

不同干燥法对脱水-复水海带质量影响的研究

王应强^{1,2}, 张 愨^{1*}

(1. 江南大学食品学院, 无锡 214122; 2. 陇东学院农林科技学院, 庆阳 745000)

摘要: **目的** 研究不同干燥法对脱水-复水海带质量的影响。**方法** 分别采用红外加热对流干燥(IRD)、热风干燥(AD)和微波真空干燥 (MVD)对海带片进行脱水处理, 分析比较脱水方法和条件对产品的形状、色泽、质地、复水特性、微结构以及感官质量的影响。**结果** IRD 的产品在体积、长度与厚度方向的干缩显著大于 MVD 和 AD 的产品($P < 0.05$); 5.0~6.0 μm IRD 的海带形状恢复能力与 MVD 和 AD 的产品无显著差异($P > 0.05$), 并且好于 2.5~3.0 μm 的样品。MVD 后的海带复水最快, 稳定的复水比最大, 5.0~6.0 μm IRD 的样品与 AD 的样品具有相似的复水特性。IRD 和 AD 后复水的海带产品细胞结构最接近于新鲜海带。2.5~3.0 μm IRD 后的海带产品硬度要显著高于 5.0~6.0 μm 的产品($P < 0.05$), 后者硬度与 AD 后样品以及 MVD 后样品是可比的($P > 0.05$)。IRD 后海带的感官质量显著高于 AD 后样品($P < 0.05$), MVD 后海带总体可接受得分最低; 复水后 5.0~6.0 μm IRD 的海带产品的总体可接受性与 AD 的样品是可比的, 并且显著低于 2.5~3.0 μm IRD 的海带。**结论** 5~6 μm IRD 和 AD 的海带品质好, 适合海带的脱水加工。

关键词: 干燥方法; 海带; 质量

Effect of different drying methods on quality of dehydrated- rehydrated kelp

WANG Ying-Qiang^{1,2}, ZHANG Min^{1*}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, 214122, China;
2. College of Agriculture and Forestry, Longdong University, Qingyang, 745000, China)

ABSTRACT: Objective To study the effect of different drying methods on quality of dehydrated-rehydrated kelp. **Methods** Shredded kelp was dried using infrared heating convection drying (IRD), air drying (AD) and microwave-vacuum drying (MVD) methods and quality attributes of the dried products were compared in terms of shape, rehydration property, color, texture, sensory quality and microstructure. **Results** The IRD products had more shrinkage than those of MVD and AD ($P < 0.05$) in the volume, length and thickness. After rehydration, the restored capacity of the 5.0~6.0 μm IRD products in shape was comparable to those of the MVD and AD's ($P > 0.05$), but better than that of 2.5~3.0 μm IRD products. Among all the products, the MVD products reached the highest rehydration ratio at the fastest rate while the 2.5~3.0 μm IRD products retained the least rehydration ratio at the slowest rate; the 5.0~6.0 μm IRD products showed the similar rehydration property with those of the AD ones. The IRD and AD products showed the better restored capacity than the MVD ones in microstructure. The hardness of the 5.0~6.0 μm IRD products was comparable to the MVD and AD ones ($P > 0.05$), but significantly lower than that of 2.5~3.0 μm IRD products ($P < 0.05$). The IRD products had the

基金项目: 江苏省产学研联合创新资金-前瞻性联合研究项目(SBY201220138)

Fund: Supported by the Industry-Academia Cooperation Innovation Fund Projects of Jiangsu Province (SBY201220138)

*通讯作者: 张愨, 工学博士, 教授、博士生导师, 主要研究方向为生鲜食品加工与贮藏。E-mail: min@jiangnan.edu.cn

*Corresponding author: ZHANG Min, Professor, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, No.1800, Lihu Road, Wuxi 214122, China. E-mail: min@jiangnan.edu.cn

highest sensory score followed by the AD one while the MVD products were the least one. after rehydration the sensory score of the 5.0~6.0 μm IRD products was comparable to that of the AD ones ($P > 0.05$), but significantly higher than that of the 2.5~3.0 μm IRD products ($P < 0.05$). **Conclusion** Both the 5.0~6.0 μm IRD and AD could produce the dried kelp with the good quality and they were suitable for processing the dried kelp.

KEY WORDS: drying method; kelp; quality

海带是我国重要的经济海藻,产量居世界首位,据统计^[1],2010与2009年分别为88.3万吨和82.7万吨,分别占藻类产品的56.9%和56.8%;海带素有“海上之蔬”、“含碘冠军”的美誉^[2],主要用作食品及海藻酸盐的提取。脱水是海带加工保藏的重要手段,目前市场上的脱水海带主要以盐干产品为主,所采用的加工手段粗放,脱水技术落后,质量层次不齐且偏低。所以急需低能耗的高效脱水技术来缩短干燥时间,改善产品质量。

工业化食品脱水技术经历了四个发展阶段,以高真空、流化态、微波、射频、“偏流窗”薄层干燥以及组合干燥技术为特征的第四代节能干燥技术,代表了食品干燥加工领域的最新发展方向。第四代食品脱水技术的发展趋于强烈依赖最终产品质量属性与被加工原料物理化学特性的个性化发展阶段,在食品脱水加工的节能方面有巨大的提升空间^[3,4]。脱水技术和在脱水与复水期间产品发生的物理化学变化显著的影响脱水产品的质量,同样的原料将生产出完全不同的产品^[5]。目前作者尚未见报道脱水方法对脱水海带复水前后品质影响的研究。因此,本文研究了红外加热对流干燥(IRD)、热风干燥(AD)和微波真空干燥(MVD)对海带片形状、色泽、质构、复水特性、微结构以及感官质量的影响。

1 材料与amp;方法

1.1 实验原料

盐腌的海带购自无锡当地超市,流动水中脱盐24 h后切成海带条,沥去表面水分后备用,海带条的厚度为 3.1 ± 0.9 mm。

1.2 实验仪器与amp;设备

红外加热干燥设备,不同波长的红外加热管(2.5~3.0 μm 与5.0~6.0 μm):泰州圣泰科红外科技有限公司;微波真空干燥机:江南大学机械学院设计制造;FA1104电子天平:上海天平仪器厂;微波真

空干燥机:江南大学机械学院设计制造;色差计CR-400:日本Dnica minolt公司制造;游标卡尺(0~150 mm):上海九量五金工具有限公司;螺旋测微仪(0~25 mm):上海九量五金工具有限公司;TA-XT2质构仪:英国Stable Micro System Co公司;Hitachi S4800型扫面电子显微镜:日本日立公司。

1.3 实验方法

1.3.1 干燥实验

1.3.1.1 红外加热干燥(IRD)

每次干燥实验选择40片均一海带条(2 cm \times 8 cm)以薄层的形式摆放在载物网盘上,海带的装载量为210 g。在本实验中,风速为0.5 m/s的情况下分别在红外线波长2.5~3.0 μm (IRD1)和5.0~6.0 μm (IRD2)的条件下干燥,海带在红外线波长为2.5~3.0 μm 的情况下,分别在风速为0、0.5、1.0、1.5、2 m/s的情况下干燥。载物网盘与红外加热管之间的距离固定为14 cm,干燥箱体中心温度设定在50 $^{\circ}\text{C}$,6根总功率是2 kW的红外管同时工作。

1.3.1.2 微波真空干燥(MVD)

海带条以薄层形式摆放在四氟乙烯圆盘内置于实验室规模的微波真空干燥器内脱水,每次装载量固定为100 g,绝对压力为5 kPa,初始功率密度为2.1 W/g。

1.3.1.3 热风干燥(AD)

海带条以薄层形式摆放在网盘上,置于预热到设定温度的热风干燥箱内干燥,装载密度与红外干燥室一致,热风温度和风速分别设定在50 $^{\circ}\text{C}$ 和0.5 m/s。

干燥至物料水分含量低于0.25 kg/kg干物质时停止^[6],所有的干燥实验均进行三次。

1.3.2 实验指标及测定方法

1.3.2.1 水分含量

物料的初始水分含量按照AOAC的方法执行,在105 $^{\circ}\text{C}$ 干燥样品至恒重,重复测定三次^[7]。经测定,海带的初始水分含量为 22.08 ± 0.03 kg/kg(干基, d.b.)。

1.3.2.2 复水特性

干燥的海带片以1:50的固液比浸泡在20℃的去离子水中复水13 min, 在复水的不同时间, 样品被拿出在布氏漏斗上真空除水30 s并称重, 复水比(RR)用来描述复水特性并按下式计算:

$$RR_t = \frac{W_t}{W_d} \quad (1)$$

式中 W_d 和 W_t 分别是复水前和复水 t 时间的样品质量(kg), 重复测定三次。

1.3.2.3 形状变化

干燥前后样品的长度和厚度分别用游标卡尺和螺旋测微器测定, 每次试验测量15个样品, 单个样品的厚度在不同位置测量5次, 尺寸变化以长度和厚度方向的变化百分比表示, 并按照以下方程计算:

$$P_t = \frac{T-T_0}{T_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$P_l = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中 P_t 和 P_l 分别为样品在厚度和长度方向的变化百分比; T_0 和 T 分别为样品干燥前后的厚度(mm); L_0 和 L 分别为样品干燥前后的长度(mm);

样品干燥前后的体积以甲苯作为介质, 采用浮力法测定^[8], 每次试验测量15个样品, 相对体积根据样品干燥前后的体积比按如下公式计算:

$$R_v = \frac{V}{V_0} \quad (4)$$

式中 R_v 为相对体积; V 和 V_0 分别是样品干燥前后的体积(mL)。

1.3.2.3 色泽测量

采用美能达CR-400色差计测定干燥和充分复水的样品的表面中心色泽, 测定前用白板校正色差计, 读数以CIE1976色度空间值 L^* (亮→暗: 100→0), a^* (绿→+红), b^* (兰→黄+)表示。色彩角(h°)和彩度(C^*)根据测定值按如下公式计算:

$$h^\circ = \arctg(b^*/a^*) (a^* > 0, b^* > 0)$$

$$\text{or } h^\circ = 180^\circ + \arctg(b^*/a^*) (a^* < 0, b^* > 0) \quad (5)$$

$$\text{or } h^\circ = 360^\circ + \arctg(b^*/a^*) (a^* > 0, b^* < 0)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (6)$$

色彩角代表色调, 0°、90°、180°和270°分别代表酱红色调、黄色调、蓝绿色调和蓝色调。色度测

量颜色的饱和度。重复测量15次。

1.3.2.4 穿刺力测定

英国TA-XT2型质构分析仪用来测定复水样品的质构, 一个2 mm的圆柱形探头以1 mm/s的速度刺穿样品, 最大的穿刺力(g)作为质构参数。每次实验测量10片复水样品, 并以新鲜样品作为对照^[9]。

1.3.2.5 微结构分析

日本日立公司Hitachi S4800型扫描电子显微镜用来观察复水样品的微结构, 并与干燥前样品的结构比较, 观察样品在微结构上的恢复能力。加速电压为1 kV, 在300倍的放大倍数下拍照。

1.3.2.6 感官评定

干燥和复水烹调的样品由10个有购买与消费海带习惯的人组成的评估小组分别评估, 复水的海带条在沸水中烹调8 min后趁热评估。每种样品每人三份, 每份样品采用3位数字随即编码, 每一份含有5个海带条。这些鉴别员根据个人喜好在1-9分的范围内就干燥产品与复水烹调后样品的总体可接受性进行评分, 1为极其不喜欢, 5为既不是不喜欢也不是喜欢, 9为极其喜欢, 5分是可接受程度的一个下限值, 同时就产品做一些评论和推荐^[10]。

1.3.3 数据处理

数据用SPSS 15.0.1进行统计学分析, 表示为 $\bar{x} \pm s$, 均值之间的显著性采用Duncan's Multiple Range test, 当 $P \leq 0.05$ 时认为平均值之间存在统计学上的显著差异。

2 结果与分析

2.1 干燥和复水处理对产品形状的影响

以干燥前的样品作为基准, 各种干燥处理对复水前后海带形状的影响被评估。海带在不同干燥模式下在厚度、长度和体积上引起的变化如图1a。由图可知, 各种干燥处理都引起了海带在体积、厚度与长度方向上发生了干缩。在红外加热干燥模式下, 海带的体积干缩91%~92%; 在长度方向, 海带干缩25%~27%, 在厚度方向, 海带干缩90%~91%, 这表明干缩主要在厚度方向上发生, 产品在体积、长度与厚度方向的干缩受风速和波长的影响不大($P > 0.05$); 红外加热干燥的海带在体积、厚度与长度方向上的干缩显著大于微波真空干燥和热风干燥的产品($P < 0.05$), 微波真空干燥的样品干缩是最小的。

图 1b 显示了各种干燥条件脱水的海带复水后的形状变化百分比, 与干燥前的样品相比, 所有样品体积、厚度与长度变化百分比均显著增加($P < 0.05$); 说明这些产品在复水后均具有一定程度的恢复能力, 但恢复的程度受干燥方法以及条件的影响。红外波长显著影响复水海带的恢复能力, 2.5~3.0 μm 红外波长加热干燥的海带恢复能力要差于 5.0~6.0 μm 的样品。

2.2 干燥处理对复水特性的影响

复水是使物料恢复到原来的新鲜状态, 通常用来衡量干燥过程对物料的伤害程度。各种干燥海带的复水曲线如图 2 所示。

由图 2 可知, 各种样品以降速率的形式达到稳定的复水比, 但复水速率和复水比显著的受干燥方法与条件的影响。

MVD 干燥的海带复水最快, 稳定的复水比最大(12.7)。5.0~6.0 μm 红外波长干燥的样品与热风干燥

的具有相似的复水特性, 他们稳定状态的复水比接近 12.2, 且复水速率和复水比大于 2.5~3.0 μm 红外波长干燥的样品。风速对红外干燥海带的复水特性没有显著的影响($P > 0.05$)。所有样品的复水比都低于其理论上的复水比 17.50。

2.3 复水产品的微结构观察

为了考察样品在复水后微结构上的恢复能力, 在不同波长下加热干燥的海带在复水稳定时微结构被观察, 并和新鲜样品以及微波真空干燥与热风干燥的样品进行比较, 结果如图 3 所示。

由图 3 可知, 所有的干燥操作导致复水样品在微结构上产生了不同程度的变化。与新鲜样品的微结构相比, 红外加热干燥的复水海带产品的细胞结构尽管有不同程度的皱缩(图 3b₁, 3b₂), 但依然显示出良好的恢复能力, 其与热风干燥的复水样品十分相似(图 3b₃), 明显好于微波真空干燥的样品(图 3b₄)。

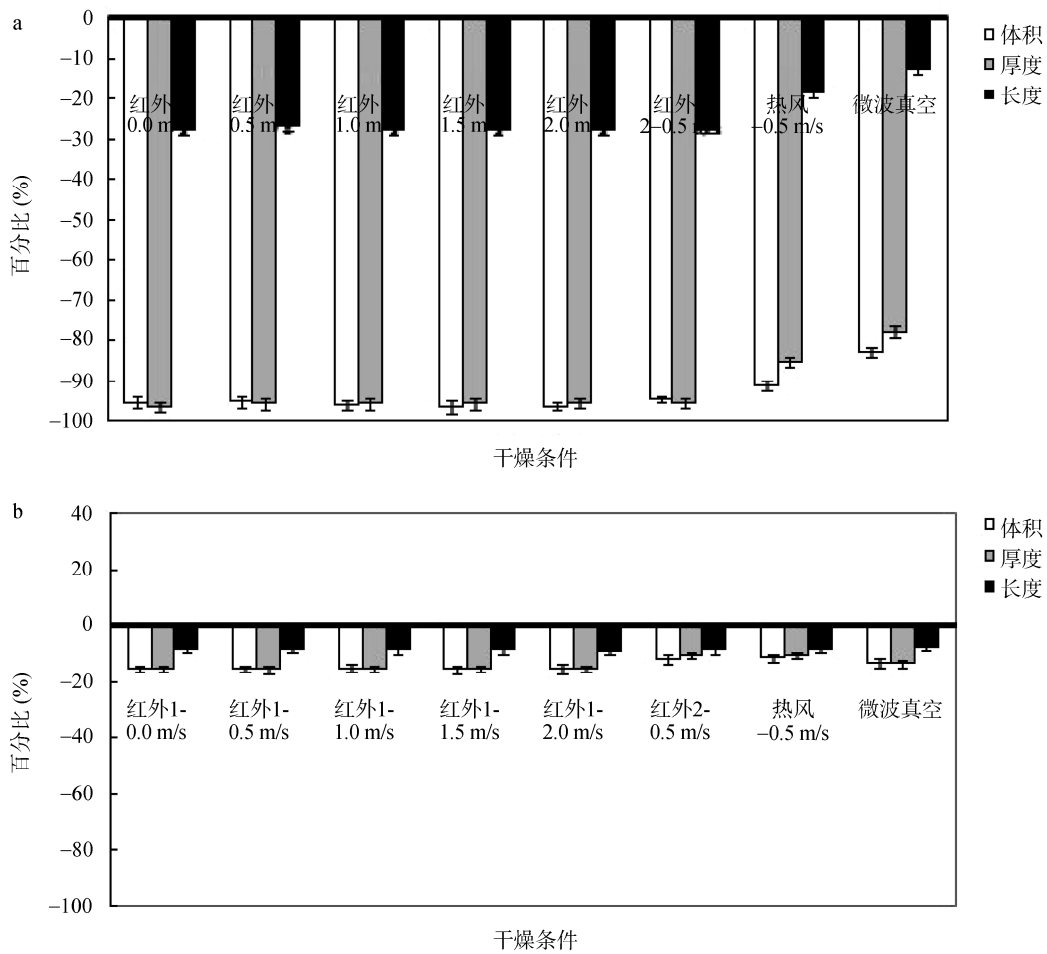


图 1 海带在复水前(a)后(b)的形状变化(1: 2.5~3 μm , 2: 5~6 μm)
 Fig. 1 Shape changes of dried (a) and rehydrated dried kelp (b) (1: 2.5~3 μm , 2: 5~6 μm)

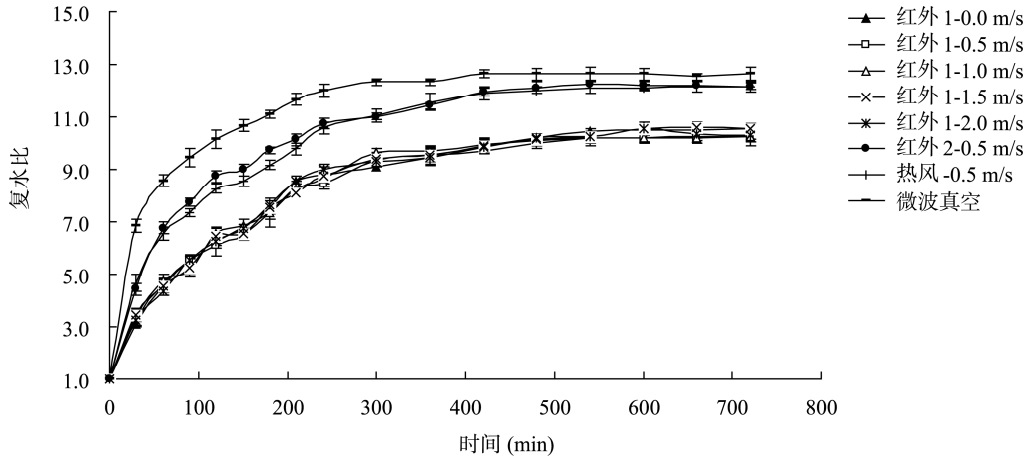


图 2 受脱水方法与条件影响的脱水海带的复水曲线

Fig. 2 Rehydration curve of dried kelp affected by drying methods and conditions

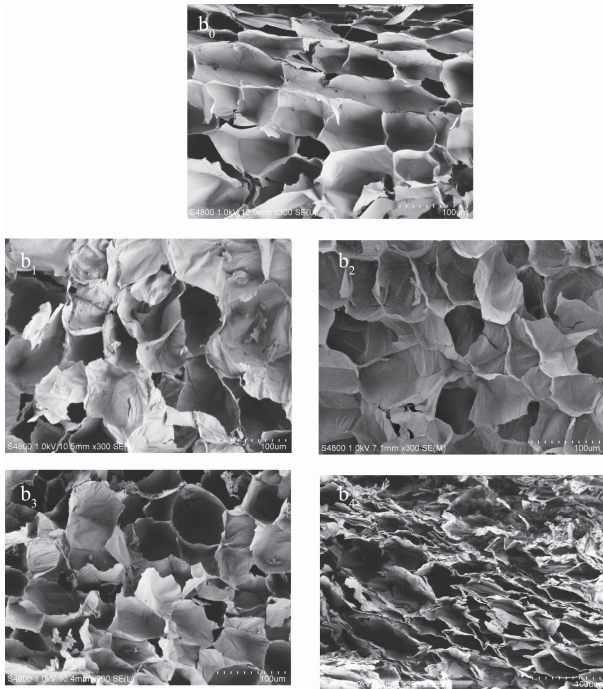


图 3 受干燥方法影响的复水海带的扫描电镜图

(下标 0、1、2、3、4 分别代表新鲜样品、2.5~3.0 μm 红外波长加热干燥、5.0~6.0 μm 红外波长加热干燥、热风干燥和微波真空干燥的样品)

Fig. 3 Scanning electron microscopy figures of rehydrated dried kelp affected by different drying methods

(0, 1, 2, 3, 4: fresh, 2.5~3.0 μm IRD, 5.0~6.0 μm IRD, AD, MVD samples)

2.4 色差测量

表 1 是干燥海带复水前后的色值测量结果。干燥

处理引起了海带 L^* 和 b^* 值的显著升高和 a^* 与 C^* 的显著降低, 说明干燥后产品的亮度升高, 彩度降低, 在红外加热干燥与热风干燥的产品中色调则由干燥前的绿变为洋红, 而 MVD 的产品仍然为绿色调。风速和波长对色差参数无显著影响。除了亮度, 红外加热干燥的产品各色差参数较热风干燥的产品更接近于干燥前的样品, 其中, 微波真空干燥的样品是最接近的, 这说明红外加热干燥在海带原有色泽的保留上要优于热风干燥, 但劣于微波真空干燥。复水后, 在所有复水产品中, 不论风速和波长, 红外加热干燥的海带的 L^* 值与热风干燥的样品无显著差异 ($P > 0.05$), 但显著低于微波真空干燥的样品, a^* , b^* 和 C^* 值介于热风干燥的和微波真空干燥的样品之间, 除了热风干燥的样品, 其余复水产品比干燥前的样品更亮更绿, 彩度指数也高。

2.5 复水产品质构测量

干燥处理对复水海带质构(最大穿刺力)的影响见图 4。由图 4 可知, 所有的干燥处理都导致复水产品硬度显著上升 ($P < 0.05$), 红外加热波长对海带的质构具有显著的影响 ($P < 0.05$), 2.5~3.0 μm 红外加热干燥的海带产品的硬度要显著高于 5~6.0 μm 的产品 ($P < 0.05$), 后者的硬度和热风干燥的样品以及微波真空干燥的样品是可比的 ($P > 0.05$)。风速对红外干燥样品的质构没有显著的影响 ($P > 0.05$)。原料种类、蛋白质变性的程度、

表 1 干燥海带复水前后的色值
Table 1 Color parameters of dried products before and after rehydration

处理	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
新鲜	24.83±0.35 ^d	-3.64±0.12 ^d	10.73±0.15 ^c	11.36±0.18 ^c	108.37±0.94 ^b
IRD1-0	30.65±1.24 ^b	0.98±0.19 ^b	-0.02±0.02 ^e	1.34±0.78 ^f	309.89±1.21 ^a
IRD1-0.5	29.23±1.63 ^b	0.89±0.13 ^b	-0.01±0.01 ^e	1.47±0.32 ^f	310.14±2.58 ^a
IRD1-1.0	31.12±1.43 ^b	0.87±0.05 ^b	-0.03±0.07 ^e	1.45±0.55 ^f	309.89±2.37 ^a
IRD1-1.5	30.87±1.06 ^b	0.99±0.10 ^b	-0.04±0.09 ^e	1.51±0.05 ^f	313.89±0.76 ^a
IRD1-2.0	31.83±1.34 ^b	0.92±0.21 ^b	-0.05±0.04 ^e	1.34±0.61 ^f	311.89±0.54 ^a
IRD2-0.5	29.93±1.21 ^b	0.99±0.13 ^b	-0.07±0.01 ^e	1.54±0.91 ^f	312.89±0.37 ^a
AD	30.36±0.21 ^b	1.45±0.21 ^a	-1.59±0.43 ^f	2.18±1.15 ^f	302.88±0.46 ^a
MVD	37.01±0.86 ^a	-1.14±0.16 ^c	4.97±0.13 ^d	5.10±0.18 ^e	103.02±1.66 ^b
复水后					
IRD1-0	25.83±1.02 ^d	-4.15±0.11 ^e	13.13±0.21 ^b	14.54±0.23 ^b	106.05±0.23 ^b
IRD1-0.5	25.57±0.98 ^d	-4.32±0.14 ^e	13.61±0.32 ^b	14.89±0.45 ^b	107.34±0.87 ^b
IRD1-1.0	25.89±0.25 ^d	-4.34±0.23 ^e	13.34±0.43 ^b	14.54±0.65 ^b	107.67±0.55 ^b
IRD1-1.5	26.58±0.29 ^d	-4.16±0.17 ^e	13.45±0.24 ^b	14.46±0.92 ^b	106.89±0.12 ^b
IRD1-2.0	25.63±0.54 ^d	-4.25±0.14 ^e	13.44±0.15 ^b	14.13±0.64 ^b	106.25±0.54 ^b
IRD2-0.5	25.53±1.09 ^d	-4.18±0.11 ^e	13.63±0.35 ^b	14.26±0.43 ^b	107.05±0.37 ^b
AD	26.77±1.21 ^{c,d}	-3.60±0.19 ^d	9.28±0.55 ^c	9.96±0.95 ^d	111.23±0.33 ^b
MVD	28.89±1.21 ^c	-4.57±0.19 ^c	16.34±0.55 ^a	16.98±0.95 ^a	105.86±0.37 ^b

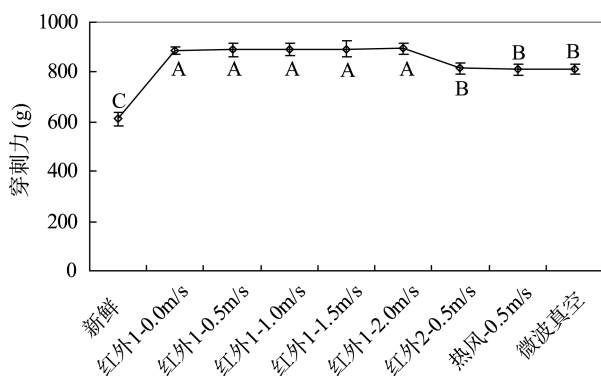


图 4 受干燥方法影响的复水海带的质构
(1: 2.5~3 μm, 2: 5~6 μm)
Fig. 4 Texture of rehydrated dried kelp
(1: 2.5~3 μm, 2: 5~6 μm)

表面结壳以及结构变化都会引起复水的干燥产品质量发生不同程度的变化^[9]。

2.6 干燥和复水产品的感官质量

干燥产品以及复水产品感官质量评估的结果如图 5 所示。由图 5 可知,微波真空干燥的海带复水前的总体可接受性得分最低(接近于 5 分)。其余产品复水前后的总体可接受性得分都在 7 分以上,红外干燥的海带复水前的感官质量显著高于热风干燥的样品($P<0.05$),但复水以后 2.5~3.0 μm 红外加热干燥的海带产品的质量显著的低于 5.0~6.0 μm 的产品,后者与热风干燥的样品是可比的,这主要由于 2.5~3.0 μm 红外波长干燥的海带较硬的质构所致。

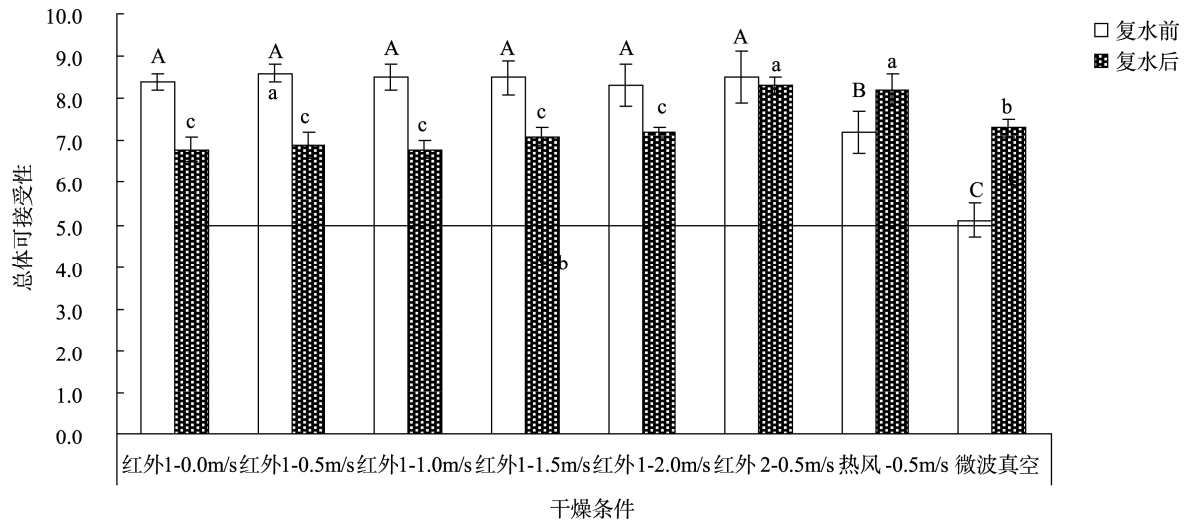


图5 受干燥方法影响的复水海带的感官质量(1: 2.5~3 μm , 2: 5~6 μm)

Fig. 5 Sensory quality of dried and rehydrated kelp (1: 2.5~3 μm , 2: 5~6 μm)

3 结论

海带干燥前后的品质强烈地取决于干燥条件和方 法, 在红外加热对流干燥中, 海带的品质呈现出强 烈的波长依赖性, 而受风速的影响不显著; 在 5~6 μm IRD 的产品与 AD 的具有可比的质量, 但好于 MVD 的产品。

参考文献

- [1] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009, 2010.
Fisheries Bureau, Ministry of Agriculture. Fishery Yearbook in China [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2009, 2010.
- [2] 刘树立, 王春艳, 王华. 我国海带的加工利用和开发[J]. 食品与药品, 2007, 9(5A):34-36.
Liu SL, Wang CY, Wang H. Utilization and Development of Laminaria japonica in China [J]. Food Drug, 2007.9(5A): 34-36.
- [3] Vega-Mercado H, Góngora-Nieto MM, Barbosa-Cánovas GV. Advances in dehydration of foods [J]. J Food Eng, 2001, 49: 271-289.
- [4] 徐小东, 崔政伟. 农产品和食品干燥技术及设备的现状和发展[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 171-174.
Xu XD, Cui ZW. Current situation and development of drying technology and equipment for agriculture and food products [J]. Trans Chin Soc Agr Mach, 2005, 36(12):171-174.
- [5] Krokida MK, Philippopoulos C. Rehydration of dehydrated foods [J]. Dry Technol, 2005, 23: 799-830.

[6] NYT1712-2009 干制水产品[S].

NY/T 1712-2009 Dried Aquatic Product [S].

[7] AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (16th ed.) [S].

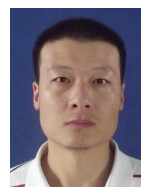
[8] Yan ZY, Sousa-Gallagher MJ, Oliveira FAR. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying [J]. J Food Eng, 2008, 84: 430-440.

[9] Vega-Gálvez A, Miranda M, Clavería R, *et al.* Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*) [J]. LWT-Food Sci Technol, 2011, 44: 15-23.

[10] Lin TM, Timothy DD, Scaman CH. Physical and sensory properties of vacuum microwave dehydrated shrimp [J]. J Aquat Food Prod Technol, 1999, 8: 41-53.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



王应强, 工学博士, 副教授, 主要研究方向为脱水食品的工艺开发与技术创新。
E-mail: sxxds2008@163.com



张慙, 工学博士, 教授、博士生导师, 主要研究方向为生鲜食品加工与贮藏。
E-mail: min@jiangnan.edu.cn