

2) オーバーフロー型により大粒子だけを除いた白濁液につき, 小型のドラバル型遠心分離機による清澄効果をしらべた結果, 60~120l/hr という速い注入速度で十分に清澄液がえられ, 清澄液と濃縮液との分離比は大体 1:2であることを知った.

濃縮液は更に分離機に戻して清澄液と濃縮液とに分離するということを繰返せば相当濃縮されたものがえられるのであるが, アルコールの損失から見て, 循環はせいぜい3回にとどめるべきであろうと考えた. アルコール以外の成分は殆んど変化しなかった.

3) 以上の諸事実から考えて醪を先ずオーバーフロー型で処理して大きい粒子部分を取り除き (この目的のためには実用機で 800l/hr の速度で醪が処理出来る.) えられた白濁液をドラバル型で処理して清澄液をうるという2段方式の処理法を提案した. そしてドラバル型で処理する場合, 同じ液を循環させて濃縮していく循環方式と一回の処理でえられた清澄液の量だけ新しい醪を濃縮液に追加して行く追加方式との2方式のある事を提案した.

4) オーバーフロー型にたまつた固形部とドラバル型で適当に濃縮された濃縮液は合併して更に圧搾しなければならず, 結局は3段方式の操作が必要となる. その操作手順につき考察を加え, 8時間稼働で 5000l の醪が処理され, 2000l の清酒が出来ると共に, 3000l の半固形粕を圧搾機に送り込む事が出来る事を示した.

本研究の一部は日本醸酵工学会講演会 (昭37.11) 他は醸造試験所研究発表会 (昭38.4) において発表した.

文 献

- (1) 布川, 鈴木: 醸試報, 135, 印刷中 (1963). (昭38.8.24受付)
 (2) 詳論化学工学, 単位操作 I, P 442, 朝倉 (1962).

[醸工 第41巻, 第11号, 588~591, 1963]

醱酵液のレオロジー的研究 (第五報)

温度効果について (追補)

佐 藤 公 男 (明治製菓株式会社)

Rheological Studies on Some Fermentation Broths (V)

Effect of Temperature on Rheological Properties of Fermentation Broth

Kimio Sato (Meiji Seika Kaisha, Ltd.)

Previously an investigation was made on the influence of temperature on the rheological properties of kanamycin fermentation broth, and linear relationship between $\log \eta'$ against $1/T$ was obtained experimentally, where η' is plastic viscosity in poise and T is absolute temperature in $^{\circ}\text{K}$.

In the present study, the method of reduced variables for visco-elasticity was applied to non-Newtonian flow, also using "oleum zinci oxidi" in the typically Bingham-plastic behavior.

Furthermore activation energy of "oleum zinci oxidi" at any temperature was

equal to that of olive oil, which was the dispersion medium. These experimental results confirmed that the above-mentioned report was reliable.

Next the effects of temperature on kanamycin production were studied. It was shown that 35% less kanamycin was produced by fermentation which were started at 28°C and transferred to 24°C, 40 hr. after inoculation, than was produced in control incubated at 28°C for the entire fermentation.

The results obtained from this experiment, showed that a knowledge of the rheological behavior of fermentation broth is an important pre-requisite for controlling of fermentation processes.

緒 言

ペニシリン、ストレプトマイシン或いはカナマイシン等の醱酵液は非ニュートン流動を示し、粘度が温度のみならず剪断速度の函数であるため、それらの関係は非常に複雑であることを報告した¹⁾。著者は Ferry²⁾, Tobolsky³⁾ らの粘弾性における温度と周波数の換算変数法がこれら醱酵液にも拡張して適用されることを実験的に認め、醱酵液の流動曲線が温度によつて規則的な変化をする理由が明らかとなつた。次いでカナマイシンの醱酵生産における培養温度の影響をレオロジー的な面より検討を行なつたので既報¹⁾のものを補足して報告する。

実験および考察

非ニュートン流動を示す醱酵液に模して局方チンク油を選び、plastic viscosity (η') および yield value (Y) におよぼす温度効果を 0 ~ 45°C の範囲で検討した。流動曲線の作製は既報¹⁾の通りである。測定結果は Fig. 1 に示すごとくで、温度が上昇するにつれて plastic viscosity は低下するが、yield value にはなんらの変化も認められない。すなわち流動を起すに要する剪断応力には変化なく、ただ易動度 ($1/\eta'$) だけに差異を生ずることが判る。そこで粘弾性における温度と周波数の換算法則が非ニュートン流動にも拡張しうるか否かについて検討した。

高分子物質の粘弾性の温度変化において、温度と周波数の換算法則が適用されるためには、温度効果について 2 つの仮定が設けられている。第 1 の仮定は、絶対温度が T_0 から T になるためにすべての緩和時間が T_0 における値の a_T 倍になるということ、換言すれば緩和スペクトル全体が時間の対数軸に沿つてそのままの形で $\log a_T$ だけ移動することを意味する。 a_T は温度 T_0 , T によつて定まる数値で移動係数と言われるものである。第 2 の仮定は、温度が T_0 (このときの密度 ρ_0) から T (このときの密度 ρ) に変化するときスペクトル全体が $T\rho/T_0\rho_0$ 倍されるということである。温度 T_0 , T における緩和スペクトルを $\psi_0(\ln \tau)$, $\psi_T(\ln \tau)$ としてこれらの仮定を数式で表わすと次のごとくになる。

$$\psi_T(\ln \tau) = \frac{T\rho}{T_0\rho_0} \psi_0\left(\ln \frac{\tau}{a_T}\right) \quad (1)$$

ここに τ は緩和時間である。 $T\rho/T_0\rho_0$ の項は、緩和時間の温度依存性に比べてはるかに小さく、温度範囲がかなり広くてもこれらの係数は 1 に近い値であるので、むしろこの係数を無視して差支えないと述べられている。すなわち

$$\psi_T(\ln \tau) = \psi_0\left(\ln \frac{\tau}{a_T}\right) \quad (2)$$

実験結果から a_T を決定する方法として、種々の温度で測定された動的粘性 $\eta(\omega)$ の常用対数を $\log \omega$ に対して plot した曲線を、 T_0 における曲線と重なるように移動して移動距離 $\log a_T$ を求めている^{2,3)} ので(ただし ω は角速度)、著者は流動曲線をトルク (レオメーターの内円筒の回転角度 θ で表わす) と回転速度 N の対数で表

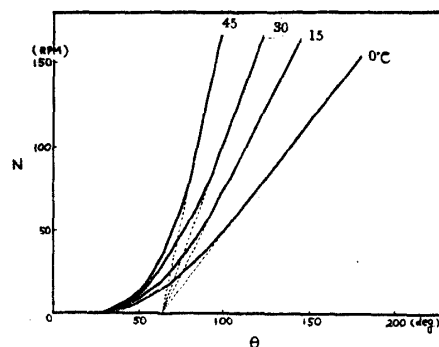


Fig. 1. Temperature dependence of shear diagram (oleum zinc oxid).

わして見た。Fig. 1 のチンク油の流動曲線において 0°C と 30°C のものを図示したのが Fig. 2 である。すなわち図から判るように、温度が T_0 から T に変ったとき流動曲線全体が $\log N$ の軸に沿って $\log a_T$ だけ平行移動していることが認められた。(他の温度についても全く同様に観察されたが図が煩雑となるので省略した) 従つて Fig. 1 において観察された現象は、粘弾性における温度と周波数の換算法則の適用の可能性によるものであることを実験的に推定したわけである。

Bingham 流動は一般に次の如く表わされる。

$$v = (S - Y) / \eta' \quad (3)$$

ここに v は剪断速度, S は剪断応力, Y は降伏剪断応力, η' は plastic viscosity を示す。(3)式を書換えると

$$S = Y + \eta' v \quad (4)$$

基準温度を T_0 とし、温度 T における剪断応力を S_T とすると、さきの実験結果より次式が導かれる。

$$S_T = Y + a_T \eta' v \quad (5)$$

(4)と(5)式について見れば温度が T_0 より T に変つた場合にも降伏剪断応力には変化なく、plastic viscosity が a_T 倍された Bingham 流動を示すことを意味する。

古く Arrhenius は各種流体の粘度の温度変化が、化学反応の反応速度に対する Arrhenius の式と同じ形をした式

$$\eta = A e^{B/T} \quad (6)$$

でよく表わされることを認め、Andrade⁵⁾ はこれに対し理論的な説明をして次の関係式をえている。

$$\eta = A e^{E/RT} \quad (7)$$

ここに T は絶対温度, R は気体常数, A は物質常数, η は温度 T における粘度, E は流動の活性化エネルギーである。これより次の関係式がえられる。

$$E = \frac{R d(\ln \eta)}{d(1/T)} = \frac{2.303 R d(\log \eta)}{d(1/T)} \quad (8)$$

チンク油の流動曲線から $\log \eta'$ を $1/T$ に対して plot すると Fig. 3 のごとくなる。分散媒であるオリーブ油の粘度の対数 ($\log \eta$) を同様に $1/T$ に対して plot すると、この 2 つは平行な直線となりチンク油は分散媒であるオリーブ油の活性化エネルギーと等しい活性化エネルギーを有していることが判つた。

そこで Bingham 流動に類似するカナマイシン醗酵液について以上の諸知見が適用しうるか否かを検討してす

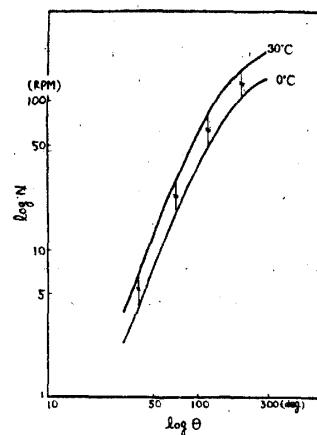


Fig. 2. Logarithmic plot of shear diagram.

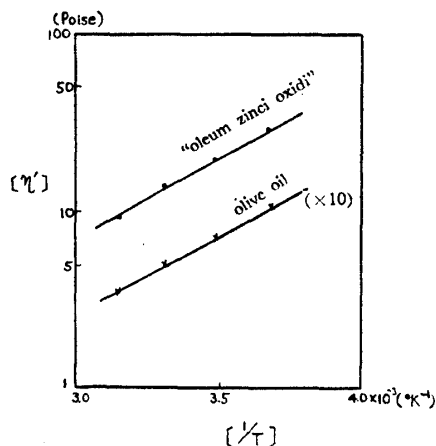


Fig. 3. Relationship of temperature to plastic viscosity.

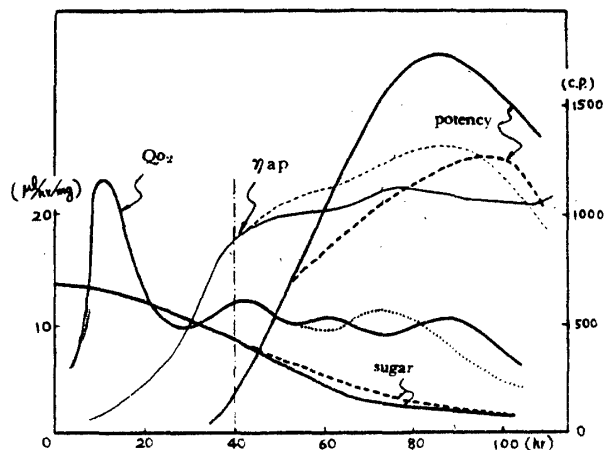


Fig. 4. Kanamycin fermentation processes.
straight line : 28°C , dotted line : $24-28^{\circ}\text{C}$.

でに報告したがその結果を要約すれば

i) 温度が変化するにつれて plastic viscosity も変化するが, yield value には殆んど変化が認められなかつた.

ii) $\log \eta'$ と $1/T$ の間にはほぼ直線関係が成立し, しかも培養各時期の醱酵液についてそれらの直線の方向係数がいずれも等しいことを認めた. しかし 醱酵後期のものほど $\log \eta'$ に対する $1/T$ の直線関係が変動する要因は, 醱酵液の複雑な特異性によるためであると推論した.

Owen⁷⁾ らはペニシリンの醱酵生産において培養温度のプログラミングの効果を検討し報告している. すなわち菌体の生成のためには30℃を, ペニシリン生成期には25℃を維持することが望ましいが, 温度変化を与える時期の影響の大きいことを強調している. 実験結果によれば菌体生成期には30℃で, ペニシリン生成期間中は20℃に維持することによつて, 対照 (全醱酵期間中25℃とする) に比して50%以上の高力価をえている. すでに検討してきたごとく, 温度の変化による粘度の変化は決して無視することが出来ず, 殊にカナマイシン醱酵液のごとく粘稠度の高いものでは当然のことながら攪拌効率の低下が予想されるわけである. そこでカナマイシンの醱酵生産における培養温度の影響を, レオロジー的な面と併せて醱酵生理面より検討した. すでにシェーカーによる実験において菌体の生成には28~30℃附近に, カナマイシンの生産は24~26℃附近に至適値のあることを認めていたので, 温度変化を与える時期としては Owen⁷⁾ らの報告に準じて, 菌体の対数増殖期中期以降と推定される40時間以降, 醱酵温度を28℃より24℃に低下したものと, 全醱酵期間中28℃に維持したもの (対照) について比較検討した. 実験条件は

培養基: 主要窒素源として大豆粕を用いる澱粉培地

醱酵槽: 2 KL

仕込量: 0.8KL

攪拌数: 200R.P.M.

通気量: 0.8V.V.M.

醱酵中の各種の特性値とカナマイシン力価との関係を追跡したものを Fig. 4 に示す. 本実験結果より判ることとは, 醱酵中途より培養温度を低下させることによつて糖の消費速度は緩慢となり, 見かけ粘度 (η_{ap}) は醱酵後期になるにつれてかなり上昇する. 菌体の呼吸活性は中期頃までは対照と殆んど差異が認められないが, 後期には著しい低下が観察された. カナマイシンの力価には著しい差異があり, 温度を低下せしめた区では最高値において対照の約65%という低い値を示したことは, 温度制御の重要性を示唆するものと言える. 緩慢なる糖代謝がペニシリンの生産に対して有効に作用したものとする考え方は, カナマイシンの醱酵生産には適用しえず, 従つて醱酵速度を温度の変化によつて制御しようとする場合にはスケールアップの問題の検討と併せて, 醱酵液のレオロジー的特性を十分に検討した上で如何なる時期より如何なる温度変化を与えるべきかを決定する必要があると考える.

終りに臨み本研究の発表を許可された浦島社長, 終始御指導御鞭撻を賜つた前川崎工場長佐藤常務, 中川取締役に厚く感謝致します. また御懇篤なる御指導を賜つた大阪大学寺本教授, 照井教授に深謝致します.

文 献

- | | |
|--|--|
| (1) 佐藤: 本誌, 39 , 453, (1961) | (5) Ferry, J.D.: "Viscoelastic Properties of Polymers" (1961) |
| (2) Ferry, J.D. et al.: <i>J. Appl. Phys.</i> , 22 , 717 (1951) | (6) Andrade, E.N.: <i>Nature</i> 125 , 309, 580 (1930) |
| (3) Tobolsky, A.V.: <i>J. Polymer Sci.</i> , 8 , 543 (1952) | (7) Owen, S.P. et al.: <i>Appl. Microbiol.</i> , 3 , 375 (1955) |
| (4) 佐藤: 本誌, 39 , 347 (1961) | (昭38.8.22受付) |