

福岡県農業総合試験場特別報告

第13号

CO₂施用によるキクの光合成効率および 切り花品質の向上に関する研究

平成11年3月

福岡県農業総合試験場

(福岡県筑紫野市大字吉木)

SPECIAL BULLETIN
OF
THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

NO.13

Studies on Improving Photosynthetic Capacity and Cut Flower Quality
by CO₂ Enrichment in Chrysanthemum

by

TANIGAWA Takahiro

THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan

March 1999

CO₂施用によるキクの光合成効率および 切り花品質の向上に関する研究

谷 川 孝 弘

1999

序

花きは私たちの生活を豊かにし、精神に潤いを与えてくれる必需品として家庭や職場等、生活空間に広く浸透している。今日のガーデニングブームにみられるように、景気低迷によって多くの農産物の販売が横這いしないしは低落傾向を続ける中で花苗の需要が増加していることは、人々の花き園芸に対する関心の高さを示すものである。

本県は花きの主産県であり、平成8年度における花き花木の生産額は440億円で、愛知県、千葉県に次いで全国第3位の位置にある。中でもキクは、生産額64億円で、切り花類全体の43%を占める最重要品目として生産振興が図られている。

キクは、古くから日本人の生活に欠かせない花として定着しており、以前はお盆や正月などの「物日（ものび）需要」が中心であった。しかし最近では、用途が仏花に限られており、需要が周年的なものに変化してきたことから、キク産地には年間を通した周年出荷が求められている。

本県では現在、八女の電照ギク産地を中心として、秋ギク品種「秀芳の力」を用いた10～5月出し栽培と夏秋ギク品種「精雲」を用いた6～9月出し栽培によって、年間2.5～3.0作の周年生産体系の技術が確立している。そして、今日のように技術確立するまでには、生産者や関係団体、県等の一体となった取り組みがあったことは言を俟たない。

しかし、本県を含む九州北部地域では、12月～3月までの日射量が、愛知県や宮崎県等の太平洋沿岸地域に比べて60%近くに減少することから、キクの生育遅延や開花の遅れ、切り花品質の低下等の問題があり、年間を通した切り花品質の維持・向上が重要な課題として残されている。

本研究は、寡日照条件という同様の問題を抱えている北米や北欧における取り組みを参考にして、近年、生産者の関心が高まりつつある炭酸ガス施用を通して、冬季の日射量不足による生育遅延や品質低下の問題を解決しようと試みたものである。北欧と異なるわが国特有の輪ギク品種に対する光合成特性の把握から始まり、炭酸ガス施用の効果および適正な施用方法についての技術確立を行い、実用的な栽培に基づいて実証試験を行ったところに本研究の大きな意義があると考ええる。

本実験の遂行は、平成3年から8年にかけて福岡県農業総合試験場および農林水産省野菜・茶業試験場において行われたものである。研究成果を取りまとめるに当たって多大な御指導、御助言をいただいた大阪府立大学教授・今西英雄博士、同教授・池田英男博士ならびに原田二郎博士に厚くお礼申し上げる次第である。

本成果が、キク産地における切り花品質の向上と経営の安定に寄与することを願ってやまない。

平成11年3月

福岡県農業総合試験場場長

吉 村 大三郎

目 次

序 論	1
謝 辞	2
第1章 施設ギクにおけるCO ₂ 施用の実態と問題点	
結 言	3
調査方法	3
結 果	4
考 察	7
摘 要	8
第2章 CO ₂ 濃度、光および温度条件とギクの光合成特性	
結 言	10
第1節 CO ₂ 濃度、光および温度条件と個体の光合成速度	
実験方法	10
結 果	11
第2節 CO ₂ 濃度と個葉の光合成速度	
実験方法	13
結 果	13
第3節 CO ₂ 濃度と生育段階別光合成速度	
実験方法	15
結 果	15
考 察	16
摘 要	17
第3章 CO ₂ 施用とギクの生育および光合成速度	
結 言	19
第1節 CO ₂ 施用濃度と生育	
実験方法	19
結 果	20
第2節 CO ₂ 施用濃度と個体および個葉の光合成速度	
実験方法	21
結 果	21
第3節 CO ₂ 施用濃度と根の生理的活力	
実験方法	22
結 果	23
考 察	25
摘 要	26

第4章 CO ₂ 施用時期, 光および温度条件とキクの生育・開花	
緒 言	27
第1節 CO ₂ 施用時期と生育・開花	
実験方法	27
結 果	28
第2節 CO ₂ 施用中の光条件と生育・開花	
実験方法	31
結 果	31
第3節 CO ₂ 施用中の温度条件と生育・開花	
実験方法	35
結 果	36
考 察	37
摘 要	44
第5章 キクの実用栽培におけるCO ₂ 施用と切り花品質および日持ち	
緒 言	46
第1節 CO ₂ 施用と切り花品質, 日持ちおよび茎葉の成分含有率	
実験方法	46
結 果	47
第2節 CO ₂ 施用と切り花品質, 日持ちおよび葉のCO ₂ , エチレン生成量	
実験方法	48
結 果	48
考 察	50
摘 要	52
第6章 総合考察	53
第7章 摘 要	56
引用文献	59
Summary	63

序 論

わが国におけるキクの切り花生産は、1994年には作付け面積6,030ha、出荷本数19.9億本で、それぞれ総切り花類の32.2%および35.9%を占めており、最も重要な花きとして位置づけられている(農水省統計情報部,1994)。この数字は世界的にみても、オランダの約1.5倍、コロンビアの約2.7倍であり(川田,1995)、キクへと特化した国内消費の特徴を裏づけるように、世界最大のキクの生産・消費国となっている。

露地栽培から始まったキクの切り花生産は、作期の拡大とともに施設化が進んでおり、全栽培面積に占める施設面積の割合は1960年にはわずか7%に過ぎなかったが、1994年には44%に増加した。施設化の進展にともない、夏秋季に集中していたキクの出荷が冬春季へと拡大し、品種の統一化や切り花品質の改善を通して周年生産が確立されつつある。

12月から4月出しに至る低温期の施設ギク生産では、株のロゼット化や花茎の伸長不良が重大な問題であった。そのため、挿し芽苗の低温処理法の開発(小西,1975)や、夜温管理の研究(大石・大須賀,1983;豆塚ら,1983;松田・万豆,1987)等により、高所ロゼットの防止や開花促進、小花数の増加などが図られるようになり、切り花品質の向上に大きく寄与した。

最近では、施設ギクの産地が愛知県や静岡県などの太平洋沿岸を中心とした地域から、九州一円や山陰、北陸、東北地域にまで全国的な広がりを見せている。しかし、その中には光、温度等の栽培環境条件がキク生産にとって好適といえない地域も含まれている。特に、九州北部を含めた日本海沿岸の地域では、冬季の日照不足による生育遅延や茎葉の伸長不良、切り花重量の低下、上位葉の小型化などが指摘され、切り花品質の低下が大きな問題として取り上げられている。

同じように冬季の日射量の少ない北部アメリカやヨーロッパにおいては、作物の生長を補うためにCO₂施用が導入され、施設野菜や花き類で実用化されている(Nilsen et al.,1983;Berkel-Verveer,1984; Hand,1984; Mortensen, 1984; Gardner,1985)。花き類の中ではキク、バラ、カーネーションなどの切り花をはじめとして、鉢花類、観葉植物にまで広く普及している。施用効果としては花茎の伸長がよく、根、茎、葉を含めた植物体重量が増加したり、開花率が向上し、花の日持ちがよくなった、などの報告がある(Mortensen,1984,1987; Hand,1984)。しかし、実用性に関しては留意すべき点も多く、トマトやキュウリ、キク、ガーベラなどでは高CO₂濃度による障害が発生したり(Berkle,1984;Mortensen,1987;長岡・新井,1987)、葉からのエチレン生成の促進による下位葉の老化(吉岡ら,1989)など、悪影響に関する指摘もある。さらに、高CO₂濃度下で長く生育した植物は、光合成速度が低下する事例も多く報告されており(清田・矢吹,1982; Nilsen et al., 1983; Mortensen, 1984; Larigauderie et al.,1986)、今後CO₂施用の実用化のためには解決すべき課題が多い。

わが国では野菜に対するCO₂施用の研究が花き類に先行して実施され(長岡・新井,1984)、特に都市近郊のメロン産地で普及しており、施用方法の詳細なマニュアルが作成されている。このような状況下で、最近キクの切り花生産でCO₂施用が導入されようとしているが、高CO₂濃度下における生育・開花反応やCO₂施用時期、濃度などの施用方法、あるいは効果などに関して詳細に検討した事例はなく、適切な施用が行われているか疑問な場合が少なくない。

以上の理由から、本研究では施設ギクに対するCO₂施用方法を確立するため、高CO₂濃度下におけるキクの光合成をはじめとした生理・生態特性やCO₂施用の効果、並びに温度、光条件とCO₂施用との相互作用などについて検討した。これらの研究成果は、光、温度およびCO₂濃度を含めた施設の複合環境制御技術確立のための基礎的資料として、実用栽培で生かされるものと考えられる。

謝 辞

本論文の取りまとめに当たっては、大阪府立大学農学部教授・今西英雄博士より深甚なる御指導と御校閲を賜った。また、同農学部教授・池田英男博士ならびに原田二郎博士には有益かつ適切な御助言を賜った。ここに謹んで深謝の意を表するものである。

本研究は福岡県農業総合試験場において行われ、その遂行に当たっては元副場長・室園正敏氏、元園芸研究所長・神屋勇雄氏(現生産環境研究所長)、前所長・清水博之氏、現所長・岡部正昭氏、ならびに野菜花き部長・真鍋尚義氏の暖かい励ましをいただいた。また、前花き花木研究室長・小林泰生氏(現農政課研究調整係長)には、実験の設計、実施および取りまとめの各段階で適切な御指導と御助言をいただいた。同じく、元花き花木研究室研究員・坂井康弘氏(現農業技術課植防係長)、主任技師・松井洋氏および山中光重氏には共同研究者として数々の御協力をいただいた。

本研究の実施の課程では、野菜・茶業試験場の長岡正昭博士、池田広博士および主任研究官・清水明美氏に多大なる御指導と御援助をいただいた。さらに元園芸研究所長・松川時晴博士には、本論文の取りまとめに当たり有益な御指導と励ましを賜った。ここに記して、各位に深謝の意を表するものである。

第1章 施設ギクにおけるCO₂施用の実態と問題点

緒 言

福岡県八女市花卉園芸組合は全国的に重要なキクの産地として位置付けられており、1994年には生産戸数253戸、栽培面積157haで、生産本数6,000万本、生産額52億円の実績を上げている(創立40周年記念誌編纂委員会,1995)。1956年の組合結成から今日に至るまで、主要な品種の変遷と栽培技術の発達による作期の拡大を経て、現在では秋ギク‘秀芳の力’と夏秋ギク‘精雲’の2品種を組み合わせた日長制御(電照抑制+遮光短日処理)による周年生産がほぼ確立されつつある。

しかし、九州北部地域では12月から3月までの日射量が愛知県や静岡県等と比較して60～70%に減少することから(理科年表,1995)、キクの生育不良や上位葉の充実不足等による切り花品質の低下が深刻な問題となっている。そのため、先進的な生産者はオランダなどヨーロッパにおけるキク生産を視察・研修し、冬の寡日照期における品質向上対策の一環として、CO₂施用を1986年から試験的に導入した。

しかし、わが国では野菜を対象としたCO₂施用の検討は行われていたが、花き類に関してはまったく事例がなかったことから、メロンなどの野菜に習ったCO₂施用が実施されていた。幸いにして、切り花品質に対する一定の効果が認められたことから、その後CO₂施用装置を導入する生産者が増えてゆき、1991年には25戸が実施に踏みきっている。しかし、野菜等のCO₂施用に関する実態調査では、必ずしも収量増と結びつかない事例が報告されており、対象作物や施用方法によっては効果の程度に差を生じている(野菜試験場,1977)。今後、施用効果を上げるためには、CO₂施用の実態について調査を行い、作物の生理・生態特性に応じた施用方法の改善が必要と考えられる。

そこで、キクに対するCO₂施用実態について把握するため、CO₂施用の時間帯や濃度、施用時期、効果、あるいは施用上の問題点等について生産者に対するアンケート調査を実施した。これらの内容に基づき、今後解決すべき課題や問題点について報告する。

調査方法

福岡県八女市の花き園芸組合の中で、施設ギクに対するCO₂施用を行っている生産農家25戸に対し、1991年2月13日にアンケート用紙(第1表)を配布して調査を依頼した。調査は記名、記述式とし、八女地域農業改良普及センター(福岡県八女市)を通じて3月6日に回収した。回収率は48%(12戸)であった。

Table I. Questionnaire for CO₂ enrichment in chrysanthemum

Contents of questions
1) Source of CO ₂ ?
2) Time of CO ₂ enrichment ?
3) CO ₂ concentration ?
4) Periods of CO ₂ application ?
5) Effects of CO ₂ enrichment on the quality of chrysanthemum ?
6) Problems to be Solved for CO ₂ enrichment in chrysanthemum ?

結 果

①CO₂発生源

CO₂施用を行う場合のCO₂発生源は、LPガス利用が7戸で最も多く、次いで生ガス利用が5戸、灯油利用が1戸であった（第1図）。

②CO₂施用の時間帯

1日の中でCO₂施用を行う時間帯は、日の出前の5時または6時から7時または7時30分までの2時間以内が8戸で最も多かった（第2図）。また、夜3時から朝7時までの4時間施用が2戸、4時から7時または7時30分までが3戸であった。それに対して、日の出後の8時から9時30分まで施用する農家は1戸と少なかった。

③CO₂施用濃度

CO₂施用濃度は、1,600～2,000ppmが7戸と最も多く、次いで1,100～1,500ppmが3戸、1,000ppm以下が2戸であった（第3図）。最も濃度が高い2,100～2,500ppmでの施用は2戸であった。

④CO₂施用時期

第2表にキクの作型別に、電照打ち切り時期と収穫時期を基点としたCO₂の施用期間を示した。CO₂施用は12月出しから5月出しまでの冬春季を中心とした作型を対象としており、中でも2月、3月および4月出し栽培で多かった。CO₂施用の開始時期は、3月から5月出しの作型では生育初期から行っている場合もあるが、多くは電照打ち切り日やその7～20日後からであった。また終了時期は、収穫3～4週間前の発蕾期や摘蕾時期が多かった。CO₂施用期間は、短い場合で11日間、長い場合で87日間と差が大きく、平均は34日間であった。

⑤CO₂施用の効果（利点、欠点）

キクの生育や切り花品質に対するCO₂施用の利点や欠点についての調査結果を第3表に示した。利点としての回答はのべ24点あり、「切り花重量が増加する」、「水揚げがよくなる」、「葉色がよくなる」などが多く、そのほかに「上位葉が大きくなる」「葉が立葉になる」「下位葉の黄化が少なくなる」「茎が固くなる」などであった。また、欠点としては9点の回答があり、「しなやかさがなくなる」「花首曲がりが多い」「開花が遅れる」「節間長が長くなる」「花首長が長くなる」「柳葉が増

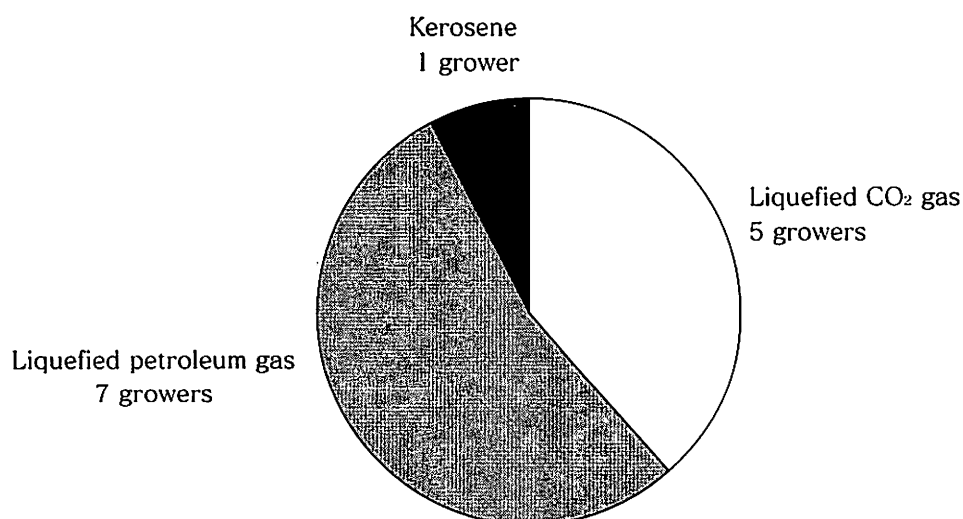


Fig. 1. Sources of CO₂

加する」などであった。

⑥キクに対するCO₂施用を行うための解決すべき課題

今後、キクに対するCO₂施用を行う上での課題として10点の回答があった（第4表）。内容は、「キクの生育に及ぼすCO₂施用の影響」「花芽分化に対する高CO₂濃度の影響」「適正なCO₂施用濃度」「光、CO₂濃度条件とキクの光合成との関係」「温度、CO₂濃度とキクの光合成との関係」「CO₂施用の時間帯と期間」「CO₂施用とキクの生育ステージとの関係」「高CO₂濃度による障害」「灯油やLPガスから発生する窒素酸化物（NO_x）の影響」「CO₂発生源」などに関するものであった。

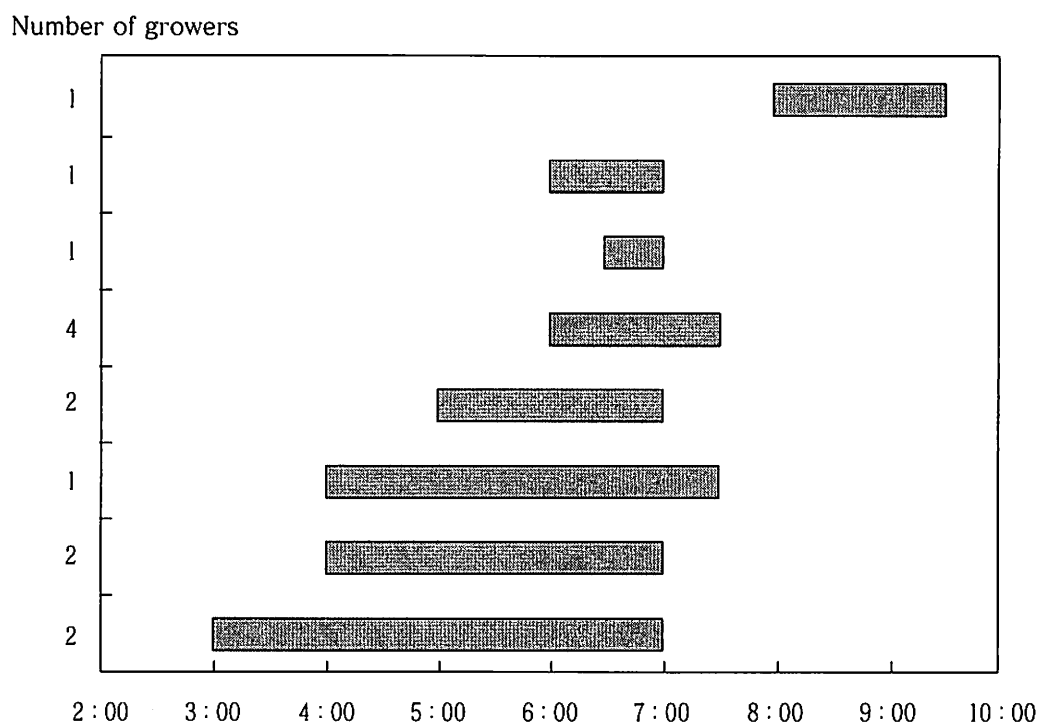


Fig. 2. Time of CO₂ application

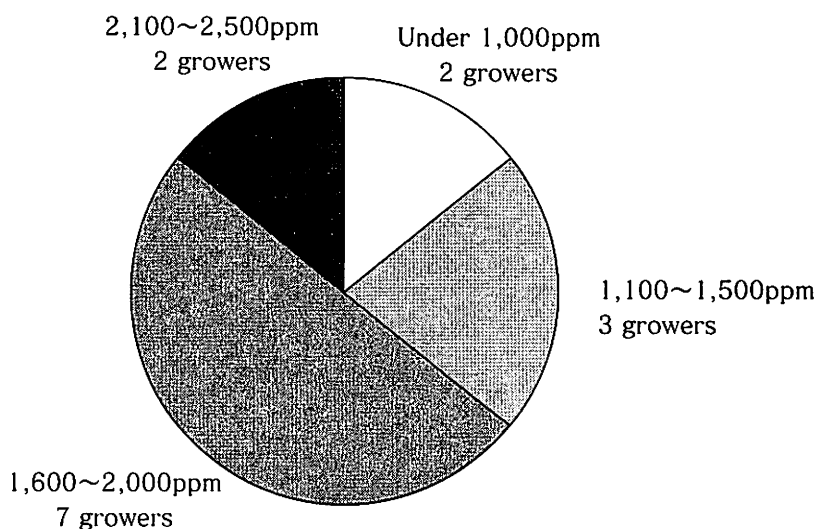


Fig. 3. CO₂ concentration

Table 2. Periods of CO₂ enrichment in chrysanthemum

Harvest month	CO ₂ enrichment		
	Start	End	Number of days
	Days before(–) or after(+) the last day Days of lighting	Days before(–) harvest	
December	+ 7	–21	28
	+10	–28	18
	+10	–21	25
	+12	–21	23
January	– 7	–14	49
	+10	–28	38
	+14	–28	42
February	– 7	–14	49
	± 0	–21	35
	+10	–28	18
	+14	–21	21
	+14	– 7	35
	+18	–10	28
	+18	–14	24
March	–45	–14	87
	+12	–21	23
	+14	–28	14
	+18	–14	24
	+20	–14	22
	+24	–21	11
April	–20	–56	20
	–45	–21	80
	–40	–21	75
	+15	–21	20
	+20	–14	22
	+24	–21	11
May	–45	–21	80

Table 3. Effects of CO₂ enrichment on the quality of chrysanthemum

Advantages	Disadvantages
Weight of cut flower is increased.	Leaves and stems become rigid.
Vase life of cut flower becomes longer.	Length of flower neck becomes too long.
Colour of leaves is darkened.	Internode length becomes too long.
Area of upperleaves is increased.	Flowering is delayed.
Leaves grow upright.	Stems with crooked neck are increased.
Etiolation of lower leaves gets fewer.	Number of non-serrated leaves (upper leaves) is increased.
Stem becomes tough.	

Table 4. Problems to be solved for CO₂ enrichment in chrysanthemum

1. Effect of CO₂ enrichment on growth
2. Effect of CO₂ enrichment on flower—bud differentiation.
3. Optimum CO₂ concentration.
4. Effect of light intensity and CO₂ concentration on photosynthesis.
5. Effect of temperature and CO₂ concentration on photosynthesis.
6. Time and period of CO₂ application.
7. Effect of CO₂ enrichment on different growing stages.
8. Disorders caused by high CO₂ concentrations.
9. Disorders caused by NO_x from kerosene or liquefied petroleum gas.
10. Sources of CO₂.

考 察

CO₂の発生源として実用化されているものには、液化CO₂ガスボンベのほかに炭化水素燃料としての白灯油や天然ガス、LPガスの他、市販のCO₂発生剤や有機質肥料としての堆肥、稲わらなどがある。キクに対する八女市での実態調査では、LPガスの使用が多く、液化CO₂ガスは全体の40%弱に過ぎなかった。これは、燃焼式では設置の際の経費が安く、操作性も比較的よいのに対し、液化CO₂ガスでは生ガスボンベのほかに、CO₂濃度調節器や施設内の配管が必要であり、そのための経費がかかることが最大の理由と考えられる(野菜試験場,1977; 静岡県農業水産部,1977)。しかし、LPガスや灯油の燃焼式施用法では、CO₂濃度調節器を併設していない場合が多く、適正濃度範囲での施用かどうか疑わしい場合が少なくない。また、燃焼式ではCO₂の発生と同時に、一酸化炭素(CO)や硫化水素(SO₂)、窒素酸化物(NO_x)などの不純物が発生し、濃度によっては植物に障害を与えることが知られている(野菜試験場,1977; 静岡県農業水産部,1977; 大川,1980; Hand,1984; Mortensen,1987)。したがって、不適切な取り扱いによる不完全燃焼には最善の注意が必要であり、CO₂濃度調節器は必ず設置することが望ましい。

1日の中でCO₂施用行う時間帯は、実態調査では夜間3～6時から日の出前の7時台までの施用がほとんどで、日の出後8時から施用は1戸しかなかった。光合成反応としてのCO₂の吸収は、CAM植物を除いては日中に行われることから(戸莉ら,1975)、夜間に施用してもほとんど効果が期待できないと思われる。施設キュウリやトマト、メロン等の施用基準でも、施用時間は日の出後から換気までの2～3時間となっていることから(野菜試験場,1977; 静岡県農業水産部,1977)、八女地域における現在の施用方法には問題が残る。CO₂施用に関する一般知識や情報の伝達が不十

分であったと考えられることから、早急な改善が必要と思われる。施設の換気温度や施用時間の設定については、高CO₂濃度下における温度とキクの生育との関係を明らかにする必要がある、今後検討すべき課題である。

施設内のCO₂濃度は、燃焼式では常時測定または制御していない場合が多く、実際には変動の幅が大きいと考えられる。キクを含む多くのC₃植物では、光合成のCO₂飽和点が1,500ppm前後とされていることから(戸莉ら,1975)、施用濃度の基準を1,000～1,500ppmとしている場合が多い。また曇りや雨の日では、晴れた日と比べてCO₂飽和点が低下することから、500～1,000ppmとやや低いCO₂濃度に設定する事例もある(野菜試験場,1977; 静岡県農業水産部,1977)。しかし、わが国のキク品種に関しては、CO₂飽和点やCO₂濃度と生育との関係がほとんど知られていないことから、基礎的資料の蓄積が必要である。

福岡県でのCO₂施用時期は12月初めから3月までの期間で、対象作型としては2月出しから4月出し栽培までが中心となっている。生育時期としては、4～5月出しで生育初期から施用を開始する場合もあるが、多くは消灯1～2週間後から発蕾期頃までの3～4週間の施用が多い。生育の後期に施用する理由は、切り花重量の増加とともに、上位4～5枚目までの莖葉を大きくして見映えをよくするためである。しかし、電照期間中の栄養生長期、あるいは電照打ち切り後の花芽分化・発達期におけるCO₂施用の影響については、いずれも明らかにされていない。また、高CO₂濃度で連続して長期間育てられた植物は、光合成効率が低下する事例が報告されており(清田・矢吹,1982; Nilsen et al.,1983; Mortensen,1984; Larigauderie et al.,1986)、この点についても詳細な検討が必要である。

CO₂施用の効果として「切り花重量の増加」についてはいずれの生産者も認めており、出荷する場合の秀品率が向上することで大きな利点といえる。そのほかに「水揚げや葉色がよくなる」、「下位葉の黄化が少なくなる」などの回答が多かった。特に切り花の日持ちは切り花品質の中で大きな比重を占めていることから、十分な実験結果の裏付けが必要と考えられた。下位葉の黄化による品質低下に関しては、CO₂施用によりエチレン生成が促進される結果、ハウレンソウでは下位葉の老化が早くなるなど(吉岡ら,1989)、悪影響についての報告もあり、問題点も含んでいる。また欠点の中で、「節間長が長くなる」や「花首長が長くなる」のは、CO₂施用による伸長促進効果の影響と考えられる。

今後、CO₂施用方法を確立するために解決すべき課題として、高CO₂濃度条件下におけるキクの光合成反応について基礎的なデータを蓄積する必要がある。CO₂施用に関する実験段階での効果については、野菜等を含めて確認されている場合が多いが、圃場試験や現地における経済効果の点では疑問視されるケースがしばしば起きている。そこで、キクに対するCO₂施用の効果については、実用性を考慮した圃場試験を実施することによって数量的な裏付けを行う必要がある。

摘 要

施設ギク栽培でCO₂施用を行っている福岡県八女市の生産農家に対して実態調査を実施し、12戸から以下のような回答を得た。

1. CO₂施用は電照抑制12月出しから5月出しまでの広い作型で実施されており、中でも2～4月出し栽培で多かった。
2. CO₂施用の時間は、夜間3～6時から朝方7時台までの1～4時間がほとんどであった。しかし、光合成によるCO₂吸収は日中に行われることから、このような施用方法には効果の点で問題があると考えられた。
3. CO₂施用を行うキクの生育時期は、上位葉の大きさを確保することを主な目的として、電照

打ち切り後から収穫前までの生育後半とする場合が多かった。

4. 生産者が感じているキクに対するCO₂施用の利点としては、切り花重量の増加による秀品率の向上が最も多く、そのほかに切り花の日持ち改善や葉色の濃緑化などが、反対に欠点としては、切り花の剛直化や花首の伸びすぎなどが上げられた。
5. 今後、効果的なCO₂施用法を確立するためには、高CO₂濃度条件下におけるキクの光合成反応について基礎的な知見を得るとともに、実用性を考慮した圃場試験を実施することによって得られた効果の数量的な解析を行い、CO₂施用の経済性を検討するための根拠を明示する必要があると考えられた。

第2章 CO₂濃度、光および温度条件とキクの光合成特性

緒 言

植物の光合成は、光エネルギーを利用してNADPHとATPを合成する光化学反応系(明反応)と、CO₂を固定、還元して炭水化物を合成するCO₂固定反応系(暗反応)の二つからなっている(村田ら,1976)。CO₂固定反応系はさらに4種類の代謝経路に分類され、キクはその中でカルビン回路のみを有するC₃植物に属している。C₃植物は一般的に、大気中のCO₂濃度が高くなるにつれて光合成速度が上昇することが知られている(戸荻ら,1875)。しかし、CO₂濃度がさらに上昇すると、光合成速度の増加はしだいに緩慢となり、やがて一定の値に収束するようになる。この、もはや光合成速度が一定となるCO₂濃度をCO₂飽和点とよび、多くの植物では1,000ppm前後とされている。作物に対するCO₂施用は、以上のような光合成反応の特性を利用して作物の生育促進を促し、収量の増加を図ろうとするものである。

光合成速度はCO₂濃度のほかに、光や温度、酸素濃度、風速、土壌水分、葉内水分、無機養分、植物の前歴など、さまざまな要因によって左右され、それらの要因が複雑に組みあわされて決定されている。

キクの光合成特性に関しては、Horcombら(1988)や豆塚(1989)、西尾ら(1989)の報告があり、真の光合成の適温域は20℃付近にあること、また苗が生育するにつれて下位葉の光合成速度が低下することなどが明らかにされている。しかし、キクの光合成速度に対するCO₂濃度の影響についてはほとんど報告がなく、その生理・生態的反応についての知見は得られていない。

そこで、CO₂濃度と光および温度条件との複合的な要因およびキクの発育段階と光合成速度との関係などについて検討を行った。

第1節 CO₂濃度、光および温度条件と個体の光合成速度

実験方法

秋ギク‘秀芳の力’を供試し、1990年8月20日にボラ砂を用土として挿し芽した。9月7日に発根苗を素焼鉢(15cm径)に定植し、ガラス室内に置いた。定植は1鉢当たり2株ずつ行い、1週間後に生育の揃った株を残して他方を除去し、無摘心で生育させた。花芽分化を抑制するため、75W白熱灯を用いてさし芽直後から深夜4時間の暗期中断を行い、10月26日に消灯した。ガラス室内の気温は、日中は25℃で換気し、夜間は10月22日から最低気温15℃となるように加温した。肥料は液肥(OKF-1の1,500倍液、大塚化学)を週1回施用した。

光合成速度の測定は、定植4週間後(10月5)から消灯前(10月26日)までの株を供試し、鉢ごと同化箱内に置き、島津製CO₂濃度測定装置IRA-102を使用して通気法により行った。同化箱内への空気の流量は20ℓ/minとし、測定時の照度および気温は特に説明がない限りそれぞれ36klxおよび20℃とした。光源には陽光ランプ(東芝製)を使用し、キクの先端部までの高さで点灯数を調整することによって照度を設定した。

空気中のCO₂濃度の設定は、一定濃度のCO₂ガスを含む空気をあらかじめ調和バッグに蓄え、ポンプで同化箱内に送り込んだ。測定は1処理につき2反復とした。

結 果

気温を20℃とした普通大気中 (CO₂約350ppm) におけるキク個体の光合成速度と照度との関係を第4図に示した。光合成反応としてのCO₂の吸収速度と呼吸による放出速度が同じ値となる光補償点は約2.5klxであった。キクの光合成速度は照度の上昇に伴って増加し、30klx付近まではほぼ直線的に増加した。照度が40klxを超えると光合成速度の増加率は鈍くなり、50klx付近で一定の値(光飽和点)に近づいた。この時の光合成速度は約16mgCO₂・dm⁻²・h⁻¹であった。

照度10, 20および30klxの条件下におけるCO₂濃度と光合成速度との関係を第5図に示した。光合成速度は、いずれの照度条件下においてもCO₂濃度800ppm付近まではほぼ直線的に増加したが、その後増加の割合が緩やかとなった。CO₂350ppm (普通大気) と1,000ppm条件と比較した光合成速度の増加率は、照度10, 20および40klxでそれぞれ3.8倍、2.6倍および2.5倍となり、照度が低いほど光合成速度の増加率が高くなった。

温度条件を10, 20および30℃に設定した場合のCO₂濃度と光合成速度との関係を第6図に示した。CO₂350~1,100ppmの範囲では、気温20℃における光合成速度が最も高く推移した。それに対して気温30℃では、CO₂850ppm付近までは光合成速度が増加したが、その後さらにCO₂濃度が上昇するとしだいに低下した。

高温・高CO₂濃度下における光合成反応について詳しく検討するため、CO₂濃度を350ppmと1,100ppmの2段階に設定し、気温10~35℃の範囲で光合成速度を測定した結果を第7図に示した。CO₂350ppm条件では、気温が10℃から上昇するにつれて光合成速度はわずかに増加し、15~20℃でピークとなった後、20℃を超えるとしだいに減少した。それに対してCO₂1,100ppm条件では、気温10~20℃の範囲ではCO₂350ppmと同じ傾向であったが、気温が20℃を超えると光合成速度は急激に低下を始め、35℃における光合成速度は20℃の場合の約1/2となった。

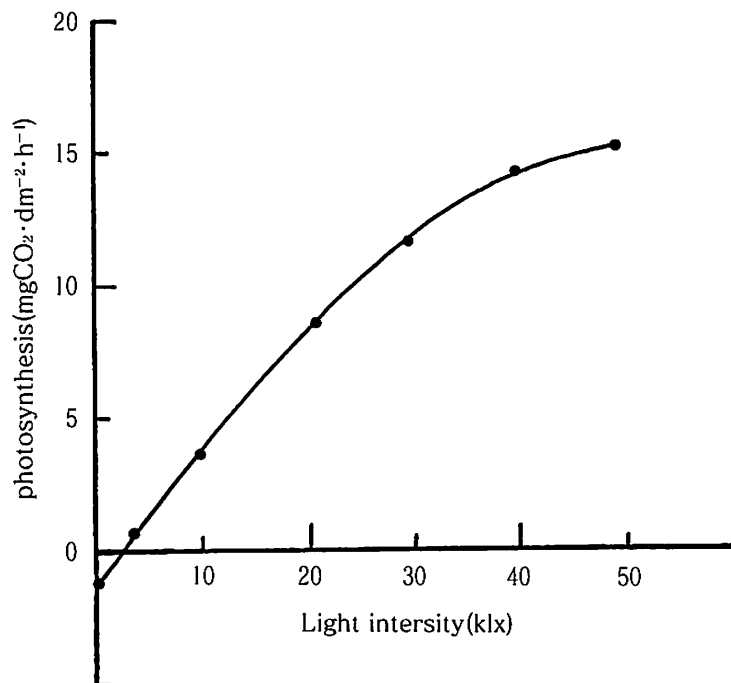


Fig. 4. Photosynthesis of whole plant at different light intensities.
Air temperature is 20℃ and CO₂ concentration is 350ppm.

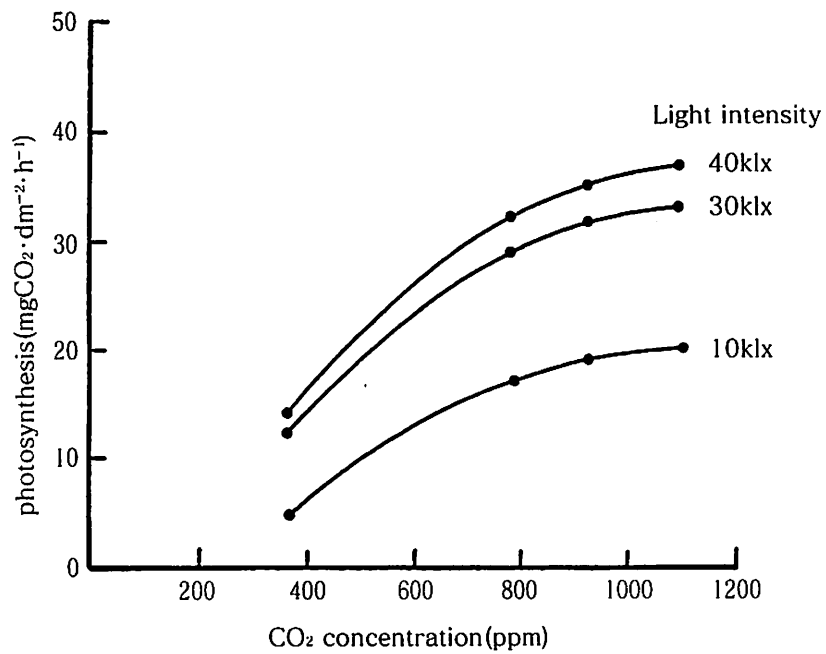


Fig. 5. Photosynthesis of whole plant under different CO₂ concentrations and light intensities. Air temperature is 20°C.

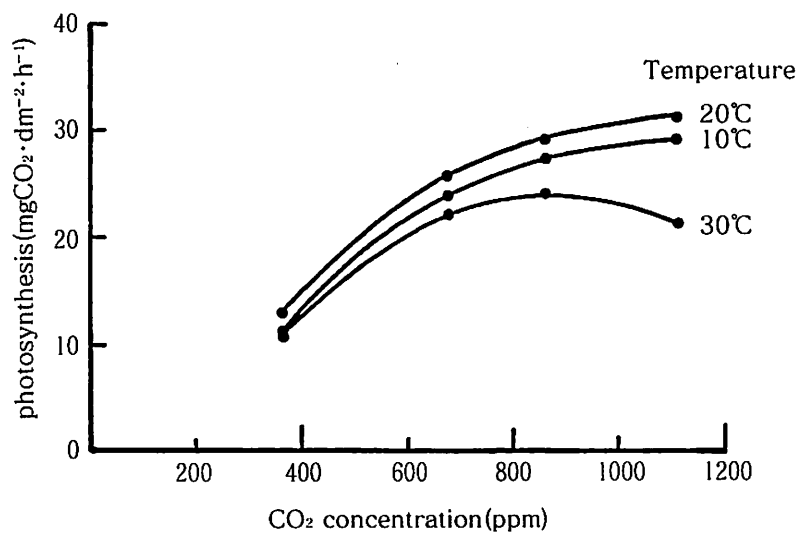


Fig. 6. Photosynthesis of whole plant under different CO₂ concentrations and temperatures. Light intensity is 36 Klx.

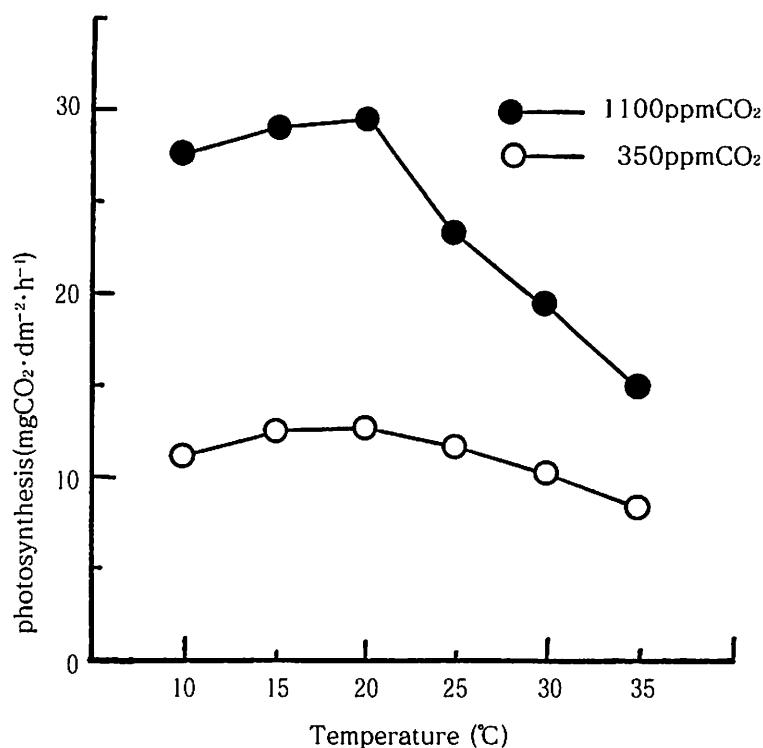


Fig. 7. Photosynthesis of whole plant under different temperatures and CO₂ concentrations. Light intensity is 36 Klx.

第2節 CO₂濃度と個葉の光合成速度

実験方法

秋ギク‘秀芳の力’を用い、第1節と同様に生育させた株を供試した。長岡・新井（1984）の考案した「小型同化箱利用による簡易迅速測定法」（第8図）に従い、キク個葉の光合成速度を以下のように測定した。

1990年11月13日と14日の2日間にかけて、ガラス室内で生育中のキクの鉢を温度条件20℃一定とした人工気象室内に置いた。光合成測定用の小型同化箱に茎についた状態の葉を挟み、照度条件が30klxとなるように位置を設定した。測定した葉位は、茎の先端から数えて5葉目（上位葉）、15葉目（中位葉）および30葉目（下位葉）とした。同化箱に流入する空気のCO₂濃度を350ppm（普通大気）、800ppm、1,200ppmおよび1,800ppmの4条件とし、それぞれに上位葉、中位葉および下位葉の葉位別に1区当たり3～4個体を供試して測定した。CO₂濃度の測定には、赤外線CO₂分析装置として富士ZAP型を使用し、空気の流量は3ℓ/minとした。

また個葉の光合成速度と葉緑素測定値との関係を調べるため、上記のうち普通大気で測定した以外に、9個体を用いて個葉の光合成速度を測定した後、SPAD計501（ミノルタ製）を用いて葉緑素含量を測定した。測定は同じ条件の人工気象室内で行った。

結 果

葉位別に測定した個葉の光合成速度とCO₂濃度との関係を第9図に示した。CO₂濃度が350ppmから1,200ppmまで上昇するに従い、いずれの葉位の葉でも光合成速度が急速に増加した。

CO₂800ppmにおける光合成速度は、上位葉、中位葉および下位葉を問わず350ppmの約2倍となった。CO₂濃度が1,200ppm～1,800ppmの間は、上位葉と中位葉では光合成速度がほぼ一定の値となって飽和したのに対し、下位葉ではわずかに増加した。

葉位別の光合成速度は、CO₂350ppm～800ppmの範囲では上位葉と中位葉とでほとんど差がなかったが、下位葉ではいずれも上・中位葉の約60%と低かった。CO₂1,200ppm～1,800ppmの範囲では、上位葉の光合成速度が最も高くなり、次いで中位葉、下位葉の順となった。

キクの個葉における葉緑素測定値と光合成速度との関係を第10図に示した。葉位別では、上・中位葉と比較して下位葉における葉緑素測定値と光合成速度の値がいずれも低い値を示した。上・中・下位葉を含めて計算した葉緑素測定値と光合成速度との相関係数（ r ）は0.7093で、有意な正の相関が認められた。葉緑素測定値を X 、光合成速度を Y とした場合の両者の関係式（1次式）は、 $Y=0.2402X-0.1693$ であった。

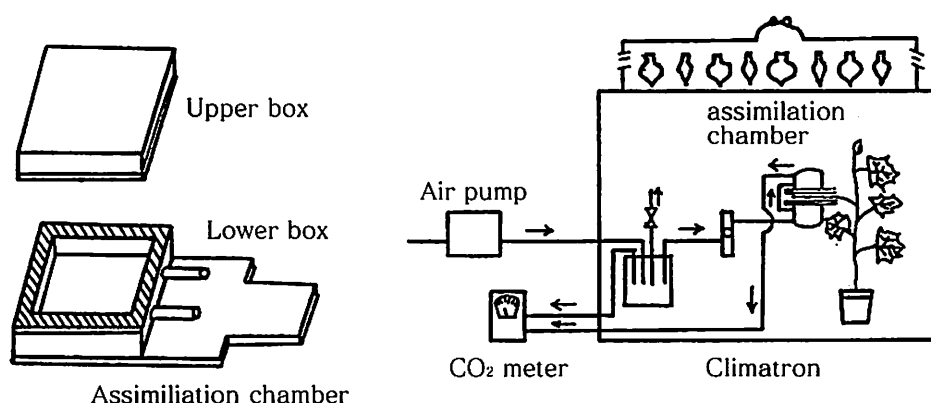


Fig. 8. Measurement of photosynthesis of single leaf by a small assimilation chamber. Nagaoka and Arai(1984).

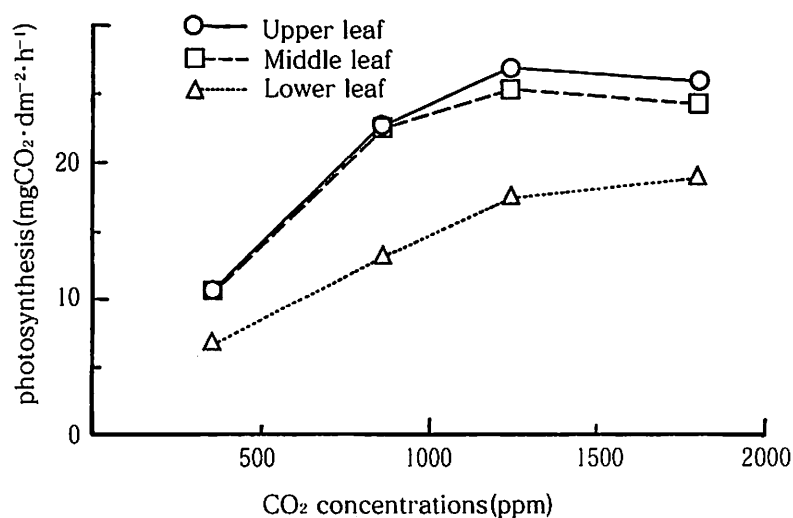


Fig. 9. Photosynthesis of single leaf at different CO₂ concentrations and leaf positions. Light intensity is 30 Klx and air temperature is 20°C.

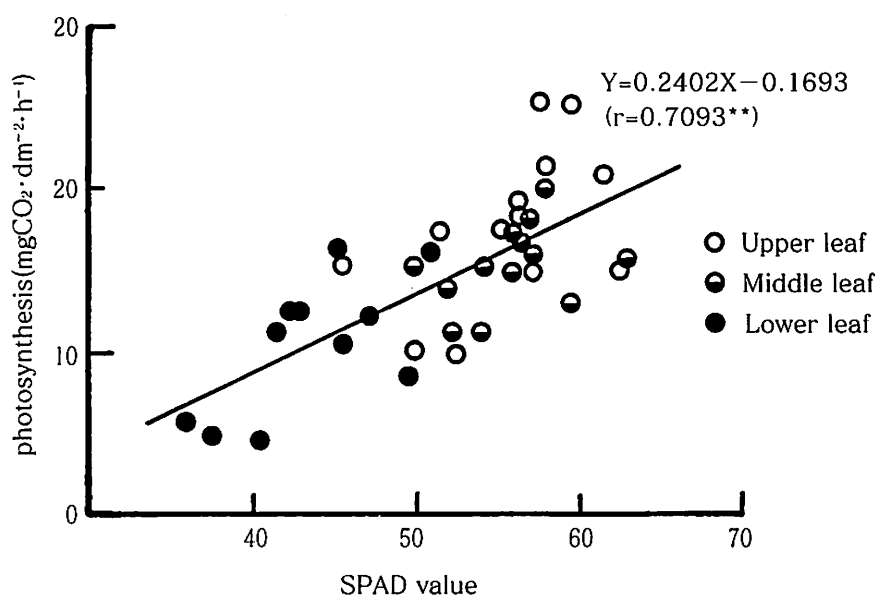


Fig. 10. Relation between photosynthesis and SPAD value of single leaf.
Light intensity is 30 Klx and air temperature is 20°C.
(SPAD-501 Minolta)

第3節 CO₂濃度と生育段階別光合成速度

実験方法

第1節と同様に生育させた株を用い、定植から4週間後、7週間後および11週間後の各生育段階におけるCO₂濃度と光合成速度との関係について調べた。

CO₂濃度は、それぞれの生育段階について350ppm（普通大気）、600ppmおよび1,000ppmの3水準で測定し、光条件として照度10klxおよび30klxの2水準を組み合わせ、合計6区を設定した。

光合成速度の測定は、鉢ごと同化箱内に入れ、島津製CO₂濃度測定装置IRA-102を使用して、通気法により行った。同化箱内への空気の流量は20ℓ/minとし、測定時の気温は20℃とした。光源には陽光ランプ（東芝製）を使用し、キクの先端部までの高さや点灯数を調整することによって照度を設定した。

大気中のCO₂濃度の設定は、一定濃度のCO₂ガスを含む空気をあらかじめ数個の調和バッグにためておき、そこからポンプで同化箱内に送りこむことにより行った。測定は1処理につき2反復とした。

結 果

定植後の異なる生育段階において、CO₂濃度と照度条件を変えた場合のキクの光合成速度を第11図に示した。定植4週間後から7週間後の消灯時までの生育時期では、同一照度およびCO₂濃度条件における光合成速度はほぼ同じで、変化が認められなかった。それに対して、キクが発蕾した定植11週間後では、普通大気における光合成速度には大きな差がなかったが、CO₂600ppmおよび1,000ppm条件では定植4および7週間後と比較して光合成速度が低下した。

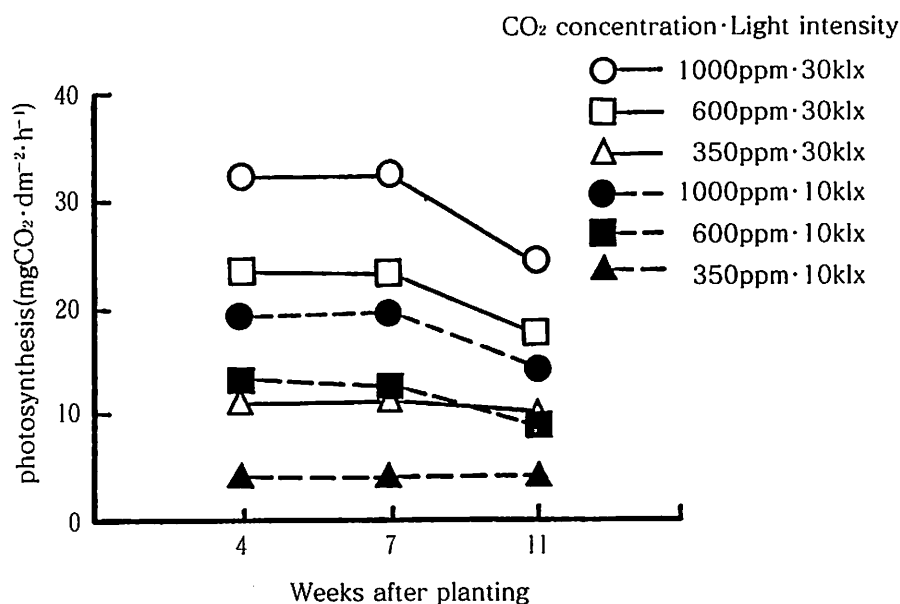


Fig. 11. Photosynthesis of whole plant at different plant age.
Light intensity is 30 klx and air temperature is 20°C.
Plants were grown under 350ppm CO₂.

考 察

キク個葉の光合成速度と光条件との関係については西尾(1989)の報告があり、温度20°Cの条件で上位葉は $500 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下では光飽和点に達しなかったが、中位葉では $500 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、下位葉では $450 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 付近で光合成速度が一定となった。陽光ランプを使用した場合の $500 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ は、照度換算でおよそ33klxに相当すると考えられる。本実験でキク個体の光合成速度を測定した結果では、照度40～50klx付近で光合成曲線の傾きが緩くなったことから、50klxをやや超えたところに光飽和点が存在すると推定された。また、Holcombら(1988)は、光強度が325と $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ で5週間生育したキクでは光合成・光曲線に差は認められなかったが、 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度の弱光下で生育した場合には、光合成速度の最高値が前者の39%に減少し、光飽和点も大きく低下したことを報告している。このことは、光合成速度には生育前歴の影響が無視できないことを示している。

光条件を変えた場合のCO₂濃度と光合成速度との関係では、一般的に強光度ほどCO₂濃度の上昇に対する光合成速度の増加量が大きくなり、またCO₂飽和点が高くなることが知られている(Brun・Cooper, 1967; Enoch・Hurd, 1977; 今井, 1988; Larigauderie・Berger, 1986; Mortensen, 1987; Nilsen et al., 1983; 大川, 1980; Sage et al., 1989)。第1節の実験では、CO₂濃度を350ppm(普通大気)から1,100ppmの範囲に限定した結果、1,000ppmを超えると光合成速度の増加はきわめて緩慢となったものの、10～40klxの照度ではいずれも完全なCO₂飽和点には達しなかった。しかし第2節で、照度を30klxとした条件下で個葉におけるCO₂濃度と光合成速度との関係を測定した結果、上位葉と中位葉ではおよそ1,200ppmのCO₂濃度で光合成速度の上昇が認められなくなった。これらのことから、キクの光合成速度のCO₂飽和点は約1,200ppmということができる。今村ら(1989)は、トルコギキョウにおけるCO₂濃度と光合成速度との関係について調べ、約1,000ppm以上のCO₂濃度で光合成速度が一定になったことを報告している。それ以外にも、C₃植物の場合には1,000～1,500ppm付近に光合成のCO₂飽和点が存在

する事例が多く(Mortensen, 1987), 花き類一般におけるCO₂施用濃度の設定を1,000～1,500ppmとするのは妥当と考えられる。

また照度が低いほど、CO₂濃度の上昇にともなう光合成速度の増加率が大きくなることが確認できたことから、冬季におけるCO₂施用を想定した場合には、日射量の多少に左右されることなく、CO₂濃度を1,000～1,200ppm程度に上昇させることで効果的な光合成が期待されるものと考えられる。

温度条件を変えた場合のCO₂濃度と光合成速度との関係について、一般的にC₃植物ではCO₂濃度が上昇するほど光合成の適温域が高くなるとされており、そのことを裏付ける報告が多い(Brun・Cooper, 1967; Enoch・Hurd, 1977; 今井, 1988; Larigauderie・Berger, 1986; Mortensen, 1987; Nilsen et al., 1983; 大川, 1980; Klapwijk・Wubben, 1984; 長岡ら, 1984)。これは、CO₂濃度の上昇にともない葉内のオキシゲナーゼ作用が抑制され、光呼吸が減少する結果とされる。しかし一方で、高温・高CO₂濃度条件下では葉の表皮の気孔が閉じてしまい、このことが葉内へのCO₂の流入を妨げ、光合成速度を低下させる原因となることも知られている(今井, 1988)。本実験で、CO₂ 1,100ppmの条件下で気温が20℃を超えた場合に急激な光合成速度の低下が生じたのは、このような気孔の反応が敏感に行われたためと考えられる。

CO₂施用との関連では、日中の換気温度によってCO₂施用時間が左右される。メロン等の野菜では、高CO₂濃度下で光合成の適温域が高くなることから、30℃を換気温度の目安としている(野菜試験場, 1977; 静岡県農業水産部, 1977)。キクでは、高CO₂濃度下で光合成適温域の上昇が必ずしも認められないことから、換気温度の目安としては普通大気中の場合と同じ約25℃とするのが適当と考えられる。しかしこの点については、温度要因が同化産物の転流や植物体内の生理的な反応にも関わっていることから、実際のCO₂施用実験により明らかにすべき課題である。

個葉の光合成速度と葉緑素測定値との関係では、両者に高い正の相関が認められた。このことは、葉中の葉緑素含量の多少が光合成速度を大きく規制していることを示唆しており、キクの生育診断としても有効な資料と考えられる。

キクの生育時期が定植4週間後から7週間後の栄養生長期にある場合、CO₂濃度や照度の高低に関わらず、光合成速度に生育時期による差が認められなかった。しかし、発蕾を確認した11週間後になると、高CO₂濃度下では定植4, 7週間後よりも光合成速度が低下したことから、株の齢が進むほど光合成速度が低下することが明らかとなった。この場合、葉位別の光合成速度を比較検討していないが、株が老化したことによって下位葉の黄化が進み、結果的に個体当たりの光合成速度が低下したのと考えられる。

摘 要

異なるCO₂濃度、光および温度条件下における秋ギク‘秀芳の力’の光合成特性について調べた。

1. 高CO₂濃度下におけるキクの光合成速度は、光強度が増すほど増加した。しかし、低照度条件下においてもCO₂飽和点の低下は認められず、また、普通大気と比較した高CO₂濃度下における光合成速度の増加率は、低照度ほど高くなった。
2. 気温は15～20℃が光合成の適温域であり、350～1,100ppmのCO₂濃度範囲で最も高い光合成速度を維持した。CO₂ 1,100ppmでは、気温10℃から20℃までは光合成速度が上昇したが、20℃を超えると光合成速度の急激な低下を生じ、35℃における光合成速度は20℃の約1/2に低下した。
3. 個葉の光合成速度は、葉位別では上・中位葉と比較して下位葉で劣った。上・中位葉ではCO₂ 約1,200ppmで光合成速度が一定となったが、下位葉では光合成速度は低いものの、

1,800ppm付近まで緩やかに増加した。個葉の光合成速度と葉緑素測定値との間には、相関係数 $r=0.7093$ の正の相関が認められた。

4. 定植4週間後と7週間後では CO_2 濃度や照度条件にかかわらず、生育時期による光合成速度の差は認められなかった。しかし、発蕾期の定植11週間後になると、高 CO_2 濃度下における光合成速度が定植4および7週間後と比較して低下した。

第3章 CO₂施用とキクの生育および光合成速度

緒 言

わが国における施設ギクの主要品種は、7～9月の高温期を除くと秋ギク‘秀芳の力’がその大半を占めている。主たる産地は静岡県から愛知県渥美半島にかけての太平洋岸とその周辺であるが、近年、九州北部から山陰、北陸にかけての地域まで作付けが拡大する傾向にある。しかし、この品種は花芽の分化・発達に15℃以上の温度を必要とすることから、冬季の切り花生産においては高所ロゼットの発生がしばしば問題となっている。また、わが国の冬季の日射量は太平洋岸の一部の地域を除いて極端に減少することから、生育が遅延し、切り花の上位葉が小さくなるなど、品質の低下を招いている。

同じように冬季の日射量の少ない北部アメリカおよびヨーロッパにおいては、低日照条件下での植物の生長を補うため、CO₂施用により積極的に光合成速度を高める試みがなされ、施設野菜や花き類などで実用化されている (Berkel・Verveer, 1984; Gardner, 1965; Hand, 1984; Mortensen, 1984; Nilsen et al., 1983)。切り花類の中では、スプレーギクに対するCO₂施用が実施され、利点としては茎の伸長がよく、根・茎・葉を含めた植物体重量が増加したり (Mortensen, 1984; Mortensen, 1987)、開花率が向上し、花の日持ちが延長した (Hand, 1984)、などの報告がみられる。

しかし、実用性に関しては留意すべき点も多く、トマトやキュウリ、キク、ガーベラ等では高CO₂濃度による葉の障害が発生したり (Berkle, 1984; Mortensen, 1987, 長岡・新井, 1984)、CO₂施用によりエチレン生成が促進される結果、下葉が早く老化する (吉岡ら, 1989)、といった悪影響に関する指摘がみられる。さらに、高CO₂濃度に長期間さらされた植物は、自然大気中で生育した場合と比較して光合成速度が低下する事例 (清田・矢吹, 1982; Larigauderie et al., 1986; Mortensen, 1984; Nilsen et al., 1983) も多く報告されている。

そこで、キクの切り花生産における寡日照期の品質向上を目的として、CO₂施用がキクの生育、光合成速度および根の生理的活性に及ぼす影響について検討を行った。

第1節 CO₂施用濃度と生育

実験方法

秋ギク‘秀芳の力’を供試し、1990年8月20日にさし芽し、発根させた苗を9月7日にガラス温室で5号素焼鉢に定植し、深夜3時間の暗期中断処理を開始した。定植は1鉢に2株ずつ行い、1週間後に生育の揃った株を残して他方を除去し、無摘心で生育させた。

CO₂施用は、人工気象室内に3つのチャンバー(80cm×80cm×90cm)を設置し、CO₂コントローラーにより濃度をそれぞれ対照(成り行き)、600ppmおよび1,200ppmとなるように設定した。9月19日からキクをそれぞれのチャンバー内に移動してCO₂施用処理を開始し、以後、11月25日まで67日間施用した。

人工気象室は光源をメタルハライドランプとし、午後0時30分から午前0時30分を明期、残りの時間を暗期とする12時間日長とした。キクを搬入後から白熱灯を用いて暗期中に4時間(午前4時30分～午前8時30分)電照を行って花芽分化を抑制し、10月19日に消灯した。明期中のチャンバー内の照度は中央部で25klx、室内の気温は明・暗期とも21℃一定としたが、CO₂施用中の密閉したチャンバー内の気温は25±1℃に上昇した。

CO₂施用は、一日のうち午後0時30分から2時間30分行き、流量計を用いて1チャンパー当たり毎分30ℓ送風した。また、施用終了後はそれぞれのチャンパーの扉を開放した。施用中のチャンパー内のCO₂濃度は、赤外線CO₂分析計での測定によりそれぞれ300±150ppm、600±150ppmおよび1,200±150ppmであった。

キクの生育に及ぼすCO₂施用の影響について、施用開始30日後（電照打ち切り日）と60日後の2回、1区10株について形質調査を実施した。また、キクの発蕾の確認を11月中旬に行った。

結 果

CO₂施用開始30日後と60日後のキクの形質をそれぞれ第5表と第6表に示した。施用30日後における茎長は、無施用区（対照）で42.1cmだったのに対し、CO₂濃度600ppmおよび1,200ppm区ではそれぞれ45.0および45.8cmと長くなった。同様に葉数、葉面積および葉・茎・根の生体重のいずれも、600ppmと1,200ppm区については有意な差がなかったが、対照区より大きな値を示した。

施用開始60日後の茎長は、対照区で69.1cmだったのに対し、CO₂施用600および1,200ppm区ではそれぞれ対照区より5.2cmおよび6.5cm長くなった。また茎長、葉数、葉面積および生体重と乾物重がいずれも対照区と比較して7.1%から最大38.6%の範囲で増加し、顕著な差が認められた。CO₂施用濃度600ppmと1200ppm区との間にはいずれの形質についても有意な差が認められなかった。諸形質の中で、CO₂施用により最大の増加量を示したのは根重(特に乾物重)であり、次いで茎重(乾物重)であった。

CO₂施用とキクの発蕾との関係では、対照区の発蕾日が11月10日となったのに対し、CO₂施用区では対照区よりも3日遅れた（第7表）。また、消灯後から発蕾までの増加葉数は、対照区の17.2枚に対し、600および1200ppm区ではそれぞれ20.9および21.4枚と増加した。

Table 5. Effects of CO₂ enrichment during 30 days on growth of chrysanthemum.
Data were obtained on the last day of long day treatment.

Treatments	Shoot length (cm)	Number of leaves	Leaf area (cm ²)	Fresh weight		
				Leaves (g)	Stem (g)	Roots (g)
cont.	42.1a ^z	31.4a	617a	17.1a	7.1a	4.2a
600ppm	45.0b	32.4a	667b	19.2b	8.5b	5.4b
1200ppm	45.8b	32.8a	677b	19.4b	8.8b	5.4b

^zMean separation within columns at P≤0.05 by LSD.

Table 6. Effects of CO₂ enrichment for 60 days on growth of chrysanthemum.

Treatments	Shoot length (cm)	Number of leaves	Leaf area (cm ²)	Fresh weight			Dry weight		
				Leaves (g)	Stem (g)	Roots (g)	Leaves (g)	Stem (g)	Roots (g)
cont.	69.1a ^z	48.6a	1170a	42.8a	19.4a	17.2a	7.07a	4.56a	2.72a
600ppm	74.3b	53.3b	1370b	49.8b	23.2b	20.5b	8.52b	5.63b	3.64b
1200ppm	75.6b	54.2b	1370b	50.4b	23.6b	21.0b	8.61b	5.71b	3.77b

^zMean separation within columns at P≤0.05 by LSD.

Table 7. Effect of CO₂ enrichment on budding time of chrysanthemum.

Treatments	Date of budding
cont.	10Nov.a ²
600ppm	13Nov.b
1200ppm	13Nov.b

² Mean separation within columns at $P \leq 0.05$ by LSD.

第2節 CO₂施用濃度と個体および個葉の光合成速度

実験方法

第1節と同様に生育させ、CO₂施用処理を行ったキクの株を供試した。生育前歴（CO₂施用濃度）の異なる株について光合成速度の差を調べるため、施用開始時と施用30日および60日後の3回、個体の光合成速度をCO₂濃度を変えて測定した。また、生育後期（発蕾直後）の11月15日までCO₂施用を行ったキクについて、個葉の光合成速度をCO₂濃度を変えて葉位別に測定した。

個体の光合成速度の測定は島津製CO₂濃度測定装置IRA-102を使用し、CO₂濃度を400および800ppmとして通気法により行った。測定時の照度は36klx、気温20℃、流量は20 l/minとした。また、個葉の光合成速度の測定は、長岡・新井（1984）の考案による簡易迅速測定法（第8図）に従った。葉位は、上位および中位葉は茎の先端の展開葉からそれぞれ5葉目および20葉目とし、下位葉は茎の基部から数えて12葉目を供試した。測定は光および温度条件が一定（30klx、20℃）の人工気象室内で、葉位別に1区3反復、27点測定した。赤外線CO₂濃度分析装置は富士ZAP型を使用し、流量は2 l/minとした。

結 果

キク個体の光合成速度に及ぼす前歴としてのCO₂施用濃度の影響について、異なる2種類のCO₂濃度下で生育時期別に測定した結果を第12図に示した。CO₂400ppm条件で測定したCO₂施用開始時の光合成速度は13.1mgCO₂・dm⁻²・hr⁻¹であったのに対し、施用30日後ではいずれの処理区においても12.9～13.2mgCO₂・dm⁻²・hr⁻¹の範囲で差がなかった。しかし、施用60日後になると各処理区とも8.53～8.86mgCO₂・dm⁻²・hr⁻¹の範囲に低下した。それに対してCO₂800ppm条件で測定した場合、施用開始時の光合成速度30.3mgCO₂・dm⁻²・hr⁻¹に対し、30日後では処理区によって24.6～25.3mgCO₂・dm⁻²・hr⁻¹、また60日後では14.8～15.7mgCO₂・dm⁻²・hr⁻¹と、生育が進むにつれて低下した。

生育前歴としての施用濃度の影響について、測定時のCO₂400および800ppm条件下における光合成速度にはほとんど差が認められなかった。

11月15日まで57日間CO₂施用を行ったキクの個葉の光合成速度は、葉位別では上位葉が最も高く、次いで中、下位葉の順となった（第8表）。施用処理間では、600ppm処理区における光合成速度が対照区よりも低い値を示したが、1,200ppm区との差は認められなかった。また、対照区と1,200ppm区との間には有意な差が認められなかった。

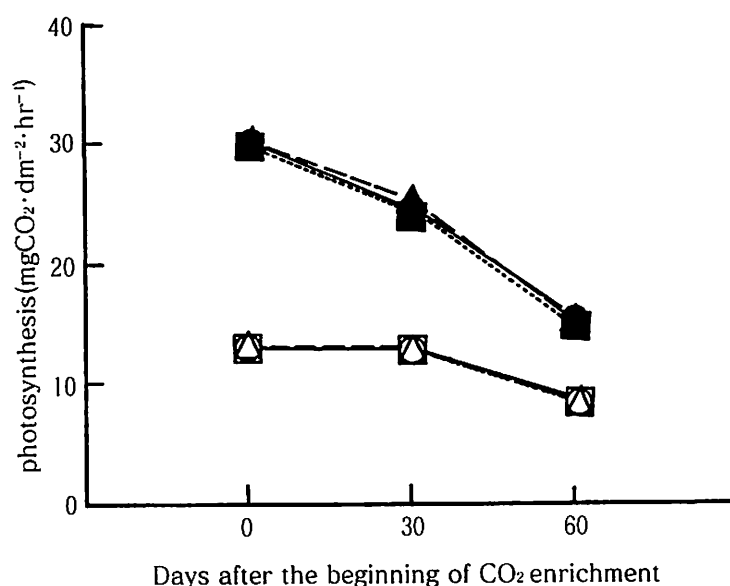


Fig. 12. Photosynthesis of whole plant at different growth stages and CO₂ concentrations ; 400ppm (Open symbols) and 800ppm(Closed symbols). The plants had been grown in ambient(O,●—), 600ppm (△,▲---) and 1200ppm CO₂ (□,■···) for 2.5 hours per day.

Table 8. Effect of CO₂ enrichment for 57 days on photosynthesis of upper, middle and lower leaf under 350ppm CO₂

Treatments	Photosynthesis (mgCO ₂ ·dm ⁻² ·h ⁻¹)		
	Upper leaf	Middle leaf	Lower leaf
cont.	15.7a ^z	13.7c	11.6ef
600ppm	13.8bc	12.5de	10.5g
1200ppm	14.8ab	13.1cd	11.4fg

^zMean separation within columns at P≤0.05 by LSD.

第3節 CO₂施用濃度と根の生理的活力

実験方法

第1節と同様に生育させ、CO₂350、600および1,200ppmでCO₂施用処理を行ったキクの株を供試した。CO₂施用中の濃度と根の生理的活性との関係を調査するため、施用開始時、施用開始30日および60日後の3回、地上部の生体重、根重および根のTTC還元力を測定した。TTC還元力の測定は、0.4% TTC液と0.1Mリン酸緩衝液の等量混合液10mlに生重1gの根を浸漬し、35℃で3～4時間反応させた。その後フォルマザン抽出液を50mlに定容し、485nmで比色・定量した。供試株数は施用開始時および30日後では5株、60日後では8株とした。

結 果

キクの生育中、鉢内において根詰まり等による根の褐変化については特に観察されなかった。CO₂施用を行ったキクの根のTTC還元力の経過を第13図に示した。CO₂施用30日後では、対照区のTTC還元力は $1.7\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}\cdot\text{hr}^{-1}$ だったのに対し、600ppmおよび1,200ppm区ではそれぞれ1.4および $1.5\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}\cdot\text{hr}^{-1}$ と低くなった。施用60日後では、CO₂1,200ppm区の値が600ppm区をやや上回ったが、いずれも対照区より低い値を示した。

根のTTC還元力と根重および地上部重との関係について検討した結果、施用60日後の根のTTC還元力と地上部重との相関係数は $r = -0.1109$ で、両者の間に有意な関係は認められなかった（第14図）。しかし、TTC還元力と根の乾物重との関係では、相関係数 $r = -0.4570$ の有意な負の相関が認められた（第15図）。さらに、TTC還元力に個体の根の乾物重を乗じた「個体当たりのTTC還元力」と地上部重との間には、相関係数 $r = 0.6086$ の高い正の相関が確認された（第16図）。

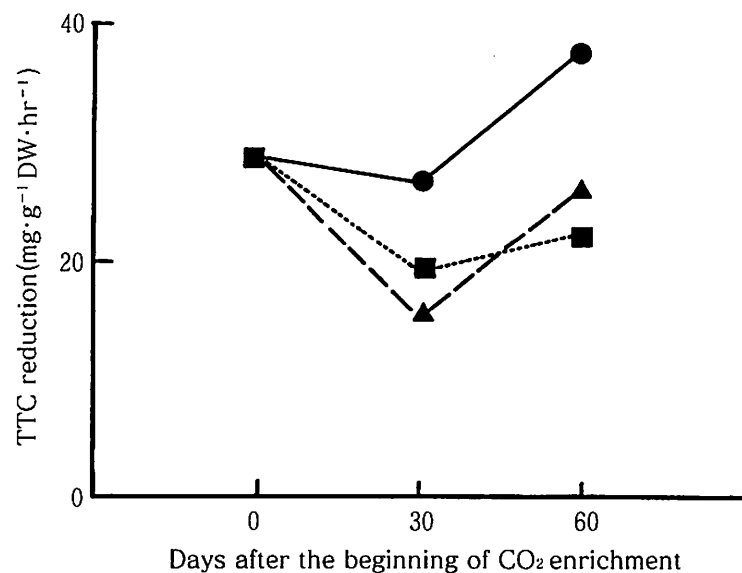


Fig. 13. TTC reduction in roots at different growth stages.
The plants were grown in ambient(●—).
600ppm(▲--) and 1200ppm CO₂ (■··).

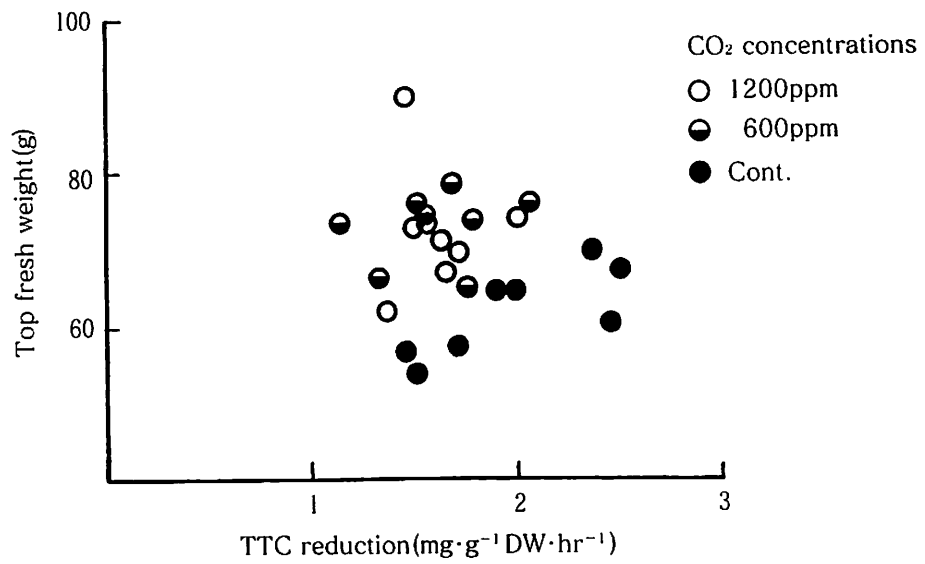


Fig. 14. The relation between TTC reduction of roots and top fresh weight. Correlation coefficient (r) = -0.1109.

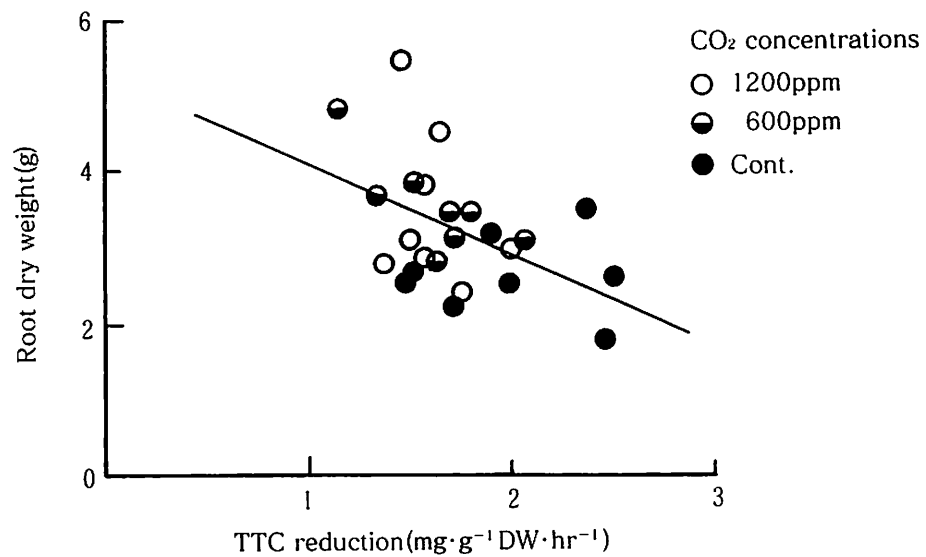


Fig. 15. The relation between TTC reduction and dry weight of roots. Correlation coefficient (r) = -0.4570*

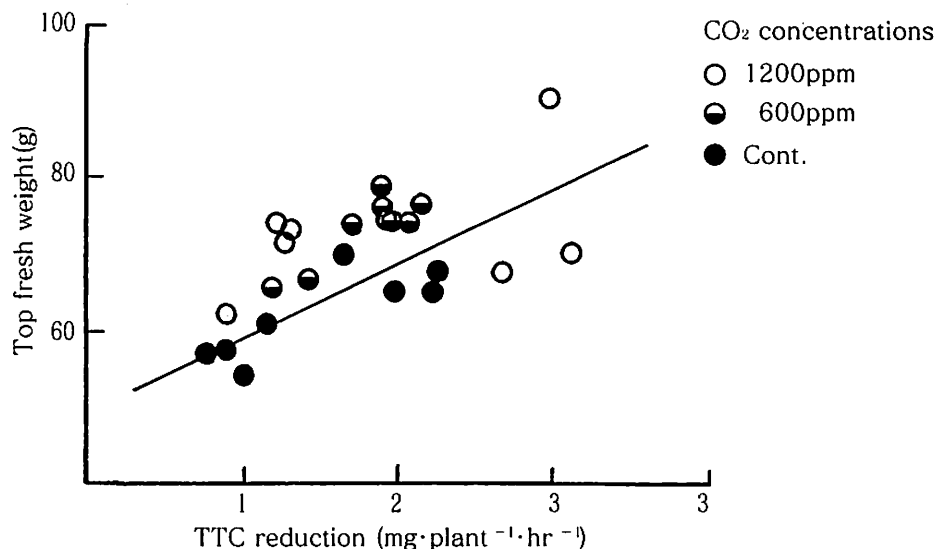


Fig. 16. The relation between TTC reduction of roots and top fresh weight of whole plant. Correlation coefficient (r)=0.6086**.

考 察

キクの生育に対するCO₂施用の効果として、Gardner(1965)は、CO₂濃度900ppmで生体重および乾物重が最大25%増加したと報告している。また、Mortensen・Moe (1983,1983) は3段階(330,1000,1600ppm)のCO₂濃度と4段階(44,129,268,395 μEm^{-2}) の光条件とを組合せた実験を行い、茎長と葉数はCO₂濃度および光強度の上昇に伴って増大したが、CO₂濃度1000ppmと1600ppmの間には生育差がなかったことを示した。

本実験において、CO₂施用による草丈、葉数、生体重および乾物重の増加はこれらの報告と似た傾向を示し、最も増加率が高かったのは根の乾物重であった。Norbyら(1986)が*Quercus alba* L.について行った実験でも、諸形質の中で根の乾物増加量をもっとも高かったことを認めており、これらのことは、葉で生成された炭水化物のシンク器官として根が重要な働きをしていることを示唆するものである。

植物の花芽の分化・発達に対するCO₂施用の影響について、Marc・Giford(1983)は、ムギ、ヒマワリで花芽分化が1～3日進んだが、ソルガムについては差がなく、その後の花芽の発達はヒマワリでは差がみられないものの、特にソルガムではCO₂施用により発達が遅れたとしている。また、キクでは開花が最高1週間促進されたという報告(Hand,1984)もある。これらはいずれも、人工的な開花調節をしない条件での事例であるが、本実験では電照によって栄養生長期と生殖生長期とを明確に区分して行った。その結果、キクの発蕾はCO₂施用区で3日遅れ、しかも消灯後から発蕾までの葉数がCO₂施用区で増加した。これらのことは、CO₂施用が植物体の生殖生長への転換を阻害するように作用した可能性を示しており、この点については今後の検討が必要と思われる。

長期間にわたり連続して高濃度のCO₂にさらされた植物は、自然大気中で生育した植物と比べて光合成速度が低下する事例が多く報告されている(清田・矢吹, 1982; Larigauderie et al.,1986; Mortensen,1984; Nilsen et al.,1983)。これは、日中の連続したCO₂施用により葉中にデンプンが蓄積し、光合成のフィードバック阻害が起きるためとされ、また葉の肥厚との関連も指摘されている。さらに吉岡ら(1989)は、終日900ppm濃度のCO₂施用を行ったハウレンソウの

葉では、蒸散の抑制やエチレン生成が促される結果、葉の老化が促進されることを報告している。

本実験で1日当たり2.5時間のCO₂施用を行い、施用30日および60日後の2回、個体の光合成速度の測定を行った結果、600ppmと1200ppm施用区の光合成速度には差が認められなかった。また、施用57日後における個葉の光合成速度を葉位別に測定した結果、600ppm施用区の光合成速度が対照区よりわずかに低下する傾向を示したが、1200ppm施用区との間には有意差が認められなかった。CO₂施用による下位葉の黄化等も特に認められていないことから、1日当たり2.5時間の施用では、葉の老化やそれに伴う光合成速度の低下は、日中の連続的な施用と比較すると影響が少ないと考えられた。

根の活力に関する分析結果から、CO₂施用区において根の単位乾物重当たりのTTC還元力が低下する傾向を示した。しかし、CO₂施用により根重が増大した結果として、「個体当たりのTTC還元力」は増加しており、これと地上部重との間には高い正の相関が認められた。

以上のように、電照ギクに対するCO₂施用の効果は生育量の増加となって現れることから、定植から切り花までの栽培期間が短縮できること、また、重量の増加は秀品率の向上としての効果が期待される。しかし、実用的な圃場条件下におけるCO₂施用に関しては、土壌中からのCO₂供給があること、施用時の温度ならびに光条件との関係など、今後の検討が必要である。

摘 要

施設ギクに対するCO₂施用の効果を確認するために、人工気象室内で3段階の濃度のCO₂施用を行い、ギクの生育、光合成および根の生理的活力に及ぼす影響について調べた。

1. ギクの生育に対するCO₂施用の効果は、草丈、葉数、葉面積および生体重、乾物重のいずれについても認められ、対照区と比較して8%から最大39%増加した。中でも根重の増加量が最も著しかった。また、発蕾はCO₂施用区において3日遅れた。
2. CO₂350, 600および1,200ppm濃度下で生育したギク個体の光合成速度について、CO₂400および800ppm濃度下で施用30日および60日後に測定した結果、生育前歴としてのCO₂施用濃度の影響は認められなかった。
3. CO₂施用により根の単位乾物重当たりのTTC還元力は低下した。しかし、CO₂施用により根重が増加した結果、個体当たりでみたTTC還元力は逆に増大し、これと地上部重との間には高い正の相関が示された。

第4章 CO₂施用時期、光および温度条件とキクの生育・開花

緒 言

普通大気中と高CO₂濃度条件とを比較した光合成速度の増加率は、照度が低いほど高くなることを第2章で示した。また、高CO₂濃度下における光合成速度の適温域は約20℃であることが明らかとなった。しかし、照度や温度条件が異なる場合の切り花品質に対するCO₂施用の影響については、圃場試験の中で改めて検討する必要がある。

キクの品質改善についてのわが国の研究は、今日まで低温期における夜温管理を中心に発達してきたという経過がある。それに対して、年間を通して冷涼な気候の北欧や北米では、当初から夜温とともに昼温や昼夜温較差についての研究が行われている(De Lint・Heij,1987;Hoeven,1987)。特に最近では、温度と光環境やCO₂施用との組み合わせにより、キクの生育に最適な環境を設定する複合環境制御の試みが実施されており(Heins et al.,1986; Karlsson et al.,1987,1989b; Karlsson・Heins,1994)、わが国における研究の方向性を示唆していると思われる。

わが国でもキクの周年生産が確立し、作型が分化するにつれて、高度な施設設備が普及し始めており、時間単位のカーテン制御や暖房、換気温度、CO₂制御等の管理が可能となりつつある。そこで、これらの将来的な課題に対する基礎的資料を得るため、生育時期や光条件および温度条件とCO₂施用の有無とがキクの生育、開花および切り花形質に及ぼす影響について検討した。

第1節 CO₂施用時期と生育・開花

実験方法

秋ギク‘秀芳の力’を供試し、1991年に電照抑制12月上旬出しを行った後の株を12月16日に掘り上げ、23ℓ容量のプランタに10株ずつ定植した。プランタは無加温のガラス室内に置き、12月19日から白熱灯を用いて深夜3時間の電照を行って花芽分化を抑制した。翌年1月4日にジベレリン(GA₃)の100ppm溶液をキクの株に散布して腋芽の伸長を促すと同時に、夜間の最低気温が18℃になるように加温を開始した。夜温管理は1月13日までは最低18℃、1月14日から開花までは最低15℃とした。電照は2月17日まで行い、その後は自然日長とした。肥料は被覆緩効性肥料(チッソ旭製、ロング100日タイプ)を用い、定植時と電照打ち切り時の2回、それぞれ1プランタ当たりN:P₂O₅:K₂O=6:6:6gずつ施用した。

1月6日から第17図に示したように、キクの生育時期別にCO₂施用を開始した。1区は無施用区とし、7区では生育初期から開花まで連続してCO₂施用を行った。2～6区ではCO₂施用を生育初期から開始し、終了時期を電照打ち切り2週間前から開花まで2週間おきに設定した。また、8～11区では開花まで施用することとし、施用開始時期について電照打ち切り2週間前から4週間後まで2週間おきに設定した。処理は1区2反復で行った。

CO₂施用は、ガラス室内に内張り用のビニル被覆をした状態で行った。液化CO₂ポンペを用いてCO₂濃度調節器により1,000ppmに設定し、タイマー制御により朝方7:00から9:30まで2時間30分施用した。無施用区についても7:00～9:30の間はビニルを被覆するようにし、両区ともガラス室の天窓は25℃で換気した。

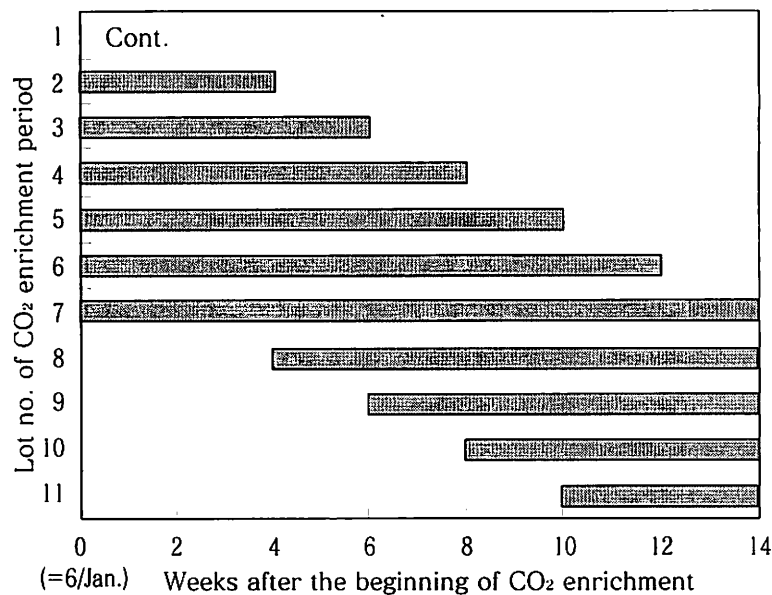


Fig. 17. CO₂ enrichment period in each treatment.
6w : The end of lighting

結 果

施設内のCO₂濃度は、無施用区では夜間400～800ppm、昼間250～400ppmの範囲で変動した。一方CO₂施用区では、施用中は1,000±200ppm、終了後は無施用区と同じ250～400ppmの範囲で変動した。

CO₂施用時期とキクの平均開花日との関係を第18図に示した。無施用区(1区)の開花日は4月21日であったのに対し、生育初期から開花まで施用した7区では4月20.7日、またCO₂施用を生育初期から開始した2～6区では4月20.5～21.2日と、差が認められなかった。それに対して、生育後半にCO₂施用を実施した8～11区では、無施用区より開花がやや早くなる傾向を示し、特に電照打ち切り2～4週間後から開花まで4～6週間施用した10区と11区では、1～2日早くなった。

CO₂施用時期と切り花長との関係を第19図に示した。無施用区の84.6cmに対し、10区と11区ではほとんど差がなかったが、生育前半にCO₂施用を行った2～6区では87.2～89.5cmと長くなった。特に、生育の全期間を通して施用した7区では90.4cmと最も長くなった。

CO₂施用時期と切り花重量との関係を第20図に示した。無施用区における切り花重量は72.8gだったのに対し、生育全期間を通してCO₂施用した7区では82.7gと、処理区の中で最も重くなった。切り花重量は、CO₂施用期間が長いほど重くなる傾向が認められた。

CO₂施用時期と開花時における花径との関係を第21図に示した。無施用区の花径は12.2cmだったのに対し、8～11区では13.1～13.3cmと、生育の後半にCO₂施用した区で増大した。

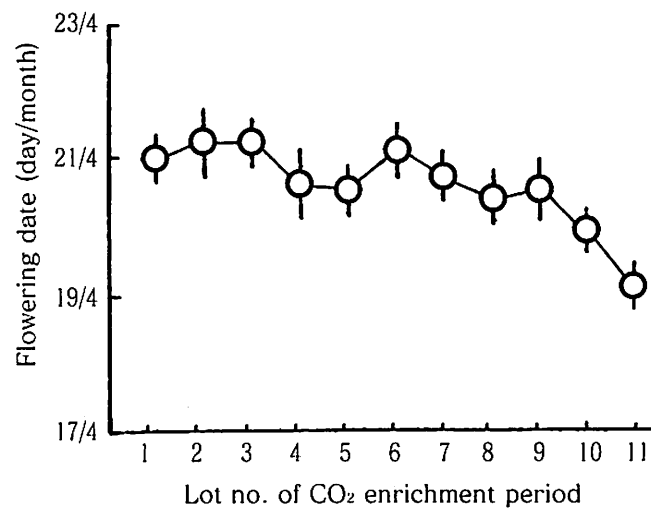


Fig 18. Effects of CO₂ enrichment period on flowering time.
 Lot no. : See Fig. 17.

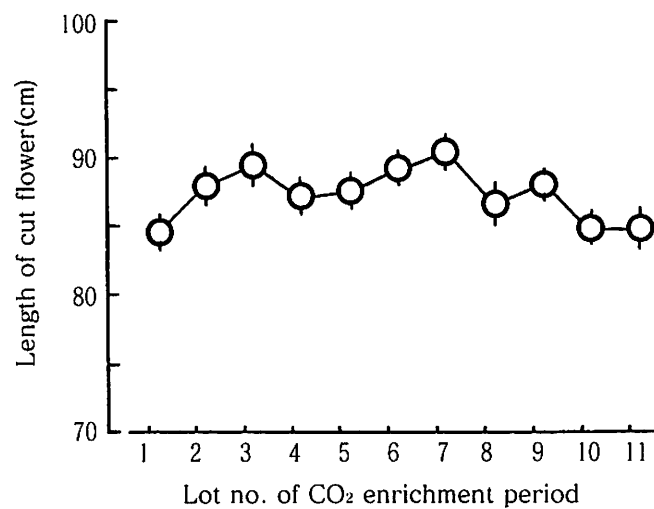


Fig. 19. Effects of CO₂ enrichment period on length of cut flower.
 Lot no. : See Fig, 17.

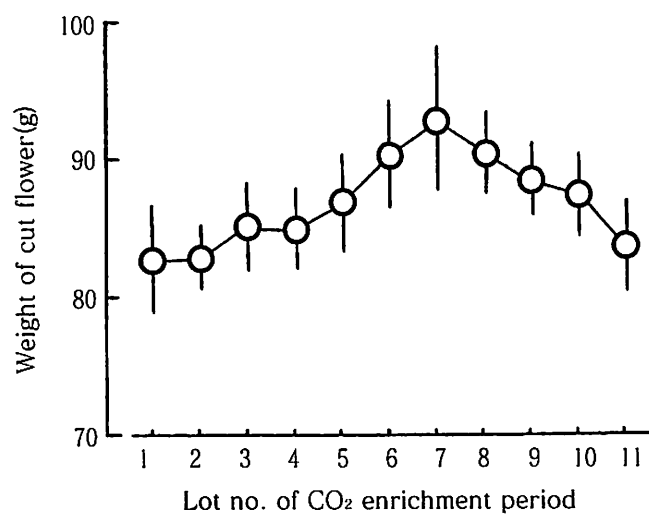


Fig. 20. Effects of CO₂ enrichment period on weight of cut flower.
Lot no. : See Fig. 17.

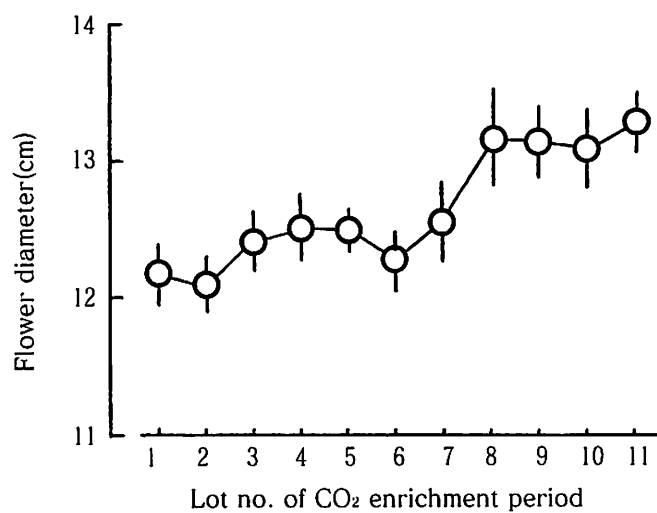


Fig. 21. Effects of CO₂ enrichment period on flower diameter.
Lot no. : See Fig. 17.

第2節 CO₂施用中の光条件と生育・開花

実験方法

秋ギク‘秀芳の力’を供試し、2.5℃で4週間の低温処理を行った穂を1992年8月18日に挿し芽し、発根した苗を9月1日にガラス室内に定植した。定植方法は、80cmの畝幅に株間6cmで4条植えとし、無摘心で生育させた。花芽分化を抑制するため、定植直後から白熱灯を用いて深夜3時間の電照を行い、10月20日に消灯した。同日、ガラス室内を大きく2室に分け、それぞれに白寒冷しゃ（遮光率約30%）、黒寒冷しゃ（同45%）およびダイオネット（同75%）で遮光する区と無被覆区の合計4処理区を設定した。さらに、それぞれについてCO₂施用を行う区と無施用区を設けた。

CO₂施用は、ガラス室内に内張り用のビニルを被覆した状態で行った。液化CO₂ボンベを用いてCO₂濃度調節器により1,000ppmとなるように設定し、タイマー制御により朝方6:30から8:30まで2時間施用した。無施用区についても8:30まではビニルを被覆するようにし、両区ともガラス室の天窗は25℃で換気した。

栽培温度は夜間最低気温15℃とし、肥料は被覆緩効性肥料（チッソ旭製、ロング100日タイプ）を用い、基肥として定植1週間前に10a当たりN:P₂O₅:K₂O=15:15:15kg、追肥として電照打ち切り時に10a当たりN:P₂O₅:K₂O=10:10:10kgとなるように施用した。

結 果

10月27日の晴れた日における遮光処理区内の照度の経過を第22図に示した。日中の最高照度は施設外で75klxだったのに対し、施設内の無被覆下で58klx、黒寒冷しゃ下で38klx、白寒冷しゃ下で32klx、ダイオネット下で15klxとなった。また、CO₂施用終了時の午前8:30における照度は、それぞれ34klx、23klx、16klx、12klxおよび5klxであった。

電照打ち切り後の花芽の発達経過を第23図に示した。CO₂無施用区では、花芽分化開始時期に対する遮光処理の影響は殆ど認められなかったが、花芽の発達はダイオネット区で他の区よりも遅れた。またCO₂施用区では、花芽分化開始時期が無施用区よりもやや遅れる傾向であり、発蕾期も遅くなった。

CO₂施用時の遮光程度と平均開花日との関係を第24図に示した。CO₂施用をしなかった無被覆区の開花日は12月13日となったのに対し、白寒冷しゃおよび黒寒冷しゃ区ではほとんど差が認められなかったが、75%遮光のダイオネット区では12月23日と、約10日遅れた。CO₂施用を行った場合、無被覆区と白寒冷しゃ区の間には開花日の差はなかったが、黒寒冷しゃおよびダイオネット区ではそれぞれ4日および7日遅れた。CO₂施用の有無と開花日との関係では、無被覆区と白寒冷しゃ区ではいずれも差が認められなかったのに対し、黒寒冷しゃ区では無施用区で開花が早く、ダイオネット区ではCO₂施用区で開花が早くなるなど、遮光の程度によって反応が異なった。

CO₂施用時の遮光程度と電照打ち切り後開花までの増加葉数との関係を第25図に示した。CO₂施用区では無施用区と比較して、いずれの遮光処理区についても1～2枚程度葉数が多くなった。また、CO₂施用をした黒寒冷しゃ区を除いて、遮光の程度が強いほど増加葉数が少なくなる傾向が認められた。

CO₂施用時の遮光程度と開花時の花径との関係を第26図に示した。CO₂無施用区では、遮光しなかった場合の花径は13.3cmだったのに対し、ダイオネット区では9.0cmと、遮光が強いほど花径が小さくなった。遮光程度が同じ場合、CO₂施用は花径を大きくする効果を示したが、その

影響は遮光率が大きくなるにつれて小さくなり、ダイオネット区では効果が認められなかった。

CO₂施用時の遮光程度と舌状花数および筒状花数との関係を第27, 28図に示した。CO₂を施用しない場合、無被覆区における舌状花数は190枚となったのに対し、遮光程度が強くなるほど少なくなり、ダイオネット区では無被覆区の86%に減少した。筒状花数についても同様の傾向を示した。一方、CO₂施用区における舌状花数は、無施用区と比較して光条件がよい場合に少なくなる傾向が認められた。

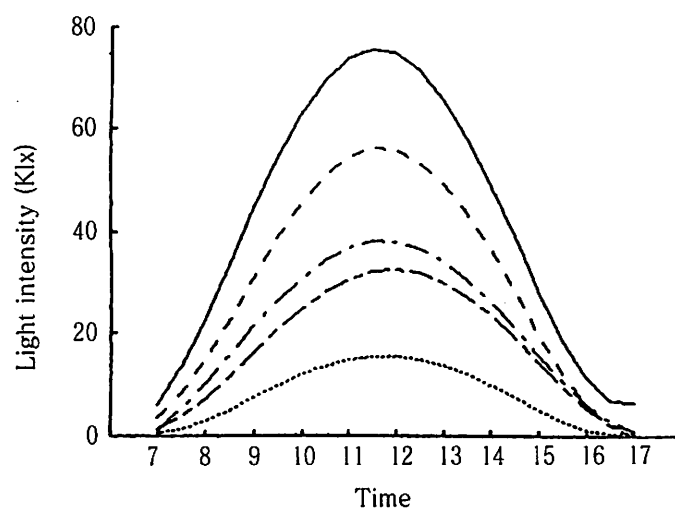


Fig. 22. Diurnal change of light intensities.
The figure shows the records on the
typical fine day (27 October 1993).

- : Out of the glass house
- : 1. In the glass house without shading
- · - · - : 2. Under white cheesecloth
- : 3. Under black cheesecloth
- : 4. Under non-woven fabric

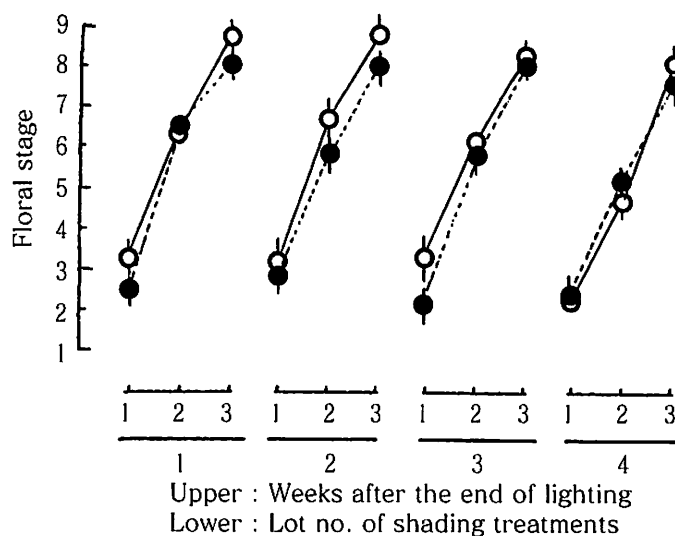


Fig. 23. Effects of shading treatments during CO₂ enrichment on floral development.

Floral stage

1. Vegetative stage
2. Growing point expanding stage
3. Early stage of involucre formation
4. Late stage of involucre formation
5. Early stage of floret formation
6. Late stage of floret formation
7. Early stage of petal formation
8. Intermediate stage of petal formation
9. Late stage of petal formation.

○ — : Cont., ● ---- : CO₂ enrichment.

Lot no. ; See Fig. 22.

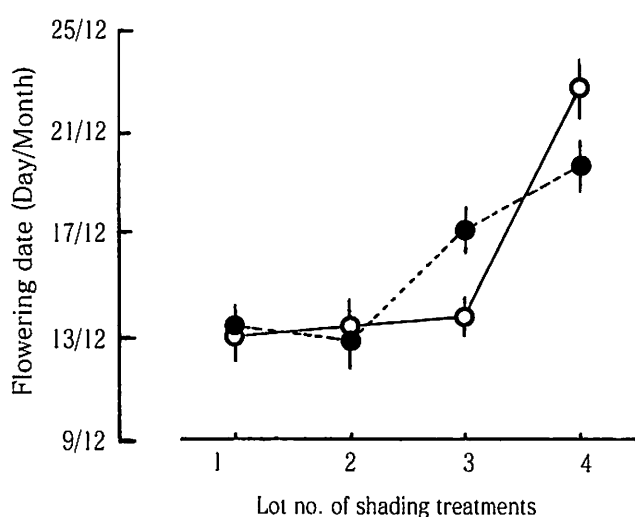


Fig. 24. Effects of shading treatments during CO₂ enrichment on flowering time.

○ — : Cont., ● ---- : CO₂ enrichment.

Lot no. : See Fig. 22.

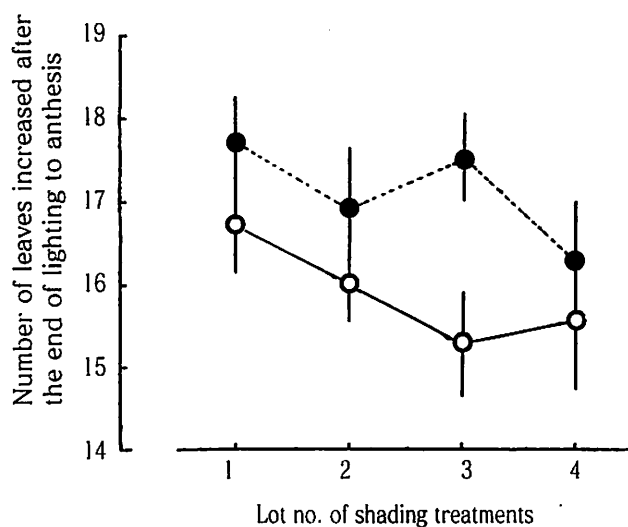


Fig. 25. Effects of shading treatments during CO₂ enrichment on number of leaves which increased from the end of lighting to anthesis.
 ○ — : Cont., ● - - - ; CO₂ enrichment.
 Lot no. : See Fig. 22.

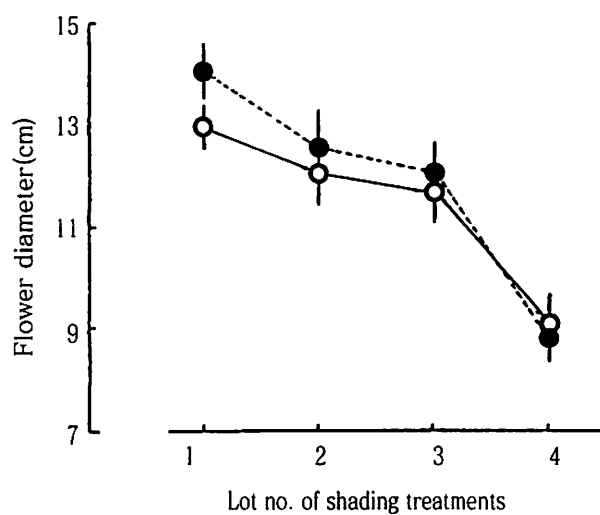


Fig. 26. Effects of shading treatments during CO₂ enrichment on flower diameter.
 ○ — : Cont., ● - - - ; CO₂ enrichment.
 Lot no. : See Fig. 22.

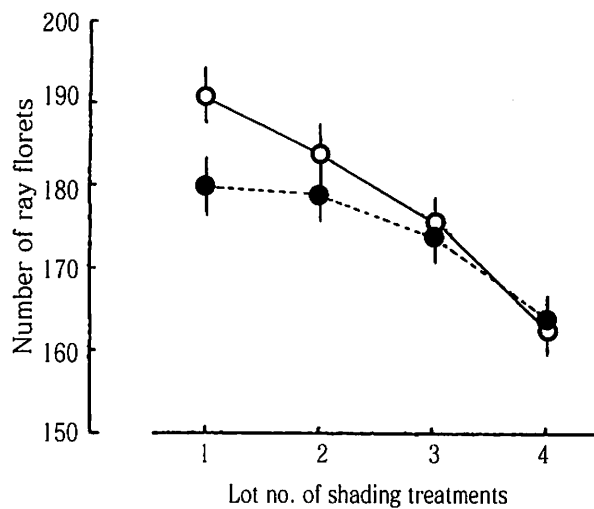


Fig. 27. Effects of shading treatments during CO₂ enrichment on number of ray florets.
 ○ — : Cont., ● - - - ; CO₂ enrichment.
 Lot no. : See Fig. 22.

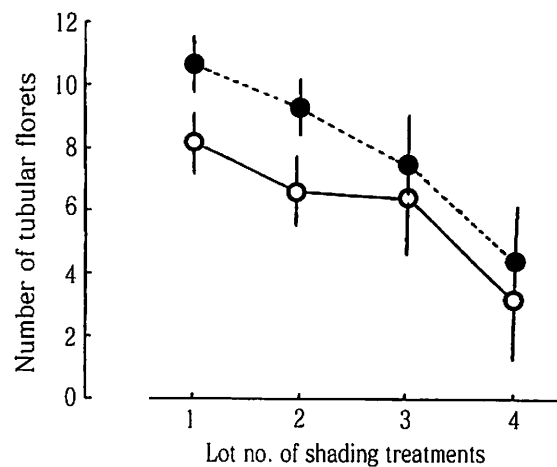


Fig. 28. Effects of shading treatments during CO₂ enrichment on number of tubular florets.
 ○ — : Cont., ● - - - ; CO₂ enrichment.
 Lot no. : See Fig. 22.

第3節 CO₂施用中の温度条件と生育・開花

実験方法

秋ギク‘秀芳の力’を供試し、2.5℃で4週間の低温処理を行った穂を、1993年9月30日に挿し芽し、10月14日に発根苗を23ℓ容量(64cm×24cm×15cm)のプランタに12株ずつ定植した。花芽分化を抑制するため、挿し芽時および定植直後から12月1日まで、白熱灯を用いて夜間

4時間(22:00～2:00)の暗期中断処理を行った。電照打ち切り後は自然日長とし、蕾の径が0.6～0.7cmになった頃、頂花蕾を残して腋芽をすべて摘蕾し、1茎1花に仕立てた。

プランタは、定植後1週間は無加温のガラス室で管理し、10月20日からファイトロンに搬入してCO₂施用の有無と昼間(8:00～18:00)の気温の2要因に対する処理を開始した。CO₂施用は、液化CO₂ポンペを用いて1,000ppmの濃度で終日施用する区とCO₂濃度を成り行き(約350ppm)とする区の2水準とし、10月20日から開花期まで継続した。温度処理は夜間(18:00～8:00)を15℃一定とし、CO₂施用区と無施用区のそれぞれについて昼温を変えた。まずCO₂施用区では、昼温を20℃と25℃の2水準とし、電照打ち切り日を境にその前後で20/20℃(電照打ち切り前/打ち切り後)、20/25℃、25/20℃および25/25℃とする4区を設定した。またCO₂無施用区では、昼温を15℃、20℃および25℃の3水準とし、CO₂施用区と同様、電照打ち切り前・後の昼温についてすべての組み合わせ処理を行い、合計9区を設定した。

肥料は緩効性肥料(IB化成S-1号、三菱化学、東京都千代田区)を用い、1プランタ当たりN:P₂O₅:K₂O=6g:6g:6gとなるように定植日と電照打ち切り日の2回施用した。

処理は2反復で実施し、電照打ち切り日と開花日に1処理10株ずつ調査した。電照打ち切り日には茎長、葉数および生体重のほかに、茎頂から5葉目と10葉目の葉について、葉緑素含量をミノルタ製SPAD-501により測定し、また開花日には、茎葉と花の形質についてそれぞれ調査した。茎葉の形質の中で、花首長は花茎の先端から最上位の本葉までの長さとし、花首に着生した刻みのない葉を柳葉として計測した。また、電照打ち切り前・後を通して昼温15℃、20℃および25℃とした区については、花を除いた茎葉の窒素(N)、リン(P)、カリ(K)、カルシウム(Ca)およびマグネシウム(Mg)含有率を測定した。Nはガニング変法(地力保全測定診断の手引き)、K、CaおよびMgは灰化した後に原子吸光分光光度法(AA-646、島津製作所、京都市中京区)、Pは比色法(フレイムフォトメーターFLD、英弘精機、東京都渋谷区)により分析した。

結 果

電照打ち切り時の生育状況

10月20日から12月1日(電照打ち切り日)までの42日間、CO₂施用と昼温処理を行った結果を第9表に示した。CO₂無施用区の場合、昼温15℃区におけるキクの茎長は37.5cmであったのに対し、20℃区では39.7cm、25℃区では40.4cmと、昼温が高いほど長くなった。それに対して葉数は、いずれの温度処理区も22.9～23.4枚の範囲で、差が認められなかった。茎、葉および根の生体重は、いずれも昼温が高いほど小さくなり、特に20℃と25℃区の差が大きくなった。また、茎頂から5葉目のSPAD値は、昼温15℃と比べて20℃および25℃区で同じ程度に大きくなったのに対し、10葉目では15℃から25℃区まで温度が高いほど大きくなった。

CO₂施用区の場合には、無施用区と比較して茎長、葉数、生体重およびSPAD値のいずれも明らかに大きな値を示し、中でも根の重量は167～200%増と最も高くなった。昼温との関係では、茎頂から5葉目のSPAD値を除き、そのほかの茎長、葉数、茎重、葉重、根重および10葉目のSPAD値は、いずれも昼温20℃と25℃区間の有意な差が認められず、CO₂無施用区の場合と比べて昼温に対する反応が異なった。

開花時の切り花形質

開花時における花茎の形質を第10表に示した。CO₂無施用区における茎長は、昼温15/15℃区では58.7cmであったのに対し、電照打ち切り前・後の昼温がそれぞれ高いほど長くなった。葉数は、15/15℃区で37枚だったのに対し、電照打ち切り前では昼温が低いほど少なくなり、電照打

ち切り後では昼温15℃および25℃区と比較して20℃区でやや少ない傾向が認められた。また茎と葉の生体重と乾物重は、葉の乾物重を除き、電照打ち切り前・後の昼温が高いほどいずれも小さくなった。しかし、茎の乾物率はいずれの処理区においても25.2～30.3%の範囲で、昼温の影響は認められなかった。花首長は茎長と反応が似ており、電照打ち切り前・後の昼温がそれぞれ高いほど長くなった。花首に着生した柳葉数も花首長と同様の傾向を示した。

CO₂施用区では、無施用区と比較して花首の長さと柳葉数には差がなかったが、茎長、葉数、茎と葉の生体重と乾物重、および茎と葉の乾物率の値がいずれも大きくなった。中でも、茎と葉の乾物率は最大で226%増加するなど、増加率が最も高かった。昼温との関係では、電照打ち切り前の昼温は高いほど花首長を長くする効果を示したにすぎなかったのに対し、電照打ち切り後の昼温は茎長、花首長および柳葉数に影響し、高いほど値が大きくなった。しかし、葉数、茎と葉の生体重と乾物重および茎と葉の乾物率に対する昼温の影響は認められなかった。

CO₂施用の有無と昼温が開花と花の形質に及ぼす影響を第11表に示した。CO₂無施用区における開花日は、温度処理によって1月27日から2月2日までの6日間の幅があったが、電照打ち切り前の昼温15および20℃区では25℃区と比較して開花が早く、また電照打ち切り後の昼温20℃区では15および25℃区と比較してやや早くなった。舌状花数は電照打ち切り前の昼温が高いほど多くなったのに対し、筒状花数は電照打ち切り後の昼温が高いほど少ない傾向が認められた。また花径は、電照打ち切り後の昼温が高いほど短くなった。

CO₂施用区の開花は無施用区と比較して2～4日早くなった。舌状花数に対するCO₂施用の影響は認められなかったが、筒状花数は電照打ち切り後の昼温20℃区でやや増加し、花径も長くなった。また、CO₂施用区における昼温は、開花日と舌状花数には影響しなかったが、筒状花数には電照打ち切り後の昼温が有意に影響し、20℃区では25℃区よりも多くなった。同時に、電照打ち切り後昼温20℃と25℃区における筒状花数の差は、電照打ち切り前昼温が高いほど小さく、低いほど大きくなるなど、電照打ち切り前・後の昼温による交互作用が認められた。

茎葉の無機成分含有率

開花日における茎葉の無機成分含有率を第12表に示した。CO₂無施用区におけるN含有率は、15℃区では2.97%となったのに対し、20℃区では3.36%と高くなった。20℃と25℃区ではほとんど差がなかった。P含有率は、15℃区で0.33%と最も高く、昼温が高くなるほど低下した。またK含有率は、15℃と20℃区でそれぞれ3.0および3.09%と差がなかったが、25℃区ではそれらより19～23%高くなった。そのほか、Ca含有率はPと同様の傾向を示し、Mg含有率は昼温間の差が認められなかった。

一方CO₂施用区では、成分含有率に対する昼温の影響が認められたのはNのみで、20℃区と比較して25℃区で高くなった。またCO₂施用により、無施用区と比較してN、CaおよびMg含有率は低くなったが、PおよびK含有率は差が認められなかった。

考 察

CO₂施用時期

作物に対するCO₂施用の時間帯に関しては、トマトやミニバラでの報告があり、午前中にCO₂濃度を高くすることにより草丈や花芽の発達が促進されることがわかっている (Calvert・Slack, 1976; Andersson, 1991)。しかし、作物の生育時期とCO₂施用期間との関係について検討した報告はなく、キクの切り花品質に及ぼす影響についても明らかにされていない。

本実験は秋ギク品種を用いた電照抑制栽培であることから、電照中の栄養生長期間と電照打ち切

Table 9. Effects of CO₂ enrichment and day temperature on growth of chrysanthemum.
Data was obtained on the last day of long day treatment.

CO ₂ enrichment	Day temperature (°C)	Stem length (cm)	Number of leaves	Fresh weight			SPAD value of leaf ^z	
				Stem (g)	Leaves (g)	Roots (g)	5th. leaf ^z	10th leaf
No	15	37.5	22.9	7.86	16.4	3.28	35.2	37.3
	20	39.7	23.8	7.41	14.4	2.61	38.2	40.5
	25	40.4	23.4	5.04	10.4	2.36	38.5	43.2
Yes	20	45.5	26.4	9.67	18.2	4.35	39.3	44.7
	25	47.1	26.9	9.74	17.5	4.73	41.5	46.0
significance								
CO ₂ /No : Day Temperature		*	NS	**	**	**	*	**
CO ₂ /Yes Day Temperature		NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
CO ₂ : No vs. Yes		**	**	**	**	**	**	**

^z Numerical value is measured with Minoruta SPAD(501) meter. Leaf number from the top of the stem.
NS *, ** Non significant or significant at P=0.05 or 0.01, respectively.

Table 10. Effects of CO₂ enrichment and day temperature under long day(LD) and short day(SD) conditions on cut flower quality of chrysanthemum.

CO ₂ enrichment	Day temperature		Stem length (cm)	Number of leaves	Fresh weight			Dry weight			% of dry matter		Length of flower neck (cm)	Number of non-serrated leaves
	LD (°C)	SD (°C)			stem (g)	leaves (g)	stem (g)	leaves (g)	stem (g)	leaves (g)				
No	15	15	58.7	37.0	11.4	32.6	3.26	4.39	28.6	13.5	0.63	0.3		
		20	63.2	36.4	10.9	29.5	3.00	4.15	27.5	14.1	0.72	0.5		
		25	66.9	37.2	8.8	24.1	2.59	3.72	29.4	15.4	1.33	0.7		
	20	15	63.5	38.3	10.7	32.9	2.74	4.58	25.6	13.9	0.80	0.5		
		20	61.9	37.5	8.7	25.7	2.44	4.08	28.0	15.9	0.78	0.5		
		25	75.2	37.8	10.0	28.2	2.52	4.15	25.2	14.7	1.89	1.1		
	25	15	56.9	40.3	8.9	27.7	2.40	4.25	27.0	15.3	0.86	0.8		
		20	64.8	38.8	8.5	26.1	2.24	4.35	26.4	16.7	1.28	0.8		
		25	67.3	41.7	7.6	21.3	2.30	3.80	30.3	17.8	1.45	0.9		
	Yes	20	20	73.0	42.8	16.0	38.1	5.46	7.87	34.1	20.7	0.76	0.5	
			25	87.0	41.7	17.6	38.5	4.89	6.94	27.8	18.0	2.70	1.0	
			25	73.4	42.0	15.2	37.2	4.80	7.10	31.6	19.1	0.69	0.7	
Significance	CO ₂ /No : Day temperature under	25	89.5	44.0	15.9	37.2	5.19	6.50	32.6	17.5	1.84	0.9		
	Day temperature under A × B	CO ₂ /No : Day temperature under	*	**	**	**	**	NS	NS	NS	NS	*	*	
		Day temperature under	**	*	**	**	**	NS	NS	NS	*	**	**	
		A × B	*	*	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	CO ₂ /Yes: Day temperature under	CO ₂ /Yes: Day temperature under	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	
		Day temperature under	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	
		C × D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	
	CO ₂ : No vs. Yes	CO ₂ : No vs. Yes	**	**	**	**	**	**	**	*	*	NS	NS	

NS, *, ** Non significant or significant at P=0.05 or 0.01, respectively

Table 11. Effects of CO₂ enrichment and day temperature under long day(LD) and short day(SD) conditions on flowering and cut flower quality of chrysanthemum.

CO ₂ enrichment	Day temperature		Flowering date (day/month)	Number of ray floret	Number of tubular floret	Flower diameter (cm)
	LD (°C)	SD (°C)				
No	15	15	31/Jan.	163	6.5	11.0
		20	27/Jan.	165	8.2	10.1
		25	31/Jan.	164	5.1	9.7
	20	15	31/Jan.	166	5.8	11.7
		20	30/Jan.	164	6.3	11.0
		25	30/Jan.	177	4.3	9.8
	25	15	2/Feb.	169	9.3	10.8
		20	31/Jan.	172	4.8	9.8
		25	31/Jan.	179	4.5	10.1
Yes	20	20	28/Jan.	180	11.1	11.6
		25	28/Jan.	175	3.5	10.4
	25	20	27/Jan.	175	8.5	10.8
		25	29/Jan.	177	5.3	10.5
Significance						
CO ₂ /No : Day temperature under LD (A)			**	**	NS	NS
Day temperature under SD (B)			**	NS	*	**
A × B			*	NS	NS	NS
CO ₂ /Yes : Day temperature under LD (C)			NS	NS	NS	NS
Day temperature under SD (D)			NS	NS	**	*
C × D			NS	NS	*	NS
CO ₂ : No vs. Yes			**	NS	*	**

NS * ** Non significant or significant at P=0.05 or 0.01, respectively

Table 12. Effects of CO₂ enrichment and day temperature on mineral contents in leaf and stem of chrysanthemum.

CO ₂ enrichment	Day temperature (°C)	contents (mg/100mg dry matter)				
		N	P	K	Ca	Mg
No	15	2.97	0.33	3.00	2.12	0.43
	20	3.36	0.27	3.09	1.98	0.43
	25	3.31	0.24	3.69	1.93	0.40
Yes	20	2.33	0.22	3.79	1.54	0.33
	25	2.95	0.26	3.79	1.55	0.36
Significance						
CO ₂ /No : Day temperature		*	*	*	*	NS
CO ₂ /Yes : Day temperature		*	NS	NS	NS	NS
CO ₂ : No vs. Yes		**	NS	NS	*	*

NS *, ** Non significant or significant at P=0.05 or 0.01 respectively

り後の生殖生長期間とが明確に区別できるところに特徴がある。そこで、電照打ち切り時期を境として、その前半にCO₂施用を行った場合と、後半に行った場合における生育・開花反応について検討した。その結果、開花日については電照打ち切り日以降の施用により早くなることが明らかとなった。しかし、生育の全期間を通した施用では無施用区と差がなかったこと、また第2節の実験で花芽分化開始時期がCO₂施用により遅れた点を考え合わせると、CO₂施用は、電照打ち切り後における栄養生長から生殖生長への転換を遅らせるが、花芽の発達を促進して開花を早める効果を示すものと理解された。

切り花長は生育前期の施用により長くなった。このことは、節間伸長が長くなるとともに、生育促進による葉数増加の効果が大きかったものと考えられる。

切り花重量は、CO₂施用期間に比例して増加することが示されたが、施用期間が4週間程度では顕著な効果が現われなかった。それに対して、第3章第1節の実験において人工気象室の25klxの条件下で2時間30分のCO₂施用を行った結果では、施用約30日後には茎長の差が生じた。これらのことから、実用的な栽培でCO₂施用効果が現われる最低の期間については、生育段階や施用中の光条件、1日の施用時間などによって影響を受けると思われた。

Karlssonら (1989) によると、開花時の花径は花芽分化・発達中の光量の影響を受け、光量が多いほど花径が大きくなることが示されている。これは、光合成によるデンプンや糖類等の蓄積と、開花に伴う葉から花卉への同化産物の転流の効果によるものと推察される。生育後半のCO₂施用によって花径が増大したのは、これと同様の生理的作用によると思われた。

以上のことから、CO₂施用時期とキクの生育・開花との関係では、生育前期の施用は草丈や葉数の増加に効果が高く、生育後期では花径の増大に効果があること、また生育全期を通して施用期間が長いほど重量が増加することなどが示された。

CO₂施用と光条件

キクの生育と光条件との関係については多くの報告があり、開花期や花蕾数、花径など、特に切り花の品質に対する影響について検討されている。(Cockshull・Hughes, 1972; Karlsson, 1984; Heins et al., 1986; Karlsson・Heins, 1986; Karlsson et al., 1987; Karlsson et al., 1989)。本実験でも切り花品質の点からCO₂施用の影響について検討したところ、ダイオネット

被覆下で日中の最高照度が15klxを下回るような条件では花芽の発達が遅れ、開花が約1週間遅れた。この場合、電照打ち切り後から開花に至るまでの増加葉数も光強度の低下とともに減少していることから、弱光により生育の進み自体が遅れたことによる結果と受け取られる。

CO₂施用を行うと、花芽分化開始時期が無施用よりも遅れる傾向を示したが、光条件がよい場合には開花期の差はなかった。さらに電照打ち切り後の増加葉数は、CO₂施用により増加していた。このことから、キクの花成誘導に対してCO₂施用はやや抑制ぎみに作用するが、その後の分化・発達を促進し、開花期の差がほとんどなくなるものと考えられた。CO₂施用と作物の花芽分化・発達との関係についてはMarc・Gifford(1983)らが検討している。それによると、麦とヒマワリではCO₂施用により花芽分化が1～3日早くなったが、ソルガムでは差がなかった。その後の花芽の発達は、ヒマワリでは差がなかったが、ソルガムでは大きく遅れた。これらのことから、開花反応に対するCO₂施用の影響は、栄養生長期との関わりというより、花芽の形態変化に対して直接的に作用すると推定している。第1節で、生育の後半にCO₂施用を行った区で開花がやや早くなったのは、花芽分化の開始時期が同時であったことから、CO₂施用により花芽の発達が促進されたものと考えられる。

花径はCO₂施用により明らかに大きくなったが、その作用は光条件がよい場合に限られた。花径増大の効果がまったく認められなかったダイオネット被覆下における照度は、晴れた日の7:30～9:30で約2～9Klxの範囲であったことから、花径を含めたCO₂施用の効果は、10klx以上の光条件で、しかも長時間の施用が必要と思われる。

また、CO₂施用により舌状花数が減少し、反対に筒状花数が増加したことは、生殖生長段階におけるCO₂施用の影響として興味深い結果が得られた。

CO₂施用と温度条件

秋ギク‘秀芳の力’の12月～4月出し栽培における夜温管理は、定植後から電照打ち切り1週間前までを約15℃とし、電照打ち切り1週間前から発蕾に至るまでを17～18℃、発蕾期以降出荷期までを12～13℃で管理するのが一般的で、ほぼ確立した技術となっている。それに対して昼温管理については、病害防止や下位葉の黄化防止などを目的とした換気対策が取られるほかは、特に生育促進や切り花品質などの面からの配慮に乏しいのが実態である。ところが最近、キクの切り花品質に対して「しなやかさ」、「上位葉の充実程度」あるいは「花首のしまり具合」といった、茎長や重量以外の感覚的な評価がなされ始めたことから、産地では昼夜温を含めた施設内環境制御による切り花品質改善への関心が高まりつつある。本報では、このような視点からキクの品質評価を行い、処理結果について検討した。

キクにおける昼温と茎の伸長との関係では、電照打ち切り時と開花時のいずれも昼温が高いほど茎長が長くなった。この点に関しては、短日条件下における節間長は昼夜温較差(DIF)が大きいほど長くなるとする報告(Kerlsson・Heins,1986;Kerlsson et al.,1987;Kerlsson et al.,1989a)がある一方で、電照期間中の温度に関しては、昼温14～21℃、夜温14～21℃の範囲では両者とも高いほど茎長が長くなる(De Lint・Heij,1987)など、温度に対する反応が短日条件と長日条件とでは異なっているようである。本結果は、夜温を15℃一定としたことからいずれの報告とも合致しているが、電照期間中の茎の伸長と、花芽分化を伴う短日条件下での最終的な茎の伸長とは区別して捉える必要がある。定植後の電照期間中にはすみやかに茎長を確保することにより、電照打ち切りまでの栽培期間を短縮できることから、25℃前後を目安とした昼温管理が適当と考えられる。

キクの重量と温度に関する報告では、夜温14℃の場合には昼温は20℃以上で乾物重が増加するとされ(De Lint・Heij,1987;Kerlsson et al.,1987)、景山ら(1991)も、キクの生体重増加のため

の生育適温を18～24℃と推定している。しかし本結果では、電照打ち切り時と開花時のいずれも、昼温が15℃から25℃まで高いほど生体重が小さくなった。昼/夜温が15/15℃の場合に最も重量が大きくなったのは、ロゼット性を有するわが国の秋ギク品種は、ヨーロッパを中心に育成されたスプレーギク品種と生育反応が異なることや、日中の光条件の違いなどが考えられる。一方、物質生産との関連から考察すると、キクの真の光合成速度は20～25℃が最適温度(豆塚,1989)とされる。ところが、呼吸速度を引いたみかけの光合成速度は、第2章でみたように15～20℃で最高となることから、乾物重の増加を重点に捉えた秋ギク品種の最適温度は15～20℃ということができよう。

電照打ち切り時の葉数は電照期間中の昼温の影響を受けなかったのに対し、開花時の葉数は、電照打ち切り前の昼温が低いほど少なく、また電照打ち切り後の昼温20℃で最も少なかった。電照打ち切り前・後の昼温によりその後の増加葉数に差を生じたのは、花芽分化開始に至るまでの生育期間が温度条件により異なったことを意味しており、電照打ち切り前の昼温は夜温に近い15～20℃、電照打ち切り後は20℃が花成誘導しやすい温度条件であったことを示している。電照打ち切り前1～2週間の夜温が「後作用」としてその後の花成誘導を促進することは知られている(Cathey,1954; 松田・万豆,1987)が、電照打ち切り前の昼温も後作用として花芽分化に影響したことは興味深い結果である。このことは、電照打ち切り前の昼温25℃区における柳葉数が他の区より多くなったことでも理解される。電照打ち切り後の円滑な花芽分化を促すには、電照打ち切り1～2週間前から夜温をやや高くすると同時に、昼温管理を茎の伸長を目的とした高めの管理から、15～20℃を目安とした管理へ転換することが重要である。

花芽の発達は、開花日からもわかるように、電照打ち切り前昼温が15～20℃、電照打ち切り後昼温が20℃の場合に最も早くなった。花芽発達の最適気温に関しては、昼温22℃/夜温18℃(Bonamino・Larson, 1980), 昼夜温20℃(De Lint・Heij,1987), 昼温17℃/夜温18℃(Kerlsson et al., 1989c), 昼夜温18～22℃(Hiden・Larsen,1994)などの報告があり、わずかの違いはあるものの、昼夜温ともに20℃前後が最適気温といえよう。また、小花数に与える昼温の影響については、電照打ち切り前の昼温が高いほど舌状花数が増加し、電照打ち切り後の昼温が高いほど筒状花数が減少したことから、電照打ち切り前の昼温は、後作用として舌状花数にも影響しているようである。植物の形態形成において、葉から総苞、舌状花、筒状花への形態変化は、より生殖生長的な方向への可逆的な移行であることを考えると、電照打ち切り前後の高昼温は、いずれも生殖生長への移行を妨げる方向に作用したといえることができる。また花径は、電照打ち切り後の昼温が低いほど大きくなったことから、花芽の形成が円滑に行われた後は、低めの昼温管理が花の品質の点から好ましいといえる。

以上のことから、キクの昼温管理については、定植後から電照打ち切り1～2週間前までは25℃程度のやや高温として茎長を確保し、電照打ち切り1～2週間前からやや低くして花成誘導に好適な気温とする。その後、電照打ち切りから発蕾までは20℃として花芽の発達を促進し、発蕾期以降は15℃程度として花の品質を高めることが、開花促進と切り花品質の両面から捉えた最適な昼温管理と考えられる。

CO₂施用時の昼温とキクの形質との関係については、日中の連続したCO₂施用によって茎長、葉数、重量および葉のSPAD値がいずれも無施用区より大きくなった。なかでも、電照打ち切り時における根の重量増加が167～200%と最大になったことは、第3章第1節と同様の結果である。ところが、CO₂無施用区では昼温が高いほど茎葉の重量が減少したのに対し、CO₂施用区では昼温による重量の差が生じなかった。これは、普通大気(CO₂350ppm)と比較して、高CO₂濃度条件では光合成速度の適温域が上昇したことによる結果と受け取られる(Brun・Cooper,1967; Enoch・Hurd,1977; Nilsenet al.,1983; Heins et al.,1986; 今井,1988; Mortensen,1987)。しかし、高CO₂濃度下におけるキクのみかけの光合成速度の適温域は15～20℃で、350ppm濃

度下と差がなかった(第2章)ことから、この点については、光合成産物の転流と温度との関係などが関与していると推測される。

開花はCO₂施用によって2～3日早くなった。花芽分化開始時期の確認はしていないが、電照打ち切り後から開花までの増加葉数に大きな差はなく、また柳葉数に対する影響も認められないことから、CO₂施用は花芽分化の開始時期には直接作用せず、花芽の発達と花弁の伸長を促進して開花を早めたと推定される。また、CO₂施用を行った場合の花首長と筒状花数に対して、電照打ち切り前・後の昼温による交互作用が認められた。いずれも、電照打ち切り後の昼温の影響が電照打ち切り前の昼温によって左右されており、生殖生長の段階における特異な温度反応と捉えられる。

以上のことから、昼温との関係でみたCO₂施用に対するキクの反応に関しては、二つの異なる側面が考えられる。すなわち、茎長、重量および葉数などの量的な形質に対して、CO₂施用は昼温による格差をなくすように作用するが、花首長や筒状花数などの質的要素をともなった形質に対しては、CO₂施用は昼温による格差をさらに拡大するように作用する。このことは、長さや重量のような量的形質と、花芽分化のような形態変化をともなう質的形質とに対して、CO₂施用と昼温がそれぞれ相助的に、または拮抗的に作用することが考えられる。

茎葉の無機成分含有率と昼温との関係では、PとCa含有率は昼温15℃で、Kは昼温25℃で、またNは20℃と25℃でそれぞれ高くなるなど、無機成分の種類によって昼温に対する反応が異なった。無機成分含有率とキクの切り花品質に関して船越(1984)は、NおよびK含有率が高くなり、Ca含有率が低下して、結果的に植物体の「N+K/Ca」の当量比が減少すると切り花の日持ちが低下することを指摘している。このことから、昼温の上昇にともなって結果的に日持ちが低下する事態が予想される。とくにK成分については、生育の後半に余剰吸収される性質(景山ら,1993)があること、またKの余剰吸収によってCaとMg含有率が低下する傾向があることから、生育後期のNやK肥料の施用には注意が必要であろう。

CO₂施用条件下では、N、CaおよびMg含有率が低下した。またPとK含有率については、CO₂濃度の影響は認められなかった。Ca含有率の低下については、本実験で終日CO₂施用をことによる葉の蒸散抑制(Norby et al.,1986; Peet et al.,1986)の影響が現れたものと考えられる。

摘 要

秋ギク品種‘秀芳の力’を用い、CO₂施用時期、光および昼温がキクの生育、開花および切り花品質に及ぼす影響について調べた。

1. CO₂施用時期とキクの生育・開花との関係では、生育前期の施用は草丈や葉数を増加させ、生育後期では開花期や花径の増加に効果があった。また生育全期を通して施用期間が長いほど、切り花重量が増加した。
2. 花径はCO₂施用により明らかに大きくなったが、その作用は光条件が比較的良好な場合に限られた。花径を含めたCO₂施用の効果を上げるためには、10klx以上の光条件で、しかも長時間の施用が必要と考えられた。
3. 光条件がよい場合、CO₂施用により開花期に差は認められなかったが、電照打ち切り後の増加葉数が増えたことから、CO₂施用はキクの花芽分化には抑制的に作用するが、分化後の花芽の発達を促進することが示された。
4. 1,000ppm濃度のCO₂施用を終日行った場合、キクの茎長、葉数、茎葉の重量がいずれも増加し、中でも根の重量増加が167～200%と最も大きくなった。また開花は、無施用区よりも2～4日早くなり、花径も増大した。
5. 電照打ち切り前の茎長、茎葉の重量および葉数などの量的形質に対して、CO₂施用は、無施

用区で認められた昼温の影響を小さくするように作用した。これに対し、花首長や筒状花数などの質的要素をともなう形質に対しては、電照打ち切り後の昼温の影響が有意に認められ、CO₂施用は昼温による形質の格差を拡大するように作用した。

6. CO₂施用と無機成分含有率との関係では、茎葉のN、CaおよびMg含有率がCO₂施用区で低下した。

第5章 キクの実用栽培におけるCO₂施用と切り花品質および日持ち

緒 言

これまで、電照ギクの主要品種である‘秀芳の力’を用い、高CO₂濃度下におけるキクの生育反応について基礎的研究を行ってきた。その結果、秋ギクの光合成速度のCO₂飽和点が1,200ppm付近にあること、CO₂施用を行ったキクは茎長、葉数、重量が無施用と比較していずれも増加し、中でも根重の増加率が最も高くなることなどを明らかにした。

今後、CO₂施用の実用化のためには、わが国の栽培管理法に応じた圃場試験を実施し、日持ち性を含めた切り花品質や収量性に及ぼす影響について検討する必要がある。特に、切り花の日持ちは重要であり、この点に関してGardner(1965)は、CO₂施用によりキクの日持ちが最高4日長くなったと報告している。しかし、バラに対してCO₂施用効果を検討した田中ら(1991)によると、日持ちについては品種や栽培条件によって反応が異なることを認めている。また、CO₂施用により葉のエチレン生成が促進される結果、下葉が早く老化するといった指摘もあり(吉岡ら,1989;西村ら,1989)、切り花品質に対する悪影響も懸念される。

キクの切り花の日持ちと植物体の無機成分含有率との関係については、船越(1984)が詳細に検討しているが、CO₂施用を行った場合の生理的側面からの報告はない。

そこで本報では、キクの実用栽培において朝方2時間30分のCO₂施用を行い、切り花品質と日持ちに及ぼす影響を調べるとともに、茎葉中の無機成分、デンプンおよび全糖含有率、ならびに葉のCO₂、エチレン生成量を測定し、これらと日持ちとの関係について検討した。

第1節 CO₂施用と切り花品質、日持ちおよび茎葉の成分含有率

実験方法

秋ギク‘秀芳の力’を供試し、ガラス温室内で電照抑制12月出しを行った後の切り下株を、1991年12月26日に地上から10cm付近で刈り込み、白熱灯を用いて深夜3時間(22:00~1:00)の電照を開始した。

CO₂施用は、ガラス温室内にビニルトンネル(幅2.6m、高さ2.0m、長さ6.0m)を3室設置し、1室はCO₂濃度を成り行き(対照区)、残りの2室は液化CO₂ガスを用い、CO₂濃度調節器により濃度を1,000および2,000ppmに設定し、1992年1月6日から4月20日まで施用した。施用時間は7:00から9:30までの2時間30分とし、終了後はビニルトンネルを開放すると同時に、ガラス温室の天窓を開放して換気を行った。ガラス温室内の気温は、1月4日から1月13日までは夜間(17:00~8:30)最低18℃、1月14日から開花までは夜間最低15℃とした。また、1月4日にジベレリン(GA3)100ppmを茎葉散布して冬至芽の伸長を促した。電照は2月17日まで行い、以後は開花まで自然日長とした。施肥は被覆緩効性肥料(チッソ旭製ロング100日タイプ)を用い、1月4日と2月17日にそれぞれ8kg/aずつ施用した。

調査は平均開花日、開花時の切り花形質、水生け後の日持ち日数および茎葉中の成分含有率について行った。切り花の日持ちは、4月16日に4分咲きの花を収穫して60cmの長さにそろえ、直ちに水生けした後、気温を成り行きとした室内(調査期間中の日平均気温12.5~21.1℃)に置いた。日持ち日数は、花卉または茎葉の萎凋や黄化について総合的に判断し、観賞価値がなくなる前日までの期間とした。葉の無機成分は、4月17日に収穫後、葉位別に上から1~5葉目、6~15葉目、16~25葉目および26葉目以下の4部分に分け、窒素はガニング変法、カリウム、カルシウム、

マグネシウムおよびナトリウムは灰化した後に原子吸光分光光度法、リンは比色法により測定した。また、葉と茎のデンプンおよび全糖をアンスロン硫酸法により測定した。

結 果

ガラス室内における大気中のCO₂濃度は、対照区では天候などの環境条件によって左右され、夜間は400～800ppm、昼間は250～400ppmの範囲で変動した。また、CO₂施用中の1,000および2,000ppm区のCO₂濃度はそれぞれ1,000±200ppmおよび2,000±200ppmで推移した。

キクの開花と切り花品質に及ぼすCO₂施用の影響を第13表に示した。平均開花日は、CO₂施用区と対照区のいずれも4月20日で差がなかった。しかし茎長は、対照区の92.7cmに対しCO₂1,000ppm区で97.6cm、2,000ppm区で97.5cmといずれも約5%長くなった。また重量および葉数は、対照区と比較して1,000または2,000ppm施用区でそれぞれ10.7～10.8%、5.9～7.3%増加した。舌状花数は処理区間の差がなかったが、筒状花数はCO₂施用区で多くなった。CO₂1,000ppmと2,000ppm区との間には切り花品質の差は認められなかった。

常温の室内で調べた水生け後の日持ち日数は、対照区では33.3日であったのに対し、CO₂1,000ppm区では36.4日、2,000ppm区では36.1日といずれも長くなった。この場合、花が満開を過ぎた水生け10日目頃から花卉の萎凋が現われ、下位葉の黄化や萎凋よりも早く進行し、観賞価値をなくす要因となった。CO₂施用区では、花卉の萎凋の進行が対照区より遅かった。

収穫時における葉中の無機成分含有率、ならびに茎葉中のデンプンと全糖含有率を第29図に示した。葉中の窒素含有率は、上位1～5葉および6～10葉目では処理区間の差がほとんどなかったが、16～25葉および26葉目以下の葉では、CO₂施用区における窒素含有率が対照区より最高6.5%低下した。またカリウム、マグネシウムおよびナトリウムについても、CO₂施用区で最高12.1～30.6%の範囲で低下し、いずれも下位葉ほど低い傾向が認められた。それに対してリンおよびカルシウム含有率は、1～5葉目を除くと、CO₂施用区でそれぞれ最高22.2%および11.1%増加した。また茎葉中のデンプンと全糖含有率は、CO₂施用区でそれぞれ最高26.0%および11.6%増加し、特に下位葉と茎における増加割合が高かった。

Table 13. Effects of CO₂ enrichment on flowering date and cut flower quality of chrysanthemum.

CO ₂ treatments	Average flowering date	Shoot length (cm)	Fresh weight (g)	Number of leaves	Number of florets		Vase life (days)
					Ray floret	Tubular floret	
cont.	20 Apr. NS ^z	92.7a ^y	70.4a	40.8a	178NS	12.0a	33.3a
1000ppm	20Apr.	97.6b	78.1b	43.2b	172	15.6b	36.4b
2000ppm	20Apr.	97.5b	78.0b	43.8b	176	15.4b	36.1b

^z Non-significant

^y Mean separation within columns at P≤0.05 by LSD.

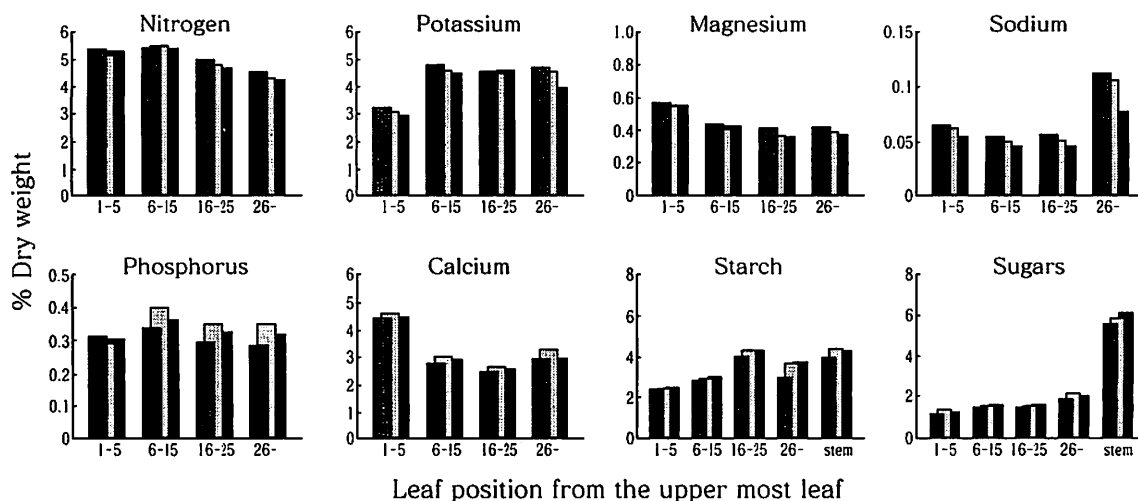


Fig. 29. Effects of CO₂ enrichment on mineral, starch and sugars contents in leaves and stem of cut flowers.

■: Cont., ▨: 1000ppm CO₂ ■: 2000ppm CO₂

第2節 CO₂施用と切り花品質、日持ちおよび葉のCO₂、エチレン (C₂H₄) 生成量

実験方法

キク‘秀芳の力’を供試し、ガラス室内で電照抑制12月出しを行った後の切り下株を、1992年12月14日に第1節の場合と同様に刈り込み、白熱灯を用いて深夜3時間 (22:00～1:00) の電照を開始した。その後、ガラス温室内にビニルトンネル (幅2.6m、高さ2.0m、長さ12.0m) を2室設置し、1室のトンネル内はCO₂濃度を成り行き (対照区)、他の1室はCO₂濃度を1,000ppmに設定し、12月22日から4月15日までCO₂施用を行った。施用方法は実験1と同様とした。

ガラス温室内の気温は、12月22日から12月30日まで夜間 (17:00～8:30) 最低18℃、12月31日から開花までは夜間最低15℃とした。また、12月22日にジベレリン (GA₃) 100ppmを茎葉散布して冬至芽の伸長を促した。電照は2月8日まで行い、以後は開花まで自然日長とした。施肥は被覆緩効性肥料 (チッソ旭製ロング100日タイプ) を用い、12月22日と2月8日にそれぞれ8kg/aずつ施用した。

調査は平均開花日、開花時の切り花形質、水生け後の日持ち日数および葉からのCO₂とエチレン生成量について行った。切り花の日持ちは、4月12日に4分咲きの花を収穫して60cmの長さにそろえ、直ちに水生けした後、7:00から19:00までは光量250 μmol・m⁻²・sec⁻¹で気温25℃、19:00から7:00までは暗黒条件で気温15℃とした室内で、実験1と同様の基準で調査した。葉のCO₂とエチレン生成量の測定は、4月12日に収穫して葉位別に1～5葉目 (上位葉)、11～15葉目 (中位葉) および26～30葉目 (下位葉) に分け、それぞれ650mlの容器に5葉ずつ入れて密閉し、一定時間おきに注射器で容器内空気を採取して行った。容器は日持ち調査と同じ室内に置いて暗黒とし、常時密閉した状態で分析に供した。CO₂濃度は島津製ガスクロマトグラフ (GC-8A, TCD検出器)、エチレン濃度は島津製ガスクロマトグラフ (GC-9A, FID検出器) を用い、カラムはポラパック-Q、キャリアーガスは窒素とし、流量は30 ml・min⁻¹で測定した。

結 果

キクの開花と切り花形質に及ぼすCO₂施用の影響について第14表に示した。本実験では、温室の加温開始日が12月22日からで第1節と比較して13日早く、また電照打ち切り日も9日早かったため、平均開花日が第1節の場合より早くなり、切り花形質の値も全体的に大きくなった。

開花日は対照区で4月14日となったのに対し、CO₂施用区では4月15日と差がなかった。しかし茎長は、対照区の103cmに対してCO₂施用区で6.8%増加し、また重量は9.9%増加した。葉数には処理区間で有意な差がなかった。さらに、CO₂施用区における上位10葉の葉重と葉面積は、対照区と比較してそれぞれ15.5%および14.5%増加した。

昼/夜温を25/15℃に設定し、第1節より平均気温を高くした室内における切り花の日持ち日数は、対照区の25.3日に対し、CO₂施用区では28.6日と約3日長くなった。水生け後の切り花の状態は、第1節の場合と異なり、花卉の萎凋と葉の黄化・萎凋とがほぼ同時に進行し、観賞価値をなくす要因となった。長さを60cmに揃えた切り花の重量は、水生け後3日目まで増加したが、その後ほぼ横這いで推移した（第30図）。それに対して花径は緩やかな増加を示し、7日目には約15cmに達してほぼ満開となった。切り花重量と花径は、いずれもCO₂施用区が対照区をやや上回って推移した。

Table 14. Effects of CO₂ enrichment on flowering date and cut flower quality of chrysanthemum.

CO ₂ treatments	Average flowering date	Shoot length (cm)	Fresh weight (g)	Number of leaves	Upper 10 leaves		Vase life (days)
					Fresh weight (g)	Leaf area (cm ²)	
Cont.	14 Apr.	103	111	43.7	11.0	290	25.3
1000ppm	15 Apr.	110	122	45.0	12.7	332	28.6
Significance ^z	NS	**	*	NS	*	*	*

^zNS: Non-significant, * ** : Significant at $P \leq 0.05$ or $P \leq 0.01$, respectively.

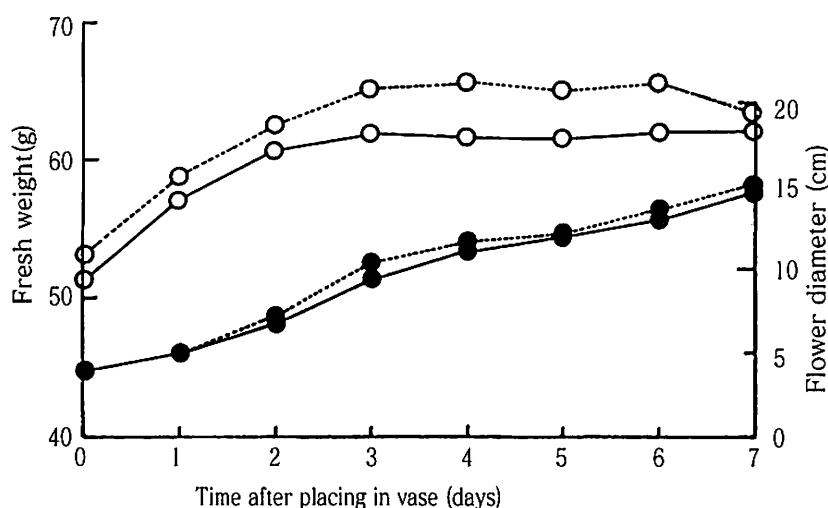


Fig. 30. Effect of CO₂ enrichment on flower diameter and fresh weight of cut flowers after placing in vase.

○: Fresh weight, ●: Flower diameter,
—: Cont., - - - : 1,000ppm CO₂

収穫後の葉におけるCO₂およびエチレンの積算生成量を第31図に示した。CO₂の生成は、葉位別では施用区、対照区でいずれも上位葉ほど多く、下位葉で少なかった。また、CO₂施用区における生成量は対照区と比較して少ない傾向が認められた。それに対してエチレンの生成は、処理48時間後から検出できるようになり、特に下位葉で多く生成が認められた。しかし、CO₂施用区と対照区の差は明らかでなかった。

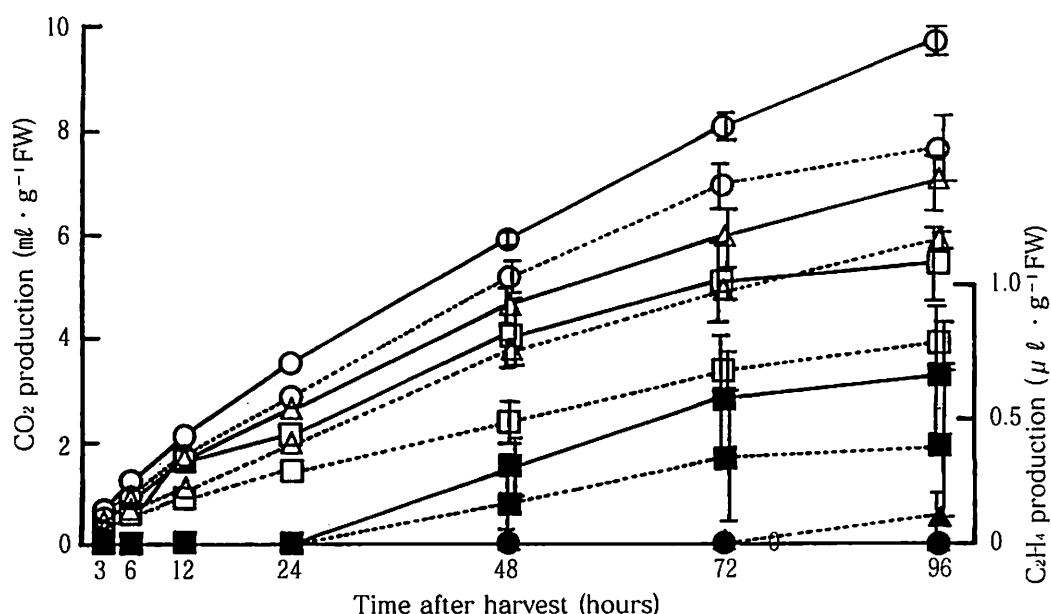


Fig. 31. Effects of CO₂ enrichment on cumulative carbon dioxide(CO₂) and ethylene (C₂H₄) production in leaves of cut flowers.
CO₂ production : Upper leaves(○), Middle leaves(△), Lower leaves(□).
C₂H₄ production : Upper leaves(○), Middle leaves(▲), Lower leaves (■).
— : Cont., ---- : 1000ppm CO₂, I : Standard error

考 察

花き生産におけるCO₂施用の効果は、多くの種類に共通して切り花長、切り花重量、葉数、葉面積あるいは花蕾数の増加となって現われ、実用性も高いことが報告されている (Hand, 1984; Heins, 1984; Mortensen, 1987)。しかし、これらの実験の多くは北アメリカや北ヨーロッパなどの高緯度地方で実施されたものであり、CO₂施用は日の出から日没まで連続して行われている。それに対して、わが国における冬季の施設内の気温は晴天日には30℃を超えるため、換気を行う必要があり、このことがCO₂施用時間を制限し、効果を不安定にする要因となっている。田中ら (1991)によると、神奈川県下で日の出30分前から10時頃までバラにCO₂施用を行った結果、収量は対照区の88.7～136.9%と不安定であり、苗の種類や品種、栽培条件によって反応が異なることを認めている。ところが、アメリカのミネソタ州で行われたMattson・Widmer(1971)らの実験では、バラの収量が14～22%増加するなど、安定した効果が得られている。

本実験では、電照ギクの主要品種である‘秀芳の力’に対し、1,000または2,000ppmのCO₂を朝方2時間30分施用した。その結果、切り花長が5.3～5.8%、切り花重量が9.9～10.9%、葉数が3.0～5.9%増加し、上位葉の葉重と葉面積が増加するなど、品質向上に有効であることが確認された。バラと比較すると、キクは地上部すべてが切り花としての生産物であり、光合成により

得られた同化産物の蓄積に無駄のないことが施用効果の出やすい一因と考えられる。

開花日に及ぼすCO₂施用の影響は、実用栽培としての本実験からは認められなかった。しかし、第4章第2節の実験から、電照打ち切り後からの施用で開花期が早くなったこと、また第3節の実験で終日施用の場合に開花が早くなったことから、施用方法や効果の程度によっては実用栽培においても開花が促進されると考えられた。

水生け後におけるキク切り花の観賞価値の失われ方は、低温期には葉の黄化や萎凋が遅いため、相対的に花卉の萎凋が先に現われる。それに対して、高温期には葉の黄化や萎凋が花卉の萎凋より早く進み、日持ち日数も短くなる傾向がある。そこで、第1節の実験では常温の室内、第2節では昼夜温を25/15℃と、第1節よりも高く設定した室内で日持ち日数を調査したところ、花卉や葉の萎凋・黄化の現われ方は両者で異なったが、いずれもCO₂施用区の日持ちが対照区より約3日長くなり、日持ち延長の効果が認められた。

キクの日持ちと植物体内の無機成分との関係について船越(1984)は、窒素およびカリウム含有率が高くなり、カルシウム含有率が低下して、結果的に植物体の「N+K/Ca」の当量比が減少すると日持ちが低下することを指摘している。今回、収穫後の葉と茎の無機成分およびデンプン、全糖含有率を測定した結果、CO₂施用により葉の窒素、カリウム、マグネシウムおよびナトリウム含有率が対照区より低下したのに対し、リンおよびカルシウム含有率はCO₂施用区で高くなった。切り花全体の窒素、カリウムおよびカルシウム含有量については今回測定していないため、「N+K/Ca」の当量比の比較ができないが、CO₂施用を行った場合の無機成分含有率の変化と日持ちとの関係は、船越の指摘と一致すると思われる。また、デンプンと全糖含有率はCO₂施用区で高く、特に下位葉と茎で増加率が高くなった。安達ら(1992)は、キクの茎中に存在するフルクタンについて調べ、水生け後、開花が進むにつれて茎のフルクタンが花に移動する可能性を指摘している。デンプンと糖の茎葉への蓄積は、このような作用を通して開花と日持ちに影響し、それらの量的増大が日持ち延長の効果をもたらしたと推測される。

CO₂施用が植物体のデンプン含有率に及ぼす影響については、キュウリ(Peet et al.,1986)やホテイアオイ(Spencer・Bowes,1986)などを用いた実験があり、CO₂施用によりデンプン含有率が増加するという報告が多い。しかし、無機成分に関しては、インゲンマメではほとんどの含有率が低下した(Porter・Grodzinski, 1984)。ホワイトオーク(*Quercus alba* L.)では窒素、硫黄およびホウ素の含有率が大きく低下し、カルシウムとマグネシウムはやや低下したが、リンとカリウムはほとんど差がなかった(Norby et al.,1986)。また、キュウリではカルシウムと窒素含有率は低下したが、カリウム、マグネシウムおよびリンの含有率は差がなかった(Peet et al.,1986)など、作物の種類によりCO₂施用に対する反応が異なっている。ところが、個体当たりで捉えた無機成分の吸収量は、含有率で比較した場合とは異なり、上記のいずれの種類についてもCO₂施用によって増加していることがわかる。すなわち、作物によって成分含有率に差があるのは、CO₂施用によって植物体自身も増大するために、成分吸収量の増加率が植物体重量の増加率に対して低い場合には含有率が低下し、同等か多い場合は含有率が変わらないか、高くなるものと考えられる。

本実験では、CO₂施用によるカルシウム含有率の増加が認められたが、CO₂高濃度条件下では葉からの蒸散が抑制される結果として、一般的には含有率の低下が指摘されている(Norby et al.,1986; Peet et al.,1986)。しかし、本実験のように1日当たり2時間30分程度のCO₂施用では、終日施用の場合とは異なり、蒸散抑制が主たる要因と考えられるカルシウム吸収量の低下(船越, 1984)は生じなかったものと推察された。

カーネーションなど多くの草花類では、植物体からのエチレン生成が生長や切り花の日持ちに大きく関与している(Hyodo et al.,1990; 石原ら,1991;田中ら,1985; Reid et al.,1989)。高CO₂濃度下におかれた植物のエチレン生成量の変化について、吉岡ら(1989)や西村ら(1989)は、CO₂

施用を行ったハウレンソウとカブでエチレン生成量が増加し、葉の黄化が早まったことを報告している。この原因は、高CO₂濃度下における葉からの蒸散の抑制や、葉温の上昇によるとされる。本実験では、CO₂施用によるエチレン生成量の明らかな増加は認められなかった。また、葉からのCO₂生成量は、CO₂施用区で対照区より低かったことから、葉の厚みが増したことによって気孔抵抗が大きくなった可能性（今井,1988）が考えられた。

以上のことから、1日当たり2時間30分程度のCO₂施用は、葉のエチレン生成を促進して老化を早めることはなく、むしろ切り花後の葉の呼吸を抑制して水生け後の日持ちが長くなることが考えられた。

摘 要

4月出し電照ギクに対するCO₂施用がキクの切り花形質、日持ち、茎葉の無機成分、デンプンおよび全糖含有率、ならびに葉のCO₂とエチレン生成量に及ぼす影響について調べた。

1. 1,000または2,000ppmのCO₂施用を朝方2時間30分行うことにより、キクの開花時の茎長、重量および葉数が対照区と比較して3.0～10.9%増加し、また切り花の日持ちが約3日長くなった。
2. CO₂施用を行ったキクの葉の窒素（N）、カリウム（K）、マグネシウム（Mg）およびナトリウム（Na）含有率は、対照区と比較して低く、特に下位葉における低下割合（最高30.6%）が大きかった。それに対して、リン（P）とカルシウム（Ca）含有率は同じか、またはCO₂施用区で高くなった。また、デンプンと全糖の含有率はCO₂施用区で高く、特に中位以下の葉と茎で高くなった。
3. 収穫後の葉のCO₂生成量は、CO₂施用区で対照区よりも少なかったが、エチレン生成量には明らかな差が認められなかった。
4. 以上のことから、CO₂施用によるキク切り花の日持ち延長の効果は、収穫後の葉のCO₂生成量の低下、カルシウム含有率に対する窒素とカリウム含有率の割合低下、ならびにデンプンと全糖含有率の増加などが関与していると考えられた。

第6章 総合考察

キクの切り花生産では、経営の安定および労力の低減と分散の点から、施設化による周年生産体制の確立が避けられない課題となっている。周年生産が安定的に行われるために克服すべき栽培環境要因として、夏季の高温・強光と冬季の低温・寡日照対策がある。

冬季の施設ギク生産における今日までの研究課題は、夜間の最低気温や日長制御に関するものが中心であった。しかし、さらなる切り花品質の向上と生産の効率化を目的として、CO₂施用や補光栽培等の新しい技術が欧米地域から導入されようとしている。今後は、施設装備の高度化に支えられて、温度や光、CO₂環境等をキクの生育に最適となるように管理する複合環境制御技術の開発が進められるものと予想される。本研究はそのための基礎的研究の一環として、CO₂濃度とともに光や温度要因がキクの光合成と生育・開花反応に及ぼす影響について明らかにしようとした。

C₃植物の多くでは、光合成速度のCO₂飽和点が1,000～1,500ppmとされているが、キクの場合にはおよそ1,200ppm付近であることがわかった(第2章)。このことから、1,200ppmを超える濃度で施用してもそれ以上の効果は期待できず、しかも高CO₂濃度による生育障害の事例が多く報告されており(Hand, 1984; Mortensen, 1987)、高濃度での施用には注意が必要である。第1章で調査したキク産地における実態調査では、半数以上の生産者が1,600ppm以上の濃度で施用していることから、十分な啓蒙と改善が求められる。

冬季の照度を考慮した10～30klxの範囲では、CO₂濃度を1,100ppmまで高めた場合に個体の光合成速度の増加が確認されたことから(第2章)、十分な施用効果が期待されてよい。この場合、一般的には低照度ほど光合成速度のCO₂飽和点が低下するといわれていることから、野菜等では曇りや雨の日のCO₂濃度をやや低くするのがよいとされる。しかし、今回検討した10～40klxの照度範囲では、CO₂飽和点の低下は明らかでなく、またCO₂濃度350ppmと比較した1,000ppm濃度下における光合成速度の増加率は、低照度ほど大きくなった。これらのことから、キクの場合には10klx前後の低照度条件でも、1,000ppm程度のCO₂施用により十分な効果が得られるものと考えられる。

ところで、CO₂施用中の照度条件の検討結果から(第4章)、朝方2～3klx程度の照度では花径をはじめとして、切り花の重量や茎長等の増加に対する効果がきわめて低いことが確認された。従って光補償点に近い弱光条件では、光環境の改善こそが第一の要件であり、この場合、施設内の内張りを開放した状態でのCO₂施用も考慮されてよいだろう。

キクの光合成速度の適温域は15～20℃であり、これはCO₂濃度を高くした場合にも変化しなかった(第2章)。ところが多くのC₃植物では、CO₂濃度が上昇するほど光合成の適温域が高くなることが知られている(Brun・Cooper, 1967; Enoch・Hurd, 1977; 今井, 1988; Larigauderie et al., 1986)。キクの場合には、他のC₃植物と比較して高CO₂濃度下における気孔の遮蔽が敏感に行われる結果、CO₂の葉内への取り込みが低下することによって光合成速度が低下したと推測された。

第4章で、CO₂施用中の昼温と生育・開花との関係について具体的に検討したところ、普通大気中における切り花重量の増加のための最適温度域は、光合成速度の適温と同じく15～20℃であったのに対し、CO₂施用を行った場合の適温は20～25℃とやや上昇した。このことは、第2章から確認された光合成の適温域とやや異なる結果のようである。しかし、CO₂施用中のキクの生理反応に関しては、光合成以外に体内の代謝機能そのものが変化していることが予想され、このような結果をもたらしたと考えられた。

CO₂施用中の温度とキクの生育・開花との関係を明らかにすることは、CO₂施用時間を左右す

ることになる換気温度の目安を設定する上で重要な課題である。慣行の温度管理では、電照打ち切り後の花芽分化・発達期における換気温度は20℃を目安に行われているが、第5章の結果を踏まえると、CO₂施用時には25℃を目安に換気を行っても、切り花品質の低下はほとんどないことが確認された。

キクの茎長、茎葉と根の重量、葉数、葉面積、花径、小花数などのさまざまな切り花品質の中で、CO₂施用の効果は茎葉と根の重量増加に顕著に現われた（第3、4、5章）。特に、根の重量増加が最も大きくなったことから、光合成産物のシンク器官として根が大きく作用していることがうかがわれた。また、個体当たりで捉えた根の生理的活性と地上部重量との間には、有意な正の相関が認められた。

キクの開花期は、電照打ち切り後からのCO₂施用や生育初期からの終日施用により明らかに前進した（第4章）。ところが、実用的な圃場実験により生育初期から朝方2時間30分の施用を行った場合には、明らかな開花促進効果は認められなかった（第5章）。このことから、施用方法による効果の程度によって、開花期の前進化が期待できる場合とそうでない場合とがあるようである。しかし、実用栽培での実験結果からは、切り花に必要な茎長を確保するための電照打ち切り時期を早くできる可能性が示され、結果的に生育期間の短縮に寄与できると考えられる。

CO₂施用の特異な効果として、温度（昼温）条件との相互作用により、電照中の栄養生長期と電照打ち切り後の生殖生長期における二つの異なる反応が現われた。すなわち、電照期間中の茎長、茎葉の重量および葉数等の量的な形質に対して、CO₂施用は昼温によりもたらされる形質の格差をなくす方向に作用するが、筒状花数等の質的要素を伴った形質に対しては、CO₂施用は昼温によりもたらされる形質の格差をさらに拡大するように作用した。このことは、長さや重さのような量的形質と、花芽分化中の形態変化を伴う質的形質とに対して、CO₂施用と昼温とがそれぞれ相助的あるいは拮抗的に作用することが考えられる。

CO₂施用は切り花の日持ちを長くする効果もあった。この点について、キクの体内成分との関連から検討した結果、CO₂施用により葉の窒素、カリウム、マグネシウム、あるいはナトリウム等の無機成分含有率が低下することが明らかとなった（第5章）。カルシウムの含有率は、CO₂終日施用では明らかに低下したが（第4章）、2時間30分程度での施用では有意な低下はみられなかった。船越(1984)は、窒素およびカリウム含有率が高くなり、カルシウム含有率が低下して、結果的に植物体の「N + K/Ca」の当量比が減少するとキクの日持ちが低下することを指摘している。第4章と第5章の結果から、窒素含有率の低下が最も大きいことを考慮すると、切り花の日持ち延長の効果は、船越の指摘と矛盾しない。さらに、CO₂施用による茎葉中のデンプンと全糖含有率の増加、および切り花後の葉からの呼吸量の低下など、これら相互の作用によって日持ち延長効果が生じたと推測される。当初に危惧していた葉からのエチレン生成量の増加と、そのことによる日持ちの低下は確認されなかった。

CO₂施用の効果は、施用濃度や日中の施用時間、あるいはキクの生育段階に応じた施用時期や期間等によって異なる。定植後から1,000ppmの濃度で終日実施した場合では（第4章）、無施用区と比較して開花時の茎葉重が最大で126%増加した。また、実用的な圃場実験によって朝方の2時間30分、1,000ppmで施用した2回にわたる実験では（第5章）、開花時の茎葉重は無施用区の10.7%および9.9%増となった。日中の連続施用と朝方2.5時間の施用では、施用時間とともに施用中の光条件の違いが大きく作用してこのような差がもたらされたと考えられる。

CO₂施用の時期や期間と施用効果との関係では、茎葉重は施用期間に応じて比例的に増加することが明らかとなった（第4章）。また、茎長に対しては電照中の生育前期における施用効果が高いのに対し、開花の促進や花径および上位葉の増大に対しては、生育後期の施用効果が高くなった。現行の施用実態では、切り花品質を高める目的で生育後期の施用が多くなっているが、効率的な生

産や施用効果の点からは、生育初期からの施用を積極的に行うべきであろう。

以上の結果から、キクに対するCO₂施用の方法を以下のように提示する。

1. 施用作型

日射量が低下する11月から3月までの期間で、作型としては電照抑制12月出しから4月出しまでが有効である。

2. 施用濃度

室内の照度が5klx以上であれば、1,000～1,200ppmで施用することにより普通大気と比較して3～4倍の光合成速度が期待できる。それ以下の照度ではCO₂施用の効果が期待できないので、施設内の内張りを開放して光条件をよくすることが先決である。

3. 施用時間

日の出後から換気するまでの時間であるが、長いほど施用効果が高くなる。曇天の日には終日施用も可能である。晴れた日の換気温度は、電照中は25～30℃、電照打ち切り後は20～25℃とする。ただし、気温が25℃以上の場合の施用濃度は800ppmを上限とするのがよい。

4. 生育段階

生育前期（電照中）の施用は茎長と葉数の増加に効果があり、生育後期（電照打ち切り後）の施用は開花の促進と上位葉、花径の増大に効果が高い。切り花重量は施用時間や期間に比例して増加する。

5. CO₂発生源

生ガスや灯油、プロパンガスなどがあり、それぞれに長所、欠点がある。CO₂濃度調節器を必ず設置して、適正濃度を守ることが大切である。

6. 施用効果

CO₂施用により切り花重量、切り花長および葉数が増加する。生育後期であれば開花が早くなり、花径が増大する。花首が長くなる点には注意が必要であり、舌状花率がやや低下する。また、切り花の日持ちが長くなる。

第7章 摘 要

施設ギクの切り花産地は、現在では愛知県や静岡県などの太平洋沿岸を中心とした地域から、九州や山陰、北陸、東北地域にまで全国的な広がりを見せている。しかし、九州北部を含めた日本海沿岸の地域では、冬季の日照不足による生育遅延や茎葉の伸長不良、切り花重量の低下、上位葉の小型化などが生じ、切り花品質の低下が大きな問題となっている。

同じように冬季の日射量の少ない北部アメリカやヨーロッパにおいては、作物の生長を補うためにCO₂施用が導入され、施設野菜や花き類などで実用化されている。最近わが国でも、切り花の品質向上を目的として施設ギクにCO₂施用が導入されつつあるが、CO₂施用の方法、施用効果等をわが国で詳細に検討した事例はない。

そこで本研究では、高CO₂濃度下におけるキクの光合成をはじめとした生理・生態的特性に関して基礎的知見を得ると同時に、CO₂施用の効果および施用中の温度・光条件とキクの生育・開花反応について検討し、施設ギクに対する適切なCO₂施用法を確立しようとした。

1. 施設ギクにおけるCO₂施用の実態と問題点

施設ギク生産でCO₂施用を行っている福岡県八女市の生産農家を対象に、CO₂施用の実態と問題点を調査した。

CO₂施用は電照抑制12月出しから5月出しまでの広い作型で実施されており、中でも2～4月出し栽培が多かった。CO₂施用の時間は、夜間3～6時から朝方7時台までの1～4時間がほとんどであったが、光合成によるCO₂吸収は日中に行われることから、このような施用法には効果の点で問題があると考えられた。施用の時期は、上位葉の大きさを確保することを主な目的として、電照打ち切り後から収穫前までの生育後半とする場合が多かった。生産者が感じているキクに対するCO₂施用の利点としては、切り花重量の増加による秀品率の向上が最も多く、そのほかに切り花の日持ち改善や葉色の濃緑化などが、反対に欠点としては、切り花の剛直化や花首の伸びすぎなどがあげられた。

以上の実態から、効果的なCO₂施用法を確立するためには、高CO₂濃度条件下におけるキクの光合成反応について基礎的な知見を得るとともに、実用性を考慮した圃場試験を実施することによって得られた効果の数量的な解析を行い、CO₂施用の経済性を検討するための根拠を示す必要があると考えられた。

2. CO₂濃度、光および温度条件とキクの光合成特性

異なるCO₂濃度、光および温度条件下におけるキク個体および個葉の光合成特性について調べた。

キク個体の光合成速度はCO₂濃度の上昇に伴って増加し、普通大気（CO₂350ppm）と比較したCO₂1,000ppmの濃度での光合成速度の増加率は、光強度が高い場合よりも低い場合に高かった。光合成速度の適温域は気温15～20℃であり、この温度域ではCO₂濃度にかかわらず高い光合成速度が維持された。それに対し、気温30℃における光合成速度は、CO₂850ppm付近までは濃度の上昇に伴い増加したが、濃度がさらに上昇すると減少に転じた。個葉の光合成速度は、個体の場合と同じようにCO₂濃度が上昇するほど増加し、CO₂濃度約1,200ppmで飽和に達した。また、個葉の光合成速度と葉緑素含量の指標となるSPAD値との間には、高い正の相関が認められた。定植後の時期別にみたキク個体の光合成速度は、定植4週間後と7週間後では差が認められなかったが、発蕾期の定植11週間後になると、高CO₂濃度で測定した場合に生育前期と比較して低下した。

3. CO₂施用とキクの生育および光合成速度

人工気象室内において300, 600および1,200ppmの濃度のCO₂施用を1日当たり2時間30分行い、キクの生育、光合成速度、ならびに根の生理的活力に及ぼす影響について調べた。

キクに約60日間のCO₂施用を行った結果、草丈、葉数、葉面積および葉、莖、根の生体重と乾物重が、いずれも対照区と比較して8%から最大39%増加した。中でも根重の増加が最も著しかったことから、根が光合成産物のシンク器官として機能しているとみなされた。なお、TTC還元力でみた根の生理的活力は、単位乾物重当たりではCO₂施用により低下したが、個体当たりでは逆に増大し、個体当たりのTTC還元力と地上部生体重との間には高い正の相関が認められた。CO₂の長期間施用が施用後のキク個体の光合成速度に及ぼす影響について調べた結果、1日当たり2時間30分の施用では、生育前歴としてのCO₂濃度の影響は認められなかった。

4. CO₂施用時期、光および温度条件とキクの生育・開花

施設ギクの主要品種‘秀芳の力’の電照抑制栽培において、キクの生育段階ごとのCO₂施用時期、および施用中の光、温度条件の違いが生育と切り花品質に及ぼす影響について調べた。

生育前期の電照期間中にCO₂施用を行うと切り花長が長くなり、電照打ち切り後の施用では開花期が前進し、花径が大きくなるなど、施用時期により効果の現れ方が異なった。切り花重量は、生育全期間を通じて施用期間に比例して増加した。また、電照打ち切り後に遮光処理を行うことによって光条件を変え、CO₂施用と切り花品質との関係を調べた結果、CO₂施用により葉数は照度にかかわらず増加し、花径は照度が比較的高い場合にのみ大きくなった。

夜温を15℃一定とし、昼温を15, 20および25℃の3段階に変えて栽培したところ、CO₂を施用しない場合には昼温が高いほど莖長が長くなったが、莖、葉および根の重量はいずれも減少した。また高温は舌状花数を増加させ、筒状花数を減少させた。それに対してCO₂施用を行った場合には、莖長など量的な形質に対する昼温の影響は無施用と比較して小さくなったが、筒状花数など質的な形質に対しては、昼温の影響がさらに大きくなった。

5. キクの実用栽培におけるCO₂施用と切り花品質および日持ち

‘秀芳の力’を用い、電照抑制4月出しの実用栽培において1,000および2,000ppmのCO₂施用を行い、キクの切り花品質、日持ちおよび莖葉の無機成分、デンプン、全糖含有率ならびに葉のCO₂、エチレン生成量について調べた。

CO₂施用を朝方2時間30分、生育初期から開花期まで行うことにより、施用濃度にかかわらずキクの開花時の莖長、切り花重量および葉数が無施用区と比較して3~11%増加し、切り花の日持ちが約3日長くなった。また、上位葉の葉面積はCO₂施用により14%増加した。CO₂施用を行ったキクの葉の窒素、カリウム、マグネシウムおよびナトリウム含有率は無施用区と比較して低く、特に下位葉における低下が著しかった。それに対して、リンとカルシウム含有率は同じか、またはCO₂施用区で高くなった。デンプンと全糖の含有率はCO₂施用区で高く、特に中位以下の葉と莖で高くなった。さらに、収穫直後の葉のCO₂生成量はCO₂施用区で無施用区よりも少なかったが、エチレン生成量には差が認められなかった。これらのことから、CO₂施用による切り花の日持ち延長効果には、収穫後の葉における呼吸の低下、カルシウム含有率に対する窒素とカリウム含有率の割合低下、ならびにデンプンと全糖含有率の増加などが関与していると考えられた。

6. 総 括

キク切り花の周年生産では、施設設備の高度化に伴い温度や光、CO₂環境等をキクの生育に最適となるように管理する複合環境制御技術の開発が進められている。本研究では、そのための基礎

的研究の一環として、CO₂濃度とともに光や温度条件がキクの光合成と生育・開花反応に及ぼす影響について検討し、以下のようなCO₂施用の効果と適切な施用法を明らかにした。

CO₂施用の効果としては葉数、切り花長、切り花重量が増加し、上位葉、花径が増大して切り花品質が向上すること、また開花が早くなり、切り花の日持ちが長くなることがあげられる。CO₂施用は、日射量が低下する11月から翌年3月までの期間で効果が高く、電照抑制12月出しから4月出し栽培までが対象作型となる。施用濃度を1,000～1,200ppmに設定することにより、普通大気と比較して3～4倍の光合成速度が確保でき、低照度ほどその効果が高い。生育初期の電照期間中の施用は切り花長の増加に、また電照打ち切り後の施用は開花期の前進と花径の増大にとくに効果がある。CO₂の施用時間を左右することになる施設の換気温度は、電照期間中では茎長確保の点から25～30℃とやや高めとするのがよく、電照打ち切り後では花芽の発達の点から20～25℃が望ましい。

本研究の成果として、施設ギク生産における効果的なCO₂施用法が確立したことにより、冬季の寡日照地域におけるキク切り花の品質向上策を講じることが可能となり、実際栽培に大いに寄与するところとなった。

引用文献

- 安達めぐみ・河鱈実之・崎山亮三. 1992. キク切り花の開花と老化に伴う炭水化物含量の変化について. 園学雑. 61(別2): 542-543.
- Andersson, N.E. 1991. The influence of constant and diurnally changing CO₂ concentrations on plant growth and development. *J. Hort. Sci.* **66**:569-574.
- Berkel, N.van. 1984. Injurious effects of high CO₂ concentrations on cucumber, tomato, chrysanthemum and gerbera. *Acta Hort.* **162**:101-112.
- Berkel, N.van and J.B.Verveer. 1984. CO₂ enrichment in the Netherlands. *Acta Hort.* **162**:197-205.
- Bonaminio, V.P. and R.A.Larson. 1980. Influence of reduced night temperatures on growth and flowering of 'May Shoesmith' chrysanthemums. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **103**:752-756.
- Brun, W.A. and R.L.Cooper. 1967. Effect of light intensity and carbon dioxide concentration on photosynthetic rate of soybean. *Crop Sci.* **7**:451-454.
- Calvert, A. and G.Slack. 1976. Effect of carbon dioxide enrichment on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. II. The duration of daily periods of enrichment. *J. Hort. Sci.* **51**: 401-409.
- Cathey, H.M. 1954. Chrysanthemum temperature study B. Thermal modification of photoperiods previous to and after flower bud initiation. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **64**:492-498.
- Clerk, D.G., Kelly, J.W., Rajapakse, N.C. 1993. Production and postharvest characteristics of *Rosa hybrida* L. 'Meijikatar' grown in pots under carbon dioxide enrichment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **118**:613-617.
- Cockshull, K.E. and A.P.Hughes. 1972. Flower formation in chrysanthemum morifolium: the influence of light level. *J. Hort. Sci.* **47**:113-127.
- De Lint, P.J.A.L. and G.Heij. 1987. Effects of day and night temperature on growth and flowering of chrysanthemum. *Acta Hort.* **197**:53-61.
- Enoch, H.Z., R.G.Hurd. 1977. Effect of light intensity, carbon dioxide concentration, and leaf temperature on gas exchange of spray carnation plants. *J. Exp. Bot.* **28**:84-95.
- 福岡県農政部. 1988. 地力保全測定診断の手引き.
- 船越桂一. 1984. キク切り花の形質および日持ちに及ぼす栽培環境条件の影響に関する研究. 静岡農試特報. **15**. 29-37.
- Gardner, R. 1965. The response of crops to carbon dioxide enrichment of the glasshouse atmosphere. *Agricultural Progress.* **40**:88-93.
- Hand, D.W. 1984. Crop responses to winter and summer CO₂ enrichment. *Acta Hort.* **162**:45-60.
- Heins, R.D., M.G.Karlsson, J.E.Erwin, M.K. Hausbeck and S.H.Miller. 1984. Interaction of CO₂ and environmental factors on crop responses. *Acta Hort.* **162**:21-28.
- Heins, R.D., M.J.Karlsson, J.A.Flore and W.H. Carlson. 1986. Effects of photosynthetic rate maximization on chrysanthemum growth and development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **111**:42-46.

- Hidden, C., and R.V.Larsen. 1994. Predicting flower development in greenhouse grown chrysanthemum. *Sci. Hortic.* **58**:123 – 138.
- Hoeven A.P. van der. 1987. Chrysanthemum production in the Netherlands. *Acta Hortic.* **197**:11 – 20.
- Holcomb, E.J., J.A. Flore and R.D. Heins. 1988. Photosynthetic response curves for chrysanthemum grown at different PPF levels. *Hortscience* **23**:206 – 208.
- Hyodo, H., Y. Terada and S. Noda. 1990. Effects of 2,5-Norbornadiene and ethylene on the induction of activity of 1-aminocyclo-propane-1-carboxylate (ACC) synthase, and on increases in the ACC content and the rate of ethylene production in petals of cut carnation flowers during senescence. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* **59**:151 – 156.
- 石原義啓・大川 清・兵藤 宏. 1991. スイートピー切り花の老化とエチレン生成. *園学雑.* **60**: 141 – 147.
- 今井勝. 1988. 二酸化炭素と作物生産. *日作紀* **57**. 380 – 391.
- 今村仁・山口隆・中澤和夫・姫野正己. 1989. 切花生産における日射エネルギーの効率的利用技術に関する研究 (第4報) トルコギキョウの光合成特性. *園学雑.* **58**(別2):458 – 459.
- 景山詳弘・高橋真理・小西国義. 1991. 培養液中の窒素濃度と温度および光強度がキクの初期生育と窒素吸収に及ぼす影響. *園学雑.* **60**:133 – 139.
- 景山詳弘・中川雄一・小西国義. 1993. 養液栽培におけるカリウムの施用量とキクの生育. *園学雑.* **61**:895 – 900.
- Karlsson, M.J. and R.D. Heins. 1986. Response surface analysis of flowering in chrysanthemum 'Bright Golden Anne'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **111**:253 – 259.
- Karlsson, M.G., R.D. Heins and E.J. Holcomb. 1987. Influence of temperature, photosynthetic photon flux and plant age on light utilization efficiency in chrysanthemum. *Acta Hortic.* **197**:21 – 30.
- Karlsson, M.G., R.D. Heins, J.E. Erwin, R.D. Berghage, W.H. Carlson and J.A. Biernbaum. 1989a. Temperature and photosynthetic photon flux influence chrysanthemum shoot development and flower initiation under short day conditions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **114**:158 – 163.
- Karlsson, M.G., R.D. Heins, J.E. Erwin, R.D. Berghage, W.H. Carlson and J.A. Biernbaum. 1989b. Irradiance and temperature effects on time of development and flower size in chrysanthemum. *Sci. Hortic.* **39**:257 – 267.
- Karlsson, M.G. and R.D. Heins. 1994. A model of chrysanthemum stem elongation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **119**:403 – 407.
- 川田穰一. 1995. 世界のキク産業とその影響, 課題. *農業技術体系花卉編* **6**: 43 – 48.
- 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**:17 – 23.
- Klapwijk, D. and C. F. M. Wubben. 1984. The Effect of carbon dioxide on growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants. *Acta Hortic.* **162**:249 – 254.
- 小西国義. 1975. さし芽苗の低温処理によるキクのロゼット化防止. *園学雑.* **44**: 286 – 293.
- 小西国義. 1980. キクのロゼット化に関する研究. *園学雑.* **49**: 107 – 113.
- Larigauderie, A., J. Roy and A. Berger. 1986. Long term effects of high CO₂ concentration on photosynthesis of water hyacinth. *J. Exp. Bot.* **37**: 1303 – 1312.
- 豆塚茂実・松川時春・小林泰生. 1983. キクの電照栽培における高所ロゼットに関する研究. 福岡

- 農総試研報. B-2: 55-61.
- 豆塚茂実. 1989. キクの光合成速度と同化産物の転流. 福岡農総試研報. B-7:37-42.
- Marc, J. and R. M. Gifford. 1984. Floral initiation in wheat, sunflower, and sorghum under carbon dioxide enrichment. Can.J.Bot.62:9-14.
- 松田岑夫・万豆剛一. 1987. 秋ギクの加温電照栽培に関する研究 (第3報) 栽培条件, 特に夜温が開花並びに切り花品質に及ぼす影響. 静岡農試研報. 23: 49-56.
- Mattson, R.H. and R.E. Widmer. 1971. Year round effects of carbon dioxide supplemented atmospheres on greenhouse rose (*Rosa hybrida*) production. J.Amer. Soc.Hort.Sci.96: 487-488.
- Mortensen, L. M. and R.Moe. 1983. Growth responses of some greenhouse plants to environment. V. Effect of CO₂, O₂ and light on net photosynthetic rate in *Chrysanthemum morifolium* Ramat. Sci. Hortic.19:133-140.
- Mortensen, L.M. and R.Moe. 1983. Growth responses of some greenhouse plants to environment. VI. Effect of CO₂ and artificial light on growth of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. Sci. Hortic.19:141-147.
- Mortensen, L.M. 1984. Photosynthetic adaption in CO₂ enriched air and the effect of intermittent CO₂ application on greenhouse crops. Acta Hortic.162:153-158.
- Mortensen, L.M. 1987. Review: CO₂ enrichment in greenhouses crop responses. Sci.Hortic. 33:1-25.
- 村田吉男・玖村敦彦・石井龍一. 1976. 作物の光合成と生態. 農山漁村文化協会.
- 長岡正昭・高橋和彦・新井和夫・花田俊雄・吉岡宏. 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. 野菜試験場報告.A-6:105-122.
- 長岡正昭・新井和夫. 1984. 炭素代謝機構の解明と制御. 野菜試験場栽培部研究年報 11:55-59.
- 長岡正昭・高橋和彦・新井和夫. 1984. トマト・キュウリの光合成・蒸散に及ぼす環境条件の影響. 野菜試験場報告.A-12:105-122.
- Nilsen, S., K.Hovland, C.Dons and S.P.Sletten. 1983. Effect of CO₂ enrichment on photosynthesis, growth and yield of tomato. Sci. Hortic.20:1-14.
- 西村仁一・吉岡 宏・村上晶子・中川 泉・河田 貢. 1989. 寡日照地域における施設野菜のCO₂施用に関する研究. (第3報) ホウレンソウ・カブへのCO₂施用が収穫後の品質変化に及ぼす影響. 園学雑58(別2):354-355.
- 西尾譲一・福田正夫. 1984. 秋ギクの花芽分化期前後の昼温が開花に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 16: 173-177.
- 西尾譲一. 1989. キク・光合成特性. 平成元年度花き試験成績概要集 (公立) 関東・東海. 愛知県:18-19.
- Norby, R.J., E.G.O' Neill and R.J.Luxmoore. 1986. Effects of atmospheric CO₂ enrichment on the growth and mineral nutrition of *Quercus alba* seedling in nutrient-poor soil. Plant Physiol.82:83-89.
- 農林水産省統計情報部. 1994. 花き生産出荷統計および生産農業所得統計.
- 大川清. 1980. バラの生育開花習性[2]炭酸ガス濃度と収量・品質. 農業および園芸. 55: 77-82.
- 大石一史・大須賀源芳. 1983. 秋ギクの加温電照栽培における変夜温管理に関する研究 (第1報) 花成誘導期における夜間の高温要求時間帯. 静岡農総試研報. 15: 223-228.
- Peet, M.M., S.C.Huber and D.T.Patterson. 1986. Acclimation to high CO₂ in monoecious

- cucumbers. II Carbon exchange rates, enzyme activities, and starch and nutrient concentrations. *Plant Physiol.* **80**:63 – 67.
- Porter M. A. and B. Grodzinski. 1984. Acclimation to high CO₂ in bean. *Plant Physiol.* **74**:413 – 416.
- Reid, M.S., R.Y. Evans and L.L. Dodge. 1989. Ethylene and silver thiosulfate influence opening of cut rose flowers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **114**:436 – 440.
- Sage, F.S., T.D. Sharkey and J.R. Seemann. 1989. Acclimation of photosynthesis to elevated CO₂ in five C₃ species. *Plant Physiol.* **89**:590 – 596.
- 静岡県農業水産部. 1977. 温室メロンの炭酸ガス施用手引.
- 創立40周年記念誌編纂委員会. 1995. 八女電照菊と組合40年のあゆみ. 農事組合法人八女市花卉園芸組合.
- Spencer, W. and G. Bowes. 1986. Photosynthesis and growth of water hyacinth under CO₂ enrichment. *Plant Physiol.* **82**:528 – 533.
- 田中 宏・伝法谷一仁・橋本 徹. 1985. 生育調節剤及びSTS処理による落花とエチレン生成. 玉川大 農学研報. **25**. 72 – 82.
- 田中千恵・林 勇・水野信義・山崎和雄・山田尚雄. 1991. 神奈川県における温室バラの炭酸ガス施用に関する研究. 神奈川園試研報. **41**:7 – 17.
- 戸苅義次監修. 1975. 作物の光合成と物質生産. 養賢堂. 野菜試験場. 1977. 野菜の炭酸ガス施用に関する試験研究打合せ会議・とりまとめ資料.
- 吉岡 宏・中川 泉・河田 貢・西村仁一・村上晶子. 1989. 寡日照地域における施設野菜のCO₂施用に関する研究. 第1報. ホウレンソウ・イチゴの光合成・蒸散に及ぼすCO₂施用の影響. 園学雑. **58**(別2):350 – 351.

Summary

Studies on Improving Photosynthetic Capacity and Cut Flower Quality by CO₂ Enrichment in Chrysanthemum

In winter season, the light intensity in the area along the Japan Sea is 20 to 30% lower than that on the Pacific coast of West Japan. It seems that poor light limits the growth and development of many crops.

CO₂ enrichment of greenhouse atmosphere is introduced as the technique for improving the productivity of florist crops with high value e.g. chrysanthemum and rose. However, influence of high CO₂ atmosphere on growth and development of major cultivars in cut chrysanthemum have not yet been studied in Japan.

The study was carried out to clarify the effects of CO₂ enrichment on growth, flowering and cut flower quality, and to find out a useful and practical method of CO₂ enrichment in chrysanthemum. Results obtained are summarised as follows.

1. The questionnaires were sent to 25 growers in Yame city, Fukuoka prefecture, who were applying CO₂ gas to greenhouse chrysanthemum. Application hours of CO₂ were mainly from 3~6 o'clock to 7~8 o'clock in the morning. Growth period of chrysanthemum during CO₂ enrichment was almost between flower bud differentiation and anthesis.
2. Rates of CO₂ assimilation of potted chrysanthemum plants (cv. Shuhonochikara) were measured under different CO₂ concentrations, light intensities and air temperatures. Photosynthetic rate increased significantly with increasing CO₂ concentration, and the ratio of increase in photosynthetic rate was highest under 10klx compared to 20 or 30 klx.
3. Optimum temperature of photosynthesis was 15~20°C under various CO₂ concentrations. Assimilation rate increased progressively with increasing CO₂ concentration at 10 and 20°C, but it decreased at CO₂ concentration above 850 ppm at 30°C. Also, in 1,100 ppm CO₂, photosynthetic curve showed a sharp reduction at temperatures above 20°C.
4. Photosynthesis of lower leaves of the stem was lower than that of upper and middle ones. CO₂ saturation point of upper and middle leaves was about 1,200 ppm.
5. In the growing stage of 4 and 7 weeks after planting, photosynthetic rate of the plant did not change at the same light intensities and CO₂ concentrations. However, in the stage of 11 weeks, photosynthetic rate under high CO₂ conditions reduced significantly.
6. To assess the effect of CO₂ enrichment on growth of greenhouse chrysanthemum, the plants were grown in the phytotron with 300, 600, and 1,200 ppm CO₂. CO₂ enriched plants showed a significant increase in stem length, number of leaves, leaf area, and fresh and dry weights. The greatest rate of increase after 60 days of CO₂ enrichment was observed in the dry weight of roots (39%).
7. No difference in photosynthetic rates of the plant was observed among those grown

under high CO₂ (600 or 1,200 ppm) and in ambient air (300 ppm), when the rates were measured at 400 and 800 ppm CO₂ and on 30th and 60th days after the beginning of CO₂ enrichment.

8. TTC(2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride) reduction of roots decreased under CO₂ enriched atmosphere, but it increased on a plant basis because fresh weight of the roots increased. There was a high positive correlation between TTC reduction per plant and the fresh weight of the top (aerial part).
9. Stem length and number of leaves were increased by enriching CO₂ during the first half of growth; flowering date and flower diameter increased by enriching CO₂ during the latter half. Weights of the plant was heavier as CO₂ application term was longer.
10. Flower diameter increased when the light intensity is more than 10 klx under CO₂ enriched condition. CO₂ enrichment was supposed to have greater effects on growth of chrysanthemum under high light intensity and long term of CO₂ enrichment.
11. Flowering date was faster under CO₂ enriched condition compared to the ambient one.
12. Under CO₂ enriched condition, there was no significance between day temperature and the quantitative growth (e.g. weights, number of leaves, and stem length) during the long-day period. Whereas, the day temperature had significant influence on the qualitative growth (e.g. length of flower neck and number of tubular florets) during the short-day period.
13. By enriching the atmosphere with 1,000 and 2,000 ppm CO₂ for 2.5 hours each morning, stem length, fresh weight and leaf number of cut flowers were increased by 3 to 11%, and vase life was extended 3 days compared with flowers grown at ambient CO₂ concentration of 350 ppm.
14. N, K, Mg and Na concentrations, especially in the lower leaves were lower, whereas P and Ca concentrations were either the same or higher in leaves of the CO₂ enriched plants than those of plants grown in the ambient CO₂. Starch and sugars contents in the leaves and stem were increased under CO₂ enriched condition. From these data, it is proposed that the decline of [N+K]/Ca ratio (Funakoshi, 1984) and the increase in starch and sugar contents of the leaves and stem as a result of the CO₂ enrichment effectively prolonged vase life of cut flowers.
15. CO₂ production of the leaves just after harvest was significantly reduced under CO₂ enriched condition; C₂H₄ production was unaffected.

福岡県農業総合試験場特別報告
第13号

CO₂施用によるキクの光合成効率および
切り花品質の向上に関する研究

発 行 平成11年3月
福岡県農業総合試験場
(福岡県筑紫野市吉木)

著 者 谷 川 孝 弘

印刷所 城島印刷有限会社