

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

川島信彦・山本英雄・黒住 徹*¹・谷川賢剛*²・田中良宏*³Studies on the CO₂ Enrichment in a Greenhouse (4)

Effect on the growth of some fruit vegetables.

Nobuhiko KAWASHIMA, Hideo YAMAMOTO, Tooru KUROZUMI,

Kengo TANIGAWA and Yoshihiro TANAKA.

Summary

1. Effects of CO₂ enrichment on cucumber, eggplant and tomato growth, were tested at winter cultivation in plastic houses.
2. These crops were tested using of a CO₂ concentration of 750 ppm, which was controlled from 9:00 to 17:00 by infrared rays analyzer, with a ventilating temperature of 28 ~ 30°C.
3. Fruit yield of CO₂ enriched cucumbers, eggplants and tomatoes were 129%, 113~150% and 116~188% respectively for non-treated ones. Furthermore, winter yield increased especially and fruit shapes were improved. So we considered that the CO₂ enrichment is very essential for practical use.
4. Aging of CO₂ treated leaves was remarkable in cucumbers and tomatoes, but not for eggplants.

Key words ; carbon dioxide, CO₂, enrichment, growth, yield, greenhouse, cucumbers, eggplants, tomatoes.

緒 言

果菜類の栽培におけるCO₂施用は、これまでキュウリ・ナス・トマトなどの研究事例が多数あり^{2,3,5,7,10,11,13,15} 奈良県農業試験場でもトマトでの一連の研究^{1,9}がある。いずれも施用効果を認めており、一時期は施用が普及しかけたが、その後日本ではメロンを除いてCO₂施用技術は定着していない。その原因は、濃度管理・施用時間帯・換気温度の不適切、不良燃焼器具の使用、栽培技術対応の遅れなど、当時の施用技術に問題があったものと考えられる。

奈良県内では、石油危機後の促成栽培面積の激減もあり、一時研究を中断していたが、近年は市場確保や、労力分散のため周年出荷の必要性が指摘され、一部で冬期収穫の作型が復活しつつある。一方、近年は比較的安価な濃度制御器が市販され、適正濃度に容易に調節できるようになり、実用化の環境が整いつつある。そこで、第

3報⁵⁾のイチゴへの施用効果の調査と並行して、キュウリ・ナス・トマトについてもCO₂施用効果を調査したところ、効果が著しいことを確認したので報告する。

材料および方法

栽培条件の概要は第1表のとおりで、1986年から1990年度にかけて、場内で実施した。施設は第3報⁵⁾のイチゴの実験1と同じ型式で、間口3.5m、奥行き8.0m、面積28m²のハウスを2棟ずつ供し、1棟を無施用区とし、他棟はCO₂施用区として液化CO₂を施用し、濃度を9~17時に750±100ppm(容積比)に制御した。制御器は赤外線分析式で、第3報の実験1の各年度と同じものを用い、ガス施用チューブは高さ1.8mの位置に吊した。

換気は換気扇(40cm)により、暖房は電気温風暖房機(3kW)を用いた。換気温度と暖房温度は2区とも同じとし、換気を抑えてCO₂施用時間を長くするため、

*¹ 現在県園芸農産課,*² 現在吉野農業改良普及所,*³ 現在郡山農業改良普及所,

本報告の内、キュウリについては、日本農業気象学会の近畿支部1987年度大会において発表した。

換気温度は平均28~30℃と高めに設定した。この温度計測には通風装置を使用し、サーモスタットは電子式で、設定値±1℃で作動した。通常の最高温度計による計測では32~34℃に相当する。なお、1990年度のトマトは第1果房の開花が遅れ、定植時期が予定よりも遅れたため、収穫期が冬期になるように初期は夜間の暖房温度を12℃とし、収穫開始後は10℃とした。

品種は県下で比較的栽培面積の多いものを用い、キュウリは‘女神2号’（埼玉原種育成会）、ナスは‘千両二号’（タキイ種苗）、トマトは‘ハウス桃太郎’（タキイ種苗）と‘ミニキャロル’（サカタのタネ）とし、いずれも接木はせず自根苗を用いた。なお、1986年のキュウリは苗の生育が悪く定植時期が遅くなり、1989年度のナスはミナミキイロアザミウマの被害を受け生育が悪かった。また、1990年度のトマトの無施用区の‘ハウス桃太郎’は、11月下旬に一部で疫病が発生し、防除により病状は止まったものの、下位葉に被害を受けた株はその後の生育が劣った。

施肥はいずれも元肥に化成肥料（IB化成S1号 N:P:K=10:10:10）をN成分で2kg/a施用し、生育中期以降は葉色を見て液肥（大塚 OK-F1）で追肥した。ナスとトマトのホルモン処理はトマトトーンを用い、冬期は75倍液、春期は100倍液を用いた。

仕立はキュウリのみネットを用い、他はひも吊り下げ誘引としたが、ずり下げはしなかった。キュウリの畝どりは、ハウス中央に1畝と両側に半畝を配置し、中央の畝で10株の20枝について収量を調査した。ナスは2畝とし、10株の20枝の収量を調査した。トマトは2品種を1畝ずつ栽培し、ハウス中央側の条で10株の収量を調査した。なお、ハウスが小型でカーテン位置が低いので、摘芯位置はカーテン付近になった。

収穫はキュウリは80g、ナスは100gを目標とし、全体の重量と個数を計測し、トマトは果房別・重量別に分

けて集計した。収量は月別の集計とともに、時期別の収量経過を見るために、毎回の収量を前回からの収穫間隔日数で割り日平均収量を求め、さらに平均化するために前後の収穫日との移動平均値を求めグラフ化した。

結 果

収量は第2表のとおりで、CO₂を施用すると無施用区に対して、キュウリで129%、ナスで113~150%、トマトで166~188%と、ナスの1989年度を除けば、いずれも大幅に増収した。月別では1~3月の増収効果が大きかった。キュウリの時期別収量を第1図で見ると、CO₂施用区では1~3月には無施用区の1.5倍以上の収穫が続いたが、3月から4月にかけて収量の低下が見られた。これはCO₂施用区も無施用区と同じ栽培管理としたため、生育の早いCO₂施用区では、葉かきと側枝への切替えが遅れたためと見られる。

トマトの果房別収量を第3表に、‘ミニキャロル’の移動平均収量を第2図に示した。全期間を通じてCO₂施用区で収量が増加した。‘ミニキャロル’へのCO₂施用の影響をみると、冬の間は処理による果数の差が見られず、CO₂施用区の果重が著しく増加し、平均果重は12g以上に達した。第4果房以降はCO₂施用区の果数が著しく増加し、すべてホルモン処理をしたところ、無施用区よりは大きいものの平均果重は8~10gとやや小さくなった。1月中旬の収量の落ち込みは、この時期の天候不順と暖房温度の変更の影響とみられる。一方、‘ハウス桃太郎’では、無施用区で病害が発生したため処理による差が一層大きくなったが、CO₂施用区の各果房の収量は、冬期としては高水準で施用の効果が大きいことを示している。なお、CO₂施用区の第6果房の収量が少ないのは、誘引紐より高くなった茎が果房の重量で折れたためである。

第1表 栽培条件の概要

Table 1. Outline of cultivating conditions.

年度	品目	品 種	播種 月/日	定植 月/日	畝幅 cm	株間 cm	条数	密度 株/a	仕立 本	施用始 月/日	濃度変更 月/日	施用終 月/日	換気 ℃ ^{*1}	暖房 ℃
1986	キュウリ	女神2号(自根)	9/15	11/11	160	80	2	156	2	12/4	3/10	4/20	30	12
1987	ナ ス	千両二号(自根)	9/1	10/13	150	30	1	222	2	11/1	3/1	5/10	28	12・8
1988	"	"	9/10	10/23	"	"	"	"	"	11/1	"	4/10	"	12
1990	ト マ ト	ハウス桃太郎 ミニキャロル	8/30	10/24	150	30	2	444	1	11/19	"	4/20	28	12→10 ^{*2}

*1 CO₂処理開始時までは25℃

*2 1月14日より10℃に変更

第2表 CO₂施用と月別収量およびサイズ別割合

Table 2. Monthly yield and fruit class proportion in weight.

年度	品 目 (品種)	CO ₂ 施用	暖房 温度°C	収 穫 重 量 (kg/a)								計	%	重量別割合%			平均 果重g
				11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	L			M	S		
1986	キュウリ	無施用	12	—	64	193	367	381	608	712	2325	100	—	—	—	83	
		施 用	"	—	77	363	644	516	609	799	3008	129	—	—	—	86	
1987	ナ ス	無施用	12	13	76	98	176	240	398	418	1418	100	—	—	—	—	
		施 用	"	18	100	138	282	320	684	598	2140	151	—	—	—	—	
1989	ナ ス	無施用	12	24	107	129	164	280	457	377	1538	100	—	—	—	105	
		施 用	"	22	113	118	184	326	488	491	1743	113	—	—	—	103	
1990	トマト (ミニキャロル)	無施用	12/10	—	24	115	223	161	38	—	562	100	1	25	73	8.1	
		施 用	"	—	31	150	316	326	113	—	935	166	14	36	50	9.5	
	トマト (ハウス桃太郎)	無施用	"	—	—	109	230	320	58	—	717	100	17	43	40	104	
		施 用	"	—	—	241	479	619	7	—	1346	188	34	49	17	117	

重量区分, ハウス桃太郎: L ≥ 150 g > M ≥ 100 g > S ≥ 50 g ミニキャロル: L ≥ 15 g > M ≥ 10 g > S ≥ 5 g

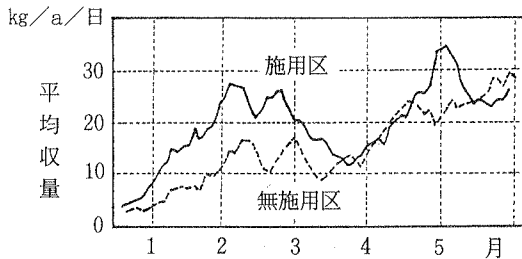
第3表 トマトの果房別収量 (1990年度)

Table 3. Yield of tomatoes at each fruit cluster.

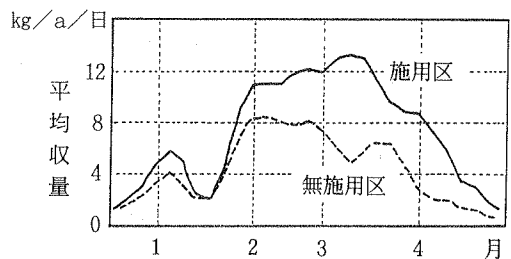
品 種	処 理	重 量 (g/株)						合計 (%)	個 数 (個/株)						合計 (%)
		第1	第2	第3	第4	第5	第6		第1	第2	第3	第4	第5	第6	
ミニキャロル	無施用	151	122	166	174	253	400	1265 (100)	14	14	20	19	35	58	159 (100)
	施 用	183	181	243	290	411	798	2105 (166)	12	15	21	27	46	101	223 (140)
ハウス桃太郎	無施用*	263	273	253	298	208	318	1614 (100)	2.6	3.0	2.9	2.5	2.0	2.5	15.5 (100)
	施 用	613	448	602	622	473	270	3029 (188)	4.8	4.3	5.5	4.9	4.2	2.1	25.8 (166)

* 無施用区に病害が発生し、収穫が低下した。

glossary: 処理=treatment, 無施用=control, 施用=CO₂enriched, 品種=variety, 重量=fresh weight, 個数=number of fruit, 合計=total, キュウリ=cucumber, ナス=eggplant, トマト=tomato, 株=plant,



第1図 キュウリの移動平均収量 (1986年度)
Fig 1. Modulated dayly yield of cucumber.



第2図 トマト(ミニキャロル)の移動平均収量(1990年度)
Fig 2. Modulated dayly yield of tomato.

第4表 CO₂施用とキュウリ葉の生育 (第10節着生葉の平均, 1987年2月20日調査)

Table 4. Growth of cucumber leaves. (average of 10th leaves, Feb 20, 1987)

処 理	葉 長 cm	葉 幅 cm	葉 重 g/枚	乾物率 %	比葉重 g/dm ²		葉面積 cm ² /枚	葉柄長 cm	葉柄重 g
					中心部	縁部			
無施用	21	27	15	18	2.8	2.5	570	19	7
施 用	23	31	25	19	3.5	3.3	750	20	11

第5表 CO₂施用とトマトの時期別生育 (1990年度)

Table 5. Growth of tomatoes.

品 種	ミニキャロル						ハウス桃太郎				
	草丈 cm		葉数 枚		節間長 cm ^{*1}	糖 度 % ^{*2}	草丈 cm		葉数 枚		節間長 cm
	12/4	12/28	12/4	12/28			12/4	12/28	12/4	12/28	
無施用	120	191	23	29	7.0	6.9	112	170	20	26	8.1
施 用	124	186 ^{**3}	23	29	7.7	7.0	121	182	21	27	8.6

*¹ 節間長は収穫終了時に10~20節の平均を計測,*² 糖度は1月6日に計測 (Brix)*³ 一部はすでに摘芯していた。

栽培中の生育状態を品目別に見ると、以下のとおりであった。キュウリのCO₂施用区では、冬期でも1節に2果ずつ着果したが、無施用区では1果しか着果しなかった。第4表はキュウリの第10節着生葉の生育を示しているが、CO₂施用により葉の厚さ・面積ともにそれぞれ30%増加し、葉の重量は無施用区の167%になった。ただし、CO₂施用区では葉の硬化と葉縁部の褐変が進み、第1図のとおり一時期収量が低下したが、葉かきをして側枝に切替えると順調に生育を続け、収量も回復した。

ナスでは側枝の発生が増加し、整枝に注意しないと葉が混み合い、果実の着色が悪くなる場合があったが、全体としては問題が少なく、新葉への切替えが早いためか葉の老化が問題となることはなかった。

トマトの生育は第5表に示したとおりで、CO₂施用区で節間長がやや伸びて草丈が高くなり、観察では葉もやや大型となったが、葉数の差は見られなかった。トマトのCO₂施用区では、生育期間を通じて葉色が濃く、生育後半には上位葉の褐変が目立ったが、逆に下位葉は黄化しにくく枯れ上がりが少なかった。CO₂施用区では側枝の発生が極めて旺盛で、とくに「ハウス桃太郎」では、葉からの新芽の発生が多かった。

品質はとくに調査しなかったが、CO₂施用は果形に好影響を与えた。キュウリでは肩落ち果や先細り果が少なく、果形が全般によくあった。ナスでは無施用区で冬

期に細長くなるのに対して、施用区は太りがよく標準的な果形になった。普通トマトでは空どう果が減少して同じ大きさでもCO₂施用区で重量が増加した。トマトの重量別割合をみると、CO₂施用により両品種とも重い果実の割合が著しく増加した。なお、冬期におけるトマト「ミニキャロル」の糖度は第5表のとおりで、CO₂施用処理による差は見られなかった。

CO₂の使用量は第6表のとおりで、350~400kg/aとイチゴよりやや多かった。ただし、換気連動回路を設けていなかったため、2月以降は換気損失が多かった。

第6表 液化CO₂ガスの使用量 (kg/a)Table 6. Consumption of CO₂ gas.

年度	品目	換気 温度	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	計
1986	キュウリ	30°C	—	48	59	106	116	23	—	351
1987	ナス	28°C	41	72	65	70	77	66	10	403

ハウス面積28m²であるが、実植付面積20m²として換算、濃度は750ppm、3月から500ppm、4月から375ppmに変更、

施用開始：キュウリ=12/4、ナス=11/17、

換気は3月から25°C

考 察

1. 品目別の施用効果

1) キュウリ

収量は冬期の増収効果が大きく、1～2月のCO₂施用区の収量は無施用区の2倍近くになった。品質は施用区で果形がよくなった。従来から指摘されているように、CO₂施用区では葉の老化症状が現れ、一時収量が低下したが、早めに摘葉して側枝への切り替え時期を早めれば、解決できるのではないかと考えられた。

2) ナス

ナスは栽培管理上の原因で、年次により多少結果が異なったが、果形から判断すると明らかに同化作用促進効果がみられた。加藤¹⁾は高知県でのナスへの早朝施用で6.8%の増しているが、今津ら²⁾は200～3000 ppmで3ヵ月間比較し、900ppm区では200ppm区に比べ144%の収量を得ており、後者の結果は1987年度の結果とほぼ一致している。ナスは側枝を切り戻しながら栽培するので、葉の褐変は問題とならず、CO₂施用に向けた品目と考えられる。ただし、腋芽の発生は多くなるので、枝が込み合わないよう、整枝に注意しなければならない。

3) トマト

ミニトマトはCO₂施用により著しく果数が増加し、CO₂施用向きと考えられた。ミニトマトのCO₂施用区の果実が後半やや小さくなったが、果数が多くなりすぎたことと、3月以降にCO₂濃度を下げたためと考えられる。収量が増加しながらも、糖度は同程度を保っていたことも注目される。

普通トマトでは先に述べたように、無施用区の一部で病害が発生したため生育が劣ったので、多少割引いて比較しなければならないが、やはりCO₂施用による増収効果が大きかった。日照の少ない奈良県の冬期においてこれだけの収量をあげられ、空どう果も減少したことは注目される。ただし、一部で果房が重さでちぎれたり、果こうの伸びが悪いと肥大した果実が押し合い、扁平部ができるなど問題点もみられた。

2. 経済性

施用経費は設備費と維持費に分けられる。設備費は40万円程度であるから、年間償却費は8万円程度である。ガスの使用量は350～400kg/aであったが、換気連動回路を取付ければ300kg/a程度になると予想され、ガス単価を100円/kgすれば30万円/10aとなる。したがって、年間利用経費は38万円/10a程度となる。一方、各種果菜類の冬期の平均単価を200～400円/kgとすると、

最低でも5t/10a程度は増収するので、粗収入は100～200万円/10a増加する。品質向上による単価上昇も期待できるので、経費を差し引いても極めて利用価値が高いと判断される。

奈良県下のトマト・ナスなどの果菜類の促成栽培は、冬期の低収と低品質のため栽培面積が少ないが、CO₂施用により、他地域並みの生産性を確保できるので、今後の作型拡大に活用できると考えられる。

3. 施用上の問題点と今後の課題

1) 葉の老化

トマトやキュウリへのCO₂施用では、しばしば葉の老化が問題とされる。清田ら⁸⁾は高CO₂濃度下のキュウリで、古葉の同化能力の低下を指摘し、長岡¹¹⁾や吉岡ら¹²⁾はトマトで高日照・低夜温で炭水化物の過剰蓄積による葉の障害が現れるとしている。今回の調査でもトマトの葉は褐変したが、下葉の黄化は逆に少なく、全体の同化能力は高く保たれていたものと思われる。キュウリでは主枝の葉を早めに摘葉して側枝に切替えれば、実害は無いと判断された。側枝による収穫が主体のナスでは、葉の老化症状は観察されなかった。CO₂施用栽培では、早めに新葉や側枝に切り替える整枝法が有効と思われ、今後は整枝技術の研究が必要である。

2) ガスの拡散

葉根菜やイチゴのように群落の草丈が低く、群落外のハウス空間が広い場合に比べ、トマト・キュウリ・ナスなど果菜類の栽培では、群落内部の気流が弱く、CO₂は拡散しにくいと考えられる。矢吹ら¹²⁾はメロンの群落の内外で最大70ppm程度の濃度差を観測している。本調査は小型ハウスによったが、大規模な実用施設ではガスの拡散について、何等かの対策が必要かもしれない。

3) 不純ガスの影響

本調査では液化CO₂を用いたが、これまで実用されてきた燃焼式施用法では、僅かではあるが不純ガスが発生するとされており、ガス害の報告例¹⁰⁾もある。実用化に当たっては確認を要する問題である。

摘 要

1. CO₂の施用効果を、キュウリ・ナス・トマトの促成栽培において調査した。
2. 換気温度は28～30℃と高く設定し、CO₂施用区は液化CO₂を用いて、9～17時を赤外線分析式制御器により750ppmに調節した。
3. 収量は、CO₂施用によりキュウリは129%に、ナス

は113~150%に、トマトは116~188%に増加した。

とくに、冬期の収量が増加し果形もよくなったので、CO₂施用の実用性は高いと判断された。

4. CO₂施用に伴う葉の老化は、キュウリとトマトで著しかったが、ナスでは問題にならず、整枝法の改善により解決する可能性がある。

引用文献

1. 久富時男・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.
2. 今津 正・矢吹万寿・織田弥三郎, 1967. 炭酸ガス環境に関する研究(第2報)CO₂濃度がナスの生育, 開花および結実におよぼす影響. 園学雑, 36(3): 275-280.
3. 伊東 正, 1973. 蔬菜の生育・生理におよぼす炭酸ガス環境の影響. 千葉大学園芸学部特別報告, 7: 1-134.
4. 加藤紘一, 1988. ビニールハウス内の炭酸ガス環境. 高知農林研報, 20: 11-22.
5. 川島信彦, 1991. 施設内におけるCO₂施用に関する研究(第3報)促成イチゴの生育に対する効果. 奈良農試研報, 22: 65-72.
6. Kimball, B.A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. Agron. J. 75(5): 779-788.
7. 桐村義孝・森 俊人・久保雄之介・ほか4, 1979. 太陽熱蓄熱ハウスに関する研究. 第2報トマトに対する密閉施設での炭酸ガス施用. 兵庫農総セ研報, 28: 49-56.
8. 清田 信・矢吹万寿, 1982. 炭酸ガス環境に関する研究(VIII)高CO₂濃度下におけるキュウリ葉の光合成速度の経時変化. 生物環境調節, 20(1): 17-23.
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. Mortensen, L.M., 1987. Review: CO₂ enrichment in greenhouses. Crop responses. Scientia Hort. 33: 1-25.
11. 長岡正昭, 1979. 光の強さ・夜温・CO₂濃度が施設トマトの生育・収量に及ぼす影響. 野菜試報, A 6: 105-122.
12. 矢吹万寿・今津 正, 1965. ガラス室の炭酸ガス濃度について. 農業気象, 20(4): 125-129.
13. 矢吹万寿, 1987. 植物の動的環境. 朝倉書店.
14. 吉岡 宏・高橋和彦, 1981. 果菜類における光合成産物の動態に関する研究, V トマトにおける¹⁴C同化産物の昼夜間の転流割合と, 転流・分配に及ぼす光・夜温の影響. 野菜試報, A 9: 63-81.
15. 湯橋 勤, 1985. 施設野菜に対する炭酸ガス施用—温度管理について. 農業技術研究, 9(11): 33-35.