バラの高設ベンチ栽培における切り花の生産性向上要因の解明と環境保全技術の開発

誌名	広島県立総合技術研究所農業技術センター研究報告 = Bulletin of the Hiroshima Prefectural Technology Research Institute Agricultural Technology Research Center
ISSN	1882420X
著者名	梶原,真二
発行元	広島県立総合技術研究所農業技術センター
巻/号	86号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-103
発行年月	2009年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

バラの高設ベンチ栽培における切り花の生産性向上要因の解明と環境保全技術の開発

キーワード：固化培地，光合成，二酸化炭素，温度，仕立て法，養液循環

梶 原　真 二

- 2009 -

BULLETIN
OF
THE HIROSHIMA PREFECTURAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE
AGRICULTURAL TECHNOLOGY RESEARCH CENTER
NO.86

Studies on Higher Yields and Conservation Techniques in Bench Grown Roses

Shinji KAJIHARA

Hiroshima Prefectural Technology Research Institute
Agricultural Technology Research Center
(Higashihiroshima, Hiroshima Prefecture, 739-0151 Japan)
November 2009

目　次

緒言　・・・

緒　言

切り花バラは我が国における主要な花きの一つであり，2006 年度の出荷量は 3 億 7 千万本，産出額は 230 億円で切り花ギク，ユリに次いで多い（農林水産省，2009）．市場で流通している切り花バラの形態には二種類あり，一方はシュートの腋芽に由来する花蕾を全て除去し頂花蕾のみを開花させるスタンダードタイプと，他方はシュートの頂花蕾を除去し腋芽の花蕾を開花させるスプレータイプである．財団法人日本花普及センターが全国の主な花き卸し売り市場出荷を調査した報告(2009)によれば，スタンダードタイプの切り花生産が 80%を占めている．このうち，もっとも生産量が多い品種は，高芯剣弁で鮮紅色の‘ローテローゼ’である．

切り花バラを生産する場合の栽培様式は，従来から行われている土壌を培地とする土耕栽培と高炉スラグや玄武岩を主原料として高温で融解し繊維状にした岩綿と呼ばれる人造鉱物繊維を培地とするロックウール栽培の二つに大別できる．

土耕栽培による切り花生産は，5 枚葉を収穫時に 1～2 枚残して収穫する切り上げ仕立て法で主に行われており，1 年に 1 回は作業性の改善を図るために樹高を低くする必要がある．そのため，剪定作業を切り花単価の安い 6～7 月に行なう夏季剪定作型が一般的である(林，1998b)．

ロックウール栽培による切り花バラの営利生産は，1985 年に神奈川県で初めて行われて以降，急速に増加してきた（原，1987）．ロックウール栽培は施肥・潅水がマニュアル化されていることから，作業の省力化が可能である．そのため，ロックウール栽培では土耕栽培と比較して生産者 1 戸当たりの栽培面積は大きくなってきている．ロックウールスラブを培地に用いたバラの養液栽培面積は，広島県内では全栽培面積の 79%で 6.7ha（広島県農業改良普及センター調査，2004）にも達している．

ロックウール栽培は，肥料として微量要素も含む培養液を施与するために，土耕栽培のバラに発生しやすいクロロシス（加藤，1996）は発生しにくい．そのため，クロロシスの発生を防ぐために，設備投資を行い土耕栽培からロックウール栽培に切り替える生産者も多い．しかしながら，バラ切り花の単価は下げ止まり傾向は見られるものの，1990 年の 90 円を最高に 2008 年度には 73 円にまで下落している（農林水産省，1991～2008）．ロックウール栽培は省力である反面，栽培ベンチや液肥混入器等に関する初期の設備投資費が大きいことから経営の合理化を求める生産者は多い．また，バラのロックウール栽培はオランダの技術を模倣しており，我が国の気候条件に適合しているとは言い難いため，培養液管理については体系化を図る必要がある．さらに，土耕栽培と同様に根頭がんしゅ病に強く肥料吸収が旺盛で樹勢の強い台木接ぎ

挿し木苗を用いる栽培も行われているが，無菌状態のロックウールスラブを培地とし培養液を施与してバラを栽培する場合，土耕栽培で問題となる根頭がんしゅ病は発生せず，肥料成分の過不足も生じにくい．接ぎ挿し苗の単価は挿し木苗と比較して約30%高額なため種苗費が生産費に与える影響は大きいことから，栽培様式の主流となりつつある養液栽培における接ぎ挿し苗の必要性について明らかにしなければならない．

高設式のロックウールベンチ栽培を前提に，夏季剪定が不要で周年収穫が可能なアーチング仕立て法（高須賀ら，1991）が開発された．アーチング仕立て法の利用に際しては，エアリッチ®・アーチング®栽培研究会に入会するとともに特許実施許諾契約を締結し，栽培面積に応じた特許実施料の支払いが必要である．そのため，特許実施許諾料の発生しない，土耕栽培で開発されたハイラック仕立て法（矢吹・草野産業㈱，1994）も高設式のロックウール栽培に応用され，また，同様の理由でシュート水平折り曲げ仕立て法（今井・横道，1997）によっても収穫が行われている．

ロックウール栽培で広く用いられている仕立て法であるアーチング仕立て法とハイラック仕立て法を比較した文献は少なく，二村ら（1997）はハイラック仕立て法の切り花生産性はアーチング仕立て法と比較して高かったと報告している．しかし，それら二つの仕立て法に加えて，シュート水平折り曲げ仕立て法で同時に切り花生産性を同時に比較した文献は見当たらない．株元から発生するベーサルシュートを基部で採花するアーチング仕立て法は採花母枝を持たないが，ハイラック仕立て法は1株当たり3～5本程度の採花母枝を持つ．生産性は，採花母枝の有無に起因していると考えられるが明らかでなく，採花母枝の機能を解明する必要がある．また，いずれの仕立て法も同化専用枝（嶋本ら，1993）と呼ばれる水平以下に折り曲げられた葉を着けたシュートを持つ．アーチング仕立て法では，生産性の観点から3前後のLAIが適するとされているが（Shimomura ら，2003），同化専用枝そのもの機能や役割に関する研究はみられない．そのため，同化専用枝が大きな役割を果たしていると考えられるが，生産性の向上を図るためには同化専用枝の機能について明らかにする必要がある．アーチング仕立て法は，切り上げ仕立て法と比較して長大な切り花が収穫できることが知られている（Ohkawa・Suematsu, 1999）．このことから，業務用需要には適しているが，その需要は減少傾向にある．農林水産省は，2005年に花き産業振興方針を策定し，その中でホームユース需要に対応した短茎・多収技術の確立を求めているが，短茎・多収に適した仕立て法は明らかになっていない．

ところで，我が国のロックウール栽培の多くは，排液と呼ばれる施与後にロックウールスラブに吸収されなかった過剰な培養液を系外へ排出するかけ流し方式で行われている（田中・安

井，1992）．かけ流し方式では，排液中の肥料成分による環境への負荷の増大が懸念されている．一方，オランダでは法規制により排液の排出が制限されており，1998 年には，すでに 75%の農園で閉鎖型の養液循環式栽培が行われている（糠谷，1999）．そのため，我が国のロックウール栽培でも排液を再利用する閉鎖型の養液循環式栽培技術の開発が求められている．養液循環式栽培は，これまで廃棄していた排液を循環利用するので，肥料コストの低下にも寄与できる技術である．しかし，養液循環式栽培では，肥料組成の変動によるクロロシスの発生や病原菌の混入による枯死株の発生（佐藤，2006）に起因する生産性の低下を防ぐ技術を開発することが重要である．オランダで導入されている紫外線，オゾンや熱による培養液の殺菌装置は導入や稼動に高額の費用を要する（西，1999）ことから，我が国ではほとんど使用されておらず，我が国の現状に即した技術開発を行う必要がある．

さらに，生産現場においては，使用済みロックウールスラブの廃棄処分に関わる問題が発生している．施設面積 10a 当たり，13.5m^3 の使用済みロックウールスラブが植え替えごとに廃棄されており，廃棄処分に要する費用は 27,000 円となっている（広島県立総合技術研究所農業技術センター調査）．資源循環型の栽培体系を構築するためには，使用済みロックウールスラブを廃棄せず可能な限り再利用する必要がある．ところが，ロックウールスラブは，経年変化により弾性が低下し，保水量が減少することから，そのままでは再利用することができない．そのため，再生や再利用が可能な，環境に優しいロックウールスラブに替わる培地の開発が求められている．

そこで，本研究は養液栽培におけるスタンダードタイプのバラの切り花生産性，形質の向上および環境への負荷軽減を図るために，我が国で最も栽培面積の多い‘ローテローゼ’を用いて，第 1 章で台木の種類および仕立て法が生産性に及ぼす影響について検討した．また，生産性を低下させない採花母枝の長さおよび定植から同化専用枝折り曲げまでの期間を明らかにした．次に，第 2 章において，切り花生産性に大きく関与する環境要因を明らかにするために気温と茎径日変化の関係および光合成速度，気温と生産性ならびに形質について検討した．また，同化専用枝および採花母枝の機能について同位体二酸化炭素を用いて明らかにするとともに，二酸化炭素施与の有効性について検討した．最後に，第 3 章では排液を栽培施設外へ廃棄させない養液循環式栽培技術の実用性について検討し，過剰な肥料成分の排出を防止できる合理的な養水分管理技術の開発を行った．さらに，廃棄処分が問題となっているロックウールスラブの代替培地の実用性について検討し，再利用が可能な培地の選定を行った．

第1章　仕立て法の改良による切り花の生産性向上

第1節　仕立て法と生産性および形質

切り花バラの営利生産において，ロックウールを培地とする養液栽培が 1985 年に日本へ導入（原，1987）されて以降，急速に普及してきた．高設ベンチを前提としたロックウール栽培では，株元から発生した枝を折り曲げて同化専用枝（嶋本ら，1993）とし，ベーサルシュートを発生基部から収穫するアーチング仕立て法（高須賀ら，1991）が開発された．その後，同化専用枝を株元と採花母枝のいずれにも有し，採花母枝の上部から発生するシュートを基部から収穫するハイラック仕立て法（矢吹・草野産業㈱，1994）が，さらにはベーサルシュートをベンチ上で水平に折り曲げて採花母枝とし，その先端部および株元から発生する枝を折り曲げて同化専用枝とし，ベーサルシュートの腋芽から発生するシュートを基部から収穫するシュート水平折り曲げ仕立て法（今井・横道，1997）が開発された．これらの仕立て法はいずれも特許技術となっており，バラの切り花生産現場において広く活用されている．二村ら（1997）は，アーチング仕立て法とハイラック仕立て法における生産性および形質を調査し，生産性はハイラック仕立て法が，形質はアーチング仕立て法が高かったと報告している．しかし，これら三つの仕立て法における切り花の生産性および形質を同時に比較した報告は見当たらない．そこで，仕立て法が切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した．

1.材料および方法

バラ‘ローテローゼ’の挿し木苗を用い，定植は 1997 年 6 月 26 日に行った．硬質プラスチックフィルムハウス内に設置した高さ 60cm のベンチ上にポリエチレンクロスフィルム（㈱二葉商会）を敷き，その上に長さ 91.0cm×幅 20.0cm×厚さ 7.5cm のロックウールスラブ（ニチアス㈱）を並べて被覆した．定植の方法は，株間 15cm×条間 40cm の 2 条植え（栽植密度：6000 株･10a^{-1} 相当）として挿し木苗を置床した．培養液は，多量要素に KSK-101 および KSK-102 号を，微量要素に KSK-104（いずれも草野産業㈱）を用いて，第 1-1 表の濃度および第 1-2 表の施与量で毎日かけ流しとして施与した．窒素，リン，カリウム，カルシウムおよびマグネシウムの配合比率は，それぞれ 100:23:91:72:13 とした．

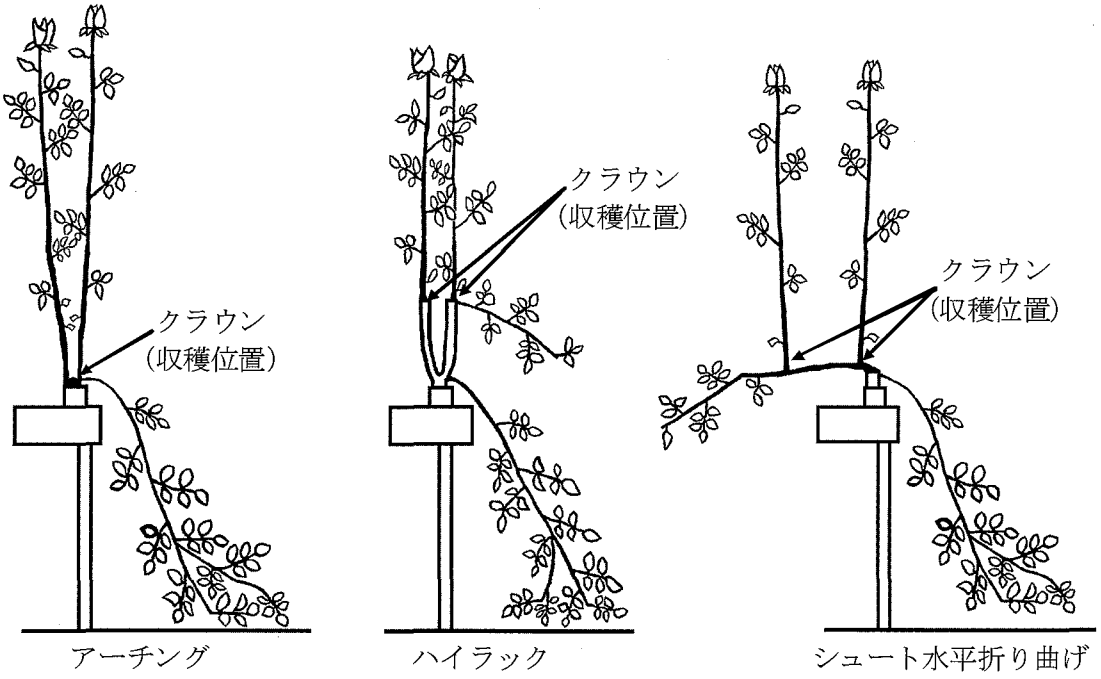
実験期間中の加温温度は 16℃とし，25℃で天窓を開放した．供試株数は，1 区当たり 4 株の 4 反復とした．定植後は摘蕾を行いながら葉数を確保し，9 月 29 日にすべてのシュートを水平以下の角度へ折り曲げて同化専用枝とした．仕立て法の模式図を第 1-1 図に示した．アーチン

第1-1表　施与時期ごとの培養液濃度

施与時期	NO_3-N	NH_4-N	PO_4-P	K	Ca	Mg	Mn	B	Fe	Cu	Zn	Mo
	(ppm)											
4～ 5月	170.0	20.0	60.0	240.0	164.0	50.0	1.0	1.0	4.6	0.06	0.12	0.06
6～ 9月	113.3	13.3	40.0	160.0	109.3	33.3	0.7	0.7	4.0	0.05	0.11	0.05
10～11月	170.0	20.0	60.0	240.0	164.0	50.0	1.0	1.0	4.6	0.06	0.12	0.06
12～ 3月	261.5	30.8	92.3	369.2	252.3	76.9	1.5	1.5	5.6	0.07	0.14	0.07

第1-2表　施与時期ごとの培養液量

施与時期	施与量	施与回数	総施与量
	(mL·株$^{-1}$)	(回·日$^{-1}$)	(mL·株$^{-1}$)
4～ 5月	200	3	600
6～ 9月	200	5	1,000
10～11月	200	3	600
12～ 3月	200	2	400



第1-1図　仕立て法の模式図

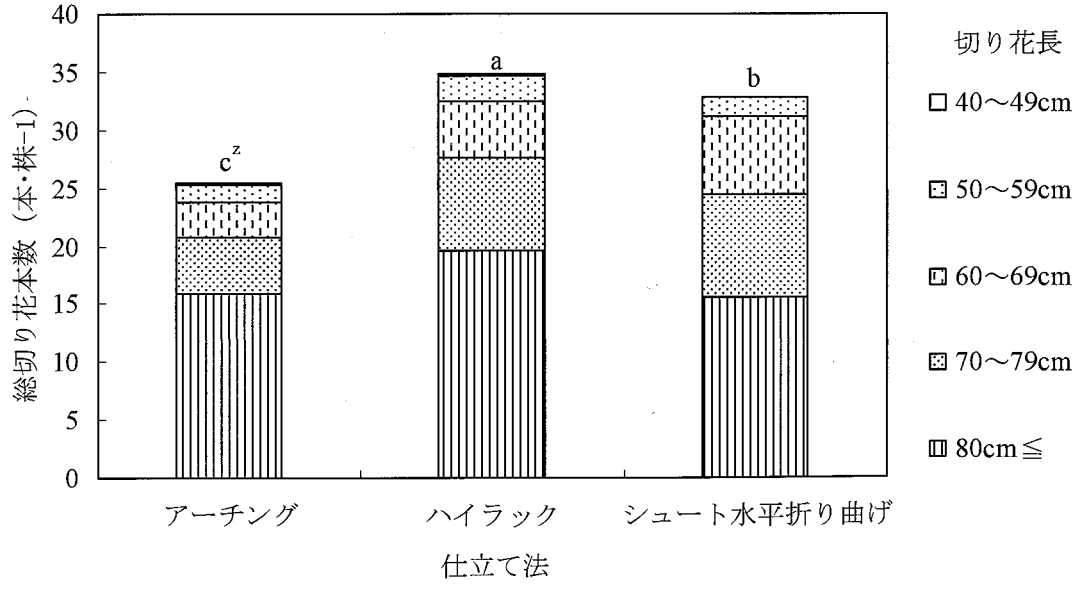
グ仕立て法では，折り曲げ後に発生したベーサルシュートを発生基部から収穫した．ハイラック仕立て法では，ベーサルシュートを高さ 20cm でピンチし，採花母枝とした．1 株当たりの採花母枝数は，2～5 本で平均 3 本とした．シュート水平折り曲げ仕立て法では，折り曲げ後に

発生したベーサルシュートの内，1 本をベンチ上に水平に折り曲げて採花母枝とし，その先端部は水平以下に折り曲げて同化専用枝とした．なお，いずれの仕立て法においても，ブラインドシュートおよび収穫段階に達した長さが 40cm 未満のシュートは，摘花後に発生基部から同化専用枝として折り曲げた．切り花の収穫調査は，収穫開始期から 1 年間にわたって毎週 5 回以上，シュートが 40cm 以上となったものについて，萼片が水平程度に開いたステージ 4（市村，2008）で収穫し，切り花本数，切り花長，切り花重および節数について行った．

2.結果

収穫開始から 1 年間の 1 株当たりの総切り花本数は，ハイラック仕立て法で最も大きく 34.8 本であり，次いでシュート水平折り曲げ仕立て法の 32.9 本，アーチング仕立て法の 25.4 本の順に大きかった（第 1-2 図）．市場出荷規格による切り花長別にみると，いずれの区においても，80cm 以上の切り花本数が最も大きく，ハイラック仕立て法では 19.6 本，アーチング仕立て法では 15.9 本，シュート水平折り曲げ仕立て法では 15.5 本であった．同様に，70～79cm の切り花本数は，ハイラック仕立て法では 8.0 本，アーチング仕立て法では 4.8 本，シュート水平折り曲げ仕立て法では 9.0 本であった．一方，40～49cm の切り花本数は，いずれの仕立て法においても極めて小さく 0.4～0.7 本であり，処理区間に差はなかった．

切り花形質をみると，調査期間を通した平均の切り花長はアーチング仕立て法で最も大きく



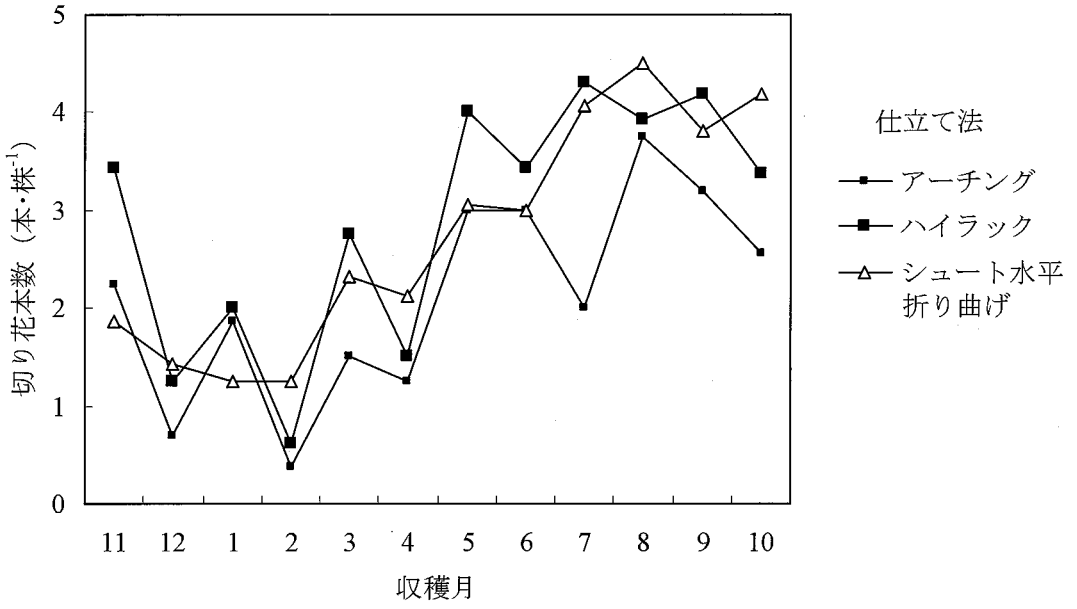
第1-2図　仕立て法がバラ‘ローテローゼ’の切り花長別の切り花本数に及ぼす影響

z 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない

第1-3表　仕立て法がバラ‘ローテローゼ’の切り花形質に及ぼす影響

仕立て法	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数 (節)	切り花重/切り花長 ($g \cdot cm^{-1}$)
アーチング	87.4b[z]	48.5b	15.4b	0.56
ハイラック	81.6a	42.2a	14.5ab	0.52
シュート水平折り曲げ	80.2a	41.4a	14.1a	0.52

[z] 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない



第1-3図　仕立て法がバラ‘ローテローゼ’の収穫月別の切り花本数に及ぼす影響

87.4cm であり，ハイラック仕立て法とシュート水平折り曲げ仕立て法が同程度で，それぞれ 81.6cm と 80.2cm であった（第 1-3 表）．切り花重は，切り花長の大きかったアーチング仕立て法で大きく 48.5g であり，ハイラック仕立て法とシュート水平折り曲げ仕立て法が同程度で，それぞれ 42.2g と 41.4g であった．節数は，切り花長の大きかったアーチング仕立て法で大きく 15.4 節であり，ハイラック仕立て法とシュート水平折り曲げ仕立て法が同程度で，それぞれ 14.5 節と 14.1 節であった．切り花重を切り花長で除した比である W/L（Morisot ら，1998）値は，切り花長と切り花重の大きかったアーチング仕立て法で大きく 0.56 であり，ハイラック仕立て法とシュート水平折り曲げ仕立て法は同じ 0.52 であった．

収穫月別の切り花本数をみると，収穫を開始した翌月の 12 月には少なくなり，1 月には増加した（第 1-3 図）．しかし，2 月にはすべての区で最も少なくなったが 0 になることはなかった．

3月以降は，増減を繰り返しながら徐々に増加する傾向にあった．

3.考察

バラの養液栽培において，仕立て法が切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した．その結果，総切り花本数はハイラック仕立て法が最も大きく（第1-2図），切り花形質はアーチング仕立て法が最も優れる（第1-3表）ことが明らかとなり，二村ら（1997）の報告と一致した．また，これら三つの仕立て法は，収穫時にシュートを発生基部から採花することから，樹高が高くならず作業性に優れる．加えて，収穫時に5枚葉を1～2枚残す切り上げ仕立て法で作業性を改善するために必要な切り戻し剪定が不要であり，周年収穫が可能であった（第1-3図）．

アーチング仕立て法における萌芽部位は株元のクラウン1か所のみであるのに対し，ハーラック仕立て法では採花母枝の腋芽が萌芽部位となるので，1株には2～5か所の萌芽部位がある．また，シュート水平仕立て法では，折り曲げたベーサルシュートの節（葉腋）の内，2～3節程度が萌芽部位となる．収穫開始月である11月の1株当たりの切り花本数は，第1-3図に示したように，アーチング仕立て法が2.3本，ハイラック仕立て法が3.4本，シュート水平折り曲げ仕立て法が1.9本であった．ハイラック仕立て法では，この時の切り花本数が採花母枝の数である3よりも多かったが，これは採花母枝の頂部のみならず，直下の腋芽由来のシュートが収穫できたためである．これらのことから，収穫開始時における萌芽部位の数が総切り花本数の差に繋がったと考えられる．本節では，シュート水平折り曲げ仕立て法において，ベンチ上に折り曲げるベーサルシュートの本数を1本に制限したが，生産現場においては，2本以上折り曲げて採花母枝する事例もみられる．採花母枝が2本の場合，切り花本数は増加するが形質は低下するとされている（松本・加藤，2006）．そのため，ベンチ上に折り曲げるベーサルシュートの本数については，今後詳細に検討する必要があろう．

最低気温を16℃とした場合の‘ソニア’の到花日数は，53日であった（大川・竹内，1980）とされていることから，‘ローテローゼ’の冬期の到花日数も同程度と考えられる．そのため，収穫を開始した秋以降の収穫月別の切り花本数は，ほぼ1か月ごとに増減を繰り返しながら冬期に低下し，春期以降は増加する傾向を示したのであろう（第1-3図）．シュート水平折り曲げ仕立て法では側面を向いた腋芽の萌芽が遅れて開花したことを観察しており，これが12～2月にかけての切り花本数の変動が小さかった原因と考えられる．Zieslin・Halevy（1978）は，茎を水平に折り曲げた場合，上向きにあった芽ほどよく伸長したと報告しており，この観察結果

と一致する．採花母枝を持つハイラック仕立て法およびシュート水平折り曲げ仕立て法では，いずれも収穫開始直後には採花母枝に着生していた葉が春以降に落葉した．ところが，採花母枝を持たないアーチング仕立て法のクラウン部には葉が着生していない．採花母枝に残す5枚葉が多いほど到花日数が少ない（大川，1999）とされており，葉を着けた採花母枝を持たないアーチング仕立て法における2～3月の切り花本数の減少程度が大きかったと考えられる．栽培時の温度が25℃で17℃と比較して高い場合には，到花日数が減少するとともに，切り花長および節数は減少する（Marcelis-van Acker, 1995）ことが報告されている．そのため，いずれの仕立て法においても，5月以降は，日射が強まるとともに日長が長くなり，温度が上昇したことから到花日数が少なくなり，収穫開始月である11月と比較して大きい切り花本数が得られたと推察される．

以上の結果から，バラの高設ベンチ栽培ではアーチング仕立て法，ハイラック仕立て法およびシュート水平折り曲げ仕立て法ともに，樹高を下げるための切り戻し剪定が不要であり，切り花長および切り花重ともに大きい高形質な切り花が周年収穫できることが明らかとなった．農林水産省が2005年に策定した花き産業振興方針では，ホームユース用需要の拡大にともない，業務用の80cmを中心とした出荷規格よりも短い60～65cmで問題ないとしている．こうしたことから，総切り花本数および切り花形質を総合的に考慮すると，ハイラック仕立て法が営利生産には有望なことが示唆された．

第2節　定植後の育成日数と生産性および形質

前節で比較した三つの仕立て法のうち，切り花の生産性はハイラック仕立て法が最も高く，形質はアーチング仕立て法とほぼ遜色のないことを明らかにした．しかし，ハイラック仕立て法は，アーチング仕立て法とは異なり，切り上げ仕立て法と同様に採花母枝の形成が必要である．切り上げ仕立て法では，採花母枝の直径が切り花の生産性や形質に影響することから，充実した採花母枝を形成させるためには，定植から収穫開始までの育成期間が重要とされている（林，1998a）．

そこで，ハイラック仕立て法における，定植から同化専用枝折り曲げまでの期間である育成日数が切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した．

1.材料および方法

バラ‘ローテローゼ’の挿し木苗を供試し，定植方法，栽植密度，培養液および温度管理は

第1節と同一とした．1999年8月6日の定植以降は，摘蕾を行いながら株を養成した．

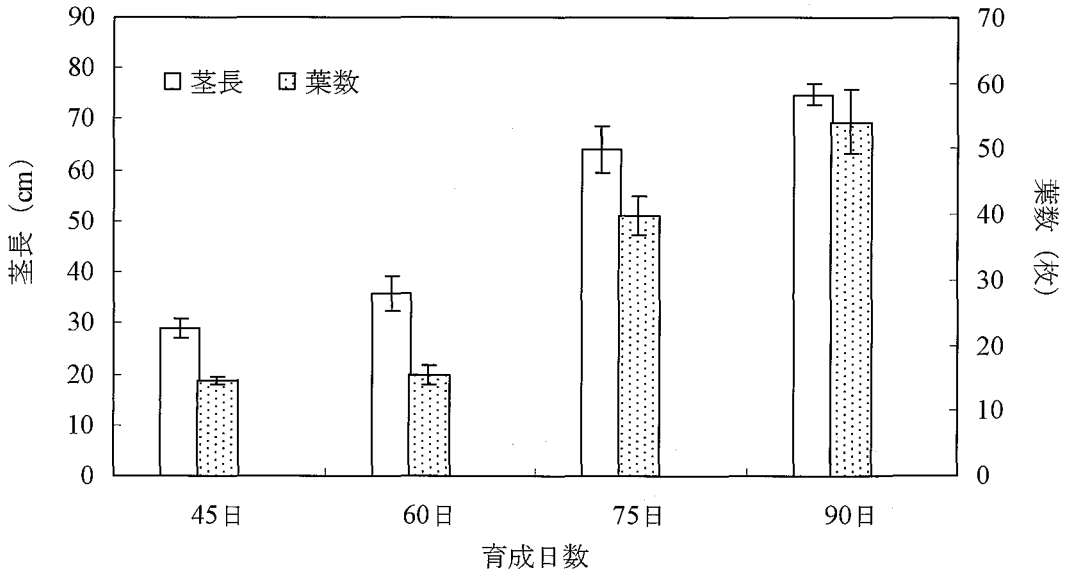
処理区として定植から同化専用枝折り曲げまでの育成日数を45, 60, 75および90日とした4区を設け，それぞれ9月20日，10月5日，10月25日および11月4日に処理を開始した．各区とも，10株ずつ供試した．各処理区では，株元の同化専用枝を折り曲げた後に発生したベーサルシュートを採花母枝とするために発蕾後に摘蕾し，その長さを基部から20cmとして折り曲げた．これらのベーサルシュートの折り曲げ位置より先端部は，同化専用枝として扱った．

切り花の収穫調査方法および同化専用枝の管理方法は，第1章第1節と同一とした．収穫調査終了時における同化専用枝の葉面積は，全ての収穫調査個体について葉面積計（AAC-400，林電工）を用いて測定した．

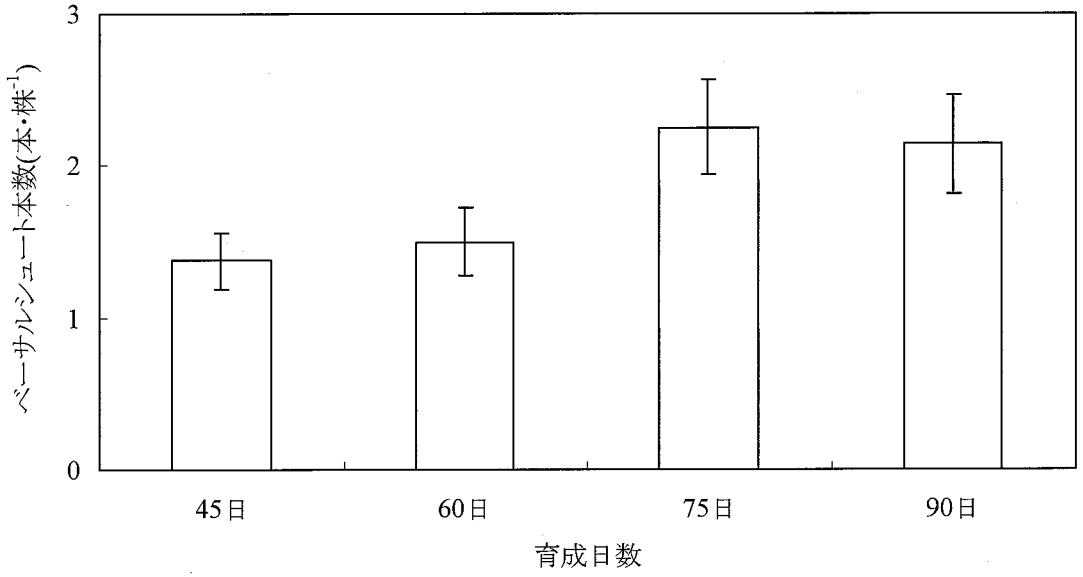
2.結果

処理区ごとの同化専用枝折り曲げ時の茎長は，45日区，60日区，75日区および90日区がそれぞれ29.1cm，35.8cm，64.0cmおよび74.8cmであった（第1-4図）．また，葉数は，45日区，60日区，75日区および90日区でそれぞれ14.5枚，15.1枚，39.8枚および54.1枚であった．

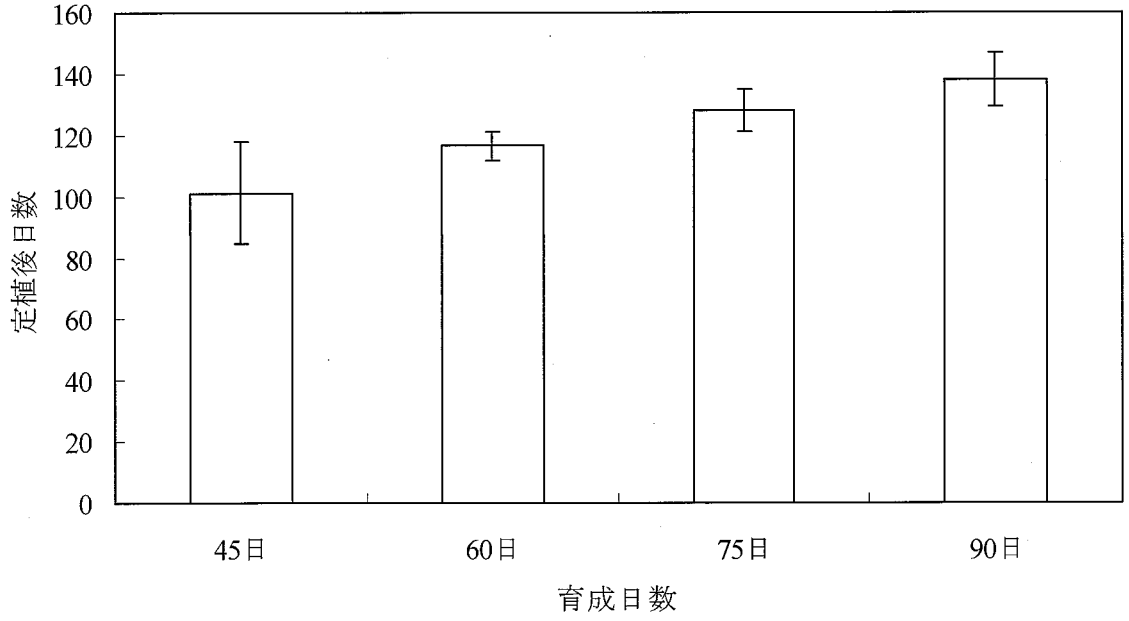
同化専用枝折り曲げ後に発生したベーサルシュートの本数は，育成日数が少ない区ほど小さくなる傾向にあり，45日区が1.4本，60日区が1.5本，75日区が2.3本，90日区が2.1本であった（第1-5図）．



第1-4図　定植から同化専用枝折り曲げまでの育成日数がバラ‘ローテローゼ’の同化専用枝折り曲げ時の茎長および葉数に及ぼす影響
図中の縦線は標準誤差(n=10)を表す

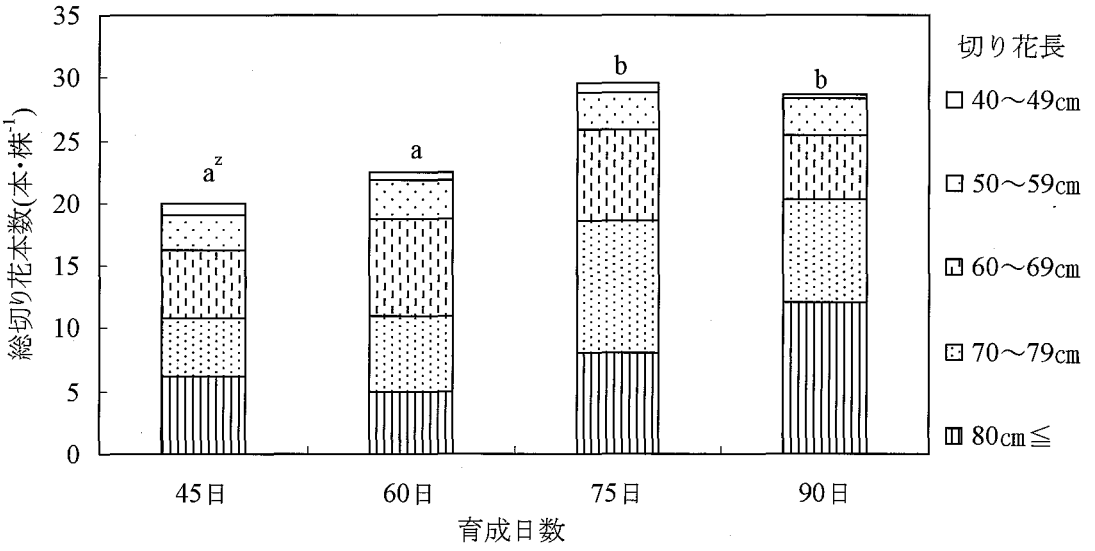


第1-5図　定植から同化専用枝折り曲げまでの育成日数がバラ‘ローテローゼ’の同化専用枝折り曲げ後のベーサルシュート発生に及ぼす影響
図中の縦線は標準誤差(n=10)を表す



第1-6図　定植から同化専用枝折り曲げまでの育成日数がバラ‘ローテローゼ’の収穫開始までの日数に及ぼす影響
図中の縦線は標準誤差(n=10)を表す

定植から収穫開始までの日数は，育成日数が少ない区ほど小さくなる傾向にあり 45 日区が 101 日，60 日区が 117 日，75 日区が 128 日，90 日区が 138 日であった（第 1-6 図）．



第1-7図　定植から同化専用枝折り曲げまでの育成日数がバラ‘ローテローゼ’の切り花本数に及ぼす影響

z 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で総切り花本数に有意な差が存在しない

第1-4表　ハイラック仕立て法における同化専用枝折り曲げまでの育成日数がバラ‘ローテローゼ’の1番花の切り花形質に及ぼす影響

育成日数	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数 (節)	切り花重/切り花長 ($g \cdot cm^{-1}$)
45日	70.9ab[z]	40.4a	14.0a	0.50
60日	69.1a	37.5a	14.1a	0.50
75日	72.6ab	36.4a	14.3a	0.54
90日	74.5b	36.8a	14.2a	0.57

z 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない

収穫開始時期が最も早かった45日区の収穫開始から1年間の1株当たりの総切り花本数は，45日区および60日区で小さく，それぞれ20.1本と22.4本であった（第1-7図）．75日区および90日区での総切り花本数は，それらと比較して有意に大きく，それぞれ29.6本と28.7本であった．80cm以上の切り花本数についてみると，90日区が12.1本と最も大きく，75日区は8.1本，60日区は5.0本，45日区は6.2本であった．40～49cmの切り花本数は，いずれの区も1本未満と小さく，処理区間に差はなかった．

収穫開始直後の1番花の切り花形質は，個体差が大きかったため有意な差はみられなかったが，育成日数が多い区ほど切り花長および切り花重ともに大きくなり優れる傾向にあった（第

1-4 表)．

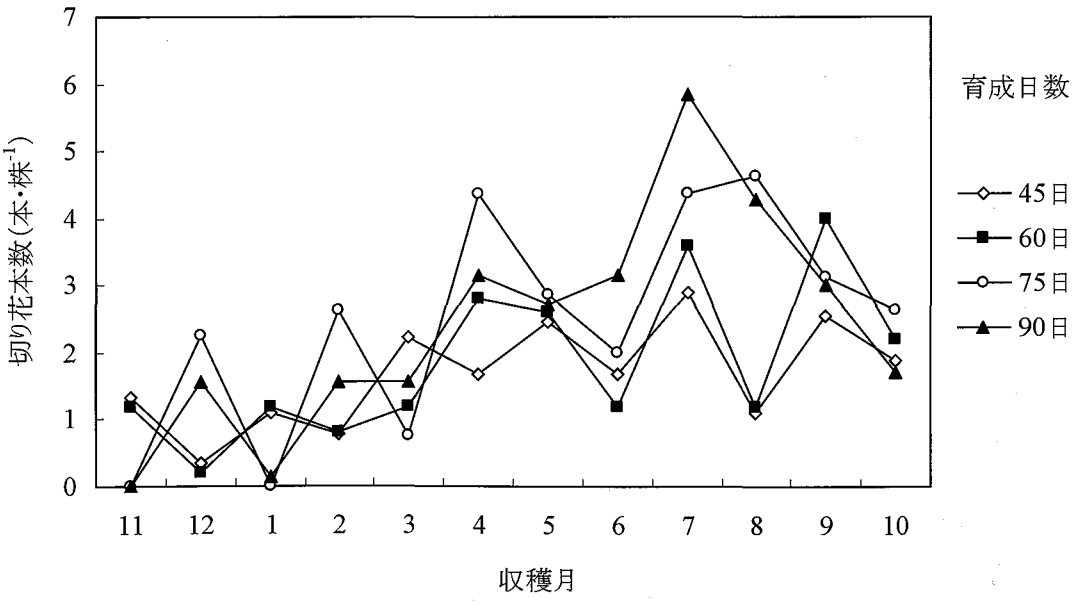
収穫期間をとおした切り花形質をみると，切り花長，切り花重および節数ともに大きな差はなかった（第 1-5 表）．切り花長は，処理区間にばらつきは見られるが，育成日数が多いほど大きくなる傾向にあった．切り花重および節数には，処理区間で差がなかった．切り花重を切り花長で除した値は,45 日区および 60 日区が 75 日区および 90 日区と比較してやや大きかった．

収穫開始は，45 日区および 60 日区が 11 月から，75 日区および 90 日区は 12 月からであった（第 1-8 図）．収穫月別の切り花本数をみると，いずれの区においても，収穫を開始した次の月には少なくなり，その翌月以降は増減を繰り返しながら徐々に増加する傾向にあった．

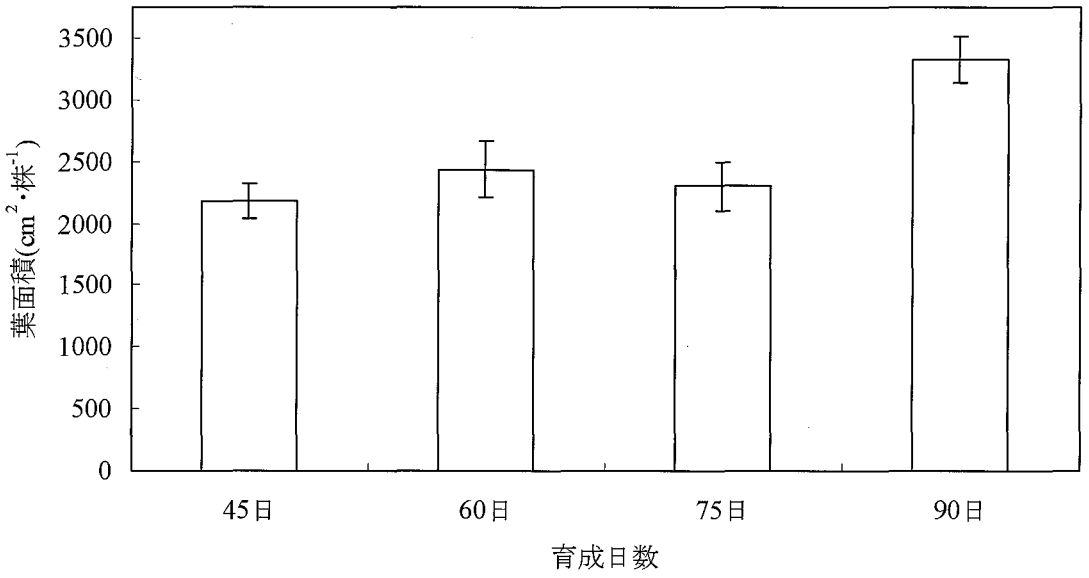
第1-5表　ハイラック仕立て法における同化専用枝折り曲げまでの育成日数がバラ‘ローテローゼ’の切り花形質に及ぼす影響

育成日数	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数	切り花重/切り花長 ($g \cdot cm^{-1}$)
45日	71.2a[z]	40.5a	14.1a	0.57
60日	69.9a	37.6a	14.2a	0.54
75日	72.5ab	35.7a	14.4a	0.49
90日	75.8b	38.5a	14.4a	0.51

[z] 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない



第1-8図　定植から同化専用枝折り曲げまでの育成日数がバラ‘ローテローゼ’の収穫月別の切り花本数に及ぼす影響



第1-9図　定植から同化専用枝折り曲げまでの育成日数がバラ‘ローテローゼ’の実験終了時の各処理区における同化専用枝の葉面積に及ぼす影響
図中の縦線は標準誤差(n=10)を表す

収穫調査終了時の同化専用枝の葉面積は，90 日区が 3326cm^2 で最も大きかったが，その他の区では，45 日区が 2182cm^2，60 日区が 2437cm^2，75 日区が 2302cm^2 であり，大きな差はなかった（第 1-9 図）．

3.考察

バラのハイラック仕立て法において，定植から同化専用枝折り曲げまでの期間である育成日数が，切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した．その結果，総切り花本数は，育成日数が大きくなるに従って増加する傾向にあり，育成日数が 75 日および 90 日の切り花生産性は，45 日および 60 日と比較して有意に高かった（第 1-7 図）．本実験では，採花母枝の茎径を測定しなかったが，観察では育成期間が長い区ほど採花母枝としたベーサルシュートの茎径が大きかった．Bryne･Doss（1981）は，採花母枝の直径と切り花生産性および形質との関係を調査し，採花母枝の茎径が大きいほど生産性および形質ともに高かったと報告している．その理由として，直径の大きい採花母枝の腋芽は発達が早く，発蕾前の花芽の大きさが大きいためとしており，本実験でも同様な現象が生じたと推察される．

定植から収穫開始までの日数は，育成日数が少ないほど小さかった（第 1-6 図）が，これは，育成日数が少ない区ほど折り曲げにより早く頂芽優勢が抑制（Cockshull･Horridge, 1977）されたためと考えられる．

同化専用枝折り曲げ時の葉数は，育成日数が多いほど大きくなり（第1-4図），処理開始後に発生したベーサルシュートの本数は，育成日数が多いほど大きくなる傾向にあった（第1-5図）．Kool･Lenssen（1997）は，同化専用枝折り曲げ時におけるバラ樹体の大きさが，ベーサルシュートの発生本数およびその茎径に影響していると報告している．このことから，本実験においても，育成中に形成された同化専用枝の葉数がベーサルシュートの発生本数を制御していること推察される．その結果，採花母枝となるベーサルシュートの本数および茎径が切り花生産性に多大な影響を及ぼしていると考えられる．

処理開始後に収穫した1番花の切り花長は，育成日数が少ないほど小さい傾向にあった（第1-4表）ことから，同化専用枝の葉面積は，切り花形質にも影響を及ぼすと考えられる．小山（2006）は，アーチング仕立て法の場合，同化専用枝が大きいとそれが小さい場合と比較して切り花長および切り花重が大きくなったとしている．本実験において，育成日数の少なかった区における切り花長が小さかったという形質の低下は，同化専用枝が短いために光合成産物の供給が不足したためと考えられる．しかし，収穫調査期間をとおした切り花長および切り花重には，処理区間に大きな差はなかった（第1-5表）．これは，採花母枝から発生したシュートの長さが40cm未満の場合には，同化専用枝として折り曲げたため，1株当たりの同化専用枝の葉面積が増加し，実験終了時の同化専用枝の葉面積は，90日区を除いて大きな差がなかった（第1-9図）ためであろう．したがって，切り花生産性および形質を低下させないように同化専用枝からの光合成産物を供給するためには，1株当たりの葉面積が最も小さかった45日区の2182cm^{2}以上の葉面積が必要と推察される．75日区および90日区の切り花重は，45日区と比較して有意な差ではなかったが，小さかった．75日区および90日区の収穫時期別の切り花本数は，7～8月に最も大きくなっており（第1-8図），高温により切り花重の小さくなった切り花を多く収穫したためである．

以上の結果から，バラの高設ベンチ栽培におけるハイラック仕立て法では，総切り花本数および切り花形質を考慮すると，定植から同化専用枝折り曲げまでの育成日数は，60日以下では不十分であり，75～90日は必要なことが示唆された．

第3節　採花母枝の長さと生産性および形質

ハイラック仕立て法の収穫位置は，アーチング仕立て法とは異なり，株元のクラウンから離れた上部にある．また，両者とも同化専用枝（嶋本ら，1993）と呼ばれる，光合成を行わせることに機能を特化した折り曲げ枝を持ち，アーチング仕立て法では，これがクラウンから折り

曲げられているのみであるのに対して，ハイラック仕立て法でのそれはクラウンと採花母枝のいずれにもある．

アーチング仕立て法やハイラック仕立て法は，収穫時に 5 枚葉を 1～2 枚残して収穫する従来の切り上げ仕立て法と比較して，長い切り花が収穫できる（Kim･Lieth,2004; 二村ら，1997; Ohkawa･Suematsu, 1999; Särkkä･Rita, 1999）．一方，これらの仕立て法における切り花生産性は，切り上げ仕立て法と比較してやや低下することが二村ら（1997）によって報告されている．アーチング仕立て法とハイラック仕立て法における切り花生産性および形質を比較した場合，切り花生産性はハイラック仕立て法で高いが，切り花長および切り花重はアーチング仕立て法が大きいことを第 1 章第 1 節で明らかにした．これら二つの仕立て法を観察すると，採花母枝の有無，またはその長さが切り花生産性および形質に影響することが推察される．しかし，ハイラック仕立て法における採花母枝の長さと切り花本数の関係について詳細に検討した研究報告は見当たらない．そこで，本節では，ハイラック仕立て法の基礎となる採花母枝の長さが，切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した．

1.材料および方法

オドラータ（*Rosa odorata* 'Sweet'）台木接ぎ挿し苗の‘ローテローゼ’を供試した．定植方法，栽植密度，培養液および温度管理は第 1 章第 1 節と同一とした．1997 年 6 月 26 日の定植後は，摘蕾を行いながら株を養成し，9 月 19 日に穂木，台木とも存在するすべてのシュートを一斉に水平以下の角度へ折り曲げて同化専用枝とした．それ以降，収穫段階に達した長さが 40cm 未満のシュートは摘花後に，またブラインドシュートは発生基部から同化専用枝として折り曲げた．なお，台木同化専用枝は長さが 100cm を超えた時点で 80cm まで切り戻した．

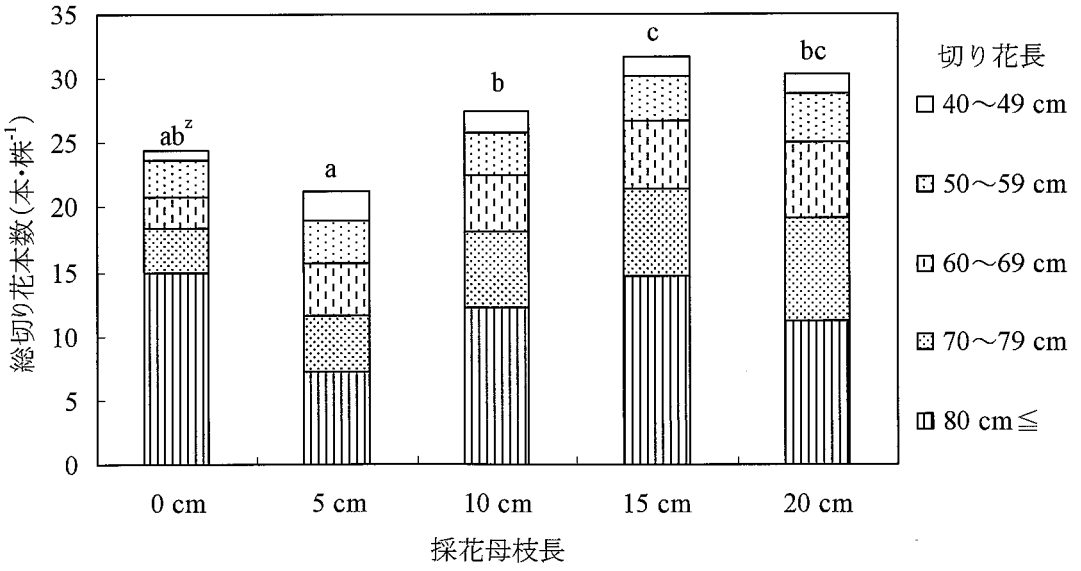
処理区として採花母枝の長さを 5, 10, 15 および 20cm とした 4 区を設けた．各区とも，8 株の 3 反復とした．各処理区では，株元の同化専用枝を折り曲げた後に発生したベーサルシュートを採花母枝とするために摘蕾し，その長さを基部から 5，10，15 および 20cm として折り曲げた．これらのベーサルシュートの折り曲げ位置より先端部は，同化専用枝として扱った．また，対照には，採花母枝を作らないアーチング仕立て法である 0cm 区を設定した．

2.結果

収穫を開始した 11 月から 1 年間の 1 株当たりの切り花長別の総切り花本数は，0 および 5cm 区で小さく，それぞれ 24.5 本と 21.3 本であった（第 1-10 図）．これに対して，10cm 区は 27.4

本，20cm 区は 30.4 本と大きくなり，15cm 区では最も大きい 31.8 本であった．80cm 以上の切り花本数についてみると，0cm 区と 15cm 区が同じでそれぞれ 15.0 本と 14.7 本と大きく，10cm 区と 20cm 区はそれぞれ 12.3 本と 11.2 本で同程度であった．しかし，5cm 区は最も小さく 7.3 本であった．同様に 70～79cm の切り花本数は，0cm 区が 3.4 本，5cm 区が 4.4 本，10cm 区が 5.8 本，15cm 区が 6.8 本，20cm 区が 7.9 本であった．一方，40～49cm の切り花本数は，いずれの区も小さく 0.8～2.2 本であり，処理区間に差はなかった．

切り花形質をみると，切り花長，切り花重および節数ともに 0cm 区が他の区と比較して有意に大きかった（第 1-6 表）．すなわち，切り花長は 0cm 区が 85.4cm であり，他の区と比較して 8.4～11.9cm 大きかった．切り花長には採花母枝長が 5～20cm の処理区間内で有意な差がみられたが，いずれの処理区も 70cm 以上であった．切り花重は切り花長の大きかった 0cm 区が 53.1g であり，他の区と比較して 14.4～16.5g 大きかった．しかし，採花母枝長が 5～20cm の処理区間内の切り花重には，有意な差がなかった．節数は切り花長の大きかった 0cm 区が 16.4 節であり，他の区と比較して 0.4～1.7 節大きかった．しかし，採花母枝長が 5～20cm の処理区間内の節数には，有意な差がなかった．切り花重を切り花長で除した値は，0cm 区が 0.62 であり，他の区と比較して 0.11～0.13 大きかった．収穫月別の 1 株当たりの切り花本数の推移を見ると，収穫開始から 4 月まではいずれの区とも 1 か月ごとに増減を繰り返した（第 1-11 図）．このため，12 および 2 月の切り花本数は小さく，いずれの区においても 1 本以下であった．5 月以降



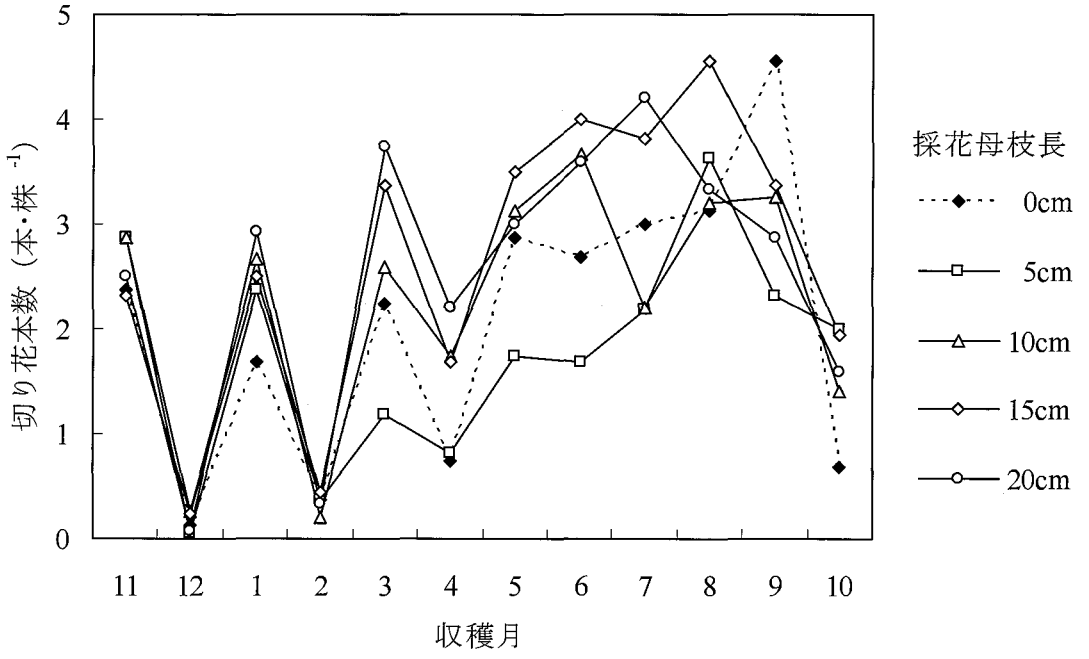
第1-10図　採花母枝長がバラ‘ローテローゼ’の切り花長別切り花本数に及ぼす影響

[z] 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により総切り花本数に有意な差が存在しない

第1-6表　採花母枝長がバラ‘ローテローゼ’の切り花形質に及ぼす影響

採花母枝長	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数 (節)	切り花重/切り花長 ($g \cdot cm^{-1}$)
0cm	85.4c[z]	53.1b	16.4b	0.62
5cm	73.5a	37.7a	14.7a	0.51
10cm	76.5ab	38.7a	15.0a	0.51
15cm	77.0b	38.2a	14.9a	0.50
20cm	74.3ab	36.6a	16.0a	0.49

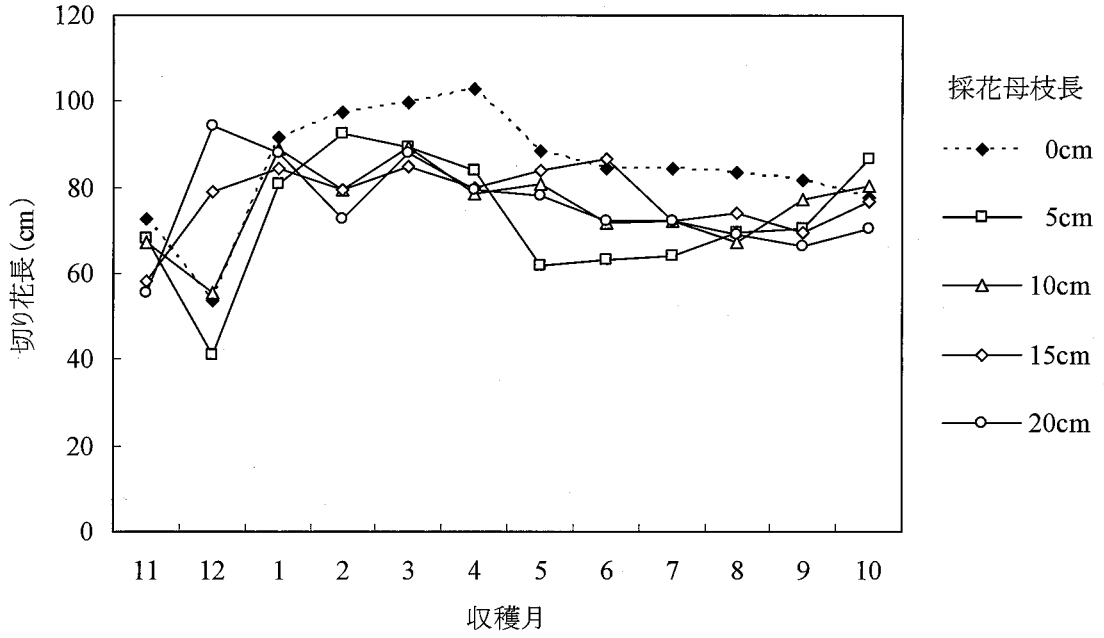
[z] 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない



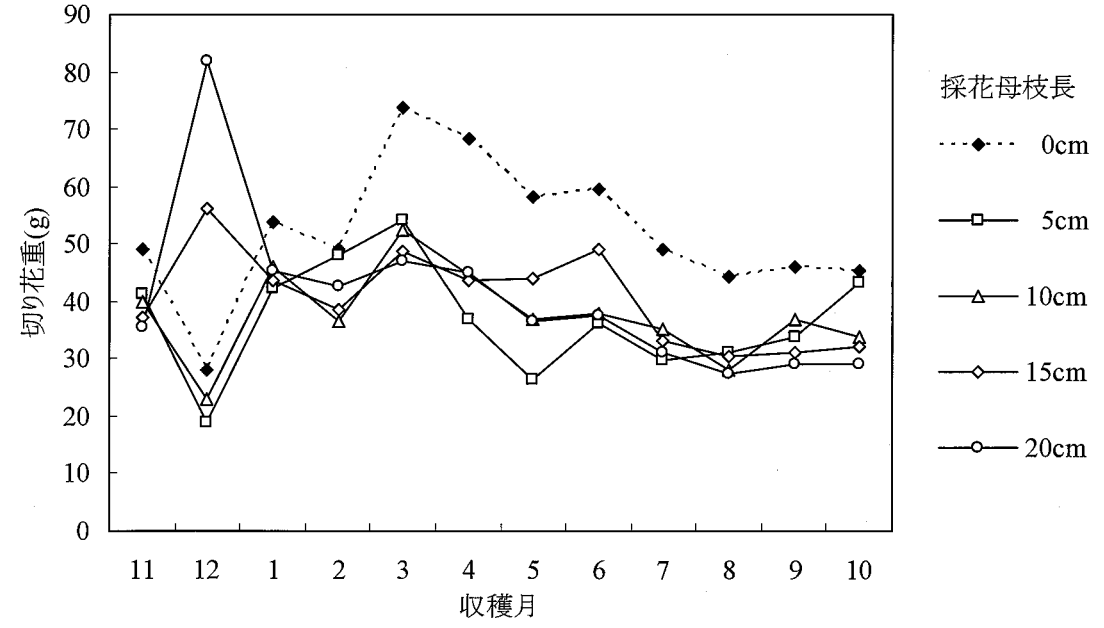
第1-11図　採花母枝長がバラ‘ローテローゼ’の収穫月別の切り花本数に及ぼす影響

の切り花本数は増減幅が小さくなり，8月までは20cm区を除いて徐々に増加したが，20cm区では7月以降に減少がみられた．切り花本数が最も大きかった時期は，いずれの区においても6～9月の高温期であったが，5および15cm区では8月以降，0cm区および10cm区では9月以降急激に切り花本数が小さくなった．

収穫月別の切り花長の推移をみると，0cm区の切り花長は，12, 6および10月を除いて，他区と比較して大きかった（第1-12図）．15cm区および20cm区は12月の切り花長が大きくなったが，処理による差ではなく開花が遅れた大きい切り花のためであった．いずれの区も，切



第1-12図　採花母枝長がバラ‘ローテローゼ’の収穫月別の切り花長に及ぼす影響



第1-13図　採花母枝長がバラ‘ローテローゼ’の収穫月別の切り花重に及ぼす影響

り花長は収穫開始から 2～3 月までは大きく，5～8 月までは小さかったが，9 月からは再び大きくなる傾向がみられた．

収穫月別の切り花重の推移をみると，15cm 区および 20cm 区の切り花重は 12 月に大きくなった（第 1-13 図）．その後，切り花重はいずれの区においても，低温期の 3 月に最も大きくな

り，それ以降は 8 月まで小さくなる傾向がみられた．

3.考察

バラのハイラック仕立て法において，アーチング仕立て法を対照に採花母枝の長さが切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した．その結果，採花母枝が 0cm であるアーチング仕立て法の総切り花本数が小さかった（第 1-10 図）．理由として，二村ら（1997）が指摘しているように，花茎の発生位置が株元のクラウン 1 か所のみであり，採花母枝を数本持つハイラック仕立て法と比較して採花部位が少なかったためと考えられる．逆に，採花母枝 15 および 20cm 区の切り花本数が多い理由として，花茎を発生させる採花母枝長が大きいので容量が大きいことからシンク能が強く，光合成産物の貯蔵能力が高いためではないかと考えられる．そのため，採花部からの萌芽数が増加したと推察される．一方，5cm 区では最も切り花本数が小さくなった．この理由として，採花母枝長が小さいために光合成産物の貯蔵能力があまり高くないことが考えられる．さらに，採花母枝に由来する同化専用枝と株元に由来する同化専用枝の距離が近いため，上位にある採花母枝の同化専用枝が下位にある株元の同化専用枝を遮光し，その部位の光合成量が低下した上に，下位葉を維持するために光合成産物が消費されたことから切り花本数に影響したと考えられる．また，topophysis と呼ばれる母枝の腋芽の着生位置が成長と分化に及ぼす影響（Bredmose･Hansen, 1996; Bredmose ら，1999）が強く作用していることも考えられる．Le Bris ら（1997）は，シュートの上位に着生する腋芽の生育は下位に着生する腋芽の生育と比較して早かったことを報告している．これらのことから，採花母枝長が大きい場合には花茎の生育が促進され，切り花生産性が高くなったとも考えられる．

アーチング仕立て法やハイラック仕立て法の切り花は，従来の切り上げ仕立て法と比較して長大であるとされている（Kim･Lieth, 2004; 二村ら，1997; Ohkawa･Suematsu, 1999）．アーチング仕立て法やハイラック仕立て法において切り花長が大きい主要な理由は，切り上げ仕立て法のように 5 枚葉を 1～2 節残して収穫するのではなく，花茎基部で収穫するためである．さらに，切り上げ仕立て法では萌芽から花茎伸長までの期間における光合成産物の供給は，前の花茎を収穫した時に残された 5 枚葉に由来するものである（Kohl･Smith, 1970; Mor･Halevy, 1979）．一方，ハイラック仕立て法では，株元の同化専用枝に由来する光合成産物は採花母枝へも転流することが知られている（梶原ら，2000）．そのため，アーチング仕立て法でも同様に萌芽部への光合成産物の転流量が大きくなり，長大な切り花が収穫できたと考えられる．

月別の切り花本数については，気温が高いと萌芽日数や到花日数が小さくなるように

(Marcelis-van Acker, 1995), 4 月以降は気温の上昇に伴い収穫から収穫までの期間が短くなり, 増減幅が小さくなったと考えられる (第 1-11 図). 一方, ほとんどの区で 8 月以降急速に切り花本数が低下したのは, 気温の低下によって萌芽日数および到花日数が大きくなったためと考えられる.

収穫開始月の切り花長は, 15 および 20cm 区が他区と比較してやや小さかった (第 1-12 図). これらの区では採花母枝長が大きいため, 最初の花茎の萌芽位置は他の区と比較して上位節からとなる. バラは摘花後, 花芽分化前に小葉を形成し, 花芽分化前に形成される節数は母枝の葉位が高くなるほど減少する (大川, 1999). そのため, 採花母枝長が大きいほど腋芽の生長が進んでおり, 低節位で開花したと考えられる.

1 か月ごとにみた収穫月別の切り花重は, ほとんどの区で 3 月に最大となった (第 1-13 図). Van den Berg (1984) は, 'Sonia'の切り花重は平均気温 17℃で最も大きくなり, それ以上では急速に低下すると報告している. 本実験では最低気温を 16℃以上に維持したので, 今回供試した 'ローテローゼ' においても, 低温期に発達した花茎の切り花重が大きくなったと考えられる. 一方, Mathis (1973) が報告しているように, 高温期に切り花重は低下する傾向を示した. これは, バラの葉の光合成速度は, 35℃を超えると急速に低下する (Lieth･Pasian, 1990) ので, 同化専用枝からシュートへの光合成産物の転流量が減少したことや, 開花までの日数が小さくなるために同化産物の供給が追いつかなかったことが理由として考えられる.

以上の結果から, バラのハイラック仕立て法における採花母枝の長さは, 切り花の生産性および形質に影響を及ぼすことが明らかとなった. 採花母枝の長さを 15～20cm にすることでアーチング仕立て法と比較して切り花形質を低下させることなく, 生産性を向上できることが明らかとなった.

第 4 節　台木および台木同化専用枝の有無と生産性および形質

我が国の土耕栽培における切り上げ仕立て法では, 挿し木苗と比較して生産性が高く, 根頭がんしゅ病や半身萎凋病への耐病性の高い台木接ぎ木苗が広く利用されている (大川, 1973). また, 接ぎ木苗の台木には *Rosa multiflora* が最も多く用いられている (林, 1998a). 切り上げ仕立て法において, 台木が生産性に及ぼす影響を調査した報告は多い (De Vries･Dubois, 1989, 1990; 大川, 1973; Kool･Van de Pol, 1992; Raviv ら, 1993). しかし, ロックウール栽培によるバラの切り花生産では, 台木接ぎ挿し苗と比較して種苗費の安価な挿し木苗を利用する事例が多い. しかも, 仕立て法は, 土耕栽培で広く行われている収穫枝の下位の 5 枚葉を 1～2 枚残

して収穫する切り上げ仕立て法ではなく，挿し木苗を用いて，定植後に発生した初期のシュートを折り曲げて同化専用枝とし，収穫位置を一定にして切り花シュートを伸長させるアーチング仕立て法やハイラック仕立て法が主流となっている．ところが，今井・横道（1997）は，台木接ぎ挿し苗を用いて，穂木に由来するシュートのみならず台木の腋芽に由来するシュートをも折り曲げて同化専用枝とする仕立て法を考案し，特許を取得した．

これまでに，養液栽培における同化専用枝を持つ仕立て法において，これに適する台木の種類および台木に由来する同化専用枝の影響は明らかにされていない．また，接ぎ木苗の台芽の伸長を放任した場合には，穂木と台芽の競合により，穂木の生育が不良となることが小西（1991）によって指摘されている．そこで，本節では，バラのハイラック仕立て法における台木，台木由来の同化専用枝の有無と仕立て法が切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した．

1.材料および方法

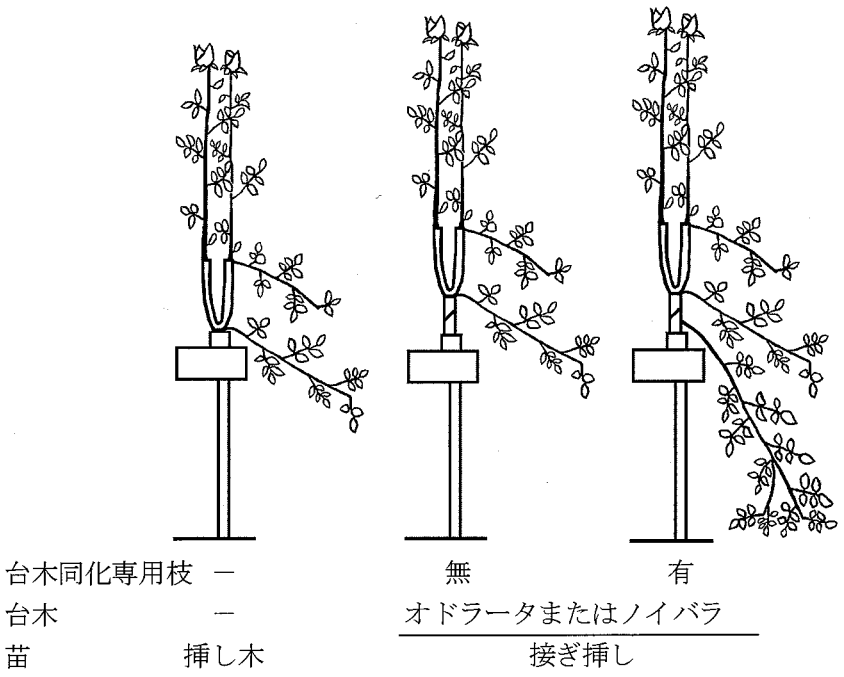
供試品種，定植方法，栽植密度，培養液および温度管理は第1章第1節と同一とした．対照には挿し木苗を，接ぎ挿し苗の台木には，*Rosa odorata* 'Sweet'（以下，オドラータ）および *Rosa multiflora* 'K-2'（以下，ノイバラ）を用いた．接ぎ挿し苗を用いた場合には，台木由来のシュートを発生させて穂木から発生したシュートとともに同化専用枝として折り曲げた区および台木由来のシュートを発生させない区を設けた（第1-14図）．これら，台木および台木同化専用枝の有無を組み合わせた4処理区を設けた．対照区には挿し木苗を用いた．台木同化専用枝を持つ樹形管理法は，公開特許広報によれば，ハイラック仕立て法に該当しない．しかし，本節では採花母枝を有しその頂部付近から発生する花茎を採花する場合をハイラック仕立て法とみなした．

1区には4株ずつ3反復で供試した．定植は1996年7月3日に行い，摘蕾を行いながら株を養成した．9月19日に穂木，台木ともにすべてのシュートを水平以下の角度へ折り曲げて同化専用枝とした．収穫調査期間中の同化専用枝の管理は，第1章第1節と同一とした．

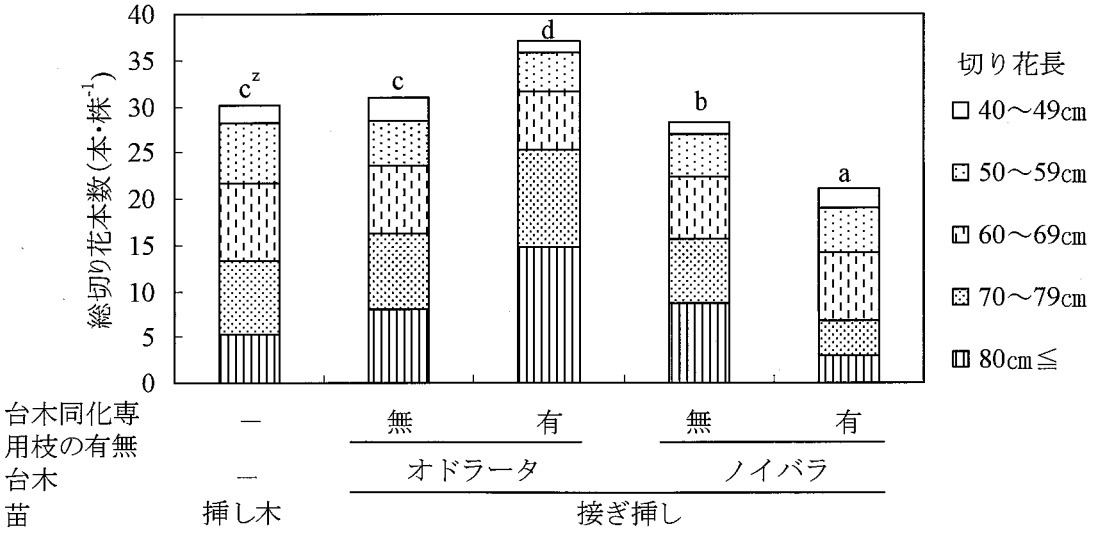
2.結果

収穫開始から1年間の1株当たりの総切り花本数は，オドラータ台木接ぎ挿し苗の台木同化専用枝を持たせた場合に最も大きく37.0本であった（第1-15図）．一方，ノイバラ台木由来の台木同化専用枝を持たせた場合の総切り花本数は，24.2本であり著しく減少した．40～49cmの

切り花本数は，台木や仕立て法が異なっても極めて小さく，いずれの区ともに1.3～2.4本であった．



第1-14図　仕立て法の模式図



第1-15図　苗，台木および台木同化専用枝の有無がバラ‘ローテローゼ’の切り花長別切り花本数に及ぼす影響

[z] 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で総切り花本数に有意な差が存在しない

第1-7表　台木および台木同化専用枝の有無がバラ‘ローテローゼ’の切り花形質に及ぼす影響

台木	台木同化専用枝の有無	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数	切り花長/切り花重 (g・cm^{-1})
挿し木苗	―	67.7ab[z]	35.8a	13.9a	0.53
オドラータ	無	69.8ab	36.0a	14.5a	0.52
	有	75.8b	40.1a	15.1a	0.53
ノイバラ	無	71.9ab	41.7a	15.0a	0.58
	有	65.2a	37.8a	14.0a	0.58

[z] 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない

切り花形質をみると，切り花長は，挿し木苗の 67.7cm と比較してオドラータ台木由来の同化専用枝を持たせた処理区では 8.1cm 大きかったが，ノイバラ台木由来の同化専用枝を持たせた処理区では 2.5cm 小さかった（第 1-7 表）．切り花重は，ノイバラ台木の台木同化専用枝がない処理区が 41.7g であり，挿し木苗が 35.8g であったが処理区間に有意な差はなかった．節数は，切り花長の大きかった処理区で大きい傾向にあったが処理区間に有意な差はなかった．切り花重を切り花長で除した値は，ノイバラ台木を用いた処理区が 0.58 であり，挿し木苗およびオドラータ台木を用いた処理区は 0.52～0.53 であった．

3.考察

バラのハイラック仕立てにおいて，台木および台木同化専用枝の有無が切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した．その結果，台木にオドラータを用い，穂木から発生したシュートに加えて台芽から発生したシュートを同化専用枝として折り曲げることによって，切り花生産性が高くなるとともに形質が向上することが明らかとなった．一方，台木にノイバラを用いた場合には，台木同化専用枝の存在により総切り花本数が減少し，形質も低下する傾向にあった．

Kool・van de Pol（1992）は，5 種類の台木を用いて挿し木苗との樹勢を比較し，台木により樹勢が異なることを報告している．オドラータの台木同化専用枝を持たせた場合に，挿し木苗と比較して総切り花本数が大きくなったのは，台木同化専用枝からの光合成産物が効率的に花茎へ転流し（梶原ら，2000），切り花生産量の増加に寄与したためと考えられる．一方，ノイバラの台木同化専用枝からは，オドラータの台木同化専用枝にはほとんどみられなかった半つる性の強勢枝と多数の腋芽が発生したために，高頻度でこれらを制限する必要があった．この

ことから推察すると，台木としたノイバラの樹勢がオドラータと比較して強いため台勝ちを生じ，同化専用枝からの光合成産物が台木同化専用枝そのものの生長に使われ，花茎に転流しなかったために切り花本数および形質が著しく低下したと考えられる．

しかしながら，実際栽培における台木同化専用枝を持たせる仕立て法は，挿し木苗と比較して単価の高い接ぎ挿し苗を用いる必要があること，樹形管理が煩雑になることで作業性が低下すること，さらに病害虫防除に多大の労力を要することから普及していないのが現状である．

大川（1973）はノイバラ台木接ぎ木苗と挿し木苗での生産性を土耕栽培で切り上げ仕立て法により比較した結果，8 品種中 7 品種で接ぎ木苗の生産性が挿し木苗よりも優れたとしている．しかし，本実験において，ノイバラ台木を用いた場合には，挿し木苗と比較して特段に切り花生産性および形質が優れているわけではなかった．ロックウール栽培は土耕栽培と異なり，培養液が常にかけ流しとして根に供給されている．また，ロックウールスラブ内での水分の移動は速く，作物の養分吸収も容易なため，植物が水ストレスを受けることはない（田中・安井，1992）とされている．従って，バラの養液栽培においては，挿し木苗でも養分水分の吸収が十分に行われるため，切り花生産性向上を目的として，あえて樹勢の強い台木を用いる必要性は低いと考えられる．

以上の結果から，ハイラック仕立て法におけるバラの養液栽培においては，切り花生産性，形質および作業性を考慮すれば，台木接ぎ挿し苗を用いること，さらに台木同化専用枝を持たせる優位性は低く，挿し木苗の利用が実用的であることが示唆された．

第 5 節　総合考察

バラの営利用切り花栽培は，限られた施設内で行われているため，生産者が所得の向上を図るには，単位面積当たりの切り花本数を増加させることが必須である．また，形質面からみると，卸し売り市場における切り花の単価は，切り花長が大きいほど高く取引されている．そのため，バラの切り花生産者は，切り花長の大きい切り花をより多く生産することが極めて重要である．そこで，ロックウール栽培における主要な仕立て法である，アーチング仕立て法，ハイラック仕立て法およびシュート水平折り曲げ仕立て法における切り花の生産性と形質について検討した．その結果，切り花生産性，切り花長および切り花重などの形質は，仕立て法により異なることが明らかとなった．

切り花長および切り花重は，アーチング仕立て法がハイラック仕立て法およびシュート水平折り曲げ仕立て法と比較して大きかった．アーチング仕立て法は，株元から発生するベーサル

シュートをナックルカットで採花するため，長大な切り花を収穫できると報告されている（Ohkawa・Suematsu, 1999）．ハイラック仕立て法およびシュート水平折り曲げ仕立て法における 80cm 以上の切り花本数は，アーチング仕立て法と同等以上であった．切花全国出荷標準規格（農林水産省，1994）は，切り花長が 70cm 以上を最上級とし，それ以上の場合は，実際の切り花長を表示すると規定している．近年，バラの家庭消費が増加しつつあることから，業務用の長大な切り花ではなく，短茎な切り花を増収できる技術の開発が望まれている．

小山ら（2005）は，切り花重を切り花長で除した値（W/L）を切り花の量感値として，0.45 以上を‘ローテローゼ’の上物としている．本章で行ったすべての実験では，いずれも 0.45 以上であった．一方，Morisot ら（1998）は，乾物重で W/L 値を算出しており，生体重による量感（W/L）値のみで切り花形質について言及できないと考えられる．

切り花重と茎径の間には高い相関のあることを小山ら（1998）は報告している．アーチング仕立て法は，ハイラック仕立て法およびシュート水平仕立て法と比較して切り花長および切り花重ともに大きく，また，切り花重を切り花長で除した値の大きかったことは，アーチング仕立て法では茎の太い切り花となりやすい傾向があることを示している．従って，アーチング仕立て法においてハイラック仕立て法およびシュート水平折り曲げ仕立て法と比較して総切り花本数が少なかったのは，同化専用枝からの光合成産物が主に茎を太くすることに使われたためと考えられる．切り花重（第 1-3 表）に総切り花本数（第 1-2 図）を乗じた値は 1234～1469g となり，いずれの仕立て法においても近似している．光合成産物が 1 本当たり切り花重の確保と切り花本数のどちらに振り向けられるかは，trade off の関係にあり，アーチング仕立て法は前者を，ハイラックおよびシュート水平折り曲げ仕立て法は後者を志向する仕立て法と考えられる．ハイラックおよびシュート水平折り曲げ仕立て法は，バラの切り花単価が低迷する現況において，短い切り花を許容しつつ多収を目指す生産方針に適していることが示唆される．

比較した三つの仕立て法は，いずれも同化専用枝と呼ばれる折り曲げられたシュートを持つが，アーチング仕立て法における最適な LAI を，Pien ら（2001）は 1～3.5 と，Shimomura ら（2003）は 3 程度と報告している．しかし，複層構造の同化専用枝を持つハイラック仕立て法や株元と採花母枝の先端部のいずれにも同化専用枝を持つシュート水平折り曲げ仕立て法において，さらなる生産性の向上を図るためには，階層別の最適な LAI を明らかにする必要があると考えられる．また，これら三つの仕立て法すべてで 12～2 月の切り花本数が小さかった（第 1-3 図）ことから，この要因を明らかにし，その対策を講じることが重要であろう．アーチング仕立て法では，冬期に第 1 葉，あるいは 5 枚葉を 2 枚残して収穫すると冬期の収穫本数が増

加したことが乾（1996）によって報告されている．そのため，冬期に5枚葉を残しつつ切り上げて収穫する方法は，ハイラックおよびシュート水平折り曲げ仕立て法においても冬期の生産性向上に有効な技術になりうると推察される．

土耕栽培において，バラの台木に必要な条件として，大川（1981）は切り花本数の多いことを指摘している．本章の実験では，オドラータ台木，あるいはノイバラ台木接ぎ挿し苗を用いた場合のハイラック仕立て法における切り花生産性は，挿し木苗と比較して同程度であった．この結果は，ロックウール栽培で切り上げ仕立て法により収穫した場合，ノイバラ台木苗やオドラータ台木苗の生産性が挿し木苗と比較して高かったとした渡辺ら（1996）の報告とは異なる．仕立て法の違いによる影響も考えられるが，養液栽培で同化専用枝を持つ仕立て法における台木の切り花生産性への寄与については，地下部よりも同化専用枝の機能を考慮する必要があることが示唆される．このことは，台木同化専用枝の有無が切り花生産性に強く影響している（第1-15図）ことからも伺える．そのため，バラの養液栽培においては，同化専用枝の適切な管理技術を開発することが重要である．さらなる生産性の向上を図るためには，光合成によって同化専用枝で生成される1株当たりの光合成産物の生産量を増加させることが必須であろう．

第6節　摘要

バラ‘ローテローゼ’を供試し，仕立て法，ハイラック仕立て法における育成日数と採花母枝の長さ，台木および台木同化専用枝の有無が切り花の生産性および形質に及ぼす影響について検討した．

1．挿し木苗を用いた場合の仕立て法が切り花の生産性および形質に及ぼす影響について検討した結果，生産性はハイラック仕立て法が最も高く，次いでシュート水平折り曲げ仕立て法，アーチング仕立て法の順であった．一方，切り花長および切り花重はアーチング仕立て法が最も大きく，ハイラック仕立て法およびシュート水平折り曲げ仕立て法は同程度であった．

2．ハイラック仕立て法における定植から同化専用枝折り曲げまでの育成日数が切り花の生産性および形質に及ぼす影響について検討した結果，生産性は育成日数が75～90日の場合にそれ以下の場合と比較して高かった．しかし，育成日数は，切り花形質にはほとんど影響しなかった．

3．ハイラック仕立て法における採花母枝の長さが切り花の生産性および形質に及ぼす影響について検討した結果，生産性は採花母枝長が15～20cmの場合に0～10cmと比較して高くなり，

しかも形質が向上した.

4. 台木の種類および台木同化専用枝の有無が切り花生産性および切り花形質に及ぼす影響について検討した結果, 生産性はオドラータ台木を用いて台木同化専用枝を持たせた場合にのみ, 挿し木苗と比較して生産性が高くなるとともに切り花長が大きくなった. しかし, ノイバラ台木を用いて台木同化専用枝を持たせた場合には, 台勝ちにより生産性および形質ともに挿し木苗と比較して大きく低下した.

第2章　切り花の生産性および形質に関与する環境要因の解明

第1節　光合成速度，採花母枝径の日肥大と生産性および形質

切り上げ仕立て法では，収穫時には光合成産物のソース器官（Mor･Halevy, 1979）としての5枚葉を1～2枚残す必要がある．ところが，前節で比較したバラの三つの仕立て法は，いずれも同化専用枝と呼ばれる，葉を数多く着けたシュートを持つことに特徴があり，5枚葉を残さず花茎を基部から収穫する．このことから，同化専用枝は，5 枚葉と同様に光合成産物のソース器官としての役割を持つことが推定される．従来の切り上げ仕立て法において，バラの 5 枚葉の光合成速度を測定した事例はいくつか報告（織田，1981; Bozarth ら 1982; Lieth･Pasian, 1990）されている．牛尾（2008）は，育苗中のバラにおいて，折り曲げ前の同化専用枝における温度と光合成速度の関係を調査し，最低気温 20℃で栽培した‘ローテローゼ’葉の光合成速度は，二酸化炭素濃度が 370ppm では 25℃で，1000ppm では 25～35℃で最大になったと報告している．実際に折り曲げられた同化専用枝における光合成速度を Kim ら（2004）は測定し，折り曲げ直後にいったん低下した光合成速度は，3週間後には折り曲げ前までと同程度まで上昇すると報告している．しかし，切り花を収穫中の同化専用枝において，光合成速度に及ぼす環境要因である，温度，PPFD（光合成有効光量子束密度）および二酸化炭素濃度の影響を調査した報告は見当たらない．

バラを営利生産するためには，温度は重要な要因の一つであり，施設栽培では遮光や加温により比較的制御しやすい．大川（1999）によれば，最適温度は品種によって異なるが，一般に昼温 25～27℃，夜温 15～18℃とされている．そのため，広島県を含む西南暖地における施設栽培でのバラの営利用切り花生産は，生育適温よりも冬期の施設内は低温となることから暖房機による加温が，一方で，夏期は高温となることから遮光した条件下で周年にわたって行われている．

バラの冬期施設内の温度を外気温よりも高く維持･管理する研究は，数多く報告（Hanan, 1979; 水戸・万豆，1973; Moe, 1972; Zieslin ら，1987）されている．一方，夏期の高温を避けるためのパッドアンドファン（Plaut ら，1979）や散水（Plaut･Zieslin, 1977）を利用した研究が報告されている．これらの研究は，それぞれ設定した温度条件で開花までバラを栽培し，切り花の生産性や形質を調査している．そのため，処理開始から結果を導くまでに長期間を要している．また，Pasian･Lieth（1994）は，温度と日射からバラのシュートの発育予測を行っているが，発育に最適な温度と形質に最適な温度が異なることを指摘してい

る.

歪ゲージ式変位計を用いて茎径の精密測定を行うと，温度，光や土壌水分がナシの生育に好適な条件下では，茎径の日肥大が大きくなることが報告されている（伊藤，2003）．また，茎径の日変化パターンは温度によって異なる（Ito ら，1999）ことやナシ樹体内の水分変化を短期間に測定できる（今井ら，1994; 岩尾・高野，1988）ことが明らかにされている.ブドウにおける幹径の変化は,気孔開閉に伴う体内水分含量との関連性が今井ら(1990)よって指摘されている．これらのことから，歪ゲージ式変位計を用いて，バラの採花母枝の茎径を精密に測定することで，生育に最適な温度を短期間で調査できる可能性がある．

そこで，本節では，第 1 項で温度，二酸化炭素濃度および PPFD が同化専用枝の光合成速度に及ぼす影響を調査した．続いて第 2 項において，歪ゲージ式変位計を用いて温度がハイラック仕立て法におけるバラの採花母枝径の肥大に及ぼす影響について検討した．そして，第 3 項において，温度が切り花生産性，形質および乾物生産に及ぼす影響について検討した.

なお，本節では，明期中の温度を昼温とし，暗期中の温度を夜温とした.

第 1 項　温度，二酸化炭素濃度および PPFD と光合成

本項では，バラのハイラック仕立て法において，温度，二酸化炭素濃度および光合成有効光量子束密度が同化専用枝の光合成速度に及ぼす影響について検討した.

1.材料および方法

光合成速度は，‘ローテローゼ’を供試し,人工光源付き携帯型光合成測定装置(LI-6400, Li-Cor）を用いて測定した.

1)温度と光合成および呼吸速度

供試個体は，オドラータ台木接ぎ挿し苗とし，1999 年 6 月 10 日にロックウール細粒綿を培地とし，直径 21cm の素焼き鉢へ定植した開花中の花茎を 2 本持つ株を用いた．供試個体を 2002 年 2 月 5 日に明期（7～19 時：30℃）と暗期（19～7 時：20℃）を 12 時間ずつに，株元の PPFD は約 700 μ mol･m^{-2}･s^{-1} に設定した人工光型気象室へ搬入した．培養液の組成は第 1 章第 1 節と同一にし，1 日当たり 5 回，過剰な培養液が鉢底から排出されるまで施与した．光合成速度の測定は，2002 年 2 月 8 日に 7 枚葉の先端葉を用い，各 4 葉について行った．光合成速度は CO_2 濃度を 360ppm に制御した乾燥空気を流量 500 μ mol･s^{-1} の

条件で，葉面の PPFD を 780 μ mol・m^{-2}・s^{-1}，温度を 30 および 40℃とし，同化専用枝の展開直後の異なる 7 枚葉先端葉の 4 葉について，明期開始 3 時間後の 10 時に測定した．明期の呼吸速度は光合成測定後に 7 枚葉全体をアルミ箔で被覆して暗黒条件とした 4 時間後に測定した．暗期の呼吸速度は，温度を 20 および 25℃の条件で，暗期開始 4 時間後の 21 時に測定した．

2)二酸化炭素濃度と光合成速度

供試個体は，ロックウールスラブへ 1996 年 7 月 3 日に定植した開花中の花茎を 2 本持つ，オドラータ台木接ぎ挿し苗の 6 年生株を用いた．光合成速度の測定は，2003 年 3 月 13 日に，同化専用枝の 7 枚葉の先端葉を用い，それぞれ 4 葉について 10 時から行った．測定は，室温および測定部の温度を 20℃に，葉面の PPFD を 780 μ mol・m^{-2}・s^{-1} に，流量を 500 μ mol・s^{-1} に制御し，CO_2 濃度を 100, 200, 400, 800, 1200, 1600 および 2200ppm の 7 水準として行った．

3)PPFD と光合成速度

上記 2)と同一の株を用いて測定を行った．光合成速度の測定は，温度を 25℃，CO_2 濃度を 400ppm に制御し，2003 年 3 月 14 日に葉面の PPFD を 0, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 および 2000 μ mol・m^{-2}・s^{-1} の 11 水準として行った．

2.結果

1)温度と光合成および呼吸速度

みかけの光合成速度から明期の呼吸速度を減じた真の光合成速度は，30℃区と比較して 40℃区が小さかった（第 2-1 表）．一方，呼吸速度および蒸散速度は温度が高くなっても大きく増加せず，温度の違いによる影響は小さかった．

暗期の呼吸速度および蒸散速度は，明期と比較して小さくなり，20℃区が 25℃区と比較して小さかった（第 2-2 表）．

2)二酸化炭素濃度と光合成速度

光合成速度は，CO_2 濃度が 800ppm までは急速に上昇したが，それ以上では緩やかに下降した（第 2-1 図）．光合成速度は CO_2 濃度が 100ppm で最も小さく，4.3 μ mol・CO_2・m^{-2}・s^{-1} であった．CO_2 濃度が 800ppm の場合に光合成速度は最も大きく，22.9 μ mol・CO_2・m^{-2}・s^{-1} であった．しかし，CO_2 濃度が 800ppm 以上では有意な差はなかった．

第2-1表　バラ‘ローテローゼ’の光合成に及ぼす気温の影響

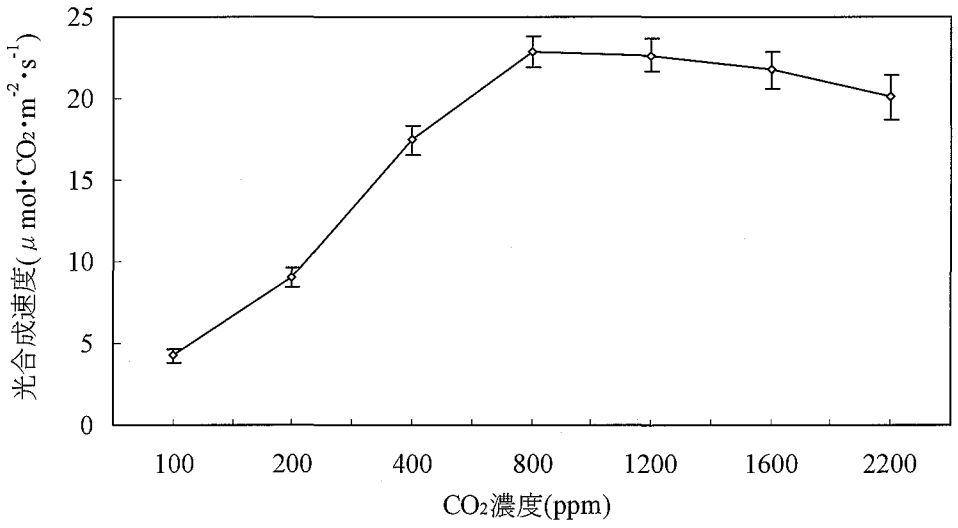
気温	真の光合成速度[y] (μmol・CO_2・m^{-2}・s^{-1})	昼間の呼吸速度 (μmol・CO_2・m^{-2}・s^{-1})	蒸散速度 (mol・H_2O・m^{-2}・s^{-1})
30℃	8.7±0.7	3.8±0.1	7.6±1.4
40℃	6.5±1.2	3.7±0.4	7.9±1.5

[z] 値は平均±標準誤差(n=4)を示す
[y] 測定時のPPFDは780 μmol・m^{-2}・s^{-1}

第2-2表　バラ‘ローテローゼ’の夜間の呼吸に及ぼす気温の影響

気温	呼吸速度 (μmol・CO_2・m^{-2}・s^{-1})	蒸散速度 (mol・H_2O・m^{-2}・s^{-1})
20℃	0.6±0.1[z]	1.1±0.1
25℃	1.5±0.1	1.5±0.2

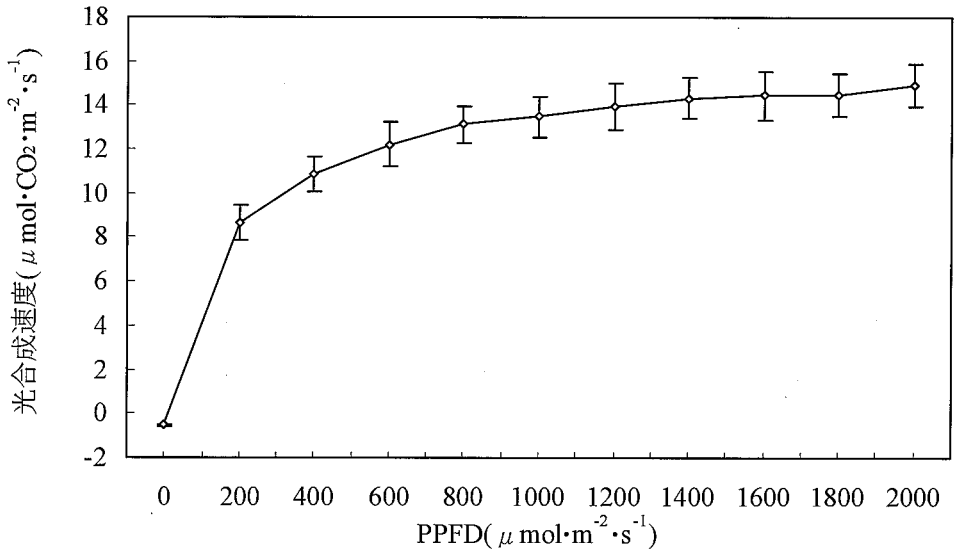
[z] 値は平均±標準誤差(n=4)を示す



第2-1図　CO_2濃度がバラ‘ローテローゼ’の光合成速度に及ぼす影響
測定時の気温は20℃でPPFDは780μmol・m-2・s-1
図中の縦線は標準誤差（n=4）を示す

3)PPFD と光合成速度

光合成速度は，PPFD が 2000 μmol・m^{-2}・s^{-1} までの範囲内では，PPFD が強くなるにしたがってゆるやかに上昇した（第 2-2 図）．PPFD が 200 μmol・m^{-2}・s^{-1} の場合における光合成速度は，9.7 μmol・CO_2・m^{-2}・s^{-1} であった．PPFD が 800 μmol・m^{-2}・s^{-1} に上昇すると光合成速度は



第2-2図　PPFDがバラ‘ローテローゼ’の光合成速度に及ぼす影響
測定時の気温は20℃でCO_2濃度は400ppm
図中の縦線は標準誤差（n=4）を示す

大きくなり，18.6 μmol·CO_2·m^{-2}·s^{-1} となった．PPFD が 2000 μmol·m^{-2}·s^{-1} に上昇すると，光合成速度はさらに大きくなり，23.3 μmol·CO_2·m^{-2}·s^{-1} となった．しかし，PPFD が 1000 μmol·m^{-2}·s^{-1} 以上では，光合成速度に有意な差はなかった．

3.考察

バラのロックウール栽培において，温度が同化専用枝の光合成速度および呼吸速度に及ぼす影響について検討した．その結果，温度が高い場合に真の光合成速度は低下する（第2-1 表）一方で，暗期の呼吸速度は上昇し（第 2-2 表），明期の呼吸速度は大きく変化しないことが明らかになった．

バラ‘カリナ’の光合成速度は，自然大気 CO_2 濃度での光飽和点は 50klx であり，そのときの光合成速度は 15 μmol·CO_2·m^{-2}·s^{-1}，適温域は葉温で 18～23℃である（織田，1981）．また，‘Samantha’の光合成速度は 25℃で最大となり，14 μmol·CO_2·m^{-2}·s^{-1} であったと Bozarth ら（1982）は報告している．このように，品種が異なっても光合成速度が最大になるのは温度が 18～25℃程度であることから，本実験において光合成速度が低かった理由として測定時の温度が高かったことや，蒸散速度を測定するために乾燥空気を用いたためと考えられる．

同化専用枝の光合成速度は，CO_2 濃度が 800～1200ppm で最高になった（第 2-1 図）．Enoch ら（1973）は，バラの品種によって低照度下における光合成速度が異なり，高濃度の CO_2

を施与することで増収の可能性を認めている．また，バラ台木の気孔の数は種によって異なる（Rouhani ら，1979）ことや自生地が異なると光合成速度が異なること（Ueda ら，2000）から，今回調査した‘ローテローゼ’よりもさらに光合成速度の大きい品種があると考えられる．

織田ら（1981）は，バラで PPFD を変えて光合成速度を測定し，CO_2 濃度が 360ppm の場合，数品種のうち，‘カニナ’の光飽和点が最も高く 926 μ mol·m^{-2}·s^{-1} であったとしている．本実験においても，光合成速度は PPFD が 1000 μ mol·m^{-2}·s^{-1} までは上昇したが，それ以上の PPFD では有意な差はなかった（第 2-2 図）．Aikin·Hanan（1975）は，‘Forever Yours’の光飽和点は 540 μ mol·m^{-2}·s^{-1} であり，そのときの光合成速度は 8 μ mol·CO_2·m^{-2}·s^{-1} であったと報告している．これは，先の織田ら（1981）の報告と結果は一致しておらず，異なる品種を用いていることから，品種間差によるものと考えられる．また，測定以前の栽培管理が異なることも考えられる．種が同じでも，栽培温度が異なると光合成適温が変化する（Berry·Bjorkman, 1980）ことが知られている．Ushio ら（2008）は，バラの光合成速度は，葉が形成された時の温度が異なると光合成速度が最大となる温度が異なることを報告している．したがって，光合成速度の測定に際しては，株の栽培暦を明らかにする必要があろう．

以上の結果から，バラの同化専用枝における真の光合成速度は，40℃と比較して 30℃で大きいことが明らかとなった．また，温度が 20℃の場合，CO_2 濃度を大気濃度から 800～1200ppm まで上昇させることで光合成速度を大きくすることが可能であった．PPFD への反応については，PPFD が 1000 μ mol·m^{-2}·s^{-1} までは光合成速度の上昇することが明らかとなった．

第 2 項　温度と採花母枝径の日肥大

本項では，バラのハイラック仕立て法において，温度と採花母枝径の日肥大の関係について検討した．

1.材料および方法

1)恒温条件下における採花母枝径の日肥大

1999 年 6 月 10 日にロックウール細粒綿を充填し直径 21cm の素焼き鉢へ定植した，オドラータ台木接ぎ挿し苗の‘ローテローゼ’を，台木同化専用枝を持つ採花母枝が 2 本のハ

イラック仕立て法に整枝し，2 株ずつ実験に供試した．育苗中の温度および培養液管理は，第 1 章第 1 節と同一とした．

人工光型人工気象室を用い，明期を 7～19 時，暗期を 19～7 時の 12 時間ずつに設定した．実験期間中の株元の PPFD は約 700 μ mol·m^{-2}·s^{-1} とした．明期，暗期ともに温度は，10℃，20℃，30℃および 40℃の一定とした 4 区を設けた．

採花母枝径の測定は，1 株当たり長さ約 15cm×太さ 8～10mm の採花母枝 2 本それぞれの中央部に歪ゲージ式変位計（UL-10, ミネベア）を 1 個ずつ取り付けて，その値を 10 分毎にデータロガー（DC-1000, NEC 三栄）に収録した．

2000 年 11 月 6 日に昼温，夜温とも 10℃に設定した人工気象室へ発蕾したシュートを持つ供試個体を搬入し，測定を開始した．その後，4 日毎に温度を 10℃ずつ上げてデータを収録した．データ収録中は，培地中の養水分の不足を回避すると同時に樹体水分の不足が茎径変化に及ぼす影響を防ぐため，培養液の給液回数を明期開始直後から 1 時間毎に 12 回，暗期は 3 時間毎に 3 回とし，培地の水分状態を常に湿潤に保った．

2)高温条件下における採花母枝径の日肥大

上記の実験 1)で用いた個体の同化専用枝および採花母枝を切除し，あらたにハイラック仕立て法に整枝して実験に供試した．測定期間中の PPFD，明期および暗期の時間帯，培養液管理ならびに測定方法は上記 1)の実験と同一とした．

明期の温度は 40℃および 30℃，暗期の温度は 25℃および 20℃とし，それらを組み合わせた 40/25℃区，30/25℃区，40/20℃区および 30/20℃区の 4 区を設けた．

採花母枝径は，2002 年 1 月 8 日に昼温は 30℃，夜温は 20℃に設定した人工気象室へ発蕾したシュートを持つ供試個体を搬入し，測定を開始した．その後，4 日毎に昼温を 5℃ずつ上げ，昼温 35℃および 40℃で夜温 20℃のデータを収録した．さらに，13 日後には昼温を 30℃に，夜温を 25℃に変温し，再び 4 日毎に昼温を 5℃ずつ上げて昼温 35℃および 40℃で夜温 25℃のデータを収録した．

3)低温条件下における採花母枝径の日肥大

上記の実験 2)で用いた個体の同化専用枝および採花母枝を切除し，あらたにハイラック仕立て法に整枝して実験に供試した．測定期間中の PPFD，明期および暗期の時間帯，培養液管理ならびに測定方法は上記 1)の実験と同一とした．

明期の温度は 25℃および 20℃，暗期の温度は 15℃および 10℃とし，それらを組み合わせた 25/15℃区，20/15℃区，25/10℃区および 20/10℃区の 4 区を設けた．

採花母枝径は，2003 年 3 月 15 日に昼温は 20℃，夜温は 10℃に設定した人工気象室へ発蕾したシュートを持つ供試個体を搬入し，測定を開始した．その 4 日後に昼温を 5℃上げ，3 月 24 日には昼温および夜温を 25/15℃とし，4 日後に夜温を 5℃低下させて 25/10℃とした．

2.結果

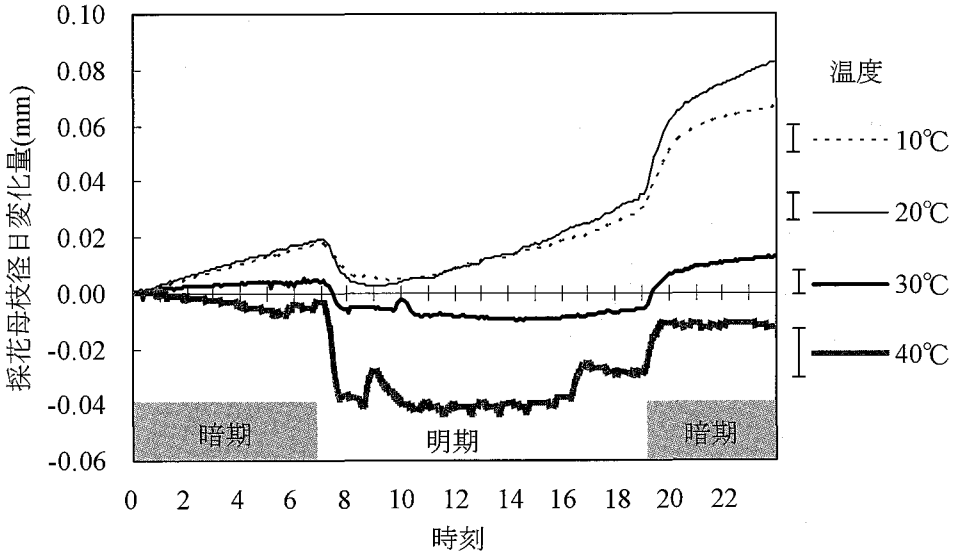
1)恒温条件下における採花母枝径の日肥大

10℃区および 20℃区における採花母枝径の日変化パターンは，極めて類似した動向を示した（第 2-3 図）．いずれの区においても，明期開始直後に収縮し，暗期開始直後に肥大する傾向を示した．明期開始後の採花母枝は 1 時間程度急速に 0.02mm 程度収縮し，その後緩やかに肥大を開始した．暗期開始後の採花母枝は急速に 1 時間程度肥大し，暗期開始 1 時間半以降は緩やかかに肥大した．一方，30℃区の採花母枝径の日変化パターンは，明期開始後の急速な 0.01mm 程度の収縮はみられたが，明期には肥大せず，ほぼ一定の値で推移した．暗期開始後の急速な採花母枝径の肥大は，1 時間程度みられたが，その後の肥大は極めて緩やかであった．40℃区の採花母枝の明期開始後の収縮は最も大きく，0.04mm 程度であった．採花母枝は急速な収縮後，16 時までほぼ一定の値で推移した．暗期開始直後の採花母枝の急速な肥大はみられたが，暗期の肥大はみられず緩やかに収縮する傾向にあった．10℃区，20℃区，30℃区および 40℃区における採花母枝の 1 日当たりの肥大は，それぞれ 0.067mm, 0.084mm, 0.013mm および-0.013mm であった．

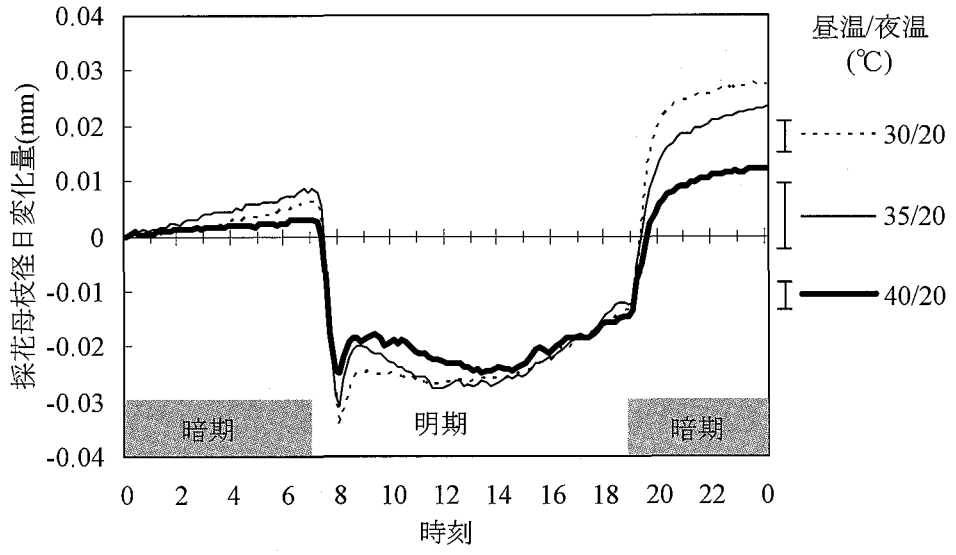
2)高温条件下における採花母枝径の日肥大

採花母枝径の日変化パターンは，昼夜温の違いに関わらず，いずれの処理区も類似した動向を示し，採花母枝は，明期の開始とともに急速に 1 時間程度収縮した．その後，30 分で一時的に肥大したが，この現象は恒温条件下ではみられなかった．次に，再び緩やかに収縮し，14 時頃からは緩やかに肥大に向かい，暗期の開始とともに約 1 時間で急速に肥大した．暗期開始約 1 時間半以降は，緩やかに肥大した．

夜温が 20℃の場合，昼温が 30℃，あるいは 35℃では 40℃と比較して採花母枝の 1 日当たりの肥大が大きかった（第 2-4 図）．明期開始後の採花母枝の収縮は，30/20℃区が -0.034mm, 35/20℃区が-0.031mm, 40/20℃区は-0.025mm であった．一方，採花母枝の日肥大は，30/20℃区が 0.028mm, 30/20℃区が 0.023mm, 40/20℃が 0.012mm であった．夜温が 25℃の場合も 20℃の場合と同様であり，昼温が 30℃，あるいは 35℃では 40℃と比較して採花

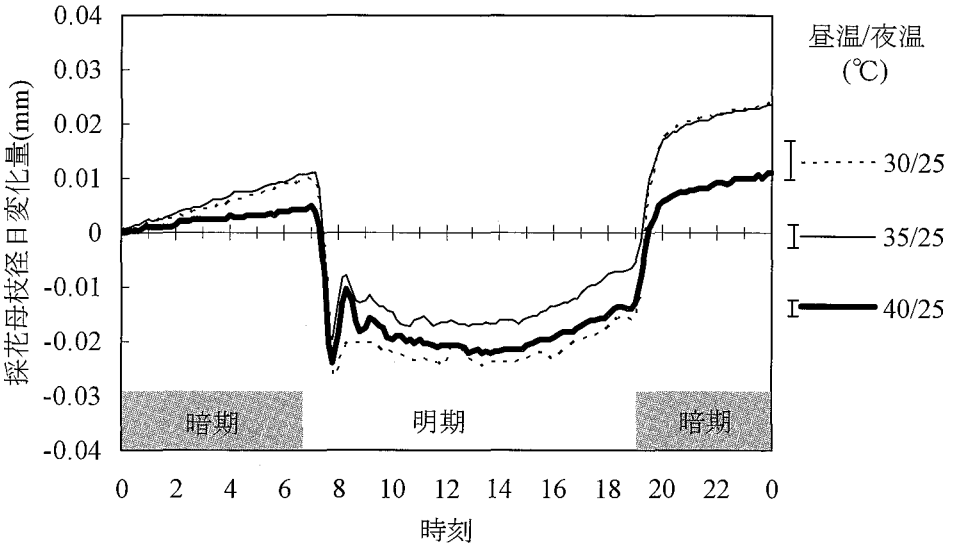


第2-3図　気温がバラ‘ローテローゼ’の採花母枝径の日変化量に及ぼす影響
図中の縦線は測定中の最大標準誤差(n=4)を示す



第2-4図　夜温20℃における異なる昼温がバラ‘ローテローゼ’の採花母枝径の日変化量に及ぼす影響
図中の縦線は測定中の最大標準誤差(n=4)を示す

母枝の日肥大が大きかった(第 2-5 図). 採花母枝の日肥大は, 30/25℃区が 0.022mm, 35/25℃区が 0.024mm, 40/25℃区では 0.011mm であった. 一方, 明期開始後の採花母枝の収縮は 30/20℃区が-0.034mm, 30/25℃区が-0.031mm, 40/25℃区は-0.024mm であった. 採花母枝の明期開始後の収縮および暗期開始後の肥大は, 夜温に関わらず昼温が 30℃の場合に



第2-5図　夜温25℃における異なる昼温がバラ‘ローテローゼ’の採花母枝径の日変化量に及ぼす影響
図中の縦線は測定中の最大標準誤差(n=4)を示す

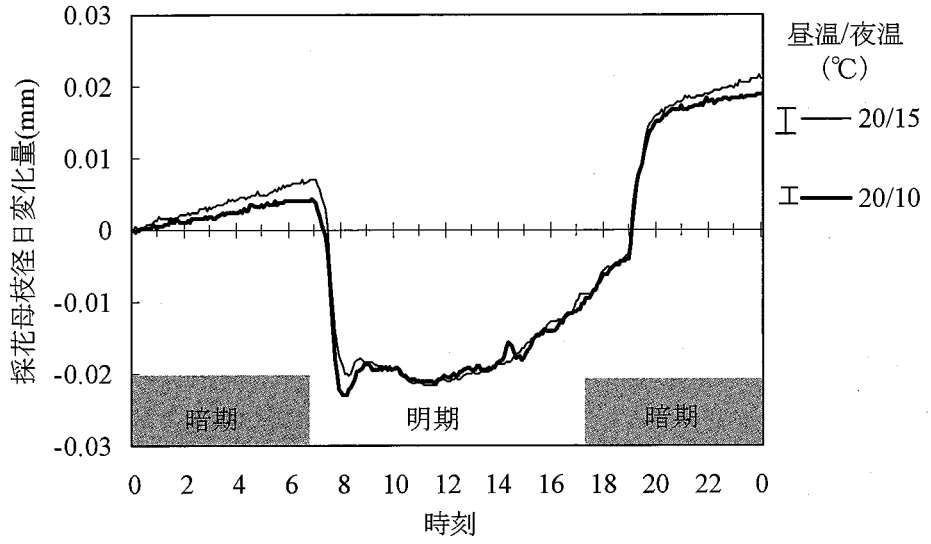
40℃と比較して大きかった.

3)低温条件下における採花母枝径の日肥大

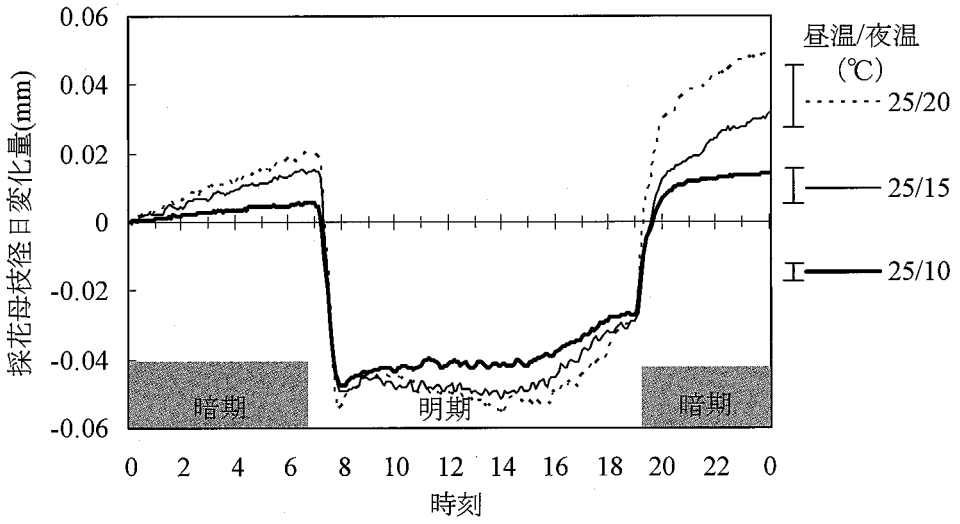
採花母枝径の日変化パターンは，高温条件の場合と同様に，昼夜温の違いに関わらず，いずれの処理区も類似した動向を示した．採花母枝は，明期の開始とともに急速に 1 時間程度収縮し，その後 30 分で収縮量の 1/3 まで回復した．以後，再び緩やかに収縮し，14 時頃からは緩やかに回復に向かい，暗期の開始とともに約 1 時間で急速に肥大した．暗期開始約 1 時間半以降は，緩やかに肥大した.

明期開始直後の採花母枝の収縮は，20/15℃区が-0.020mm，20/10℃区が-0.023mm であり大きな差はなかった（第 2-6 図）．また，採花母枝の日肥大は，20/15℃区が 20/10℃区と比較してわずかに大きく，それぞれ，0.021mm および 0.019mm であった.

昼温が 25℃では，20℃の場合と比較して採花母枝の明期開始直後の収縮が大きかった（第 2-7 図）．採花母枝の収縮は，25/15℃区および 25/10℃区がそれぞれ-0.050mm および-0.048mm であった．採花母枝の日肥大は，25/15℃区が 0.032mm であり，25/10℃区の 0.014mm と比較して大きかった.



第2-6図　昼温20℃における異なる夜温がバラ‘ローテローゼ’の採花母枝径の日変化量に及ぼす影響
図中の縦線は測定中の最大標準誤差(n=4)を示す



第2-7図　昼温25℃における異なる夜温がバラ‘ローテローゼ’の採花母枝径の日変化量に及ぼす影響
図中の縦線は測定中の最大標準誤差(n=4)を示す

3.考察

バラのハイラック仕立て法における採花母枝径の肥大に対する温度の影響について調査した．その結果，採花母枝は，昼夜温が異なっても明期開始直後には急速に収縮し，暗期開始直後には急速に肥大することが明らかとなった（第2-3, 4, 5, 6および7図）．カキ（Fujitaら，2003）やトマト（Redaら，2001）では，培地中の塩類濃度が高いと水分の吸

収が抑制され，暗期に茎が肥大せず収縮することが報告されている．本実験では，40℃一定の場合を除いて，暗期には採花母枝が肥大したことから，地下部の培養液濃度や水分状態は適切に維持されていたことが伺える．

今井ら（1990）は，ブドウの幹径の変動は，気孔の開閉による体内の水分含量と密接に関連していると報告している．本実験で供試したバラにおいても，同様な採花母枝の収縮と肥大が生じた理由は，人工気象室内において急激に光を照射，あるいは消灯したことから，気孔の開閉に伴う，水分含量の急激な増減によるものと考えられる．また，岩尾・高野（1988）は，数種の植物について茎径の変化と体内水分状態との関係を調査し，明期開始後の茎の収縮は葉からの蒸散により，暗期開始後の茎の肥大は根の吸水により生じると報告している．したがって，昼夜温ともに40℃一定の場合は，葉からの蒸散が大きく，根からの吸水が小さいため，採花母枝の日肥大がマイナスになったと考えられる．

昼温が20℃の場合，夜温が15℃，あるいは10℃でも採花母枝径の日肥大にほとんど差はなかった（第2-6図）．しかし，昼温が25℃まで上昇すると，夜温が15℃でも，採花母枝の茎径日肥大量は著しく大きくなった（第2-7図）．12℃の低夜温は呼吸量が減少することで光合成産物の消耗を抑制する（Khayat ら，1988）．また，Khayat･Zieslin（1989）は，昼温を18～30℃とし，夜温を12℃，または18℃一定条件でバラを栽培した結果，夜温が12℃では18℃の場合と比較して二酸化炭素の日同化量が28%も低下したと報告している．このことから，昼温が20～25℃，夜温が10～20℃の条件下においては，二酸化炭素同化量の変化に伴う光合成産物の転流量の違いが採花母枝の日肥大に影響していると推察される．

クルミの幹を環状剥皮して師部のみを取り除き，光合成産物の転流を抑制した場合の茎径肥大は，環状剥皮しない場合と比較して小さかった（Daudet ら，2005）ことが報告されている．昼温が30℃での採花母枝の日肥大は，夜温にかかわらず，第2-4図および第2-5図に示したように夜温40℃の場合と比較して大きかった．また，昼温が30～40℃での採花母枝の日肥大は，夜温が20℃の場合に25℃と比較して大きかった．したがって，昼温が30℃を超える高温条件下では，明期の光合成産物の生産量および暗期の呼吸による光合成産物の消耗量のいずれもがバラの採花母枝の日肥大に影響していると考えられる．

以上の結果から，バラの採花母枝径の日肥大は，温度によって異なることが明らかとなった．採花母枝径の日肥大は，昼夜温ともに一定の場合には20℃で最も大きく，40℃の場合にはマイナスとなった．昼夜温を変更した場合には昼温が25℃で夜温が20℃の場合に最

も大きかったことから，歪ゲージ式変位計を用いて，短期間で的確にバラの温度に対する反応を明らかにできる可能性が示唆された．

第3項　温度と生産性および形質

本項では，前項の実験において採花母枝径の日肥大量に顕著な差のあった温度域におけるバラの生育について，自然光型の人工気象室（ファイトトロン）を用いて検討した．

1.材料および方法

1)高温条件下におけるバラの生育

‘ローテローゼ’を，2001年11月22日に最低気温を18℃以上に保ち，25℃で天窓が開放するように設定したガラス温室内で，ロックウールキューブに1芽をつけて挿し木した．2002年1月8日に，発根苗を同じガラス室内でロックウール細粒綿を充填した直径21cmの素焼き鉢へ定植した．2002年5月28日に昼温（7～19時）を40℃，夜温（19～7時）を20℃（以下，40/20℃区）および昼温30℃，夜温20℃（以下，30/20℃区）に設定した自然光型ファイトトロン内へ搬入し，同時に同化専用枝を折り曲げて実験を開始した．培養液組成は第1-1表に準拠し，1日当たり5回，過剰な培養液が鉢底から排出されるまで施与した．切り花は，シュートを発生基部から収穫し，収穫日，切り花長，切り花重，節数，乾物重，花弁数，花弁長および花色を調査した．供試株数は1区6株とした．

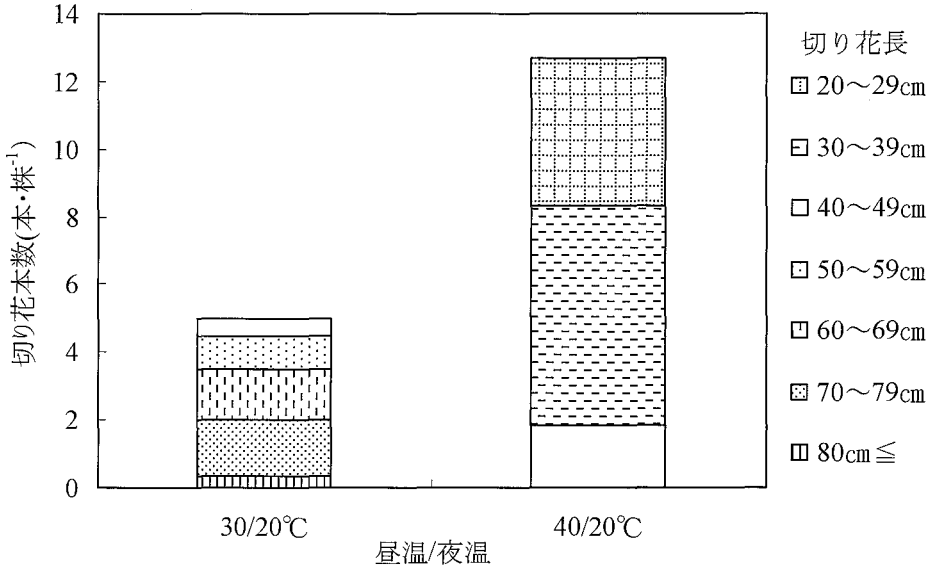
2)低温条件下におけるバラの生育

育苗，定植方法，培養液組成，収穫方法および処理区は，上記 1)の実験と同一とした．実験は2回行った．1回目は，‘ローテローゼ’を2003年5月8日に挿し木し，6月16日に定植し，育苗した．10月3日に昼温（7～19時）20℃/夜温（19～7時）10℃および20℃/15℃に設定した自然光型ファイトトロン内へ搬入すると同時に同化専用枝を折り曲げて実験を開始した．2回目は，‘ローテローゼ’を2004年7月9日に挿し木し，8月16日に定植し，育苗した株を12月6日に昼温25℃/夜温15℃および25℃/20℃に設定した自然光型ファイトトロン内へ搬入し，同時に同化専用枝を折り曲げて実験を開始した．

2.結果

1)高温条件下におけるバラの生育

1株当たりの切り花本数は30/20℃区が5.0本であり，40/20℃区の12.7本と比較して著



第2-8図　昼夜温がバラ‘ローテローゼ’の切り花長別切り花本数に及ぼす影響

第2-3表　昼夜温がバラ‘ローテローゼ’の到花日数および切り花形質に及ぼす影響

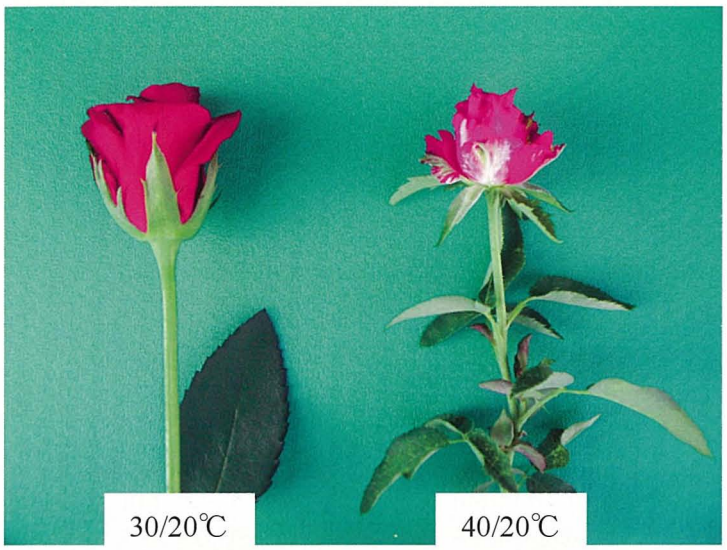
昼温/夜温 (℃)	切り花本数 (本・株$^{-1}$)	到花日数	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数	花弁数 (枚)	花弁長 (mm)	花色
30/20	5.0±0.6[z]	40.8±1.1	65.0±1.9	45.5±2.7	17.3±0.5	24.7±0.5	37.2±1.0	鮮紅
40/20	12.7±2.1	60.8±2.0	33.1±1.3	11.5±1.1	20.3±0.4	12.3±0.9	27.1±1.1	明赤紫
有意性[y]	**	**	**	**	**	**	**	—

[z] 値は平均±標準誤差(n=6)

[y] **はt検定により1%水準で有意な差があることを示す

しく小さかった（第 2-10 図）．しかし，30/20℃区の切り花はすべて 40cm 以上であったのに対し，40/20℃区では 20～49cm の範囲であり，40cm 以上の切り花はわずかに 1.8 本であった．

処理開始から開花までの到花日数は，30/20℃区が 40.8 日であり， 40/20℃区の 60.8 日と比較して著しく小さかった（第 2-3 表）．切り花長および切り花重は，30/20℃区が 40/20℃区と比較して著しく大きかった．節数は，30/20℃区が 17.3 節であり，40/20℃区の 20.3 節と比較して小さかった．花弁数は，30/20℃区が 24.7 枚であり，40/20℃区の 12.3 枚と比較して著しく大きくなった．40/20℃区では，開花と同時にすべての花が露心した．また，花弁の長さも 30/20℃区が 40/20℃区と比較して著しく大きくなった．30/20℃区の花色は正常の鮮紅色であったが，40/20℃区では著しく薄くなり明赤紫色であった（第 2-9 図）．しか



第 2-9 図　昼夜温とバラ‘ローテローゼ’の花型および花色

第2-4表　昼夜温がバラ‘ローテローゼ’の乾物生産に及ぼす影響

昼温/夜温 (℃)	切り花乾物重 (g･本$^{-1}$)	総切り花乾物重 (g･株$^{-1}$)	乾物率 (%)
30/20	11.6±1.1[z]	60.5±6.4	26.4
40/20	3.3±0.4	40.1±4.8	28.6
有意性[y]	**	**	NS

[z] 値は平均±標準誤差(n=6)
[y] t検定により**は1%水準で有意な差があることを，NSは有意な差がないことを示す

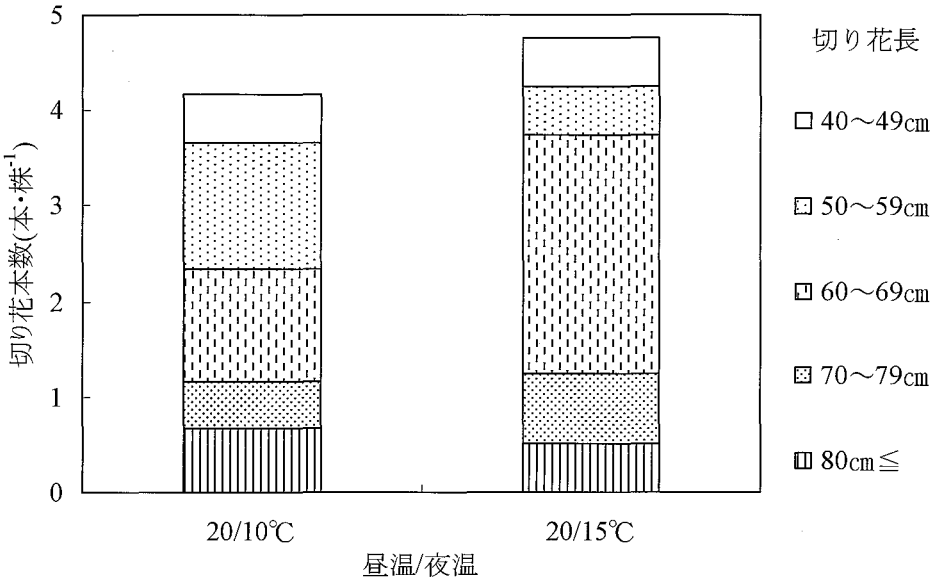
も，花弁の周縁部が中心部と比較して短い花型であり，花首も小さかった．

切り花 1 本当たりの乾物重は，30/20℃区が 40/20℃区と比較して 3.5 倍大きかった（第 2-4 表）．また，1 株当たり切り花の総乾物重は，30/20℃区が 40/20℃区と比較して 51%増加した．しかし，乾物率には処理区間に差がなかった．

2)低温条件下におけるバラの生育

20/10℃区における 1 株当たりの切り花本数は 4.2 本であり，20/15℃区の 4.8 本と比較して有意に小さかった（第 2-10 図）．20/10℃区では 50～59cm の切り花本数が 1.2 本で，20/15℃区では 60～69cm の切り花本数が 2.5 本で最も大きかった．

処理開始から開花までの到花日数は，20/10℃区が 85.6 日であり，20/15℃区の 62.8 日と比較して有意に大きくなった（第 2-5 表）．20/10℃区の切り花長，切り花重，節数および花弁長は，20/15℃区と比較して有意に大きくなった．しかし，花弁数および花色には処理区



第2-10図　昼夜温がバラ‘ローテローゼ’の切り花長別切り花本数に及ぼす影響

第2-5表　昼夜温がバラ‘ローテローゼ’の到花日数および切り花形質に及ぼす影響

昼温/夜温 (℃)	切り花本数 (本・株$^{-1}$)	到花日数	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数	花弁数 (枚)	花弁長 (mm)	花色
20/10	4.2±0.7^{z}	85.6±3.2	66.6±3.6	64.4±5.8	16.8±1.2	29.6±0.6	55.6±0.1	鮮紅
20/15	4.8±0.5	62.8±2.6	64.9±1.9	53.2±4.5	15.1±0.7	29.0±0.5	48.4±0.1	鮮紅
有意性^{y}	NS	**	*	**	**	NS	**	―

^{z}値は平均±標準誤差(n=6)

^{y}t検定により*，**はそれぞれ5%，1%水準で有意な差があることを，NSは有意な差がないことを示す

第2-6表　昼夜温がバラ‘ローテローゼ’の乾物生産に及ぼす影響

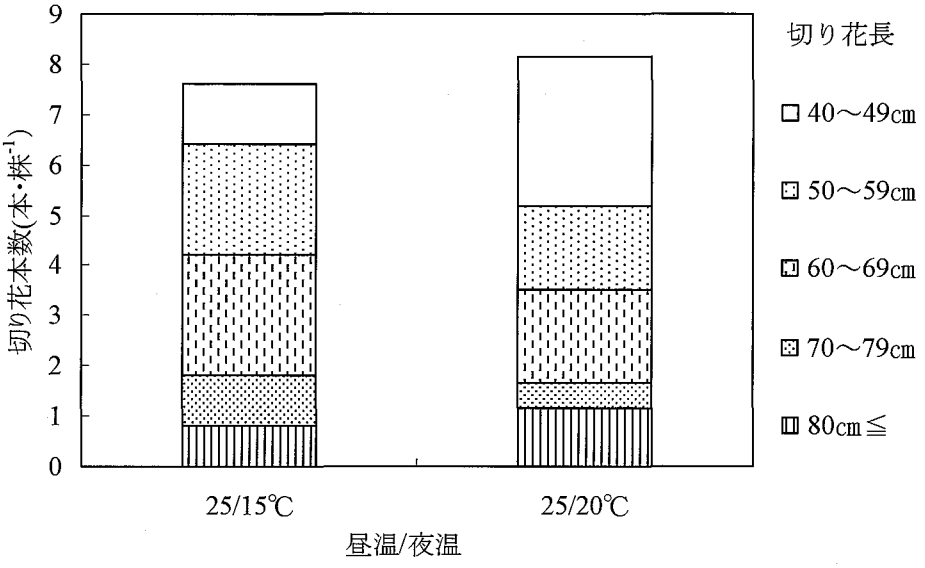
昼温/夜温 (℃)	乾物重 (g・本$^{-1}$)	総切り花乾物重 (g・株$^{-1}$)	乾物率 (%)
20/10	19.3±2.2^{z}	74.2±8.1	27.8
20/15	15.9±2.4	72.2±5.0	22.7
有意性^{y}	NS	NS	NS

^{z}値は平均±標準誤差(n=6)

^{y}t検定によりNSは有意な差がないこと示す

間に差がなかった．また，切り花 1 本当たりの乾物重，1 株当たりの総切り花乾物重および乾物率には，処理区間に有意な差がなかった（第 2-6 表）．

25/15℃区における 1 株当たりの切り花本数は 7.6 本であり，25/20℃区の 8.2 本と比較し



第2-11図　昼夜温がバラ‘ローテローゼ’の切り花長別切り花本数に及ぼす影響

第2-7表　昼夜温がバラ‘ローテローゼ’の到花日数および切り花形質に及ぼす影響

昼温/夜温 (℃)	切り花本数 (本・株$^{-1}$)	到花日数	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数	花弁数 (枚)	花弁長 (mm)	花色
25/15	7.6±1.1[z]	48.6±1.1	63.2±3.6	44.8±6.1	14.5±1.0	28.8±0.6	49.0±0.1	鮮紅
25/20	8.5±0.6	49.0±0.9	58.5±2.0	41.4±1.6	14.9±0.4	27.5±0.7	48.8±0.1	鮮紅
有意性[y]	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	ー

[z] 値は平均±標準誤差(n=6)
[y] t検定によりNSは有意な差がないことを示す

第2-8表　昼夜温がバラ‘ローテローゼ’の乾物生産に及ぼす影響

昼温/夜温 (℃)	乾物重 (g・本$^{-1}$)	総切り花乾物重 (g・株$^{-1}$)	乾物率 (%)
25/15	11.7±1.7	86.1±6.7	26.0
25/20	10.8±0.4[z]	91.1±5.4	26.0
有意性[y]	NS	NS	NS

[z] 値は平均±標準誤差(n=6)
[y] t検定によりNSは有意な差がないこと示す

て有意な差はなかった（第 2-11 図）．25/15℃区では 60～69cm の切り花本数が 2.4 本で，25/20℃区では 40～49cm の切り花本数が 3.0 本で最も大きかった．

処理開始から開花までの到花日数は，25/15℃区が 48.6 日であり，25/20℃区の 49.0 日と比

較して有意な差がなかった（第 2-7 表）．また，切り花長，切り花重，節数，花弁長および花弁数および花色には処理区間に差がなかった．また，切り花 1 本当たりの乾物重，1 株当たりの総切り花乾物重および乾物率には，処理区間に有意な差がなかった（第 2-8 表）．

3. 考察

昼夜温の違いがバラの切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した結果，低温条件を想定した昼温が 20℃の場合，夜温が 15℃では 10℃と比較して総切り花本数は増加した（第 2-10 図）．切り花形質である切り花長，切り花重および花弁長は夜温が 15℃でわずかに低下した（第 2-5 表）．しかし，切り花乾物重および総乾物重には有意な差がなかったことから，両区において，呼吸による光合成産物の消耗量にはほとんど差がなかったと考えられる．低温では二酸化炭素の同化速度が遅いことに加えて，糖質への転換速度が遅いことが Khayat･Zieslin（1986, 1987）によって報告されている．また，低温は暗期の呼吸に影響することで光合成産物の消耗を抑制する（Khayat ら，1988）とされている．これらのことから，20/10℃区では，切り花となるシュートの成長が緩慢となり切り花長，切り花重，節数および花弁長が大きくなったと推察される．

適温条件（大川，1999）を想定した昼温が 25℃の場合，夜温が 15℃でも 20℃と比較して総切り花本数（第 2-11 図），到花日数，切り花形質（第 2-7 表）および乾物生産量（第 2-8 表）には有意な差がなかった．花弁の発達には適温があり，‘Ma Perkins’の花弁長と花弁数は 16.6℃で最大となり，それ以上でもそれ以下でも小さくなる（Semeniuk, 1964）とされている．本実験から，昼温 25℃の場合には，15℃から 20℃の夜温は適温と考えられ，先の大川や Semeniuk の結果と一致した．

高温条件を想定した昼温が 40℃の場合は，30℃と比較して総切り花本数は大きかったが，40cm 以上の切り花本数（第 2-8 図）および切り花形質は著しく低下した（第 2-3 表）．この結果は，21℃と比較して 27℃でシュートは早く伸長したが，開花時のシュート長は小さくなったとする Moe（1972）の報告と一致する．一方で，40/20℃区の到花日数は著しく大きく，切り花長は著しく小さくなった．このことは，乾物率および乾物重が小さかったことから，明期の高温により光合成速度が低下したことが主な要因と考えられる．低温で栽培したバラの切り花生産性は，到花日数が長くなることから適温で栽培した場合と比較して低下する（Moe, 1972; Bryne ら，1978）とされており，本実験においても同様な結果が得られた．

花弁数および花弁長は，昼夜温ともに低いほうが高い場合と比較して大きかった．低温で開花した花のシンク能が大きいことが乾物重の増加に影響していることが示唆される．また，品種が異なっても光合成速度が最大になるのは温度が 18～25℃程度（織田，1981; Bozarth ら，1982）であることから，40/20℃区における 1 株当たりの切り花の総乾物重が 30/20℃区と比較して 66%に低下した（第 2-4 表）のは，同化専用枝の光合成速度の低下によって，それに由来する光合成産物が減少したためと推察される．

本実験では，30/20℃区と比較して光合成速度の小さかった 40/20℃区の花色の退色が著しかった（第 2-3 表）．温度の花色への影響は光合成を介しての間接的な関与であると考えられている（上田，1995）ことからも，花色の発現には光合成産物の転流が減少したことが関与していると推察される．また，バラやカーネーションは，低温で花弁数が増加する（林，1995）とされている．本実験では，昼温の高かった 40/20℃区において花弁数の著しい減少が見られた．今後は，花弁数や花弁長が小さくならない上限温度やその遭遇時間についての検討が必要であろう．温度が 27℃の場合，15℃と比較して母枝を切り戻してから蕾の着色までの日数は減少したが，切り花長は小さくなった（Moe, 1972）ことが報告されている．また，花弁長は高温で小さくなることが知られている（Moe･Kristofferson, 1969）．本実験においても，第 2-3 表に示したように 40/20℃区の到花日数は 30/20℃区と比較して 20 日長くなり 61 日になったこと，花弁長が 10mm 小さくなったことからも，昼温 40℃は生育適温よりも高いことが示唆される．志佐・高野（1964）は，温度と花弁数の関係を調査し，一定の温度以上，あるいは以下でも花弁数が減少したことを報告している．一方で，Bryne ら（1978）は，低温ほど花弁数が増加したことを報告している．この違いは，品種間差（Pasian･Lieth, 1994）によるものと考えられる．本項の実験における花弁数は，温度が低いほど大きくなる傾向にあった（第 2-3, 5 および 7 表）．バラの赤系品種の花色は，低温条件下では黒色化する blackening（Zieslin･Halevy, 1969）を生じることが知られている．20/15℃区および 20/10℃区での花弁数および花色に有意な差はなく，品種本来の鮮紅色であった．また，農林水産省の登録品種データベースは，‘ローテローゼ’の花弁数を 25～29 枚としている．したがって，昼温 20℃/夜温 10℃の条件下でも花色が変色せず，花弁数が減少しない‘ローテローゼ’は，比較的低温に強い品種であることが確認された．

以上の結果から，営利生産においては，切り花生産性および形質を考慮すると，夏期には 40℃の温度を連続させないことが，冬期には最低夜温を 15℃以上に維持すること重要なことが示唆された．

第2節　同化専用枝からの光合成産物の転流

我が国では，ロックウールを培地とする切り花生産バラの多くは，高設ベンチを用いて行なわれている．また，葉を着けたシュートを折り曲げて同化専用枝とするアーチング仕立て法やハイラック仕立て法が広く普及している．

5枚葉を残して収穫する切り上げ仕立て法のバラでは，Mor・Halevy（1979）が1本仕立て法のバラを用いて母枝の5枚葉に由来する光合成産物の転流を調査し，大きさ4mmの花らいと根が強いシンクであることを明らかにしている．また，Jiaoら（1989）は，$^{14}CO_2$を用いてバラのシンクとソースの関係を調査し，発達中の花らいが強いシンク器官であると報告している．加えて，バラにおける光合成産物は，花茎の切り戻し後は根へ，シュートの萌芽・伸長に伴い地上部へほとんどが転流し，地下部である根と地上部であるシュートのシンク能が変動するとされている（Kohl・Smith，1970）．しかしながら，折り曲げ枝を同化専用枝と呼んでいるが，同化専用枝に由来する光合成産物のソースとしての評価およびその分配先に関する報告は見当たらない．

そこで，同化専用枝の切り花生産への役割を明らかにするために，開花期の花茎を着けたアーチング仕立て法およびハイラック仕立て法のバラを用いて，着生位置の異なる同化専用枝に由来する光合成産物の挙動を同位体二酸化炭素（$^{13}CO_2$）トレーサー実験により検討した．

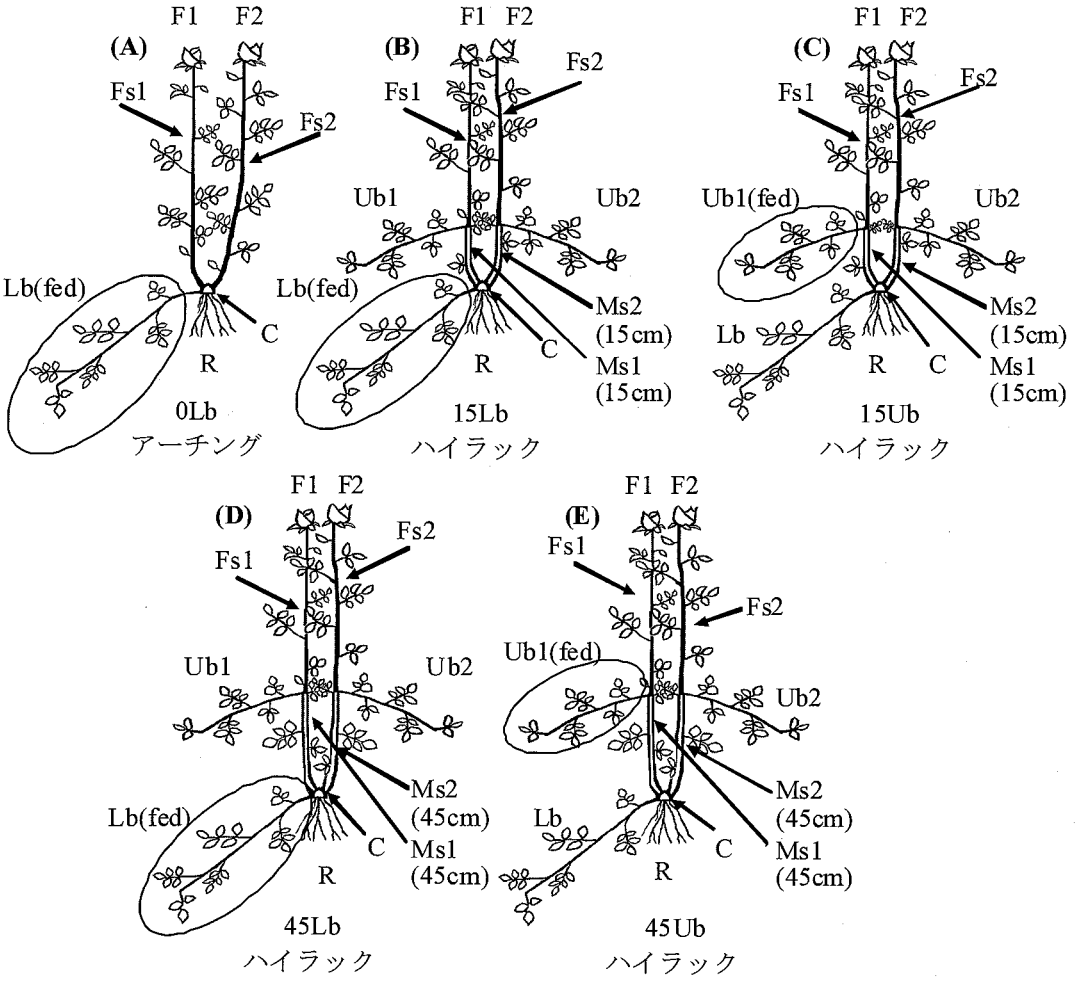
1.材料および方法

実験にはパーライトを培地として栽培した挿し木苗の‘ローテローゼ’を4株ずつ用いた．栽培期間中の最低気温は15℃とし，挿し木は2004年9月に，定植は直径が21cmの素焼き鉢へ2004年10月に行った．摘蕾を行いながら株を養成し，2005年4月にすべてのシュートをクラウンの発生基部から下の同化専用枝（以下，Lb）として折り曲げた．Lb折り曲げ後に発生したベーサルシュートは2本に制限した．ハイラック仕立て法における上の2本の同化専用枝（以下，Ub1およびUb2）の折り曲げは，2005年5月にベーサルシュート2本を開花後に摘花し，株元から15cmまた

は 45cm の高さで折り曲げた．なお，同化専用枝の蕾は適時取り除いた．

対照区（以下，0Lb 区）は採花母枝を持たないアーチング仕立て法とし，Lb に $^{13}CO_2$ を施与した（第 2-12 図）．処理区は 2 本の採花母枝長を 15 および 45cm としたハイラック仕立て法の Lb に $^{13}CO_2$ を施与した 15Lb 区および 45Lb 区，同様に 2 本の採花母枝長を 15 および 45cm としたハイラック仕立て法の Ub1 にのみ $^{13}CO_2$ を施与した 15Ub 区および 45Ub 区を設けた．

$^{13}CO_2$ の施与は，99 atom %の $^{13}CO_2$ を 1%含有する大気バランスのガスで行った．$^{13}CO_2$ 施与は，同化専用枝を施与直前に長さ 650mm×幅 480mm×厚さ 0.075mm の



第2-12図　処理区の模式図

楕円内は，$^{13}CO_2$を施与した部位を示す

略号はそれぞれ，F:花，Fs:花茎，Ub:上部同化専用枝，Ms:採花母枝，C：クラウン，Lb:下部同化専用枝およびR:根を示す

ビニル袋で密閉し，2005 年 6～7 月の晴天日に 9～14 時まで行った．なお，1 株当たり 20L のガスを施与し，施与終了時には直ちにビニル袋を除去した．$^{13}CO_2$ を施与した同化専用枝の葉面積は施与開始 72 時間後に複写機で複写し，葉面積計（AAC-400, 林電工）で測定した．その後，分析試料は花，花茎，採花母枝（0Lb 区を除く），Ub（0Lb 区を除く），Lb，クラウンおよび根の部位別に採取し，直ちに 80℃で 4 日間乾燥した．試料は乾物重を秤量後，振動カップミル（伊藤製作所）で微粉砕した．^{13}C 量は全自動同位体窒素炭素分析装置（VANCA-SL, PDZ Europa）を用いて定量した．^{13}C atom ‰ excess, ^{13}C 転流率および ^{13}C 分配率はそれぞれ次式により求めた．なお，天然 ^{13}C atom % excess は，既知の ^{13}C 濃度のグリシンを基に検量線を作成し 1.078 とした．

^{13}C atom ‰ excess＝（試料 ^{13}C atom %－天然 ^{13}C atom %）×10

^{13}C 転流率＝（全 ^{13}C 量－^{13}C を施与した同化専用枝 ^{13}C 量）÷全 ^{13}C 量×100

^{13}C 分配率＝（各部位の ^{13}C 量÷^{13}C 施与部位から移動した全 ^{13}C 量）×100

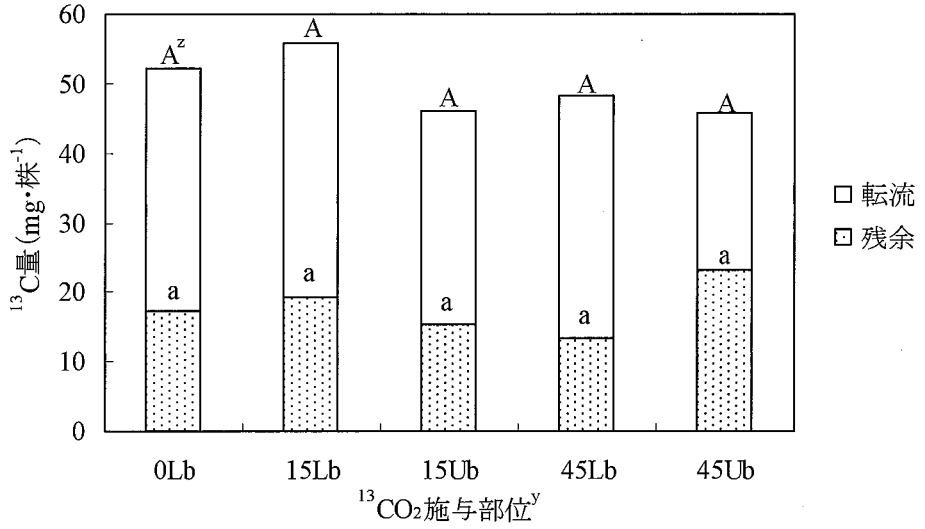
2.結果

$^{13}CO_2$ を施与したビニル袋内の最高気温は 34～37℃であり，処理日の違いによる大きな差はなかった．供試個体の全乾物重は 0Lb 区が 128.4g, 15Lb 区が 164.2g, 45Lb 区が 170.5g, 15Ub 区が 181.5g, 45Ub 区が 231.3g であった．$^{13}CO_2$ を施与した同化専用枝の葉面積は 0Lb 区が 4536cm^2, 15Lb 区が 3556cm^2, 45Lb 区が 4411cm^2, 15Ub 区が 1906cm^2, 45Ub 区が 1508cm^2 であった．

1 株あたりの全 ^{13}C 吸収量は，45.9～55.8mg で処理区間に有意な差はなかった（第 2-13 図）．

$^{13}CO_2$ を施与した同化専用枝から他部位への 72 時間後の転流率は，0Lb 区が 68%, 15Lb 区が 65%, 45Lb 区が 67%, 15Ub 区が 69%, 45Ub 区が低く 50%であったが，有意な差はなかった（第 2-14 図）．

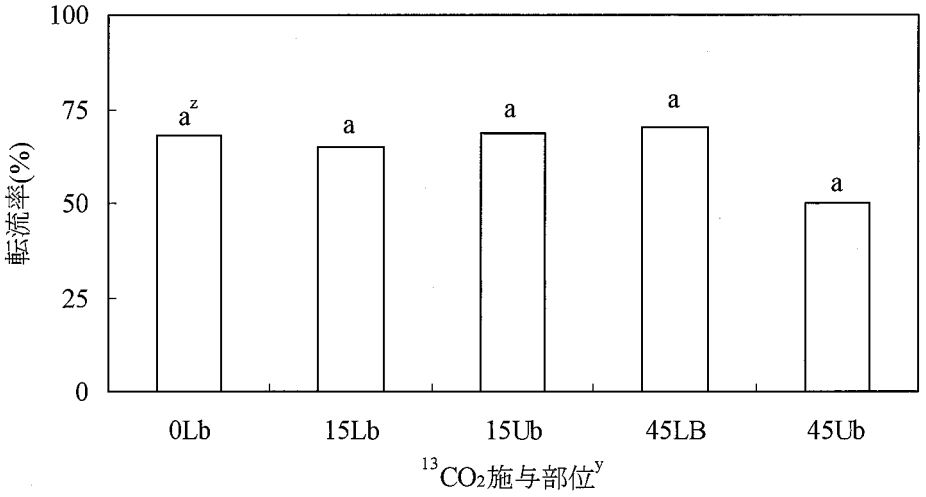
^{13}C atom ‰ excess は，Lb に $^{13}CO_2$ を施与した 0Lb 区，15Lb 区および 45Lb 区ではクラウン，あるいは根で高かった（第 2-9 表）．一方，Ub1 に $^{13}CO_2$ を施与した 15Ub



第2-13図　異なる同化専用枝に施与した$^{13}CO_2$の72時間後における部位別^{13}C量

^{z} 同一英文字間には5%水準でTukeyのHSD検定により有意な差が存在しない

^{y} 第2-14図 参照



第2-14図　異なる同化専用枝に施与した$^{13}CO_2$の72時間後における他部位への転流率

^{z} 同一英小文字間には5%水準でTukeyのHSD検定により有意な差が存在しない

^{y} 第2-14図参照

区および45Ub区では，Ub1直下の採花母枝Ms1で高く，次いで$^{13}CO_2$を施与したUb1直上の花F1および花茎S1であった．しかし，$^{13}CO_2$を施与していない側の花F2，花茎S2，採花母枝Ms2および上の同化専用枝Ub2では低かった．

$^{13}CO_2$を施与した同化専用枝から他部位への72時間後の部位別分配率は，45Ub区を除いて根が最も高かった（第2-10表）．根以外への部位別分配率は，Lbに$^{13}CO_2$

第2-9表　異なる同化専用枝に施与した$^{13}CO_2$の72時間後における部位別^{13}C atom ‰ excess

部位[z]	施与部位				
	0Lb	15Lb	15Ub	45Lb	45Ub
			^{13}C atom ‰ excess		
F1	0.176ab[y]	0.187a	0.302ab	0.073a	0.529ab
F2	0.187abc	0.112a	0.108a	0.052a	0.041a
Fs1	0.119a	0.108a	0.293ab	0.066a	0.840ab
Fs2	0.144ab	0.088a	0.088a	0.059a	0.032a
Ub1	—[x]	0.092a	fed	0.017a	fed
Ub2	—	0.116a	0.052a	0.026a	0.027a
Ms1	—	0.073a	0.757b	0.064a	1.172b
Ms2	—	0.116a	0.073a	0.073a	0.057a
Lb	fed[w]	fed	0.094a	fed	0.101a
C	0.612c	0.632b	0.375ab	0.324b	0.367ab
R	0.515bc	0.576b	0.394ab	0.507b	0.201ab

[z] 第2-14図参照
[y] 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない
[x] その部位がないことを示す
[w] $^{13}CO_2$を施与した部位を示す

第2-10表　異なる同化専用枝に施与した$^{13}CO_2$の72時間後における部位別^{13}C分配率

部位[z]	施与部位				
	0Lb	15Lb	15Ub	45Lb	45Ub
			分配率(%)		
F1	1.0a[y]	0.9ab	1.2ab	0.4a	3.0a
F2	0.9a	0.5a	0.4a	0.5a	0.2a
Fs1	5.9b	4.8cd	7.5bcd	3.9bcd	23.8bc
Fs2	6.4b	3.0abc	2.9abc	4.1cd	1.2a
Ub1	—[x]	3.3bcd	fed	1.0ab	fed
Ub2	—	3.4bcd	2.3abc	1.5abc	1.1a
Ms1	—	1.8abc	15.9d	3.2bcd	31.8c
Ms2	—	2.6abc	2.4abc	3.4bcd	1.5a
Lb	fed[w]	fed	11.2cd	fed	4.3ab
C	10.0c	8.1d	5.7abcd	6.5d	4.9ab
R	75.8d	71.6e	50.5e	75.5e	28.2c

[z] 第2-14図参照
[y] 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない
[x] その部位がないことを示す
[w] $^{13}CO_2$を施与した部位を示す

を施与した 0Lb 区，15Lb 区および 45Lb 区のクラウンで高かった．一方，$^{13}CO_2$ の施与を Ub1 とした 15Ub 区および 45Ub 区の部位別分配率は，Ub1 直下の採花母枝 Ms1 で高かった．

3.考察

バラを用いて異なる部位の同化専用枝からの光合成産物の転流について $^{13}CO_2$ をトレーサーとして調査した．その結果，株元の同化専用枝に由来する光合成産物はクラウンおよび根へ，採花母枝の同化専用枝に由来する光合成産物は直近の採花母枝および花茎へ多く転流していることが明らかとなった（第 2-10 表）．そのため，同化専用枝を持つアーチング仕立て法およびハイラック仕立て法において，同化専用枝は着生位置に関わらずバラ樹体の生育に大きく寄与していると考えられる．

Kohl･Smith（1970）は，開花期にあるバラでは，花茎と根がシンクとして競合していることを報告している．本実験で用いた株の開花ステージは，$^{13}CO_2$ 施与時に萼が水平程度に開いた状態の開花期にあった．この時には，Lb に由来する光合成産物の多くはクラウンおよび根へ転流していた．Lb の葉数は陽光面だけでも数十枚以上あり，5 枚葉 1 枚と比較して極めて大きい．そのため，日陰部分にある葉の呼吸による消耗を差し引いても光合成による同化産物の生産量は 5 枚葉 1 枚のみの切り上げ仕立て法と比較して大きく，大きなソースであると考えられる．従って，花および花茎へ分配された光合成産物の残りがクラウンおよび根へも十分に転流したため，同化専用枝からの光合成産物の競合が起こらなかったと推察される．一方，Mor･Halevy（1979）は，バラのシュートが発蕾した後には，採花母枝およびシュートの葉がシンクからソースへ変わり地下部への光合成産物の転流が増加するとしている．また，アボカドの最も強いシンクは根であるが，シュートの生育ステージが進むにつれてそのシンク能が強まるとされている（Whiley･Shaffer, 1993）．本実験で用いた株の花茎は生長が進んだ開花期にあったため，Lb に由来する光合成産物の分配率が根やクラウンで高かったとも考えられる．そのため，発蕾前や発達中の蕾をつけた花茎を持つ株を用いて，同化専用枝からの転流と分配について詳細に調査する必要があろう．

Cralle･Heichell（1988）はアルファルファを用いて上位葉に施与した $^{14}CO_2$ は茎頂部や未展開葉に多く，下位葉に施与した $^{14}CO_2$ はクラウンおよび根に多く転流したことを確認している．本実験でも，ハイラック仕立て法で採花母枝に由来する Ｕｂに施与した $^{13}CO_2$ は

その花茎および直近の採花母枝へ，株元に由来するLbに施与した$^{13}CO_2$はクラウンおよび根の転流率が高かった．そのため，バラにおいても同化専用枝に由来する光合成産物は，その同化専用枝に近いシンクへ多く転流することが示唆された．

ハイラック仕立て法でUbに$^{13}CO_2$を施与すると，Lbに施与した場合と比較して採花母枝の長さにかかわらずシンクである根の^{13}C atom ‰ excessおよび根への転流率が低かった（第2-9および10表）．一方，Ub1の着生する採花母枝で^{13}C atom ‰ excessの高かったことから，採花母枝はアーチング仕立て法のクラウンと同様に次の花茎を発生させるためのシンク機能を有していることが示唆された．また，ハイラック仕立て法でLbに$^{13}CO_2$を施与した場合，根の^{13}C atom ‰ excessおよび根への分配率は，採花母枝の長さに関わらずアーチング仕立て法と同様の値を示した（第2-9および10表）．そのため，ハイラック仕立て法におけるLbは主に地下部の生長に関与しているが，Ubは直近の花茎そのものの生長に大きく関与していると推察される．これらのことから，ハイラック仕立て法はアーチング仕立て法と比較して，ソースとしての同化専用枝の量が多いため，根およびクラウン以外にも採花母枝が大きなシンクなっているので生産性が高いと考えられる．さらに，ハイラック仕立て法では，採花母枝の長さが異なっても$^{13}CO_2$をLbに施与した場合は，部位別の^{13}C atom ‰ excessおよび分配率はほぼ同じであった．しかし，採花母枝長が45cmでUbに$^{13}CO_2$を施与した場合は，採花母枝長15cmと比較して施与直近の採花母枝の^{13}C atom ‰ excessおよび分配率が高かった．さらに，採花母枝長が45cmで根およびクラウンの^{13}C atom ‰ excessおよび分配率が低かった．トマト（Tanaka･Fujita，1974）やインゲン（Olufajoら，1982）の光合成能力はシンクの大きさによって支配されている．これらのことから，採花母枝が長いとシンクが強まるために光合成能力が高まることで切り花の生産性が高い，あるいは形質が優れると考えられるが，栽培実験により詳細に検討する必要があろう．

以上の結果から，同化専用枝を持つバラのハイラック仕立て法においては，株元に着生する同化専用枝に由来する光合成産物は根において，採花母枝に着生する同化専用枝に由来する光合成産物は採花母枝において分配率および^{13}C atom ‰ excessが高かった．このことから，同化専用枝はソース器官として機能しており，株元の同化専用枝は根の成長を，採花母枝の同化専用枝は花茎の発達に関与していることが明らかとなった．そのため，施設内への積極的な二酸化炭素施与や補光に

よって同化専用枝の光合成能を高めることで，切り花生産性を向上できる可能性が示唆された．

第3節　二酸化炭素施与と生産性および形質

第2章第1節において，二酸化炭素濃度が800～1200ppmまで上昇すると，バラの同化専用枝の光合成速度が大きくなることを明らかにした．これまでに，バラでは，二酸化炭素の施与により切り花の生産性が向上することがLindstrom（1965），Enochら（1973）およびHand･Cockshullら（1975a, 1975b）によって報告されている．しかし，これらは，いずれも土耕栽培で切り上げ仕立て法によって研究された事例であり，同化専用枝を持つ養液栽培のバラにおける二酸化炭素施与に関する報告は見当たらない．また，第2章第2節では，同化専用枝からは光合成産物が他部位へ転流しており，生産性に関与していることを明らかにした．養液栽培は土耕栽培とは異なり，土壌中の有機物の分解に由来する二酸化炭素の施設内への供給は期待できないことから，二酸化炭素施与による生産性向上効果は高いと考えられる．

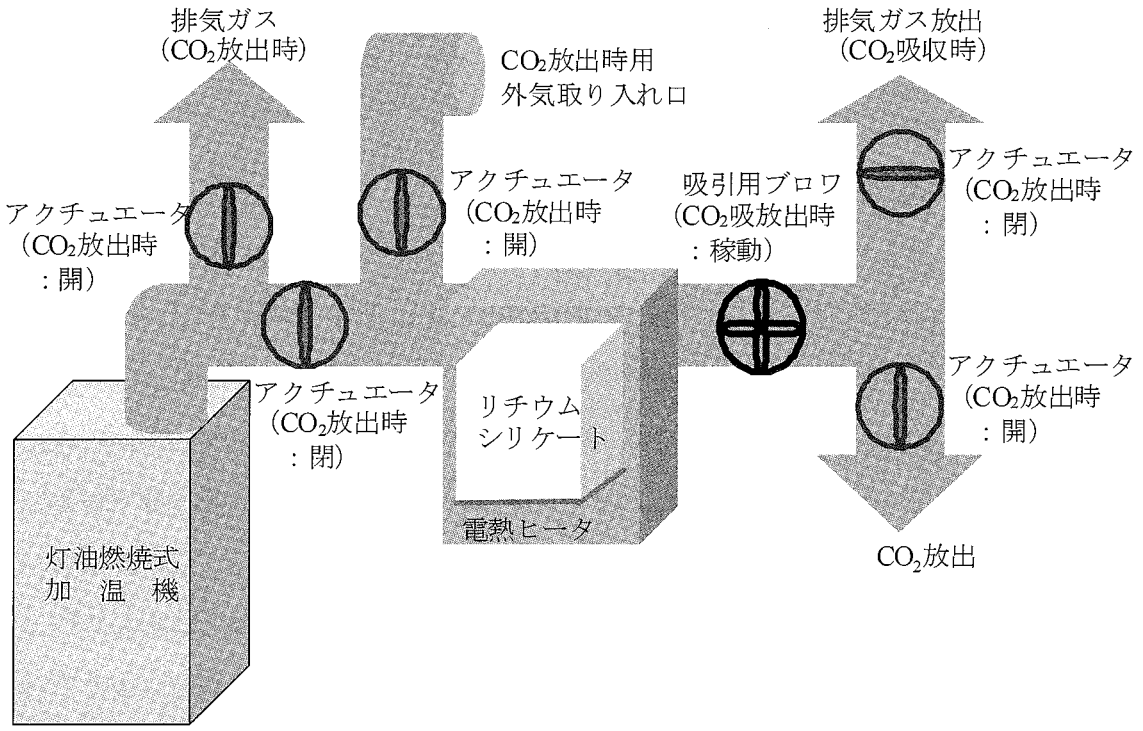
そこで，本節では，同化専用枝を持つハイラック仕立て法で栽培している養液栽培のバラにおいて，二酸化炭素施与が切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した．

1.材料および方法

挿し木苗の‘ローテローゼ’を供試し，定植方法，栽植間隔，培養液管理および温度管理は第1章第1節と同一とした．2006年8月4日に定植し，ハイラック仕立て法で栽培中の株を用いた．2007年10月23日に採花母枝から発生したシュートを同化専用枝としてすべて折り曲げ，翌日から二酸化炭素（以下，CO_2と略記）施与を開始した．CO_2濃度は上限が1200ppmとなるようにし，7時30分から9時までの90分間施与した（第2-15図）．対照区はCO_2を施与しなかった．

実験中の加温温度は18℃とし，天窓は28℃で開放するように設定した．1区当たり8株ずつ用い，4反復とした．切り花の収穫調査は，収穫開始の11月下旬からCO_2施与を終了した5月31日まで行った．

CO_2施与は，灯油燃焼式加温機の排気ガス中に由来するCO_2を吸着し，再放出できるリチウムシリケート（Li_4SiO_4）を用いて行なった．リチウムシリケートは，炭酸リチウム（Li_2CO_3）と二酸化ケイ素（SiO_2）の2種類の複合セラミックスであり，$Li_4SiO_4+CO_2 \leftrightarrow$



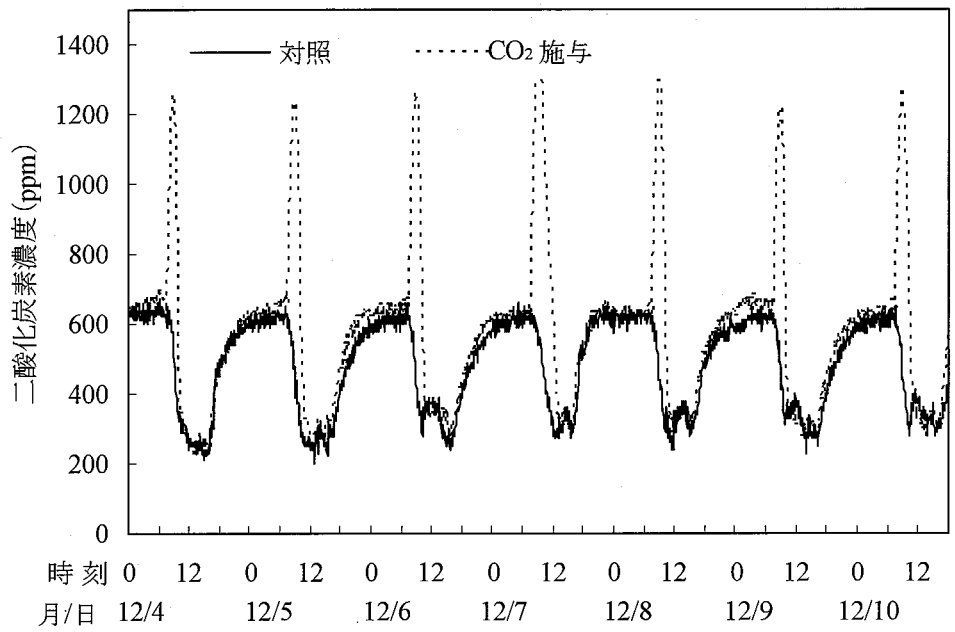
第2-15図　リチウムシリケートを利用したCO_2吸収・放出装置の模式図

Li_2SiO_3+Li_2CO_3 の化学式で示されるように，CO_2 と温度によって可逆的に反応する．第 2-15 図に示す装置（㈱東芝）を用いて CO_2 の吸収と放出を行った．

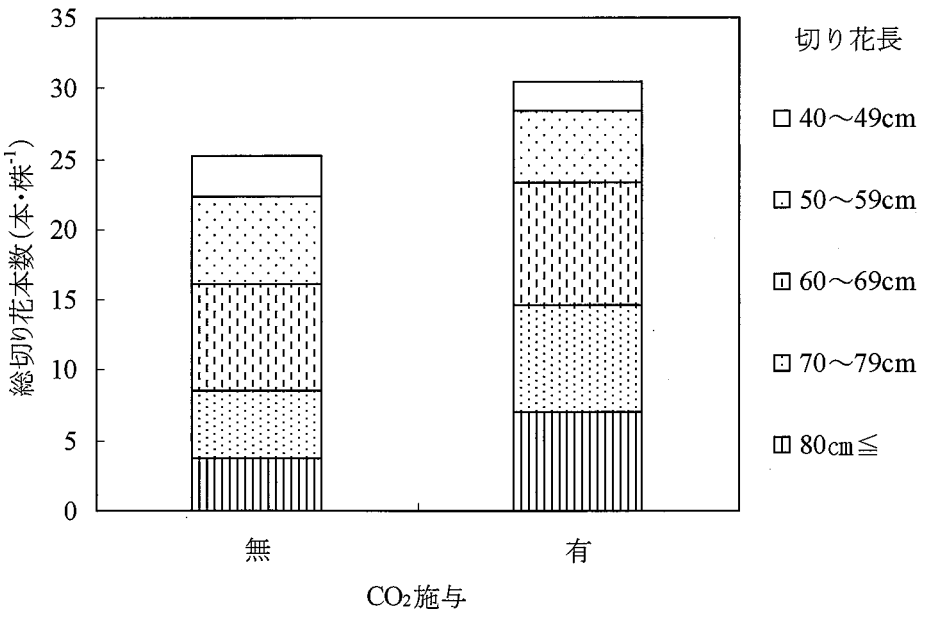
2.結果

対照区と CO_2 施与区における温室内の CO_2 濃度 7 日分の推移を第 2-16 図に示した．CO_2 施与区では，施与開始時刻になると急速に CO_2 濃度が上昇し，設定値である 1200ppm まで上昇した．一方，対照区では CO_2 濃度が日の出とともに急速に大気濃度以下まで低下した．いずれの区ともに，昼間の CO_2 濃度は大気濃度以下まで低下したが，午後からは急速に，夕方からは緩やかに上昇した．

収穫開始からの 1 株当たりの総切り花本数は，CO_2 施与区が 30.4 本であり，対照区の 25.2 本と比較して有意に大きかった（第 2-17 図）．市場出荷期格別にみると，両区とも，60～69cm の切り花本数が最も大きく，対照区では 7.5 本，CO_2 施与区では 8.7 本であった．80cm 以上の切り花本数は，CO_2 施与区が 7.1 本であり，対照区の 3.7 本と比較して有意に大きかった．



第2-16図　CO_2濃度の推移（2007年12月4日～10日）



第2-17図　CO_2施与がローテローゼ’の切り花長別切り花本数に及ぼす影響

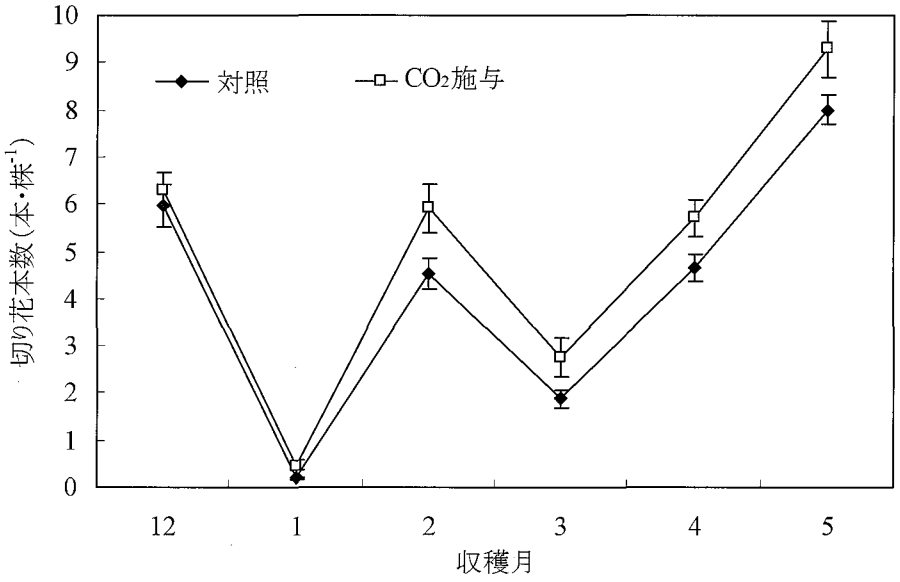
切り花の形質についてみると，調査期間をとおした平均の切り花長および切り花重は，CO_2 施与区が対照区と比較して有意に大きかった（第 2-11 表）．しかし節数には，有意な差がなかった．切り花重を切り花長で除した値は，CO_2 施与区がわずかに大きかった．1 株当たりの総切り花重は，CO_2 施与区が対照区と比較して有意に大きかった．

第2-11表　CO_2施与がバラの切り花生産性，形質および総切り花重に及ぼす影響

CO_2施与	切り花本数 (本・株$^{-1}$)	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数	切り花重/切り花長 (g・cm^{-1})	総切り花重 (g・株$^{-1}$)
無	25.2±0.1[z]	70.4 ± 0.8	32.6 ± 1.2	14.7 ± 0.2	0.48	421.0 ± 7.7
有	30.4±0.1	74.5 ± 1.2	36.5 ± 1.5	14.6 ± 0.2	0.50	586.4 ± 18.1
有意性[y]	**	**	*	NS		**

[z] 値は平均±標準誤差(n=4)

[y] **および*はそれぞれ1%，5%水準で有意な差があることを，NSは差がないことを示す



第2-18図　CO_2施与がバラ‘ローテローゼ’の収穫月別切り花本数に及ぼす影響
図中の縦線は標準誤差（n=4）を示す

収穫月別の総切り花本数は，いずれの区ともに 12 から 3 月までは 1 か月ごとに増減を繰り返し，それ以降は増加した（第 2-18 図）．1 株当たりの切り花本数は，収穫したすべての月で CO_2 施与区が対照区と比較して有意に大きかった．

3.考察

バラの養液栽培によるハイラック仕立て法において，CO_2 施与が切り花の生産性および形質に及ぼす影響について検討した．その結果，1200ppm の CO_2 を 90 分間施与することにより切り花の生産性（第 2-17 図）は高くなり，形質は切り花重および切り花長が大きくなることで向上した（第 2-11 表）．

この結果は，バラの切り上げ仕立てにおける CO_2 施与に関する多くの報告（Enoch ら，

1973 ; Hand・Cockshull, 1975a; Kimball, 1983; Mattson・Widmer, 1971）と一致する．切り花本数が増加した理由として，花芽の発育が停止によるブラインドの発生の減少が最大の要因である（Hand・Cockshull, 1975b; Mattson・Widmer, 1971; Zieslin ら，1986）とされている．強いシンクである花芽（Jiao ら，1989）は，光合成産物の転流量の不足によりブラインドシュートとなるが，第 2 章第 1 節で明らかにしたように，バラの光合成速度は CO_2 濃度が上昇すると大きくなることから，これまでの報告と同様に，開花したシュートが増加したため総切り花本数が大きくなったと考えられる．また，第 2-11 表に示したように，CO_2 施与区の総切り花重量が対照区と比較して大きかったことから，CO_2 施与により 1 株当たりの光合成産物の生産が増加したと推察できる．

一方，CO_2 施与による生産性や形質の向上には顕著な効果のない品種が存在することを田中ら（1991）は報告している．理由として，実験場所である神奈川県の日射量が豊富なことを指摘しており，晴天日には天窓の開放が早く行われるので高濃度の CO_2 にバラが遭遇する時間が短かったためとしている．さらに，田中らは切り上げ仕立て法により実験を行っているため，光合成を行う葉枚数がハイラック仕立て法と比較して著しく少ないので，1 株当たりの CO_2 の吸収量が小さかったため切り花の生産性向上に顕著な効果がなかったと推察される．本節での CO_2 の施与時間は 90 分間であったが，さらに長時間の施与効果についても検討する必要があろう．

根域を制限しない圃場で栽培したオレンジ（Idso・Kimball, 1991; Idso・Kimball, 1992）やニホンナシ（伊藤，2003）では，光合成速度が長期間の CO_2 施与によって処理開始時には上昇し，施与終了時には著しく低下する down regulation を生じないが，コンテナ栽培したコムギは，down regulation を生じる（Azcón-Bieto, 1983）ことが報告されている．down regulation が生じる一因に，根のシンク活性が低下し，葉で生産された光合成産物の転流速度が光合成速度ほど上昇しない（Idso・Kimball, 1991）ためとされている．本実験のように，根域を制限したバラの養液栽培においては，コムギのコンテナ栽培とは異なり，培養液が根へ潤沢に供給されているため養水分ストレスを受けず，根のシンク活性が高く維持されたと考えられる．また，同化専用枝を持つバラは，強いシンクとしての発達中のシュート（Mor・Halevy, 1980）および花蕾（Jiao ら，1989）が 1 株中に混在する．また，それらがない場合でも，第 2 章第 2 節で明らかにしたように，ハイラック仕立て法においては採花母枝も強いシンクである．根がストレスを受けず，強いシンクが樹体へ常に存在するバラでは，長期間の CO_2 施与を行っても，第 2-18 図に示したように，すべての収穫月で施与区の

切り花本数が対照区と比較して大きかったことから，down regulation を生じない，あるいは生じにくいと考えられる．また，Zeroni･Gale（1988）は，600ppm，または 1200ppm の CO_2 を明期に連続的に施与してもバラの生産性が低下しなかったことを報告していることもこの推察を支持しよう．

以上の結果から，同化専用枝を持つバラの養液栽培において，秋期から春期における積極的な CO_2 施与は，90 分の短時間であっても，切り花本数および形質を向上させるための有効な手段であることが示唆された．

第 4 節　総合考察

一部のバラ生産者は，パッドアンドファンによる昼間の昇温防止対策とヒートポンプによる夜間冷房を組み合わせた栽培を行っている．パッドアンドファンでは，昼間の施設内温度を外気温と同程度まで下げることが可能（林，2003）である．Plaut ら（1979）は，パッドアンドファン冷却によりバラを栽培し，花弁が大きくなるとともに切り花重も大きくなることで形質が向上したと報告している．また，ヒートポンプを導入している生産者は，夜冷時の温度設定を 20℃程度としていることから，夏期の施設内の温度は昼温 35℃，夜温 20℃程度となろう．大須賀（2007）は，ヒートポンプを用いた夜冷栽培によって採花本数の増加や切り花形質の向上することを認めている．したがって，高温期におけるパッドアンドファンとヒートポンプ両者の組み合わせによる昇温防止対策は，バラの切り花の生産性および形質を向上させるための有効な手段と考えられる．

于ら（2006）は，ミニチュアローズの生育に及ぼす環境要因を調査し，積算日射量，積算昼間温度および積算夜間温度のいずれにおいても，有意な相関のあったことを報告している．しかし，この報告は，異なる季節に栽培した生育調査の結果を統合して環境要因と生育との相関関係を調査しているために，低温期，あるいは高温期のみの相関は明らかでない．一方で，Shin ら（2001）は，発蕾期以降の温度を変更して蕾の発達と温度の関係をシミュレーションしているが，低温で栽培した場合には分散が大きかったとしている．40/20℃（昼温/夜温），25/20℃および 20/10℃を比較した場合，採花母枝の日肥大および 1 株当たりの切り花乾物生産重は 25/20℃で最も大きく，40/20℃で最も小さかった．これらのことから，バラでは採花母枝の日肥大と乾物生産性の間に密接な関係があり，同様な温度条件が継続する場合には，採花母枝径の日変化を短期間測定することにより，切り花の生産性を予測できる可能性が示唆された．

同化専用枝の光合成速度は，PPFD と二酸化炭素濃度の上昇により大きくなった．また，同化専用枝から吸収された二酸化炭素に由来する光合成産物は，バラ樹体の各部位へ転流していた．さらに，冬期の施設内への積極的な二酸化炭素施与により，切り花の生産性および形質が向上した．したがって，同化専用枝を持つバラの仕立て法においては，温度，PPFD および二酸化炭素などの環境要因を最適な範囲に維持することによって同化専用枝の光合成速度を高めることで，切り花生産性および形質をさらに向上させることができると考えられる．

第5節　摘要

バラ‘ローテローゼ’を供試し，環境条件と同化専用枝の光合成速度，温度と採花母枝径の日変化ならびに切り花の生産性および形質，同化専用枝からの光合成産物の転流と二酸化炭素施与が切り花の生産性および形質に及ぼす影響について検討した．

1．同化専用枝の光合成速度について検討した結果，二酸化炭素濃度を 800～1200ppm まで高めると，大気状態と比較して 30%以上大きくなった．しかし，二酸化炭素濃度をそれ以上に高めても，光合成速度はほとんど上昇しなかった．また，光合成速度は，PPFD が 1000 μ mol·m^{-2}·s^{-1} までは急速に上昇したが，PPFD をそれ以上に高めてもほとんど大きくならなかった．

2．採花母枝の日肥大に及ぼす温度の影響について検討した結果，昼夜温ともに一定の場合，20℃での肥大が最も大きかった．一方，40℃一定の場合には採花母枝は収縮した．30/20℃（昼温/夜温）では 40/20℃と比較して日肥大が大きかったが，20/15℃および 20/10℃の間には差がなかった．栽培適温とされる 25/20℃での採花母枝の日肥大が最も大きかった．

3．温度が切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討した結果，40/20℃（昼温/夜温）では 30/20℃と比較して到花日数が著しく大きくなるとともに形質が著しく低下した．また，1 株あたりの乾物生産量は，30/20℃で明らかに増大した．20/15℃における切り花生産性は 20/10℃と比較して大きかったが，切り花重が小さかったことから，1 株当たりの乾物生産量に差がなかった．栽培適温とされる 25/20℃および 25/15℃では，到花日数が短く，切り花形質の低下もみられなかった．

4．同化専用枝に由来する光合成産物の転流と分配に関して，開花期の株を用いて調査した結果，アーチング仕立て法では光合成産物の多くが根とクラウンへ，ハイラック仕立て

法では根と採花母枝へ転流していた．このことから，いずれの仕立て法においても，同化専用枝はソース器官であり，根およびクラウン，ハイラック仕立て法での採花母枝は強いシンク器官であること明らかとなった．

５．冬期における施設内への積極的な二酸化炭素施与が切り花生産性および形質に及ぼす影響を調査した結果，10 月下旬の 7 時 30 分から 90 分間，上限を 1200ppm 程度として二酸化炭素を施与することで，切り花の生産性および形質ともに無施与と比較して著しく向上した．

第3章　資源循環を可能にする養液栽培技術の開発

第1節　排液の循環利用と生産性および形質

我が国へ 1985 年に初めて導入された切り花バラ生産のロックウール栽培（原，1987）は，その後全国で著しく増加した．広島県においては，2008 年のバラ栽培面積 8.5ha のうち，6.7ha まで占めるようになった．一般にロックウール栽培では，ロックウールマット内の培養液量および培養液組成を均一化させるために必要以上の培養液を給液し，過剰な培養液である排液は直接，栽培施設外へ排出されている（田中・安井，1992）．しかし，オランダでは養液栽培に由来する排液の排出は厳しく制限されていることから，排液の全量循環を 75%の生産者が行っている（糠谷，1999）．我が国においても，2001 年に水質汚濁防止法施行令が改正され，硝酸化合物などが新たに排水規制項目に指定された．この法律が農業分野へ適用された場合には，現在のかけ流しによる栽培はできなくなり，排液を廃棄せずに循環利用する必要がある．また，肥料価格が高騰していることからバラの切り花栽培での生産費に占める肥料コストの割合も増加してきている．こうした状況から，我が国のバラのロックウール栽培においても，排液を低コストで循環利用する栽培技術の開発が求められている．ところが，ロックウール栽培ではロックウールの緩衝能が低いために，排液を直接，循環利用すると培養液組成の変動が大きくなる．岩崎・千葉（2000）はトマトの循環型養液栽培において，ヤシ殻繊維培地や樹皮培地と比較した場合，ロックウール培地では商品果生産性および商品果率が低下したと報告している．また，循環型水耕栽培のキュウリでは，根からのしん出物によって生育が抑制され商品果生産性が低下する（浅尾ら，1998）．バラの栽培はキュウリよりも長期間にわたるために，根からのしん出物による生育低下が生じる危険性がある．

培養液を循環利用した場合，培養液中に病原菌が混入する可能性のあることから，殺菌，あるいは除菌が必要となる．オランダでは加熱処理，オゾン処理および紫外線照射がすでに 500 以上の農園で実用化されている（Runia, 1995）．我が国の野菜の養液栽培においても，培養液中の病原菌を制御するために，紫外線照射（草刈，1990），加熱殺菌（田中ら，1992），あるいはオゾン処理（松尾，1993）等が試みられている．しかし，これらはいずれも設置経費，排熱処理および稼働経費の点からほとんど生産現場に導入されていない．一方，峯ら（2000）はトマトの NFT 栽培における病原菌の制御法として，安価で簡易な砂による緩速ろ過について検討し，緩速ろ過は培養液の除菌に効果が高いことを報告している．

排液の EC は給液の EC と比較して高くなっていることが多いため，そのまま循環利用すると給液の EC は上昇し続けることから，根は塩類障害を生じる．そのため，排液の循環利用に際しては，水によって希釈，あるいは常に濃度の低い培養液を施与する必要がある．しかし，メロンのロックウール栽培では，培養液濃度が低いと果実重や形質の低下が生じる（張・糠谷，1997）ことから，濃度の低い培養液を施与すると，バラにおいても生育の低下を引き起こす可能性がある．

そこで，本節では，バラの養液栽培における排液の循環利用システムを開発するために，砂と活性炭を利用した緩速ろ過方式を用いた場合における培養液の循環利用がバラ切り花の生産性，形質および培養液中の無機成分濃度に及ぼす影響について調査した．

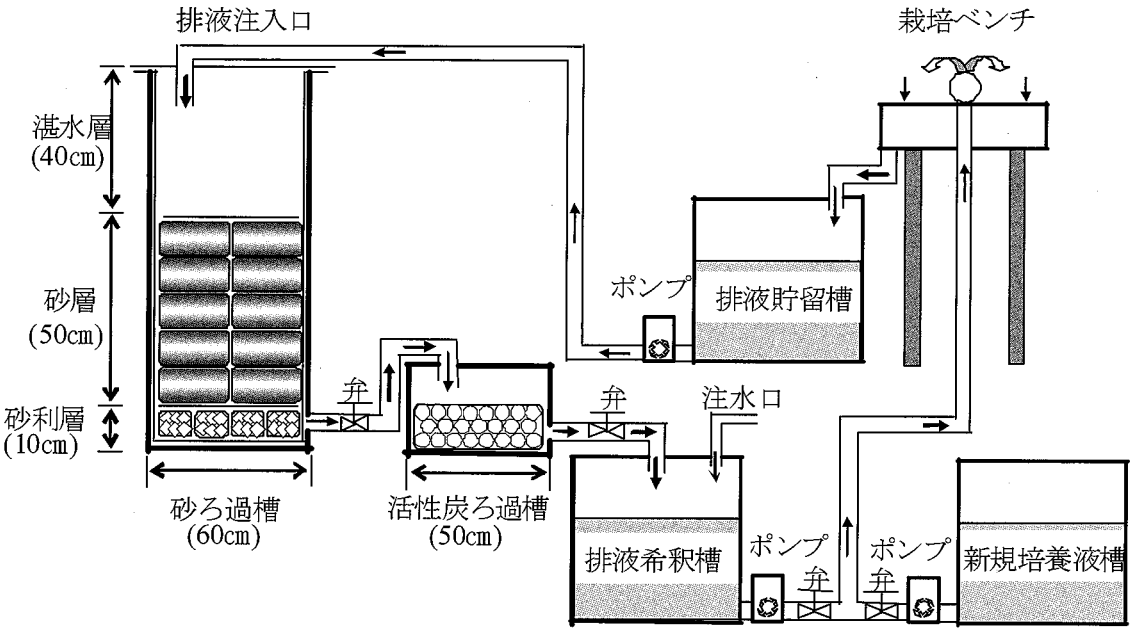
1.材料および方法

オドラータ台木接ぎ挿し苗の‘ローテローゼ’を供試した．定植方法，栽植密度および温度管理は第 1 章第 1 節と同一とした．実験には，1998 年 6 月 18 日に定植した株を 1 区当たり 10 株ずつ供試した．

実験開始約 4 か月前の 2000 年 3 月 6 日から，第 1-1 表に示した成分構成比および第 1-2 表に示した施与量で培養液をかけ流して均一栽培を行った．

2000 年 7 月 10 日に同化専用枝を更新するためにすべてのシュートを折り曲げてハイラック仕立て法で実験を開始した．対照区として，第 3-2 表に示した組成の新規培養液をかけ流すかけ流し区を設けた．処理区としてロックウールマットから排出された排液を水で 2 倍に希釈し不足分を新規作成培養液で補充し混合培養液としてそれぞれを混合して施与する 2 倍希釈区（新規培養液 6：排液 2：希釈水 2），および同様に排液を水で 4 倍に希釈し混合施与する 4 倍希釈区（新規培養液 6：排液 1：希釈水 3）を設けた．培養液は，扇形ノズルを付けた潅水パイプにより散水方式で施与した．設定排液率は，かけ流し区および 2 倍希釈区が 20%, 4 倍希釈区が 10%とした．ただし，処理区では排液量が不足したときには新規作成培養液のみを，一方，給液量に対する排液量の割合である設定排液率を上回ったときには，排液のみを施与した．給液量および排液量は流量計で毎日測定した．

砂と砂利による培養液の緩速一次ろ過方法は峯ら (2000) の方法に準拠し，粒径が 0.2mm で容量 140L の砂と粒径が 3～5cm で容量 28L の砂利で行った（第 3-1 図）．次に粒径が 3～5mm で容量 7.5L のヤシ殻素材の活性炭で緩速二次ろ過した（以下，緩速一次および二次ろ過を併せてろ過と略記）．砂，砂利および活性炭ともに透水性を有するよう格子状に縫



第3-1図　実験に用いた養液循環栽式栽培装置の模式図

製されたポリエチレン製の土嚢袋に詰めて培養液中への流出を防止した．ろ過速度は毎分120～400mL となるように流出量を弁で調整した．実験中は，いずれのろ過資材も交換しなかった．ろ過した排液は，Na を 12mg·L^{-1}, Cl を 10mg·L^{-1} 程度含む水道水（以下，水と略記）を加えて所定倍率に希釈した．

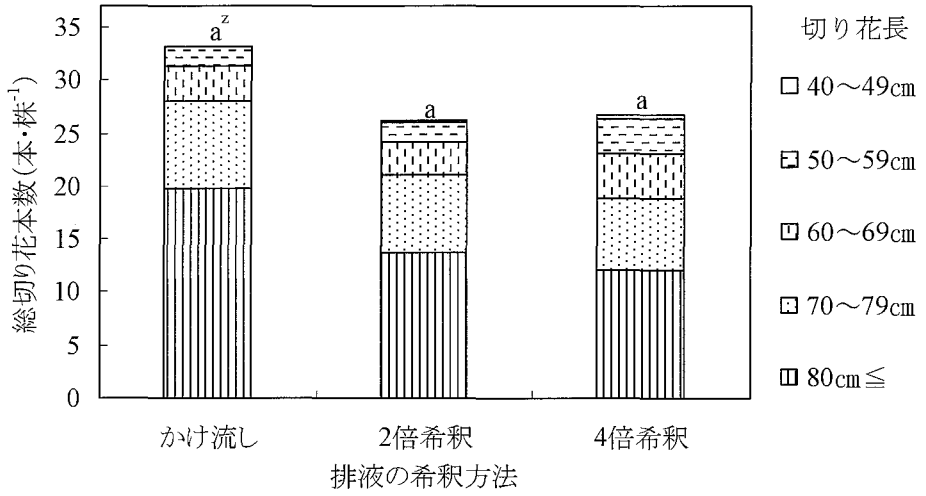
切り花の調査は長さ 40cm 以上の花茎を萼が水平に開いた状態で収穫し，9 月 2 日から 1 年間，毎週 5 回以上行った．なお，収穫時に切り花長が 40cm 未満の花茎は花蕾を摘み取り，発生基部から折り曲げて同化専用枝とした．

各区ともに新規培養液，混合培養液およびろ過後排液の NO_3-N, NH_4-N, PO_4-P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na および Cu の成分分析並びに pH および EC の測定は処理開始直後から，11, 12 および 2 月を除いて毎月中旬に行った．NO_3-N はイオンクロマトグラフィー法により，NH_4-N はフローインジェクション法により，PO_4-P はモリブデンブルー法により，その他の成分は原子吸光法によりそれぞれ分析した．

微生物数および吸光度の測定は，2 倍希釈区のろ過前およびろ過後の排液を用いて実験期間中の 2000 年 11 月 6 日に行った．微生物数の測定は，ろ過直後，ろ過開始 2 時間後，4 時間後および 6 時間後の排液を用い，糸状菌をローズベンガル培地で，細菌をアルブミン寒天培地により 25℃で 5 日間培養し，塗沫平板法によりコロニー数を測定した．OD 値の測定は，吸光度計（21906，バイオログ）を用いて 590nm の波長により行った．

2.結果

収穫開始から1年間の1株当たりの総切り花本数は，かけ流し区が33.2本，2倍希釈区が26.2本，4倍希釈区が26.8本であったが，処理区間に有意な差はなかった（第3-2図）．総切り花本数の差は，主に80cm以上の切り花本数の違いによるものであり，その切り花本数は，かけ流し区が最も大きく19.8本，2倍希釈区が13.7本，4倍希釈区が12.0本であった．40～49cmの切り花本数は，かけ流し区では0本であり，2倍希釈区および4倍希釈区ともに0.5本未満であった．



第3-2図　排液の希釈方法がバラ‘ローテローゼ’の切り花長別切り花本数に及ぼす影響

z 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で総切り花本数に有意な差が存在しない

第3-1表　排液の希釈方法がバラ‘ローテローゼ’の切り花形質に及ぼす影響

排液の希釈方法	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数	切り花重/切り花長 (g・cm^{-1})
かけ流し	82.3b^{z}	40.8ab	14.9a	0.49
2倍希釈	80.4ab	44.9b	15.2a	0.55
4倍希釈	77.0b	37.9a	14.7a	0.48

z 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない

第3-2表　排液の希釈方法が培養液および排液の無機成分濃度に及ぼす影響

排液の希釈方法	培養液の種類	NO_3-N	NH_4-N	PO_4-P	K	Ca	Mg	Na	Mn	Fe	Zn	Cu	pH	EC
							($mg \cdot L^{-1}$)							($dS \cdot m^{-1}$)
かけ流し	新規作成	114.8[z]	14.0	47.4	179.9	98.3	31.6	27.6	0.9	1.4	0.08	0.02	6.1	1.5
	排液	228.5	0.4	83.0	498.0	301.8	126.4	126.7	0.3	0.9	0.19	0.08	6.2	3.8
2倍希釈	混合	107.9	7.9	36.2	167.3	97.3	37.0	45.5	0.6	1.0	0.08	0.02	6.7	1.6
	排液	222.7	0.4	37.9	336.4	180.9	94.5	144.3	0.4	0.3	0.11	0.06	6.9	3.1
4倍希釈	混合	86.1	6.0	31.3	143.9	89.5	28.4	33.7	0.6	0.9	0.08	0.02	6.2	1.3
	排液	202.1	0.3	25.1	291.4	144.5	74.3	146.3	0.2	0.3	0.21	0.05	6.9	2.7

[z] 値は1年間に9回分析した平均を示す

第3-3表　排液の希釈方法が1株当たりの給排液量に及ぼす影響

排液の希釈方法	新規作成培養液量	混合培養液中の		総給液量	廃棄量	排液率
		排液量	希釈水量			(%)
		(L)				
かけ流し	190	0	0	190	62	33
2倍希釈	105	52	34	191	0	27
4倍希釈	89	28	45	162	0	17

第3-4表　砂と活性炭でろ過した排液中の微生物数およびOD値の計時変化

ろ過資材	ろ過後経過時間 (hr)	糸状菌数 ($\times 10$cfu·mL^{-1})	細菌数 ($\times 10^5$cfu·mL^{-1})	OD
ろ過前	—	10.3	2.3	94
砂	0	1.3	34.0	98
	2	1.3	6.7	98
	4	11.0	1.7	96
	6	1.7	30.0	96
活性炭	24	2.3	4.7	100

切り花長は，かけ流し区，2 倍希釈区，4 倍希釈区の順に大きく，4 倍希釈区のみ 77cm と小さかった（第 3-1 表）．切り花重は，2 倍希釈区が大きく 4 倍希釈区が小さかった．節数は，いずれの区ともに 15 節程度で有意な差はなかった．切り花重を切り花長で除した値は，切り花重の大きかった 2 倍希釈区がその他の区と比較して大きく 0.55 であった．

排液中の無機成分についてみると，いずれの区においても，NO_3-N 濃度は新規作成培養液の 2 倍程度となった（第 3-2 表）．また，K, Ca, Mg, Na, および Zn についても，排液中の濃度はいずれの区においても上昇した．NH_4-N, Mn および Fe 濃度は新規作成培養液と比較して著しく低下した．排液の pH はわずかに上昇し，EC は著しく上昇した．PO_4-P 濃度は，かけ流し区では高く，処理区では低くなった．

実験期間をとおした 1 株当たりの新規作成培養液量は，かけ流し区が 190L であり，2 倍希釈区および 4 倍希釈区の 2 倍程度多かった（第 3-3 表）．循環利用した排液量は，かけ流し区では 0L であったが，2 倍希釈区，4 倍希釈区ではそれぞれ 52L と 28L であった．新規作成培養液に混合培養液を加えた総給液量は，4 倍希釈区のみ 162L であり，その他の区と比較して少なかった．実験期間中に廃棄した排液量は，かけ流し区が 62L であったのに対し，2 倍希釈区および 4 倍希釈区ではいずれも 0L であった．なお，排液率は，いずれの区においても排液量が多くなったことから設定値よりも高くなった．

排液中の糸状菌数は，砂ろ過により減少する傾向にあったが，細菌数には大きな変化は

なった（第 3-4 表）．砂ろ過後の活性炭による再ろ過では，糸状菌数および細菌数に変化がなかった．しかし，活性炭によるろ過後には排液中の OD 値が上昇し，濁度が低下した．

3.考察

バラのロックウール栽培において，砂と活性炭による緩速ろ過後排液の循環利用が切り花の生産性，形質および培養液組成に及ぼす影響について検討した．その結果，バラのロックウール栽培において，排液を回収し砂と活性炭でろ過後に水で 2 倍，または 4 倍に希釈し新規に作成した培養液と混合して施与することで高濃度に肥料分を含む排液を系外へ排出せず，1 年間にわたって切り花生産が可能であった．

砂による緩速ろ過は設置コストが安価で，管理が容易であるが，ろ過中に NH_4-N, PO_4-P, Fe および Mn などの無機成分が酸化，不溶化される（峯ら，2000）．中でも，NH_4-N はバラにとって非常に吸収されやすいイオンであり（竹田・高橋，1998），NH_4-N を全窒素中に 15～25%程度与えることにより生育が良好になり，切り花の生産性が向上する（竹田，1993）．しかし，かけ流し区と 2 倍希釈区および 4 倍希釈区との間には，切り花の生産性に有意な差がなかった（第 3-2 図）．これは，第 3-2 表へ示したように，培養液を循環利用した処理区においても，NH_4-N 濃度はかけ流し区と比較して低かったが，濃度が低くても常に根圏へ供給されていたためと推察される．一方，切り花の生産性および切り花長には大きな差はなかったが，NH_4-N 濃度が高いほど大きくなった（第 3-1 表）．このことは，混合培養液中の NH_4-N 濃度の高かったことが影響していると考えられる．また，NO_3-N および PO_4-P 濃度も低かった．寺田ら（1997）は，バラの養分吸収濃度は季節変動し，夏には低濃度で施与すべきであるとしている．排液を水で希釈した場合，高温期における培養液の低濃度が生育に好影響を及ぼし，その一方で低温期の低濃度が生育を抑制した可能性が考えられる．したがって，排液を緩速ろ過後に循環利用する場合，排液の水による希釈倍率は，4 倍では高すぎることが示唆される．

峯ら（2000）は，緩速砂ろ過による細菌に対する除菌効果を報告している．本実験においても，砂で排液を 500L 緩速ろ過時（循環処理開始 4 か月後）におけるろ過直後の排養液中の糸状菌数は 103cfu･mL^{-1} から 13cfu･mL^{-1} へ減少し除菌効果が認められたが，細菌数には差がなかった（第 3-4 表）．これは，峯ら（2000）の実験とは排液処理時の環境条件が異なったため，あるいは砂からの細菌の再流出によるものと推察される．したがって，砂による緩速ろ過では除菌効果を常に最大に保つことは困難と考えられる．活性炭による二

次ろ過では除菌効果はなかったが，培養液のOD値が96から100へ上昇し，濁りが低下した（第3-4表）．水耕栽培のキュウリでは，培養液を追加する時に活性炭を添加すると，根からのしん出物が活性炭に吸着され，生産性が低下しなかったことが浅尾ら（1998）によって報告されている．本実験では，根からのしん出物の測定，同定は行わなかったが，濁りが低下したことから，このキュウリの場合と同様に培養液中のなんらかのしん出物質が活性炭に吸着され，切り花生産性の低下を生じなかったと推察される．あるいは，台木のオドラータがしん出物に対しての耐性が高いことも考えられる．バラではロックウール栽培の普及，あるいは海外からの苗の輸入などに伴い糸状菌の一種である根腐病などの発生が一部で認められている（福井，2001）．そのため，ロックウールを培地とした養液循環式栽培では殺菌，あるいは除菌技術の確立が重要であろう．

以上の結果から，バラのロックウール栽培において，排液を緩速ろ過装置でろ過後に水で希釈して新規作成培養液と混合施与しても，1年間にわたってかけ流し栽培と同等の切り花の生産性および形質を確保できることが明らかとなった．この場合，排液の水による希釈倍率は，混合培養液中の無機成分濃度が新規作成培養液とほぼ同等になる2倍程度の希釈が適当と判断された．

第2節　排液への無機成分補充と生産性および形質

第3章第1節において，排液を砂と活性炭で緩速ろ過した後に水で2倍に希釈し，新規作成した培養液と混合して施与することで，1年間にわたってバラの養液循環式による切り花生産が可能なことを明らかにした．

しかし，養液循環式栽培では，培養液中のNH_4-N, Feおよび Mn濃度はかけ流しと比較して著しく低く推移した．また，峯ら（2000）は，砂による緩速ろ過中にNH_4-N, Feおよび Mnなどの無機成分が酸化，不溶化されると報告している．NH_4-Nはバラの生育を良好にし（竹田，1993），一方でFeおよびMnは欠乏すればバラにクロロシスを起こす（加藤，1997）ことが知られている．第3章第1節では，これらの無機成分の補充を行なって，かけ流しと同程度の培養液濃度で循環栽培した場合の生育については検討しなかった．

そこで，本節では，バラのロックウール栽培における排液の循環利用システムを安定化させるために，砂と活性炭を利用した緩速ろ過方式を用いた場合における，ろ過後の排液へのNH_4-N, Feおよび Mn成分補充の有無がバラ切り花の生産性および形質ならびに培養液の無機成分濃度に及ぼす影響について検討を行った．

1.材料および方法

第3章第1節で用いたオドラータ台木接ぎ挿し苗の‘ローテローゼ’を供試した．定植方法，栽植密度，および温度管理は第1章第1節と同一とした．

第3章第1節の実験が終了した2001年10月17日から，愛知花研バラ処方冬用組成（加藤，1997，以下愛知バラ処方と略記）に準じた培養液を N:200mg･L^{-1} の濃度に希釈してかけ流し方式で均一栽培を行った．

2003年1月24日に同化専用枝を更新するためにすべてのシュートを折り曲げてハイラック仕立て法で実験を開始した．対照として培養液組成を愛知バラ処方によるかけ流し区を設けた．ろ過後の培養液を循環利用する処理区には，Na を 12mg･L^{-1}，Cl を 10mg･L^{-1} 程度含む水道水（以下，水と略記）で2.0倍に希釈した排液へ NH_4-N, Fe および Mn 成分を愛知バラ処方の濃度に補充する2.0倍有区，排液を2.5倍に希釈しこれらの無機成分を補充しない2.5倍無区および排液を2.5倍に希釈し無機成分を補充する2.5倍有区を設けた．

NH_4-N には$(NH_4)_2SO_4$ を，Fe には $C_{10}H_{12}N_2O_8FeNa$ を，Mn には $MnSO_4$･4～5H_2O を用い，それぞれ給液前の濃度が NH_4-N:28mg･L^{-1}, Fe:2mg･L^{-1}, Mn:0.5mg･L^{-1} になるように補充した．いずれの区ともに1回の給液量を 0.2L･$株^{-1}$ とし，排液率が12～3月は20%になるよう1日2回，4～6月および10と11月は30%になるよう1日3回，7～9月は40%になるよう1日5回培養液を供給した（第3-5表）．給液量および排液量は流量計で毎日測定した．2.0倍有区の培養液の供給は，愛知バラ処方で新規に作成した培養液とろ過，希釈後の培養液が12～3月はそれぞれ同時に6：4で，4～6月および10と11月は4：3で，7～9月は2：8で供給するようにポンプを制御した．2.5倍無区および2.5倍有区の培養液の供給は，愛知バラ処方で新規に作成した培養液とろ過，希釈後の培養液が12～3月はそれぞれ同時に5：5で，4～6月および10と11月は2.5：7.5で，7～9月は0：10で供給するようにした．すなわち，排液を2.5倍に希釈した処理区では，7～9月には希釈した排液のみを循環させ

第3-5表　培養液の循環方法および時期別施与量

培養液の循環方法	水による排液の希釈倍率	成分補充の有無	時期，設定排液率および培養液の容積割合								
			12～3月 設定排液率：20%			4～6月，10と11月 設定排液率：30%			7～9月 設定排液率：40%		
			新規作成	水	排液	新規作成	水	排液	新規作成	水	排液
かけ流し	無	無	10	0	0	10.0	0	0	10	0	0
2.0倍有	2.0	有	6	2	2	4.0	3.0	3	2	4	4
2.5倍有	2.5	有	5	3	2	2.5	4.5	3	0	6	4
2.5倍無	2.5	無	5	3	2	2.5	4.5	3	0	6	4

た．砂と活性炭による培養液の緩速ろ過は，第3章第1節と同一に行い，実験中はいずれのろ過資材も交換しなかった．

切り花の収穫調査は第3章第1節と同一とし，12月11日から1年間にわたって行った．各区ともに給液および排液の NO_3-N, NH_4-N, PO_4-P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Na, Cl および SO_4-S の成分分析並びにpHおよびECの測定は，毎月1回6半旬に行った．なお，処理区では，ろ過前およびろ過後それぞれの培養液について成分を分析，測定した．無機成分の分析は，第3章第1節と同一手法で行った．

2.結果

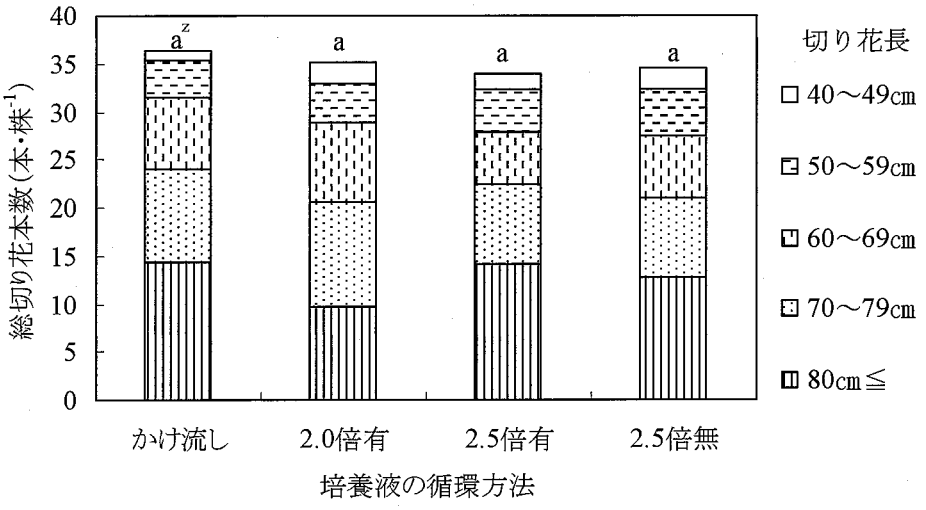
収穫開始から1年間の1株当たりの総切り花本数は，いずれの区ともに33.9～36.4本で処理区間に有意な差はなかった（第3-3図）．80cm以上の切り花本数は，2.0倍有区が9.8本でわずかに小さかったが，その他の区は12.8～14.1本と同程度であった．40～49cmの切り花本数は，いずれの区ともに1.1～2.3本と小さかった．

切り花長は，71.9～75.2cmであったが，処理区間に有意な差はなかった（第3-6表）．また，切り花重は33.4～37.5g，節数は14.9～15.3であり，いずれも処理区間に有意な差はなかった．切り花重を切り花長で除した値は，2.0倍有区および2.5倍無区がその他の区と比較してわずかに大きかった．

2.0倍有区における混合培養液中の PO_4-P, SO_4-S およびNaを除く無機成分濃度ならびにpHおよびECは，かけ流し区とほぼ同等であった（第3-7表）．2.5倍有区の混合培養液中の無機成分では，かけ流し区と比較して NO_3-N, PO_4-P およびK濃度が低く，SO_4-S, Naおよび Cl 濃度が高かった．2.5倍無区の混合培養液では，Naおよび Cl を除く全ての無機成分濃度がかけ流し区と比較して著しく低かった．また，2.5倍無区のpHは高く，ECは低かった．

ろ過前排液の無機成分濃度は，すべての処理区において，新規作成培養液，あるいは混合培養液の濃度と比較して NH_4-N を除いて上昇した．ただし，2.5倍無区ではろ過前排液の Fe および Mn の濃度が混合培養液の濃度と比較してわずかに低下した．また，2.5倍無区のろ過前排液のpHは上昇したが，その他の区のpHは低下した．ろ過前排液のECは，すべての処理区で2倍以上に上昇した．

2.0倍有区および2.5倍有区におけるろ過後培養液中のほとんどの無機成分濃度は，ろ過前と比較して低下したが，2.5倍無区では SO_4-S を除いてあまり低下しなかった．2.0倍有



第3-3図　培養液の循環方法がバラ‘ローテローゼ’の切り花長別切り花本数に及ぼす影響

z 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で総切り花本数に有意な差が存在しない

第3-6表　培養液の循環方法が切り花形質に及ぼす影響

培養液の循環方法	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数	切り花重/切り花長 (g·cm^{-1})
かけ流し	75.2a^{z}	35.3a	15.4a	0.47
2.0倍有	71.9a	37.5a	15.1a	0.52
2.5倍有	74.7a	33.4a	14.9a	0.45
2.5倍無	73.0a	39.5a	15.3a	0.53

z 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない

区および2.5倍有区のpHはろ過後に上昇したが，2.5倍無区では同じであった．また，2.0倍有区および2.5倍有区でのECは低下したが，2.5倍無区ではほぼ同じであった．

1株当たりの総培養液量は，203～218Lであり，いずれの区ともほぼ同量であった（第3-8表）．新規に作成したかけ流し区の培養液量は，処理区の2.7～5.0倍であった．また，かけ流し区における排液の循環利用量は0Lであったが，処理区では63～74Lであった．処理区における，排液の希釈に用いた添加水の量は，68～98Lであった．培養液の廃棄量はかけ流し区が48Lであったが，いずれの処理区ともに0Lであった．

1株当たりの総窒素施与量は，かけ流し区と2.0倍有区がほぼ同等でそれぞれ41.6gと38.6gであり，2.5倍有区は21.8g，2.5倍無区は最も少なく15.9gであった（第3-8表）．そのうち，新規に作成したかけ流し区の全窒素量は，施与量と同量の41.6gであり処理区と

第3-7表　培養液の循環方法が培養液の無機成分濃度，pHおよびECに及ぼす影響

培養液の循環方法	培養液の種類	NO_3-N	NH_4-N	PO_4-P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	SO_4-S	Na	Cl	pH	EC
		($mg \cdot L^{-1}$)												($dS \cdot m^{-1}$)
かけ流し	新規作成	165.0[z]	34.7	62.7	217.5	167.2	41.8	1.5	3.4	279.0	7.3	32.5	5.8	2.0
	排液	399.8	6.3	104.9	478.3	507.2	111.3	5.1	8.4	745.7	54.0	46.6	3.7	4.6
2.0倍 有	混合培養液	150.2	29.8	33.2	186.3	190.0	55.4	1.1	3.0	469.0	48.3	32.5	5.9	2.3
	ろ過前排液	385.7	7.5	66.9	434.2	550.9	145.6	2.3	7.7	1070.9	166.8	162.9	4.1	5.0
	ろ過後排液	309.8	3.7	31.5	362.3	430.9	124.0	0.8	2.8	892.3	149.8	151.6	6.1	4.2
2.5倍 有	混合培養液	106.3	31.5	23.9	111.1	160.1	42.0	1.0	2.7	405.8	38.4	42.2	5.9	1.9
	ろ過前排液	318.5	3.5	40.3	274.8	578.1	154.8	1.6	5.6	1245.7	208.9	152.8	4.4	4.8
	ろ過後排液	202.5	8.1	23.7	199.9	345.5	92.9	0.7	2.2	803.9	115.1	111.4	5.5	3.2
2.5倍 無	混合培養液	67.5	6.0	20.3	88.6	92.6	29.9	0.4	0.9	261.7	44.3	47.0	6.7	1.3
	ろ過前排液	103.7	1.1	24.8	175.1	192.4	70.8	0.1	0.7	754.5	170.1	123.0	7.3	2.6
	ろ過後排液	112.4	1.4	19.9	176.6	186.1	67.4	0.1	0.7	635.8	137.7	110.8	7.3	2.4

[z] 数値は1年間に12回分析した値の平均を示す

第3-8表　培養液の循環方法が1株当たりの培養液量および窒素量に及ぼす影響

培養液の循環方法	培養液量（L）					排液率	窒素量（g）[z]			
	給液	循環利用	希釈水	新規作成培養液	廃棄	(%)	施与	循環利用	新規作成	廃棄
かけ流し	208	0	0	208	48	23	41.6 (7.2)	0 (0)	41.6 (7.2)	19.5 (0.3)
2.0 倍 有	218	74	68	76	0	34	38.6 (3.3)	23.0 (0.3)	15.6 (3.0)	0 (0)
2.5 倍 有	203	63	98	42	0	31	21.8 (2.2)	13.2 (0.5)	8.5 (1.7)	0 (0)
2.5 倍 無	213	73	98	42	0	34	15.9 (0.8)	8.3 (0.1)	7.6 (0.7)	0 (0)

[z] () 内は総窒素量の内，NH_4-N量を示す

比較して著しく多かった．総施与窒素量のうち，NH_4-N 量は，いずれの処理区においてもかけ流し区と比較して著しく少ない 11～46%であった．かけ流し区の窒素循環利用量は 0g であったが，2.0 倍有区は 23.0g, 2.5 倍有区は 13.2g, 2.5 倍無区は 8.3g であった．排液中の全窒素廃棄量は，かけ流し区が 19.5g であったのに対し，いずれの処理区も 0g であった．かけ流し区の廃棄窒素のほとんどは NO_3-N であり，NH_4-N は総量のわずか 1.5%の 0.3g であった．

なお，すべての区において実験中の植物体への養分欠乏，あるいは過剰症状は観察されなかった．また，枯死株も発生しなかった．

3.考察

バラの養液循環式栽培において，排液中の無機成分濃度が低下する NH_4-N, Fe および Mn 成分補充の有無が切り花の生産性および形質ならびに培養液の無機成分濃度に及ぼす影響について検討した．その結果，バラのロックウールスラブを培地としたかけ流し栽培では，1 株当たり 19.5g の窒素が廃棄されることが明らかとなった．通常，バラの定植本数は，栽培面積 10a 当たり 6000 株程度であることから，栽培面積当たりに換算すると 118.2kg の窒素が廃棄されていることになる．しかし，排液を砂と活性炭で緩速ろ過後に水で 2.0～2.5 倍に希釈し，新規作成培養液と混合して循環利用することにより，窒素等を含む肥料成分を全く廃棄せず，切り花生産性および形質を低下させない養液循環型栽培が可能であった．

給液中の NO_3-N 濃度は，2.5 倍無区と比較して 2.0 倍有区および 2.5 倍有区で高かった．2.0 倍有区および 2.5 倍有区では，適時 NH_4-N を補充したので，バラがこれを優先的に吸

収し NO_3-N の吸収が遅れたために濃度が上昇したためと推察される．すべての区で Fe および Mn などの無機成分の欠乏症は観察されなかった．無機成分補充用の機材を付加すれば，養液循環栽培装置が複雑になり，コストも高くなる．そのため，ろ過後の培養液にそれらの成分を積極的に補充する必要はないことが示唆された．

本節の実験においても，第 3 章第 1 節の実験と同様にかけ流し区と比較して混合培養液中の NH_4-N 濃度が低かった 2.5 倍無区における切り花生産性および形質はかけ流し区と同等であった．そのため，オドラータ台木接ぎ挿し苗の‘ローテローゼ’では，NH_4-N 濃度は EC と同様に低くても栽培上，とくに問題のないことが示唆される．

愛知バラ処方で培養液を循環利用した場合，第 3-7 表に示したように生育に有害とされる給液中の SO_4-S, Na および Cl 濃度が高くなった．そのため，ろ過後の培養液の水での希釈倍率を 2.5 倍とし，かつ収穫を 1 年以上行う場合には，有害成分の蓄積が少ない培養液組成の開発が求められる．ロックウールスラブを用いたバラの養液かけ流し栽培では，スラブ内の無機成分の変動を小さくするため，高温期には排液率を高く設定する事例が多い．本実験においても季節ごとに排液率を変更し，7～9 月は排液率を 40%に設定した．その結果，2.5 倍有区および 2.5 倍無区では，新規の培養液をまったく添加せず希釈排液のみを循環利用した．しかし，7～9 月でも排液中の各無機成分濃度は高く，植物体にとって不足が生じない濃度で維持されたと推察される．

2.0 倍有区および 2.5 倍有区では，ほとんどの無機成分でろ過後に濃度が大きく低下していたのに対し，2.5 倍無区では低下率が小さかった．ろ過前排液の 2.0 倍有区および 2.5 倍有区の pH はそれぞれ 4.1 と 4.4 であったのに対し，2.5 倍無区では 7.3 と高かった（第 3-7 表）．そのため，この pH の違いによって，Fe, Mn および PO_4-P などがろ過中にろ過資材へ吸着されたのかもしれない．

以上の結果から，バラのロックウール栽培において，排液を緩速ろ過装置でろ過した後に水で 2.5 倍に希釈した排液を用いた場合，特定の無機成分を補充しなくても 1 年間にわってかけ流し栽培と同等の切り花の生産性および形質が確保できることが明らかとなった．通常，ロックウール栽培でのバラの切り花栽培は，2～5 年程度行われる．本実験は 1 年間の結果であるため，数年間にわたって病害の発生，切り花の生産性，形質の他，緩速ろ過装置の寿命などについての調査も必要であろう．また，バラは品種によって，養分吸収特性が大きく異なる（加藤，1997）といわれていることから，多くの品種に適用できる培養液組成の検討が必要であろう．

第3節　培地と生産性，形質および培養液組成

我が国のバラの養液栽培においては，そのほとんどでロックウールスラブが培地として用いられている．ロックウールが養液栽培の培地として広く用いられる理由は，理化学的に安定していること，植物が培地中の養水分を容易に利用できること，さらに湛水状態にならないので根が酸欠状態にならず傷まないためである（Smith, 1989）．しかし，改植時に発生する使用済みのロックウールスラブは，再生コストが高いことや土壌への鋤き込みが困難であるため，ほとんどが産業廃棄物として埋め立て処分されるか，あるいは圃場へ野積みされており，大きな問題となってきている．著者らが広島県内の切り花バラ生産農家の現地調査を行ったところ，改植ごとに栽培面積10a当たり約13.6m^{3}のロックウールスラブが廃棄されていた（未発表）．

このような背景から，バラの養液栽培において，ロックウールスラブの代替資材として，ピートモス（加藤，2004），多孔質セラミックス（二村ら，2001）やパミス（大川，1999）を用いた養液栽培法が報告されているが，生産現場で実用化されている資材はほとんどない．その理由として，ロックウールスラブ以外の培地は非成型であることから，定植前のベンチへの搬入および植え替え時の搬出作業に多くの労力を要すること，さらに培地が流亡しない構造のベッドが必要なことが考えられる．また，培地の種類ごとに培養液の的確な調整法や，培地の安定性や耐久性などの評価が必要である．

最近，育苗培地を熱融着性ポリエステル繊維で固化させたセル成型トレイ用培地の実用性が後藤ら（2002, 2005）によって報告されている．この繊維によって，資材を自由な形に固化させることが可能なため，再利用の可能な資材を固化させれば，環境への負荷が極めて小さい培地を作成できるものと考えられる．

そこで，本節では，バラの養液循環式栽培において，熱融着性ポリエステル繊維で固化させた培地が，切り花生産性，形質および培養液組成の変動に及ぼす影響をロックウール培地と比較評価した．

1.材料および方法

挿し木用培地として，ロックウール（ニチアス㈱），バーミキュライト大粒（粒径6～7mm，旭工業㈱，L），同小粒（粒径 1.5～2.0mm，同，SS），パーライト大粒（粒径 2.5mm，ハットリ㈱，W-SS），同小粒（粒径 0.6～1.5mm，三井金属工業㈱，キングパール S）および粉砕したスリランカ産コイア（繊維長3mm，丸紅㈱，コーラルピート）を用いた．ロックウ

ール以外の培地については，熱融着性ポリエステル繊維（ソフィット，クラレ㈱）を容積比で3%添加混合後，オートクレーブ内で120℃に加熱して，成型した．すべての培地の大きさは，縦5cm×横5cm×高さ5cmの直方体とした．ロックウール，バーミキュライト大粒，パーライト大粒およびコイア培地については，2005年11月1日に最低気温を18℃に維持したミスト室内で挿し木した‘ローテローゼ’を20本ずつ用いて発根調査を行った．

ロックウール区の定植用培地には，長さ91cm×幅20cm×厚さ7.5cmのロックウールマットを用いた．処理区には，挿し木用培地と同じ素材に熱融着性ポリエステル繊維を容積比で6～8%混合し，120℃に加熱して長さ40.5cm×幅20cm×厚さ7.5cmのマット状に成型した培地を用いた．いずれの培地も，ポリエチレンフィルムで被覆して栽培に供試した．

実験には挿し木苗の‘ローテローゼ’を供試した．挿し木は，2005年5月15日にミスト散水下で行った．定植は，2005年6月21日に行った．硬質プラスチックフィルムハウス内に設置した高さ60cmのベンチ上に成型培地を置き，定植の方法は，これまでの実験と同一として，挿し木苗を置床した．1区当たり16株ずつ用い，4株の4反復とした．定植後は摘蕾を行いながら，2005年9月12日にすべてのシュートを水平以下の角度へ折り曲げて同化専用枝とした．その後に発生したベーサルシュートは，高さ25cmでピンチし，ハイラック仕立て法で栽培した．なお，ブラインド枝および開花段階に達した長さが40cm未満のシュートは摘花後に発生基部から同化専用枝として折り曲げた．切り花の収穫調査は，2005年10月17日から1年間，第3章第1節と同一に行った．

定植前の2005年6月17日および収穫調査終了後の2006年11月7日に，定植用培地ごとに各3枚について培養液を十分含ませて24時間静置した後に，円錐針を取り付けた果実硬度計（KM型，藤原製作所）を用い，各培地の上面5か所において硬度を測定した．また，培地硬度測定と同じ日に，各培地3枚について長さ，幅および厚さを3か所ずつ測定した．

培養液の組成は愛知花研バラ用処方冬用組成（加藤，1997）に準拠して，総窒素濃度が200mg·L^{-1}（EC: 2.2dS·m^{-1}）となるように作成した．培養液は，新規作成培養液と各培地から回収した排液を等量で混合（以下，混合培養液）施与する循環式とし，散水方式で給液した．なお，バーミキュライトおよびパーライトでは，それぞれ粒径の異なる培地からの排液を混合して回収後，混合培養液を作成した．ただし，ロックウール区およびコイア区で混合培養液中のNO_3-N濃度が450mg·L^{-1}を超えた2005年9～11月および2006年2月と3月は，すべての区で水と排液のみを等量で混合（以下，排液希釈液）して施与した．1

回の 1 株当たりの給液量は 200mL，1 日当たりの給液回数は 12～3 月が 2 回，4～6 月が 3 回，7～9 月が 5 回，10～11 月が 3 回とし，ロックウール区における排液率を 15～45%に調整した．栽培期間中の栽培ハウスの最低温度は 16℃とし，25℃で天窓を開放した．

培養液の無機成分濃度，pH および EC の測定を定植後の 2005 年 6 月 28 日から毎月下旬に 1 回行った．最後の分析は 2006 年 10 月 18 日とした．無機成分の分析は，第 3 章第 1 節と同一手法で行った．

切り花の花持ち調査は，2006 年 3 月，6 月および 10 月に行った．収穫調査を行った切り花の内，開花ステージが 4（市村，2008）で長さが 60～70cm の切り花を選び，花茎長を 60cm に調整し，基部から 20cm 以内の葉を切除し，直ちに水道水に生けた．24 時間 7℃の冷蔵庫内で貯蔵後に室内へ搬出し，1 本ずつ水道水を 500mL 充填した 1000mL の三角フラスコに生けて花持ちを調査した．生け水の交換は行わなかった．

2.結果

挿し木の培地における発根日数は，バーミキュライトおよびロックウールで小さく，パーライトで大きかった（第 3-9 表）．発根率は，パーライトのみ 50%と低かった．いずれの区においても，苗の枯死はみられなかった．

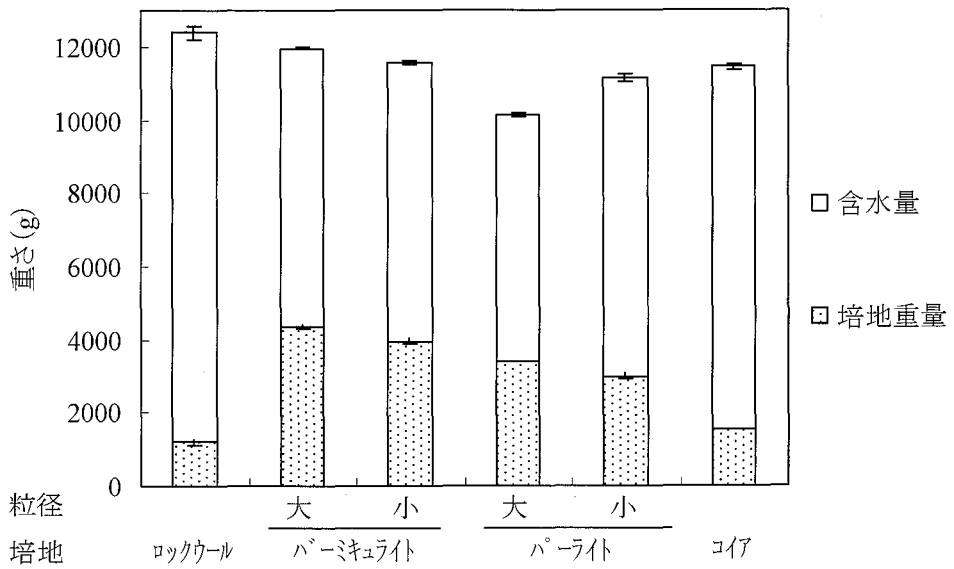
定植用培地（長さ 91.0cm×幅 20.0cm×厚さ 7.5cm 換算）の乾燥重量は，ロックウール区が最も小さく 1202g，バーミキュライト大粒区が 4360g，同小粒区が 3947g，パーライト大粒区が 3407g，同小粒区が 2997g，コイア区が 1517g であった（第 3-4 図）．また，水を十分含ませて 24 時間静置した後に測定した場合の重量は，ロックウール区が 12409g，バーミキュライト大粒区が 11953g，同小粒区が 11561g，パーライト大粒区が 10154g，同小粒区が 11141g，コイア区が 11436g であった．

定植前の培地の大きさを 100 とした場合，収穫調査終了後の各培地の長さおよび幅は，

第3-9表　培地がバラ‘ローテローゼ’の発根に及ぼす影響

培地	発根までの日数	発根率 (%)	枯死株率 (%)
ロックウール	29.7±3.9[z]	100	0
バーミキュライト大粒	27.5±5.7	100	0
パーライト大粒	50.6±6.2	50	0
コイア	37.4±7.4	95	0

[z]値は平均±標準誤差(n=20)を示す



第3-4図　定植用培地の乾燥重量および含水量
図中の縦線は標準誤差（n=3）を示す

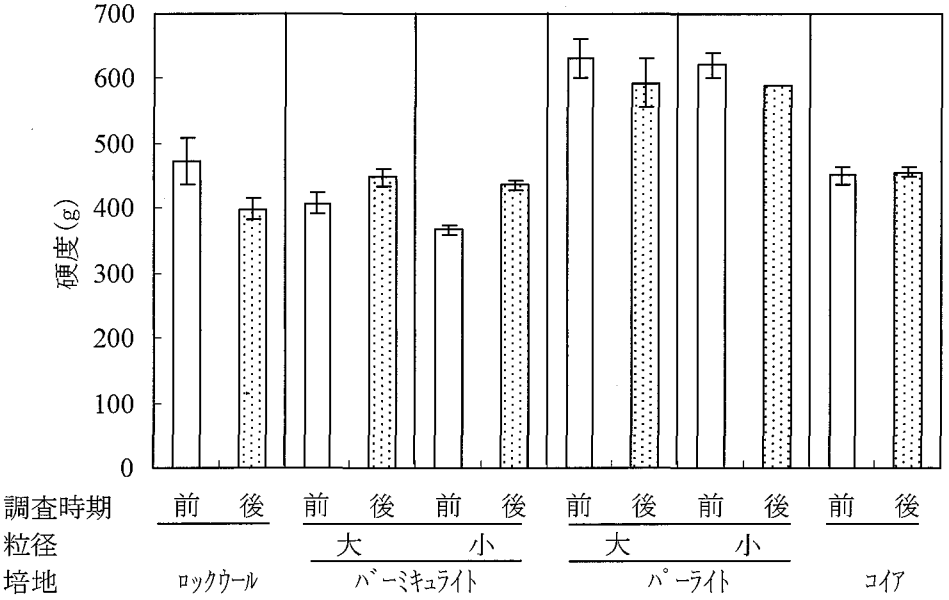
第3-10表　栽培期間が培地の大きさに及ぼす影響

培地	長さ	幅	厚さ
ロックウール	101.3 ±0.1 [z]	98.8 ±0.7	92.0 ±0.8
バーミキュライト大粒	100.0 ±0.3	97.8 ±0.6	97.5 ±2.1
バーミキュライト小粒	98.4 ±0.1	96.8 ±1.2	103.3 ±0.7
パーライト大粒	99.6 ±0.4	102.7 ±3.7	102.7 ±2.8
パーライト小粒	100.3 ±0.2	100.0 ±1.3	96.6 ±1.7
コイア	100.2 ±0.4	100.8 ±0.6	95.6 ±1.2

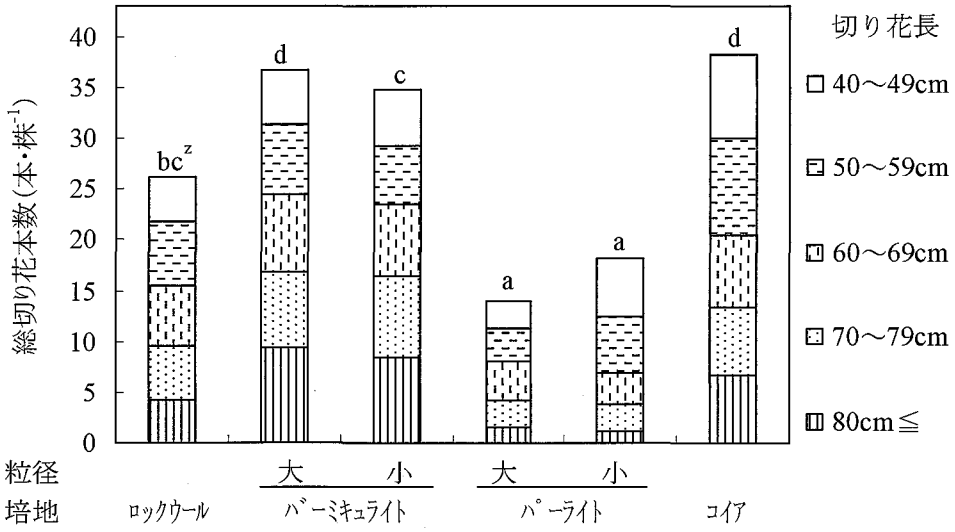
[z] 値は平均±標準誤差(n=3)で定植前の大きさを100とした相対値を示す

定植前とほぼ同じであり，大きな変化は見られなかった（第 3-10 表）．しかし，培地の厚さは，定植前と比較してロックウール区およびコイア区のみ 4～8%減少したが，その他の培地ではほぼ同じであった．

定植前の培地の上面硬度は，粒径に関わらずバーミキュライト区が 367～408g と低く，コイア区は 451g でロックウール区の 472g と同等であった（第 3-5 図）．一方，パーライト区は粒径にかかわらず 631～622g と高かった．収穫調査終了時の培地硬度は，ロックウール区およびパーライト大粒区および小粒区で定植前と比較してやや低くなり，それぞれ 399g, 594g および 589g であった．一方，定植前と比較して，バーミキュライト大粒区および小粒区の培地硬度は，それぞれ 448g, 436g とわずかに高くなり，コイア区は 455g であり，



第3-5図　定植用培地の乾燥重量および含水量
図中の縦線は標準誤差（n=3）を示す



第3-6図　培地がバラ‘ローテローゼ’の切り花長別切り花本数に及ぼす影響
[z] 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で総切り花本数に有意な差が存在しない

ほぼ同等であった．

2005年6月21日の定植から2006年10月18日の培養液分析終了までの1株当たりの総給液量は，289.3～301.5Lで，処理区間に差はなかった．また，すべての培地で，要素の欠乏あるいは過剰障害や病害による枯死株の発生はみられなかった．

収穫開始は，2005 年 10 月 17 日からであったが，パーライト区では粒径に関わらず 12 月上旬であった．

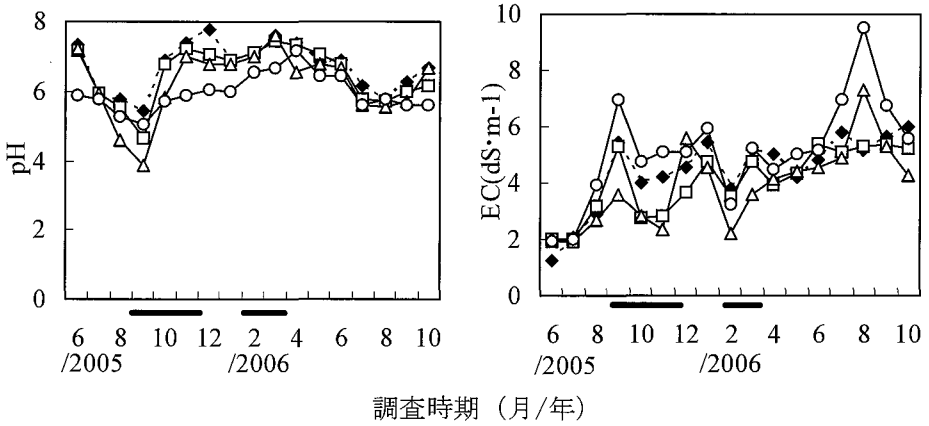
収穫開始から 1 年間の 1 株当たりの総切り花本数は，バーミキュライト大粒区およびコイア区がそれぞれ 36.7 本と 38.2 本でロックウール区の 26.2 本と比較して有意に大きくなり，バーミキュライト小粒区は 34.8 本でロックウール区と有意な差はなかった(第 3-6 図)．一方，パーライト区は他の処理区と比較して著しく小さく，小粒区が 18.1 本，大粒区が 13.9 本であった．

切り花長は，粒径に関わらずパーライト区がロックウール区と比較して小さく，コイア

第3-11表　培地がバラの切り花形質に及ぼす影響

培地	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数	切り花重/切り花長 ($g \cdot cm^{-1}$)
ロックウールかけ流し	63.0abc[z]	35.3a	15.2bc	0.56
ロックウール循環	64.8bcd	35.0a	15.5bc	0.54
バーミキュライト大粒	68.2cd	36.4a	15.2bc	0.53
バーミキュライト小粒	68.4d	37.1a	15.8c	0.54
パーライト大粒	62.1ab	35.9a	14.4ab	0.58
パーライト小粒	57.8a	31.4a	13.6a	0.54
コイア	63.5bcd	34.2a	14.7abc	0.54

[z] 同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差が存在しない



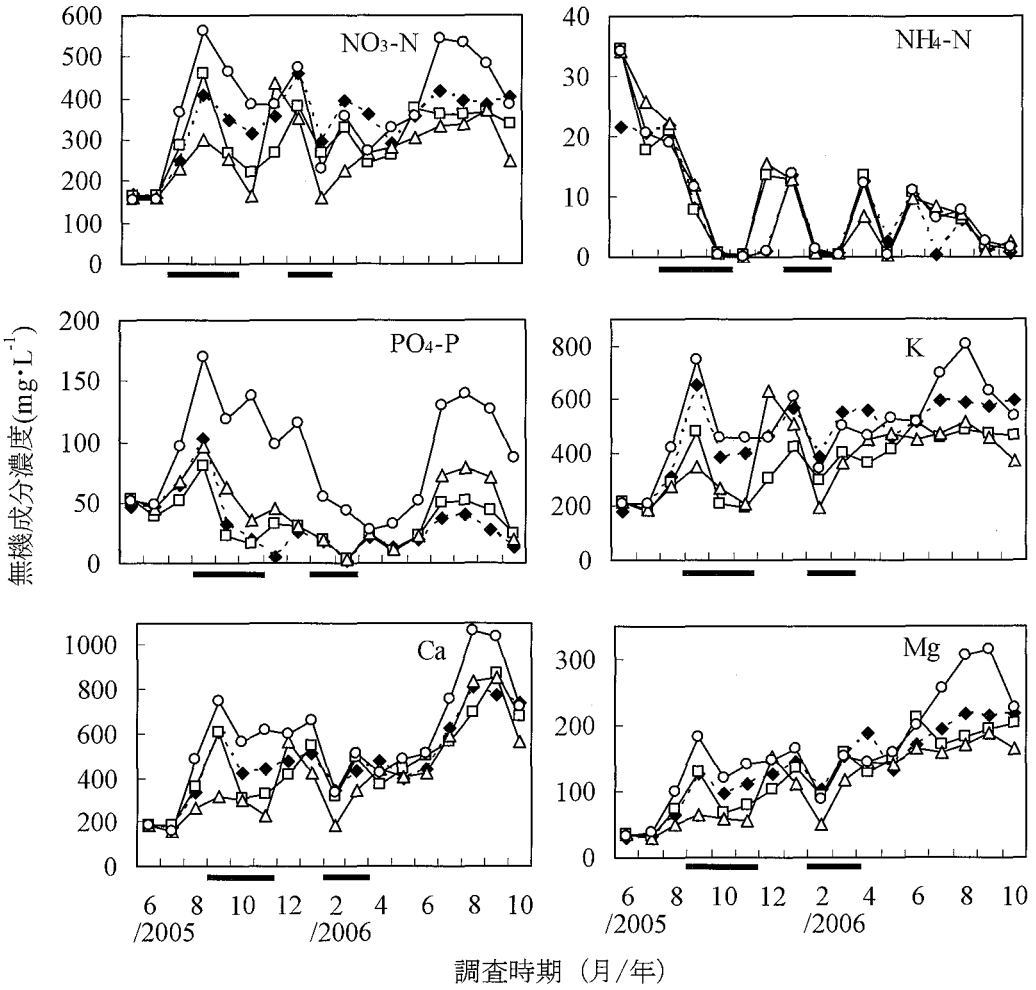
第3-7図　各培地における培養液のpHおよびECの推移
◆：ロックウール，□：バーミキュライト，△：パーライト，
○：コイア
━は排液希釈液を，空白は混合培養液を施与した期間を示す
バーミキュライトおよびパーライトはそれぞれ大粒，小粒共に同じ培養液管理を行った

区が同程度であり，バーミキュライト区がやや大きかった（第 3-11 表）．切り花重は，31.4～37.1g であり処理区間に有意な差はなかった．節数は，13.6～15.8 であり，切り花長の大きい区で大きかった．

コイア区の培養液の pH は，培養液の調査期間を通してその他の培地と比較してやや低く推移した（第 3-7 図）．実験開始時の混合培養液の pH は，コイア区のみ 5.9 であり，他の培地は 7.2～7.3 であった．コイア区以外の培地では，pH は定植 3 か月後の 2005 年 9 月までいったん低下し，その後上昇し，定植 6～10 か月後までは 7 程度で安定した．一方，コイア区の pH は，いったん低下した後，定植 10 か月後の 2006 年 4 月まで緩やかに上昇し続けた．その後，いずれの培地とも pH は定植 11～12 か月後の 2006 年 5～6 月まで低下し，15 か月以降に再び上昇した．

実験開始時の EC は，ロックウール区のみ 1.2dS・m^{-1} であり，その他の培地では 2.0dS・m^{-1} でロックウール区と比較して高かった（第 3-7 図）．EC は，すべての培地で混合培養液を施与した時期に上昇し，排液希釈液のみを施与した定植 3～5 か月後の 2005 年 9～11 月および 8～9 か月後の 2006 年 2～3 月には低下したが，栽培期間が長期化するに従って上昇する傾向にあった．特に，コイア区の培養液の EC は，調査したほとんどの時期でロックウール区と比較して高く推移した．

培養液の NO_3-N 濃度は，コイア区で他の培地と比較して高い濃度で推移した（第 3-8 図）．また，NO_3-N 濃度は，すべての培地で，定植 1 か月後の 2005 年 7 月から著しく上昇し，3 か月後の 9 月にはパーライト区を除いて 400mg・L^{-1} を超えた．その後，排液希釈液を施与した時期に低下したが，次に混合培養液を施与した時期には上昇した．NH_4-N 濃度は，すべての培地で定植以降，上昇と下降を繰り返しながら徐々に低下する傾向にあったが，培地の種類による顕著な差はなかった（第 3-8 図）．また，いずれの培地においても，排液希釈液を施与した時期においては検出されないことがあった．PO_4-P 濃度，K 濃度，Ca 濃度および Mg 濃度は，NO_3-N 濃度とほぼ同様な推移を示し，混合培養液を施与した時期には上昇し，排液希釈液を施与した定植 3～5 か月後の 2005 年 9～11 月および 8～9 か月後の 2006 年 2～3 月には低下した（第 3-8 図）．特に，PO_4-P 濃度は，コイア区でロックウール区と比較して高く推移した．定植 13～15 か月後の 2006 年 7～9 月における PO_4-P, K, Ca および Mg 濃度は，コイア区で他の培地と比較して著しく高かった．



第3-8図　各培地における培養液の無機成分濃度の推移

◆:ロックウール，□:バーミキュライト，△:パーライト，○:コイア

━は排液希釈液を，空白は混合培養液を施与した期間を示す

バーミキュライトおよびパーライトはそれぞれ大粒，小粒共に同じ培養液管理を行った

処理区ごとの花持ち日数についてみると，調査時期の違いによる差はみられたが，培地による差はみられなかった（第 3-12 表）.

第3-12表　収穫時期および培地が‘ローテローゼ’の品質保持期間に及ぼす影響

収穫時期	培地	品質保持期間（日）[z]
2006年 3月	ロックウールかけ流し	17.8±0.5
	ロックウール循環	16.5±0.9
	バーミキュライト大粒	18.5±0.7
	バーミキュライト小粒	18.3±0.3
	パーライト大粒	17.8±0.5
	パーライト小粒	17.8±0.5
	コイア	18.7±2.6
2006年 6月	ロックウールかけ流し	6.0±0.5
	ロックウール循環	8.8±1.1
	バーミキュライト大	7.4±0.7
	バーミキュライト小	7.6±1.0
	パーライト大粒	6.8±0.5
	パーライト小粒	5.6±0.7
	コイア	7.0±0.3
2006年10月	ロックウールかけ流し	12.8±0.6
	ロックウール循環	13.0±0.5
	バーミキュライト大	11.6±0.8
	バーミキュライト小	14.0±2.3
	パーライト大粒	14.6±0.3
	パーライト小粒	11.8±0.8
	コイア	12.4±0.7

[z] 値は平均±標準誤差(n=5)

3.考察

バラの養液循環式栽培において，使用後の廃棄処分が問題となっているロックウールスラブに替わる培地の選定を行った結果，ロックウール培地と比較して，バーミキュライト大粒，同小粒およびコイア固化培地の切り花本数は同等以上（第 3-6 図）であり，切り花形質は同等（第 3-11 表）であった．すなわち，バーミキュライトおよびコイアを熱融着性ポリエステル繊維で固化した培地は，ロックウールの代替培地となる可能性の高いことが明らかになった.

一方，本節の実験では，ロックウール培地と同等の培養液管理を行った結果，パーライトでは大粒および小粒ともに固化培地における収穫開始が遅れ，かつ切り花本数や切り花

長の減少が認められた．この理由として，培地素材の物理性の違いが考えられる．固化培地の種類ごとの三相分布は調査していないが，パーライトの最大容水量は 77.3～92.9%と高く，固相率は 3.2～9.7%と低い（寺沢，1968）ことが知られている．Raviv ら（1999）は，粒径と液相率の異なる火山灰や軽石を用いてバラを栽培したところ，培地によってバラが吸収可能な水分量が異なり，その結果，液相率の高い火山灰で切り花本数が減少したと報告している．そのため，本実験で用いたパーライト固化培地における生育および切り花本数の低下は，気相率の低下による根の呼吸阻害が原因と推察される．また，パーライト固化培地では挿し木の発根が遅く（第 3-9 表），硬度は他の培地と比較して高かった（第 3-5 図）ことから，定植後の根の伸長が抑制されたとも考えられる．従って，バラの養液栽培では，パーライト固化培地はロックウールにおける慣行の養水分管理を行う場合には適していないと判断された．

本実験では排液を循環利用した結果，ロックウールと比較して養水分保持力の高い（山田，2005）バーミキュライトやコイアにおいても，培養液の EC（第 3-7 図）および NH_4-N, PO_4-P 以外の無機成分濃度（第 3-8 図）は次第に上昇した．また，バーミキュライトやコイアの固化培地を用いても，ロックウール培地と同様に無機成分濃度は短期間に上昇や低下を示した．しかし，植物体には無機成分の欠乏や過剰障害が発生しなかったことから，短期間の培養液組成の変動は挿し木苗の‘ローテローゼ’の生育に大きな影響を及ぼさないことが示唆された．

岩崎・三枝（2001）は，ロックウールとコイアを培地としたトマトの循環型養液栽培において，窒素成分に NO_3-N のみを用い，NH_4-N 濃度を 0 とした培養液を施与して循環利用した培養液の組成と収量を調査したところ，コイアの循環培養液組成はロックウールと比較して安定しており，収量も大きかったと報告している．本実験では，コイアにおける pH はロックウールと比較して低く，EC は高く推移する傾向にあった（第 3-7 図）．また，NO_3-N, PO_4-P, K, Ca および Mg 濃度も高く推移する傾向にあった（第 3-8 図）．一方，排液希釈液を施与した時期は，EC やこれら無機成分濃度の上昇が抑制された．培養液組成の安定化を図るためには，養水分保持力や三相分布の異なる培地素材ごとの培養液調整方法については，さらに検討する必要がある．Argo･Biernbaum（1997）は，パーライトを 30%含むコイア培地の CEC は 34meq･L^{-1} で，ロックウールの 5meq･L^{-1} と比較して極めて高く，コイア培地のインパチエンスの生育はピートモス培地のそれと同程度でありロックウールと比較して優れていたと報告している．バーミキュライトおよびコイアの固化培地においても，

パーライトやピートモスなどの他の素材を混合することで，さらにバラの生育や培地の耐久性が向上すると考えられる．

ロックウール栽培で最も問題になるのは，使用済み培地の廃棄である．本実験で培地を固めるために用いた繊維は，労働安全衛生法において有害物質の指定外であり，焼却してもダイオキシンが発生せず無害である．また，養液栽培培地として使用後のバーミキュライトおよびコイアは，圃場へ鋤き込んで，土壌改良資材として有効に活用できるものと考えている．

以上の結果から，バーミキュライトおよびコイア固化培地での挿し木時の発根，またこれらの固化培地を用いたバラの循環式養液栽培において，切り花の生産性，形質および花持ちは，ロックウール培地と比較して同等以上であったことから，実用性が高いと判断された．

第4節　総合考察

バラの養液栽培は，ほとんどがかけ流しで行われており，過剰な培養液は培地から排液となり系外へ排出されているため，排液に含まれる肥料成分による環境への負荷が問題となってきている．バラの養液栽培では，10a 当たり 28.4 万円の肥料代が必要である（広島県，2006）が，肥料価格が高騰してきていることから，生産費への影響も大きくなってきている．そのため，排液を回収し，再利用する必要があるが，根からのしん出物（浅尾ら，1998）や病原菌（佐藤，2006）による切り花生産性の低下が懸念される．峯ら（2000）は，簡易で安価な砂を用いた緩速ろ過法を考案し，トマトで高い効果を認めている．本章第 1 節および第 2 節の実験において，砂による除菌と活性炭によるしん出物の除去を目的とした緩速ろ過について検討したが，明確な除菌効果は得られなかった．一方，第 3 節では，緩速ろ過装置を使用せず実験を行ったが，病原菌の発生による枯死株の発生はみられなかった．これらのことから，カーネーション（小西，1980）と同様に，無病の培地に無病の苗を定植し，その後病原菌を持ち込まないような管理を行えば，除菌や殺菌は不要であると考えられる．

竹田・高橋（1998）は，園試処方による養液栽培で EC を 2.1dS・m^{-1} として切り上げ仕立て法で栽培した‘ソニア’の切り花生産性および切り花形質は，EC を 1.2dS・m^{-1} で栽培した場合と比較して優れたことを報告している．しかし，ハイラック仕立て法で‘ローテローゼ’を栽培した場合，給液の EC がかけ流し区の 2.0dS・m^{-1} と比較して 1.3dS・m^{-1} と低か

った処理区においても，切り花生産性（第 3-3 図）および形質（第 3-7 表）はかけ流し区と同等であった．品種，仕立て法や培養液組成の違いによるとは考えにくく，オドラータ台木接ぎ挿し苗の‘ローテローゼ’の適正 EC 濃度範囲が広いことが示唆される．

ロックウールスラブからの排液中には NH_4-N, Fe および Mn がほとんど検出されなかった（第 3-2 表）ことから，これらの無機成分の補充について検討したが，切り花生産性（第 3-3 図）および形質（第 3-6 表）には差がなかった．しかし，Mn の要求量は品種間差が大きい（林，1998b）とされており，Mn 欠乏症が生じやすい品種では補充の有無についての検討が必要と考えられる．

寺田（1998）はバラの水耕栽培における養水分吸収特性を調査した結果から，バラの養分吸収比は年間を通してほぼ一定であることを明らかにし，養分吸収比から，堪液水耕用の培養液組成を発表している．寺田らが開発した培養液組成は，愛知バラ処方と比較して，高濃度では生育に有害な SO_4-S および Cl（加藤，1997）の濃度が低いので，この組成による循環式栽培について検討する必要があると考えられる．さらに，寺田（1998）は，見かけの養分吸収濃度は季節によって変動することも明らかにしている．従って，養液循環式栽培でも，季節ごとに培養液濃度を変更することにより，排液中の無機成分濃度が減少し，季節ごとに排液率を変更しなくても栽培ができる可能性が示唆される．

ロックウールによる養液栽培が増加してきたことから，定植ごとに廃棄されるロックウールスラブに替わる培地の検索が急務である．また，代替培地を用いた養液循環式によるバラの栽培技術を確立する必要がある．そこで，バラの高設ベンチ栽培において，ロックウール代替培地として，バーミキュライト，パーライトおよびコイア固化培地を用いた養液循環式栽培での切り花生産性，形質および培養液組成の変動について検討した．その結果，コイアおよびバーミキュライト固化培地における切り花生産性および形質は，ロックウールスラブと同等以上であり，実用的であることが明らかとなった．通常，バラの養液栽培における栽培期間は，3 年以上となる．バーミキュライトやコイア固化培地における総切り花本数は大きかったが，コイア自体は有機物なので長期間の使用により腐植する．そのため，無機物のロックウールやパーライトなどと比較して，長期間使用した場合の耐久性が問題となる．石原ら（2007）は，スギ樹皮などの有機物由来の培地は，連用により堆肥化が進み，もろく崩れやすくなると報告している．一方，岩崎・三枝（2001）は，コイアの分解は遅く，3 年以上の連用が可能であると報告している．栽培期間が 18 か月であった本実験では，各培地の大きさ（第 3-10 表）や硬度（第 3-5 図）には使用前と比較して

大きな差がなかった. しかし, 固化培地の耐久性および切り花の生産性の変動については, 今後も引き続いて調査が必要であろう. また, ロックウールと比較して CEC の高いバーミキュライトやコイア固化培地を用いても, 培養液の無機成分濃度が上昇する傾向にあった（第 3-8 図）が, ロックウールスラブと同様に排液を水で希釈して施与すれば濃度の上昇を防ぐことが可能であると考えられる.

第 5 節　摘要

バラ‘ローテローゼ’を供試し, 養液栽培における培養液の循環利用にともなう排液の希釈, 無機成分の添加の有無およびロックウールスラブ代替培地の利用が切り花生産性, 形質および培養液組成に及ぼす影響について検討した.

1. 栽培ベンチから排出される排液を砂と活性炭で緩速ろ過し, 排液の水による希釈倍率が切り花生産性, 形質および培養液組成に及ぼす影響について検討した結果, 水で 2 倍に希釈し, 新規に作成した培養液と等量で混合して施与すると, 培養液組成は新規に作成した培養液の無機成分濃度とほぼ同じであり, 切り花生産性および形質はかけ流しと同等であった.

2. 排液を水で希釈し新規作成培養液と混合して施与する場合に不足する NH_4-N, PO_4-P および Mn 成分の補充の有無が切り花生産性, 形質および培養液組成に及ぼす影響について検討した結果, これら無機成分を補充しなかった場合の培養液中の濃度は新規に作成した培養液と比較して著しく低かったが, 切り花生産性および形質はかけ流しと同等であった.

3. ロックウールスラブを用いた養液栽培では, 使用後の廃棄処分が環境負荷の一因となっていることから, 再生と再利用が可能な代替培地の種類が養液循環式栽培における切り花生産性, 形質および培養液組成に及ぼす影響について検討した結果, バーミキュライトおよびコイア固化培地での切り花生産性および形質はロックウールスラブと同等以上であった.

第4章　総括

バラの養液栽培による切り花生産は，ほとんどが培地にロックウールスラブを用いた高設ベンチで周年行われている．ところが，これまでのバラの切り花生産に関する研究は，土耕栽培の切り上げ仕立て法を前提として行われたものがほとんどである．また，ロックウール栽培においては，オランダの培養液管理技術を模倣したものであり，新たに高設ベンチ栽培用に開発された仕立て法や我が国の気候風土に適合する培養液管理技術の確立が必要である．バラの切り花生産は，限られた面積の施設内で行われているが，最近は加温用燃料費や肥料費等の価格が上昇し生産費の大幅な増加を招いている．このため，生産現場からは，切り花の生産性を向上させ，売り上げを増加させるための技術開発が強く求められている．本研究では，我が国で最も栽培面積の多いバラ‘ローテローゼ’を供試し，第1章において異なる仕立て法と台木を用いて生産性と形質の関係から栽培管理法を明らかにし，第2章において生産性と形質に関与する環境要因について検討し，第3章において環境負荷軽減のために，新たな培養液の循環式管理技術を開発するとともに再利用が可能な培地を探索した．これらの結果を概括すると，以下のようになる．

第1章では，高設ベンチによる養液栽培を前提として，新たに開発された仕立て法の差異と切り花生産性および形質について検討した．養液栽培において，代表的なアーチング仕立て法，ハイラック仕立て法およびシュート水平折り曲げ仕立て法の三つを比較した．これら三つの仕立て法は，いずれも同化専用枝を持つことに特徴がある．しかし，同化専用枝の着生位置はそれぞれ異なり，アーチング仕立て法ではクラウン部にのみ，ハイラック仕立て法ではクラウン部と採花母枝の両方に，シュート水平折り曲げ仕立て法ではクラウン部と水平に折り曲げたシュートの先端部にある．また，従来の切り上げ仕立て法のように5枚葉を残して収穫しないことから，いずれの仕立て法も樹高を下げるための切り戻し剪定が不要であり，周年にわたって収穫が可能であった．切り花生産性および形質は仕立て法によって異なった．切り花生産性はハイラック仕立て法，シュート水平折り曲げ仕立て法，アーチング仕立て法の順に大きかった．切り花形質についてみると，切り花長および切り花重はアーチング仕立て法が大きく，ハイラック仕立て法およびシュート水平折り曲げ仕立て法は同程度であった．アーチング仕立て法は，クラウンから発生するベーサルシュートを花茎として基部から収穫することから，花茎は太く，剛直であった．これらのことから，形質を低下させず，切り花の生産性を向上させるためにはハイラック仕立て法が有望と考えられた．

ハイラック仕立て法はアーチング仕立て法とは異なり，採花母枝を有し，その頂部や腋芽か

ら発生するシュートを花茎として採花する．したがって，切り花生産性や形質向上のためには優良な採花母枝が必要であり，定植後の苗の育成日数が重要となる．育成日数が 60 日以下では切り花生産性，形質ともに低かったことから，育成日数は 75 日以上必要なことが明らかとなった．また，採花母枝の長さも切り花生産性および形質に影響する可能性があることが生産現場で指摘されている．そこで，採花母枝の長さについて検討したところ，採花母枝の長さが 10cm 以下では切り花生産性，形質ともに低下したことから，採花母枝の長さは 15～20cm 必要なことが明らかとなった．

養液栽培は土耕栽培と異なり，無病な培地へ苗を定植し，培養液を潤沢に供給することから，種苗費の安価な挿し木苗の利用が増加しているので，台木を利用する優位性について検討した．オドラータ台木およびノイバラ台木接ぎ挿し苗と比較した挿し木苗の切り花生産性および形質は，同程度であった．ところが，穂木同化専用枝に台木同化専用枝を持たせた場合の切り花生産性および形質は，挿し木苗と比較してオドラータ台木接ぎ挿し苗で高く，ノイバラ台木接ぎ挿し苗で低かった．しかし，台木接ぎ挿し苗を用いた場合には種苗費が 20%程度高くなること，さらに台木接ぎ挿し苗を用いて台木同化専用枝を持たせると樹形管理が煩雑となり作業性までも低下する．これらのことから，養液栽培における挿し木苗の実用性は高く，台木接ぎ挿し苗を利用する優位性は低いと考えられた．現在，広島県内の 35 戸（栽培面積 6.7ha）のバラ生産者のほとんどが挿し木苗を利用し，全戸が本論文で比較したハイラック仕立て法，アーチング仕立て法，あるいはシュート水平折り曲げ仕立て法のいずれかによる栽培を行っている．

第 2 章では，切り花生産性および形質に関与する環境要因の影響を明らかにするため，同化専用枝の光合成速度を測定するとともに，採花母枝径の日肥大を歪ゲージ式変位計で計測し，同化専用枝の機能について調査した．

同化専用枝の光合成速度について検討したところ，光合成速度は，二酸化炭素濃度が 800～1200ppm で最大となった．そのため，施設内への二酸化炭素施与濃度は，1200ppm 以上まで高める必要のないことが明らかとなった．また，光合成速度は，PPFD が 1000 μ mol·m^{-2}·s^{-1} 以上ではほとんど大きくならなかった．採花母枝の日肥大は，温度により大きく異なった．昼温，夜温ともに一定の場合，採花母枝の日肥大は 20℃で最も大きく，10℃，30℃の順に小さくなり，40℃ではマイナスとなった．昼温を 30～40℃として高温条件下における採花母枝の日肥大について検討したところ，昼温が同じ場合には，夜温 25℃で 20℃と比較して日肥大が小さかった．次に，昼温を 20～25℃として低温条件下における採花母枝の日肥大について検討したところ，昼温が同じ場合には，夜温 15℃で 10℃と比較して日肥大が大きかった．これらの結果を基に，

温度が切り花生産性および形質に及ぼす影響について検討したところ，高温条件下の昼温 40℃/夜温 20℃では 30℃/20℃と比較して到花日数が著しく大きくなるとともに切り花形質が著しく低下し，1 株あたりの乾物生産量も小さくなった．低温条件下を想定した 20/15℃における切り花生産性は，20/10℃と比較して大きかったが，切り花重が小さかったことから，1 株当たりの乾物生産量には差がなかった．適温条件下の 25/20℃および 25/15℃では，到花日数が小さく，切り花形質の低下もみられなかった．また，1 株当たりの乾物生産量も同じであった．採花母枝径の日肥大の大きかった温度域では切り花生産性および形質が高く，その一方で採花母枝径の日肥大の小さかった温度域では切り花生産性および形質ともに低かったことから，今後，温度と採花母枝の日肥大の関連性に関して，詳細に検討する必要がある．

ハイラック仕立て法では，切り上げ仕立てのように 5 枚葉を残して収穫しなくても，切り花形質の低下はみられないことから，同化専用枝はソースとして機能していると考えられるが，採花母枝に対する役割については明らかにされていない．そこで，同化専用枝に由来する光合成産物の転流と分配について調査したところ，開花期の花茎を持つハイラック仕立て法では，株元の同化専用枝に由来する光合成産物のほとんどは他器官へ転流しており，とくに根と採花母枝への転流率が高かった．このことから，根と採花母枝が強いシンクであり，同化専用枝はソースであることが明らかとなった．また，ハイラック仕立て法において，採花母枝に由来する同化専用枝の光合成産物は，採花母枝の長さが大きいと小さい場合と比較して採花母枝への分配率および ^{13}C atom ‰が高かったことから，同化専用枝に由来する光合成産物の転流量が切り花生産性に影響を及ぼしていることが示唆された．これらの結果を基に温室内への二酸化炭素施与の有効性について検討した．温室を閉め切って加温を開始する 10 月下旬から毎朝 1200ppm の二酸化炭素を 1 時間半施与すると，無施与と比較して切り花生産性は 20%増加し，切り花長および切り花重が大きくなることで形質の向上することが明らかとなった．現在，広島県内の養液栽培によるバラ生産者の内，二酸化炭素供給装置を 7 戸が，昇温防止のためのパッドアンドファンを 4 戸が，暖房を兼ねて夜冷のためのヒートポンプを 9 戸が設置している．

第 3 章では，養液栽培において系外へ排出される排液の循環利用と，使用後に廃棄されるロックウールスラブに替わる再利用の可能な培地の選定を行った．排液中の無機成分濃度は，給液と比較して NO_3-N, PO_4-P, K, Ca および Mg 濃度が大きく上昇していたが，NH_4-N, Fe および Mn 濃度が著しく低下していた．このことから，排液を循環利用し，給液する培養液中の無機成分濃度を適正な範囲で維持するために，排液の水による希釈倍率と不足する無機成分の補充について検討した．その結果，排液を水で 2 倍に希釈した後に，基準濃度で作成した新規培養

液と等量で混合し混合培養液として施与すると，無機成分濃度は排液を混合しない新規培養液と同等になることが明らかとなった．一方，混合培養液に不足する NH_4-N, Fe および Mn 成分補充の有無は，切り花生産性および形質には影響しなかったことから，これらを積極的に添加する必要のないことが示唆された．

土壌改良資材として使用後には再利用が可能な素材として，コイア，バーミキュライトおよびパーライトを，ロックウールスラブと同様に，取り扱いやすいよう固化させた培地を用いて切り花の生産性および形質について検討した．コイアおよびバーミキュライト固化培地における生産性はロックウールスラブと比較して高く，形質は同等であった．一方，パーライト固化培地における切り花の生産性は，著しく低かった．花持ち日数を培地ごとに調査したが，培地の種類による差はなかった．これらのことから，原材料費の安価なコイア固化培地が営利生産においても有望と考えられた．コイアを基本素材とした固化培地は，バラと同様にロックウールスラブで生産されるトマトでは，代替培地として大規模農園で利用されている．また，使用後の固化培地は，製造業者が回収し緑化基盤材などに再生する過程ができつつある．

開発したバラの養液循環式栽培技術を，広島県内の生産者圃場において，農業改良普及センターと共同で現地実証した．普及センターの 1 年間にわたる切り花出荷調査では，かけ流し栽培と比較して生産性および形質には差がなく，肥料コストは 46%削減できた．これらの結果から，本研究で開発したバラの養液循環式栽培技術は，高い実用性を有することが明らかとなった．また，再生が可能な有機物であるピートモスを母材とした固化培地によるバラの切り花生産が 3a で導入が始まった．今後，養液栽培によるバラ生産者の環境保全と資源の有効利用に対する意識が向上すれば，代替培地はさらに普及するであろう．

謝　辞

本論文をとりまとめるにあたり，岡山大学大学院自然科学研究科准教授　後藤丹十郎博士には終始懇切なご指導とご鞭撻を賜った．心より感謝の意を表します．岡山大学大学院自然科学研究科教授　桝田正治博士，岡山大学大学院自然科学研究科教授　吉田裕一博士にはご校閲の労をおとりいただいた．深く感謝の意を表します．また，岡山大学名誉教授　小西国義博士，同　景山詳弘博士には有益かつ適切なご助言を賜った．深く感謝の意を表します．

本研究は，広島県立総合技術研究所農業技術センター（旧広島県立農業技術センター）において実施し，遂行にあたっては多くの方々のご指導ならびにご協力をいただいた．元花き栽培研究部長　勝谷範敏博士には終始適切なご指導をいただいた．元次長　今井俊治博士ならびに前田光裕栽培技術研究部長には暖かいご配慮をいただいた．圃場における実験では，石倉聡副主任研究員，原田秀人副主任研究員，福島啓吾副主任研究員，藤原朋子研究員（現食品工業技術センター），田部大研究員（現広島県東部農業技術指導所）の諸氏には多大なご協力をいただいた．また，室内における実験では，主任研究員　伊藤純樹博士，延安弘行副主任研究員，香口哲行副部長，國田丙午研究員（現北部農業技術指導所）の諸氏には多大なご協力をいただいた．圃場における栽培管理や室内における分析補助では，齋藤廣司主任専門員を始め，多くの技術職員，非常勤職員にご助力いただいた．

元農業技術センター　是松博文氏にはバラを研究する機会を提供していただいた．また，同吉田隆徳氏，同大友譲二氏，同伊藤悌右氏には暖かいご配慮をいただいた．

独立行政法人農業・食品産業技術総合技術研究機構近畿中国四国農業研究センター　三浦一芸博士，同花き研究所　市村一雄博士，同森林総合研究所　佐橋憲生博士からはつねに励ましの言葉をいただいた．

広島大学名誉教授　藤田耕之輔博士には，植物体の測定に際して，高額な機器を快くお貸しいただいた．

養液循環式栽培技術の現地実証に際しては，原園芸　原保雄氏と中川浩二主査（現広島県農林水産局）には多大なご協力をいただいた．

実験の遂行にさいして，広島県花弁園芸農業協同組合バラ部会の諸氏から多くの情報とご助言，ならびに暖かい励ましの言葉をいただいた．採花園　矢吹純氏には，有益な情報をいただいた．今井ナーセリー　今井清氏には，苗の提供と有益な情報をいただいた．

ここに記して，関係者各位に深く感謝の意を表します．

引 用 文 献

Aikin, W. J. and J. J. Hanan. 1975. Photosynthesis in the Rose; Effect of light intensity, water potential and leaf age. J. Amer. Hort. Sci. 100: 551-553.

Argo, W. R. and J. A. Biernbaum. 1997. The effect of root media on root-zone pH, calcium, and magnesium management in containers with impatiens. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122: 275-284.

浅尾俊樹・梅山元正・太田勝巳・細木高志・伊藤憲弘・植田尚文. 1998. 水耕キュウリの培養液非交換による収量の減少と活性炭添加による回復. 園学雑. 67: 99-105.

Azcón-Bieto, J. 1983. Inhibition of photosynthesis by carbohydrates in wheat leaves. Plant. Physiol. 73: 681-686.

Berry, J. and O. Bjorkman. 1980. Photosynthesis response and adaptation to temperature in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol Boil. 31: 491-543.

Bozarth, C. S., R. A. Kennedy and K. A. Scheckel. 1982. The effect of leaf age on photosynthesis in rose. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 707-712.

Bredmose, N. and J. Hansen. 1996. Topophysis affects the potential of axillary bud growth, fresh biomass accumulation and specific fresh weight in single stem roses (*Rosa hybrida* L.). Ann. Bot. 78: 215-222.

Bredmose, N., J. Hansen and J. Nielsen. 1999. Factors intrinsic to the axillary bud determine topophysic effects on bud and shoot growth and flower development in rosa hybrida. J. Plant Sci. 160: 819-825.

Bryne, G. T., R. P. Doss and A. T. Y. Tse. 1978. Flower and shoot development time in the greenhouse roses, 'Cara Mia' and 'Town crier', under several temperature-photoperiodic regimes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 500-502.

Bryne, G. T. and R. P. Doss. 1981. Development time of rose 'Cara Mia' rose shoots as influenced by pruning position and parent shoot diameter. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 98-100.

Cockshull K. E. and J. S. Horridge. 1977. Apical dominance and flower initiation in the rose. J. Hort. Sci. 52: 421-427.

Cralle, H. T. and G. H. Heichel. 1988. Photosynthate partitioning in alfalfa before harvest and during regrowth. Crop Science 28: 948-953.

Daudet, F-A., T. Amèglio, H. Cochard, O. Archilla and A. Lacointe. 2005. Experimental analysis of the role of water and carbon in tree stem diameter variation. J. Experimental Bot. 56: 135-144.

De Vries, D. P. and A. M. Dubois. 1989. Variation for the shoot production of Rosa hybrida 'Sonia' as influenced by edelcania rootstock clones. Gartenbau. 55: 211-215.

De Vries, D. P. and A. M. Dubois. 1990. Shoot Production of 'Sonia' on hybrida tea rootstock clones of different vigor. Gartenbau. 55: 268-271.

Enoch, H. Z. N. Zieslin, Y. Biran, A. H. Halevy, M. Schwarz, B. Kesler and D. Shimsi. 1973. Principles of CO_2 nutrition research. Acta Hortic. 32: 97-117.

福井博一．2001．バラの病害に対する防除法．日本バラ切花協会会報．49: 91-97.

Fujita, K., J. Itou, P. K. Mohapatra, H. Saneoka and K. Lee. 2003. Circadian rhythm of stem and fruit diameter dynamics of Japanese persimmon (*Diospyrus kaki.* Thunb.) is affected by deficiency of water in saline environments. Functional Plant Biology. 30: 747-754.

後藤丹十郎・藤井一徳・元岡茂治・小西国義．2002．熱融着性ポリエステル繊維固化培地でセル育苗したストックおよびキンギョソウの生育と切り花品質．園学研．4: 245-248.

後藤丹十郎・藤井一徳・元岡茂治・小西国義．2005．熱融着性ポリエステル繊維固化培地を利用したシュッコンカスミソウセル成苗の移植期拡大．園学研．4: 17-20.

Hanan, J. J. 1979. Observation of a low temperature effect on roses. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104: 37-40.

Hand, D. W. and K. E. Cockshull. 1975a. The effect of CO_2 concentration of the canopy photosynthesis and winter bloom production of the glasshouse rose 'Sonia' (syn. 'Sweet Promise'). Acta Hortic. 51: 243-252.

Hand, D. W. and K. E. Cockshull. 1975b. Roses Ⅰ: The effects of CO_2 enrichment on winter bloom production. J. Hort. Sci. 50: 183-192.

原　幹博．1987．ロックウール栽培の現状．農林水産省野菜・茶業試験場昭和61年度野菜・花き課題別検討会資料．p. 26-29.

林　勇．1998a．切り花栽培の新技術．改訂バラ．上巻．誠文堂新光社．東京．p. 54-66, 75-86.

林　勇．1998b．切り花栽培の新技術．改訂バラ．下巻．誠文堂新光社．東京．p. 55-72.

林　真紀夫．2003．五訂施設園芸ハンドブック．社団法人日本施設園芸協会．東京．p. 142-157.

林　孝洋．1995．花器の構成と発達．p. 97-103．農業技術体系花弁編．3．環境要素とその制御．農山漁村文化協会．東京．

広島県農業経営指標．広島県農林水産部．2006. p. 414-419.

市村一雄．2008．花弁の展開にともなう細胞肥大と花の形．園学研．7: 157-163.

Idso, S. B. and B. A. Kimball. 1991. Downward regulation of photosynthesis and growth at high CO_2 level. No evidence for either phenomenon in three-year study of sour orange trees. Plant Physiol. 96: 990-992.

Idso, S. B. and B. A. Kimball. 1992. Effect of atmospheric enrichment on photosynthesis, respiration, and growth of sour orange trees. Plant Physiol. 99: 341-343.

今井　清．1996．バラの苗生産及び切花栽培方法．特許公開 2003-2548515.

今井　清・横道耕一．1997．切りバラの栽培方法．特許公開平 09-149725.

今井俊治．1990．密植・根域制限栽培による 4 倍体ブドウの早期成園化の実証．岡山大学学位論文.

今井俊治・本田敏夫・藤原多見夫．1994．ナシ‘幸水’における果実，幹径の日変化に及ぼす土壌水分の影響．生物環境調節．32: 155-162.

乾　正嗣．1996．バラ養液栽培のアーチング仕立て法における冬期の採花方法が開花枝の発生特性及び採花本数に及ぼす影響．静岡農試研報．41: 25-33.

石原良行・中山千知・八巻良和．2007．閉鎖型養液栽培におけるスギ樹皮培地の連用が培地の理化学性およびトマト収量に及ぼす影響．園学研．6: 113-118.

Ito, J., S. Hasegawa, K. Fujita, S. Ogasawara and T. Fujiwara. 1999. Real time diagnosis of environmental stress by micromorphometric method. 1. Effect of air temperature during fruitlet stage of fruit on stem and fruit diameters, and fruit growth in Japanese pear (*Pyrus serotiana* Rheder cv. Kosui). Soil Sci. Plant Nutr. 45: 395-402.

伊藤純樹．2003．ニホンナシ‘幸水’の樹体および果実形質に対する環境要因の植物生体情報に基づく栄養生理学的解析．広島農技セ研報．74: 1-81.

岩尾憲三・高野泰吉．1988．植物生体情報の計測手法の開発とその応用に関する研究．（第 2 報）植物体内水分動態の諸特性．生物環境調節．26: 163-170.

岩崎泰永・千葉佳郎．2000．有機質資材を培地としたトマトの循環型養液栽培システムの開発．宮城園試研報．12: 1-11.

岩崎泰永・三枝正彦．2001．培養液の NO_3-N/NH_4-N 比が循環型養液栽培における培養液組成とトマトの生育・収量に及ぼす影響．土肥誌．72: 214-222.

張　洪基・糠谷　明．1997．温室メロンのロックウール栽培における培養液濃度と養分吸収の関係．園学雑．66: 307-312.

Jiao, J., M. Gilmour, M. J. Tsujita and B. Grodzinski. 1989. Photosynthesis and carbon partitioning in

Samantha roses. Can. J. Plant Sci. 69: 577-584.

梶原真二・伊藤純樹・勝谷範敏．2000．折り曲げ枝からの光合成産物の転流に関する研究．園学雑．69（別2）：474.

加藤俊博．1996．栄養特性と養分管理．p. 321-332．農業技術体系花卉編．7．カーネーション（ダイアンサス）/バラ．農山漁村文化協会．東京．

加藤俊博．1997．養液管理．p. 481-512．農業技術体系花卉編．7．カーネーション（ダイアンサス）/バラ．農山漁村文化協会．東京．

加藤俊博．2004．ロックウールに代わる新たな培地の特性と利用．p. 509-512 の 4．農業技術体系花卉編．70 カーネーション（ダイアンサス）/バラ．農山漁村文化協会．東京．

Khayat, E. and N. Zieslin. 1986. Effect of different night temperature regimes on the assimilation, transport and metabolism of carbon in rose plants. Physiol Plant. 67: 608-613.

Khayat, E. and N. Zieslin. 1987. Effect of night temperature on the activity of source phosphate synthase, acid invertatase, and source synthate in source and sink tissues of Rosa hybrida cv Golden times. Plant physiol. 84: 447-449.

Khayat, E., N. Zieslin, L. Mortensen and R. Moe. 1988. Effect of alternating temperature on dark respiration and ^{14}C export in rose plants. Plant Physiol. 133: 199-202.

Khayat, E. and N. Zieslin. 1989. Translocation of ^{14}C carbohydrate content and activity of the enzymes of sucrose metabolism in rose petals at different night temperatures. Physiol Plant. 76: 581-585.

Kim, S. H. and J. H. Lieth. 2004. Effect of shoot-bending on productivity and economic value estimation of cut-flower rose grown in Coir and UC Mix. Scientia Hortic. 99: 331-343.

Kim, S. H., K. A. Scheckel and J. H. Lieth. 2004. Bending alters water balance and reduces photosynthesis of rose shoots. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129: 896-901.

Kimball, B. A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield an assemblage and analysis of 430 prior observations. Agron. J. 75: 779-788.

Kohl, H. C. and D. E. Smith. 1970. Rose plant renewal. Roses Inc. Bull. December. 1-4.

小西国義．1991．花の園芸用語事典．川島書店．東京．p. 100.

小西国義．1980．カーネーション生産技術．養賢堂．p. 22-56.

Kool, M. T. N. and P. A. van de Pol. 1992. Aspects of growth analysed for *Rosa hybrida* 'Motrea' as affected by six rootstocks. Gartenbau. 57: 120-125.

Kool, M. T. N. and E. F. A. Lenssen. 1997. Basal-shoot formation in young rose plants: Effects of

bending practices and plant density. J. Hort. Sci. 72: 635-644.

小山佳彦・岩井豊通・池田幸弘．1998．ミニチュアバラのアーチング仕立て法における遮光，補光および摘らい処理が切り花本数，切り花長および茎径に及ぼす影響．近畿中国農研．95: 61-65.

小山佳彦・石川順也・宇田　明．2005．バラの一定長収穫法による中・長茎切り花の多収技術．近中四農研．7: 41-46.

小山佳彦．2006．短茎多収栽培．p. 512 の 28-36. 農業技術体系花卉編．7．カーネーション（ダイアンサス）/バラ．農山漁村文化協会．東京．

草刈真一．1990．流水殺菌灯による養液栽培の病害防除．植物防疫．44: 267-271.

Le Bris, M., A. Champeroux, P. Bearez and M. T. Le Page-DeGivry. 1997. Basipetal gradient of axillary bud inhibition along a rose (Rosa hybrida L.) stem: Growth potential of primary buds and their two most basal secondary buds as affected by position and age. Ann. Bot. 81: 301-309.

Lieth, J. H. and C. C. Pasian. 1990. A model for net photosynthesis of rose leaves as a function of photosynthetically active radiation, leaf temperature, and leaf age. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 486-491.

Lindstrom, R. S. 1965. Carbon dioxide and its effect on the growth of roses. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 87: 521-524.

Marcelis-van Acker, C. A. M. 1995. Effect of temperature on development and growth potential of axillary bud in rose. Sci. Hortic. 63: 241-250.

Mathis, V. 1973. The effect of high day temperatures on new plantings of 'Forever Yours', 'Love Affair' and 'Cara Mia' roses. Colo. Flow. Grow. Asso. Bul. 270: 1-3.

Mattson, R. H. and R. E. Widmer. 1971. Effects of carbon dioxide supplemented atmospheres on green house Rose (*Rosa hybrida*) production. J. Amer. Soc. Hort Sci. 96: 487-488.

松本智恵子・加藤俊博．2006．バラのレベリング仕立てにおける採花母枝の長さと勾配が切り花収量・品質に及ぼす影響．愛知農総試研報．38: 139-146.

松尾昌樹．1993．養液内病原菌とオゾンによる殺菌－キュウリつる割病菌分生胞子の場合．農機誌．55: 105-111.

峯　洋子・稲永　忍・崎山亮三・坂　齊．2000．緩速砂ろ過が NFT システムにおける循環培養液の無機要素と菌濃度に及ぼす影響．園学雑．69: 323-311.

水戸喜平・万豆剛一．1973．バラの切り花生産に及ぼす夜温の影響．静岡農試研報．18: 82-93.

Moe, R. 1972. Effect of daylength, light intensity, and temperature on growth and flowering in roses. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97: 796-800.

Moe, R. and T. Kristofferson. 1969. The effect of temperature and light on growth and flowering of rosa 'Baccara' in greenhouse. Acta. Hortic. 14: 157-166.

Mor, Y. and A. H. Halevy. 1979. Translocation of ^{14}C-assimilates in roses. Ⅰ. The effect of the age of the shoot and the location of the source leaf. Physiol. Plant. 45: 177-182.

Mor, Y. and A. H. Halevy. 1980. Promotion of sink activity of developing rose shoots by light. Plant Physiol. 66: 990-995.

Morisot, A., P. Bearez, M. Ben Saoula and G. Perez. 1998. The weight-length ratio of cut rose: variation by cultivar ('Sweet Promise' and 'Jelrocami'), quality grade and day of the year. Scientia Hortic.77: 45-57.

二村幹夫・山口徳之・伊藤和久．1997．仕立て方法及び採花方法がバラ切り花の収量・品質に及ぼす影響．愛知農総試研報．29: 185-192.

二村幹雄・吉見仁志・近藤満治．2001．バラ養液栽培における多孔質セラミックス培地の粒径と給液量が切り花の収量・品質に及ぼす影響．園学雑．70: 650-655.

西　義孝．1999．オランダにおける環境に配慮した施設園芸．ハイドロポニックス．13: 7-10.

農林水産省編．1994．切花全国標準出荷規格．p. 2-3.

農林水産省．2009．農林水産統計．<http://www.maff.go.jp/j/tokei/pdf/kaki08.pdf>.

糠谷　明．1999．オランダの施設園芸における閉鎖系栽培システム．p.8 の 20-8 の 23．3．農業技術体系土壌施肥編．農山漁村文化協会．東京．

織田弥三郎．1981．園芸学実験・実習．光合成速度の表示と産出．p. 123-124．大阪府立大学農学部園芸学教室編．養賢堂．東京．

大川　清．1973．温室バラの挿し木繁殖と挿し木苗の生産能力の検討．神奈川園研報．21: 120-127.

大川　清・竹内雅彦．1980．ソニアの発芽から開花までの生育過程．神奈川園試花き試験成績書．p. 47-48.

大川　清．1981．バラの切り花生産の現状と問題点〔6〕．台木と苗生産．農及園．56: 77-84.

大川　清．1999．バラの生産技術と流通．養賢堂．東京．p. 304-333.

Ohkawa, K. and M. Suematsu. 1999. Arching cultivation techniques for growing cut rose. Acta Hortic. 482: 47-51.

大須賀慶一. 2007. 最先端夏季降温防止技術の活用によるバラの高品質安定生産. p. 56-58.第28回施設園芸総合セミナーテキスト. 日本施設園芸協会.

Olufajo, O. O., R. W. Daniels and D. H. Scarisbrick. 1982. The effect of pod removal on the translocation of ^{14}C photosynthate from leaves in *Phaseolus vulgaris* L. cv. Lochness. J. Hort. Sci. 57: 333-338.

Pasian, C. C. and J. H. Lieth. 1994. Prediction of flowering rose shoot development based on air temperature and thermal units. Scientia Hortic. 59: 131-145.

Pien, H., E. Bobelyn, R. Lemeur and M. C. Van Labeke. 2001. Optimizing LAI in bent rose shoots. Acta Hortic. 547: 319-327.

Plaut, Z. and N. Zieslin. 1977. The effect of canopy wetting on plant water status CO_2 fixation, ion content and growth rate of 'Baccara' roses. Phsiologia Plantarum. 39: 317-322.

Plaut, Z. N. Zieslin, A. Grawa and M. Gazette. 1979. The effect of rose plants to evaporative cooling: Flower production and quality. Acta Hortic. 11: 183-190.

Raviv, M., S. Medina, Y. Shamir, Sh. Gil'ad, O. Duvdevani, Y. Shor and R. Schayer. 1993. Clonal variability among *Rosa indicana* rootstocks: morphology, horticultural traits and productivity of scions. Scientia. Hortic. 53: 141-148.

Raviv, M., R. Wallach, A. Silber, Sh. Medina and A. Krasnovsky. 1999. The effect of hydraulic characteristics of volcanic materials on yield of roses grown in soilless culture. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124: 205-209.

Reda, E. A. M., H. Saneoka, J. Itou and K. Fujita. 2001. Characterization of salt tolerance in tomato plant in terms of photosynthesis and water relations. Soil. Sci. Plant. Nutr. 47: 377-385.

Rouhani, I. and M. Khosh-Khui. 1979. Comparison of photosynthetic efficiency and stomatal distribution in detached leaves of four rose species. Iran J. Agric. Res. 7: 37-41.

Runia, W. T. 1995. A review of possibilities for disinfection of recirculation water from soilless cultures. Acta Hortic. 382: 221-229.

Särkkä, L. E. and H. J. Rita. 1999. Yield and quality of cut roses produced by pruning or by bending down shoots. Gartenbau. 64: 173-176.

Semeniuk, P. 1964. An effect of temperature on development and differentiation of rose flower. Amer. Hort. Mag. 43: 177-180.

佐藤展之. 2006. 養液栽培. p. 512 の 22-512 の 27. 農業技術体系花弁編. 7. カーネーション(ダ

イアンサス）/バラ．農山漁村文化協会．東京．

嶋本久二･上山茂文･藤田政良．1993．バラのロックウール栽培における樹形管理に関する研究（第2報）アーチング方式での「同化専用枝」の折曲げ程度と「同化専用枝」及び採花枝の本数及びその初期生育との関係．園学雑．62（別2）：542-543.

Shimomura, N., K. Inamoto, M. Doi, E. Sakai and H. Imanishi. 2003. Cut flower productivity and leaf area index of photosynthesizing shoots evaluated by image analysis in “Arching” roses. J. Japan Soc. Hort. Sci. 72: 131-133.

Shin, H. K., J. H. Lieth and S. H. Kim. 2001. Effects of temperature on leaf area and flower size in rose. Acta Hortic. 547: 185-191.

志佐　誠・高野泰吉．1964．花色発現に及ぼす温度ならびに光の影響．園学試．33: 48-54.

Smith, D. L. 1989. 野菜・花きのロックウール栽培．池田英男・篠原 温共訳．誠文堂新光社．東京．p. 2-13.

高須賀朝三・横田禎二・太洋興業株式会社．1991．バラの切花栽培方法．特許公開平03-191716.

竹田　義．1993．切り花バラのロックウール栽培における培養液管理の問題点．園芸学会平成5年度秋季大会シンポジウム要旨．p. 142-157.

竹田　義・高橋克征．1998．養液栽培におけるバラの多量要素吸収とその季節変動．園学雑．67: 116-122.

Tanaka, A. and K. Fujita. 1974. Nutrio-physiological studies on the tomato plant. IV. Source-sink relationship and structure of the source-sink unit. Soil Sci. Plant Nutr. 20: 305-315.

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与に関する研究．神奈川園試研報．41: 7-17.

田中和夫・馬場　勝・島地英夫．1992．ロックウール栽培における排出液の加熱殺菌による再利用．生物環境調節．30: 17-22.

田中和夫・安井秀夫．1992．ロックウール栽培の実用化に関する研究．野菜・茶業試験場研究報告　A（野菜・花き）．5: 1-36.

寺田幹夫・景山詳弘・小西国義．1997．養液栽培におけるバラの生長と養水分吸収の関係．園学雑．66: 149-155.

寺田幹夫．1998．バラの養水分管理に関する基礎的並びに応用的研究．岡山大学学位論文.

寺沢四郎．1968．数種の土壌改良剤が土壌物理性に及ぼす影響．農技研報．B19：197-228.

上田善弘．1995．花色発現．p. 349-350．農業技術体系花弁編．3．環境要素とその制御．農山漁

村文化協会．東京．

Ueda, Y., S. Nishimura, H. Tomita and Y. Oda. 2000. Photosynthetic response of Japanese rose species *Rosa bractria* and *Rosa rugosa* to temperature and light. Sci. Hortic. 84: 365-371.

牛尾亜由子．2008．バラ同化専用枝の光合成能力の発達と維持に関する研究．花き研報．8: 15-40.

Ushio, A., T. Mae and A. Makino. 2008. Effects of temperature on photosynthesis and plant growth in the assimilation shoots of rose. Soil Sci. Plant. Nutr. 54: 253-258.

Van den Berg, G. A. 1984. Influence of higher night than day temperatures on the winter production of 'Sonia' roses under Dutch greenhouse conditions. Acta Hortic. 148: 581-590.

渡辺寛之・西澤圭子・廣岡健司．1996．バラの接ぎさし繁殖と切り花生産性について．奈良農試研報．27: 25-32.

Whiley, A. W. and B. Schaffer. 1993. ^{14}C-photosynthate partitioning in avocado trees as influenced by shoot development. HortScience. 28: 850-852.

矢吹　純・草野産業株式会社．1994．バラの切り花栽培方法．特許公開平 06-292463.

山田　要．2005．各種肥料・資材の特性と利用〈2〉. p. 117-122. 7. 農業技術体系土壌施肥編．農山漁村文化協会．東京．

于　文進・荒井健吾・加藤克彦・今井田一夫・西村直正・李　蓮花・福井博一．2006．ミニチュアローズの鉢物栽培における生育と日射量および気温との関係．園学研．5: 309-314.

財団法人日本花普及センター．2009. <http://www.jfpc.or.jp>.

Zeroni, M. and J. Gale. 1988. Response of Sonia roses to continuous daytime CO_2 supplementation under controlled environment conditions. Aust. J. Agric. Res. 9: 863-870.

Zieslin, N. and A. H. Halevy. 1969. Petal blackening in 'Baccara' roses J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94: 629-631.

Zieslin, N. and A. H. Halevy. 1978. Components of axillary bud inhibition in rose plants. III. Effect of Stem Orientation and Changes of Bud Position on the Stem by Budding. Botanical Gazette.139: 60-63.

Zieslin, N., L. M. Mortensen and R. Moe. 1986. Carbon dioxide enrichment and flower formation in rose plants. Acta Hortic. 173: 173-179.

Zieslin, N., E. Khayat and Y. Mor. 1987. The response of rose plants to different night temperature regimes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 86-89.