みかけの窒素吸収濃度に基づいた給液法がカーネーション‘ノラ’の切り花収量、 形質および土壌溶液の硝酸態窒素濃度に及ぼす影響

山中正仁^{1,2*}・後藤丹十郎²・小河 甲¹・宇田 明^{1a}・宮浦紀史³・山口国夫³

¹ 兵庫県立農林水産技術総合センター 679-0908 兵庫県加西市別府町

² 岡山大学大学院自然科学研究科 700-8530 岡山県岡山市北区津島中

³ 大塚アグリテクノ株式会社栽培研究センター 779-0301 徳島県鳴門市大麻町

Effects of Fertigation Management Based on Apparent Nitrogen Absorption Concentration on Cut Flower Yield, Characteristic Form and Nitrate Nitrogen Concentration of Soil Solution in Carnation ‘Nora’

Masahito Yamanaka^{1,2*}, Tanjuro Goto², Kinoe Ogawa¹, Akira Uda^{1a},
Toshifumi Miyaura³ and Kunio Yamaguchi³

¹ Hyogo Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, Befu, Kasai, Hyogo 679-0908

² Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, Tsushimanaka, Kita, Okayama 700-8530

³ Otsuka AgriTechno Co., Ltd. Fertilizer & Cultivation Research Center, Oasa, Naruto, Tokushima 779-0301

Abstract

To develop simple and versatile fertilizer management in cultivation by fertigation of carnations (*Dianthus caryophyllus* L.), the effects of fertilizer management by apparent nitrogen absorption concentration on cut flower yields, characteristic form and soil solution concentration were investigated using the cultivar ‘Nora’. Cut-flower yield by the four-split (seasonally-split) application method was highest among treatments and that by the twelve-split (monthly-split) application method was higher than that of the fixed application method. The cut flower weight (g)/length (cm) ratio of the fixed application method was smaller than that of the twelve-split application method between 33 and 36 weeks after the beginning of harvest. There were differences in EC and nitrate nitrogen concentration between the different methods of treatment. The nitrate nitrogen concentration of soil solution in each treatment ranged from 8 to 169 ppm, from 54 to 103 ppm, and 21 to 108 ppm for the four-split, twelve-split and fixed application methods, respectively, 20 weeks after the beginning of harvest. Fluctuation in the fixed application method was the greatest among the treatments, fluctuation in the four-split application method was least among the treatments examined, and the nitrate nitrogen concentration of soil solution was maintained at an optimal concentration level for the growth of carnations throughout the cultivation period.

Key Words : cultivation by fertigation, liquid fertilizer management, nutrient level

キーワード : 灌水同時施肥, 給液管理, 養分レベル

緒 言

カーネーション (*Dianthus caryophyllus* L.) の土耕栽培において、点滴給液により多頻度で少量ずつ液肥を与える灌水同時施肥法は、切り花収量や品質を向上させる技術として有効である (山中ら, 2002)。本技術が従来の方法と異なる点は、灌水と施肥を別々ではなく、養液栽培と同様に、常に液肥を用いて養水分を供給するところにある。生産現場において、本技術が容易に実施されるには、液肥の成分組成、濃度および量を生育段階や栽培時期ごとに明確に示

した給液基準の作成が重要と考えられる。

養液栽培において、培養液の組成や濃度は、作物の生育や品質に大きく影響する (塚越, 2001)。そのため、培養液管理に関する研究事例は極めて多く、作物の養分吸収に好適な濃度で培養液を維持する濃度維持管理法 (山崎ら, 1976) や、作物の生育に必要な養分量を日あるいは週単位で培養液に施用する量的管理法 (Nakano ら, 2010) などが考案されている。

一方、土耕栽培においては、伊藤 (1984) が、土壌溶液組成は作物の養分吸収環境を規定する、という知見に基づき、土壌溶液をバランスよくコントロールする灌水施肥管理を提案している。そこで、伊藤・荒木 (1985) は、土壌溶液組成をみかけの養分吸収濃度 (山崎ら, 1976) に維持する方法を“均衡かん水施肥法”と命名し、トマトおよび

2010 年 11 月 16 日 受付. 2011 年 4 月 5 日 受理.

* Corresponding author. E-mail: masahito_yamanaka@pref.hyogo.lg.jp

^a 退職

キュウリの栽培を試みた結果、土壤溶液組成がバランス良く維持され、生育および収量が良好であったと報告している。また、嶋田・武井（1965）も、野菜類の施肥管理においては、土壤溶液の硝酸態窒素濃度を一定に維持することの重要性を示している。このように、土耕栽培においても、養液栽培の培養液管理と同様に、土壤溶液管理に着目した施肥管理が古くから提案されている。

著者らは、少量ずつ高頻度で養水分を与える灌水同時施肥法を、土壤溶液組成を積極的にコントロール可能な技術としてとらえている。島ら（2005）は、スプレーギクの灌水同時施肥法において、液肥の窒素濃度をみかけの吸収濃度で施用することが、窒素成分の残存がない効率的な施肥を可能にしたと報告している。また、バラにおいては、寺田（1997）が、みかけの養分吸収濃度に基づいた液肥施用の可能性を示唆している。著者らは、これらの報告を参考に、カーネーションの灌水同時施肥法において、みかけの養分吸収濃度に基づいた土壤溶液の濃度維持管理法による給液管理技術の開発を目指している。そこで、これまでに冬春切り1年作型のスタンダードカーネーションとスプレーカーネーションについて、水分消費量（山中ら、2011）と養分吸収量（山中ら、2010; 山中ら、2005）を明らかにしてきた。さらに、これらのデータを用い、栽培期間を12分割して4週ごとに算出したみかけの養分吸収濃度で給液する管理法を試みた（小河ら、2005）。しかし、この方法では、栽培期間中、頻繁に濃度を変えたことから、給液法が極めて煩雑となる問題があった。また、冬春切り1年作型においては、養分吸収量（山中ら、2010; 山中ら、2005）および水分消費量（山中ら、2011）が、夏期の高温・強光や冬期の低温・弱光といった気象条件で大きく変化する。そのため、栽培期間を細かく分割しすぎると、年次によっては養水分吸収量が異なることが予想された。このうち、水分消費量の変動に関しては、著者らは、葉数と日射量から1日ごとの水分消費量が推定できることを明らかにしている（山中ら、2011）。しかし、養分吸収量の変動に対する給液濃度の対処法は明らかにできていない。

島ら（2004）は、スプレーギクの窒素吸収量に基づいた施肥法において、11週の栽培期間を分割なし、あるいは3および11分割して、あらかじめ調査したそれぞれの期間ごとの必要窒素量を1週ごとに施用した。その結果、いずれの方法でも、切り花品質にはまったく差がなかったことを示し、施肥法が簡素化できたと報告している。また、寺田（1997）は、土耕栽培および養液栽培（水耕）のバラにおいて、栽培期間を大きく四季別に分けた養水分管理法の有効性を認めている。

そこで本報では、カーネーションの土耕栽培における灌水同時施肥法の給液管理の簡素化と汎用化を目的に、カーネーションの生育に最も影響を及ぼすとされる窒素（米村、1990）に関して、冬春切り1年作型の栽培期間を分割し、みかけの窒素吸収濃度に基づいた給液法が切り花の収

量、形質および土壤溶液の硝酸態窒素濃度に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

実験は、兵庫県南あわじ市の淡路農業技術センターのガラス温室で実施した。長さ200 cm、幅95 cm、深さ20 cmの隔離栽培床（SD-85、全農）に真砂土、ピートモス（カナダ産無調整ピートモス1 Lあたりに炭酸カルシウムを5 g添加）、パーライト（キングパール L（粒径1.5～5.0 mm）、三井金属鉱業）を容積比で5:5:2に配合した培養土を充填した。その上にエミッター間隔が20 cm、エミッター当たり吐出量が $44 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ の点滴チューブ（RAM17, NETA-FIM）を60 cm間隔で2本設置した後、アルミ蒸着フィルムで被覆した。2004年7月13日に、スタンダードカーネーション‘ノラ’の発根苗を1辺が10 cmの8目ネット、中2目を抜いた株間20 cmとして、6条で定植した。1栽培床当たりの定植株数は、60株とした（ $35.3 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ ）。8月3日に5節残して摘心し、9月8日に一次側枝を1株当たり4本に整枝した。一次側枝の頂花から第8節までを1番花とし、二次側枝の頂花から第10節までを2番花として、それぞれ2004年10月14日～2005年6月9日まで収穫した。温度管理は、7月13日～11月30日および5月1日～6月13日はすべての時間帯の換気温度を 18°C とし、無加温とした。12月1日～4月30日の換気温度は、 $8 \sim 9^{\circ}\text{C}$ とし、それ以外の時間帯を 18°C とした。最低夜温が12月1日～1月3日は 10°C 、1月4日～4月30日は 13°C になるよう、 $18 \sim 8^{\circ}\text{C}$ に加温した。以後、この作を2004年作とする。

給液は、小河ら（2005）の48週の栽培期間を4週ごとに分割し、それぞれのみかけの窒素吸収濃度で給液する12分割区を対照として、栽培期間を1～8、9～20、21～32および33～48週の養分吸収特性が類似した期間ごとに分割し、それぞれのみかけの窒素吸収濃度で給液する4分割区および全栽培期間の総窒素吸収量を総水分吸収量で除して算出したみかけの窒素吸収濃度で給液する一定区の3処理区とした（第1表）。なお、みかけの窒素吸収濃度は、著者らが2001年7月～2002年6月（以後、2001年作とする）にカーネーションの養分吸収量を明らかにするために、窒素：リン：カリウム：カルシウム：マグネシウム = 15:6.5:12.5:3.6:0.9の液肥（養液土耕3号、大塚化学）の1,500倍を、毎日 $0.0 \sim 13.9 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ の範囲で給液して栽培した‘ノラ’の実験結果（山中ら、2005）に基づき算出した。

本実験における定植後4週ごとの栽培床 1 m^2 当たりの窒素施肥量を、第2表に示した。なお、窒素以外の肥料成分は、山中ら（2005）の実験結果をもとに、おおむね窒素100に対してリンは20、カリウムは130、カルシウムは50、マグネシウムは10として液肥組成を調整し、各処理区がほぼ同量の施肥量になるよう施用した。栽培床 1 m^2 当たりの総施肥量は、窒素が94～96 g、リンが21 g、カリウムが122

第1表 各処理区の施肥窒素濃度

処理区	施肥窒素濃度 (ppm)											
	1–4 ^z	5–8	9–12	13–16	17–20	21–24	25–28	29–32	33–36	37–40	41–44	45–48
	(7/13 ~ 8/9)	(8/10 ~ 9/6)	(9/7 ~ 10/4)	(10/5 ~ 11/1)	(11/2 ~ 11/29)	(11/30 ~ 12/27)	(12/28 ~ 1/24)	(1/25 ~ 2/21)	(2/22 ~ 3/21)	(3/22 ~ 4/18)	(4/19 ~ 5/16)	(5/17 ~ 6/13)
12 分割	105	107	135	133	113	59	85	162	59	90	73	53
4 分割		106		128			109			68		
一定						91						

^z 上段：定植後週数，下段：日付（月／日）

第2表 各処理区の窒素施肥量および給液量

処理区	窒素施肥量 (g・m ⁻²) ^z												合計
	1–4 ^y	5–8	9–12	13–16	17–20	21–24	25–28	29–32	33–36	37–40	41–44	45–48	
	(7/13 ~ 8/9)	(8/10 ~ 9/6)	(9/7 ~ 10/4)	(10/5 ~ 11/1)	(11/2 ~ 11/29)	(11/30 ~ 12/27)	(12/28 ~ 1/24)	(1/25 ~ 2/21)	(2/22 ~ 3/21)	(3/22 ~ 4/18)	(4/19 ~ 5/16)	(5/17 ~ 6/13)	
12 分割	3.8	5.4	9.2	10.5	7.9	3.1	4.7	9.5	5.4	11.4	12.8	10.3	93.9
4 分割	3.9	5.3	8.7	10.1	8.9	5.8	6.0	6.4	6.2	8.6	12.0	13.2	95.0
一定	3.3	4.6	6.2	7.2	6.3	4.8	5.0	5.3	8.3	11.5	16.0	17.6	96.2
給液量 ^x (L・m ⁻²)	36.4	50.4	68.0	78.7	69.5	52.9	55.2	58.3	91.2	126.5	176.0	193.4	1,056.6

^z 栽培床面積当たり^y 上段：定植後週数，下段：日付（月／日）^x すべての処理区の給液量は同じ

～124 g, カルシウムが46～47 g, マグネシウムが9～10 gであった。

液肥は、硝酸アンモニウム、硝酸カリウム、硝酸カルシウム、硝酸マグネシウム、尿素およびリン酸第1カリウムなどを用いて配合した実験専用液肥（大塚化学）を所定の窒素濃度に希釈して、電動ポンプと電磁弁により、毎日9時30分に給液した。栽培床1 m²当たりの日給液量を定植後1～4週は1.3 L、5～8週は1.8 Lの一定とした。9週以降の日給液量は屋外日射量を全天日射計（SL-30、イー・エス・ディ）で測定し、温室制御用コンピューター（GM-10N、イー・エス・ディ）を用いて、山中ら（2005）の水分消費量のデータをもとに、1 MJ当たりの給液量を9～12週は0.2 L、13～24、29～36、41～44週は0.3 L、25～28、37～40、45～48週は0.4 Lとして、日射比例制御した。4週ごとの給液量は、第2表の通りであった。

1 処理区当たり栽培床横方向で連続した2列の12株を1単位として、同一栽培床3地点の切り花収量を調査した。切り花形質については、収穫が始まった定植後13週から4週ごとに10本ずつ（45～48週は5本）、切り花長、切り花重および茎下垂指数を調査した。また、切り花の量感を知る目的で、切り花重（g）を切り花長（cm）で除した値を算出した。茎の軟弱性を示す茎下垂指数は、切り花の先端から45 cmの位置を支点として花茎を水平に保ち、支点と花を結ぶ角度が10°未満を1、10°以上20°未満を2、20°以上30°未満を3とし、3段階に数値化した。2001年作と

2004年作においては4週ごとの平均切り花重を収穫本数に乗じた値を1 m²当たり収穫切り花重量として算出した。

土壌溶液採取器（DIK-8393、大起理化工業）を点滴チューブのエミッターから5 cmの距離で、ポラスカップの中央部が土壌の深さ10 cmになるよう設置した。定植から4週ごとに、17時～翌日9時に、土壌溶液を採取し、pHをpHメーター（IM-40S、東亜電波工業）、ECをECメーター（CM-40S、東亜電波工業）および硝酸態窒素をイオンクロマトグラフ法（L-7000シリーズ、日立製作所）で測定した。定植前培養土および実験後の切り花収量の調査地点3か所から全層土壌を採取し、NO₃-NをRQフレックスで、P₂O₅をトルオーグ法で、K₂O、CaOおよびMgOを原子吸光分光光度計（Z-6100、日立製作所）で測定した。

2004年作の実験期間および2001年作の同時期における月ごとの屋外平均気温と屋外積算日射量を、WINS気象システム（明星電気）により10分間隔で測定した値から算出した。

結 果

1 m²当たりの総切り花収量は、対照とした12分割区の236.3本に対し、4分割区が278.5本と多く、一定区が205.9本と少なくなり、処理間に有意な差が認められた（第3表）。収穫時期別には、定植後41～44週において、12分割区より4分割区が70%多く、一定区が30%少なくなり、有意な差が認められた。切り花形質については、いずれの

第3表 給液方法および施肥窒素濃度が収穫時期別の切り花収量に及ぼす影響

処理区	切り花収量 (本・m ²) ^z									合計
	13-16 ^y	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48	
	(10/5 ~ 11/1)	(11/2 ~ 11/29)	(11/30 ~ 12/27)	(12/28 ~ 1/24)	(1/25 ~ 2/21)	(2/22 ~ 3/21)	(3/22 ~ 4/18)	(4/19 ~ 5/16)	(5/17 ~ 6/13)	
12 分割	17.7a ^x	37.3a	52.0a	22.6a	9.8a	12.7a	22.6a	36.3a	25.5a	236.3b
4 分割	14.7a	49.0a	46.1a	14.7a	15.7a	11.8a	25.5a	61.8b	39.2a	278.5c
一定	15.7a	42.2a	33.3a	27.6a	13.7a	10.8a	14.7a	25.5a	22.6a	205.9a

^z栽培床面積当たり^y上段：定植後週数，下段：日付（月／日）^x異なるアルファベット間に Tukey の HSD 比較（5%水準）で有意差があることを示す

第4表 給液方法および施肥窒素濃度が収穫時期別の切り花形質に及ぼす影響

処理区	収穫時期 ^z								
	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	41-44	45-48
	(10/5 ~ 11/1)	(11/2 ~ 11/29)	(11/30 ~ 12/27)	(12/28 ~ 1/24)	(1/25 ~ 2/21)	(2/22 ~ 3/21)	(3/22 ~ 4/18)	(4/19 ~ 5/16)	(5/17 ~ 6/13)
12 分割 4 分割 一定	切り花長 (cm)								
	55.6a ^y	61.0a	69.1a	66.3a	59.5a	63.4a	67.9a	64.2a	58.0a
	59.4a	64.4a	65.0a	63.7a	59.3a	67.1a	68.1a	63.1a	60.8a
	57.9a	66.5a	64.2a	63.5a	60.9a	67.0a	66.8a	66.2a	63.8a
12 分割 4 分割 一定	切り花重 (g)								
	17.2a	20.4a	24.7a	26.4a	28.9a	36.5a	36.7a	30.3a	22.0a
	17.7a	22.6a	22.6a	28.2a	28.9a	35.3a	33.3a	29.8a	25.8a
	17.6a	22.6a	23.9a	25.5a	27.9a	33.0a	33.7a	27.7a	24.6a
12 分割 4 分割 一定	切り花重／切り花長								
	0.31a	0.33a	0.36a	0.40a	0.49a	0.58b	0.54a	0.47a	0.38a
	0.30a	0.35a	0.35a	0.44a	0.49a	0.52ab	0.49a	0.47a	0.43a
	0.30a	0.34a	0.37a	0.40a	0.46a	0.49a	0.51a	0.42a	0.38a
12 分割 4 分割 一定	茎下垂指数 ^x								
	2.4	1.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.4	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.0	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

^z上段：定植後週数，下段：日付（月／日）^y異なるアルファベット間に Tukey の HSD 比較（5%水準）で有意差があることを示す^x切り花の先端から 45 cm の位置で花茎を水平に保ち，支点和花を結ぶ角度を数値化した値で 10°未満を 1，10°以上 20°未満を 2，20°以上 30°未満を 3 とした

収穫時期の切り花長および切り花重に有意な差は認められなかった（第4表）。切り花重／切り花長の値は，定植後 33～36 週において，一定区が 0.49 で，12 分割区の 0.58 より有意に小さかった。茎下垂指数は，13～16 週において 12 分割区が 4 分割区より大きくなる傾向を示したが，それ以降は処理間に差はみられなかった。時期別の収穫切り花重量は，2004 年作では 2001 年と比較して，定植後 13～16 週は 0.4～0.8 倍と少なく，21～32 週は 1.8～2.6 倍と多かった（第1図）。

第2図に定植後 4 週ごとの土壌溶液の pH，EC および硝酸態窒素濃度の推移を示した。A 図の pH は，12 分割区が実験期間を通して 7.8～8.0 と，ほぼ一定の値で推移したの

に対し，4 分割区および一定区が定植後 16～28 および 40～48 週は 6.3～7.1 と低く推移した。B 図の EC は，実験期間を通して 12 分割区が 0.59～1.28 dS・m⁻¹，4 分割区が 0.59～1.10 dS・m⁻¹，一定区が 0.25～1.56 dS・m⁻¹ で推移し，12 分割区の変動幅に対して 4 分割区は小さく，一定区は大きかった。時期別では，定植後 16 週までは，各処理区ともに 0.60～1.10 dS・m⁻¹ の範囲で類似した値で推移したが，4 分割区は 20 週が 1.01 dS・m⁻¹ で 12 分割区の 0.78 dS・m⁻¹ より高く，32～36 週が 0.86～0.91 dS・m⁻¹ で 12 分割区の 1.24～1.28 dS・m⁻¹ より低かった。一定区は，20 週と 32 週がそれぞれ 0.25 dS・m⁻¹ と 0.26 dS・m⁻¹ となり，12 分割区のそれぞれ 0.78 dS・m⁻¹ と 1.24 dS・m⁻¹ より低く，

第1図 2001年作と2004年作における収穫時期別（13～32週）の1 m²当たり収穫切り花重量の推移 第2図 給液方法および施肥窒素濃度が土壌溶液のpH (A)、EC (B) および硝酸態窒素濃度 (C) に及ぼす影響
○ 12分割 □ 4分割 △一定, 定植後12週(10月4日)は欠測

第5表 給液方法および施肥窒素濃度が培地中の無機成分含有量に及ぼす影響

処理区	無機成分含有量 ($\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$)				
	$\text{NO}_3\text{-N}$	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
12分割	21.6 (81) ²	40.0 (286)	7.0 (179)	656.8 (122)	60.5 (81)
4分割	21.1 (79)	38.0 (271)	4.1 (105)	593.9 (111)	54.7 (73)
一定	44.5 (173)	48.0 (343)	5.0 (128)	642.1 (120)	53.9 (72)

² () 内は実験開始時を 100 とした時の相対値を示す

40～48週は $1.23 \sim 1.56 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ で12分割区の $0.96 \sim 1.13 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ より高かった。C図の硝酸態窒素濃度は、実験期間を通して12分割区が $1 \sim 108 \text{ ppm}$ 、4分割区が $2 \sim 105 \text{ ppm}$ 、一定区が $4 \sim 169 \text{ ppm}$ で推移し、EC同様、12分割区の変動に対して4分割区は小さく、一定区は大きかった。時期別では、4分割区は定植後20週が 102 ppm で12分割区の 39 ppm より高く、32～36週が $75 \sim 81 \text{ ppm}$ で12分割区の $103 \sim 108 \text{ ppm}$ より低かった。一定区は、20週と32週がそれぞれ 15 ppm と 8 ppm となり、12分割区のそれぞれ 39 ppm と 103 ppm より低く、40～48週は $120 \sim 169 \text{ ppm}$ で12分割区の $60 \sim 82 \text{ ppm}$ より高かった。

実験後の土壌の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含有量は、12および4分割区が実験前の約0.8倍であり、与えた窒素がすべて吸収されたが、一定区では実験前の約1.7倍で、与えた窒素が残存していた(第5表)。 P_2O_5 、 K_2O 、 CaO および MgO の含有量は、処理間に大きな差は認められなかった。 P_2O_5 はすべての処理区で実験後に2.5倍以上に増加したが、その他の無機成分に大きな変化はみられなかった。

本実験の給液濃度の根拠とした2001年作の実験(山中ら, 2005)と、本2004年作の実験期間4週ごとの屋外平均気温および屋外積算日射量の差を第3図に示した。2004年作の平均気温は、定植後1～12および17～20週が2001年作より $1.0 \sim 2.6^\circ\text{C}$ 高く、25～28および33～48週では

$0.6 \sim 1.5^\circ\text{C}$ 低かった。2004年作の積算日射量は、定植後1～16、25～36および45～48週が2001年作より $22.7 \sim 58.3 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 少なく、21～24および41～44週では $29.6 \sim 135.3 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 多かった。

考 察

養液栽培の培養液濃度には、作物の生育を抑制しない好適濃度範囲があるとされている(塚越, 2001)。土壌溶液の硝酸態窒素濃度について、Bar-Yosef (1999) は、トマトでは $100 \sim 150 \text{ ppm}$ が好適濃度範囲であったと報告している。また、嶋田・武井(1965)は、野菜類の生育に好適な土壌溶液濃度の指標として、養液栽培における実験結果を用いており、多くの野菜では $100 \sim 200 \text{ ppm}$ が好適濃度範囲であったと報告している。カーネーションでは、土壌溶液の好適硝酸態窒素濃度を示した報告は見当たらないが、嶋田・武井(1965)の好適培養液濃度を好適土壌溶液濃度とした考えに基づけば、小西(1980)が養液栽培(水耕)で示した 100 ppm を中心とした範囲が、土壌溶液の好適濃度範囲の指標として判断できよう。

本実験において、給液方法により総切り花収量に有意な差が認められ、対照区の12分割区と比較して、4分割区は18%多く、一定区は13%少なかった。これらの差は、2番花の収穫盛期である定植後37週以降の切り花収量の差が影響したためと考えられた。そこで、2番花となる二次側枝の発生および伸長期である20～36週の各処理区の土壌溶液の硝酸態窒素濃度を比較した。その結果、12分割区では $21 \sim 108 \text{ ppm}$ 、4分割区では $54 \sim 103 \text{ ppm}$ 、一定区では $8 \sim 59 \text{ ppm}$ となった。4分割区では24週を除いて、好適濃度とされる 100 ppm に比較的近い値で推移したが、12分割区では20～28週、一定区では常に 100 ppm を大幅に下回った。Winsorら(1970)は、スタンダードカーネーションの‘ウィリアムシム’および‘ピンクシム’を液肥の窒

第3図 淡路農業技術センターにおける2001年作と2004年作の屋外平均気温と屋外積算日射量の差

素濃度を 20, 90, 160 および 230 ppm の 4 段階で栽培した結果, 160 ppm 区の切り花収量が最も増加し, 20 ppm 区が最も減少したと報告している. このときの 20 ppm 区の土壌の硝酸態窒素濃度は 3 ppm で, カーネーションの生育に対して欠乏レベルであったとしている. このことから, 本実験においても, 栽培期間中の土壌溶液の硝酸態窒素濃度が 8 ppm まで低下した一定区および 21 ppm まで低下した 12 分割区では, 一時的に養分ストレスを生じたことにより生育が抑制され, 総切り花収量が減少したと考えられた. また, 最も切り花収量が多かった 4 分割区においては, 定植後 24 週の硝酸態窒素濃度は 54 ppm まで低下した. しかし, 一定および 12 分割区のような収量の低下は認められなかったことから, 土壌溶液の一時的な硝酸態窒素濃度の低下は, それほど収量に影響を及ぼさないことが示唆された.

切り花形質については, 切り花の量感を示す切り花重/切り花長の値が, 定植後 33 ~ 36 週で 12 分割区より一定区が有意に小さかった. 山中ら (2010) は, スプレーカーネーション ‘バーバラ’ において, 土壌の窒素含有量の低下による切り花重の減少を認めており, 一定区の切り花重/切り花長の値の低下は, 収量同様, 土壌溶液の硝酸態窒素濃度の低下が影響したと考えられた.

養液栽培の濃度維持管理法において, 培養液濃度は, 作物のみかけの養分吸収濃度と等しい場合に一定に保たれる (塚越, 2001). 本実験における定植後 20 週以降の土壌溶液の硝酸態窒素濃度の最小値と最大値の比は, 12 分割区が 21 ~ 108 ppm の約 5, 4 分割区が 54 ~ 103 ppm の約 2, 一定区が 8 ~ 169 ppm の約 21 となり, 比が小さいほど総切り花収量が増加した. 伊藤・荒木 (1985) は, キュウリにおいて, 土壌溶液の硝酸態窒素濃度の変動を, 栽培期間を通して小さく管理することにより収量が増加したと報告しており, 本実験の結果は, この報告と一致した. このことから, カーネーションの灌水同時施肥法の給液管理にとって, 土壌溶液の濃度維持管理法は有効であると判断できた.

本実験の給液濃度の根拠とした 2001 年作 (山中ら, 2005) と, 本 2004 年作のそれぞれの期間の養水分吸収量が同じであれば, 12 分割区の土壌溶液濃度は大きく変動しないことが予想された. しかしながら, 本実験では, 定植後 20 ~ 28 週の硝酸態窒素濃度が著しく低下した. そこで, 2001 年作と 2004 年作の気象条件を比較したところ, 定植後 17 ~ 20 週の平均気温が 2004 年作では 14.8°C であり, 2001 年作より 2.6°C 高かった. 21 ~ 24 週の積算日射量は, 2004 年作が 2001 年作よりも 30 MJ・m⁻² 多かった. 武永 (2001) は, シクラメンの生育の年次変動は, 気温および日照時間の年次変動に影響されたことを明らかにしている. カーネーションは 21°C までは気温が高いほど (米村, 1990), また, 日射量が多いほど (藤野, 1980) 生育が促進される. さらに, 2001 年作と 2004 年作の時期別の収穫切り花重量の差に着目すると, 定植後 21 ~ 32 週は 2004 年作が 2001 年作より約 2.2 倍多かった. これらのことから, 2004 年作

では, 21 ~ 32 週の収穫切り花の伸長期である 17 ~ 28 週の生育が 2001 年作より一段と促進され, 土壌溶液の硝酸態窒素濃度が著しく低下したと推察された. このように, カーネーションでは, 気象の年次変動により, 同一時期においても成長量が異なり, 同時にみかけの窒素吸収濃度も変動することが明らかになった. このことから, カーネーションの灌水同時施肥法においては, 栽培期間ごとの給液濃度の設定を細分化すれば, 汎用性は低下すると判断できた.

一般に, 土壌溶液の pH, EC も作物の生育に多大な影響を及ぼす. 本実験の土壌溶液の pH は, 栽培期間を通して, いずれの処理区もカーネーションの生育に適するとされる 6.0 ~ 6.5 (米村, 1990) を上回った. この高 pH の要因は, 培養土に用いたピートモスの pH 調整のために炭酸カルシウムを添加したことにより, 栽培前の乾土 100 g 当たりの CaO 含有量が 537 mg と多くなったことが影響したと考えられた. しかし, この程度の pH の上昇では, 特に障害などは認められなかった. カーネーションの土壌の好適 EC レベルは, 乾土 1 : 水 5 の測定値では 0.5 ~ 1.0 dS・m⁻¹ の範囲で, 1.5 dS・m⁻¹ 以上では生育が抑制される (米村, 1990). 岡島 (1981) は, 土壌溶液の EC は, 乾土の 10 ~ 20 倍の値を示したと報告していることから, 本実験における各処理区の土壌溶液の EC は, カーネーションの生育を抑制しない範囲であったと考えられた.

これらのことを総括すると, カーネーションの冬春切り 1 年作型における灌水同時施肥法では, 4 分割区で硝酸態窒素濃度の変動が小さく, 切り花の収量が増加し, さらに 12 分割区より給液管理を簡素化できることから, 栽培期間をおおむね春夏秋冬の季節ごとに分割し, それぞれの期間のみかけの窒素吸収濃度に基づいた給液管理が有効と考えられた. 本実験結果による給液窒素濃度の基準案としては, 夏は 110 ppm, 秋は 130 ppm, 冬は 110 ppm, 春は 70 ppm が妥当であろう. 寺田 (1997) は, バラにおける時期別の給液窒素濃度は, 夏期 (7 ~ 8 月) は 60 ppm, 秋期 (9 ~ 10 月) は 100 ppm, 冬期 (11 ~ 1 月) は 200 ppm, 春期 (2 ~ 6 月) は 150 ppm が適切と提案している. このように, 季節間の濃度範囲は, カーネーションの結果とは異なった. 特に, 夏期と冬期では, バラでは顕著な濃度差があるのに対し, カーネーションでは同濃度であった. 寺田 (1997) は冬期, ほとんど温室を換気しておらず, 最高気温の平均が 30°C 近かった. そのため, 長時間, 温室内湿度が高い状態であり, 水分消費が抑制されていたと推察される. しかし, 本実験のカーネーションでは, 日中の換気温度を 18°C に設定しており, 冬期でも晴天日には温室の天窓や側窓の開放により, 温室内湿度が低下したと推察できる. そのため, カーネーションの蒸散が促進され, 養分吸収量に対する水分消費量の比率が高まり, 冬期のみかけの窒素吸収濃度は, バラと比較してそれほど上昇しなかったと考えられた. また, カーネーションの春期の給液濃度が低かった点については, 単位成長量当たりの窒素吸収量は, バラ

では夏期を除いてほぼ一定である(寺田, 1997)のに対し、カーネーションでは、栽培後期ほど低下する(山中, 2010)こと、水分消費量が増加する(山中ら, 2011)ことが要因と考えられた。

島(2003)は、スプレーギクの夏秋型および秋型のいずれのタイプにおいても、栽培期間中、同一濃度での給液管理が可能であったと報告している。このことも、本実験のカーネーションの結果と異なった。その理由として、スプレーギクの栽培期間は約80日と短いこと、さらに、Yoonら(2000)が示したようにスプレーギクの成長量の増加は直線的であることから、養水分吸収量は季節や地上部の成長量の変動の影響を受けにくく、一定濃度での給液を可能にするものと考えられた。

土壤溶液においても、無機養分の組成を好適に維持することは、作物の生育を安定して良好にする上で有効と報告されている(伊藤, 1982)。窒素以外の成分については、実験前後の土壤含有量において、 P_2O_5 が2.5倍以上に増加した。本実験で用いた培養土の比重を0.7、固相率を40%とした場合、算出されるリンの 1 m^2 当たりの増加量は、4分割区で約6gであったことを考慮すると、給液組成はリンの割合を窒素100に対して20から15程度に低下させる必要がある。その他の成分含有量に大きな変化はなかったことや、欠乏あるいは過剰症が認められなかったことから、栽培期間を通して窒素100に対してカリウム130、カルシウム50、マグネシウム10の組成での給液で問題ないと考えられた。

本実験においては、栽培時の生育を抑制させることなく土壤の化学性および物理性の均一化を図るとともに、給液窒素濃度の影響を適切に判断したかったため、真砂土、ピートモスおよびパーライトの混合培養土を用いた。しかし、土壤溶液の組成は灌水施肥以外にも、土壤の種類や物理性によっても影響される(岡島, 1981)。今後、これらの成分比で、異なる土壤での検証栽培を行う必要があろう。また、本実験は1回摘心栽培で行ったが、生産現場では様々な手法がとられる。著者ら(山中ら, 2011)が1および2回の摘心栽培の水分消費量を比較したところ、総水分消費量に差はなかったが、品種によっては定植後28～36週に差が認められた。このような水分消費量の差に対しては、本実験で示した窒素濃度を基準とし、葉数と日射量から推測した水分消費量(山中ら, 2011)で給液すれば、様々な品種や摘心栽培に対応が可能と考えられたが、今後検証栽培が必要であろう。

小西(1980)はカーネーションの施肥管理において、可能な限り土壤養分を上下に変動させないように好適濃度に維持する方法、土耕栽培における濃度維持管理法を提唱している。その実現のためには、一度に施用する肥料は少なく、施与間隔を狭くして回数を多く与えるべきとしている。著者らが開発を目指す灌水同時施肥法は、作物の養水分吸収特性に基づき、少量ずつ多頻度で給液する方法である。

本実験では、みかけの窒素吸収濃度に基づいた給液法により、栽培期間を通して、土壤溶液の硝酸態窒素濃度をおおむね好適なレベルで維持できたことから、小西(1980)の提唱を実現する可能性が示唆された。

摘 要

カーネーションの土耕栽培における灌水同時施肥法の給液管理の簡素化と汎用化を目的に、冬春切り1年作型において、‘ノラ’を用いてみかけの窒素吸収濃度による給液管理法を検討した。総切り花収量は、窒素濃度を季節ごとに4分割した区が最も多く、次いで1か月ごとに12分割した区、一定区の順となり、有意な差が認められた。切り花形質は、定植後33～36週において、一定区の切り花重/切り花長の値が、12分割区より有意に小さかった。土壤溶液のECと硝酸態窒素濃度には、処理による差が認められた。収穫期に相当する定植後20週以降の硝酸態窒素濃度は、一定区では時期による変動が最も大きく8～169 ppm、4分割区では54～103 ppm、12分割区では21～108 ppmとなった。このように、4分割区の濃度変動が最も小さく、栽培期間を通して、土壤溶液の硝酸態窒素濃度をおおむねカーネーションの生育に好適とされるレベルに維持できた。

引用文献

- Bar-Yosef, B. 1999. Advance in fertigation. Advance in Agronomy Vol. 65. p. 41–49. Academic Press, London.
- 藤野守弘. 1980. カーネーションの生産技術をめぐる諸問題(4)・栽培環境(1). 農及園. 55: 1388–1392.
- 伊藤純雄. 1982. 土壤溶液組成の動態測定法と野菜の養分管理. 野菜試報A. 10: 169–184.
- 伊藤純雄. 1984. 園芸講座・施設栽培における新実用化技術(2)・土壤溶液に基づく施設内土壌診断と管理①. 農及園. 59: 965–968.
- 伊藤純雄・荒木浩一. 1985. 施設栽培における均衡かん水施肥に関する研究. 野菜試報A. 13: 109–124.
- 小西国義. 1980. カーネーション生産技術. p. 114–117. 養賢堂. 東京.
- Nakano, Y., H. Sasaki, A. Nakano, K. Suzuki and M. Takaichi. 2010. Growth and yield of tomato plants as influenced by nutrient application rates with quantitative control in closed rock wool cultivation. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 79: 47–55.
- 小河 甲・山中正仁・宇田 明・渡辺和彦. 2005. カーネーションの養液土耕における時期別養分吸収量に基づく高収量・環境保全型施肥法. 土肥誌. 76: 63–67.
- 岡島秀夫. 1981. 土地利用と土壤溶液のイオン組成. p. 85–128. 日本土壌肥科学会編. 土壌の吸着現象・基礎と応用. 博友社. 東京.
- 島 浩二. 2003. キクの養水分吸収特性の解明とこれに基づいた養水分管理法の開発. 岡山大学大学院自然科学研究科学学位論文.

- 島 浩二・後藤丹十郎・景山詳弘. 2005. スプレーギクのベンチ栽培における見かけの養分吸収濃度に基づいた灌水同時施肥栽培法の開発. 岡山大農学報. 94: 19–24.
- 島 浩二・後藤丹十郎・景山詳弘. 2004. スプレーギクのベンチ栽培における施肥方法が切り花品質と養分吸収に及ぼす影響. 園学研. 3: 23–26.
- 嶋田永生・武井昭夫. 1965. そ菜類の窒素施肥に関する基礎的研究・(第1報) そ菜畑の土壌溶液について. 愛知園試研報. 3: 49–65.
- 武永順次. 2001. 気温の年次変動とシクラメンの生育との関係. 農作業研究. 36: 211–220.
- 寺田幹彦. 1997. バラの養水分管理に関する基礎的並びに応用的研究. 岡山大学大学院自然科学研究科学学位論文.
- 塚越 覚. 2001. 培養液の濃度管理. p. 96 の 10–96 の 22. 農業技術大系野菜編12. 農文協. 東京.
- Winsor, G. W., M. I. E. Long and B. M. A. Hart. 1970. The nutrition of glasshouse carnations. J. Hort. Sci. 45: 401–413.
- 山中正仁・後藤丹十郎・小河 甲・宇田 明・岩井豊通. 2010. 給液濃度がかん水同時施肥法で栽培したスプレーカーネーションの切り花収量と品質および時期別養分吸収特性に及ぼす影響. 岡山大農学報. 99: 55–62.
- 山中正仁・後藤丹十郎・宇田 明・岩井豊通・東浦 優. 2011. カーネーションの冬春切り1年作型における水分消費特性. 園学研. 10: 33–40.
- 山中正仁・小河 甲・宇田 明・岩井豊通. 2005. カーネーションの養水分吸収量. 園学雑. 74 (別1): 531.
- 山中正仁・宇田 明・小河 甲・宮浦紀史. 2002. 点滴チューブを用いた毎日の給液がカーネーションの生育, 収量および切り花品質に及ぼす影響. 近畿中国四国農業研究. 1: 51–54.
- 山崎肯哉・鈴木芳夫・篠原 温. 1976. そ菜の養液栽培(水耕)に関する研究, 特に培養液管理とみかけの吸収濃度(n/w)に就て. 東教大農紀要. 22: 53–100.
- 米村浩次. 1990. 切り花栽培の新技術・カーネーション・上巻. p. 69–75, 146–151, 174–175. 誠文堂新光社. 東京.
- Yoon, H. S., T. Goto and Y. Kageyama. 2000. Developing a nitrogen application curve for spray chrysanthemums grown in hydroponic system and its practical use in NFT system. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 69: 416–422.