

濃硫酸法による木材糖化のプロセスに関する研究(4)

稀硫酸による広葉樹ペントーザンの加水分解速度

東京教育大学農学部

小林 達吉
酒井 愿夫

緒 論

結晶グルコースならびにフルフラールの製造が、木材糖化工業において、重大な役割を演ずべきことは広く認められている⁽¹⁾。ペントーズやその他のグルコースでない糖類は、ヘミセルロースの加水分解によって生成するが、これらのものは木材糖化液から結晶グルコースを晶出させるプロセスを妨害する。ところが、ペントーザンの加水分解速度⁽²⁾はセルロースのそれ^(3,4)に比してはなほ大きく大きい。そこで、ペントーザンの大部分は加水分解を受けるが、セルロースはほとんど加水分解されないようなゆるい適当な条件で木材を加水分解するならば、木材中のペントーザンとセルロースを分離することができる。この反応は前加水分解 (pre-hydrolysis) とよばれている。前加水分解の残渣をさらに烈しい条件の下で加水分解 (主加水分解, main-hydrolysis とよばれる) するならば、ペントーズをほとんど含まない木材糖化液をうることができる。前加水分解により生成したペントーズは無機酸の存在下で加熱する工程によってフルフラールに変えることができる。

広葉樹は多量のヘミセルロースを含有する上に、そのヘミセルロースの大部分はペントーザンからなっている⁽⁵⁾。広葉樹の前加水分解の最適条件を知るためには、木材ヘミセルロースの加水分解速度に関する知識が必要であるとかんがえられるが、広葉樹ペントーザンの加水分解の反応速度論的な研究のデータは見当らない。ここには、温度74 から147 までの範囲で、1%から16%までの濃度の硫酸をつかって、広葉樹ペントーザンを加水分解するときの反応速度について行った実験結果を報告する。

本報告は濃硫酸法による木材糖化のプロセスに関する研究^(6,7,8)の第4報である。

材 料 と 方 法

加水分解速度の測定には20メッシュを通ったブナ (*Fagus crenata* Blume) 材の鋸屑をつかった。木材の粒子の大きさと加水分解時の酸液量対木材量の比との影響をしらべるには、ミズメ (*Betula carpinifolia* Sied. et Zucc.) 材の鋸屑 (20メッシュ) と機械鉋屑 (平均して18×16×0.5mm) とをつかった。

ペントーザンの加水分解速度を測る実験には、Saeman⁽³⁾が報告したものと同様な方法をもちいた。試料約0.2gを小試験管 (9×120mm) につめたのち、各管の重量を秤量して (各々の風袋はあらかじめ秤量しておいた)、105℃で乾燥した。これへ一定濃度の稀硫酸を加えたのち、火焰中で管口を熔封した。これらのガラスポンベを温度調節器付きのパラフィン浴中で種々の時間加熱後、直ちに冷却、開封して、内容を沈澱管中に洗ひ出し、遠心分離して沈澱を温湯で5回洗浄してから、105℃で乾燥したのち、乾燥残渣中の潜在ペントーズ量を定量した。

ここにもちいた潜在ペントーズ定量法は、Saemanらによる木材中の最大還元糖定量法⁽⁹⁾と McCanceによるペントーズ定量法⁽¹⁰⁾とを組み合わせた方法であるが、後者については少しく改変を加えた。その理由は、この方法はヘキソースの影響をうけることがなく、しかも一時に多数の試料を簡単に分析できるけれども、原報に記載されている呈色反応時間では再現性に乏しく、また、呈色反応温度が測定結果に大きな影響をもっているのに、これについて何も考慮されていないからである。そこで、次のような実験を行って、これらの最適条件を求めるとともに、この方法を光電比色法に適し、かつ、操作が簡単になるように改変した。この変法は他の研究者達の実験⁽¹¹⁾にも使用されて充分役に立つものであった。

呈色反応時の温度と反応時間との吸光度に対する影響 試験管に濃度 0.199mg/5ccのキシロース溶液 5ccをとり、これに濃塩酸 2.5ccを加え (塩酸濃度 13%になる) てよく混ぜた。管口にはゴム栓で約 60cmのガラス管をコンデンサーとしてとりつけた。これを沸騰している水溶中にまっすぐに立てて3時間加熱した (この時間については後に検討する)。加熱終了後、冷却してからコンデンサーは内側をごく少量の水で洗ったのちとりはずした。ついで、ベンゼン 5ccを加えて3分間烈しく振盪したのち、透明な上澄液ができるまで (約 30分間) 放置してから、ベンゼン層の 2ccを乾燥した試験管にとった。これへ、ベンチゼン試薬 (ベンチゼン 0.5gを氷酢酸 50ccと 99%エタノール 50ccとからなる混液に溶解させたもの) 5ccを加え、10, 15, 20, 25 に 10, 15, 20, 25分間おいてから、波長 570m μ (波長については後にたしかめる) で液層 2cmのキュベットをつかって、分光光電光度計 (エルマ

型) で比色した。実験結果は第4表に示す。数値は吸光度である。分散分析法⁽¹²⁾にしたがって解析するならば、呈色反応時間の影響も呈色反応温度の影響も高度に有意であるが、交互作用は有意でない。そこで、第4表の結果から温度と時間との効果の推定値を求めてグラフに

プロットしたのが、夫々、第11図と第12図である。点線は各推定値の 95%信頼区間（有意水準 5%）を示している。これらの結果から、フルフラールとベンチデンとによる呈色からフルフラール量（したがってペントーズ量）を定量するには、温度 15（10~20）で 20~25 分間反応させたのち比色すればよいことがわかる。この呈色反応は同時に褪色反応をともなっており、25 では褪色がいちぢるしく、色の濃度は 20 分間で最高に達し、25 分までは褪色はないものとみうけられる。

キシロースをフルフラールに変える反応の時間とキシロース量と比色につかう波長の各々と吸光度との関係 実験操作は前と同様にしたが、この時は 0.0798mg/cc のキシロース溶液 1, 2, 3, 4, 5cc をとり、これらに水を 4, 3, 2, 1, 0cc 加えたものを試料として、濃塩酸 2.5cc を加え、1, 2, 3, 4, 5 時間、沸騰水浴中で加熱した。呈色のさいは、15 で 20 分間反応させた。呈色液の色調が赤紫色であるから、560m μ 附近について 10m μ おきに波長を変えて吸光度を測定した。結果は第 5 表に示す。表中各欄の mg のついた数値は試料 5cc 中のキシロース量を示し、無名数は吸光度を示す。波長の効果は有意であり、他の 2 つの要因の効果はいずれも高度に有意である。キシロース量と吸光度との関係は第 13 図に示されるとおり、ある範囲では直線的であり（ベールの法則に従う）、この光電比色定量法が使い得るものであることを示している。キシロースの分解反応では、第 14 図のカーブが示すようにフルフラール生成量は約 3 時間で最高に達し、それ以後 2 時間はほとんど変化がない。波長は（第 15 図）555m μ から 585m μ の間では吸光度に関係がない（これは使用した分光光度計の波長幅が広すぎるためであろう）。故に、キシロースの分解反応時間には 3.5 時間、比色の波長には 570m μ を採用することとした。

ペントーズ分解時に混在する硫酸の吸光度に対する影響 試料（5cc）中のキシロース量 0.0997, 0.199, 0.299, 0.399mg、硫酸量 0, 179, 358mg のものについて実験した。操作は上述の通りであって、キシロースの分解反応の時間は 3.5 時間（100%）、呈色反応は 15 で 20 分間であった。結果は第 6 表に示す。硫酸の影響は高度に有意であるが、硫酸濃度 179mg/5cc, 358mg/5cc の 2 つの水準の間には有意差がない（t-検定）。また、キシロース濃度と硫酸濃度との間の交互作用は有意でない。これらのことは第 15 図にあらわれている。すなわち、ペントーズをフルフラールに変えるときの 13% 塩酸液中に硫酸が混在するときはフルフラール生成量やや大となり、吸光度は硫酸が存在しないときよりも高くなるけれども、硫酸濃度が 179~358mg/5cc の間では吸光度に差を生じない。また、キシロース量に対し吸光度をプロットした時の直線の勾配は硫酸のあるときもないときもひとしい。

以上の実験から次のようにして潜在ペントーズ量を定量した。

沈澱管中の残渣に 72% 硫酸 5cc を加え、ガラス棒でよく攪拌、混合してから、30 の恒温槽中に 45 分間おいた（この間 10 分毎に攪拌した）。45 分後、水を加えて濾過、100cc

にした。試料の潜在ペントーズ量に応じて、その 1,2,3,4,5cc を試験管にとり、 $0.6\text{MH}_2\text{SO}_4$ を加えて液量を 5cc として、濃 HCl 2.5cc を加えた。この試験管にエアコンデンサーをつけて沸騰水浴中で 3.5 時間加熱後、冷却、コンデンサー中の凝縮液を少量の水で試験管中にあらいだした。これへベンゼン 5cc を加えて、3 分間烈しく振盪してから、30 分間放置し、ベンゼン層の 2cc を乾燥試験管にとり、ベンチデン試薬（ベンチデン 0.5g を 99% エタノール 50cc と氷酢酸 50cc とからなる混液に溶かしたたもの）5cc を加えてよくまぜた。これを 10 から 20 に 20 及至 25 分間おいてから、その呈色の吸光度をベンゼン 2cc にベンチデン試薬 5cc を加えたものを対照として、2cm のキュベットをつかって $570\text{m}\mu$ の波長で分光光度計で測定した。濃度既知のキシロースを使って同様の操作により得たキシロース量一吸光度直線から、吸光度をペントーズ量に換算した。呈色反応の時間は一定にすることが必要なので、フルフルール・ベンゼン溶液に試薬を 1 分毎に加えていき、20 本に加えおわってから、1 分毎に吸光度を測定した。こうして、40 分間に 20 個の試料の比色が可能であった。

実験結果と考察

試料と稀硫酸をガラスポンベに封じ込んだものには、全体の約 3 分の 1 の容積の空気が存在したが、この空気の存在は無視した。すでに Saeman⁽³⁾ によってかかる空気の存在がセルローズの糖化速度にも、単糖類の破壊速度にも影響しないことがたしかめられているからである。

広葉樹（ブナ）ペントーザンの加水分解速度 ペントーザンの加水分解速度恒数の測定には、20 メッシュを通過したものををつかった、加水分解速度は原料の粒径には実際上関係がないとかがえられるからである。また、酸液容量の原料重量に対する比は 10 対 1 とした。この比も反応速度にほとんど関係しないとかがえられるからである。原料の大きさの効果と液量の原料に対する比との効果については後述することとする。

試料を 74, 100, 115, 130, 147 で濃度 1, 2, 4, 8, 16% の硫酸で種々の時間加水分解した。残存潜在ペントーズ量をはじめにあった試料の重量に対するパーセントであらわしたものの対数を、第 1, 2, 3, 4, 5 図のように、反応時間に対してプロットした。反応の初期には、反応時間の経過とともに残存潜在ペントーズ量の対数は比較的速やかに直線的に減少する。残存潜在ペントーズ量をはじめにあった試料重量の約 6% ($5.6\% \pm 1.3\%$) に達したとき、その減少速度がおそくなるけれども、その対数対反応時間の関係は前とおなじく直線的である。すなわち、グラフの上には折れ目のある直線が得られる。このことは、ブナ材のペントーザンの加水分解はいづれも一次反応式にしたがうが、速度恒数の異なる 2 つの段階に分けることができることを示している。この報告では、反応速度の大きい方を A 部、小さい方を B 部とよぶことにする。

第 1 表と第 2 表に、それぞれ、第 1, 2, 3, 4, 5 図の直線から計算した A 部、B 部の種々

の温度と硫酸濃度に対する一次反応速度恒数を示す。

硫酸濃度の対数に対して反応速度恒数の対数を各温度毎にプロットすれば、A 部についても、B 部についても、等間隔（74 と 100 の間は 2 倍の間隔）の平行直線がえられる（第 7, 9 図）。しかも、A 部の加水分解速度に対する硫酸濃度の効果を示す勾配の値は、第 7 図から計算すると、第 9 図から計算した B 部のそれと等しくなり、その値（M）は 1.15 である。

絶対温度の逆数に対して反応速度恒数の対数を各硫酸濃度毎にプロットすれば、等間隔の平行直線がえられ（第 6, 8 図）、A, B 両部について、加水分解速度に対する温度の効果はいずれも Arrhenius の法則にしたがうことがわかる。第 6 図の直線の勾配から計算した A 部についての賦活エネルギーは第 8 図から計算した B 部のそれと等しく、その値は 30900 cal である。

セルロースの加水分解と単糖類の破壊に対する温度と酸濃度との影響を同時にあらわす式は Saeman⁽³⁾ によってつぎのようにみちびかれている。

$$k = H \cdot C^M \exp \{ - E / (RT) \}$$

あるいは $\log k = \log H + M \log C - \{ E / (2.303RT) \}$

ここで、k は一次反応速度恒数、H は恒数、C はパーセントであらわした硫酸濃度、M は硫酸濃度の効果をあらわす恒数、E は賦活エネルギー、R は気体恒数、T は絶対温度である。ブナ材のペントーザンの加水分解では、この式の M、E は上述のとおりそれぞれ 1.15、30900 である。第 10 図の表の反応速度恒数 K とそれに対応する C、T とから計算した恒数 H の値はそれぞれ 2.56×10^{15} 、 5.57×10^{14} である。故に、ブナ材ペントーザンの A 部、B 部の加水分解速度をあらわす式はつぎのようになる。

$$k_A = 2.56 \times 10^{15} C^{1.15} \exp \{ - 30900 / (RT) \}$$

$$k_B = 5.57 \times 10^{14} C^{1.15} \exp \{ - 30900 / (RT) \}$$

加水分解に対する A 部、B 部の挙動の相異は H の値の差によつてあらわされる。A 部の速度恒数の大きさは B 部のその 4.6 倍である。

第 10 図は A 部（すなわち加水分解容易な部分）を完全に木材からとりさるのに必要な時間をあらわすグラフである。この図はつぎのようにしてつくった。第 1 及至 5 図の A 部の加水分解を示す直線を時間ゼロへ外挿すると、はじめにあった潜在ペントーズ量は平均して 18.4g ($\pm 2.5g$) / 木材 100g となり、また、A 部、B 部の両直線が交わるときの残存潜在ペントーズ量は 5.6g ($\pm 1.3g$) / 木材 100g となる、いいかえれば、はじめにあった全ペントーザン量（A 部と B 部の和）の 70% が消失するのに必要な時間が A 部（すなわち加水分解容易な部分）を完全にとりさせるのに必要な時間となる。故に、70% が消失するのに必要な時間を半衰期と同じような計算によって求めるならば、加水分解容易な部分を取りさるのに必要な時間を計算することができる。いま、a ははじめにあった物質質量とし、時間 t の間にそのうち x だけが消失したものとすれば、一次反応式は、

$$2.303 \log \{ (a - x) / a \} = -kt$$

であらわされるから、70%消失するのに要する時間を $t_{0.7}$ とすると、

$$2.303 \log 0.3 = -kt_{0.7}$$

$$t_{0.7} = 1.204 (1 / k_A)$$

$$= 1 / \{ 2.13 \times 10^{15} C^{1.15} \exp \{ -30900 / (RT) \} \}$$

この式から計算した $t_{0.7}$ 、C、T の間の関係をあらわすグラフが第 10 図で丸印は実測値 (第 1 ~ 5 図から読み取った交点の値) である。横軸に硫酸濃度の対数を取り、縦軸に絶対温度の逆数を取り、それぞれの濃度、温度に対応する $t_{0.7}$ をプロットすれば、対数の間隔をおいてならば平行直線がえられる。このグラフからつぎのようなことを読み取ることができる。たとえば、1%、147 の条件では、A 部 (加水分解されやすいペントーザン) の全部をとりさるのに 6.7 分を要し、その残渣 (B 部、すなわち加水分解を受けにくいペントーザン) の 50%、70%、90% をとりさるには、それぞれ $6.7 \text{分} \times 2.6 = 17 \text{分}$ 、 $6.7 \text{分} \times 4.6 = 31 \text{分}$ 、 $8.7 \text{分} \times 8.8 = 59 \text{分}$ を要し 10%、100 の条件では、A 部の除去に 44 分、のこりの B 部の 50%、70%、90% を加水分解するには、それぞれ、 $44 \text{分} \times 2.6 = 110 \text{分}$ 、 $44 \text{分} \times 4.6 = 200 \text{分}$ 、 $44 \text{分} \times 8.8 = 390 \text{分}$ を要することがわかる。

原料の大きさと液量対原料の比との広葉樹(ミズメ)ペントーザンの加水分解速度に対する効果 ミズメ材の鋸屑 (20メツシをとるもの) と機械鋸屑 (平均して $18 \times 16 \times 0.5 \text{mm}$) に木材量 1 g に対し酸液量 8 cc と 16 cc の割合で、2% と 16% の濃度の硫酸を加えて、74 と 115 とで、20 分と 40 分間加水分解した。第 表の実験結果は原料の大きさも液量対原料の比もこの範囲では反応速度に影響をあたえないことを示している。分散分析法⁽¹²⁾ によって解析するならば、これら 2 つの主効果も、これらの要因の間、その 1 つと他の諸要因との間の交互作用も有意ではない。

要 約

木材糖化プロセス中の前加水分解 (pre - hydrolysis) の最適条件を見つけるために、広葉樹 (ブナ) の加水分解速度を、硫酸濃度 1, 2, 4, 8, 16%。温度 74, 100, 115, 130, 147 で測定した。ブナ材の加水分解には 2 段階があることがわかった。どちらも一次反応式にしたがうが、反応の前半部は後半よりも反応速度が大きい。この両部分の反応速度を示す式はつぎのようになった。

$$k_A = 2.56 \times 10^{15} C^{1.15} \exp \{ -30900 / (RT) \}$$

$$k_B = 5.57 \times 10^{14} C^{1.15} \exp \{ -30900 / (RT) \}$$

ここで、 k_A 、 k_B は一次反応速度恒数、C はパーセントであらわした硫酸濃度、R は気体恒数、T は絶対温度である。どちらの部分も賦活エネルギーはひとしい値をもち、硫酸濃度の効

果をあらわす恒数もひとしい。また、原料の大きさと硫酸量対木材量の比といづれも加水分解速度に影響しなかった。

謝 辞

本研究に対して研究費を与えられた北海道立林業指導所、種々お世話下さった木材糖化審議会委員の方々と坂口謹一郎先生に深厚なる謝意をあらわす。

引用文献

- (1) Sixth Meeting of the FAO Technical Panel on Wood Chemistry, Stockholm, 1953.
- (2) 小林, 渡辺: 農化, 27, 314 (1953).
- (3) Saeman, J. F.: Ind. Eng. Chem., 37, 43 (1945).
- (4) 小林: 木材糖化審議会報告, No. 1, 1, 27 (1952).
- (5) 林業試験場編: 木材工業便覧, 日本木材加工技術協会, p. 123, 1951; Wise, L. E. and John, E. C.: "Wood Chemistry", 2nd ed., Reinhold Pub. Inc., p. 377, 1952.
- (6) 小林: 木材糖化審議会報告, No. 2, 35 (1953).
- (7) 小林, 酒井: 同上, No. 2, 55 (1953).
- (8) 小林, 伊藤: 同上, No. 4, 1, 5 (1954).
- (9) Saeman, J. F.: Bubl, J. L. and Harris, E. E.: Ind. Eng. Chem., Anal. Ed., 17, 35 (1945)
- (10) R. A. McCance: Biochem. J., 20, 1111 (1926).
- (11) 安倍, 伊藤, 中山: 昭和30年農化大会講演, 4月1日, (1955).
- (12) 森口: 分散分析のための最小二乗法, 日化会関東支部, 1953; 田口: 実験計画法, 日化会関東支部, 1953.

Table Hydrolysis Rate Constants of Part A (Fraction Easy to Hydrolyze) of Hardwood (Buna) Pentosan

Temp. °C	H ₂ SO ₄ Concn. %	1st-Order Reaction Constant k (min. ⁻¹)	
		Obsvd.	Calcd.*
74	8	0.000952	0.000953
	16	0.00333	0.00213
100	4	0.0100	0.00962
	8	0.0158	0.0214
	16	0.0380	0.0474
115	1	0.00683	0.00927
	2	0.0230	0.0206
	4	0.0570	0.0456
	8	0.101	0.0883
	16	0.226	0.225
130	1	0.0352	0.0440
147	1	0.295	0.204

*Calculated from $k = 2.56 \times 10^{15} C^{1.15} \exp \{ -30900 / (RT) \}$

Table Hydrolysis Rate Constants of Part B (Fraction Difficult to Hydrolyze) of Hardwood (Buna) Pentosan

Temp. °C	H ₂ SO ₄ Concn. %	1st-Order Reaction Constant k (min. ⁻¹)	
		Obsvd.	Calcd.*
74	8	0.000207	0.000208
	16	0.000575	0.000460
100	4	0.00195	0.00209
	8	0.00313	0.00465
115	1	0.00380	0.00202
	2	0.00380	0.00448
	4	0.0175	0.00993
	8	0.0160	0.0192
	16	0.0465	0.0490
130	1	0.00451	0.00957
147	1	0.0575	0.0455

*Calculated from $k = 5.75 \times 10^{14} C^{1.15} \exp \{ -30900 / (RT) \}$

Table Effects of Particle Size and Liquid - Solid Ratio on Hydrolysis Rate of Pentosan of Hardwood (Mizume)

H ₂ SO ₄ Conc.	Reaction Temp.	Reaction Time	Solid-Liquid Ratio	Size of Wood Meal	Residual Potential Pentose per 100 G of Starting Material	
%	°C	min.			g	
16	115	40	16	1*	0.2	1.4
				2	1.1	1.1
			8	0.9	0.7	
		20	16	1	0.8	1.2
				2	2.4	1.7
			8	1.9	1.9	
	74	40	16	1	2.2	1.7
				2	2.2	1.8
			8	16.7	18.7	
		20	16	1	15.8	—
				2	18.7	17.1
			8	14.1	16.0	
2	115	40	16	1	19.8	22.5
				2	23.4	16.8
			8	15.9	18.6	
		20	16	1	19.2	16.1
				2	8.2	8.6
			8	8.2	7.3	
	74	40	16	1	9.9	9.9
				2	6.6	8.8
			8	13.2	12.6	
		20	16	1	14.1	12.9
				2	13.6	14.3
			8	14.5	14.4	
74	40	16	1	21.8	24.4	
			2	24.3	24.6	
		8	19.4	22.0		
	20	16	1	22.4	21.7	
			2	23.4	22.2	
		8	26.3	24.1		
				1	20.9	27.1
				2	20.6	19.9

*1 : shaving (18×16×0.5mm in average)
 2 : sawdust (20 - mesh)

Table Effects of Temperature and Time of Standing during Color Development on Absorbancy .

Time min.	Temp. °C	10	15	20	25
10	{	0.442	0.440	0.468	0.435
		0.444	0.450	0.435	—
15	{	0.530	0.525	0.568	0.492
		—	0.521	0.522	0.472
20	{	0.570	0.590	0.562	0.540
		0.620	0.600	0.620	0.540
25	{	0.610	0.580	0.550	0.456
		0.640	0.620	0.592	0.550

xylose : 0.199mg /5cc xylose furfural : 100 , 3hr . wave length : 570m μ

Table Effects of Time of Conversion of xylose to Furfural , xylose Concentration , and Wave Length on Absorbancy .

Wave Length m μ	Time hr.	1	2	3	4	5
545	{	0.239mg	0.399mg	0.160mg	0.319mg	0.080mg
		—	0.765	0.460	0.800	0.310
555	{	0.080mg	0.160mg	0.319mg	0.239mg	0.399mg
		0.150	0.412	0.880	—	1.02
565	{	0.160mg	0.080mg	0.239mg	0.399mg	0.319mg
		0.320	0.233	0.740	1.11	1.00
575	{	0.398mg	0.319mg	0.080mg	0.160mg	0.239mg
		0.685	—	0.300	0.618	0.848
585	{	0.319mg	0.239mg	0.399mg	0.080mg	0.160mg
		0.620	0.660	1.12	0.330	0.670

xylose furfural : 100 color development : 15 , 20min .

Table Effect of Sulfuric Acid Existing in xylose Solution on Absorbancy

Xylose mg	Sulfuric Acid mg	0	179	258
0.0997	{	0.068	0.080	0.098
		0.068	0.110	0.091
0.199	{	0.318	0.410	0.428
		0.358	0.420	0.450
0.299	{	0.655	0.730	0.645
		0.570	0.670	0.715
0.399	{	0.910	0.970	0.975
		0.875	0.950	0.910

xylose furfural : 100 , 3.5hr . color development : 15 , 20min .
wave length : 570m μ

Fig. 1 .Hydrolysis of Pentosan of Hardwood (Buna) in 16 and 8% Sulfuric Acid at 74 .

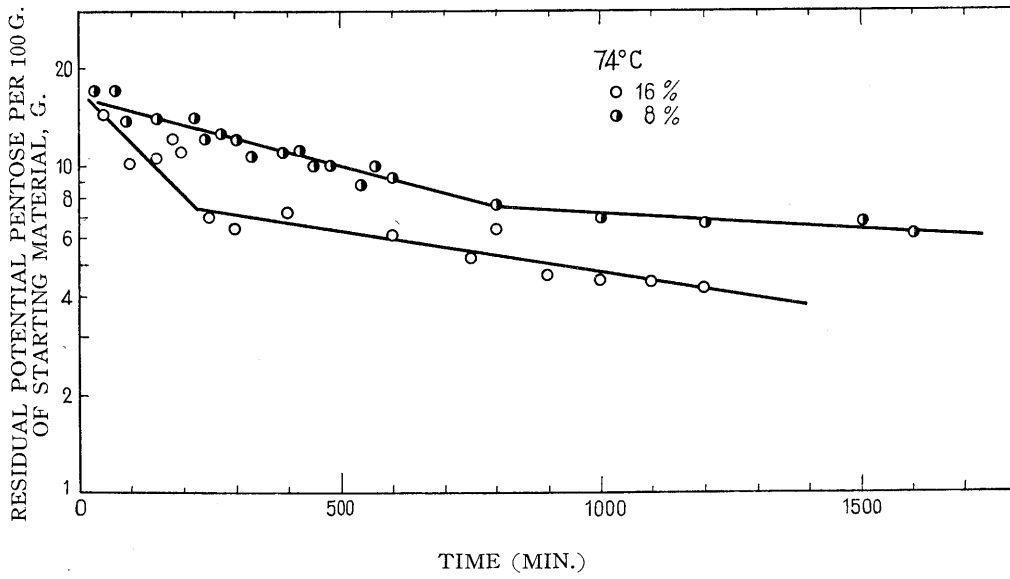


Fig. 2 .Hydrolysis of Pentosan of Hardwood (Buna) in 16 , 8 and 4% Sulfuric Acid at 100 .

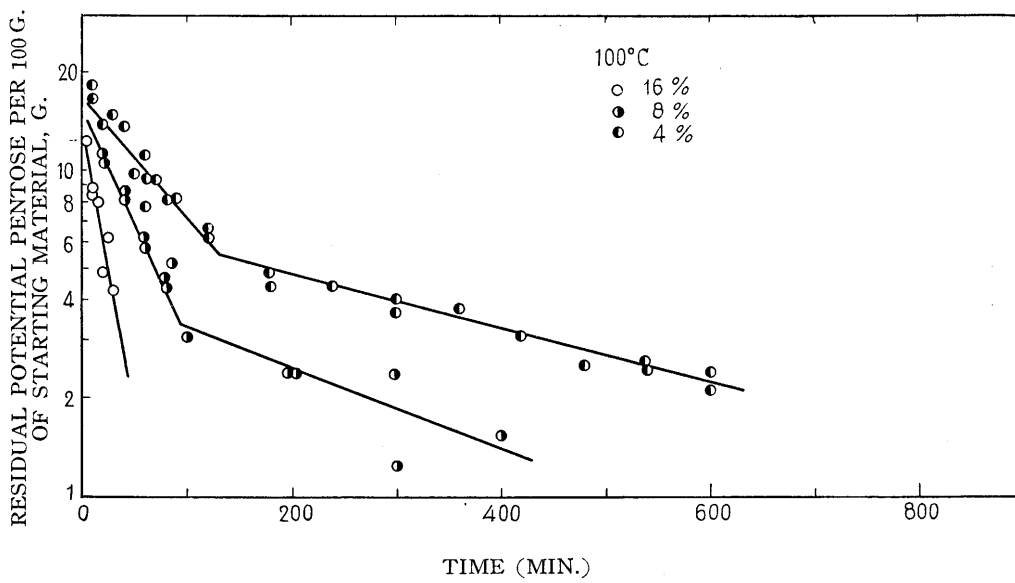


Fig. 3. Hydrolysis of Pentosan of Hardwood (Buna) in 16, 8, 4, 2 and 1% Sulfuric acid at 115° .

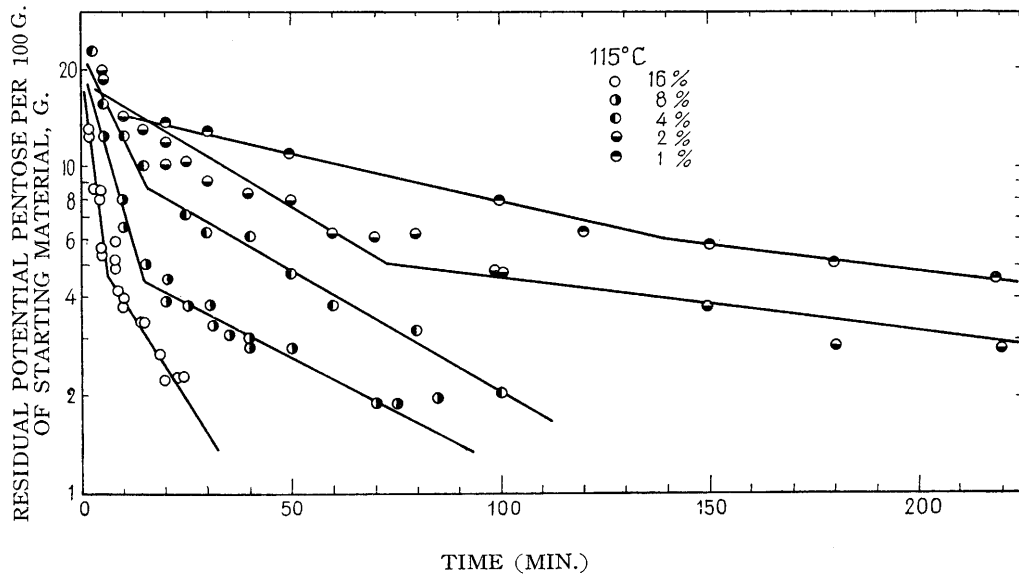


Fig. 4. Hydrolysis of Pentosan of Hardwood (Buna) in 1% Sulfuric Acid at 130° .

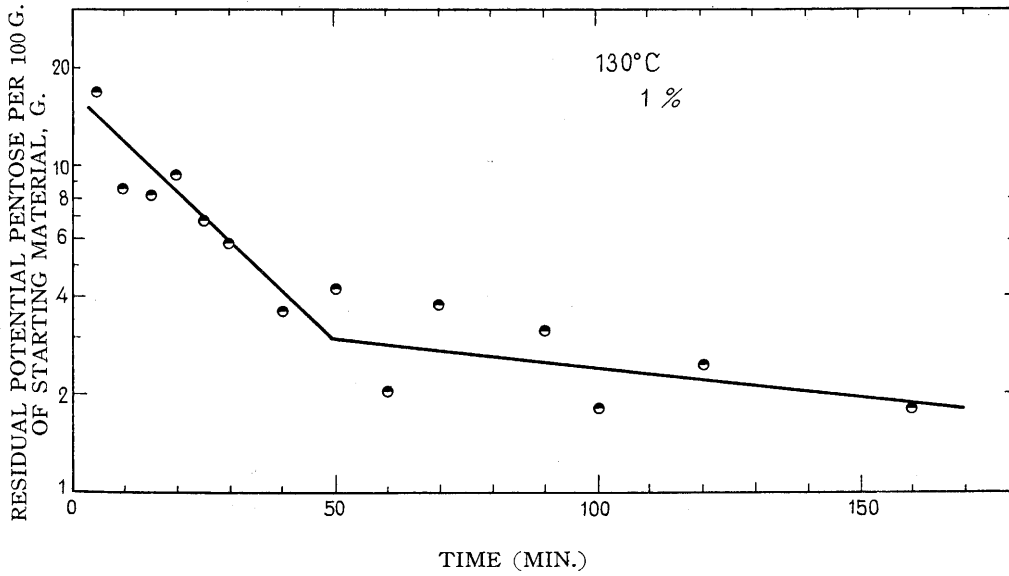


Fig. 5 . Hydrolysis of Pentosan of Hardwood (Buna) in 1% Sulfuric Acid at 147° .

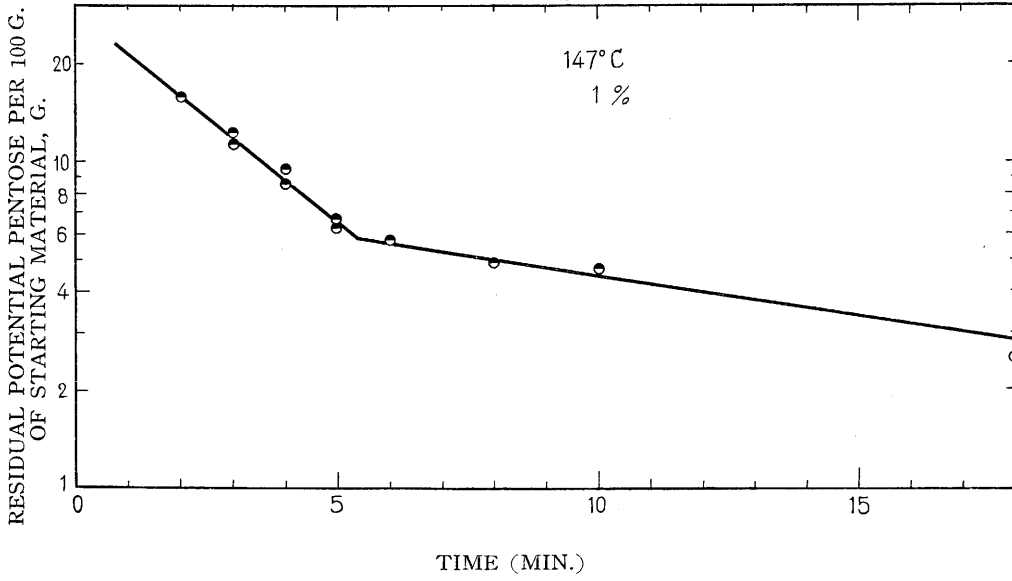


Fig. 6 . Relation of First-Order Reaction Constant to Temperature in Hydrolysis of Part A (Fraction Easy to Hydrolyze) of Hardwood (Buna) with Sulfuric Acid of Different Strengths .

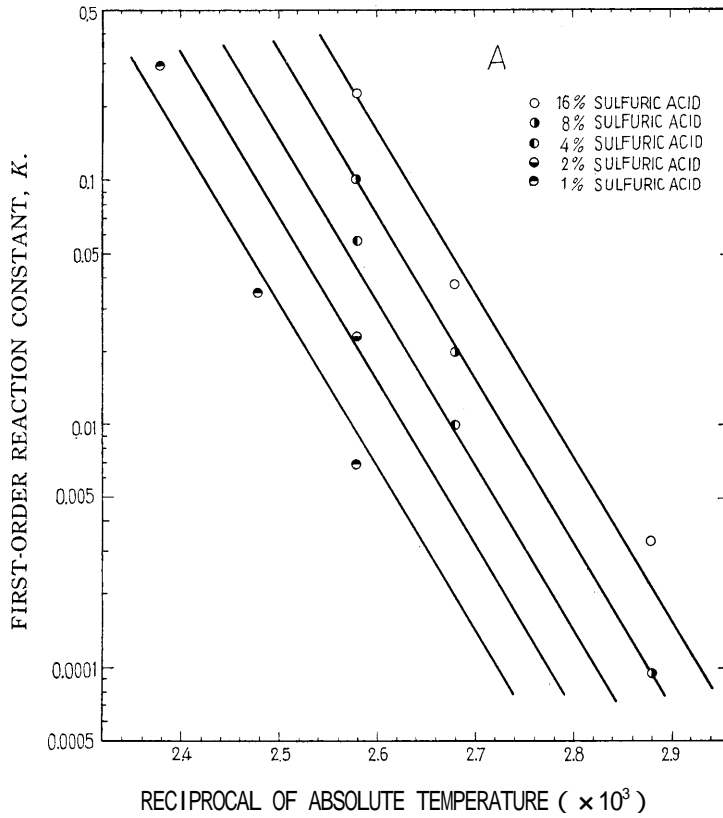


Fig. 7. Relation of First-Order Reaction Constant to Sulfuric Acid Concentration in Hydrolysis of Part A (Fraction Easy to Hydrolyze) of Hardwood (Buna) at Different Temperatures

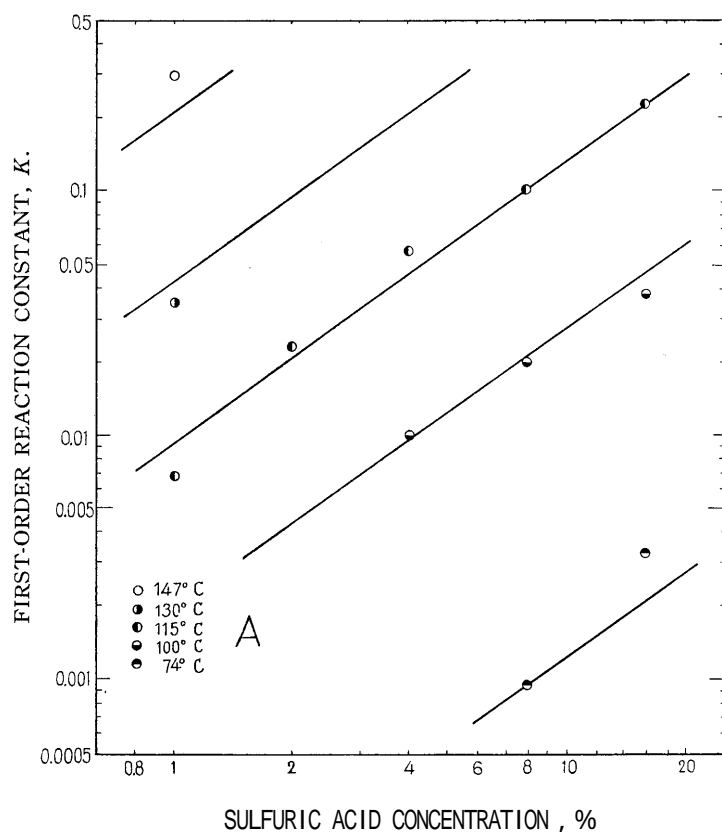


Fig .8 .Relation of First-Order Reaction Constant to Temperature in Hydrolysis of Part B (Fraction Difficult to Hydrolyze) of Hardwood (Buna) with Sulfuric Acid of Different Strengths .

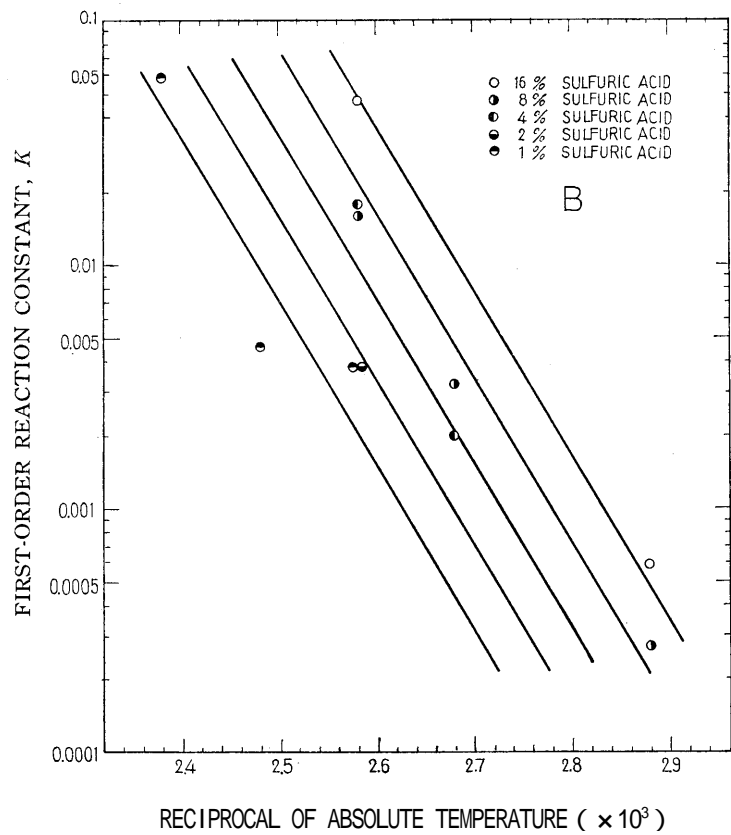


Fig. 9. Relation of First-Order Reaction Constant to Sulfuric Acid Concentration in Hydrolysis of Part B (Fraction Difficult to Hydrolyze) of Hardwood (Buna) at Different Temperatures .

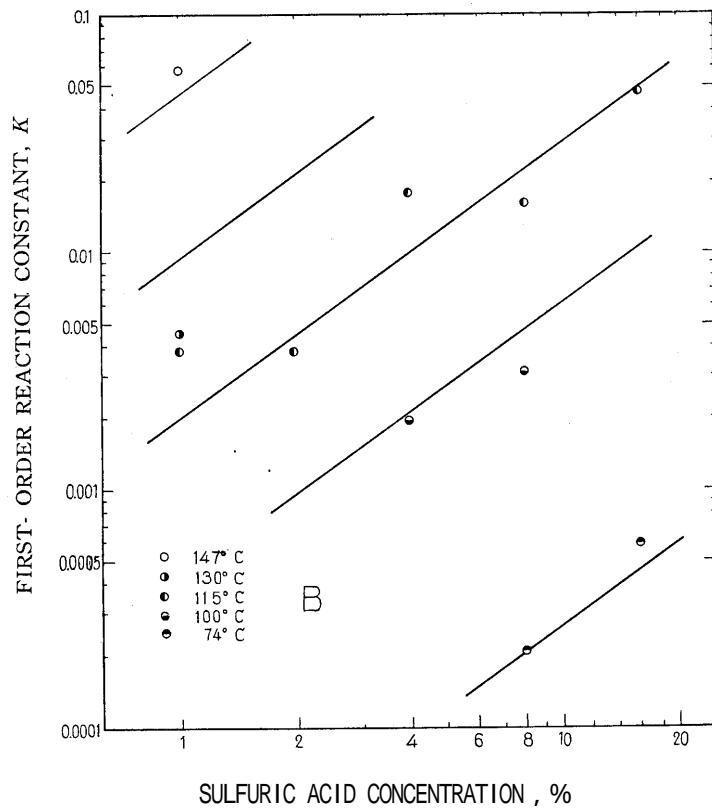


Fig. 10 .Time of Complete Removal of Part A (Fraction Easy to Hydrolyze) of
 Hardwood (Buna) Pentosan Expressed as Function of Temperature and Sulfuric
 Acid Concentration .

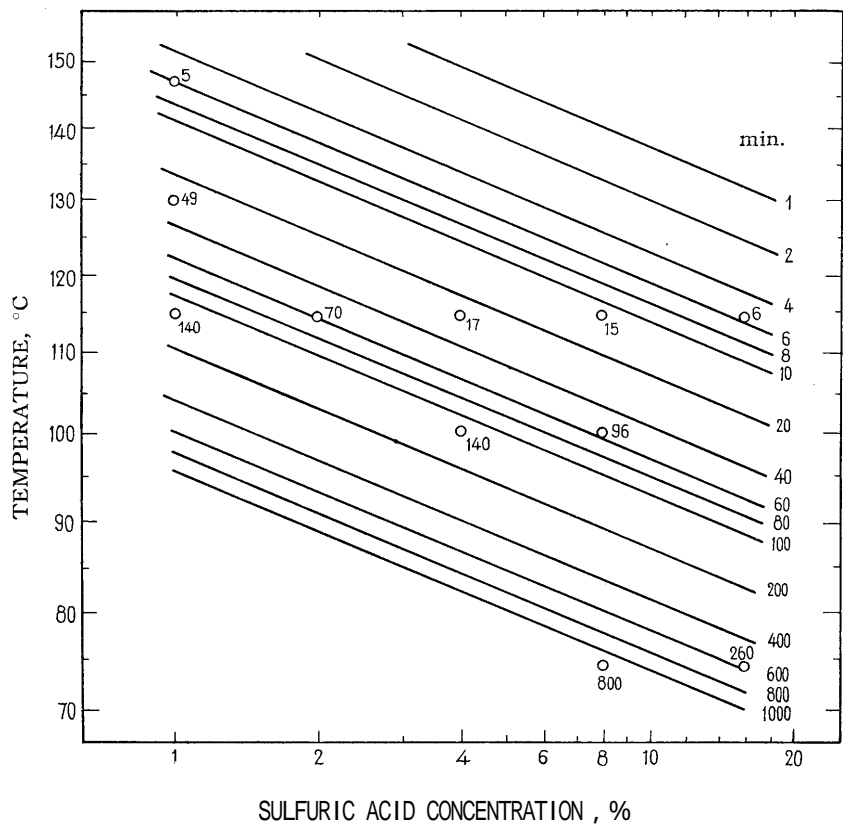


Fig. 11 .Relation of Absorbancy to Temperature in Color Development
(Based on Table) .

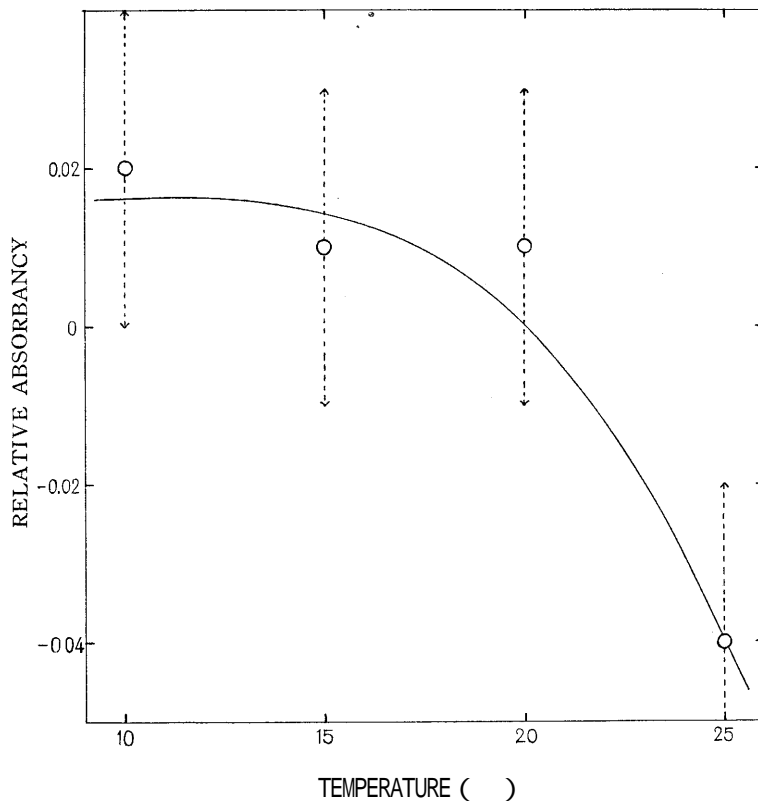


Fig. 12. Relation of Absorbancy to Time of Standing in Color Development
(Based on Table) .

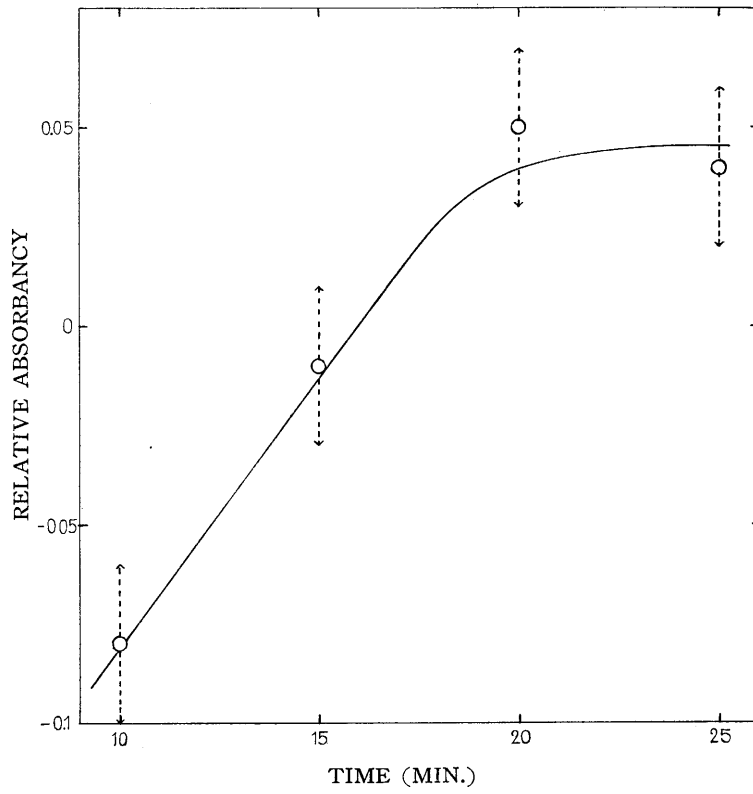


Fig. 13. Relation of Absorbancy to xylose Concentration
(Based on Table) .

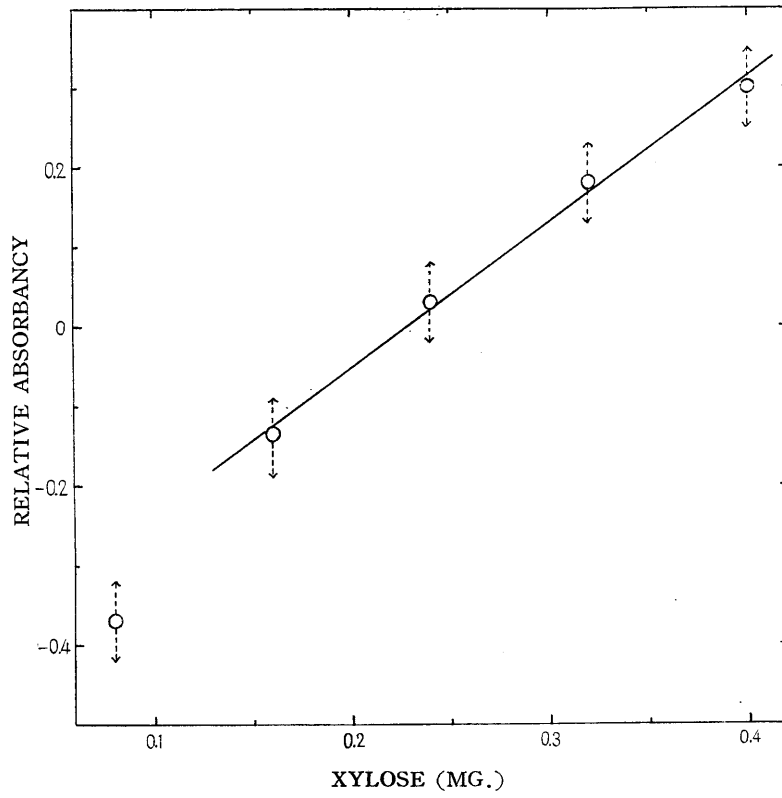


Fig. 14 . Relation of Absorbancy to Time of Conversion of Xylose to Furfural
(Based on Table) .

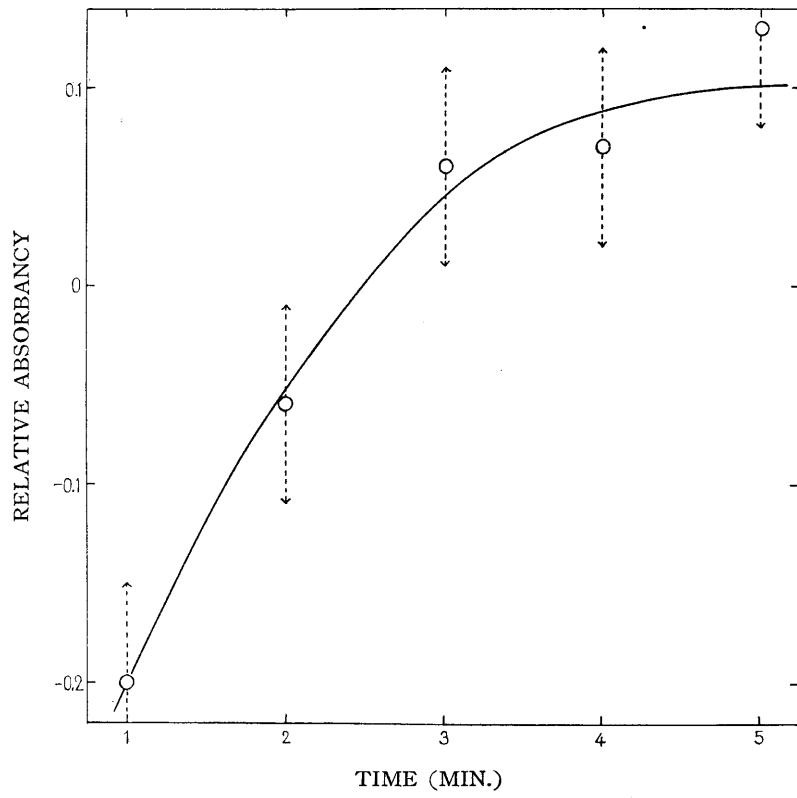


Fig. 15. Relation of Absorbancy to Wave Length in Color Measurement
(Based on Table) .

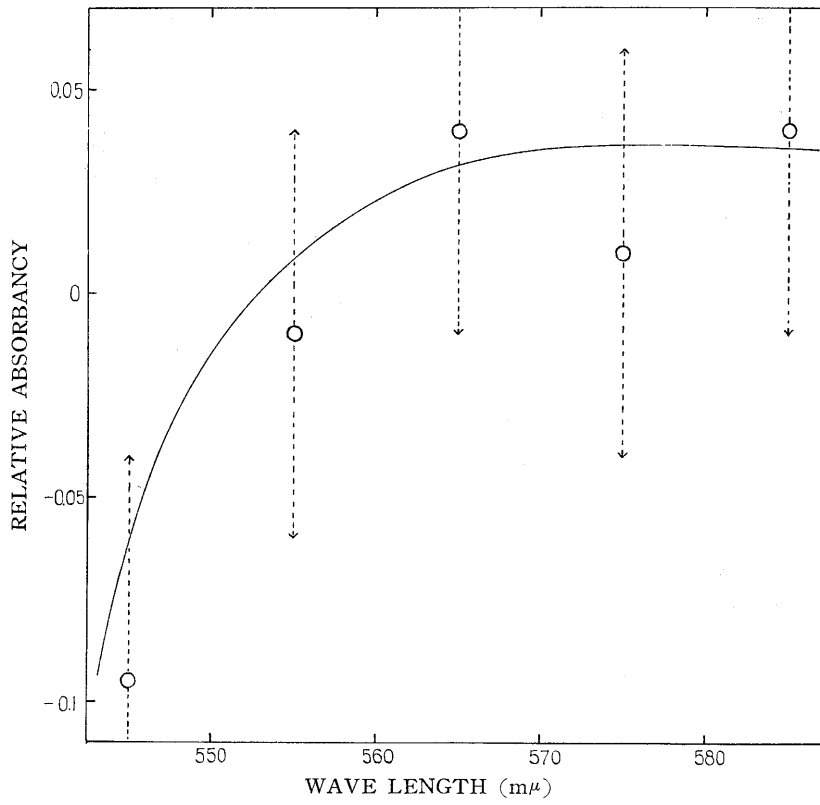


Fig. 16 . Effect of Sulfuric Acid Existing in Xylose Solution and Relation of Absorbancy to Xylose Concentration (Based on Table () .

