

水質と土壌の透水性

宮本 征一*・長堀 金造**

まえがき

水質、特に水中の陽イオンが、土壌の透水性に影響することは、古くから知られていたことである。この現象は、乾燥地のカンガイ等にたずさわる場合、極めて重要な意味を持つ。何故なら、乾燥地のカンガイ水は、大なり小なり塩分を含んでおり、透水性の低下、排水不良は、通常土中への塩の集積、作物への塩害という道をたどる。メソポタミヤ文明の崩壊の原因が、カンガイによる透水性の減退と塩の集積によるとする説は、この極端な例であろう。

降水、淡水に比較的恵まれている我が国においては、この現象の実用的意味は余りかえりみられていない。近年の干拓地の畑作利用、汚水、海水のカンガイ利用、あるいはまた海外技術援助などに際しては一考すべき問題と思われる。本報は、特に水の化学的性質と土の透水性との関係に関する近年の研究成果をとりまとめて解説したものである。その他の水質、例えば水中の微生物、微粒子、有機物、等の影響については、未だ総括する程の業績は蓄積されていないと思われたので、若干の参考文献(1, 2, 12, 22)をかかげるにとどめたい。

I. 水質の影響を説明する諸説

土壌の透水性を表わす指標として、透水係数を K (Hydraulic conductivity) 又は k として (permeability) 用いることは、周知の通りであろう。透水係数 k は、一般に用いた液体の性質にかかわらず、土の性質(有孔間隙の大きさと分布)と、液体の含有量だけによって定まる定数とされている。(つまり、液体と土壌との相互作用はない。) この考え方は、砂やガラス玉のように構造の安定した粉体においてはヒステレンス、及び封入空気の影響を無視すれば、実用上妥当と考えることができる。

土壌においては、一般に k は用いた液体の化学的性質によって影響を受ける。これを説明する次のような諸説がある。i] 実験誤差, ii] 浸透圧勾配の影響, iii] 電気二重層のシービング (Sieving) の影響, iv] 土粒子分散

の影響, v] 土粒子の膨潤の影響, vi] その他。

実験誤差だとする考え方は、 k に関する限り無視できない。周知のように、 k は微生物の活動¹⁾、封入空気²⁾、亀裂、測定時間、等の多くの要因によって、著しく影響を受けるので、水質と k の関係を論じる場合、これらの要因を消去又は等しくする必要がある。不幸にして、多くの実験データには、これらの要因が混在しており、実験誤差としてかたづけられる場合が少くない。

浸透圧勾配が、水の流れに影響するであろうという論議は、熱力学概念が土壌水に導入された頃盛んに行なわれたが、近年 Letey and Kemper¹⁶⁾ によって、水が主に液体として移動する範囲においては、実用上無視できることが実験的に示されている。(水分平衡にある土柱の一端に塩をまいた場合、急激な浸透圧勾配が形成されるが、水はほとんど移動しない事実を想像すれば容易に理解されよう。土中での液体の移動は、機械的な圧力勾配によるのであって浸透圧勾配によるものは無視できる。)

土粒子の表面に形成される電気二重層が、水膜の移動に対して、あたかもシープするような型で抵抗することは、理論的にかなり良く解明されている。(例えば Kemper¹⁴⁾、又水の化学性はこの二重層に影響することも良く知られている。(例えば Bolt and Miller⁴⁾)、従って、水質が変化した場合、 k は電気二重層の変化を通して影響を受けると考えることができる。この影響を Kemper の理論式¹⁴⁾から概算すると、土粒子表面積の大きな土で、水分が極めて少ない場合、相当に大きなものとなるが、我々が通常問題としている水分の多い領域では、実用上無視できることが解る。(水分の多い領域では、みかけ上の水膜の厚さは、電気二重層の厚さの変化に比べ非常に大きい。)

分散した土粒子からなる土の透水性は、団粒化した場合に比べ、一般に小さいことは良く知られている。又水質が土粒子の分散、凝集に関与することは、サスペンションの安定性の実験等で良く示されることである。水質の変化が、この機構を経て、自然の状態の土の k にどれ程影響するかは、未だ十分には検討されていない。限られたデータから推定する所、機械的外力を加えない状態では、影響は比較的少ないようである。勿論、団粒を保

* Dept of Soil, Water and Engineering, Univ. of Arizona

** 岡山大学農学部 [1972.6.22.受理]

っている結合物質を溶解するような物質が水中に存在する場合は別問題である。

土粒子の膨潤作用の影響とする説は、現在の所、最も実践的である。すなわち、モンモリロナイト、バミューキュライトのような膨潤可能な粘土鉱物は、塩分濃度が低い時に、一価イオン、特に Na^+ によって膨潤し、水の流れに有効な土中の間隙を縮小させ、透水性を減退せしめる、とする説である。この仮説をうらずける報文は数多く、中でも Mcneal, Norvell and Coleman¹⁶⁾ の報文は、モンモリロナイトの膨潤量と k の間に、密接な関係があることを明確に示している。

II. 透水性変化の特性化と水質基準

透水性の変化が、粘土鉱物の膨潤による説に従えば、これを特性化しようとする場合、膨潤性粘土の相対量と、これの膨潤に影響する水質の要因に的をしぼって考えることができる。

(1) 溶解総塩分濃度 (TDS) とその一価、二価陽イオンの相対性 カンガイ水中の溶解総塩分濃度は TDS (total dissolved Salt) 一価陽イオンの二価イオンに対する相対性は Na^+ に注目して SAR (Sodium Adsorption Ratio) 土粒子表面の交換性 Na^+ に注目して、他の交換性陽イオンに対する相対性を表わすのに ESP (Exchangeable Sodium percent) なる指標が用いられる。

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2}} \quad (1)$$

$$\text{ESP} = \frac{\text{NaX}}{\text{CEC}} \times 100 \quad (2)$$

ここに Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} は各々のイオンのカンガイ水中における活量濃度 (meq/l), NaX は交換性ナトリウムの相対量 (meq/100gr 乾土), C.E.C. は陽イオン交換容量 (meq/100gr 乾土) である。他の陽イオン、例えば K^+ , NH_4^+ , H^+ , などに注目した場合、類似の表現が使われるが、通常のカンガイ水には、前述の陽イオンがほとんど占めるので、一般に余り必要ではない。

粘土鉱物の膨潤は、TDS の減少、ESP の増加につれて、大きくなる¹⁸⁾ことは良く知られている。しかし ESP の測定は、はんざつな上に土によって異なる。もし ESP と SAR の関係が明らかになれば、膨潤及び k の変化を、カンガイ水測の指標で特性化できることになる。Gupon のイオン交換式から、ESP と SAR の比は、一定になることが予想されその定数は、実験的に土の種類にかかわらずほぼ 1.0 になることが報告されている⁶⁾²³⁾²⁷⁾。(例外については後述)

TDS, SAR を変えて、モンモリロナイト系の土で K を求めた Mcneal and Coleman¹⁷⁾ の実験データの一部を図-1 に引用している。

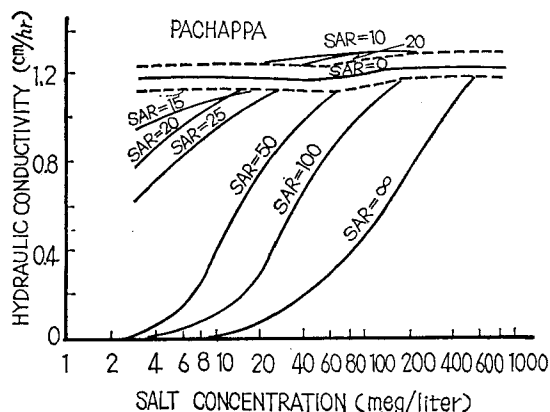


図-1 TDS, SAR が透水係数 K に及ぼす影響
点線は SAR=0 における実験誤差の範囲を示す。
(McNeal and Coleman¹⁷⁾ による)

図から明らかなように、 K は TDS の減少、SAR の増加に伴って減少している。用いられた試料は米国西部の乾燥地の典型的なものであるから、この減少の大きさは、おおまかな目安となろう。

この現象を数量的に表現できれば、技術者にとっては好都合である。この一つの試みとして McNeal²⁰⁾ は、上記の実験データ及び膨潤量を推定する理論式²¹⁾をもとに、次のような式を提案している。

$$1 - KR = \alpha x^\beta / (1 + \alpha x^\beta) \quad (3)$$

$$x = (\text{fmont}) (3.6 \times 10^{-4}) [\text{SAR} - (1.24 + 11.63 \log C)] (356.4C^{-1/2} + 1.2)$$

ここに KR は相対透水係数 ($x=0$ の時の K の値との比として表わされたもので $KR \leq 1$), α , β は実験定数, x は膨潤量で、モンモリロナイトの乾土に対する重量比 (fmont), TDS (C meq/l) 及び SAR だけの関数として与えられる。膨潤説が正しい場合、 α , β は土の種類によらず大体一致した値が期待できるはずである。事実、実験データから SAR だけの関数であることが見出されている。SAR < 25 の時、 $\alpha=25$, $\beta=1$, 25 < SAR < 50, $\alpha=1,000$, $\beta=2$, SAR > 50, $\alpha=45,000$, $\beta=3$ 。

現在まで、上式の妥当性を検討した実験データは少なく、今後の検討が必要と思われる。膨潤説をある程度数量化したという意味で非常に興味深い。

バミューキュライトを主粘土鉱物とする土壌の分布は、モンモリロナイト系に比べ一般に少ないが、CEC が大きく膨潤性を有するものとして良く知られている。Rhoades and lngvalson²⁶⁾ がバミューキュライト系の土で、膨潤量及び K を測定した実験によれば、モンモリロナイト系に比べその変化は少ないことが示されている。例えば、明確な K の減少は、モンモリロナイト系では SAR=15, TDS=50meq/l あたりから始まるが、バミューキュライト系では、SAR=30~60, TDS=20meq/l あ

たりから始まっている。又モンモリロナイト系で K^+ を用いて水分の拡散度を測定したデータによれば、 Na^+ の場合に比べ同一濃度において、非常に大きな値を与えている。このようなデータから判断する限り、 K の変化はモンモリロナイト- Na^+ 系において最も著しいと考えることができる。

(2) バイカーボネイト (HCO_3^-) バイカーボネイトは、水中の Ca^{++} または Mg^{++} と反応し、 $Ca(HCO_3)_2$ あるいは $CaCO_3$ として沈澱することは良く知られている。結果として Na^+ の相対的活量濃度が高くなり、SAR, ESP が増加する。この問題は、初期の Eaton⁹⁾, Wilcox and Blair²⁸⁾ の研究に続いて Langelier¹⁵⁾ の理論式を用いて Bower 等⁵⁾⁶⁾ によって、実用的な型にまとめられた。

$$SAR = SAR_0(1+I)$$

$$I = pH - [(pK_1 - pK_2) + p(Ca^{++} + Mg^{++}) + p(Alk)]$$

ここに SAR_0 はバイカーボネイトを含むカンガイ水で実測される SAR (新しく定義された SAR は、計算によってバイカーボネイトの影響を補正したものである。) I は飽和指数 (Saturation Index) と呼ばれるもので、正の値は、沈澱、負の値は、溶解を表わす。pH はカンガイ水の pH で通常 $CaCO_3$ 又は $Ca(HCO_3)_2$ を含む系では、8.4程度、 pK_1 は H_2CO_3 の分離定数、 pK_2 は $CaCO_3$ の活量積で、両者の差は TDS の関数として、表-1のごとくなる。 $p(Ca^{++} + Mg^{++})$ は各陽イオンのモル濃度の和の負の対数、 $p(Alk)$ は滴定によって測定される CO_3^{--} と HCO_3^- の当量濃度の負の対数である。

表-1 $pK_1 - pK_2$ の値*

TDS (meq/l)	$pK_1 - pK_2$		
1	2.04	12	2.43
2	2.11	24	2.64
4	2.20	36	2.80
8	2.33	54	3.00

* Bower and Maasland⁵⁾ による

Bower Ogata and tucker⁶⁾ が ESP の指標を用いて、上式の妥当性を検討したデータによれば、計算にて求められる ESP (上式の SAR と等しい) と実測値は、良好な一致を示している。同様な実験的検討は、Pratt and Bair²³⁾ によってもなされ、pH=8.6以下で上式は妥当であることが報告されている。(pH=8.6以上になると Na^+ まで HCl_3^- と反応し沈澱を始める。) もちろん、上式はゼオライトのように Na^+ をゆるく保持している鉱物を含んでいる土には、適用できない。

(3) 濃縮と希薄 SAR は(1)式に示されるように、濃縮、希薄によっても変る。従って当然 ESP も変る。この現象は、一価、二価陽イオンが混在するイオン交換系における電子価効果 (Valence effect) と呼ばれるもので、濃縮に伴って NaX が増加し、逆に希薄に伴って NaX が減少する。今濃度が n 倍になったとすれば、SAR は本来の SAR を SAR_0 とすれば

$$SAR = \sqrt{n} SAR_0 \quad (4)$$

のごとく変化する。通常の作物カンガイにおいて、カンガイ水は土中に浸入した後、蒸発散の為に濃縮され、TDS, SAR を増加する。 K に及ぼす影響は、相互に補正し合うことになるので、実用上、大差はないと思われるが、カンガイ水の SAR と土中の SAR は、濃度変化によっても異なることは明確しておくべきである。

以上は、透水性変化に及ぼす水の化学的要因を、主要なものに限ってとりまとめてみたものである。逆の見方をするならば、この特性化は、透水性管理の立場から、化学的水質基準の目安を与えるものと考えられる。従来まで農業用水の質を論じる場合、作物への直接の影響という側面だけから、基準を設定したきらいがある。水耕栽培、あるいは露耕栽培を目的とするならばそれでよいとして、一般のカンガイ農業においては特に透水への影響を加味することが必要と思われる。現在まで、この面に対するまとまった見解はみあたらないので、以下、透水性の側面から水質基準を設定、あるいは解釈するのに必要な基本的事項を指摘してみると、

a) 水の化学的性質だけでなく、透水に影響する他の水質、例えば、水中の微粒子、有機物、等の指標を発展させる必要がある。

b) 水質の級づけは、土側の性質を加味しない限り不十分である。この意味では McNeal らによってとられた研究指向は貴重であり、現段階では、土側の指標として、モンモリロナイトの含有量及び膨潤がない状態での K の値が適当と思われる。

c) 更に水質の級づけに当っては、土側、水側の質の管理、改良の容易さを加味する必要がある。この面に關する代表的な方法を次項にて紹介したい。

III. 透水性コントロールの為の水質の管理と改良

与えられた土壌の透水性を、水質の立場からコントロールするという事は、基本的に与えられた用水の TDS, SAR を人為的に変えることを意味する。透水性を低下させたい場合 (例えば水田の漏水防止等) については、本報ではふれない。ただ、明確にしておかなければならないことは、TDS, SAR を変化させて、透水性の向上をねらう場合、限界があるということである。何故なら

前述したように、これらは基本的に土粒子の膨潤に関与するものであって、膨潤性のない土、あるいは、膨潤がゼロになった段階以上の所で TDS を増加、又は SAR を低下させても、透水性の向上は望めない。従って、これ以上の透水を必要とするような場合、他の方法、例えば団粒化、等の方法によらねばならない。

(1) 物理的方法 余り適当な表現ではないが水質を化学的、生物的に変えることなく、濃度調整、又は配合のみで、透水性減退防止、あるいは向上をねらう方法である。代表的なものとしては、透水性の悪い Sodic Soil のリーチングに用いられる High-salt-water dilution 法であろう。前項で述べたように、透水性の低下を防ぐ、あるいは向上をねらうには、高い TDS、低い SAR を保持する必要がある。(1)式の表現を使うなら、 x をゼロにするために $SAR \leq 1.24 + 11.62 \log C$ の条件を保つ。)もし最初から淡水を用いてリーチングを行なうと、このような土においては、低い TDS、高い SAR という悪条件が重なって透水はほとんど期待できず、リーチングは実際上時間的に不可能となる。もし高塩度水が入手できる場合、これを最初に流し漸次淡水で薄めてゆけば、(5)式で表わされるように SAR が増加し、急激な透水性低下をきたすことなくリーチングを行なうことができる。この方法によれば、リーチングに要する時間を非常に短縮でき、かつ塩水中の二価陽イオンを交換用のイオンとして利用できる利点があるが、用いる水量(塩水が加わる)が大きくなるので、このような水の排水が許されることが前提となる。勿論二価陽イオンを多く含む塩水が入手できる場合この限りでなく、通常のカンガイ水へ二価イオンの補給水として用いることができる。我が国の干拓地の改良に一考する価値があると思われる。更に詳しい設計等については文献(8, 24, 25)を参照されたい。

(2) 化学的方法 ESP を変えるために Ca^{++} を含む化合物、または土中の $CaCO_3$ を溶解して Ca^{++} を生じさせる物質を直接投入する場合と、SAR を低下させるためにカンガイ水に投入する場合に大別できる。前者の方法については、すでにまとまった解説(参考文献(27))があるので、本報では省略する。

後者の方法は、理論的には古くから可能だといわれながら、現在まで余り実用化されていない。 Ca^{++} を直接カンガイ水に補給する物質として、 $CaCl_2$ 、 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 、 $Ca(NO_3)_2$ 、等が一般に提唱されているが、 $CaCl_2$ はかなり高価であること、 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ はカンガイ水の pH がかなり低くない限り、溶解度が少ない、等の問題がある。

近年特に注目をあびているものは、イオウ化合物の利

用である。特に硫酸は安価に生産され、あるいは工場排液、排気ガスを処理した時の副産物として出て来る為、非常に安価に入手できる。硫酸の一つの利用としては、バイカーボネイトを多く含むカンガイ水の改良が考えられる。すなわち、このような水に硫酸を投入した場合 $H_2SO_4 + 2HCO_3^- \rightleftharpoons SO_4^{--} + 2CO_2(\uparrow) + H_2O$ なる反応が期待できるので、前項で述べたバイカーボネイトによる SAR の増加を防ぐことができる。この場合、pH の低下が予想されるが、 HCO_3^- を 90% 程度反応させた時点では、pH=5、程度となり実用上の防げになるとは思われない。現在この実用化については、アリゾナ州の銅の精錬所から出る渾大な硫酸の利用の一部として研究中である。現時点での見通しは、急速な透水性向上というよりも、流域全体の Alkalization (Na^+ の蓄積)を防止するのに有効と見なされている。

より濃度の高い硫酸水の利用も考えられる。例えば、石灰岩地帯の井戸への透水を良くするために Acidification という手段がとられるのはこの一例である。原理は単純なもので石灰石 ($CaCO_3$) と硫酸を反応させ、有効間隙を拡大させるというやり方である。水質の立場から見た場合、このような処理は井戸水へ Ca^{++} を補給し、SAR を低下せしめるという意味で非常に興味深い。

同様な手段は $CaCO_3$ を含む土壌(乾燥地に広大に分布している。)にも適用される可能性がある。現在、特に南カリフォルニアを中心にその応用が検討されているが、石灰石の場合と違って、土壌中に存在する $CaCO_3$ は通常長い土壌生成の過程で、粘土、コロイド、等と一緒に土層中に層をなして沈澱したものであり、余り高い濃度の硫酸水を流した場合、発泡作用とともに完全な分散状態となり、逆に透水が悪くなる場合がある。与えられた土にどれ程の量と濃度で、どのように投入すれば最大効果が得られるかは未だ研究の段階といえる。

(3) 生物的方法 単体のイオウを土壌に投入した場合、土壌中の微生物の作用によって酸化反応が起り、硫酸に変わるという事等を除いて現在まで実用に値する方法はない。又作物の根から出る CO_2 が $CaCO_3$ の溶解を促進し、 Ca^{++} 補給に役立つとする仮定でなされた実験では、透水性向上への貢献は小さいことが示されている。作物を栽培することによる透水性の向上は、むしろそれによる土壌構造の発展によると見なすべきであろう。

おわりに

水質、特に水中のイオンが土壌の透水性に影響する現象は、基本的には粘土鉱物の膨潤によるものとする考え方から、その特性化、水質基準に対する見解、及び、水

質の改良についての概要をとりまとめたものである。土壌の側面を考慮した水質の問題を考える場合の一助ともなれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) Allison L. E.: Effect of micro-organisms on permeability of soil under prolonged submergence. *Soil Sci.* 63; 439-450 (1947)
- 2) Avnimelech Y and Z. Nevo : Biological clogging of sands. *Soil Sci.* 98 : 222-226 (1964)
- 3) Baldar N. A. and L. D. Whittig : Occurance and synthesis of soil zeolite. *Soil Sci Soc Amer Proc.* 32; 235-238 (1968)
- 4) Bolt G. H. and R. D. Miller : Calculation of total and component potentials of water in soil. *Trans Amer Geo Union* 39; 917-928 (1958)
- 5) Bower C. A. and M. Maasland : Sodium hazard of Punjab ground waters. p.49-61 In "Symposium on water-logging and salinity in West Pakistan". Golden Jubilee Session of West Pakistan Eng. Cong. (1963)
- 6) Bower C. A. G. Ogata and J. M. Tucker : Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation of calcium carbonate. *Soil Sci.* 106; 29-34 (1968)
- 7) Christiansen J. E. : Effect of entrapped air upon the permeability of soils. *Soil Sci.* 58; 355-365 (1944)
- 8) Doering E. J. and R. C. Reeve : Engineering aspects of the reclamation of sodic soils with high-salt waters. *Irrig. & Drainage Div. ASCE* 91; 59-72 (1965)
- 9) Eaton F. M. : Significance of carbonate in irrigation waters. *Soil Sci.* 69; 123-133 (1950)
- 10) Gardner W. R. M. S. Mayhugh, J. O. Goertzen and C. A. Bower Effect of electrolyte concentration and exchangeable sodium percentage on diffusivity of water in soils. *Soil Sci.* 88; 270-274 (1959)
- 11) Goertzen J. O. and C. A. Bower : Carbon dioxide from plant roots as a factor in replacement of adsorbed sodium in calcareous soils. *Soil Sci. Soc Amer Proc.* 22 ; 36-37 (1958)
- 12) Jones J. H. and G. S. Taylor : Septic tank effluent percolation through sands under laboratory conditions. *Soil Sci.* 99 ; 301-309 (1965)
- 13) Kelley W. P. : Sodium carbonate and adsorbed sodium in semiarid soils. *Soil Sci.* 94 ; 1-5 (1962)
- 14) Kemper W. D. : Water and ion movement in thin films as influenced by the electrostatic charge and diffuse layer of cations associated with clay mineral surfaces. *Soil Sci Soc Amer Proc.* 24; 10-16 (1960)
- 15) Langelier W. F. : The analytical control of anti-corrosion water treatment. *J. Amer Water Works Asso.* 28 ; 1500-1521 (1936)
- 16) Letey J., W. D. Kemper and L. Noonan : The effect of osmotic pressure gradients on water movement in unsaturated soil. *Soil Sci Soc Amer Proc.* 33 ; 15-18 (1969)
- 17) McNeal B. L. and N. T. Coleman : Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci Soc Amer Proc.* 30 ; 308-312 (1966)
- 18) McNeal B. L., W. A. Norvell and N. T. Coleman : Effect of solution composition on the swelling of extracted soil clays. *Soil Sci Soc Amer Proc.* 30 ; 313-317 (1966)
- 19) McNeal B. L., G. A. Pearson, J. T. Hatcher and C. A. Bower : Effects of rice culture on the reclamation of sodic soils. *Agron. J.* 58 ; 238-240 (1966)
- 20) McNeal B. L. : Prediction of the effect of mixed-salt solutions on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci Soc Amer Proc.* 32 ; 190-193 (1968)
- 21) McNeal B. L. : Prediction of interlayer swelling of clays in mixed-salt solutions. *Soil Sci Soc Amer Proc.* 34 ; 201-206 (1970)
- 22) Mitchell R. and Z. Nevo. : Effect of bacterial polysaccharide accumulation on infiltration of water through sand. *Applied Microbio.* 12 ; 219-223 (1964)
- 23) Pratt P. F. and F. L. Bair : Sodium hazard of bicarbonate irrigation waters. *Soil Sci Soc Amer Proc.* 33 ; 880-883 (1969)
- 24) Reeve R. C. and C. A. Bower : Use of high-salt waters as a flocculant and source of divalent cations for reclaiming sodic soils. *Soil Sci.* 90 ; 139-144 (1960)
- 25) Reeve R. C. and E. J. Doering : The high-salt-water dilution method for reclaiming sodic soils. *Soil Sci. Soc Amer Proc.* 30 ; 498-504 (1966)
- 26) Rhoades J. D. and R. D. Lngvalson : Macroscopic swelling and hydraulic conductivity properties of four Vermiculite soils. *Soil Sci Soc Amer Proc.* 33 ; 364-369 (1969)
- 27) U. S. Salinity Lab. Staff. : "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils" USDA Hand Book 60
- 28) Wilcox L. V., G. Y. Blair and C. A. Bower : Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation. *Soil Sci.* 77 ; 359-265 (1954)