植物の初期生育に与える水の影響(第3報) 水の超音波処理と水中の溶存二酸化炭素濃度の関係

田辺公子・首藤里香*・森山 昌*・白上 努*・志摩健介*・保田昌秀**・石川勝美***

宮崎大学機器分析センター 889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1

*宮崎大学工学部 **宮崎大学地域共同研究センター ***宮崎大学農学部

Effects of Various Water on Early Growth in Plants(Part 3) Relationship between Ultrasonic Treatment of Water and Concentration of Dissolved Carbon Dioxide in Water

Kimiko TANABE, Rika SYUTO*, Sakae MORIYAMA*, Tsutomu SHIRAKAMI*,
Kensuke SHIMA*, Masahide YASUDA** and Katsumi ISHIKAWA***

Materials Research Center, Miyazaki University, Miyazaki 889-2192, Japan

**Faculty of Engineering, Miyazaki University*

***Cooperative Research Center, Miyazaki University*

****Faculty of Agriculture, Miyazaki University*

Abstract

Water irradiated with ultrasonic wave affects early growth in plants. We prepared water containing various concentration of carbon dioxide. In this paper, the relationship between irradiation time of ultrasonic wave to water and concentration of dissolved carbon dioxide in water was investigated. The results obtained are as follows: 1) Early growth in plants using water irradiated with ultrasonic wave has close relation with dissolved carbon dioxide: 2) Most suitable concentration of dissolved carbon dioxide for early growth differs with kind of plants.

報告したい。

緒 言

試料および方法

水の有効利用に関心が高まる中、さまざまな処理を施した水が報告されているが、その水の作用機構や特性については、十分に解明されていない。我々は、環境に対する負荷をできるだけ小さくする水の機能化処理を目的として、磁気処理や超音波照射等を行った水の研究を行ってきた。特に水と植物の初期生育の関わりを調べて、これを水の評価の一つとしている。超音波照射した水で植物を生育させると、初期生育に影響があることは前報で発表した。¹⁾本報ではその原因について検討したので

1. 水の調製

試料水には蒸留水(岩城硝子(株) AS-2DS により作製)と宮崎市水を用いた。水の超音波照射は、プランソン社製の超音波洗浄器 B-32 を用いて行った。また、任意の濃度の溶存二酸化炭素を含む水の調製は、窒素ガスを充満させたガラスビンに煮沸により二酸化炭素を追い出した水を入れ密閉し、ガスタイトのシリンジで二酸化炭素(ジーエルサイエンス(株)製 95% 実験用ガス)を注入する方法で行った。

1997 年 9 月 8 日受付

1998 年 1 月 21 日受理

2. 水の分析

水の pH と酸化還元電位(ORP)の測定はガラス電極法(東亜電波工業製 HM-40V)により室温(25°C)で行った。導電率(EC)と溶存酸素(DO)は、水質チェッカー(㈱掘場製作所 U-10)で測定した。

溶存二酸化炭素の定量は環境庁自然保護局の鉱泉分析法指針(改訂)の遊離二酸化炭素の容量法²⁾で行った。

¹⁷O-NMR スペクトルの測定は核磁気共鳴装置(ブルカー AC250P)を使用し測定温度 27°C で行い、得られたスペクトルから半値幅を求めた。

3. 初期生育試験

カイワレダイコン(学名 *Raphanus sativus* Linn.), ホウレンソウ(学名 *Spinaca oleracea* Linn.), モヤシ(学名 *Glycine max* Merr.)の種子を、シャーレに脱脂綿を敷いた口紙上にならべ、インキュベータ(島津製 BITEC 500)内を 25°C にして、光を遮断して 1 週間生育させた。その間、朝夕 10 ml ずつ 1 の方法で調製したそれぞれの水を補給し、発芽勢および草丈を調べた。

結果および考察

1. 超音波処理による水の変化

Table 1 は、超音波照射による水の物性値および溶存気体の濃度の変化を示す。蒸留水では、pH は照射時間の増加に伴い低下し、逆に水道水では上昇していることがわかる。また、溶存酸素は蒸留水、水道水共に照射時間の増加に伴い減少している。一方溶存二酸化炭素は、蒸留水では照射時間 20 分までは増加しその後漸次減少し、水道水では、超音波照射により急減するがその後、照射時間により増減傾向がみられる。

2. 水の物性値と溶存二酸化炭素の定量

溶存二酸化炭素濃度が植物の初期生育に与える影響を調べるために、まず超音波照射せずに試料水中の溶存二酸化炭素濃度を変化させた水の調製を行った。二酸化炭素注入量と調製した水の溶存二酸化炭素量の関係のグラフを Fig. 1 に示す。その時の r^2 は 0.977 であった。また、Table 2 にその時の pH, DO(溶存酸素), CO₂(溶存二酸化炭素)と ¹⁷O-NMR スペクトルの半値幅を示す。

Table 1 Change of physical property of water and concentration of dissolved gas in water by ultrasonic treatment

Irradiation time(min)	Distilled water					City water				
	pH	EC μS/cm	ORP mV	DO ppm	CO ₂ ppm	pH	EC mS/cm	ORP mV	DO ppm	CO ₂ ppm
0	6.14	0.01	265	9.94	41	6.96	0.210	452	10.17	51
10	5.66	0.01	296	9.27	57	7.19	0.216	403	9.97	29
20	5.42	0.02	294	8.40	66	7.29	0.208	347	9.54	42
30	5.35	0.03	291	7.76	66	7.42	0.211	336	8.97	43
40	5.54	0.03	297	7.11	63	7.44	0.212	332	8.47	44
50	5.20	0.05	309	6.60	57	7.44	0.215	303	7.81	51
60	5.29	0.06	276	6.27	52	7.65	0.216	283	7.14	53
75						7.63	0.215	279	6.30	51
90						7.66	0.227	281	6.03	44

Table 2 Change in pH, concentration of dissolved gas and half-peak width in ¹⁷O-NMR in water in the presence of CO₂

Injection volume of CO ₂ (ml/100 ml water)	Distilled water				City water			
	pH	DO ppm	CO ₂ ppm	Half-peak width(Hz)	pH	DO ppm	CO ₂ ppm	Half-peak width(Hz)
0	7.11	7.20	12	157	9.16	7.08	12	113
0.5	5.88	7.15	19	116	9.06	7.14	19	102
2	5.40	7.20	39	109	8.03	6.89	39	132
3					7.18	6.71	51	174
4	5.18	7.22	62	118	7.15	6.88	62	177
6	5.00	7.19	83	101	6.73	7.27	83	167
8	4.91	7.07	100	98	6.62	7.24	100	170
12	4.81	7.13	126	98	6.45	7.25	126	156
20	4.66	7.10	139	101				
none treated water	5.77	7.23	41	153	7.26	7.16	51	164

Fig. 1 Relationship between concentration of dissolved carbon dioxide and injection volume of CO₂.

Fig. 2 Change in pH with time after preparation of water.
●: distilled water, ■: city water

Fig. 3 Change in concentration of dissolved carbon dioxide with time after preparation of water.
●: distilled water, ■: city water

Fig. 4 Plants height of Kaiware radish on 7 days after placing in germination bed.
A: Experiment in water prepared in the beginning.
B: Experiment in water prepared every day.

蒸留水、水道水共に二酸化炭素注入量0(煮沸により二酸化炭素を追い出した水)で溶存二酸化炭素濃度は低く、従ってpHは高く、注入量の増加に伴いpHが低下しているのがわかる。また¹⁷O-NMRスペクトルの半値幅は、蒸留水では、煮沸により溶存二酸化炭素を追い出したpH7付近で157だったものが、二酸化炭素濃度が大きくなりpHが低くなると小さくなった。しかし無処理

の蒸留水はpHが5.77でその時の半値幅は153と大きい。このことは半値幅がpHのみに依存するのではない事と、超音波処理により水の物性が変化し緩和時間が変わったことを示唆している^{3,4)}。

3. 水の経時変化と初期生育

植物の初期生育を調べるため、1週間インキュベータ内での生育試験を行った。試料水の経時変化をpHと溶

Fig. 5 Relationship between germination of Kaiware radish and irradiation time of ultrasonic wave in distilled water (●) and city water (■) after 24 hours in germination bed. Concentration of dissolved carbon dioxide is given in parenthesis.

Fig. 6 Relationship between germination of spinach and irradiation time of ultrasonic wave in distilled water after 72 hours in germination bed. Concentration of dissolved carbon dioxide is given in parenthesis.

Fig. 7 Relationship between germination of bean sprout and irradiation time of ultrasonic wave in distilled water after 18 hours in germination bed. Concentration of dissolved carbon dioxide is given in parenthesis.

Fig. 8 Relationship between germination of Kaiware radish and concentration of dissolved carbon dioxide in distilled water (●) and city water (■) after 16 hours in germination bed.

Fig. 9 Relationship between germination of spinach and concentration of dissolved carbon dioxide in distilled water after 24 hours in germination bed.

Fig. 10 Relationship between germination of bean sprout and concentration of dissolved carbon dioxide in distilled water after 24 hours in germination bed.

存二酸化炭素濃度について見たのが Fig. 2 と Fig. 3 である。Fig. 2 より蒸留水において pH は 1 日目と 5 日目のものが 7 付近まで上がり、その後はあまり変化していない。また水道水の pH はあまり変化しなかった。Fig. 3 より、溶存二酸化炭素濃度は、蒸留水、水道水共に日数の経過に伴い減少し 6 日目ではほぼ 20 ppm を示した。そこで、実験当初に溶存二酸化炭素濃度 50 ppm の水を調製し、毎日朝夕 10 ml ずつ補給してカイワレダイコンを育てた A グループと、溶存二酸化炭素濃度 50 ppm の水を毎日調製し、朝夕 10 ml ずつ水を補給してカイ

ワレダイコンを育てた B グループの生育の比較を行った。Fig. 4 に示すように、A, B の間には草丈の違いは見られなかった。また、発芽勢においてもほとんど違いは見られなかった。1 日目だけ同じ濃度の溶存二酸化炭素の水で育て、2 日目からは濃度が違う水で育てた生育結果が同じであるということは、もし植物の初期生育に溶存二酸化炭素が影響を与えているのなら、初期の段階少なくとも置床後 1 日目までであると推察される。

4. 超音波照射と発芽勢

Fig. 5~Fig. 7 に超音波照射した水で育てたカイワレ

ダイコン、ハウレンソウ、モヤシの発芽勢と照射時間の関係を示す。発芽勢の良好な条件は、カイワレダイコンで蒸留水では、超音波照射時間10~30分で溶存二酸化炭素濃度は60~70 ppm、また水道水では超音波照射時間50分以上で溶存二酸化炭素濃度は50 ppm以上であった。一方、ハウレンソウでは蒸留水で、超音波照射時間の増加と共に発芽勢は減少した。またモヤシでは蒸留水で、照射時間30~40分で溶存二酸化炭素濃度は、60~70 ppmであった。

5. 溶存二酸化炭素濃度と発芽勢

超音波照射した水の植物の初期生育に影響を及ぼす要因としては、Table 1より、pH、溶存酸素濃度および溶存二酸化炭素濃度等が考えられるが、超音波照射時間と初期生育の関係のグラフと超音波照射時間と溶存二酸化炭素濃度の関係の動きが似ていることから、超音波照射と植物の初期生育の関係は溶存二酸化炭素の濃度に関係があるのではないかと考えた。

Fig. 8~Fig. 10は超音波照射せずに二酸化炭素を注入する方式で調製した各種濃度の溶存二酸化炭素濃度の水で育てたカイワレダイコン、ハウレンソウ、モヤシの発芽勢である。発芽勢の良好な溶存二酸化炭素濃度は、カイワレダイコンでは、蒸留水、水道水共に50~70 ppmで特に60 ppmでピークを示した。なお、1週間後の草丈でも蒸留水、水道水共に60 ppm前後の二酸化炭素濃度で良好な結果を得た。また蒸留水で発芽勢が、ハウレンソウでは40 ppmで良い結果となった。モヤシでは、80~125 ppmで発芽勢は良好で、特に100 ppmが一番

良かったが、超音波で作製される溶存二酸化炭素濃度の上限が約70 ppmであることを考えれば、注入式による溶存二酸化炭素濃度の結果と超音波による溶存二酸化炭素濃度の結果は一致していると思われる。以上のことから、溶存二酸化炭素は、植物の初期生育に影響を与え、その最適な濃度は、植物によって異なることがわかった。

まとめ

以上の実験から、次のことが判明した。

- 1) 植物の初期生育に与える超音波処理水の効果は、溶存二酸化炭素の濃度と大きく関わっている。
- 2) 溶存二酸化炭素の濃度は種子の置床後直ちに(1日以内)影響を与える。
- 3) 植物の初期生育に適する溶存二酸化炭素濃度は、植物によって異なる。

なお、本研究の一部は当学会平成9年度大会で発表した。

引用文献

- 1) 田辺公子・脇坂智子・保田昌秀・志摩健介・石川勝美：植物工場学会誌，7(4)：185-190(1995)
- 2) 鉱泉分析法指針(改訂)環境庁自然保護局：温泉工学会誌，13(1)：67-68(1978)
- 3) 大河内正一・石原義正・上平 恒：水環境学会誌，16(6)：409-415(1993)
- 4) 大河内正一・石原義正・荒井 強・上平 恒：水環境学会誌，17(8)：517-526(1994)