

海水螺旋藻工厂化生产中的 喷雾干燥技术

董俊德^① 吴伯堂 向文洲 夏德如 何妙娟

(中国科学院南海海洋研究所)

商树田 苏宝林

(生物学院) (植物科技学院)

摘要 阐述了海水螺旋藻工厂化生产中喷雾干燥的工艺流程,分析了运行参数对藻粉品质的影响。根据研究实践经验,指出了海水螺旋藻干燥过程中可能出现的技术问题,并提出了解决这些问题的方法。

关键词 海水螺旋藻;喷雾干燥;藻粉品质

中图分类号 S226.6; S555.6

Spray Drying Technology in Large-scale Production of *Spirulina Platensis* SCS Powder

Dong Junde Wu Botang Xiang Wenzhou Xia Deru He Miaojuan

(South China Sea Institute of Oceanology, China Academy Sciences)

Shang Shutian Su Baolin

(Biology College, CAU) (Botany College, CAU)

Abstract Spray drying technology in large-scale production of *spirulina platensis* SCS powder is elucidated and the effects of operational parameters on qualities of algal powder are analysed. The possible technology problems which will probably occur in the spray drying process and the ways to solve these problems are presented and discussed.

Key words *spirulina platensis* SCS; spray drying; quality of algal powder

螺旋藻引进我国虽然只有10几年的历史,但发展速度很快,已成为我国重要的绿色食品之一,并已形成产业化生产。在发展前期,主要是用太阳能进行自然干燥,不仅严重影响其品质及卫生标准要求,而且使大规模工厂化生产受到限制,而采用喷雾干燥方式,可连续操作,并可根据产品的特点及物料的特性进行工艺过程调整,使产品符合规定的要求,保证其色香味及有效成分的活性。笔者采用适合于海水螺旋藻特性的喷雾干燥技术进行了多年的试验研究,效果较好。

收稿日期:1995-12-17

①董俊德,广州新港西路164号中国科学院南海海洋研究所微藻组,510301

1 喷雾干燥的工艺流程

喷雾干燥技术经过近 100 年工业生产上的应用已趋完善,形成了一系列的技术工艺流程。笔者根据螺旋藻的物料特性,选用旋转雾化并流开式干燥设备^[1]进行工厂化生产试验,其主要工艺流程和工艺参数如下。

1.1 雾化

在喷雾干燥的雾化过程中,将液态物料制成由雾滴组成的具有很高的比表面积的料雾。在雾化阶段,只有提供具有最佳蒸发条件的料雾,才能生产出质量符合要求的产品,而衡量雾化质量好坏的一个重要指标是雾滴直径 d ,它主要受下列运行参数的影响。

1) 转轮转速 n 。有 $d \propto n^{-1}$, I 是平均粒度指数,有文献认为 I 在 0.55~0.80 之间。

2) 进料速度 v 。有 $d \propto v^q$, q 一般在 0.10~0.12 之间,由此看出进料速度对平均雾滴粒度的影响不是太大。

3) 料液粘度 μ 。有 $d \propto \mu^r$, r 一般为 0.2。

4) 料液表面张力 σ 。有 $d \propto \sigma^s$, s 在 0.1~0.5 之间。

5) 料液密度 ρ 。有 $d \propto \rho^a$, $a \approx 0.5$ 。

因此,对藻液进行喷雾干燥时,要结合藻的状态对进料藻液的上述指标进行分析,以确定最佳运行参数,使藻粉达到所要求的最佳粒度。粒度的大小及分布与藻粉的密度和流动性等特性有重要关系。

1.2 料雾与干燥空气的混合流动

料雾及热空气的运动情况,取决于空气入口与雾化器的相对位置,它可分为并流式、对流式和混流式 3 类^[1,2],这里采用并流式。由于空气与料雾的运动方向不同,塔内温度分布也不同,料雾及空气的运动情况受空气分布器的位置和结构、雾化器的位置和操作、雾滴在干燥时的变化,以及排料、排气方式等因素的影响,但主要是空气分布器决定料雾及空气的运动,正确控制空气分布是保证料雾干燥成功的一个重要因素。

空气分布器及雾化器通过料雾与空气的接触来影响雾滴的粒度分布,如果空气与雾滴接触不合理,还会出现粘壁现象。粘附的主要原因是料雾中的粗颗粒雾滴到达塔壁的时间不够,干空气只将雾滴的表面干燥而出现半干的藻粉粘附在室壁上,料雾中很粗的雾滴或雾化不完全时就会造成这种粘壁现象。要消除这种粘壁现象,除正确的设计和安装外,主要要求正确操作雾化器,如保证转速、防止振动等。粘壁的位置一般在离喷头水平面以下约 $0.2D$ (D 为塔内直径)的四周及顶部。对于大型干燥室,雾化器对雾滴运行的影响减小,可以通过调节干燥空气的速度和方向,增加热空气和料雾的充分混合来防止藻液粘壁。在雾化器正常运转条件下,可通过对空气分布器的调整达到这一目的。值得注意的是,热风在塔内产生旋转运动,不仅促进气-固之间的传质传热过程,而且增加颗粒在塔内的停留时间,但这种旋转运动却带来了严重的粘壁现象;因此,对空气分布器的调节要有一定的适度。

1.3 雾滴与料雾的干燥

料雾中的雾滴与干燥空气接触后,立即形成饱和蒸气膜,于是蒸发和干燥过程开始。一般经过 2 个过程:第 1 阶段为恒速干燥阶段,这时雾滴有充分的水分保持表面的饱和状态;第 2

阶段为降速干燥阶段,此时水分不能保持表面的饱和状态,蒸发速度也逐渐降低。雾滴中的水分主要是在处于饱和及温度不太高的条件下蒸发。

以进口温度 230℃,出口温度 80℃ 为例,由图 1 可看出干燥室各部分的温度。另外,在蒸发过程中,绝大部分雾滴在开始 1.5~2.0s 内完成蒸发,随着蒸发的进行,空气温度很快降低,藻雾在各部位的实际温度只是相当于对应的湿球温度;所以藻粉的品质一般不受温度的影响。

1.4 干燥产品的分离与回收

同并流式干燥器相配套的分选与回收系统一般是旋风分离器,藻粉主要从干燥室的底部排出,另一部分随空气进入旋风分离器回收,这称为两点排料结构。分离器有旋风式、滤袋式、洗涤式和静电沉积式等^[1],这里采用旋风分离器。在旋风分离器中,含尘气体在器内旋转时因离心力而使粉尘向器壁移动,含尘气体由进气管以切线方向进入圆柱体内,围绕中央排气管向下旋转,气体中的粉尘因旋转在离心力作用下向器壁作径向运动,碰到圆柱体壁上失去动能而沿壁落下,进入集料桶;也有少量粉尘由空气带走,若空气载粉量较高,还可以用湿法洗涤器作最后回收。

从底部排出(主分离)和从旋风分离器排出(辅分离)的藻粉在粒度、密度等方面都有较大差别,对藻粉起分级作用,两者的比例与雾化器的状态、藻液的含固率、粘度和排风速度等有关。螺旋藻粉在辅分离中比例也很高,多数为 40%~60%。

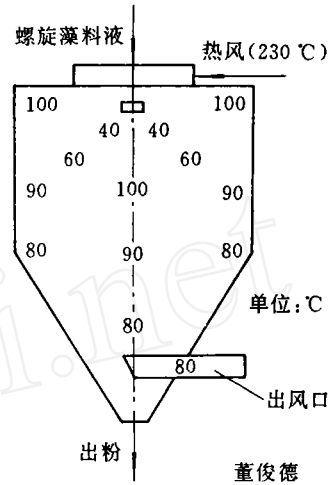


图 1 喷雾干燥温度示意

2 干燥原理及技术调控

2.1 喷雾干燥的基本原因

物料的含水包括结合水和非结合水。有非结合水存在时,干燥近似等速进行,此时雾滴中的水分不断并能维持雾滴表面水分的饱和状态,当扩散及毛细流动不再能维持这种状态时即达到临界点,干燥速度下降,直至到达平衡水分为止。由于螺旋藻细胞水分比某些化工产品的结合水分多,因此减速阶段的时间也较长。

水分从饱和表面蒸发的推动力是水分在雾滴表面温度下的蒸汽压与周围空气中的水蒸气压之差($p_{wb} - p_w$),这一推动力也可表示为饱和表面的温度与空气温度之差。这样,单位时间的蒸发量(传质速度) $dm/dt \propto (p_{wb} - p_w)$,由于雾滴表面与周围空气的温度差 $\Delta\theta$ (即干球温度与湿球温度之差)与 $(p_{wb} - p_w)$ 也成正比,故 $dm/dt \propto \Delta\theta$ 。由此可知,干燥室的出口温度一般应略高于湿球温度,而决不能低于露点温度(湿空气在定压下冷却到开始凝结为液体时的温度),否则,传质将向逆方向进行,藻粉会从空气中吸湿。

雾化使藻液产生具有巨大表面积的微细料雾(雾滴平均直径一般为 40~80 μm),藻液的蒸发表面大大增加,当与热空气接触时就迅速汽化而干燥为藻粉。在藻液料雾的恒速蒸发阶段,蒸发时间 t_1 与雾滴前后的表面积差($A_0 - A_1$)成正比;而在降速蒸发阶段,蒸发时间 t_2 与雾化颗粒表面积 A 呈正相关,即 $t_2 \propto A$ 。

关于藻液料雾与空气接触中湿空气的各种重要参数,如相对湿度、湿含量、热含量、绝对温度、露点和湿球温度等,可由焓湿图提供。这些参数对确定干燥的蒸发能力、雾滴及藻粉颗粒的温度和进、出口温度等有重要作用,获得这些数据即可根据藻粉喷雾特性,确定进料量、进料速度和藻液含固率,以保证藻粉的品质不致下降。

2.2 喷雾干燥的操作参数对藻粉品质的影响

影响藻粉品质的主要操作参数如下。

1) 喷头转速。在进料速度不变的条件下,提高雾化喷头的转速可以减小料雾中雾滴的平均粒度,同时也提高了藻粉的松密度。

2) 藻液含固率。含固率增加,藻粉的颗粒尺寸也增加,在一定的干燥温度和进料速度下热效率提高,使干燥产品的含水量降低;但含固量过大使粘度加大,雾的颗粒过大,会产生粘壁现象。

3) 进料速度。进料速度过大,会产生粗颗粒并使粗藻粉密度增大,同时可能产生粘壁现象;因此,应根据蒸发量的大小作具体调整。

4) 干燥塔空气流速。空气流体可控制藻液料雾在干燥室内的停留时间,适当延长停留时间,可更多地排出水分。降低气流速度有利于藻粉的分离与回收,但流速过低时若不适当提高进口温度,则不能保证干燥质量。

5) 进口温度。在空气流速一定时,进口温度较高,使蒸发能力提高,同时干燥室的热空气利用率提高;但蒸发速度过高会使藻粉产生碎片状结构,因而容积密度(松密度)降低。同时螺旋藻是热敏性物料,过高的进口温度会破坏其内部的热敏性有效成分,如 β -胡萝卜素等,使产品质量降低。

6) 出口温度。从藻粉的质量要求来看,控制出口温度尤为重要。在其他条件不变的条件下,提高出口温度会降低产品的含水量。应根据藻粉的加工、包装性质和流动性的要求来确定出口温度。降低出口温度还可以提高热效率,但不能低于露点温度。

此外,提高藻液进料温度,也可以降低粘度,提高热效率,对干燥粉的品质也有影响;但螺旋藻是热敏性物料,一般不宜采用此类方法。对于降低表面张力及粘度,笔者摸索了一些方法。需要指出的是,由于螺旋藻的特殊性,对雾化设备的重新设计及改造是以后需要研究解决的问题。

2.3 可能出现的问题及解决办法

海水螺旋藻喷雾干燥中可能出现的问题及解决办法如表1所示。

表1 海水螺旋藻喷雾干燥中可能出现的问题及解决办法

出现的问题	原因分析	措 施
1. 藻粉含水量高但粒度较均匀	1. 出口温度太低使平衡水分较高	1. 适当减小进料速度,以提高排风温度
2. 干燥室内壁到处都有湿粉粘着	1. 进料量太大,不能充分蒸发; 2. 喷雾开始前干燥室预热不足; 3. 开始喷雾时进料流量调节过大或流量不稳定	1. 适当减小进料速度; 2. 适当提高进、出口温度; 3. 在开始喷雾时流量要小,逐步加大,调到适当时为止; 4. 调整含固量,进行藻液预处理,降低藻液的粘度; 5. 调整喷头转速和空气分布器

续表 1

出现的问题	原因分析	措 施
3. 蒸发量降低,不能保证单位时间的蒸发量	1. 系统中的空气流量小; 2. 热风的进口温度偏低; 3. 设备气密性不好	1. 检查离心风机的转速是否正常; 2. 检查气路是否堵塞,电压、燃油炉燃烧是否正常; 3. 作气密性检查
4. 藻粉的杂质过多	1. 藻粉未洗涤干净; 2. 养殖池中混有杂质; 3. 空气过滤效果差; 4. 空气加热器不好	1. 注意养殖池卫生,清除杂质; 2. 用洗藻机将藻液洗净; 3. 调整好燃油炉,使燃烧充分; 4. 保证空气过滤质量
5. 藻粉太细,跑粉率过大	1. 含固量低,进料量太小; 2. 旋风分离器分离效果差; 3. 排风速度不合适; 4. 藻液养殖不当	1. 加大进料量,相应提高进口温度; 2. 改进进料方式,提高藻液含固量; 3. 检查气密性及有无堵塞现象; 4. 调整排风口大小; 5. 改善养殖条件
6. 离心喷头运转不正常	1. 喷头有故障	1. 检查喷头内部件,清洗喷雾盘,更换主轴等

3 结束语

螺旋藻液物料是一种具有完整细胞的微藻,其内部的结合水比例很高(以含固率为5%为例,其结合水与非结合水的比例大约为1:4~1:10),在干燥器设计时要充分考虑这一特点。设计干燥器时还要注意螺旋藻是热敏性物料,其有效成分对氧也很敏感,在保证干燥质量的条件下,应以尽可能短的热空气接触时间及尽可能低的温度进行干燥,以保证螺旋藻有效成分的生物活性。冷冻干燥技术虽然能适当保护其有效成分,但干燥速度低、成本高,不适合工厂化生产。

美国一家微藻公司利用低温海水的雾化,使进入干燥器的空气的湿含量大大降低,同时通过O₂吸附装置将空气的O₂降到1%,使螺旋藻在较低的温度条件下,在极短的时间内以及在较低的O₂浓度下得到干燥,保证了螺旋藻内的有效成分如β-胡萝卜素和生物活性酶等的活性不变(据估计,用此方法有92%的β-胡萝卜素不受损失)。这种方法的不足之处是热效率可能很低。

参 考 文 献

- 1 Masters K 著. 喷雾干燥手册. 黄照柏, 冯尔使译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983. 18~47
- 2 郭宜祜, 王喜忠. 喷雾干燥. 北京: 化学工业出版社, 1983. 226~234, 159~166