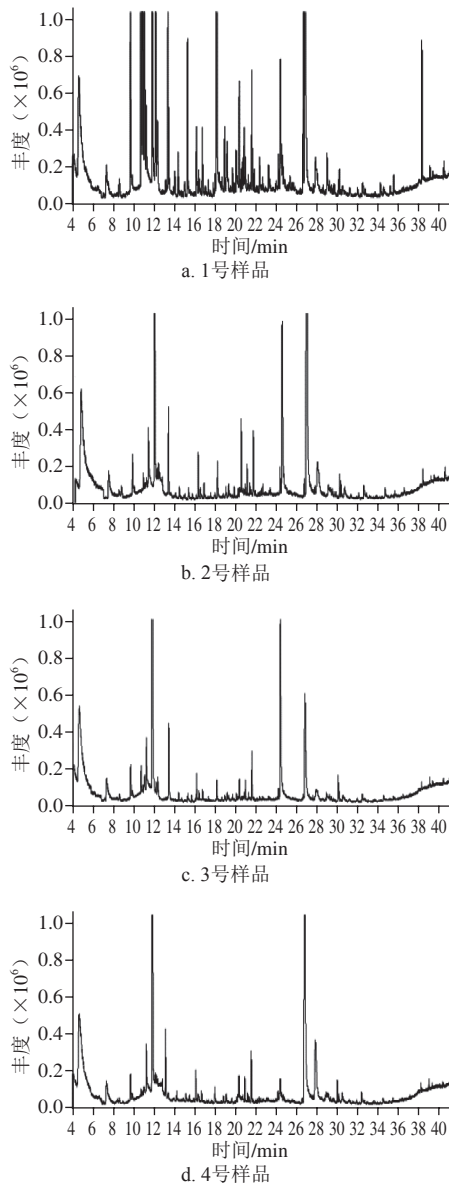


图3 SPME法不同加工程度米饭挥发性物质总离子流图
Fig. 3 Total ion current chromatogram of volatile compounds
extracted from rice with different milling degrees by SPME

如图3所示, 经NIST 11谱库检索及RI分析获得4组样品中风味成分的种类和相对含量, 如表4所示。糙米样品中共鉴定出43种风味成分, 包括醛类13种、醇类6种、酸类1种、酮类4种、酯类3种、酚类3种、烃类6种、

其他7种。碾磨3、6、9 min大米米饭中鉴定出39、32、31种风味成分。

表4 不同加工程度米饭挥发性风味成分的GC-MS鉴定结果
Table 4 Analytical results for GC-MS identification of volatile
compounds in different milling degree rice

序号	化合物名称	RI	相对含量/%			
			1号 样品	2号 样品	3号 样品	4号 样品
醛类						
1	戊醛 pentanal	1 003	11.9	6.4	3.8	3.0
2	己醛 hexanal	1 082	20.8	9.6	5.2	3.5
3	庚醛 heptanal	1 183	9.0	5.0	2.1	1.9
4	辛醛 octanal	1 287	10.7	6.4	3.7	2.5
5	反-2-庚烯醛 2-nonenal, (E)-	1 339	3.2	0.9	—	—
6	壬醛 nonanal	1 396	48.0	27.5	11.1	9.0
7	反-2-辛烯醛 2-octenal, (E)-	1 434	4.0	2.8	—	1.5
8	糠醛 furfural	1 466	2.0	1.5	0.5	0.5
9	癸醛 decanal	1 500	6.0	4.3	2.6	0.5
10	苯甲醛 benzaldehyde	1 528	10.2	4.4	2.4	2.1
11	反-2-壬烯醛 2-nonenal, (E)-	1 542	2.9	0.5	—	—
12	反,反-2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal, (E,E)-	1 805	2.3	0.7	0.5	0.5
13	香草醛 vanillin	2 531	3.6	2.1	1.4	1.4
醇类						
14	1-戊烯-3-醇 1-pentene-3-ol	1 165	0.8	0.4	0.3	0.5
15	正己醇 1-hexanol	1 359	0.9	0.6	0.3	—
16	1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	1 430	3.5	2.6	1.7	1.5
17	正庚醇 1-heptanol	1 457	3.3	2.3	1.9	1.5
18	2-乙基-1-己醇 1-hexanol, 2-ethyl-	1 499	2.2	1.5	1.0	0.8
19	正辛醇 1-octanol	1 564	2.9	1.1	1.0	0.7
酮类						
20	2-庚酮 2-heptanone	1 184	3.4	2.4	0.7	0.6
21	6-甲基-2-庚酮 2-heptanone, 6-methyl-	1 237	1.3	0.4	0.6	0.6
22	6-甲基-5-庚烯-2-酮 5-hepten-2-one, 6-methyl-	1 341	4.6	3.7	1.5	0.8
23	苯乙酮 acetophenone	1 627	3.5	1.0	0.5	0.2
酚类						
24	3,5-二甲苯基酚 phenol, 3,5-dimethyl-	2 105	2.8	1.5	1.0	0.8
25	2-甲氧基-4-乙基苯酚 2-methoxy-4-vinylphenol	2 156	1.2	1.9	0.8	0.4
26	4-乙基苯酚 4-vinylphenol	2 340	5.1			
酸类						
27	顺-十八碳烯酸 cis-octadecenoic acid		2.9	0.5	—	—
酯类						
28	乙酸乙酯 ethyl acetate	887	2.3	0.7	0.5	0.6
29	乙酸己酯 acetic acid, hexyl ester	1 276	1.8	—	—	—
30	2-丙烯酸辛酯 2-ethylhexyl acrylate		3.8	1.1	0.3	—
烃类						
31	甲苯 toluene	1 068	1.5	1.2	0.7	0.5
32	乙基苯 ethylbenzene	1 128	3.5	2.5	2.3	1.9
33	对二甲苯 p-xylene	1 136	3.0	2.1	1.7	1.1
34	十二烷 dodecane		0.7	—	—	—
35	1,3-二甲苯 benzene, 1,3-dimethyl-	1 142	2.2	1.5	1.6	1.0
36	苯乙烯 styrene	1 254	2.7	1.2	—	—
其他						
37	2-戊基呋喃 furan, 2-pentyl-	1 231	24.2	5.8	3.8	3.9
38	萘 naphthalene	1 663	4.6	3.1	2.3	1.5
39	甲氧苯基胍 methoxy-phenyl -oxime		2.7	2.4	2.1	1.6
40	苯并噻唑 benzothiazole	1 984	0.5	0.4	—	—
41	3-苯基噻吩 thiophene, 3-phenyl-	2 124	0.5	—	—	—
42	2,3-二氢苯并呋喃 benzofuran, 2,3-dihydro-		7.3	1.3	3.5	0.8
43	吲哚 indole	2 441	1.2	0.7	—	—

注: —, 未检出。

糙米中醛类和其他类物质相对含量达到74.5%，醇类和酮类相对含量为11.2%，烃类和酚类相对含量为9.6%，酯类和酸类相对含量较低。这和彭智辅等^[21]采用SPME法研究酿酒大米香气成分结果相类似。随着加工程度不断提高，风味成分的相对含量逐渐减少。相对于糙米来说，碾磨3、6、9 min大米米饭中风味物质总量分别减少50.7%、73%、79%，碾磨9 min米饭中醛类、醇类、酮类、酚类、酸类、酯类、烃类、其他类成分相对含量分别减少了80.6%、62.5%、82.8%、86.8%、100%、92.4%、66.9%、80.9%。

醛类物质是最重要的风味贡献者，它主要是某些氨基酸和脂肪酸氧化产物，具有脂肪香味，但含量过高时会产生腐败味。苗菁等^[11]采用SPME结合GC-MS获得了8种具有较高气味活性值的米饭风味化合物，其中醛类物质包括己醛、壬醛、辛醛、庚醛、香草醛。己醛来自 ω -6不饱和脂肪酸^[22]，具有青香、木香、草香；辛醛、壬醛和己醛主要来自不饱和脂肪酸氧化^[23]，壬醛具玫瑰、柑橘等香气，有较强油脂气味。苯甲醛可能是苯丙氨酸降解产物^[24]，具有坚果味、苦味。大米加工过程中脂肪含量降低，醛类物质含量随之减少，反-2-庚烯醛和反-2-壬烯醛甚至消失。糙米中醛类物质相对含量过高，不愉快的腐败味、脂肪味应该与此有关。

烃类阈值较高，虽然相对含量高种类多，但贡献较小。醇类物质的1-辛烯-3-醇相对含量高，阈值低，有典型的蘑菇风味。Iglesias等^[25]认为1-辛烯-3-醇是15-脂氧合酶催化和12-脂氧合酶催化花生四烯酸的过程中形成的。酮类物质的阈值一般较大，对米饭香味的贡献相对较小。酯类一般没有芳香气味，对米饭香气起到加强作用。乙酸己酯和2-丙烯酸辛酯在大米加工过程中逐渐消失。

相对于糙米，碾磨9 min大米饭中4-乙基苯酚相对含量降低达92.2%。Maraval等^[26]提出，大米中阿魏酸和对香豆酸能够通过脱羧反应分别产生2-甲氧基-4-乙基苯酚、4-乙基愈创木酚和4-乙基苯酚，后两者有不愉快的米糠气味^[27]。银玉容等^[28]的综述中也提到，米糠中存在大量的4-乙基苯酚，具有腐烂稻草臭味。故糙米饭中米糠味可能是由4-乙基苯酚造成。

2-戊基呋喃和2,3-二氢苯并呋喃有甜香和坚果香气味^[29]。2-戊基呋喃是亚油酸的氧化产物，阈值较低，在较低浓度条件下可闻到豆香及蔬菜香的气味，但高浓度就会产生令人不悦的豆腥异味^[30]。它也是苗菁等^[11]发现的米饭关键风味化合物之一。大米加工过程中，2-戊基呋喃大量损失。糙米中2-戊基呋喃相对含量所占总含量的百分比达到10.1%，且该物质阈值低，气味活性值大，故豆腥异味可能由此造成。

3 结 论

大米加工过程中，随着加工程度增加，米饭的食味值增大，直链淀粉含量提高，总脂肪含量逐渐降低，粗蛋白含量、水溶性蛋白质含量明显减少。蒸煮可显著提高米饭的水溶性蛋白质含量。大米加工程度越高，米饭硬度越小，风味成分相对含量损失越严重。

米饭风味物质含量和食味值间并不存在正比关系，过高的风味物质含量反而会降低大米的食用品质。碾磨6 min、碾磨9 min大米在理化指标（食味值、粗蛋白、直链淀粉、脂肪含量）、质构（黏度、平衡、弹性）方面不存在显著性差异。在保证大米适口的前提下，尽量降低大米的加工程度，可实现资源利用最大化。

参考文献：

- [1] YANG D S, SHEWFEELT R L, LEE K S, et al. Comparison of odor-active compounds from six distinctly different rice flavor types[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(8): 2780-2787. DOI:10.1021/jf072685t.
- [2] NING H, QIAO J, LIU Z, et al. Distribution of proteins and amino acids in milled and brown rice as affected by nitrogen fertilization and genotype[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 52(1): 90-95. DOI:10.1016/j.jcs.2010.03.009.
- [3] 黄怀生. 香气香气分析方法及加工过程对香气香气影响的研究[J]. 湖南农业大学, 2005, 33(1): 87-89.
- [4] 三上隆司, 河野元信. 日本大米食味评价方法及相关仪器应用现状[J]. 北方水稻, 2007(5): 10-12. DOI:10.16170/j.cnki.1673-6737.2007.05.006.
- [5] 陈皓. 大米食味及食味计[J]. 粮食与饲料工业, 2000(4): 13-14.
- [6] 王玉军, 程建军, 韩俊杰, 等. 利用米饭质构特性评价大米食用品质的方法研究[J]. 黑龙江粮食, 2013(11): 48-52.
- [7] 贾奎连, 赵景艳, 高继伟. 提高商品大米加工质量的途径[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2014, 32(4): 524-528. DOI:10.3969/j.issn.1673-5862.2014.04.014.
- [8] 李爽, 徐贤. 日本大米加工工艺及技术: 日本大米加工技术考察报告[J]. 粮食流通技术, 2012(3): 37-39.
- [9] 丁毅, 华泽田, 王芳, 等. 粳稻蛋白质与蒸煮食味品质的关系[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 42-46.
- [10] PARK J S, KIM K Y, BAEK H. Potent aroma-active compounds of cooked Korean non-aromatic rice[J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(5): 1403-1407. DOI:10.1007/s10068-010-0200-1.
- [11] 苗菁, 苏慧敏, 张敏. 米饭中关键风味化合物的研究[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 82-86. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602014.
- [12] 朱玫, 刘子豪, 刘利, 等. 大米中水溶性蛋白质的测定方法及影响因素探讨[J]. 粮食与饲料工业, 2015(7): 64-67. DOI:10.7633/j.issn.1003-6202.2015.07.017.
- [13] 芮闯, 刘莹, 孙建平. 蛋白质与大米食味品质的相关性分析[J]. 食品科技, 2012, 37(3): 164-167.
- [14] 王萌, 贾健斌, 靳航, 等. 初探加工精度对大米产品加工指标的影响[J]. 食品科技, 2014, 39(12): 174-177. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2014.12.037.
- [15] 张兰, 黄忠, 黄文琦, 等. 稻米加工过程营养成分流失研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 40(34): 16793-16794. DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2012.34.034.
- [16] 张敏, 周梅, 王长远. 米糠4种蛋白质的提取与功能性质[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 18-21.

- [17] 刘珊, 刘晓艳. 热变性对蛋白质理化性质的影响[J]. 中国食品添加剂, 2006(6): 108-112.
- [18] SEKI C, KAINUMA Y. A study of rice cooking (Part 2): soaking time as a factor controlling rice cooking[J]. Journal of Home Economics of Japan, 1982, 33(5): 228-234.
- [19] MARTIN M, FITZGERALD M. Proteins in rice grains influence cooking properties[J]. Journal of Cereal Science, 2002, 36(3): 285-294. DOI:10.1006/jcrs.2001.0465.
- [20] 周显青, 任洪玲, 张玉荣, 等. 大米主要品质指标与米饭质构的相关性分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2012, 33(5): 21-24.
- [21] 彭智辅, 李杨华, 练顺才, 等. 大米、糯米蒸煮香气成分的研究[J]. 酿酒科技, 2014(12): 42-46. DOI:10.13746/j.njkj.2014.0291.
- [22] 袁华根, 高峰, 徐骏, 等. 鸡肉挥发性风味化合物分析[J]. 江西农业学报, 2006, 18(5): 139-141.
- [23] 谢伟, 刘登勇, 徐幸莲, 等. 不同卤水复卤对盐水鸭风味的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(3): 664-666.
- [24] XIE J C, SUN B G, WANG S B. Aromatic constituents from Chinese traditional smoke-cured bacon of Mini-pig[J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(4): 329-340. DOI:10.1177/1082013208098331.
- [25] IGLESIAS J, MEDINA I, BIANCHI F, et al. Study of the volatile compounds useful for the characterisation of fresh and frozen-thawed cultured gilthead sea bream fish by solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1473-1478. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.01.076.
- [26] MARAVAL I, MESTRES C, PERNIN K, et al. Odor-active compounds in cooked rice cultivars from Camargue (France) analyzed by GC-O and GC-MS[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(13): 5291-5298. DOI:10.1021/jf7037373.
- [27] TSUGITA T. Aroma of cooked rice[J]. Food Reviews International, 1985, 1(3): 497-520. DOI:10.1080/87559128509540781.
- [28] 银玉容, 赖来展, 杨雄, 等. 米饭风味及其调香技术的研究进展[J]. 农牧产品开发, 1997(8): 22-26.
- [29] 刘晓娟, 杜征, 赵力超, 等. HS-SPME-GC-MS分析毛虾酶解液挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 175-180.
- [30] ZENG Z, ZHANG H, CHEN J Y, et al. Direct extraction of volatiles of rice during cooking using solid-phase microextraction[J]. Cereal Chemistry, 2007, 84(5): 423-427. DOI:10.1094/CCHEM-84-5-0423.