

徳島農研報

No.6 2011

Bull.

Tokushima. Pref.

Agri. Res. Ins.

ISSN 1880-9960

BULLETIN OF  
TOKUSHIMA  
AGRICULTURE, FORESTRY AND  
FISHERIES TECHNOLOGY SUPPORT CENTER  
AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE

No.6

March 2011

徳島県立農林水産総合技術支援センター  
**農業研究所研究報告**

第6号

平成23年3月

徳島県立農林水産総合技術支援センター

**農業研究所**

徳島県名西郡石井町

TOKUSHIMA A. F. F TECHNOLOGY SUPPORT CENTER

AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE

ISHII, TOKUSHIMA, JAPAN



徳島県立農林水産総合技術支援センター農業研究所 研究報告 No.6

2011年3月

目 次

アマモ場造成のための種子封入殻体法の開発 .....	吉原 均・津田毅彦・棚田教生・谷本 剛	1
浄水に含まれる凝集剤由来アルミニウムが土壌, 作物体に及ぼす影響 .....	黒田康文	9
シンビジウム切り花における減圧密封包装技術の開発 .....	近藤真二	17

Bulletin of  
Tokushima Agriculture, Forestry and Fisheries Technology Support Center  
Agricultural Research Institute

No. 6

March 2011

C O N T E N T S

Development of the seed shell method for eelgrass bed ..... Hitoshi YOSHIHARA , Takehiko TSUDA , Norio TANADA and Tsuyoshi TANIMOTO	1
Effect of aluminium from flocculant in sludges by water purification on soil, rice plant and spinach ..... Yasufumi KURODA	9
Development of decompression hermetically-sealed package technique on vase life of cut <i>Cymbidium</i> flowers ..... Shinji KONDOU	17

徳島農研報 No.6  
1～8 2011

## アマモ場造成のための 種子封入殻体法の開発

吉原 均\*・津田毅彦\*\*・棚田教生\*\*\*・谷本 剛\*\*\*\*

Development of the seed shell method for eelgrass bed

Hitoshi YOSHIHARA, Takehiko TSUDA, Norio TANADA and Tsuyoshi TANIMOTO

### 要 約

吉原 均・津田毅彦・棚田教生・谷本 剛 (2011) : アマモ場造成のための種子封入殻体法の開発. 徳島農研報(6) : 1～8

アマモ種子を封入殻体と称する小型容器に封じて海底に投入した場合, 16.7%の個体が生長した。種子の発芽促進条件を調べたところ, 播種前に浸漬する海水の塩分濃度が低くなるほど発芽率は高くなったが, 播種後の生育は悪くなった。種子の好適保存条件を調べたところ, 低温で保存することで生存率が高くなり, その後の生長も良好になる傾向にあった。

キーワード: アマモ, アマモ場, 直播, 発芽促進

### はじめに

水産生物の幼稚仔にとって好適な育成場であるとともに高い水質浄化機能を有するアマモ場は, 沿岸域の埋立等により減少している。現在アマモ場を回復するために日本各地で様々な取り組みが行われているが, 主流となっているのは地上の水槽もしくは小型容器内で育苗を行い, ダイバーによる水中作業等で海底に移植する方法である。しかしこの方法では大面積を移植するには多大な労力と時間が必要になる。種子を海上から直播する方法が最も簡便であるが, 種子が流されるために定着率は低く, 網で囲った場合でも1%程度と言われており<sup>2)</sup>, 実用性に乏しい。

本研究では, 種子を直播する方法を改良し, 種子を小型容器に封入して海上から投入する方法を開発した。この方法を種子封入殻体法(以下, 殻体法と記す)と呼称する。また殻体に用いる種子の保存条件や, 低塩分処理による発芽促進についても検討した結果, 簡便で効率的

なアマモ場造成技術を実用化するための知見が得られたので報告する。

### 材料および方法

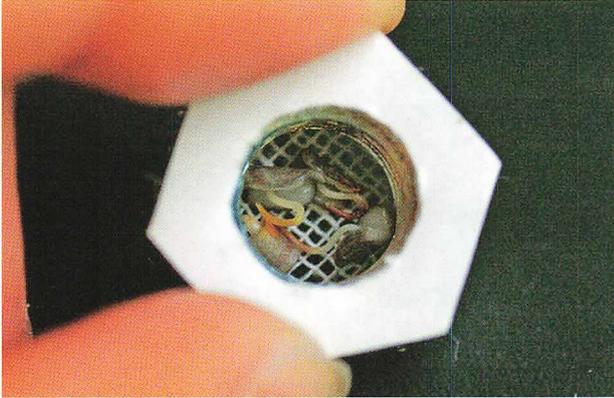
#### 実験1 殻体法の実現性検証

殻体法の実現性を調べるため, 以下の実験を行った。

2005年7月中旬に徳島県鳴門市堂浦の天然アマモ場から花穂を抜き取り, 種子の成熟を図るため約1ヶ月間流水水槽内で養生させて採種したものを密閉容器に濾過海水と共に入れ, 3～5℃で保存した。その後1ヶ月に1回程度濾過海水を交換した。

殻体として, 高さ8mm, 開口部直径8mm, 重さ10gのスチール製六角ナットの穴に, 保存中に自然発芽したアマモ種子を4粒ずつ入れ, 両面に約1mm×1mm目の医療用ガーゼを接着剤(シリル化ウレタン樹脂)で接着したものを作成した(第1図)。以下これをSS-Iと呼称する。

直径8.5cm、高さ18cmのマヨネーズ瓶に高さ5cmまで砂を入れ、濾過海水を砂面から約10cmの高さまで入れたものにSS-Iを5個投入し(第2図)、軽く振動させることで砂中に埋没させた。その後12℃~15℃、2,000lx、8L16Dでインキュベートし、上胚軸を砂面上まで伸長させた個体数を数えた。



第1図 SS-Iの外観  
(撮影のため上面のガーゼは外した。)



第2図 SS-Iを投入したマヨネーズ瓶  
(埋没させる前の様子)

## 実験2 殻体形状の改良

殻体SS-Iを改良したSS-IIを考案し、その有効性を調べた。SS-IIは、予め約2mm×1.5mm目のレーヨン製メッシュ及び厚さ1.5mmのブリッジを貼った外径25.5mm、内径13mm、厚さ2.2mmのスチール製ワッシャー2枚を用いた(第3図)。メッシュの接着にはシリル化ウレタン樹脂、金属どうしの接着にはアルファシアノアクリレート系接着剤を使用した。

2006年6月下旬に鳴門市堂浦の天然アマモ場から花穂を抜き取り、約1ヶ月間流水水槽内で養生して採種した。1.8mm目の篩にかけて残った種子を濾過海水と共に容器に入れ、密閉せずに5℃でエアレーションを行いながら保存した。海水は1ヶ月に1回程度交換した。

SS-II2個に、保存中自然発芽した種子を5粒ずつ

封入し、実験1と同じマヨネーズ瓶に高さ5cmまで観賞魚水槽用の底床土を入れ、濾過海水を土面から約10cmの高さまで入れたものに投入した。投入後は速やかに瓶を軽く振動させて、SS-IIを埋没させた。15℃、2,000lx、8L16Dで約1ヶ月インキュベートした後、上胚軸を砂面上まで伸長させた個体数を数えた。

## 実験3 発芽促進処理時の塩分濃度の検証

発芽促進処理時の塩分濃度が発芽率と上胚軸の伸長に与える影響を調べた。

供試したアマモ種子の採種時期、保存方法は実験2に準じた。

蒸留水を対照とし、濾過海水(塩分濃度3%)を100%としたとき15%、30%、45%となるよう蒸留水で希釈した海水を作りプラントボックス(縦6cm、横6cm、高さ9cm、透明)に入れ、それぞれに76日間保存した種子を各区100粒ずつ浸漬した。15℃暗黒条件で静置し、4日間に種皮が裂開した種子を発芽種子とみなして数えた。また発芽種子は1日ごとに取り出し、観賞魚水槽用の底床土と濾過海水を入れた試験管(直径25mm・高さ150mm)に2~4粒ずつ播種後、15℃、2,000lx、8L16Dでインキュベートし、播種後30日に上胚軸を砂面上まで伸長させた個体数を数えた。なお、植え付け深度は約1cmとし、2反復で実験した。

## 実験4 殻体法の有効性検証(海域実験)

海域における殻体法の有効性を調べるため、以下の実験を行った。供試したアマモ種子の採種条件等は実験2に準じた。

保存開始約100日目の種子を用い、15%希釈海水で4日間浸漬処理して種皮が裂開した種子と、無処理種子をそれぞれ6粒ずつ封入したSS-IIを、2006年11月28日に鳴門市堂浦の天然アマモ場近くの水深2mの海底に投入した。

試験は1区1㎡の2反復で行い、1区当たり20個の殻体を投入した。なお殻体を試験区内に正確に収めるため、投入作業は潜水して海中から行った。

3ヶ月後、潜水して生長した個体数を数えた。

## 実験5 種子の保存条件の検証

種子の好適保存条件を調べるため、以下の実験を行った。

供試したアマモ種子は、2007年6月29日に徳島県鳴門市堂浦の天然アマモ場から花穂を抜き取り、約1ヶ月間流水水槽内で養生させ、比重1.2の海水で選別を行い沈ん

だ種子を用いた。

試験区は、塩分濃度（3%，5%，7%）、温度（5℃，15℃，常温）、エアレーション（有，無）の3因子，8水準による組合せによる計18区とした。各塩分濃度の海水は、濾過海水（塩分濃度3%）に人工海水の素（SEA-WATER，ジェックス株式会社）を溶解して調製した。塩分濃度測定はシナール塩分濃度計（MERBABU TRADING社）を用いて行った。

各濃度の海水で満たした5,000mlのポリエチレン製円柱容器に種子を1,000粒ずつ浸漬し，各温度に設定したインキュベーター内で保存した。

保存開始後30日ごとに発芽種子および外観から判断可能な腐敗種子を取り除き換水し，90日後に残った種子を数えた。

また，種子の保存条件がその後の上胚軸出現率に及ぼす影響を調べるために，以下の実験を行った。

保存開始から90日後に各区から種子を100粒ずつ取り出し，プラントボックス（縦6cm，横6cm，高さ9cm，透明）に砂100mlと濾過海水200mlを入れたものに深さ1

cmになるよう播種し，15℃，2,000lx，8L16Dでインキュベートした。

播種から20日毎に4回，上胚軸を砂面上まで伸長させた個体数を数えた。

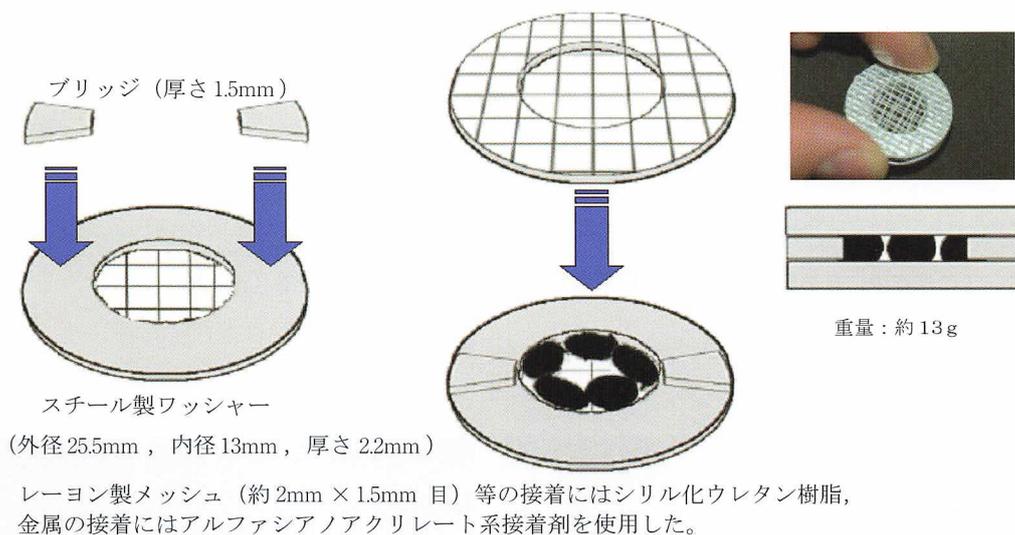
#### 実験6 殻体と種子好適保存条件を組み合わせた場合の有効性検証（海域実験）

実験5における結果をもとに，種子の好適保存条件と殻体法を組み合わせた場合の海域での有効性を調べるため，以下の実験を行った。

供試した種子の採種条件，換水法は実験5に準じた。

保存90日目の種子を用い，塩分濃度3%，水温5℃，エアレーション有で保存した種子と，塩分濃度7%，水温5℃，エアレーション有で保存した種子をSS-IIに6粒ずつ封入し，2007年11月30日に鳴門市堂浦の天然アマモ場近くの海底に投入した。

試験は1区1㎡の反復なしで行い，1区当たり40個の殻体を投入した。約120日後，潜水して生長した個体数を数えた。



第3図 SS-IIの構造

## 結 果

### 実験1 殻体法の実現性検証

上胚軸出現率（培土上に上胚軸を伸長した個体数／供試個体数）は約70%だった（第4図）。しかしSS-Iは種子の乾燥を防ぐために，種子を入れた後，速やかにガーゼを接着し水中に投入せざるを得ないため，作業性や接着強度の面で実用性が低かった。またガーゼが，上

胚軸に続いて伸長してきた子葉の伸長を阻害する現象が観察された。

### 実験2 殻体形状の改良

SS-I同様70%の個体が上胚軸および子葉を伸長させた。葉や根の発育も良好であり，作業性の面でもSS-Iよりも高い実用性が認められた（第5図）。

### 実験3 発芽促進処理時の塩分濃度の検証

発芽率は蒸留水に浸漬した場合が最も高く、希釈海水の塩分濃度が高くなるにつれて低下した。逆に、上胚軸出現率は蒸留水が最も低く、希釈海水が高くなった(第6図)。また上胚軸を伸ばさなかった種子は腐敗したものが多かった。

### 実験4 殻体法の有効性検証(海域実験)

海中投入後、SS-IIは海底の微妙な起伏にも対応し、その後速やかに砂中に埋没した(第7図)。

無処理区において11.7%の個体が生長した。しかし、低塩分発芽処理を行った区では全く生育しなかった。発芽した個体はその後も順調に生育し(第8図)、草丈1mに達する個体も確認できた。

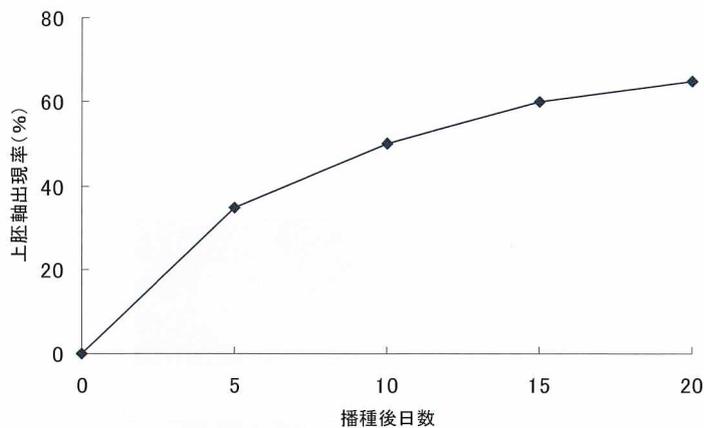
### 実験5 種子の保存条件の検証

種子保存率は常温、15℃の時、塩分濃度が高いほど高くなる傾向が見られた。また水温5℃では、どの塩分濃度でも高くなった。エアレーションによる差は見られなかった(第1表)。

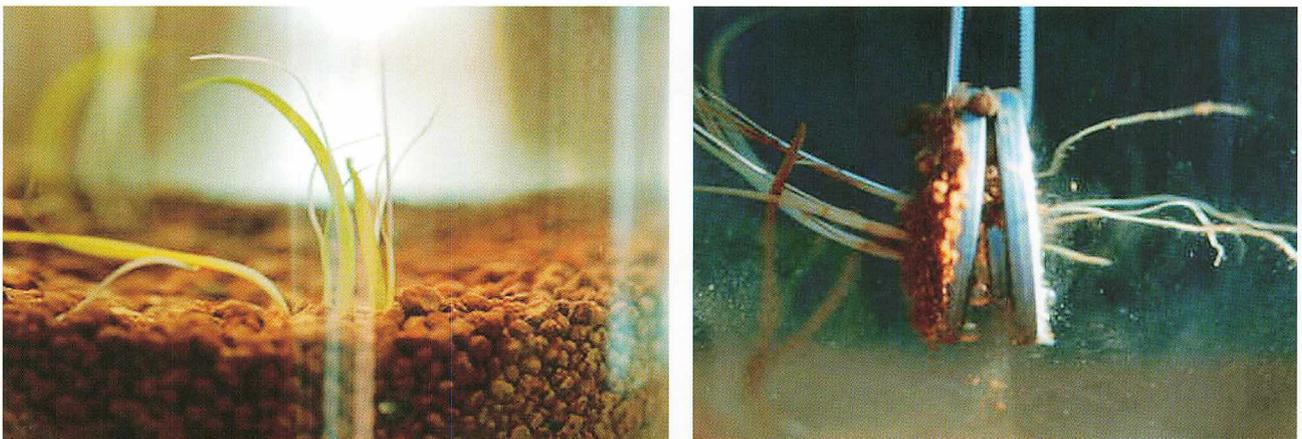
上胚軸出現率は水温5℃で高い傾向が見られたが、塩分濃度、エアレーションの有無による差は判然としなかった(第2表)。

### 実験6 殻体と種子好適保存条件を組み合わせた場合の有効性検証(海域実験)

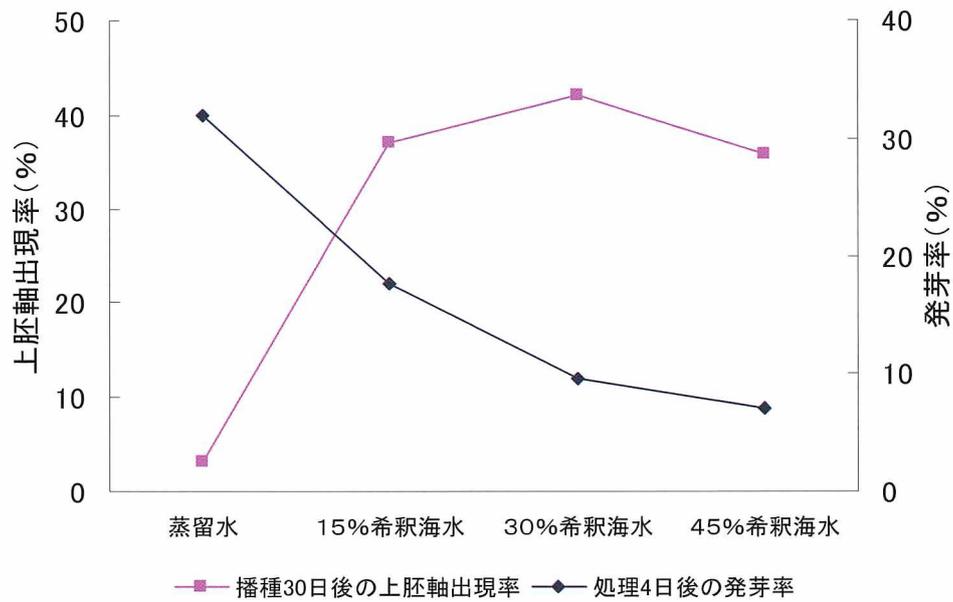
塩分濃度3%+水温5℃+エアレーション有の種子で16.7%、塩分濃度7%+水温5℃+エアレーション有の種子で13.3%の個体の生育が確認された。



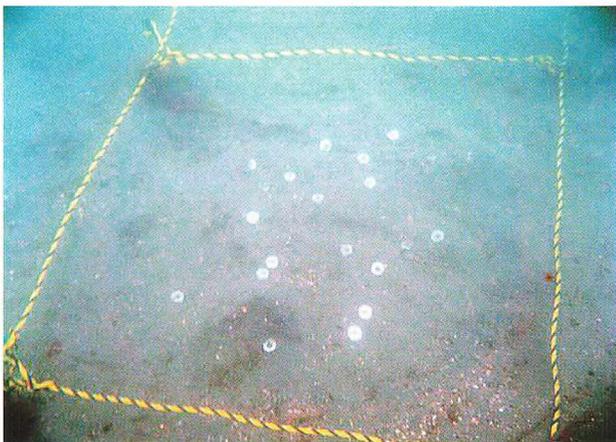
第4図 SS-Iに保存中に自然発芽したアマモ種子を封入した場合の上胚軸出現率(n=20)



第5図 室内実験におけるSS-II使用時の生育状況  
(左) 葉部の様子  
(右) 写真右側が根部。ピンセットで強く挟んだ為殻体が壊れている。



第6図 発芽処理時の塩分濃度が発芽率と上胚軸出現率に与える影響



第7図 海底に投入直後のSS-IIの様子



第8図 投入後7ヶ月目の様子(無処理区)

第1表 保存90日後の種子保存率

単位：(%)

		塩分濃度					
		3%		5%		7%	
エアレーションの有無		有	無	有	無	有	無
水温	常温	0.0	0.9	81.4	81.1	86.2	90.6
	15℃	55.5	72.9	91.5	89.0	92.6	91.4
	5℃	95.0	92.2	95.8	94.2	95.4	94.0

注) 数値は発芽、腐敗していない種子の割合

第2表 90日保存した種子の上胚軸出現率 (%)

基本統計 (全平均: 14.6±9.3)											
温度 (因子A) +			塩分濃度 (因子B)			エアレーション (因子C)					
5℃: 22.5±8.1	15℃: 11.7±5.9	常温: 9.7±9.0	3%: 15.5±10.9	5%: 13.7±6.5	7%: 14.7±11.5	有: 13.8±11.1	無: 15.4±7.8				
2要因の組合せによる平均値表											
温度・塩分濃度 (A×B)			塩分濃度・エアレーション (B×C)			温度・エアレーション (A×C)					
	5℃	15℃	常温		3%	5%	7%		5℃	15℃	常温
3%	23.5±10.6	11.5±4.9	11.5±16.3	エア有	13.0±16.1	13.0±8.9	15.3±12.1	エア有	26.7±5.9	7.3±4.0	7.3±8.1
5%	15.5±6.4	11.5±12.0	14.0±3.6	エア無	18.0±4.4	14.3±4.9	14.0±13.5	エア無	18.3±8.7	16.0±3.6	12.0±11.0
7%	28.5±0.7	12.0±1.4	3.5±3.5								

有意差: + (p<0.2)

## 考 察

アマモ場を回復するために日本各地で様々な取り組みが行われているが、現在主流となっているのは陸上の水槽等で育苗を行い、ダイバーによる水中作業で海底に移植する方法である。他にも種子をマット状の物体に固定するなどして海底に敷設する方法も実用化されている<sup>1)4)</sup>。しかしほとんどの方法でダイバーによる作業が必要であり、誰もが気軽に参加できない。また、大面積を移植または敷設するには多大な労力と時間が必要であるという問題がある。一方、海上から種子を直接投入する直播法は最も簡便な手法であるが、波浪のため目的とする場所に種子が定着し難いという問題があった。また発芽には適度な波浪による海底への埋没が必要であるため、静穏すぎる場所にも適用しにくい。

今回開発を行った殻体法は直播法ほどの簡便性は無いが、波浪の影響を受けにくく、また埋没性にも優れていることから、従来の直播法の欠点を十分カバーできる手法である。

幡手<sup>2)</sup>は、自然海域で囲い網の中に直播した場合の発芽率は1%程度であったと述べているが、殻体法を用いた場合では約16%の個体が生長していることから、今後の改良次第でアマモ場造成の有力な手法となりうると考えられる。また殻体法は何らかの構造体の敷設が必要な方法と異なり、海底の起伏に柔軟に対応できることも大きな特徴である。さらにピンポイントでの造成が可能であることと、既存のアマモ場に与えるダメージが少ないという特性から、台風などで部分的に流失した天然アマモ場の修復や、増殖を加速させたい場合において特に有効な手法であると考えられる。

現在アマモ場造成は、NPOによる活動や学校授業で

の取り組みが主流となっている。そのため殻体は特別な技術無しで作成できる構造である事と、材料にはなるべく安価な既製品を流用する事を心掛けて開発を行った。

今回最初に製作したSS-Iは、スチール製の6角ナット開口部に種子を入れ、医療用ガーゼを接着して封入するという構造であった。しかしナットは厚みがありすぎ、内部空間も狭小なため、アマモの生長を阻害する恐れがあった。また種子を封入してからガーゼを接着する必要があるため、接着剤の硬化に時間が必要となり、その間の種子の乾燥対策が非常に煩わしかった。

次に製作したSS-IIは、台所用ふきんに使われるレーヨンメッシュ(約2mm×1.5mm目)をあらかじめ貼り付けた2枚のワッシャーを、種子封入時に瞬間接着剤で貼り合わせる構造とした。またワッシャー間にブリッジ構造を持たせた。これは殻体の埋没性を高め、同時に殻体内への砂の侵入を容易にするための工夫であり、さらに殻体が不要になってからの崩壊性を高めるねらいがあった。なおメッシュの素材を変更したのは、医療用ガーゼが殻体内部への砂の侵入を妨げたり、子葉の伸長を阻害している例が室内実験で度々観察されたからである。医療用ガーゼは他のアマモ場造成法でもよく使われるが、あまり適した資材とは言えないだろう。一方、今回用いたレーヨンメッシュは、メッシュのサイズが医療用ガーゼ(約1mm四方)よりも大きく、生育を妨げることは無かった。またレーヨンは水に濡れると強度が大きく落ちる性質を持ち、さらに成分が木綿と同じセルロースであり、微生物分解を受けて自然に消滅するという点からも殻体の素材として適していた。

SS-IIはまだ試作の域を出ないが、パーツさえ用意しておけば小学生でも製作できるレベルの技術である。将来的には接着剤を使用せずワンタッチで完成する殻体

が開発できれば、一層誰にでも取り組める技術になるはずである。なお本研究で使用したSS-IIには前述の理由からブリッジ構造を持たせたが、作成の手間を考えるとブリッジ無しでもいいのかも知れない。いずれにせよ殻体の形状には改良の余地が多分に残されている。

次に殻体法と従来法のコストを簡単に比較してみた。ここでは2001年に徳島県立水産研究所が発行した小冊子、「播種袋とガーゼ製マットおよび小石を用いた造成方法の紹介」の中にある、コストに関する記述と比較する。従来法では100株/m<sup>2</sup>のアマモ場を造成する場合、種子を封入した袋などの重しとして鉄筋製フレーム（直径20~29mmの異径鉄筋製1m四方、重量20kg）を用いるが、これだけで5,000~6,000円は必要となる。これに対し殻体法では、1殻体に10粒の種子を入れ、発芽率が15%だったと仮定すると、100株/m<sup>2</sup>のアマモ場を作るのに必要な殻体数は67個となる。実際はアマモが分枝するために、必要な殻体の量はもっと少なく済むはずであるが、ここでは考慮しないことにする。SS-IIが1個約20円、重量約13gだから必要な費用は約1,340円、鉄の重量は約871gとなる。この部分だけを比較しても費用面で従来法の22%程度であり、また使用する鉄の重量は4.4%程度となる。従来法ではさらに多くの部材と手間を必要とする上に、ダイバー作業という人件費も必要となる。SS-IIの製作に時間と手間が必要なことを差し引いても、殻体法は十分に低コストで環境に与える影響も少ない手法と言えるだろう。

直播法では種子の採取後、播種までに数ヶ月の期間を要し、その間の発芽・腐敗による種子の損失が大きいから、何らかの保存処理が必要となる。また発芽率を向上させるために、播種前に何らかの処理を施すことも有効であると考えられた。

今までに、発芽促進には低塩分処理が有効であるとする報告<sup>5)</sup>や、発芽制御に低温処理が有効であることを示唆する報告<sup>3) 6)</sup>がなされていることから、本研究ではまず低塩分処理による発芽促進を殻体法に応用するべく試験を行ったのだが、期待に反して全く適用できないという結果に終わった。

この原因はいくつか考えられる。1つは低塩分処理が海生植物であるアマモに大きなダメージを与えてしまう可能性があるということ、もう1つは、低塩分処理で発芽と見なした「種皮が裂開した状態」は、実は発芽ではなく「吸水した種子が膨張することで種皮が裂開した状態」であり、このため種子内部が微生物による浸食を受けてしまった可能性があるということである。

そこで低塩分処理による発芽促進を殻体法に用いるの

は困難と考え、いかに健全に種子を保ち、上胚軸出現率を高めるかという観点から種子保存条件の検討を進めた。

その結果、水温5℃で保存した場合の種子保存率が、塩分濃度に依らず良好であることが分かった。同様に上胚軸出現率も、5℃で保存した場合に塩分濃度に関わらず高くなる傾向が見られ、その後の現地海域における実験においても16%の個体が生長するという、良好な結果が得られた。

これらのことから、殻体法には5℃で保存した種子を、発芽促進処理無しでそのまま使用するのが望ましいと思われる。

前述の経緯から、殻体法は発芽促進処理を適用しない方向で研究を進めたのだが、奇しくもその事はアマモ場造成において重要な点について再認識させられるきっかけとなった。すなわちアマモ場造成が自然状態の回復を第一義とするならば、極力人為的要因の介入を避ける事が望ましいということである。発芽条件や群落ごとの遺伝的差異などについて現時点で不明な点が多いアマモに対し、種子の選抜や発芽処理等の選択圧をかけることが将来遺伝的攪乱を引き起こす可能性は否定できない。対象海域周辺の天然アマモ場から種子を採取することは基本であるが、さらに、たとえ発芽が不揃いであったり生育したアマモが弱勢個体であっても、特別な処理をせずそのままリリースする姿勢が必要ではないだろうか、ということである。アマモ場造成は、人工の圃場において作物を栽培するのとは根本的に異なる性格を持っている事を忘れてはならないだろう。

なお、殻体法使用時の留意点として最も重要なのは造成ポイントの選定であるが、これはすべてのアマモ場造成法に共通する事柄でもある。永続的なアマモ場を造成しようとするならば、適当な水深、流速、底質といった基本条件を備えた場所が必要となる。しかしそのような好適環境が開発によって失われたことで今日の惨状を招いているのだから、造成ポイントの選定は困難を極める。しかし不適地に植物が定着しないのは陸上でも海底でも同じであるから、絶対に無視できない要因である。殻体法の場合、例えば水深、底質は条件を満たしているが、波浪の関係から種子が供給されない、または静穏すぎて種子が定着できない、といった理由でアマモ場が形成されない場所に用いることが有効と思われる。

将来的には波浪のデータを基にして、どの地点にアマモ場を造成すれば効率的に周囲に拡大していくのか、といった研究と組み合わせることで、より一層有効な手段になると思われる。

## 摘 要

簡便なアマモ場造成技術を開発するため、播種方法と種子の保存条件の検討を行った。

- 1 発芽促進処理として、浸漬する塩分濃度が低くなるほど発芽率は高くなるが、播種後の上胚軸出現率（培土上に上胚軸を伸長した個体数／供試個体数）は低くなった。
- 2 水温5℃で保存することで保存率が高くなり、その後の上胚軸出現率も高くなる傾向にあった。
- 3 アマモ種子を封入殻体と称する小型容器に封じて海底に投入した場合、16.7%の個体が生長した。

以上のことから、低温で保存した種子を小型容器に封じて海底に投入する封入殻体法は、実用性が高いと思われる。

## 引用文献

- 1) 團昭紀・和泉安洋・森啓介・広澤晃・寺脇利信 (1998) : 底質安定化マットの播種によるアマモの繁茂. 水産工学35(1) : 37~42.
- 2) 幡手格一 (1981) : 藻場・海中林の造成. アマモ場. 水産学シリーズ38藻場・海中林, 恒星社厚生閣 (東京) : 93~115.
- 3) 広瀬和久・辻ヶ堂諦・水野裕輔 (2003) : アマモ場造

成技術開発(1)アマモ育苗技術の開発. 三重県科学技術振興センター共同研究事業成果報告書 : 60~64.

- 4) 和泉安洋・広澤晃・團昭紀・森口朗彦・寺脇利信 (2002) : 底質安定化マットによる4年間のアマモの生長と成熟. 水産工学, 39(2) : 139~143.
- 5) 山本克則・小河久朗・難波信由・林文慶・越川義功・田中昌宏 (2005) : 遺伝的多様性の保護を目指したアマモ種苗生産技術の開発(3) - 早期種子発芽法の検討. 日本水産学会大会講演要旨集, 2004 : 269.
- 6) 山本克則・小河久朗・吉川東水・難波信由 (2006) : アマモ種子における塩分および温度制御における発芽促進効果. 水産増殖, 54(3) : 347~351.

## Summary

Simple method to create the eelgrass, *Zostera marina* L., bed using small capsule was developed, namely eelgrass seeds were packed into a small capsule (named as "seed shell") and cast in sea-water. The results showed that the plant growth rate was 16.7%. In addition, effects of seeds storage on germination and growth were investigated. The suitable conditions were as follows : lower salinity in pre-treatment of seeds raised the germination rate but depressed the plant growth after seeding, lower temperature in storage of seeds raised survival rate and tended to improve plant growth.

徳島農研報 No.6  
9～16 2011

## 浄水に含まれる凝集剤由来アルミニウムが 土壌、作物体に及ぼす影響

黒田康文

Effect of aluminium from flocculant in sludges by water purification on soil, rice plant and spinach

Yasufumi KURODA

### 要 約

黒田康文(2010):浄水に含まれる凝集剤由来アルミニウムが土壌、作物体に及ぼす影響。徳島農研報(6):9～16

浄水に含まれる凝集剤に由来するアルミニウムの化学的特性を明らかにするとともに、灰色低地水田土への浄水の客土処理による土壌、水稻及びホウレンソウに及ぼすアルミニウムの影響を調査し、浄水の客土利用技術の実用性について検討した。

浄水原土は全アルミニウムやpH4の強酸性で抽出される可溶性アルミニウムを多く含有するが、作物に吸収されやすい置換性アルミニウムや水溶性アルミニウムはごくわずかであった。

灰色低地水田土に浄水を3, 5, 10cm客土して水稻、ホウレンソウを栽培すると、慣行栽培と同等以上の生育、収量が得られたが、客土量が多くなるほど土壌中の可給態リン酸や可給態ケイ酸含量が低下した。

水稻ではアルミニウムの大部分が根部に集積し、もみへの集積量は1%程度であったが、ホウレンソウでは半分以上が葉部へ集積した。

凝集剤由来のアルミニウムの直接的、間接的影響から判断して、浄水の客土量は3cmが適当であり、育苗培土として利用した場合、水稻で270作、露地野菜で250～300作の栽培に相当すると試算された。

キーワード: 浄水, アルミニウム, 凝集剤, PAC, 客土

### はじめに

河川水を浄水場で浄化して飲料水や工業用水として家庭や工場へ供給する際は、河川水原水に浮遊している粘土などの微粒子や藻類などの有機物を凝集剤で沈澱させている。凝集剤には、鉄やアルミニウムの硫酸化合物や塩素化合物である無機系凝集剤やアニオン系やカチオン系の高分子凝集剤があるが、凝集効果や中和剤の添加が

不要などの使用時の利便性からポリ塩化アルミニウム(PAC)が多く用いられている<sup>1)</sup>。

これまでPACによって処理された粘質の凝集沈殿物(以下、浄水)は産業廃棄物として埋立処理されてきた<sup>1)</sup>が、近年は水稻、野菜などの育苗用培土や花き類の鉢物栽培用培土としての利用を目的とした栽培試験が実施され<sup>8, 11, 17)</sup>、農業分野での利用が増加している。しかし、浄水で育苗した苗を本圃で連年栽培し続けると、

作物に有害なアルミニウムの本圃土壌への集積が進み、近い将来には作物や土壌への悪影響が懸念される。

そこで、浄水土中の凝集剤に由来するアルミニウムの化学的特性を明らかにするとともに、本圃土壌への浄水土の客土処理によるアルミニウムの土壌、作物体への影響を調査し、浄水土の客土利用技術の実用性を検討した。

なお本研究は徳島県企業局からの委託研究「吉野川北岸工業用水道未利用資源有効活用等研究」の一環で実施したものである。

## 試験方法

### 1 浄水土の化学性調査

調査試料は徳島県企業局の吉野川北岸工業用水浄水場で浄水処理した後に産出される浄水土を用いた。

浄水土に含まれるアルミニウムの化学的特性として、形態別アルミニウム含量、土壌pHの違いによるアルミニウム溶出量並びに一般化学性を調査した。

浄水土原土は浄水処理後に厚さ約5mmの板状にして脱水処理してから細かく砕くため、第1図のように縦、横約1～3cmの薄片状の形態を呈している。通常土壌試料は、前処理として乳鉢中で乳棒を用いて粉碎し、2mm目のフルイを全通させて各分析に供試するが、浄水土は乳棒で粉碎できないほど強固に凝集していたので、浄水土原土を振動式粉碎機（株）CMT製 VIBRATING SAMPLE MILL TI-300）で微粉碎した試料（以下、微粉碎試料）を用いた。



第1図 浄水土原土

形態別アルミニウム含量は、全アルミニウム、可溶性アルミニウム、置換性アルミニウム、水溶性アルミニウムを抽出し<sup>3)</sup>、抽出ろ液を誘導結合プラズマ型発光分析装置（島津製ICPS-1000Ⅲ）で測定した。ただし、全アルミニウムの抽出は過塩素酸分解法<sup>13)</sup>を用いた。

土壌pHの違いによるアルミニウム溶出量の測定は以下の方法で実施した。水900mLに特級酢酸アンモニウム77gを溶かして、酢酸及びアンモニア水を用いてpHメーターでpH8, 7, 6, 5, 4, 3に調整（pH4及びpH3の調整には塩酸を用いた）した後、全量を1,000mLとした抽出液を調整した。浄水土試料は原土のままの試料（以下原土試料）と微粉碎試料の両試料を供試し、各々の試料10gに各pHに調整した抽出液100mLを加えて毎分120回の往復振とう器で1時間振とう後ろ過し、ろ液中のアルミニウム含量を誘導結合プラズマ型発光分析装置で測定した。

一般化学性の分析は微粉碎試料を用いて常法<sup>2)</sup>により測定した。

### 2 栽培試験

農業研究所内で水稻、野菜を栽培している灰色低地水田土（土性：シルト質埴壤土）の表層20cmまでの作土をFRP製の大型ポット（縦1.65×横1.05×深さ0.80m）に充填し、これに浄水土原土を3, 5, 10cmの厚さに客土した処理区と100%浄水土を充填した浄水土区、灰色低地水田土のみを充填した慣行区の合計5処理区を3反復設けた。

全処理区とも土壌の総充填量を深さ60cmに統一し、客土処理区は各厚さに浄水土を充填した後、深さ20cmまで耕うんして灰色低地水田土とよく混和した。

水稻（品種：コシヒカリ）の施肥は各処理区共通で2008年5月7日にケイ酸カルシウム肥料を120g/m<sup>2</sup>、水稻専用基肥一発肥料（18-14-17）を窒素が5.0g/m<sup>2</sup>となるように施用し、追肥は施用しなかった。5月12日に株間15cm、条間25cm（1ポット当たり40株）で移植し、9月2日（浄水土区は9月12日）に収穫した。

ホウレンソウ（品種：タキシード7）の施肥は10月7日に各処理区共通で苦土入り炭酸カルシウム肥料を120g/m<sup>2</sup>、野菜専用化成肥料（15-15-15）を窒素が15g/m<sup>2</sup>となるように施用し、追肥は施用しなかった。基肥施用後直ちに幅80cmの畦を立てて4条播きで播種し、2009年1月15日に収穫した。

栽培期間中の水稻、ホウレンソウの生育、収量、収穫時の土壌の形態別アルミニウム含量と化学性並びに作物体の部位別アルミニウムとその他の成分含量を調査した。

収穫時の土壌中の形態別アルミニウム及び化学性は浄水土の化学性調査と同様の方法で微粉碎試料で実施した。

作物体中のアルミニウム及びその他の成分含量は以下

の方法で測定した。水稻は収穫後にわら、もみ、根部に分けて、自然乾燥させた後に振動式粉碎機で微粉碎した。ホウレンソウは収穫後に葉部と根部に分けて80℃の通風乾燥機で48時間乾燥させた後、振動式粉碎機で微粉碎した。これらの試料を過塩素酸分解法で抽出処理した後、水で100mLに定容してろ過し、アルミニウムは誘導結合プラズマ型発光分析装置で、リンはバナドモリブデン法で、その他の金属類は適宜希釈して原子吸光度計（日立製 Z-5300）で測定した。窒素、炭素は微粉碎試料をそのまま乾式燃焼法（住化分析センター製 NC-90A）で測定した。

## 試験結果

### 1 浄水の化学性調査

浄水と原土の化学性調査結果を第1表に示す。

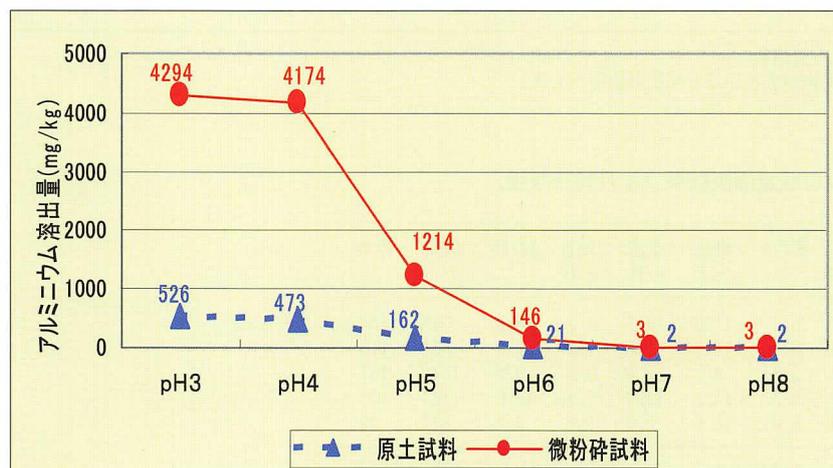
全アルミニウムは57,700mg/kg、pH4の1M酢酸ナトリウムで溶出される可溶性アルミニウムは14,750mg/kg含まれていたが、pH7の1M塩化カリウムで溶出される置換性アルミニウムや水溶性アルミニウムなどの作物に吸収されやすい形態のアルミニウムはいずれも1mg/kg未満であった。

土壤に施用されたリン酸を不溶化させる程度を表すリン酸吸収係数は23.7g/kgであった。

浄水と土中のアルミニウムの溶出試験結果を第2図に示す。

第1表 浄水と原土の化学性調査結果

含水率 %	EC 1:5 dS/m	pH(H <sub>2</sub> O) 1:5	pH(KCl) 2:5	炭素 %	窒素 %	可給態 リン酸 mg/100g	交 換 性			陽イオン 交換容量 cmol/kg	塩 基 飽 和 度 %	リン酸 吸収係数 g/kg	全 アルミニウム mg/kg	可溶性 アルミニウム mg/kg	置換性 アルミニウム mg/kg	水溶性 アルミニウム mg/kg
							CaO mg/100g	MgO mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100g							
45.3	0.19	6.9	6.6	3.37	0.34	1.6	137	8	14	8.8	66.2	23.7	57,700	14,750	0.6	0.2



第2図 pHの違いによる浄水からのアルミニウム溶出量

原土試料、微粉碎試料ともpHが6以下になると溶出量が急増し、pH3の強酸性で最大となったが、溶出量は微粉碎試料が原土試料よりも約7～8倍多くなった。両試料ともpH7, 8での中性、弱アルカリ性での溶出量はわずかであった。

### 2 栽培試験

水稻及びホウレンソウの生育、収量調査結果を第2表、第3表に示す。

水稻は、初期生育に大きな差はみられなかったが、移植後3週間目頃から浄水土区で生育遅延がみられ、7月2日の調査では葉色は濃いものの、草丈が低く、分けつ数も慣行区の半分以下となった。

浄水土客土区はいずれも慣行区と同等以上の生育を示した。

出穂期は慣行区と浄水土客土区は同じ7月24日であったが、浄水土区は5日遅れの7月29日であった。

登熟期（収穫期）は慣行区と浄水土客土区は同じ9月2日であったが、浄水土区は10日遅れの9月12日となり、生育が進むにつれて生育遅延の程度が大きくなった。

また、浄水土客土区は慣行区よりも倒伏の程度が大きかったが、浄水土区は倒伏しなかった。

稈長、穂長は客土量が多いほど長くなったが、穂数は3cm客土区は慣行区と同程度で、客土量が多くなると減少した。

玄米重は慣行区を100(454g/m<sup>2</sup>)として10cm客土区110 > 3cm客土区98 > 5cm客土区96 > 浄水土区67となり、浄水土客土区は慣行区と同程度の収量を得た。

水稻体の全重(わら+もみ+根の合計重量)はすべての浄水土客土区で慣行区を上回り、特に根重は客土量が多いほど重くなった。

浄水土区のわら重、もみ重等の地上部の生育量は慣行区や浄水土客土区よりも劣った。

ハウレンソウは、播種から発芽時までの初期生育はいずれの処理区も大きな差はみられなかった。

発芽時以降、収穫時まで浄水土客土区は慣行区と同等の生育を示したが、浄水土区はやや劣った。

1月15日に全処理区を一斉に収穫した。

収量(葉重)は慣行区を100(918g/m<sup>2</sup>)として5cm客土区167 > 10cm客土区129 > 3cm客土区115 > 浄水土区90となり、浄水土客土区は慣行区以上の収量を得た。

1株当たりの葉重は3cm客土区が最も重く、客土量が多くなると軽くなった。

浄水土区の葉部の生育量は慣行区よりも劣ったが、水稻と同様に根重は最も重くなった。

浄水土客土区の外観品質は慣行区と同等であったが、浄水土区は葉部がやや縮れ、葉色も薄く、外観品質は劣った。

水稻、ハウレンソウ収穫時の土壌化学性調査結果を第

4表、第5表に示す。

炭素や窒素含量は客土量が多いほど多くなった。逆に可給態リン酸や可給態ケイ酸含量は客土量が多いほど少なくなり、リン酸吸収係数は浄水土の客土量が多いほど高くなった。

ハウレンソウ収穫後の土壌中の形態別アルミニウム含量をみると、全アルミニウムと可溶性アルミニウムは客土量が多いほど多くなった。

作物に吸収されやすい置換性アルミニウムは慣行区と浄水土客土区で大きな差はみられなかった。

作物に速やかに吸収される水溶性アルミニウムは慣行区と浄水土区では差はなかったが、浄水土客土区は慣行区よりも多かった。

水稻、ハウレンソウの部位別アルミニウム含量を第6表に示す。

水稻、ハウレンソウとも地上部に比べて根部のアルミニウム含量が極めて多く、浄水土の客土量が多いほどアルミニウム含量も多くなった。

各部位のアルミニウム含量と収穫量から水稻とハウレンソウのアルミニウム集積量を試算した結果を第7表に示す。

水稻は大部分が根部に集積し、可食部であるもみへの吸収割合は、いずれの処理区も全集積量の1%以下であった。

第2表 水稻の生育・収量調査結果

No.	試験区名	7月2日調査			出穂期 月.日	登熟期 月.日	9月2日(5区は9月12日)調査										指数
		草丈 cm	分けつ数 本/株	葉色*1			稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/株	根長 cm	倒伏の 程度*2	わら重 g/m <sup>2</sup>	もみ重 g/m <sup>2</sup>	根重 g/m <sup>2</sup>	全重 g/m <sup>2</sup>	玄米重 g/m <sup>2</sup>	
1	慣行区	61.2	22.5	32.5	7.24	9.2	81.2	17.6	14.9	20.2	1	687	592	37	1316	454	100
2	3cm客土区	63.1	27.8	33.5	7.24	9.2	81.0	17.0	15.0	19.3	3	788	575	37	1400	445	98
3	5cm客土区	63.6	27.6	32.2	7.24	9.2	81.7	17.6	13.5	19.7	3	745	565	45	1355	435	96
4	10cm客土区	63.4	21.7	34.1	7.24	9.2	82.0	18.7	12.5	27.8	2	677	650	60	1387	501	110
5	浄水土区	42.4	8.9	35.8	7.29	9.12	62.8	17.9	10.1	41.9	0	391	398	74	863	306	67

\*1 葉緑素計SPAD-502による計測値

\*2 0~5の5段階で評価。数値が大きいくほど倒伏の程度が大きい

第3表 ハウレンソウの収量調査結果(1月15日収穫)

No.	試験区名	葉長 cm/株	葉幅 cm/株	葉色*	根長 cm/株	葉重 g/株	根重 g/株	藪/穂	収量 g/m <sup>2</sup>	指数
1	慣行区	9.9	6.7	5.7	11.6	16.7	0.9	18.6	918	100
2	3cm客土区	10.3	6.6	5.9	12.2	17.8	1.0	17.8	1051	115
3	5cm客土区	10.1	6.6	5.6	8.7	15.8	0.8	19.8	1536	167
4	10cm客土区	9.0	6.0	5.5	13.2	14.0	0.9	15.6	1184	129
5	浄水土区	6.2	3.9	5.0	16.9	6.0	1.9	3.2	827	90

\* 野菜用カラースケールによる読取値

第4表 水稻収穫後の土壌調査結果（9月2日採土）

No. 試験区名	EC 1:5 dS/m	pH(H <sub>2</sub> O) 1:5	pH(KCl) 2:5	炭素 %	窒素 %	可給態 リン酸 mg/100g	可給態 ケイ酸 mg/100g	交 換 性		
								CaO mg/100g	MgO mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100g
1 慣行区	0.12	6.6	5.9	1.43	0.16	37	14	191	51	7
2 3cm客土区	0.19	6.7	6.2	1.43	0.18	32	6	176	48	7
3 5cm客土区	0.21	6.7	6.2	1.49	0.17	21	6	170	45	11
4 10cm客土区	0.15	6.7	6.1	1.97	0.21	13	5	155	36	16
5 浄水士区	0.23	6.5	6.3	2.77	0.30	3	3	106	14	29

第5表 ホウレンソウ収穫後の土壌調査結果（1月15日採土）

No. 試験区名	EC 1:5 dS/m	pH(H <sub>2</sub> O) 1:5	pH(KCl) 2:5	炭素 %	窒素 %	可給態 リン酸 mg/100g	交 換 性			リン酸 吸収係数 g/kg	全 アルミニウム mg/kg	可溶性 アルミニウム mg/kg	交換性 アルミニウム mg/kg	水溶性 アルミニウム mg/kg
							CaO mg/100g	MgO mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100g					
1 慣行区	0.12	6.6	6.0	1.48	0.16	34	229	41	6	5.8	23,800	155	3.2	1.2
2 3cm客土区	0.16	6.8	6.3	1.44	0.15	29	215	39	10	7.6	29,500	1,300	2.9	10.7
3 5cm客土区	0.22	6.8	6.4	1.50	0.16	26	231	42	10	10.1	32,800	1,560	3.0	9.4
4 10cm客土区	0.17	6.7	6.4	1.96	0.21	14	203	26	13	13.0	39,200	4,430	2.8	10.3
5 浄水士区	0.24	6.6	6.5	2.67	0.28	4	133	14	16	23.0	30,700	10,950	2.9	1.2

第6表 作物体中の部位別アルミニウム含量（乾物当たり）

No. 試験区名	水 稻			ホウレンソウ	
	わら mg/kg	もみ mg/kg	根部 mg/kg	葉部 mg/kg	根部 mg/kg
1 慣行区	134	10	12,000	177	660
2 3cm客土区	239	6	15,000	238	1,440
3 5cm客土区	105	12	24,600	191	1,490
4 10cm客土区	224	5	21,900	183	2,050
5 浄水士区	226	6	24,300	230	12,700

第7表 作物体中の部位別アルミニウム集積量（生鮮物当たり）

No. 試験区名	水 稻				ホウレンソウ		
	わら mg/m <sup>2</sup>	もみ mg/m <sup>2</sup>	根部 mg/m <sup>2</sup>	合計 mg/m <sup>2</sup>	葉部 mg/m <sup>2</sup>	根部 mg/m <sup>2</sup>	合計 mg/m <sup>2</sup>
1 慣行区	92	6	449	547	27	6	32
2 3cm客土区	188	4	561	753	41	18	59
3 5cm客土区	78	7	1,103	1,188	48	23	70
4 10cm客土区	151	3	1,315	1,469	33	27	60
5 浄水士区	88	3	1,796	1,887	34	320	354

第8表 作物体中の養分集積量（生鮮物当たり）

No. 試験区名	水 稻						ホウレンソウ				
	窒素 g/m <sup>2</sup>	リン g/m <sup>2</sup>	カリウム g/m <sup>2</sup>	カルシウム g/m <sup>2</sup>	マグネシウム g/m <sup>2</sup>	ケイ酸 g/m <sup>2</sup>	窒素 g/m <sup>2</sup>	リン g/m <sup>2</sup>	カリウム g/m <sup>2</sup>	カルシウム g/m <sup>2</sup>	マグネシウム g/m <sup>2</sup>
1 慣行区	8.6	2.2	8.6	3.9	1.9	103.2	4.5	0.8	2.7	0.5	1.0
2 3cm客土区	8.5	2.6	9.4	2.1	2.0	96.8	6.3	0.9	2.8	0.5	1.1
3 5cm客土区	8.1	2.2	9.5	2.5	1.9	99.8	6.9	1.4	5.2	0.7	1.6
4 10cm客土区	8.9	1.8	7.6	2.8	1.6	88.3	7.0	0.9	3.3	0.8	1.3
5 浄水士区	7.4	0.7	6.1	1.5	1.1	40.7	4.9	0.5	3.0	1.3	1.0

ホウレンソウは、浄水士区では全集積量の90%が根部に集積していたが、浄水士客土区は葉部の集積量が全集積量の半分以上を占めた。

水稻及びホウレンソウの養分集積量を第8表に示す。

水稻では慣行区と比較して浄水士客土区でケイ酸の集

積量が少なく、10cm客土区や浄水士区ではリンの集積量も少なかった。

ホウレンソウでも浄水士区はリンの集積量が慣行区よりも少なかった。

## 考 察

火山灰土壌のように元来土壌に含まれているアルミニウムはpH 4.5以下で土壌中への溶出量が増えて作物の生育障害をもたらす<sup>18)</sup>、特に根の発生と伸長が阻害される<sup>14)</sup>。

凝集剤であるPACに由来するアルミニウムを含む浄水を客土して水稻、ホウレンソウを栽培した結果、ホウレンソウでは根長、根量とも顕著な生育阻害はみられず、水稻では慣行区よりも根長や根重が増加する傾向がみられた。

特に水稻の場合、全アルミニウム集積量の75~95%が根部に集中していたが、顕著な根部の伸長阻害は認められず、浄水土客土区のわらやもみは慣行区と同等以上の生育量が確保できた。

顧ら<sup>5)</sup>は水耕栽培において塩化アルミニウムを添加すると24時間後にイネの根の伸長阻害が認められるが、ケイ酸ナトリウムの添加により障害が軽減されることを明らかにした。これはアルミニウムとケイ酸が反応して毒性の低いケイ酸アルミニウムとなって根から吸収されたり、根の表面に沈積して根の細胞構造やイネの代謝生理に及ぼす影響を小さくしたためと指摘している。

今回の栽培試験でも水稻の生育に重要なケイ酸の補給資材としてケイ酸カルシウム肥料を基肥時に施用しており、これが浄水土中のPACと反応してケイ酸アルミニウムが生成されたために土壌中の可給態ケイ酸含量は減少したものの、水稻根部への直接的なアルミニウム毒性を低下させ、慣行区と同等の収量を確保した可能性がある。

一方、ホウレンソウ栽培時には新たにケイ酸資材は施用しなかった。このため、水稻栽培時に施用したケイ酸カルシウムと反応しきれなかった可給態のアルミニウムがそのままホウレンソウ根部に吸収され、地上部へ移動した結果、葉部にアルミニウムが多く集積した可能性が考えられる。

ケイ酸アルミニウムは強酸でも分解されにくく、わずかにフッ化水素酸と塩酸の混合物と反応する安定した化合物である<sup>7)</sup>ため、ホウレンソウ栽培時に土壌中に残存していた可給態アルミニウムは、アルミニウムイオン( $Al^{3+}$ )や塩基性アルミニウムイオン( $Al(OH)_2^+$ )、多核アルミニウムイオン( $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$ )<sup>9, 10, 15)</sup>の形態と考えられる。

浄水土原土中の形態別アルミニウム含量は、作物に吸収されやすい水溶性や置換性アルミニウムはいずれも1 mg/kg未満であったが、pH 4で溶出する可溶性アルミ

ニウムを約15,000mg/kg含有していた。

原土試料の溶出試験の結果、pH 7で2 mg/kgであったが、pH 6で21mg/kgの溶出量がみられ、さらにpHが低くなるほど溶出量が増加したが、凝集剤に由来するアルミニウムは作物生育の好適pHであるpH 6程度の弱酸性でもリン酸やケイ酸を不溶化する危険性がある。

微粉碎試料の溶出試験結果では、pH 7では3 mg/kgと原土試料と大差はなかったが、pH 6で146mg/kgとなり、原土試料と同様にpHが低くなるほど溶出量が増加する傾向がみられたが、pH 6での溶出量が原土試料と比較して約7倍に増加したことから、微粉碎試料を客土処理に利用するとリン酸、ケイ酸を不溶化する危険性はさらに高まると考えられる。

日本国内の火山灰土のリン酸吸収係数は20g/kg程度である<sup>20)</sup>が、浄水土原土のリン酸吸収係数は23.7g/kgであったことから、リン酸を不溶化させる能力が極めて高いといえる。ホウレンソウ収穫後土壌のリン酸吸収係数も浄水土の客土量が多いほど高くなる傾向がみられたことから、客土量は少ない方が望ましい。

リン酸吸収係数の高い農耕地土壌で作物を栽培する場合にはリン酸肥料の増肥が必要不可欠であるが、徳島県の農耕地土壌は大部分が火山灰を含まない鉱質土壌である<sup>12)</sup>ため、そのリン酸吸収係数は7g/kg前後と低く、県内の農業生産者はリン酸の増肥を考慮する必要はほとんどない。

浄水土の客土によって増収効果が認められるが、リン酸吸収係数の上昇によりリン酸肥料を増肥する必要が生じることは、昨今の肥料価格の高騰を考えると現場への普及性は望めない。

アルミニウムの直接的な影響である人体に対する危険性の程度も現場への普及性を判断する上で重要な要素となる。アルミニウムはヒトに対する必須性は認められていない。逆にヒトに対する障害として、アルミニウムを含有している制酸剤を長期に渡って多量に服用すると骨にアルミニウムが蓄積し、骨軟化症が発現することが知られている<sup>16)</sup>。このため、アルミニウムの摂取量は少ないことが望ましい。

本試験結果では、水稻の可食部であるもみへの集積量は慣行区と差はなかった。

ホウレンソウの可食部である葉部へのアルミニウム集積量は全集積量の半分以上を占め、浄水土客土区が慣行区よりも多い傾向がみられたが、ホウレンソウは野菜の中でも比較的にアルミニウムを多く含む野菜であること<sup>19)</sup>、野菜中のアルミニウムは高分子成分と結合しており、ヒトが摂取してもその99%は吸収されずに体外に排

出されること<sup>6)</sup>等から、浄水士を客土した圃場で栽培したコメやホウレンソウを摂取しても直ちにヒトへのアルミニウム過剰障害をもたらす危険性は極めて小さいと考えられる。

以上から、PACに由来するアルミニウムを多く含有する浄水士を本圃に客土して利用する場合、水稻栽培では3, 5, 10cmの客土量でいずれも慣行区と同等以上の収量が得られること、ケイ酸カルシウム肥料を施用することでアルミニウムの低毒化が期待できること、可食部であるもみへのアルミニウムの集積量はごくわずかであること等から10cmまでの客土量での栽培は可能と思われる。

しかしながらホウレンソウ栽培においては、3, 5, 10cmの客土量で慣行区と同等以上の収量が得られるが、野菜栽培ではケイ酸資材を施用する慣例がないためアルミニウムの低毒化が期待できないこと、客土量が5cmをこえると土壌のリン酸吸収係数が増加して土壌中の可給態リン酸含量が低下するためリン酸肥料の増肥が必要となること等から判断すると、本県のように水稻栽培後に露地野菜を栽培する作付体系が多い農耕地土壌での浄水士客土利用技術の普及を図るには、浄水士の客土量は3cmが良いと思われる。

以上の浄水士の客土利用による栽培試験結果から、浄水士を育苗培土に利用してそのまま本圃土壌に苗を定植した場合、3cmの客土量に相当するまでの連作数を試算した。

水稻栽培の場合、鬼頭<sup>11)</sup>が行った水稻育苗用培土利用試験のように浄水士を100%育苗培土に使用した場合、通常的水稻育苗箱1枚の容積が約4.5L、10a当たりの使用枚数が徳島県的水稻栽培で18枚であることから、水稻1作で10a当たり約81Lの浄水士が本圃に投入される。10a当たり3cmの客土量の容積は30,000Lであるので、約370作の栽培が3cmの客土量に相当する。

野菜栽培の場合も水稻と同様に浄水士を100%育苗培土に使用したと仮定する。徳島県ではブロッコリーやキャベツは128穴のセルトレイを、レタスでは200穴のセルトレイを使用している。1穴(株)の容積は、128穴のセルトレイが24mL、200穴のセルトレイが14mLで、10a当たりの定植株数がブロッコリー、キャベツで約5,000株、レタスで約7,000株である。ブロッコリー、キャベツは1作で10a当たり約120L、レタスは1作で10a当たり約98Lの浄水士が本圃に投入されることになるので、ブロッコリー、キャベツでは約250作、レタスでは約300作の栽培が3cmの客土量に相当する。

以上のように、長期栽培が可能と試算できるが、本圃

土壌中の可給態リン酸や可給態ケイ酸含量の低下というアルミニウムの影響はもっと早期に発現する可能性がある。このため、浄水士を育苗培土に利用する場合は、収穫後の本圃土壌中の可給態リン酸と可給態ケイ酸含量を定期的に診断し、アルミニウムの影響が発現していることが明らかとなった場合にはリン酸資材やケイ酸資材の増肥や浄水士の利用を中止するなどの土壌施肥管理が必要である。

## 摘 要

浄水士に含まれる凝集剤に由来するアルミニウムの化学的特性を明らかにした。また灰色低地水田土への浄水士の客土処理による土壌、水稻及びホウレンソウに対するアルミニウムの影響を調査し、浄水士の客土利用技術の実用性について検討した。

- 1 浄水士原土は全アルミニウムを約58,000mg/kg、pH 4の強酸性で抽出される可溶性アルミニウムを約15,000mg/kg含有するが、作物に吸収されやすい置換性アルミニウムや水溶性アルミニウムは1mg/kg以下であった。
- 2 浄水士原土中のアルミニウムはpH 3で最も多く溶出するが、pH 6の弱酸性でも20mg/kg程度溶出し、土壌中のリン酸やケイ酸を不溶化する危険性が認められた。
- 3 灰色低地水田土に浄水士を3, 5, 10cm客土して水稻、ホウレンソウを栽培すると、慣行栽培と同等以上の生育、収量が得られた。
- 4 水稻はアルミニウムの大部分が根部に集積し、可食部であるもみへの集積量は1%程度であったが、ホウレンソウは集積量の半分以上が可食部である葉部へ集積した。
- 5 浄水士の客土量が多くなるほど、土壌中の可給態リン酸や可給態ケイ酸含量が低下した。
- 6 凝集剤に由来するアルミニウムの直接的、間接的影響を判断すると、浄水士の客土量は3cmが良い。
- 7 育苗培土として利用した場合、水稻で370作、露地野菜で250~300作の栽培が本圃への3cmの客土量に相当すると試算された。

## 引用文献

- 1) 麻生昇平・麻生末雄 (1990) : わが国における浄水処理ケーキの種類と理化学性. 土肥誌, 61(6):661~667.
- 2) 土壌環境分析法編集委員会 (1997) : 土壌環境分析

- 法. 博友社 (東京) : 195~278.
- 3) 土壤養分測定法委員会 (1994) : 肥沃土測定のための土壤養分分析法. 養賢堂 (東京) : 86~119.
- 4) 恵藤良弘・中原敏次 (2005) : 現場で役立つ無機排水処理技術. 工業調査会 (東京) : 10~17.
- 5) 顧明華・小山博之・原徹夫 (1998) : ケイ素添加がイネのアルミニウム障害の軽減およびイネ体内アルミニウム形態に及ぼす影響. 土肥誌, 69(5) : 498~505.
- 6) 糸川嘉則 (2003) : ミネラルの辞典. 朝倉書店 (東京) : 365~372.
- 7) 化学大辞典編集委員会 (1967) : 化学大辞典 3. 共立出版 (東京) : 302.
- 8) 角田真一・佐藤裕隆・大志万浩一・丸尾達・小堀英和 (2003) : バーク堆肥の添加が浄水ケーキの窒素およびマンガンの挙動に及ぼす影響. 園学研, 2(1) : 9~13.
- 9) 加藤秀正・星野幸一・松川進・平井英明・朱旭 (1999) : 土壤溶液のアルミニウム種の形態に及ぼすpHとアルミニウム濃度の影響. 土肥誌, 70(3) : 291~296.
- 10) 加藤秀正・白井昌洋・松川進 (1995) : 酸性土壤の土壤溶液のアルミニウムの形態と濃度. 土肥誌, 66(1) : 39~47.
- 11) 鬼頭誠 (1997) : 浄水ケーキの水稻育苗用培土としての利用可能性. 土肥誌, 68(2) : 163~166.
- 12) 黒田康文 (2006) : 徳島県の農業と土壤肥料. 土肥誌, 77(2) : 239~240.
- 13) 日本土壤協会 (2001) : 土壤機能モニタリング調査のための土壤, 水質及び植物体分析法. 日本土壤協会 (東京) : 95~98.
- 14) 日本土壤肥料学会 (1987) : 植物生産性の生理生化学. 博友社 (東京) : 175~201.
- 15) 三枝正彦 (1991) : 低pH土壤における作物の生育. 土肥誌, 62(4) : 451~459.
- 16) 桜井弘 (2006) : 生命元素辞典. オーム社 (東京) : 139~141.
- 17) 佐藤裕隆・角田真一・小堀英和・二馬健次郎・岩間清内・武井譲二 (2000) : 千葉県工業用水で発生する浄水場発生土の園芸培地「ちば土太郎」としての利用. 工業用水, 497 : 14~21.
- 18) 床子貞男・西谷光生・三枝正彦 (1987) : 植物のAl過剰障害の原因としての黒ボク土の交換性Alについて. 土肥要旨集, 33 : 252.
- 19) 鈴木泰夫 (1998) : 食品の微量元素含有表. 第一出版 (東京) : 104~127.
- 20) 柳田友隆・江耀宗 (1994) : 火山灰土壤のリン酸吸収係数におよぼす焼成温度および添加物の影響. 土肥誌, 65(2) : 171~174.

徳島農研報 No.6  
17~26 2011

## シンビジウム切り花における 減圧密封包装技術の開発

近藤真二

Development of decompression hermetically-sealed package technique on vase life of cut *Cymbidium* flowers

Shinji KONDOU

### 要 約

近藤真二 (2011) : シンビジウム切り花における減圧密封包装技術の開発. 徳島農研報 (6) : 17~26

シンビジウム切り花の輸送の効率化を目的として、切り花ボタンで開発された減圧密封包装技術を応用させるため減圧程度と包装資材を検討し、花持ちへの影響を調査した。

品種‘ビーワン’を用い、4段階の減圧程度で容積、外観品質、花持ち日数を検討した結果、小花の形が崩れない程度までの脱気が実用的と考えられた。

包装資材の選定は厚さ20, 30, 45, 60 $\mu$ mのポリエチレン (PE) 及びポリプロピレン (PP) フィルム, 厚さ100 $\mu$ mのナイロンポリ (NP) フィルムを用いて減圧包装を行った結果、厚さ20 $\mu$ m及び30 $\mu$ mのPEフィルム, PPフィルムが優れると考えられた。

選定したフィルムと減圧程度で包装した‘ディライト’, ‘スマイルファンタジー’の輸送実証試験の結果、慣行包装と同等以上の花持ちが認められた。また中仕切りを改良することにより、現行の出荷箱の輸送効率を20%高めることができた。

キーワード：シンビジウム、切り花、減圧密封包装、包装資材

### はじめに

徳島県のシンビジウム切り花の生産本数は約284万本、生産額は約9億4千万円で、輸入を除いた京阪神6市場でのシェア率は93.5%を占め<sup>6)</sup>、本県花きのブランド品目となっているが、その消費は大半が葬儀や年末の稽古花での業務用需要であり、今後は一般花店の小売りと併せて、輸出による消費拡大が課題となっている。

一方、シンビジウム切り花は、キクやユリ等にもみられる蕾切りが行われておらず、ほぼ開花した状態で切り花が収穫されることから、流通時の荷姿は輸送による花傷みを回避する目的で、スレ防止用の花序のフィルム包装と隙間の多い大きめの箱で荷造りされている。このた

め、切り花1本当たりの輸送コストはキクやバラ等1箱100本入りで箱詰めされる多くの切り花に比べて割高な状況で、輸出等の遠距離輸送では大きな障害の一つといえる。

一般に切り花の輸出を成功させる上での課題として、鮮度保持と流通経費の削減があげられており、輸出では国内流通に比べて採花から輸送に1~4日長く日数を要する<sup>7)</sup>ことから、採花から輸送等の総日数として5~7日間を想定する必要がある、また包装等でも新たな技術対応の検討が生じる場合がある。

近年、金森・小早川<sup>3)</sup>によって開発された切り花ボタンの減圧密封包装 (以下、減圧包装) は、蕾状態の切り花を3本1組とし、乾式状態で縦460mm×横300mm、厚さ

0.05mm のポリエチレン製袋に入れ、90%程度脱気密封して2～5℃で保存する方法で、これまで花持ちが悪いとされてきた切り花ボタンにおいて輸出の可能性を高めることができた。

しかし、この技術をシンビジウム切り花へ応用するためには、採花状態や切り花の形状、呼吸量の違いなどを考慮する必要がある。

そこで、シンビジウム切り花における花持ちや外観品質に影響の少ない減圧程度と包装資材の種類を検討し、一定の成果を得たのでここに報告する。

## 試験方法

試験に供した切り花は徳島県内のシンビジウム生産農家から収穫直後のものを購入して用い、購入から包装、花持ち評価に供するまでの全期間を乾式状態とした。

減圧包装は、切り花を1本ずつ脱気シーラー（富士インパルス製、V-402）により試験用フィルムで包装した。減圧包装作業は、同一規格の切り花でも小花数や長さなど個々にボリューム感が異なることから、一本毎に脱気程度を確認しながら微調整できるマニュアル包装で行った。なお、対照としては花序のみ厚さ20μmの低密度ポリエチレン（以下、PE）フィルムで開放状態で包装した慣行包装を設けた。

包装後は、輸出等遠距離の輸送シミュレーションのため、切り花購入時の出荷箱を用いて横置きに箱詰めし、農業研究所内の7.5℃に設定した恒温庫で5～6日間保管し、花持ち評価等をした。

花持ち評価は次の要領で行った。

所定の長さに水切りを行い、蒸留水を入れたガラスの小ビン（容量225mL、450mL）に生け、さらに転倒防止のため花瓶で受けた状態とした。また水面からの蒸散を防ぐためガラスの小ビンと花瓶の上面はラップフィルムで覆った。花持ち評価中はしおれ等を生じない限り生け水の交換、花茎の切り戻しは行わなかった。花持ち評価室は12時間日長、照度 $15 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ （蛍光灯を使用し遮光ネットで1000lxに調整）、室温25℃、湿度60%に保った状態で、毎日の切り花重、吸水量、小花の外観品質を調査した。小花の外観品質の評価基準は第1図に示したとおり、正常（花弁にハリがあり品種本来の色調をもつ）、紅変（唇弁部に赤色系の色素が生じる：品質低下の始まり）、劣化（紅変に加え花弁の鮮度が失われて小花の形が崩れる：観賞価値の消失）の3区分とし、切り花1本毎に劣化に至った小花数が全小花の75%以上に達した時点で花持ち終了とした。



第1図 外観品質の評価基準

（左：‘ビーワン’、右：‘マリーローランサン’）

正常：花弁にハリがあり品種本来の色調をもつ

紅変：唇弁部に赤色系の色素が生じる（品質低下の始まり）

劣化：紅変に加え花弁の鮮度が失われて小花の形が崩れる（観賞価値の消失）

### 試験1 減圧包装における減圧程度と包装直後の容積

2007年9月に品種‘ビーワン’のL規格切り花（切り花長約60cm、約70g）を用い、切り花1本ずつを厚さ20μmのPEフィルムで減圧包装した。減圧程度は第1表に示した基準のとおり、4段階（減圧強、減圧中、減圧弱、減圧無、第2図）で各試験区10本ずつを包装し、速やかにその容積を測定した。

第1表 減圧包装における減圧程度と包装時の状態

試験区	包装時の状態
減圧強	花弁とフィルムが密着するまで脱気
減圧中	小花の形が崩れない程度に脱気
減圧弱	花茎部分が固定される程度に脱気
減圧無	脱気せず両端をシール
慣行包装	花序のみ開放状態で包装



第2図 減圧包装の減圧程度と包装の状態

（左から順に減圧強・中・弱・無、慣行包装）

容積の測定はアルキメデス法に倣って水道水を満たした直径約20cmの塩ビ管に包装状態の切り花を水没させ溢れ出た水の重量を計測して容積とし、また減圧無の試験区で測定した容積を100%として、容積の比率（以下、容積比率）を算出した。

#### 試験2 減圧包装における減圧程度と5日間保管後の容積と品質

2007年10月に品種‘ビーワン’の2L規格切り花（切り花長約65cm, 約110g）を用い、試験1と同様に切り花1本ずつ各試験区10本を減圧包装して2号出荷箱（外寸規格980mm×400mm×90mm）に箱詰めした。

5日間保管後に減圧の保持状態を確認して容積を測定し、開封後は外観品質を調査した後、花持ち評価のため切り花長60cmに水切りを行い、蒸留水150mLを入れた小ビンに3本ずつ生け、各区合計9本ずつを調査した。

#### 試験3 減圧包装に適するフィルム素材の検討

流通量が多く入手しやすいPEフィルムと二軸延伸ポリプロピレン（以下、PP）フィルムで厚さの異なるもの4種類（20, 30, 45, 60 $\mu$ m）を慣行包装で使用される幅20~22cmの筒状に成形して用いた。またナイロンポリ（以下、NP）フィルムはガス透過性がほとんど無い包装資材として鮭包装用の縦長の袋状で厚さ100 $\mu$ mのものを使い2008年度のみ試験を行った。

##### 1) ‘マリーローランサン’

2007年12月に品種‘マリーローランサン’のL規格切り花（切り花長約60cm, 207~224g）を用い、PEフィルム及びPPフィルムの合計8種類で、小花の形が崩れない程度に脱気（以下、減圧中）して6本ずつ減圧包装を行い1号-A出荷箱（外寸規格1130mm×430mm×120mm）に箱詰めし、慣行包装とともに恒温庫で5日間保管した後、花持ち評価を行った。花持ち評価は切り花長55cmに水切りし、蒸留水約300mLを入れた小ビンに2本ずつ生け、各区合計6本ずつを調査した。

##### 2) ‘レモンハート’

2008年11月に品種‘レモンハート’のL規格切り花（切り花長約65cm, 101~115g）を用い、PEフィルム及びPPフィルム合計8種類にNPフィルムを加えた9種類のフィルムで各試験区切り花3本を減圧中で包装し、慣行包装は5本を3号出荷箱（外寸規格850mm×380mm×85mm）に箱詰めして恒温庫で6日間保管後、花持ち評価を行った。花持ち評価は切り花長60cmに水切りし、蒸留水約150mLを入れた小ビンに1本ずつ生け、各区合計3本ずつを調査した。

#### 試験4 減圧包装の輸送実証試験

##### 1) ‘ディライト’

2008年12月に品種‘ディライト’のL規格切り花（切り花長約60cm, 約118g）を、厚さ20 $\mu$ mのPEフィルムと厚さ30 $\mu$ mのPPフィルムで10本ずつ減圧中で包装して2号-A出荷箱（外寸規格980mm×430mm×120mm）に箱詰めを行い、対照区の慣行包装とともに7.5℃に設定した恒温庫で翌朝の輸送試験まで保管した。

輸送試験は3箱1梱包としてPPバンドで結束し、県内生産団体（阿波市土成町）を通じてトラック便で京阪神方面の花き市場に輸送し、輸送翌日に徳島市内の花き市場へ返送した。輸送開始約26時間後からは農業研究所内の7.5℃に設定した恒温庫で包装5日後まで保管した。花持ち評価は各試験区10本の中から中庸な切り花4本を選んで50cmに水切りし、蒸留水約180mLを入れた小ビンに2本ずつ生け、各区合計4本ずつを調査した。

なお、本試験では試験区の一部で「しおれ」が生じたため、花持ち評価7日後に3cm程度を再度水切りし、新しい蒸留水約150mLを入れた小ビンに生け直して調査を継続した。

なお、本試験で生じた「しおれ」の状況は第3図に示すとおり、花弁のしおれや小花の下垂として現れ、その後花首の曲がりや花茎の折れがみられたが、この症状は慣行包装を含めて発生したため「しおれ」は花持ち評価の項目から除外した。



第3図 ‘ディライト’の減圧包装の輸送実証試験で生じた「しおれ」症状

##### 2) ‘スマイルファンタジー’

2009年12月に品種‘スマイルファンタジー’のL規格切り花（切り花長約50cm, 約108g）を、厚さ20 $\mu$ mのPEフィルムで10本ずつ減圧中で包装した。包装後は4

号-A 出荷箱（外寸規格730mm×400mm×100mm）で箱詰めを行ったが、切り花を支えるための中仕切は通常より2本多く入れることができるように切れ込み間隔を約5.5mm狭めた試作品を用い1箱10本詰めとし、生じた約5cmの隙間には新聞紙を詰めた(第4図)。箱詰め後は対照区の慣行包装とともに農業研究所内の7.5℃に設定した恒温庫で輸送試験まで4日間保管した。



第4図 ‘スマイルファンタジー’の減圧包装の輸送実証試験における荷姿

輸送試験は3箱1梱包としてPPバンドで結束し、県内生産団体（徳島市）を通じて大田花き市場への航空輸送を行った。その後宅配便で返送し、農業研究所に到着した輸送試験開始3日後から花持ち評価を行った。花持ち評価は各試験区10本の中から中庸な切り花5本を選んで45cmに水切りし、蒸留水約150mLを入れた小ビンに1本ずつ生け、各区合計5本ずつを調査した。

なお、本試験でも慣行包装を含め試験区の一部に「しおれ」が生じたため花持ち評価6日後に3cm程度を再度水切りし、新しい蒸留水約150mLを入れた小ビンに生け直して調査を継続し、「しおれ」は‘ディライト’の場合と同様に花持ち評価の項目から除外した。

## 結 果

### 試験1 減圧包装における減圧程度と包装直後の容積

第2表に‘ビーワン’の減圧程度と容積測定の結果を示した。

脱気を行わず両端をシールした減圧無の容積の平均は2244mlで、これを100%として算出した各試験区の容積比率は、花卉とフィルムが密着するまで脱気した減圧強

第2表 ‘ビーワン’における減圧包装の減圧程度と包装直後の切り花1本当たりの容積と容積比率

試験区	平均容積(最小-最大)	平均容積比率(最小-最大)
減圧強	287mL(151-404mL)	13%(7-18%)
減圧中	397mL(276-492mL)	18%(12-22%)
減圧弱	673mL(514-773mL)	30%(23-34%)
減圧無	2244mL(1740-2950mL)	100%

では平均13%、小花の形が崩れない程度に脱気した減圧中では平均18%、花茎部分が固定される程度に脱気した減圧弱では平均30%となり、減圧程度を強めるほど減少の程度は大きくなった。

### 試験2 減圧包装における減圧程度と5日間保管後の容積と品質

第3表に‘ビーワン’の減圧程度と輸送シミュレーションのための5日間保管後の容積測定結果と花持ち日数を示した。

減圧強では保管中に吸気して減圧程度が減圧中～弱まで低下したものが5本生じ、これら吸気したものを除いて容積を測定した結果、試験1と同様に減圧程度が強いほど容積比率の値は小さく、減圧強で平均21%、減圧中で平均43%、減圧弱では平均71%であった。また減圧強の一部では花卉の裂けや葯帽の脱落等がみられた。

容積測定後に実施した花持ち評価では、減圧包装における花持ち日数はいずれも慣行包装よりわずかに短いものの、減圧程度の差による一定の傾向はみられなかった。

### 試験3 減圧包装に適するフィルム素材の検討

#### 1) ‘マリーローランサン’

第4表に‘マリーローランサン’の8種類のフィルムによる減圧包装と花持ち評価の結果を示した。

5日間保管後の切り花重はPEフィルムではほとんど変わらず、PPフィルムでは3～4g、慣行包装では5g低下した。

花持ち評価における切り花重は水切り直後を100%として、各試験区とも吸水によって5日後には100%を超えたが、10日後には少しずつ減少し、ほぼ花持ちが終了した14日後の切り花重は慣行包装より減圧包装の減少程度が大きかった。

減圧包装の花持ち日数を慣行包装と比較すると、50%終了75%終了とも同じ傾向を示した。減圧包装におけるフィルムではPEフィルムよりPPフィルムが全体に花持ち日数が長く、特にPPフィルムでは厚さ30μmと45

第3表 ‘ピーワン’ における減圧包装の減圧程度と5日間保管後の容積と花持ち日数

試験区	平均容積(最小-最大)	容積比率(最小-最大)	包装開封時の 障害の有無	花持ち日数(日)	
				50%終了	75%終了
減圧強	527mL(430-664mL)	21%(17-27%)	有	6.0±0.5	7.1±0.6
減圧中	1066mL(645-1762mL)	43%(26-72%)	無	6.0±0.0	7.4±0.5
減圧弱	1747mL(1359-2164mL)	71%(55-88%)	無	6.0±0.8	7.1±0.7
減圧無	2457mL(1864-3108mL)	100%	無	6.1±1.0	7.4±1.3
慣行包装	—	—	無	6.1±0.6	7.6±0.5

注) 花持ち日数は平均±標準偏差を示す

第4表 ‘マリーローランサン’ における減圧包装のフィルム素材と花持ち評価

	切り花重(g/本)		切り花重保管 前/後比(%)	花持ち評価試験における切り花重(g)				花持ち日数(日)		100g当たり 総吸水量(g)
	保管前	保管後		0日後(%)	5日後(%)	10日後(%)	14日後(%)※	50%終了	75%終了	
PE020	211	210	100	202(100)	207(103)	200(99)	187(93)	13.2±1.1	13.7±1.4	27.8
PE030	212	212	100	206(100)	212(103)	201(98)	193(94)	11.8±2.0	13.3±2.7	30.0
PE045	213	213	100	206(100)	209(101)	198(96)	186(90)	12.8±1.1	14.0±2.2	28.9
PE060	210	210	100	203(100)	205(101)	196(97)	183(90)	12.8±1.6	13.8±1.7	27.1
PP020	211	208	98	202(100)	207(102)	202(100)	191(94)	13.2±0.9	13.5±0.8	27.5
PP030	213	210	98	199(100)	204(102)	200(100)	190(95)	14.2±1.7	15.0±1.6	28.3
PP045	223	219	98	213(100)	217(102)	213(100)	203(95)	14.5±1.4	15.3±1.7	27.3
PP060	224	220	98	215(100)	217(101)	207(97)	194(90)	13.6±1.5	14.8±1.3	26.5
慣行包装	207	202	98	196(100)	203(104)	201(102)	191(98)	14.2±0.4	15.0±0.8	29.2

※14日後まで花持ちしなかった切り花重のデータは花持ち終了時のものを使用して平均

注) 花持ち日数は平均±標準偏差を示す

第5表 ‘レモンハート’ における減圧包装のフィルム素材と花持ち評価

	切り花重(g/本)		切り花重保管 前/後比(%)	花持ち評価試験中の切り花重(g)				花持ち日数(日)		100g当たり 総吸水量(g)
	保管前	保管後		0日後(%)	3日後(%)	5日後(%)	7日後(%)	50%終了	75%終了	
PE020	109	109	99	105(100)	99(93)	91(87)	83(79)	6.0±0.8	6.7±0.5	10
PE030	108	108	100	105(100)	96(92)	88(84)	78(75)	5.3±0.5	5.7±0.5	10
PE045	106	106	99	104(100)	98(95)	91(88)	83(80)	5.3±0.5	7.0±0.0	12
PE060	101	100	100	99(100)	91(92)	84(85)	76(77)	5.3±0.5	6.0±0.8	10
PP020	107	107	99	103(100)	98(95)	92(89)	84(81)	5.7±0.5	7.0±0.0	11
PP030	115	113	98	111(100)	102(92)	94(85)	84(76)	5.7±0.9	5.7±0.9	10
PP045	113	112	99	106(100)	101(95)	95(89)	87(82)	5.3±0.9	6.0±0.8	10
PP060	115	114	99	109(100)	103(94)	96(88)	88(81)	6.0±0.0	6.3±0.5	10
NP-100	107	106	99	104(100)	97(93)	89(86)	80(77)	5.3±0.5	5.7±0.5	11
慣行包装	109	108	99	105(100)	101(96)	95(91)	88(84)	6.8±0.4	7.4±0.5	11

注) 花持ち日数は平均±標準偏差を示す

μmで長くなった。ただし花持ち日数は全体的に標準偏差の値が大きく、花持ちに長短のバラツキがみられる傾向であった。

花持ち評価中の100g当たり総吸水量は26.5~30.0gで、PPフィルムの減圧包装では全体にやや少なく、PEフィルム、PPフィルムとも厚さ60μmで最も少なかった。

## 2) ‘レモンハート’

第5表に‘レモンハート’の9種類のフィルムによる

減圧包装と花持ち評価の結果を示した。

6日間保管後の切り花重はPEフィルムの減少程度が少ない傾向であった。花持ち評価における切り花重は全試験区で徐々に低下した。

花持ち日数は慣行包装が最も長く、減圧包装では慣行包装と比べて0.4日~1.7日短かったが、厚さ20μmのPEフィルム、PPフィルムと厚さ45μmのPEフィルムで比較的長かった。花持ち評価中の100g当たり総吸水量は11g前後で試験区間差はほとんどみられなかった。

なお、ガス透過性のほとんど無いNPフィルムによる減圧包装では、保管後の開封時に異臭と花色の褪色が生じた。

試験4 減圧包装の輸送実証試験

1) 'ディライト'

第5図に輸送中の温度の推移を示した。農業研究所内の7.5℃設定の恒温庫から出庫して輸送試験を行い再び受け取るまでの間は9℃から14℃未満で推移した。

第6図に花持ち評価の結果を示した。小花の外観品質は8日後まで全試験区とも観賞可能な状態を高く維持したが、9日後以降にPPフィルムと慣行包装で徐々に品質低下が生じた。一方、PEフィルムは13日後まで90%以上が観賞可能な状態を維持したが、その後急激に品質低下が生じ、15日後には慣行包装の花持ちが終了、16日後にはPEフィルム、PPフィルムの減圧包装の花持ちが終了した。

「しおれ」は慣行包装では4日後、減圧包装ではPPフィルムで5日後、PEフィルムで6日後にかけて発生したが、再度水切りし生け水を交換することによりほぼ

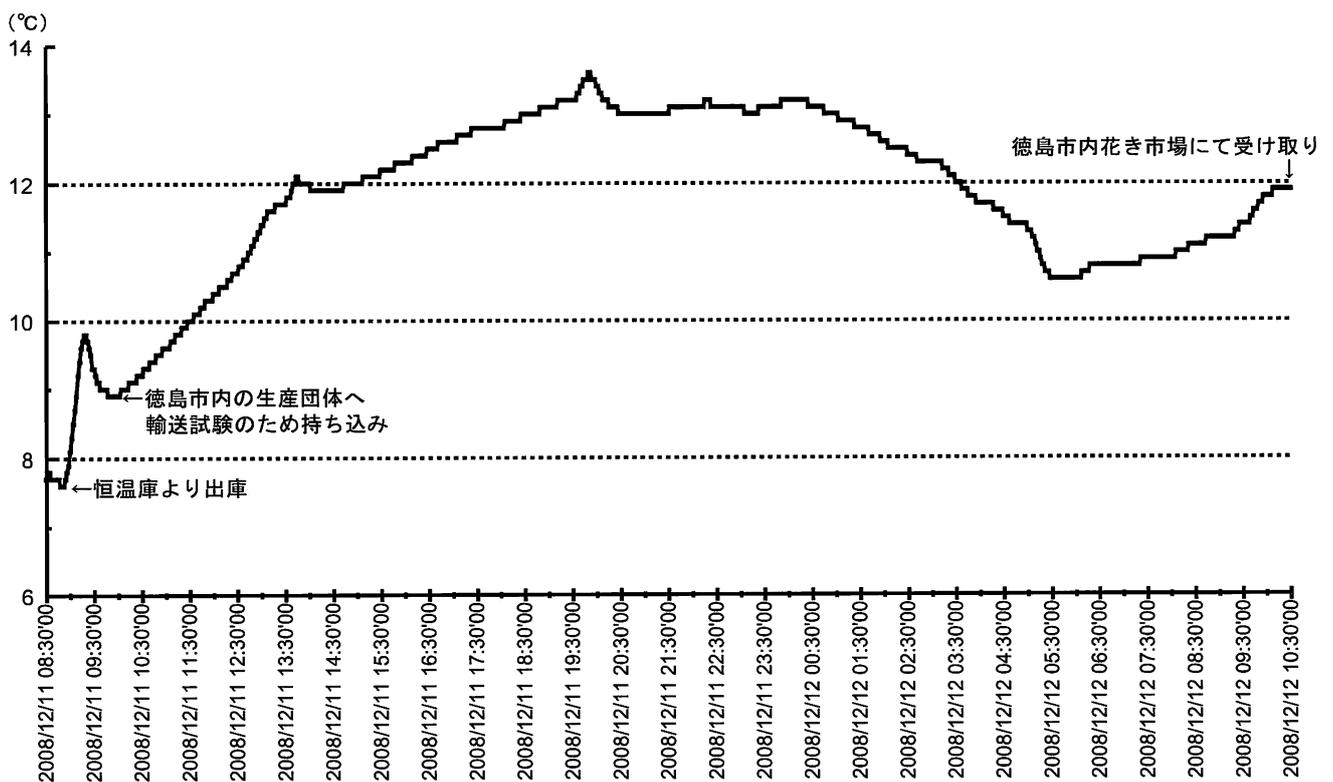
回復した。

2) 'スマイルファンタジー'

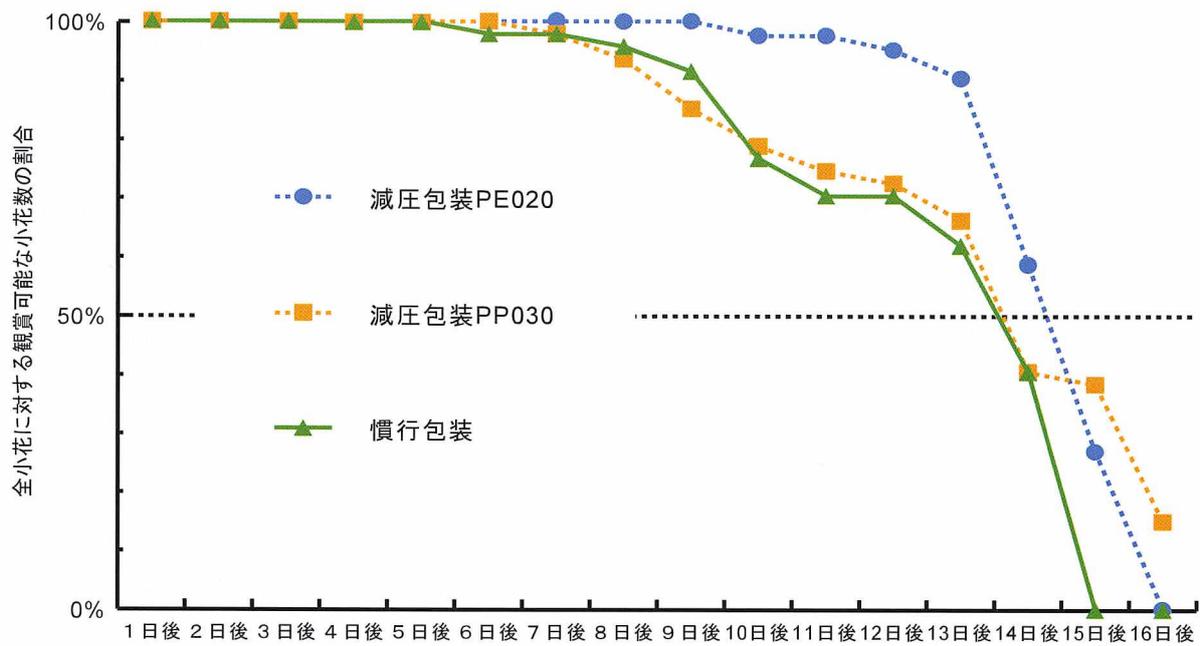
品種 'スマイルファンタジー' を用いて、航空輸送における減圧技術の有効性を確認した結果、既に第4図で示したとおり減圧中により減圧包装し、改良した中仕切を使用して箱詰めすることで4号-A出荷箱に慣行包装より2本多く入れることができ、輸送にも支障ないことが確認された。

次に輸送後の花持ちについての結果を第7図に示した。小花の外観品質は8日後まで慣行包装と減圧包装の差は5%以内で、また観賞可能な状態も高く維持されたが、9日後には減圧包装と慣行包装で外観品質の差が開き始めた。その結果、花持ちの50%終了した日では約1日の差が生じ、75%終了では慣行包装が約14日後、減圧包装が約16日後となり、減圧包装の花持ちは平均約2日長く保たれた。

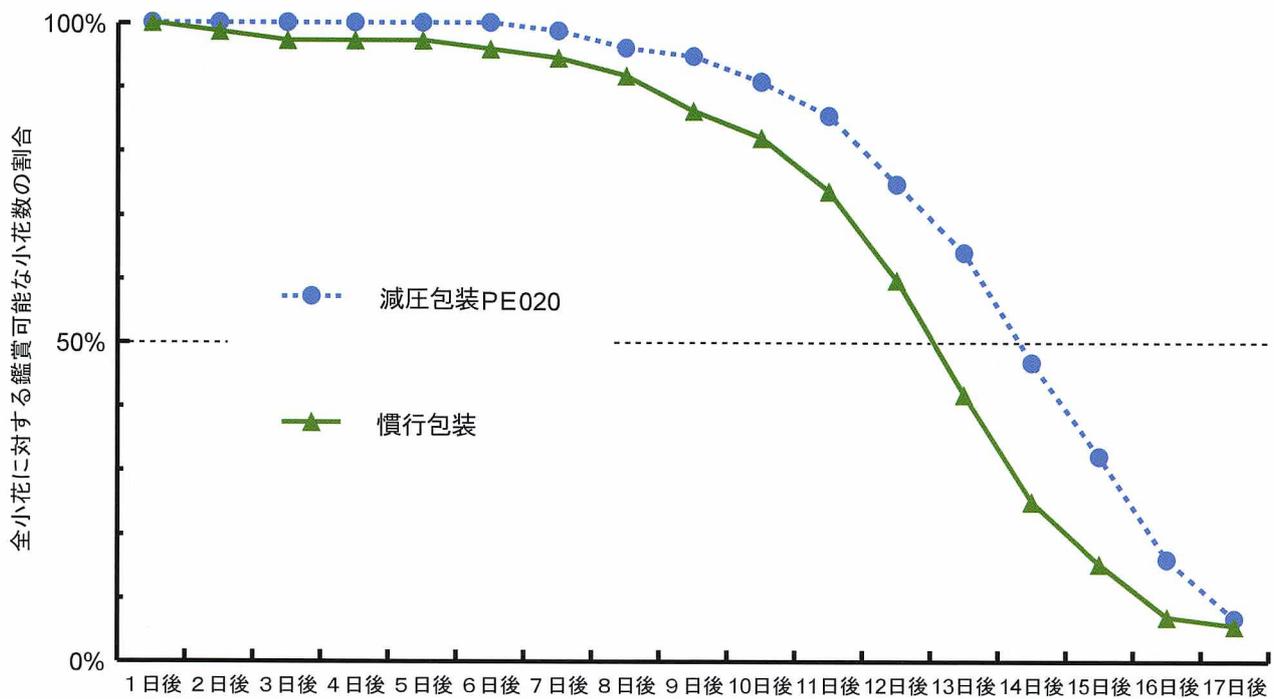
「しおれ」は慣行包装、減圧包装とも5日後から一部で発生したが、'ディライト'と同様に再度水切りし生け水を交換することによりほぼ回復した。



第5図 'ディライト' の減圧包装の輸送実証試験中における温度の推移



第6図 'ディライト' の減圧包装の輸送実証試験における花持ち評価



第7図 'スマイルファンタジー' の減圧包装の輸送実証試験における花持ち評価

## 考 察

ボタン切り花で開発された減圧包装をシンビジウム切り花に応用する条件を明らかにするため、減圧程度と包装資材について検討し、包装状態や花持ちへの影響を調査した。

試験1と試験2では、シンビジウム切り花を減圧包装した場合、外観の障害や包装によるストレスで品質低下を起こさない減圧程度を調査した結果、減圧強は試験1ではボタンで開発された技術とほぼ同等程度に減少した平均13%の容積比率で、試験2では平均21%であったが、この場合、花の一部に障害が確認された。

平石ら<sup>2)</sup>はグロリオサ切り花を用いた減圧包装において、強い減圧程度では花卉が折れる等の障害が発生することを報告し、弱い減圧程度と採花時期を早めることで傷みを軽減できるとしている。

このことから、減圧強のような強い脱気は多くの切り花で技術的には可能であっても、外観を損ねるため実用的でないといえる。

減圧中の容積比率は、試験1では平均18%、試験2では平均43%と目視で同等と判断された包装状態であっても数値的には2倍以上の開きが生じた。しかし、試験1試験2とも開封時に障害は確認されておらず、目で見て判断できる限度と推察された。

減圧弱、減圧無では減圧中より減容化の程度は小さく、試験2の花持ち日数でも減圧程度による差がみられなかったことから、これらの減圧程度では優位性が低い。

以上のことから、シンビジウム切り花では小花の形が崩れない程度まで脱気を行う減圧中が、実用的な減圧程度と推定された。

なお、試験1と試験2で同じ試験区での容積比率の値に2倍以上開きが生じた理由として、試験1と試験2で同一品種を用いているが、サンプルの規格が異なっていること、同一規格のサンプルでも切り花一本毎ではポリウムにはバラツキがあること、減圧程度を目で見て判断するため曖昧さが残りやすいこと、試験2では5日間の保管期間中にシール部のわずかな隙間やピンホール等から吸気した可能性が考えられる。

次に試験3において、減圧包装に適する包装資材の選定を試みた。

品種‘マリーローランサン’は極薄いピンク色で、最高級とされる代表的な大輪の品種である。この品種で厚さの異なるPEフィルムとPPフィルムでの適応性を検討したが、花持ちでフィルムの材質による違いがみられるものの、全てのフィルムで包装可能であることが示された。また切り花重は包装後5日間の保管で0~2%減少したがその減少程度はわずかで、金森・小早川<sup>4)</sup>が切り花ボタンの減圧包装において2~10℃で2~4週間保管した結果と同等の減少率であった。なお、本試験では花持ち日数は減圧包装より慣行包装で安定していると思われたが、フィルムの素材や厚さによっては慣行包装と比べて数日花持ちの長いサンプルもみられたことから、減圧包装に適する切り前や保管方法、前処理等の検討の余地が感じられた。

品種‘レモンハート’は12月~1月に流通の多い中輪の黄花品種である。‘レモンハート’の花持ちは‘マリー

ローランサン’に比べて短く、顕著でないものの慣行包装の花持ち日数は減圧包装よりやや長い傾向は同様であった。また本試験で用いたNPフィルムによる減圧包装では、保管後の開封時の切り花で異臭と花色の褪色を確認したが、小早川・金森<sup>5)</sup>はガス透過性の低いポリ塩化ビニリデン製の袋を用いて切り花ボタンの減圧包装を行い2℃で保管した結果、14日目には茎葉の腐敗が生じたと報告している。一方、長谷川<sup>1)</sup>は袋内の空気を脱気して密封するMA (Modified Atmosphere) 包装においても不適切な包装資材を使用した場合、フィルム内で低酸素、高二酸化炭素の条件となり嫌気呼吸のため異臭の発生や変色等の品質低下が起こるとしている。したがって、今回の異臭等は嫌気呼吸によるものと考えられ、シンビジウム切り花を不適切な条件で減圧包装したり、急激に呼吸量の高まる条件で保管した場合に生じる障害と考えられる。

ここで、これらの試験結果を踏まえながら、シンビジウム切り花の減圧包装に適した包装資材について条件を検討し、最適なものを明らかにしたい。

まず、減圧包装の適応性は、PEフィルム、PPフィルムとも厚さによる花持ち等の差は優劣がつけ難く20~60 $\mu$ mでは全て使用可能と思われたが、NPフィルムでは異臭や花色の褪色等の品質低下が大きく不適当と考えられる。

作業性は、厚さ20 $\mu$ mではPEフィルム、PPフィルムとも薄いため脱気作業でフィルムが密着してやや手間取り、逆に厚さ60 $\mu$ m以上のフィルムでは厚みがあるため脱気作業は楽であるが、切り花をフィルムに入れる作業がし難い。

経済性は購入時の価格から判断すると、PEフィルム、PPフィルムとも厚さにほぼ比例して購入単価は高くなり、また素材間ではPEフィルムよりPPフィルムが1割程度高く、袋状に加工されたNPフィルムが最も高価である。

輸送性は、厚いフィルムを用いると包装後の箱詰め作業がし難く嵩高となりやすいことが懸念され、さらに外観も厚いPEフィルムは不透明で中の切り花が見えにくい。

以上を総合すると、厚さ20~30 $\mu$ mのPEフィルムまたはPPフィルムで実用性が高いと判断された。

そこで、試験4では選定した減圧包装技術の実用性の検証を試み、包装資材は20 $\mu$ mのPEフィルムと30 $\mu$ mのPPフィルムを用い、減圧程度は試験1と試験2で決定した小花の形が崩れない程度の脱気とし、年末に出荷量の多い大輪の黄花品種‘ディライト’を用いてトラッ

クでの輸送試験を行った。その結果、減圧包装は慣行包装と同等以上の状態で観賞可能な小花数が推移し、選定した技術の有効性が示されたと考えられた。

なお、‘ディライト’と‘スマイルファンタジー’で生じたしおれは水切りにより回復したが、これらのしおれは花の大きさの割に花茎が細いため生じたと考えられ、長期輸送には花茎が太い品種が望ましいと考えられた。

また、徳島県ではシンビジウムの切り花は10月から5月まで出荷されている。この輸送試験はシンビジウム切り花の出荷が集中する12月に実施したことから、外気温も低く、箱内温度も9～14℃と障害のおそれのない温度に保たれた。しかし、より高温になりやすい時期での輸送試験も必要と考えられた。

次に‘スマイルファンタジー’を用いて航空輸送を行うとともに、輸送の効率化について1箱当たりの詰め本数を2本増やすことを試みた結果、現行の出荷箱に改良した中仕切を使うことで輸送効率を2割高めることができた。

しかし試験1と試験2で明らかにした容積比率からすると、十分に輸送の効率化が図られたとは言い難い。

この理由として、現行の出荷箱の規格では切り花に対して余裕の多い設計のため、中仕切の改良による配置間隔の改善だけでは減圧包装を行った場合の切り花の長さや幅など立体的に減らした容積を有効に利用できていない。

つまり、輸送の効率化は出荷箱に対する余分な空間を減らすべきであり、切り花の長さ×詰める本数分の幅×詰めた時の高さの各々で見直すことが必要である。4号-A出荷箱での試算では切り花の長さとして100mm、詰める本数分の幅として50mm、詰めた時の高さとして20mmずつ減らし1箱10本詰めにすれば、現在の出荷箱より4割嵩を減らして輸送効率を高めることができる。ただし、出荷箱の規格の見直しは箱を作成する型を新しく作るため、費用の負担が生じ対応も容易でない。減圧包装を行った場合、現状で対応しやすい輸送効率化の手段は、中仕切の改良が最も技術面やコスト的な負担が少なく考えられる。

以上のとおり、シンビジウム切り花の減圧包装による一定の輸送の効率化と花持ちの保持が示された。今後はさらに品種別の適応性や花持ちの安定性を高める方法についても検討が必要と思われるが、ここで明らかにした条件が輸出等における輸送コスト削減の一助となるよう適用を期待したい。

## 摘 要

シンビジウム切り花の輸送の効率化を目的として、切り花ボタンで開発された減圧密封包装技術を応用させるため減圧程度と包装資材を検討し、花持ちへの影響を調査した。

1. シンビジウム切り花‘ピーワン’を用い、4段階の減圧程度で容積、外観品質、花持ち日数を検討した結果、減圧強では切り花の一部に障害が確認され、減圧弱と減圧無では減容化程度が低い実用性が低く、小花の形が崩れない程度まで脱気を行う減圧中が実用的な脱気程度と考えられた。
2. 減圧包装に適する包装資材を選定するため、減圧程度を小花の形が崩れない程度まで脱気を行い、厚さ20, 30, 45, 60 $\mu$ mのPEフィルムとPPフィルム、厚さ100 $\mu$ mのNPフィルムを検討した結果、厚さ20 $\mu$ m及び30 $\mu$ mのPEフィルム、PPフィルムの適応性が優れると考えられた。
3. 厚さ20 $\mu$ mのPEフィルムと厚さ30 $\mu$ mのPPフィルムを用いて、減圧包装した‘ディライト’で輸送試験を行った結果、減圧包装は慣行包装と同等以上の花持ちが認められた。
4. 中仕切りを改良することにより、現行の出荷箱にも対応可能で、かつ輸送効率を20%高めることができた。

## 引用文献

- 1) 長谷川美典(2004): 4. 貯蔵物の異臭発生を抑える. 新版農産物の輸送と貯蔵の実用マニュアル, (株)流通システム研究センター(東京): 16~19.
- 2) 平石真紀・二宮千登志・西内隆志(2008): グロリオサ切り花における減圧密封包装が花卉の傷みに及ぼす影響. 園学中四国支部要旨, 47: 40.
- 3) 金森健一・小早川洋美(2005): 切り花ボタンの鮮度保持方法. 近畿中国四国地域における新技術, 第5号: 86~87.
- 4) 金森健一・小早川洋美(2006): 脱気・密封による花きの鮮度保持効果に関する研究. 第1報. 保存温度, 期間が切り花ボタンの開花に及ぼす影響. 園学雑, 75(別2): 412.
- 5) 小早川洋美・金森健一(2006): 脱気・密封による花きの鮮度保持効果に関する研究. 第2報. 脱気・密封保存中における切り花ボタンの呼吸とエチレン発生量. 園学雑, 75(別2): 413.

- 6) 徳島県 (2009) : 徳島の花 (平成19年度実績) : 16, 26.
- 7) 海下展也 (2005) : 花卉の輸出戦略と課題(3)輸出を実現するための考慮点. 農業技術体系, 花卉編 4 動向, 農文協 (東京) : 69~74.

編集委員 藪内和男  
井内美砂  
高田次郎  
三木健司  
三木敏史  
南利夫

---

徳島県立農林水産総合技術支援センター農業研究所  
研究報告 第6号

平成23年3月1日 印刷  
平成23年3月10日 発行

発行所 〒779-3233 徳島県名西郡石井町石井  
徳島県立農林水産総合技術支援センター農業研究所  
電話 088-674-1660 (代)

印刷所 徳島県教育印刷株式会社  
〒770-0873 徳島県徳島市東沖洲2丁目1-13  
電話 088-664-6776

---

