

超声波强化甜菜糖分渗出的研究

王鸿生 谢梓湘 王文侠

(食工系)

(齐齐哈尔轻工业学院)

摘要: 本文研究了超声波对甜菜糖分渗出过程的影响,对圆形菜片渗出的实验表明:超声波在试验温度下都能强化甜菜糖分的渗出速率,而渗出汁纯度无显著差异,其中50℃时的强化效果最佳。超声波强度的变化对甜菜糖分的渗出速度有显著影响,强度大,糖分渗出速率高。超声作用时间越长,甜菜糖分渗出速率也越高,停止超声作用后,糖分的渗出在一段时间内渗出速率仍高。本文还根据实验结果,从理论上对工业渗出器采用超声波强化进行探讨,提出了糖厂生产选择超声设备的方案。

主题词 甜菜; 超声波/渗出

0 前 言

用超声波强化扩散过程,早在50年代就有人研究过^[1,2],并得出肯定的结论。甜菜中糖分的渗出也是一个扩散过程,因而用超声波进行处理也应能达到强化扩散的目的。但由于存在一些技术上和经济上的原因,阻碍了超声波在甜菜糖分渗出中的应用。

作者曾提出初步报告^[3]。在这基础上进一步做了研究,探讨了影响超声波强化渗出的诸因素。作者经过研究认为,超声波可以强化渗出工艺,提高渗出速率,缩短渗出时间,提高现有渗出器的生产能力;在设计渗出器时,可以缩小渗出器的有效容积和设备外形尺寸,使渗出器的造价降低,并使渗出车间的占地面积和投资费用减少。

1 实验装置、材料和方法

1.1 实验装置

如图1所示,由热烫和渗出装置两部分组成。

1.1.1 热烫装置 主体为 $\phi 300 \times 300$ 毫米玻璃恒温水浴。由1000瓦加热器、WMZK—01型控温器、6511型电动搅拌器和载菜架等组成。

1.1.2 超声波渗出装置 用不锈钢焊制 $155 \times 155 \times 350$ 毫米长方体,内放载菜架。采用的压电式超声发生器由发生器和换能器二部分组成。发生器的输出功率为300、250、200和125瓦。换

能器工作频率为30千赫，9只换能头安装在渗出装置一侧，另一侧则安装1000瓦加热器。装置底部装有筛板、锥形漏斗和闸阀。

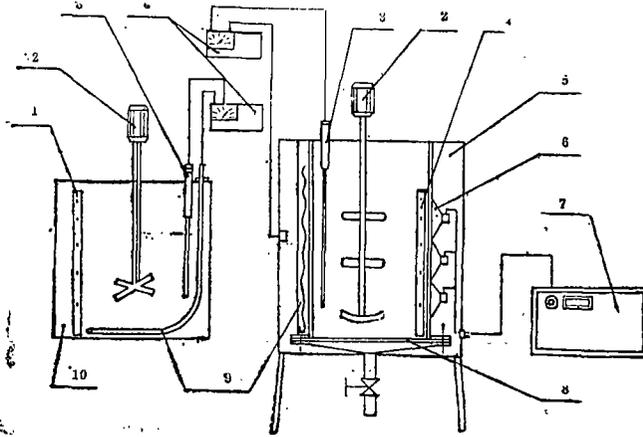


图1 实验装置示意图

1—载菜架；2—搅拌器；3—测温探头；4—控温仪；5—渗出装置；6—换能器；7—超声发生器；8—筛板；9—加热器；10—热烫池

1.2 实验材料

- (1)新鲜甜菜 江苏淮阴制糖厂提供，含糖18%左右，置0℃冷藏柜中，随用随取。
- (2)渗出用水 普通自来水。
- (3)热烫汁 由蔗糖配制成的15%的糖溶液。

1.3 实验方法

将洗净甜菜沿根部切成 $\phi 40 \times 4$ 毫米的菜片均匀混和，串接固定在白铁片制成的载菜架上，菜片间隙6.5毫米。然后置于15%浓度，温度为75℃的糖汁中热烫1小时。再在室温下的15%糖汁中平衡后，放入已加热至恒定温度7500升渗出水的渗出器中。在超声波或无超声波作用下渗出到预定时间，取出一组(7或14片菜片)，放入煤油中不断搅拌，冷却至室温，拭去菜片表面的煤油后，绞糊，榨汁，分析糖分(旋光法)^[5]、锤度(折光法)^[5]、果胶(多缩戊糖法)^[5]等。以此类推。

2 结果与分析

2.1 超声波在不同渗出温度下对甜菜糖分渗出的影响

图2是在50℃时有或无超声波作用下甜菜糖分渗出对比的结果，即菜片残留汁中固形物、蔗糖分随渗出时间变化的散点图和回归直线(本文所列回归直线方程均在 $\alpha = 0.01$ 或 $\alpha = 0.05$ 水平上显著)。可以看到，超声波使甜菜糖分和其它固形物的渗出速率较对比的快，其差距随渗出时间的增加而逐步加大，而菜片的渗出汁纯度无显著变化。在45℃、55℃、60℃、65℃、70℃、75℃下亦得到相同的结果。表1为这些温度下对比实验的回归方程。可以看出，渗出温度为50℃时对比实验的糖度、锤度与渗出时间的对数回归直线斜率差最大，为0.0137，即该温度下强化效果较佳。

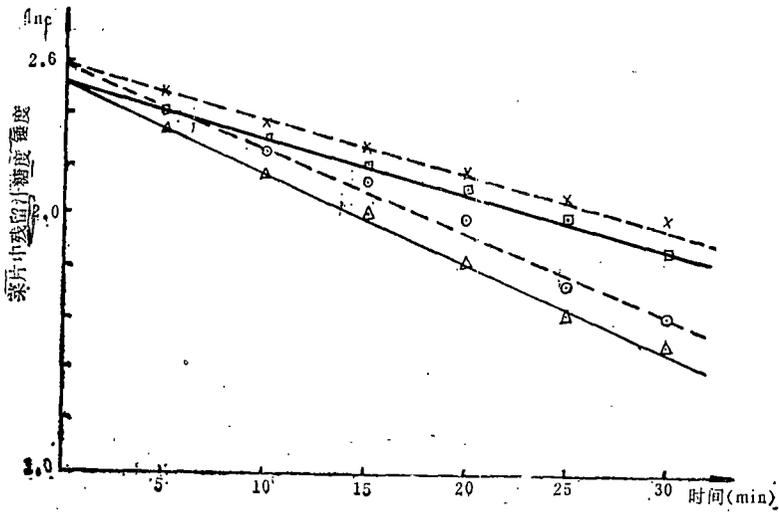


图2 菜片残留汁固形物蔗糖分锤度与渗出时间的散点图和回归方程

×—A锤度 ◻—A糖度 ⊙—B锤度 △—B糖度 A—无超声作用 B—超声作用

表1 对比实验菜片残留汁的糖度、锤度与渗出时间的回归方程

温度 (°C)	项目 方程式 条件	菜片残留汁的糖分与渗出时间关系	
		线性回归方程	斜率差
45	A	$\ln c = 2.544 - 0.0196t \quad r = .989$	0.0079
	B	$\ln c = 2.542 - 0.0275t \quad r = .997$	
50	A	$\ln c = 2.513 - 0.0211t \quad r = .9975$	0.0137
	B	$\ln c = 2.520 - 0.0348t \quad r = .997$	
55	A	$\ln c = 2.5483 - 0.02555t \quad r = .995$	0.01185
	B	$\ln c = 2.507 - 0.0374t \quad r = .997$	
60	A	$\ln c = 2.521 - 0.0268t \quad r = .9997$	0.01136
	B	$\ln c = 2.498 - 0.0382t \quad r = .9999$	
65	A	$\ln c = 2.511 - 0.0291t \quad r = .998$	0.01027
	B	$\ln c = 2.510 - 0.03937t \quad r = .998$	
70	A	$\ln c = 2.494 - 0.03072t \quad r = .996$	0.00945
	B	$\ln c = 2.4654 - 0.04017t \quad r = .999$	
75	A	$\ln c = 2.5335 - 0.03102t \quad r = .994$	0.00953
	B	$\ln c = 2.4903 - 0.04055t \quad r = .996$	

		菜片残留汁的锤度与渗出时间关系	
		线性回归方程	斜率差
45	A	$\ln c = 2.600 - 0.0206t \quad r = .998$	0.0077
	B	$\ln c = 2.588 - 0.0283t \quad r = 1.00$	
50	A	$\ln c = 2.588 - 0.0210t \quad r = .998$	0.01165
	B	$\ln c = 2.5748 - 0.03265t \quad r = .996$	
55	A	$\ln c = 2.5895 - 0.02485t \quad r = .995$	0.01075
	B	$\ln c = 2.544 - 0.0356t \quad r = .994$	
60	A	$\ln c = 2.550 - 0.02545t \quad r = .999$	0.01068
	B	$\ln c = 2.5283 - 0.03613t \quad r = .9998$	
65	A	$\ln c = 2.5574 - 0.0272t \quad r = .997$	0.01090
	B	$\ln c = 2.5772 - 0.0381t \quad r = .999$	
70	A	$\ln c = 2.538 - 0.0291t \quad r = .993$	0.0094
	B	$\ln c = 2.5143 - 0.0385t \quad r = .998$	
75	A	$\ln c = 2.5653 - 0.02965t \quad r = .988$	0.00910
	B	$\ln c = 2.5159 - 0.03875t \quad r = .9985$	

注：A—对照实验以上各回归线均在 $\alpha = 0.01$ 水平上显著
 B—有超声作用实验

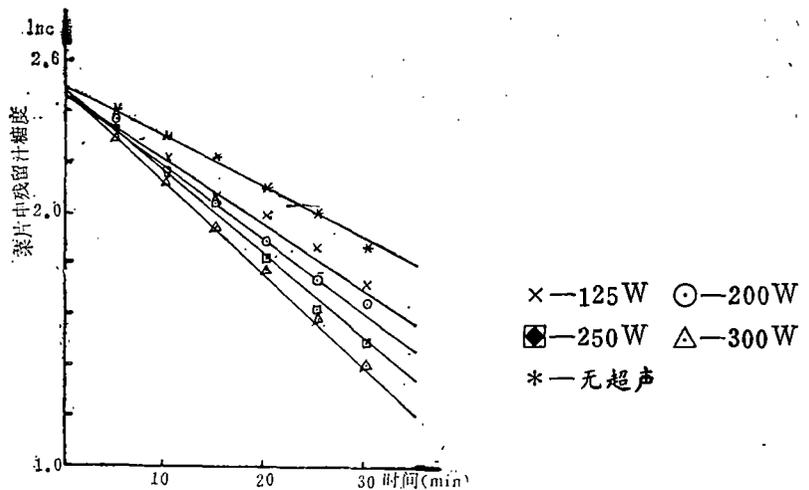


图3 不同超声功率下甜菜糖分渗出结果

2.2 超声波强度对甜菜糖分渗出的影响

图3为不同功率超声作用下的甜菜糖分渗出试验中菜片残留汁的糖分与渗出时间的散点图和回归直线。对相近两功率作用结果进行两因素方差分析,均有显著差异。从以上结果可以看到,本试验范围各超声波功率作用下,甜菜糖分渗出均随渗出时间的增加而增加。超声功率不同,渗出速率也不同,强度大,渗出速度快;强度小,渗出速度慢。

2.3 超声波强度的衰减对渗出过程的影响

图4为距声源分别为30、60、90毫米在50℃、250瓦超声波作用下的渗出试验结果,即菜片残留汁中的糖分和渗出时的散点图和线性回归直线。将距声源30毫米的试验方程与距声源60毫米的进行t分布检验,无显著差异,而距声源30毫米与90毫米的差异显著。这一结果表明,沿着超声波传播方向,超声波对糖分渗出过程的影响逐渐减弱,但其减弱的速度是缓慢的。声强的削弱主要是被介质吸收的缘故。为抵消这种衰减作用,可采用大功率超声波进行补偿,同时工业渗出器中的搅拌作用也可以使物料均匀地受到超声波的作用。

2.4 超声波作用时间对甜菜糖分渗出的影响

2.4.1 超声作用的持续性:表2为渗出开始前15分钟进行超声作用和无超声作用的试验结果。

表2 超声波作用持续性试验结果

残留汁糖分 试验项目	时间 (min)	10	15	20	25	30	35	40
	前15min超声作用	—	7.44	6.57	5.96	5.36	—	4.28
无超声作用	—	9.96	8.71	8.02	7.00	6.56	5.61	5.11

从表2可知,经超声作用的菜丝残糖分从7.44%下降到6.57%、5.96%、5.36%各需5、10和15分钟;而无超声渗出残糖分下降相同的值,经实测分别为5.64、10.20和14.9分钟。换言之,超声波停止作用后,高渗出速率的过程仍持续一定时间。

2.4.2 超声作用于不同的渗出阶段:表3为超声作用于渗出过程各阶段的实验结果。从表3中可知,在渗出20~30分钟时进行超声波作用,在30和35分钟渗出中测得的残糖含量最低(分别为4.72%和4.13%),即菜片中含糖较低时的渗出后期,超声波作用效果较佳。

表3 超声作用于不同渗出阶段试验结果

残留汁糖分 项目	时间 (min)	10	15	20	25	30	35
	0~10min 超声作用	—	8.25	7.15	7.05	5.91	5.67
10~20min 超声作用	—	9.85	7.99	6.08	6.17	5.31	5.00
15~25min 超声作用	—	9.75	8.73	7.32	5.58	5.21	5.02
20~30min 超声作用	—	9.80	8.61	1.85	6.36	4.72	4.13

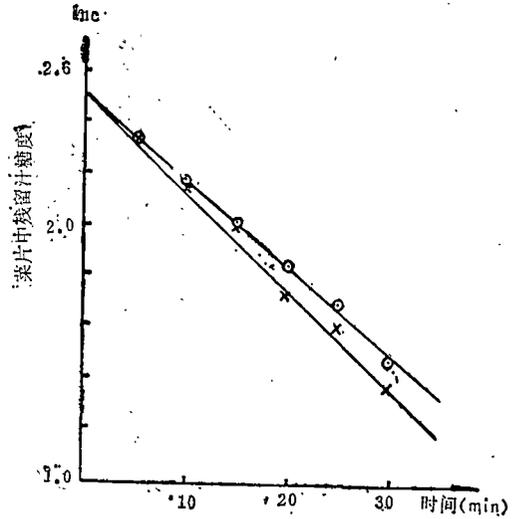
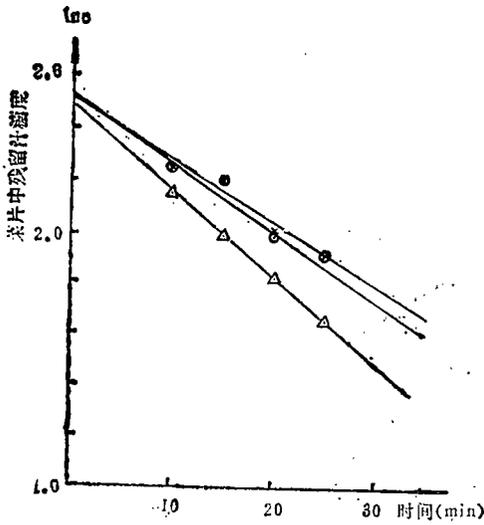


图4 超声波强度衰减对甜菜糖分渗出影响 图5 机械搅拌与超声作用对甜菜糖分渗出影响
 ×—距声源90mm ○—距声源60mm △距声源—30mm ×—超声作用 ○—机械搅拌

2.5 机械搅拌与超声波作用的比较

图5为机械搅拌(380转/分)和超声波(250瓦)作用于甜菜糖分渗出的比较,甜菜片残留汁中的糖分和渗出时间的散点图和回归直线。对两回归直线斜率进行了t分布检验,结果有显著差异,说明超声波对甜菜糖分渗出作用超过机械搅拌。其原因可能是超声波的空化作用,不但对甜菜表面而且对甜菜内部组织都起了作用。

2.6 超声波对甜菜中果胶质的影响

表4 不同操作条件下的果胶残留量

编号	操作条件	菜片中残留果胶量(%)
I	A 15%糖汁70℃中热烫1h, 50℃下渗出30min	3.57
	B 15%糖汁70℃中热烫1h, 50℃超声(250w)作用30min	3.61
II	A 15%糖汁75℃热烫, 余同I A(空白)	3.54
	B 15%糖汁75℃热烫, 余同I B(超声作用)	3.22

从表4可知第I组试验中,超声波作用下渗出试验菜片残留果胶与空白试验相差不多,仅多1.12%(绝对值差0.04),而渗出糖分前者比后者增加很多。同样,第II组试验中超声作用下菜片残留果胶比空白少9.46%(绝对值差0.32),而在此操作条件下残留汁糖分比空白少36.7%,即糖分渗出比果胶大4倍。换言之,在超声作用下,虽然可溶性果胶渗出速度有所增加,但其幅度比糖分渗出小得多。超声波对甜菜组分的强化渗出有一定的选择性。

2.7 超声波对冻甜菜渗出的影响

以上试验均采用新鲜甜菜。图6为50℃时采用冻甜菜的对比试验结果,即菜片残留汁中蔗糖随渗出时间变化的散点图和回归直线。从图6可知,结果与2.1相似,超声波作用使甜菜糖分渗出速度较对比试验的快,其差距也随渗出时间的增加而加大。对两回归直线斜率进行t分布检验,知其在 $\alpha = 0.01$ 水平上有显著差异。换言之,超声波对冻甜菜的糖分渗出也有明

显的强化效果。

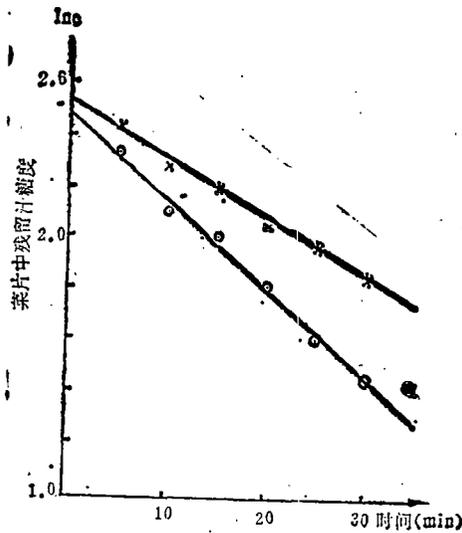


图6 超声波对冻甜菜糖分渗出影响
×—无超声作用 ○—超声作用

3 超声波强化渗出在生产应用中的探讨

3.1 换能器的选择

超声波的发生是利用特制的换能器将能量从一种形式变成另一种形式。换能器型式各异,表5是处理液体物料具有实用价值的3种换能器^[2]。

表5 3种换能器

项 目	液体动力换能器	磁致伸缩换能器	压电换能器
频率范围(kHz)	2~50	4~200	2~2000
强度(w/cm ²)	1~2	1~9	几十
效 率(%)	100	50	30~60

液体动力换能器属机械型发生器,磁致伸缩换能器则属机电型发生器,要有复杂的电力设备,且转换效率低,价格昂贵;而前者直接将机械能转换成声能,效率高,设备简单,只要一台高压泵和哨笛式装置,所以用超声波强化甜菜糖分渗出采用液体动力换能器更经济实用。

3.2 超声波频率的选择

超声波的空化阈与频率直接相关,频率越高,空化阈越大,越不易空化。由于实验条件的限制,作者未能对超声波各种频带依次进行试验。根据文献介绍,并结合我国超声仪器工业的现状,制糖工业选用20~30千赫的超声波发生器是合适的。

3.3 超声波强度的选择

本试验结果已表明,超声波强度在0.3瓦/厘米²以上效果较佳。但由于实验装置所限,作者未能在高强度范围内进行试验。根据文献介绍,在超声清洗方面,选用0.5~1.0瓦/厘

米²强度最佳。故制糖工业可初步选用超声强度为0.5瓦/厘米²左右。

3.4 安装位置和方式

由实验可知,超声波在很大的温度范围内对甜菜糖分渗出均有较大影响,其作用有一定的持续性和选择性。而甜菜糖分的渗出速率随糖分含量的减少而降低。超声波在低浓度糖分强化作用更为显著。所以超声波装置安装在渗出器后段为宜,以提高后段甜菜的渗出速率。

如采用液体动力换能器作为超声波发生装置,作者设想可用高压泵从渗出器底部经过过滤器抽取一定量渗出汁,泵至换能器接头,然后从喷嘴狭孔中喷向簧片的刀口。换能器可安装在渗出器的内壁上,可并联多个换能器以加大功率。

3.5 关于投资和能耗

由高压泵和易于制造的换能器组成的液体动力换能器,投资费用较机电型换能器小得多。这种设备直接将机械能转变为声能,效率很高,除带动高压泵的电机消耗少量电外,无需耗用更多电能。据本试验结果表明,如果实际应用,用电量相当于或略高于实验结果,则回收的糖量可以抵消或超过这部分费用。如果超声波强化应用于制糖工业欲取得目前的生产水平,那么渗出时间可以缩短,设备尺寸、占地面积均可缩小,其经济效益是可观的,因此超声波在甜菜渗出中的应用前景是很明朗的。

4 结论

(1)超声波对甜菜糖分渗出过程影响显著。渗出温度50℃时,强化效果较佳,糖分和锤度均明显增加,而纯度与空白试验无显著差异。

(2)不同的超声功率对甜菜糖分渗出过程有不同的影响,功率大,效果好。

(3)超声波对甜菜糖分渗出的强化作用具有时间持续性,不同渗出阶段具有不同的效果,而甜菜片含糖低的后期,效果较显著。

(4)超声波对甜菜糖分渗出的作用优于机械搅拌作用。

(5)超声波对甜菜果胶渗出也有显著影响。但其速度的增量是糖分速度增量的四分之一左右。

(6)超声波对冻甜菜的渗出也有显著的影响。

致 谢

无锡江宁机械厂荣德新工程师、张荣珠同志帮助本研究的实验设备安装调试,表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 Genie G V. Juice Extraction in the Beet Factory. Sugar Technol Review 9:148~151
- 2 弗里德曼 伏姆(苏). 声和超声波振动及其在轻工业中的应用. 中国财政经济出版社, 1963

- 3 王鸿生, 谢梓湘, 王文侠, 王立梅. 超声波对甜菜渗出影响的初步研究. 甜菜糖业, 1988; 1
- 4 强超声波应用编译小组编译. 强超声波应用. 辽宁人民出版社, 1975
- 5 华南工学院等. 制糖工业分析. 轻工业出版社, 1984

A Study of the Influence of Ultrasound on Sugar Beet Diffusion

Wang Hongsheng, Xie Zixiang, Wang Wenxia

Abstract: The influence of ultrasound on sugar beet diffusion is investigated. The experiment on extraction of disk shaped pieces of beet shows that ultrasonic waves can enhance the rate of sucrose diffusion process at any temperature and have an insignificant effect on the purity of the extracted juice as compared to control cases. The best effect of ultrasound is obtained at 50°C. Different intensities of ultrasound have different effects on the rate of sucrose diffusion process. The greater the intensity, the higher the sucrose diffusion rate. In addition, the longer the time of ultrasonic application, the bigger the rate of sucrose diffusion at a definite period. After the insonation being stopped, the extraction will continue for some time at a higher rate than the extraction without ultrasonic application. Possibility of the industrial application of ultrasonic is approached and a preliminary plan to select ultrasonic devices used in sugar factories is suggested.

Subjectwords: Sugar beet; Ultrasonics/Diffusion