

# ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA 1-BUTANOL TỐI HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NƯỚC Ở CÂY *Arabidopsis thaliana* SỬ DỤNG HỆ THỐNG RIPPS

Đỗ Thị Như Quỳnh<sup>1,2\*</sup>, Daisuke Todaka<sup>2</sup>, Miki Fujita<sup>3</sup>, Phạm Xuân Hội<sup>1</sup>, Motoaki Seki<sup>2\*</sup>

## TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của phương pháp xử lý môi hóa học bằng hợp chất rượu mạch thẳng 1-butanol trong hiệu quả sử dụng nước ở cây mô hình *Arabidopsis thaliana* trong điều kiện tưới nước đầy đủ, sử dụng hệ thống tích hợp đánh giá kiểu hình thực vật RIKEN (RIKEN Integrated Plant Phenotyping System - RIPPS). Nghiên cứu cũng đánh giá khả năng duy trì và kéo dài sinh trưởng ở cây *Arabidopsis* trong điều kiện thiếu nước sử dụng hệ thống RIPPS. Kết quả cho thấy, trong điều kiện tưới nước đầy đủ, cây *A. thaliana* xử lý với 1-butanol ở nồng độ 20 mM sử dụng tổng lượng nước tưới cho sinh trưởng thấp hơn so với nhóm đối chứng (nhóm tưới nước) mà không gây ảnh hưởng tiêu cực đến sự sinh trưởng. Trong điều kiện thiếu nước, cây được xử lý với 1-butanol duy trì tốc độ sinh trưởng cao hơn, đồng thời khả năng sống sót và tỷ lệ phục hồi sau kiểm tra hạn tốt hơn so với nhóm đối chứng. Những kết quả thu được cho thấy 1-butanol là một hợp chất môi hóa học tiềm năng, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng nước và duy trì ổn định sinh trưởng của thực vật trong điều kiện biến động nguồn nước.

**Từ khóa:** 1-Butanol, *Arabidopsis thaliana*, hiệu quả sử dụng nước, môi hóa học, RIPPS

## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chất môi hóa học (chemical priming) hiện được xem là một hướng nghiên cứu đầy tiềm năng trong việc nâng cao khả năng chống chịu của cây trồng trước các điều kiện bất lợi của môi trường như hạn hán, ngập úng, nhiệt độ cực đoan hay tác nhân gây bệnh (Sako *et al.*, 2021). Nguyên tắc của phương pháp là thông qua việc cho cây tiếp xúc với các hợp chất hóa học có nguồn gốc tự nhiên hoặc tổng hợp nhân tạo nhằm kích hoạt cơ chế phòng vệ nội sinh của cây, đồng thời không gây ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình sinh trưởng. Nhờ đó, cây trồng có thể phản ứng nhanh và hiệu quả hơn khi đối mặt với stress môi trường, từ đó làm tăng cường khả năng thích nghi và duy trì năng suất ổn định (Savvides *et al.*, 2016). Các hợp chất hóa học được sử dụng như môi hóa học đã được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: phytohormone (như axit abscisic, axit salicylic, axit jasmonic), các phân tử tín hiệu (như hydrogen peroxid, oxit nitric), các hợp chất hữu cơ khác như rượu (alcohol), các loại axit hữu cơ, hoặc chất dẫn truyền tín hiệu (Sako *et al.*, 2021; Bashir *et al.*, 2025). Trong số đó, hợp chất rượu như ethanol và 1-butanol hiện đang thu hút sự quan tâm với khả năng tác động lên các con đường tín hiệu sinh lý liên quan đến điều tiết khí khổng, cân bằng nội bào, và kích hoạt biểu

hiện gen chịu stress (Nguyen *et al.*, 2017; Bashir *et al.*, 2022; Matsui *et al.*, 2022; Todaka *et al.*, 2024; Do *et al.*, 2024; Vu *et al.*, 2024; Bashir *et al.*, 2025). Việc sử dụng các hợp chất rượu như một phương tiện môi hóa học có tiềm năng giúp cải thiện lượng nước sử dụng, tăng khả năng giữ ẩm của mô cây và đất, đồng thời giảm thiểu thiệt hại do stress gây ra. Theo kịch bản biến đổi khí hậu của Bộ Tài nguyên và Môi trường, đến cuối thế kỷ 21, nhiệt độ trung bình năm tăng 1,9 - 2,4°C ở phía Bắc và 1,7 - 1,9°C ở phía Nam (Bộ Tài Nguyên và Môi trường, 2020). Đồng thời, số ngày nắng nóng trên 35°C có xu thế tăng trên phần lớn khu vực cả nước, rõ nét nhất là ở Bắc Trung Bộ, Nam Trung Bộ và Nam Bộ. Kéo theo đó, hạn hán có thể trở nên khắc nghiệt hơn ở một số vùng do nhiệt độ tăng và khả năng giảm lượng mưa vào mùa khô. Do đó, việc phát triển phương pháp nhằm giúp cây trồng ứng phó với kịch bản biến đổi khí hậu là một nhiệm vụ hàng đầu. Trong số các hướng tiếp cận hiện đại, phương pháp môi hóa học là một giải pháp bền vững và hiệu quả nhằm tăng cường sức chống chịu của cây trồng trước điều kiện bất lợi ngoại cảnh. Nghiên cứu về cơ chế và ứng dụng của các hợp chất môi hóa học như 1-butanol không chỉ góp phần làm sáng tỏ các phản ứng sinh lý và phân tử của cây dưới tác động của stress mà còn mở ra triển vọng ứng dụng thực tiễn trong nông nghiệp và công nghiệp cây trồng. RIPPS

<sup>1</sup> Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Công nghệ Tế bào Thực vật, Viện Di truyền Nông nghiệp, Việt Nam

<sup>2</sup> Nhóm nghiên cứu mạng lưới hệ gen thực vật, Trung tâm Tài nguyên bền vững, Viện nghiên cứu RIKEN, Nhật Bản

<sup>3</sup> Đơn vị nghiên cứu khối phổ và hiển vi, Trung tâm Tài nguyên bền vững, Viện nghiên cứu RIKEN, Nhật Bản

\* Tác giả liên hệ, email: quynhdo.agi@gmail.com; motoaki.seki@riken.jp

(RIKEN Integrated Plant Phenotyping System) là một hệ thống đánh giá kiểu hình cây trồng tiên tiến, cho phép đồng thời trồng, theo dõi và phân tích biến động sinh trưởng của từng cây riêng lẻ được trồng trong chậu đất (Fujita *et al.*, 2018). Hệ thống này được thiết kế nhằm tự động hóa quá trình thu thập dữ liệu về sự phát triển của cây theo thời gian với độ chính xác và độ tin cậy cao. Một trong những điểm đặc biệt của RIPPS là cơ chế xoay vòng liên tục các chậu cây, giúp đảm bảo các điều kiện vi môi trường xung quanh mỗi cây được đồng nhất và tránh sai lệch do vị trí đặt chậu trong phòng thí nghiệm. Đi kèm với đó là hệ thống trạm cân tự động đo trọng lượng từng chậu cây liên tục, kết hợp cùng hệ thống tưới nước tự động nhằm duy trì điều kiện nước ổn định và phù hợp trong suốt quá trình thí nghiệm. Hệ thống RIPPS cũng được trang bị công nghệ thu nhận hình ảnh kỹ thuật số với độ phân giải cao cho từng cây, vào cả ban ngày và ban đêm (Fujita *et al.*, 2018). Trong điều kiện tối hoàn toàn, hình ảnh được thu nhận thông qua hệ thống đèn LED phát sáng hồng ngoại với bước sóng 950 nm, đảm bảo không gây ảnh hưởng đến sinh trưởng tự nhiên của cây. Dữ liệu hình ảnh này cho phép định lượng chính xác sự biến đổi kích thước, diện tích lá và các đặc tính hình thái khác của cây theo thời gian, đồng thời cung cấp cơ sở cho các phân tích chi tiết về ảnh hưởng không gian và thời gian lên sự phát triển của cây. Thêm vào đó, toàn bộ hệ thống RIPPS được vận hành trong môi trường kiểm soát nghiêm ngặt các điều kiện sinh trưởng quan trọng như nhiệt độ, cường độ và chất lượng ánh sáng, cũng như điều kiện tưới nước, nhằm đảm bảo tính nhất quán và khả năng tái lập của các thí nghiệm. Trong nghiên cứu trước đây cho thấy, xử lý bằng hợp chất 1-butanol giúp tăng cường khả năng kháng hạn của cây *A. thaliana* so với nhóm đối chứng, thông qua cơ chế kích thích đóng khí khổng và đồng thời kích hoạt một số gen liên quan đến quá trình oxy hóa - khử (Do *et al.*, 2024). Trong bài báo này, ảnh hưởng của việc xử lý bằng 1-butanol tới hiệu quả sử dụng nước ở cây mô hình *Arabidopsis thaliana* trong điều kiện tưới nước đầy đủ sử dụng hệ thống tích hợp đánh giá kiểu hình thực vật RIKEN (RIPPS) được tập trung đánh giá. Đồng thời, nghiên cứu cũng khảo sát ảnh hưởng của 1-butanol đến khả năng duy trì độ ẩm đất, tốc độ sinh trưởng, tỷ lệ sống sót và khả năng phục hồi sinh trưởng của cây *A. thaliana* so với nhóm đối chứng khi chịu tác động của điều kiện thiếu nước. Ngoài ra, khả năng sinh trưởng của cây *A. thaliana*

được xử lý bằng hợp chất rượu mạch thẳng 1-butanol cũng được đánh giá ở cả hai điều kiện: tưới nước đầy đủ và hạn chế nước.

## II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu nghiên cứu

Cây *A. thaliana* thuộc họ Cải (Brassicaceae), dòng Col-0 được sử dụng làm vật liệu nghiên cứu nhằm đánh giá ảnh hưởng của hợp chất 1-butanol đến sinh trưởng thực vật dưới hai điều kiện sinh trưởng: tưới nước đầy đủ và ngưng tưới nước.

Hợp chất rượu 1-butanol với độ tinh khiết 99,9% (mã số: 03-4560-5) được sử dụng làm chất môi hóa học trong thí nghiệm, được cung cấp bởi công ty Sigma-Aldrich.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.2.1. Phương pháp bố trí thí nghiệm

##### a) Điều kiện và thời gian nuôi cấy

Toàn bộ thí nghiệm được tiến hành trong điều kiện môi trường có kiểm soát, với nhiệt độ duy trì ổn định ở 22°C. Chế độ chiếu sáng được thiết lập theo chu kỳ 16 giờ sáng/8 giờ tối, với cường độ ánh sáng khoảng 100  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Cây *A. thaliana* sau 20 ngày kể từ thời điểm gieo hạt được sử dụng làm vật liệu cho các thí nghiệm xử lý.

##### b) Phương pháp nuôi cấy

Giai đoạn nảy mầm, hạt *A. thaliana* được gieo vào khay 96 giếng có chứa đất Dio No.2 (Công ty Hóa chất DIO), với mật độ gieo là 2 hạt mỗi giếng. Giai đoạn nảy mầm kéo dài trong 7 ngày.

Giai đoạn cây con, các cây *A. thaliana* được chuyển sang chậu nuôi cấy có đường kính 7 cm (chậu No. 2,  $\phi$ 70 mm, H60 mm, Yamato Plastic Co., Ltd., Nara, Nhật Bản), mỗi chậu chứa 56 g đất ceramic (SERAMIS, Westland Horticulture Ltd., Tyrone, UK). Mỗi chậu trồng một cây. Tất cả các chậu cây được đặt trong khay lớn có kích thước (chiều dài) 60 × (chiều rộng) 40 × (chiều cao) 10 cm, với mực nước được duy trì ổn định ở mức 0,5 cm tính từ đáy khay.

##### c) Phương pháp xử lý môi hóa học sử dụng hợp chất rượu 1-butanol

Phương pháp môi hóa học bằng hợp chất rượu 1-butanol trong nghiên cứu này thực hiện thông qua tiếp xúc qua rễ được tiến hành tương tự như trong báo cáo trước đây của Do và cộng sự (2024). Sau 20 ngày nuôi cấy, cây *A. thaliana* được chia thành hai

nhóm: nhóm đối chứng (được cung cấp nước) và nhóm xử lý (tiếp xúc với dung dịch 1-butanol). Ở nhóm đối chứng, mực nước trong khay được duy trì ổn định ở mức 0,5 cm tính từ đáy khay. Trong khi đó, ở nhóm xử lý, toàn bộ lượng nước trong khay được rút bỏ và thay thế bằng dung dịch 1-butanol pha loãng ở nồng độ 20 mM, với thể tích đảm bảo mực dung dịch tiếp xúc rễ cũng là 0,5 cm tính từ đáy khay. Cây *A. thaliana* được tiếp xúc với dung dịch 1-butanol trong vòng 3 ngày (72 giờ). Sau thời gian xử lý, lượng dịch ở cả hai nhóm được loại bỏ hoàn toàn. Trọng lượng mỗi chậu cây sau đó được điều chỉnh để đạt mức đồng đều là 140 g trước khi tiến hành các thí nghiệm tiếp theo.

d) *Phương pháp đánh giá ảnh hưởng của 1-butanol tới tổng lượng nước tưới của cây Arabidopsis thaliana trong điều kiện tưới nước đầy đủ thông qua hệ thống RIPPS*

Hệ thống RIPPS được sử dụng để xác định tổng lượng nước tưới và đánh giá ảnh hưởng của 1-butanol lên sự sinh trưởng của cây *A. thaliana* ở cả nhóm đối chứng và nhóm xử lý (Fujita *et al.*, 2018). Hệ thống này có khả năng tự động chụp và ghi nhận hình ảnh cây trong suốt quá trình theo dõi, làm cơ sở để phân tích sự thay đổi về sinh trưởng giữa các nhóm. Song song với việc ghi hình, hệ thống cũng theo dõi trọng lượng chậu cây nhằm tính toán lượng nước được cung cấp. Cứ mỗi 2 giờ, RIPPS tự động đo trọng lượng từng chậu và duy trì ở mức cố định là 140 g. Khi trọng lượng giảm xuống dưới ngưỡng này, hệ thống sẽ tự động bổ sung nước để đảm bảo điều kiện tưới nước đầy đủ. Tổng lượng nước được cung cấp cho mỗi chậu trong suốt thời gian thí nghiệm được ghi nhận, từ đó cho phép so sánh tổng lượng nước tiêu thụ giữa nhóm đối chứng và nhóm xử lý.

e) *Phương pháp đánh giá ảnh hưởng của 1-butanol lên khả năng chống chịu của cây Arabidopsis thaliana trong điều kiện thiếu nước thông qua hệ thống RIPPS*

Để đánh giá tác động của 1-butanol đến khả năng chống chịu với điều kiện thiếu nước ở cây *A. thaliana*, thí nghiệm được tiến hành trên cả nhóm đối chứng và nhóm xử lý, sử dụng hệ thống RIPPS. Tương tự như trong thí nghiệm được tiến hành dưới điều kiện tưới nước đầy đủ, hệ thống RIPPS tự động ghi nhận và lưu trữ hình ảnh của cây trong suốt quá trình theo dõi. Tuy nhiên, trong thiết lập thí nghiệm với điều kiện ngừng tưới nước, chức năng tự động tưới của hệ thống này được tắt hoàn toàn. Giai đoạn ngừng tưới nước được duy trì liên tục đến ngày thứ 13. Sau

đó, tất cả các cây trong cả hai nhóm được tưới nước trở lại nhằm đánh giá khả năng phục hồi sau hạn của cây *A. thaliana* ở nhóm đối chứng (nhóm nước) và nhóm xử lý bằng 1-butanol.

### 2.2.2. Các chỉ tiêu đánh giá

*Tổng lượng nước sử dụng:* Tổng lượng nước sử dụng (mL) được xác định bằng cách cộng dồn lượng nước tiêu thụ hàng ngày của từng chậu cây trong suốt thời gian thí nghiệm.

*Tổng trọng lượng chậu cây:* Tổng trọng lượng chậu cây (g) được ghi nhận định kỳ mỗi ngày đối với từng chậu để phục vụ tính toán lượng nước tiêu thụ.

*Diện tích lá:* Diện tích lá (cm<sup>2</sup>) được xác định thông qua phân tích hình ảnh bằng phần mềm OpenCV (phiên bản 4.0.1) chạy trên nền tảng Python 3.8.5.

*Tốc độ sinh trưởng thể hiện thông qua chỉ tiêu diện tích lá:* được xác định bằng hiệu số giữa diện tích lá tại thời điểm ngày theo dõi và diện tích lá tại thời điểm 1 ngày trước ngày theo dõi.

*Tỷ lệ sống sót:* Tỷ lệ sống sót (%) được tính theo công thức:

Tỷ lệ sống sót = (Tổng số cây sống sót sau tưới nước phục hồi / Tổng số cây thí nghiệm) × 100.

### 2.2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Dữ liệu thí nghiệm được xử lý thống kê bằng phần mềm RStudio, với ngưỡng ý nghĩa thống kê được xác định tại mức  $p < 0,001$  (\*\*\*) ,  $0,001 \leq p < 0,01$  (\*\*), và  $0,01 \leq p < 0,05$  (\*).

### 2.2.4. Phương pháp tạo biểu đồ và hình ảnh

Hình ảnh cây thu thập từ hệ thống tự động RIPPS được xử lý bằng phần mềm OpenCV (phiên bản 4.0.1) chạy trên nền tảng Python 3.8.5, sau đó được biên tập thành hình minh họa bằng phần mềm Microsoft 365 PowerPoint. Dữ liệu thô do hệ thống RIPPS cung cấp đã được tiền xử lý bằng phần mềm Microsoft 365 Excel. Các dữ liệu sau khi xử lý tiếp tục được sử dụng để xây dựng các biểu đồ đường và biểu đồ hộp bằng phần mềm RStudio (phiên bản 2025.05.0 Build 496) với các đoạn mã R tùy chỉnh.

## 2.3. Thời gian và địa điểm nghiên cứu

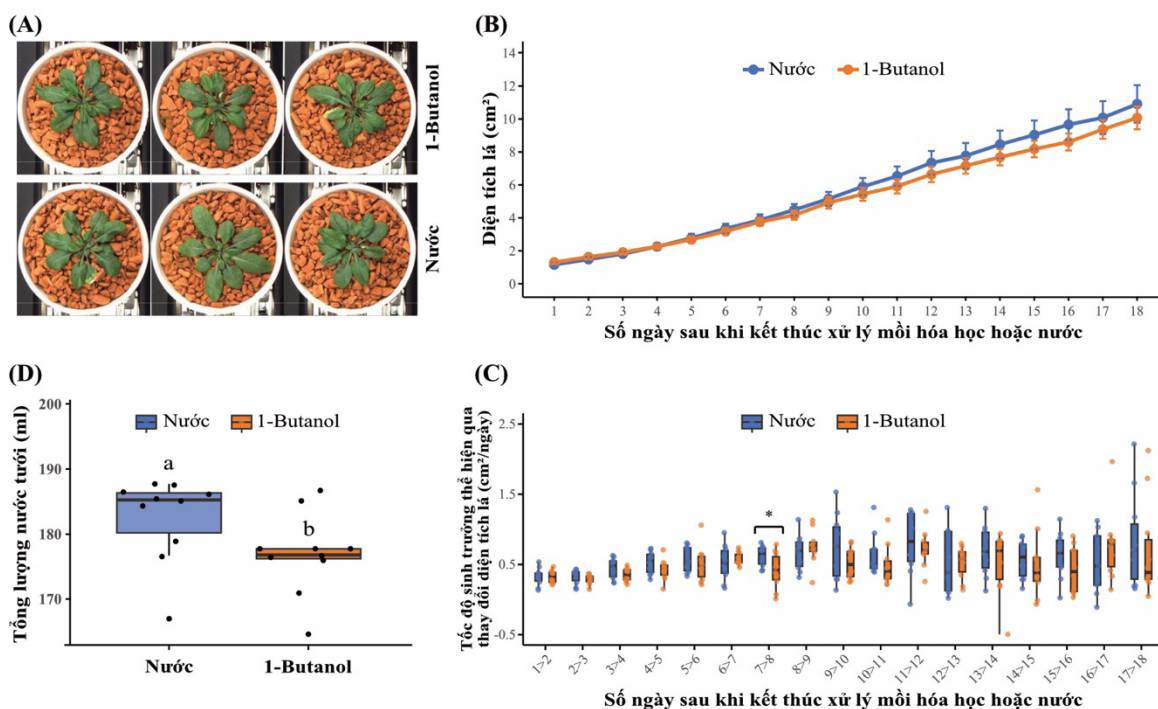
Nghiên cứu được tiến hành tại Phòng thí nghiệm Nghiên cứu Mạng lưới Hệ gen Thực vật thuộc Trung tâm Khoa học Tài nguyên Bền vững, Viện Nghiên cứu RIKEN, Nhật Bản, trong khoảng thời gian từ tháng 7 đến tháng 9 năm 2024.

### III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Ảnh hưởng của hợp chất rượu 1-butanol đến tổng lượng nước tưới của cây *Arabidopsis thaliana* trong điều kiện tưới đầy đủ

Đánh giá kiểu hình trong thí nghiệm này cho thấy

quá trình môi hóa học bằng hợp chất rượu 1-butanol nồng độ 20 mM không gây ảnh hưởng tiêu cực đến sinh trưởng và phát triển của cây *A. thaliana* trong điều kiện tưới nước đầy đủ (Hình 1). Kết quả này phù hợp với kết quả được báo cáo trước đó của Do và cộng sự (2024).



**Hình 1.** Ảnh hưởng của 1-butanol đến sinh trưởng của cây *Arabidopsis thaliana* trong điều kiện đủ nước

**Ghi chú:** (A) Hình ảnh đại diện của cây ở nhóm đối chứng (nước) và nhóm xử lý với 1-butanol. (B) Diện tích lá tích lũy theo thời gian ở hai nhóm. (C) Tốc độ sinh trưởng tính theo sự thay đổi diện tích lá hàng ngày. Dấu hoa thị biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa nhóm xử lý nước và nhóm xử lý 1-butanol [kiểm định Student's t;  $p < 0,05$  (\*),  $< 0,01$  (\*\*),  $< 0,001$  (\*\*\*)]. (D) Tổng lượng nước tưới đã cung cấp cho từng nhóm trong suốt thí nghiệm. Các chữ cái viết thường khác nhau phía trên các cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ , kiểm định Student's t trong R).

Về mặt hình thái học, nhóm cây được xử lý bằng 1-butanol không có sự khác biệt so với nhóm đối chứng không xử lý (nhóm nước) (Hình 1A). Thêm vào đó, tốc độ sinh trưởng (thể hiện qua sự thay đổi diện tích lá hàng ngày) và mức độ sinh trưởng (phản ánh qua tổng diện tích lá hình thành) tương đương giữa hai nhóm trong suốt thời gian theo dõi (Hình 1B, 1C). Trong 7 ngày đầu sau khi kết thúc xử lý môi hóa học, các chỉ số sinh trưởng giữa hai nhóm không có sự sai khác thống kê. Tuy nhiên, từ ngày thứ 8, tốc độ sinh trưởng giữa hai nhóm xuất hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê (Hình 1C). Mặc dù vậy, sự khác biệt này không dẫn đến thay đổi tương ứng về mức độ sinh trưởng, do tổng diện tích lá hình thành tại thời điểm ngày thứ 8 vẫn không có sự khác

biệt đáng kể giữa hai nhóm (Hình 1B). Từ ngày thứ 8 đến ngày thứ 18 - thời điểm kết thúc giai đoạn tưới nước đầy đủ - cả tốc độ sinh trưởng lẫn tổng diện tích lá hình thành không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa hai nhóm cây (Hình 1B, 1C).

Ngoài việc không làm suy giảm sinh trưởng, xử lý bằng 1-butanol còn dẫn tới giảm tổng lượng nước tưới cần thiết trong điều kiện tưới đầy đủ (Hình 1D). Trong suốt thời gian theo dõi, tổng lượng nước tưới của nhóm xử lý bằng 1-butanol là ~177 mL, thấp hơn so với ~183 mL ở nhóm đối chứng để đạt được mức sinh trưởng tương đương. Việc nhóm xử lý sử dụng tổng lượng nước tưới thấp hơn có thể được giải thích thông qua cơ chế sinh lý liên quan đến điều tiết độ mở của khí khổng. Điều này phù hợp với nghiên cứu trên

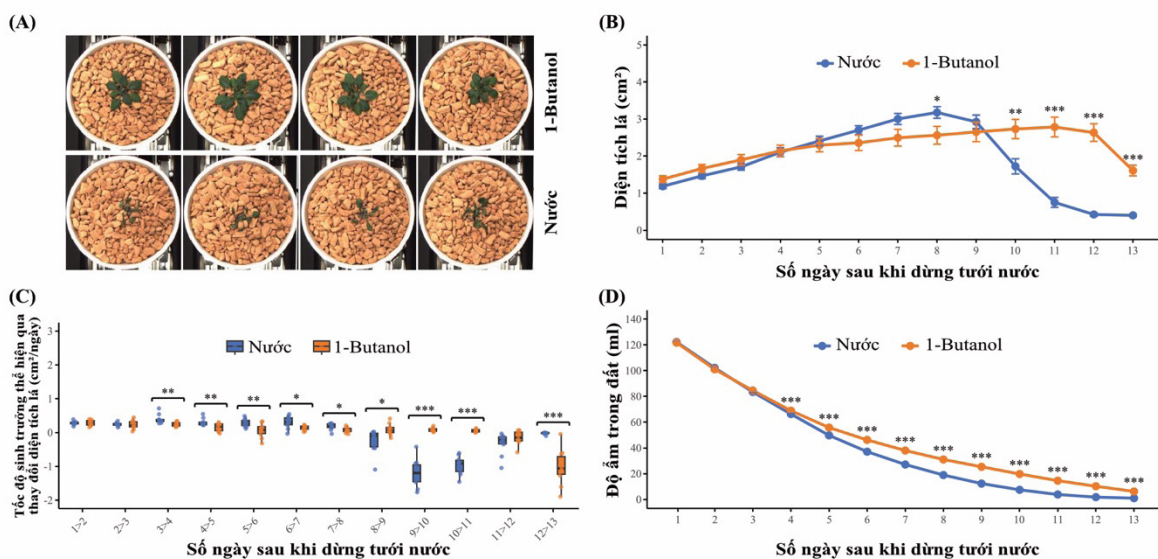
cây *Arabidopsis*, lượng hơi nước thoát ra của nhóm xử lý bằng ethanol thấp hơn so với nhóm không xử lý (Bashir *et al.*, 2022). Phát hiện này gợi ý rằng 1-butanol có thể ảnh hưởng đến các cơ chế sinh lý bên trong cây như: (i) điều tiết độ mở khí khổng; (ii) tăng cường khả năng giữ nước trong mô; hoặc (iii) điều hòa các hormone sinh trưởng, đặc biệt là axit abscisic (ABA), hormone trung tâm trong đáp ứng với hạn. Những điều chỉnh này có thể giúp cây giảm thất thoát nước qua thoát hơi nước mà vẫn duy trì quá trình quang hợp hiệu quả (Do *et al.*, 2024; Bashir *et al.*, 2025).

Tóm lại, kết quả này cho thấy các hợp chất rượu với cấu trúc carbon khác nhau có thể được áp dụng như những chất môi sinh lý tiềm năng, giúp giảm

tổng lượng nước tưới cần thiết mà không ảnh hưởng tiêu cực đến sinh trưởng. Đây là một hướng tiếp cận mới cho các chiến lược canh tác thích ứng với biến đổi khí hậu và khan hiếm tài nguyên nước trong nông nghiệp hiện đại.

### 3.2. Ảnh hưởng của hợp chất rượu 1-butanol đến khả năng giữ nước của cây *Arabidopsis thaliana* trong điều kiện thiếu nước

Trong điều kiện thiếu nước, sự khác biệt trong sinh trưởng giữa nhóm cây được xử lý bằng 1-butanol và nhóm đối chứng không xử lý trở nên rõ rệt, trái ngược với giai đoạn sinh trưởng trong điều kiện đủ nước (Hình 2).



**Hình 2.** Ảnh hưởng của 1-butanol đến sinh trưởng của cây *Arabidopsis thaliana* trong điều kiện thiếu nước

Ghi chú: (A) Hình ảnh đại diện của cây ở nhóm đối chứng (nước) và nhóm xử lý với 1-butanol. (B) Diện tích lá tích lũy theo thời gian ở hai nhóm. (C) Tốc độ sinh trưởng tính theo sự thay đổi diện tích lá hàng ngày. (D) Độ ẩm đất liên quan đến từng nhóm trong suốt thí nghiệm. Dấu hoa thị biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa nhóm xử lý nước và nhóm xử lý 1-butanol [kiểm định Student's t;  $p < 0,05$  (\*),  $< 0,01$  (\*\*),  $< 0,001$  (\*\*\*)].

Trong 8 ngày đầu ở điều kiện thiếu nước, sự tăng trưởng vẫn diễn ra bình thường ở cả hai nhóm cây, thể hiện qua sự gia tăng tổng diện tích lá tích lũy. Cụ thể, ở nhóm đối chứng, diện tích lá tăng từ 1,19 cm<sup>2</sup> lên 3,18 cm<sup>2</sup>; trong khi nhóm xử lý bằng 1-butanol tăng từ 1,38 cm<sup>2</sup> lên 2,56 cm<sup>2</sup> (Hình 2B). Tốc độ sinh trưởng trung bình cho thấy nhóm đối chứng đạt giá trị cao hơn đáng kể so với nhóm xử lý bằng 1-butanol, với sự khác biệt có ý nghĩa thống kê bắt đầu từ ngày thứ 4 và kéo dài đến ngày thứ 8 (Hình 2C). Ở ngày thứ 8, tổng diện tích lá của nhóm đối chứng lớn hơn so với nhóm xử lý bằng 1-butanol, với giá trị tổng diện tích lá lần lượt là 3,18

cm<sup>2</sup> và 2,56 cm<sup>2</sup> (Hình 2B, 2C). Kết quả tương tự cũng được ghi nhận trong nghiên cứu của Bashir và cộng sự (2022) khi xử lý cây *A. thaliana* bằng ethanol, trong đó cả cây đối chứng và cây xử lý vẫn tiếp tục tăng trưởng trong giai đoạn đầu ngừng tưới. Sự tăng trưởng ban đầu có thể phản ánh lượng nước tồn dư trong đất từ giai đoạn tưới đầy đủ, cho phép cây tiếp tục hấp thu nước để duy trì sinh trưởng (Hình 2D).

Tuy nhiên, trong ba ngày tiếp theo (ngày thứ 8 đến ngày thứ 11), xu hướng sinh trưởng giữa hai nhóm thay đổi đáng kể. Nhóm xử lý 1-butanol vẫn duy trì được tăng trưởng dương, với diện tích lá tăng nhẹ từ

2,56 cm<sup>2</sup> lên 2,78 cm<sup>2</sup> (Hình 2B). Trong khi đó, nhóm đối chứng không chỉ ngừng tăng trưởng mà còn sụt giảm mạnh: tổng diện tích lá giảm từ 3,18 cm<sup>2</sup> xuống chỉ còn 0,75 cm<sup>2</sup> (Hình 2B). Tốc độ sinh trưởng phản ánh rõ sự khác biệt này, khi nhóm xử lý vẫn giữ được giá trị dương (> 0,5 cm<sup>2</sup>/ngày), trong khi nhóm đối chứng chuyển sang tốc độ âm (< -0,2 cm<sup>2</sup>/ngày) (Hình 2C). Kết quả nghiên cứu cho thấy nhóm xử lý 1-butanol có khả năng sử dụng nước hiệu quả hơn, giúp kéo dài giai đoạn sinh trưởng ngay cả khi điều kiện khô hạn bắt đầu gây ức chế sinh lý đồng thời cho thấy tiềm năng tăng cường khả năng chống chịu stress của xử lý môi hóa học, cơ chế tăng cường khả năng chống chịu stress có thể liên quan đến các thay đổi ở mức độ tín hiệu nội bào hoặc biểu hiện gen liên quan đến đáp ứng hạn (Nguyen *et al.*, 2017; Bashir *et al.*, 2022; Matsui *et al.*, 2022; Todaka *et al.*, 2024; Do *et al.*, 2024; Vu *et al.*, 2024; Bashir *et al.*, 2025). Ngoài ra, khả năng duy trì diện tích lá đồng thời kéo dài giai đoạn sinh trưởng có thể liên quan đến quá trình điều tiết độ mở khí khổng, giúp hạn chế thất thoát nước thông qua việc thoát hơi nước. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng, các hợp chất môi như ethanol và 1-butanol có khả năng làm tăng nồng độ ABA nội sinh, từ đó tác động đến quá trình đóng khí khổng và các cơ chế bảo tồn nước khác (Vu *et al.*, 2022; Do *et al.*, 2024).

Trong hai ngày cuối cùng của giai đoạn ngừng tưới (ngày 11 đến ngày 13), nhóm xử lý bằng 1-butanol bắt đầu có dấu hiệu suy giảm sinh trưởng, với diện tích lá giảm từ 2,78 cm<sup>2</sup> xuống 1,61 cm<sup>2</sup> (Hình 2C). Tuy nhiên, diện tích lá của nhóm được xử lý vẫn cao hơn so với nhóm đối chứng, vốn chỉ còn đạt 0,40 cm<sup>2</sup> vào thời điểm kết thúc theo dõi (Hình 2C). Kết quả nghiên cứu tương tự với kết quả của Bashir và cộng sự (2022) khi xử lý cây *A. thaliana* bằng ethanol, được giải thích liên quan đến sự biểu hiện tăng cường của các gen liên quan đến quang hợp, chuyển hóa đường, tổng hợp hợp chất thứ cấp (glucosinolate, flavonoid, phenylpropanoid, phenolics và điều hòa cân bằng oxy hóa-khử (Bashir *et al.*, 2022).

Ngoài việc giúp sự sinh trưởng tốt, cây xử lý 1-butanol còn cho thấy khả năng giữ ẩm đất cao hơn, được thể hiện qua hàm lượng nước trong đất cao hơn so với nhóm đối chứng (Hình 2D). Kết quả nghiên cứu gợi ý rằng xử lý 1-butanol không chỉ ảnh hưởng trực tiếp đến cây mà còn có thể làm thay đổi đặc tính vùng rễ (rhizosphere). Các yếu tố như thay đổi hình thái rễ, mật độ rễ tơ, tiết xuất chất hữu cơ từ rễ (root exudates) hoặc ảnh hưởng đến hệ vi sinh vật đất đều có thể góp

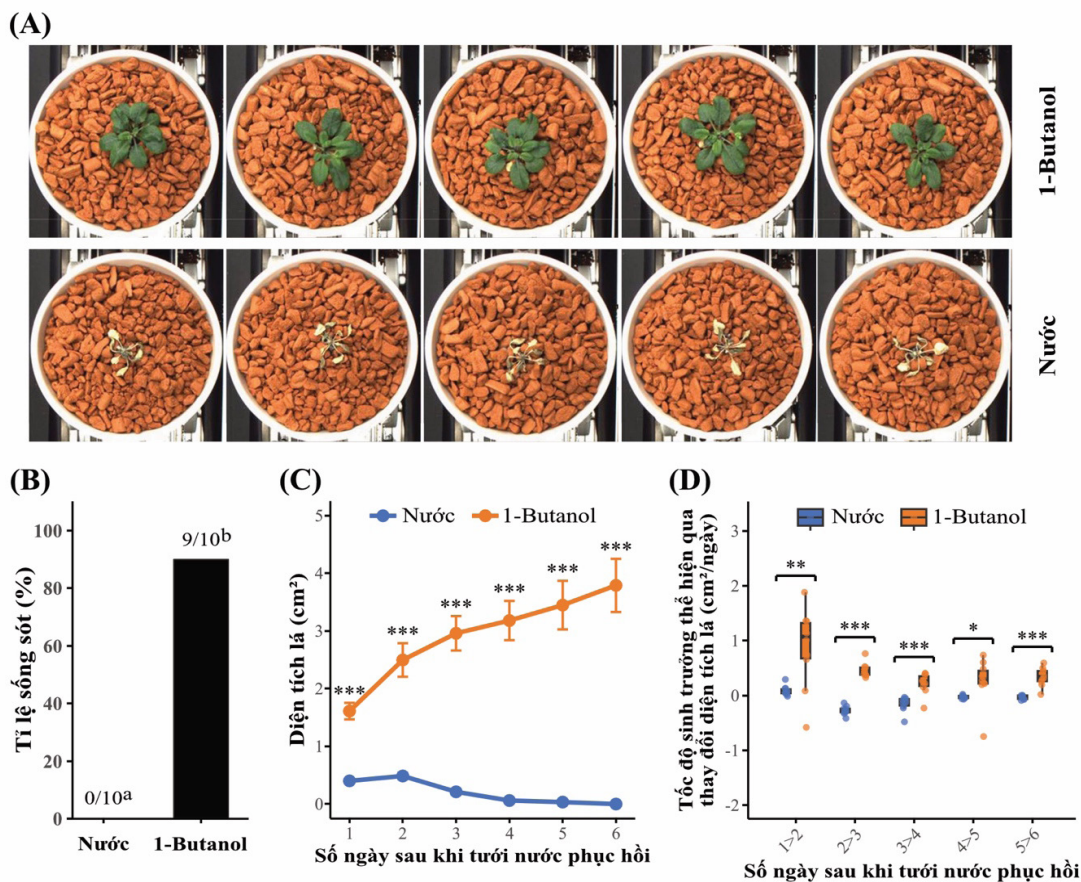
phần vào việc giữ nước hiệu quả hơn (Gohari *et al.*, 2024). Phân tích chi tiết đặc điểm hình thái rễ và các thông số lý - hóa của đất ở từng nhóm sẽ là hướng nghiên cứu tiếp theo để làm rõ cơ chế này.

### 3.3. Ảnh hưởng của hợp chất rượu 1-butanol đến khả năng phục hồi của cây *Arabidopsis thaliana* sau giai đoạn hạn hán

Sau khi giai đoạn ngừng tưới nước kết thúc, nước được cung cấp trở lại, sự khác biệt rõ rệt trong khả năng phục hồi sinh trưởng được ghi nhận giữa hai nhóm cây (Hình 3). Trong khi 90% số cây thuộc nhóm xử lý bằng 1-butanol cho thấy khả năng phục hồi sinh trưởng chỉ sau một ngày được tưới nước lại, ở nhóm đối chứng dấu hiệu phục hồi của các cây là 0% (Hình 3A, 3B). Cụ thể, tổng diện tích lá của nhóm xử lý bằng 1-butanol tăng đáng kể từ 1,61 cm<sup>2</sup> (ngày thứ 13) lên 2,50 cm<sup>2</sup> (ngày thứ 14), với tốc độ sinh trưởng đạt  $0,887 \pm 0,224$  cm<sup>2</sup>/ngày (Hình 3C, 3D). Ngược lại, nhóm đối chứng chỉ ghi nhận mức tăng trưởng thấp từ 0,40 cm<sup>2</sup> lên 0,49 cm<sup>2</sup> trong cùng thời gian, tương ứng tốc độ sinh trưởng chỉ bằng khoảng 1/10 so với nhóm xử lý ( $0,085 \pm 0,027$  cm<sup>2</sup>/ngày) (Hình 3C, 3D).

Trong bốn ngày tiếp theo của giai đoạn phục hồi, cây thuộc nhóm xử lý tiếp tục duy trì tốc độ sinh trưởng dương ổn định (> 0,2 cm<sup>2</sup>/ngày), với tổng diện tích lá tăng lên 3,79 cm<sup>2</sup> vào ngày cuối cùng theo dõi (Hình 3C, 3D). Trái lại, cây đối chứng trải qua sự suy giảm sinh trưởng rõ rệt: diện tích lá tích lũy liên tục giảm từ 0,49 cm<sup>2</sup> xuống 0 cm<sup>2</sup>, đi kèm với tốc độ sinh trưởng âm (< -0,02 cm<sup>2</sup>/ngày) (Hình 3C, 3D).

Những kết quả này nhất quán với các báo cáo trước đây, cho thấy rằng xử lý môi hóa học bằng 1-butanol (Do *et al.*, 2024) hoặc các rượu như ethanol (Bashir *et al.*, 2022; Matsui *et al.*, 2022; Todaka *et al.*, 2024) có thể tăng cường khả năng chống chịu và phục hồi của thực vật bao gồm *A. thaliana*, lúa mì, sắn và cà chua trước các điều kiện môi trường bất lợi như hạn hán và nhiệt độ cao. Khả năng phục hồi nhanh của nhóm xử lý có thể phản ánh việc cấu trúc mô lá, mô rễ và hệ thống dẫn truyền nước dinh dưỡng được bảo toàn tốt hơn, cho phép cây nhanh chóng nối lại hoạt động sinh trưởng khi điều kiện thuận lợi được tái lập. Quan sát này phù hợp với kết quả trước đó của Do và cộng sự (2024), trong đó cây được xử lý bằng 1-butanol thể hiện sự nguyên vẹn màng tế bào tốt hơn, góp phần duy trì chức năng sinh lý cơ bản trong giai đoạn stress và phục hồi sau đó.



**Hình 3.** Ảnh hưởng của 1-butanol đến khả năng phục hồi của cây *Arabidopsis thaliana* sau giai đoạn thiếu nước

**Ghi chú:** (A) Hình ảnh đại diện của cây ở nhóm đối chứng (nước) và nhóm xử lý với 1-butanol sau khi phục hồi. (B) Tỷ lệ sống sót của cây sau điều kiện thiếu nước ở hai nhóm. Các chữ cái viết thường khác nhau phía trên các cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ , kiểm định Fisher trong R). (C) Diện tích lá tích lũy theo thời gian trong giai đoạn phục hồi. (D) Tốc độ sinh trưởng trong giai đoạn phục hồi, tính theo sự thay đổi diện tích lá hàng ngày. Dấu hoa thị biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa nhóm xử lý nước và nhóm xử lý 1-butanol [kiểm định Student's t;  $p < 0,05$  (\*),  $< 0,01$  (\*\*),  $< 0,001$  (\*\*\*)].

## IV. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

### 4.1. Kết luận

Đây là báo cáo đầu tiên đánh giá ảnh hưởng của phương pháp xử lý môi hóa học bằng hợp chất rượu hữu cơ mạch thẳng 1-butanol đến hiệu quả sử dụng nước ở cây mô hình *A. thaliana* trong hai điều kiện: tưới nước đầy đủ và thiếu nước, sử dụng hệ thống tự động RIPPS. Kết quả thu nhận được cho thấy nhóm cây được tiến xử lý bằng 1-butanol nồng độ 20 mM sử dụng tổng lượng nước tưới cho sinh trưởng thấp hơn, đồng thời không gây ảnh hưởng tiêu cực đến sinh trưởng của cây trong điều kiện tưới đầy đủ. Đáng chú ý, trong điều kiện hạn hán giả lập (thiếu nước), cây được xử lý 1-butanol duy trì độ ẩm đất hiệu quả hơn song song với đó là tốc độ tăng trưởng tích cực hơn, thể hiện qua khả năng sống sót và phục hồi vượt trội so với cây đối chứng không xử lý.

### 4.2. Đề nghị

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu đã và đang diễn ra trên phạm vi toàn cầu, nguồn nước phục vụ cho nông nghiệp ngày càng trở nên khan hiếm. Những phát hiện trong nghiên cứu này gợi mở tiềm năng ứng dụng 1-butanol trong việc cải thiện hiệu quả sử dụng nước và ổn định sinh trưởng của cây trong điều kiện hạn chế nước. Hướng tiếp theo sẽ tập trung vào việc thúc đẩy hoặc điều phối quá trình sinh tổng hợp 1-butanol tự nhiên bởi một số loài vi khuẩn thuộc chi *Clostridium*. Đây có thể là một chiến lược tiềm năng không chỉ nhằm góp phần bảo vệ cây trồng trong điều kiện khô hạn mà còn hướng tới phát triển nền nông nghiệp sinh thái bền vững trong tương lai.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

**Bộ Tài nguyên và Môi trường**, 2020. *Kịch bản biến đổi khí hậu*, xuất bản lần thứ 4. Nhà xuất bản Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 286 trang.

- Bashir K., Todaka D., Rasheed S., Matsui A., Ahmad Z., Sako K., Utsumi Y., Vu A.T., Tanaka M., Takahashi S., Ishida J., Tsuboi Y., Watanabe S., Kanno Y., Ando E., Shin K.C., Seito M., Motegi H., Sato M., Li R., Kikuchi S., Fujita M., Kusano M., Kobayashi M., Habu, Y., Nagano A.J., Kawaura K., Kikuchi J., Saito, K., Hirai M.Y., Seo M., Shinozaki K., Kinoshita T., Seki M., 2022. Ethanol-mediated novel survival strategy against drought stress in plants. *Plant and Cell Physiology*, 63 (9): 1181-1192.
- Bashir K., Todaka D., Sako K., Ueda M., Aziz F., Seki M., 2025. Chemical application improves stress resilience in plants. *Plant Molecular Biology*, 115: 47. <https://doi.org/10.1007/s11103-025-01566-w>.
- Do T.N.Q., Todaka D., Tanaka M., Takahashi S., Ishida J., Sako K., Nagano A.J., Takebayashi Y., Kanno Y., Okamoto M., Pham X.H., Seki M., 2024. 1-Butanol treatment enhances drought stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Molecular Biology*, 114: 86. <https://doi.org/10.1007/s11103-024-01479-0>.
- Fujita M., Tanabata T., Urano K., Kikuchi S., Shinozaki K., 2018. RIPPS: A plant phenotyping system for quantitative evaluation of growth under controlled environmental stress conditions. *Plant and Cell Physiology* 59:2030-2038. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcy122>.
- Gohari G., Jiang M., Manganaris G. A., Zhou J. & Fotopoulos V., 2024. Next generation chemical priming: with a little help from our nanocarrier friends. *Trends in Plant Science*, 29 (2): 150-166. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.11.024>.
- Matsui A., Todaka D., Tanaka M., Mizunashi K., Takahashi S., Sunaoshi Y., Tsuboi Y., Ishida J., Bashir K., Kikuchi J., Kusano M., Kobayashi M., Kawaura K., Seki M., 2022. Ethanol induces heat tolerance in plants by stimulating unfolded protein response. *Plant Molecular Biology*, 110: 131-145. <https://doi.org/10.1007/s11103-022-01291-8>.
- Nguyen H.M., Sako K., Matsui A., Suzuki Y., Mostofa M.G., Ha C.V., Tanaka M., Tran L.S.P., Habu Y., Seki M., 2017. Ethanol enhances high-salinity stress tolerance by detoxifying reactive oxygen species in *Arabidopsis thaliana* and rice. *Frontiers in Plant Science*, 8:1001. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01001>.
- Sako K., Nguyen H.M., Seki M., 2021. Advances in chemical priming to enhance abiotic stress tolerance in plants. *Plant and Cell Physiology*, 61: 1995-2003. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa119>.
- Savvides A., Ali S., Tester M., & Fotopoulos V., 2016. Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: Mission possible ?. *Trends in Plant Science*, 21 (4): 329-340. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.11.003>.
- Todaka D., Quynh D.T.N., Tanaka M., Utsumi Y., Utsumi C., Ezoe A., Takahashi S., Ishida J., Kusano M., Kobayashi M., Saito K., Nagano A.J., Nakano Y., Mitsuda N., Fujiwara S., Seki M., 2024. Application of ethanol alleviates heat damage to leaf growth and yield in tomato. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1325365>.
- Vu A.T., Utsumi Y., Utsumi C., Tanaka M., Takahashi S., Todaka D., Kanno Y., Seo M., Ando E., Sako K., Bashir K., Kinoshita T., Pham X.H., Seki M., 2022. Ethanol treatment enhances drought stress avoidance in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Plant Molecular Biology*, 110: 269-285. <https://doi.org/10.1007/s11103-022-01300-w>.

## Evaluation of the effects of 1-butanol treatment on water use efficiency in *Arabidopsis thaliana* using the RIPPS

Do Thi Nhu Quynh, Daisuke Todaka, Miki Fujita, Pham Xuan Hoi, Motoaki Seki

### Abstract

This study evaluated the effects of chemical priming with the straight-chain alcohol compound 1-butanol on water use efficiency in the model plant *Arabidopsis thaliana* under well-water conditions using the RIKEN Integrated Plant Phenotyping System (RIPPS). This study also investigated the compound's capacity to sustain and promote growth under water-deficient conditions in *Arabidopsis*, using the RIPPS. The results show that under well-watered conditions, *A. thaliana* plants treated with 20 mM 1-butanol need less total irrigation water for plant growth compared to the control group (water-treated plants) and did not negatively affect plant growth. Under water-deficient conditions, 1-butanol-treated plants maintained a higher growth rate and exhibited enhanced survival and recovery ratio compared to untreated controls. These findings suggest that 1-butanol holds potential as a chemical priming agent to improve water use efficiency and stabilize plant growth under fluctuating water availability.

**Keywords:** 1-Butanol, *Arabidopsis thaliana*, water use efficiency, chemical priming, RIPPS

Ngày nhận bài: 05/6/2025

Ngày phản biện: 01/7/2025

Người phản biện: PGS.TS. Phạm Bích Ngọc

Ngày duyệt đăng: 14/7/2025