

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

川島信彦・黒住 徹*・大原正行

Studies on the CO₂ Enrichment in a Greenhouse (1)
Effect on the growth of crisp head lettuce and Japanese radish

Nobuhiko KAWASHIMA, Tooru KUROZUMI and Masayuki OHARA.

Summary

1. The effect of CO₂ enrichment on the growth of winter lettuce and spring radishes were compared in a concentration of 600~750 ppm and a control.
2. If the time of the harvesting was the same, fresh weight of both vegetables with CO₂ enrichment were 1.5~2 times heavier than those non-treated. If the vegetables were harvested at same size, the growing period was shortened 1~2 weeks by the CO₂ addition.
3. Planting density of the Japanese radish to harvest same size crops was capable of 30% higher by the CO₂ enrichment.
4. The fertilization and rice straw mixed into the soil had little effect on the growth of two crops.
5. The diffusion of the CO₂ gas was rapid in the wide-bay greenhouse, but it was slow in the long and narrow-bay greenhouse.
6. The weight of the liquid CO₂ used from November through March was 226kg/a, so we recognized a profit due to the CO₂ enrichment.

Key words: Carbon dioxide, CO₂, Enrichment, Growth, Lettuse, Radish, Density, Fertilization.

緒 言

作物にCO₂を施用すると生育が促進されることは古くから知られており¹⁾、施設栽培におけるCO₂の確保は環境調節の第一歩とされている¹⁾。すでにオランダを中心として欧米諸国では実用段階にあり²⁾、日本でも今から20年以上前に、各種の野菜について、施用効果の大きいことが報告されている¹⁾。その後1970年代半ばになって日本でもCO₂発生機の普及とともに、各種の作物で利用

が広がった³⁾。しかしその後、マスクメロンやキュウリの一部を除いて、実用栽培にはほとんど応用されることなく今日に至っている。

このように日本における実用化が遅れたのは、欧米に比べて温暖な気候のため、気温の高い昼間にハウスを密閉しにくかったことが第一原因と思われる。また初期の実用化試験では、濃度制御器を用いていなかったため効果が不確実であったり、燃焼式のCO₂発生機を用いた場合には不純ガスのために障害の出るケースがあったこと

本報告の一部は、昭和59年度日本農業気象学会近畿支部講演会および昭和60年度日本農業気象学会講演会において発表した。

* 現在天理農業改良普及所

も¹²⁾、CO₂施用への関心を低下させた一因であろう。

野菜の内でも、葉根菜類はCO₂施用による同化量の増加がそのまま収量増に結びつくため、果菜類よりも施用効果が大きいとされており¹⁵⁾、これまでも多くの報告がある^{2, 3, 5, 13, 14, 16)}。当時の日本では前述の理由の他に、葉根菜類のハウス栽培面積が少なかったこともあり、これらの成果は実用されることなく今日に至っている。しかし、近年は葉根菜類のハウス栽培が著しく増加しており、一方では、比較的安価で精度の高い制御器が普及し始め、葉根菜類への炭酸ガス施用の条件が整って来た。

著者らは、当時の省エネ対策として実施した省力無加温周年利用体系の試験において、葉根菜類の栽培中にハウス内のCO₂濃度が著しく低下していることを確認した。そこで奈良農試では1982年以来、ダイコンと結球レタスを中心に、各種の葉根菜類に対する炭酸ガス施用の再評価を続けてきたが、大きな施用効果を確認して1985年から普及に移した。これまでも一部の成果を公表してきたが^{9, 10)}、本報では冬穫レタスと春穫ダイコンについて、現在までに得られた成果をまとめて報告する。

実験材料および方法

各実験に用いたハウスの仕様は第1表のとおりで、栽培条件の概要は第2表のとおりであった。1982年度のダイコン作の予備調査で大きな施用効果を確認したので、1983年度から本格的に実験を開始した。実験は小型のハウスから始め、効果を確認しながら順次大きなハウスで実施した。実験1～3のハウスはいずれも強制換気方式で、カーテンは1層の固定張り、実験4のみは自然換

気方式のカーテン無しで、実験1の一部を除いて無加温栽培であった。畝型はレタスは平畝でダイコンは高畝とし、レタスは実験1を除いてマルチをせず、ダイコンは黒ポリマルチを用いた。

実験は前述のとおり、冬期の施設の利用体系の一環として、冬穫り結球レタスに続いて春穫りダイコンを作付けする体系で実施した。結球レタスの品種は、すべてペンレック系のクイーンクラウン（坂田種苗）を用い、ダイコンは晩抽性で青首系の品種である青首春富、長形春富および春陽（ナント種苗）を用いた。各処理の調査区は1区のみで、原則として連続した12株をサンプルし、このうち目視により大きい株と小さい株を2株ずつ除いて残りの8株について調査をした。葉面積は平均重に近い2～3株の平均値を求めた。

第1表 実験に供したハウスの仕様

Table 1 Specification of the greenhouses used for the experiment.

仕様	間口 m	奥行 m	棟高 m	面積 m ²	外張 資材	内張 資材	換気扇 cm×W*
実験1	2.3	4.0	1.8	9	農ビ	農ビ	40×30
実験2	3.5	8.0	2.3	28	PO	農ビ	40×30
実験3	6.5	19.6	2.8	127	PO	農ビ	80×400
実験4	2.3	19.0	1.3	44	PO	なし	なし

* 羽根径×出力、各ハウスとも1台使用、POはポリオレフィン系特殊フィルム

第2表 栽培条件の概要 Table 2 Outline of cultivating conditions

実験	品目	品種	年度	播種 月/日	定植 月/日	収穫 月/日	畝幅 cm	株間 cm	条数 条	密度 株/a
実験1	結球レタス	クイーンクラウン	1983	9/3	10/12	12/8	110	30	2	606
	ダイコン	青首春富・長形春富	"	12/23	—	4/13	110	20	2	909
実験2	結球レタス	クイーンクラウン	1984	9/17	10/19	12/20	150	30	3	667
	ダイコン	春陽・青首春富	"	12/27	—	3/28	100	20	2	1000
実験3	結球レタス	クイーンクラウン	1985	9/8	10/11	12/10	110	30	2・3	606・909
	ダイコン	春陽	"	12/26	—	3/26	105	15・20・25	2	762・952・1270
実験4	ダイコン	春陽・青首春富	1984	12/10	—	3/29	110	20	2	909
	"	春陽	1985	12/12	—	4/9	"	"	"	"

実験1. 施用方法の比較

CO₂施用の効果を第1表に示した小型ハウスで確認を繰り返すとともに、2種の施用方法を比較した。

制御区はCO₂濃度の制御に赤外線分析式の制御器（富士電機 ZFP-1型）を用いてハウス内の地上30cmに設置し、600ppmに設定して液化炭酸のポンペから電磁弁を開閉して、ガスを1ℓ/分の流量で施用した。浸出区は硬質ポリエチレンパイプを畝の中心で地上約30cmに設置して、液化炭酸のポンペからガスを1.5~2.0kgf/cm²の圧力で送り、パイプから浸出するガスを利用する方法（発売元：日本農興）で施用した。制御区と浸出区のハウスは別の場所にあり、ハウスの環境条件や土壌条件がやや異なっていたため、それぞれに無施用区を設けた。

換気温度は25℃とし、制御区とその対照の無施用区には地中熱交換装置があり、蓄熱24℃以上、放熱2℃以下で運転していた。

実験2. 稲わら施用および換気温度の影響

処理区は、CO₂の750ppm施用区と無施用区の2処理に、稲わら施用量が1a当たり50kgと100kgの2処理を組合せた4区を設けた。換気温度は30℃としたが、他にダイコンについては換気温度20℃の無施用区も設けた。ハウスの仕様は第2表に示したとおりで、それぞれの処理に独立したハウス4~5棟を用いた。稲わらは乾燥したものを長さ7cmに細断し、レタスの定植前にすき込んだ。施肥は全区同じで、実験3の標準区に準じた。レタスは11月3日からハウスのサイドを閉め、11月16日よりガス施用を開始した。ダイコンは当初は全区30℃換気とし、2月7日よりガス施用と20℃換気処理を開始した。なお、30℃換気区は冬期はほとんど閉切り状態であったが、3月中旬からは換気時間が増えたため、晴天日の昼間のCO₂施用は中止した。

CO₂濃度の制御は、赤外線分析式の計測器（堀場 IR-1A型）を改造して使い、3分ごとに計測して設定値よりも低ければ液化炭酸ポンペからCO₂を流量5ℓ/分で1分間施用した。ガスはハウスの一端で高さ50cmのビニルチューブから奥行方向に放出し、とくに拡散のための対策はしなかった。ガス濃度はハウス中央で高さ50cmの位置から吸引して計測記録したが、ほぼ750±100ppmに保たれていた。ガス分析計はハウス外に設置したため冬期にはガス吸引チューブ内で結露水が凍結して誤動作するのを防ぐため、施用時間は朝9時から夕方5時までとし、夜間はガスを止めた。

実験3. 栽植密度および施肥量の影響

栽植密度と施肥量について、CO₂施用との相互作用を見るために第1表に示した仕様の2棟のハウスで実施した。第2表のとおり株間と植付け条数を変えて栽植密度を変え、結球レタスは栽植密度2種と施肥量2種の組合せの4区、ダイコンは栽植密度3種と施肥量2種を組合せた6区を設けた。肥料はどちらも基肥のみでCDU入り燐加安（S682号，N:P:K=16:8:12）を用い、標準区はN成分で1.2kg/aを施用し1.5倍区と比較した。

ガス源は、レタス作は主としてLPGの燃焼ガスにより、ダイコン作は液化炭酸を用いた。ガス濃度の測定と制御は実験2と同じ機器を用い、施用時間帯も同じとした。11月11日から3月20日までは終日施用し、その前後各5日間は朝夕のみ施用した。LPGの燃焼量は12ℓ/分、液化炭酸の流量は20ℓ/分で、ともに3分間隔で濃度を測定し、濃度が設定値よりも低下したら3分間施用し、濃度を750±100ppmに制御した。液化炭酸はハウス中央にかん水チューブ（エバフローD型）を1列敷いてガスを流した。LPGについてはハウスの北端部で地上1.5mにバーナー（Jonson 1332型，種火は常時点火）を設置し、ガス拡散装置は用いなかった。

ガス濃度の分布は携帯式の濃度測定器（富士電機 ZFP-5型）を用いて、ハウス内の9箇所からビニルチューブでガスを吸引して計測した。ガスの使用量はLPGは積算流量計により、液化炭酸は施用回数をカウンタで記録して算出した。ただし、本実験の使用面積は各ハウスの半分で、残りは他の葉菜類を栽培していた。

実験4. トンネル状のハウスにおける施用効果

当場ではトンネル状の簡易ハウスを開発して、春穫りダイコンの栽培を推奨しているが、このハウスにおけるCO₂施用による作期の短縮や増収効果を調査した。これまでの実験と違い、換気は初期は閉切りで後半は穴あけ換気とし、内張りカーテンは用いなかった。

CO₂施用には液化炭酸を用い、1985年度はタイマーにより流量3ℓ/分で15分ずつ1日に8回、2月4日から3月19日まで施用し、以後は妻面を開放した。ガスはハウスの南端部の高さ1mで放出した。1985年度は実験1と同じ濃度制御器をハウスの南端から6mで地上30cmに設置して、濃度を500ppmにセットした。ガスは畝面に長さ15mのかん水チューブを設置して、流量10ℓ/分で2月14日から3月18日まで施用した。対照の穴あけ区は2月23日に棟部に2mごとに直径13cmの換気穴をあけ、3月19日からは全区の棟部に穴をあけ妻面を開放した。

ガス濃度の分布の計測には、1984年度はガス検知管(北川式)を、1985年度は実験3と同じ赤外線分析式の測定器を用いた。

実験結果

実験1. 施用方法の比較

レタスの収穫時の生育は第3表のとおりで、CO₂施用により大幅に増収し制御区では対照区の1.8倍、浸出区は1.4倍となった。CO₂施用区の結球葉は重量と葉面積の関係からみると、厚くなるよりも面積が大きくなった。

ダイコンの収穫時の生育は第3表のとおりで、制御区の根重は対照区の2.1~3.0倍になったが、浸出区は対照区の1.1~1.4倍であった。なお、どちらも対照区の生育はハウスが小型で夕方の日当たりが悪い位置にあったためか、同時に栽培した大型ハウスに比べると生育が悪かったが、制御区の生育は大型ハウスに比べても明らかに増収していた。

制御区のCO₂濃度は600±100ppmで制御器がON/OFFしたが500~1000ppmに変動した。一方、対照区では晴天日の日中には150ppmまで低下した。浸出区は夜間に1000~2000ppmまで上昇したが、昼間は曇天日で300ppm以上を保っていたものの、晴天日の昼間には300ppm以下に低下した。

実験2. 稲わら施用および換気温度の影響

結球レタスは第4表に示したとおり、CO₂施用により球重が1.7~2.0倍になった。手に持った感じが、キャベツのようにずっしりと重く、固い球になった。葉面積の増加率は球重の増加率より小さかったから、葉の厚みも増えたことを示している。結球開始時期が早いため球重が慣行程度で良ければ、10日程度早穫りが可能になると判断された。

ダイコンの収穫時の生育は第4表と第1図に示したとおりで、根重はCO₂施用により2.1~2.5倍になり、根長と根径はほぼ同じ比率で大きくなっていった。第2図は根

第3表 結球レタスとダイコンの収穫時の生育(実験1)

Table 3 Growth of crisp head lettuce and radish at a harvesting time (Exp. 1)

品目 品種	結球レタス						ダイコン							
	クイーンクラウン						青首春富				長形春富			
	球重	全重	葉数		葉面積 cm ²		根重	全重	根長	根径	根重	全重	根長	根径
施用	g	g	外葉	結球葉	外葉	結球葉	g	g	cm	mm	g	g	cm	mm
制御	710	1060	8	22	5300	6200	1130	1910	29	92	1210	1830	35	83
無施用	400	660	10	17	5200	3700	540	860	21	66	400	840	22	60
浸出	580	880	7	19	4200	6000	850	1350	25	77	570	1160	26	68
無施用	410	670	7	17	3500	4300	610	910	24	67	510	950	27	61

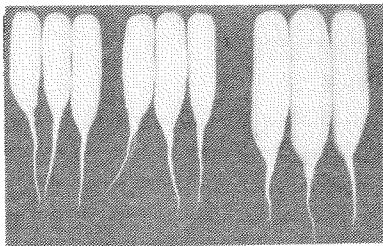
第4表 結球レタスとダイコンの収穫時の生育(実験2)

Table 4 Growth of crisp head lettuce and radish at a harvesting time (Exp. 2)

品目 品種	結球レタス								ダイコン							
	クイーンクラウン								春陽				青首春富			
	CO ₂	換気	球重	全重	葉数		葉面積 cm ²		根重	根長	根径	葉面積	根重	根長	根径	葉面積
kg/a	ppm	°C	g	g	外葉	結球葉	外葉	結球葉	g	cm	mm	cm ²	g	cm	mm	cm ²
100	750	30	790	1070	7	26	5200	9900	1080	31	78	4700	1000	26	82	5400
"	無施用	"	400	600	8	26	3800	6000	440	23	57	3900	470	21	61	4100
50	750	"	830	1080	6	30	3400	9300	1130	31	78	4700	1030	26	81	4800
"	無施用	"	490	710	7	30	3700	6300	450	22	60	3200	470	22	64	3500
"	"	20	-	-	-	-	-	-	560	25	62	3800	580	21	67	4300

重の経日変化を示しており、CO₂施用区では約2週間早く無施用区の重量に達していた。なお、CO₂を施用しない場合は、換気温度が低い方が生育がよかった。ハウス内のCO₂濃度は30℃換気の無施用区では100ppm前後まで低下する日が多かったが、20℃換気区では200ppm前後までの低下に留まった。

稲わらの施用量が多いと土壌からのCO₂発生量は増え、冬期の夜間のCO₂濃度は50kg/a区の約600ppmに比べて100kg/a区では約200ppm上昇した。しかし、生育初期に土壌の孔隙量が増えたために乾燥ぎみになり、レタスは初期生育が遅れ、収穫時の球重はやや軽かった。ダイコンについては、稲わら施用量の差による影響は見られなかった。



無施用 30℃換気 無施用 20℃換気 CO₂施用 30℃換気

Fig. 1 Growth of the Japanese radish (Exp. 2)

第1図 ダイコンの収穫時の生育 (実験2, 春陽, 稲わら50kg/a)

実験3. 栽植密度および施肥量の影響

結球レタスの収穫時の球重は、第5表のとおりであった。CO₂施用により球重は1.3~1.5倍になったが、実験1や2よりは増収効果が小さかった。なお、ハウス内の1/2で栽培していた他の葉菜類の作付け時期が結球レタスよりも遅かったために、無施用区のCO₂濃度は他の

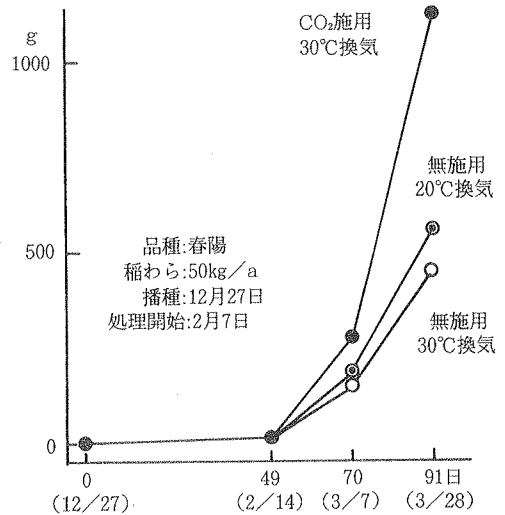


Fig. 2 The increase in a root weight of the Japanese radish (Exp. 2)

第2図 ダイコンの根重の経日変化(実験2)

第5表 結球レタスとダイコンの収穫時の生育(実験3)

Table 5 Growth of crisp head lettuce and radish at a harvesting time (Exp. 3)

品 目			結球レタス		ダイコン					
品 種			クイーンクラウン		春陽 3/26調べ			春陽 4/9調べ*		
CO ₂ ppm	施肥 (kg/a)	密度	球重 g	根重 g	根長 cm	根径 mm	根重 g	根長 cm	根径 mm	
750	標準 (1.2)	密	710	790	30	65	—	—	—	
		中	—	1040	35	72	1650	38	83	
		粗	790	1550	37	84	—	—	—	
	1.5倍 (1.8)	密	770	840	31	68	—	—	—	
		中	—	1050	34	71	1830	39	85	
		粗	890	1490	36	83	—	—	—	
無施用	標準 (1.2)	密	560	480	23	57	—	—	—	
		中	—	670	27	62	1230	34	75	
		粗	620	690	27	64	—	—	—	
	1.5倍 (1.8)	密	520	440	22	57	—	—	—	
		中	—	690	27	64	1180	34	74	
		粗	630	720	27	65	—	—	—	

* 3月下旬からCO₂施用は中止した。

実験ほど低下しなかった。施肥量や栽植密度の球重への影響は10~20%と小さかった。

ダイコンの収穫時の生育は第5表に示したとおりで、CO₂施用により根重が約2倍になった。しかし、無施用でも2週間後にはほぼ同じレベルまで生長した。施肥量の影響はほとんど見られなかったが、栽植密度についてはCO₂施用との相互作用が見られた。ダイコンの根はCO₂を施用すると、株間15cmでも無施用の20cmと同程度以上の生育をした。また、無施用では株間を20cm以上に広げても生育が変わらないのに対し、CO₂施用区の根重は株間25cmでは20cmの1.5倍になった。

栽培中のガスの消費量は第6表のとおりであった。ただし、ハウス内で他の生育時期の異なる葉菜類を同時に栽培していた。なお、LPGからのCO₂ガスの発生量は表のデータの約3倍となる。結球レタスとダイコン作を合せたCO₂施用量は、液化炭酸に換算して226kg/aであった。

ハウス内における液化炭酸施用時のガス濃度むらは少なく、施用後数分以内に濃度差50ppm以内のほぼ均一な濃度になっていた。また、番外部の生育から見てもハウス内の位置による差は見られなかった。

第6表 ガスの消費量 (実験3、kg/a)
Table 6 Gas consumption (Exp. 3)

月	LPG	液化炭酸
11	20	-
12	8	22
1	-	17
2	-	39
3	-	64

注) LPG 1 kgからCO₂が約3 kg発生する。

第7表 ダイコンの収穫時の生育とCO₂濃度分布 (実験4)

Table 7 Growth of the radish at a harvesting time and the distribution of CO₂ (Exp. 4)

処理	位置	1984年度							1985年度					
		生育		CO ₂ 濃度ppm(タイマー施用)				生育		CO ₂ 濃度ppm				
		根重	根長	根径	晴天施用	曇天施用	晴天施用	曇天施用	根重	根長	根径	(500ppm 制御)		
g	cm	mm	直前	直後	直前	直後	g	cm	mm	1月下旬	施用中	3月上旬		
CO ₂ 施用	南側	1120	24	92	800	3800	2400	4000	-	-	-	190	630	200
	中央	930	23	86	600	2000	2100	3200	940	23	87	150	740	200
	北側	710	21	76	100	100	800	1300	-	-	-	140	570	250
無施用	中央	640	21	75	100	100			350	18	57	160	100	180
穴あけ	中央	-	-	-	-	-			750	21	79	-	270	270

1984年度のCO₂濃度の計測時刻は南から北へ約15分の遅れがある。

実験4. トンネル状のハウスにおける施用効果

ダイコンの生育とCO₂濃度分布を第7表に示した。

1984年度はタイマーでハウスの南側の妻からCO₂を施用したところ、位置により大きな濃度差を生じ、ダイコンもほぼ濃度に応じて生育むらを生じた。1985年度はガスの拡散を良くするために、かん水チューブを敷きこれにガスを流したところ、濃度差や生育むらはほとんど無くなった。ただし、ハウスの両端部のかん水チューブのない部分では明らかに生育が悪かった。なお、早めに穴あけ換気を始めた穴あけ区の根重は、無施用区の2倍でCO₂施用区の80%程度になった。

考 察

1. 品目別の施用効果

1) 結球レタス

結球レタスはCO₂を600~750ppmの濃度で施用すると球重が無施用区の1.5~2.0倍になった。また無施用区と同じ程度の重量になるのは10日程度早かった。この結果はほぼ今津ら⁹⁾の報告と一致している。なお、無施用区は収穫期を過ぎると抽苔や腐敗を生じるので、生育期間を伸ばしても増収の余地はない。このような大きくてキャベツのようなレタスが市場に受け入れられるかは検討の余地がある。本報の場合は、春穫りダイコンの前作として栽培したため定植期がCO₂施用には早すぎる時期となったが、1~2月穫りの作型ならばより大きな効果が期待される。

2) ダイコン

ダイコンも同様にCO₂を施用すると無施用の2倍以上の生育を示し、根形はほぼ相似形で大きくなった。一定のサイズになるのに要する生育期間は、CO₂施用により約2週間短縮された。品質については、根の断面の観察

や試食では無施用品と特に差は認められなかった。なお、実験4でCO₂施用区と無施用の穴あけ区との生育差が小さかったのは、生育後期に施用を中止したためと考えられる。第2図に示したとおり生育後半の生長量が大きいから、この時期のCO₂施用がより重要と思われる。

2. 栽培条件との相互作用

換気温度はCO₂施用とは関りの深い要因である。一般に葉根菜類は20℃前後の換気温度で栽培される例が多いが、CO₂施用を前提にすれば25～30℃の高温管理が適当と考えられる。これは換気温度が低いとCO₂施用をしにくいこと、高温のほうが施用効果が高まるとされているためである。Gaastra⁹⁾はテンサイで20℃よりも30℃で施用効果の大きいことを認めている。ただし、このような高温管理は春期や秋期に、室内温度が常時28℃を越えるようになれば、作物が徒長ぎみとなりガスの損失も増加するので好ましくない。晴天日の施用は中止して、換気温度を25℃以下とするのが実用的であろう。

CO₂を施用しない場合は、実験2のように換気温度が低い区や、実験4の穴あけ区の方が生育がよかった。これはハウス内のCO₂濃度の差が主因と考えられる。CO₂を施用しない場合は、換気温度を低くしてハウス内のCO₂濃度が低下しないようにすることも大切である。

有機物施用は土壌の物理性の改善とともに、ハウス内のCO₂源として大切である¹⁰⁾。しかし、実験2で稲わらの施用量を2倍にしても、夜間のハウス内のCO₂濃度は高くなったが、収量への影響は小さかった。生わらの施用量が不足していたためかもしれないが、冬期の土壌からの発生量は、日中の同化作用による消費量に比べるとかなり少ないと考えられる。

施肥量の影響はPeetら¹¹⁾の報告と同様に意外に少なかった。収量の増加に伴い吸収量も多くなるはずであるが、有効利用率が向上しているのかもしれない。

栽植密度については、CO₂を施用すると無施用よりも高められることが確認された。とくにダイコンではその傾向が顕著であった。これは矢吹ら¹⁰⁾のフゲンソウの報告と一致している。CO₂を施用すると密植が可能になることは、一定サイズになれば収穫することが多い葉根菜類の増収技術として重要な効果である。

3. 施用技術の問題

濃度制御法の違いにより施用効果の差が大きかった。実験1のポリエチレンパイプ浸出法や実験4のタイマーによる施用では、生育時期、時間帯や天候によりCO₂濃度が大きく変動していた。したがって、これらの方法で

は施用効果が不確実となるのは避けられない。また、早朝のみの施用法もあるが、1日の日射量に占める早朝時間帯の割合は少ないので大きな効果は期待できない。久富ら⁹⁾の報告と同様に、ハウス内のCO₂濃度の減少率はほとんど日射量のみ依存しており、日射量の少ない早朝の低下率は小さく、午前と午後との差も見られなかった。この点からも確実なCO₂施用効果を得るには濃度制御をした終日施用が大切と思われる。

施用濃度による効果の差は確認していないが、今津ら⁹⁾は結球レタスで300～6000ppmについて調査し、900ppm以上では収量の増加率が低下するとしている。終日施用の場合は高濃度では換気損失が増加するので、500～750ppm程度の施用が実用限度であろう。前述のとおり、換気によりハウス内のCO₂濃度の低下を防ぐだけでもかなりの増収効果があるから、もっと低濃度の施用の効果も確認する必要がある。

ガスの拡散についてはまだ調査が十分とはいえない。液化炭酸の場合、通常のハウスではかん水チューブを幅5～6mに1列敷くだけで、施用後数分以内に拡散する事を確認しており、とくに問題はないと思われる。しかし、実験4のような細長いハウスで、ハウス内の対流が小さい場合は、ガスの動きは案外少ない場合もあると考えられる。青葉⁹⁾はトンネル栽培で一方の端からCO₂を施用すると濃度差のできることを報告している。少量ずつ長時間施用すると濃度勾配を生じ易いと考えられ、短時間に比較的大量のガスを施用するほうが、濃度むらができにくいと思われる。ガス源の温度差による拡散の差もあるかも知れない。葉根菜類は一般に草丈が低いから、地表付近だけに拡散できれば有効利用率が高まるであろう。

4. CO₂施用の経済性

経費は、設備費が圧力調整器と流量計および電磁弁で約3万円と、濃度制御器が約17万円と、合わせて約20万円かかる。大型ハウスではポンベの連結装置を付ける必要があり、さらに10万円程度の経費を要する。維持費は栽培状態によりかなり異なるが、実験3では液化炭酸に換算して結球レタスで106kg/a、ダイコンで120kg/aであった。ガスの単価をkg当たり80円とすると、それぞれ8,500円/aと9,600円/aになる。これらの維持費は、無施用の場合のa当たり粗収入の15%程度であるから、施用効果に比べれば、わずかな経費といえる。

技術の利用目的を明確にする事も大切である。CO₂施用は、収量の増加、作期の短縮、栽植密度の増加の3種の利用法がある。それぞれの作物と経営にあわせて選択

する必要がある。標準より大きな収穫物の市場での評価も未知数である。また、CO₂施用をすると生育が促進されるから、収穫期が早くなり収穫適期も短くなるので、労力配分の面からも注意が必要である。

5. 施用技術の地域適用性

適用地域については、まだ十分な比較検証がなされていないが、換気を抑える必要から、低温・寡日照地域に適した技術と考えられる。北欧での利用が進んでいることはその証明でもある。わが国では従来これらの地域は施設園芸の不適地とされていたが、CO₂施用を前提にすれば、逆に適地に変えられる可能性が高い。本県は太平洋岸の施設園芸県に比べると、冬期の日射量が少なく気温も低いが、CO₂施用には逆に好都合である。さらに県内について見ると園芸施設は比較的温かい奈良盆地に多いが、冬期に寒冷で日照の少ない大和高原地帯での利用が期待される。

6. 今後の課題

昼間にCO₂を施用するには、どうしても高温管理にしなければならない。本県では12月から2月中旬にかけては平均気温が低いからハウスを閉切っても問題はないが、11月や3月以降は気温の上がり過ぎる日が多い。したがって、秋や春には晴天日は25℃程度で換気し、ハウス内気温が低い時のみCO₂を施用する制御法を開発しなければならない。

葉根菜類を栽培しているハウスは、無加温でも栽培できる事もあって、一般に設備のレベルが低い。電源のないハウスでの利用法の開発も、今後の研究課題である。この無電源対策を含めて、技術を広く普及するためにはより安価な制御器の開発が不可欠である。日射量比例式^{8,9)}は濃度がわからないのが欠点であるが、価格や保守面では捨てがたい良さがあり、前述の高温期の換気温度管理もできる型式を試作テスト中である。

施設内におけるCO₂施用は、このように大きな効果が確認されたが、過去の研究では他の作物でもCO₂の施用効果があるとされている^{15,16)}。各種の作物に対するCO₂施用の実用技術の確立は、冬期の施設栽培では不可欠と考えられる。現在、各種の作物で実験を継続しており、順次報告の予定である。

摘 要

1. CO₂施用の効果を冬穫りのレタスと春穫りのダイコンについて濃度600~750ppmで調査した。
2. CO₂施用により2つの品目ともに、同時に収穫すると収量が無施用に比べて1.5~2倍程度となり、一定のサイズで収穫するとすれば、収穫期が1~2週間早くなった。
3. CO₂を施用すればダイコンの栽植密度を1.3倍に高めても無施用と同程度の根重になった。
4. 稲わら施用量と施肥量の生育への影響は小さかった。
5. CO₂の拡散は、間口の広いハウスでは良かったが、間口の狭い細長いハウスでは悪かった。
6. 液化炭酸の消費量は11月から3月までに226kg/aで、CO₂施用の経済性は高いと判断された。

文 献

1. 青葉 高・富樫 博・三浦弘男 1965. トンネル栽培における炭酸ガス施与試験. 農および園 40(6): 1129-1130.
2. 藤井健雄・伊藤 正 1965. 蔬菜に対する炭酸ガス施肥の実用化に関する研究(第4報)炭酸ガス施与法、時間がレタスに及ぼす影響. 農および園 40(9):1431-1432.
3. Gaastra, P. 1963. Environmental Control of plant Growth (L.T. Evans, ed) Academic Press. London.
4. 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.
5. 今津 正・矢吹万寿・織田弥三郎 1968. 炭酸ガス環境に関する研究(第3報)CO₂濃度が crisp head レタスの生育、結球、収量に及ぼす影響. 園学誌 36(4):406-410.
6. 伊藤 正監修 1976. 野菜の炭酸ガス施用入門. 誠文堂新光社.
7. ——— 1987. 炭酸ガス制御. 施設園芸ハンドブック. p264-275. 日本施設園芸協会.
8. 川島信彦 1976. 日射比例式の炭酸ガス施用制御器. 総合野菜・畑作技術事典V:74-75. 農水省農林水産技術会議事務局編.
9. ——— 1985. 葉根菜類に対する炭酸ガス施用効果

と実際. 農および園 60(8): 1037-1041.

10. ——— 1988. 葉根菜類に対する炭酸ガス施用. 昭和62年度近畿中国地域における新技術: 74-82. 中国農業試験場.
11. 三原義秋 1972. 施設園芸の気候管理. 誠文堂新光社.
12. 内藤文男 1975. 炭酸ガス施用栽培の現状と問題点. 施設園芸要覧1975. p143-157. 日本施設園芸協会.
13. 織田弥三郎 1973. レタスに対するCO₂施用に関する研究（第7報）CO₂濃度および光の強さと光合成速度. 昭和48年度園芸学会講演要旨 :244-245
14. Peet, M.M. and D.H. Willits 1982. The Effect of Density and Postplanting Fertilization on Response of Lettuce to CO₂ Enrichment. Hort Science 17(6):948-949.
15. 清水 茂編著 1972. 施設園芸の基礎技術. 誠文堂新光社.
16. 矢吹万寿・田村順介・織田弥三郎・今津 正 1967. フダンソウの乾物生産に対する炭酸ガス濃度と栽培密度の影響. 農業気象23(1): 25-29.
17. ——— 1968. 炭酸ガス施肥とその問題点. 農および園 43(10):1526-1532.
18. ——— 1987. 植物の動的環境. 朝倉書店.