

文章编号:1673-1689(2009)01-0018-05

FD 草莓丁的涂膜及其热风干燥

黄略略^{1,2}, 张懋^{*1,2}, 吴婷婷¹, 孙东风³, 毛文岳³

(1. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122; 3. 山东鲁花集团研发中心, 山东 莱阳 265200)

摘要: 冷冻干燥虽然可以最大程度地保持草莓丁的色、香、味, 但冻干草莓丁复水后质构萎蔫以及口感的丧失限制了 FD 草莓丁在液态载体中的应用。研究了冷冻干燥草莓丁复水的涂膜工艺。通过对复原比、色泽两个指标的考察, 确定出最佳的膜溶液配比及最佳干燥温度。此外, 还测定了冻干草莓丁涂膜后的热风干燥曲线以及不同温度下的复原比。

关键词: 冷冻干燥; 涂膜; 热风干燥; 复原比

中图分类号: S 668.4

文献标识码: A

Studies on the Coating and Air Drying of Freeze Drying Strawberry Pieces

HUANG Lue-lue^{1,2}, ZHANG Min^{*1,2}, WU Ting-ting¹, SUN Dong-feng³, MAO Wen-yue³

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. R&D Center, Shangdong Luhua Group, Lanyang 265200, China)

Abstract: Although the color, flavour and taste of freeze drying strawberries pieces are very good, texture collapasing after rehydration limits the application of strawberry pieces in liquid carrier. In this study, the coating technology of decreasing the rehydration of freeze drying strawberry was investigated. By testing rehydration ratio and color, the best formula of coating solution and temperature of drying as follows: whey protein 10%, glycerol 3%, lactose 10%, drying temperature 50°C. In addition, the curve of air drying after coating and rehydration ratio at different temperatures were also careful investrgated.

Key words: freeze drying, coating, air drying, rehydration ratio

草莓系多年生草本植物, 其果实由花托发育而成肉质聚合果, 又叫红莓、杨梅、地莓等, 是蔷薇科草莓属植物的泛称^[1]。据测定, 每 100 g 草莓果肉中含糖 8~9 g、蛋白质 0.4~0.6 g, 维生素 C 50

~100 mg, 比苹果、葡萄高 7~10 倍, 而其苹果酸、柠檬酸、维生素 B1、维生素 B12, 以及胡萝卜素、钙、磷、铁的含量也比苹果、梨、葡萄高 3~4 倍。

虽然如此, 但草莓生长季节性强且不易贮藏。

收稿日期: 2008-01-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(20776062); 国家 863 计划项目(2007AA100406-01)。

作者简介: 黄略略(1983-), 女, 江苏淮安人, 农产品加工博士研究生。

* 通讯作者: 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与贮藏方面的研究。Email: min@jiangnan.edu.cn

用真空冷冻干燥技术加工的草莓可使其营养损失、组织形态损伤降低到最低限度,且便于贮藏和运输^[2],但由于 FD 草莓复水性强,若在液态载体中浸泡食用,产品会立即变软萎蔫,失去原有口感。在冻干后的草莓丁外涂膜,利用膜具有的良好隔水性,使得 FD 草莓丁在液态载体中的复原减慢,可在一定时间内保持较好的口感。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

草莓:市售;乳清蛋白:新西兰 Fonterra Ltd 产品;脱脂牛奶:光明乳业股份有限公司产品;乳糖、甘油均为分析纯。

磁力搅拌器:江苏金坛大地自动化仪器厂产品;数显恒温水浴:江苏金坛国华仪器厂产品;干燥箱:上海跃进医疗器械厂产品;721 型分光光度计:上海第三分析仪器厂产品;旋片式真空泵:上海嘉鹏科技有限公司产品;Msl-A 水分活度仪:瑞士 Novasina 公司产品。

1.2 试验方法

1.2.1 膜溶液配制 乳清蛋白→加水溶胀→加入甘油→加入乳糖→磁力搅拌器 20 min→70 ℃水浴 20 min→冷却待用。

1.2.2 涂膜及干燥 将真空冷冻干燥后的草莓丁用浸入涂膜法浸于配制好的涂膜溶液中,时间为 1 s,立即取出沥干,摆放于塑料器皿中,放入设定好温度的恒温鼓风干燥箱热风干燥,干燥后取出并装于贴有相应标签的自封袋中,放入干燥器内。

1.2.3 膜溶液最佳配比的正交因素水平表 乳清蛋白是近几年才被用作可食性膜的基质材料。乳清蛋白中含有分散度高、亲水力弱的 α -乳白蛋白和乳球蛋白。以乳清蛋白为原料,加入甘油^[10]等增塑剂及加热膜溶液^[11]制得的乳清蛋白可食性膜具有低的透水、透氧率,高强度、透明性好的特点,并具有较好的伸缩性。

乳糖属双糖,由一分子 α -D-葡萄糖和一分子 β -D-半乳糖构成,与其他食用糖相比,乳糖甜度低,具有较稳定的吸湿性。乳糖具有增加固体含量,改善产品质构而不至于使产品过甜的特性^[3]。这些特性使乳糖对色泽、口味都有一定的改善和提高作用。据资料,乳清蛋白用量在质量分数 10% 时成膜性最好^[4],所以按此制定因素水平表(表 1)。

1.2.4 复原比的测定 取一定量涂膜干燥后的草莓丁,在分析天平上称其质量 M_1 ,浸入预先配制好的牛乳中,同时秒表计时,并适当持续搅拌,6 min

后立即取出,真空抽滤 10 s,除去草莓丁的表面水,然后称其复原后的质量 M_2 ,并记录数据^[5]。复原比的计算: $W=(M_2-M_1)/M_1$ 。复原载体:质量分数为 10% 的脱脂牛乳。温度选择:室温、40 ℃、60 ℃、80 ℃。

表 1 正交因素水平选择表

Tab. 1 Selected table of level of orthogonal factors

| 因素 | 质量分数/% | | | 温度/℃ |
|------|--------|----|----|------|
| | 乳清蛋白 | 甘油 | 乳糖 | |
| 水平 1 | 8 | 2 | 0 | 45 |
| 水平 2 | 10 | 3 | 5 | 50 |
| 水平 3 | 12 | 4 | 10 | 55 |

涂膜后的草莓丁放入烘箱中进行热风干燥,10 h 后取出,测定其复原比及比色 A 值。复原率的测定条件取 60 ℃在牛乳中复原 6 min。

1.2.5 花色苷的比较 取 1 g 样品,用 20 mL 的体积分数 1% 盐酸-甲醇溶液浸泡 20 min,待花色苷基本溶于其中时,移液管吸取 5 mL,用体积分数 1% 的盐酸溶液定容至 50 mL。用分光光度计测其比色 A 值,波长为 530 nm^[6]。

1.2.6 水分活度的测定 用水分活度仪测定水分活度。

2 结果与讨论

2.1 膜溶液最佳配比的正交试验

由表 2 可知,对复原比而言,第 1 列(A 列)Ⅱ小,所以 A_2 较好;第 2 列(B 列)Ⅱ小,所以 B_2 较好;第 3 列(C 列)Ⅲ小,所以 C_3 较好;第 4 列(D 列)Ⅲ小,所以 D_3 较好。把这 4 个好水平组合在一起, $A_2 B_2 C_3 D_3$ 是全体水平组合中有关复原比的可能好的水平组合。从极差可看出,各因素对结果的影响顺序为: $C>D>B>A$

表 2 正交实验安排及结果

Tab. 2 Arrangement and the results of orthogonal experiment

| | 质量分数/% | | | 温度 D/℃ | 比色值 A | 复原比 |
|---|--------|------|-------|--------|-------|-------|
| | 乳清蛋白 A | 甘油 B | 乳糖 C | | | |
| 1 | 1(8) | 1(2) | 1(0) | 1(45) | 0.231 | 0.994 |
| 2 | 1 | 2(3) | 2(5) | 2(50) | 0.225 | 0.807 |
| 3 | 1 | 3(4) | 3(10) | 3(55) | 0.201 | 0.745 |
| 4 | 2(10) | 1 | 2 | 3 | 0.248 | 0.770 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0.272 | 0.714 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0.218 | 0.894 |
| 7 | 3(12) | 1 | 3 | 2 | 0.195 | 0.745 |

续表 2

| | 质量分数/% | | | 温度 D/°C | 比色 值 A | 复原 比 |
|--------------------|-----------|---------|---------|------------|-----------|---------|
| | 乳清蛋白 A | 甘油 B | 乳糖 C | | | |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 0.161 | 0.819 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0.236 | 0.932 |
| I _复 | 2.546 | 2.509 | 2.707 | 2.639 | | |
| I _{吸光度} | 0.657 | 0.674 | 0.610 | 0.739 | | |
| II _复 | 2.378 | 2.339 | 2.509 | 2.445 | | |
| II _{吸光度} | 0.738 | 0.658 | 0.709 | 0.638 | | |
| III _复 | 2.495 | 2.570 | 2.203 | 2.335 | | |
| III _{吸光度} | 0.592 | 0.655 | 0.668 | 0.610 | | |
| R _复 | 0.169 | 0.231 | 0.503 | 0.304 | | |
| R _{吸光度} | 0.146 | 0.019 | 0.099 | 0.129 | | |

对于比色 A 值的分析显示,可能好的水平组合为 $A_2B_1C_2D_1$,各因素对结果的影响顺序为: $A > D > C > B$ 。综合两个指标分析,因为 B 是比色 A 值中最不重要的影响因素,所以取 B_2 作为好组合水平,即甘油 3 g;因为乳糖是影响复原比的最重要因素,因此乳糖选择第 3 个水平,即乳糖质量分数为 10%;对于温度因素 D,在复原比试验中 D_3 较好,在比色 A 值试验中 D_1 较好,所以折中取 D_2 为好水平,即温度为 50 °C。

因此,最佳膜溶液配比为 $A_2B_2C_3D_2$,即乳清蛋白质量分数 10%、甘油质量分数 3%、乳糖质量分数 10%、温度 50 °C。

2.2 干燥曲线的测定

用上述的最佳配比膜溶液涂膜 FD 草莓丁,实验结果见表 3,表中的序号是实验检测点,样品含水量由实验用样品经过 80 °C 长时间干燥至恒重得到。绝干物料按照公式“ $X = (\text{湿物料} - \text{绝干物料重}) / \text{绝干物料重}$ ”得到^[7]。

从草莓丁干燥曲线图 1 可以看出,在干燥初期,样品含水量下降很快,除去产品中 85% 的水分所需要的时间是剩余水分被干燥时间的一半。这是由于样品表面潮湿,接触热风很快汽化而干燥速度快,几乎没有预热阶段。随着干燥的进行,样品水分质量分数逐渐下降,而且下降速度越来越慢,即每失去相同量的水所用的时间越来越长,可见涂膜产品脱水时,水分从食品表面逸出并且会逐渐形成一个厚的干燥层,加上膜的阻隔作用,剩余的水分很难迅速干燥,是典型的降速干燥阶段。

由干燥曲线还可知,干燥 6.5 h 后,水分质量分数为 9.4%,且在 28 °C 下测得的水分活度为 0.399;干燥 7.5 h 后,水分质量分数为 8.0%,水分活度为

0.358。 A_w 低于 0.5 时微生物不易增值,对其保藏有利。

表 3 50 °C 干燥的实验结果

Tab. 3 Results of experiment at 50 °C

| 序号 | 湿样品 质量/g | 干燥 时间/h | 样品含水量(以绝干 物料计)/(kg/kg) |
|----|-------------|------------|---------------------------|
| 1 | 10.819 | 0 | 1.370 |
| 2 | 10.081 | 0.05 | 1.208 |
| 3 | 9.580 | 0.10 | 1.099 |
| 4 | 9.023 | 0.17 | 0.977 |
| 5 | 8.414 | 0.25 | 0.843 |
| 6 | 7.855 | 0.33 | 0.721 |
| 7 | 7.226 | 0.50 | 0.583 |
| 8 | 6.692 | 0.67 | 0.466 |
| 9 | 6.176 | 0.92 | 0.354 |
| 10 | 5.864 | 1.17 | 0.285 |
| 11 | 5.604 | 1.50 | 0.227 |
| 12 | 5.397 | 2.00 | 0.182 |
| 13 | 5.269 | 2.50 | 0.154 |
| 14 | 5.158 | 3.50 | 0.130 |
| 15 | 5.077 | 4.50 | 0.112 |
| 16 | 5.020 | 5.50 | 0.099 |
| 17 | 4.993 | 6.50 | 0.094 |
| 18 | 4.982 | 7.50 | 0.080 |

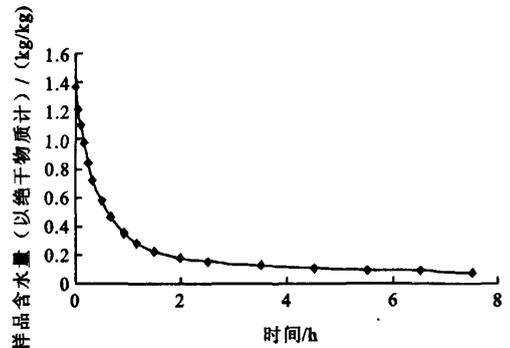


图 1 50 °C 时草莓丁的干燥曲线

Fig. 1 Drying curve of strawberry pieces at 50 °C

2.3 不同温度下草莓丁的复原比

由图 2 可知,在低于 60 °C 时,草莓丁外表面的膜起到了良好的隔水作用。虽然随着温度的升高,这两种配方的复原率渐渐增强,但幅度很小。对于内部草莓丁的质构有着良好的保护作用。而在 80 °C 时复原陡然变强,也证明草莓丁在如此高温下,外层的膜被强烈破坏,不再起到隔水作用。因此,

此产品在适宜食用的较低温度载体中基本可以保证质构,也应建议在该产品的食用方法上,注明不宜沸水冲泡。

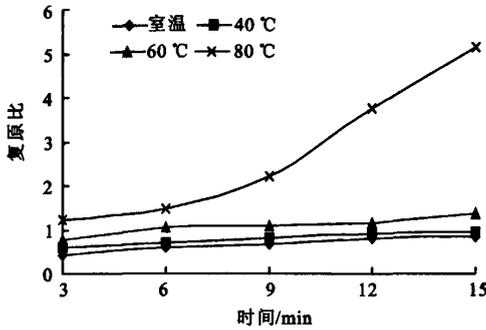


图 2 草莓丁在不同温度不同时间下的复原比

Fig.2 Rehydration ratio of strawberry pieces at different temperature and time

为了使涂膜效果更清晰,试验测定了未涂膜草莓丁在室温下不同时间的复原比,见图 3。由图可知,未涂膜草莓丁在室温下 1 min 之内复原比已基本达到最大值,复原比值接近 6.50,远远大于涂膜草莓丁在室温下 1 min 的复原比。

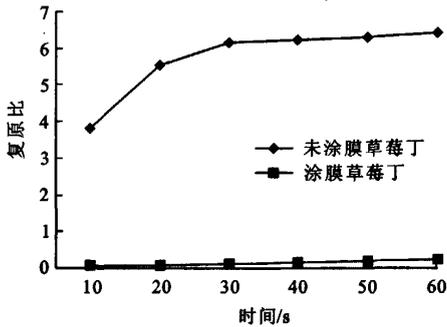


图 3 未涂膜草莓丁和涂膜草莓丁在室温下的复原曲线

Fig.3 Rehydration curve of FD strawberry pieces and coating strawberry pieces

当然,热风干燥使草莓丁有一定程度的皱缩,而皱缩会使草莓丁的复原比下降,因此,作空白试验予以比较。空白试验是将真空冷冻干燥后的草莓丁浸于去离子水中,时间为 1 s,立即取出沥干,摆放于塑料器皿中,放入 50 °C 的恒温鼓风干燥箱热风干燥相同时间,干燥后取出待用。对于空白试验得到的草莓丁,取不同温度下测定 3 min 的复原比作个比较,数据见表 4。

由图 4 可知,在同样的温度和时间条件下,空白样的复原比约为涂膜样的复原比的两倍。但同时也发现,载体温度越高,差距越小,在室温下,空白样的复原比比涂膜草莓丁的复原比高 96.67%;

但在 80 °C 时,前者的复原比只比后者高 20.35%。所以,当温度高达 80 °C 时,膜的作用大大减弱,这与前面根据涂膜草莓丁在不同温度不同时间下的复原比得出的结论是一致的。

表 4 空白样和涂膜样在不同温度下 3 min 的复原比
Tab.4 Rehydration ratio of control sample and coating sample at different temperature in 3 min

| 温度/°C | 空白样复原比 | 涂膜样复原比 |
|-------|--------|--------|
| 室温 | 0.824 | 0.419 |
| 40 | 0.996 | 0.593 |
| 60 | 1.223 | 0.783 |
| 80 | 1.461 | 1.214 |

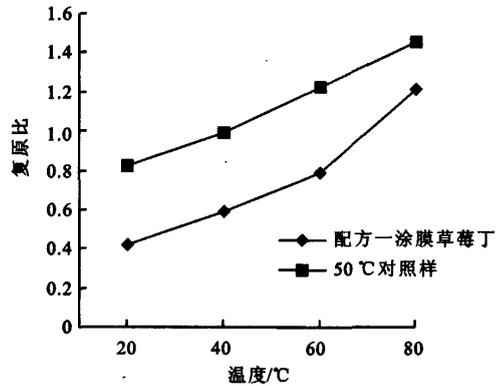


图 4 空白样和涂膜草莓丁在不同温度下的复原曲线
Fig.4 Rehydration curve of the control and the coating strawberry pieces at different temperature

3 结 语

1)以乳清蛋白为主要成膜物质的膜溶液涂膜冻干草莓丁,综合复原比和色泽两个指标,最佳配比为:乳清蛋白质量分数 10%、甘油质量分数 3%、乳糖质量分数 10%、干燥温度 50 °C。乳糖的添加有利于草莓干燥过程中色泽的保护。试验中测得的未涂膜草莓丁的比色 A 值为 0.463,而最佳配比干燥出的草莓丁的比色 A 值是 0.255。由此可见,草莓在热风干燥过程中花色苷有很大的损失,可以通过在膜溶液中添加非重金属离子^[8]、环糊精等来给草莓丁护色。

2)热风干燥虽然大大降低了草莓丁的复原比,但干燥时间过长,最短时间也需要 6.5 h,当然,这与涂膜方法有关,如改用喷淋涂膜会缩短干燥时间,但热风干燥的草莓丁样品具有明显的 AD 产品外观,因此可用其它干燥方法代替热风干燥,例如

沸腾床干燥法^[9],此法已进行了初步的研究,干燥时间约在30 min左右,由于时间大大缩短,草莓的色泽也得到了很大程度的保存。

3)在60℃或低于60℃时,草莓丁外表面的膜起到了良好的隔水作用,草莓丁的复原比大大下降;而在80℃时复原比陡然变大,也证明草莓丁在

如此高温下,外层的膜被强烈破坏,隔水作用很弱。因此,此产品适合在液态载体温度60℃或低于60℃时冲泡食用,并不适宜沸水冲泡。

4)干燥后的草莓丁,应测定其贮藏性。由于花色苷不稳定,在光照及有氧条件下易降解,所以最好采用铝铂袋真空包装或充气包装。

参考文献(References):

- [1] 盛小娜,王璋.不同预处理方式对速冻草莓花色苷含量的影响[J].冷饮与速冻食品工业,2006,12(4):16-18.
SHENG Xiao-na, WANG Zhang. Anthocyanin content of frozen strawberry tissues[J]. *Beverage & Fast Frozen Food Industry*, 2006, 12(4): 16-18. (in Chinese)
- [2] 蔡福带,付娟妮.冻干草莓的工业化生产工艺研究[J].西北农业学报,2004,13(1):93-97.
CAI Fu-dai, FU Juan-ni. Research on the industrialization production technique of strawberry by vacuum freeze drying [J]. *Act Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 2004, 13(1): 93-97. (in Chinese)
- [3] 罗永康,江焱.乳糖在脱水蔬菜加工中的应用[J].食品科技,2007(1):73-74.
LUO Yong-yan, JIANG Yan. Application of lactose in the dehydrated vegetable[J]. *Food Science and Technology*, 2007 (1): 73-74. (in Chinese)
- [4] 姚晓敏,孙向军.乳清蛋白成膜工艺的研究[J].上海交通大学学报,2004(4):366-372.
YAO Xiang-min, SUN Xiang-jun. Study on whey protein filming on technology[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2004(4): 366-372. (in Chinese)
- [5] 胡庆国,张慧.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 Food Science and Biotechnology*, 2006, 25(2): 28-32. (in Chinese)
- [6] 霍琳琳,苏平.分光光度法测定桑葚总花色苷含量的研究[J].酿酒,2005,32(4):88-89.
HUO Lin-lin, SU Ping. Measurement of total anthocyanins in mulberry by UV-visible spectroscopy[J]. *Liquor Making*, 2005, 32(4): 88-89. (in Chinese)
- [7] 刘清斌.鲜萝卜条干燥特性与机理研究[J].食品工业科技,2004,25(10):66-68.
LIU Qing-bin. The property and mechanism of sliced fresh radish bar during drying[J]. *Food Science and Technology*, 2004, 25(10): 66-68. (in Chinese)
- [8] 刘存瑞,胡喜兰.草莓色素的理化性质研究[J].食品工业科技,2002(2):38-39.
LIU Cun-rui, HU Xi-lan, et al. Studies on physical and chemical nature of strawberry[J]. *Food Science and Technology*, 2002(2): 38-39. (in Chinese)
- [9] 鲁林平,叶京生.射流喷动流化床实验研究[J].化工装备技术,2003,24(6):4-7.
LU Lin-ping, YE Jing-sheng. Studies on the experiment of spout-fluid beds[J]. *Chemical Equipment and Technology*, 2003, 24(6): 4-7.
- [10] John N C, Niamh B S, Frank J M, et al. Modeling the effect of glycerol on the moisture sorption behavior of whey protein edible[J]. *Journal of Food Engineering*, 2000, 43: 25-30.
- [11] Aristippos Gennadios, Milford A. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods; a review[J]. *Academic Press Limited*, 1997, 30: 337-350.

(责任编辑:朱明)