

18-22

超声波对盐藻的破碎作用*

路德明 张中南[√] 夏 舂^{**} P 149.2

(物理系)

摘 要 通过实验和对超声波破碎盐藻作用机制分析, 为从盐藻中提取胡萝卜素探求一种简便的新途径。

关键词 盐藻; 超声波; 破碎; 空化

盐藻中含有丰富的 β -胡萝卜素, 为了从其体内提取胡萝卜素, 应首先将盐藻予以粉碎。目前已采用的方法均存在困难, 我们利用超声波的生物效应来粉碎盐藻, 取得初步实验结果, 提出超声波破碎盐藻的作用机理, 给出了应用的可行性, 为推广到工业生产提供依据。

1 实验及结果

1.1 实验装置 实验装置如图1所示。超声波发射换能器分别采用压电陶瓷和磁致伸缩两种换能器, 根据要求发射不同强度不同频率的超声波, 将含有盐藻的溶液注入玻璃器皿中。为了防止盐藻在液体的声压波节附近聚集一所谓盐藻细胞的驾驭现象的发生, 而影响超声波的破碎作用效果, 设置一个搅拌器并不时地进行搅拌。考虑到超声作用下引起的溶液升温现象, 用温度计随时监测。实验过程中通过改变超声波的频率、声功率的作用时间随时观测盐藻的破碎情况。

1.2 实验结果 将被超声波作用的盐藻样品放在一定放大倍数的显微镜下计量观测, 并进行显微照相, 如图2所示, 实验观测结果见表1~表4。

在进行盐藻试样分析时, 以显微镜可视范围面积为计量单位。盐藻本身无细胞壁, 仅有胶质包围原生质, 在显微镜下观察时胶质是

无色透明体, 但其内含有色素, 故活动的盐藻体成绿色椭球状。当有盐藻被粉碎后, 原生

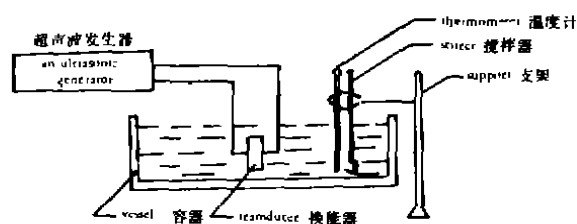


图1 实验装置

Fig.1 Experiment device

* 参加本文研究工作的还有张郑、宣平毅、高中明等。 ** 现在青岛电冰柜总厂

收稿日期: 1990-07-06; 修回日期: 1992-03-10

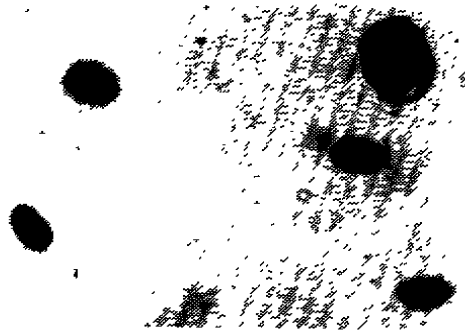


图 2 (a) 超声波作用前的盐藻
Fig 2 (a) Salt algae before ultrasonic radiation effect (URE)

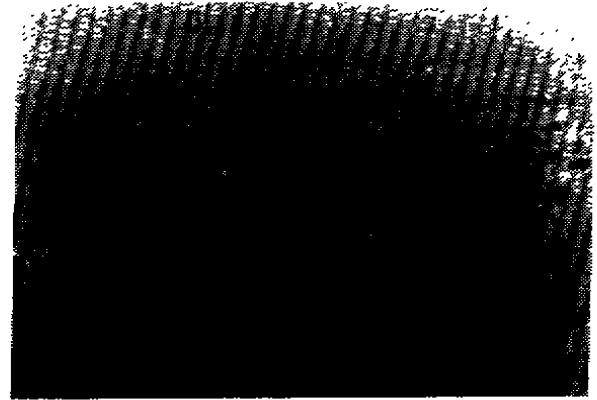


图 2 (b) 超声波作用后的盐藻
Fig 2 (b) Salt algae after ultrasonic radiation effect (URE)

表 1 超声波频率为30KHz, 工作电压为150v, 初始温度 $t_0 = 20^\circ\text{C}$

Table 1 Ultrasonic frequency 30KHz, voltage: 150v, the beginning temperature: $t_0 = 20^\circ\text{C}$

超声波辐射 作用时间(分) Time of URE (min)	取样温度($^\circ\text{C}$) Sampling Temperature	超声波作用前盐藻数(个) The number of salt algae before the URE	盐藻破碎数(个) The division number	破碎率(%) The division rate
10	21.7	400	100	25
20	22.0	400	160	40
30	22.0	400	230	57

表 2 超声波频率46KHz, 工作电压105v, 初始温度 $t_0 = 20.5^\circ\text{C}$

Table 2 Ultrasonic frequency 46KHz, voltage: 105v, the beginning temperature $t_0 = 20.5^\circ\text{C}$

超声波辐射 作用时间(分) Time of URE (min)	取样温度($^\circ\text{C}$) Sampling Temperature	超声波作用前盐藻数(个) The number of salt algae before the URE	盐藻破碎数(个) The division number	破碎率(%) The division rate
10	21.0	400	160	40
20	21.5	400	220	55
30	21.8	400	270	67
40	22.0	400	330	82

质就流出胶质膜并分散在培养液中。还有一部分为不完全破碎的盐藻, 即膜虽然破裂, 但原生质尚未完全被分散开, 在显微镜下可以清楚地看到这类盐藻变成了不活动的圆球

表 3 超声波频率为46.4KHz, 工作电压107v, 初始温度为 $t_0 = 20^\circ\text{C}$ Table 3 Ultrasonic frequency 46.4KHz, voltage 107v, the beginning temperature $t = 20^\circ\text{C}$

超声波辐射 作用时间(分) Time of URE (min)	取样温度($^\circ\text{C}$) Sampling temperature	超声波作用前盐藻数(个) The number of salt algae before the URE	盐藻破碎数(个) The division number	破碎率(%) The division rate
20	22	400	200	50
30	22	400	250	62
40	22	400	320	80
50	22	400	330	82

表 4 超声波频率 48.2KHz, 工作电压109v, 初始温度 $t_0 = 20^\circ\text{C}$ Table 4 Ultrasonic frequency: 48.2KHz, voltage 109v, the beginning temperature $t = 20^\circ\text{C}$

超声波辐射 作用时间(分) Time of URE (min)	取样温度($^\circ\text{C}$) Sampling temperature	超声波作用前盐藻数(个) The number of salt algae before the URE	盐藻破碎数(个) The division number	破碎率(%) The division number
10	21.5	400	140	35
20	22.0	400	230	57
30	22.0	400	280	70
40	22.0	400	310	87

状结构。

为了确认不再在显微镜下出现的那一部分盐藻体为完全被粉碎, 我们将用超声波辐射过的盐藻培养液静置数小时之后, 再分别对上、中、下三层试液取样观测, 结果三层记数结果十分相近, 证明不再出现部分的盐藻确实被超声波完全破碎了。

2 超声作用与破碎率相关分析及其机理

2.1 超声辐射与盐藻的破碎率 实验表明不同的超声频率, 不同强度(不同工作电压)下, 在相同的辐射作用时间内盐藻的破碎率是有差异的, 从取样分析来看, 在超声辐射后的前10min内盐藻破碎率最高, 然后每增加作用10min, 盐藻破碎率增加10%以上。随时间的增加盐藻破碎率可达80%以上, 作用时间的增加与盐藻破碎率基本呈线性关系。此后长时间超声辐射作用, 盐藻破碎率变化不大。超声辐射功率的大小是盐藻破碎的主要因素。在足够大的功率下, 同样的工作电压时, 超声辐射存在一个最佳工作频段, 在此超声频段盐藻的破碎率较高。该频率与容器的大小、形状、溶液的多少以及盐藻的生长状况有关。若超声频率选择不当, 虽有较大的辐射作用功率, 其破碎率也是不高的, 如表

1 所示。增大超声辐射功率，选择好适宜的工作频率，盐藻的破碎率将提高，破碎时间会缩短，可取得较好的效果。

2.2 超声波粉碎盐藻的机理 超声波具有较强的生物学作用，生物机体对超声波作用的反应是多方面的，不同强度的超声波引起的破坏的性质也不同。生物学作用表现的多样性不仅决定于超声波的频率和强度，并且还与活机体的结构以及它的功能状态有很大关系，超声波生物学作用的机制是十分复杂的。在被超声波所作用的活的机体中产生的一系列物理反应，可看作是机械力作用的结果，但超声波的生物学作用问题是与被超声波作用的液体中形成空化现象相关的问题错综交织在一起的。所谓空化即在流体动力学中，在相当大的破坏应力的作用下，液体内部形成空泡的现象。超声波的生物作用大多是在含有这样或那样一些气体介质中实现的。液体中存在气体则易于呈现空化现象，即在相对较小的压力下便会发生液体裂隙。在被超声作用的介质中显著的机械力的出现亦与空化现象相关，计算表明，在近空泡的表面处可产生几千大气压。在水中当超声波辐射面上的强度达到 $0.3\text{w}/\text{cm}^2$ 时就会产生空化，上述空泡在一瞬间就很快闭合，空化泡闭合时产生的压力脉冲形成一个球形冲击波，正是该冲击波导致了盐藻原生质的破碎。依据瑞利公式，当气泡的半径由 R_0 缩至 R 时，则气泡闭合时在液体中产生的压力为：

$$P = \sqrt{\frac{2p_0}{\beta} \left(\frac{R_0^3}{R^3} - 1 \right)} \quad (\text{大气压}) \quad (1)$$

其中 β 为液体的压强系数，对于水 $\beta = 50 \times 10^{-6}$ 大气压。当 $p_0 = 1$ 大气压， $R_0/R = 20$ ，计算可得 $p = 10300$ 大气压。

静压力为 p_0 ，密度为 ρ 液体内部，半径为 R_0 的气泡完全闭合所需的时间，

$$t = 0.915R_0 \sqrt{\frac{\rho}{p_0}} \quad (\text{s}) \quad (2)$$

这样在标准压力下，水中直径为 0.1mm 的气泡闭合时间约为 $5\mu\text{s}$ ，当超声波频率为 f 时，这种空化作用过程每秒进行 f 次。

对于液体中空化时气泡与超声波工作频率之间则有如下关系：

$$f = \frac{1}{\pi d} \sqrt{\frac{2kp_0}{\rho}} \quad (\text{Hz}) \quad (3)$$

式中， d ：气泡直径； k ：气泡定容定压比热比。从理论上确定盐藻水溶液中气泡的大小尺度后，即可选择最佳超声波频率。但盐藻破碎并非以一个盐藻大小为一气泡单元，而是由若干直径大于盐藻的气泡单元所引起的空化。由于液体中含有大量气泡，按统计观点，气泡的尺度在一定范围内有一连续分布，可以近似认为气泡在一定变化范围内是准连续的，所以超声波的工作频率相应有一定变化范围，即有一定带宽。

3 结 语

超声空化现象是超声对生物起破坏作用的主要原因，超声场中盐藻的瞬间破裂几

乎都是由这些生物内部包含的空气泡引起的,空化中产生的极大的压力差造成了细胞壁和整个微生物的破裂,整个破裂过程在极短时间内完成。超声对盐藻的破碎作用不仅与声强和频率以及辐射时间有关,而且还与盐藻的发育生长期有关。在盐藻的培养中含有大量的溶解气体和微小杂质,因而在盐藻的胶质外膜周围,便附着大量的微小气泡,给空化的产生造成了必要的条件。

由于超声破碎盐藻是一个物理现象,过程发生中间没有化学效应,使盐藻的成分在超声辐射前后短时间内保持原质而未进行化学反应;此外,较强的超声功率和最佳频段的选择,能够提高破碎速度,缩短破碎时间,可望能实时地提取高经济价值的 β 胡萝卜素,在工业生产中提供一种新手段或可能性。

参考文献

- (1) L. Herforth, H. M. Winter. *Ultraschall*. B. G. Teubner 1958.
- (2) P. M. Morse K. U. Ingard, *Theoretical Acoustics* 1968. by Mc Graw-Hill, Inc
- (3) J. Szilard *Ultrasonic Testing* 1982. by John Wiley & Sons, Ltd
- (4) 应崇福,《超声学》. 科学出版社, 1990, 511-527.
- (5) 冯君, 超声生物效应及超声临床诊断的安全性. 《应用声学》, 1987, 6(1): 5.

THE DIVISION EFFECT ON SALT ALGAE BY ULTRASONIC

Lu Deming Zhang Zhongnan Xia Chong

(Department of Physics)

Abstract

The mechanism of salt algae division by ultrasonic is discussed and a new convenient method for drawing carotene β from salt algae is hopefully provided in this article.

Key words: Salt algae; ultrasonic; division; cavitation