

研究论文

南极磷虾干燥特性的研究

张军文^{1,2} 郑晓伟^{1,2} 沈建¹ 欧阳杰^{1,2} 高翔^{1,2} 周春生^{1,2} 谈佳玉¹

(¹农业部远洋渔船与装备重点实验室, 上海 200092;

²中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092)

摘要 南极磷虾资源量大且营养丰富, 是人类赖以生存的后备蛋白库, 如何高效利用其资源已经成为当今科技的重点和难点。通过陆上实验, 设定温度在 120℃ 的恒定干燥条件下, 对其进行热风干燥, 来模拟船载南极海域条件下, 南极磷虾的干燥曲线和干燥速率曲线。结果显示, 在恒定干燥条件下, 其干燥速率是 $0.497\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$, 临界含水率为 $0.56\text{g}\cdot\text{水}\cdot\text{g}\cdot\text{干物料}^{-1}$; 恒定干燥时间约占全部时间的三分之一。当低于临界含水率时, 物料就进入了降速干燥阶段。此外, 南极磷虾的干燥速率还与干燥温度和物料的烘干表面积有关; 提高干燥温度和表面积都可加快干燥速率, 这对于南极磷虾粉的设备设计、实际生产都有着重要的参考和指导意义。

关键词 南极磷虾 干燥 干燥曲线 干燥速率曲线

doi: 10.13679/j.jdyj.20170025

0 引言

南极磷虾是一种小型海洋浮游甲壳类动物, 隶属于节肢动物门、甲壳纲、软甲亚纲、磷虾目、磷虾科、磷虾属^[1]。其主要分布于南大洋南极辐合区以南的南极海域之中, 是一类生活在高纬度、低温度环境下的冷水性虾类, 据调查南极磷虾数量约为 6.5—10.0 亿 t, 生物量巨大^[2-5]。南极磷虾营养丰富, 除富含蛋白质外, 含有人体所必须的全部氨基酸, 富含亚麻油、亚麻酸等不饱和脂肪酸及钙、钾、镁、锶等多种矿物质元素, 且类胡萝卜素色素含量高^[6]。同时也含有 7 种人体必需氨基酸, 含量约占蛋白总量的一半, 并且富含以 EPA 和 DHA 为代表的 Omega-3 成分及其他微量元素^[2], 是人类赖以生存的后备蛋白库^[7-10]。

如何有效地开发利用南极磷虾资源已经成为当今研究的重点和热点^[11]。

南极磷虾虽然营养价值高, 但其船载加工受到一些因素的影响和制约。南极地区地处地球最南端, 气候复杂多变, 海况异常。捕捞期和行船周期都较长, 对船只和船员都形成很大的挑战。此外, 南极磷虾体内含有一种低温酶, 该酶能高效迅速地降解蛋白质, 使磷虾品质在短时间内迅速下降^[12]。鉴于以上几点原因, 南极磷虾的初加工都在随行的捕捞船上进行, 其加工的产品(南极磷虾粉和冷冻南极磷虾)是南极船载加工的两种主要产品。其中南极磷虾粉是以捕捞新鲜的南极磷虾作为原料, 经过蒸煮、压榨、干燥、粉碎等工艺而制成的具有一定营养成分和品质特性的一种产品^[13]。当前国内船载南极磷虾粉的加工技术基本是参考鱼粉的加工设备或者鱼粉、虾粉的加

[收稿日期] 2017 年 7 月收到来稿, 2017 年 11 月收到修改稿

[基金项目] 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(2016HY-ZD0901)、农业部远洋渔船与装备重点实验室开放基金(2010A04)资助

[作者简介] 张军文, 男, 1983 年生。助理研究员, 研究方向为水产品加工。E-mail: zhangjunwen200511@163.com

[通信作者] 谈佳玉, E-mail: tanjiayu@fmiri.ac.cn

工工艺, 关于鱼粉的报道有很多, 如彭侃等^[14]研究发现热处理温度可能是影响鱼粉品质的主要因素。Bellagha 等^[15]利用热风干燥沙丁鱼(初始含水率 70%、含脂肪 6%、大小为 $30\text{ g}\cdot\text{个}^{-1}$), 在 $35\text{—}50^\circ\text{C}$ 温度下干燥到含水率(湿基)为 14%, 需 $50\text{—}110\text{ h}$; Sankat 等^[16]使用热风干燥鲨鱼块(尺寸为 $10\text{ cm}\times 5\text{ cm}\times 1\text{ cm}$ 、单层干燥), 在风湿为 $40\text{—}60^\circ\text{C}$ 时约需 70 h ; Prachayawarakorn 等^[17]在 $120\text{—}140^\circ\text{C}$ 温度下, 用热风干燥虾片(尺寸为 $0.5\text{ cm}\times 0.5\text{ cm}\times 0.2\text{ cm}$ 、2% NaCl 煮 15min), 干燥时间为 $70\text{—}110\text{ min}$ 。但是目前关于南极磷虾粉的干燥技术的报道和研究相对较少, 而传统的鱼粉干燥工艺又很难保证南极磷虾产品的干燥质量和大规模工业化的需求, 所以对其干燥特性工艺的研究, 对于提升我国南极磷虾的干燥技术水平, 开辟国外干燥市场有着重要的战略意义。

干燥通常是指将热量加于湿物料并排除挥发性湿分(大多数情况下是水), 而获得一定湿含量固体产品的过程^[18]。在生产南极磷虾粉工艺过程中, 通过实验研究得到了恒定干化条件下南极磷虾的干燥曲线, 掌握了干燥过程中的水分变化规律, 为实际生产中南极磷虾粉的干燥方式选择、工艺优化和节能提供依据, 为工艺和设备提供参考数据。同时对于提高南极磷虾粉质量、规模化生产和降低成本等都有重大意义。

1 材料和方法

1.1 原料与实验干燥装置

本实验所用的南极磷虾由辽宁远洋渔业有限公司“福荣海”号于南极 CCAMLR 辖区 48.1 区拖网捕捞, 在 -20°C 下冷冻, 实验之前在自然条件下进行静水解冻^[19], 沥水后测定其含水率为 76.3%。南极磷虾的体长在 $2\text{—}4\text{ cm}$, 单个体重为 $1\text{—}2\text{ g}$, 体色微红, 质感较软。

实验时采用的实验装置如图 1 所示。在快速水分测定仪盖板侧面装入 IRT/c.01 型红外温度传感器, 用以实时测量磷虾表面温度, 温度参数显示于 XMT-721 仪表上(图 1)。MA150 快速水分测定仪(赛多利斯科学仪器有限公司)加热范围 $40\text{—}220^\circ\text{C}$, IRT/c.01 型红外温度传感器(成都中宇仪器有限公司)测量范围 $-45\text{—}290^\circ\text{C}$, XMT-721 型数字

显示仪(江苏杰克仪表有限公司)。

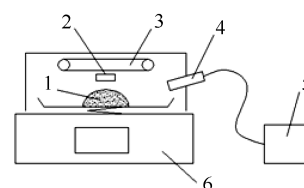


图 1 实验装置示意图。1、南极磷虾样本; 2、恒温控制传感器; 3、石英加热管; 4、IRT/c.01 红外温度传感器; 5、XMT-721 显示器; 6、快速水分测定仪

Fig.1. Schematic diagram of an experimental device. 1. Antarctic krill samples; 2. constant temperature control sensor; 3. quartz heating tube; 4. IRT/c.01 infrared temperature sensor; 5. XMT-721 display; 6. fast moisture meter

1.2 实验方法

根据实验装置(图 1)实际记录的数据(表 1)来绘制南极磷虾的干燥特性曲线。实验干燥的温度设定为 120°C ^[20], 实验之前对石英加热管进行预热, 使其测量区的温度达到设定值(120°C); 称取 30 g 解冻的南极磷虾样品放置在水分测定仪托盘中, 并开始计时干燥。计时的时间间隔为 2.5 min , 记录物料重量和其表面温度。整个实验结束之后, 将每个记录点的重量换算成干基含水率(水的质量/干物质的质量)。最后根据实验结果绘制出南极磷虾的干燥曲线和干燥速率曲线。

1.2.1 南极磷虾干燥曲线测定方法

根据上述实验记录的数据, 以时间作为横坐标, 干基含水率和物料表面温度作为纵坐标, 建立相应的坐标系绘制出南极磷虾干燥曲线。绘制完成后可以获得 2 条拟合曲线, 其中 1 条是南极磷虾干基含水率-时间关系曲线(蓝色曲线表示), 另外 1 条是物料表面温度-时间关系曲线(绿色曲线表示)。通过干燥曲线的绘制可以掌握和区分南极磷虾的各个干燥阶段下的含水率和温度变化状况。

1.2.2 南极磷虾干燥速率测定方法

由干燥曲线换算成干燥速率曲线的方法是先计算不同时间间隔 $\Delta t = t_2 - t_1$ 内物料的含水率变化 $\Delta c = c_2 - c_1$, 得到 $\Delta c / \Delta t$, 再由公式 $v = (q_m \cdot \Delta c) / (S \cdot \Delta t)$ 求得干燥速率 v 。本处南极磷虾干燥速率 v 为 $t_1\text{—}t_2$ 区间内的平均干燥速率, 故其所对应南极磷虾平均含水率 $c = (c_1 + c_2) / 2$, 绘出干燥速率-干基含水率分布图, 可掌握在恒定干燥条件下, 南极

磷虾干燥速率和干基含水率的对应关系。

1.2.3 恒速南极磷虾干燥速率理论计算

恒速干燥速率是物料干化的一个重要参数指标, 可通过干燥速率计算公式和标志性参数进行计算。干燥速率的定义为单位时间、单位干化表面积汽化的水分量, 以 v 表示。

$$v = \frac{dq_{m,w}}{S_{dt}} \quad (1)$$

由于 $dq_{m,w} = -q_{m,c} \cdot dc$, 故干燥速率也可表示为

$$v = \frac{dq_{m,w}}{S_{dt}} = -\frac{q_{m,c}}{S_{dt}} \quad (2)$$

式中, v 为干燥速率, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$; $q_{m,w}$ 为汽化水分量, g ; t 为干化时间, min ; S 为干燥表面积, cm^2 ; $q_{m,c}$ 为湿物料中的绝对干物料量, g ; c 为干基含水率, $\text{g 水} \cdot \text{g 干物料}^{-1}$; $-(\text{负号})$ 表示干基含水率 c 随时间的增加而减

少。由于在恒速干燥阶段, 干燥速率 $v=v_0=\text{常数}$ 。

将式(2)分离变量后积分:

$$\int_0^{t_1} dt = \frac{q_{m,c}}{S_{v_0}} \int_{c_1}^{c_0} dc, \text{ 则 } v_0 = \frac{q_{m,c}}{S_{t_1}} (c_1 - c_0) \quad (3)$$

式中, t_1 为恒速阶段的干燥时间, min ; $q_{m,c}$ 为湿物料中的绝对干物料量, g ; S 为干燥表面积, cm^2 ; c_1 为物料恒速初始干基含水率, $\text{g 水} \cdot \text{g 干物料}^{-1}$; c_0 为物料临界干基含水率, $\text{g 水} \cdot \text{g 干物料}^{-1}$ 。计算后得恒速干燥速率 v_0 。

2 结果与分析

2.1 南极磷虾干燥曲线

实验测定在恒定条件下, 南极磷虾的干燥过程中各特征时间段间隔内的物料温度、物料水分、蒸发水量的变化情况, 如表 1 所示。

表 1 恒定条件下南极磷虾干燥过程的水分变化情况
Table 1. Changes of moisture in Antarctic krill drying under constant conditions

时间/min	物料温度/℃	干基含水率 c	含水率/%	物料质量/g	蒸发量/g
0.0	23.2	3.22	76.30	30.00	0.00
2.5	31.1	2.94	74.60	27.99	2.01
5.0	39.8	2.64	72.50	25.85	2.14
7.5	45.8	2.14	68.20	22.36	3.50
10.0	49.8	1.43	58.90	17.30	5.06
12.5	50.5	0.92	48.00	13.67	3.63
15.0	52.8	0.56	36.10	11.13	2.55
17.5	57.1	0.37	27.20	9.77	1.36
20.0	68.9	0.26	20.50	8.94	0.82
22.5	79.0	0.19	15.80	8.44	0.50
25.0	91.2	0.14	12.50	8.13	0.32
27.5	104.8	0.11	10.30	7.93	0.20
30.0	116.8	0.10	9.20	7.83	0.10

根据干燥实验测得的数据绘制南极磷虾恒定条件下的干燥曲线如图 2 所示。

图 2 的南极磷虾干燥曲线可以分为 3 个干燥阶段。D₁ 阶段, 即开始到干燥 5 min, 南极磷虾处于预加热状态^[21], 南极磷虾表面温度迅速升高, 直到物料表面温度趋向于恒定, 同时干燥曲线的斜率逐渐增大, 物料的干基含水率随之下降; 在这过程中蒸发的水分约占总蒸发量的 18.70%, 占全部干燥时间的 16.7%, 过程结束时干基含水率为

2.64 g 水·g 干物料⁻¹。D₂ 阶段, 即干燥时间从 5—15 min, 南极磷虾的干基含水率迅速下降, 与干燥时间近似于成线性关系; 研究表明, 温度是影响南极磷虾干燥速率大小的重要因素^[22], 干燥温度越高, 其含水率越低; 南极磷虾表面充分湿润, 其表面温度较为恒定, 实验测得其数值是 47—53℃, 这就说明了其表面水分汽化所吸收的热量等于补充的热量; 这一阶段蒸发的水分占总蒸发量的 66.43%, 占全部干燥时间的 1/3, 结束时干基的含

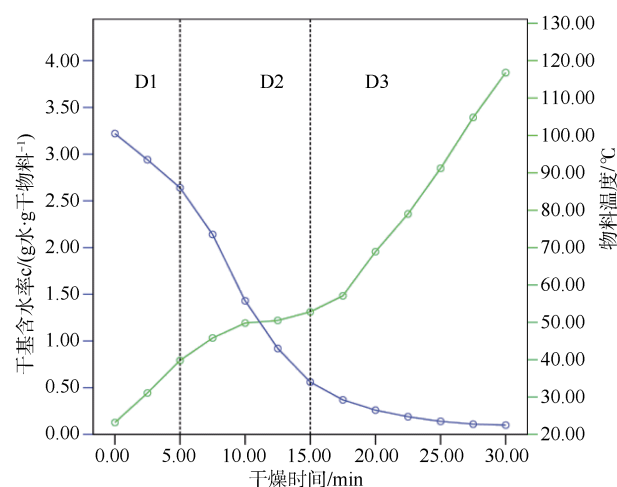


图2 恒定条件下南极磷虾的干燥曲线

Fig. 2. Drying curves of Antarctic krill under constant conditions

水率为 $0.56 \text{ g 水} \cdot \text{g 干物料}^{-1}$ 。D₃ 阶段, 即干燥时间从 16—30 min, 南极磷虾干燥曲线的斜率逐渐下降直至平缓, 其表面水分蒸发完毕, 而温度迅速上升, 逐渐趋向于烘干介质的温度, 物料的含水率趋向于 0; 这一阶段蒸发的水量占到总蒸发量的 14.87%, 占全部干燥时间的 50%。

2.2 南极磷虾干燥速率曲线

根据实验测到的数据, 其中 t_1 是恒定干燥时间, 为 10 min; $q_{m,c}$ 为湿物料中的绝对干物料量, 为 7.83 g; S 为干燥表面积, 可以由南极磷虾平面与其侧面投影的形态估算得出, 其数值为 3.28 cm^2 ; $c_0 = 0.56 \text{ g 水/g 干物质}$, $c_1 = 2.64 \text{ g 水} \cdot \text{g 干物料}^{-1}$;

由南极磷虾干燥速率 $v_0 = \frac{q_{m,c}}{S t_1} (c_1 - c_0)$, 代入数值

计算得出 $v_0 = 0.497 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ 。由此可得出南极磷虾的干燥速率曲线, 如图 3 所示。其干燥速率曲线图的各阶段与南极磷虾干燥曲线图是相对应的。其中的升速、恒速、降速 3 个阶段可近似拟合线性关系的直线。

在 D₁ 阶段, 南极磷虾干燥不经过升速和恒速阶段, 直接进入降速阶段, 可知温度是影响干燥速度的主要因素^[23]; 南极磷虾表面水分蒸发速度也很快上升到峰值, 干燥速率随着物料表面温度的提高而上升; 该阶段的干燥速率分布点近似于线性分布。在 D₂ 阶段, 干基含水率为 $2.64—0.56 \text{ g 水} \cdot \text{g 干物料}^{-1}$ 时, 南极磷虾干燥速率由表面水分汽

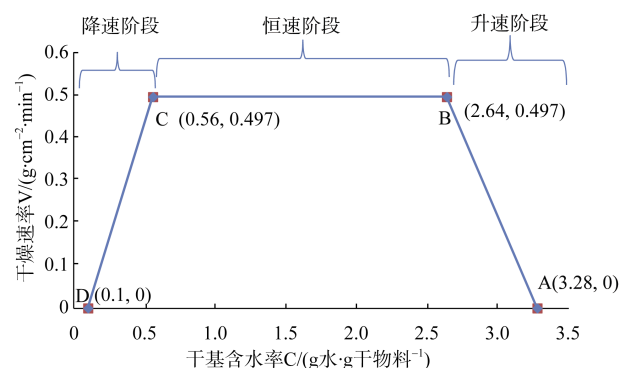


图3 恒定干燥条件下南极磷虾的干燥速率曲线图

Fig.3. Curve diagram of the drying rate of Antarctic krill under constant drying conditions

化速率所控制, 此时干燥速率达到最大值为 $0.497 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$; 此阶段为恒速干燥阶段。与降速阶段相比, 恒速干燥阶段的速率要略高^[22]。在 D₃ 阶段, 干基含水率为 $0.56—0.10 \text{ g 水} \cdot \text{g 干物料}^{-1}$ 时, 在水分表面张力的作用下, 物料的体积随水分的蒸发而减小, 从而造成干燥面积的减少, 整体水分蒸发速率随时间增加而迅速降低直至趋于零。此阶段物料的体积不再收缩而呈现定型状态。此后继续干燥也不能降低干基含水率, 此阶段被称为降速干燥阶段^[24]。一般情况下, 提高干燥温度可以提高干燥速率, 减少其干燥时间。但过高的温度可能会导致南极磷虾表面焦化, 从而影响南极磷虾内部水分的转移, 不但使其品质下降, 而且增加生产成本^[25]。

2.3 讨论

2.3.1 物料的表面积对于南极磷虾干燥速率的影响

南极磷虾的干燥曲线有明显的特性, 在 D₃ 阶段已经进入降速干燥阶段, 此时物料在水的表面张力的作用下, 表面积不断收缩减少, 干燥速率迅速下降, 可见物料表面积的变化对于整体干燥速率的变化起到主要的作用。因此, 在实际生产的干燥工艺中, 增大物料的表面积是提高干燥速率的有效方法, 利用桨叶的搅拌提升干燥面积, 可以加快干燥进程, 无论是经济效益还是节能环保都能获得十分理想的效果。利用该方法, 在南极海域船载南极磷虾粉加工过程中, 取得了非常好的实际效果, 产量较之前提升约 1 倍, 达到 $25 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ (按 24 h 计), 虾粉质量都达到了红粉级别。

2.3.2 南极磷虾干燥状态下的特性

对南极磷虾干燥 D_3 阶段进行取样分析并观察其断面,发现南极磷虾头部的干燥与湿润部分有明显的分层面,外表面硬度加大且体积不再收缩,外部温度快速趋近于环境温度。此阶段干燥去除的水分很少,但所占的干燥时间很长。这是由于已经干燥的外部物质对内部水分的蒸发有很强的阻碍,水分只有通过干燥那部分的微小空隙才能到达外部排入空气,导致干燥速率很低。此种情况是其南极磷虾体内各部分含水率分布不均,尤其在头部集中,且水分与内部组织呈浆状,造成干燥困难。

3 结论

通过对南极磷虾的干燥实验,可以知道:(1)南极磷虾干燥不经过升速阶段和恒速阶段直接进入降速阶段;(2)温度是影响南极磷虾干燥的主要因素,干燥时间(5—15 min)内,温度越高,干燥速度越大;(3)进入恒速干燥阶段,其时间约占总时间的三分之一;(4)当低于临界含水率($0.56 \text{ g 水} \cdot \text{g 干物料}^{-1}$)时,南极磷虾干燥进入降速阶段;(5)在随船加工南极磷虾粉中,温度控制在 $85\text{—}105^\circ\text{C}$ 较为理想,并且在设备内部使用桨叶进行搅拌,干燥结果显著提升。

参考文献

- 1 SIEGEL V, REISS C S, DIETRICH K S, et al. Distribution and abundance of Antarctic krill (*Euphausia superba*) along the Antarctic Peninsula[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2013, 77: 63—74.
- 2 黄洪亮, 陈雪忠, 冯春雷. 南极磷虾资源开发现状分析[J]. 渔业现代化, 2007, 34(1): 48—51.
- 3 邱向乾, 白艳龙, 谭昭仪, 等. 保鲜剂及真空包装对南极磷虾冷藏保鲜效果研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 361—365.
- 4 陈雪忠, 徐兆礼, 黄洪亮. 南极磷虾资源利用现状与中国的开发策略分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 451—458.
- 5 谢营梁. 南极磷虾(*Euphausia superba*)开发利用的现状和趋势[J]. 现代渔业信息, 2004, 19(4): 18—20.
- 6 MOREN M, MALDE M K, OLSEN R E, et al. Fluorine accumulation in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic cod (*Gadus morhua*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets with krill or amphipod meals and fish meal based diets with sodium fluoride (NaF) inclusion [J]. Aquaculture, 2007, 269 (1/4): 525—531.
- 7 SOEVIK T, BRAEKKAN O R. Fluoride in Antarctic krill (*Euphausia superba*) and Atlantic krill (*Meganyctiphanes norvegica*) [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1979, 36(11): 1414—1416.
- 8 相建海. 南极磷虾和氟[J]. 海洋科学, 1985, 9(3): 57—59.
- 9 TOU J C, JACZYNSKI J, CHEN Y C. Krill for human consumption: Nutritional value and potential health benefits[J]. Nutrition Reviews, 2007, 65(2): 63—77.
- 10 孙雷, 周德庆, 盛晓风. 南极磷虾营养评价与安全性研究[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(2): 57—64.
- 11 田兵. 利用南极磷虾提取低温酶[J]. 国际科技交流, 1989, (1): 25.
- 12 YOSHITOMI B. Utilization of Antarctic krill for food and feed [J]. Developments in Food Science, 2004, 42: 45—54.
- 13 刘志东, 陈学忠, 黄洪亮, 等. 南极磷虾粉加工与贮藏技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 357—361.
- 14 彭侃, 罗其刚, 叶元士, 等. 鱼粉生产过程中蛋白质、油脂安全质量变化的初步研究[J]. 动物营养学报, 2015, 27(8): 2637—2648.
- 15 BELLAGHA S, AMAMI E, FARHAT A, et al. Drying kinetics and characteristic drying curve of lightly salted sardine (*Sardinella aurita*) [J]. Drying Technology: An International Journal, 2002, 20(7): 1527—1538.
- 16 SANKAT C K, MUJAFFAR S. Modelling the drying behaviour of salted shark fillets. ASAE Paper No. 036195[R]. St. Joseph: The American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- 17 PRACHAYAWARAKORN S, SOPONRONNARIT S, WETCHACAMA S, et al. Desorption isotherms and drying characteristics of shrimp in superheated steam and hot air[J]. Drying Technology: An International Journal, 2002, 20(3): 669—684.
- 18 潘永康, 王喜忠. 现代干燥技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 12—13.
- 19 曹荣, 陈岩, 赵玉然, 等. 解冻方式对南极磷虾加工品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17): 289—294.
- 20 胥亚夫, 王元好, 余奕珂, 等. 一种从南极磷虾中提取富含磷脂的磷虾油的方法: CN102766530A[P]. 2012-11-07.

- 21 何学连. 白对虾干燥工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- 22 张高静. 不同干燥技术对南美白对虾干燥特性和产品品质影响的对比研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
- 23 曾令彬, 赵思明, 熊善柏, 等. 风干白鲢的热风干燥模型及内部水分扩散特性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 280—283.
- 24 虞宗敢, 高翔, 周蓉. 生物发酵豆粕干燥技术的研究[J]. 饲料工业, 2007, 28(19): 2—4.
- 25 王雅娇, 马艳莉, 姚思远, 等. 南美白对虾热风干燥工艺及干燥模型的研究[J]. 食品工业, 2014, 35(10): 143—148.

STUDY ON DRYING CHARACTERISTICS OF ANTARCTIC KRILL

Zhang Junwen^{1,2}, Zheng Xiaowei^{1,2}, Shen Jian¹, Ouyang Jie^{1,2},
Gao Xiang^{1,2}, Zhou Chunsheng^{1,2}, Tan Jiayu¹

(¹Key Laboratory of Ocean Fishing Vessel and Equipment, Ministry of Agriculture; Shanghai 200092, China;

²Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Shanghai 200092, China)

Abstract

Antarctic krill is rich as a resource and rich in nutrients. It is considered the reserve protein bank for human survival. Therefore, the question of how to ensure efficient use of this resource has become a focus of current scientific and technological research. Both the drying curve and the drying rate curve of Antarctic krill were studied under the condition of a constant temperature of 120℃, and hot air drying was undertaken to simulate the conditions of the Antarctic sea area. The results showed that under constant drying conditions, the drying rate was 0.497 g·cm⁻²·min⁻¹, the critical water content was 0.56, and constant drying time accounted for about 1/3 of the total time. When the moisture content was lower than a critical value, the material entered the drying stage. In addition, the drying rate of Antarctic krill was found related to both the drying temperature and the drying surface area of the material. The drying rate and the surface area of Antarctic krill are accelerated by an increased drying rate, which has important implications and significance regarding equipment design and the actual production of Antarctic krill as a food resource.

Key words Antarctic krill, drying, drying curves, drying rate curves