

畑地の水分管理に必要な 2.3 の水分恒数とその測定法

農業土木試験場 椎 名 乾 治

I ま え が き

畑地の生産力を高めるためには、適切な水分管理が必要であるが、このためには、土壌、気象条件の改変、水分補給、排水等多くの方法が考えられる。筆者がここで取り上げる水分管理とは、主としてかんがいによつて、土壌水分のコントロールを行ない、収量又は品質の増大、安定をはかることを指している。又ここでいう、かんがいはあくまで相当の面積に対して、資本を投下し、一定の施設を設け、圃場にかん水することで、その計画に必要な土壌又は土壌水分の実態を適確につかむことが大切である。したがつて、測定から得られた諸量は、相当大きなスケールの空間的、時間的平均量として、工学的ベースにのるものでなければならぬ。

しかし、かんがいを中心とする水分管理において、複雑な土壌水分変化の状態を正しく定量化するためには、我々の持つている生産力的畑地水分に関する知識はあまり豊富であるとはいえない。例えば、従来これらに関連して取り上げられている、シオレ水分点、初期シオレ水分点、水分当量、圃場含水量などの諸水分定数にしても、エネルギー関係、土壌水分存在状態、作物生育との関連、測定方法等について多くの問題点を残したままである。特にわが国のような湿潤地帯の土壌水分型態には、乾燥地帯で発達した土壌水分に関する知見が、そのままあてはまらないことが多い。

一方、ここでいう測定法とは、前述のように、複雑な自然条件をいかに定量化して、工学ベースに組入れるかという方法論を意味しており、どんなに精度のよい測定方法であり、又必要な測定方法であつても、それが現実の観測組織の中で実行不可能のものであつたり、測定精度のバランスがとれないものであれば、問題にならないことになる。

このようにみると、問題は相当複雑であるが、しかし現在の応用科学の体系が技術体系に結びついて行く過程では、多かれ少なかれ、このような条件は一般的のものであり、問題は科学的考察から得られた自然の法則性の適用限界を誤らないことであり、自然がいろいろな条件下で示す諸量を、目的にそつた平均量としてどのように確定するかが大切である。

このような観点から、筆者は以下に述べるような考え方(測定方法)にしたがつて、現在の段階では、実験室での測定量と実際圃場での測定量の両方を比較検討する方法で、かんがいによる畑地生産力の増大という目的に対して、大きな誤りのないことを期している。勿論独断的な考え方もあり、この機会に多くの方の御教示を願えれば幸いである。

II 2.3 の水分恒数の意義

かんがい計画の基礎として従来使用されている、土壌地水分恒数には、永久シオレ点、初期シオレ点、水分当量、圃場容水量などがあるが、筆者等はさらに新たな観点から次のような諸水分恒数が計画の基礎として必要なものと考え採用している。

1. 正常生育阻害水分点

従来の水分恒数が、作物のシオレ現象を起すときの土壌水分を基準としているのに対して、ここでは作物の収量、品質を増大又は安定させる最少の土壌水分量として考える。すなわち、乾燥地帯では、作物がシオレ現象をおこす直前まで、作物の収量、品質は土壌水分量に影響されないとの報告¹⁾があるが、わが国のような湿潤地帯では、このような関係は、ほとんどの作物に対して成立せず、シオレ水分点より、はるかに湿つた土壌水分条件で、作物の生育に障害がおこり、収量、品質が低下することが多い²⁾したがって、湿潤地帯でのかんがいによる水分管理の目標は、あくまで、作物の収量、品質の増加、安定におき、このための、かん水開始土壌水分条件を定める必要がある。

以上のような考え方から定められる正常生育阻害水分点は、明らかに品種改良、施肥法の改良、病虫害防除法の改良等に伴つて変り得るもので、一定土壌に対しても不変量ではない。筆者は又今までの2.3の研究結果にもとづいて、現在の段階では、次のような関係が、多くの土壌タイプについて、ほぼ成立するとの予測の下に²⁾現地試験を行なつている。正常生育阻害水分点 \div 毛管連絡切断含水量 \div PF 2.7 \sim PF 3.0水分量

2. 毛管連絡切断含水量

ロージエの概念規定によると³⁾この値より大きい含水量において、懸垂水(毛管重力水、毛管附着水などを含む毛管水とほぼ同意語)が水消費の点又は面へ連続体として移動できるようになる土壌の含水量である。

これは、Widtsoe & McLaughlinのいう、Lento Capillary Point の概念⁴⁾にも通じるもので、作物根の吸水に対する土壌の水分供給能力を示すものとする。根群の急速な進展がない限り、正常生育阻害水分点に近いものと考えられる。

3. 24時間水分量

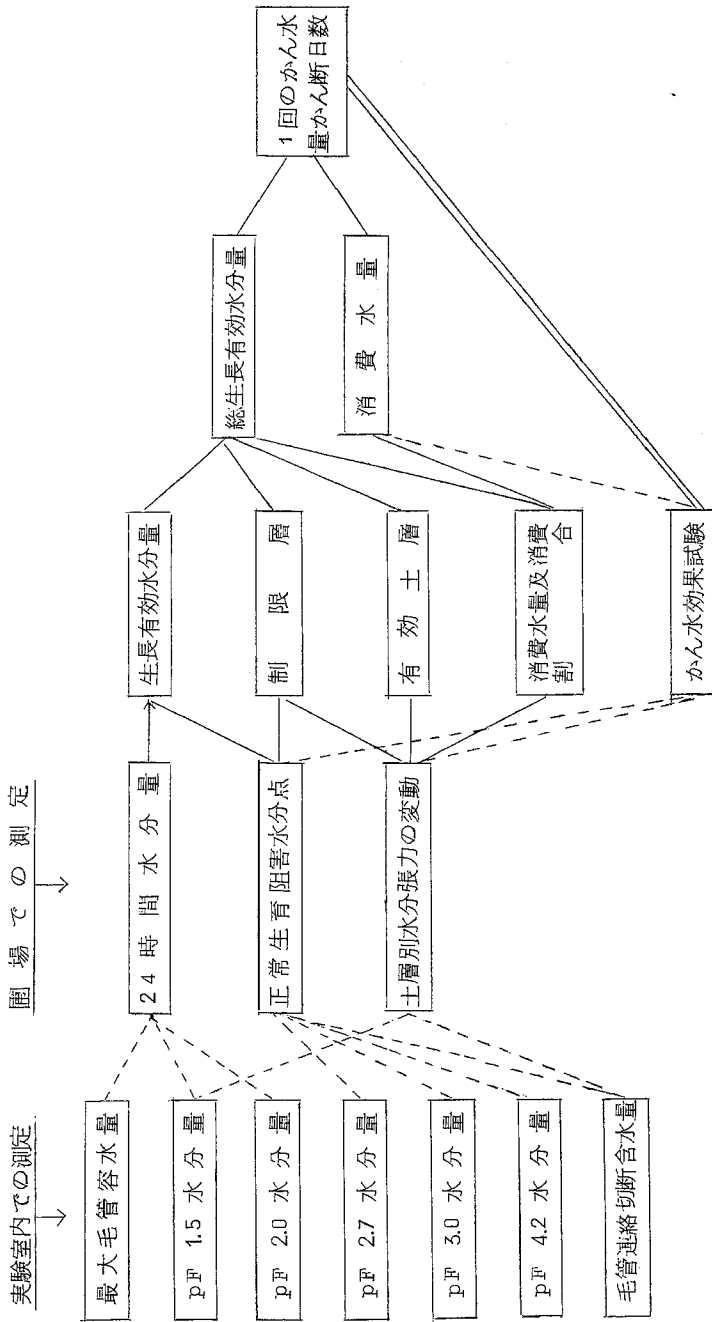
多量のかん水又は降雨後24時間を経ても根群域に保留されている水分量をいう。まだ、いくらかの重力降水を含んでいるが、根毛の吸水も活潑なので、その大部分は作物に利用されるものと思はれ、有効水分の下限界として採用する。筆者は、2.3の研究結果⁵⁾にもとづいて、ほぼ次のような関係が成立するとの予測の下に、現地試験を行なつている。

保留水分の最大量 \div 圃場容水量 \div 24時間水分量 \div PF 1.5 \sim PF 2.0水分量

III かんがい計画に必要な諸量と水分恒数の関連

かんがい計画に必要な諸元のうち、土壌水分に関連する諸量と測定項目、水分涵数の関係を示すと図1のようになる。

図1 測定項目とかんがい計画の結びつき



図において点線は、測定値間の比較検討を行うもの、実線は、測定値から計算で算出されるものである。図右側の計画諸元から簡単に説明を加えると次の通りである。

1. 1回のかん水量と間断日数の決定

これは、何日おきに、どれだけ量のかん水を行なえば、連続干天時期においても、作物収量の増大又は安定をはかれるかという基準を定めることである。これらの値が、畑地かんがい工学の基礎となる。

2. 総生長有効水分量と消費水量

1回のかん水量と間断日数を決定する基礎は、総生長有効水分量と消費水量である。総生長有効水分量は、有効土層中の保留水分の最大量と正常生育に障害を及ぼす状態の有効土層中の水分量の差として求められる。

消費水量は、圃場含水量から正常生育阻害水分点までの間の土壌含水量については、主として、作物の種類、気象条件、生長過程などによつて左右されるもので、かんがい工学的観点からは、土壌水分との関連として考える必要はない。有効土層中の減少水分量の測定、ライシメーターなどにより、時期別の平均量として、定量化すればよい。

3. 制限土層の生長有効水分量と消費割合

総生長有効水分量を具体的に決定するためには、制限層の生長有効水分量と消費割合を求めらる。生長有効水分量は、ある深さの土層の保留水分の最大量とその土層の正常生育阻害水分点の差として求められる。

制限土層とは、有効土層中でもつとも早く生長有効水分量がなくなる土層で、有効土層を数分割して各土層での水分減少量は追跡することによつて定められる。有効土層中の全消費水量に対する、制限土層での消費水量の割合が、消費割合である。総生長有効水分量は、制限土層の消費水量を消費割合で除することによつて求められる。

このような方法論から、かんがいの工学的基礎量の決定のためには、ある土壌タイプにおける、有効土層深、制限土層の深さと位置、制限層の生長有効水分量と消費割合、消費水量などを明らかにすることが大切である。そして、これらの諸量は相当の面積の土壌の平均量であつて、しかも、これらによつて定められる1回のかん水量、かん断日数によるかん水計画は、明らかに作物の増収と安定化を保証しなければならず、又これらの値の大小は、投下資本に対して大きな影響をもつことを考慮に入れることが大切である。

IV 測定方法と計算方法

次に、以上の諸量を土壌の各水分値数からいかに定めていくかについて述べることにする。

1. かんがい計画単位の決定

広域のかんがい計画においては、土壌タイプによつて、同一の諸量を用いては、目標を達成しない恐れがある。従つて、同一作物に対して、同一の計画基礎諸量でかんがい目標を達成し得る地域をかんがい計画単位として定める必要がある。このような、かんがい計画単位の決定には、無数のファクターが介存してくるが、現在の段階では実施可能な意味から、筆者等は、土壌調査から得られる土壌区毎に、24時間水分量、毛管連絡切断含水量、インタークレートを測定し、ほぼ同じような値(10~20%のふれ)を示す土壌区を一しよにして、かんがい計画単位としている。そして、各かんがい計画単位毎に以下のような測定を実施する。

2. 実験室内での測定

一かんがい計画単位の広さによつて異なるが、普通100haぐらいまででは、3~5地点を選び、試孔を掘り、100cc円筒で、各10cm毎土層から、3~6個の試料を採取する。

採取深さは、後述の有効土層深が求まつておれば、その深さとし、求まつていないときには安全をみて1~1.5mとする。

このような試料について、実験室で次のような項目の測定を行なう。

1) 最大毛管容水量 :

100cc円筒の下端を5mmほど水中に浸し、毛管吸収させた水分量(容積%)

2) pF 1.5水分量 :

土柱法及びDIK横型pF一水分測定装置(容積%)使用

3) pF 2.0 , pF 2.7水分量 :

DIK型pF一水分測定装置(容積%)使用

4) pF 3.0 , pF 4.2水分量 :

遠心法(乾土%から容積%に修正)

5) 毛管連絡切断含水量 :

吸水板(15×15×1.5cmの素焼板)で、100cc円筒の一断面から吸水させたときの残留水量(容積%)

いずれも飛び離れた値を除き、平均化する。

3. 圃場での測定

実験室内用試料採取場所付近で、次の測定を行なう。

1) 24時間水分量 :

100mm程度の給水を行なつた後24時間目の水分量を、深さ10cmおきに1mまで、100cc円筒を使用して測定する。一断面3~6個とし、この試料をそのまま実験室内の測定に使用することが多い。次に、この測定値と実験室で求めたpF 1.5, pF 2.0水分量の値と比較する。

24時間水分量の大部分が、pF 1.5~pF 2.0水分量付近であるときは、これらの値からはずれ

るものを除いて平均化し、保留水分の最大量として、生長有効水分の下限界値と定め、24時間水分量の大部分が、pF 1.5~pF 2.0 水分量の値から離れているときには、不足、土層の成層条件の影響、根毛吸水の影響等を調査し、影響がみとめられれば、かんがい条件下での妥当性を検討して、最大保留量を確定する。

2) 正常生育阻害水分点 :

現地埋設のテンシオメーターが作動限界に達してから、1~3日後の土壤水分量をcc円筒で実測する。そして、この値と、その土層のpF 2.7, pF 3.0, pF 4.2 水分量、切断含水量と比較する。圃場測定値が、pF 4.2水分量を除く、他の3つの水分量付近これらの平均量を求め、正常生育阻害水分点として、生長有効水分量の上限界として圃場測定値が、これらの値と大きく離れているときは、テンシオメーターの作動状況様相、水分移動の実態pF—水分線などを調査し、その原因を明らかにする。原因がないときには、一応pF 3.0水分量又は毛管連絡切断含水量を正常生育阻害水分点と

3) 土層別水分張力の変動 :

現地圃場で、深さ10, 20, 30, 40, 50, 70, 90 cmを標準にして、池田式精密テンシオメーターを埋設して、時期別、土層別の水分張力変動を測定する。これらから限層、有効土層を次のようにして定める。

有効土層 : 乾燥期間中の水分張力が、pF 2.0 より高くなる深さまでを採用する

制限層 : 有効土層中で、乾燥時の水分張力が、pF 2.7 をこえる土層を10 cm 制限層と定める。

この他、水分張力をpF—水分曲線から水分量に換算し、乾燥過程(5日以上の間)における、全消費水量と制限層の消費水量を求める。なお、これらの値は、ピーク月採土法によつても測定することが大切である。

4) 総生長有効水分量(T. R. A. M) :

総生長有効水分量(T. R. A. M) は次のようにして計算で求める。

$$T. R. A. M = \frac{R. A. M}{u_1}$$

R. A. M = 制限土層の生長有効水分量 = 24時間水分量—正常生育阻害水分点

u_1 = 制限層の消費割合

このT. R. A. M が理論的1回のかん水量となる。

なお、間断日数Dは、

$$D = T. R. A. M / E_T \quad \text{で計算する。}$$

E_T : 1日平均の消費水量

5) かん水効果試験 :

以上のようにして求められた、一回のかん水量、間断日数を基準にして、この前後に対称区をとり、収量試験を実施する。もし計画の基礎となつた、有効水分量(24時間水分量、正常生育阻害水分点)、制限層の位置と大きさ、消費割合、消費水量の値が正しくとらえられていれば、収量は、基準かん水区 \approx 多量かん水区 $>$ 少量かん水区になるはずである。このような結果が得られない場合には、i) 計画の基礎として採用した諸量に測定上の誤りがある、ii) 正常生育阻害水分点、又は制限層のとり方に基本的誤りがあつたと考える。そして、これら各々の原因について、さらに試験、検討を加えることが大切である。

V む す び

わが国のような湿潤地帯における畑地かんがいは、土壤水分の実態的、エネルギー的存在様式と作物生育との関連を正しくとらえて、作物収量、品質の増大又は安定を保証する計画の樹立が大切である。又筆者等の取扱い、かんがい計画は、あくまで工学的範テウにぞくするもので、対象とする土壤水分の試験においても、必要諸元を定量化し工学的ベースに組入れることが目的となる。そして、基礎的諸因子の取り扱い如何では、投下資本に模大な影響を与えることになり、かんがい事業の成否のきめ手になることになる。このために、その定量化にあつては、慎重な配慮の下に相当広範囲の自然条件に対して成立する妥当な値を求めることが大切である。筆者は、このような観点から、以上述べたような手順に従つて試験を行ない、その結果については、すでにいくつかの報告⁶⁾を行なつているが、まだ多くの問題も残つている。

今後は基礎的諸問題の究明を行なうかたわら、畑地かんがい工学のよりよい発展のための巾広い研究を進める予定である。

(註)

- 1) 例えば、Veihmeyer, F. J. & Hendrickson, A. H. (1955): Does transpiration decrease as the moisture decrease? Trans. Am. geophys. Union. 36, 425-448, 他に同じ著者の, Soil. Sci. 68, 75-94 (1949), Trans. Am. geophys. Union. 29, 887-891 (1948) などを参照されたい。
- 2) 椎名乾治 "蒸発散による畑地水分の減少機構に関する研究" を参照
- 3) A. A. ロージェ "土壤と水" 山崎不二夫他2名訳
- 4) ベーバー, "土壤物理学"
- 5) 吉良, 椎名, 竹中, 豊田, "畑地かんがいの研究" (5報)

農研報告 F. 12, 前記椎名論文, "畑土壤の生産力に関する研究",
農林水産技術会議(1962), など参照

6) 例えば, 次のようなものがある

- ① 北陸農政局計画部 "新潟県魚野川沿岸畑地かんがい試験報告"
- ② 福島県耕地課 "吾妻地区畑地かんがい試験報告"
- ③ 鳥取県耕地課 "久米ヶ原地区畑地かんがい試験報告"
- ④ 関東農政局計画部 "群馬県中郷地区農場整備調査報告"
- ⑤ 北陸農政局計画部 "西川地区畑地かんがい試験報告"
- ⑥ " "坂井北部地区畑地かんがい試験報告"
- ⑦ 椎名乾治, 小菅孝利 "合理的畑地かん水方式に関する研究" 農土試報告3号