

重庆市江津区含硒稻谷碾减率与硒损失关系探究

The relationship between selenium-containing rice milling rate and selenium loss in Jiangjin district, Chongqing

孙 瑞¹ 钟 耕¹ 张 阳¹ 曾卓华² 方立魁²

SUN Rui¹ ZHONG Geng¹ ZHANG Yang¹ ZENG Zuo-hua² FANG Li-kui²

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 401122)

(1. College of Food Science South University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Agricultural Technology Extension Station, Chongqing 401122, China)

摘要:收集了江津区 7 个乡镇的 19 种含硒稻米, 探究了碾磨加工对稻米中硒含量的影响。结果表明, 不同品种的糙米中硒含量存在显著性差异 ($P < 0.05$), 渝香 203、旌 1 优华珍、Q 香优 100 及晶两优 510 对硒富集能力较强。受稻米品种和种植环境的影响, 不同稻米碾减率、米糠硒含量及碾磨过程中的硒损失情况不同, 渝香 203 和旌 1 优华珍的米糠中硒含量较高, 最高可达 0.82 mg/kg, 可作为加工过程中产生的富硒副产物被广泛利用。所有测试样品均表现为随碾磨时间的延长, 稻米碾减率增大, 加工精度越高, 硒的损失率越大, 最高损失率可达 44.39%。贾嗣镇种植的旌 1 优华珍和晶两优 510、白沙镇种植 Q 香优 100 及中山镇种植的渝香 203 在碾磨加工过程中硒的损失量较小, 累计碾磨 80 s 后, 一级精米中硒含量仍可达到富硒水平。

关键词:含硒稻谷; 碾减率; 加工精度; 米糠硒含量; 硒损失率

Abstract: 19 kinds of selenium-containing rice were collected from 7 towns in Jiangjin District, and the influence of milling on the selenium content of rice was investigated. Significant differences were found in the selenium content in different varieties of brown rice ($P < 0.05$). Yuxiang 203, Jing 1 You Huazhen, Q Xiang You 100 and Jing Liang You 510 had stronger selenium accumulation ability. Under the influence of rice varieties and planting environ-

ment, rice bran with different milling rate, selenium content and selenium loss in the milling process were different. The selenium content in rice bran of Yuxiang 203 and Jing 1 Youhuazhen was higher, up to 0.82 mg/kg, which could be widely used as selenium-rich by-products produced in the processing process. All the samples showed that higher milling rate could cause higher processing precision and higher loss rate of selenium, and the highest loss rate of selenium was up to 44.39%. During the milling process, the selenium loss of Jing 1 Youhuazhen and Jing Liang You 510, planted in Jiasui Town, Q Xiang You 100, and Yuxiang 203 planted in Baisha town and Zhongshan town, was relatively small. After grinding the 80 s, the selenium content in first-grade polished rice could still reach the level of selenium enrichment.

Keywords: selenium-containing rice; milling reduction rate; processing precision; rice bran selenium content; selenium loss rate

硒是一种能够参与构成人体内重要的抗氧化硒酶的活性中心^[1], 并与人体的生长^[2]、发育^[3]和疾病的发生^[4-7]密切相关的微量元素^[8-9]。水稻可以从土壤中吸收无机硒, 并将其转化为对人类营养和健康至关重要的各种有机硒^[10]。人体自身无法合成机体所需的有机硒, 需通过膳食摄入途径维持机体的硒水平^[2]。因此, 食用含硒的食品是消除缺硒的安全有效方法^[11]。硒与人体健康呈 U 型关系^[12], 缺乏^[13]或摄入过多^[14-15]都会引起身体疾病, 且二者间阈值较窄^[15]。

稻谷脱壳后被称为糙米, 糙米由 6%~7% 米糠、2%~3% 胚芽和约 90% 胚乳构成^[16], 米糠和胚芽中含有大量的蛋白质、脂肪、维生素和矿物质^[17-18]。糙米经碾磨处理后可得到精白米, 为了降低碾米过程中的碎米率^[17], 碾米工业多采用“多机轻碾”工艺^[19-20]。碾磨过程中去除大部分米糠和胚芽会导致营养成分损失^[16]。有报

基金项目:重庆市营养学会硒科研基金项目(编号:2019010); 重庆市发展与改革委员会优质粮食工程项目(编号:1812001721); 重庆市现代山地特色高效农业产业技术体系创新团特色粮油作物加工项目(编号:创新团队 2020[4]); 四川省科学技术厅川粮油关键技术与产品开发重点研发项目(编号:2020YFN0148)

作者简介:孙瑞, 女, 西南大学在读硕士研究生。

通信作者:钟耕(1964—), 男, 西南大学教授, 博士。

E-mail: zhonggdg@126.com

收稿日期:2020-11-02

道^[21]表明,米糠含硒量高于精米,碾磨过程中硒损失严重^[22],但关于稻米中硒含量随碾减率的变化还未见报道。文章拟从重庆市江津区 7 个乡镇选取 19 种含硒稻谷作为研究对象,经砻谷后,以 20 s 为单位碾磨不同的次数,得到不同碾减率的米粒和米糠。检测所得糙米、米粒及米糠中硒含量,探究稻米在加工过程中硒的损失,为含硒稻谷适度加工有效保留营养成分提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

含硒稻谷(绵阳 838、T 优 023、两优 523、冈优 88、冈优 177、宜香优 2115、C 两优华占、岗优 916、深两优 871、K 优 893、Q 香优 100、旌 1 优华珍、晶两优 510、T 优 111、隆两优 1206、渝香 203);种植于重庆市江津区 7 个乡镇,存放于干燥、避光、阴凉处备用,重庆市江津区储备粮有限公司;

大米标准品:执行标准 LS/T 15121.1,LS/T 15121.1,广州臻萃技术服务有限公司;

硝酸、盐酸:分析纯,成都市科隆化学品有限公司;

曙红 Y、亚甲基蓝:分析纯,成都科龙化工试剂厂;

无水乙醇:分析纯,重庆茂业化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器与设备

电子分析天平:FA241 型,上海豪晟科学仪器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:101-1AB 型,上海齐欣科学仪器有限公司;

磁力搅拌水浴锅:H CJ-1 型,常州恩培仪器制造有限公司;

实验用砻谷机:JLGJ-45 型,台州市路桥京奥粮用器材厂;

电动碾米机:JMNJ-3 型,浙江省台州市路桥区科达粮仪厂;

多通道原子荧光分光光度计:FP6 型,北京普析通用仪器责任有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品的制备 稻谷的加工主要分为除杂、砻谷和碾磨 3 个步骤^[23],其加工流程如图 1 所示。使用实验用砻谷机将除杂后的稻谷脱壳,并计算其出糙率,再将完整的糙米在碾米机中碾磨。准确称量 20 g 糙米,根据加工设备的推荐参数,以 20 s 为单位累计碾磨 80 s,每次碾磨 20 s 后,仔细收集剩余的米粒和米糠,测定碾减率,糙米、米糠和米粒的水分和硒含量。

1.2.2 出糙率测定 根据 GB/T 5495—2008。

1.2.3 碾减率测定 根据徐欣源^[24]的方法修改如下:称量碾磨前后米粒的质量,并按式(1)计算碾减率(DOM)。

$$D_{OM} = \left(1 - \frac{W_a}{W_b}\right) \times 100\%, \quad (1)$$

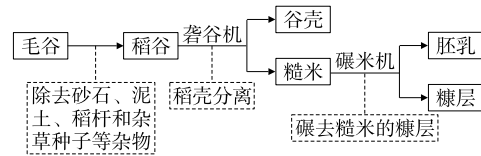


图 1 稻谷的加工流程

Figure 1 Rice processing process

式中:

D_{OM} ——大米碾减率,%;

W_a ——碾磨后米粒质量,g;

W_b ——碾磨前米粒质量,g。

1.2.4 大米加工精度确定 根据 GB/T 5502—2018。

1.2.5 水分含量测定 根据 GB 5009.3—2016。

1.2.6 硒含量测定 根据 GB 5009.93—2017 修改如下:准确称取样品 0.5~1.0 g(精确至 0.001 g)于消化管中,加入 5 mL 硝酸,封口后冷消化过夜。放入水浴锅中沸水加热,8 h 后取出自然冷却,然后加入 2.5 mL 50% 的盐酸溶液,转移至 25 mL 容量瓶中,并用超纯水定容,用 101 型滤纸过滤,滤液用原子荧光分光光度计进行测定,同时做空白试验。

1.2.7 数据分析 使用 SPSS 22 统计软件分析计算数据,结果以平均值±标准差表示,各试验重复测定 3 次,采用 Statistix 9 软件进行差异性分析,Tukey HSD 法进行显著性分析,显著性水平为 0.05;使用 GraphPad Prism 7.00 软件绘图;样品中硒的含量以样品干重计。

2 结果与分析

2.1 稻谷的出糙率

随着碾磨时间的增加,碾磨下的米糠颜色由深变浅,米粒颜色逐渐变白。由表 1 可知,稻谷出糙率为 73.11%~79.48%,平均出糙率为 77.04%,不同品种的稻谷出糙率存在差异。研究^[25]表明,稻谷出糙率与稻谷水分含量有关。

2.2 糙米中硒含量

由表 1 可知,重庆市江津区 7 个乡镇栽培的 19 种糙米总硒含量为 0.027 3~0.346 7 mg/kg,同一地区不同品种的糙米中硒含量存在显著差异($P < 0.05$),以油溪镇的 5 个品种稻米含硒量为例,冈优 177 > 冈优 88 > 两优 523 > T 优 023 > 绵阳 838,说明不同品种稻谷对硒的富集能力不同。19 个样品中,渝香 203、旌 1 优华珍、Q 香优 100 及晶两优 510 对硒富集能力较强。稻米中硒含量差异主要取决于土壤中的硒浓度和水稻基因型^[26]。赵婉彤^[27]研究表明,重庆市江津区 24 个乡镇土壤和水体中的硒含量存在差异。不同品种水稻籽粒基因型、根际效应及种植时使用的施硒方法不同^[28],导致水稻对硒的转运和累积能力存在差异^[29]。相同水稻品种在不同地区种植,硒含量也存在差异,其中种植在柏林镇(S-3)和中山镇

表 1 稻谷的出糙率及糙米硒含量[†]

产地	品种	编号	出糙率/%	糙米硒含量/(mg·kg ⁻¹)
油溪镇	绵阳 838	S-1	74.57±0.79	0.027 3±0.003 5 ^J
	T 优 023	S-6	78.72±0.26	0.034 9±0.002 2 ^U
	两优 523	S-7	78.72±0.74	0.035 7±0.010 9 ^U
	冈优 88	S-12	79.48±0.52	0.094 4±0.003 6 ^{DEF}
	冈优 177	S-13	78.48±0.16	0.099 3±0.008 9 ^{DE}
李市镇	宜香优 2115	S-8	77.98±0.26	0.033 4±0.004 9 ^J
	C 两优华占	S-9	78.01±0.56	0.099 2±0.006 5 ^{DE}
	岗优 916	S-10	79.26±0.26	0.097 5±0.002 6 ^{DEF}
	绵阳 838	S-11	77.52±0.72	0.079 3±0.011 5 ^{FG}
贾嗣镇	旌 1 优华珍	S-4	74.33±0.27	0.144 2±0.010 1 ^B
	晶两优 510	S-5	73.42±5.27	0.113 9±0.011 8 ^{CD}
	T 优 111	S-17	78.15±0.28	0.101 0±0.012 8 ^{CDE}
	隆两优 1206	S-18	77.18±0.18	0.085 0±0.013 2 ^{EFG}
白沙镇	深两优 871	S-2	74.66±0.59	0.056 4±0.021 8 ^{HJ}
	Q 香优 100	S-16	74.79±2.23	0.127 1±0.010 5 ^{BC}
石蟆镇	K 优 893	S-14	78.99±0.40	0.108 4±0.010 7 ^{CD}
	绵阳 838	S-15	79.13±0.16	0.070 3±0.008 6 ^{GH}
柏林镇	渝香 203	S-3	73.11±2.67	0.123 8±0.003 1 ^{BC}
中山镇	渝香 203	S-19	77.31±0.51	0.346 7±0.031 1 ^A

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

(S-19)的渝香 203,硒含量分别为 0.123 8,0.346 7 mg/kg, S-19 的硒含量是 S-3 的 2.8 倍。因此,S-19 在食用过程中应注意其过高的硒含量,建议与其他低硒品种稻米搭配食用。

2.3 糙米碾减率

由表 2 可知,碾磨 20,40,60,80 s 的碾减率分别为 6.26%~9.29%,10.71%~12.44%,13.54%~20.01%,15.25%~24.37%。同一碾磨时间不同品种糙米的碾减率不同,当碾磨时间为 20 s 时,S-9 和 S-13 的碾减率分别为 6.80%,9.29%;当碾磨时间为 40 s 时,S-1 的碾减率为 12.27%,而 S-6 的碾减率为 13.87%。随着碾磨时间的增加,不同品种大米碾减率的差异性逐渐变大,当碾磨时间为 80 s 时,S-9 的碾减率为 16.12%,而 S-13 的碾减率为 24.37%。不同产地同一品种的 S-1 和 S-11 在 0~80 s 的碾磨过程中碾减率基本一致。Liu 等^[30]研究表明米粒的碾减率与米粒的长径比、孔隙率、密度等物理属性密切相关,不同品种糙米的物理属性不同,碾磨过程中碾减率存在差异。

2.4 大米加工精度

米粒皮层、胚与胚乳对伊红 Y-亚甲基蓝染色基团分子的亲和力不同,米粒皮层、胚与胚乳分别呈蓝绿色和紫

表 2 大米在不同碾磨时间的碾减率[†]

品种	20 s	40 s	60 s	80 s	%
S-1	8.21±0.21 ^d	12.27±0.61 ^c	15.53±0.87 ^b	18.93±0.44 ^a	
S-2	7.54±0.30 ^d	11.06±0.37 ^c	13.54±0.50 ^b	15.25±0.49 ^a	
S-3	9.17±0.29 ^d	12.43±0.24 ^c	14.70±0.30 ^b	16.35±0.25 ^a	
S-4	8.26±0.69 ^d	12.00±0.55 ^c	14.33±0.38 ^b	15.80±0.20 ^a	
S-5	7.87±0.36 ^d	12.01±0.69 ^c	15.09±0.13 ^b	17.95±0.44 ^a	
S-6	9.22±0.29 ^d	13.87±0.28 ^c	17.16±0.39 ^b	19.68±0.45 ^a	
S-7	7.39±0.70 ^d	12.05±0.88 ^c	15.59±1.09 ^b	18.18±0.28 ^a	
S-8	8.10±0.18 ^d	11.71±0.29 ^c	14.30±0.43 ^b	16.53±0.18 ^a	
S-9	6.80±0.32 ^d	10.72±0.10 ^c	13.58±0.23 ^b	16.12±0.29 ^a	
S-10	8.16±0.36 ^d	12.71±0.51 ^c	15.96±0.79 ^b	18.90±0.71 ^a	
S-11	8.22±0.35 ^d	12.42±0.62 ^c	15.56±0.15 ^b	18.38±0.16 ^a	
S-12	7.55±0.41 ^d	11.79±0.44 ^c	15.26±0.52 ^b	18.43±0.43 ^a	
S-13	9.29±0.36 ^d	15.23±0.53 ^c	20.01±0.44 ^b	24.37±0.81 ^a	
S-14	7.98±0.29 ^d	11.70±0.23 ^c	14.04±0.19 ^b	16.02±0.26 ^a	
S-15	6.26±0.29 ^d	10.71±0.18 ^c	14.36±0.23 ^b	17.53±0.06 ^a	
S-16	8.38±0.28 ^d	12.39±0.25 ^c	14.51±0.32 ^b	16.05±0.31 ^a	
S-17	6.96±0.30 ^d	11.49±0.58 ^c	14.74±0.23 ^b	17.65±0.23 ^a	
S-18	7.56±0.47 ^d	11.66±0.50 ^c	14.23±0.67 ^b	16.55±0.88 ^a	
S-19	8.66±0.26 ^c	12.44±0.50 ^b	14.76±0.70 ^a	15.83±0.56 ^a	

[†] 同行字母不同表示差异显著(P<0.05)。

红色^[31]。GB/T 1354—2018《大米》中规定三级粳米加工精度达到适碾,二级和一级粳米加工精度达到精碾,碾磨 20 s 大米未达到适碾,加工精度为等外,累计碾磨 40 s 大米达到适碾,累计碾磨 60,80 s 大米达到精碾。

2.5 米糠中硒含量

由表 3 可知,不同品种大米米糠中硒含量不同,S-1、S-9、S-15 及 S-17 米糠中硒分布均匀,无显著性差异($P<0.05$);S-2、S-3、S-13 及 S-19 米糠中硒含量随碾磨时间的增加逐渐降低,说明该品种稻谷的硒主要积累在外层米糠;S-4、S-5、S-6、S-7、S-12、S-16、S-18 米糠硒含量先增加后降低,累计碾磨 40,60 s 得到的米糠中硒含量最高;S-8、S-10、S-14 米糠硒含量随碾磨时间的增加逐渐增大。

由图 2 可知,S-1、S-6、S-7、S-12 及 S-13 为同一地区种植的不同品种稻米,其米糠中硒含量存在差异,S-1 米糠硒含量变化不大,S-13 在碾磨 20 s 时米糠中硒含量最高,S-6、S-7、S-12 在碾磨 20~40 s 时米糠中硒含量最高。S-1、S-13 及 S-15 与 S-2 及 S-16 为同一品种在不同地区种植后的稻米,其米糠硒含量存在差异,S-2 在碾磨 20 s 时糠层中硒含量最高,而 S-16 在碾磨 20~40 s 时糠层中硒含量最高。综上,稻米品种和种植环境能影响米糠中硒含量。

将米糠中硒含量与糙米中硒含量进行比较,以 S-1 和 S-3 为例,S-1 糙米中硒含量为 0.027 3 mg/kg,碾磨 20 s 后米糠中硒含量为 0.078 3 mg/kg,米糠中硒含量是糙米中的 2.87 倍;S-3 糙米中硒含量为 0.123 8 mg/kg,而碾磨 20 s 后糠层中硒含量为 0.381 8 mg/kg,米糠中硒含量是糙米中的 3.08 倍。因此,含硒稻谷的米糠中除了含有大量的脂质、蛋白质、维生素和膳食纤维等营养物质^[17],还含有对人体极为重要的微量元素硒,其含量远高于在糙米及精米中的含量。米糠中硒含量高是因为硒在籽粒中主要与蛋白质结合形成化合物^[21,32],蛋白质主要存在于籽粒的米糠部位,所以大部分的硒也积累在籽粒的米糠部位。米糠是整粒谷物碾磨过程中产生的重要副产品,仅占大米总重量的 6%~10%,却含有 64%的重要营养素^[33],但目前米糠产品形式较少^[34]。中国已将富硒稻米生产中的副产品麸皮,作为硒补充剂添加到饲料中,防止牲畜硒缺乏^[35]。因此,重庆市江津区米糠中硒含量较高的品种渝香 203 和旌 1 优华珍的米糠可以作为富硒米糠加以利用。

2.6 碾磨过程中硒的损失

由表 2、3 计算得出不同稻米以 20 s 为单位多次轻碾后硒的损失率(表 4)。由表 4 可知,碾磨 20,40,60,80 s

表 3 大米不同糠层的硒含量[†]
Table 3 Selenium content in different bran layers of different rice mg/kg

品种	碾磨时间/s				胚乳
	0~20	20~40	40~60	60~80	
S-1	0.078 3±0.006 0 ^a	0.059 8±0.003 5 ^a	0.050 3±0.015 6 ^a	0.048 7±0.014 2 ^a	0.010 2±0.008 1 ^b
S-2	0.062 6±0.003 5 ^a	0.052 7±0.011 0 ^a	0.048 5±0.020 0 ^{ab}	0.020 6±0.009 8 ^{ab}	0.001 6±0.000 2 ^b
S-3	0.381 8±0.019 2 ^a	0.329 2±0.040 8 ^a	0.312 4±0.037 6 ^{ab}	0.254 9±0.019 4 ^b	0.126 3±0.004 1 ^c
S-4	0.190 1±0.009 4 ^b	0.204 0±0.022 0 ^{ab}	0.238 0±0.005 8 ^a	0.182 1±0.019 4 ^b	0.068 7±0.007 3 ^c
S-5	0.091 6±0.010 3 ^a	0.097 5±0.022 1 ^a	0.095 2±0.021 9 ^a	0.063 3±0.011 8 ^{ab}	0.032 4±0.003 9 ^b
S-6	0.032 3±0.008 8 ^{ab}	0.066 7±0.029 0 ^a	0.017 3±0.006 7 ^b	0.000 7±0.001 3 ^b	0.000 5±0.000 9 ^b
S-7	0.027 4±0.015 1 ^{ab}	0.046 1±0.007 4 ^a	0.031 4±0.014 2 ^{ab}	0.033 0±0.012 4 ^{ab}	0.014 2±0.004 7 ^b
S-8	0.067 5±0.003 4 ^b	0.078 2±0.004 0 ^b	0.079 6±0.000 2 ^{ab}	0.094 7±0.008 3 ^a	0.036 0±0.002 4 ^c
S-9	0.059 2±0.003 9 ^a	0.060 6±0.007 4 ^a	0.062 8±0.009 4 ^a	0.065 1±0.010 9 ^a	0.032 4±0.005 1 ^b
S-10	0.072 5±0.001 5 ^b	0.074 2±0.001 7 ^b	0.075 3±0.002 0 ^b	0.084 1±0.004 3 ^a	0.036 2±0.004 0 ^c
S-11	0.053 2±0.003 0 ^a	0.068 7±0.006 5 ^a	0.060 2±0.012 4 ^a	0.054 2±0.004 4 ^a	0.025 1±0.006 7 ^b
S-12	0.064 1±0.003 5 ^a	0.066 7±0.002 6 ^a	0.055 5±0.003 2 ^{ab}	0.057 4±0.022 0 ^{ab}	0.028 3±0.004 5 ^b
S-13	0.060 6±0.008 7 ^a	0.049 3±0.004 7 ^{ab}	0.044 0±0.017 8 ^{ab}	0.038 0±0.019 9 ^{ab}	0.006 3±0.008 9 ^b
S-14	0.061 5±0.012 4 ^b	0.069 3±0.019 7 ^{ab}	0.077 5±0.007 7 ^{ab}	0.108 7±0.018 5 ^a	0.022 1±0.005 2 ^c
S-15	0.033 7±0.019 0 ^a	0.015 8±0.004 0 ^a	0.015 0±0.002 0 ^a	0.000 0±0.000 0 ^a	0.000 0±0.000 0 ^a
S-16	0.067 1±0.009 6 ^a	0.071 9±0.005 3 ^a	0.069 8±0.005 4 ^a	0.026 7±0.010 3 ^b	0.016 9±0.003 3 ^b
S-17	0.065 7±0.022 0 ^a	0.061 4±0.015 8 ^a	0.052 3±0.005 2 ^a	0.049 2±0.003 3 ^a	0.040 2±0.000 3 ^a
S-18	0.038 3±0.015 7 ^{ab}	0.058 5±0.024 3 ^a	0.036 7±0.004 8 ^{ab}	0.026 6±0.001 3 ^{ab}	0.008 4±0.004 0 ^b
S-19	0.816 0±0.063 5 ^a	0.633 4±0.051 9 ^b	0.646 8±0.058 7 ^b	0.587 3±0.044 9 ^b	0.294 2±0.043 7 ^c

† 同行字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

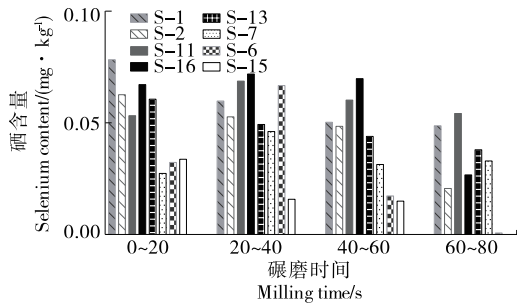


图 2 不同糙米米糠中硒含量

Figure 2 Selenium content in different brown rice bran

硒的损失率分别为 3.32%~28.29%, 4.02%~36.77%, 4.81%~42.39%, 4.81%~44.39%。不同品种稻米之间硒的损失率存在差异,比较 S-1 与 S-5 两个品种,碾磨 20 s, S-1、S-5 硒的损失率分别为 23.55%, 6.33%; 累计碾磨 40 s, S-1、S-5 硒的损失率分别为 32.65%, 9.85%; 累计碾磨 60 s, S-1、S-5 硒的损失率分别为 39.65%, 13.61%; 累计碾磨 80 s, S-1、S-5 硒的损失率分别为 44.39%, 15.22%。在所测试样品中绵阳 838、渝香 203、宜香优 2115 是硒损失率较大的品种,加工时应注意硒的损失。同一品种的稻米在不同地区种植后硒的损失率也会存在差异, S-3 与 S-19 为同一品种稻米, S-3、S-19 硒的损失率分别为 28.28%~44.10%, 21.26%~33.82%。综合糙米中总硒含量与碾磨过程中硒的损失情况,贾嗣镇种植的旌 1 优华珍和晶两优 510、白沙镇种植 Q 香优 100 及中山镇种植的渝香 203 在碾磨加工过程中硒的损失量较小, 累计碾磨 80 s 后, 稻米中硒含量仍可达到富硒稻谷水平。

碾磨过程中会除去硒含量丰富的米糠部分, 导致加工后米粒的硒含量大大降低。以 S-19 稻米为例, 其糙米中硒含量为 0.316 7 mg/kg, 碾磨 20, 40, 60, 80 s 后米粒硒含量分别为 0.249 3, 0.229 7, 0.216 6, 0.209 6 mg/kg, 与糙米中的硒相比, 碾磨 80 s 后稻米损失 0.107 1 mg/kg 的硒。中国卫生与计划委员会发布的 2017 年卫生行业标准中规定, 成人的硒推荐摄入量 (RNI) 为 60 $\mu\text{g}/\text{d}$ [36]。中国营养学会建议的“中国居民平衡膳食宝塔”中推荐每天摄入 250~400 g 的谷薯类食物, 南方地区每天人均实际摄入大米量约为 250 g [32], 通过计算可得成人每天食用 250 g 硒含量达到 0.24 mg/kg 的大米即可满足需求。S-19 稻米碾磨超过 40 s 后, 精米中硒含量低于 0.24 mg/kg, 不能满足人体的基本需求。因此, 稻米加工过程中应根据稻米的品种及特质适度加工, 同时兼顾大米食用品质和营养价值。

2.7 碾磨时间与碾减率及硒损失率的关系

由图 3 可知, 随着碾磨时间的延长, 所有样品的碾减率及硒的损失率均增大, 以 S-19 为例, 碾磨 20 s, 碾减率为 8.66%, 加工精度为等外, 硒的损失率为 21.26%; 累计

表 4 碾磨不同时间大米硒的损失率[†]

Table 4 Selenium loss rate of different rice milling for different time %

品种	20 s	40 s	60 s	80 s
S-1	23.55±1.28 ^d	32.65±1.77 ^c	39.65±1.43 ^b	44.39±2.00 ^a
S-2	8.48±0.39 ^c	11.68±1.04 ^b	14.26±1.02 ^{ab}	15.11±1.64 ^a
S-3	28.29±1.42 ^c	36.77±2.48 ^b	42.39±3.12 ^{ab}	44.10±2.90 ^a
S-4	10.89±0.54 ^d	16.24±0.42 ^c	20.07±0.46 ^b	22.43±0.21 ^a
S-5	6.33±0.71 ^c	9.85±1.32 ^{bc}	13.61±1.24 ^{ab}	15.22±1.56 ^a
S-6	11.24±1.35 ^b	18.91±0.57 ^a	21.89±1.48 ^a	21.96±1.44 ^a
S-7	7.09±3.12 ^a	9.75±0.41 ^{ab}	14.69±2.33 ^{bc}	17.57±1.30 ^c
S-8	16.23±0.81 ^d	26.39±1.67 ^c	31.51±2.20 ^b	37.29±2.63 ^a
S-9	4.21±0.27 ^d	6.38±0.75 ^c	8.26±0.68 ^b	9.94±0.69 ^a
S-10	6.14±0.12 ^d	9.49±0.06 ^c	12.19±0.17 ^b	14.98±0.27 ^a
S-11	5.37±0.32 ^c	9.46±0.19 ^b	11.75±1.05 ^a	13.70±1.14 ^a
S-12	5.08±0.28 ^d	7.95±0.35 ^c	10.04±0.43 ^b	12.88±0.47 ^a
S-13	5.20±0.81 ^c	8.16±0.20 ^b	10.72±1.34 ^{ab}	13.08±1.23 ^a
S-14	5.22±0.53 ^d	7.64±0.73 ^c	9.31±0.49 ^b	11.27±0.69 ^a
S-15	3.60±1.19 ^a	4.02±1.71 ^a	4.81±1.21 ^a	4.81±1.21 ^a
S-16	4.96±0.57 ^c	6.80±0.57 ^b	7.99±0.60 ^{ab}	8.35±0.47 ^a
S-17	5.07±1.07 ^a	7.06±2.27 ^{ab}	9.00±0.73 ^b	10.28±0.57 ^a
S-18	3.32±1.19 ^b	5.12±2.27 ^{ab}	7.82±0.73 ^a	8.56±0.72 ^a
S-19	21.26±1.59 ^c	27.48±2.27 ^b	31.62±1.90 ^{ab}	33.82±2.06 ^a

[†] 同行字母不同表示差异显著 (P<0.05)。

碾磨 40 s, 碾减率为 12.44%, 加工精度为适碾, 硒的损失率为 27.48%; 累计碾磨 60 s, 碾减率为 14.76%, 加工精度为精碾, 硒的损失率为 31.62%; 累计碾磨 80 s, 碾减率为 15.83%, 加工精度为适碾, 硒的损失率为 33.82%。即碾磨时间越长, 大米加工精度越高, 碾减率越大, 硒的损失越多。不同大米达到同一碾减率所需碾磨时间不同, 即不同大米达到一定加工精度所需的碾磨加工时间不同, 由于不同的大米米糠中硒含量不同, 不同大米在同一碾

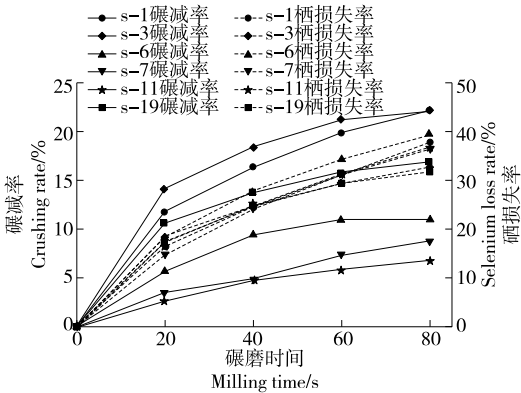


图 3 大米碾磨时间与碾减率及硒损失率的关系

Figure 3 The relationship between different rice milling time and milling rate and selenium loss rate

减率下,硒的损失率也不同,因此,不同大米碾磨加工应根据其含硒情况,在达到一定加工精度的情况下,减少碾磨时间,适度加工,保留最大的硒含量。

3 结论

选取了重庆市江津区 7 个乡镇的 19 种含硒稻谷,其糙米总硒含量为 0.027 3~0.346 7 mg/kg。同一地区不同品种糙米中硒含量存在显著差异($P<0.05$),表明稻谷品种对硒的富集能力不同。总体而言,渝香 203、旌 1 优华珍、Q 香优 100 和晶两优 510 对硒富集能力较强。受大米品种和种植环境的影响,不同稻米碾减率、米糠硒含量及碾磨过程中硒的损失情况不同,绵阳 838、渝香 203 及宜香优 2115 是硒损失率较大的品种,渝香 203 和旌 1 优华珍米糠中硒含量较高,所有测试样品均表现为随着碾磨时间的延长,碾减率越大,大米加工精度越高,硒的损失率越大,贾嗣镇种植的旌 1 优华珍和晶两优 510、白沙镇种植的 Q 香优 100 及中山镇种植的渝香 203 在碾磨加工过程中硒的损失量较小,累计碾磨 80 s 后,稻米中硒含量仍可达到富硒稻谷水平。过度加工后的稻米往往不能满足机体的基本营养需求。因此,大米加工过程中应考虑大米的品种及其加工特性进行适度加工,在满足食用品质的同时达到人体的营养需求。试验虽然对硒在稻米中的分布情况进行了研究,但未对富硒大米中有机硒及无机硒作进一步探究,后续应加大对不同品种富硒大米中有机硒及无机硒含量及分布的相关研究,为富硒大米的有效利用提供理论依据。

参考文献

- [1] SZPUNAR Joanna. Advances in analytical methodology for bioinorganic speciation analysis: Metallomics, metalloproteomics and heteroatom-tagged proteomics and metabolomics [J]. Analyst, 2005, 130(4): 442.
- [2] 何巧. 水稻中硒的转运和积累特性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019: 23-26.
- [3] CLARK L C, COMBS G F, TURNBULL B W. Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin A randomized controlled trial[J]. Jama, 1996, 276(24): 1 957-1 963.
- [4] CARLISLE Annee, LEE Namgyu, ASIAN Matthew-onabanjo, et al. Selenium detoxification is required for cancer-cell survival[J]. Nature Metabolism, 2020, 2(7): 603-611.
- [5] IP C. Lessons from basic research in selenium and cancer prevention[J]. The Journal of Nutrition, 1998, 128(11): 1 845-1 854.
- [6] IP C, THOMPSON H J, ZHU Z, et al. In vitro and in vivo studies of methylseleninic acid: evidence that a monomethylated selenium metabolite is critical for cancer chemoprevention[J]. Cancer Research, 2000, 60(11): 2 882.
- [7] KHANAM Anjum, PLATEL Kalpana. Bioaccessibility of se-

- lenium, selenomethionine and selenocysteine from foods and influence of heat processing on the same [J]. Food Chemistry, 2016, 194(MAR1): 1 293-1 299.
- [8] DAI Z, IMTIAZ M, RIZWAN M, et al. Dynamics of Selenium uptake, speciation, and antioxidant response in rice at different panicle initiation stages [J]. Sci Total Environ, 2019, 691: 827-834.
- [9] 杜朝东, 朱松, 于添, 等. 富硒碎米芽不同提取物抗氧化性能研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 174-178.
- [10] DHANJAL Noorpreeti, SHARMA Siddharth, PRAKASH Ntejo. Quantification and in vitro bioaccessibility of selenium from osborne fractions of selenium-rich cereal grains[J]. Cereal Chemistry, 2016, 93(4): 339-343.
- [11] FANG Yong, PAN Xin, ZHAO Ermin, et al. Isolation and identification of immunomodulatory selenium-containing peptides from selenium-enriched rice protein hydrolysates [J]. Food Chemistry, 2019, 275: 696-702.
- [12] RAYMAN M P. Selenium intake, status, and health: A complex relationship[J]. Hormones, 2020, 19(1): 9-14.
- [13] FAIRWEATHER-TAITS J, BAO Y, BROADLEY M. Selenium in human health and disease [J]. Antioxidants & Redox Signaling, 2011, 14(7): 1 337-1 383.
- [14] LEMIRE Mélanie, PHILIBERT Aline, FILLION Myriam, et al. No evidence of selenosis from a selenium-rich diet in the Brazilian Amazon[J]. Environment International, 2012, 40: 128-136.
- [15] ULLAH Habib, LIU Gui-jian, YOUSAF Balal, et al. Developmental selenium exposure and health risk in daily food-stuffs: A systematic review and meta-analysis[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2018, 149: 291-306.
- [16] 周军琴, 年芳, 李爱科, 等. 糙米碾磨度与营养品质关系研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(14): 128-133, 137.
- [17] 亓盛敏, 任晨刚, 谢天. 不同碾减率大米微量元素含量变化[J]. 粮油加工, 2015(1): 41-43.
- [18] 王立峰, 张磊, 姚铁俊, 等. 碾磨程度对大米特征组分和米粉品质特性的影响 [J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 195-201.
- [19] 刘金林, 戴金娣. 提高碾米效率降低成本损耗[J]. 粮油加工, 2009(7): 43-45.
- [20] 何振鲁, 程欣, 蔡健荣, 等. 稻米加工设备现状及最新研究进展[J]. 现代食品, 2020(1): 1-2.
- [21] 蒋旭玲. 大米中硒形态分析方法的建立[D]. 南京: 南京财经大学, 2013: 35-36.
- [22] GARDUÑO-ZEPEDA Anamaria, MÁRQUEZ-QUIROZ César. Aplicación de selenio en cultivos agrícolas: Revisión bibliográfica[J]. Información Tecnica Economica Agraria, 2018, 114(4): 327-343.
- [23] 辜世伟, 胡云均, 刘方菁, 等. 不同加工精度对稻谷中镉含量的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(8): 8-12.

(下转第 41 页)

- [21] 张晓婷, 王满生, 邱浩楠, 等. 青叶苎麻叶多酚超声辅助提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(12): 152-158.
- [22] 蔡霄英, 龚茵茵. 食用花卉中的多酚类成分及生物活性研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 178-182, 189.
- [23] CHEN Xing, LIANG Li, HAN Cong. Borate suppresses the scavenging activity of gallic acid and plant polyphenol extracts on DPPH radical: A potential interference to DPPH assay [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 131: 109769.
- [24] ZHU Qin-yan, ZHANG An-qi, TSANG D, et al. Stability of green tea catechins[J]. J Agric Food Chem, 1997, 45(12): 4 624-4 628.
- [25] 肖楠, 朱永春, 宝阿敏, 等. 邻苯三酚自氧化机理的量子化学研究[J]. 计算机与应用化学, 2014, 31(10): 1 165-1 169.
- [26] 韩少华, 朱靖博, 王妍妍. 邻苯三酚自氧化法测定抗氧化活性的方法研究[J]. 中国酿造, 2009(6): 155-157.
- [27] 贾红玉, 王亚森, 田晓辉, 等. 邻苯三酚自氧化法在SOD活性测定中的应用[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2018, 38(3): 284-290.
- [28] 刘夫国. 甜玉米脂氧合酶的分离纯化及与风味的关系研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013: 6-7.
- [29] 宁晁. 影响酶活性的因素综述[J]. 科技经济导刊, 2018, 26(31): 125-127.
- [30] 俞梅兰, 余燕影, 曹树稳. 槲皮素自氧化作用影响其超氧阴离子自由基清除能力的研究[J]. 食品工业科技, 2006(3): 75-78.
- [31] ZHOU Ai-ling, SADIK O A. Comparative analysis of quercetin oxidation by electrochemical, enzymatic, autoxidation, and free radical generation techniques: A mechanistic study[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(24): 12 081-12 091.
- [32] 荣家闵, 张仁文. 槲皮素体外抗氧化活性研究[J]. 科学技术创新, 2019(29): 43-44.
- [33] LEI Rong, XU Xiao, YU Fei, et al. A method to determine quercetin by enhanced luminol electrogenerated chemiluminescence (ECL) and quercetin autoxidation[J]. Talanta, 2008, 75(4): 1 068-1 074.
- [34] WANG Qing-yang, LEONG W F, ELIAS R J, et al. UV-C irradiated gallic acid exhibits enhanced antimicrobial activity via generation of reactive oxidative species and quinone[J]. Food Chemistry, 2019, 287: 303-312.
- [35] 吴雪钗, 于波涛, 侯艾林, 等. 没食子酸稳定性研究[J]. 西南国防医药, 2006, 16(5): 484-485.
- [36] 郭远华, 邹国林. 儿茶素对超氧阴离子自由基的清除及其自氧化作用研究[J]. 氨基酸和生物资源, 2001(2): 10-12.
- [37] WU Jing, WANG Hua, LIU Fu, et al. Detection of catechin based on its electrochemical autoxidation[J]. Talanta, 2005, 65(2): 511-517.
- [38] 何建波, 孟凡顺, 周园, 等. 不同 pH 值下儿茶素氧化的现场光谱电化学研究[J]. 食品科学, 2009, 30(5): 11-15.
- [39] CAO Qiong-ju, HUANG Yuan, ZHU Quan-fei, et al. The mechanism of chlorogenic acid inhibits lipid oxidation: An investigation using multi-spectroscopic methods and molecular docking[J]. Food Chemistry, 2020, 333: 127528.
- [40] BOOTS A W, LI Hui, SCHINS R P F, et al. The quercetin paradox[J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2007, 222(1): 89-96.
- (上接第 31 页)
- [24] 徐欣源. 加工精度对大米陈化过程中理化及品质特性变化的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2013: 46-47.
- [25] 古汶玉, 黄玉, 谢宇霞, 等. 稻谷水分对出糙率和整精米率的影响[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(4): 80-81.
- [26] FANG Yong, CATRON Brittany, ZHANG Yao-fang, et al. Distribution and in vitro availability of selenium in selenium-containing storage protein from selenium-enriched rice utilizing optimized extraction[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(17): 9 731-9 738.
- [27] 赵婉彤. 重庆市江津区土壤硒含量分布及影响因素的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015: 35-37.
- [28] 周鑫斌, 于淑惠, 赖凡. 水稻品种间吸收和转运硒特性差异机制研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 594-599.
- [29] ZHOU Xin-bin, ZHANG Cheng-ming, GAO A-xiang. Selenium speciation and distribution in the rhizosphere and selenium uptake of two rice (*Oryza sativa*) genotypes[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2018, 20(1): 136-142.
- [30] LIU Kun-lun, CAO Xiao-hong, BAI Qing-yun, et al. Relationships between physical properties of brown rice and degree of milling and loss of selenium[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 94(1): 69-74.
- [31] 国家标准化管理委员会, 国家市场监督管理总局. 粮油检验大米加工精度检验: GB/T 5502—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 3-5.
- [32] 方勇. 外源硒在水稻籽粒中的生物强化和化学形态研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010: 59-60.
- [33] YAO Bao-min, CHEN Peng, SUN Guo-xin. Distribution of elements and their correlation in bran, polished rice, and whole grain[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(2): 982-992.
- [34] 邢常瑞, 汤志宏, 汪金燕, 等. 稻谷不同部位多元素分布规律[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(1): 7-11.
- [35] WANG Yu-dong, WANG Xu, WONG Yu-shing. Generation of selenium-enriched rice with enhanced grain yield, selenium content and bioavailability through fertilisation with selenite[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2 385-2 393.
- [36] 胡婷, 吴文良, 赵桂慎, 等. 我国富硒农产品及食品标准体系发展与展望[J]. 中国标准化, 2019(11): 136-144.