

# 绿鳍马面鲈片调味干品 干燥条件的研究\*

达式奎 石树奋

(上海水产学院)

## 提 要

本文介绍了小型隧道式热风干燥器加工调味马面鲈鱼片的干燥条件和试验结果。试验表明:干燥过程中鱼体的表面温度起着决定性的作用。就此本文提出了鱼体表面水分活度( $Aw_s$ )的概念和计算方法,并对 $Aw_s$ 在干燥速度、干燥程度和制品质量等方面所起作用进行了分析。当干燥介质的相对湿度( $RH$ )为20%,30%,40%,50%时, $Aw_s$ 则随干燥介质湿度( $RH$ )作相对浮动。根据干燥介质温度( $t_D$ ),鱼体表面温度( $t_s$ ),湿球温度( $t_M$ ),以及它们相互之间的差值 $[(t_D - t_s), (t_s - t_M)]$ 可测定和控制制品的干燥程度。作者认为,干燥过程初期, $t_s < 38^\circ\text{C}$ ,干燥过程的中期和末期 $t_s = 38^\circ\text{C}$ ,风速( $v$ )=3.3(m/s), $RH$ 控制在40—50%,为较佳的干燥条件。在此条件下,干燥时间短,干品质量较好,而且国内现有热风干燥设备均可在此条件下进行常年生产,并可采用高回风率以节约能源。

## 前 言

绿鳍马面鲈片调味干品,目前大多采用蒸汽热源的双风机单烘道来生产。为提高生产效率和产品质量,我们对其干燥条件(温度、湿度、风速)和干燥过程进行了研究。

## 试 验 方 法

### 1. 试验原料和工序

(1) 鲜品原料为在东海捕获的绿鳍马面鲈(*Navodon septentrionalis*),包括经过 $-18^\circ\text{C}$ 冻结后解冻的原料。

(2) 绿鳍马面鲈片调味鲜品(试样)的预处理工序与生产单位现行工序相同。

调味鲜鱼片由左右二片白肉在背脊处稍重叠平铺而成,其表面积:大的为 $94-100\text{cm}^2$ ,中等的为 $88-94\text{cm}^2$ ,小的为 $72-88\text{cm}^2$ 。鱼片的中间截面处的厚度,大的为 $0.9\text{cm}$ ,中等的为 $0.8\text{cm}$ ,小的为 $0.5\text{cm}$ 。

\* 本文有关试验的参加者还有:王传国、万峰、肖本庚、夏松养、刘达嘉、崔京山、谢洁、陈良和郑华等同志。

(3) 干制试验工序与生产单位现行的工序相同。

## 2. 干燥介质运行路线

在可调节并控制温度、湿度、风速的小型洞道式烘道中,离心风机鼓出的空气流,先吹过电热丝加热,然后经横、直二道导风板,吹向烘道中铺放鱼片的鱼帘,掠过物料的废湿热气部份由烘道尾部的排潮口排出,其余经回风道掺入新风后,再鼓入烘道继续第二次循环。

## 3. 水分活度( $A_w$ )的测定

采用等压图式内插法测定。

## 4. 干燥过程中鱼片表面水分活度( $A_{w_s}$ )的测定

由干湿球计的 Sprung 式,对纯水有:

$$P_{H_2O} = P_M - 0.51(T_D - T_M)$$

对物料表面则有:

$$P_{H_2O} = P_f - 0.51(T_D - T_s)$$

式中:  $P_{H_2O}$  干燥介质(空气流)的水蒸汽分压(mm Hg);

$P_M$  湿球温度下纯水的饱和蒸汽压(mm Hg);

$P_f$  干燥中鱼片表面水的饱和蒸汽压(mm Hg);

$T_D$  干燥介质的温度( $^{\circ}K$ );

$T_M$  湿球温度( $^{\circ}K$ );

$T_s$  鱼片表面温度( $^{\circ}K$ );

上两式中的0.51为风速( $v$ )在3m/s,大气压力( $B$ )在760mm Hg时的湿度计常数。

上两式合并就有:

$$A_{w_s} = \frac{P_f}{P_s} = \frac{P_M - 0.51(T_s - T_M)}{P_s} \quad (1)$$

式中:  $P_s$  为干燥过程中当与鱼体表面温度( $T_s$ )相同时,纯水的饱和蒸汽压(mm Hg)。

用热电偶测温计配合自动记录电子电位差计(X $\frac{3}{3}$ C型)测得  $T_D$ ,  $T_M$ , 和  $T_s$ ,即可按(1)式计算干燥过程中的  $A_{w_s}$ 。此外,利用 I-X 图或干湿球湿度图也可求得  $A_{w_s}$ 。(见参考文献[4,5,13]的有关内容)。

## 5. 干品质量感官鉴定

按常规以鱼品色泽的深浅、透明度、气泡的多少来比较、鉴定。

## 试验结果与讨论

### (一) 温度的影响

干燥加工的温度条件,一般是指干燥介质的温度而言,实际上在同一干燥介质温度的条件下,在不同的干燥阶段,鱼体温度是不相同的。

鱼体水分的蒸发是在其表面进行的, 一般来说鱼体表面温度越高, 其饱和蒸汽压越大, 初期的干燥速度也越快。但是蛋白质变性和油脂酸败的程度都和鱼肉本身温度的高低有关<sup>[22]</sup>, 鱼体温度过高, 势必对制品的质量带来不利的影响。所以, 如单以干燥介质温度作为干燥条件之一来讨论, 是很难完全说明问题的。我们认为, 以鱼体温度为主来讨论其对干燥速度和制品质量的影响是较为全面的。为此, 本试验除采用以干燥介质温度作对照外, 主要考察鱼体温度与干燥速度的关系。制品质量则以感官鉴定作相应的评价。试验结果列于表 3 和表 4 [表 3 中开始时原料含水率都换算成 285% (干基), 故不列上]

表 3 不同干燥温度对干燥时间的影响( $RH \approx 20\%$ )

干基含水率 (%)	干燥时间 (hr)	干燥条件*									
		1	2	3	4	5	6	7	8	8.5	
干燥介质气流温度为 $t_D = 44-45^\circ\text{C}$ $v = 5.0\text{m/s}$		148	96	65	46	35	30	25	24	—	
鱼体温度保持在											
$t_D \approx 48^\circ\text{C}$	$t_s \leq 38^\circ\text{C}$	$v = 3.3\text{m/s}$	188	111	72	52	40	31	25	24	—
	$\leq 35^\circ\text{C}$	$3.3\text{m/s}$	195	116	74	51	40	32	23	26	25
	$\leq 35^\circ\text{C}$	$3.3\text{m/s}$	169	114	72	52	41	34	29	26.5	25

表 4 不同干燥温度对制品质量的影响( $RH \approx 20\%$ )

干燥条件*			感官鉴定			干燥条件*			感官鉴定		
$v(\text{m/s})$	$t_D(^\circ\text{C})$	$t_s(^\circ\text{C})$	颜色	透明度	气泡	$v(\text{m/s})$	$t_D(^\circ\text{C})$	$t_s(^\circ\text{C})$	颜色	透明度	气泡
5.0	48		深	差	很多	3.3	48	$\leq 37$	淡	好	较少
3.3	48		较深	较差	多	3.3	48	$\leq 38$	淡	好	较少
5.3	44		较深	一般	较多	3.3	42	$\leq 35$	淡	很好	几乎没有
4.0	42	$\leq 35$	较深	好	较少	3.3	47	$\leq 35$	较淡	好	较少
3.5	44	$\leq 35$	淡	好	较少						

- \* 在等速阶段及减速阶段前期由气温  $t_D$  及气流相对湿度  $BH$  控制, 这时鱼体温度分别为  $t_s < 38^\circ\text{C}$ ,  $t_s < 35^\circ\text{C}$ , 在减速阶段后期保持  $t_s \approx 38^\circ\text{C}$  或  $t_s \approx 35^\circ\text{C}$ 。全过程鱼体温度不大于  $38^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$ 。

由表 3 可见在烘道干燥介质  $RH \approx 20\%$  左右时, 干燥前期, 在气温  $48^\circ\text{C}$  和鱼体温度  $\leq 38^\circ\text{C}$  的条件下, 马面鲀片调味干品试样的干基含水率从 285% 烘干到 25% (即湿基从 74% 烘干到 20% 时), 约需 7.5 小时; 当鱼体温度  $\leq 35^\circ\text{C}$  时, 则需 8.5 小时左右。由表 4 可见, 当干燥介质气温始终保持在  $44^\circ\text{C}$  以上时, 干品质量的色泽、透明度、气泡等感官指标较差。这说明气温始终保持在  $44^\circ\text{C}$  以上是不可取的。而鱼体温度始终保持在  $\leq 35^\circ\text{C}$  或  $\leq 38^\circ\text{C}$  时, 干品的所有感官指标都较好。尽管有时起初介质温度较高, 但由于鱼体温度始终保持  $\leq 35^\circ\text{C}$  或  $\leq 38^\circ\text{C}$ , 所以在整个干燥过程中, 对制品质量无多大影响。此外, 比较鱼体温度  $\leq 35^\circ\text{C}$  和  $\leq 38^\circ\text{C}$  两种制品, 其主要差别在气泡的多少。由于前者干燥时间比后者多一个小时, 故从生产效率、运转费用等因素考虑, 在干燥前期气温  $t_D$  保持在  $48-44^\circ\text{C}$ ,

后期鱼体温度控制在  $38^{\circ}\text{C}$  左右为宜。这在生产上可采用变温(调节热风温度)的办法予以保证。

## (二) 风速的影响

考虑到水产品干制加工的实际情况,我们选取了三种风速进行试验,其结果列于表 5。

表 5 不同风速对干燥速度的影响( $t_d \leq 38^{\circ}\text{C}$ ,  $RH \approx 20\%$ )

风速(m/s)	干燥 8 小时含水率(%)	感 官 鉴 定			
		颜 色	透 明 度	气 泡	
5.0	24	略 深	一 般	较 多	
4.0	24	略 深	一 般	较 少	
3.3	25	淡	好	较 少	

从表 5 可看出,风速为 4—5m/s 时的干燥速度比 3.3m/s 时略快,但由感官鉴定的制品质量则略差。从设备和运转费用等经济效益考虑,似以风速 3.3m/s 左右为宜。

## (三) 干燥介质湿度的影响

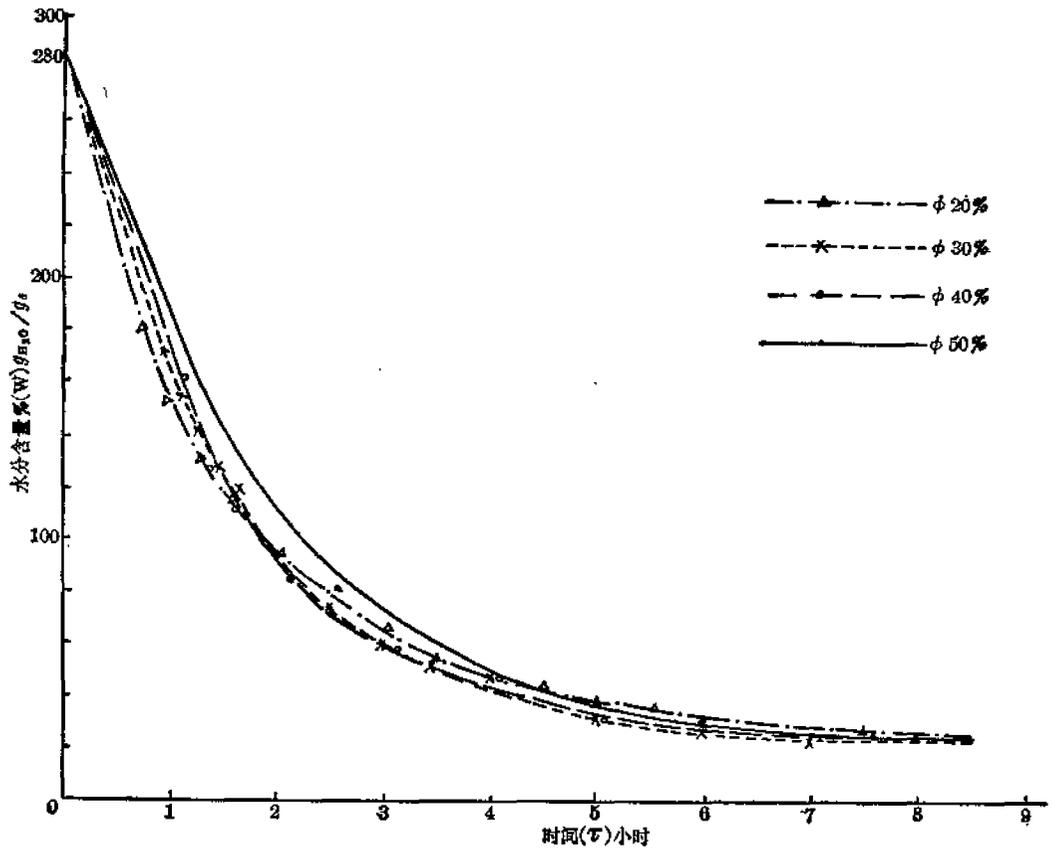
实际生产过程中干燥介质的湿度,在很大程度上是由引进新风(空气)的湿度决定的。在冬季烘干房烘道中的空气湿度可低至  $RH = 10\%$ ,但在霉雨季节,南方沿海地区烘道中的湿度可达  $RH = 60\%$ 。因此,弄清湿度在干制加工时的影响很有必要。本试验将烘道中的干燥介质湿度分别控制在 20%, 30%, 40%, 50% 几个水平,来研究干燥介质湿度对干燥速度和制品质量的影响,并对其机理进行探讨。

### 1. 干燥介质湿度对干燥速度的影响

以马面鲷片在干燥介质湿度不同的条件下,进行干燥的试验数据,绘制成干燥曲线和干燥速度曲线,来分析不同湿度对马面鲷片干燥速度的影响。

(1) 干燥曲线 将经仔细挑选大小厚薄均匀的鱼片,放置在已知重量的鱼帘上,再将鱼帘悬于天平的一臂上,定时称量鱼片在干燥过程中的重量。鱼片在干燥过程中的重量变化,即为其水分含量的变化,按比例绘成的水分含量与时间的曲线(干燥曲线),如图 1。从图 1 可以看出,水分含量在整个干燥过程中的变化,可以分为两个阶段,即等速阶段和减速阶段。这两个阶段中湿度的影响是:

a, 干燥介质湿度在等速阶段的影响 从图 1 的各条干燥曲线上可看出,开始阶段的倾斜直线,代表干燥过程中的等速阶段。直线终点时的鱼片水份含量分别为  $W_{20}$ 、 $W_{30}$ 、 $W_{40}$ 、 $W_{50}$ ,即为干燥介质各种湿度条件下鱼片的临界湿度,其数值即为等速阶段结束时的物料水分含量。物料临界湿度不仅与物料的性质有关,而且也与干燥介质的湿度和物料水分蒸发面积的大小有关。一般来说,在物料水分蒸发面,基本稳定条件下,物料的临界湿度随着干燥介质湿度的增大而逐渐减小,在同样的干燥介质湿度条件下,蒸发面积大,则临界湿度小。

图1 干燥曲线( $W-\tau$ )

马面鲀片在干燥过程中,在  $t$ 、 $v$  相同和  $RH$  不同条件下,等速阶段的干燥速度、时间以及物料的水分蒸发量和临界湿度分别列于表 6。

表 6 不同  $RH$  的等速阶段的速度、时间、水分蒸发量和临界湿度

最初水份含量* (%)	干燥介质湿度 $RH$ (%)	干燥时间 (小时)	等 速 阶 段			临界湿度 ( $g_{H_2O}/g_D$ )
			速 度 ( $g_{H_2O}/g_D \cdot hr$ )	时间(分钟)	水分蒸发量(%)	
285	20	8.5	1.59	40	106	179
285	30	8.0	1.23	56	115	170
285	36	7.5	1.20	60	120	166
285	40	7.5	1.15	66	127	159
285	45	7.8	1.08	72	130	155
285	50	8.0	1.00	80	138	151

\* 各次试验原料中最初水份含量均换算成 285%(干基),成品换算成 25%。

由表 6 可看出,随着干燥介质  $RH$  增大,出现三种情况:①等速阶段的干燥速度下降;②等速阶段时间延长;③等速阶段水分蒸发量增加(其值等于干燥速度乘以干燥时间)。此外从表 6 中还可看到,当干燥介质  $RH$  在 20%到 50%范围内,在等速阶段中可蒸发物

料中应蒸发水分量的 45% 左右。

b, 干燥介质湿度在减速阶段的影响 在这阶段中, 取干燥时间为 2.5 小时、4 小时这二个时间来考察在不同  $RH$  条件下, 对马面鲀片干燥速度的影响。

从图 1 所示的  $RH$  分别为 20%, 30%, 40%, 50% 的四条干燥曲线中可看出, 物料经 2.5 小时干燥后, 其水分含量最高为 92% ( $RH=50%$ ), 最低为 74% ( $RH=30%$ ), 如果换算成湿基则最高和最低二量之间只相差 5% 左右。也就是说彼此相当接近。还表明此时已蒸发掉物料中该除去水分总量的 78% 左右。干燥 4 小时后, 各条曲线间仅相差 10%, 物料中最高含水量为 50% ( $RH=50%$ ), 最低为 40% ( $RH=30%$ ), 如果换算成湿基含水量则在数值上表示更为接近。此时已蒸发掉物料中应除去水分量的 90% 左右。这说明: ①在相同的  $t$ 、 $v$  和不同的  $RH$  条件下, 经过 4 小时后干燥物料每克干基含水率仅差 0.1 克, 则不难理解离干燥终了所需时间不会相差很大。②干燥 4 小时后, 物料中水份已经蒸发掉 235% (物料中应除水分总量为 260%), 后 4 小时左右只需蒸发 25%。

c, 干燥介质湿度对干燥终了时间的影响 从图 1 和表 6 清楚地看到, 在不同  $RH$  (20%—50%) 的条件下, 物料水分含量从 285% 干燥到 25%, 所需时间是在 7.5—8.5 小时条件下, 干燥时间相差不多。为此, 就马面鲀片整个干燥过程而言, 干燥介质湿度的大小, 对总的干燥时间不产生显著的影响。这在有关文献中也有类似的见解<sup>[4,9]</sup>。

(2) 干燥速度曲线 对图 1 的干燥曲线取导数, 就可得相应的干燥速度  $[-dw/dt(g_{H_2O}/g_D \cdot hr) - W(\text{干基})]$  曲线。图 2 所示为  $RH$  在 36% 时的干燥速度曲线, 这种曲线表明了物料在整个干燥过程中, 可明显地分为两个阶段——等速阶段和减速阶段。现从化学动力学的观点予以讨论。

a, 等速阶段 该阶段有:

$$-\frac{dw}{dt} = k^0; \quad W = -k^0 t + c_0 \quad (2)$$

上式相当于化学动力学的零级反应。在  $dw/dt - W$  曲线上出现平行线段。(2) 式中  $k^0$  值, 是随着干燥介质湿度的增加而减小。其数值即表 6 之干燥速度。

b, 减速阶段 该阶段有:

$$-\frac{dw}{dt} = k' W; \quad \ln W = -k' t + c_1 \quad (3)$$

上式相当于化学动力学的一级反应, 这阶段可以在不同  $RH$  条件下的  $dw/dt - W$  曲线上观察到, 但其延伸范围不如自然干燥那样明显, 这种一级反应在  $W - t$  曲线(图 2) 上就出现  $W$  随  $t$  作指数下降。即:

$$W = W_0 e^{-k' t} \quad (4)$$

(4) 式中  $k'$  值在一定程度上取决于干燥介质湿度, 并随干燥介质湿度的增大而有所上升。再由图 1 的干燥曲线上可知在  $RH=20\%, 30\%, 40\%, 50\%$  条件下, 物料含水率( $W$ ) 从 285% 干燥到 25%, 所需时间( $t$ ) 总是在 8 小时左右。

## 2. 干燥介质湿度对制品质量的影响

马面鲀片在一定的  $t$  (鱼体温度  $\leq 38^\circ\text{C}$ ),  $v$  (3.3m/s), 以及不同的  $RH$  (20—50%) 的

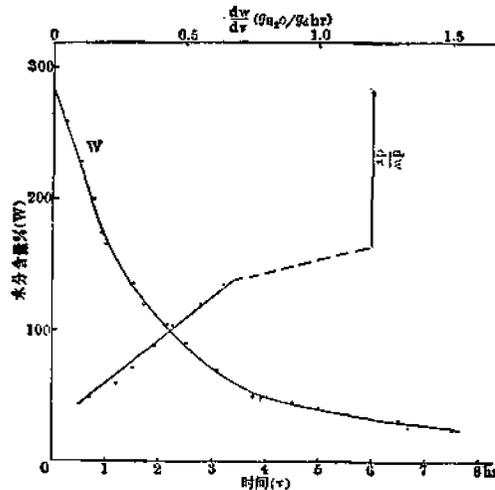


图2 干燥速度曲线  $\frac{dw}{d\tau}$ - $\tau$  曲线( $\phi=36\%$ ) 干燥曲线  $W$ - $\tau$  曲线

表7 不同  $RH$  条件下马面鲀调味干品的质量比较( $v=3.3\text{m/s}$ ,  $t_s \leq 38^\circ\text{C}$ )

干燥介质 $RH$ (%)	感 官 鉴 定		
	颜 色	透 明 度	气 泡
20	较深	一般	较多
30	较淡	好	较少
40	淡	很好	几乎没有
45	淡	很好	几乎没有
50	淡	很好	几乎没有

干燥条件下干燥时,其质量优劣的感官鉴定数据列于表7。

由表7所列感官鉴定指标可见,干燥介质湿度不同,对于干品的质量是有影响的, $RH$ 在40%以上时干品无论在色泽、透明度、气泡等方面都较佳,尤其是干品中的气泡用肉眼几乎观察不到。

综合以上所述,可以认为在一定的温度( $\leq 38^\circ\text{C}$ )、风速(3.3m/s)条件下,干燥介质湿度增大到  $RH=50\%$  时,并不显著影响马面鲀片的干燥时间(均在8小时左右),反而使干品的感官质量有所改善。

#### (四) 鱼体表面温度和物料的干燥速度

马面鲀片的干燥,其水分的蒸发是在表面进行的。在等速阶段则类似液态水的蒸发,故可用汽化公式来计算干燥速度。即:

$$dw/dt = F \cdot \beta (P_s - P_{H_2O}) \quad (5)$$

式中:  $dw/d\tau$  干燥速度( $g_{H_2O}/g_D \cdot \text{hr}$ );

$F$  鱼体水分的蒸发面积( $\text{cm}^2$ );

$\beta$  汽化强度( $g_{H_2O}/g_D \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mm Hg}$ );

$P_s$  鱼体表面水的饱和蒸汽压( $\text{mm Hg}$ );

$P_{H_2O}$  干燥介质中水的蒸汽分压(mm Hg)。

$\beta$ 是与风速有关的常数,其数值可由下列经验公式计算,  $\beta = 0.00229 + 0.00174v$

按此经验公式在烘道风速  $v = 3.3\text{m/s}$  时,  $\beta = 0.008$ ,我们对纯水所测定的实验值为,  $\beta = 0.010$ 。

由相对湿度的定义,可得:

$$P_{H_2O} = \phi \cdot P_{D_s} \quad (6)$$

把(1),(5),(6)式合并,并将  $\beta = 0.010$  代入,则得:

$$dw/dt = 0.10 \cdot F \cdot (Aw_s \cdot P_s - \phi \cdot P_{D_s}) \quad (7)$$

从(1)式和 Sprung 式,可知

$$Aw_s \cdot P_s = P_M - 0.51(T_s - T_M)$$

$$\phi \cdot P_{D_s} = P_M - 0.51(T_D - T_M)$$

合并上两式和(7)式得

$$dw/dt = 0.0051 \cdot F \cdot (t_D - t_s) \quad (8)$$

式中:  $t_D = T_D - 273.16^\circ\text{K}$ ;

$t_s = T_s - 273.16^\circ\text{K}$ 。

在等速阶段鱼体表面温度与湿球温度比较接近,即  $t_s \approx t_M$ ,这样: ①从干湿球温差及干燥速度就可计算鱼体表面的有效水分蒸发面积  $F$ ; ②对一定试验的鱼品,其干燥速度完全取决于  $(t_D - t_s)$ ; ③  $t_s$  上升时[即  $(t_D - t_s)$ ]变化,就意味着等速阶段的结束,减速阶段的开始。

在减速阶段中,鱼体表面温度的升高,不仅造成了  $(t_D - t_s)$  的下降,从而使干燥速度下降,而且在这同时,由于表面的逐步干燥,也会引起鱼体的水分蒸发面积的收缩,这也促使干燥速度的下降,尤其是在减速阶段的后期。为此,在减速阶段中,(8)式可改写成下式:

$$dw/dt = 0.0051 \cdot \varepsilon \cdot F \cdot (t_D - t_s) \quad (9)$$

式中,  $\varepsilon$  称为水分蒸发表面积的收缩系数(在等速阶段  $\varepsilon = 1$ , 减速阶段  $\varepsilon < 1$ )。

将在不同  $RH(20\%, 30\%, 40\%, 50\%)$  条件下,减速阶段中各瞬时的  $dw/dt$ ,  $t_D$ ,  $t_s$  实验数据代入(9)式,结果发现其值约在  $0.7-0.6$  范围内,刚进入减速阶段时  $\varepsilon$  较大,后期则较小,考虑到这种因素,则(9)式可写为以下近似式:

$$dw/dt \approx 0.0051 \cdot (0.7-0.6) \cdot F \cdot (t_D - t_s) \quad (10)$$

为此,在等速阶段可用(8)式计算试样的干燥速度,在减速阶段则可用(10)式进行计算。

鱼片试样在开始干燥时,由于表面可供蒸发的水分量很多,在干燥条件一定时,干燥速度可保持不变,这即为等速阶段,这阶段中的  $(t_D - t_s) > 10^\circ\text{C}$ ,  $(t_D - t_s)$  的差值随  $RH$  变化。此阶段中,干燥介质所供应热量主要用于水分蒸发,所以鱼体温度低到接近于湿球温度。随着表面水分的不断蒸发,表面可供蒸发的水分量将逐渐下降,干燥速度也将相应下降,则耗热量减少,表面温度逐步上升,直到  $(t_D - t_s) \approx 0.5-1.0^\circ\text{C}$ ,这时的干燥速度极为缓慢,表明干燥即将结束。因此可以说,在整个干燥过程中,  $(t_D - t_s)$  在一定条件下,对干燥速度、干燥程度起决定作用。

### (五) 鱼体水分活度 $A_w$ 与鱼片表面水分活度 $A_{w_s}$

#### 1. 鱼体的水分活度 $A_w$ [7][11]

马面鲈片调味干品的水份活度( $A_w$ )与其水分含量( $W$ )的关系见图3,当 $W$ 在285%—170%时, $A_w$ 几乎不变接近于1(0.998—0.999),也就是说,把马面鲈片从 $W$ 为285%干燥到 $W$ 为17%时,并未带来 $A_w$ 的改变,只是水分含量降到80%, $A_w$ 才显著下降。

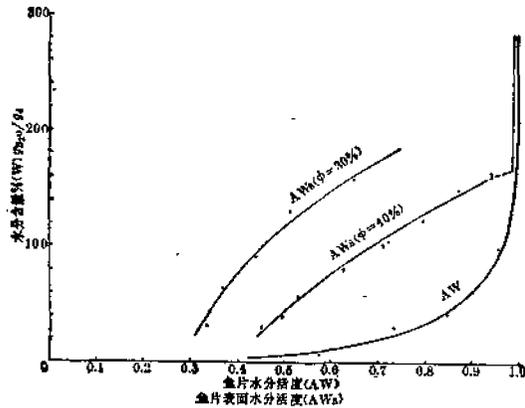


图3 水分含量与鱼片水分活度关系( $W-A_w$ )曲线  
水分含量与鱼片表面水分活度关系( $W-A_{w_s}$ )曲线

#### 2. 干燥过程中鱼片表面的水份活度 $A_{w_s}$

前述计算干燥过程中表面水分活度  $A_{w_s}$  公式[(1)式]中的  $P_M$ 、 $P_s$ , 可根据克劳齐乌-克莱普郎(Clausius-clapeyron)方程式来表达

$$P_M = P_0 e^{-\frac{\Delta H}{RT_M}}$$

$$P_s = P_0 e^{-\frac{\Delta H}{RT_s}}$$

这样(1)式就可写成:

$$A_{w_s} = \frac{P_0 e^{-\frac{\Delta H}{RT_M}} - 0.51 \cdot (t_s - t_M)}{P_0 e^{-\frac{\Delta H}{RT_s}}} = F(t_M, t_s) \quad (11)$$

式中:  $T_M = t_M + 273.16^\circ\text{K}$ ;

$T_s = t_s + 273.16^\circ\text{K}$ ;

$P_0$  (Clausius-clapeyron)方程式常数;

$\Delta H$  水的汽化潜热(Kcal/mole)。

将干燥开始时的等速阶段  $t_s \approx t_M$  代入(11)式中,经计算就可得  $A_{w_s} = 1$ ,也就是说,在等速阶段  $A_{w_s}$  和  $A_w$  基本都接近于1,从热力学观点来考虑,水分活度是代表化学位的,即  $\mu = \mu_0 + RT \ln a$ 。等速阶段鱼片表面  $A_{w_s}$  和  $A_w$  相同,这意味着化学位相等,仿佛是进行着可逆过程,为此,这种干燥所蒸发的水分可理解为物料表面自由水和巨型毛细

管凝聚水的蒸发。

图3的  $W-Aw$  曲线中,  $RH=30\%$  时的曲线, 在  $RH=40\%$  的左上方, 这表明在同一干燥阶段(即同样  $W$ ),  $RH$  低于  $30\%$  时的  $Aw$  值远小于  $RH$  为  $40\%$  时的  $Aw$  值。可以说, 在以控制鱼体温度为主干燥马面鲰片时,  $Aw$  是随干燥介质的  $RH$  增大和减小而浮动, 在较高的  $RH$  下, 就相应有较大的  $Aw$ , 反之亦然。

从式(1)和式(10)及 Sprung 式可得出:

$$dw/dt = 0.01(0.6 \sim 0.7) F(Aw_s P_s - \phi P_{D_s}) \quad (12)$$

在干燥过程的每一阶段, 当  $RH=20\% - 50\%$  时,  $t_D$  变化不大, 则结合(12)式可以看出: (1)由于  $Aw_s$  随  $RH$  作相对浮动, 所以适当增大干燥介质的  $RH$ , 而鱼片的干燥速度并未显著减慢。(2)在控制鱼体温度的条件下, 气温  $t_D$  是随着过程的进行而逐渐下降的, 伴随着湿球温度  $t_w$  也相应地下降, 而  $(t_s - t_w)$  则上升, 利用(11)式可以看出  $Aw$ , 也在逐渐减小, 极限情况是  $t_s = t_D$ ,  $Aw_s = RH$ , 这就表示物料已达到平衡湿度干燥停止。在干燥过程中  $Aw_s$  成为决定干燥速度的要素。此外, 从图3的  $W-Aw_s$  曲线中, 也可看出  $Aw_s$  也代表着干燥程度。

## (六) “罨蒸”作用

如前所述, 物料中的大量水分, 已在干燥的前4小时中被蒸发, 后4小时只蒸发25%的水分。也就是说后4小时中, 决定水分蒸发速度的主要因素是鱼体内部水分的内扩散速度。为此, 根据“罨蒸”的机理, 本实验在  $RH=20-50\%$  的范围内, 进行了多次“罨蒸”试验: 即在鱼片干燥3小时, 4小时, 5小时后, 分别取出放在烘道外3小时, 然后再进烘1小时, 其中干燥4小时后取出“罨蒸”为最佳, 其制品含水率同连续在烘道里干燥的制品含水率是一致的, 而且制品质量也是同样的。

从干燥曲线(图1)进行分析, “罨蒸”应在干燥曲线斜率显著减小那一段进行, 由图1可见曲线平缓的阶段, 是在干燥4小时左右开始, 这和实验值是一致的。

在马面鲰片调味干品生产中, 普遍采用这一“罨蒸”工序, 这就能较多地节约能源, 并能提高烘道的利用率和热效率。

## 结 论

1. 在干制加工中, 不仅要注意控制干燥介质的温度, 而且在等速阶段和减速阶段前期气温可控制在  $48-44^\circ\text{C}$ , 在减速干燥后期以控制鱼体温度为主, 力求  $t_s \approx 38^\circ\text{C}$ 。

2. 干燥介质气流的流速, 以  $3.3\text{m/s}$  左右为佳。

3. 当干燥介质  $RH$  在  $20-50\%$  范围内, 鱼体表面水分活度 ( $Aw_s$ ) 随干燥介质湿度 ( $RH$ ) 相对浮动,  $RH$  大时,  $Aw_s$  也相应增大, 因而对干燥速度影响不大, 而且  $RH$  为  $40-50\%$  时制品质量较好。

以上试验结果, 对马面鲰片调味干品生产, 有一定实践价值, 它表明国内现有的热风烘干设备均可进行生产, 不需要另行设计建造新的烘干设备; 它也表明, 可以进行常年生产, 包括霉雨季节(在  $RH=50\%$  左右), 而不需要在设备中增设除湿装置, 可采用高回风

率大量节约能源。

4. 干燥过程中, 物料表面水分活度  $Aw_s$  的简便计算公式如下:

$$Aw_s = \frac{P_M - 0.51 \cdot (T_s - T_M)}{P_s}$$

5. 试验表明, 物料表面水分活度  $Aw_s$  是决定干燥速度, 影响制品质量的因素, 也可作为控制干燥程度的重要参数。

6. 采用鱼体温度和干燥介质气流温度的差值 ( $t_D - t_s$ ), 衡量制品的干燥速度和干燥程度是简易可行的; 同样也可用湿球温度 ( $t_M$ ), 以及鱼体温度和湿球温度的差值 ( $t_s - t_M$ ) 来进行<sup>[15]</sup>。这样可从目前靠经验来确定干燥程度的传统方法上更进一步。便于今后生产上的连续化和自动化。

7. 对于个体较大(厚)的鱼、贝类, 在干燥过程的一定时间中, 插入“霏蒸”工序, 有利于节约能源、降低生产成本, 提高烘道的利用率和热效率, 从而提高经济效益。试验结果表明, “霏蒸”以在进烘后 4 小时进行为佳。

### 参 考 文 献

- [1] 达式奎等, 1980. 水产品烘干房, 农业出版社。
- [2] 上海水产学院, 1961. 水产食品加工工艺学, 136—137, 142—145, 182—183. 农业出版社。
- [3] 上海商品检验局, 1978. 食品化学分析, 11—16, 18—21, 58—59, 210—211, 212—213. 上海科学技术出版社。
- [4] Лурье, М. Ю. (张洪元译), 1956. 干燥作业. 高等教育出版社。
- [5] Филоненко, Т. К.; Ильедеде, П. В. (周政政等译), 1957. 干燥装置. 高等教育出版社。
- [6] Леваидов, Н. П., И Подсевадов, В. Н., 1953. Технология рыбных Продуктов, 133—140. Гизле Пищепром.
- [7] 日本水产学会, 1973. 食品の水, 101—102. 恒星社厚生阁。
- [8] 井上直一, 1937. 鰯及び柔魚の乾燥に就て(I), 日本水产学会誌, 6: 187.
- [9] 清水亘, 1958. 水产利用学, 金原出版株式会社。
- [10] Keey, R. B., 1972. Drying principles and practice, 19—22, 121—122. pergamon press.
- [11] Troller, Jahn and Christain, J. H. B., 1978. Water Activity and Food, 8—10. Academic press.
- [12] Yanez, E., Digna Ballester and Donoso, G., 1970. Effect of Drying Temperature on Quality of Fish Protein, *J. Sci. Fd. agric*, 21(8): 426—428.
- [13] Harberf. F. C., 1974. Automatic Control of Drying Processes Moisture Measurement and Control by the Temperature Difference Method. *Chem. Eng. Sci.* 29(3): 888—890.
- [14] Dello, R. A., 1979. A New Approach to Utilizing Minced Flesh in Dried Products. *J. Food sci. (U. S. A.)*, 44(2): 355—358.
- [15] Groninger, K. G., 1968. Ein Neues Verfahren zur Kontinuierlichen Feuchtigkeits-Überwachung Getrockneter Nahrungsmittel. *Mitt Gebiete Lebensuntersuch Hyg*, 59(5): 460—470.

## ON THE DRYING CONDITIONS FOR FLAVOURING FILLET OF THE FILEFISH, *NAVODON SEPTENTRIONALIS*

Da Shikui and Shi Shufen

(*Shanghai Fisheries College*)

### Abstract

Based on numerous experiments, the optimal drying conditions for flavouring fillet of filefish were found, i. e. the temperature of fillet = 38°C, air flow rate about 3.3m/s and the humidity of drying medium at 40% to 50% RH.

The surface temperature  $t_s$  of fillet performs a predominate effect during the whole drying process. The surface water activity  $Aw_s$  of fillet plays an important role in the drying speed, the quality of the product and the degree of dryness can be calculated from  $t_s$ . Moreover, by adopting the temperature of drying medium  $t_D$ , the wet bulb temperature  $t_w$  and the surface temperature  $t_s$ , the degree of dryness may be controlled and determined as well. During the drying process the surface water activity  $Aw_s$  fluctuates with the variation of air humidity accordingly. It demonstrates the variation of humidity from 20% to 50% RH will not significantly effect the drying time.