

国外木材水解经验

中国林业出版社

國外木材水解經驗

本社編

*

中国林业出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版營業許可証出字第007号

東單印刷廠印刷 新華書店發行

*

31" × 43" / 32 · 1 $\frac{7}{8}$ 印張 · 45,000字

1959年3月第一版

1959年3月第一次印刷

印數: 0001—6,000册 定價: (9) 0.22元

統一書号: 19046 · 556

目 錄

用稀硫酸水解木材制造酒精

別尔亞耶夫斯基..... 1

用少量濃硫酸水解纖維原料的方法

奧丁佐夫、卡尔寧師等..... 11

用卧式水解鍋連續水解木材

沙尔闊夫、葉飛莫夫等..... 20

液比係數對木材纖維素水解速度的影響

克羅利科夫等..... 26

水解木質素的利用途徑

苏哈歐夫斯基等..... 32

糠醛

梅利尼柯夫..... 46

用稀硫酸水解木材制造酒精

技術科學碩士 H. A. 別爾亞耶夫斯基

白恩、米尔遜和別魯次，研究过用稀硫酸水解植物纖維的方法。後來，由于西姆遜，克拉遜，吉尔列尔保姆濱和其他一些學者進行了一系列的研究，在工業上才出現了水解木材制造酒精的方法。但是由于設備問題很難解決，再加上醴和酒精的得率很低，所以美國、德國、俄國和其他一些國家初期所建的一些水解廠都關閉了。每噸絕干木材的產醴率不超過20~22%，所以由每噸絕干木材只能生產60~70公升酒精。靠改變水解時間，溫度和酸濃度從而提高收醴率的試驗也沒有成功。當水解條件比較緩和，也就是說採用低溫，稀酸或是間歇生產時，大部份多糖未能水解，因此醴的得率不高。如果水解條件比較激烈，多醴幾乎全部水解，但此時所生成之醴又大部份分解了，因此醴的得率仍然不高。

卻列尔和留耶尔斯研究过醴的分解和多醴的水解動力學。研究結果證明：水解反應和醴的分解反應都屬於一級反應，即兩者的反應速度都隨着溫度的提高或酸濃度的提高而提高。

曾經導出过醴的分解及多醴水解串連過程的反應式，把這個反應式加以研究後證明，多醴水解時醴化作用的最大值和 K_1 、 K_2 值相關連，但卻列尔氏認為，常數值 K_1 和 K_2 二者之間的關係不因溫度和酸濃度的改變而變化，因此可以作出這樣的結

論，即在間歇水解法（或固定式水解法）的任何條件下，醣的得率都不能高于已確定的極限值，水解木材時這個極限值大約為25%（對木材重量）。卻列爾氏提出了滲濾式水解法（卻列爾水解法），就是說水解作用在通過原料的液體里進行，該液體把生成的醣溶解後帶出反應範圍。後來又把卻氏水解法加以改善制訂出了所謂間歇式滲濾水解法，也就是說，向水解鍋里加酸和在水解鍋里抽取水解液是分段進行的，而且每次下一段的溫度都高于上一段。直到第二次世界大戰前夜，在德國和其它許多國家還建設了一些用間歇式滲濾法水解木材廢料制造酒精和酵母的工廠。間歇式滲濾水解法的缺點是：操作複雜，水解鍋運轉周期長（水解時間是12~14小時），鍋的運轉周期是（18~20小時）。在採用卻氏水解法的工廠里每噸絕干木材能產酒精190~200公升。幾年後賽蒙研究了水解工藝規程和動力學，並且為了簡化操作和縮短水解時間，重新審訂了卻氏水解法。

25年前蘇聯就開始研究用非食用原料制造酒精的工作，當時列寧格勒森林工業科學院和莫斯科工學院也開始了研究木材水解問題。根據В. И. 沙爾科夫所領導的研究工作的結果，在契列保維茨市建設了一個水解工廠，該廠按設有幾個容積為一立方米的水解鍋。就在這個工廠仔細地制訂出了許多水解法，例如：一段水解法，多段水解法，分段滲濾水解法和滲濾水解法。其中滲濾水解法的效果最好，每噸絕干木材的酒精產量達到180公升（契列保維茨廠）。該廠採用了連續滲濾水解法，這個方法和卻列爾廠所採用的間歇式滲濾水解法不同，因為它的水解時間縮短了很多，滲濾作用只是在含有一部份液體的鍋內進行，酸液像下雨一樣噴到被水解的原料上，通過原料層由鍋底部流出。這種方法就叫作“噴淋式水解法”。

廣泛地採用了連合水解法，也就是水解作用是在2~3或4個串聯着的水解鍋內進行的，因為這樣可以提高水解鍋內糖的濃度。契列保維茨工廠的試驗結果提供了修建水解廠的可能性。在第一個工廠的生產中由於該廠的生產規模和契列保維茨廠不同，所以發生了許多技術上的困難。過了幾年以後，工藝過程上的個別環節改善了，例如：以前用水力把木質素放出來，後來改為用壓力噴放出來；由水解鍋放出來的水解液和水的熱交換是直接進行的，後來改用了閃急蒸發器作熱交換器，即水解液先放到蒸發器去，在蒸發器里水解液的壓力降低了，產生的蒸汽再用熱交換器來加熱水；用列管式水加熱塔代替了水的噴射加熱器，因此在水加熱時就沒有噪音了；最主要的是把加酸和攪酸設備改變了，即把酸和熱水一起加到水解鍋里。在水解液的發酵問題上作了很多工作，例如：固定式填充物發酵法，懸浮式填充物連續發酵法，最近又進行了靠分離機回收酵母的連續發酵法。

過了幾年，第一個水解廠就達到了設計能力，即每噸絕干木材的酒精產量達到了160公升。

最近幾年以來蘇聯修建了很多年產幾千萬公升酒精的水解廠，同時水解廠的生產能力還在不斷地提高，大部份廠已經大大地超過了設計能力。由於貫徹了新技術，水解廠的生產能力和利潤顯著地增加了。例如：幾年前曾經採用了縮短水解時間和改善工藝指標的新水解規程。這個水解法和以前採用的“淋浴水解法”不同，因為水解時，全部被水解的原料都沉沒在液體中，能很快地、徹底地把醣帶出反應範圍，因而改善了水解過程。

把制材中的廢料（鋸末和木片）用運輸帶送到水解鍋里。水解鍋是一個鐵板制成的直立圓形容器，鍋的上下兩端是錐

的，並設有上下兩個鍋口，原料由上鍋口裝入，上鍋口有一個鍋蓋，用螺絲把蓋和鍋口連接起來。但也有用斯特列斯式蓋的，此時就不必再用螺絲來連接鍋口和鍋蓋了。木質素從下鍋口放出，為此下鍋口按有一個氣動放鍋活門。水解鍋的里表面須用水泥和耐酸磚砌好（起防腐作用）。水解鍋下部的錐形部份設有用銅管制成的過濾器（管子上帶有小孔，沿着錐形壁按裝），其作用就是把水解液和原料分開。當把原料和硫酸裝到水解鍋之後就開始通汽，隨之壓力升到8~10大氣壓、溫度為150~170°C。壓力升高之後就開始從水解鍋里抽取水解液，同時把溫度180°~190°C、濃度0.5%的硫酸注入鍋里。除了在水解結束時把熱水送入鍋里去洗滌已被水解了的原料外，在全部水解時間內都要進行滲濾，即一面往鍋內加酸，一面又從鍋里抽取水解液。水解終了時用蒸汽擠出留在鍋內的水解液。水解液被擠出之後，水解鍋內的壓力就降到7~8個大氣壓，在這樣的壓力下放出木質素。為了用壓力放出木質素，須要打開下鍋口的氣動活門，隨後木質素就从放料管噴到旋風分離器。放鍋時發出的蒸汽由旋風分離器排到大氣中，而木質素用攪拌機裝到汽車里或是用運輸帶，輸送到鍋爐車間去作燃料。由水解鍋放出的水解液送到蒸發器後，壓力就降底了，此時發生的蒸汽進入加熱器，用來預熱水解用的水。在水加熱塔內，把水加熱到最高溫度。在硫酸混合器內濃硫酸才和溫度為180°C~190°C的水混合起來。從蒸發器出來的水解液送到中和器里，同時石灰乳也加到該器中。為了使生成的硫酸鈣沉淀出去，中和液便送入半連續式沉淀槽；沉去硫酸鈣的澄清液用螺旋熱交換器冷卻。冷卻後的澄清液送到發酵槽去發酵。發酵法是連續式的，酵母經分離機分離出來後，連續不斷地循環在發酵系統里。成熟醪液含酒精1.3~1.5%用三個塔來蒸餾醪液和精餾酒。

精。醪液經塔蒸餾後生成了濃度為15~20%的稀酒精和酒糟。酒糟經熱能回收系統冷卻後送到酵母車間或排到地溝里。在精餾塔濃縮成94°的酒精在木精塔內脫去木精。採用這種工藝流程，從每噸絕干木材可以生產出160~180公升純酒精。

在水解過程中除酒精外，還生成許多副產品，例如：每生產1萬公升酒精可生產出下列各種產品：

1) 60噸含水率62~64%的木質素。

2) 300~400公斤糠醛。

在水解過程中，由於五炭糖（木糖和阿拉伯糖）的分解生成了糠醛。在進行熱交換時大部份糠醛混到因閃急蒸發而產生的蒸汽內，然後隨冷凝水排出熱交換器。

3) 4~5噸硫酸鈣，因為中和水解液中的硫酸時生成了許多硫酸鈣，經沉淀槽沉淀後可以送到雪花石膏車間去；但是目前一些水解廠都不利用生成的硫酸鈣。

4) 因為在發酵過程中生成了許多 CO_2 氣體，所以可用這些氣體 CO_2 製造出3~3.5噸液體 CO_2 。根據工廠的經驗，證明生產液體 CO_2 是非常有利的，因為這樣可以使酒精的成本降低6~8%。

5) 酒精餾出之後，酒糟里含有不發酵糖——五炭糖0.6~0.8%。五炭糖可以生產出含有大量蛋白質的酵母。每生產1萬公升酒精可以生產1噸飼料酵母，因此很多水解廠都有酵母車間。

水解木材生產酒精是很有利的，因為這種酒精的成本比規定的價格低的很多。但是如果把各種酒精的經濟指標比較一下就可以看出，合成酒精的成本低於水解酒精的成本。當然，由於開拓了大量荒地，建立了很多大型國營谷物農場，糧食和用糧食制成的酒精成本也就降低了，因此從事水解工業的全体丁

作人員都应致力于增加生產利潤。

能够增加利潤的途徑很多，其中最主要的是提高醣的得率和增加木材的酒精產量。木材的產醣量和增加液比的關係非常密切，也就是說和在水解过程中以單位木材計算时抽出的水解液量關係非常密切。增加液比可以提高醣的得率，但不是無限地提高，而是到一定程度後，提高的曲綫就趨向漸近綫了。隨着液比的增加，水解液就逐漸變稀，因此增加液比时，木材耗量降低，蒸汽和硫酸的耗量增加，水解時間延長，生產能力也降低了。

顯然，只有在下列情况（如果不增加液比能够達到时）提高醣的得率才是合適的。

在液比不变的情况下，可由下面的水解理論找出提高醣的得率的主要方向。同种类的多醣（纖維素）的滲濾水解过程可以下列反应式示之：

$$Z = ma(1 - e^{-k_1 t_1})e^{-k_2 t_2}$$

式中：

Z = 醣的得率；

a = 多醣最初的數量；

m = 多醣換算成單醣的化学計算係數；

e = 自然对數基數（底）；

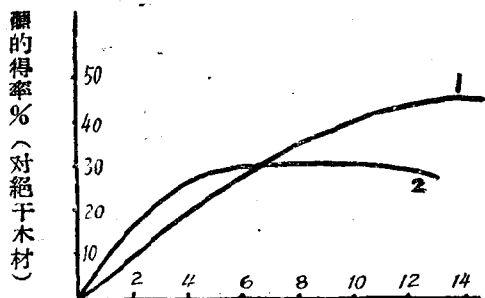
k_1, k_2 = 多醣水解和醣類分解的速度常數；

t_1, t_2 = 水解時間和醣類分解的平均時間。

由上述反应式可以看出，醣的得率是四个數值的函數，即醣的得率隨 k_1 和 t_1 的增大而提高，隨 k_2, t_2 的增大而减少。水解时 $e^{-k_1 t_1}$ 值是个極小值，可以把它看作零，因此 $Z = ame^{-k_2 t_2}$

k_2 和 t_2 值的大小标致着水解規程的强弱，这个數值越大，纖維素完全醣化後，醣的最高理論得率越低。但是这並不意味

着在所有情況下都採用非常緩和的水解規程。下圖的二條曲線表示液比與醴的得率的關係。曲線1是緩和的水解過程的情況，而曲線2是強化水解過程的情況。液比大時曲線1在曲線2的上方，液比小時則在曲線2的下方。因此改變液比時，必須相應地改變水解規程，例如，如果把液比15改成12時，那麼就須要同時增加水解規程的強性（Жесткость）。無論是提高水解溫度，提高酸的濃度或降低滲濾速度（水解）都可以使水解規程的強性增加。如果這些參數選用的適當，那麼醴的得率降低得就最少。



液比採用強化水解規程和緩和的水解規程時，
液比與醴的得率之間的關係。曲線1表示緩和的水解規程；
曲線2表示強化的水解規程。

採用強化的、液比小的水解規程時，醴的得率是有一定限度的，例如：液比為12時，醴的得率不超過42~43%。從經濟觀點出發，如果打算把醴的得率提高到50%，那麼液比必須是16~17，此時水解規程的強度也必須降低。研究了收醴率與水解規程的強度之間的函數變化之後，證明水解規程的強度劇烈增加時，水解過程進行的比其強度不變時好得多。採用同一液比生產時，水解強度逐漸增加時的收醴率高於水解強度始終不

变时的收醪率。为了增加水解規程的強度，應該提高水解溫度，或降低滲濾（水解）速度。

目前採用的水解規程的強度是有变化的，例如：滲濾開始时的水解溫度一般是 $150^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{C}$ ，而結束时的溫度是 $180^{\circ}\sim 190^{\circ}\text{C}$ ，滲濾（水解）速度与此相反，它是逐漸降低的，一般來說，最後的滲濾（水解）速度比開始时的滲濾（水解）速度要低 $1/3-1/2$ 。因此增加水解过程中最初与最終的強度差是有很大好处的。

採用滲濾水解法时，醪的分解時間可由滲濾速度和醪被液体帶出反应範圍的速度（即冲洗速度）確定。現在我們只探討一下第二个問題。下列反应式可以說明在冲洗时醪離開反应範圍的時間。

$$T = \frac{W}{2 \cdot Q}$$

式中：

Q = 滲濾速度；

β = 排出（置換）速度；

W = 原料層中的液体。

由这个反应式可以看出，醪的分解時間不只是由滲濾速度（即液比）確定，而原料的松懈度（即水解原料的密裝程度）也有關係。

水解原料的密裝度很大时，原料的松懈度就顯著地降低了，因此在任何一个液比的情况下或者可以提高醪的得率，或者相反地在不降低醪的得率的情况下可以降低液比。在合理的条件下進行了研究，結果完全証明了这个結論。原料的密裝度为 250公斤/米^3 及液比为 12 时，醪的得率可達到 $47-48\%$ ，但一般不超过 $42-43\%$ 。

根据以上簡單的論述，可以作出下列結論。

制材厂如果能够把很便宜的廢料供給水解厂的話，降低液比（11~13）是很合算的。一些水解厂的經驗証明，如果水解过程的強化性（强度）适当，降低液比时，木材的產醣率降低並不多。但是大部份水解厂，除去用制材厂的廢料以外，还使用很大數量的新材。此时，原料費佔酒精成本的30%。因此这些工厂为了使醣的得率達到48~50%，必須採用适当的水解規程。採用緩和的水解規程和增加液比（到16~17）可以很容易地把醣的得率提高到48~50%，但这会引起耗汽量的增加。因此这些工厂就必须根据以下的原則制訂水解規程：1）水解原料的密裝度不小于200公斤/米³；2）水解工藝規程的强度必須有很大的差別；就是說最初的强度要弱一些，而最後的强度要强一些。如果实现了这些原則，那麼水解鍋的生產能力就要降低，因此实际上解决提高木材的產醣率的办法是增設水解鍋。醣的得率能够提高2~3%，收回因增添設備所消耗的投資也是顯而易見的。

其次，降低耗汽量也是降低酒精成本的一个很重要的途徑，因为蒸汽佔酒精成本的30~40%，但实际上到目前为止，節約熱能的問題还注意得非常不够。在水解車間通过熱交換器的水的溫度是利用回收的熱能的重要指标。假若水的溫度是10°C，而水解溫度是190°C，如果不回收熱能的話，就必须把滲濾用水的溫度提高180°C，也就是說熱能的回收系數等于零。在很多水解厂通过熱交換器的水的溫度是90°C（即利用

了回收的熱能），那麼熱能的回收系數就等於 $\frac{90-10}{190-10}=45\%$ 。如

果工厂所採用的熱量流程非常合理的話，那麼熱能的回收系數还可提高很多，例如：有一家工厂採用了串連加熱回水的方法；清水先在一个熱交換器內靠醣酵液的熱量加熱到40~50°C，

然後再靠酒槽的熱量加熱到 70°C ，最後再通過一個熱交換器，此時水的溫度就達到 $110\sim 115^{\circ}\text{C}$ 了，也就是說熱能的回收係數等於 $\frac{110-10}{190-10}=55\%$ 。貫徹這種流程，每10公升酒精的耗

熱量就能降低0.015毫米，即整個工廠的總耗量降低了6%。利用水解液的多段蒸發還能進一步降低水解的耗汽量。例如：根據經驗資料，採用二段蒸發水解液時，最後通過加熱器的水的溫度可達到 $125^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{C}$ ，此時每10公升的耗汽量可降低0.015~0.20毫卡。

蒸餾工段回收的熱能主要是從酒槽里得來。為了利用酒槽的熱能以降低蒸餾的耗汽量，K. П. 安德烈也夫建議在真空下冷卻酒槽，即採用蒸汽噴射器，把在該器內生成的蒸汽再用到醪塔，也就是說利用了酒槽的熱量。根據作者的建議，蒸汽噴射器保證了很高的利潤。蒸餾工段的耗汽量降低了14~15%，即全廠降低了6%。截至目前為止，很多水解廠還沒有把熱量回收起來用到鍋爐上。計算結果表明，即使酒精車間本身最大限度地利用了熱能，也能夠供給鍋爐 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的熱水。

採用很完善的熱量流程，耗汽量能夠降低20~25%，即能使酒精的成本降低7~8%。

增加水解工廠的利潤和降低酒精成本的重要方法是提高木材的利用率，就是說除酒精外還要製出許多產品。例如：用釀酵時生成的 CO_2 製成液體 CO_2 和固體 CO_2 （干冰），這樣可使每10公升酒精的成本降低2~2.5盧布；合理地利用木質素也可顯著地降低酒精的成本。如果把木質素作燃料利用起來，每10公升酒精的成本可降低1.5~2盧布，而把木質素製成活性炭時，則可降低3~4盧布。

（管維潤、郭昌泰譯自“化學科學與化學工業”雜誌1957年第4期第2卷）

用少量濃硫酸水解纖維原料的方法

П. Н. 奧丁佐夫 А. И. 卡爾寧師等

用少量的硫酸（水解原料的20~30%）水解含纖維的原料乃是具有实际意义的大問題。液比（对純硫酸說）为1:1—1:1.5时，提高醣的得率是不困难的，但此时必須利用硫酸來制造磷酸鈣的肥料的問題就發生了。我們作了一系列的研究，結果証明，在實驗室的条件下，如果把松木鋸末和硫酸一起搗碎时，液比（純硫酸对絕干材之比）可降低到0.3，同时可收得55%的醣。把这些硫酸用水稀釋成40%的濃度後再進行一次補充水解，醣的得率就可提高到58%。

一系列的研究結果証明了，用少量的濃硫酸水解植物細胞壁的多醣是有前途的。

如何使少量的酸均匀地分佈到被水解的原料內，这是一个非常嚴重的問題。一克木材大約須含0.3立方厘米的水才能飽和。液比为0.3时，把一克木材內所含濃度75%的硫酸的体積折合成純硫酸只有0.25立方厘米；液比为0.2—0.17及0.1时，它的体積約为0.08立方厘米。因此，即使毛細管是敞開的，並假定硫酸不能作用到毛細管壁上，這點硫酸也不够充滿細胞壁的毛細管系統。何況硫酸和木材結合的非常牢固，硫酸分子難於自由活動。

为了使硫酸能够在木材內很均匀地分佈開，就要求施加机械力。这样，一方面可以克服膨脹压力，使硫酸能進入細胞壁的各个相鄰部分；另一方面，可以破除附盖在細胞上的木質素層，因为它能吸附硫酸和降低硫酸的濃度。這一層木質素如果

不破坏，則能耐酸的第一層和第三層細胞壁就会長時間破坏不掉，並使含有大量纖維的第二層細胞壁受不到濃酸的作用。再一方面，細胞壁因受机械的破坏，形成了容易受酸作用的新的表面。

研究結果証明，当液比为0.8(对純硫酸)，溫度为 50°C ，压力为225公斤/厘米²时，用濃度为75%的硫酸水解松木鋸末15分鐘，醣的得率为70%。随着液比的降低，硫酸很难分布的均匀，所以醣的得率便降低了。例如：其他条件都与上述相同，只是液比变为0.6，水解時間延長到90分鐘的时候，醣的得率只有49%；水解時間相同，但液比为0.3，在压力作用下醣的得率降低到32%。这就証明了，所採用的压力不足以克服木材因受少量濃硫酸濕潤而產生的膨脹应力。

用少量硫酸水解木材时，打碎、加压和冲击能提高醣的得率。

不僅在实验室的条件下，就是在設有“撒保烈夫斯基”式压輥机的中間工厂里，醣的得率都是很好的。液比为0.6时，醣的得率達到58%，液比为0.3时为48%。補充水解能够把醣的得率再提高3-5%。为了弄清水解原料的含水率对醣的得率的影响，用含水率1.5%和10%的松木進行了实验。液比为0.6，溫度为 50°C ，在机械化的研鉢內搗1小时，並用濃度为75%的硫酸進行水解（这样的濃度是原來的硫酸被原料的水份稀釋後的濃度），此时醣的得率分別为51.7%；47.4%和49.1%。開始时水解速度慢一些，但随着進一步的搗碎，水解速度就均衡起來了。同样当液比为0.3时，醣的得率分別为47.7%；44.9%和45%。这些試驗都証明了，原料不必干燥得太厲害。

不要用濃度为75%的硫酸，因为通过高温和用机械力破坏纖維原料时，水解作用是容易的，所以能够利用濃度为65%、

60%和55%的硫酸進行水解。原料經機械化研碎搗碎後，在溫度為50°C和液比為0.6的情況下水解2小時，此時醴的得率分別為51%；50%和49%。因此水解濕原料時，不需要高濃度的硫酸（80—90%），但可以利用濃度為75—78%的塔酸。

用少量的硫酸水解纖維原料時，原料因失去了塑性而變硬。為了使硫酸能鑽進細胞壁，必須採用沖擊式搗碎設備，其中包括振盪式粉碎機。

我們是採用“ВНИТНИСМ” М—10型振盪式粉碎機。先把水份約為1%的原料用粉碎機搗碎，然後進行水解。原料先和濃度為75%的硫酸在溫度為40°C和多種液比的情況下混合好，然後在粉碎機內研磨（時間不等，參看表1）。

由表1的資料可以看出，延長搗碎時間，就可以顯著提高各種纖維原料的產醴率。

當液比小於0.3時，也發現大量的多醴被破壞成單醴。由表1可以看出，液比小於0.2時，醴的得率相當高，如果用密閉器水解時，還可再提高。

如前所述，如用振盪式粉碎機研磨原料，能大大降低硫酸的濃度。

表1

研磨時間 (分)	液比為1:0.3		液比為1:0.2	
	產醴率 (%)	木質素 (%) (對絕干木材)	產醴率 (%)	木質素 (%) (對絕干木材)
		松 木 鋸 末		
15	40.00	29.04	36.43	29.31
30	45.07	28.04	41.54	28.76
45	48.12	28.14	46.72	28.98
60	53.66	27.90	48.63	29.38
120	53.45	23.26	58.36	28.29

棒 木 鋸 末

15	37.41	21.96	/	/
30	44.96	22.08	/	/
60	54.20	22.10	/	/
120	59.97	21.54	/	/

棉 籽 皮

60	54.74	/	47.70	/
----	-------	---	-------	---

棉籽皮的纖維木質素

60	55.02	/	42.80	/
----	-------	---	-------	---

向 日 葵 籽 皮

60	59.90	/	47.20	/
----	-------	---	-------	---

表2列出了用濃度为55%的硫酸水解棒木鋸末的結果。这些数据一方面証明了，經過机械力破坏了的細胞壁的多醣比較容易水解；另一方面說明了可以把硫酸濃度降低到某种程度。

表2

在振盪式粉碎機內和硫酸 一起的研磨時間(分)	產醣率(对絕干木材) %	
	液比为 1:0.2	液比为 1:0.1
15	31.67	27.76
30	33.58	29.82
45	36.51	32.14
60	38.54	34.15
120	44.87	39.87