

促成ミニトマト栽培におけるCO₂施用の効果

吉村 昭信・角山 正吉・山本 英雄*

Effect of CO₂ Enrichment in Greenhouse on the Growth of Cherry Tomatoes.

Akinobu YOSHIMURA, Tadayoshi KAKUYAMA, Hideo YAMAMOTO

Summary

1. Effects of CO₂ enrichment on the growth of cherry tomatoes were tested at winter cultivation in plastic houses. CO₂ concentration was controlled from 8:00 to 16:00 by infrared-ray analyzer.
2. 44-77% increase on the amounts of and 53-60% on the number were attained by CO₂ enrichment to 750 ppm and the ventilation at 25°C. However CO₂ enrichment had little effect on the fruits size.
3. CO₂ enrichment to 1500 ppm had much more yield than that at 750ppm.
4. The CO₂ enrichment to 750ppm was determined to be profitable with the estimated consumption of liquid CO₂ less than 500 kg/a.
5. It is not certain that further economy can be achieved by burning kerosene or LPG.

Key words : carbon dioxide, CO₂ enrichment, cherry tomatoes

緒 言

冬期に寡日照となる地域では、促成トマトなどの収量および品質の両面で日照条件の良い地域より劣るために経営が不利とされている。逆にそのような気候条件のために、CO₂施用技術の開発・普及の可能性が残された地域であるといえる。

これまでに当試験場では様々な葉・根菜類並びに果菜類の冬期ハウス栽培に対してCO₂を施用し、その効果が顕著であることを実証してきた^{4,5,6,7)}。なかでも、本県の冬期の主要農産物であるイチゴに関しては重点的に研究が進められ、現在では県内各所に普及した技術となっている。しかし、他の施設園芸県で行われているトマト類の促成栽培は、本県ではほとんど行われていない。この作型の本県における普及には、増収と品質向上技術が大事な鍵を握るものと考えられる。大玉トマトに関するCO₂施用技術の研究は過去に数多く行われ^{1,8,9)}、当該においても大玉トマトについてはその効果が認められている^{2,3,7)}。本研究では促成ミニトマト栽培において、CO₂を施用したところ著

しい効果をあげたので、ここに報告する

材料および方法

実験は、1993年度から3年間行った。用いたハウスは間口3.5m、奥行き8m、棟高2.3mであり、対照を含む各処理に1棟ずつ供した。すべて換気扇による強制換気を行い、暖房は3kWの電気温風機により12°Cに設定した。温度設定用のサーモスタットは、自作通風装置の中に入れた。換気および暖房の温度設定は、換気扇及び暖房機が断続して運転しているときの平均温度である。8時から16時までの間に赤外線分析式の制御器（富士電機ZFP-1型）により、各試験区のハウス内CO₂濃度を4分に1回測定した。ガス源は実験2の燃焼施用方式を除き液化CO₂を使用し、設定値より低濃度の場合は、換気扇作動の状況に関わらず測定終了から30秒間、5 l/secの流量でガスを供給した。

供試した品種は‘ミニキャロル’（サカタのタネ）で、栽培条件の概要は第1表に示した。いずれの苗も、播種床から一度鉢上げしたものである。鉢

上げには1993年度は9cmポットを、1994,1995年度は10.5cmポットを用いた。定植した畝は高さ10cm程度とし、1993年度は150cm幅、1994,1995年度は180cm幅の2条植えとした。施肥にはN:P₂O₅:K₂Oが10:10:10の緩効性肥料 (IB化成、三菱化成) および13:3:11で140日溶出型 (ロング140、チッソ旭) を用いた。各成分の施用量は第2表の通りである。ホルモン処理は、トマトトーン100倍液を用いて一つの花房に対して数回に分けて行い、着果は制限しなかった。摘心は1993年度および1995年度に7段、1994年度には10段で行った。

調査区はすべて各区10個体とした。秀品果の階級別割合は、23g以上・15g以上・10g以上・7g以上・7g未満で分け、2L・L・M・S・2Sと表した。ただし、実験1では15g以上の果実を全てLとした。

実験1 ハウス換気温度がCO₂施用の効果に及ぼす影響

換気温度とCO₂施用に関して、高い効果が得られる条件を見いだすために、それらを組み合わせで調査した。CO₂施用区の換気温度は一般的であると思われる25℃と、高温設定である28℃の2区とし、対照区は標準的な換気温度と思われる25℃とした。施用濃度は750ppmとし、換気回数が増加する3月は500ppmに落とした。

調査した項目は、生育の指標として花房別の開花時期と月別の収量および秀品果の階級別割合を

みた。花房別の開花時期は、第3花房から第7花房に関して当該花房中の最も早く開花した日を、その花房の開花日とした。

実験2 CO₂施用濃度が果実品質・収量に及ぼす影響

より効果的なCO₂施用濃度に関する知見を得るために、従来イチゴで行われている750ppm施用に加えて、1500ppm施用を無施用の対照区と3棟で比較した。換気温度は、28℃に設定した。3月には750ppm施用区は500ppmへ、1500ppm施用区は750ppmで2週間経過した後に500ppmへ設定を変更した。液化CO₂以外のガス源として灯油用カンテラを用いて、濃度制御をせずに午前9時から午後4時頃まで連続して燃焼させた。

調査した項目は、月別の収量および秀品果の階級別割合である。また、食味に関する評価の指針として糖度(Brix%)および滴定酸度を測定した。各調査区より無作為に10果実を抜き取り、ホモジナイズ後3000回転で1分間遠心分離を行い、上澄み液を屈折糖度計で測定した。残液より5ml取り、蒸留水で2倍に希釈したものを0.1N NaOHで滴定し、酸度を測定した。また燃焼施用法については灯油消費量を調査した。

第1表 栽培管理の概要

Table 1. schedule of cultivation.

実験	年度	播種 月/日	鉢上げ 月/日	定植 月/日	畝幅 cm	株間 cm	密度 本/a	被覆 月/日	施用始 月/日
実験1	1993	8/25	9/7	10/16	150	42	317	10/21	11/22
実験2	1994	8/26	9/6	10/4	180	40	297	10/24	11/24
実験3	1995	9/4	9/13	10/17	180	40	277	11/4	11/23

第2表 施肥の成分量 (kg/a)

Table 2. Component of the applied

実験年数	N	P	K
1993	1.0	2.0	1.4
1994	1.6	2.6	1.6
1995	1.6	2.6	1.6

実験3 CO₂施用時間が果実品質・収量に及ぼす影響

CO₂施用におけるコスト低減を目的として、施用時刻が午前8時から正午までの午前中4時間施用区と、午前8時から午後4時までの日中8時間施用区の2区を設けた。施用濃度は750ppmとし、3月には500ppmとした。すべての区で換気温度は28℃に設定した。

本実験ではCO₂施用量、月別の収量、糖度、酸度を調査した。CO₂施用量は電磁弁が開放された時間をアワーメーターで計測し、時間と設定流量との積より求めた。収量、糖度、酸度に関しては実験2のとおりである。

結 果

実験1 ハウス換気温度がCO₂施用の効果に及ぼす影響

CO₂施用時の温度を変えた場合の第3花房から第7花房までの第1花開花日を第3表に示した。25℃換気の場合、第4花房では無施用と比べて2日早まったが、第5花房では同じであり、28℃換気の場合は第4花房で2日早まったが、第7花房

では逆に2日遅くなり、一定の傾向は認められなかった。月別の収量と全期間の収穫物における階級別割合を第4表に示した。換気温度25℃の場合、CO₂を施用すると、重量で約57%の増加を示した。月別に見ると、12月1%増、1月43%増、2月60%増、3月130%増となり、後期になるほど収量の増加割合が大きくなった。さらに換気温度28℃では、全期間収量が換気温度25℃・CO₂施用区に較べて約12%増、換気温度25℃・CO₂無施用区に較べて約77%増となった。月別では対照に比べて12月77%増、1月60%増、2月102%増、3月53%増であり、収穫初期から収量が増加した。階級別の割合は、CO₂を施用した両区でS、2Sが減少し、L、Mの増加が認められた。CO₂施用を行った場合、換気温度28℃では、25℃よりもL、Mが減少し、S、2Sが増加した。

実験2 CO₂施用濃度が果実品質・収量に及ぼす影響

異なるCO₂濃度が月別収穫量に及ぼす影響を第5表に示した。全期間の収量におけるCO₂施用の効果は施用濃度にほぼ比例し、無施用に較べて750ppm施用の場合約45%、1500ppmの場合約83%

第3表 換気温度を変えた場合の花房別開花時期

Table 3. Effect of CO₂ enrichment and ventilating temperature on the flowering time.

処理	花房順位				
	第3	第4	第5	第6	第7
無施用25℃換気	11月11日	11月18日	12月1日	12月9日	12月19日
施用25℃換気	11月10日	11月16日	12月1日	12月8日	12月18日
施用28℃換気	11月12日	12月16日	12月1日	12月10日	12月21日

第4表 CO₂施用における換気温度と月別収量および階級別割合（実験1）

Table 4. Effect of CO₂ enrichment and ventilating temperature on the monthly yield and size proportion.

処理	収穫重量 (kg/a)					計	比	階級別割合 (%)*				平均1果重 (g)
	12月	1月	2月	3月	L			M	S	2S		
無施用25℃換気	63.1	127.8	276.6	68.1	535.6	100	4.6	46.5	43.9	5.0	9.4	
施用25℃換気	63.7	182.9	441.3	156.6	844.5	157	22.3	60.8	15.5	1.4	11.2	
施用28℃換気	82.2	204.7	557.4	104.3	948.6	177	16.9	47.4	31.2	4.5	10.6	

* : L ≥ 15 g > M ≥ 10 g > S ≥ 7 g > 2S

増加した。12月には750ppm・1500ppmがそれぞれ18%・23%増となり、同様に1月15%・53%増、2月85%・110%増、3月103%・211%増と、後期での収量の増加が著しかった。収穫個数は第6表のとおり、濃度750ppmの場合約53%、1500ppmの場合約85%増加した。収穫個数の増加割合も収量と同様に後期に大きくなった。階級別割合には、濃度750ppmでは無施用とほとんど差は認められなかったが、濃度1500ppmではLおよびS以下が減少し、Mが増加した。収穫果1果あたりの重さには、

CO₂を施用した場合750ppmでは少し小さくなり、1500ppmでは逆にやや大きくなる傾向が認められた。(第7表)

濃度制御をしない燃焼施用を行った場合の収量および階級別割合も第5表に示した。収量は無施用区に較べて約23%増加し、Lが減少し、Mの増加が認められた。

第1図に糖度と滴定酸度を示した。糖度は生育が進むと高くなる傾向を示した。CO₂施用区は750ppm、1500ppm、燃焼施用いずれも2月調査ま

第5表 CO₂施用濃度と月別収量および階級別割合 (実験2)

Table 5. Monthly yield and fruit size proportion in weight at two CO₂ treatment

処理	収穫重量 (kg/a)						階級別割合 (%)*					
	12月	1月	2月	3月	計	対比	2 L	L	M	S	2 S	裂果
無施用	107.4	195.4	109.2	71.9	483.9	100	0.1	21.3	26.5	37.4	10.2	2.8
750ppm	126.9	226.2	202.5	145.8	701.4	145	0.2	17.6	25.5	38.4	12.7	2.5
1500ppm	132.1	298.4	229.3	223.9	883.8	183	0.0	17.1	35.6	34.8	8.2	3.3
燃焼施用	125.0	213.8	112.9	136.8	588.4	123	0.0	15.2	33.0	33.2	10.0	5.9

* : L ≥ 15 g > M ≥ 10 g > S ≥ 7 g > 2 S

第6表 CO₂施用濃度と収穫個数および階級別割合 (実験2)

Table 6. Monthly fruit numbers and proportion of size under CO₂ treatment

処理	収穫個数 (×100個)						階級別割合 (%)*					
	12月	1月	2月	3月	計	対比	2 L	L	M	S	2 S	裂果
無施用	70	174	124	91	460	100	0.0	11.8	21.1	42.7	20.7	2.1
750ppm	84	207	236	176	703	153	0.1	9.8	21.1	42.0	23.1	2.4
1500ppm	84	256	264	246	849	185	0.0	9.3	29.5	41.3	15.7	3.4
燃焼施用	85	192	132	157	566	123	0.0	8.6	26.1	38.0	18.1	18.1

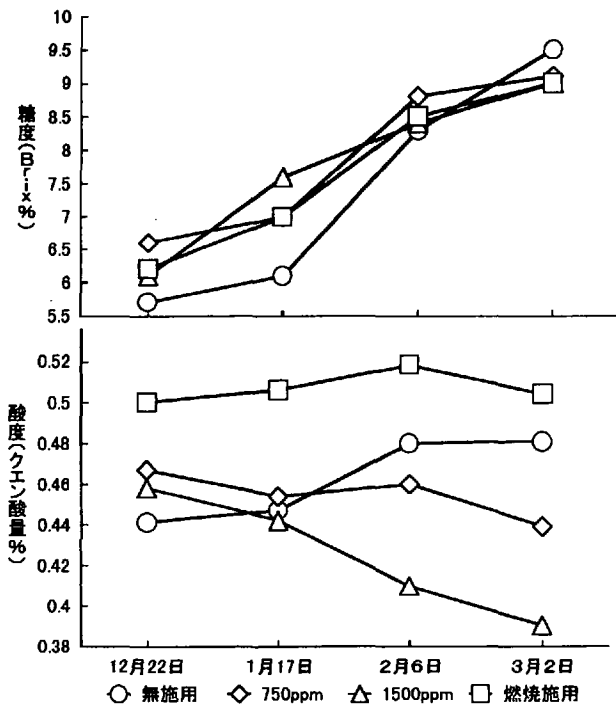
* : 2 L ≥ 23 g > L ≥ 15 g > M ≥ 10 g > S ≥ 7 g > 2 S

第7表 CO₂施用濃度と収穫果1果あたりの重さ

Table 7. Cherry tomato fruits weight per Fruit at CO₂ Treatment time.

処理	12月	1月	2月	3月	計
無施用	15.3 g	11.2 g	8.8 g	7.9 g	10.5 g
750ppm	15.0 g	10.9 g	8.6 g	8.3 g	10.0 g
1500ppm	15.8 g	11.7 g	8.7 g	9.1 g	10.4 g

では無施用より高かったが、3月調査では無施用区が最大となった。酸度は無施用区と施用区で異なる傾向を示した。無施用区は生育するにしたがって上昇したが、施用区は減少する傾向が認められた。特に1500ppm施用ではその傾向が強く現れた。燃焼施用区は、どの時点の調査でも最も高い値を示した。燃焼施用の場合に灯油の消費量から算出したCO₂施用量は、1236kg/10aになった。



第1図 CO₂施用量

Fig 1. Effect of CO₂ concentration on Soluble Solids contents and citric acidity

実験3 CO₂施用時間が果実品質・収量に及ぼす影響

第8表に午前中4時間、および日中8時間施用のCO₂施用量を比較を示した。CO₂施用量はほぼ施用時間に比例した。収量および階級別割合は第9表のとおりであり、無施用に較べて午前中施用によって約31%、日中8時間施用を行うと約67%増加した。12月には両CO₂施用区が無施用区の70~80%であったが、1月以降はCO₂施用区が大幅に増収し、午前中施用区は3月に78%増加、日中8時間施用区が2月に161%増加を示し、以降増加傾向はより明らかになった。階級別割合は、両CO₂施用区でLサイズが増加し、Mサイズが減少する傾向が認められた。また、第10表に示した月別収穫個数にも時間が経過するにつれてCO₂施用効果が認められたが、収量のような著しい差はみられなかった。これは、CO₂施用によって下位の花房の果実が大型化したことを示している。

第2図に糖度および酸度を示した。全体として糖度は収穫期後半になるほど高く、酸度は低くなる傾向を示した。処理区間の比較では、糖度は初期には日中8時間施用区が高くなったものの、2月14、28日調査では無施用区が両施用区を上回った。一方、酸度は両CO₂施用区が無施用区より少なく、

第8表 施用時間とCO₂施用量

Table 8. Component of CO₂ Gas

処理	施用量 (kg/10a)
午前中4時間施用	2277
日中8時間施用	4858

第9表 CO₂施用における施用時間と月別収量および階級別割合 (実験3)

Table 9. Monthly yield and size proportion in weight under the CO₂ treatment time

処理	収穫重量 (kg/a)					対比	階級別割合 (%)*					
	12月	1月	2月	3月	計		2 L	L	M	S	2 S	裂果
無施用	58.7	188.5	142.6	73.2	463.0	100	0.0	11.8	30.1	39.4	17.8	0.8
午前4時間	40.8	221.5	212.5	130.0	604.9	131	0.3	18.1	23.5	35.8	21.8	0.8
日中8時間	47.2	231.5	372.3	123.6	774.6	167	0.6	18.1	26.2	37.4	17.8	0.5

* : 2L ≥ 23 g > L ≥ 15 g > M ≥ 10 g > S ≥ 7 g > 2S

また8時間施用区の方が4時間施用区よりも少なくなる傾向が認められた。

考 察

1. CO₂の施用効果

ミニトマトにCO₂を施用することにより、無施用に比べて収量は23~82%、収穫個数も23~85%それぞれ増加した。一方、1果当たりの平均重は、最高で19%増にとどまった。階級別の割合は、S

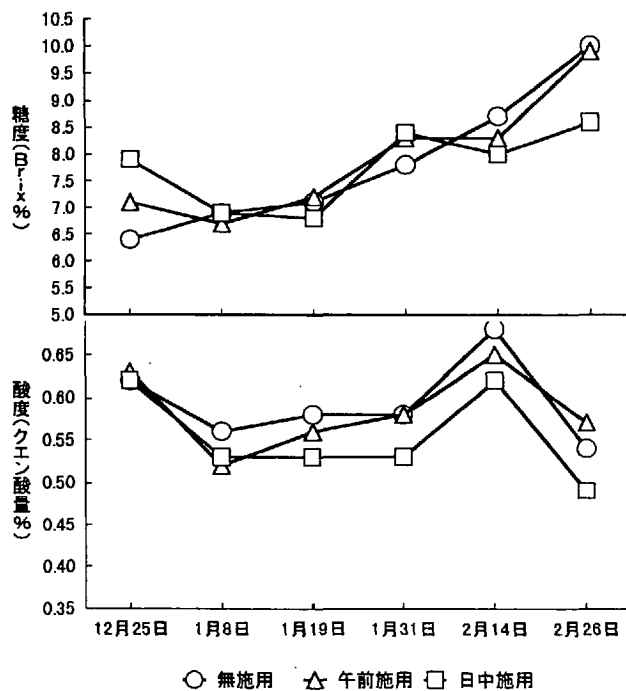
以下の果実はやや減少し、Lが増加する傾向が認められた。これらのことから、増収の第一の要因は、収穫個数の増加であるといえる。しかし開花数が増大して着果率は変わらないのか、あるいは開花数は同じであるが着果率が高くなったのかは、開花数の調査を行わなかったために判断できなかった。1果重に関しては、無施用と同等かわずかに大きくなる程度であり、イチゴの場合のような大きな要因にはならなかった⁶⁾。この違いは、ミニトマトが一定の大きさ以上に肥大しないことに起因しているとも思われる。

第10表 CO₂施用における施用時間と月別収量および階級別割合 (実験3)

Table10. Monthly fruit numbers and proportion of size under CO₂ treatment time

処理	収穫個数 (×100個)					対比	階級別割合 (%)*					裂果
	12月	1月	2月	3月	計		2 L	L	M	S	2 S	
無施用	44	157	174	93	467	100	0.0	6.4	21.8	43.4	27.7	0.7
午前4時間	27	157	236	158	578	124	0.1	9.2	17.5	38.1	34.1	0.9
日中8時間	32	151	416	150	748	160	0.2	8.6	20.4	41.1	29.6	0.4

* : 2L ≥ 23 g > L ≥ 15 g > M ≥ 10 g > S ≥ 7 g > 2S



第2図 CO₂施用時間が糖度及び酸度に及ぼす影響

Fig2. Effect of CO₂ treatment time on soluble solids contents and citric acidity

糖度について1994年度はCO₂施用区が初期に高く、生育が進むにしたがって無施用区と同等かそれ以下に低下する傾向が明らかに認められ、1995年度も不明瞭ではあるが同様の傾向を示した。また、両年度とも収量の増加割合が大きい試験区ほど低下割合が大きい。本試験では無施用区と同様にCO₂施用区に関しても着果制限を行わなかったために、着果量の著しい増大によって樹体への負担が無施用区より大きくなったことが予想され、その結果として糖度が高まらなかったものと考えられる。一方、酸度は無施用区より低く推移する傾向が認められ、酸度が上昇しなかった原因について明らかではないが、CO₂施用の効果の一つとして認めることができる。これらの点から、ミニトマトへのCO₂施用は品質向上にも効果があるものと思われる。

2. 施用方法

イチゴの場合、川島は375~1000ppmの間では濃度を上昇させるほど収量が増加することを報告⁹⁾している。しかし、設定濃度を高めるほどCO₂消費量も増加すること、また織田による4から10klxの弱光下での光合成速度の飽和現象の報告¹⁰⁾から、実用上750ppm施用が妥当であるとしている。

ミニトマトの収量は本実験で1500ppmまでは濃度に比例して増加することが確認された。しかし先に述べたように着果を制限しない場合には、収穫個数が大幅に増加する。これは収穫労力の増大に直結する。したがって施用濃度は、各農家の経営判断に委ねられるところが大きい。750ppm施用によって10aあたり40%、2tの増収が見込まれ、平均単価を600円と仮定すると、120万円の粗収益増となる。液化CO₂の単価が80円/kgで、CO₂の消費量を多めに5tと見積もると差し引き80万円の増収となる。

農家段階でのCO₂施用によく見られるのは、換気扇が未設置であり早朝より施用を行って、ハウスを開放して換気を始める午前10時から11時頃に終了するという方法である。本実験では施用時間短縮の影響が大変大きく、午前中4時間施用は日中8時間施用の半分のCO₂使用量であるが、増収効果も半減した。このことから換気扇設置ハウスはもとより、未設置のハウスでも日中に長時間施用

することが必要である。本県の園芸ハウスにおける換気扇の設置割合は低く、より広範なCO₂施用栽培の普及のためには、換気扇未設置ハウスでの換気中における施用技術を確立する必要が生じるだろう。

本実験で行った灯油連続燃焼施用では、液化CO₂施用に比べて収量は低く、品質の向上は認められなかった。しかし、灯油消費量から算出したCO₂施用量は第6表と比較して少ない。このことから十分にハウス内のCO₂濃度が上がらなかったものと考えられ、より発熱量が大きい器具で施用を行えば、効果が上がる可能性は十分に考えられる。灯油やLPG 1kgが完全燃焼した場合約3kgのCO₂が発生する。上記のようにCO₂施用量を5tとすると、灯油単価を50円/ℓ・比重0.85、LPGを150円/kgとした場合、一作の経費は灯油代は98,000円、LPG代は250,000円となり、液化CO₂代400,000円に比較してかなり安価となる。したがって施用コスト低減のためには、燃焼方式の採用が望ましい。

以上のように、促成ミニトマト栽培におけるCO₂施用技術は増収効果が非常に高い。本県における栽培は少ない現状であるが、本研究が今後の作型導入時の参考となれば幸いである。

摘 要

1. 促成ミニトマト栽培におけるCO₂施用の効果进行调查した。
2. 強制換気、濃度制御器を用いCO₂濃度750ppm、換気温度28℃、日中8時間施用の条件で、収量は無施用に比べて44~77%増加し、収穫個数も53~60%増加した。
3. 施用濃度を1500ppmにするとさらに増収した。
4. 750ppm施用の場合、CO₂消費量は10aあたり5t以内と推定され、経済性は高いと判断された。
5. さらにコストを低減するためには燃焼施用方式の導入も可能であるが、今回の調査では燃焼量が不足していたと判断された。

引用文献

1. 藤井健雄・伊藤 正. 1964. 蔬菜に対する炭酸ガス施肥の実用化に関する研究. 農および園. 39(7): 1125-1126.
2. 久富時男・川島信彦・森岡和之・高木清隆.

1976. 日々の日射量を基準にした施設栽培トマトに対する夜温および炭酸ガス施用制御. 農および園. 51(5): 304-308.
3. ———— 森岡和之. 1978. 良品、多収のための環境管理基準の設定に関する研究 (第3報) 低日射期におけるビニールハウス内の炭酸ガス環境とトマトの光合成について. 奈良農試研報. 9:1-12.
4. 川島信彦・黒住 徹・大原正行. 1989. 施設内におけるCO₂施用に関する研究 (第1報) 結球レタスとダイコンの生育に対する効果. 奈良農試研報. 20: 31-39.
5. ———— 黒住 徹. 1990. 施設内におけるCO₂施用に関する研究 (第2報) 葉菜類の生育に対する効果. 奈良農試研報. 21: 15-23
6. ———— 1991. 施設内におけるCO₂施用に関する研究 (第3報) イチゴの生育に対する効果. 奈良農試研報. 22: 65-72
7. ———— ・山本英雄・黒住 徹・谷川賢剛・田中良宏. 1993. 施設内におけるCO₂施用に関する研究 (第4報) 果菜類の生育に対する効果. 奈良農試研報. 24: 25-30
8. 河野徳義. 1987. 促成栽培トマトの生育に伴う換気ハウスの気象特性およびCO₂濃度の変化. 農業気象. 43(1): 15-20.
9. 森岡和之・久富時男. 1973. 良品、多収のための環境管理基準の設定に関する研究 (第1報) 長期栽培トマトに対するCO₂施用の影響について. 奈良農試研報. 5: 12-17.
10. 織田弥三郎. 1975. イチゴに対するCO₂施用の理論とその実用化. 農および園. 50(12): 1497-1502
11. 木村雅行. 1984. 農業技術体系 野菜編 イチゴ. p基78. 農文協. 東京
12. 清水 茂. 1985. 野菜園芸大辞典. p249-250. 養賢堂. 東京.