

文章编号: 1673-1689(2010)03-0342-08

# 不同干燥方式对胡萝卜片吸湿性及品质的影响

李瑞杰, 张 懋\*

(食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 分别对热风干燥、冷冻干燥、真空微波干燥、冷冻与真空微波联合干燥这 4 种干燥方式对胡萝卜片的品质变化和吸湿性方面的影响进行了讨论, 以 VC 和胡萝卜素的保持、色泽的差异、膨化率, 干燥时间等为质量参数, 以及以吸湿率为吸湿性参数分别进行比较。联合干燥产品在 VC 和胡萝卜素的保持、色泽方面略差于冻干产品, 但它的膨化率得到了提高, 口感上也有改善, 干燥时间大大缩短, 并且抗吸湿性要比冷冻干燥好, 这样就能很好地保持果蔬脆片特有硬脆性。采用冷冻与真空微波联合干燥方式能较好地改善胡萝卜片的品质, 缩短干燥时间, 降低吸湿性。

**关键词:** 热风干燥; 真空微波干燥; 冷冻干燥; 冷冻与真空微波联合干燥; 胡萝卜片; 吸湿性; 品质  
**中图分类号:** TS 205 **文献标识码:** A

## Drying Methods Affect the Quality and Hygroscopic Capacity of Carrot Chips

LI Rui-jie, ZHANG Min\*

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** The quality changes and hygroscopic capacity of carrot chips dried by different drying process (hot-air drying, vacuum microwave drying, freeze drying and combined freeze-vacuum microwave drying) were investigated in this manuscript. The quality parameters such as VC and carotene contents, color, expansion ratio and drying time from different drying process were compared. It was found that freeze drying exhibit advantages on VC and carotene contents, but its expansion ratio much better than that of freeze drying, reduced drying time and hygroscopic capacity was less than those treated by freeze drying. Compared with that of freeze drying alone, the combined freeze-vacuum microwave significantly reduced drying time and hygroscopic capacity.

**Key words:** hot-air drying, vacuum microwave, vacuum freeze drying, combination drying, carrot chips, hygroscopic capacity, sensory property

胡萝卜 (*Daucus carrot*), 又称红萝卜或甘荀, 是伞形科胡萝卜属二年生草本植物。以肉质根作蔬菜食用。富含糖类、脂肪、挥发油、胡萝卜素、维生

素 C、维生素 A、维生素 B<sub>1</sub>、维生素 B<sub>2</sub>、花青素、钙、铁等营养成分。美国科学家研究证实: 每天吃两根胡萝卜, 可使血中胆固醇降低 10% ~ 20%; 每天吃

收稿日期: 2009-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(20776062)。

\* 通信作者: 张懋(1962-), 男, 浙江平湖人, 工学博士, 教授, 博士生导师。主要从事农产品加工的研究。

Email: min@jiangnan.edu.cn

三根胡萝卜,有助于预防心脏疾病和肿瘤。中医认为胡萝卜味甘,性平,有健脾和胃、补肝明目、清热解毒、壮阳补肾、透疹、降气止咳等功效,可用于肠胃不适、便秘、夜盲症、性功能低下、麻疹、百日咳、小儿营养不良等症状。

胡萝卜富含维生素,并有轻微而持续发汗的作用,可刺激皮肤的新陈代谢,增进血液循环,从而使皮肤细嫩光滑,肤色红润,对美容健肤有独到的作用。将胡萝卜加工成一种脱水的胡萝卜片,作为休闲食品直接食用,在休闲娱乐的情况下补充人体所需的营养,增强人体健康,因此具有广阔的市场前景。

合理的干燥方法和干燥条件是胡萝卜片生产的关键<sup>[1-10]</sup>,因此,本试验采用目前常用的热风干燥、真空微波干燥、冷冻干燥及冷冻与真空微波联合干燥4种方法制备胡萝卜片,通过对不同干燥方法制备的胡萝卜片特性指标进行分析及对比,对4种加工工艺生产的胡萝卜片的品质特性进行了评价,旨在对胡萝卜片的加工工艺提供一定的参考。另外将干燥产品作为终端产品直接食用,除了感观品质外,吸湿性也是衡量此类产品的一个重要指标。但关于脱水果蔬脆片吸湿性方面的研究国内外报道的都比较少,本试验对此做了初步探讨。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

新鲜胡萝卜:购于无锡石塘街菜市场。

### 1.2 试 剂

2,6-二氯靛酚、氯化锂、氯化镁、硝酸镁、溴化钠、氯化钠、铬酸钾、硝酸钾等均为分析纯; $\beta$ -胡萝卜素标样。

### 1.3 设备与仪器

YHW2S-OS型微波真空冻干机:南京亚泰微波能技术研究所生产;WSC-S色差仪:上海精密科学仪器有限公司生产;干燥箱:上海进医疗器械生产;721分光光度计:上海第三分析仪器厂生产;康维皿;电子天平;SP型智能生化培养箱:南京试验仪器厂制造。

### 1.4 方 法

#### 1.4.1 工 艺 流 程

原料预处理  $\left\{ \begin{array}{l} \text{冷冻-冷冻干燥} \\ \text{冷冻-冷冻干燥-真空微波干燥} \end{array} \right.$  包装-贮藏

1)原料预处理:去皮:去皮可除去胡萝卜茎皮含有的苦味物质。用3 g/dL的小苏打碱液,温度约为100℃,浸泡3 min。经碱液去皮后,立即用流动

的清水漂洗。

切片:对去皮后的胡萝卜进行修整,再进行切片,分别切至2、4、6 mm。

漂烫与冷却:漂烫即对酶进行钝化和失活处理,同时通过漂烫可以杀灭原料表面的微生物,除去原料组织内的空气,有利于减少成品中VC和胡萝卜素因氧化造成的损失,在较长时间内保持冻干胡萝卜片色泽鲜艳<sup>[2]</sup>。因此,将切片后的胡萝卜置于沸水中浸烫3 min后,立即放入0~5℃的冷水中进行降温冷却,冷却的时间越短越好。

冻结:将预处理好的胡萝卜片放入单体速冻机中进行快速冻结。待物料完全冻结后,放入超低温冰箱中储存待用。

2)热风干燥:将预处理后未冻结的胡萝卜片均匀铺在蔬菜烘干脱水机上,物料量为500 g,调节加热温度为70℃,让热风垂直穿过物料薄层,风速为2 m/s。当干燥时间为9 h时,物料的含水质量分数为6%。

3)真空微波干燥:将预处理后未冻结的胡萝卜片放入真空微波设备的物料盘中均匀铺开,物料量200 g,启动真空泵至绝对压强为10 kPa,调节微波功率为450 W,然后打开微波开关即可。当加热时间为120 min时,物料的含水质量分数为5.8%。

4)冷冻干燥:打开制冷开关,当冷阱温度为-42℃时,将冻结好的胡萝卜片薄层铺在物料盘中,物料量为500 g。之后开启真空泵至绝对压强为100 Pa,调节加热板最高温度70℃,最低30℃,打开电热开关,即可加热。当加热时间为12 h时,物料的含水质量分数为5.9%。

5)冷冻与真空微波联合干燥:在冷冻干燥条件下将胡萝卜片干燥至含水质量分数为30%,之后转入真空微波干燥。真空微波干燥条件为:绝对压强10 kPa,微波功率为300 W,加热时间为15 min,物料的含水质量分数为5.8%<sup>[3-11]</sup>。

6)包装:为防止物料吸潮,出料后要及时密封包装。

#### 1.4.2 不同干燥条件对脱水胡萝卜片吸湿性影响

1)冷冻干燥:选择加热板的温度分别为40、50、60、70℃;物料厚度为2、4、6 mm。

2)冷冻与真空微波联合干燥:转换点含水质量分数20%、30%、40%;微波功率300、450、600 W。

3)不同相对湿度对冷冻与联合干燥产品吸湿性的影响:选择氯化锂、氯化镁、硝酸镁、溴化钠、氯化钠、铬酸钾、硝酸钾在25℃条件下形成的不同相对湿度。

4) 涂膜防潮试验: 巧克力涂膜。

1.4.3 试验指标及测定方法

1) 水分: 按照 GB5009. 3-85 进行测定。

2) 能耗: 由电能表直接读数。

3) β胡萝卜素: 按照 GB12389-90 进行测定。

4) 维生素 C: 按照 2, 6-二氯酚法进行测定<sup>[4]</sup>。

5) 膨化率: 取 20 片干燥前的胡萝卜片, 外涂蜡质, 投入装有 100 mL 水的 1L 量筒中, 可得干燥前胡萝卜片体积  $V_1$ , 同法求得干燥后胡萝卜片体积  $V_2$ , 按下式计算膨化率  $A$ <sup>[5]</sup>:

$$A = V_2 / V_1$$

6) 颜色: 手持测色色差计进行测定:  $L^*$  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, 每样旋转三次不同角度分别读数, 取九次读数的平均值<sup>[6]</sup>。

7) 色泽、质构、风味、口感: 感官评定法

由 10 名评价员组成感官评价小组, 评价干燥后苹果片的色泽、口感、气味。按 10 分制计, 详见

表 2 不同饱和盐溶液在不同温度条件下相对应的湿度

Tab. 2 Relative humidity of saturated salt solution at different temperature

饱和盐溶液/(g/dL)	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C
氯化锂	16	14	13	12	11	11	11	11
氯化镁	33	33	33	33	33	32	32	31
硝酸镁	54	53	53	52	52	52	51	51
溴化钠	59	58	58	57	57	57	57	57
氯化钠	76	75	75	75	75	75	75	75
铬酸钾	89	89	88	88	87	86	84	82
硝酸钾	96	95	95	94	93	92	91	89

表 1。每个样取 10 个人所打分值的平均值<sup>[7]</sup>。

表 1 对胡萝卜片感官评定的分值表

Tab. 1 Value of evaluation for carrot chips

评分值	胡萝卜片干燥后色泽、口感、气味感官评述
8~10	鲜黄色, 收缩度小, 基本保持原形, 疏松、质脆, 胡萝卜香气浓郁。
5~7	暗色, 皱缩度很小, 基本保持原形, 较疏松、硬度稍大, 果香清淡并伴有焦香味。
1~4	淡黄, 皱缩度很大, 不能保持原形, 硬度大、无脆感, 基本无果香, 有焦糊味。

8) 吸湿率的测定:

本试验采用康维皿静态称重测试法。将不同干燥方法和干燥条件下得到的胡萝卜脆片, 分别置于预先恒重的样品瓶重, 称重后, 放入一定温度和相对湿度范围的康维皿内室中。康维皿外室预先放入不同种类的饱和盐溶液, 以产生不同的平衡相对湿度(ERH), 见表 1。密封后放入调定温度的恒温箱中进行吸湿性试验。每隔 0.5 h 测一次试样的质量<sup>[8]</sup>。

$$\text{吸湿率}(\%) = [(\text{吸湿后胡萝卜片质量} - \text{吸湿前胡萝卜片质量}) / \text{吸湿前胡萝卜片量}] \times 100^{[13]}$$

2 结果与分析

2.1 干燥条件对脱水胡萝卜片吸湿性的影响

2.1.1 冷冻干燥对脱水胡萝卜片吸湿性的影响

将在加热板温度分别为 40、50、60、70 °C 条件下干燥得到的含水质量分数为 6%, 厚度为 4mm 的脱水胡萝卜片分别放在盛有氯化钠饱和溶液的康维皿中, 温度为 25 °C, 相对湿度为 75% 的条件下, 进行吸湿性试验, 结果见图 1。

从图中可以看出, 加热板的温度越高, 吸湿率就越低, 吸湿性就越差; 反之加热板温度越低, 吸湿率就越高, 吸湿性就越好。这里冻干中的加热是热

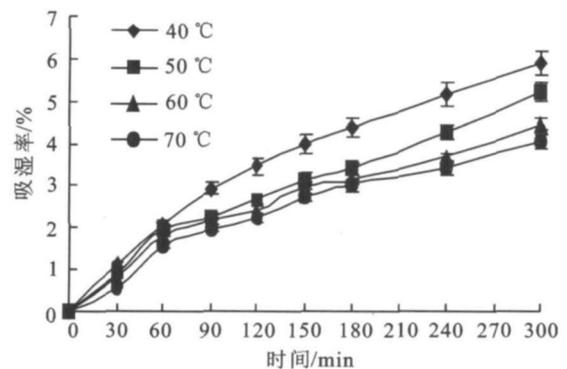


图 1 加热板温度对吸湿性影响

Fig. 1 Effect of the heat plate temperature on hygroscopic capacity

传导。当加热板温度较低时,由于热通量较小,材料的界面温度和表面温度都较低,使内部水分缓慢逸出,所以能够较大地保持物料固有的结构,使干制品的结构均匀,易于外界水分的进入,这就增加了吸湿性。随着加热板温度的升高,增加了传导热,物料界面温度有所上升,传质推动力提高,加快了水蒸汽的逸出速度。此时吸湿性之所以降低是因为过高的加热温度在升华阶段会使部分物料断裂崩陷,导致内部结构变化,吸湿率降低,吸湿性就越差。 $70^{\circ}\text{C}$ 干燥的样品与加热板接触的地方已发生褐变<sup>[12]</sup>。

将厚度为2、4、6 mm 胡萝卜片分别在加热板温度为 $50^{\circ}\text{C}$ 的条件下干燥所得到的脱水胡萝卜片分别放在盛有氯化钠饱和溶液的康维皿中,放入温度为 $25^{\circ}\text{C}$ 的培养箱中,相对湿度为75%的条件下,进行吸湿性试验,结果见图2。从图中可以看出,胡萝卜片越薄吸湿性就越强。经FD脱水后,一般胡萝卜片的含水质量分数为6%以下,在此含水量下表现出脆片特有的硬脆特征。当含水率超过10%,就会有一种软粘粘的感觉,此时已经失去脆片应有的硬脆特征,也就失去商品价值。在相对湿度为70%,温度为 $12^{\circ}\text{C}$ 的大气中放置30、2 mm厚的胡萝卜片含水量已经接近质量分数10%,而其他的统统到90 min,含水率才达到10%。

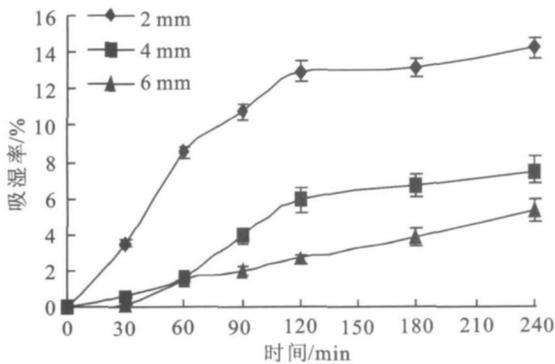


图2 切片厚度对吸湿性的影响

ig. 2 Effect of the slice thickness on hygroscopic capacity

2.1.2 冷冻与真空微波联合干燥对脱水胡萝卜片吸湿性的影响 在盛有氯化钠饱和溶液的康维皿中,放入温度为 $25^{\circ}\text{C}$ 的培养箱中,相对湿度为75%的条件下进行吸湿性试验。将联合干燥胡萝卜片转换点的含水质量分数为20%、30%、40%,加热板温度为 $50^{\circ}\text{C}$ 条件下所得到的干制品分别进行吸湿性试验,结果见图3。从图中可以看出,真空微波干燥前,物料的含水量越高,干燥后所得制品的吸湿性就越差;反之就越好。原因可能为前期干燥后物料含水量越高,所需的真空微波干燥时间就越长,导致制品内部组织遭到破坏,一定程度上阻止了水

分的进入,吸湿率小,吸湿性差。

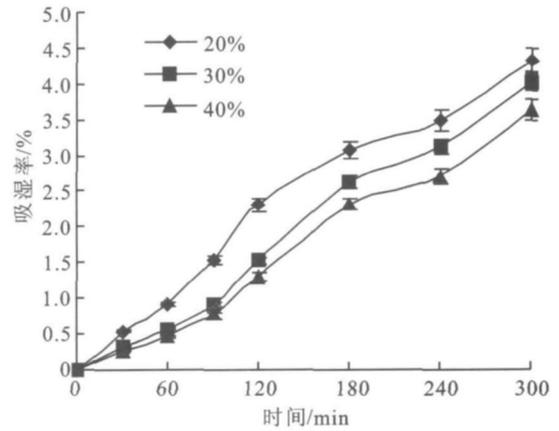


图3 转换点含水量对吸湿性的影响

Fig. 3 Effect of moisture on hygroscopic capacity

将含水质量分数在30%的冻干后制品,微波加热功率为300、450、600 W条件下干燥所得的干制品分别进行吸湿性试验,吸湿条件是将干制品放入盛有饱和氯化钠溶液的康维皿中,然后置于 $25^{\circ}\text{C}$ 的培养箱中,相对湿度为75%,结果见图4。从图中可见,微波功率越高,其干制品的吸湿率就越小,吸湿性也就越差。这是因为物品在低功率微波下干燥时,其制品内部组织保持原状的程度较好,且干制品体积膨胀,内部会产生较大空隙,因而干制品会迅速吸水;而物品在高功率微波下持续干燥时,物料本身升温过高,导致制品内部组织遭到严重破坏,因而影响物料的吸湿能力。

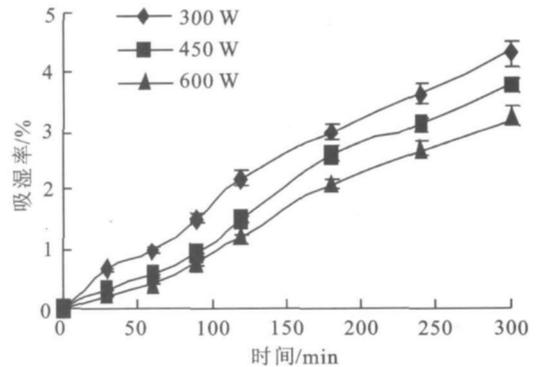


图4 微波功率对吸湿性的影响

Fig. 4 Effect of microwave power on hygroscopic capacity

2.2 不同干燥方法对脱水胡萝卜片吸湿性比较

干燥方式不同对脱水胡萝卜片吸湿性影响不同(见图5)。比较从图5可见,在盛有氯化钠饱和溶液的康维皿中,放入温度为 $25^{\circ}\text{C}$ 的培养箱中,相对湿度为75%。用冷冻与真空微波联合干燥(加热板温度为 $50^{\circ}\text{C}$ 、冻干后的物料含水质量分数为30%、微波功率为300W)出的干制品吸湿性明显低于冷冻干燥。冻干制品的含水质量分数在6%以下,当吸湿率超过10%时,就有软的感觉了,此时所

用时间为 90 min; 而联合干燥后干制品的含水质量分数在 6% 以下, 也就是说吸湿率达到 10% 以上时, 才会变软, 而这要在 300 min 甚至更久才会出现。其原因是联合干燥的制品内部空隙较大, 但较酥脆, 吃水能力降低, 吸水能力较差, 导致它的吸湿性差。

总之, 用不同干燥方法和干燥条件下获得的干制品其吸湿性具有明显的差异; 加热板温度、微波功率以及干燥时间是其主要影响因素; 另外吸湿性还与干制品的感官质量有关, 制品质量(内部组织性能和外部的感官质量) 越好, 其吸湿性也就越好。

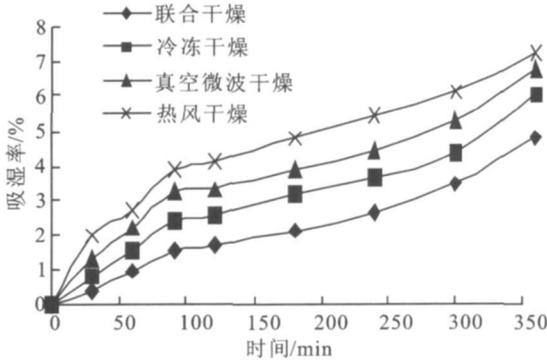


图 5 不同干燥方式下的吸湿性曲线

Fig. 5 Hygroscopic capacity curves of different drying methods

2.3 不同相对湿度对冷冻干燥和联合干燥胡萝卜片吸湿性的影响

在冷冻干燥(加热板温度 50 °C, 将物料的水分降至质量分数 6% 以下)和联合干燥(冻干后物料含水质量分数在 30% 左右, 微波功率为 300 W)条件下, 得到的干制品进行吸湿性试验, 将干制品分别放在不同饱和盐溶液中, 然后置于 25 °C 的培养箱中, 相对湿度见表 2。吸湿性结果见图 6、7。由图 6、7 可以看出, 相对湿度越大干制品的吸湿性就越好。这个现象对干制品的贮藏研究具有一定的指导意义。

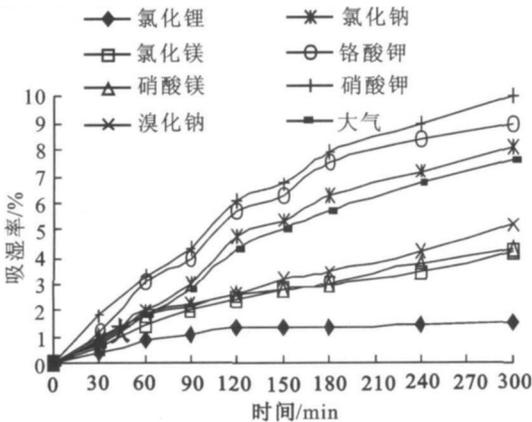


图 6 不同相对湿度对 FD 后胡萝卜片吸湿性的影响

Fig. 6 Effect of different relative humidity on hygroscopic capacity of freeze drying carrot chips

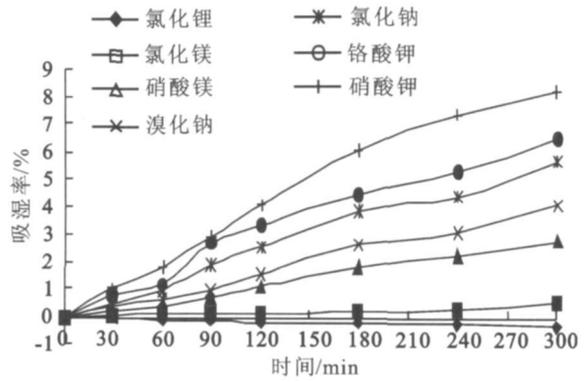


图 7 不同相对湿度对联合干燥后胡萝卜片吸湿性的影响

Fig. 7 Effect of relative humidity on the combined drying carrot chips hygroscopic capacity

2.4 脱水胡萝卜片表层处理对脱水胡萝卜片吸湿性的影响

将冻干品和联合干燥的产品外涂一层巧克力, 然后放在盛有氯化钠饱和溶液的康维皿中, 温度为 25 °C, 相对湿度为 75%, 进行吸湿性试验。果蔬脆片放在空气中很容易吸潮, 这就在一定程度上影响了产品的价值。要想改变这种现象的发生, 一方面可以从工艺上进行改进, 如上所属; 另一方面可以进行表层处理见图 8。从图 8 可以看出, 外涂巧克力的干制品, 放在这种高湿的环境中长达 5 h 都没有变软, 可见涂层处理效果很好。

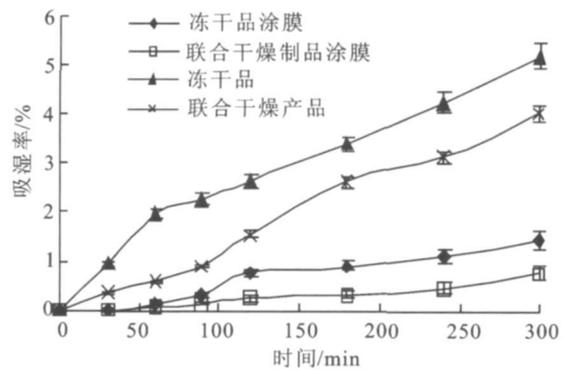


图 8 涂层处理对吸湿性的影响

Fig. 8 Effect of coating on hygroscopic capacity

2.5 不同干燥方法对脱水胡萝卜片品质的影响

2.5.1 干燥能耗和干燥时间的比较 干燥方式对胡萝卜品质影响见图 9、10。由图 9、10 可见, 冷冻干燥所用能耗为 113 641 kJ/kgH<sub>2</sub>O, 干燥时间为 12 h; 联合干燥为 71 669 kJ/kgH<sub>2</sub>O, 干燥时间为 6.05 h; 真空微波干燥为 25 463.8 kJ/kgH<sub>2</sub>O, 干燥时间为 2 h; 热风干燥为 16 200 kJ/kgH<sub>2</sub>O, 干燥时间为 9 h。可见冷冻干燥能耗最高, 这是因为冷冻干燥有较长时间的制冷、抽真空和加热, 所以能耗很高, 操作成本最大。但由于在低温下操作, 对营

养物质的破坏小,故保证了产品品质。同冷冻干燥相比,冷冻与真空微波联合干燥的能耗,同冷冻干燥相比节省了 37%,这就大大降低了冷冻干燥的成本。并且干燥时间减少了将近一半,而且因真空微波时间仅用了 15 min。热风干燥虽然能耗低,但是加热时间长,物料长时间在高温下干燥,使产品品质受到了极大的破坏。综合能耗、干燥时间和产品品质方面考虑,采用冷冻与真空微波联合干燥方式是最合理的方式。

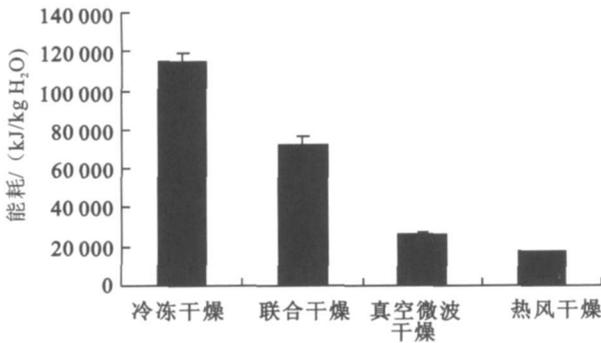


图 9 不同干燥方式的能耗

Fig. 9 Energy consumption of different drying process

表 3 不同干燥方式对 VC 和胡萝卜素保留率、色差和膨化率的影响

Tab. 3 Effect of different drying process on the retention rate of ascorbic acid and carotene, color and expansion ratios for the dehydrated carrot

干燥方式	VC 保留率 / %	胡萝卜素保留率 / %	膨化率 / %	色差		
				L*	a*	b*
鲜样				81.42a	18.07b	16.04c
FD	82.9a	95.1a	97.3b	73.28b	23.10a	22.09a
FD+ VMD	78.3a	90.8a	110.2a	75.36b	22.68a	18.29b
VMD	68.6b	77.2b	75.4c	68.42c	16.71c	19.33b
AD	37.3c	48.2c	19.8d	38.78d	10.22d	9.87d

注:表中 a, b, c, d 不同字母表示组间有显著性差异, (p < 0.05); 鲜样为预处理后未经冻结的胡萝卜片。FD 为冷冻干燥, FD + VMD 为冷冻与真空微波联合干燥, VMD 为真空微波干燥, AD 为热风干燥。

VC 和胡萝卜素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 和胡萝卜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 和胡萝卜素的损失就越大<sup>[11]</sup>。从上表中可见,热风干燥 VC 和胡萝卜素的损失最大,VC 的保留率为 37.3%,胡萝卜素的保留率为 48.2%,这是由于热风干燥温度高,时间长,VC 和胡萝卜素与氧气接触时间长而易氧化。冷冻干燥的产品 VC 和胡萝卜素的保留率分别达 82.9% 及 95.1%,联合干燥的 VC 和胡萝卜素保留率与冷冻干燥的较为接近。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

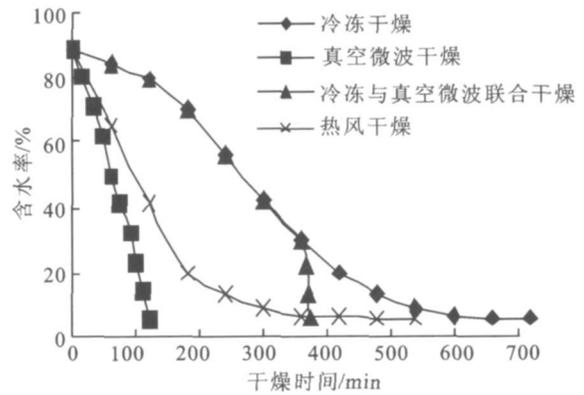


图 10 不同干燥方式 (FD、VMD、AD 及 FD+ VMD) 干燥胡萝卜片的曲线

Fig. 10 Drying dried carrot chips curves of the drying process (FD, VMD, AD and FD+ VMD)

2.5.2 不同干燥方法对脱水胡萝卜片 VC、β 胡萝卜素、色差和膨化率的影响 本试验中胡萝卜片分别经热风干燥、真空微波干燥、冷冻干燥及冻真空微波联合干燥后所测 VC 及胡萝卜素保留率见表 3。

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。冷冻与真空微波联合干燥即可大大缩短干燥时间,降低生产及设备成本,其 VC 和胡萝卜素的保留率又较接近冷冻干燥,故是一种值得推广的干燥方式。

果蔬干燥后颜色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。果蔬在干燥的过程中受温度的影响,发生美拉德反应引起褐变,所以干燥温度和时间是影响果蔬颜色变化的重要原因<sup>[9]</sup>。由表中可知,无论是完全冻干的产品还是联合干燥后的产

品,胡萝卜片的亮度都有所降低,红色度增加,黄色度降低。胡萝卜的色泽变化可能由大量失水引起,失水后表面看上去不象新鲜胡萝卜饱满、有光泽,亮度自然下降;失水后红色素被浓缩,致使红色加深,黄色程度被掩蔽<sup>[7]</sup>。由表格可以看出,联合干燥的产品, Vc 和色差值较接近完全冻干品,而膨化率优于完全冻干品。

**2.5.3 不同干燥方法对脱水胡萝卜片感观品质的影响** 不同干燥方法对脱水胡萝卜片感观品质的影响见 4。由表 4 可看出,4 种干燥方法制作胡萝卜片的感官性能比较好的是冷冻干燥和联合干燥,

这是由于热风干燥时温度过高,其中的糖类和蛋白质发生美拉德反应,导致产品颜色加深,出现焦香味;而真空微波干燥中,当大部分水分失去时,产品内部温度不均,发生局部过热,导致产品焦糊,影响色泽和风味。冷冻干燥在低温和真空状态下进行干燥,可以有效地保持良好的色泽、气味等感官指标。冷冻与真空微波联合干燥在前期采用冷冻干燥,除去物料中大部分的水分,在解析阶段采用真空微波干燥,这样降低了冻干能耗,又不会导致产品发生局部过热而焦糊。

表 4 不同干燥方式所得胡萝卜片的感官评定结果表

Tab. 4 The sensory evaluation assessment of carrot chips after different drying methods

干燥方式	感观描述	分值
FD	鲜黄色,收缩度小,基本保持原形,疏松、质脆,胡萝卜香气浓郁。	9
FD+ VMD	鲜黄色,稍有膨化,基本保持原形,疏松、质脆,胡萝卜香气浓郁。	8
VMD	暗色,皱缩度小,基本保持原形,较疏松、硬度稍大,果香清淡并伴有焦糊味	6
AD	淡黄,皱缩度很大,不能保持原形,硬度大、无脆感,基本无果香,有焦香味。	3

### 3 结 语

1) 不同的干燥条件和干燥方法下获得的脱水胡萝卜片的吸湿性和产品品质具有明显的差异。

2) 冷冻干燥加热板温度越低,获得的干制品的感官质量就越好,即得到制品内部结构就越均匀,因此吸湿性就越好;反之,就越差。转换点的含水量越高,微波功率越高,吸湿性就越差,即不易吸潮,就越容易维持胡萝卜脆片的硬脆感。运用不同干燥方法得到的胡萝卜脆片,由于内部结构不同吸湿性方面具有很大差异。但是吸湿性与干制品的感观质量有一定的关系,感观质量越好,吸湿性就越好,因此要综合考虑吸湿性和感观质量两方面来决定最后的工艺条件。

3) 冷冻干燥果蔬产品的 VC 和胡萝卜素的保留率在几种干燥方式中最高,色泽和形状保持也较接

近鲜样。但因操作时间过长、能耗过高,使得加工成本提高而限制了其应用的范围。热风干燥则高温、干燥时间长及易氧化等因素,使果蔬的 VC 和胡萝卜素降解加剧,不仅含量损失严重,色泽变化也最大,并且形状变形也最为厉害;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,但远优于热风 and 真空微波干燥,并且干燥时间可大大缩短。

4) 冷冻与真空微波联合干燥的脱水胡萝卜片在产品品质上接近完全的冻干品,并且还在一定程度上改善了口感,增加了膨化率;使干燥时间缩短了接近 50%,降低了能耗。

但是从试验来看,出现部分物料焦糊的现象,说明真空微波加热仍存在着加热均匀性问题,有待于进一步研究。

### 参考文献(References):

- [1] 梁茂雨,陈怡平,高霞.不同干燥方法对胡萝卜粉品质特性的影响[J].食品科技,2007,[12]:70-72.  
LIANG Maoyu, CHEN Yiping, GAO Xia. Quality property of carrots powder drying by different drying methods[J].  
*Food science and technology*, 2007, (12): 70-72. (in Chinese)
- [2] 钟昔阳.真空冷冻脱水胡萝卜预处理工艺及干燥特性的研究[J].农产品加工学刊,2006,10:60-63.

- ZHONG Xi-yang. Research on the pre-treatment technology and drying characteristic of vacuum freeze-dehydrating carrot [J]. **Agricultural product processing**, 2006, 10: 60- 63. (in Chinese)
- [ 3 ] 徐艳阳, 张愨. 热风和微波真空联合干燥甘蓝试验[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(6): 64- 67.  
XU Yan-yang, ZHANG Min. Studies on combination drying of wild cabbage with hot-air and vacuum microwave[J]. **Journal of Wuxi University of Light Industry**, 2003, 22 (6) : 64- 67. (in Chinese)
- [ 4 ] 大连轻工学院等主编. 食品分析[M]. 中国轻工业出版社, 2002. 9.
- [ 5 ] 滕建文. 微波膨化香蕉脆片的加工[J]. 广西轻工业, 2002(1): 27- 29.  
TENG Jian-wen. Processing of microwave drying banana chips[J]. **Guang Xi light industry**, 2002(1): 27- 29.
- [ 6 ] 胡庆国, 张愨. 不同干燥方式对颗粒状果蔬品质变化的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(2): 28- 32.  
HU Qing-guo, ZHANG Min. Effect of Different Drying methods on the Quality Changes of the Granular Fruits and Vegetables[J]. **Journal of Wuxi University of Light Industry**, 2006, 25 (2) : 28- 32. (in Chinese)
- [ 7 ] 张水华, 孙君社, 薛毅. 食品感官鉴评[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1998, 8(2): 59- 105.
- [ 8 ] 徐艳阳, 张愨. 脱水竹笋的等温吸湿特性研究[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(5): 43- 45.  
XU Yan-yang, ZHANG Min. Studies on the water absorption isotherms of dehydrated bamboo shoot[J]. **Food research and exploitation**, 2005, 26(5) : 43- 45. (in Chinese)
- [ 9 ] Medeni Maskan. Microwave/ air and microwave finish drying of banana[J]. **Journal of Food Engineering**, 2000 , 44: 71- 78.
- [ 10 ] Litvin S, Mannheim CH, Milta J. Dehydration of carrots by a combination of freeze drying, microwave heating and air or vacuum drying[J]. **Journal of food engineering**, 1998, 36 ( 1) : 103- 111.
- [ 11 ] Alibas, Ilknur. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices[J]. **LWT-food science and technology**, 2007, 40 (8): 1445- 1451.
- [ 12 ] 马先英, 赵世明. 不同干燥方法对胡萝卜复水性及品质的影响[J]. 大连水产学院学报, 2006, 2(21): 158- 161.  
MA Xian-ying, ZHAO Shi-ming. Effects of different drying methods on rehydration and quality of carrots[J]. **DA Lian aquatic production transaction**, 2006, 2(21): 158- 161. (in Chinese)
- [ 13 ] 曹春林等. 中药药剂学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986. 493.

(责任编辑: 杨萌)

## 《食品与生物技术学报》征稿征订启事

《食品与生物技术学报》(双月刊)是教育部主管、江南大学主办的有关食品科学与工程、生物技术与发酵工程及其相关研究的专业性学术期刊,为CSCD核心期刊、全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国期刊方阵双效期刊,目前被美国化学文摘(CA)等国内外10余家著名检索系统收录。主要刊发食品科学与工程,食品营养学,粮食、油脂及植物蛋白工程,制糖工程,农产品及水产品加工与贮藏,动物营养与饲料工程,微生物发酵,生物制药工程,环境生物技术等专业最新科研成果(新理论、新方法、新技术)的学术论文,以及反映学科前沿研究动态的高质量综述文章等,供相关领域的高等院校、科研院所、企事业单位的教学、科研等专业技术人员、专业管理人员以及有关院校师生阅读,热忱欢迎广大读者订阅。

《食品与生物技术学报》,双月刊,A4(大16K)开本,160页,全年6期,每册定价15.00元,邮发代号:28-79,全国各地邮局均可订阅。

《食品与生物技术学报》编辑部