

## 溶存酸素補給ノズルの性能

岩尾 俊男\*・竹山 光一\*・北守 千兼\*・伊藤 憲弘\*\*

The Performance of Dissolved Oxygen Supplying Nozzle  
Tosio IWAO, Koichi TAKEYAMA, Chikane KITAMORI  
and Norihiro Ito

In hydroculture it is important to figure out the most effective method to supply oxygen to the root.

This paper is designed to study the factors to increase the supply of DO (dissolved oxygen) by using several types of nozzles. The nozzles have been developed after our study of some commercialized nozzles.

In the case of orifice nozzle, we find that a maximum DO can be obtained through the adjustment of the orifice in size and in number.

Under the orifice, the use of two meshes with 1.5 (mm) apart from each mesh cause higher DO.

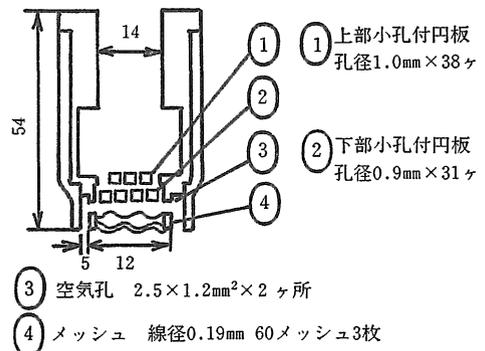
In the case of venturi nozzle, it has also found that a combination of the reduced angle 90° and the extended angle 130° in venturi can generate a higher DO.

### I. 緒 言

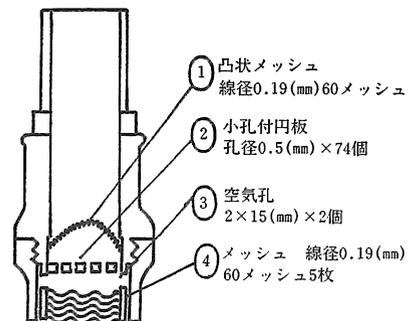
根は、呼吸作用で得られたエネルギーで、根自体の成長や生理機能を果している。故に、根圏における酸素量は、植物の成長の重要な因子となっている。水耕栽培で根の大半が溶液水中に漬かる形式では、培養液中の溶存酸素量が重要となり、不足しがちな溶存酸素を補給する方法が色々工夫され、機械的に暴気する方法も使われている。

しかしながら、コスト面等から考えると、動力を使わずノズルを効果的に用い、溶存酸素を補給する方法が一番良いと考えられる。しかるに、現在水耕では水耕プラントの水耕用ノズル以外に、安価で入手容易な家庭用泡沫ノズルが用いられている。

本研究では、このノズルに着目し、現在用いられている市販ノズルより、DO (溶存酸素量) 補給性能の増大を計り、かつ、実際の水耕栽培に適した新しいノズルの設計の指針を示すことを目的にし、そのため、まず実際に水耕栽培に用いられている市販ノズルの構造を大別して、オリフィス形式 (第1, 2図参照)、ベンチュリ形



第1図 市販Aノズル



第2図 市販Bノズル

\* 栽培管理制御工学研究室

\*\* 付属農場

式（第3図参照）と呼び、各々の DO 特性を求めた。その結果を基に実験用ノズル（第4、5図参照）を製作し、その DO 補給性能増大を試みた。

## II. 実験装置及び実験方法

### 1. 実験装置

実験装置は、DO 測定のための装置と、ノズルの前後に発生する圧力差測定のための装置の2種類である。DO 測定装置は、水槽（低溶存酸素水 0.2 m<sup>3</sup>）5個、遠心式ポンプ（出力 250 W、揚水量 3.0×10<sup>-2</sup>m<sup>3</sup>/min、圧力 12×10<sup>4</sup>~20×10<sup>4</sup> Pa）、供試ノズル、及び小形ベット（240<sup>L</sup>×250<sup>W</sup>×40<sup>H</sup> mm）より成る。低溶存酸素水は、ポンプを介し、ノズルを通して小形ベットに給水される。流量は、ブルドン管圧力計とフローセルの指示値を基準にバルブにより調節した。ノズルから小形ベットまでの高さ（60 mm）及び小形ベットの水深（40 mm）は、湛水式の水耕ベットを参考にした。溶存酸素量は、小形ベットの水が入れ替わった後（約20秒経過後）において、小形ベット中の溶存酸素量を DO メーターで測定した値である。また、用いた溶存酸素の値は、ノズルを装着しない場合の溶存酸素を、各々のノズル装着時の値から差し引いたものである。

また、圧力差測定装置は、ノズルの前後にゲージとブルドン管を配することにより測定を行った。

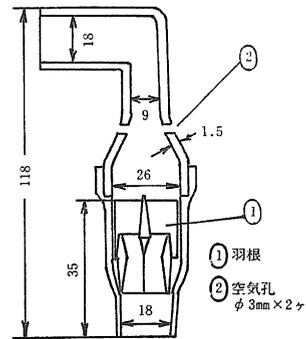
供試ノズルは、実際、水耕に用いられている代表的な家庭用泡沫ノズル（第1、2図参照）、水耕プラント用ノズル（第3図参照）、及び家庭用泡沫ノズルをモデル化した供試ノズル A（第4図参照）と水耕プラント用ノズルをモデル化した供試ノズル B（第5図参照）である。供試ノズル A で用いたメッシュは、線径 0.19 mm の 60、40メッシュ及び線径 0.29 mm の 28、24、18メッシュを組み合わせて用い、1つの目安として考えた。第1表は、目安として用いたメッシュの60と40メッシュの組み合わせ枚数を示す。

### 2. 供試用低溶存酸素水

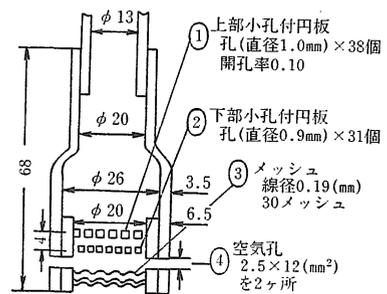
低溶存酸素水の製造には、煮沸によって水の溶存酸素を取り除く方法と動植物等により吸収させる方法などが

第1表 目安として用いたメッシュの組み合わせ

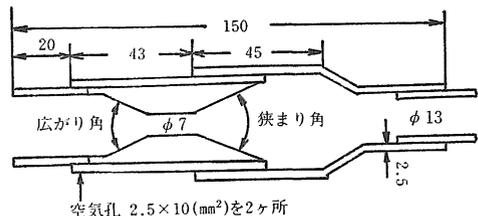
グラフのメッシュサイズ	60メッシュ枚数	40メッシュ枚数
80	0	2
100	1	1
180	3	0
240	4	0



第3図 市販Cノズル



第4図 供試ノズルA（オリフィスタイプ）



第5図 供試ノズルB（ベンチュリタイプ）

考えられる。本研究では、植物を用いて水中の溶存酸素を低下させる方法を用い、DO 10%程度の低溶存酸素水を得た。

### 3. 実験方法

市販ノズルの酸素補給特性を調べ、その結果を基にオリフィス形式とベンチュリ形式のモデル供試ノズルを製作し、オリフィスノズルについては、メッシュのサイズ、枚数、間隙、上・下円板の孔のサイズと数、及び空気孔面積と溶存酸素補給特性との関係を調べ、また、ベンチュリノズルについては、ベンチュリ部分の広がり角度・狭まり角度、メッシュの有無と溶存酸素補給特性との関係について調べた。

### III. 実験結果及び考察

#### 1. 流入後の DO 値の時間経過による変化

第6図は、ノズルを介して小形ベットに給水した時の時間経過による溶存酸素量の変化である。流入直後の DO 値の時間による増加の傾向は、40メッシュより100メッシュの方がよく現れているが、DO 値が平衡状態になる値と流入直後との DO 値の差は、約5%以内であり、また、40メッシュで流量 0.45 m<sup>3</sup>/h の場合に、DO 値は、時間の経過に関係なくほぼ一定であると考えられる。

また、流入直後において時間の経過と共に DO 値が多少増加する傾向にあることは、水中に流入した泡が水に溶けることによるものと考えられる。以上より、時間が経過しても DO 値がほぼ一定と見なせることから、以下の測定値は給水直後の値を用いた。

#### 2. 市販ノズルの酸素補給特性及び圧力差特性

第7図において、A、Bノズルは家庭用泡沫ノズル、Cノズルは水耕プラント用水耕ノズルである。実際の水耕栽培の実用流量は、0.4~0.6 m<sup>3</sup>/h であるから、流量 0.5 m<sup>3</sup>/h を基準にすれば、A、B、Cノズルは、それぞれ約 2.4, 0.8, 0.2 ppm となり、Aノズルは他のノズルより大きい酸素補給特性のあることが明らかになった。

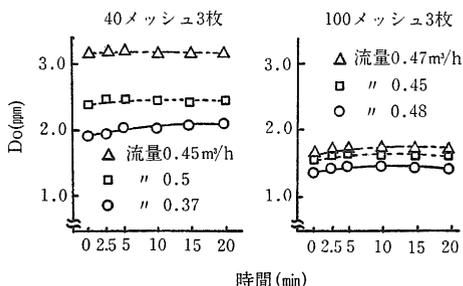
また、圧力差特性は、DO 特性と同様な傾向を示し、配水管等の接合部の圧力限界を無視すれば、ノズルの前後の圧力差が高ければ高いほど高 DO 値が得られることが予測される。さらに、圧力差を測定することにより期待される DO 値を予測することができる。A、Bノズルは同じオリフィス形式のノズルであるから、酸素補給に関わる要因を調べる上で、Aノズルをモデルにした供試ノズルAについて要因間の関係を明らかにした。

#### 3. Aノズルの流量 0.5 m<sup>3</sup>/h 時の DO 値低下

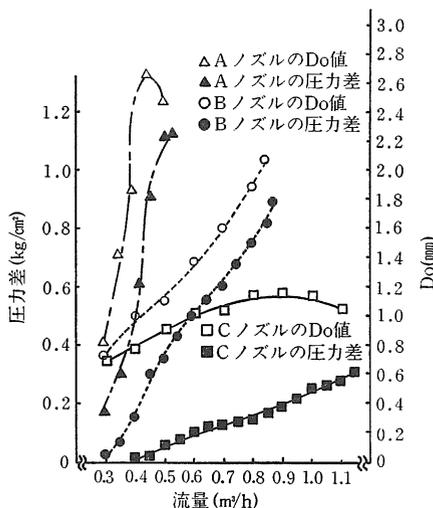
第8図は、Aノズルの DO 値とノズルを用いず小形ベットに給水した時の DO 値のグラフである。流量0.4~0.45 m<sup>3</sup>/h では、両者とも増大しているが、0.45~0.5 m<sup>3</sup>/h の時の増大率は、ノズルなしの方が大きいため、0.5 m<sup>3</sup>/h では、総合的にはマイナスの増大率となる。これは、流量増大に伴い、ノズルなしの方の水面を叩く力が増大したためである。

#### 4. メッシュのサイズと DO 値

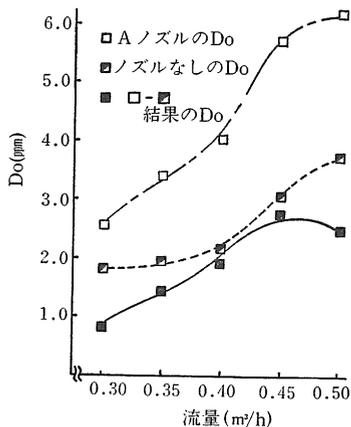
第9図は、60メッシュ以上のメッシュ別の流量と DO 値の関係である。DO 値は、流量の増大と共にピークとなり、前述の理由により減少する。この場合、ピークの DO 値はメッシュのサイズの増大と共に低い値となっ



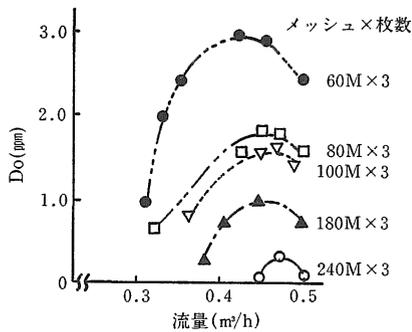
第6図 流入後の DO 値の時間的経過による変化



第7図 市販ノズルの流量による DO 値とノズル前後の圧力差



第8図 結果に用いた DO と測定値の DO との関係



第9図 60メッシュ以上のメッシュ別の流量と DO 値

た。これは空気孔下のメッシュが大きな抵抗となり、空気孔から水を溢れさせるだけでなく、小孔付円板下に発生した負圧を減少させ、さらに水面を叩く力も減少させるためと考えられる。

第10図は、60メッシュより粗いメッシュ別の流量と DO 値の関係である。実用流量 0.4~0.5 m³/h を基準に比較すると、18メッシュ程度の粗いメッシュで高い DO 値を得ることが明らかになった。これはメッシュを粗くすることで抵抗が少なくなり、小孔付円板下の負圧が良好に作用するためと考えられる。

また図から、60メッシュ3枚よりもメッシュなしが高い DO 値を示すことに注目し、メッシュの枚数を減らした場合につき検討した。

### 5. メッシュの枚数と DO 値

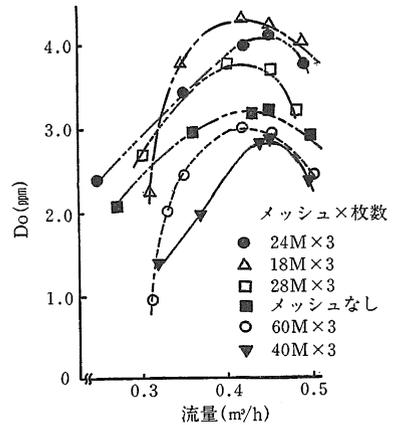
市販Aノズルの3枚メッシュは、上・中部メッシュ間に厚さ 1 mm のリングで間隙をあけた(中・下部メッシュ間にはなし)。そこで下部メッシュから順に、メッシュを外していった結果が第11図である。図より、メッシュは1枚ではその効果が期待できず、3枚以上では、メッシュの抵抗が大きくなりすぎると考えられる。

流量 0.4 m³/h で比較すると、メッシュ2枚にリング付が他の場合より 1 ppm 以上の高い DO 値を示した。従って、メッシュは適当な間隙をもった2枚が良いと考え、次にその最適間隙を求めた。

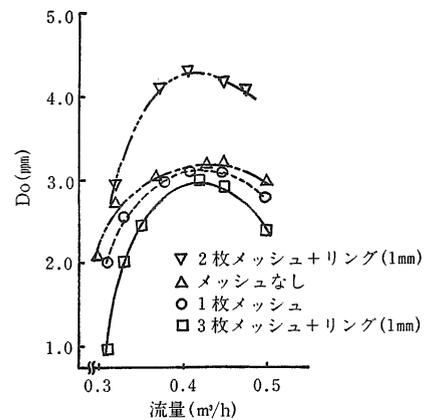
### 6. メッシュ間の間隙と DO 値

第12図は、メッシュ2枚間の間隙と DO 値の関係を示す。DO 値は、流量 0.4 m³/h まではほとんど差がないが、0.4 m³/h 以上では、間隙が 1.5 mm が最も高く、間隙なしが最も低い値を示すことから、メッシュ間の間隙は約 1.5 mm 程度が必要であると考える。

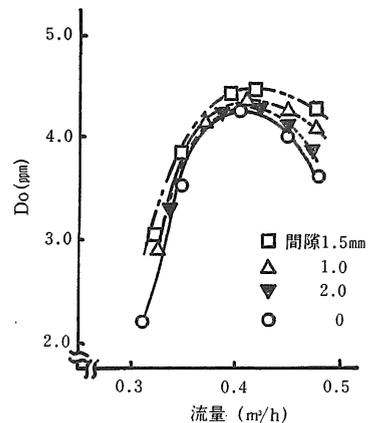
以上より、メッシュに関しては、18メッシュ程度の粗さのメッシュ2枚を間隙 1.5 mm 程度に重ねたものが良いと考えられる。



第10図 60メッシュ以下のメッシュ別の流量と DO 値



第11図 メッシュの枚数別の流量と DO 値



第12図 2枚のメッシュ間の間隙別の流量と DO 値

### 7. 空気孔面積と DO 値

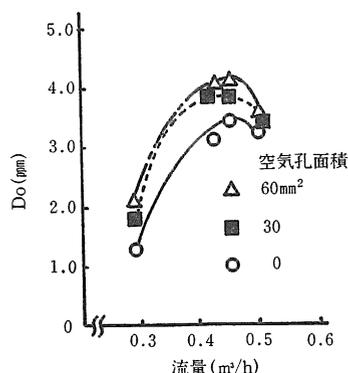
第13図は、上・下部小孔付円板と30メッシュの組み合わせにおける空気孔面積別の流量と DO 値の関係である。この場合の空気孔面積 60 mm<sup>2</sup> は、Aノズルの値である。空気孔面積 60 mm<sup>2</sup> と 30 mm<sup>2</sup> とでは、流量全般にわたって差はほとんどないが、空気孔なし（空気孔面積 0 mm<sup>2</sup>）では、流量 0.45 m<sup>3</sup>/h の時に他より約 0.8 ppm 低い DO 値でピークとなる。しかし、0.5 m<sup>3</sup>/h に近づくにつれ、各空気孔面積共に約 3.2 ppm 付近に集まる。これは、流量が増大するにつれて、メッシュの下からも空気の吸い上げがあるためと考える。

また、第14図は、メッシュなしの下部小孔付円板の場合の空気孔面積別の流量と DO 値の関係である。メッシュがないため、各空気孔面積共に差はほとんどない。従ってメッシュなしの場合、空気孔は不要であるが、メッシュを装着した場合、小孔付円板とメッシュの間（負圧発生部分）に空気孔が必要である。

### 8. 小孔付円板の枚数による流量と DO 値

第15図は、2枚の小孔付円板の片方を外し、メッシュなしで DO 値を測定した結果である。上部小孔付円板（開孔率0.10）を外すと、2枚の場合よりも DO 値のピークの流量が 0.4 から 0.5 m<sup>3</sup>/h へ増大し、DO 値も 0.5 ppm 増大した。また、下部小孔付円板（開孔率 0.07）を外すと、DO 値のピークの流量は増大したが、DO 値は流量 0.5 m<sup>3</sup>/h で、円板2枚の場合よりも約 1 ppm 減少した。

小孔付円板下に発生する負圧は、小孔（オリフィス部分）を通る水の流速に関係し、流速の増大に従って増大することは明らかである。つまり、この場合小孔付円板が2枚あるために、下部小孔付円板の開孔率が同じでも、流速は下部小孔付円板1枚よりも緩められ、発生す



第13図 上・下円板+30メッシュの空気孔面積別の流量と DO 値

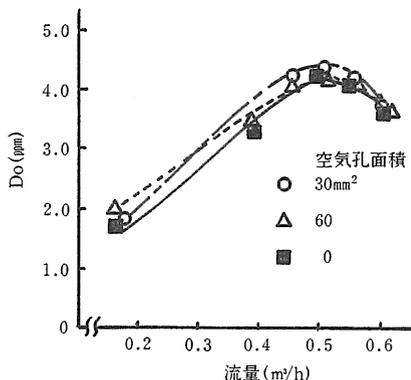
る負圧が小さくなったと考える。また、第15図の結果から、小孔を通る水の流速に着目し、開孔率同じで小孔の数を変えた場合の DO 値につき検討した。

### 9. 小孔の数による流量と DO 値

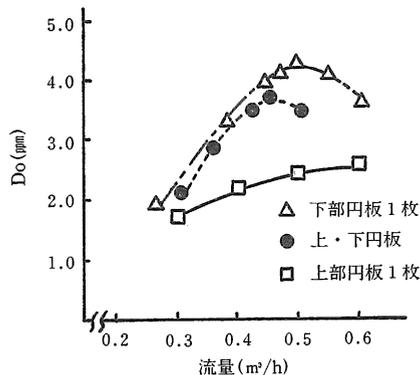
第16図は、下部小孔付円板の開孔率0.07を用いて、開孔率を変えずに小孔の数（小孔の直径）を変えた結果である。DO 値のピークは、それぞれ約 4.15 ppm 程度に集まるが、小孔1個の場合、DO 値のピークは流量0.61 m<sup>3</sup>/h で 4.1 ppm 程度に、小孔21個の場合は、0.47 m<sup>3</sup>/h で 4.2 ppm 程度となることから、小孔の数が増大するに従い、DO 値のピーク時の流量が減少することが明らかになった。

従って、高流量時には小孔の数を少なくし、逆に低流量時には小孔の数を増やせば、同じ開孔率でも設定された流量時に、DO 値のピークを得ることが可能である。

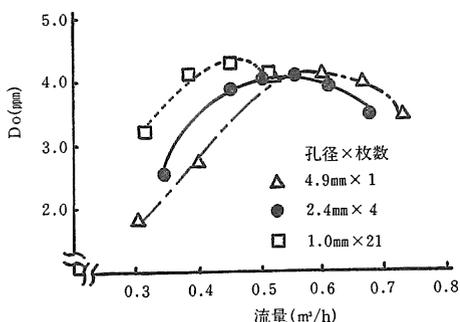
これは、構造の簡単なオリフィス形式のノズルには有効であるが、ベンチュリ形式のノズルについては、製作



第14図 下部円板1枚の空気孔面積別の流量と DO 値



第15図 メッシュなしの場合の円板取付枚数による流量と DO 値



第16図 小孔の数別の流量と DO 値

の上で問題である。そこで、次のベンチュリ形式のノズルについては、単一のベンチュリで考え、その溶存酸素補給性能増大の指針をさぐってみた。

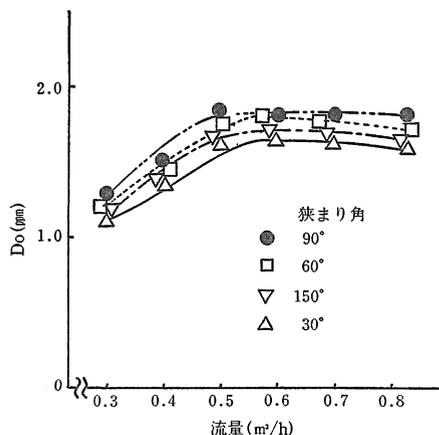
10. 供試ノズルBでの狭まり角度

第17, 18図は、供試ノズルBにおいて、広がり角度180度で狭まり角度を変化させた場合の圧力差と DO 値の結果である。これによるとあまり大きな差は見受けられないが、圧力差と DO 値は、狭まり角度30度, 60度と漸次増大し, 90度で最大となる。

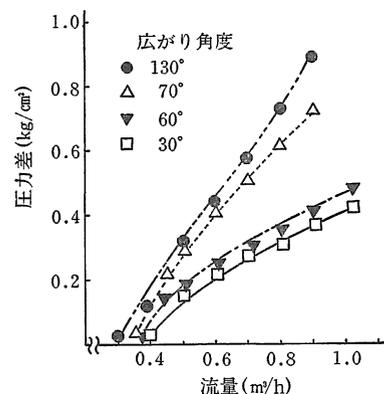
しかし、狭まり角度を変化させただけでは DO 値のピークは約 1.9 ppm しかなく、しかも流量は 0.5m³/h 以上に増大しない。これから狭まり角度90度程度の急縮は必要であるが、DO 値への狭まり角度の影響は小さいと考えられる。そこで次に、広がり角度のみを変化させた場合について検討した。

11. 供試ノズルBでの広がり角度とその狭まり角度との組み合わせ

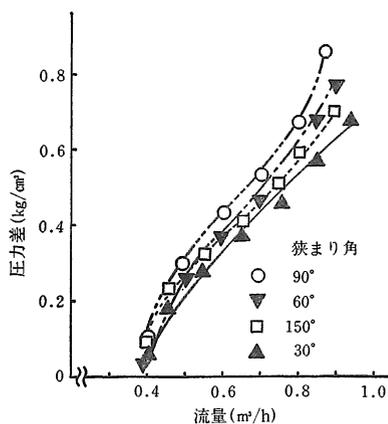
第19, 20図は、供試ノズルBにおいて、狭まり角度180度で、広がり角度を変化させた場合の圧力差と DO 値の



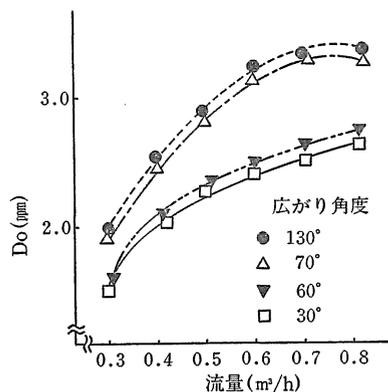
第18図 供試ノズルBにおける狭まり角度と DO 値



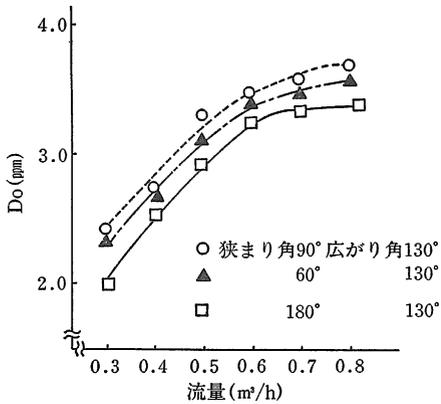
第19図 供試ノズルBにおける広がり角度と圧力差



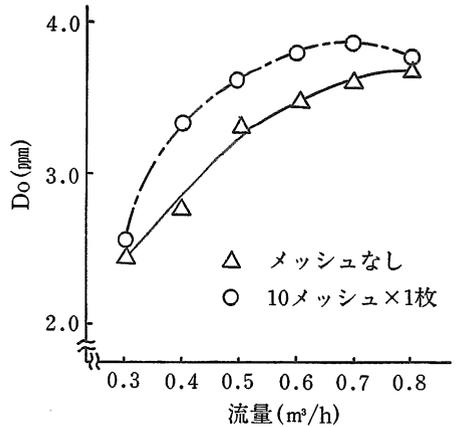
第17図 供試ノズルBにおける狭まり角度と圧力差



第20図 供試ノズルBにおける広がり角度と DO 値



第21図 供試ノズルBにおける狭まり角と広がり角の組み合わせ



第22図 狭まり角90°・広がり角130°の時のメッシュの効果

結果である。図から、圧力差と DO 値は、広がり角度 30度と60度、そして70度と 130度の2種類の傾向に分かれ、60度と70度の間付近にその境界があると考えられる。また、DO 値のピークも最大で流量 0.7 m³/h 時に約 3.2 ppm まで上がる。

第21図は、以上の結果に基づき狭まり角度も変化させた場合である。広がり角度 130度 に狭まり角度を変化させた結果、やはり狭まり角度90度と広がり角度 130度の組み合わせで、実用流量 0.5 m³/h 時に約 3.3 ppm の DO 値が得られた。次に、この 3.3 ppm をさらに増大させるため、ノズルにメッシュを装着した場合につき検討した。

#### 12. 供試ノズルBにおけるメッシュの効果

第22図は、オリフィス形式のノズルにおけるメッシュの効果を踏まえて、供試ノズルBにメッシュを装着した時の流量と DO 値の関係である。今回は供試ノズルの構造上、各々のメッシュを1枚のみ装着した。

メッシュを装着したことにより、最大流量時の DO 値は変わらないが、途中の DO 値は、約 0.4 ppm 増加することが明らかになった。これにより、ベンチュリ形式のノズルにも10メッシュ程度の粗さのメッシュを装着することで、さらに DO 値を増大させえるものとする。

### IV. 結 言

現在、水耕で用いられる家庭用泡沫ノズルは、その構造上、小孔付円板部分とメッシュ部分に、小石やきょう雑物が堆積し、その性能の防げとなっていた。

今回、オリフィス・ベンチュリ両形式のノズルにおいて、溶存酸素補給性能を増大させるための1つの指針を示し、また、メッシュを用いることにより、更に性能を

上げる指針も明らかにしたことから、この問題解決の1つの方法も明らかになった。つまり、メッシュ部分で、従来の60メッシュから18メッシュ程度に粗くし、さらに小孔付円板部分でも、開孔率を変えずに小孔の直径を大きくし、その数を減らすことで小形の堆積物を透過させることが可能となり、市販ノズルの改良の指針になると考えられる。

従って、この結果に基づいて現在の市販品を改造するには、その構造上、次の点に留意する必要がある。市販Aノズルにおいて、1). メッシュを交換しその枚数を減らした場合、メッシュを固定しなければ下部小孔付円板にメッシュが吸い寄せられて、円板下の負圧の状態が悪化する。2). 上部小孔付円板を外せば、下部小孔付円板に圧力が集中しノズルの構造上の破壊を招き、破壊後は溶存酸素補給性能が低下するため、その構造の強化が必要である。また、市販Cノズルに関しては、内部の羽根を除きメッシュを固定することにより、10メッシュ1枚で2倍近い性能アップができるが、流量 0.7~1.0 m³/h で約 2.0 ppm となり、これでは十分な性能アップは計れないものとする。したがって、その解決策としてノズル前後の圧力差を増大させるためには、新しいノズルを製作する必要がある。

### 参 考 文 献

1. 岩尾俊男・北守千兼：農機関支報 60：58-61, 1986.
2. 岩尾俊男・北守千兼：農機関支報 61：60-65, 1987.