

# 高溶存酸素水への浸種によるホウレンソウの高速催芽法の開発

木矢博之・中野智彦・荒井 滋

Early Germination of Spinach Seeds by Soaking in Water with High Dissolved-Oxygen Concentration

Hiroyuki KIYA, Tomohiko NAKANO and Sigeru ARAI

## Summary

We investigated the effects of dissolved oxygen concentration on spinach seed germination. Discharging high-pressure oxygen in water raised the dissolved oxygen concentration. That high dissolved oxygen concentration promotes germination and tune level. Results of this study showed that permeation of high dissolved oxygen concentration promoted germination, probably by oxygen influx to the embryo. In addition, seed soaking in water of high dissolved oxygen concentration for 6-12 h promoted emergence. This method hastens germination better than low temperature processing.

**Key Words :** germination, dissolved oxygen concentration, spinach

## 緒 言

ホウレンソウの発芽は温度の影響を受けやすく、特に高温条件下では著しく抑制される<sup>8)</sup>。本県中山間地域の産地においても夏季の高温による発芽不良は深刻な問題となっている。

ホウレンソウ種子の発芽促進には、播種前の浸種が有効であることが知られ<sup>10)</sup>、高温期の播種においては浸種後、低温条件下に置いて催芽した後に播種する方法が広く行われている<sup>13)</sup>。しかし、この方法では催芽に3日以上を必要とするため、より迅速かつ斉一な催芽方法が求められている。

一方、酸素は陸生植物の発芽に必要であり<sup>9)</sup>、発芽の重要な要因の1つである。これまでに、種子周囲の酸素濃度の低下によりホウレンソウ種子の発芽率が低下すること<sup>9)</sup>や、酸素分圧を高めることにより発芽を促進させること<sup>11)</sup>が報告されている。しかしながら、これらの報告では浸種時の水の溶存酸素濃度と発芽との関係は明らかにされていない。

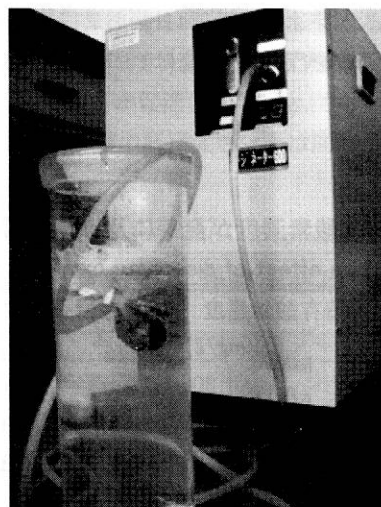
そこで、本報では、浸漬処理時に用いる水の溶存酸素濃度とホウレンソウ種子発芽との関係を明らかにして、高溶存酸素水への浸種により高温期のホウレンソウの催芽が迅速に行えることを示した。

## 材料および方法

本試験は高原農業振興センター(奈良県宇陀市, 標高約350 m)において実施した。

## 実験1. 酸素分圧と水温が溶存酸素濃度に及ぼす影響

水道水を3ℓ入れた内径12cm, 高さ36cmのガラス容器内に酸素濃縮機から酸素分圧を高めた空気を毎分3ℓ放出して溶存酸素濃度を高めた(第1図)。酸素濃縮機は酸素分圧90%および40%の空気を放出する2機種(オージネーター600およびオキシコン2000, (株)近畿酸素製)を用いた。試験区は放出する酸素の分圧によって、40%区および90%区とし、空気を放出しない無処理区を設けた。各処理区の水温を12-37℃に設定し、温度別の溶存酸素濃度をデジタル溶存酸素計(DO-5509, 英桑理



第1図 溶存酸素濃度の制御方法  
Fig.1. The control of dissolved oxygen concentration

化学製品製)を用いて測定した。

結果

実験2. 溶存酸素濃度が発芽に及ぼす影響

ハウレンソウ'アクティブ'(株)サカタのタネ)の種子100粒を寒  
冷紗で包み、実験1の試験区の容器内で浸種処理を行った。  
水温は25℃に制御した。発芽試験は1区を1包とし3反復で行  
った。調査は処理翌日から14日後まで行い、幼根の発生が確  
認された種子を発芽とし、容器から除去した。実験は2004年7  
月に実験室内において自然日長下で行った。

実験3. ハウレンソウ種子の果皮の有無と溶存酸素濃度が発  
芽に及ぼす影響

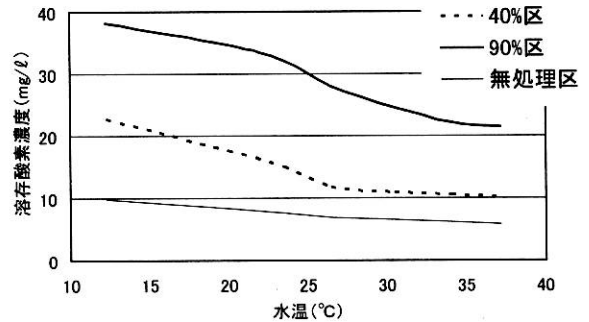
果皮が発芽に及ぼす影響を明らかにするため、'おかめ'(タキ  
イ種苗(株))の果皮除去種子(ネーキッド種子)と通常の果皮  
がある種子(以下、果皮付き丸種子)を用いた。また果皮が大き  
い角種子の'次郎丸'(タキイ種苗(株))(以下果皮付き角種子)  
も試験に加えた。溶存酸素濃度の制御および発芽試験は実験  
2と同様の方法で行った。実験は2004年7月に実験室内におい  
て自然日長下で行った。

実験4. 高溶存酸素濃度水への浸種が出芽に及ぼす影響

品種は現地で多く利用されている'アクティブ'を用いた。水道  
水を3ℓ入れた容器内に酸素分圧90%の空気を放出した。水温  
は夏季の条件を想定して25℃に設定した。容器内での浸種時  
間によりそれぞれを6hr, 12hr, 18hrおよび24hr区とした。また、  
流水(約400ml/min)に24時間浸種した24hr無処理区と浸種を  
行わない非浸種区を設けた。処理後速やかに288穴のセルトレ  
イへ1セルにつき1粒を播種した。播種は2004年9月18日に行い、  
センター内の雨よけハウスで育苗した。子葉が地上に見えたも  
のを出芽とし、出芽途中の播種4日後および最終出芽として播  
種17日後に調査を行った。調査は1セルトレイを1区とし、2反  
復で行った。

実験1. 酸素分圧と水温が溶存酸素濃度に及ぼす影響

酸素分圧と水温が溶存酸素濃度に及ぼす影響を第2図に示  
した。溶存酸素濃度は90%区, 40%区, 無処理区の順に高く, 酸  
素分圧の高い空気を水中に放出することにより, 溶存酸素濃度  
は高まった。いずれの区も水温が高くなるほど, 溶存酸素濃度  
は低くなった。溶存酸素濃度は空気の放出を開始して約5分後  
には一定の値に達し, 放出中はほぼその値を保った。



第2図 酸素分圧と水温が溶存酸素濃度に及ぼす影響  
Fig.2. The effect of partial pressure of oxygen and  
water temperature on dissolved oxygen concentration.

実験2. 溶存酸素濃度が発芽に及ぼす影響

水温25℃におけるおおよその溶存酸素濃度は40%区で12mg/ℓ,  
90%区で30mg/ℓ, 無処理区で7mg/ℓであった。発芽は溶存酸  
素濃度が高いほど促進され, 全種子の50%が発芽するまでの日  
数(以下, 50%発芽所要日数)は90%区が1.6日で, 無処理区の  
14日に比べて著しく短縮された(第1表)。また, 全種子の10%が  
発芽するまでの日数(以下, 10%発芽所要日数)においても同じ  
傾向であった。発芽の斉一度を示すT10-9010は溶存酸素濃  
度が高いほど短くなり, 発芽揃いは向上した。最終発芽率は無  
処理区が50%であったのに対し, 90%区および40%区では90%以  
上となった。

第1表 溶存酸素濃度が発芽に及ぼす影響

Table.1. The effect of dissolved oxygen concentration on germination of spinach.

処理区	溶存酸素濃度 (mg/ℓ)	10%発芽所要日数 (日)	50%発芽所要日数 (日)	T(10-90) <sup>z</sup> (日)	処理3日後の発芽率 (%)	最終発芽率 <sup>y</sup> (%)
90%区	30	0.6a <sup>x</sup>	1.6a	3.2a	86.3	99.0
40%区	12	1.3b	3.2b	11.3b	47.1	93.8
無処理区	7	2.6c	14.0c	—	14.3	50.0

<sup>z</sup> 種子の発芽率が10%から90%に至る日数

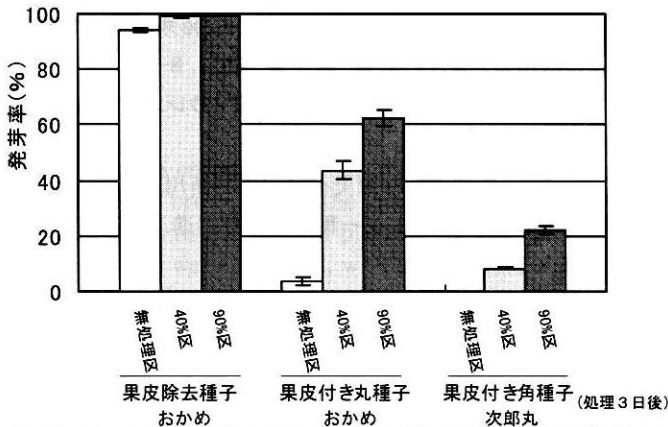
<sup>y</sup> 処理14日後の発芽率

<sup>x</sup> 異なる文字間には5%レベルで有意差有り(Tukey's multiple range test)

### 実験3. ホウレンソウ種子の果皮の有無と溶存酸素濃度が発芽に及ぼす影響

### 考 察

処理3日後の発芽率を第3図に示した。発芽率は果皮除去種子が最も高く、全ての区で95%以上であった。高溶存酸素濃度水への浸種効果は果皮付き角種子および果皮付き丸種子で顕著に現れ、いずれも発芽率は22.2~62.3%で、無処理区での0~3.7%と比べて明らかに高い値を示した。



第3図 ホウレンソウ種子の果皮の有無と溶存酸素濃度が発芽に及ぼす影響  
Fig.3. The effect of pericarp-removed seeds and intact seeds and dissolved oxygen concentration on germination of spinach (after 3 days) Vertical bars show S.E. of the means (n=3).

### 実験4. 高溶存酸素濃度水への浸種が出芽に及ぼす影響

播種4日後および17日後の出芽率を第2表に示した。播種4日後における出芽率は高溶存酸素濃度水(30mg/l)への6~24時間浸種処理が非浸種区と24hr無処理区より高くなった。高溶存酸素濃度水への6~24時間浸種後の最終出芽率は91.6~95.8%で、非浸種区での84.7%および24hr無処理区での82.1%に比べ高い値となった。浸種時間による最終出芽率の差は認められなかった。また、非浸種区と24hr無処理区の出芽率には差が認められなかった。

種子の酸素吸収速度は吸水後に上昇する<sup>11)</sup>とされ、ホウレンソウにおいても吸水後に酸素分圧を高めることにより、発芽率および発芽揃いが高まること<sup>1)</sup>、酸素ガスを2~3気圧まで高めることで発芽率を高められる<sup>3)</sup>報告がされており、種子の周囲の酸素ガス濃度を高めることは発芽促進に有効と考えられる。一方、浸種に用いる水の溶存酸素濃度と発芽の関係については、前田ら<sup>7)</sup>がバンジーでのミスト灌水に溶存酸素濃度を高めた水を用いることにより発芽率が向上したことや、Bonnewill<sup>2)</sup>がガマ(Typha latifolia)を用いて低溶存酸素濃度(2~4mg/l)の水中において発芽促進効果を報告している。

実験1において酸素濃縮機を用いて酸素分圧を高めた空気を水中に放出することにより、簡易に高溶存酸素濃度水ができることが示された。さらに、実験2において浸漬水の溶存酸素濃度を高めることにより、発芽の速さを示す発芽所要日数が短縮されるとともに、発芽の斉一度についても向上することが示されたことから、ホウレンソウ種子の発芽において種子周囲の酸素ガス濃度とともに、浸種における水の溶存酸素濃度も大きく関与していることが明らかになった。

ホウレンソウは種子の構造上、果皮が水分を多く吸収するため通気が悪くなり、内部が酸素不足となって発芽が不良になる<sup>15)</sup>と考えられてきた。Suganumaら<sup>14)</sup>は果皮の発芽抑制作用として、発芽抑制物質と果皮の機械的な強度、通気性などの物理性が考えられるとし、発芽抑制物質に関しては温度による活性の差がみられず、浸種によっても発芽抑制は完全に打破されなかったため、高温条件下での発芽抑制の主要な要因とは考えられないと報告している。

また、梶田ら<sup>8)</sup>は硫酸処理による発芽促進は果皮のクチクラの崩壊により胚への酸素透過性が高まったことによるものとしている。実験2において果皮付き丸種子である'アクティブ'は溶存酸素濃度が高いほど発芽が促進されたことと、さらに、実験3において溶存酸素濃度制御の発芽促進効果は同一品種の果皮付

第2表 高溶存酸素濃度水への浸種がホウレンソウの出芽に及ぼす影響

Table. 2. The effect of high dissolved oxygen concentration processing on emergence of spinach.

処理区	浸漬水	浸漬時間 (hr)	播種4日後の出芽率 (%)	最終出芽率 <sup>z</sup> (%)
6hr処理	高溶存酸素水	6	54.5a <sup>y</sup>	93.5a
12hr処理	高溶存酸素水	12	60.3a	91.6a
18hr処理	高溶存酸素水	18	61.9a	92.9a
24hr処理	高溶存酸素水	24	61.0a	95.8a
24hr無処理	無処理水	24	49.0b	82.1b
非浸種	なし	0	45.5b	84.7b

<sup>z</sup> 播種17日後の出芽率

<sup>y</sup> 異なる文字間には5%レベルで有意差有り(Tukey's multiple range test)

き種子が果皮除去種子より高くなったことから、果皮から胚への水分浸透時に溶存酸素濃度が低下することにより発芽が阻害されると推察される。サンショウの果皮には抗酸化活性があるとされ<sup>9)</sup>、抗酸化剤は発芽を抑制する<sup>12)</sup>ことが報告されており、今後はハウレンソウ果皮内部の溶存酸素濃度や果皮の抗酸化活性について明らかにする必要がある。これらのことから、高溶存酸素濃度水の浸漬処理は種子内部に十分な酸素が供給されたことによる発芽促進効果と考えられる。

実験4では6～24時間の高溶存酸素濃度水への浸種処理により、出芽率が高められることを明らかにした。催芽時の幼根長は1～2mm程度が良いとされ<sup>6)</sup>、生産現場では全種子の1割程度が発芽した時を目安に播種されている。現地において普及している品種‘アクティブ’では約14時間の浸種処理で全種子の10%が発芽しており(実験2)、従来の催芽方法での72時間<sup>13)</sup>にくらべ高速に催芽が行える。なお、長時間の催芽処理は根長が伸びすぎること、発芽の速さには品種差が認められたこと(実験3)から発根状態を確認しつつ催芽を行う必要がある。

ネーキッド種子は高温期の発芽促進には有効であるが、種子処理の関係で一部の品種でしか利用できず、実用上問題を残している。本研究では酸素濃縮機からの酸素分圧を高めた空気を水中に放出することで簡易に高溶存酸素水を作れることができ、この水に浸種することで高速に催芽処理を行えることを明らかにした。この催芽方法は高温期におけるハウレンソウの有効な催芽手法であり、夏季のハウレンソウ栽培での活用が期待できる。

### 摘 要

浸種における水の溶存酸素濃度がハウレンソウの発芽に及ぼす影響について検討した。溶存酸素濃度は酸素分圧を高めた空気を水中に放出することにより高まった。発芽は溶存酸素濃度が高いほど早まり、斉一度も向上した。これは種子内部に十分な溶存酸素が供給されたことによる発芽促進効果と考えられた。また、高溶存酸素濃度水への6～24時間の浸種により、出芽率が高められた。この催芽方法は従来の方法に比べ高速に催芽を行うことができる。

### 引用文献

1. 荒井 滋・岡山健夫. 1981. ソイルブロック育苗による夏ハウレンソウの移植栽培に関する研究. (2)種子発芽に及ぼす酸素の影響. 園学要旨. 160-161.
2. Bonnewll, V. , W. L. Koukkari and D. C. Pratt. 1983. Light, oxygen, and temperature requirements for Typha

- latifolia seed germination. Can. J. Bot. 61:1330-1336.
3. Heydecker, W and P. I. Orphanos. 1968. The Effect of Excess Moisture on the Germination of *Spinacia oleracea* L. *Planta*. 83:237-247.
4. Hisatomi, E. , M. Matsui. , A. Kobayasi and K. Kubota. 2000. Antioxidative activity in pericarp and seed of Japanese pepper (*Xanthoxylum piperitum* DC). *J Agric Food Chem*. 48:4924-4928.
5. 堀 裕・杉山直儀. 1953. 蔬菜類種子の発芽に及ぼす酸素及び炭酸ガス濃度の影響. 園学雑. 22(2). 8-16.
6. 香川 彰. 1997. 発芽の生理. 高品質ハウレンソウの栽培生理. いしずえ. 21-26.
7. 前田茂一・荒井 滋・仲照史・長村智司・角川由加. 2004. 酸素濃度制御によるパインジー種子の発芽促進. 近畿中国四国農研. 4:27-31.
8. Masuda, M and K. Konishi. 1993. Improvement of High-temperature of Spinach Seed with Acid Scarification and Priming with Polyene Glycol 6000. *J. Japan. Hort. Sci*. 62:419-424.
9. ————. 1997. 種子処理. 今西英雄他編. 園芸種苗生産学. 朝倉書店. 18-23.
10. ————. 2003. 種子発芽の斉一性. 矢澤進編著. 野菜新書. 朝倉書店. 108-111.
11. 三宅 博. 1995. 発芽. 種子生理生化学研究会編. 種子のバイオサイエンス. 学会出版センター. 40-45.
12. Ogawa, K and M. Iwabuchi. 2001. A mechanism for promoting the germination of *Zinnia elegans* seeds by hydrogen peroxide. *Plant Cell Physiol*. 42:286-291.
13. 坂入平吉. 1984. ハウレンソウの夏まき栽培技術. 軟弱野菜の新技术. 東京近郊そ菜研究会. 12-15.
14. Sukanuma, T and H. Ohno. 1984. Role of Pericarp in Reducing Spinach(*Spinacia oleracea* L.) Seed Germination at Supra-optimal Temperatures. *J. Japan. Hort. Sci*. 53:38-44.
15. 杉山直儀. 1944. 菠薐草種子発芽不良の原因と対策. 農及園. 19:307-308.