自動底面灌水によるストックのセル苗生産(第2報) 日射比例灌水法および定時灌水法における灌水頻度が セル苗の生長と生産性に及ぼす影響

後藤丹十郎・藤本裕也・吉田裕一・景山詳弘

岡山大学農学部 700-8530 岡山市津島中 1-1-1

Transplant Production of Stock with Automatically Subirrigated Cell Flat (Part 2) Growth and Productivity of Transplants as Affected by Fertigation Frequency Controlled in Response to Solar Radiation or Scheduled in Time Course

Tanjuro GOTO, Yuya FUJIMOTO, Yuichi YOSHIDA and Yoshihiro KAGEYAMA

Faculty of Agriculture, Okayama University, 1-1-1 Tsushimanaka Okayama 700-8530, Japan

Abstract

We demonstrated the practical utility of solar radiation mediated fertigation control for transplant production in a cell flat with an automatic ebb-and-flow fertigation system. Furthermore, we investigated seasonal changes in growth and productivity of stock (*Matthiola incana* R. Br.) cv. White Dorse as affected by fertigation frequency controlled in response to solar radiation (5 or $10 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) and scheduled time course (once or twice per day).

The shoot dry weight of transplants and fresh weight of cut flowers were higher in plants fertigated with every $5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ of solar radiation, sown between late April and late July. In plants sown during other periods, there was no significant difference in growth and productivity among plants fertigated differently. When the plants sown in June were fertigated twice per day, the exposure was $5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ in average of cumulative solar radiation from fertigation to subsequent fertigation. However, the maximum cumulative value exceeded $8 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$. Water stress caused by the high solar radiation accompanied by high temperature and large saturation deficit may have resulted in reduced growth of the transplants and decreased quality of the cut flowers.

When the stock transplants were grown in a cell flat (220 cells of 12 m^3 cell volume), sufficient but not excess fertigation could be obtained by supplying nutrient solution every $5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ of solar radiation with an automatic ebb-and-flow fertigation system.

Keywords : automatic fertigation, ebb-and-flow system, solar radiation, time course, water stress

緒 言

集約的大規模育苗が可能なセル成型トレイ(以下セル)

育苗では、養水分管理の負担を軽減するために、効率的で安定した自動養水分管理システムの開発が望まれている。著者らは、均一な灌水が可能な底面灌水と液肥主体の養水分管理を前提とした自動養水分管理システムの開発を行っている¹⁾。

一般的に、灌水管理を自動化する場合には、タイムスイッチを利用して規定の時間に灌水する定時灌水法が最

2001年 6月15日受付
2002年 2月 1日受理

も簡便な方法として採用されることが多い。しかし、季節や天候に応じて植物の蒸発散量が大きく変動するので、セル苗のように培地量が少ない場合には、根圏の乾湿の差が大きくなりやすい。その結果、水ストレスや過湿による根圏の酸素不足などによって生育が抑制される可能性が高まるため、蒸発散量に見合った灌水を行い、培地の水分状態をより正確に制御することが望ましいと考えられる。

一方、培地を含む植物体の全重量を定期的に計測することによって、蒸発散量を算出することができる²⁾。渋谷³⁾はトマトセル苗群落を連続的に秤量し、それに基づいて灌水制御を行う自動干満灌水システムを開発している。しかし、実際には少量多品目のセル苗が同時に生産されることも多い。重量変化に基づいた灌水制御を行う場合には、それぞれに秤量して個別に制御する必要性が高い。前報⁴⁾で、ストックセル苗群落の蒸発散量と環境要因の関係を検討し、蒸発散量と日射量との間に高い相関が認められ、日射量のための単回帰式でセル苗群落の蒸発散量が推定できることを明らかにした。また、苗の生長に伴う蒸発散量の変化が比較的小さかったことから、作物種による差も大きくはないと推測される。したがって、使用するセルトレイの種類ごとに日射量と蒸発散量との関係式を求めることによって少量多品目生産にも容易に対応することが可能であり、日射比例制御による自動灌水システムはセル育苗においても、高い実用性を有すると考えられる。

ストックでは、200~288穴セルトレイ(セル容量10~15ml)で育苗する場合、本葉が6枚展開する前に移植することが望ましい^{5,6)}。この場合、セルでの育苗期間が全生育期間の20~30%を占めるため、苗品質が移植後の生育や切り花品質にまで影響する可能性が高い。

本報では、日射比例制御を用いた自動底面灌水システムによるセル育苗の実用性を検証するため、1年間にわたり日射比例制御灌水法と定時灌水法で育苗したストックセル苗の形質および定植後の生育と切り花品質を比較した結果について報告する。

材料および方法

ストック(*Matthiola incana* R. Br.) 'ホワイトドルセ'(サカタのタネ)の種子を、1998年9月25日から1999年8月21日まで毎月下旬に、半分に切断した220穴セルトレイ(セル容量12ml、直径24mm×高さ35mmの円筒形;みもの産業製)に2粒ずつ播種した。培地はピートモス:砂=3:1(v/v)とした。発芽後、各セル1個

体に間引いた。実験はすべてビニルハウス内で行い、播種から移植までは日最低気温15°C以上に、移植から切り花の収穫までは日最低気温10°C以上にそれぞれ加温した。前報⁴⁾で報告した自動底面灌水装置(灌水量10 l・min⁻¹)を用い、灌水制御方法は、一定の積算日射量ごとに灌水する日射比例制御灌水法と規定の時間に灌水する定時灌水法の2種類とし、一定濃度の園芸試験場処方培養液(11~5月播種は1/2濃度:N120 ppm)、6~10月播種は1/3濃度:N80 ppm)を用いてそれぞれ10分間底面灌水を行った。全天日射量をハウス内に設置した日射センサ(ML-020 V, EIKO 製)により、A/Dコンバータ(Green Kit 100, ESD 製)を介してパーソナルコンピュータに記録し、1時間ごとの平均値を算出した。日射比例制御灌水法では、前回の灌水からの日射量を毎正時に積算し、積算日射量が5, 10 MJ・m⁻²(それぞれ5, 10 MJ区)に達したときに灌水する2処理区とした。定時灌水法では1日1回(8:00;1回区)、1日2回(8:00, 13:00;2回区)灌水する2処理区とし、計4処理区設けた。子葉展開時(播種10~15日後)から2回区の植物体が本葉4枚を展開するまで(播種26~36日後)処理を行った。処理期間は15(4月と5月播種)~28日間(11月播種)であり、処理期間中の平均気温は19(12月播種)~31(7月播種)°Cの範囲で推移した(図1)。処理終了時に各区8個体の地上部、地下部の乾物重を測定した。同日、培養土を詰めた木箱(36 cm×60 cm×深さ18 cm)に12個体ずつ移植した。移植後は園試処方1/3濃度の液肥を適宜与えた。一重などの個体を除き無作為に各区8個体を小花が3花開花した時点で収穫し、切り花調査を行った。

Fig. 1 Changes in average air temperature (■), average solar radiation (▲) and growing period (○: expansion of cotyledon to that of 4th leaf in the transplants fertigated 2 times per day) of stock transplants in a cell flat with automatic ebb & flow fertigation system.

結果および考察

灌水から次の灌水までの積算日射量の平均値と最大値を図2に示した。5 MJ 区および10 MJ 区では積算日射量の平均値および最大値とも年間を通してほとんど変動せず、平均積算日射量と最大積算日射量の差は最大1.02 MJ・m⁻²であった。1回区および2回区では積算日射量の平均値および最大値とも播種期によって大きく変動し、盛夏期には積算日射量の最大値が最も小さかった11月播種の2.5~3倍と著しく大きくなった。1回区では平均値および最大値はそれぞれ3.52~11.38 MJ・m⁻²、4.27~16.43 MJ・m⁻²の範囲で、2回区ではそれぞれ1.76~5.90 MJ・m⁻²、2.93~8.94 MJ・m⁻²の範囲で変動した。

育苗終了時の地上部乾物重の変化を図3に示した。育苗終了時の地上部乾物重には9月播種から3月播種までは灌水方法による差が認められなかったが、4月播種から8月播種では、10 MJ 区と1回区が5 MJ 区と比較して軽くなり、特に、7月播種で著しかった。10 MJ 区と1回区の生育が劣った8月播種と4処理区間にほとんど

Fig. 2 Average (A) and maximum (B) values of cumulative solar radiation from fertigation to subsequent fertigation in automatic ebb & flow fertigation system controlled in response to solar radiation (●; 5 MJ, ▲; 10 MJ) and scheduled time course (□; 1 time per day, ◇; 2 times per day). Seeds were sown on day 21 to 26 in each month.

Fig. 3 Shoot dry weight of stock transplants grown in a cell flat with an automatic ebb & flow fertigation system controlled in response to solar radiation (●; 5 MJ, ▲; 10 MJ) and scheduled time course (□; 1 time per day, ◇; 2 times per day). Transplants were sampled when the fourth leaf was expanded in transplants fertigated 2 times per day. Vertical bars or NS represent LSD values ($P=0.05$) or nonsignificance, respectively.

差が認められなかった3月播種とを比較すると、1回区における灌水から灌水までの積算日射量の平均値と最大値は8月播種が3月播種より低かった。図1に示したように8月播種の平均気温が約5℃高かったことに加え、ハウスの換気との関係で生育期間中の風環境も異なったため、8月播種の蒸発散量が大きくなったと考えられる。その結果、5 MJ 区以外の処理区では高温強日射期に水ストレスが生じ、苗の生育が抑制されたのであろう。地下部乾物重は育苗期間が長いほど重くなる傾向にあったが、灌水処理区間には差が認められなかった(データ省略)。

移植後の生育も、9月播種から3月播種では、灌水処理区間にほとんど差がなかったが、4月播種から8月播種では移植時の苗の生長量によって大きく異なった。到花日数(播種から開花までの日数)は、生育期の日長が長い3月播種から5月播種で約60日と最も短く、日長の短い10月播種と11月播種で約110日と最も長かった。7月播種および8月播種では、苗の生育が優れた5 MJ 区が最も早く開花し、ついで2回区であり、10 MJ 区と1回区はほとんど同じであった(図4)。切り花重は5月播種が約40 gと最も軽く、7月播種および8月播種の5 MJ 区で約120 gと最も重くなった。6月播種から8月播種では灌水処理区間に有意な差が認められ、5 MJ 区で最も重く、1回区で最も軽くなる傾向がみられた(図5)。ストックの花芽分化には一般に低温が必要で長日

Fig. 4 Changes in days from sowing to flowering of stock transplants grown in a cell flat with an automatic ebb & flow fertigation system controlled in response to solar radiation (●; 5 MJ, ▲; 10 MJ) and scheduled time course (□; 1 time per day, ◇; 2 times per day). Vertical bars or NS represent LSD values ($P=0.05$) or nonsignificance, respectively.

Fig. 5 Changes in cut flower weight of stock transplants grown in a cell flat with an automatic ebb & flow fertigation system controlled in response to solar radiation (●; 5 MJ, ▲; 10 MJ) and scheduled time course (□; 1 time per day, ◇; 2 times per day). Vertical bars or NS represent LSD values ($P=0.05$) or nonsignificance, respectively.

促進的に作用するが、実験に供試した‘ホワイトドルセ’は極早生品種であり、低温要求性がほとんどなく、 23°C でも花芽分化が可能である⁷⁾。また、ストックでは花芽分化に一定の節数が必要なので⁸⁾、生長が旺盛な個体ほど到花日数が短くなり、充実した切り花が得られたものと考えられる。その他に、莖長や展開葉数で比較した場合にも、5 MJ 区の生育がその他の区に比べ優れており(データ省略)、ストックではセル育苗時の水ストレスによって苗の生育が抑制されると移植後の生育も抑制されることが示された。

Fig. 6 Comparison of growth parameters (●; shoot dry weight at transplanting, ■; cut flower weight and △; days from sowing to flowering) of stock transplants grown in a cell flat fertigated every $5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ of solar radiation and 2 times per day. The values described in Fig. 3 to Fig. 5 were converted to $5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$: 2 times per day ratio.

日射比例制御灌水法と定時灌水法を比較するため、2 回区に対する 5 MJ 区の育苗終了時の地上部乾物重、到花日数および切り花重の相対値を図 6 に示した。到花日数には年間を通してほとんど差がなかった。地上部乾物重は、4 月播種から 6 月播種まで、切り花重は 5 月播種から 7 月播種まで 5 MJ 区が 20% 以上大きくなった。4 月から 7 月播種の高日射時には、1 日 2 回の灌水でも灌水から灌水までの積算日射量が最大 $7.5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ を越え、一時的な水ストレスが生じたことが、その原因と考えられる(図 2B)。自動灌水システムの灌水管理法としては年間を通じて確実に水ストレスを排除することが可能であるという点で定時灌水法より日射比例制御法の実用性が高いことが示された。定時灌水法でも、灌水頻度を 3~4 回に高めることによって、蒸発散量が多くなる高温強日射期における水ストレスの発生を回避することは可能であろう。しかし、蒸発散量が少ない発芽直後や、曇天や雨天が続いた場合には、養水分供給過剰になり苗の徒長の要因となりやすいうえ、極端な場合には湿害が生じる可能性もある。日射比例制御法で $5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ごとに灌水することによって、十分な品質の苗生産が可能であったことから、年間を通し、積算日射量 $5 \sim 6 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ が容量 12 ml のセルで育苗する場合の基準となり得ると考えられる。しかしながら、冬季は $10 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ でも苗の生長や切り花品質に差がなかったことから、低日射期には湿害や徒長を防ぐため基準値を高めるか、あるいは保水量の少ない培地を利用することが望ましいのかもしれない。

野菜や花卉の育苗では、過度に節間伸長した徒長苗は軟弱であり、活着や移植後の生育が劣ることが多いため、草丈の調節が重要とされる。苗の徒長を防ぐためには、植物生長調節物質⁹⁾、DIF¹⁰⁾や接触刺激¹¹⁾の他に、軽い水ストレス¹²⁾を与える方法がある。水ストレス処理では、植物の萎れや葉色の変化に基づき灌水されているが、その調節が難しく、極度の水ストレスが加わった場合には、本報の結果(図3)と同様、生育が極端に抑制されることは避けられない¹²⁾。日射量と蒸発散量の高い相関がみられることから¹³⁾、日射比例制御方式では、灌水の基準となる日射量の設定値を調整することによって、セル苗に対し適度な乾燥ストレスを繰り返し与えることが可能と考えられる(図2)。レタスやパンジーのように苗の徒長が問題となりやすい作物を盛夏期や弱光期など徒長しやすい時期に育苗する場合、徒長を防止する手段として有効かもしれない。

以上の結果から、年間を通して日射量を指標としたセル苗の自動養水分供給制御が可能であり、セル容量12 mlのセルトレイを用いてストックを育苗する場合には、年間を通じて約5 MJ・m⁻²ごとに灌水すれば十分であることが示された。ただし、飽差が低下する冬期においては、日射量あたりの蒸発散量が少なくなるので、湿害発生や徒長を回避するためには8~10 MJ・m⁻²を基準とすることが望ましいと考えられる。

引用文献

- 1) 後藤丹十郎, 正岡啓史, 景山詳弘, 小西国義: 播種期および施肥濃度がストックセル成型苗の生育に及ぼす影響, 農業および園芸, 75: 1227-1231 (2000)
- 2) 石原 邦, 平沢 正: 蒸散と吸水の測定, 北條良夫, 石塚潤爾, 最新作物生理実験法, 農業技術協

- 会, pp. 101-107 (1985)
- 3) 渋谷俊夫, 中原正一, 古在豊樹: セル成型苗個体群の蒸発散量計測に基づく自動干満灌水システムの開発, 生環調, 37: 57-61 (1999)
- 4) 後藤丹十郎, 山田祐介, 藤本裕也, 吉田裕一, 景山詳弘: 自動底面灌水によるストックのセル苗生産(第1報)蒸発散量と日射量の関係, 植物工場, 14(2): 81-86 (2002)
- 5) 後藤丹十郎, 景山詳弘, 小西国義: セル苗育苗におけるセル容量および移植時苗齢がキンギョソウの移植後の生長と開花ならびにストックの移植後の初期生長に及ぼす影響, 岡山大学農学部学術報告, 88: 47-55 (1999)
- 6) 上山茂文: セル成型育苗, 藤田政良監修, 花専科, 育種と栽培, ストック, 誠文堂新光社, pp. 59-130 (1994)
- 7) 堀川照男: 極早生品種, 藤田政良監修, 花専科, 育種と栽培, ストック, 誠文堂新光社, pp. 72-77 (1994)
- 8) 藤田政良: ストックの作付体系に関する研究, (第6報)若齢期の低温処理が花芽分化, 開花に及ぼす影響, 園学雑, 48: 327-335 (1979)
- 9) Barret, J. E.: Factors affecting efficacy of paclobutrazol and uniconazole on petunia and chrysanthemum, Acta Horticulturae, 272: 229-234 (1990)
- 10) Heins, R. and Erwin, J.: Understanding and applying DIF, Greenhouse Grower. 8: 73-78 (1990)
- 11) Biddington, N. L. and Dearman, A. S.: The effects of mechanically induced stress on the growth of cauliflower, lettuce and celery seedlings, Ann. Bot., 55: 109-119 (1985)
- 12) McKee, J. M. T.: Physiological aspects of transplanting vegetables and other crops, II. Methods used to improved transplant establishment, Horticulture Abstract, 51: 355-368 (1981)
- 13) Stanhill, G. and Albers, J. S.: Solar radiation and water loss from greenhouse roses, J. Amer. Soc. Hort. Sci., 99: 107-110 (1974)