

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

川島信彦・黒住 徹*

Studies on the CO₂ Enrichment in a Greenhouse (2)
Effect on the Growth of Leaf Vegetables

Nobuhiko KAWASHIMA and Tooru KUROZUMI

Summary

1. The effect of CO₂ enrichment on the growth of leaf vegetables, such as leaf lettuce, spinach, garland chrysanthemum, Chinese mustard (Pakuchoi), were tested in a plastic-greenhouse with forced ventilation.
2. In the daytime, the temperature was controlled at 25 ~ 30°C, and CO₂ concentration was kept at 750 ppm, under this condition, the leaf vegetables grew rapidly.
3. If harvesting were carried out at the same time, the fresh weight with CO₂ enrichment rose 1.5 ~ 2 times that of the control. If harvested at the same size, the growing period was shortened 7 ~ 10 days due to CO₂ treatment.
4. We gave consideration to the quality of harvest, in which spinach and Chinese mustard had best quality for CO₂ enrichment, with leaf lettuce being the best.
5. CO₂ enrichment was more effective when the concentration was higher between 350 ~ 1500 ppm, with the other side, at the low concentration, showing a larger effect.
6. If we used the forced ventilation during the night, the May crop of spinach that grew in the CO₂ enriched condition did not show any spindly growth, and had a higher quality.
7. The consumption of liquid CO₂ used for one crop was 50 ~ 70 kg/are, costing 5000 ~ 7000 yen/are.

Key words: Carbon dioxide, CO₂, Enrichment, Concentration, Growth, Density, Lettuce, Spinach, Chinese mustard, Pakuchoi, Garland chrysanthemum, Consumption.

緒 言

葉菜類への CO₂ の施用効果は古くから確認されているが¹⁾、日本では実用化されないまま今日に至っている。近年は植物工場の研究の進展とともに、再び報告が増えているが^{4, 5, 9, 10)}、ハウス栽培への応用は依然として遅れている。

前報⁷⁾ではダイコンや結球レタスのハウス栽培において、CO₂ の施用効果が高いことを報告した。著者は引き続き、冬期のハウス栽培のリーフレタス、ハウレンソウ、シュンギク、パクチョイなどの葉菜類について、

施用効果の確認を続けてきた。調査は 1984 年度に小型ハウスで始め、次いで 1985~86 年度に実用規模のハウスで 4 種の葉菜について繰り返し効用効果を調査した。さらに、実用条件を明確にするために、1987 年度には施用濃度について、1988 年には温暖期における施用時の品質改善対策として夜間換気の併用を試みた。その結果、これらの葉菜類についても CO₂ 施用による生育増進効果が大きく、実用性が高いことを確認したので報告する。なお、本報の実験 2 の大部分は農業電化協会近畿支部の奈良地区運営委員会の受託試験⁸⁾として実施したものである。

* 現在奈良県農業大学校

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、各処理に1棟ずつ供した。いずれも強制換気方式で、保温カーテンは実験5を除いて1層の固定張りを使用し、実験2の一部と実験3を除いて無加温栽培とした。換気温度設定用のサーモスタットと温度記録計の感温部には通風装置を使用し、換気扇の断続運転中の平均温度が設定値になるように調節した。また、いずれのハウスも換気中はCO₂施用を中止する制御回路を設けた。

栽培条件の概要は、第2表の通りであった。畝型はいずれも平畝で、マルチはしなかった。施肥はCDU入りの磷加安(S682号、N:P:K=16:8:12)または磷加安(N:P:K=14:10:13)を用い、N成分で1kg/aを毎回施用した。また、細断した生わらを各年度当初に50kg/a施用した。かん水は散水チューブを用い原則として生育中期まで各ハウス同量とし、後期はかん水しなかった。

品目と品種は、リーフレタスはレッドファイアー(サカタのタネ)、ホウレンソウは主としてアトラスとリード(共にサカタのタネ)、シュンギクは主として自家採種の大葉種、パクチョイ類は白軸種(流通用語でパクチョイ)と青軸種(流通用語でチンゲンサイ)(共にナント種苗)を用いた。なお、パクチョイ類の品目・品種の表記については種々の見解があるが、本報では野菜・茶業試験場の見解^{1,2)}に従った。播種方式は第2表に示したとおりで、ホウレンソウは直播栽培で、他は移植栽培と直播栽培を併用した。

調査区は各品目とも長さ3~4mの1畝のみで反復は設けず、年次と作期を変えて繰り返し調査した。調査はそろいが良く欠株の無い部分で、原則として6株×2列または4株×3列の連続した12株を抜き取り、目視で生育の最大側と最少側から各2株ずつを除外し、残りの8

株について平均値を求めた。葉数は長さ5cm以上で、黄化していない葉を数えた。ホウレンソウやシュンギクの一部で腋芽が生育したものは、その葉も葉数に加えた。

実験1. CO₂施用および換気温度の影響

CO₂施用の効果をリーフレタスとホウレンソウについて、第1表に示した9m²の小型ハウス2~3棟で繰り返し確認した。また、CO₂を施用しない場合の換気温度の影響も合わせて調査した。

CO₂濃度の制御には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、600~750ppmに設定して電磁弁を開閉し、液化炭酸ポンペからガスを1ℓ/分の流量で流し終日制御した。

実験2. 品目および作期の影響

引き続き第1表に示した127m²のハウス2棟で、4種の葉菜について2年間継続して12月穫~4月穫の作期でCO₂施用効果を確認した。

CO₂濃度の制御は赤外線式の計測器(堀場IR-1A型)を改造し、3分ごとに計測記録して設定値よりも低ければCO₂を3分間施用して、濃度を750±100ppmに制御した。制御器はハウス外に設置したため、早朝の冷え込みにより計測用ガスの吸引チューブ内で結露水が凍結して制御器が誤動作するのを防ぐため、施用時間は9~17時とした。ガス源は1985年の11~12月は主としてLPGバーナー(Jonson 1332型)を用い、LPGを5ℓ/分の割合で燃焼した。以後は液化炭酸ポンペを用い、流量は10ℓ/分とした。なお、3月下旬からは晴天日は朝夕のみの施用とした。

換気温度は実験1の結果を基に、1985年度にはCO₂施用区は30℃とし、無施用区では23℃とした。ただし、この年はハウスの半分の面積で前報⁷⁾のダイコンを栽培していたので、12月26日から2月3日までの間は無施用区も30℃とした。1986年度は、両区とも28℃としたが、地中熱交換装置を用いて蓄熱は24℃以上、放熱は3℃以下で運転した。その結果、12月から2月にかけてハウスは閉切に近い状態になった。

実験3. 栽植密度の影響

栽植密度とCO₂施用の相互作用をみるために、実験2と同時に同じハウス内で、1986年度の2月穫で第2表のとおり株間を変えて調査した。品目はホウレンソウとパクチョイ類で、いずれも直播栽培とした。

第1表 実験に供したハウスの仕様

Table 1 Specification of greenhouses

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1.4.5	2.3	4.0	1.8	9	農ビ	農ビ	30×30
実験2.3	6.5	19.6	2.8	127	PO	農ビ	80×400

*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 Cultivating conditions

実験	収穫年/月	品目	品種	播種月/日	定植月/日	収穫月/日	施用開始月/日	畝幅cm	条数条	条間cm ^{*1}	株間cm	栽植密度株/a ^{*2}
実験1	1984/12	リーフレタス	レッドファイアー	9/25	10/18	12/13	11/19	110	2	40	20	910
	"	ハウレンソウ	アトラス	10/28	-	12/13	"	"	3	20	3	9090
	1985/3	リーフレタス	レッドファイアー	11/26	1/11	3/15	1/11	110	2	40	20	910
	"	ハウレンソウ	アトラス	1/11	-	3/15	"	"	3	20	5	8700
実験2	1985/12	リーフレタス	レッドファイアー	10/16	11/12	12/23	11/11	120	4	23	20	1670
		ハウレンソウ	アトラス	11/12	-	12/23	"	"	6	16	10	5000
		シュンギク	大葉種	10/16	11/12	12/16	"	"	6	16	15	3330
		パクチョイ類	白軸種	11/12	12/2	12/23	"	"	6	16	15	3330
	1986/2	リーフレタス	レッドファイアー	11/25	12/27	2/17	1/7	120	4	23	20	1670
		ハウレンソウ	アトラス	12/26	-	2/17	"	"	6	16	10	5000
		シュンギク	大葉種	11/25	12/27	2/7	"	"	6	16	15	3330
		パクチョイ類	白軸種	12/26	1/17	2/17	"	"	6	16	15	3330
	1986/4	リーフレタス	レッドファイアー	1/21	2/26	4/3	連続	120	4	23	20	1670
		ハウレンソウ	アトラス	2/26	-	4/8 (3/25まで)	"	"	6	16	10	5000
		シュンギク	大葉種	1/21	2/25	4/2	"	"	6	16	15	3330
		パクチョイ類	白軸種	2/26	-	4/4	"	"	6	16	15	3330
	1986/12	リーフレタス	レッドファイアー	10/15	11/12	12/23	11/28	120	4	23	20	1670
		ハウレンソウ	リード	11/14	-	1/6	"	"	6	16	10	5000
		シュンギク	大葉種	11/13	-	1/6	"	"	6	16	15	3330
		パクチョイ類	青軸種	11/13	-	1/6	"	"	6	16	15	3330
1987/3	リーフレタス	レッドファイアー	12/20	1/24	3/2	連続	120	4	23	20	1670	
	ハウレンソウ	リード	1/19	-	3/6	"	"	6	16	10	5000	
	シュンギク	大葉種	1/9	-	3/12	"	"	6	16	15	3330	
	パクチョイ類	青軸種	1/9	-	3/2	"	"	6	16	15	3330	
1987/4	ハウレンソウ	リード	3/4	-	4/16	連続 ^{*3}	120	6	16	10	5000	
	パクチョイ類	青軸種	3/4	-	4/16	"	"	6	16	15	3330	
実験3	1986/2	ハウレンソウ	アトラス	12/26	-	2/17	1/7	120	6	16	10/5	5000/10000
		パクチョイ類	青軸種	12/26	-	2/17	"	"	6	16	15/10	3330/5000
実験4	1988/1	ハウレンソウ	リード	11/28	-	1/28	12/28	110	4	17	10	3640
		パクチョイ類	青軸種	10/27	11/28	1/27	"	"	"	17	15	2420
	1988/4	ハウレンソウ	リード	2/18	-	4/5	2/29	110	4	17	10	3640
	1988/3	パクチョイ類	青軸種	1/14	2/18	3/23	"	"	"	17	15	2420
実験5	1988/5	ハウレンソウ	晩抽サイクル	4/12	-	5/19	4/19	110	4	17	10	3640

*1 条間は複条並木植えのため平均値
定植月/日の項が-印は直播栽培。

*2 栽植密度は通路も含めて算出

*3 3/26より晴天の10-15時は停止

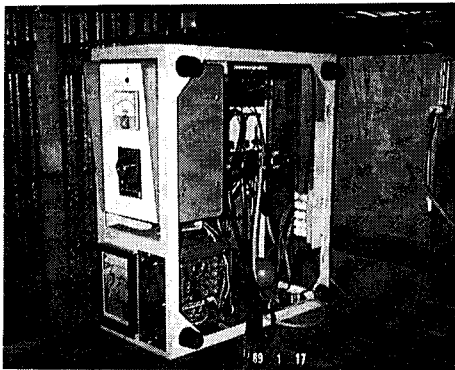
Vocabulary of table 2~9 : 品目 = vegetables, 品種 = cultivar, 収穫年/月 = harvesting time; year/month, 播種 = sowing, 定植 = planting, 無施用 = without CO₂ treatment, 換気温 = ventilating temperature, リーフレタス = leaf lettuce, ハウレンソウ = spinach, シュンギク = garland chrysanthemum, パクチョイ = Chinese mustard, 株間 = spacing, 生体重 = fresh weight, 草丈 = plant height, 葉数 = number of leaves,

実験 4. 施用濃度の影響

CO₂ 濃度による施用効果の差について、9 m²の小型ハウス4棟を用いて調査した。処理は濃度3段階と無施用の4区で、ホウレンソウとパクチョイ類について、1月穫と3・4月穫で比較した。

ガス濃度は6点計測記録・4点制御の機能を持つ自作の制御器を用いて、設定値±100 ppmに制御した。この制御器は実験1の制御器(富士電機ZFP-1型)を一部改造して応答速度を速くし、リニアライザーと制御回路、サンプルガス切替え用の電磁弁、および打点記録計(千野ES-800型)を組み合わせたもので、その外観は第1図に示したとおりコンパクトなものである。

ガスは液化炭酸を用い、各ハウスを1分ごとに計測して、8~17時の間に設定濃度より低くなると10秒間電磁弁を開け、5ℓ/分の流量で施用した。換気扇の運転は28°Cで4棟一斉とした。なお、1月穫のCO₂施用開始時期は、上記の制御器の製作調整が遅れたため、第2表のとおり播種・定植から1か月後となり、生育中期までは無施用で栽培した。



第1図 当場で試作したCO₂濃度制御記録装置。

Fig 1 Controller and recorder of CO₂ concentration.

実験 5. 夜間換気の影響

温暖期のCO₂施用における徒長気味の生長を改善するため、5月穫のホウレンソウで夜間換気の影響を調査した。ハウスは9 m²の小型ハウス4棟を用い、CO₂施用と夜間換気の有無を組み合わせた4区を設けた。昼間の換気温は25°Cとし、夜間換気区は換気扇を18~6時のあいだ温度に関わりなく連続運転した。CO₂の制御は実験4と同じ装置を用い、濃度は500 ppmで施用時間は6~18時とした。初期のかん水は各ハウスとも同量としたが、生育中期以後は処理に伴う土壌水分の差が目立ったので、表土の乾いた区のみ適宜かん水した。

実験結果

実験 1. CO₂施用および換気温度の影響

収穫時の生育は第3表のとおりで、リーフレタス、ホウレンソウともにCO₂施用により大幅に生育が促進された。CO₂を施用しない場合は、20°C換気区の方が30°C換気区より生育が早かった。ただし、ホウレンソウは栽植密度が高かったため、やや徒長気味であった。

第3表 CO₂施用および換気温度の生育への影響

(実験1)

Table 3 Effects of CO₂ and ventilating temperature (Exp. 1)

年 / 月	品目 CO ₂ ppm	リーフレタス 換気温 °C	リーフレタス			ホウレンソウ		
			生体 重 g	草丈 cm	葉数 枚	生体 重 g	草丈 cm	葉数 枚
'84/12	600	25	258	29	22	30	33	15
	無施用	"	202	28	24	18	31	13
'85/3	750	30	258	27	20	42	39	15
	無施用	"	88	27	16	23	31	13
	"	20	132	25	17	27	33	12

実験 2. 品目および作期の影響

各種の葉菜の収穫時の生育は第4表のとおりで、第2・3図には各品目の収穫時の生育を示した。いずれの品目ともに、CO₂施用による大きな生育促進効果が見られた。品目による生体重の増加への効果の差は、作期によりばらつきがあるものの、ほぼ同じ程度であった。

品質について、リーフレタスは高温管理のためか草丈が伸びる傾向がみられ、露地栽培にくらべて株張りが悪く、ややおれ易かった。ホウレンソウは高温期にはやや徒長したが、低温期には葉が厚くなり見た目の品質は向上した。ただし、収穫作業時に葉柄が折れ易い傾向がみられた。一方、シュンギクはいずれの作期も抽だい気味になった。自家採種の種以外に各社の市販品や中葉種も順次調査したが、抽だいに関してはほぼ同じ傾向であった。パクチョイ類白軸種は葉柄が長くなるなど、やや徒長気味の生育を示したが、パクチョイ類青軸種(チンゲンサイ)は高温下でも葉柄が伸びずに良く肥大した。

作期別の施用効果を比べると、12~3月穫では各作目の平均で1.8~2.4倍の増収になったが、4月穫の増加率は1.2~1.5倍でやや低かった。

第4表 品目・作期およびCO₂施用の生育への影響（実験2）

Table 4 Effects of CO₂ on the growth of leaf vegetables at various season (Exp. 2)

収 穫 年/月	品 目 品 種	CO ₂ ppm	換気温 °C	リーフレタス			ハウレンソウ			シュンギク			パクチョイ類			平 均 生体重 増加率 %
				生体 重 g	草丈 cm	葉数 枚	生体 重 g	草丈 cm	葉数 枚	生体 重 g	草丈 cm	葉数 枚	生体 重 g	草丈 cm	葉数 枚	
'85/12	750	30	129	23	16	23	25	12	127	-	-	41	22	8	238	
	無施用	23	41	16	12	11	19	11	82	-	-	15	17	7		
'86/2	750	30	195	24	19	39	29	13	94	24	56	105	24	12	176	
	無施用	30	124	22	16	21	24	12	64	22	43	49	21	11		
'86/4	750	30	122	24	14	34	29	13	132	27	60	75	23	10	148	
	無施用	23	77	21	12	30	29	13	111	27	46	37	20	9		
'86/12 ~1	750	28	193	32	15	*49	30	14	52	22	30	*157	25	12	176	
	無施用	28	123	29	13	*26	29	14	25	17	24	*105	24	12		
'87/3	750	28	169	25	15	*40	27	12	121	23	56	*172	25	13	221	
	無施用	28	66	24	13	*18	25	11	58	20	45	*88	24	12		
'87/4	750	28	-	-	-	*35	27	17	-	-	-	*115	22	14	123	
	無施用	28	-	-	-	*28	27	14	-	-	-	*95	23	13		
平均生体重増加率			%	209	-	-	174	-	-	168	-	-	193	-	-	

ガスの消費量は第5表のとおりであった。前述のとおり生育段階の異なる種々の作物を栽培しており、温度管理も一定ではなかったが、秋冬作で1作当たり約50~60 kg/aであった。春作では換気損失が増加し、1.5倍程度のガスを要した。なお、11月の消費量が年により大きく異なるのは、1985年は同時に他作物を栽培していたため、本実験の葉菜類は小さかったため消費量は少なかった。

第5表 月別のガスの使用量（実験2）（kg/a）

Table 5 CO₂ gas consumption (Exp. 2)

年/月	使用量	備 考
'85/11	48	11~12月はLPGを液化炭酸に換算
	12	85年は結球レタスを同時に栽培
'86/1	14	86年はダイコンを同時に栽培
	2	
	3	3月下旬より朝夕のみ施用
計	181	3作の合計
'86/11	2	地中熱交換装置を使用
	12	22
'87/1	14	
	2	33
	3	3月中旬より朝夕のみ施用
計	110	3作の合計



CO₂ 無施用

750ppm施用

第2図 ホウレンソウの収穫時の生育（実験2）。

Fig 2 Growth of spinach (Exp. 2) 1986年2月。



CO₂ 無施用

750ppm施用

第3図 パクチョイ類青軸種の収穫時の生育（実験2）。

Fig 3 Growth of chinese mustard (Exp. 2)

1987年3月。

実験3. 栽植密度の影響

栽植密度とCO₂施用の生育への影響は、第6表および第4図に示したとおりである。ハウレンソウおよびパクチョイ類ともに、CO₂を施用した密植区は施用しない粗植区より約1週間早く同じ重量に達した。また、密植区の方がほっそりした草姿であったが、同じ生育期間での単位面積当たりの収量は1.5~1.7倍と高くなった。

実験4. 施用濃度の影響

CO₂施用濃度を変えた場合の収穫時の生育を第7表に示した。濃度が高いほど施用効果は高かったが、350~375 ppmの外気並みの低濃度でも、かなりの施用効果があった。無施用区のCO₂濃度は100~150 ppmまで低下していた。ハウレンソウとパクチョイ類青軸種(チンゲンサイ)を比べると後者の方が濃度による生育差が小さかった。とくに、1月穫の場合は前述の理由でCO₂施用が1か月目からとなつたため、生育の遅延と病害の発生により、生育のばらつきが大きくなった。

草丈はハウレンソウでは濃度に応じて高くなったが、チンゲンサイでは処理による差はなかった。葉数はどちらの品目も処理による差はほとんど見られなかった。ハウレンソウの乾物率は施用濃度が高くて生育の早い区ほど低くなっていた。

施用濃度別の生体重の増加速度を第5図に示した。ハウレンソウの1月穫では1株30g程度の収穫適期に達する期間は、無施用区に比べて1500・750・375 ppm区でそれぞれ18・14・10日程度短縮されたが、4月穫では最大でも7日程度であった。パクチョイ類青軸種では濃度に対する反応にややばらつきが見られたが最高10日程度生育が促進された。

第7表 CO₂施用濃度の生育への影響(実験4)

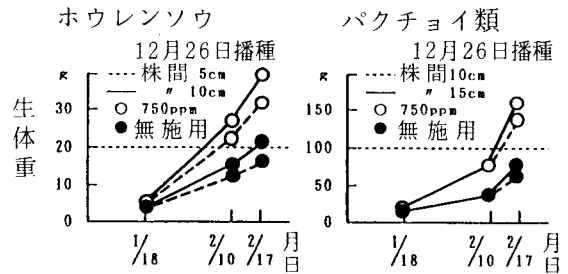
Table 7. Effects of CO₂ concentration (Exp. 4)

収穫年/月	品目	ハウレンソウ					パクチョイ類					
		品種	リード	青軸種(チンゲンサイ)	生体	草丈	葉身	葉数	乾物	生体	草丈	葉数
		ppm	重g	cm	長cm	枚	率%	重g	cm	枚		
'88/1	1500	45	31	16	11	5.6	292	25	17			
	750	38	28	13	12	7.1	267	25	18			
	375	30	26	12	12	7.7	276	25	16			
	無施用	16	23	10	11	8.6	209	24	16			
'88/3・4	750	47	37	16	14	-	202	24	15			
	500	40	35	15	12	-	150	23	15			
	350	36	34	14	13	-	152	22	15			
	無施用	25	30	13	12	-	135	23	15			

第6表 栽植密度およびCO₂施用の生育への影響(実験3)
Table 6 Effects of CO₂ and spacing (Exp. 3)

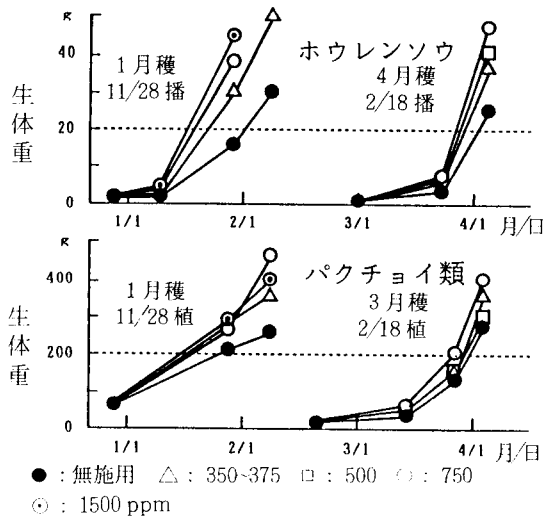
収穫年/月	品目	ハウレンソウ				パクチョイ類					
		品種	アトラス	白軸種(パクチョイ)	株間	生体	草丈	葉数	株間	生体	草丈
		ppm	cm	重g	cm	枚	cm	重g	cm	枚	
'86/2	750	5	31	30	12	10	133	28	13		
	"	10	39	29	13	15	155	28	14		
	無施用	5	16	23	11	10	59	24	10		
	"	10	21	24	12	15	75	24	12		

条間は15-15-20-15-15cmの複条並木植えて平均16cm
株間5・10・15cmの栽植密度は10000・5000・3300株/a。



第4図 栽植密度およびCO₂施用と生体重の変化(実験3)。

Fig 4 Changes of fresh weight at different spacing and CO₂ enrichment (Exp. 3).



第5図 CO₂施用濃度と生体重の変化(実験4)。

Fig 5 Changes of fresh weight at different concentration (Exp. 4).

濃度別のCO₂消費量は第8表のとおりで、500 ppm以上ではほぼ濃度に比例してガスの消費量が増加したが、350～375 ppmの消費量は極くわずかであった。また、生育初期は少なく、中期以後に多くなった。1月と3月のガス消費量を750 ppmで比較すると、3月の方が1.4倍のガスを要した。

第8表 施用濃度とガスの使用量（実験4）(kg/a)

年/月/旬	ガス濃度 ppm				
	1500	750	500	375	350
'88/1/上	28	11	—	2	—
	36	19	—	3	—
	44	25	—	5	—
	計	108	55	—	10
'88/3/上	—	15	6	—	0
	—	35	20	—	1
	—	28	17	—	3
	計	—	78	43	—

実験5. 夜間換気の影響

高温期におけるCO₂施用時の夜間換気の生育への影響は、第9表のとおりであった。夜間換気区は換気中の気温が無換気に比べて約1.5℃低く、乾燥気味で土壌水分が低下しやすく、高温期のCO₂施用区でも葉柄が短く縮まった生育を示した。なお、CO₂無施用の夜間無換気区では、収穫期にはべと病が多発した。

CO₂ガスの使用量は、濃度が500 ppmの25℃換気区で、4月下旬～5月中旬の1カ月間で35～41 kg/aであった。これは実験4の3月の使用量とほぼ同じであった。

第9表 夜間換気およびCO₂施用の生育への影響（実験5）Table 9 Effects of CO₂ and night ventilation (Exp. 5)

年/月	CO ₂ ppm	換気 °C	品目				
			生体重 g	草丈 cm	葉身長 cm	葉身幅 cm	葉数 枚
'88/5	500	25	63	36	18	14	15
	無施用	〃	43	36	17	12	14
	500	25+夜間	52	28	16	12	14
	無施用	〃	34	25	13	9	13

考 察

1. 品目別の施用効果

1) リーフレタス

リーフレタスは750 ppmのCO₂施用により、同じ生育期間で無施用にくらべて1.5倍以上に生長し、時には3倍に達した。高温管理のためか草丈が伸びやすく、株張りが悪く、収穫時に萎れやすいなど、品質にやや問題を残しているが、CO₂施用効果の高い品目と判断される。

2) ホウレンソウ

著しい生育促進効果が見られ、生育期間が同じなら2倍前後の重量になり、収穫適期に達する期間は7～10日間短縮され、見た目の品質は向上した。葉柄がやや折れ易い傾向がみられたが、星らの報告³⁾でも高濃度施用区の方が葉の硬度がやや硬くなっており、このことが関係しているかもしれない。ホウレンソウは今回調査した品目の中では県下での栽培面積が最も多く、CO₂施用品目として有望である。

3) シュンギク

シュンギクもCO₂施用により生体重が1.5～2.1倍になったが、高温管理栽培のためか収穫期に抽だい気味となった。CO₂施用を実用化するには、高温管理に適した品種の検索や、抽だいを防ぐ栽培技術の研究が必要である。

4) バクチョイ類

CO₂施用により1週間程度生育が早くなり、同じ生育期間で生体重を比較すると無施用区の2倍前後になった。ただし、白軸種と青軸種ではCO₂施用による形態形成反応が異なっていた。本報で用いた種子では青軸種（チンゲンサイ）の方が高温下でも徒長しにくく、葉柄部の肥大が良かった。新井ら¹⁾は青軸種（チンゲンサイ）の光合成速度が日本在来のツケナ類よりもより高温で高くなるとしており、これはCO₂施用に適した特性と考えられる。青軸種（チンゲンサイ）は緑色野菜として消費が伸びると予想されており、CO₂施用に有利な品目と考えられる。

2. 栽培条件の影響

1) 作期

収穫期が12～3月の栽培では増収率が1.5～3倍となり施用効果が高かったが、4月穫では1.1～1.3倍と低いことが多かったが2倍に達することもあり、効果が不安定であった。これは気温の上昇のため晴天日には施用時間が短くなり、実験2では生育末期にはCO₂施用を中止したことが影響していると考えられる。実験4・5の4～5月穫では収穫時まで施用を続けたところ効果が高かった。これからみると温暖期にも朝夕や曇雨天日に施用すれば生育促進効果が高いと考えられる。ただし、大型ハウスで実用した場合は、頻繁な換気によるガス消費量の増大の可能性もあるので今後の検討課題である。

2) 栽植密度

CO₂施用により慣行より密植しても生育期間が短縮された。その効果は前報⁷⁾のダイコンの場合よりも顕著であった。単位期間における収量は密植区の方が1.5倍以上高かったが、品質・市場評価についてはさらに検討が必要である。

3) CO₂施用濃度

濃度が高いほど施用効果が高かったが、ガスの消費量も増加した。ハウレンソウよりもパクチョイ類青軸種(チンゲンサイ)で、濃度による生体重の増加割合が低かったが、これは後者が移植栽培であったことと、1月穫のガス施用開始時期が遅れたためと考えられる。

ガス消費量の少ない低濃度でも、無施用に比べれば著しい施用効果があったことは注目される。実験1の無施用区では換気温度の低い方が生育が早かったのも、換気が低濃度の施用と同様にCO₂の補給に役立ったためと考えられる。現場ではこれまで一応の基準として750ppmで栽培してきたが、葉菜類は500ppm程度の施用を標準とし、生育状況と市況の動向に応じて、濃度を350～1000ppmの間で調節して生育速度を制御する方が実用的と考えられる。

一方、ハウレンソウの乾物率は高濃度の施用区ほど低下していた。しかし、これは必ずしもCO₂施用下で軟弱徒長気味になることを意味していない。生育ステージが進むほど乾物率は低下し体内成分も変化するので、むしろ当然の結果かもしれない。実用場面では一定のサイズで収穫するので、同じ大きさになった時の乾物率や貯蔵性の比較が必要で今後の課題である。

4) 夜間の換気

高温期のハウスの閉切によるCO₂施用は生育の軟弱化を招くが、実験5のとおりハウレンソウで夜間に換気すると生育が健全化し、高温期にも施用できることが判った。他の品目でも確認しなければならないが、この結果からみると本県のハウス栽培では10月から5月までの期間についてCO₂施用が可能と考えられる。今後は葉柄の伸びにくい品目・品種を検索するとともに、夜間の換気制御についてさらに究明しなければならない。

5) その他

施肥量については今回は検討しなかった。前報⁷⁾のダイコンと結球レタスではCO₂施用の効果に比べれば影響が小さかった。池田ら⁶⁾は水耕栽培で、CO₂施用下のレタス、ハウレンソウなどの吸肥特性を調査しているが、CO₂施用効果を高めるにはある程度の肥料濃度が必要であり、N源としてはNO₃よりもNH₄の方が効果が高かったとしており、今後の検討課題である。

3. CO₂施用の経済性

CO₂施用には前報⁷⁾で述べたとおり、10a当たりの設備費が30万円程度かかる。さらに第5・8表のとおり液化炭酸を750ppm施用で1作当たり50～70kg/a程度消費するので維持費が5～7千円/aかかる。これは粗収入の10%程度で、500ppm施用ならば約7%になるので、施用効果に比べれば、わずかな経費と言える。ただし、葉菜類におけるCO₂の利用効果は、収量の増加・品質の向上・栽植本数の増加・生育期間の短縮と多岐に渡るため、経済効果は個々の農家の経営により差があり、その判定は複雑である。種々の経営条件を想定したシミュレーションが今後の課題として残されている。

4. 当面の実用基準

以上の結果から葉菜類に対する施用基準としては、以下の方法が適当と考えられる。

品目…ほとんどの葉菜類に効果があるが、とくにハウレンソウとパクチョイ類青軸種(チンゲンサイ)での利用が推奨できる。

作期…11月～3月が施用しやすいが、10月と4～5月も夜間換気を併用すれば利用できる。

密度…栽植本数を慣行よりも多めにしても良い。

濃度…500ppmを標準とし、希望する生育速度に応じて350～1000ppmの範囲で調節する。

換気…昼間は28°C程度で換気し、高温期の夜間は低温換気または開放とする。

5. 今後の課題

実用化に当たっては施用器具の開発が大切な課題である。とくに濃度制御器など施用器具の低廉化が急務である。HandのCO₂ 施用の要録²¹でも指摘されているように濃度制御器を用いない制御では、天候や生育時期により5倍以上の濃度変化があり、効果が不確実になったりガスの損失を避けられない。前報⁷⁾で述べた日射比例方式も、葉面積の変化の大きい葉菜類の栽培には向いていない。制御器メーカーの努力を期待したい。

ガス源は本報ではほとんど液化炭酸を用いた。LPGや灯油の燃焼法との比較も今後の課題である。また、LPGでは簡易な自動燃焼器の開発が必要である。

葉菜類栽培における大きな課題は計画生産である。葉菜類では果菜類に比べて、ハウスは無加温の簡易な設備が多く、露地栽培の比率も高いため、天候の影響を受けやすく、生産量や市況の変動が大きい。最近注目されている植物工場は、計画生産が最大の利点となっている。CO₂ 濃度の調節は、従来の施設栽培において、計画生産を達成するための大切な技術になると考えられ、天候や栽培期間に応じた使用基準の確立が、これからの課題である。

摘 要

1. ハウス栽培のリーフレタス、ホウレンソウ、シュンギク、パクチョイ類について、強制換気ハウスでCO₂ 施用の効果を調査した。
2. 換気温度を25~30°Cとし、CO₂ を終日750 ppmで施用すると、各品目とも大幅に生育が促進された。
3. 同時に収穫すると、収量が無施用に比べて1.5~2倍となり、一定サイズで収穫すると、生育期間が7~10日間短くなった。
4. 収穫物の品質では、ホウレンソウとパクチョイ類青軸種（チンゲンサイ）がCO₂ 施用に向いており、次にリーフレタスが適していると判断された。
5. CO₂ の施用濃度は、350~1500ppmの間で高濃度ほど効果が高かったが、低濃度でも大きな施用効果があった。
6. 夜間に強制換気をすれば、5月穫のホウレンソウでCO₂ を施用しても徒長せず、品質が向上した。
7. CO₂ の消費量は、濃度750 ppmの場合で1作当たり50~70 kg/aで、ガス代は5~7千円/aであった。

引用文献

1. 新井和夫・古谷茂貴 1984. 中国野菜の光合成特性. 野菜試栽培部研究年報 No12:1-7.
2. Hand, D.W. 1984. Crop response to winter and summer CO₂ enrichment. Acta Horticulturae 162: 45-63.
3. 星 岳彦・岡野利明・小酒井一嘉・寺添 斉 1983. 高能率野菜生産技術の開発(3) 基礎実験設備における数種野菜の栽培. 電力中研報 U88008: 1-42.
4. 池田 彰・江崎謙治・中山繁樹 1984. 全方向光照射における植物生育特性. I. サラダナ生長速度に及ぼす光強度、炭酸ガス濃度および気温の影響. 生物環境調節 22(4): 71-77.
5. ———・中山繁樹・北宅善昭・矢吹萬寿 1988. 植物工場における物質生産の基礎的研究(1) サラダナの光合成と日長、光強度およびCO₂ 濃度の関係. 生物環境調節 26(3): 107-112.
6. 池田英男・大沢孝也 1988. 蔬菜のNO₃およびNH₄ 利用に及ぼす空気中CO₂ 濃度ならびに遮光の影響. 園学誌 57(1): 52-61.
7. 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.
8. 奈良地区運営委員会 1987. 葉菜類の高能率生産施設の開発. 農業電化の研究事例 第10集: 53-61. 農業電化協会近畿支部.
9. 丹生谷 太・橋本 康 1987. バルス光によるサラダナ光合成速度のシステム同定. 生物環境調節 25(4): 173-177.
10. 関山哲雄・岡野利明・星 岳彦・小酒井一嘉・岡部勝美・羽生広道 1987. 高能率野菜生産技術の開発(1) 基礎実験設備の性能とホウレンソウの試験栽培. 電力中研報 485031: 1-48.
11. 矢吹萬寿 1987. 植物の動的環境. 朝倉書店.
12. 野菜試験場 1984. 研究資料第17号「いわゆる中国野菜について」: 17-19.