

基于气味检测的生姜微波干燥特性研究

The kinetics of microwave drying ginger based on the volatile detection

徐晚秀¹ 李 静² 李臻峰^{1,2} 朱冠宇¹

XU Wan-xiu¹ LI Jing² LI Zhen-feng^{1,2} ZHU Guan-yu¹

宋春芳² 张君生¹

SONG Chun-fang² ZHANG Jun-sheng¹

(1. 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122)

(1. Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要: 分别在 50, 60, 70, 80 °C 4 个恒定干燥温度下, 通过采集干燥过程中及干燥后的样品挥发性气味, 分析不同温度下气味图谱变化过程及风味散发强度与干燥特性关系, 并对比干后生姜的品质。结果表明: 过低的温度避免了焦糊但是由于干燥时间过长气味散发比较多。相反, 高温干燥时干燥时间比较短但由于产生焦糊气味导致产品品质过差。水分蒸发会伴随着挥发性风味的散发, 为达到气味保留与抑制焦糊性能最佳, 同时保证干后品质, 60 °C 原始风味保留与抑制焦糊性能最佳, 同时色泽保留效果与复水性均最好。

关键词: 生姜; 微波干燥; 气味检测; 干燥过程; 品质

Abstract: The online volatile changes of the ginger on drying process and drying characteristics were analyzed at the four constant drying temperature, 50, 60, 70, 80 °C, respectively. The volatile emission intensity and quality of the corresponding drying temperature was compared to find out a better drying condition. It was found that the drying temperature at 60 °C could preserve preferred volatile best and avoid burning occurrence. Moreover, the color difference and rehydration ratio were also found better.

Keywords: ginger; microwave drying; volatile detection; drying process; quality

生姜是姜属植物的块根茎, 又名鲜姜、老姜。生姜化学成分复杂, 包括碳水化合物、蛋白质、维生素、矿物质、辛辣素、油脂及少量挥发性油分^[1-2]。生姜中含有姜辣素、芳香

醇、姜烯、水芳烯、茨烯、氨基酸、尼克酸、柠檬酸、芳樟醇等功能物质, 有治牙痛、治疗关节炎、降胆固醇、防胆石症、抗运动病、抗动脉粥样硬化、抗衰老及抗癌等作用^[3-5]。生姜因其特殊的风味, 广泛地应用于烹调香料、调味剂和草药。生姜风味的感官特性主要是姜精油这种物质赋予的, 精油是生姜中的挥发性油分, 为生姜提供了香气和风味。生姜不易保鲜, 鲜原料难以满足市场和人们的消费需求。当贮藏环境温度高于 15 °C 时生姜会抽芽生根, 而低于 10 °C 就会发生冻害, 严重影响其贮藏品质, 降低食用价值和外观品质^[6-7]。

不同的干燥工艺对生姜的芳香风味和辛辣口感有不同的影响。生姜的芳香风味主要来源于挥发性风味物质^[8]。Ding 等^[9]和 Huang 等^[10]采用顶空固相微萃取结合气质联用技术比较了不同的干燥工艺对姜挥发性风味物质的影响, 发现微波干燥生姜保留挥发性成分更有优势。

但迄今为止, 对于生姜干燥过程中的气味变化缺乏研究。本试验通过课题组自制的微波干燥在线检测气味系统, 在微波干燥生姜的过程中对生姜的中心温度进行控制, 研究温度对生姜气味扩散、其干燥特性及干后品质的影响, 确定较优的微波干燥条件, 为微波干燥生姜的生产应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

生姜: 采购于江苏无锡滨湖区江南大学天惠超市, 试验前置置于 4 °C 冰箱中储存待用。分割成 10 mm × 10 mm × 10 mm 的立方体进行试验。每组试验称取 (23 ± 1) g 的生姜进行干燥。

1.2 仪 器

电子秤: ES5000 型, 永康市艾瑞贸易有限公司;

荧光光纤测温仪: ThermAgile-RD 型, 西安和其光电科

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 21206051); 江苏省产学研联合创新资金(编号: BY20130155-22); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(编号: KYLX_1158)

作者简介: 徐晚秀, 女, 江南大学在读博士研究生。

通信作者: 李臻峰(1969—), 男, 江南大学教授, 博士生导师。

E-mail: 1010525570@qq.com

收稿日期: 2017-09-26

技术有限公司;

电子鼻:4200型,美国 Electronic Sensor Technology 公司;

岛津紫外可见分光光度计:UV1800型,岛津企业管理(中国)有限公司;

数显恒温水浴锅:HH1型,常州恒隆仪器有限公司;

医用离心机:80-2型,江苏新康医疗器械有限公司;

微波干燥系统(见图1):实验室自制,该系统主要分为两个部分,即微波干燥部分和气味检测部分。微波干燥部分主要包括温度检测、重量检测和功率控制。气味检测部分包括冷凝气流回路、高精度全自动交流稳压电源、电子鼻。干燥时

通过电子秤、光纤将实时重量、温度信号传感输入计算机,计算机通过PID以0~5V的电压实现微波功率0~700W线性可调,由光纤测得实时温度与设定物料中心温度进行比较反馈控制变化的微波功率,达到所设定干燥温度。气味检测时,空气压缩机产生经过缓冲物料罐的3L/min的气流,由二位三通阀将气流分为两路,一路从微波炉(经实验室改造)进入聚四氟乙烯物料罐,及时带走当前时刻被干燥物料散发的挥发性气味,通过冷凝器进入采样瓶供电子鼻采样测量,测量数据传入计算机。另一路不经过干燥腔直接进入采样瓶作为清洗电子鼻的气体。物料重量读数、功率控制和温度控制数据集成在一个DAQ板,在线检测数据以1s间隔存入计算机。

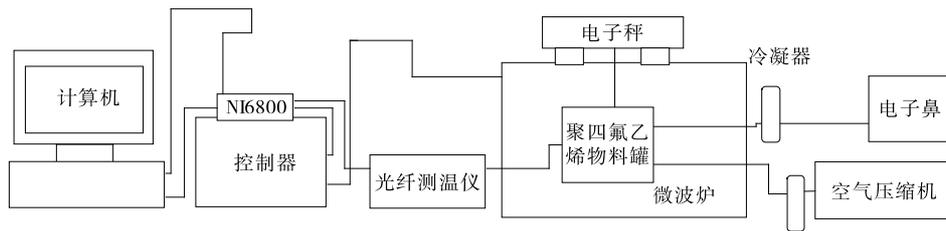


图1 基于气味检测的微波干燥系统

Figure 1 Microwave drying based on volatile-detection system

1.3 方法

1.3.1 干燥方法 为研究温度对挥发性风味和干燥品质的影响,控制物料中心温度为50,60,70,80℃。当湿基含水率为10%时停止干燥。实时采集不同温度下的气味峰面积值。每一个干燥条件下都将在线记录温度、重量、功率变化,并对不同温度下干后产品进行品质分析。每组试验进行3次。

1.3.2 气味检测方法 色谱柱:DB-5压电石英晶体;传感器温度:30℃;取样时间:0.5s;泵压:10s;吸入时间:0.5s;等待时间:2s;升温程序:以10℃/min升至200℃;数据处理:20s;烘烤传感器30s。

1.4 指标测定方法

1.4.1 干基及干基含水率的测定 生姜切成丁称重后将其放置在电热鼓风干燥箱中以105℃的温度进行干燥;干燥3h后开始称重,后每隔30min称重1次,至每30min的质量变化≤0.01g时停止试验。测得生姜初始水含量为90.72%。干燥样品含水率(湿基)按式(1)计算:

$$W_t = \frac{M_t - M}{M_t} \tag{1}$$

式中:

W_t ——干燥样品在t时刻的湿基含水率,g/g;

M_t ——任意t时刻物料的总重量,g;

M——物料的绝干重量,g。

1.4.2 复水比测定 精确称取干燥物料1g,在100mL烧杯中加入蒸馏水80mL,80℃恒温水浴10min,复水后去除样品表面水分,测物料复水后质量。复水比按式(2)计算:

$$R = \frac{R_f}{R_i} \times 100\% \tag{2}$$

式中:

R——物料复水比;

R_f ——物料复水后质量,g;

R_i ——物料复水前质量,g。

1.4.3 物料色差测定 用色差计测新鲜和干燥后的生姜,每个样品重复5次取平均值。 L^* 、 a^* 、 b^* 分别代表明度、红绿度、黄蓝度, ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* 表示干燥前后 L^* 、 a^* 、 b^* 之差,干燥前后的色差值按式(3)计算:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \tag{3}$$

1.4.4 感官品质鉴定 干燥冷却后及时进行感官品质鉴定。鉴定标准见表1。

表1 干燥生姜感官评定标准[†]

Table 1 Standards for sensory evaluation of dried ginger

等级	色泽	形态	组织状态	风味
4	色泽均匀,呈淡黄色 色色差小,黄色	皱缩较少	酥脆,有弹性	有生姜特有香味,香气浓郁
3	色泽较均匀,黄色 轻微色变	轻微皱缩	脆,弹性较好	有生姜特有香味,香气较淡
2	色泽不均匀,黄褐色, 较严重色变	皱缩较多	硬,弹性较小	无生姜特有香味
1	色泽不均匀,褐色, 严重色变	严重皱缩	生硬粗糙,无弹性	出现不良气味

[†] 满分16分。

2 结果与分析

2.1 不同温度干燥生姜的特性

计算机通过PID控制实现微波功率0~700W线性可调,由光纤测得实时温度与设定物料中心温度进行比较反馈控制变化的微波功率,达到所设定干燥温度。由图2可知,干燥温度高可以缩短干燥时间,而干燥温度低会增加干燥时

间。干燥温度为 80 °C 时的干燥时间最短,为 50 min,比 70, 60, 50 °C 干燥时间分别快 25, 90, 190 min。原因是微波干燥过程中微波加热热量在被加热物料内部产生,这样里外一起加热,内部温度高于表面温度,内部蒸汽压大于表面蒸汽压,增加水分从内部到表面的扩散。升高的蒸汽压会导致内部的孔洞增大,甚至会有膨胀,减少水分的扩散阻力。

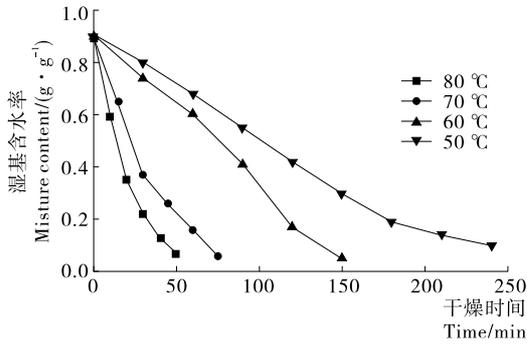


图 2 不同温度下含水率变化曲线

Figure 2 Curves of moisture content under different drying temperatures

2.2 不同温度干燥生姜的气味检测

电子鼻检测图谱见图 3。通过电子鼻检测的峰面积数据,发现干燥后期峰面积数据变化都很小,干燥后期对峰面积散发情况影响不显著,因此主要选取前 60 min 的气味图谱。

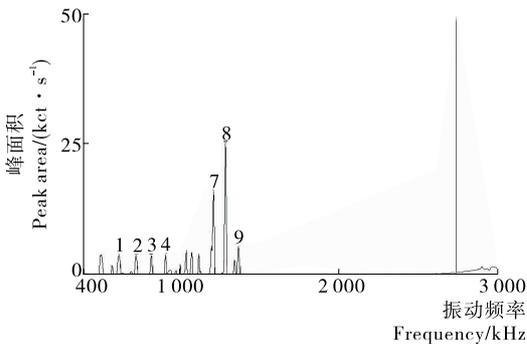
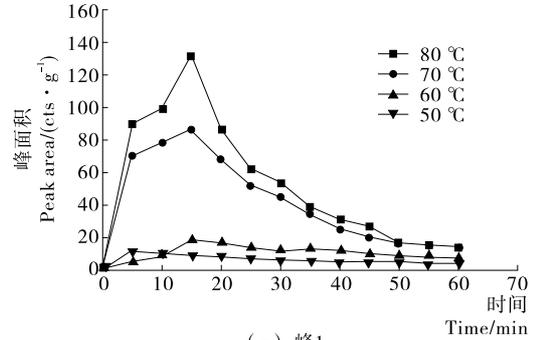


图 3 电子鼻检测的气味图谱

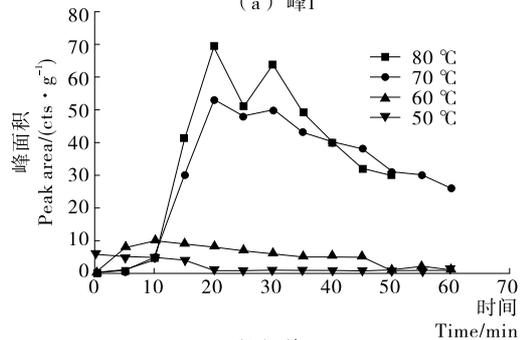
Figure 3 Aroma fingerprint detected by Electronic nose

图 4~7 为电子鼻检测的干燥过程中实时挥发性气味图谱。由图 4~7 可知,有 6 个显著挥发性区别峰值,其中有 4 个峰值在新鲜生姜的气味图谱中也检测到,只有峰 5 和峰 6 在新鲜生姜中未检测到。峰 1、峰 2、峰 3、峰 4 为新鲜生姜主要的挥发性风味成分。由气味图谱显示,在干燥过程中产生了峰 5 和峰 6,并且随着温度的升高越来越多,在低温的情况下基本没有(低于 8 cts/g 为电子鼻干净状态),因此这 2 个峰值作为表征生姜产生焦糊代表,其它峰值则作为风味峰代表。

由图 4 可知,峰面积曲线基本遵循两段式改变:一段是上升阶段,另一段是下降阶段。通过观察各峰面积图,可以明显发现温度越高两段式改变也越来越突出。温度为 80 °C 时峰面积比较大且改变最快,气味曲线也比较陡峭。温度较



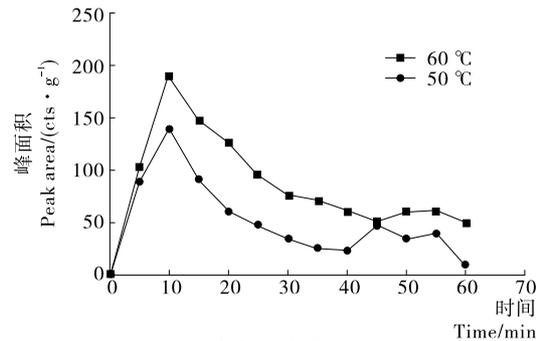
(a) 峰1



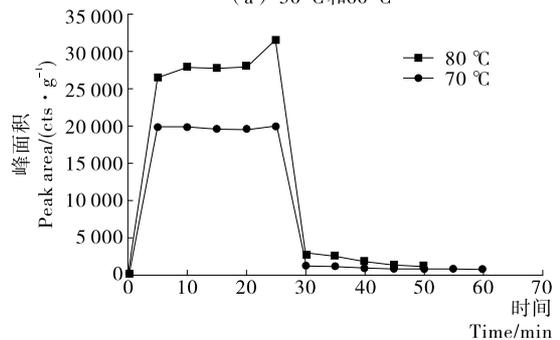
(b) 峰2

图 4 不同干燥温度的峰面积变化曲线

Figure 4 Curves of peaks in area under different drying temperatures



(a) 50 °C和60 °C



(b) 70 °C和80 °C

图 5 不同干燥温度下峰 3 的峰面积变化曲线

Figure 5 Curves of peak 3 in area under different drying temperatures

低(50 °C)的峰面积改变基本在同一条水平线上。原因是温度较低,挥发性气味散失改变很小。同一个气味图谱,在不同温度下转折点时间也不相同,说明气味散发情况与温度大小有关。各个峰在上升阶段,基本随着温度的升高,峰面积增大;下降阶段,刚开始高温对应的峰面积值比较大,随着时

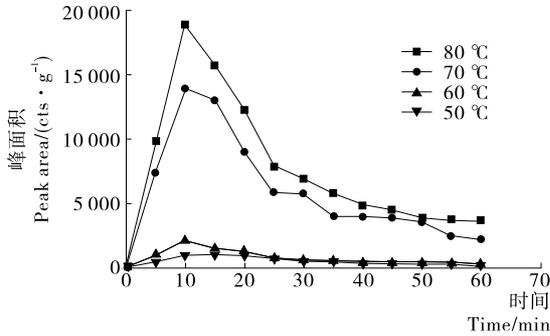
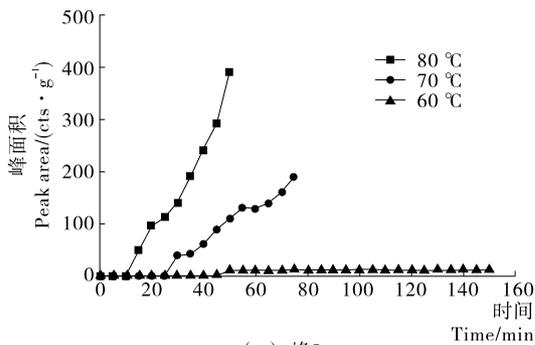
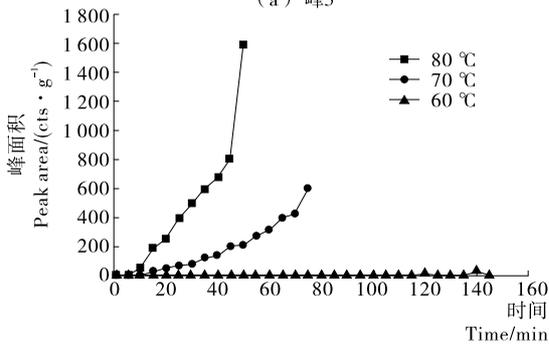


图6 不同干燥温度下峰4的峰面积变化曲线

Figure 6 Curves of peak 4 in area under different drying temperatures



(a) 峰5



(b) 峰6

图7 不同干燥温度下峰5和峰6的峰面积变化曲线

Figure 7 Curves of peak 5 and 6 in area under different drying temperatures

间的延长,高温的峰面积减小,但仍然比低温的峰面积大。这可能是温度高的物料,在干燥过程中内部孔道扩张更快,气味溢出更加迅速,但是随着干燥温度继续进行,物料内部结构遭到破坏,孔道塌陷、堵塞,气味散发峰面积减少。

除了图5的峰3以迅速上升然后迅速降低外,其他峰在干燥过程中基本维持在平稳的变化范围内。这可能是在干燥过程中某些物质发生了化学变化产生了峰3。80,70 °C时峰3最高可以达到20 000~30 000 cts/g,而60,50 °C时峰3在200 cts/g以内。温度越高,反应生成的峰3越多,峰3的气味扩散的越多。

图7为焦糊峰5、6的气味图谱。干燥温度为50 °C时检测不到峰5和峰6。在80 °C干燥10 min后测得的物质明显快速增多。这是由于高温后产生明显的焦糊挥发性物质导致峰5和峰6急剧增多。70 °C干燥30 min后焦糊物质开始

增多。而低温干燥只有后期有少量的峰5和峰6产生。为了干燥的品质应该避免焦糊物质的产生。因此干燥温度为50~60 °C比较合适。而干燥温度<50 °C时,干燥时间过长导致原始气味散失比较多。

图8为不同干燥温度干燥后样品检测的气味图谱。由于温度高而产生焦糊气味,则70,80 °C的干燥温度产生的焦糊气味多。干燥温度越低,物料焦糊气味即含峰5和峰6的气味值越少。干燥温度为50,60 °C时可以避免样品产生较多焦糊气味。原始峰气味值及峰1、峰2、峰3以及峰4随着温度的升高而减少,同时由于干燥时间长,干燥过程散失的气味多导致保留的气味值减少。50 °C干燥后的样品原始气味值比60 °C干燥后的少。则60 °C的干燥温度有利于保留原始气味。

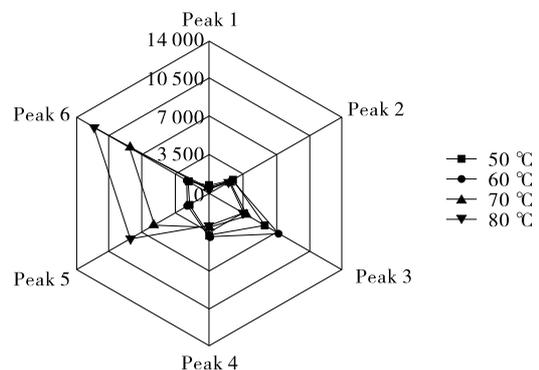


图8 不同温度干燥后样品的气味值

Figure 8 Value of samples peaks under different drying temperatures

2.3 不同温度干燥生姜的能耗

表2中不同干燥温度所需要的干燥能耗不同。70 °C比80 °C时的能耗多3 kJ/g。80 °C时的能耗为12 kJ/g,60 °C和50 °C时干燥的能耗分别为80 °C能耗的2.5倍和2.67倍。干燥温度越低,能耗越大。

表2 不同干燥温度的生姜品质

Table 2 Quality of ginger under different drying temperatures

干燥温度/°C	能耗/(kJ·g ⁻¹)	色差值	复水比
50	32	7.95	5.57
60	30	8.95	5.42
70	15	10.56	5.27
80	12	16.42	5.19

2.4 不同温度干燥生姜的色差

由表2可知,80 °C时的色差值最大,分别比70,60,50 °C时的色差值高5.86,7.47,8.47。温度越高色差值越大。由于高温时发生了褐变反应,导致色差值偏大。而低温时与新鲜生姜之间的色差比较小。刘绍军等^[11]也有相同的发现。温度为50,60 °C色差普遍较小,且与新鲜生姜相比色泽变化最小。

2.5 不同温度干燥生姜的复水比

由表 2 可知,干燥温度为 50~80 ℃时,随着温度的降低,生姜的复水比增加。一定温度范围内温度越低,生姜干燥过程中的含水率变化就越慢。温度为 50,60 ℃时复水率较高。这是由于细胞组织破坏小,恢复原状的能力也就越好。温度过高,干燥后的生姜组织结构被破坏,导管孔隙被过快的传质气体、水分破坏,组织细胞受到破坏,同时在强热力作用下,部分蛋白质变性而失去吸水能力,导致亲水性下降,复水能力降低。这与张涛等^[12]的试验结论一致。

2.6 感官品质评价

由表 3 可知,生姜在不同干燥方案下感官品质发生了较大的变化,干燥温度 80 ℃较 70,60,50 ℃出现较明显褐变、皱缩、硬化、生姜风味也较差。干燥温度 60 ℃时干制品风味、组织状态、色泽及形态方面保留效果较好,褐变率低,制品酥脆,相对得分最高。同时干制品结构破坏较小,色泽、复水性能优。

表 3 不同方案生姜制品感官得分表

Table 3 Sensory scores of dried ginger at different drying schemes

干燥温度/℃	色泽	形态	组织状态	风味	总分
50	4	3	2	2	11
60	4	4	4	3	15
70	2	3	2	3	10
80	2	2	2	1	7

3 结论

对比新鲜生姜的挥发性风味,发现不同的干燥参数对生姜的挥发性风味的散发也不同。研究发现温度过高或者太低对单位时间内挥发性风味保留以及焦糊挥发性物质抑制都不利。干燥温度为 80,70 ℃时,干燥速率过快、复水比偏小、色差最大、生姜原始风味气味散发强度最高导致保留的原始气味少,同时焦糊产生量也最多。温度最低的 50 ℃挥

发性气味散发强度最小,但是干燥能耗高,干燥时间长,导致干燥散发的原始风味散失最多。在干燥温度为 60 ℃时,干燥速率适中、原始风味保留较多、抑制焦糊气味、能耗较低,同时复水比和色差指标都较好。该研究可为生姜微波干燥气味的研究与控制提供理论依据。

参考文献

- [1] 毕海丹,崔旭海,于滨. 预处理方法对生姜热风干燥动力学和品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017(1): 143-149.
- [2] 陈帅华,李晓如,韦超,等. 生姜与生姜皮挥发油成分的分析[J]. 福建分析测试, 2011(4): 11-16.
- [3] 葛毅强,倪元颖,张振华,等. 生姜精油的研究新进展[J]. 中国调味品, 2004(9): 3-9.
- [4] 赵文竹,张瑞雪,于志鹏,等. 生姜的化学成分及生物活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2016(11): 383-389.
- [5] 朱风涛,马超,吴茂玉,等. 生姜功能成分的提取及其应用[J]. 农产品加工, 2010(1): 67-69.
- [6] 张钟,刘晓明. 不同干燥方法对生姜粉物理性质的影响[J]. 包装与食品机械, 2005(3): 10-14.
- [7] 朱丹实,刘仁斌,杜伟,等. 生姜成分差异及采收贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2015(17): 375-378.
- [8] 安可婧. 生姜不同前处理联合热间歇微波耦合干燥的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014: 34-40.
- [9] DING Sheng-hua, AN Ke-jing, ZHAO Cui-ping, et al. Effect of drying methods on volatiles of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) [J]. Food Bioprod Process, 2012, 90(C3): 515-524.
- [10] HUANG Bao-kang, WANG Guo-wei, CHU Zhi-yong, et al. Effect of oven drying, microwave drying, and silica gel drying methods on the volatile components of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by HS-SPME-GC-MS [J]. Dry Technol, 2012, 30(3): 248-255.
- [11] 刘绍军,吴建民,范紫焯,等. 微波干燥对生姜全粉特性的影响[J]. 农产品加工, 2015(5): 4-6.
- [12] 张涛,赵士杰,冉雪. 生姜热风干燥试验研究[J]. 农机化研究, 2014(4): 160-162, 166.

信息窗

研究表明:婴儿应少吃米类辅食

美国佛罗里达国际大学研究人员近日提醒,大米类婴儿辅食汞含量明显高于其他谷类婴儿食品。

研究人员采购了市场上 119 种常见的大米类和非大米类混合谷物类婴儿辅食,采购来源包括线上和线下零售商,地点包括美国迈阿密、纽约、圣何塞、芝加哥以及中国北京、武汉、南京和青岛共 8 个城市。调查显示,大米类婴儿辅食的甲基汞含量是混合谷物类婴儿辅食的 3 倍,是不含大米的其他谷物类婴儿辅食的 19 倍之多。不同采购地点和品牌间,汞含量差异并不明显。研究人员分析认为,相对于其他谷类产品加工厂,大米制品加工厂更容易吸收环境中的甲基汞。调查结论被发表在美国《农业和食品化学学报》上。

汞摄入过量可能造成健康损害,包括影响视野,造成行动不协调、肌肉乏力、语言和听力障碍等。研究人员称,虽然米类婴儿辅食的汞含量高于其他辅食,但均未超过美国环境保护署规定的汞含量标准,家长不用过于担心。

2014 年的一项研究还显示,除汞外,婴儿大米类辅食的砷含量也比较高。美国食品药品监督管理局建议,婴儿应避免以大米类产品作为主食,尽量多吃燕麦、大麦类强化铁元素辅食。美国消费者权益机构“消费者报告”也建议,如果要吃,婴儿每天进食的大米类辅食最好不超过 1/4 杯。

(来源:澳洲网)