

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2015.02.013

红外干燥对芝麻品质的影响

Effects of infrared drying on properties of sesame

张丽霞¹ 张 勋¹ 孙佳佳^{1,2} 黄纪念¹

ZHANG Li-xia¹ ZHANG Xun¹ SUN Jia-jia^{1,2} HUANG Ji-nian¹

(1. 河南省农科院农副产品加工研究所, 河南 郑州 450002; 2. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州 450002)

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agriculture Sciences, Zhengzhou, Henan 450008, China; 2. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

摘要:利用红外技术对芝麻进行干燥,并采用压榨法制油,研究不同红外干燥参数对芝麻水分含量、发芽率、挥发性气体成分及芝麻油酸值、过氧化值的影响。结果表明:红外干燥对芝麻的发芽能力有显著的破坏作用,100℃红外干燥5 min 发芽能力约下降至1/5,干燥25 min 芝麻完全失去发芽能力。当红外干燥时间在10~25 min 或干燥温度在70~130℃时,芝麻的水分含量均达到安全水分(7%)。随着干燥时间的延长或温度的升高,芝麻油酸值由21.35 mg KOH/g 降低至4.11 mg KOH/g,过氧化值呈升高趋势(最大值0.71 mmol/kg)。红外干燥的芝麻挥发性气体成分中含有烃类、酯类、醛类、醇类、酸类等,其数目依次降低;当干燥时间在15 min 以上或干燥温度在100℃以上时,酯类成分相对含量减少,而酸类和醇类成分相对含量有一定的增加。

关键词:芝麻;红外干燥;挥发性成分;酸值;过氧化值

Abstract: The sesame was dried by infrared ray, and the sesame oil was extracted with solvent. The effect of infrared drying time (constant temperature of 100℃) and temperature (constant time of 15 min) on the moisture content, germination rate, the volatile gas composition of sesame seeds and the acid value, peroxide value of sesame oil was investigated. The results showed that, when the infrared drying time is between 10~25 min or drying temperature between 70~130℃, the moisture content of the sesame seeds have reached the safety of water. Infrared drying has some damaging effects on germination rate of sesame seeds. With the extension of the drying time or increasing of temperature, the acid value of sesame oil was decreased (4.11~21.35 mg KOH/g), and the peroxide value increased (the maximum is 0.71 mmol/kg). Component of sesame

volatile gases contained hydrocarbons, aldehydes, alcohols, esters, acids, etc, and the relative content of them reduced sequentially.

Keywords: sesame; infrared drying; volatile gas composition; acid value; peroxide value

芝麻又称胡麻、油麻和脂麻,为胡麻科,芝麻属,一年生草本植物。芝麻中含有大量的脂肪(54%左右)和丰富的蛋白质,还含有维生素E、维生素B₁、B₂、膳食纤维、卵磷脂、尼克酸、钙、铁、镁等营养成分^[1],芝麻所含成分生理功能显著,可预防、缓解和治疗多种疾病^[2]。但新收获的芝麻水分含量高,如不及时干燥,在储藏过程中极易发热、酸败和霉变,通过干燥可以有效地提高芝麻的保藏性。

芝麻干燥最常用的方法是太阳光晒和热风干燥。太阳光晒受自然条件等的限制,其经济效率不高;热风干燥虽然可以避免自然条件的限制,但其干燥过程是表面干燥过程,消耗能源较大,效率较低^[3]。红外干燥作为一种新型的干燥方法,是利用电磁辐射热传原理,以直接方式传热深入油料内部,使内外水分同时汽化,而达到加热干燥物料的目的,避免传热媒介导致的能量损失,节约能源^[4,5]。红外干燥在食品以及粮食油料领域中的应用还具有很多优点^[3,6,7],如无需特殊的传递介质,即在空气中或真空中都能有效地传递热量、加热均匀、生产力强、加温时间短,使用寿命长及装置紧凑、便于自动化、无污染等。

红外技术在芝麻干燥中的应用已有文献报道, Lee 等^[8]研究发现芝麻饼粕红外辐照后其甲醇提取物的抗氧化活性增加; Kumar 等^[9]发现红外干燥处理可促使芝麻林素转化为芝麻酚等,从而提高芝麻木脂素与生育酚的协同抗氧化性。本研究拟通过不同的红外干燥条件干燥芝麻,并采用液压制油,研究红外干燥对芝麻水分含量、发芽率、挥发性气体成分及芝麻油酸值、过氧化值的影响,旨在为红外干燥技术在芝麻干燥中的应用提供参考依据。

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(编号:201303072);河南省农业科学院科研发展专项资金(编号:20137923);河南省农业科学院自主创新项目(编号:豫财教[2013]261号)

作者简介:张丽霞(1978—),女,河南省农科院助理研究员,博士。

E-mail: lxzhang2003@hotmail.com

通讯作者:黄纪念

收稿日期:2015-01-25

1 材料与方法

1.1 材料

驻芝 14 号白芝麻:粗蛋白含量 20.5%、粗脂肪含量 53.2%,平舆康博汇鑫油脂有限公司;
其它试剂:均为市售分析纯。

1.2 仪器与设备

远红外热收缩包装机:400 型,温州鼎丰包装机械有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:7890A/5975C 型,安捷伦科技有限公司;

萃取头:65 μ mPDMS/DVB 型,美国 Supelco 公司;
摇摆式高速万能粉碎机:DFY-1000,温岭市林大机械有限公司;

智能恒温恒湿箱:HSX-250 型,上海南荣实验室设备有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DGX-9243 型,上海福玛实验设备有限公司;

旋转蒸发仪:EYELA N-1001 型,上海亚荣生化设备厂;
电热恒温水浴锅:HHS 型,上海讯博实业有限公司;
电子分析天平:PL203 型,美国托莱多 Mettler 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备方法 清除芝麻中的杂质。为模拟刚收获的芝麻含水量($>9\%$),100 g 芝麻喷淋约 150 mL 去离子水并搅拌均匀,用塑料袋装好封口置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 恒温恒湿箱中保存 48 h,使水分被充分吸收,得还原过水分的试验原样(记为样品 0,水分含量 10.6%)。

1.3.2 样品红外干燥 取还原过水分的芝麻样(样品 0)约 200 g,平铺于 30 目不锈钢标准筛中,厚度为 1 cm。设定机器红外温度值,关闭热风阀,待温度升至设定值后(温度误差在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 内),使用传送带将钢筛送至机器中央并开始计时,到达干燥时间后使用传送带传送出钢筛,将芝麻置于干燥器内保存,备用。

1.3.3 发芽率的测定 取少量芝麻,用清水浸泡 2 h 左右。取干净的培养皿,铺两层滤纸,浸润滤纸使其吸满水分。将浸泡后的芝麻沥去水分,从中取籽粒饱满、无破损的芝麻籽粒 100 粒均匀的摆放在滤纸上。培养皿用保鲜膜封口,置于恒温恒湿箱中培养(35 $^{\circ}\text{C}$,湿度 90%RH)。每天早晚观察一次,并打开培养皿在滤纸边滴几滴水,连续观察 3 d。记录最终的发芽率。

1.3.4 芝麻油的制取 为了保持干燥芝麻的主要指标测定的准确性,采用液压法制取芝麻油:将一定量经红外干燥的芝麻装入滤布袋中,放入液压榨油机的榨膛中,室温下制油,榨膛压力逐渐升至 50~60 MPa,反复压榨 4 次,得到压榨芝麻油。

1.3.5 红外干燥芝麻的气味成分分析

(1) 气味成分的顶空—固相微萃取(HS—SPME)富集:取 2 g 经红外干燥的芝麻样于 15 mL 顶空萃取瓶中,将瓶盖

拧紧,在 50 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴中平衡 20 min,然后插入 240 $^{\circ}\text{C}$ 下活化 20 min 的萃取头,顶空富集气味成分 30 min,迅速插入气质联用仪进样口中,240 $^{\circ}\text{C}$ 不分流模式下解吸 5 min。

(2) 气相色谱—质谱联用仪(GC—MS)的分析条件:
① 色谱条件:HP-5MS Phenyl Methyl Silox(30 m $\times$ 250 μ m $\times$ 0.25 μ m)色谱柱,进样口温度 240 $^{\circ}\text{C}$,程序升温(初始温度 35 $^{\circ}\text{C}$ 保持 7 min,然后 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 230 $^{\circ}\text{C}$ 保持 8 min),高纯氦气为载气,流速 1 mL/min,不分流进样。
② 质谱条件:四级杆 150 $^{\circ}\text{C}$,离子源 230 $^{\circ}\text{C}$,辅助加热器 250 $^{\circ}\text{C}$;全扫描质量参数 30~550 U;电子轰击电离(electron impact, EI),电子能量 70 eV。采用 NIST 08. LIB 质谱谱图库对风味物质进行分析,将匹配度大于 80 的成分的峰面积归一化法计算各组分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 红外干燥对芝麻水分含量的影响

油料中适量的水分含量是维持油料种子生命和保持其固有气味、色泽、种植和食用品质所必需的。高的水分含量会降低油料的储藏稳定性,使籽粒中有使用价值的物质损耗,从而影响加工的出品率和质量^[10]。红外干燥时间和红外干燥温度对芝麻水分含量的影响分别见图 1、2。

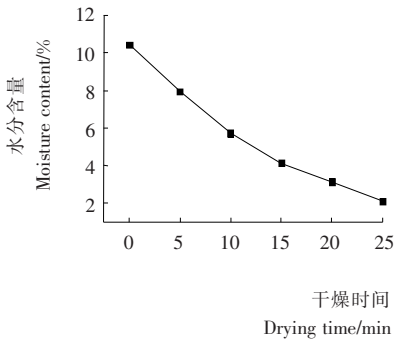


图 1 红外干燥时间对芝麻水分含量的影响
(红外干燥温度为 100 $^{\circ}\text{C}$)

Figure 1 Effects of infrared drying time on the moisture content of sesame (drying temperature 100 $^{\circ}\text{C}$)

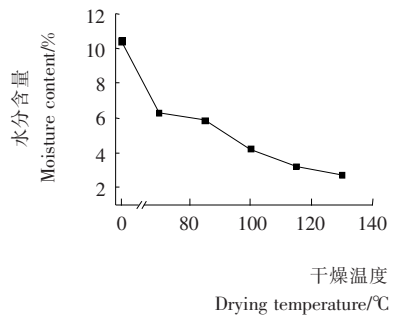


图 2 红外干燥温度对芝麻水分含量的影响
(红外干燥时间 15 min)

Figure 2 Effects of infrared drying temperature on the moisture content of sesame (drying time 15 min)

由图 1、2 可知,随着干燥时间的增加或干燥温度的升高,芝麻的水分含量不断降低。当红外干燥时间在 10 min 以上或干燥温度在 70 ℃ 以上时,芝麻的水分含量均在安全水分(7%)以下,因此恒定红外干燥温度 100 ℃,干燥时间在 10~25 min 或恒定红外干燥时间 15 min,干燥温度在 70~130 ℃ 时,均可作为芝麻储藏的干燥条件。红外干燥使芝麻水分含量快速下降的原因在于:当辐射到物料上的红外线频率与组成该物料的物质分子的振动频率相同时,分子就会对红外辐射能量产生共振吸收,同时通过分子间能量的传递,使分子内能增加,表现为物料内部温度升高,在内高外低的温度梯度和含水率梯度同时作用下,不断地将内部的水分扩散出来,达到干燥目的^[11]。

2.2 红外干燥对芝麻发芽率的影响

干燥后芝麻的发芽率变化可以反映红外干燥对芝麻种用价值的影响,红外干燥时间及温度对芝麻发芽率的影响分别见图 3、4。

由图 3、4 可知,红外干燥对芝麻的生命力有显著的破坏

作用。未干燥前原始芝麻样品的发芽率为 75.3%,随着干燥时间的增加或干燥温度的升高,芝麻的发芽率明显下降;100 ℃ 红外干燥 5 min,发芽能力约下降至 1/5;干燥 25 min 芝麻完全失去发芽能力。这是因为红外干燥辐射与芝麻中物质产生生物响应,使芝麻内产生生化功能的变化^[12],从而影响芝麻的发芽率。由此可见,红外干燥作不适用于芝麻种样的干燥。

2.3 红外干燥对芝麻油酸值的影响

酸值是评定油脂品质的重要指标,一般来说,油脂酸值的大小与制取油脂的原料、制取与加工工艺、油脂的贮运方法与贮运条件等有关。红外干燥时间和干燥温度对芝麻油酸值的影响分别见图 5、6。

由图 5、6 可知,随着干燥时间的增加或干燥温度的升高,芝麻油的酸值不断下降,由未干燥原始芝麻油酸值 22.3 mg KOH/g 下降到 4.11 mg KOH/g。本试验所设定的红外干燥条件下芝麻油酸值都偏高,超出中国 GB 8233—2008《芝麻油》标准规定的普通芝麻油等级指标中的二级品

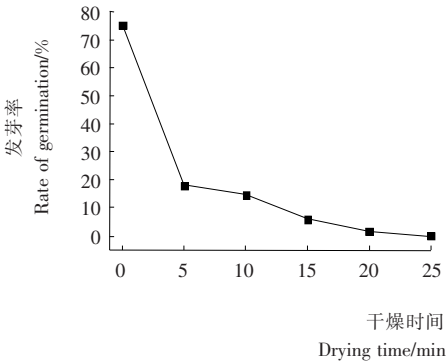


图 3 红外干燥时间对芝麻发芽率的影响
(红外干燥温度 100 ℃)
Figure 3 Effects of infrared drying time on the germination rate of sesame (drying temperature 100 ℃)

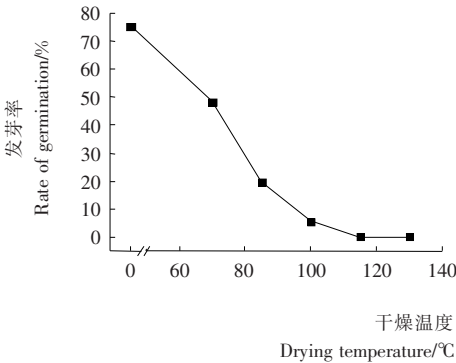


图 4 红外干燥温度对芝麻发芽率的影响
(红外干燥时间 15 min)
Figure 4 Effects of infrared drying temperature on the germination rate of sesame (drying time 15 min)

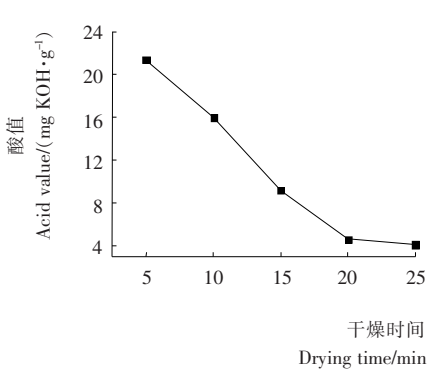


图 5 红外干燥时间对芝麻油酸值的影响
(红外干燥温度 100 ℃)
Figure 5 Effects of infrared drying time on the acid value of sesame oil (drying temperature 100 ℃)

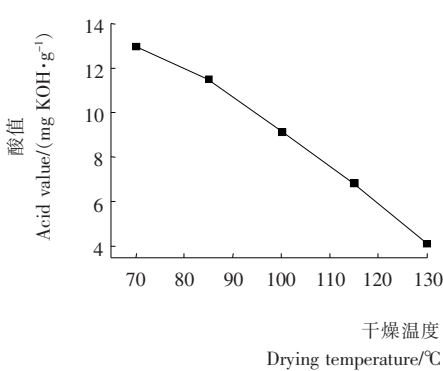


图 6 红外干燥温度对芝麻油酸值的影响
(红外干燥时间 15 min)
Figure 6 Effects of infrared drying temperature on the acid value of sesame oil (drying time 15 min)

质要求(≤ 4.0 mg KOH/g),表明该条件下的红外干燥对芝麻油的酸值具有显著影响。

红外干燥后芝麻油酸值的偏高,分析其原因可能是水分和酶的作用。甘油三酸酯在干燥或制油过程受热或解脂酶的作用而分解产生游离脂肪酸^[13],从而影响油脂的酸值。在较低的干燥时间或温度下,芝麻水分含量较高,为油脂水解提供了媒介,而红外辐射使解脂酶、脂肪酶等酶的活性升高,使得甘油三酸酯在芝麻干燥和制油过程中分解产生大量游离脂肪酸,从而使油中酸值大幅增高^[14]。随着干燥时间的延长或干燥温度的升高,芝麻水分含量降低,油脂中解脂酶等酶的活性降低,脂肪酸的水解被抑制,因而游离脂肪酸含量较低,样品的酸值又逐渐下降。

2.4 红外干燥对芝麻油过氧化值的影响

油脂的过氧化值主要是评定油脂中氢过氧化物含量,在油脂氧化初期,采用过氧化值可以合理评价油脂的氧化情况^[15]。红外干燥时间和干燥温度对芝麻油过氧化值的影响分别见图 7、8。

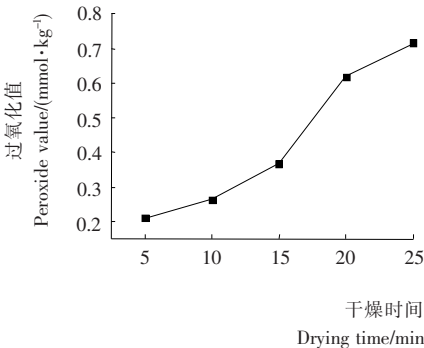


图 7 红外干燥时间对芝麻油过氧化值的影响
(红外干燥温度 100 °C)

Figure 7 Effects of infrared drying time on the peroxide value of sesame oil
(drying temperature 100 °C)

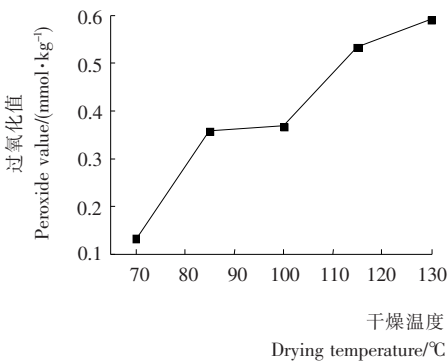


图 8 红外干燥温度对芝麻油过氧化值的影响
(红外干燥时间 15 min)

Figure 8 Effects of infrared drying temperature on the peroxide value of sesame oil
(drying time 15 min)

由图 7、8 可知,红外干燥后芝麻油的过氧化值较小,随着干燥时间的增加或干燥温度的升高,芝麻油的过氧化值呈上升趋势(最大值 0.71 mmol/kg),但均小于中国 GB 8233—2008《芝麻油》标准中对芝麻油过氧化值(一级芝麻油过氧化值 ≤ 6.0 mmol/kg)的要求,其原因为红外干燥温度升高或时间延长使芝麻内部的水分迅速汽化,形成微小孔径散出芝麻颗粒表面^[16]。通过这些小孔,使得芝麻内所含的油脂与空气中的氧气接触并发生反应,使得芝麻油中的活性氧成分增加,从而导致过氧化值的升高。

2.5 芝麻挥发性气体成分

红外干燥芝麻中含有烃、醛、酸、醇、酯类以及其它化合物等挥发性成分,共计 90 种物质,各类挥发性成分的含量见表 1、2。

将表 1 和表 2 中不同温度和时间干燥芝麻的挥发性气味成分的种类及数目进行汇总,可知挥发性气体成分种类数目最多的是烃类,有 46 种;其次是酯类,有 17 种;醛类有 10 种;

表 1 芝麻经不同时间的红外干燥后各类挥发性气体成分及相对含量(100 °C)[†]

Table 1 All kinds of volatile gas composition and the relative content of them of sesame that have dried by infrared with different time (100 °C)

类别	气味物质名称	相对质量分数/%				
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
烃类	萘	—	0.46	0.67	0.52	0.87
	1-甲基萘	—	0.37	—	—	1.94
	2-甲基萘	0.38	—	1.12	1.39	—
	1,6-二甲基萘	1.70	1.46	—	1.32	—
	1,4-二甲基萘	—	0.62	—	—	—
	2,7-二甲基萘	0.70	—	—	0.58	1.74
	2,3-二甲基萘	—	—	—	—	0.72
	1,4,6-三甲基萘	—	—	—	0.76	—
	1,6,7-三甲基萘	—	—	—	—	0.62

续表 1

类别	气味物质名称	相对质量分数/%				
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
烃类	十二烷	0.56	—	0.73	0.59	0.79
	2,6,10-三甲基十二烷	0.88	0.69	—	0.61	0.67
	十三烷	0.91	0.72	0.87	0.89	1.06
	十四烷	2.45	3.44	2.68	2.92	2.70
	2-十四碳烯	—	0.79	—	—	—
	3-十四碳烯	—	—	2.03	0.54	—
	4-十四碳烯	—	—	—	—	0.59
	5-十四碳烯	—	—	0.71	0.61	—
	7-十四碳烯	—	0.52	—	—	—
	十五烷	2.60	3.12	2.52	4.90	2.45
	4-甲基十五烷	—	—	—	1.96	—
	2,6,10-三甲基十五烷	2.59	1.92	1.67	—	—
	1-十五碳烯	0.63	0.68	—	—	—
	2,6,10,14-四甲基十五烷	2.99	2.49	1.90	6.46	1.98
	十六烷	3.26	2.81	2.11	4.60	2.13
	2-甲基十六烷	—	—	—	0.91	—
	2,6,10,14-四甲基十六烷	1.13	1.35	1.20	4.01	1.10
	十七烷	1.08	1.23	1.04	3.93	1.06
	3-十七碳烯	—	0.53	—	—	—
	2,3,7-三甲基癸烷	1.82	—	—	—	—
	二十八烷	—	—	—	—	1.43
	乙基环十二烷	—	—	—	—	0.72
	十八烷	—	0.58	—	1.52	—
	甘菊环烃	0.57	—	—	—	—
	二十一烷	0.90	1.95	0.72		
	1,1-二甲基-2-壬基环丙烷	—	0.41	—	—	0.52
	三十一烷	—	1.73	—	—	—
	芴	—	0.55	—	—	—
	三十四烷	—	—	—	0.67	—
醛类	正己醛	—	—	—	0.91	4.22
	壬醛	8.67	12.58	11.51	8.23	—
	2-壬烯醛	2.95	2.03	1.60	1.22	1.90
	癸醛	—	2.42	3.17	1.57	2.45
	2-癸烯醛	—	—	0.86	—	—
	苯乙醛	0.43	0.78	—	—	—
	苯甲醛	—	—	—	—	1.26
	2-庚烯醛	—	—	—	—	0.52
	2-辛烯醛	2.01	—	0.85	—	—
	2,4-癸二烯醛	0.43	—	—	—	—
酸类	己酸	—	—	4.31	3.53	5.08
	壬酸	—	0.80	0.72	—	—
醇类	正辛醇	—	1.90	0.72	0.47	0.70
	2-辛醇	—	—	—	—	—
	2-乙基己醇	1.79	3.86	5.38	3.77	—
	壬醇	0.88	2.37	2.01	1.66	1.22

续表 1						
类别	气味物质名称	相对质量分数/%				
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
醇类	柏木醇	0.66	0.47	—	—	—
	癸醇	1.50	—	—	—	—
	苯基乙醇	0.65	0.24	—	—	—
	2-亚甲基环戊醇	—	—	—	—	0.74
	亚硫酸丁基十七烷基酯	—	0.55	—	—	—
酯类	邻苯二甲酸异丁基辛酯	—	0.83	—	—	—
	邻苯二甲酸异丁基壬酯	1.91	—	6.25	—	—
	邻苯二甲酸二丁酯	—	—	1.56	—	—
	N-七氟丁酸十五基酯	1.24	—	—	—	—
	甲酸辛酯	0.89	—	—	—	—
	溴乙酸十五基酯	1.47	—	—	—	—
其它	2-戊基呋喃	0.98	0.78	1.05	0.94	1.35
	1,2-二甲氧基苯	0.50	0.59	—	0.89	0.51
	4-乙烯基-1,2-二甲氧基苯	—	0.64	—	—	—
	2-甲氧基苯酚	1.03	0.60	—	—	—
	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	1.21	1.18	—	0.72	0.57
	1,54-二溴五十四烷	0.70	—	—	—	—

† 表中“—”表示未检出或期匹配度低于 80。

表 2 芝麻经不同温度的红外干燥后各类挥发性气体成分及相对含量(15 min) [†]						
Table 2 All kinds of volatile gas composition and the relative content of them of sesame that have dried by infrared with different temperature(15 min)						
类别	气味物质名称	相对质量分数/%				
		70 ℃	85 ℃	100 ℃	115 ℃	130 ℃
烃类	萘	—	0.41	0.67	0.78	0.68
	1-甲基萘	—	—	—	1.75	—
	2-甲基萘	1.26	1.09	1.12	—	1.18
	1,6-二甲基萘	—	—	—	—	—
	2,7-二甲基萘	—	0.68	—	1.25	—
	十二烷	—	—	0.73	0.73	—
	2,6,10-三甲基十二烷	—	0.46	—	—	0.76
	十三烷	2.34	1.55	0.87	2.34	0.85
	十四烷	2.38	1.71	2.68	2.85	2.60
	1-十四碳烯	0.58	—	—	—	—
	2-十四碳烯	0.94	0.37	—	—	2.50
	3-十四碳烯	—	—	2.03	—	—
	5-十四碳烯	—	—	0.71	0.62	—
	7-十四碳烯	—	—	—	0.73	—
	2,6,10-三甲基十五烷	1.91	1.85	1.67	2.08	—
	十五烷	—	1.88	2.52	2.73	2.47
	2,6,10,14-四甲基十五烷	1.87	2.70	1.90	2.34	2.36
	十六烷	2.26	2.34	2.11	2.91	3.61
	2-甲基十六烷	—	0.20	—	—	—
	2,6,10,14-四甲基十六烷	0.86	1.37	1.20	1.62	—

续表 2

类别	气味物质名称	相对质量分数/%				
		70 ℃	85 ℃	100 ℃	115 ℃	130 ℃
烃类	十七烷	1.24	1.31	1.04	1.35	1.31
	十八烷	—	0.57	—	—	0.60
	2,3,7-三甲基癸烷	—	—	—	1.63	—
	二十烷	2.83	—	—	—	—
	2,6,10,15-四甲基十七烷	—	—	—	0.75	—
	7-十六碳烯	—	—	—	0.53	—
	1-亚甲基-1H-茛	0.77	—	—	—	—
	2,2',5,5'-四甲基-1,1'-联苯	—	0.38	—	—	—
	1-壬烯	—	1.42	—	—	—
	1,1-二甲基-2-壬基环丙烷	0.50	—	—	—	—
	4-萜烯	—	—	—	—	0.74
	二十一烷	—	—	0.72	0.92	—
	三十一烷	—	—	—	—	1.38
	十一烷基环戊烷	—	—	—	0.65	—
	正己醛	—	6.23	—	3.90	—
醛类	壬醛	14.08	7.16	11.51	13.65	14.08
	2-壬烯醛	2.39	1.42	1.60	1.73	—
	癸醛	4.50	—	3.17	3.11	4.17
	2-癸烯醛	—	—	0.86	—	—
	2,4-癸二烯醛	—	1.03	—	—	—
	苯乙醛	0.74	0.47	—	—	—
	2-辛烯醛	—	—	0.85	—	—
酸类	己酸	2.67	6.13	4.31	5.57	5.48
	壬酸	—	0.89	0.72	—	—
	正辛醇	1.43	0.37	0.72	1.63	0.48
	壬醇	—	—	2.01	1.58	1.99
醇类	2-乙基己醇	12.50	2.64	5.38	3.61	4.06
	柏木醇	—	0.41	—	1.25	1.22
	癸醇	—	1.97	—	—	—
	2-乙基-2-甲基十三醇	—	—	—	—	1.28
酯类	辛酸乙酯	0.27	—	—	—	—
	9-癸基-壬酸甲基酯	—	0.76	—	—	—
	亚硫酸丁基十三烷基酯	—	—	—	—	2.14
	亚硫酸丁基十七烷基酯	—	0.18	—	—	—
	邻苯二甲酸癸异丁酯	—	—	—	0.56	0.86
	邻苯二甲酸异丁基辛酯	—	0.77	—	—	—
	邻苯二甲酸异辛基壬酯	—	—	6.25	—	—
	邻苯二甲酸二丁酯	—	—	1.56	—	—
	氯乙酸十三烷基酯	—	0.40	—	—	—
	棕榈酸甲酯	—	2.57	—	—	—
	(Z,Z)-亚油酸甲基酯	—	0.31	—	—	—
	(E)-油酸甲基酯	—	6.63	—	—	—
	硬脂酸甲基酯	—	0.48	—	—	—
	11-十八烯酸甲基酯	1.48	—	—	—	—

续表 2

类别	气味物质名称	相对质量分数/%				
		70 ℃	85 ℃	100 ℃	115 ℃	130 ℃
其它	2-戊基呋喃	—	1.53	1.05	1.53	—
	2-甲氧基苯酚	0.78	—	—	—	—
	1,2-二甲氧基苯	0.71	0.39	—	—	—
	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	1.18	0.35	—	—	—

† 表中“—”表示未检出或其匹配度低于 80。

醇类有 9 种;酸类有 2 种;其它种类有 6 种。

由表 1、2 可知,当红外干燥时间低于 15 min 或干燥温度低于 100 ℃时,各种烃类成分的相对含量无显著变化。当时间大于 15 min 或温度高于 100 ℃时,烃类成分的相对含量呈上升趋势;酯类成分的相对含量呈下降趋势,酸类成分和醇类成分相对含量有一定的增加。分析其原因应为较高温度或较长时间的红外干燥可促使芝麻中的酯类物质发生水解反应,生成酸类和醇类物质,从而使酯类成分相对含量降低,酸类和醇类物质的相对含量增加。

3 结论

红外干燥使芝麻水分含量快速下降,恒定红外干燥温度 100 ℃,干燥时间在 10~25 min 或恒定红外干燥时间 15 min,干燥温度在 70~130 ℃时,芝麻的水分含量均在安全水分(7%)以下。100 ℃红外干燥 5 min 芝麻发芽能力与原始芝麻发芽率(75.3%)相比约下降至 1/5,干燥 25 min 芝麻完全失去发芽能力;说明红外干燥对芝麻的生命力有显著的破坏作用,不适宜于对芝麻种样的干燥。在干燥温度在 70~130 ℃内(恒定时间 15 min),或干燥时间在 5~25 min 内(恒定温度 100 ℃),干燥后制取的芝麻油酸值偏高,其随着干燥时间的增加或干燥温度的升高而呈下降趋势,由未干燥原始芝麻油酸值 22.3 mg KOH/g 下降到 4.11 mg KOH/g;各种干燥条件下,芝麻油的过氧化值较小,随着干燥时间的增加或干燥温度的升高呈上升趋势(最大值 0.71 mmol/kg)。红外干燥时间低于 15 min 或干燥温度低于 100 ℃时,各种烃类成分的相对含量无显著变化;当干燥时间在 15 min 以上或干燥温度在 100 ℃以上时,烃类成分的相对含量呈上升趋势,酯类成分相对含量减少,而酸类和醇类成分相对含量有一定的增加。红外干燥代替传统的干燥方式提高了加热速率,节约了能源,减少了环境污染,为芝麻非种用干燥提供一种有效的干燥方式,具有广阔的应用前景。

参考文献

1 黄凤洪. 特种油料加工与综合利用[M]. 北京:中国农业科技出版社,2001.

2 芦鑫,孙强,张丽霞,等. 国内外芝麻食品研究现状与展望[J]. 食品与机械,2013,29(3):269~272.

3 金逢锡,顾广瑞. 红外辐射线干燥谷物机理[J]. 红外技术,2005,27(1):83~88.

4 夏朝勇,朱文学. 红外干燥谷物机理分析[J]. 干燥技术与设备,2007,5(4):199~201.

5 张丽霞,黄纪念,芦鑫,等. 红外烘焙对水代芝麻油木脂素的影响[J]. 中国油脂,2013,38(3):6~10.

6 张秦权,文怀兴,袁越锦. 远红外联合低温真空干燥设备研究与设计[J]. 食品与机械,2013,29(1):157~160.

7 高扬,解铁民,李哲滨,等. 红外加热技术在食品加工中的应用及研究进展[J]. 食品与机械,2013,29(2):218~222.

8 Lee S C, Jeong S M, Kim S Y, et al. Effect of far-Infrared irradiation on the antioxidant activity of defatted sesame meal extracts[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2005(53):1 495~1 498.

9 Kumar C M, Appu rao A G, Singh S A. Effect of infrared heating on the formation of sesamol and quality of defatted flours from *Sesamum indicum* L[J]. Journal of Food Science, 2009,74(4):H105~H111.

10 李桂华. 油料油脂检验与分析[M]. 北京:化学工业出版社,2006:14.

11 王相友,林喜娜. 果蔬红外辐射干燥动力学的影响因素综述[J]. 农业机械学报,2009,40(10):114~120.

12 高增玉,于翠红,李九云. 微波辐射对玉米种子发芽率的影响[J]. 河北农业科学,2011,15(4):5~7.

13 孙丽琴,孙立君,郑刚. 不同的存放条件对油脂酸价和过氧化值的影响[J]. 粮油仓储科技通讯,2007(2):46~47.

14 高桂林. 大豆油制取中酸值升高的原因及降低措施[J]. 中国油脂,2008,33(10):68~69.

15 曹艳明,黄纪念,张丽霞,等. 红外烘烤对水代法制取芝麻香油品质的影响[J]. 食品工业科技,2011,32(12):294~296.

16 和珊,丁超,杨国锋,等. 微波干燥对油菜籽品质及气味成分的影响[J]. 中国粮油学报,2013,28(1):48~54.