

폐쇄형 묘생산 시스템의 상대습도에 따른 수분 수지 분석⁺

Analysis of Water Balance by Relative Humidity in Closed Transplants Production System

김진국¹ · 김용현² · 최유화^{1*} · 이명규¹

¹전북대학교 대학원 농업기계공학과

²전북대학교 농과대학 생물자원시스템공학부(농업과학기술연구소)

Kim, J.K.¹ · Y.H. Kim² · Y.H. Choi^{1*} · M.G. Lee¹

¹Dept. of Agricultural Machinery Eng., Graduate School, Chonbuk National Univ., Jeonju 561-756, Korea

²Division of Bioresource Systems Eng., Chonbuk National Univ., Jeonju 561-756, Korea (The Institute of Agricultural Science & Technology)

서 론

폐쇄형 묘생산 시스템(closed system for transplants production)은 자연광이 투과되지 않도록 단열재로 구성되어 있어 시스템 내부와 외부의 공기, 물, 열 등의 교환이 기본적으로 제한된다. 또한 식물 생육에 필요한 관수량, 내부에 적절한 습도를 유지시켜 주기 위한 가습량 및 공조기구에 의한 제습량 등이 시스템 내에서 평형을 이루며 순환한다.

본 연구의 구체적인 목적은 내부의 상대습도를 유지시켜 주기 위한 가습량, 식물체에 주어진 관수량 및 공조기구에 의한 가습량등 폐쇄형 묘생산 시스템내의 수분 이동과 이 시스템을 구성하고 있는 각종 기기들의 상대습도 처리에 따른 수분소모량을 분석하는 데 있다.

재료 및 방법

가. 수분 수지

식물 개체군의 증발산량 T , 가습기에서 시스템 내부로 가해진 가습량 H 및 환기에 의한 시스템 내·외의 물수송량 V 는 냉방기구에서 발생한 제습량 D , 벽면에 흡착, 방출된 수증기량 B 의 합과 같다고 가정 할 때 폐쇄형 묘생산 시스템 내의 수분 수지는 식 (1)과 같다. 시스템 내의 공기중의 수분의 변화량은 무시할 정도로 작다고 가정하였다 (김, 2003).

⁺본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-000-00391-0)지원으로 수행되었음.

$$T + H + V = D + B \quad (1)$$

플러그트레이로부터 공기 중으로의 증발산량 T , 식물체가 가지고 있는 수분양 C_P 및 플러그트레이의 배지가 가지고 있는 수분양 C_S 의 합과 같다고 가정할 때 시스템 내의 플러그트레이의 관수량 I 는 식 (2)과 같다.

$$I = T + C_P + C_S \quad (2)$$

식(1), 식(2)에 의해 다음 식을 유도할 수 있다.

$$I + H + V = D + B + C_P + C_S \quad (3)$$

플러그트레이의 관수량과 증발산량, 가습기에 의한 가습량, 공조기구에 의한 제습량의 산정 방법은 다음과 같다.

㉠관수량

플러그트레이에 옮겨 심은 후 t 일째의 1일 평균 관수량 I_t 는 관수 후 플러그트레이의 증량 M_{at} , 관수 전 플러그트레이 증량 M_{bt} 및 플러그트레이의 면적 A 로 나타낸다.

$$I_t = \frac{1}{A}(M_{at} - M_{bt}) \quad (4)$$

옮겨 심은 후 0일째 관수량은 트레이, 배지, 삼수의 무게와 건물중률 측정하여 구했다.

㉢증발산량

1일 평균 증발산량은 플러그트레이에 옮겨 심은 후 t 일째의 플러그트레이의 증발산량을 T_t , $(t+1)$ 일째의 명기개시 후, 관수 전의 플러그트레이 증량 M_{bt+1} 및 재배면적 A 에 의해 구한다.

$$T_t = \frac{1}{A}(M_{at} - M_{bt+1}) \quad (5)$$

㉣제습량

옮겨 심은 후 t 일째의 제습량 D_t 는 제습량을 측정하여 구했다.

㉤식물체의 수분 함량

측정 종료시 식물체의 수분 함량 C_P 는 실험 완료시 1주당 생체중 F_f , 실험 개시 후 0 일째의 1주당 생체중 F_s 의 차 즉, 실험기간 동안 증가한 1주당 생체중의 증가량과 실험 완료 시의 1주당 건물중 D_f , 0일차의 1주당 건물중 D_s 의 차 즉, 실험 동안 증가한 1주당 건물중의 증가량과 재식밀도 P 에 의해 구하였다.

$$C_P = P ((F_f - F_s) - (D_f - D_s)) \quad (6)$$

㉥플러그 트레이의 함수량

측정 종료시의 플러그트레이의 배지의 함수량 C_S 는 실험 종료시의 플러그 트레이의 증량 M_f , 실험에 사용된 플러그 트레이 및 배지의 건물중 M_d 및 측정 종료시의 식물체의 생체중 F_f 에 의해 구하였다.

$$C_S = \frac{M_f - (M_d + F_f)}{A} \quad (7)$$

④ 환기에 의한 시스템 내부와 외부의 수분 이동량

식(3)에 의해 추정하였다. 단, B 는 폐쇄형 묘생산 시스템의 벽면에 흡착, 방출된 수증기량을 나타내는데, 본 실험에서는 흡착·방출량은 무시할 정도로 작다고 보았다. 따라서 식(3)에서 그 값을 0으로 두고 실험을 수행하였다.

⑤ 식물체 성장에 필요한 물사용량 계산

제습된 물을 관수용 또는 가습용으로 재이용 하였을 경우의 식물체에 관계된 물사용량 U_{WR} 는 플러그트레이에 관수에 의해 시스템 내로 유입된 물의 양 I , 가습기에 의해 시스템 내로 유입된 물의 양을 H 및 공조기구의 제습에 의해 얻어진 제습량 D 에 의해 구하였다.

$$U_{WR} = I + H - D \quad (8)$$

폐쇄형 묘생산 시스템에서 식물체 성장에 사용된 물의 양은 제습에 의해 시스템 외부로 유출된 물을 재이용 한다고 가정할 경우에는 제습량을 제외하고 계산하였다.

⑥ 물이용 효율

제습된 물을 회수하여 재이용할 경우의 시스템의 물이용효율은 제습량, 식물체·배지의 수분 함량 및 시스템 내에 공급된 물, 관수량 및 가습량으로 구할 수 있다.

폐쇄형 묘생산 시스템의 물이용 효율은 시스템 내로 투입된 관수량, 가습량에 대한 제습량, 식물체가 가지고 있는 수분의 양(C_p)과 플러그트레이 배지가 가지고 있는 수분의 양(C_s)로 정의된다.

$$E_{WR} = \frac{D + C_p + C_s}{I + H} \quad (9)$$

나. 수분 소모량 측정 및 계산

시스템 내부 감자묘의 생육이 이루어지는 동안 시스템 내의 플러그트레이의 식물과 배지의 관수량을 측정하기 위해 전자저울을 이용하였다. 시스템 내의 습도를 유지하기 위해 가습기에 의해 소비된 가습량과 공조기구에 의한 제습량을 측정하기 위하여 각각 시스템 외부에 체적 20 L 물통을 3개씩 설치하여 물통의 눈금을 읽어 가습량과 제습량을 결정하였다.

시스템 내의 식물체의 증발산량을 얻기 위하여 매일 전자저울(AD series, CAS Co., Ltd)을 이용하여 1일 평균 증발산량을 얻었다. 실험 개시와 종료시 플러그트레이, 배지, 식물체가 가지고 있는 수분량을 측정하기 위해 플러그트레이, 배지 및 식물체의 생체중과 건물중을 측정하였다. 플러그트레이의 증발산량은 명기 개시 전후의 무게를 측정하여 1일 평균 증발산량을 획득하였다. 또한 각 광량별 건물중 증가량을 얻기 위해 실험 개시 후 0일, 5일, 10일, 15일 째에 5일 단위로 4수준의 광량별로 10주씩 샘플링하여 식물체의 건물중과 생체중을 얻었다. 관수에 의해 소비량을 측정하기 위하여 플러그트레이의 관수 전후의 무게를 측정하여 관수에 의해 소비된 양을 전자저울을 이용하여 결정하였다.

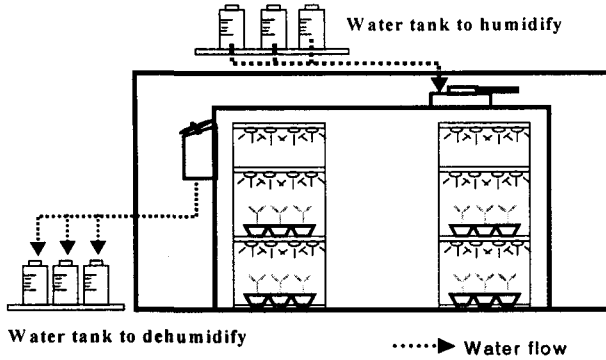


Fig. 1. Schematic diagram of measurement system for humidified and dehumidified water.

다. 공시 품종 및 실험 조건

본 실험에 사용된 공시재료는 조직 배양한 감자 조직배양묘(*Solanum tuberosum* L. cv. *Dejima*)로서 Kim 등(2002)이 개발한 폐쇄형 묘생산 시스템에서 경삽 의한 삼수 증식법에 의해서 증식되었다. 50공 플러그트레이에 경삽을 실시한 후 온도 20℃, 습도 90%, 광주기 16/8 h, 광량 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 실험 개시 후 1일째는 24시간 암조건에 두었다가 2일째부터 16/8h의 광주기 하에서 4일간 발근을 실시하였다. 5일간의 발근 과정 후 본 실험의 재료로 사용하였으며 15일간 실험을 수행하였다.

결과 및 고찰

가. 가습량 및 제습량

시스템 내부로 가해진 가습량은 습도 80%에서 가장 많은 $206.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 을 나타내었으며 습도가 낮아질수록 70%에서 $167.9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 60%에서 $122.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 측정되었다. 습도가 높을수록 고습을 유지해 주기 위해 더 많은 물이 가습에 사용되어 젖음을 볼 수 있다. 컨덴서에서 응축된 제습량은 가습량은 그림 2와 같은 경향을 보였다.

나. 증발산량, 관수량 및 식물체와 배지의 수분 함량

식물체 및 배지로부터의 증발산량은 습도 80%에서 가장 많은 $37.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 나타났다. 이는 관수량의 증가에 기인한 것이다.

초기 5일간의 발근과정 동안의 관수량 (I_0)과 실험기간 15일 동안 시스템 내의 플러그트레이의 식물체와 배지에 관수된 물의 양의 합인 관수량은 습도 80%에서 $49.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 70%에서 $44.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 60%에서 $39.7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 로 측정되었다. 측정 종료 시의 식물체가 가지고 있는 수분함량은 80%에서 $1.52 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 70%에서 $1.24 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 60%에서 $0.76 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 로 플러그트레이의 배지가 함유하는 수분의 양보다는 전체적으로 작은 값을 가지고 있으며 습도가 높을수록 높은 값을 나타내었다. 플러그트레이의 배지가 갖고 있는 수분의 양은 습도 80%에서 $7.83 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 70%에서 $6.94 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 60%에서 $6.71 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 을 나타내었다. 전체 수분수지 양에 비해 작은 값들을 나타내었다.

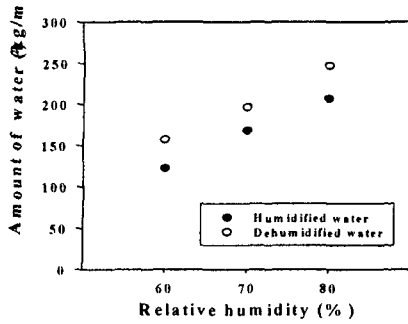


Fig. 2. Amount of humidified and dehumidified water as affected by relative humidity.

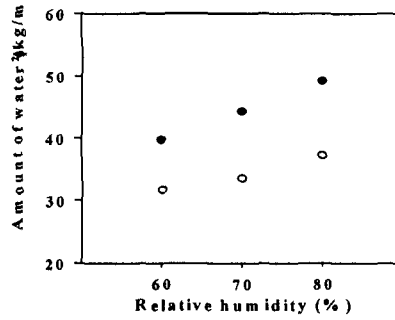


Fig. 3. Amount of irrigated and evapotranspired water as affected by relative humidity.

다. 폐쇄형 묘생산 시스템의 전체 물사용량

감자 플러그묘의 성장에 관계된 물사용량 U 는 습도 처리 80%에서 $256.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 70%에서 $200.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 60%에서 $149.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 이었다.

시스템 내로 투입된 관수량, 가습량에 대한 식물체가 가지고 있는 수분의 양(C_p) 및 플러그트레이의 배지가 가지고 있는 수분의 양(C_s)의 합의 비율로서 정의되는 시스템의 물이용효율(E)은 습도 60%에서 0.046, 70%에서 0.039, 80%에서 0.037을 나타내었다. 물이용효율은 습도가 낮을수록 높은 값을 나타내었다. 물사용량의 대부분을 차지하는 가습량과 제습량의 차이에 의해 효율이 대부분 낮은 값을 나타내었다.

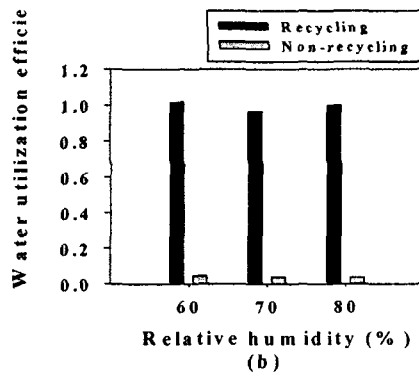
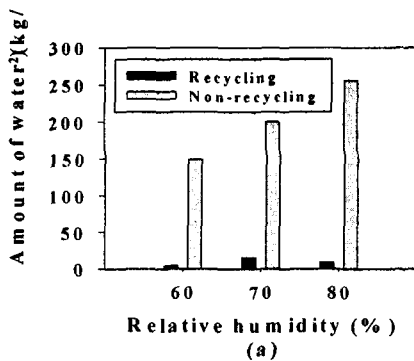


Fig. 4. (a) Amount of total water used in recycling and non-recycling and (b) water utilization efficiency in recycling and non-recycling as affected by different relative humidity.

라. 제습된 수분을 재이용할 경우와 재이용 하지 않을 경우의 물사용량과 물이용효율의 비교

제습량을 재이용한다고 가정할 경우 시스템의 물이용효율은 모든 처리에서 1에 가깝게 나타났다. 이 이유는 현재 시스템에서는 온도와 습도를 유지시켜주기 위해 가습과 제습에 많은 양의 물을 소모되기 때문에 1에 가까운 효율이 나올 수 있었다. 상대습도 80%에서 시스템 전체 물사용량은 제습량을 재이용 한다고 가정한 경우의 물사용량에 비해 각각 약 31배의 큰 차이가 나타났다. 따라서 폐쇄형 묘생산 시스템에서 제습량의 재이용이 필요하다고 판단된다.(그림 4).

요약 및 결론

수분수지를 이용하여 시스템 내의 습도를 유지하기 위한 가습기, 공조기구의 제습에 의한 제습량, 관수에 의한 관수량, 환기에 의한 환기량 등을 습도 3수준 처리에 따라 수분을 분석하였다. 더불어 제습된 물을 재이용 한다는 가정 하에 수분수지 값들의 차이를 비교, 분석하였다.

육묘 기간 동안 상대 습도 처리에 따른 시스템에 사용된 전체 물사용량은 상대습도가 높은 80%에서 가장 많았다. 상대습도 80%처리에서의 전체 물사용량은 상대습도 60%에 비해 1.7배의 차이가 나타났다. 시스템에서 사용된 가습량과 제습량은 상대습도가 60%에서 80%로 증가함에 따라 비례하여 증가를 하였다. 가습량은 시스템 내로 투입된 전체 물사용량과 플러그트레이의 증발산량은 전체 물사용량의 거의 대부분인 67~84%와 15~35%를 차지하였다. 관수량은 증발산량과 비슷한 경향을 나타내었고 관수량의 약 75%가 증발산에 사용되었다.

시스템의 물이용효율은 거의 모든 처리에서 모두 효율 1에 가까운 값을 나타내었다. 제습된 물을 재이용 한다고 가정하였을 경우와 하지 않았을 경우의 시스템의 물사용량과 물이용효율은 약 31배의 큰 차이를 보였다. 제습량의 재이용은 물이용 측면에서 상당히 유리한 것으로 판단된다.

인용문헌

1. Kim, Y.H., Kim, J.K., Lee, S.H., Choi, Y.H., Lee, M.G. and Kim, H.J. 2002. Production of potato transplants under controlled environment. ASAE Paper No. 024114.
- 2 김진국. 2003. 폐쇄형 묘생산 시스템의 에너지 및 수분 수지 분석. 전북대학교 석사학위 논문.