Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ
Phần B: Nông nghiệp, Thủy sản và Công nghệ Sinh học
ISSN 1859-2333 | e-ISSN 2815-5599

DOI:10.22144/ctujos.2026.234

SO SÁNH SỰ SINH TRƯỞNG, NĂNG SUẤT VÀ HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NƯỚC CỦA CÀ CHUA TRÊN CÁC HỆ THỐNG KHÍ CANH, THỦY CANH VÀ TƯỚI NHỎ GIỌT TRONG HAI MÙA VỤ KHÁC NHAU

Trần Thị Thưa*, Lê Hữu Đạt và Huỳnh Văn Hiền
Trung tâm Nghiên cứu Ứng dụng và Dịch vụ Khoa học Công nghệ, Việt Nam
**Tác giả liên hệ (Corresponding author): thua1979@gmail.com*

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 23/01/2026
Sửa bài (Revised): 28/02/2026
Duyệt đăng (Accepted): 27/09/2026

Title: *Comparison of growth, yield, and water use efficiency of tomato under aeroponic, hydroponic and drip irrigation systems in two different cropping seasons*

Authors: *Tran Thi Thua*, Le Huu Dat and Huynh Van Hien*

Affiliation: *Applied Research and Technological Center, Viet Nam*

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm đánh giá ảnh hưởng của bốn hệ thống trồng đến sinh trưởng, tỷ lệ đậu quả, năng suất và lượng dung dịch dinh dưỡng tiêu tốn của giống cà chua Jupiter 9.0 trong nhà lưới ở hai mùa vụ. Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với bốn nghiệm thức: NT1 (tưới nhỏ giọt trên giá thể), NT2 (thủy canh hồi lưu), NT3 (khí canh áp cao trụ đứng) và NT4 (khí canh áp cao mặt ngang), mỗi nghiệm thức lặp lại bốn lần. Dung dịch Hoagland và Arnon (1950) được sử dụng với pH 6,0 và EC 0,5–<2.000 mS/cm. NT4 đạt năng suất cao nhất, lần lượt 17,68 kg/m² mùa thuận và 15,53 kg/m² mùa không thuận; tỷ lệ đậu quả đạt 32,97% và 32,24%. NT2 có sinh trưởng và năng suất thấp nhất. So với NT1, NT4 giảm 82,58% lượng dung dịch dinh dưỡng tiêu tốn ở mùa thuận và 74,48% ở mùa không thuận. Kết quả cho thấy khí canh áp cao mặt ngang có tiềm năng nâng cao năng suất và sử dụng hiệu quả nước, dung dịch dinh dưỡng trong sản xuất cà chua nhà lưới.

Từ khóa: *Cà chua, khí canh, năng suất, tiết kiệm nước, thủy canh, tưới nhỏ giọt*

ABSTRACT

This study evaluated the effects of four cultivation systems on growth, fruit set, yield, and nutrient solution consumption of tomato cv. Jupiter 9.0 under greenhouse conditions in two cropping seasons. The experiment was arranged in a completely randomized design with four treatments: NT1 (drip irrigation on substrate), NT2 (recirculating hydroponics), NT3 (high-pressure vertical aeroponics), and NT4 (high-pressure horizontal aeroponics), with four replicates per treatment. Hoagland and Arnon (1950) nutrient solution was used at pH 6.0 and EC 0,5–<2,000 mS/cm. NT4 produced the highest yields, reaching 17.68 kg/m² in the favorable season and 15.53 kg/m² in the unfavorable season, with fruit set rates of 32.97% and 32.24%, respectively. NT2 showed the lowest growth and yield. Compared with NT1, NT4 reduced nutrient solution consumption by 82.58% in the favorable season and 74.48% in the unfavorable season. These results indicate that high-pressure horizontal aeroponics has potential to improve tomato productivity and enhance water and nutrient solution use efficiency under greenhouse conditions.

Keywords*: Aeroponics, drip irrigation, hydroponics, tomato, water saving, yield*

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và quá trình đô thị hóa diễn ra nhanh chóng, các hệ thống canh tác không dùng đất như thủy canh và khí canh được xem là giải pháp tiềm năng nhằm nâng cao năng suất cây trồng và sử dụng hiệu quả tài nguyên nước trong nông nghiệp đô thị (Benke & Tomkins, 2017; Savvas & Gruda, 2018). Cà chua (*Solanum lycopersicum* L.) là một trong những cây trồng quan trọng trong sản xuất rau quả; tuy nhiên, sự sinh trưởng và năng suất của cây chịu ảnh hưởng lớn bởi hệ thống canh tác và điều kiện môi trường, đặc biệt là yếu tố mùa vụ (Dorais et al., 2001).

Trong các hệ thống canh tác không dùng đất, khí canh cho phép bộ rễ tiếp xúc trực tiếp với môi trường không khí và được cung cấp dung dịch dinh dưỡng dạng sương mịn, giúp tăng khả năng trao đổi oxy và hấp thu dinh dưỡng của rễ (Lakhiar et al., 2018). Tuy nhiên, hiệu quả của các hệ thống trồng khác nhau đối với cây cà chua, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nhiệt đới có sự khác biệt giữa các mùa vụ vẫn cần được đánh giá thêm.

Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm so sánh ảnh hưởng của bốn hệ thống trồng gồm: tưới nhỏ giọt trên giá thể, thủy canh hồi lưu, khí canh áp cao trụ đứng và khí canh áp cao mặt ngang đến sinh trưởng, phát triển, năng suất và hiệu quả sử dụng nước của giống cà chua Jupiter 9.0 trong hai mùa vụ khác nhau. Kết quả nghiên cứu góp phần xác định hệ thống canh tác phù hợp cho sản xuất cà chua trong điều kiện nhà màng tại vùng khí hậu nhiệt đới như Việt Nam.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu

Thí nghiệm được thực hiện trong nhà lưới có diện tích 95,4 m² tại Trung tâm Nghiên cứu Ứng dụng và Dịch vụ Khoa học Công nghệ. Nhà trồng được bao quanh bằng lưới chống côn trùng (50 mesh) và mái lợp tấm nhựa PE chuyên dụng. Bên trong nhà lưới được lắp đặt hệ thống quạt thông gió và tạo ẩm nhằm duy trì nhiệt độ môi trường trong khoảng 35 – 37°C và độ ẩm khoảng 75%, đồng thời hạn chế nước tiếp xúc trực tiếp với lá và quả.

Nghiên cứu được tiến hành trong hai mùa vụ, gồm:

Mùa thuận: từ tháng 9 đến tháng 12 âm lịch.

Mùa không thuận: từ tháng 4 đến tháng 8 âm lịch.

Giống cà chua được sử dụng trong thí nghiệm là giống lai F1 Jupiter 9.0 (Công ty Giống Đồng Tâm), có đặc điểm sinh trưởng bán hữu hạn, quả màu đỏ tươi, thịt quả dày, khả năng vận chuyển tốt, chịu nhiệt và thời gian thu hoạch khoảng 58 – 60 ngày sau trồng.

Hạt giống được ươm trên hệ thống khí canh áp cao mặt ngang với dung dịch dinh dưỡng Hoagland Arnon (1950), pH 6,0 và EC 0,5 – 0,8 mS/cm. Giá thể được sử dụng gồm rockwool cho hệ thống khí canh và thủy canh và hỗn hợp hữu cơ (trấu, rơm, bã nấm) cho hệ thống tưới nhỏ giọt. Sau 14 ngày kể từ khi nảy mầm, cây con đạt 4 – 5 lá thật được chuyển sang các hệ thống trồng tương ứng với từng nghiệm thức.

Bảng 1. Thành phần dung dịch dinh dưỡng cho 100 L (Hoagland & Arnon, 1950)

STT	Tên hóa chất	Công thức	Nhóm	Khối lượng (g)
1	Ammonium Orthomolybdate	$(NH_4)_2MoO_4$	B	0,0012
2	Boric Acid	H_3BO_3	B	0,28
3	Calcium Nitrate (Tetrahydrate)	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	A	118,1
4	Copper Sulfate (Pentahydrate)	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	B	0,075
5	Iron EDTA	Fe(EDTA)	A	3,7
6	Magnesium Sulfate (Heptahydrate)	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	B	49,3
7	Manganese chloride tetrahydrate	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	B	0,18
8	Potassium Monobasic Phosphate	KH_2PO_4	B	13,6
9	Potassium Nitrate	KNO_3	A	50,5
10	Zinc Sulfate (Dihydrate)	$ZnSO_4 \cdot 2H_2O$	B	0,023

2.2. Phương pháp

Thí nghiệm được bố trí theo thiết kế hoàn toàn ngẫu nhiên (Completely Randomized Design – CRD) gồm 4 nghiệm thức, mỗi nghiệm thức 4 lần lặp lại, mỗi lần lặp gồm 4 cây, tổng số 64 cây thí nghiệm.

Các nghiệm thức bao gồm:

NT1: Hệ thống tưới nhỏ giọt trên giá thể.

NT2: Hệ thống thủy canh hồi lưu.

NT3: Hệ thống khí canh áp cao trụ đứng

NT4: Hệ thống khí canh áp cao mặt ngang.

Mật độ trồng được bố trí là 4 cây/m².

Giá thể được sử dụng trong nghiệm thức NT1 là hỗn hợp hữu cơ gồm trấu, rơm và bã nấm. Đối với các hệ thống thủy canh và khí canh, cây được cố định bằng rockwool.

Dung dịch dinh dưỡng Hoagland và Arnon (1950) được sử dụng cho tất cả các nghiệm thức, với pH duy trì ở mức 6,0. Giá trị EC được điều chỉnh theo giai đoạn sinh trưởng của cây: dao động 0,8 – 1,000 mS/cm (14 – 28 ngày sau trồng), dao động 1,000 – 1,500 mS/cm (29 - 42 ngày sau trồng) và dao động 1,500 – 2,000 mS/cm thời gian sau.

Trong các hệ thống khí canh, chu kỳ phun dung dịch dinh dưỡng được cài đặt là 25 giây phun và 5 phút nghỉ. Chu kỳ cấp dung dịch của hệ thống thủy canh hồi lưu và tưới nhỏ giọt được thiết lập tương tự nhằm đảm bảo điều kiện cung cấp dinh dưỡng đồng đều giữa các nghiệm thức.

Chỉ tiêu theo dõi:

Các chỉ tiêu sinh trưởng được ghi nhận định kỳ 14 ngày/lần, bao gồm: tỷ lệ sống (%), chiều cao cây (cm) và số lá trên cây. Các chỉ tiêu về sinh trưởng sinh sản và năng suất gồm: tỷ lệ nhiễm bệnh héo rũ (%), tỷ lệ đậu quả (%) và năng xuất (kg/cây và kg/m²).Xác định lượng dung dịch dinh dưỡng trồng đã tiêu tốn:

Mỗi nghiệm thức được bố trí một bồn chứa dung dịch dinh dưỡng có thể tích 120 L. Thể tích dung dịch trong bồn được theo dõi và ghi nhận định kỳ 14 ngày/lần trong suốt thời gian thí nghiệm. Tại mỗi thời điểm đo, thể tích dung dịch giảm trong bồn được xác định và bổ sung một lượng dung dịch dinh dưỡng mới tương ứng với thể tích đã mất. Đồng thời, dung dịch được điều chỉnh để đảm bảo giá trị EC giữa các nghiệm thức đạt mức tương đương.

Tổng thể tích dung dịch dinh dưỡng tiêu tốn của mỗi nghiệm thức được xác định bằng tổng lượng dung dịch bổ sung trong suốt thời gian thí nghiệm, tính từ ngày thứ 14 đến ngày thứ 98 sau khi cây nảy mầm.

Nghiệm thức NT1 (hệ thống tưới nhỏ giọt trên giá thể, dung dịch dinh dưỡng không hồi lưu) được chọn làm đối chứng và quy ước là 100% lượng dung dịch tiêu tốn. Tỷ lệ (%) thể tích dung dịch dinh dưỡng tiêu tốn của các nghiệm thức còn lại được tính theo công thức:

$$\text{Tỷ lệ (\%)} = (V_{Nti}/V_{NT1})\times 100.$$

Trong đó:

V_{NTi} là tổng thể tích dung dịch dinh dưỡng tiêu tốn của nghiệm thức *i* (L),

V_{NT1} là tổng thể tích dung dịch dinh dưỡng tiêu tốn của nghiệm thức NT1 (L),

Nti là các nghiệm thức NT2, NT3 và NT4.

Dữ liệu được phân tích bằng ANOVA, LSD ở mức ý nghĩa $p < 0,05$, phần mềm thống kê SPSS đã được sử dụng.

Mô tả hệ thống:

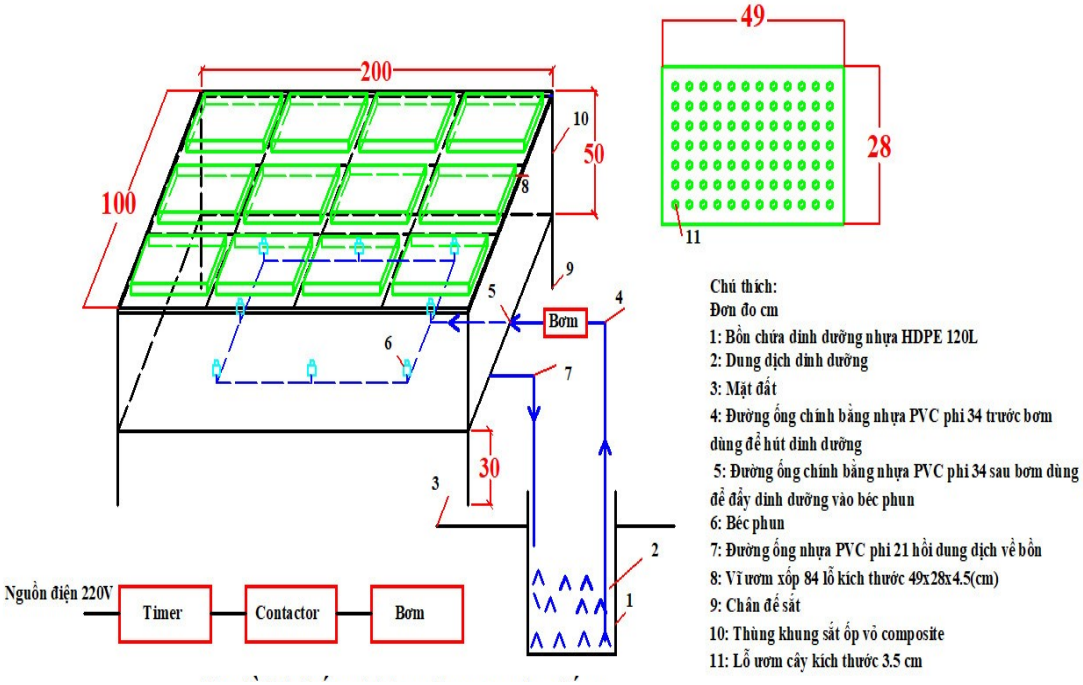
– *Hệ thống khí canh áp cao mặt ngang cho ươm cây con giống (Hình 1):* Khung sắt mạ kẽm hình chữ nhật (D = 2 m, R = 1 m, H = 0,8 m), diện tích 2 m², chứa 12 vỉ ươm (84 lỗ/vĩ, kích thước vĩ D = 0,49 m, R = 0,28 m, H = 0,04 m). Bơm cao áp 25 L/phút (1/2 HP, Hmax = 40 m), 18 - 21 béc phun, bồn HDPE 120 L đặt âm, dung dịch dinh dưỡng phun sương vào rễ qua chu kỳ phun/nghỉ, hồi lưu qua máng composite.

– *NT1: Hệ thống tưới nhỏ giọt trên giá thể (Hình 2)*: Bầu trồng 17 x 33 cm chứa giá thể hữu cơ vi sinh (trấu, rơm, bã nấm), dung dịch dinh dưỡng được tưới nhỏ giọt qua bơm ½ HP. Mỗi bầu có 2 đầu chia (lưu lượng mỗi chia 2 L/giờ), bồn HDPE 120 L đặt âm, không hồi lưu.

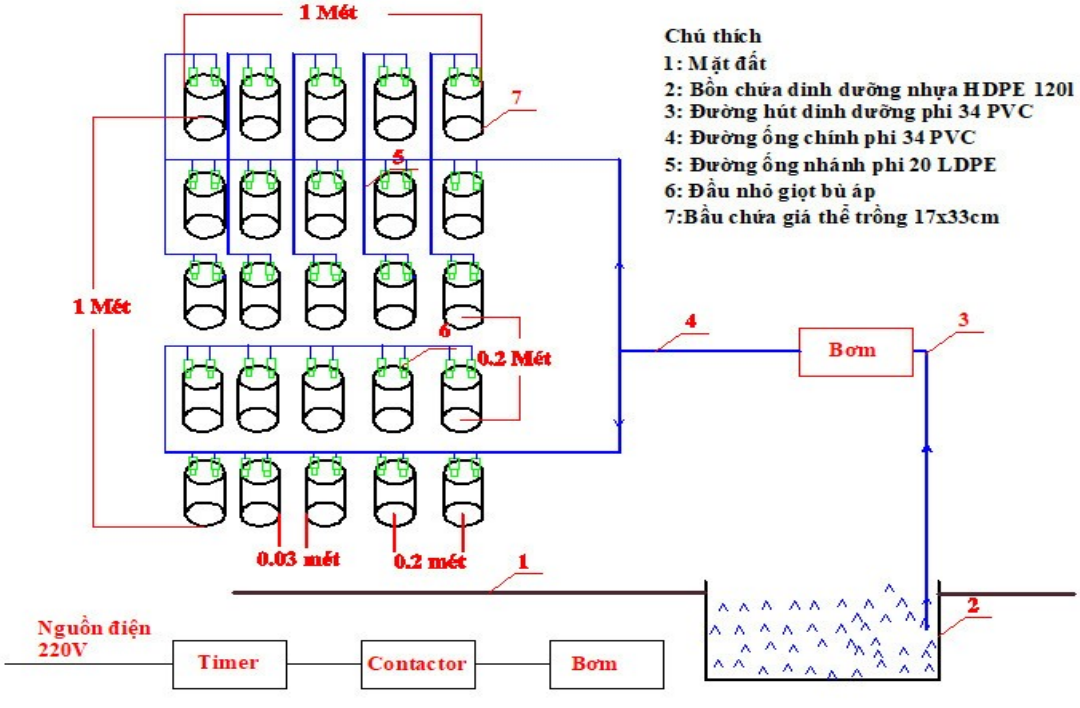
– *NT2: Hệ thống thủy canh hồi lưu (Hình 3)*: Khung kệ sắt mạ kẽm diện tích 1,2 m², 4 cột ống lục giác PVC (D = 0,1 m, H = 1,7 m), bơm ½HP, bồn HDPE 120 L đặt âm, dung dịch dinh dưỡng chảy qua máng chứa rễ, hồi lưu về bồn chứa.

– *NT3: Hệ thống khí canh áp cao trụ đứng (Hình 4):* Trụ composite hình trụ (D = 0,5 m, H = 1,7 m), 80 hốc trồng (cách 0,2 m, nghiêng 45°C, rọ phi 40 mm), chậu đáy D = 0,8 m, H = 0,2 m (có thể xoay). Bơm cao áp 46 L/phút (1/3 HP, H = 25 m), 9 béc phun (3 tầng), bồn HDPE 120 L đặt âm, dung dịch được phun sương qua ống LDPE phi 20/7 mm và PVC phi 34 mm, hồi lưu về bồn chứa.

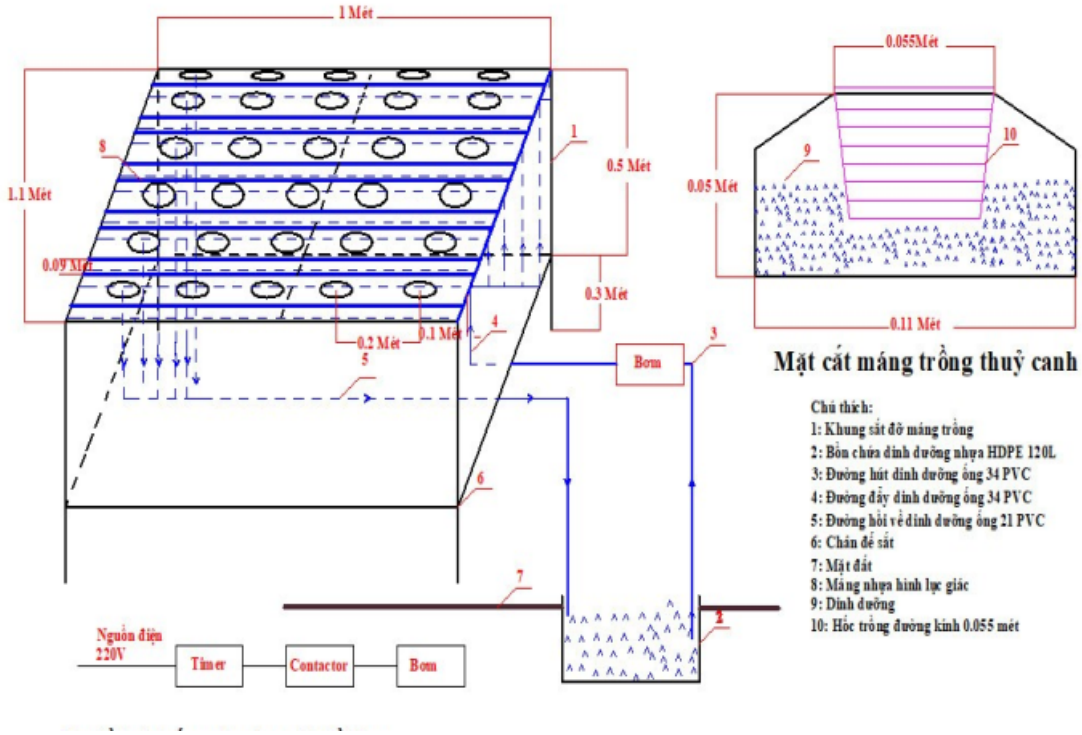
– *NT4: Hệ thống khí canh áp cao mặt ngang (cho trồng) (Hình 5):* Khung hộp sắt mạ kẽm (D =1 m, R = 1 m, H = 0,8 m), diện tích 1 m², 25 hốc trồng (đường kính 40 mm). Bơm cao áp 43 L/phút (1/2 HP, H = 32 m), 8 -9 béc phun, bồn HDPE 120 L, đặt âm; dung dịch phun sương vào rễ qua ống LDPE phi 20/7 mm và PVC phi 34 - 60 mm, hồi lưu qua máng composite về bồn chứa. Bốn hệ thống dùng chung bơm.



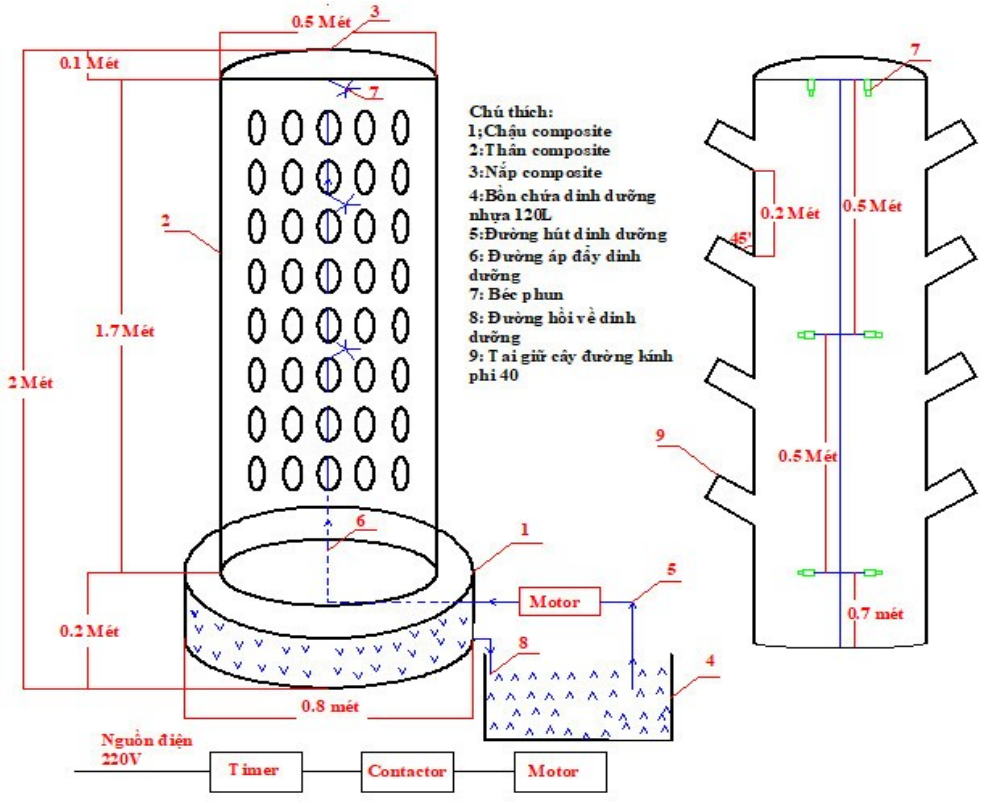
Hình 1. Hệ thống khí canh áp cao mặt ngang cho ươm cây con giống



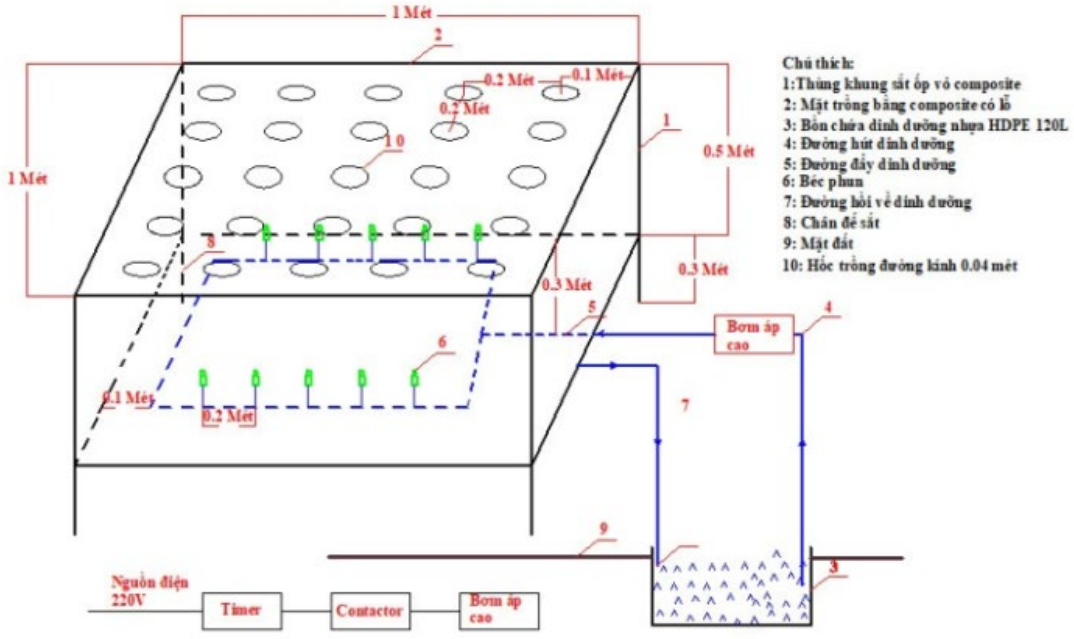
Hình 2. Hệ thống tưới nhỏ giọt trên giá thể (NT1)



Hình 3. Hệ thống thủy canh hồi lưu (NT2)



Hình 4. Hệ thống khí canh áp cao trụ đứng (NT3)



Hình 5. Hệ thống khí canh áp cao mặt ngang (cho trồng) (NT4)

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bốn nghiệm thức được ký hiệu gồm: NT1 - hệ thống tưới nhỏ giọt, NT2 - hệ thống thủy canh hồi lưu, NT3 - hệ thống khí canh áp cao trụ đứng, NT4 - hệ thống khí canh áp cao mặt ngang.

3.1. Tỷ lệ nảy mầm và cây con

Kết quả theo dõi cho thấy tỷ lệ nảy mầm của hạt giống cà chua đạt khoảng 99% và sau 14 ngày, cây con đạt 4 – 5 lá thật với tỷ lệ cây con đạt chuẩn trên 99%. Kết quả này cho thấy hệ thống khí canh áp cao mặt ngang sử dụng cho giai đoạn ươm giống, kết hợp với dung dịch dinh dưỡng Hoagland and Arnon (1950) ở EC 500 - 800 mS/cm và pH 6,0, tạo điều kiện thuận lợi cho sự nảy mầm và phát triển ban đầu của cây cà chua.

Sau khi chuyển cây con sang các hệ thống trồng tương ứng với các nghiệm thức (NT1, NT2, NT3 và NT4), tỷ lệ sống của cây ở tất cả các nghiệm thức đều đạt 100%, cho thấy các hệ thống trồng đều đáp ứng yêu cầu cơ bản cho sự thích nghi và sinh trưởng ban đầu của cây cà chua trong điều kiện nhà lưới.

Kết quả này cao hơn khoảng 10 – 15% so với mức trung bình được ghi nhận trong nghiên cứu của Lakhiar et al. (2018) về công nghệ khí canh trong môi trường kiểm soát, cho thấy hệ thống khí canh áp cao sử dụng trong nghiên cứu này có hiệu quả tốt trong giai đoạn ươm cây giống. Trong quá trình theo dõi, cũng không ghi nhận cây con bị nhiễm bệnh héo rũ, chứng tỏ điều kiện môi trường và dinh dưỡng trong hệ thống ươm phù hợp cho sự phát triển của cây.

3.2. Sinh trưởng, sinh dưỡng (chiều cao cây, số lá)

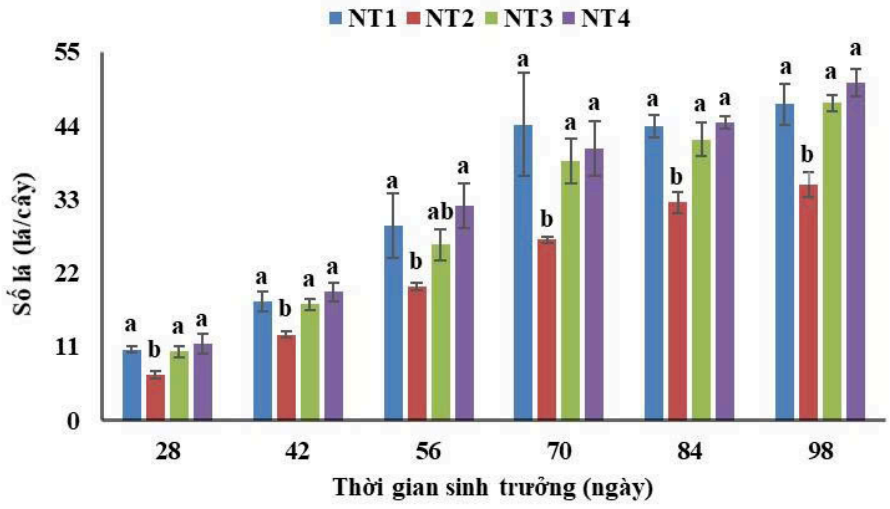
Sinh trưởng sinh dưỡng của cây cà chua được đánh giá thông qua số lá và chiều cao cây trong thời gian 98 ngày sau trồng ở hai mùa vụ khác nhau.

Mùa thuận: Số lá của cây tăng dần theo thời gian ở tất cả các nghiệm thức (Hình 6). Ở giai đoạn đầu sinh trưởng (14 – 28 ngày sau trồng), số lá giữa các nghiệm thức chưa có sự khác biệt rõ rệt.

Từ 42 ngày sau khi trồng, số lá tăng nhanh hơn và bắt đầu xuất hiện sự khác biệt giữa các nghiệm thức.

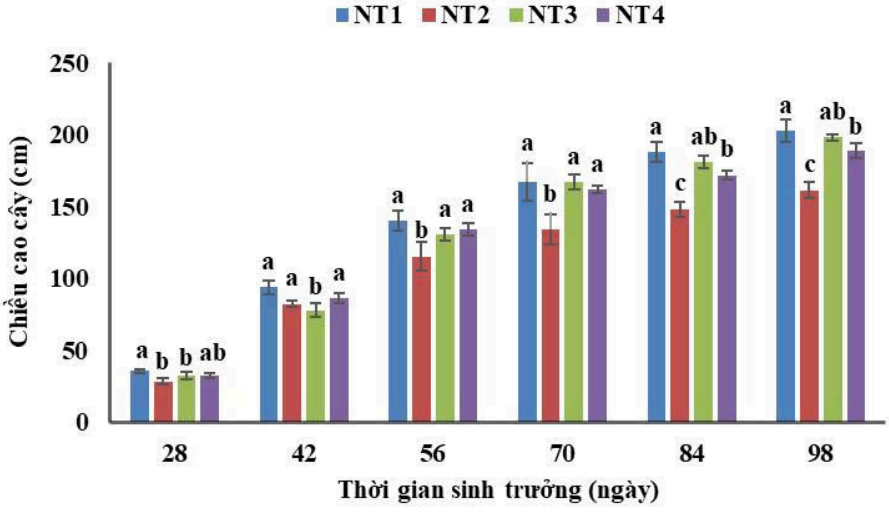
Đến 98 ngày sau trồng, các nghiệm thức NT4 (50,28 ± 2,09 lá/cây), NT1 và NT3 cùng thuộc nhóm chữ cái a, cho thấy không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa ba nghiệm thức này ($p > 0,05$). Trong khi đó, NT2 có số lá thấp hơn (42,35 ± 1,84 lá/cây) và thuộc nhóm chữ cái khác, thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại ($p < 0,05$)

Nhìn chung, trong điều kiện mùa thuận, các hệ thống NT1, NT3 và NT4, cây cà chua có số lá không khác nhau, trong khi NT2 có xu hướng thấp hơn.



Hình 6. Số lá của cây cà chua sinh trưởng sinh dưỡng trên từng nghiệm thức trong thời gian 98 ngày mùa thuận

Ghi chú: Trong cùng thời điểm, các cột có chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ở mức p < 0,05.



Hình 7. Chiều cao của cây cà chua sinh trưởng sinh dưỡng trên từng nghiệm thức trong thời gian 98 ngày mùa thuận

Ghi chú: Trong cùng thời điểm, các cột có chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ở mức p < 0,05.

Mùa thuận: Chiều cao cây tăng dần theo thời gian sinh trưởng ở tất cả các nghiệm thức trong suốt 98 ngày sau trồng (Hình 7). Trong giai đoạn đầu sinh trưởng (14 – 28 ngày sau trồng), chiều cao cây giữa các nghiệm thức chưa có sự khác biệt đáng kể.

Từ 42 đến 70 ngày sau trồng, chiều cao cây tăng nhanh hơn và sự khác biệt giữa các nghiệm thức bắt đầu rõ rệt hơn.

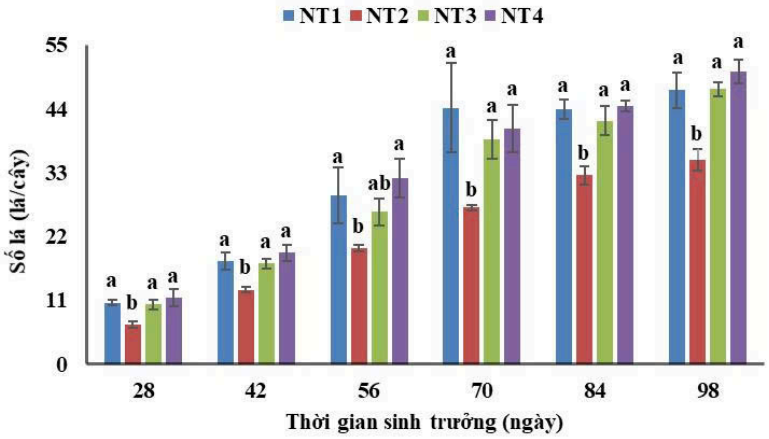
Ở 98 ngày sau trồng, nghiệm thức NT1 (203,18 ± 5,12 cm) và NT3 (206,25 ± 4,79 cm) thuộc cùng nhóm chữ cái, cho thấy không có sự khác biệt thống

kê giữa hai nghiệm thức này (p > 0,05). Nghiệm thức NT4 (198,42 ± 4,63 cm) có giá trị trung gian, trong khi NT2 có chiều cao cây thấp nhất (180,36 ± 3,95 cm) và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại (p < 0,05).

Mùa không thuận: Số lá của cây cũng tăng dần theo thời gian sinh trưởng ở tất cả các nghiệm thức (Hình 8), tuy nhiên tốc độ tăng số lá thấp hơn so với mùa thuận.

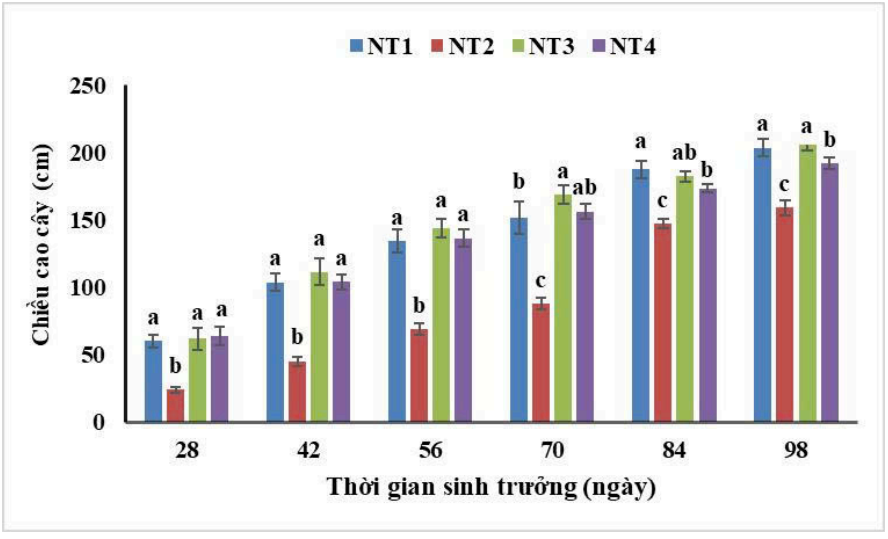
Ở 98 ngày sau trồng, các nghiệm thức NT1 (36,63 ± 3,11 lá/cây), NT3 và NT4 không khác biệt có ý nghĩa thống kê, do cùng thuộc nhóm chữ cái giống nhau trong biểu đồ. Trong khi đó, NT2 có số lá thấp hơn (30,25 ± 2,14 lá/cây) và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại (p < 0,05).

Như vậy, kết quả cho thấy hệ thống thủy canh hồi lưu (NT2) có xu hướng hạn chế sinh trưởng tán lá so với các hệ thống còn lại.



Hình 8. Số lá của cây cà chua sinh trưởng sinh dưỡng trên từng nghiệm thức trong thời gian 98 ngày mùa không thuận

Ghi chú: Trong cùng thời điểm, các cột có chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ở mức p < 0,05.



Hình 9. Chiều caocủa cây cà chua sinh trưởng, sinh dưỡng trên từng nghiệm thức trong thời gian 98 ngày mùa không thuận

Ghi chú: Trong cùng thời điểm, các cột có chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ở mức p < 0,05.

Mùa không thuận: Chiều cao cây cũng tăng dần theo thời gian ở tất cả các nghiệm thức (Hình 9), tuy nhiên tốc độ sinh trưởng thấp hơn so với mùa thuận.

Ở giai đoạn cuối (98 ngày sau trồng), các nghiệm thức NT1 (170,24 ± 5,36 cm), NT3 và NT4 không khác biệt có ý nghĩa thống kê, trong khi NT2 có chiều cao cây thấp hơn (150,42 ± 3,87 cm) và khác biệt thống kê so với các nghiệm thức còn lại ($p < 0,05$).

3.3. Tỷ lệ ra hoa, tỷ lệ đậu quả và số quả đạt/cây

Tỷ lệ ra hoa, đậu quả và số quả đạt/cây có sự khác biệt rõ rệt giữa các nghiệm thức trồng trong cả hai mùa vụ khác nhau. Nhìn chung, mùa thuận ghi nhận tỷ lệ đậu quả và số quả đạt/cây cao hơn so với mùa không thuận.

Bảng 2. Tỷ lệ đậu quả cà chua ở từng nghiệm thức mùa thuận (chu kỳ 98 ngày)

Nghiệm thức	Số hoa trung bình	Số quả trung bình	Tỷ lệ đậu quả (%)
NT1	124,75 ± 9,55^{b}	40,56 ± 2,87^{b}	32,52
NT2	71,25 ± 4,68^{c}	20,31 ± 2,02^{d}	28,51
NT3	125,81 ± 8,92^{b}	36,69 ± 3,63^{c}	29,16
NT4	138,19 ± 6,51^{a}	45,56 ± 2,39^{a}	32,97

Ghi chú: Giá trị trong bảng là trung bình ± SD. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức theo phép thử LSD ở mức $p < 0,05$.

Bảng 3. Tỷ lệ quả đạt ở từng nghiệm thức mùa thuận (chu kỳ 98 ngày)

Nghiệm thức	Quả đạt trung bình	Quả đậu trung bình	Tỷ lệ quả đạt/quả đậu (%)
NT1	34,38 ± 2,09^{b}	40,56 ± 2,87^{b}	84,75
NT2	15,94 ± 1,65^{d}	20,31 ± 2,02^{d}	78,46
NT3	30,44 ± 3,50^{c}	36,69 ± 3,63^{c}	82,96
NT4	39,44 ± 2,22^{a}	45,56 ± 2,39^{a}	86,56

Ghi chú: Giá trị trong bảng là trung bình ± SD. Các nghiệm thức có chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê theo kiểm định LSD ở mức $p < 0,05$.

Kết quả ở Bảng 2 cho thấy số hoa trung bình trên cây dao động từ 71,25 đến 138,19 hoa/cây. Nghiệm thức NT4 có số hoa cao nhất (138,19 ± 6,51 hoa/cây), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại. Trong khi đó, NT2 có số hoa thấp nhất (71,25 ± 4,68 hoa/cây).

Số quả trung bình trên cây dao động từ 20,31 đến 45,56 quả/cây. Nghiệm thức NT4 đạt giá trị cao nhất (45,56 ± 2,39 quả/cây), tương ứng với tỷ lệ đậu quả 32,97%. Ngược lại, NT2 có số quả thấp nhất (20,31 ± 2,02 quả/cây) và tỷ lệ đậu quả thấp nhất (28,51%).

Kết quả ở Bảng 3 cho thấy số quả đạt trung bình dao động từ 15,94 đến 39,44 quả/cây. Nghiệm thức NT4 đạt số quả đạt cao nhất (39,44 ± 2,22 quả/cây) với tỷ lệ quả đạt/quả đậu đạt 86,56%. Trong khi đó, NT2 có tỷ lệ thấp nhất (78,46%).

Nhìn chung, trong mùa thuận, hiệu quả đậu quả và tỷ lệ quả đạt có xu hướng NT4 > NT1 ≈ NT3 > NT2.

Bảng 4. Tỷ lệ đậu quả cà chua ở từng nghiệm thức mùa không thuận (chu kỳ 98 ngày)

Nghiệm thức	Số hoa trung bình	Số quả trung bình	Tỷ lệ đậu quả (%)
NT1	117,19±1,43^{b}	37,19±1,56^{b}	31,73
NT2	61,69±5,65^{c}	15,75±1,49^{c}	25,53
NT3	113,94±3,36^{b}	34,44±2,70^{b}	30,23
NT4	129,69±6,21^{a}	41,81±2,38^{a}	32,24

Ghi chú: Giá trị trong bảng là trung bình ± SD. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức theo ANOVA và phép thử LSD ở mức $p < 0,05$.

Kết quả ở Bảng 4 cho thấy số hoa trung bình dao động từ 61,69 đến 129,69 hoa/cây. Nghiệm thức NT4 đạt số hoa cao nhất (129,69 ± 6,21 hoa/cây), trong khi NT2 thấp nhất (61,69 ± 5,65 hoa/cây).

Số quả trung bình dao động từ 15,75 đến 41,81 quả/cây. NT4 tiếp tục đạt giá trị cao nhất (41,81 ± 2,38 quả/cây) với tỷ lệ đậu quả đạt 32,24%, trong khi NT2 thấp nhất (25,53%).

Bảng 5.Tỷ lệ quả đạt ở từng nghiệm thức mùa không thuận (chu kỳ 98 ngày)

Nghiệm thức	Quả đạt trung bình	Quả đậu trung bình	Tỷ lệ quả đạt/quả đậu (%)
NT1	28,63±2,39[b]	37,19±1,56[b]	76,98
NT2	9,94±1,18[d]	15,75±1,49[c]	63,11
NT3	26,44±4,93[c]	34,44±2,70[b]	76,77
NT4	34,50±2,48[a]	41,81±2,38[a]	82,52

Ghi chú: Giá trị trong bảng là trung bình ± SD. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức theo kiểm định LSD ở mức p < 0,05.

Kết quả ở Bảng 5 cho thấy số quả đạt trung bình dao động từ 9,94 đến 34,50 quả/cây. NT4 có số quả đạt cao nhất (34,50±2,48 quả/cây) và tỷ lệ quả đạt/quả đậu đạt 82,52%. Ngược lại, ở nghiệm thức NT2 thấp nhất (63,11%), tiếp theo là NT1 và NT3, trong khi NT2 cho kết quả thấp nhất.

3.4. Năng suất

Năng suất quả cà chua giữa các nghiệm thức có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê (p < 0,05) cả mùa thuận và mùa không thuận (Bảng 6 và Bảng 7).

Kết quả ở Bảng 6 cho thấy, ở mùa thuận, nghiệm thức NT4 đạt năng suất cao nhất với 3,56 ± 0,11 kg/cây, tương đương 17,68 kg/m². Tiếp theo là NT1 (3,11 ± 0,08 kg/cây; 15,45 kg/m²) và NT3 (2,76 ± 0,22 kg/cây; 13,63 kg/m²). Nghiệm thức NT2 cho năng suất thấp nhất (1,44 ± 0,06 kg/cây; 7,13 kg/m²).

Các nghiệm thức mang các ký tự khác nhau cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê theo phép thử LSD (p < 0,05).

Bảng 6. Năng suất cà chua ở mùa thuận

Nghiệm thức	Năng suất trái trên cây (kg/cây)	Năng suất thực tế (kg/m²)
NT1	3,11 ± 0,08[b]	15,45± 0,56[b]
NT2	1,44 ± 0,06[d]	7,13± 0,30[d]
NT3	2,76 ± 0,22[c]	13,63± 0,87[c]
NT4	3,56 ± 0,11[a]	17,68± 0,50[a]
	LSD = 0,20; F = ***; CV(%) = 30,41.	

*Ghi chú: LSD = 0,20; F = ***; CV(%) = 30,41. *Giá trị trung bình ± SD; ANOVA p < 0,05). Các chữ khác nhau (a, b, c, d) chỉ ra sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức (LSD test, p< 0,05).*

Bảng 7. Năng suất cà chua ở mùa không thuận

Nghiệm thức	Năng suất trái trên cây (kg/cây)	Năng suất thực tế (kg/m²)
NT1	2,58 ± 0,13[b]	12,88± 0,42[b]
NT2	0,91 ± 0,06[c]	4,47± 0,27[d]
NT3	2,40 ± 0,07[b]	11,90± 0,28[c]
NT4	3,14 ± 0,08[a]	15,53± 0,33[a]
	LSD = 0,14; F =***; CV(%) = 38,00.	

*Ghi chú: LSD = 0,14; F = ***; CV(%) = 38,00. *Giá trị trung bình ± SD; ANOVA p < 0,05). Các chữ khác nhau (a, b, c, d) chỉ ra sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức (LSD test, p < 0,05).*

Trong mùa không thuận, năng suất cà chua cũng khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức (Bảng 7).

Nghiệm thức NT4 tiếp tục đạt năng suất cao nhất với 3,14 ± 0,08 kg/cây, tương đương 15,53 kg/m². Nghiệm thức NT1 (2,58 ± 0,13 kg/cây) và NT3 (2,40 ± 0,07 kg/cây) không khác biệt có ý nghĩa thống kê và cùng thuộc nhóm chữ cái b. Nghiệm thức NT2 cho năng suất thấp nhất (0,91 ± 0,06 kg/cây).

Kết quả cho thấy hệ thống khí canh áp cao mặt ngang (NT4) duy trì năng suất cao và ổn định trong cả hai mùa vụ.

3.5. Lượng dung dịch dinh dưỡng tiêu tốn

Kết quả theo dõi lượng dung dịch dinh dưỡng tiêu tốn cho thấy có sự khác biệt rõ rệt giữa các nghiệm thức hay các hệ thống trồng (Bảng 8 và 9).

Trong mùa thuận, nghiệm thức NT1 tiêu thụ lượng dung dịch cao nhất với tổng cộng 1665 L, được quy ước là 100%.

Các nghiệm thức còn lại tiêu thụ thấp hơn đáng kể, bao gồm NT3 (640 L; 38,44%), NT4 (290 L; 17,42%) và NT2 (120 L; 7,21%) (Bảng 8).

Trong mùa không thuận (Bảng 9), tổng lượng dung dịch tiêu thụ tăng lên ở tất cả các nghiệm thức do điều kiện nhiệt độ cao hơn. NT1 tiếp tục tiêu thụ nhiều nhất (1920 L), trong khi NT2 tiêu thụ 330 L (17,19%), NT3 750 L (39,06%) và NT4 490 L (25,52%).

Nhìn chung, các hệ thống khí canh và thủy canh hồi lưu giúp giảm đáng kể lượng dung dịch dinh dưỡng tiêu tốn so với hệ thống tưới nhỏ giọt trên giá thể; trong đó, NT4 cho thấy sự cân bằng tốt giữa năng suất và hiệu quả sử dụng dịch dinh dưỡng ở mùa không thuận và mùa thuận là (74,48 - 82,58%).

Bảng 8. Lượng nước tiêu thụ ở mùa thuận (L)

Nghiệm thức	14 ngày	28 ngày	42 ngày	56 ngày	70 ngày	84 ngày	98 ngày	Tổng	Tỷ lệ (%)
NT1	235	240	240	260	280	220	190	1665	100,00
NT2	60	20	10	5	5	10	10	120	7,21
NT3	100	110	115	55	50	90	120	640	38,44
NT4	60	40	20	40	40	50	40	290	17,42

Bảng 9. Lượng nước tiêu thụ ở mùa không thuận (L)

Nghiệm thức	14 ngày	28 ngày	42 ngày	56 ngày	70 ngày	84 ngày	98 ngày	Tổng	Tỷ lệ (%)
NT1	235	255	280	280	300	290	280	1920	100,00
NT2	120	50	70	20	10	10	50	330	17,19
NT3	120	85	105	120	100	100	120	750	39,06
NT4	85	70	75	60	70	65	65	490	25,52

4. THẢO LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống trồng và điều kiện mùa vụ có ảnh hưởng rõ rệt đến sinh trưởng, khả năng ra hoa, đậu quả, năng suất và hiệu quả sử dụng dung dịch dinh dưỡng của cây cà chua trong điều kiện nhà lưới. Nhìn chung, các chỉ tiêu sinh trưởng và năng suất trong mùa thuận (từ tháng 9 đến tháng 12 âm lịch) cao hơn so với mùa không thuận (từ tháng 4 đến tháng 8 âm lịch), cho thấy điều kiện môi trường có vai trò quan trọng đối với sinh trưởng và phát triển của cây cà chua.

Ở giai đoạn ươm giống, tỷ lệ nảy mầm của hạt đạt khoảng 99%, và sau khi chuyển cây con sang các hệ thống trồng khác nhau, tỷ lệ sống đạt 100% ở tất cả các nghiệm thức. Kết quả này cao hơn khoảng 10 – 15% so với mức trung bình được tổng hợp trong nghiên cứu của Lakhiar et al. (2018) về hệ thống khí canh. Ngoài ra, trong suốt quá trình theo dõi từ giai đoạn ươm đến thu hoạch, không ghi nhận cây bị nhiễm bệnh, cho thấy điều kiện môi trường nhà lưới và hệ thống dinh dưỡng được kiểm soát tốt. Theo Savvas and Gruda (2018), việc kiểm soát môi trường vùng rễ trong hệ thống canh tác không đất có thể giúp giảm nguy cơ phát sinh bệnh và cải thiện sức khỏe cây trồng.

4.1. Ảnh hưởng của hệ thống trồng đến sinh trưởng

Kết quả theo dõi cho thấy hệ thống trồng có ảnh hưởng đáng kể đến sinh trưởng sinh dưỡng của cây cà chua. Trong cả hai mùa vụ, số lá và chiều cao cây tăng dần theo thời gian, tuy nhiên mức độ sinh trưởng giữa các nghiệm thức có sự khác biệt.

Trong mùa thuận, tại thời điểm 98 ngày sau trồng, số lá của cây ở nghiệm thức NT4 đạt 50,28 ± 2,09 lá/cây, nhưng không khác biệt có ý nghĩa thống kê so với NT1 và NT3 ($p > 0,05$). Trong khi đó, nghiệm thức NT2 chỉ đạt 42,35 ± 1,84 lá/cây, thấp hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại ($p < 0,05$). Xu hướng tương tự cũng được ghi nhận đối với chiều cao cây khi NT3 (206,25 ± 4,79 cm) và NT1 (203,18 ± 5,12 cm) không khác biệt có ý nghĩa thống kê, trong khi NT2 có chiều cao thấp hơn (180,36 ± 3,95 cm).

Những kết quả này cho thấy hệ thống thủy canh hồi lưu (NT2) có xu hướng hạn chế sinh trưởng của

cây so với các hệ thống còn lại. Điều này có thể liên quan đến điều kiện vùng rễ khi rễ cây tiếp xúc liên tục với dung dịch dinh dưỡng, làm giảm khả năng trao đổi oxy và ảnh hưởng đến hô hấp rễ. Theo Savvas and Gruda (2018), hàm lượng oxy hòa tan trong dung dịch dinh dưỡng là yếu tố quan trọng quyết định sinh trưởng của cây trồng trong hệ thống thủy canh.

Ngược lại, trong hệ thống khí canh (NT3 và NT4), bộ rễ được treo trong không khí và được cung cấp dung dịch dinh dưỡng dưới dạng sương mịn, giúp tăng cường trao đổi oxy ở vùng rễ và nâng cao khả năng hấp thu dinh dưỡng. Cơ chế này đã được mô tả trong nghiên cứu của Lakhiar et al. (2018), cho thấy môi trường rễ giàu oxy trong hệ thống khí canh có thể thúc đẩy hô hấp rễ và cải thiện sinh trưởng của cây trồng.

Ngoài ra, thiết kế hệ thống khí canh cũng ảnh hưởng đến sinh trưởng của cây. So với hệ thống khí canh trụ đứng (NT3), nghiệm thức NT4 (khí canh mặt ngang) cho xu hướng sinh trưởng tốt hơn, có thể do sự phân bố tán lá đồng đều hơn và giảm hiện tượng che bóng giữa các cây. Theo Jensen (2019), sự phân bố ánh sáng đồng đều trong tán cây là yếu tố quan trọng giúp tăng hiệu quả quang hợp và tích lũy sinh khối trong hệ thống trồng trong nhà lưới.

4.2. Ảnh hưởng của hệ thống trồng đến khả năng ra hoa, đậu quả và năng suất

Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống trồng có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng ra hoa, đậu quả và năng suất của cây cà chua trong cả hai mùa vụ khác nhau.

Trong mùa thuận, số hoa trung bình trên cây dao động từ 71,25 đến 138,19 hoa/cây, trong đó NT4 đạt 138,19 ± 6,51 hoa/cây, cao hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại. Số quả trung bình trên cây dao động từ 20,31 đến 45,56 quả/cây, với NT4 đạt 45,56 ± 2,39 quả/cây, tương ứng với tỷ lệ đậu quả 32,97%, trong khi NT2 có số quả thấp nhất (20,31 ± 2,02 quả/cây).

Kết quả năng suất cũng phản ánh xu hướng này. Trong mùa thuận**,** NT4 đạt 3,56 ± 0,11 kg/cây (17,68 kg/m^2), cao hơn NT1 (3,11 ± 0,08 kg/cây) và NT3 (2,76 ± 0,22 kg/cây), trong khi NT2 thấp nhất (1,44 ± 0,06 kg/cây). Trong mùa không thuận**,** NT4 tiếp tục đạt năng suất cao nhất (3,14 ± 0,08 kg/cây), trong khi NT1 (2,58 ± 0,13 kg/cây) và NT3 (2,40 ± 0,07 kg/cây) không khác biệt có ý nghĩa thống kê. Việc sản xuất cà chua bằng hệ thống khí canh trong môi trường kiểm soát cũng được đề cập trong tài liệu hướng dẫn thực hành của Biksa (2025).

Sự khác biệt về năng suất giữa các nghiệm thức phù hợp với xu hướng sinh trưởng và tỷ lệ đậu quả đã được ghi nhận trước đó. Theo Dorais et al. (2001), năng suất của cây cà chua trong hệ thống nhà kính phụ thuộc chủ yếu vào số quả trên cây và khả năng tích lũy chất khô trong quá trình sinh trưởng.

Việc so sánh giữa hai mùa vụ khác nhau cho thấy các chỉ tiêu sinh trưởng và năng suất trong mùa thuận cao hơn mùa không thuận, phản ánh ảnh hưởng của điều kiện môi trường. Nhiệt độ khoảng 28 – 30°C trong mùa thuận nằm trong khoảng tối ưu cho sinh trưởng của cây cà chua; trong khi đó, nhiệt độ cao (>30-35ºC) và dao động ẩm độ trong mùa không thuận có thể làm giảm tỷ lệ đậu quả và năng suất.

4.3. Hiệu quả sử dụng dung dịch dinh dưỡng

Kết quả theo dõi lượng dung dịch dinh dưỡng tiêu thụ cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa các nghiệm thức là các hệ thống trồng. Trong nghiên cứu này, nghiệm thức NT1 (tưới nhỏ giọt trên giá thể) được sử dụng làm cơ sở so sánh (100%).

Trong mùa thuận, tổng lượng dung dịch dinh dưỡng tiêu thụ ở NT1 đạt 1665 L, trong khi NT3 tiêu thụ 640 L (38,44%), tương ứng tiết kiệm khoảng 61,56% dung dịch dinh dưỡng so với NT1. Nghiệm thức NT4 tiêu thụ 290 L (17,42%), tương ứng tiết kiệm khoảng 82,58% dung dịch dinh dưỡng. Trong khi đó, NT2 tiêu thụ 120 L (7,21%), tương ứng tiết kiệm khoảng 92,79% dung dịch dinh dưỡng**.**

Trong mùa không thuận**,** NT1 tiêu thụ 1920 L, trong khi NT3 tiêu thụ 750 L (39,06%), tương ứng tiết kiệm khoảng 60,94% dung dịch dinh dưỡng. Nghiệm thức NT4 tiêu thụ 490 L (25,52%), tương ứng tiết kiệm khoảng 74,48% dung dịch dinh dưỡng và NT2 tiêu thụ 330 L (17,19%), tương ứng tiết kiệm khoảng 82,81% dung dịch dinh dưỡng.

Hơn nữa, mùa không thuận, các hệ thống trồng tiêu thụ nước nhiều hơn do nhiệt độ cao, song khí canh giảm rủi ro, do thích ứng với biến đổi khí hậu hơn các nghiệm thức khác (FAO, 2022).

Nhìn chung, các hệ thống khí canh giúp giảm đáng kể lượng dung dịch dinh dưỡng tiêu thụ nhưng vẫn duy trì năng suất cao, đặc biệt là nghiệm thức NT4. Kết quả này phù hợp với nhận định của Lakhiar et al. (2018) và Lakkireddy et al. (2021**)**, cho thấy hệ thống khí canh có thể giảm 70 – 90% lượng nước sử dụng so với các phương pháp canh tác truyền thống (không hồi lưu). Việc so sánh hai

mùa giúp nhấn mạnh vai trò của khí canh trong giảm rủi ro mùa vụ (FAO, 2022).

Việc tổng hợp các chỉ tiêu sinh trưởng, năng suất và hiệu quả sử dụng dung dịch dinh dưỡng cho thấy mặc dù nghiệm thức NT2 tiết kiệm dung dịch dinh dưỡng nhiều nhất nhưng năng suất lại thấp hơn đáng kể so với các nghiệm thức còn lại. Điều này cho thấy hiệu quả sản xuất không chỉ phụ thuộc vào lượng dung dịch dinh dưỡng tiêu thụ mà còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như sinh trưởng sinh dưỡng, điều kiện vùng rễ và khả năng cung cấp oxy cho rễ cây, dẫn đến hấp thụ dinh dưỡng tốt, cho năng suất cao. Theo Savvas and Gruda (2018), khi rễ cây tiếp xúc liên tục với dung dịch dinh dưỡng trong hệ thống thủy canh hồi lưu, hàm lượng oxy hòa tan có thể giảm, từ đó ảnh hưởng đến quá trình hô hấp rễ và khả năng hấp thu dinh dưỡng của cây. Từ đó cho thấy hệ thống khí canh áp cao mặt ngang (NT4) là nghiệm thức có hiệu quả tổng thể cao nhất, do vừa duy trì năng suất cao vừa tiết kiệm đáng kể lượng dung dịch dinh dưỡng, cho thấy tiềm năng ứng dụng trong sản xuất cà chua trong điều kiện nhà lưới.

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống trồng có ảnh hưởng rõ rệt đến sinh trưởng, khả năng ra hoa, đậu quả, năng suất và hiệu quả sử dụng dung dịch dinh dưỡng của cây cà chua trong điều kiện nhà lưới.

Ở giai đoạn ươm giống, tỷ lệ nảy mầm đạt khoảng 99% và tỷ lệ sống của cây đạt 100%, cao hơn khoảng 10 – 15% so với mức trung bình được báo cáo trong các nghiên cứu về khí canh, đồng thời không ghi nhận cây bị nhiễm bệnh trong suốt quá trình trồng.

Trong các nghiệm thức khảo sát, hệ thống khí canh áp cao mặt ngang (NT4) cho kết quả tốt nhất khi xét tổng hợp các chỉ tiêu sinh trưởng, số hoa, số quả và năng suất. Nghiệm thức này đạt năng suất 3,56 kg/cây trong mùa thuận và 3,14 kg/cây trong mùa không thuận**,** đồng thời giảm khoảng 74,48 - 82,58% lượng dung dịch dinh dưỡng tiêu thụ so với hệ thống trồng trên giá thể (NT1)**.**

Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống khí canh áp cao mặt ngang có tiềm năng ứng dụng trong sản xuất cà chua trong điều kiện nhà lưới, góp phần nâng cao năng suất và sử dụng hiệu quả nước và dung dịch dinh dưỡng trong nông nghiệp công nghệ cao, có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong sản xuất cà chua nhà màng và nông nghiệp đô thị.

LỜI CẢM TẠ

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Đồng Tháp đã tài trợ thực hiện nghiên cứu này trong khuôn khổ Đề tài mã số ĐTCS NN 05/24.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: Vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, *13*(1), 13–26. https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054

Biksa, E. (2025). *Growing aeroponic tomatoes. GROZINE*. https://www.grozine.com/2025/07/18/growing-aeroponic-tomatoes

Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2001). Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Reviews*, *26*, 239–319. https://doi.org/10.1002/9780470650806.ch5

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021)*. FAO. https://doi.org/10.4060/cb7654en

Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). *The water-culture method for growing plants without soil* (Circular 347). California Agricultural Experiment Station, University of California.

Jensen, M. H. (2019). Aeroponics: High-tech plant growing. *HortScience*, *54*(8), 1282–1286.

Lakkireddy, K. K. R., Kasturi, K., & Sambangi, P. (2021). Aeroponic cultivation: A review. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(17), 2550–2564. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1928680

Lakhiar, I. A., Gao, J. M., Syed, T. N., Chandio, F. A., & Buttar, N. A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, *13*(1), 338–352. https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1472308

Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review. *European Journal of Horticultural Science*, *83*(5), 280–293. https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2