

# 酸素富化膜を利用した高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>環境が花き苗の生育に及ぼす影響

仲 照史・内田 國明\*・前田 茂一\*\*・竹崎 あかね・藤野 雅丈

近畿中国四国農業研究センター 765-8508 善通寺市仙遊町1-3-1

\*有限エアファーム 632-0007 天理市森本町303

\*\*奈良県農業技術センター 634-0813 橿原市四条町88

## Effects of the Air Containing High Level O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> Concentrated by the Oxygen Enrich Membrane on Some Bedding Plants Growth

Terufumi NAKA, Kuniaki UCHIDA\*, Shigeichi MAEDA\*\*, Akane TAKEZAKI and Masatake FUJINO

National Agricultural Research Center for Western Region, Zentsuji, Kagawa 765-8508

\*Yua Farm Limited Company, Tenri, Nara 632-0007

\*\*Nara Prefectural Agricultural Experiment Station, Kashihara, Nara 634-0813

施設園芸における CO<sub>2</sub>施用技術はイチゴ<sup>8</sup>、キュウリ・ナス・トマト<sup>9</sup>、キク<sup>18,19</sup>、バラ<sup>20</sup>など多くの施設園芸作物で研究、実用化されて久しい。近年ではカキの大型ハウス栽培にも利用が検討されている<sup>3</sup>。これら CO<sub>2</sub>施用の方法<sup>1</sup>には、液化炭酸ガスポンプを利用する方式と LPG または灯油を燃焼させる方式があるが、ランニングコストの安価な灯油燃焼方式<sup>1</sup>が現在では主流となっている。川島<sup>7</sup>は高 CO<sub>2</sub>下のイチゴおよびナスでは、冬期の暖房温度設定を下げても増収できることから、単位収量あたり CO<sub>2</sub>発生量を減らす意味において環境負荷を削減できる技術であると CO<sub>2</sub>施用を評価している。しかし換気による散逸のため、ガラス室で750ppmとした場合の施用 CO<sub>2</sub>利用率は約73%<sup>7</sup>であり、環境中に新たな CO<sub>2</sub>を放出する結果となっていることは否めない。

一方、高 O<sub>2</sub>条件はパンジー<sup>13</sup>やそ菜類<sup>2</sup>において種子の発芽速度を速め、発芽揃いを向上させることが報告されている。しかし展葉後の光合成においては、リブローズビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ (Rubisco) の拮抗的阻害による生育抑制<sup>11</sup>が懸念される。

近年、急速に開発の進んでいる膜分離技術<sup>17</sup>のひとつである酸素富化膜は、家電や産業燃焼用に利用が広がっている。酸素富化膜に空気を通過させると約30%の高 O<sub>2</sub> 気体が連続的に得られるが、この酸素富化膜通過気体は同時に CO<sub>2</sub>も約1,000ppmの高濃度になっている。従って、酸素富化膜通過気体が園芸作物の生産性に与える影響は、高 CO<sub>2</sub>の生育促進効果、高 O<sub>2</sub>による発芽促進効果

および高 O<sub>2</sub>による光合成抑制効果のうち、どの影響が強く出るかによって結果が異なってくるのが予想された。酸素富化膜通過気体が CO<sub>2</sub>施用同様、現状よりも高い生産性をもたらすならば、施設から未利用の CO<sub>2</sub>を環境中に放出する従来方式とは逆に、環境中から CO<sub>2</sub>を濃縮して取り込む形の CO<sub>2</sub>施用方式が可能となる。しかし酸素富化膜を園芸的に利用しようという試みは、ミツバの養液栽培において培養液中の溶存酸素量増加を通じた生育促進<sup>12</sup>以外には見られない。そこで本報では、酸素富化膜を利用した新たな CO<sub>2</sub>施用技術の可能性を検討するため、花き類を用いて酸素富化膜通過気体の生育に及ぼす影響ならびに、異なる濃度の高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>ガス環境の生育に及ぼす影響について調査した結果を報告する。本文に先立ち、酸素濃縮機を提供いただいた近畿酸素㈱、栽培管理を援助いただいた香川将志業務員ならびに横井恵美子氏に厚く御礼申し上げる。

## 1 材料および方法

1) 酸素富化膜通過気体が花き苗の生育に及ぼす影響  
いずれの実験もガス環境処理については、酸素富化膜通過気体を常時通気した酸素富化膜区と、温室内空気を常時通気した対照区の2区とし、30%の遮光資材を展張した制御ガラス温室内に2つのアクリル樹脂製透明チャンバー (W47cm \* D60cm \* H47cm, 内容積132.5L) を設置して行った。

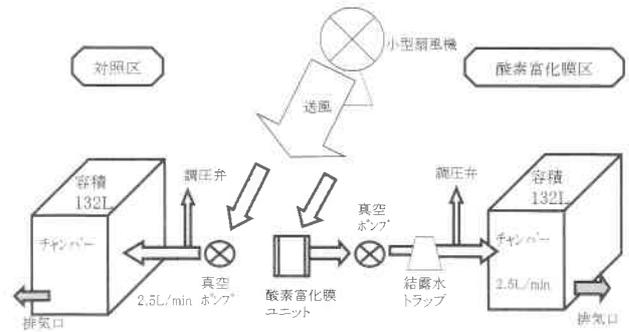
酸素富化膜区には、家電用として市販されている酸素エアチャージャー (松下電器産業製, MS-X1) 内蔵の酸素富化膜ユニットを使用した。この酸素富化膜は O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>

および水蒸気の分離比率が各々、 $N_2$ の2.5, 12.6および22.0倍であり、通常空気 ( $O_2$ : 21%,  $CO_2$ : 330ppm) を通過させると温湿度による変動があるものの、 $O_2$ が約30%,  $CO_2$ が約1,000ppmの気体を得られる。第1図に示すように、酸素富化膜ユニットを通して制御ガラス温室内の空気を、ダイヤフラム型ドライ真空ポンプ(アルバック機工製, DA-15 D)によって減圧吸引した。真空ポンプの排気を結露水トラップ(500ml 容フラスコにより自作)に通した後、常時2.5L/minをチャンバーに通气し、気圧を一定にするためチャンバーの排気口は開放した。また酸素富化膜ユニット近傍の空気が滞留するのを避けるため、小型扇風機(東芝製, DF30W)によって送風を行った。一方、対照区のチャンバーには制御ガラス温室内の空気を吸引した真空ポンプの排気を、常時2.5L/minに調整して通气した。各チャンバー内の $O_2$ および $CO_2$ 濃度は毎日1~3回、酸素モニター(泰榮電器製 OXYMAN・OM-25 MS 10)および赤外線 $CO_2$ コントローラ(富士電機製, ZFP 9)を用いて計測した。

実験1-1. 酸素富化膜通過気体と処理開始ステージがパンジー、サルビアおよび小ギクの生育に及ぼす影響

供試材料はパンジー‘LR アリル・クリアオレンジ’、サルビア‘フラメックス2000’および小ギク‘寒ほたる’を用いた。パンジーおよびサルビアは、播種直後(0日目)および子葉展開揃い後(12日目)にそれぞれガス環境処理を開始する2区を各チャンバー内に設けた。各区とも10粒の種子を、培養土(メトロミックス社製#350)を充填したセルトレイ(ランドマーク社製, 200穴セルトレイを10穴ずつに分割して使用)に、播種直後処理開始区は2004年9月1日に、12日目処理開始区は8月20日に播種した。12日目処理開始区は23℃一定の人工気象器(三洋電機製, MLR-350)で処理開始まで管理した。小ギクは培養土(ランバート社製, LM-3, 被覆隣硝安加里により $N:P_2O_5:K_2O=280:240:280mg/l$ を加用)を充填した2号ポットで養成した株を、処理開始直前に展開葉3枚を残して摘心した。

ガス環境処理は9月1日から21日間行い、処理終了時に生育中庸な各5個体について草高、葉齢、葉身長、地上部の新鮮重および乾物重を調査した。パンジーおよびサルビアの12日目処理開始区については、処理開始時にも同様の調査を行った。なお、制御ガラス温室は昼温/夜温を25/20(日平均22.9)℃に設定したが、各チャンバー内の昼温が高く推移したため、酸素富化膜区および対照区のチャンバー内における処理期間中の平均気温は各々28.7および28.9℃であった。



第1図 酸素富化膜通過を用いた実験装置の模式図

実験1-2. 酸素富化膜通過気体がパンジーの発芽および初期生育に及ぼす影響

実験1-1において顕著な差が見られたパンジーについて、更に詳細に実験を行った。パンジー‘LR アリル・クリアオレンジ’および‘リーガル・ローズ’の種子を、培養土(メトロミックス社製#350)を充填した21穴セルトレイ(ランドマーク社製, 288穴セルトレイを21穴ずつに分割して使用)に各区1穴につき1粒、3反復を播種し、直ちに処理を開始した。ガス環境処理は2004年10月7日から21日間とし、処理開始から10日目まで発芽率を、処理終了時に生育中庸な各区8個体3反復について草高、葉齢、葉身長、地上部の新鮮重および乾物重を調査した。なお、制御ガラス温室は昼夜温を20℃一定に設定したが、実際の酸素富化膜区および対照区のチャンバー内における処理期間中の平均気温(昼温/夜温)は、22.3(24.3/20.2)および22.5(24.5/20.4)℃であった。

実験1-3. 酸素富化膜通過気体がパンジーのポット育成期の生育に及ぼす影響

23℃の人工気象器内で42日間育成した本葉4葉程度のパンジー‘リーガル・ビーコン’および‘マキシム・ホワイト’を、培養土(ランバート社製, LM-3, 被覆隣硝安加里により $N:P_2O_5:K_2O=280:240:280mg/l$ を加用)を充填した3号ポットに各6個体ずつ2004年10月7日に鉢上げし、直ちに処理を開始した。ガス環境処理は21日間とし、処理終了時に株高、株幅、葉齢、葉身長、地上部の新鮮重および乾物重を調査した。なお、制御ガラス温室は昼夜温を20℃一定に設定したが、実際の酸素富化膜区および対照区のチャンバー内における処理期間中の平均気温(昼温/夜温)は、22.3(24.3/20.2)および22.5(24.5/20.4)℃であった。

2) 酸素富化膜を用いずに制御した高 $O_2$ ・高 $CO_2$ 環境が花き苗の生育に及ぼす影響

酸素富化膜通過気体は、 $O_2$ および $CO_2$ の濃度上昇を通じて植物の生育に影響すると考えられた。そこで $O_2$ および $CO_2$ の各濃度の影響を検討するため、酸素富化膜を用い

ず O<sub>2</sub>および CO<sub>2</sub>濃度を独立して制御する実験を行った。

実験 2-1 異なる濃度の高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>環境がパンジー、サルビアのセル育苗期の生育に及ぼす影響

ガス環境条件は第 2 図に示すように液化炭酸ガスボンベ、酸素濃縮機(酸素社製、オージネーター600、発生気体は O<sub>2</sub>:93%, CO<sub>2</sub>:0.1ppm)およびドライ真空ポンプを用いて制御した。供試材料は、パンジー‘LR アリル・クリアオレンジ’, サルビア‘フラメックス2000’を用いた。

高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>処理は、O<sub>2</sub>濃度を30および40%, CO<sub>2</sub>濃度を700および1,400ppmとして、それらを組み合わせた4処理区を設定した。さらに、外気のみを通気した対照区(O<sub>2</sub>濃度:約20%, CO<sub>2</sub>濃度:約300ppm), O<sub>2</sub>のみを約

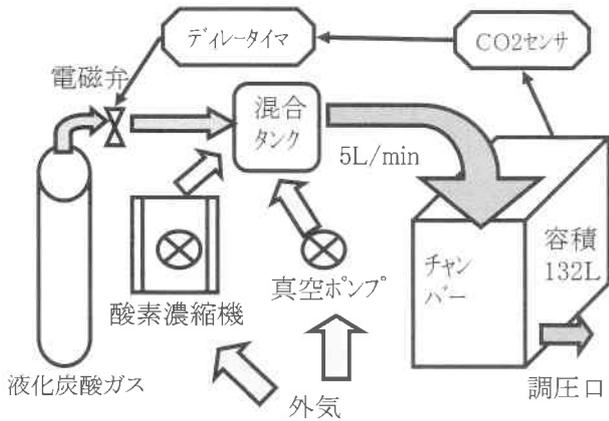
40%に高めた高 O<sub>2</sub>区, CO<sub>2</sub>のみを約1,400ppmに高めた高 CO<sub>2</sub>区を設定した。

実験は、陽光ランプ(東芝ライテック社製, D400)により培地表面での光強度130 μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>, 14時間日長とした人工気象室(室温20℃一定, 小糸工業製, コイトロン S-180 型)内に2つのアクリルチャンバーを設置して行った。実際のチャンバー内の気温は各区とも明期25±1℃, 暗期20±0.5℃であった。一方のチャンバーには毎回、外気のみ通気した対照区を、他方のチャンバーには各種の高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>気体を常時5.0L/minに調整して通気した試験区を設定した。各区とも培養土(メトロミックス社製, #350)を充填した10穴セルトレイ(ランドマーク社製, 200穴セルトレイを10穴ずつに分割して使用)に1穴につき1粒, 2反復を播種した。処理期間中は N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=100:100:100mg/Lとした液肥(大塚化学製, OK-F-9)の底面給液により管理した。

各処理は播種直後から21日間行い、処理終了時に生育中庸な各区5個体について草高、葉齢、葉身長、地上部の新鮮重および乾物重を調査した。

## 2 結 果

1) 酸素富化膜通過気体が花き苗の生育に及ぼす影響  
 いずれの試験においても、酸素富化膜区の O<sub>2</sub>濃度には30±2%で大きな日変動は見られず、CO<sub>2</sub>濃度には晴天日の日中に低く、曇雨天時や夜間に高くなる日変動が見られ、600~1,000ppm程度で変動した。対照区の O<sub>2</sub>濃度は、ほぼ一定の20~21%, CO<sub>2</sub>濃度は酸素富化膜区同様、日変動し120~350ppm程度であった。



第 2 図 O<sub>2</sub>および CO<sub>2</sub>濃度を独立して制御した実験装置の模式図

第 1 表 酸素富化膜通過気体がパンジー、サルビアおよび小ギクの生育に及ぼす影響

品目および品種	処理開始 ステージ	処理区	草高(cm)	葉齢	地上部 新鮮重 (g)	地上部 乾物重 (mg)	乾物重 増加率 (%)
パンジー ‘LR アリルクリアオレンジ’	播種直後	酸素富化膜	2.1±0.1	0.3±0.2	0.04±0.01	3.3±0.3	143
		対 照	1.5±0.1	0.0±0.0	0.03±0.00	2.3±0.3	
	播種後 12日目	酸素富化膜	4.9±0.1	4.3±0.2	0.28±0.03	19.8±2.1	190
		対 照 入 室 時	3.7±0.2	3.3±0.2	0.13±0.01	10.4±0.7	
サルビア ‘フラメックス2000’	播種直後	酸素富化膜	4.9±0.7	2.0±0.6	0.14±0.03	8.0±2.5	149
		対 照	3.0±0.1	2.0±0.0	0.08±0.01	5.3±0.4	
	播種後 12日目	酸素富化膜	10.3±0.5	8.3±0.6	1.01±0.13	78.9±11.6	213
		対 照 入 室 時	7.9±0.8	6.0±0.0	0.49±0.06	37.1±4.4	
小ギク‘寒はたる’ <sup>*)</sup>	摘心直後	酸素富化膜	6.2±0.3	5.8±0.4	0.64±0.07	68.2±5.9	143
		対 照	5.0±0.2	4.4±0.2	0.38±0.03	47.6±2.0	

<sup>\*)</sup> 小ギクでは両区とも、草高および葉齢については最長分枝を、新鮮重および乾物重については全分枝を調査した。

<sup>\*)</sup> 数値は平均値±標準誤差 (n=5)

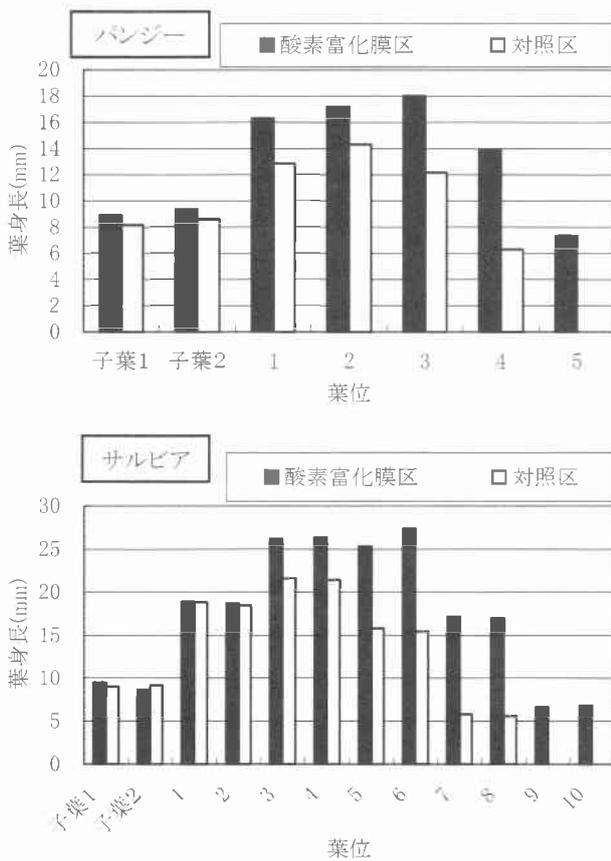
実験1-1. 酸素富化膜通過気体と処理開始ステージがパンジー、サルビアおよび小ギクの生育に及ぼす影響

処理終了時（入室時の欄のみが処理開始時）における酸素富化膜区と対照区の草高、新鮮重、乾物重および葉齢を第1表に示した。酸素富化膜区では、品目および処理開始時期にかかわらず対照区よりも生育が促進され、新鮮重および乾物重が酸素富化膜区で大きくなった。パンジーおよびサルビアでの対照区に対する乾物重増加率は、播種直後よりも播種12日目の処理開始で大きくなった。葉齢は播種直後に処理開始したパンジーおよびサルビアで有意差が見られなかったが、いずれの品目におい

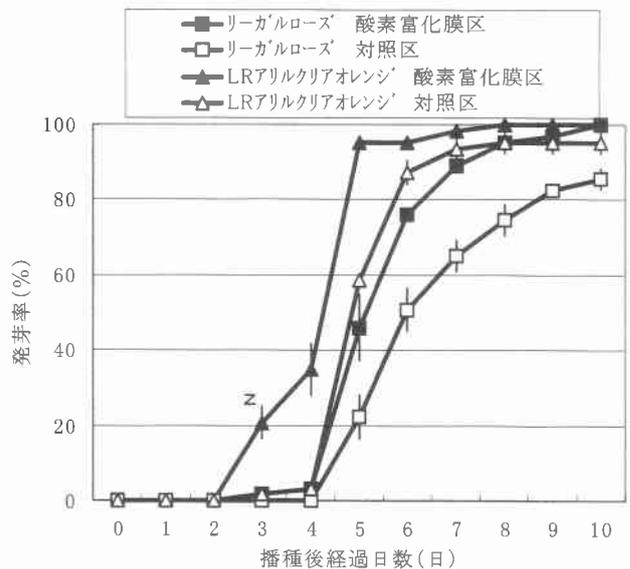
ても有意に大きくなっており、乾物重増加だけでなく葉の展開も酸素富化膜区で早まった。また播種12日目に処理開始したパンジーおよびサルビアの葉位別葉身長を第3図に示した。処理開始時に展開している葉位（パンジーでは子葉、サルビアでは第1および第2本葉）ではほぼ差がなく、処理開始後に展開する葉位で大きくなり、観察ではあるが葉色も濃くなっていた。

実験1-2. 酸素富化膜通過気体がパンジーの発芽および初期生育に及ぼす影響

パンジーの発芽率に対する酸素富化膜通過気体の影響を第4図に示した。両品種ともに発芽が早まるとともに発芽勢が向上した。また播種後10日目の‘LRアリル・クリアオレンジ’および‘リーガル・ローズ’の発芽率も、対照区の95および86%から、酸素富化膜区では両品種とも100%になった。なお‘LRアリル・クリアオレンジ’については種子購入時にプライミング処理済みであった。処理終了時の生育は第2表に示したように草高、新鮮重、乾物重および葉齢のいずれも対照区よりも酸素富化膜区で大きくなり、生育が促進された。



第3図 酸素富化膜通過気体がパンジーおよびサルビアの葉身長に及ぼす影響 (n=5)



第4図 パンジーの発芽に対する酸素富化膜通過気体の影響 z) 標準誤差

第2表 酸素富化膜通過気体がパンジーセル苗の生育に及ぼす影響

品種	処理区	草高 (mm)	葉齢	胚軸長 (mm)	地上部新鮮重 (mg)	地上部乾物重 (mg)
L R アリル クリアオレンジ	酸素富化膜	36.4±0.9 <sup>z)</sup>	1.9±0.1	22±2	133±4	8.8±0.3
	対 照	15.5±0.6	0.6±0.1	18±2	45±2	3.2±0.1
リ ー ガ ル ロ ー ズ	酸素富化膜	27.4±1.2	1.3±0.1	15±2	109±26	5.4±0.3
	対 照	13.3±0.7	0.1±0.1	18±2	36±2	2.2±0.1

<sup>z)</sup> 数値は平均値±標準誤差 (n=24)

第3表 酸素富化膜通過気体がパンジーポット育苗期の生育に及ぼす影響

品種	処理区	草高 (mm)	株幅 (mm)	葉齢	地上部新鮮重 (g)	地上部乾物重 (mg)
マキシム	酸素富化膜	77±7	86±5	9.5±0.6	2.4±0.3	207±26
ホワイト	対 照	86±5	71±8	9.5±0.4	1.7±0.1	173±17
リーガル	酸素富化膜	72±3	89±7	9.0±0.4	1.9±0.1	157±12
ビーコン	対 照	59±4	78±7	8.7±0.2	1.0±0.1	100±10

数値は平均値±標準誤差 (n=6)

第4表 異なる高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>環境がパンジーおよびサルビアの初期生育に及ぼす影響

	処理区 <sup>2</sup>	地上部新鮮重 (g)		地上部乾物重 (mg)		葉齢	草高 (cm)	発芽率 (%)	
		O <sub>2</sub> 濃度 (%)	CO <sub>2</sub> 濃度 (ppm)					発芽始 <sup>x</sup>	最終
パンジー 'LRアルケリアレンジ'	高 O <sub>2</sub> ・ 高 CO <sub>2</sub> 区	30	1400	0.28±0.03 <sup>w</sup> (169)	17.1±1.7(166)	2.4±0.2	7.6±0.4	50	95
		40	1400	0.29±0.02 (144)	20.8±1.2(151)	2.6±0.2	6.0±0.5	45	95
		30	700	0.18±0.01 (109)	13.2±0.9(129)	2.2±0.2	6.5±0.1	45	85
		40	700	0.16±0.01 (119)	12.3±1.0(110)	2.0±0.0	5.3±0.1	60	95
	対照区	20	300	0.16±0.01(100) <sup>y</sup>	10.2±1.0(100)	2.2±0.4	6.2±0.1	9	86
		高 CO <sub>2</sub> 区	20	1400	0.27±0.01(168)	17.9±0.4(187)	2.8±0.2	7.4±0.3	20
高 O <sub>2</sub> 区		40	300	0.15±0.01( 73)	10.0±0.5( 65)	2.0±0.0	5.2±0.2	50	100
サルビア 'フラメクス2000'	高 O <sub>2</sub> ・ 高 CO <sub>2</sub> 区	30	1400	0.59±0.03(169)	42.1±3.3(197)	4.0±0.0	7.9±0.1	10	90
		40	1400	0.47±0.03(123)	30.2±1.5(126)	4.0±0.0	8.3±0.3	10	95
		30	700	0.42±0.03(132)	28.5±2.8(161)	3.8±0.2	7.9±0.1	30	95
		40	700	0.30±0.01( 87)	19.2±1.3( 93)	3.2±0.5	8.4±0.2	20	90
	対照区	20	300	0.35±0.01(100)	20.6±0.9(100)	4.0±0.0	7.1±0.1	11	86
		高 CO <sub>2</sub> 区	20	1400	0.54±0.03(125)	36.1±2.8(138)	4.0±0.0	8.6±0.2	5
高 O <sub>2</sub> 区		40	300	0.30±0.02( 66)	18.0±1.4( 60)	2.9±0.3	5.5±0.3	15	100

<sup>w</sup> いずれも播種直後から20日間処理。

<sup>y</sup> 対照区 (20%, 300ppm) は各回に設置したため6回の平均値を記述。一方, ( ) 内は各試験区と同時に設置した対照区と比較した相対値。

<sup>x</sup> 対照区の発芽始であった5日目 (パンジー), 6日目 (サルビア) の発芽率 (n=20)

<sup>w</sup> 数値は平均値±標準誤差 (n=5)

実験1-3. 酸素富化膜通過気体がパンジーのポット  
育成期の生育に及ぼす影響

酸素富化膜区と対照区における処理終了時の生育を第3表に示した。セル育苗段階での実験1-1および1-2と同様に、酸素富化膜区では対照区より株幅、地上部新鮮重および乾物重が大きくなった。しかし草高と葉齢に有意差は見られなかった。

2) 酸素富化膜を用いずに制御した高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>環境  
が花き苗の生育に及ぼす影響

実験2-1 異なる濃度の高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>環境がパン  
ジー、サルビアのセル育苗期の生育に及  
ぼす影響

4区の異なる高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>条件がパンジーおよびサルビアの初期生育に及ぼす影響を第4表に示した。サルビアの40%・700ppm区を除く総ての高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>区および高 CO<sub>2</sub>区において、地上部新鮮重、乾物重および葉齢

は対照区と同等以上となり、生育促進の効果が見られた。

地上部新鮮重および乾物重について見ると、O<sub>2</sub>濃度が同一の場合は両品目とも、CO<sub>2</sub>濃度が高くなるほど大きくなる傾向が見られた。CO<sub>2</sub>濃度が同一の場合、パンジーではO<sub>2</sub>濃度が高くなるほど地上部新鮮重および乾物重が同等もしくは、小さくなる傾向が見られた。サルビアでもパンジーと同様の傾向があるものの、20%・1,400ppmの高CO<sub>2</sub>区で30%・1,400ppmの高O<sub>2</sub>・高CO<sub>2</sub>区よりも、地上部新鮮重および乾物重が小さくなった。

葉齢には両品目とも、地上部新鮮重および乾物重ほどの差は見られず、CO<sub>2</sub>濃度が1,400ppmの各区でやや大きくなる傾向が見られた。発芽率はパンジーにおいてO<sub>2</sub>濃度が30および40%の処理区で高い傾向が見られたが、サルビアでの影響は判然としなかった。

### 3 考 察

実験1-1では酸素富化膜通過気体がパンジー、サルビアおよび小ギクに対して生育促進効果を持つことが確認された。この生育促進効果は地上部乾物重の増加だけでなく、葉の大型化と葉色が濃くなる形態変化を伴っていた。CO<sub>2</sub>施用によって、キク<sup>19</sup>やカブ<sup>19</sup>では新鮮重および乾物重の増加とともに、葉色が濃くなり葉面積が拡大する形態変化が報告されている。またCO<sub>2</sub>施用による生長促進は、純同化率(NAR)の増加だけでなく葉面積指数(LAI)の増加による影響も大きい<sup>16,21</sup>とされており、本実験でも葉面積の拡大が地上部乾物重の増加に寄与したものと考えられた。また1,000ppmのCO<sub>2</sub>を播種後2週間のパンジーに与えると移植までの期間を短縮できる<sup>11</sup>が、本実験においても処理終了時の葉齢は酸素富化膜区で大きくなっていった。本実験では、播種直後よりも播種12日目に処理を開始した試験区で乾物重増加率が大きくなっており、発芽段階より子葉展開以後の段階での影響が大きかったものと考えられた。これらのことから、酸素富化膜通過気体による自然光下での生育促進効果は主として、子葉展開以後の高CO<sub>2</sub>の影響であるものと推察された。

実験1-2では、酸素富化膜通過気体がパンジーの発芽勢と最終発芽率の両方を高めることが明らかとなった。種子の発芽では、吸水後にO<sub>2</sub>が必要<sup>11</sup>であり、そ菜<sup>2</sup>や雑草<sup>6</sup>において、外気濃度である21%以下ではO<sub>2</sub>濃度が高いほど発芽率は向上する。さらに近年では、酸素濃縮機から得られる高O<sub>2</sub>濃度気体を用いることで、パンジー<sup>13</sup>およびホウレンソウ<sup>10</sup>の発芽勢および最終発芽率を飛躍的に向上できることが報告されている。本実験の酸素富化膜区でのO<sub>2</sub>濃度は約30%で安定しており、前田ら<sup>13</sup>が用いた40および90%という実験条件より低濃度ではあるが、同様の効果が得られたものと考えられた。

実験1-3では、セル苗で確認された酸素富化膜区での生育促進効果が、ポット育成期のパンジーにおいても得られることを示した。しかし、その程度は新鮮重、乾物重の増加率および葉齢のいずれにおいても、実験1および2で見られたほど顕著なものではなかった。これは、パンジーに対するCO<sub>2</sub>施用で、播種後4週間目の苗よりも播種後2週間目の苗の方が鋭敏に反応し、移植までの日数を短縮できたとするKaczperskiら<sup>9</sup>の報告と一致した。今回の実験では、葉面積に関する測定を行わなかったため明示することはできなかったが、葉齢に差がなかったことと等をあわせて考えれば、ポット育苗期ではセル育苗期ほど葉面積拡大の効果が大きくなかったため

に、生長促進の効果が小さかったものと考えられる。

実験2-1では、4つの高O<sub>2</sub>・高CO<sub>2</sub>区、高CO<sub>2</sub>区、高O<sub>2</sub>区および対照区での生育比較から、O<sub>2</sub>濃度の上昇による生育阻害とCO<sub>2</sub>濃度の上昇による生育促進が確認された。こうした生育への影響は乾物重にも明確に示されていることから、光合成速度の変化によるものと考えられる。見かけの光合成がO<sub>2</sub>濃度上昇によって阻害されるワールブルグ効果は低温と高CO<sub>2</sub>濃度によって減少する<sup>14</sup>。また分子レベルにおいてはリブローズビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ(Rubisco)の持つ2つの機能が独立でなく、O<sub>2</sub>がカルボキシラーゼ反応の、CO<sub>2</sub>がオキシゲナーゼ反応の拮抗的阻害剤となっており、オキシゲナーゼ反応は高温でカルボキシラーゼ反応よりも活性化される<sup>14</sup>。このため本実験よりも高温の条件下では生育促進効果が減少することも予想される。しかし、少なくとも25/20℃かつO<sub>2</sub>濃度40%以下の範囲においては、10%を単位としたO<sub>2</sub>濃度の上昇による生育阻害が、700ppmを単位としたCO<sub>2</sub>濃度の上昇によって効率的に解消できることを本実験は示している。ただしO<sub>2</sub>濃度40%、CO<sub>2</sub>濃度700ppmの試験区ではサルビアにおいて、対照区よりも乾物重が小さく、CO<sub>2</sub>濃度を高めてもO<sub>2</sub>濃度40%では品目によって生育促進効果が得られない場合のあることが示された。実験1-1~3で用いた酸素富化膜通過気体のO<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>の濃度の実測値は、温度による変動があるものの25℃下で、30%および1,000ppm前後であった。また酸素富化膜区チャンバー内(植物存在下)のO<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>の濃度は、30±2%および600~1,000ppmで推移した。このような酸素富化膜区の条件は、実験4における30%・700ppm区と30%・1,400ppm区の中間に相当しており、CO<sub>2</sub>濃度のみを高める慣行のCO<sub>2</sub>施用(20%、700~1,000ppm)より効果が劣るものの、十分に実用可能な生育促進技術であると考えられた。今後、膜特性の検討を進めることでO<sub>2</sub>の分離比を下げることでできれば、その園芸生産上の実用性は更に高まるであろう。

現在、花き苗の生産現場ではエアコン等で温度制御した発芽室や育苗用の小型ハウスで多くの育苗がなされている。しかし生産品目や生育ステージが多岐にわたるため、ガス環境条件を最適化できているとは言い難い。本報告で利用した酸素富化膜による高O<sub>2</sub>・高CO<sub>2</sub>環境は、品目に共通して、発芽からポット育成段階まで、常に生育促進に有効であった。このことから多様な品目を同時に育苗する花き苗生産での、発芽室や育苗室を対象とした実用可能性が考えられる。さらに酸素富化膜方式によるCO<sub>2</sub>施用では大気中のCO<sub>2</sub>を積極的に濃縮して利用するため、施設園芸から排出するCO<sub>2</sub>量を削減することが

可能となる。しかし、そのためには利用規模、換気方法、温湿度制御など検討の余地が多く、今後の課題としたい。

#### 4 摘 要

花き苗を用いて酸素富化膜通過気体の生育に及ぼす影響ならびに、異なる濃度の高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>ガス環境の生育に及ぼす影響について調査した。その結果、酸素富化膜から得られる高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>条件は、慣行の CO<sub>2</sub>施用より効果が劣るものの生育促進に有効であり、環境中から CO<sub>2</sub>を回収できる新たな CO<sub>2</sub>施用法となる可能性が示唆された。

1. アクリルチャンパー内に酸素富化膜通過気体を通気することによって O<sub>2</sub>濃度30±2%, CO<sub>2</sub>濃度600~1,000ppm の高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>ガス環境が得られた。

2. 酸素富化膜通過気体での21日間処理によってパンジー、サルビアおよび小ギクの乾物重は、対照(外気を通気)の143~213%に増加し、処理終了時の葉齢も進んでいた。

3. 酸素富化膜通過気体による乾物重増加率は、パンジーおよびサルビアで播種直後よりも、播種12日目に処理を開始した試験区で大きくなった。

4. パンジーの酸素富化膜通過気体による播種直後処理では、発芽勢および発芽率が高まった。

5. パンジーのポット育苗ステージにおいても、酸素富化膜通過気体によって株幅、地上部新鮮重および乾物重が大きくなった。

6. O<sub>2</sub>濃度30および40%, CO<sub>2</sub>濃度700および1,400 ppm を組み合わせた高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>環境において、パンジーおよびサルビアの乾物重は CO<sub>2</sub>濃度が高くなるほど大きく、O<sub>2</sub>濃度が高くなるほど小さくなった。サルビアの O<sub>2</sub>40%, CO<sub>2</sub>700ppm 区を除く高 O<sub>2</sub>・高 CO<sub>2</sub>区では生育が促進され、乾物重で対照区(外気を通気)の109~197%に増加した。

#### 引 用 文 献

1) Armitage, A.M (長村智司訳)：最新花壇苗の生産技術, 89-94, 農山漁村文化協会, 東京, 1998.

- 2) 堀 裕・杉山直儀：園学雑, 22(2), 72-0, 1953.
- 3) 今川順一・杉村輝彦・脇坂 勝：園学研, 4 (1), 47-50, 2005.
- 4) 今川順一・浦崎孝行：奈良農技セ研報, 33, 1-11, 2002.
- 5) Kaczperski, M.P., Lewis, P.M. and Armitage, A.M.: Greenhouse Grower, 11(11), 36-39, 1993.
- 6) 片岡孝義・金 昭年：雑草研究, 23, 9-12, 1978.
- 7) 川島信彦：四訂 施設園芸ハンドブック, 186-194, 園芸情報センター, 東京, 1998.
- 8) 川島信彦：奈良農試研報, 22, 65-72, 1991.
- 9) 川島信彦・山本英雄・黒住 徹・谷川賢剛・田中良宏：奈良農試研報, 24, 25-30, 1993.
- 10) 木欠博之・中野智彦：平成15年度近畿中国四国農業研究成果情報, 291-292, 2004.
- 11) 小西国義：植物の生長と発育, 64-65, 養賢堂, 東京, 1982.
- 12) 草刈眞一・山崎基嘉・森井正弘・沢田太助：大阪食とみどり技セ研報, 40, 1-4, 2004.
- 13) 前田茂一・荒井 滋・仲 照史・長村智司・角川由加：近畿中国四国農研, 4, 27-31, 2004.
- 14) Mohr, H. and Schopfer, P. (網野真一・駒嶺穆監訳)：植物生理学, 194-197, 219-236, シュプリンガー・フェアラーク東京, 東京, 2001.
- 15) 中川 泉・吉岡 広・河田 貢・西村仁一：近畿中国農研, 81, 30-34, 1991.
- 16) 織田弥三郎・川田訓平：近畿中国農研, 82, 16-19, 1991.
- 17) 大谷敏郎・佐瀬勘紀・豊田裕道：農業施設, 26(2), 105-114, 1995.
- 18) 谷川孝弘・小林泰生：福岡農総試研報, B11, 57-62, 1991.
- 19) 谷川孝弘・長岡正昭・池田 広・清水明美：園学雑, 61(4), 873-878, 1993.
- 20) 渡辺寛之：奈良農試研報, 28, 15-22, 1997.
- 21) 矢島正晴：農および園. 66(1), 95-102, 1991.