

文章编号:1673-1689(2006)02-0028-05

不同干燥方式对颗粒状果蔬品质变化的影响

胡庆国¹, 张慜¹, 杜卫华², 孙金才²

(1. 江南大学 食品科学与安全教育部重点实验室, 江苏 无锡 214036; 2. 海通食品集团有限公司, 浙江 宁波 315300)

摘要: 分别对真空微波干燥、冷冻干燥、热风干燥及热风与真空微波联合干燥等不同干燥方式对颗粒状果蔬质量变化的影响进行了讨论, 以 VC 和叶绿素的保持、色泽的差异、收缩和复水性能等为质量参数, 分别进行比较。真空微波干燥在以上各质量参数方面, 虽比冻干产品有一定差距, 但远优于常规热风干燥。采用常规热风与真空微波联合干燥方式也能较好地改善颗粒状果蔬的品质。

关键词: 真空微波干燥、热风干燥、冷冻干燥、联合干燥、质量

中图分类号: S 37

文献标识码: A

Effect of Different Drying methods on the Quality Changes of the Granular Fruits and Vegetables

HU Qing-guo¹, ZHANG Min¹, DU Wei-hua², SUN Jin-cai²

(1. The Key Laboratory of Food Science and Safety, Ministry of Education, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China; 2. Haitong Food Group Ltd. Co., Ningbo 315300, China)

Abstract: In this paper, the quality changes of the granular fruits and vegetables dried by vacuum microwave drying, freeze drying, hot air drying and combined hot air-vacuum microwave drying were investigated, and the quality parameters were compared on the basis of Vc and chlorophyll contents, color, shrinkage and rehydration ratio. The quality parameters of products treated by vacuum microwave drying were slight less than those treated by freeze drying, but much better than those of conventionally air-dried products. The quality characteristics of product dried by combined hot air-vacuum microwave were significantly improved compared with those of using hot air drying alone.

Key words: vacuum microwave drying; hot air drying; freeze drying; hybrid drying; quality

新鲜果蔬含有大量水分又富有营养, 因此很适宜微生物生长, 造成腐烂。果蔬干制, 即将果蔬中的大量水分排除, 使微生物的繁殖和酶的活性受到抑制, 有利于干制品的长期保存。采用适宜的干燥工艺和干燥设备, 使果蔬在脱水的同时, 能最大程度地保留其营养成分和感官质量, 尽可能减少干制

过程对果蔬中营养成分的破坏及对色泽等方面的影响, 所以不同干燥方式对产品质量的影响很大。当然能源消耗、设备投资和操作费用等经济因素也是选择干燥方式时非常重要的参考因素, 故最终方案的选定总是在产品质量、能耗和设备投资等方面权衡后才能确定^[1]。

收稿日期: 2004-09-25; 修回日期: 2005-12-02.

基金项目: 国家重点星火计划项目(2002EA701011).

作者简介: 胡庆国(1960-), 男, 安徽六安人, 副教授, 农产品加工与贮藏博士研究生。

目前,大多数果蔬都是采用热风干燥方法(AD)脱水,但存在干燥速度慢,脱水时间长、产品品质差的普遍问题。冷冻干燥(FD)技术虽可较大幅度地保存产品的天然品质和营养价值,但是干燥时间过长,设备价格昂贵,生产成本低,使其适用范围受到局限^[2]。真空微波干燥(VMD)将微波技术和真空技术有机地结合,充分发挥微波加热快和均匀,真空条件下水汽化点低的特点,正在许多方面得到越来越重视和应用。真空微波与热风的组合干燥方式(AD+VMD),即前期用热风将果蔬含水量干至40%~60%,后期用真空微波干燥至最终水分,这样即可降低微波设备的干燥负荷,从而降低设备投资,又可大大提高其干燥速度,保证产品质量^[3-4]。

以上不同干燥方式对脱水果蔬的品质影响也各有差异,主要包括VC等营养成分及叶绿素等产生的化学变化以及收缩(密度)、复水等物理性质的改变。通过试验,分别用真空微波干燥、热风与真空微波组合干燥、常规热风干燥及冷冻干燥等4种不同干燥方法对颗粒状果蔬在VC和叶绿素的保留、色泽、收缩和复水性能的变化等方面进行比较分析,从而为果蔬脱水选择适宜的干燥方式提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

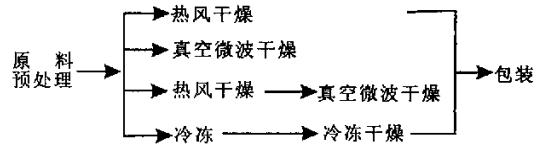
速冻毛豆仁,由海通食品有限公司提供,平均初始含水质量分数为71%。

1.2 试验仪器及设备

试验用WZD4S-1型微波真空干燥设备:南京三乐微波技术发展有限公司生产;UFREEZE DRYING-03型冷冻干燥机:厦门友联冷冻设备有限公司生产;SHT系列蒸汽型蔬菜烘干脱水机:上虞市聚英企业有限公司生产;752“棱光”牌紫外可见分光光度计,WSC-S“申光”牌测色色差计:均由上海精密仪器有限公司生产;FED115“Binder”牌可编程电热风循环烘箱:德国Binder公司生产;FA1104“HANGPING”牌电子天平:上海天平仪器厂生产;ZKJ-1型循环水真空泵:上海市嘉鹏科技有限公司生产;高速离心机:上海安亭科学仪器厂生产。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺过程 预处理主要有:毛豆仁1000g解冻后,用3g/dL盐水浸泡1h,稍沥水数10min后即可进行干燥。



热风干燥:将预处理后的毛豆仁均匀铺在蔬菜烘干脱水机烘床上,打开蒸气阀门调节至试验温度70℃,让热风垂直穿过物料薄层,风速1m/s。

真空微波干燥:将预处理后的或经热风干燥后的毛豆仁放入真空微波设备的物料盘中均匀铺开为薄层,启动真空泵至最高真空度-96kPa,选定微波档位(2.8kW)及干燥时间(40min)后,打开微波开关即可。

热风与微波组合干燥:经70℃热风将毛豆干燥20min至50%后,在微波功率2.8kW、真空度-96kPa下处理30min。

冷冻干燥:将预处理后的毛豆在物料盘中铺开为薄层,先置于-40℃冰箱内冷冻24h,取出后再放入冷冻干燥器中,真空度0.05~0.27kPa,冷阱温度-25~-45℃,加热板温度60℃,干燥18h。

包装:为防止物料吸潮,出料后要及时密封包装。

1.3.2 试验指标及测定方法 物料含水量测定:采用烘箱常压干燥法^[5];VC含量的测定:2,6-二氯酚酚滴定法^[5];

$$\text{VC保留率} = \frac{\text{干样VC质量分数}}{\text{鲜样VC质量分数}} \times 100\%$$

叶绿素含量的测定:分光光度计法^[6];叶绿素保留率计算方法同VC保留率。VC和叶绿素含量均以干基表示,单位为mg/100g。计算公式如下:

$$\text{VC和叶绿素含量(干基)} = \frac{\text{VC和叶绿素含量检测值(湿基)}}{(1 - \text{物料湿基含水量})}$$

色差测定:用测色色差计测定样品的表面色差;L*值(Lightness,亮度),其值从0到100变化;0表示黑色,100表示白色。a*值(redness,红色度),表示从红到绿的值;100为红色,-80为绿色。b*值(yellowness,黄色度),表示从黄色到蓝色的值;100为黄色,-80为蓝色,每种样品取3次样,每样旋转3次不同角度分别读数,取9次读数的平均值。

收缩率测定:取样品10g,迅速放入装有60mL水的100mL量筒,用圆形薄片将样品全部压入以浸水中,10s内读出体积变化量。每样重复3次,取平均值。分别可算出其鲜样及干品的密度 ρ_0 和 ρ_d ,由下式计算出收缩率^[7]:

$$s = \frac{\rho_0}{\rho_d} \left(\frac{X_d + 1}{X_0 + 1} \right)$$

式中 s (shrinkage) 收缩率, X_0 和 X_d 分别为鲜样及干品的干基含水率。鲜样的 s 值为 1, 干品的 s 值越小, 则收缩越大。

复水比测定: 将 5 g 干品浸于 20, 50, 80 °C 蒸馏水中 50 min, 每间隔 10 min 或 5, 1 min 取出后, 放入布氏漏斗的滤纸上, 布氏漏斗置于抽滤长颈瓶上, 长颈瓶与循环水真空泵相连, 用真空泵抽真空 30 s, 除去样品表面水分, 取出称重^[8-10]。每样重复 3 次, 取平均值。复水比 (RR) 由下式计算:

$$RR = \frac{W_r}{W_d} \quad (\text{kg/kg})$$

式中 W_r 为复水后总重; g ; W_d 为复水前的干品总重; g 。

复水速率计算: 复水速率 (R_r) 为干品在一段复水时间内的平均单位时间的复水量 (g/min), 按下式计算:

$$R_r = (W_r - W_d) / t, t \text{ 为某段复水时间, min}$$

实验数据采用 SPSS10.0 统计软件中 ANOVA 方差分析, 由 Duncan 法分析均值差异的显著性, 显著性水平 $p \leq 0.05$ 。以 a, b, c 表示其差异性, 相同字母表示差异性不显著。

2 结果与分析

2.1 干燥时间的比较

因干制果蔬的品质优劣与干燥时间有很大关系, 故首先对各种干燥方式的干燥时间进行比较分析。采用冷冻干燥、热风干燥、真空微波干燥及热风+真空微波联合干燥等分别将预处理后的毛豆干燥至最终水分 2%~3%, 其干燥曲线如图 1 所示。冷冻干燥所用时间 18 h, 热风干燥需 9 h, 真空微波干燥只要 40 min, 而热风与微波联合干燥也仅用时 50 min。冷冻干燥用时虽为热风干燥的两倍, 但因在较低温度下操作, 对营养物的破坏很小, 故可保证产品的品质。因有较长时间的制冷、抽真空和加热, 所以能耗很高, 操作成本最大。热风与微波联合干燥不仅能较大程度地降低了真空微波的成本, 而且干燥时间较前两者大大缩短。

2.2 VC 及叶绿素含量保留率的比较

本试验中将毛豆分别经热风干燥、热风与微波组合干燥、微波干燥及冷冻干燥后所测 VC 及叶绿素保留率见表 1。VC 和叶绿素都是热敏性极强的不稳定成分, 很容易在加工过程中受温度和氧化的作用而损失。加热是 VC 和叶绿素含量减少的主要原因, 因为它能加速氧化作用的进程。温度越高, 作用时间越长, VC 和叶绿素的损失就越大^[11]。从

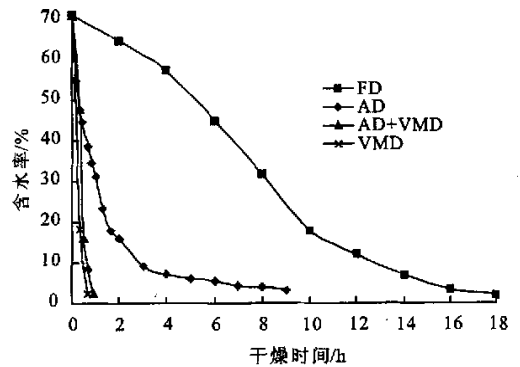


图 1 不同干燥方式 (FD、AD、AD+VMD 及 VMD) 干燥毛豆的干燥曲线

Fig. 1 Drying curves of FD, AD, AD+VMD, and VMD dried Edamame

表 1 可看出, 冷冻干燥的产品 VC 和叶绿素的保留率分别达 82.10% 及 95.82%, 组合干燥及真空微波干燥的真空微波干燥的 VC 和叶绿素的保留率较为接近, 虽与冷冻干燥的相差较大, 但远高于常规热风干燥。这证实了在低温和真空下操作的冷冻干燥, 有效地防止了物质的分解, 保护了易氧化成分, 故对 VC 和叶绿素的保留率均很高。真空微波干燥也是在真空及相对较低的温度下工作, 并且干燥时间最短, 这对其 VC 和叶绿素的等成分的破坏也较小。热风与真空微波组合干燥即可大大缩短干燥时间, 降低生产及设备成本, 其 VC 和叶绿素的保留率又较接近真空微波干燥, 故是一种值得推广的干燥方式。而热风干燥则相反, 因其高温及长时间干燥过程对其 VC 和叶绿素的破坏最大, 故保留率也最低。

表 1 不同干燥方法对 VC 及叶绿素保留率的影响

Tab. 1 Effect of drying methods on the retention of VC and chlorophyll

干燥方式	VC 保留率/%	叶绿素保留率/%
AD	35.50 _c	24.46 _c
AD+VMD	66.24 _b	49.69 _b
VMD	70.97 _b	51.79 _b
FD	82.10 _a	95.82 _a

2.3 色差和收缩率的比较

果蔬脱水后色泽的变化是影响其质量及市场价值的非常重要的一个指标, 以接近新鲜果蔬原色的干品较为理想。果蔬在干燥过程中受温度的影响, 发生美拉德反应而引起褐变, 所以干燥温度和时间是影响果蔬色泽变化的重要因素。干燥后毛豆的 L^* , a^* , b^* 值受褐变程度的影响而不同, 几

种干燥方式对其色差的影响见表2。显然,冷冻干燥毛豆的 L^* 值最大, b^* 值最小,即色泽最为鲜亮;VMD的 L^* , a^* , b^* 值与鲜样无显著差异($p > 0.05$);而经AD和AD+VMD产品的 L^* , a^* 值较低, b^* 值较高,即色泽较暗、较黄。这与果蔬在热风干燥过程中被氧化而产生褐变有关,并且操作时间越长,干燥温度越高,褐变越严重^[12];而在前两种方式在真空条件下可避免氧化而褐变。FD和VMD的 L^* , a^* , b^* 值较为接近鲜样,这显然与真空低温的操作环境等因素有关。

表2 不同干燥方式对色差和收缩率的影响

Tab.2 Effects of drying methods on the mean surface color and shrinkage of Edamame

干燥方式	L^*	a^*	b^*	$s/\%$
AD	42.98 _d	-35.40 _d	65.96 _d	0.49 _d
AD+VMD	46.49 _e	-26.36 _c	56.69 _e	0.68 _e
VMD	58.95 _b	-14.55 _b	30.65 _b	0.71 _e
FD	64.10 _a	-10.59 _a	22.19 _a	0.82 _b
鲜样(预处理后)	57.27 _b	-13.46 _b	26.22 _{ab}	1.00 _a

果蔬脱水后收缩量大小是反映脱水质量的一个重要指标。通常收缩量大小与果蔬含水量高低相关,收缩量会随着含水量的降低而增加,故不同干燥方式均会使果蔬体积产生不同程度的收缩^[13]。果蔬在热风干燥时,表面温度较内部高,使果蔬颗粒内部水分未能及时转移到表面,随着表面水分的蒸发迁移,细胞收缩在表面迅速形成一层干硬膜。当颗粒中心干燥和收缩时,又会出现内裂空隙,从而形成表皮起皱、开裂破损、干瘪坚硬等现象,不仅收缩量大、感观质量差,复水性及口感也较差。在冷冻干燥下物料中水分从冰晶状态下直接升华,所占空间仍然保留,可基本保持其原有形状,形成多孔性结构,故收缩也最小。在热风与真空微波联合干燥中,前期热风干燥在除去物料表面水分但未引起体积收缩时,进入后续的真空微波干燥。在真空微波干燥中,物料内部的水分吸收微波后汽化而产生由内向外的传质梯度,对物料有一定的膨化作用,使得果蔬的收缩量保持在较小的水平。所以如表2所示,FD的 s 值最大,为0.82;VMD及AD+VMD的 s 值分别是0.71和0.68,较为接近,虽较FD产品要小,但比AD0.49相比要大的多。

2.4 复水性的比较

脱水果蔬常需复水后才食用,其复水后的最大吸水量(复水比)和初始复水速率是衡量脱水果蔬品质的两个重要指标。不同干燥方式干燥后的毛

豆分别在20、50、80℃水中复水比变化见图2~图4。干燥果蔬的收缩与复水特性是有相互关系的^[12],以80℃下复水10min为例,FD、VMD、AD+VMD及AD物料的复水比分别为2.29、2.14、2.09和1.94,收缩率最小的FD产品呈多孔性结构,复水时有利于水的进入并持有,其复水性必然也最好。而如AD产品收缩较大,毛细管吸收水分的阻力也相应较大,其复水性也就较差。VMD和AD+VMD产品因微波干燥的膨化作用形成的多孔性结构,复水性能也较好,均优于AD产品。这与Taner Baysal, C. Beaudry (2004)、Tein M. Lin (1998) (2003)^[7,15,16]的研究结果一致。复水速率随着复水温度提高而加快,如VMD物料复水10min内在不同复水温度下(20, 50, 80℃)的复水速率分别为0.38, 0.43, 0.66 g/min。在复水初期复水速率增加较快,但后期变化不大,即物料组织能吸收的水分已接近饱和。这说明脱水果蔬由于其细胞结构在干燥过程中萎缩,不可能完全复原^[17]。

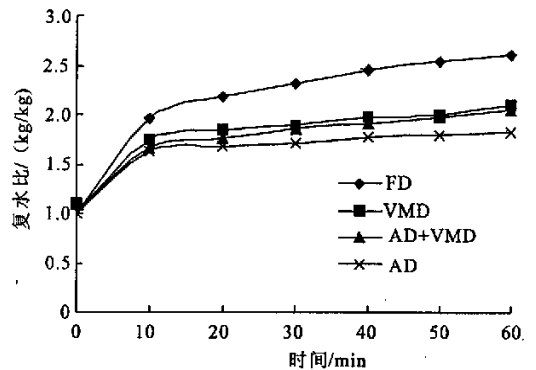


图2 不同干燥方式下的复水比(20℃)

Fig.2 Effect of drying methods on rehydration capacity of Edamame (20℃)

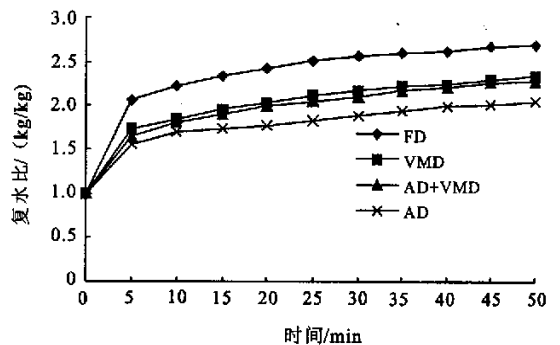


图3 不同干燥方式下的复水比(50℃)

Fig.3 Effect of drying methods on rehydration capacity of Edamame (50℃)

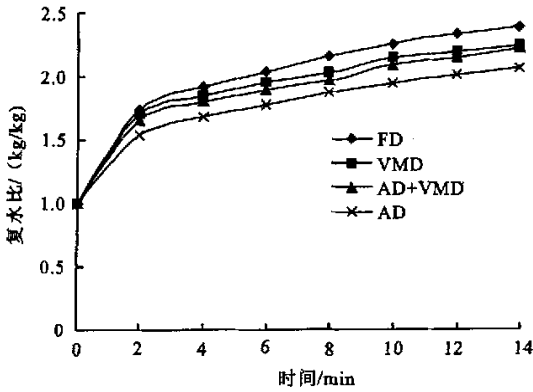


图4 不同干燥方式下的复水比(80 °C)

Fig. 4 Effect of drying methods on rehydration capacity of edamame (80 °C)

3 结论

1) 冷冻干燥果蔬产品的VC和叶绿素的保留率在几种干燥方式中最高,色泽也较接近鲜样。但

因操作时间过长使得加工成本提高而限制了其应用范围。而热风干燥则由于高温、干燥时间长及易氧化等因素,使果蔬的VC和叶绿素降解加剧,不仅含量损失最大,色泽变化也最大;真空微波干燥及与热风联合干燥在以上各质量参数方面,虽比冻干产品有一定差距,但远优于常规热风干燥,并且干燥时间可大大缩短。

2) 冷冻干燥的果蔬复水性远高于其它干燥方式,但作为休闲食品食用,质构过于松软,口感并不好,而热风干燥产品又韧又硬,口感也较差。真空微波干燥或热风与真空微波联合干燥产品则较为理想。

3) 热风与真空微波联合干燥方式不仅可使VC和叶绿素的保留率保持较高水平,在收缩率和复水性等方面与真空微波干燥非常接近。故不论从改善果蔬产品的干燥质量,还是从其经济实用性方面考虑,热风与真空微波联合干燥方法都是一种值得推广应用的干燥方法。

参考文献:

- [1] 潘永康,王喜忠.现代干燥技术[M].北京:化学工业出版社,1998.
- [2] 崔伏香.真空冷冻干燥蔬菜的品质分析[J].华北农学报,1995(1):120-123.
- [3] Guixing R, Feng C. Drying of American ginseng (*Panax quinquefolium*) roots by microwave-hot air combination[J]. *Journal of Food Engineering*, 1998,35: 433-443.
- [4] Medeni Maskan. Microwave/air and microwave finish drying of banana[J]. *Journal of Food Engineering*. 2000, 44: 71-78.
- [5] 宁正祥.食品成分分析手册[M].北京:中国轻工业出版社,1998.
- [6] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [7] Taner Baysal, Filiz Icier, Seda Ersus, et al. Effect of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic[J]. *Eur Food Technol*, 2003,218: 68-73.
- [8] Khraisheh M A M, McMinn W A M, Magee T R A. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying[J]. *Food Research International*. 2004,37: 497-503.
- [9] Medeni Maskan. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying[J]. *Journal of Food Engineering*, 2001, 48: 177-182.
- [10] Tomas Funebo, Lilia Ahrne, Siw Kidman, et al. Christina Skjoldebrand microwave heat treatment of apple before air dehydration - effects on physical properties and microstructure[J]. *Journal of Food Engineering*, 2000,46: 173-182.
- [11] 王艳.浅析微波加工对食品营养成分的影响[J].江苏食品与发酵,2003(4):13-15.
- [12] Medeni Maskan. Microwave/air and microwave finish drying of banana[J]. *Journal of Food Engineering*, 2000, 44: 71-78.
- [13] McMinn W A M, Magee T R A. Physical characteristics of dehydrated potatoes- part I [J]. *Journal of Food Engineering*, 1997, 33: 37-48.
- [14] Erik Torringa, Erik Esveld, Ischa Scheewe, et al. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot air drying of mushrooms[J]. *Journal of Food Engineering*, 2001,49: 185-191.
- [15] Beaudry C, Raghavan G S V, Ratti C, et al. Effect of four drying methods on the quality of osmotically dehydrated cranberries[J]. *Drying Technology*, 2004, 22(3): 521-539.
- [16] Tein M Lin, Timothy D Durance, Christine H Scaman. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices[J]. *Food Research International*, 1998, 31(2): 111-117.
- [17] 张慧.特种脱水蔬菜加工贮藏和复水学专论[M].北京:科学出版社,1997.

(责任编辑:杨萌)