

文章编号: 1000-8551(2021)09-2102-09

热风、微波及其联合干燥对花生营养特性及感官品质的影响

王童 杨慧 朱广成 王招招 谢永康 韩俊豪 翟辰璐 路风银*

(河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南 郑州 450008)

摘要: 为了降低花生收获后因未及时干燥而造成的霉变损失, 本试验以天府9号新鲜花生为试验材料, 采用热风、微波、微波热风联合干燥3种技术对花生进行干燥, 对比了3种干燥方式对花生营养及感官品质的影响。结果表明, 热风、微波及热风微波联合干燥将花生干燥至安全含水率耗时分别为24、14和10 h。微波热风联合干燥花生的氨基酸、脂肪以及不饱和脂肪酸含量均显著高于热风、微波2种干燥方式($P < 0.05$), 而酸价及过氧化值显著低于热风、微波2种干燥方式($P < 0.05$), 且其色泽与花生自然果色最为接近, 颜色均匀一致, 红衣完整无皱缩脱落, 风味较好。本研究结果为花生机械化干燥提供了一定的理论基础, 在花生产地减损领域中具有较好的应用价值。

关键词: 花生; 干燥; 营养特性; 感官品质

DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2021.09.2102

花生是我国重要的经济作物、食用作物和油料作物, 是人们饮食中植物油脂和蛋白质的重要来源^[1]。然而新收获的花生含水量高达50%以上, 且收获时多遇阴雨天气, 常因未能及时晾晒导致霉变, 严重影响花生的贮藏安全性。据统计, 我国每年因霉变而失去食用价值和商品价值的花生损失占全国总产量的10%~20%^[2-3]。目前我国花生干燥方式多以田间自然晾晒为主, 该方法存在干燥效率低、劳动强度大、对天气依赖程度大等诸多问题。因此, 寻求一种满足产地实际生产需求且经济高效的花生快速干燥技术对于我国花生产业健康发展至关重要。

目前国内外学者对花生干燥开展了一系列的探索, 卢映洁等^[4-5]和渠琛玲等^[6]利用核磁分析和电镜观察技术研究了热风干燥过程中花生内部水分变化规律。颜建春等^[7]、林子木等^[8]、渠琛玲等^[9]和王招招等^[10]分别对固定床花生通风干燥、热风干燥、常温通风干燥、微波热风耦合干燥的干燥特性及工艺进行了研究和优化。微波是近几年发展起来的一种新型干燥技术, 具有干燥速度快、热损失小、干燥效率高、清洁无

污染等优点, 微波干燥技术以及微波与热风、真空等联合干燥技术已成功应用于多种农产品的干燥加工。国内外研究者针对不同干燥技术对物料品质的影响进行了一系列研究。纵伟等^[11]采用热风干燥、真空干燥、微波干燥和微波结合真空干燥对花生蛋白进行干燥处理, 比较不同干燥方式对花生蛋白功能特性的影响, 结果表明, 微波真空干燥的花生蛋白不仅干燥时间短, 而且花生蛋白具有较好的功能特性。Song等^[12]利用空气干燥、微波-真空干燥、微波-热风耦合干燥以及冷冻干燥4种不同干燥方式对荔枝进行研究, 发现微波-热风联合干燥效率明显高于其他3种干燥方式, 且具有较高的还原糖保留率。Deva等^[13]和Talens等^[14]对比了热风干燥和微波热风联合干燥对农产品品质的影响, 发现与热风干燥相比, 热风微波联合干燥能耗较小, 对产品品质的影响较小, 产品加工特性和营养品质较好。在实际生产中单一的热风干燥或常温通风干燥方式存在干燥效率低、干燥周期长、干燥品质较差等问题, 在遭遇极端天气需要大规模快速干燥时存在诸多限制, 针对花生干燥的这些问题, 将微波与热风

收稿日期: 2020-07-14 接受日期: 2020-10-04

基金项目: 河南省重点研发与推广专项(202102110206)、河南省农业科学院创新创业项目(2020CX15)

作者简介: 王童, 女, 助理研究员, 主要从事农产品加工与贮藏研究。E-mail: 942572220@qq.com

* 通讯作者: 路风银, 男, 研究员, 主要从事农产品加工与贮藏研究。E-mail: LFY1968@163.com

联合干燥也是一种很好的尝试。而目前对于花生干燥的研究多集中在干燥工艺、干燥特性、设备等方面,关于干燥对花生营养、感官等内在品质变化以及干燥后花生的品质优势及缺陷的研究鲜有报道。

本试验以新采收花生为研究对象,系统研究热风干燥、微波干燥以及微波热风联合干燥3种干燥方式对花生蛋白、氨基酸、脂肪、脂肪酸、酸价、过氧化值和感官品质特性的影响,以期为提高收获后花生的加工品质提供数据参考,为花生产地机械化干燥提供理论技术支持。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与试剂

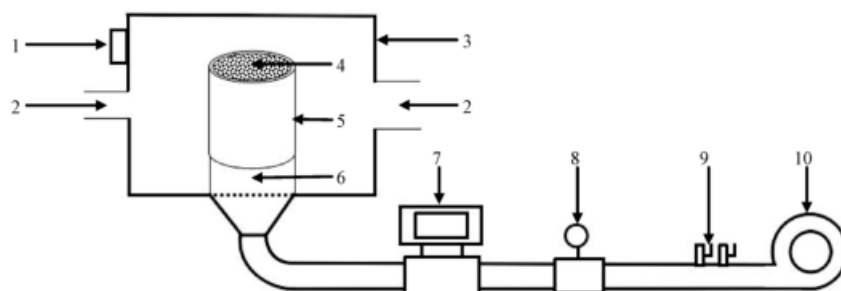
试验所用原料为新鲜花生,品种为天府9号,购于

郑州市农科路枣庄蔬菜市场,花生平均湿基含水率为 $50\% \pm 0.5\%$ 。

盐酸、甲醇钠、氯化钠、硫酸、石油醚等试剂为分析纯,购于国药集团。

1.2 仪器与设备

实验室自制微波-热风联合干燥试验台(图1);K1100型全自动凯式定氮仪、SOX500型脂肪测定仪、SH220N型石墨消解仪,山东海能科学仪器有限公司;L-8800氨基酸分析仪,日本日立公司;6890BN气相色谱仪,美国安捷伦公司;202型电热恒温干燥箱,天津市泰斯特仪器有限公司;PEN3便携式电子鼻,德国AIRSENSE公司;TXM-120-HR快速水分测定仪,瑞士PrecisaGravimetricsAG公司;304型多功能粉碎机,永康市铂欧五金制品有限公司;YP-N型电子分析天平,上海精密仪器仪表有限公司。



注:1:排湿风机,2:微波馈能口,3:干燥箱,4:花生,5:圆筒器皿,6:通风管道,7:热风控温器,8:流量计,9:阀门,10:高压风机。

Note:1: Dehumidifier. 2: Microwave energy feeding mouth. 3: Drying box. 4: Peanuts. 5: Cylinder.

6: Ventilation duct. 7: Thermal risk control thermostat. 8: Flow meter. 9: Valve. 10: High pressure air blower.

图1 微波热风联合干燥试验台结构示意图

Fig.1 Structure diagram of microwave-hot air coupled drying test bed

1.3 试验设计

根据前期对3种干燥方式工艺优化的结果,将新鲜花生荚果均干燥至安全水分范围内(湿基含水量 $\leq 10\%$)。3种干燥方式干燥处理如下^[10]:

热风干燥:风温 40°C ,风速 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,物料厚度 10 cm ,物料干燥温度 $40 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

微波干燥:微波强度 $1.0\text{ W}\cdot\text{g}^{-1}$,采用间歇干燥法,微波每次加热 10 s ,间隔 1 min ,直至安全贮藏水分 10% 以下,停止干燥,物料厚度 10 cm ,物料干燥温度 $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (微波难以精确控温)。

微波热风联合干燥:在上述热风干燥的同时加入间歇微波干燥,微波强度 $1.0\text{ W}\cdot\text{g}^{-1}$,每加热 10 s ,间隔 1 min ,直至安全贮藏水分 10% 以下,停止干燥,物料厚度 10 cm ,物料干燥温度 $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (微波难以精确控

温)。

在干燥过程中每隔 2 h 取样一次,测定花生荚果湿基含水率以及花生仁的粗蛋白含量、粗脂肪含量、氨基酸含量、脂肪酸含量、酸价、过氧化值及感官品质。

1.4 试验方法

1.4.1 湿基含水率测定 花生湿基含水率测定参照GB 5009.3-2016^[15]。

1.4.2 营养成分测定 粗脂肪含量的测定参照GB 5009.6-2016^[16]索氏抽提法;粗蛋白含量的测定参照GB 5009.5-2016^[17]凯氏定氮法;氨基酸含量的测定参照GB 5009.124-2016^[18];脂肪酸含量的测定参照GB 5009.168-2016^[19];酸价的测定参照GB 5009.229-2016^[20];过氧化值的测定参照GB 5009.227-2016^[21]。

1.4.3 电子鼻测定 样品制备:参考Wei等^[22]的方法并进行适当修改。将样品粉碎后,精确称取 5.00 ± 0.01 g样品,粉碎后过10目筛,装入20 mL顶空瓶中,于40℃平衡20 min,充分产生顶空挥发气体。样品密封备用;

检测条件:电子鼻传感器阵列包括10个高灵敏度加热型金属氧化物检测器,载气为干燥空气,流速为 $300 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,清洗时间为120 s,样品测试时间为80

s,通过软件记录每秒的响应值,然后用Winmuster 1.6.2软件进行主成分分析。

1.4.4 感官评价 本试验由专门培训过的10位感官评价员,根据表1的评价标准和感官属性强度进行评分^[23-24],对数据进行整理,将10组每个属性的分数相加,取平均值,并以市售某品牌干花生作为参照样品。

表1 花生的感官鉴定评分标准

Table 1 Standard for sensory quality of peanuts

项目 Items	属性 Properties	评分标准 Standard evaluation	分值 Score
色泽 Color	色泽鲜艳 (壳浅黄,仁浅红)	自然果色,外黄内红,均匀一致	4
	色泽偏暗 (壳暗黄,仁暗红)	壳、仁颜色加深,均匀适中	2
	褐色	有少量褐色斑点,十分不均匀	1
形态 Form	硬度	指牙齿咀嚼压迫花生仁时的挤压感知(软、硬、坚硬)	4
	果仁皱缩程度	指不同干燥方式对花生仁表面皱缩、体积收缩影响	2
	红衣完整性	经不同干燥方式处理后,花生红衣的完整性	1
风味 flavour	花生香味	浓郁的花生特有香味	4
	甜味	形容如糖似蜜的,有令人舒适、愉快的感觉	2
	苦味	苦涩、哈喇味等异味,令人不愉快	1

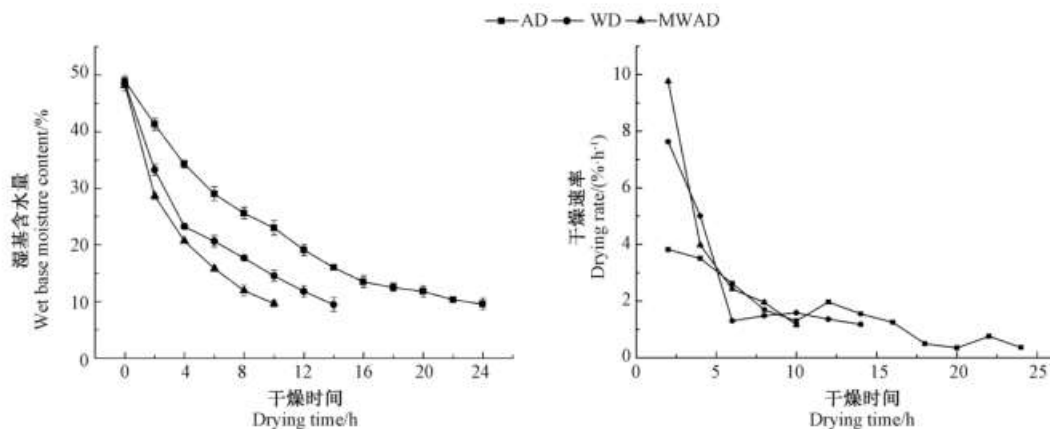
1.5 数据处理

采用Origin 9.1、Excel 2016软件对数据进行处理,并绘制图表,为方便分析数据,将新鲜花生用Fresh表示,经热风干燥、微波干燥、微波热风联合干燥的花生样品分别用AD、MD、MWAD表示。每组进行3次重复试验,取平均值。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式下花生湿基含水量和干燥速率随干燥时间的变化

由图2-A可知,热风(AD)、微波(MD)及热风微波联合干燥(MWAD)将花生干燥至安全水分耗时分



(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

图2 不同干燥方式下的花生干燥特性曲线

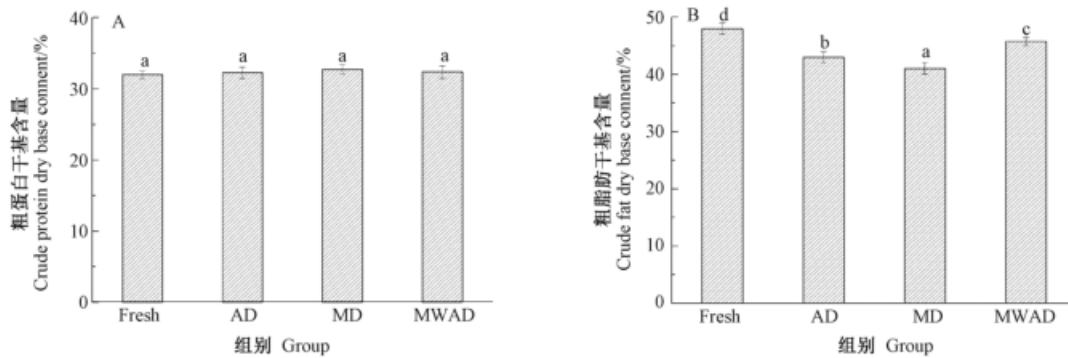
Fig.2 Drying of peanut drying under different drying methods

别为 24、14 和 10 h。微波干燥和微波热风联合干燥所需的干燥时间分别为热风干燥的 58.3% 和 41.6%，相比热风干燥，微波热风联合干燥和微波干燥在很大程度上缩短了干燥时间。由图 2-B 可知，3 种干燥方式的干燥速率也呈现出十分明显的差异，干燥前期(0~4 h)微波热风联合干燥和微波干燥速率高于热风干燥，其中微波热风联合干燥效率最高，微波干燥次之。

2.2 不同干燥方式对花生仁粗蛋白和粗脂肪含量的影响

蛋白和脂肪是花生仁的主要营养成分，两者约占

干燥花生总质量的 80%，其中蛋白质量分数约为 24%~36%，脂肪约占 44%~52%^[25]。蛋白和脂肪含量是花生营养评价的重要指标。由图 3-A 可知，不同处理下花生粗蛋白含量差异不显著($P>0.05$)，表明干燥方式对花生仁粗蛋白含量无显著影响。由图 3-B 可知，微波热风联合干燥花生粗脂肪含量高达 45.76%，虽显著低于新鲜花生，但显著高于微波干燥花生和热风干燥花生($P<0.05$)；热风干燥花生粗脂肪含量为 43.02%，微波干燥花生粗脂肪含量最低。



注：不同小写字母表示不同处理组间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Differences lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same as following.

图 3 不同干燥方式对花生粗蛋白(A)及粗脂肪(B)干基含量的影响

Fig.3 Effects of different drying methods on the dry base content of crude protein (A) and crude fat (B) of peanuts

2.3 不同干燥方式对花生脂肪酸含量的影响

脂肪酸组成和含量是评价花生营养品质、油料品质及加工特性的重要指标，尤其是花生中的不饱和脂肪酸(以油酸和亚油酸为主)含量，在降低血液中胆固醇和低密度脂蛋白含量、预防心脑血管疾病、增强记忆力、延缓衰老等方面具有较好的效果^[25]。由表 2 可知，新鲜花生中不饱和脂肪酸占总脂肪酸比例超过 80%，这与 Abbas 等^[26]的研究结果一致。干燥后花生的不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acids, UFA)总量显著低于新鲜花生，其中单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)均显著降低($P<0.05$)，PUFA 降低更明显。经热风、微波、微波热风联合干燥处理后，饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)含量无显著变化($P>0.05$)，机械干燥过程中的温度、氧气、水分、微波等条件变化都会引起花生脂肪酸发生不同程度的化学反应，含有碳碳双键的 MUFA 和 PUFA(尤其是含有 2 个以上碳碳双键的 PUFA)稳定性远低于 SFA，极易发生氧化反应而损

失^[27-28]。

经 3 种干燥方式干燥后的花生样品，微波热风花生的 UFA 含量相对较高，微波干燥花生的 UFA 含量最低。因为单一的微波干燥往往存在局部过热和排湿较慢等问题，高温高湿环境使得 UFA 更易被氧化，故微波干燥花生的 UFA 损失最多；而微波热风联合干燥综合了微波快速升温和热风干燥均匀的优势，干燥时间较短，减少了干燥过程中对脂肪酸的破坏，故微波热风联合干燥花生的 UFA 含量保存最多，这也与 2.1 的结论具有一致性。PUFA/SFA 值是评价油脂营养价值的重要指标，1994 年英国卫生部发布的营养建议认为食品中的 PUFA/SFA 值不应低于 0.45^[29]。由表 2 可知，新鲜花生和干燥后花生的 PUFA/SFA 值均远大于推荐值，干燥后花生的 PUFA/SFA 值显著低于新鲜花生($P<0.05$)，因为干燥后花生的 PUFA 含量下降更多。而微波热风联合干燥花生的 PUFA/SFA 值显著高于微波干燥花生和热风干燥花生($P<0.05$)，说明在 3 种干燥方式中，微波热风联合干燥花生油脂的营养价值相对较好。

表2 不同干燥方式对花生脂肪酸含量的影响

Table 2 Effects of different drying methods on fatty acid of peanuts

/%

脂肪酸 Fatty acids	组别 Group			
	Fresh	AD	MD	MWAD
C16:0	10.05±0.12a	10.52±0.13b	11.71±0.17c	10.60±0.15b
C18:0	2.55±0.09a	4.69±0.07c	4.59±0.12c	2.87±0.11b
C18:1	42.05±0.34c	41.17±0.12a	42.92±0.23d	41.71±0.27b
C18:2	39.61±0.42c	37.91±0.26b	35.11±0.36a	38.21±0.25b
C20:0	1.09±0.12a	1.19±0.14b	1.13±0.13b	1.07±0.07a
C20:1	1.31±0.09b	1.03±0.08a	1.14±0.06a	1.24±0.04b
C22:0	1.50±0.06a	1.64±0.09a	1.54±0.03a	1.46±0.08a
C24:0	1.84±0.04a	1.85±0.08a	1.86±0.04a	1.84±0.03a
饱和脂肪酸 SFA	17.03±0.11a	19.89±0.19c	20.83±0.16c	18.84±0.24b
单不饱和脂肪酸 MUFA	43.36±0.18c	42.20±0.21a	44.06±0.24d	42.95±0.16b
多不饱和脂肪酸 PUFA	39.61±0.42c	37.91±0.26b	35.11±0.36a	38.21±0.25b
不饱和脂肪酸 UFA	82.97±0.48d	80.11±0.22b	79.17±0.37a	81.16±0.35c
PUFA/SFA	2.33d	1.91b	1.68a	2.02c

注:同行不同小写字母表示不同处理组间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences at 0.05 level. The same as following.

2.4 不同干燥方式对花生氨基酸含量的影响

由表3可知,花生样品中共检测到16种氨基酸,花生中含量较多的氨基酸主要是谷氨酸、精氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、甘氨酸、苯丙氨酸,与Latif等^[30]的研究结果一致。相比于新鲜花生,经热风、微波、微波热风联合干燥处理后,花生的氨基酸总含量分别降低了8.91%、8.60%、6.21%。干燥后花生果的必需氨基酸含量显著下降($P<0.05$)。干燥样品中,微波热风联合干燥花生果的氨基酸总量和必需氨基酸含量最高,热风干燥花生果与微波干燥花生果差异不显著。花生干燥后氨基酸含量降低可能与氨基酸在加热条件下发生氧化反应或是与还原糖发生美拉德反应而造成的损失有关^[31-33]。微波热风联合干燥的干燥时间最短且温度较为均匀,在一定程度上减少了氨基酸的损失。

2.5 不同干燥方式对花生酸价和过氧化值的影响

花生仁中的油脂在加工和贮藏过程中受光、热、微波等作用极易被氧化、水解,产生过氧化物和游离脂肪酸,导致油脂酸价和过氧化值升高,油脂氧化生成的脂肪酸氢过氧化物是油脂氧化酸败的关键产物,其进一步氧化分解会生成低级脂肪酸、醛、酮等小分子化合物,导致食品酸败^[34-35],故酸价和过氧化值是评价花生油脂品质的重要指标。由图4、5可知,热风干燥和微波干燥花生仁的酸价和过氧化值显著高于新鲜花生($P<0.05$),由2.2和2.3结果可知,热风和微波处理加速了花生中油脂的水解,随之引起花生中游离脂肪

酸和过氧化物含量升高,故干燥后花生的酸价和过氧化值显著升高。干燥样品中,微波干燥花生果的酸价最高,热风干燥花生果次之,微波热风联合干燥花生果酸价最低。热风干燥花生果过氧化值最高,微波干燥花生果次之,而微波热风联合干燥花生果的过氧化值最低。

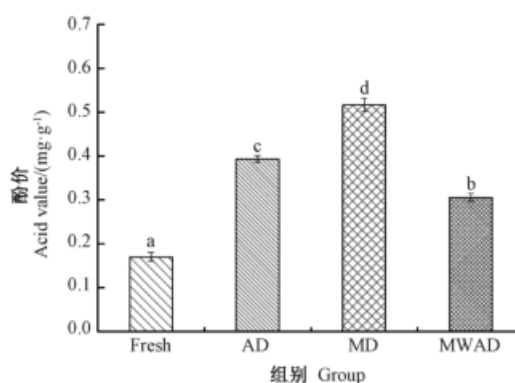


图4 不同干燥方式对花生酸价(干基)的影响

Fig.4 Effects of different drying methods on ADV of peanuts (dry base content)

2.6 不同干燥方式的花生电子鼻及感官评价结果

电子鼻是通过模拟人类嗅觉工作原理对气味进行分析。与其他分析方法不同的是,电子鼻不是对样品中某一种或几种成分的定性定量结果,而是反映了样品整体的风味信息,且具有低成本、高精度、无损、快速

表 3 不同干燥方式对花生氨基酸(干基)含量的影响

Table 3 Effects of different drying methods on amino acid of peanuts (dry base content) / (g·100g⁻¹)

氨基酸种类 Amino acid type	组别 Group			
	Fresh	AD	MD	MWAD
天冬氨酸 Asp	3.36±0.06a	3.32±0.06a	3.37±0.04a	3.30±0.08a
苏氨酸 Thr	0.92±0.03c	0.70±0.02a	0.76±0.03a	0.88±0.01b
丝氨酸 Ser	1.40±0.03a	1.30±0.02a	1.38±0.09a	1.35±0.02a
谷氨酸 Glu	6.05±0.14b	5.72±0.20a	5.78±0.04a	5.86±0.05a
甘氨酸 Gly	1.60±0.05a	1.58±0.01a	1.56±0.05a	1.61±0.03a
丙氨酸 Ala	1.19±0.03b	1.06±0.02b	0.93±0.04a	1.02±0.01a
缬氨酸 Val	1.56±0.09c	1.18±0.04a	1.04±0.06a	1.31±0.02b
蛋氨酸 Met	0.28±0.02a	0.20±0.01a	0.21±0.02a	0.24±0.09a
异亮氨酸 Ile	1.09±0.06c	0.87±0.07b	0.73±0.09a	0.92±0.05c
亮氨酸 Leu	2.01±0.09c	1.70±0.02a	1.82±0.08b	1.98±0.07b
酪氨酸 Tyr	1.40±0.06b	1.00±0.08a	1.13±0.05a	1.03±0.06a
苯丙氨酸 Phe	1.62±0.13a	1.67±0.04a	1.63±0.03a	1.60±0.07a
赖氨酸 Lys	1.07±0.07b	0.82±0.03a	0.89±0.06b	0.93±0.03b
组氨酸 His	1.02±0.12b	0.78±0.02a	0.72±0.02a	0.83±0.16b
精氨酸 Arg	3.63±0.08d	3.33±0.06a	3.48±0.04b	3.52±0.05c
脯氨酸 Pro	1.28±0.03a	1.44±0.08c	1.38±0.03b	1.38±0.14b
总和 Total	29.28±1.09c	26.67±0.88a	26.76±0.75a	27.46±0.94b
必需氨基酸 EAA	8.55±0.09c	7.14±0.03a	7.08±0.14a	7.56±0.11b

Note: EAA: Essential amino acid.

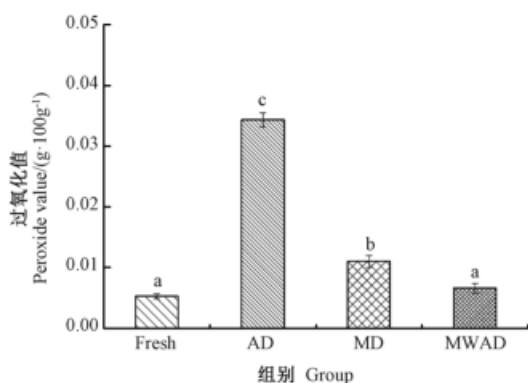


图 5 不同干燥方式对花生过氧化值(干基)的影响
Fig.5 Effects of different drying methods on POV of peanuts (dry base content)

和环保的检测能力,已逐渐成为各种农产品质量分析判定的重要手段^[36]。由图 6 可知,第 1 和第 2 主成分贡献率分别为 95.72%和 2.87%,贡献率超过 85%,说明 2 个主成分可以很好的反映样品的主要特征信息。新鲜花生和不同干燥方式得到的花生风味都存在差异,且新鲜花生和干花生的差异远大于不同干燥方式花生样品之间的差异。新鲜花生和干燥花生的差异性主要表现在横轴上,不同干燥样品的差异主要表现在

纵轴上。干燥时间最短的微波热风联合干燥花生风味与新鲜花生的差异最小,干燥时间最长的热风干燥花生风味与新鲜花生差异最大。说明干燥时间与风味差异可能存在一定的相关性,随着干燥时间延长样品风味差异逐渐增大。

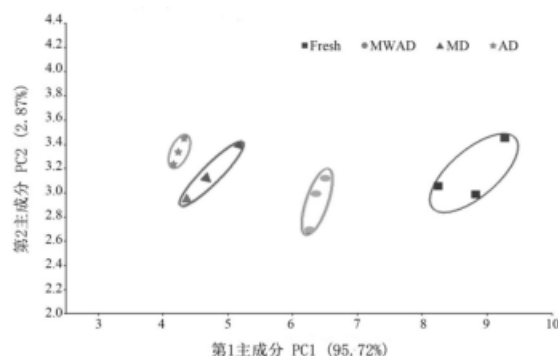


图 6 不同干燥方式下花生样品的主成分分析(PCA)
Fig.6 Principal component analysis graph of peanuts under different drying methods

由图 7 可知,在色泽方面,热风干燥和微波干燥花生壳颜色偏暗黄、果仁偏暗红,微波干燥花生仁表面有少量褐色斑点,可能是受微波长时间辐射,加上微波

干燥的不均匀性而造成局部过热,使得一些还原糖类和氨基酸发生美拉德反应,生成了少量黑色素^[37]。干燥样品中,微波热风联合干燥花生壳、花生仁整体颜色的鲜艳程度最高,无褐色色素产生,壳、仁颜色与新鲜花生最接近。在形态方面,热风干燥花生仁硬度最小,有轻微的皱缩和红衣脱落现象;微波干燥花生仁硬度适中,皱缩明显,红衣脱落严重,这可能是因为微波促使花生急速脱水,难以恢复到原有形态^[38];相比于热风干燥和微波干燥花生,微波热风联合干燥花生仁硬度最大,皱缩程度最小,且红衣较完整,无明显脱落现象。在风味方面,与新鲜花生相比,热风干燥、微波干燥和微波热风联合干燥花生仁样品在咀嚼过程中的花生香味更加浓郁,滋味更香甜,这可能与干燥加热过程中产生的一些风味物质有关。

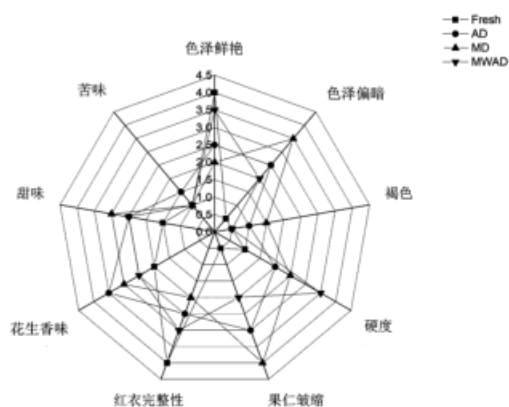


图7 不同干燥方式下花生感官评价的雷达图

Fig.7 The radar chart of sensory evaluation of peanuts under different drying methods

3 讨论

本研究发现3种干燥方式的干燥速率呈较相似的变化,前期干燥速率较高而后期逐渐降低。这与花生的物理特性有关,在干燥前期,首先干燥的是花生壳中的水分,花生壳中的水分主要是自由水,且花生壳质构疏松,与空气接触面积大,易干燥,干燥速率较高;而干燥后期干燥速率则取决于花生仁的干燥效率,相比花生壳,花生仁内含有较多的结合水和半结合水,而去除这部分水的难度远大于自由水;且花生仁的干燥速率还与其内部水分的扩散速度有关,随着干燥时间延长,花生含水率不断下降,水分迁移距离不断增大,也使得花生干燥速率下降^[39]。微波热风联合干燥和微波干燥的干燥速率远高于热风干燥,在干燥前期微波可以快速加热,缩短物料预热时间,快速干燥花生壳的

水分,在干燥后期,微波从物料内部快速加热,缩短了花生仁和花生壳之间热传递的时间,通过提高水分蒸发的速率进而提高干燥效率^[40]。热风在一定程度上加速了干燥箱体的排湿速度,故微波热风联合干燥效率最高。

本研究发现,微波热风联合干燥花生的脂肪、氨基酸和不饱和脂肪酸含量均显著高于热风、微波2种干燥方式。研究表明,热风、微波处理都会加速蛋白和脂肪的氧化和水解,随着干燥时间的延长,组成蛋白和脂肪的氨基酸和脂肪酸也因氧化而不断损失^[41]。其中微波干燥往往存在加热不均匀、局部过热、辐照的非热效应等问题,故微波干燥后花生脂肪及脂肪酸损失较大,酸价相对较高。而热风具有一定的流动性,干燥温度相对均匀但干燥速率较低,花生油脂氧化程度较高,过氧化值偏高。微波热风联合干燥兼具干燥时间短、干燥温度均匀的优点,故其干燥后的花生仁营养价值较高,且酸价和过氧化值较低,品质较好。新鲜花生和干燥后花生风味的差异远大于不同干燥方式花生样品之间的差异,干燥过程中花生中会发生一些化学反应,包括还原糖和氨基酸发生的美拉德反应、蛋白质、脂肪、碳水化合物的降解,这是造成新鲜花生和干燥花生风味和感官差异的主要原因^[42-43]。本研究表明,不同干燥方式对花生感官品质的影响并不相同,但具体的差异及相关机制还需要进一步探究。

4 结论

本研究发现,微波热风联合技术干燥花生的干燥时间最短,兼具干燥温度均匀和干燥效率高的优点,干燥后花生中油脂和蛋白氧化水解程度相对较小,营养价值更高,感官品质优于其他2种干燥方式得到的花生仁,综上,本研究认为微波热风联合干燥在花生干燥领域中具有较好的应用前景。今后研究还需要对干燥后花生蛋白和脂肪的结构、功能变化以及风味成分变化进行更深入的研究。

参考文献:

- [1] 叶梦然. 中国花生产品国际竞争力研究 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2014: 5-10
- [2] 陈有庆, 胡志超, 王海鹏, 彭宝良. 我国花生机械化收获制约因素与发展对策 [J]. 中国农机化学报, 2012(4): 14-17, 11
- [3] 颜建春, 吴晨, 胡志超, 王海鹏. 花生干燥技术概述与网发展 [J]. 中国农机化学报, 2012(2): 10-13
- [4] 卢映洁, 任广跃, 段续, 张乐道, 凌铮铮. 热风干燥过程中带壳花生水分迁移特性及品质变化 [J]. 食品科学, 2019, 12(2):

- 147-153
- [5] 卢映洁, 任广跃, 段续, 张乐道, 凌铮铮. 基于温度梯度的带壳鲜花生热风干燥收缩模型研究 [J]. 食品与机械, 2019, 35(8): 148-154
- [6] 渠琛玲, 汪紫薇, 王雪珂, 王殿轩. 基于低场核磁共振的热风干燥过程花生仁含水率预测模型 [J]. 农业工程学报, 2019, 35(12): 290-296
- [7] 颜建春, 魏海, 谢焕雄, 游兆延. 筒状固定床花生通风干燥性能指标模拟与分析 [J]. 农业工程学报, 2020, 36(1): 292-302
- [8] 林子木, 赵卉, 李玉, 王赫, 赵旭, 李佳. 花生热风干燥特性及动力学模型的研究 [J]. 农业科技与装备, 2020(2): 31-33
- [9] 渠琛玲, 王雪珂, 汪紫薇, 王殿轩, 李衡, 郭桂霞. 花生果常温通风干燥实验研究 [J]. 中国粮油学报, 2020, 35(1): 121-125
- [10] 王招招, 路风银, 朱广成, 杨慧, 郭文英, 翟晨露, 韩俊豪, 王童, 董俊辉, 董铁有. 花生果微波-热风耦合干燥特性及能耗分析 [J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(1): 140-146
- [11] 纵伟, 陈怡平. 不同干燥方法对花生蛋白功能特性的影响 [J]. 食品工程, 2007(3): 48-50
- [12] Song C F, Cui Z W, Jin G Y, Mujumdar A S, Yu J F. Effects of four different drying methods on the quality characteristics of peeled litchis (*Litchi chinensis* sonn.) [J]. *Drying Technology*, 2015, 33(5): 583-590
- [13] Deva S R S, Geethab P, Orsata V, Garipya Y, Raghavana G S V. Effects of microwave-assisted hot air drying and conventional hot air drying on the drying kinetics, color, rehydration, and volatiles of moringa oleifera [J]. *Drying Technology*, 2011, 29(12): 1452-1458
- [14] Talens C, Arboleja J C, Castro G M, Fito P J. Effect of microwave power coupled with hot air drying on process efficiency and physico-chemical properties of a new dietary fibre ingredient obtained from orange peel [J]. *LWT Food Science and Technology*, 2017, 77(6): 110-118
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.124-2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.168-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.229-2016(食品安全国家标准 食品中酸价的测定 [S].北京:中国标准出版社, 2016
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.227-2016 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [22] Wei Z B, Wang J, Zhang W L. Detecting internal quality of peanuts during storage using electronic nose responses combined with physicochemical methods [J]. *Food Chemistry*, 2015, 177(15): 89-96
- [23] 张海伟, 鲁加惠, 张雨露, 梁进, 张梁. 干燥方式对香菇品质特性及微观结构的影响 [J]. 食品科学, 2019, 12(6): 27-33
- [24] Aisala H, Laaksonen O, Manninen H. Sensory properties of Nordic edible mushrooms [J]. *Food Research International*, 2018, 109(18): 526-536
- [25] 张二全, 杜同年. 花生的营养价值与合理利用 [J]. 中国食物与营养, 2003(3): 27-28
- [26] Abbas A M, Anowarul I M, Othman N H. Effect of heating on oxidation stability and fatty acid composition of microwave roasted groundnut seed oil [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 54(13): 4335-4344
- [27] 杜琪, 赵新华, 耿雷跃, 邹拓, 左永梅, 李欣明, 张薇, 于海秋. 不同干燥温度对花生营养品质和发芽特性的影响 [J]. 核农学报, 2020, 34(10): 2254-2260
- [28] Shi R, Guo Y, Vriesekoop F, Yuan Q, Zhao S, Liang H. Improving oxidative stability of peanut oil under microwave treatment and deep fat frying by stearic acid-surfactant-tea polyphenols complex [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2015, 117(7): 1008-1015
- [29] Health D O. Nutritional aspects of cardiovascular disease. Report of the cardiovascular review group committee on medical aspects of food policy [J]. *Reports on Health and Social Subjects*, 1994, 46: 1
- [30] Latif S, Pfannstiel J, Makkar H P S, Becker K. Amino acid composition, antinutrients and allergens in the peanut; protein fraction obtained by an aqueous enzymatic process [J]. *Food Chemistry*, 2013, 136(1): 213-217
- [31] Medaniel K A, White B L, Dean L L. Compositional and mechanical properties of peanuts roasted to equivalent colors using different time/temperature combinations [J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(12): 1293-1299
- [32] Li X L, Liu J, Xiao X. Separate and joint effects of hot air drying and microwave drying on the quality of leaves of toona sinensis [J]. *Food Science*, 2015, 36(18): 64-68
- [33] 王欢, 佟晓红, 钟明明, 齐宝坤, 李杨, 江连洲. 微波干燥对生物解离富肽豆粉蛋白亚基及功能性的影响 [J]. 农业机械学报, 2018, 49(7): 363-368
- [34] 黄克霞, 李进伟, 曹培让, 李凯, 李波, 孟宗, 刘元法. 微波处理对花生油品质及风味的影响 [J]. 中国油脂, 2017, 42(7): 30-34
- [35] 鞠阳, 汪学德, 高锦鸿. 微波预处理对芝麻油品质影响 [J]. 粮食与油脂, 2015(3): 39-42
- [36] 林茂, 孟繁博, 黄道梅, 李国林, 郑秀艳, 陈曦, 宋光艳. 电子鼻结合全二维气相色谱质谱分析铜仁珍珠花生烘烤前后挥发性风味成分的变化 [J]. 食品科学, 2018, 39(1): 28-34
- [37] 秦洋, 姬娜, 熊柳, 孙庆杰. 美拉德反应制取花生天然香味剂理论研究 [J]. 粮食与油脂, 2015(9): 43-46
- [38] 申晓曦, 李汴生, 阮征, 庄沛锐, 陈楚锐. 水分含量对花生仁储

- 藏过程中的品质影响研究 [J]. 现代食品科技, 2011, 27(5): 495-498
- [39] Maurya V K, Gothandam K M, Ranjan V, Shakya A, Pareek S. Effect of drying methods (microwave vacuum, freeze, hot air and sun drying) on physical, chemical and nutritional attributes of five pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) cultivars [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(9): 3492-3500
- [40] 王安建, 高帅平, 田广瑞, 刘丽娜. 花生热泵干燥特性及动力学模型 [J]. 农产品加工(上), 2015(5): 57-60
- [41] 陈霖. 基于控温的花生微波干燥工艺 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 267-271
- [42] Newton A E, Fairbanks A J, Golding M, Andrewes P, Gerrard J A. The role of the Maillard reaction in the formation of flavour compounds in dairy products—not only a deleterious reaction but also a rich source of flavour compounds [J]. Food and Function, 2012, 3(12): 1231-1241
- [43] Li Q, Shi X H, Zhao Q J, Cui Y H, Ouyang J, Xu F. Effect of cooking methods on nutritional quality and volatile compounds of Chinese chestnut [J]. Food Chemistry, 2016, 201(15): 80-86

Effects of Hot Air, Microwave and Combined Drying on Nutritional Properties and Sensory Quality of Peanut

WANG Tong YANG Hui ZHU Guangcheng WANG Zhaozhao XIE Yongkang
HAN Junhao ZHAI Chenlu LU Fengyin*

(Henan Academy of Agricultural Sciences, Agricultural Product Processing and Research Center, Zhengzhou, Henan 450008)

Abstract: In order to reduce the mould loss of peanut caused by drying in time after harvest, tianfu 9 fresh peanuts was used as the raw material. The fresh peanuts was dried to safe moisture by three different drying methods: hot air drying (AD), microwave drying (MD) and microwave couple with hot air drying (MWAD). The effects of different drying methods on nutrition and sensory quality of peanut were investigated. The results showed that the total drying time of AD、MD、MWAD to dry peanut to safe moisture content was 24h, 14h and 10h, respectively. Compared with the two drying methods of HD and WD, the contents of amino acid, fat and unsaturated fatty acid in MWAD peanuts were significantly higher ($P < 0.05$), while the acid value and peroxide value were significantly lower ($P < 0.05$). The peanut color was uniform and consistent which was the most similar to the natural fruit color of peanuts. The red coat is complete without shrinkage and shedding, and had better flavor qualities. The results of this study provide a theoretical basis for the mechanized drying of peanuts, and have a good application prospect in the field of loss reduction.

Keywords: peanut, drying, nutritional properties, sensory quality