lethal concentrations respectively. The results are shown in Fig. 3 by the L-C diagram method which will be discussed in the further report, and the effects of amino acids are classified into two groups including six types (Fig. 4). From the transformation of types with the salt concentration, sodium chloride is considered not only to act in the permeability of the bacterial cells, but to inhibit the metabolic systems within the cells.

微生物発育現象に関する研究 (第 10 報)

細菌の発育に及ぼすアミノ酸添加の影響 (その 2)

松 山 晃 (東京大学農学部農芸化学教室)

昭和 28 年 11 月 24 日 受理

Studies on the Microbial Growth. Part 10. The Influences of Amino Acids added to Glucose Ammonium Salt Medium on the Bacterial Growth (2)

By Akira MATSUYAMA (Dept. of Agr. Chem., Fac. of Agr., University of Tokyo)

I. まえがき 前報⁽¹⁾において各種アミノ酸の lag に及ぼす影響を現象論的に類型化した。本報ではそれにもとづく機作的考察の一部として threonine 及び hydroxyproline の作用について検討する。供試菌株 (*Escherichia coli*)、実験方法及びその結果の表示法等すべて前報にしたがい培養方法は KOSER の合成培地を用い静置培養を行つた。

II. DL-Threonine 及び Hydroxy-L-proline の発育阻害作用

1. 発育曲線に及ぼす影響 DL-Threonine 及び hydroxy-L-proline は 0.1 M NaCl 存在下では A 型アミノ酸として濃度の増加に伴つて発育促進作用を示すが、0.5 M NaCl 存在下では前報 Fig. 3 の如く比較的低濃度では A 型アミノ酸として発育促進作用をあらわし、ほぼ $10^{-3} M$ より高濃度では次第に発育阻害作用が強くなる。

Fig. 1. Effects of DL-Threonine on the Growth of *E. coli* in KOSER's Medium containing 0.5 M NaCl.

DL-Threonine concentrations:

A, $6.25 \times 10^{-5} M$; B, $6.0 \times 10^{-2} M$; C, nil

Fig. 2. Inhibitory Effects of DL-Threonine on the Logarithmic Growth of *E. coli* in KOSER's Medium containing 0.5 M NaCl.

A, $1.4 \times 10^{-2} M$ threonine + $NH_4H_2PO_4$;
B, $1.4 \times 10^{-2} M$ threonine without NH_4 salt;
C, control.

なる。この阻害濃度の両アミノ酸存在下の発育曲線は Fig. 1 の如く典型的な誘導期延長型を示し、growth rate は僅かに対照区より低下している。誘導期には殺菌作用は両アミノ酸により強化されず、むしろ軽減され両アミノ酸による発育阻害作用は発育必須因子の生合成阻害を示唆するものといわねばならない。DAWES⁽²⁾は glucose - $(NH_4)_2SO_4$ 培地中で threonine の発育阻害作用を研究し、これを α -ketobutyric acid の集積に帰したが、その場合の発育曲線と本報での 0.5 M NaCl 存在下のそれとは異なり、前者では lag の長さが対照区と変わらず、growth rate は対数期にはいつから低下することが報告されているので、両者では threonine の発育阻害機構が異なるものと思われる。又 threonine が細胞と接触してから発育阻害作用をあらわすに要する時間を対数期の細胞分裂について求めると、Fig. 2 から NH_4 塩の存在如何にかかわらずほぼ等しく $1.4 \times 10^{-2} M$ の threonine では 1.5 時間であつた。この場合に典型的な threonine の菌静止作用がみられるが、24 時間後には $10^8/ml$ 前後の菌の増殖がみられた。このような threonine の発育阻害作用は NH_4 塩無添加の threonine のみを N-源

とする場合にもみられた。

2. 発育阻害作用とその拮抗アミノ酸 GLADSTONE⁽³⁾はアミノ酸の発育阻害作用並びにその拮抗現象を研究し、拮抗関係にあるアミノ酸相互間に化学構造上の近縁関係が存在することを指摘し、threonine の発育阻害作用を valine が回復することを報告した。本実験条件下における threonine の発育阻害作用が如何なる機構の下に行われるかを明かにするため、先ず他のアミノ酸との拮抗現象の検討を行つた。Fig. 3 の如く数種のアミノ酸の一定濃度存在下に threonine の発育に及ぼす作用を L-C 図法⁽¹⁾によりしらべると3つの型が得られる。即ち (i) L-leucine の添加により threonine の L-C 曲線は殆んど変化せず、leucine が threonine の発育阻害作用と直接の関聯をもたないこと及び leucine がその阻害回復機構に対し代謝下位物質であることが推測される。(ii) L-Glutamic acid 及び L-aspartic acid の添加によつては L-C 曲線の型は殆んど変化せず、単に

Fig. 3. Effects of Amino Acids ($4 \times 10^{-3} M$) on the Inhibitory Action of Threonine in KOSER's Medium containing 0.5 M NaCl.

A, L-leucine; B, L-glutamic acid; C, L-aspartic acid; D, DL-valine; E, control.

Fig. 4. Effects of Amino Acids ($4 \times 10^{-3} M$) on the Inhibitory Action of Hydroxy-L-proline in KOSER's Medium containing 0.5 M NaCl.

A, L-glutamic acid; B, L-aspartic acid; C, L-proline; D, control.

ΔL が+の方向にずれるだけで、L-C 曲線の極大点即ち threonine の発育促進濃度から発育阻害濃度への転移点は threonine の濃度について変らない。そして僅かながら threonine の濃度の増加に伴う L-C 曲線の降下速度が緩かになる。このような事実は両アミノ酸が threonine の発育阻害機構とは直接の関聯はないが、間接の径路によつて阻害機構に関係し、菌の発育を回復し得ることを示しているもので、不完全な拮抗作用をもつと考えられる。(iii) Valine の添加は L-C 曲線をA型即ち threonine の全濃度範囲に亘つて発育促進作用が増大する型に変化させ、その極大点は消失する。この事実は valine が glutamic acid 等と異なる機作によつて threonine の発育阻害作用を完全に取除き、これと拮抗していることを示すものといわねばならない。従つてこの条件下では、threonine は何らかの機作の下に、*E. coli* の細胞原形質の構成アミノ酸である valine⁽⁴⁾の生合成を阻害することによつて発育阻害作用を呈するものと推定される。この場合の L-C 曲線を検討すると、threonine の濃度と共に ΔL は大きくなり、発育の促進作用増大が認められる。Valine は一定濃度($4 \times 10^{-3} M$)添加してあるので、この曲線の上昇は valine の作用ではなく、threonine の作用による発育促進作用と思われる。このようにはじめ阻害的に作用した高濃度の threonine が拮抗アミノ酸である valine の添加により逆に促進的に作用することは、アミノ酸相互間の拮抗現象として注目すべき点であろう。0.5 M NaCl 存在下の hydroxy-L-proline について threonine の場合と同様の方法で実験を行うと L-glutamic acid 及び L-aspartic acid は threonine の場合と同じく不完全な拮抗作用を示すのに対し、L-proline はその発育阻害作用を取除き完全な拮抗作用をあらわす (Fig. 4)。従つてこの場合には同じく細胞原形質の構成アミノ酸である proline⁽⁴⁾の生合成を阻害することによつて hydroxyproline は発育阻害作用を示すものといわねばならない。Glutamic acid 等は hy-

droxyproline の濃度増加による L-C 曲線の降下を若干緩かにし、その發育阻害作用をいくらか緩和するので、弱い拮抗作用の存在が考えられるが、この点 BONNER⁽⁶⁾ が glutamic acid は proline 生合成の前駆物質であると報告しているのとは対比して興味ある事実である。

3. Threonine の發育阻害機構の検討 Threonine の deamination による最初の代謝生産物は α -ketobutyric acid で、これはさらに酸化されて propionic acid になる⁽²⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾ といわれ、DAWES は前述の如く threonine の發育阻害作用は propionic acid ではなく、 α -ketobutyric acid に基因すると推定した。0.5 M NaCl 存在下の KOSER 培地中における propionic acid の發育阻害作用は valine によつて拮抗されないので、本実験条件下における threonine の發育阻害も propionic acid によるものとはいえない。従つて α -ketobutyric acid か threonine そのものによることが考えられる。次に α -ketobutyric acid を合成^(註)して、前と同じく L-C 図法により valine との拮抗作用の有無を検討すると Fig. 6 に示すように、threonine 添加の有無にかかわらず拮抗的關係がみとめられない。従つて若し α -ketobutyric acid が細胞内における threonine の deamination による最初の生産物である⁽²⁾ならば、0.5 M NaCl 存在下の高濃度の threonine による發育阻害作用は threonine 自体によるものと推定される。このことは Fig. 2 に示したように $1.4 \times 10^{-2} M$ threonine 添加後完全な發育阻止状態に達する時間が 1.5 時間で比較的短いことと矛盾しない。

Fig. 5. Effects of DL-Valine on the Inhibitory Action of Propionic Acid in KOSER's Medium

A, $10^{-3} M$ valine (0.1 M NaCl); B, control (0.1 M NaCl); C, $10^{-3} M$ valine (0.5 M NaCl); D, control (0.5 M NaCl)

Fig. 6. Effects of Valine on the Inhibitory Action of α -Ketobutyric Acid in KOSER's Medium containing 0.5 M NaCl.

A, $4 \times 10^{-3} M$ DL-valine + $10^{-3} M$ DL-threonine; B, $4 \times 10^{-3} M$ DL-valine; C, control

III. アミノ酸の拮抗現象と L-C 図法 前項の方法とは逆に發育阻害因子としての threonine 又は hydroxyproline を一定の發育阻害濃度にとり、これに拮抗作用の被検物質の濃度を変えて添加し L-C 曲線を測定すると Fig. 7 の結果を得る。何れのアミノ酸も同様に A 型で MICHAELIS の方程式に適合した曲線を示し、前

(註) α -Ketobutyric acid の合成⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ その合成経路は次の通りである。

ここに得られた α -ketobutyric acid は b.p. $52 \sim 53^\circ / 7 \text{ mm}$ で、分析値は理論値 C% 47.04, H% 5.93; 実験値 C% 46.99, H% 6.13. その 2,4-dinitrophenylhydrazon は m.p. 136° (ethanol より再結), 収量は ethyl propionate に対し 40% (理論量) であつた。Ethyl ethoxallylpropionate を反応液から溜取せずに H_2SO_4 で分解する方が収量よく、文献⁽⁸⁾の約 1.5 倍に達した。

述のようなこれらアミノ酸の作用型を識別することは出来ない。低濃度範囲では被検物質の添加濃度と ΔL とは何れも正比例するからアミノ酸要求株について ADELBURG⁽¹¹⁾ が用いたように、このような事実からのみ拮抗作用を論ずる方法は、この場合には危険であるといわねばならない。この場合は変異株の場合と異り、阻害アミノ酸による必須因子の生合成阻害は完全に行われるわけではないことに注目しなければならない。被検物質の濃度を一定にとつて、

L-C 曲線を求めると、明かに2つの型即ち valine 型と glutamic acid 型とに分れるが、valine 型は無競争的に発育阻害剤（この場合 threonine）と拮抗しており、valine の生合成が阻害されている事実を示すものといえよう。又 glutamic acid 型は threonine の阻害機構とは直接の関聯なしに発育促進的で不完全な拮抗作用を示す場合と思われる。このことを Fig. 8-A の

Fig. 8. Scheme showing Effects of various Substances (II~V) on the Inhibitory Action of Amino acid (I).

(A) L-C diagram. (B) comparison of ΔL when each tube contains the inhibitory concn. C.

曲線の極大点は濃度軸に対して全く移動しない。これは不完全な拮抗作用を示すものと考えられ、threonine 及び hydroxyproline に対し glutamic acid 及び aspartic acid がこの傾向を示す。IV 型は完全に I の極大点が消滅している場合で無競争的に拮抗しているものと考えられ、前記の threonine に対する valine, hydroxyproline に対する proline の作用はこの型に属する。V 型は I の極大点が濃度軸に対し高濃度の方にずれ、何らかの形式で競争的に拮抗していることを示す場合である。次報でのべるように $HgCl_2$ に対する cysteine 等 SH 化合物の拮抗作用はこの型を示す。このように阻害作用をあらわす I の L-C 曲線に対して II~V の示す4種の型を明かに検出し得るが、これと逆に前述の如く阻害剤の濃度を一定にして被検物質の L-C 曲線を求めても、何れも A 型となり各型を見分けることは出来ない。又これを濃度 C の発育阻害物質に対して前と同じ濃度の被検物質 II~V を添加すると ΔL は Fig. 8-B の如くなり、アミノ酸添加の対照区 I' に比べ III~V は何れも発育促進的で且相互にその作用が識別困難である。若しこの方法で前記の各型を検出しようとするれば、阻害物質 I の濃度を高くしなければならないので、多量の試料を要し不経済である。アミノ酸の発育阻害作用は一般の阻害剤の作用に比べて弱く且比較的低濃度ではむしろ発育促進作用があるので、発育の測定によるアミノ酸拮

Fig. 7. Growth Promoting Effects of Amino Acids on *E. coli* in KOSER's Medium containing 0.5 M NaCl and Inhibitory Concentration ($4 \times 10^{-3} M$) of DL-Threonine (I) or Hydroxy-L-proline (II).

I: A, L-glutamic acid; B, L-aspartic acid; C, DL-valine; D, L-leucine
II: A, L-proline; B, L-glutamic acid; C, L-aspartic acid

抗現象の検討には、被検アミノ酸の一定濃度存在下に発育阻害を示すアミノ酸の濃度傾斜をつくり L-C 曲線を検討する方法がすぐれていると思われる。とくにこの方法では必ずしも Fig. 8-B に示した対照区をおく必要がなく、発育阻害アミノ酸の比較的低濃度範囲で検定を行うことができ、L-C 曲線の極大点の消長に着目すれば拮抗作用の有無及びその形式の検定の高い正確さが期待出来る。但し競争的拮抗現象における拮抗比は拮抗物質何れの濃度を固定しても測定し得る。Fig. 8-B の方法が比較的低濃度でも有効であるのは、発育阻害剤の作用がそのまま拮抗作用の被検物質存在下にも維持されるよう完全に拮抗作用が認められない II の場合であつて、アミノ酸では不完全に発育が回復する III の場合が多いので注意を要する。

IV. Threonine, Isoleucine, Valine 及び Leucine の細菌細胞内における生合成経路の考察 (L-C 図法によりアミノ酸生合成経路を検討する試み) 従来多くの研究によつてこれらアミノ酸がその生合成経路においてきわめて緊密な関係にあることが知られているので⁽¹¹⁾⁽¹⁶⁾、今回得られた 0.5 M NaCl 存在下における threonine による valine の生合成阻害について、これらアミノ酸生合成経路の検討を試みた。先づ従来の知見に基づいてこれらアミノ酸生合成経路の scheme を求めた。BONNER⁽¹²⁾ は isoleucine 要求性変異株について実験し、isoleucine の precursor の集積により、valine の precursor から valine への生合成が阻害される結果として isoleucine と共に valine が要求される、即ち double requirement が生ずることを報告した。この実験結果からは BONNER の示した場合を含めて次の 3 の場合が考えられる。

ZALOKAR は *Neurospora* の sulfonamide 要求性変異株の発育に対する valine 及び isoleucine の影響が極めて類似している結果を得、BONNER の上記の実験結果を考慮して、それらの生合成が密接な関係をもつことを指摘し、COHEN 等⁽¹⁶⁾は *E. coli* の valine 要求性変異株の発育は valine と等しいモル数の isoleucine で促進されることを報告している。これらの結果から両アミノ酸の生合成が直接の関聯のない (iii) の場合でなく、(i) 又は (ii) の場合が考えられる。他方 ADELBERG⁽¹¹⁾ は threonine と isoleucine とは C 4 個の precursor (Table 1 の [X]) を經由して相互に変換することができ、isoleucine の precursor は keto-isoleucine ではなく dihydroxy-isoleucine であるとした。これら従来の知見^{(11)~(16)}により Table 1 の如く scheme を想定する。

Table 1. Scheme of Biosynthesis for Threonine, Isoleucine, Valine, and Leucine (*E. coli*).

Broken lines show the blocking of biosynthesis by threonine.

次にこの scheme について isoleucine の与える影響を検討する。0.5 M NaCl 存在下でも isoleucine 単独ではその L-C 曲線は A 型で発育阻害作用が全く認められない。しかし同一濃度の isoleucine の存在下における threonine の L-C 曲線を isoleucine の種々の濃度について検討すると、isoleucine の濃度の増加と共に曲線は次第に $+\Delta L$ の方向にずれるが、同時に極大点は threonine 濃度の小さい方に移動する (Fig. 9)。これは isoleucine の 1 種の synergist としての作用とみなさるべきもので、アミノ酸の阻害協力作用としての 1 型を示すのであろう。isoleucine が synergist として threonine の阻害的にかたむく濃度を低下するにもかかわらず L-C 曲線を上昇させ、非特異的な発育促進がみられるのは、主として必須アミノ酸であるこれら両アミノ酸

の混合系としての効果と考えらる。この isoleucine と threonine の混系による発育阻害作用も valine により完全に拮抗されるので、threonine による発育阻害作用と同型式のものと推定される。ADELBERG 等⁽¹¹⁾⁽¹⁵⁾の報告するように isoleucine ⇌ threonine の反応により isoleucine が容易に threonine に変化し得、且 isoleucine 単独では発育阻害作用を示さないことから、0.5 M NaCl 及び threonine 存在下で、isoleucine は threonine に変化してその濃度を高めることによつて阻害作用に協力することが考えられる。従つてこのような状態においては threonine ⇌ isoleucine の経路に比べ、isoleucine → valine 又は [Y] → valine 即ち valine の前段階が著しく阻害されることが推測される。次に leucine 添加の影響を検討する。COHEN⁽¹⁶⁾等は *E. coli* の valine 要求性変異株について valine に対し高比率の isoleucine 添加による発育阻害が leucine により無競争的に回復されることから、valine から leucine への生合成経路を isoleucine が阻害するとした。しかし leucine は Fig. 10 に示すように、threonine 及び isoleucine 共存下における発育の阻害を回復し得ないので

Fig. 9. Effects of L-Isoleucine on the Inhibitory Action of DL-Threonine in KOSER'S Medium containing 0.5 M NaCl.

L-isoleucine concentrations: A, 4×10^{-3} M; B, 10^{-3} M; C, M; D, 10^{-6} M; E, 10^{-8} M; F, nil
broken line: ΔL of basal medium containing 0.1 M NaCl.

Fig. 3 に示した threonine 単独の発育阻害作用をも、leucine が回復し得ないことと相俟つて、isoleucine による阻害が valine → leucine の阻害でなく、又こ

の生合成経路が可逆的でないことを推測し得る。このことは isoleucine の threonine との協力作用は、前述のように isoleucine が threonine に変化して発現するという考えに矛盾しない。このような種類の培地組成の下に発育曲線を実測し、L-C 曲線を求めてアミノ酸生合成の scheme の妥当性を論ずることは、アミノ酸要求性変異株の使用及び生合成経路の途上に推定される中間体の発育に及ぼす影響、さらに試験管内にとり出された酵素反応による証明法並びに須田等の逐次適応法⁽¹⁷⁾等と相俟つて、細菌細胞内におけるアミノ酸生合成経路の究明に資するものと考えられる。ここではアミノ酸欠乏状態を現出するのに発育阻害濃度の食塩だけについて論じたが、その他の発育阻害剤についてもこのような方法を採用し得る可能性が考えられるので、検索を進めたいと思う。

V. むすび 前報では合成培地中における単一アミノ酸の L-C 曲線について論じたが、同様の方法で本報におけるように 2 種又は数種のアミノ酸の混在下に、さらに種類の型の L-C 曲線に分化するのを検出し得ることが明かになった。即ち threonine の L-C 曲線は glutamic acid, valine, leucine 及び isoleucine 等によりそれぞれ異つた反応を示し、少くとも 4 種に分化する。而もここで注目すべき点は、このような現象が発育阻害条件下において観察され、通常状態にはみられないことであろう。従つてこの現象に関与している因子は大別して細胞内代謝機構と発育阻害剤の作用機構であると考えられる。このような現象論的な結果は勿論それぞれの作用機作との間に本質的な関係をもつと思われるので、L-C 曲線の追求は上記両機構の解明に多くの示唆を与えるであろう。

Fig. 10. Effects of L-Leucine on the Inhibitory action of DL-threonine in KOSER'S medium containing 0.5 M NaCl.

A, 2×10^{-3} M leucine + 4×10^{-3} M L-isoleucine;
B, 4×10^{-3} M leucine; C, control
broken line: ΔL of basal medium containing 0.1 M NaCl.

する。又アミノ酸試料を御分与頂いた味の素株式会社川崎工場研究室角田俊直氏並びに元素分析をお願いした東大農学部農芸化学教室微量分析室の諸氏に厚く謝意を表する。本研究の一部は文部省科学研究助成費によつて行われた。

- (1) 松山 : 農化, 28, (投稿中).
- (2) DAWES : *J. Bact.*, 63, 647 (1952).
- (3) GLADSTONE : *Brit. J. Exptl. Path.*, 20, 189 (1939).
- (4) MONDOLFO and HOUNIE : *Rev. Asoc. bioquim. argentina*, 16, 416(1951)(C.A., 46, 3606 (1952) による).
- (5) BONNER : *Am. Botany*, 33, 788 (1946).
- (6) LONG and PETERS : *Biochem. J.*, 33, 759 (1939).
- (7) UMBREIT : *J. Biol. Chem.*, 177, 703 (1949).
- (8) BLAICKIE and PERKIN : *J. Chem. Soc.*, 125, 296 (1924).
- (9) VOGEL and SCHINZ : *Helv. Chim. Acta*, 33, 116 (1950).
- (10) *Org. Synth.*, Collect. vol. II, 684~685.
- (11) ADELBERG : *J. Bact.*, 61, 365 (1951).
- (12) BONNER : *J. Biol. Chem.*, 166, 545 (1946).
- (13) ZALOKAR : *J. Bact.*, 60, 191 (1950).
- (14) DANIEL : *J. Cell and Comp. Physiol.*, 36, 41 (1950). (C.A., 45, 4775 (1951) による).
- (15) TATUM and ADELBERG : *J. Biol. Chem.*, 190, 843 (1951).
- (16) COHEN, HIRSCH and RAYNAUD : *Compt. Rend.*, 233, 765 (1951). (C.A., 46, 5134 による).
- (17) 直野, 須田 : 標準生化学実験, 434(1953).

Summary

The inhibitory actions of DL-threonine and hydroxy-L-proline with 0.5 M NaCl to *E. coli* were studied. The results were as follows :

(1) The higher concentrations of DL-threonine and hydroxy-L-proline with 0.5 M NaCl showed the inhibitory actions and their actions were bacteriostatic. The inhibitory action of 1.4×10^{-2} M threonine to the logarithmic growth of *E. coli* was found at 1.5 hrs. after the addition of it with and without NH_4 salt. The effects of the additions of the other amino acids are indicated in Fig. 3 and 4. The inhibitory effects of threonine and hydroxy-proline were respectively antagonized by valine and proline. (2) It had been shown that the deamination of threonine produced α -ketobutyric acid and the oxidation of α -ketobutyric acid might produce propionic acid. The inhibitory effects of α -ketobutyric acid and propionic acid were not antagonized by DL-valine. Consequently, the inhibitory effect by the addition of threonine was considered to be due to itself. (3) The scheme of the biosynthesis for threonine, isoleucine, valine, and leucine were shown in Table 1 and the effects of additions of isoleucine or leucine on the action of threonine gave the supports for this scheme.

火成岩の風化に関する研究 (第 18 報) 鳥取地方の火山性土壌について(2)

原 田 光 (鳥取大学文学部)

昭和 29 年 2 月 27 日 受理

Studies on the Weathering of Igneous Rocks. Part 18. On the Volcanogenous Soils in Tottori District.

By Mitsuru HARADA (Department of Liberal Arts, Tottori University)

I. 全体分析 前報に記した試料の全体分析及び NIGGLI 値は Table 159 及び 160 に示す通りである。

Table 159. Total Analyses and NIGGLI's Values of Quar^{tz} Biotite Hornblende Andesitic Volcanogenous Soils (Tomari Profile).

	Total Analyses (%)				NigglI's Values		
	Yellow Horizon	B Horizon	A Horizon		(I)	(II)	(III)
	[I]	[II]	[III]				
				si	98.9	129.0	201.5
				al	63.4	67.0	63.1
				fm	24.3	24.8	25.4
				c	9.0	4.5	5.3
				alk	3.3	3.7	6.2
				ti	1.4	1.4	1.7
				p	0.1	0.1	0.0
				so ₃	2.0	1.2	1.7
				h	153.1	156.2	130.5
SiO ₂	33.43	39.64	51.29				
Al ₂ O ₃	36.39	34.91	27.27				
Fe ₂ O ₃	7.12	7.47	6.48				
MnO	0.27	0.19	0.23				
MgO	1.76	1.24	0.94				
CaO	2.83	1.30	1.25				
Na ₂ O	0.77	0.60	0.89				