Phát triển công cụ RiceGS-AI xử lý hình ảnh tự động xác định kích thước và hình dạng hạt lúa

Châu Thanh Nhã, Huỳnh Kỳ*
Trường Nông nghiệp, Đại học Cần Thơ

Developing the RiceGS-AI tool for automated image processing to determine the size and shape of rice grains

Chau Thanh Nha, Huynh Ky*
College of Agriculture, Can Tho University
**Corresponding author: hky@ctu.edu.vn*

https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.6.2026.003-012

Thông tin chung:
Ngày nhận bài: 23/03/2026
Ngày phản biện: 27/04/2026
Ngày quyết định đăng: 26/05/2026

Từ khóa:
Chiều dài hạt lúa, chiều rộng hạt lúa, RiceGS-AI, thị giác máy tính.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu xây dựng quy trình tự động hóa việc xác định các tính trạng liên quan đến kích thước hạt lúa để thay thế phương pháp đo đạc thủ công vốn tiêu tốn nhiều thời gian và dễ gây sai số. Nghiên cứu đã phát triển một công cụ xử lý ảnh từ camera điện thoại dựa trên ngôn ngữ lập trình Python và thư viện OpenCV, kết hợp các thuật toán phân ngưỡng Otsu và phân đoạn Watershed để tách lọc hạt lúa từ nền ảnh màu đen. Một đồng xu đối chứng được sử dụng trong mỗi khung hình để quy đổi kích thước từ đơn vị pixel sang mm. Kết quả thu được trên các nhóm giống/dòng lúa có kích thước khác nhau cho thấy phương pháp có độ chính xác cao nhất ở tính trạng chiều rộng hạt (R^2 = 0,83) và phân loại hình dạng hạt (R^2 = 0,8). Sai số tuyệt đối trung bình (MAE) đối với chiều dài hạt đạt mức thấp (1,08 mm), cho thấy độ tin cậy của thuật toán. Tuy nhiên, vẫn còn hạn chế đối với các giống/dòng lúa có râu dài như lúa cỏ hoặc vỏ trấu bị lem như Pokkali. Nghiên cứu đã chứng minh tiềm năng ứng dụng trong việc số hóa dữ liệu kiểu hình. Kết quả sẽ đóng góp một công cụ đánh giá hữu hiệu cho công tác chọn tạo giống/dòng lúa, giúp tăng năng suất, đảm bảo tính khách quan trong phân tích dữ liệu quy mô lớn, đặc biệt theo xu hướng chuyển đổi số trong lĩnh vực khoa học nông nghiệp hiện nay.

Keywords:
Computer vision, RiceGS-AI, rice grain length, rice grain width.

ABSTRACT

The goal of the study was to develop an automated process for identifying characteristics associated with rice grain size to replace laborious and subjectively prone to error evaluation techniques. This study developed an image processing system using a smartphone camera, built on the Python programming language and the OpenCV library. It separated rice grain elements from a black background by using Otsu's thresholding and Watershed segmentation techniques. Each image's dimensions were converted from pixels to millimeters (mm) using a reference coin. The method attained the maximum accuracy for the grain width trait (R^2 = 0.83) and grain shape classification (R^2 = 0.8), according to data across different rice varieties/lines with variable sizes. The algorithm's dependability was confirmed by the low Mean Absolute Error (MAE) of 1.08 mm for grain length. The study indicates tremendous potential for use in digitalizing phenotypic data, even though there are still restrictions for rice varieties with long awns (weedy rice) or discolored husks (Pokkali). These findings will provide rice breeding programs with a useful tool that improves evaluation throughput and guarantees impartiality in large-scale data analysis. They are especially in line with the scientific trends of digital transformation in agriculture.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lúa gạo là cây lương thực thiết yếu, nuôi sống hơn một nửa dân số thế giới. Năng suất lúa được quyết định bởi ba yếu tố chính, trong đó trọng lượng hạt có mối tương quan thuận với kích thước hạt [1]. Hình dạng hạt (chiều dài, rộng, độ dày) không chỉ ảnh hưởng đến năng suất, mà còn là tiêu chí then chốt quyết định hiệu suất xay xát, giá trị thương mại và chất lượng cảm quan của cơm nấu chín [2]. Hiện nay, việc đánh giá kích thước hạt vẫn chủ yếu dựa trên các phương pháp thủ công như sử dụng thước kẹp hoặc quan sát bằng mắt thường. Tuy nhiên, các phương pháp này thường tốn nhiều thời gian, sức lao động và mang tính chủ quan cao [3]. Dù các tính trạng liên quan đến hạt lúa có thể được thực hiện bằng phương pháp truyền thống, nhưng lại không phản ánh được sự biến thiên và độ đồng đều trong cùng một mẫu lớn [4]. Các công nghệ như hệ thống tính trạng hóa trên hạt đơn (SKCS) chi tiết hơn, nhưng lại có hiệu suất thấp và gây phá hủy mẫu [5].

Thông thường, người đánh giá sẽ thực hiện việc kiểm tra bằng mắt thường để xác định chiều dài và chiều rộng của hạt lúa/gạo bằng thước kẻ hoặc thước kẹp điện tử để đo các kích thước này. Việc đo lường chính xác kích thước hạt lúa/gạo rất hữu ích trong việc xác định chất lượng và giá thành của chúng. Tuy nhiên, các phương pháp đo chiều dài và chiều rộng truyền thống thường tốn thời gian và dễ xảy ra sai sót. Hơn nữa, kết quả đo kích thước trên cùng một mẫu gạo giữa các người đánh giá khác nhau có thể không đồng nhất, do bị ảnh hưởng bởi áp lực công việc, thị lực, thời tiết và điều kiện ánh sáng [5]. Do đó, việc phát triển một phương pháp đo lường kích thước hạt lúa tự động, nhanh chóng và chính xác là nhu cầu cấp thiết hiện nay. Công nghệ xử lý hình ảnh kỹ thuật số nổi lên như một giải pháp hứa hẹn nhằm tự động hóa quy trình, tăng hiệu suất và loại bỏ sai số do con người. Các nhà nghiên cứu đã áp dụng nhiều kỹ thuật xử lý ảnh khác nhau để đo kích thước hạt gạo nhằm cải thiện hiệu quả và độ chính xác. Tuy nhiên, các phương pháp này thường cho ra kết quả khác nhau dưới các điều kiện môi trường khác nhau, chẳng hạn như nền ảnh và điều kiện ánh sáng.

Do đó, nghiên cứu này hướng đến mục tiêu xây dựng và tối ưu hóa công cụ dự đoán tính trạng hình thái hạt lúa tự động dựa trên nền tảng hình ảnh, nhằm thay thế các phương pháp đo đạc thủ công truyền thống, đảm bảo tính khách quan và độ chính xác cao trong các điều kiện thu nhận ảnh được chuẩn hóa.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Thí nghiệm được tiến hành trên 8 giống/dòng lúa với đặc điểm hình thái hạt đa dạng từ hạt ngắn đến hạt dài (Bảng 1). Trong đó, nhóm hạt dài như TNN91, ST25, IR64, Lúa tím 1 và Lúa cỏ. Nhóm hạt trung bình bao gồm N22 và Pokkali, trong khi giống DS1 thuộc nhóm hạt ngắn. Nguồn gốc của các giống/dòng này chủ yếu được cung cấp bởi Ngân hàng gen lúa, Khoa Nông nghiệp - Đại học Cần Thơ (CoA-CTU) và Viện Nghiên cứu Lúa Quốc tế (IRRI), thể hiện tính đa dạng và độ tin cậy cho quá trình nghiên cứu.

Bảng 1. Danh sách 8 giống/dòng lúa khác nhau được sử dụng trong thí nghiệm này

TT	Giống/dòng	Phân loại	Nguồn
1	TNN91	Hạt dài	CoA-CTU
2	ST25	Hạt dài	CoA-CTU
3	IR64	Hạt dài	IRRI
4	Lúa tím 1	Hạt dài, màu xám đen	CoA-CTU
5	N22	Hạt trung bình, có chấm đen cuối hạt	IRRI
6	Pokkali	Hạt trung bình, vỏ trấu lem	IRRI
7	DS1	Hạt ngắn	CoA-CTU
8	Lúa cỏ	Hạt dài, râu dài	TP. Cần Thơ

Ghi chú: CoA-CTU: Khoa Nông nghiệp - Đại học Cần Thơ; IRRI: Viện Nghiên cứu Lúa Quốc tế.

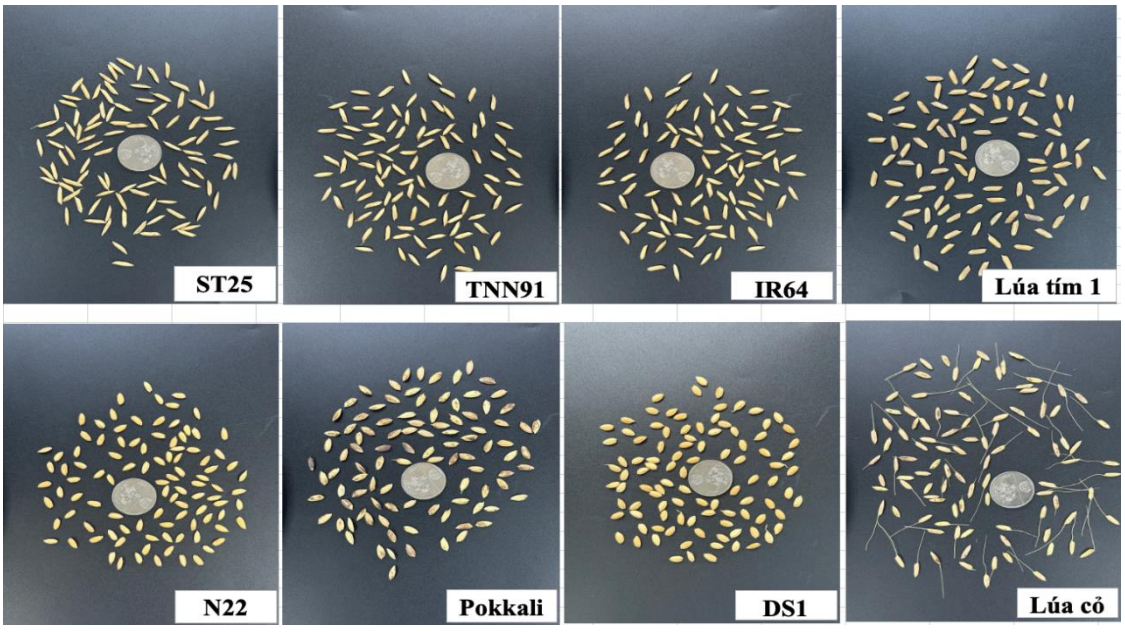
2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm

2.2.1. Đo lường kích thước và trọng lượng hạt gạo

Thí nghiệm đối chứng, mỗi giống/dòng lúa được xem là một mẫu sinh học độc lập. Sử dụng 100 hạt cho mỗi dòng/giống để xác định tổng số hạt (TSH). Chiều dài và chiều rộng hạt được đo bằng thước kẹp điện tử trên 10 hạt ngẫu nhiên (tương ứng 10 lần lặp lại). Giá trị đo thủ công trên 10 hạt đại diện được sử dụng làm chuẩn tham chiếu để đánh giá độ chính xác của thuật toán trên tổng số 100 hạt.

Thí nghiệm xử lý hình ảnh, để đảm bảo tính khách quan và đánh giá độ ổn định của thuật toán, mỗi mẫu 100 hạt này được thực hiện 10 lần lặp lại kỹ thuật. Sau mỗi lần chụp ảnh, vị trí của 100 hạt lúa và vật đối chứng được xáo trộn ngẫu nhiên trong khung hình. Mẫu 100 hạt được dàn trải trên nền giấy A4 màu đen (làm nền) cùng một vật đối chứng (đồng xu đường kính 24 mm) để làm cơ sở quy đổi kích thước (Hình 1). Hình ảnh được thu thập bằng hệ thống camera trên iPhone 14 Pro Max ở chế độ zoom quang học 2x (tiêu cự ≈48 mm) nhằm duy trì độ phân giải cao và hạn chế hiện tượng méo hình ở rìa ảnh.

Điều kiện chụp hình: Thiết bị được cố định trên giá đỡ chuyên dụng, cách bề mặt mẫu 20 cm và không sử dụng đèn flash để đảm bảo độ tương phản tối ưu giữa hạt lúa và nền (Hình 1). Bề mặt đặt mẫu hoàn toàn phẳng để đồng xu và hạt lúa có cùng khoảng cách đến ống kính, giảm thiểu sai số quy đổi. Mỗi mẫu được chụp 10 lần; sau mỗi lần chụp, vị trí các hạt được thay đổi, tách biệt ngẫu nhiên để tạo sự khác biệt trong dữ liệu. Dữ liệu hình ảnh được phân tích tự động bằng phần mềm xử lý chuyên dụng. Tỷ lệ kích thước hạt sau đó được phân loại dựa trên tiêu chuẩn SES của IRRI [6].



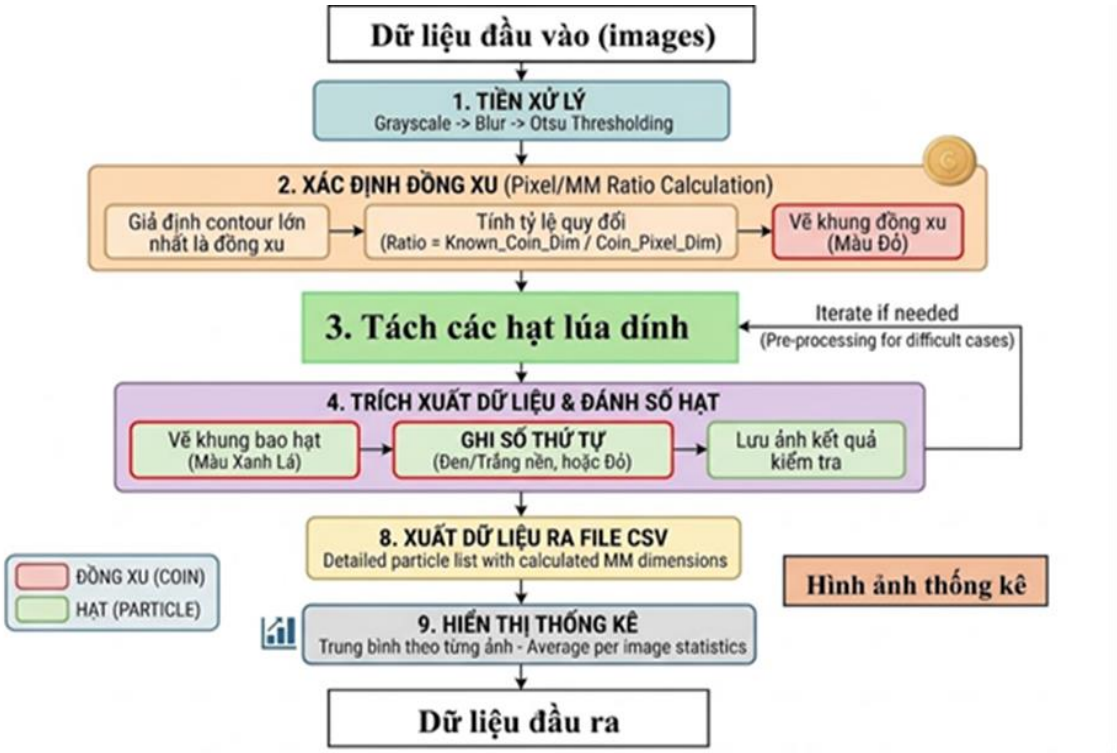
Hình 1. Danh sách hạt của 8 giống/dòng lúa được chụp từ camera điện thoại

2.2.2. Quy trình xử lý hình ảnh và phân tích dữ liệu tự động

Để đảm bảo độ tương phản tối ưu và giảm thiểu sai số đo lường, các hạt lúa được dàn trải đều trên bề mặt màu đen có độ phản xạ ánh sáng thấp [7]. Một vật chuẩn tham chiếu đồng xu với đường kính thực tế đã biết, được đặt trong cùng khung hình làm cơ sở để quy đổi

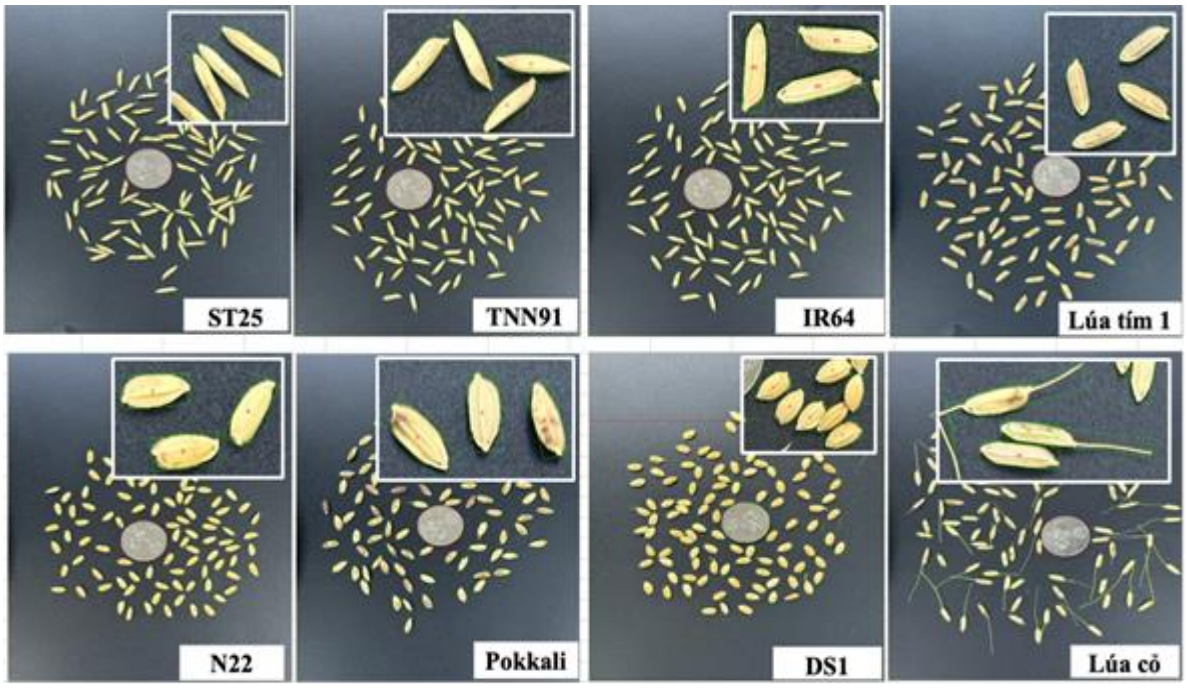
đơn vị từ pixel sang milimet (mm).

Toàn bộ quy trình thu thập, xử lý và trích xuất dữ liệu được thực hiện tự động trên nền tảng JupyterLab (Python 3.8) (https://www.python.org/) và dựa trên việc cải tiến phương pháp từ các nghiên cứu [8, 9] (Hình 2). Các thư viện chuyên dụng được tích hợp để tối ưu hóa từng giai đoạn của thuật toán như: sử dụng thư viện cv2 (OpenCV) kết hợp với các mảng cấu trúc từ numpy (import numpy as np) để thực hiện các thao tác tính toán ma trận hình ảnh. Ảnh màu (RGB) thu nhận từ iPhone 14 Pro Max được chuyển đổi sang hệ màu xám (cv2.cvtColor). Bộ lọc Gaussian Blur với kích cỡ 7 × 7 (cv2.GaussianBlur) được áp dụng để làm mịn và giảm nhiễu hạt. Thuật toán phân ngưỡng tự động Otsu (cv2.threshold) và thuật toán Watershed (cv2.watershed) được triển khai để tách biệt hoàn toàn các hạt lúa bị dính/chồng lấn nhau, xác định chính xác ranh giới từng hạt dựa trên các đường viền (cv2.findContours). Thư viện os (import os) được sử dụng để tự động hóa việc truy cập và quản lý danh mục tệp tin hình ảnh trong các thư mục lưu trữ. Thuật toán phân tích tự động hình thái hạt lúa được cung cấp thông qua liên hệ trực tiếp với nhóm tác giả.



Hình 2. Sơ đồ quy trình dự đoán kích thước hạt sử dụng đồng xu làm vật đối chứng qua xử lý hình ảnh

Sau khi tính toán kích thước (chiều dài, chiều rộng) dựa trên vật chuẩn tham chiếu (đồng xu), toàn bộ kết quả được cấu trúc hóa thành bảng dữ liệu thông qua thư viện pandas (import pandas as pd). Dữ liệu cuối cùng được xuất ra định dạng .csv để phục vụ cho các phân tích thống kê tiếp theo. Toàn bộ quy trình từ xử lý ảnh thô đến xuất báo cáo dữ liệu được thực hiện đồng nhất, đảm bảo tính khách quan và hạn chế tối đa sai số do thao tác thủ công (Hình 3).



Hình 3. Hình hạt của 8 giống/dòng lúa thu được sau khi được xử lý (output) được thêm khung nhận dạng và đánh số thứ tự đếm được

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả so sánh giữa xác định thực tế bằng đo thủ công và dự đoán bằng phương pháp xử lý hình ảnh trên 8 giống/dòng lúa khác nhau

Kết quả so sánh giữa số lượng hạt (TSH), chiều dài hạt (CDH), chiều rộng hạt (CRH) và tỷ lệ chiều dài/chiều rộng (DR) được xác định thực tế bằng đo thủ công (TC) và dự đoán bằng phương pháp xử lý hình ảnh (DI) trên 8 giống/dòng lúa khác nhau và đồng xu dùng làm cơ sở để quy đổi. Mỗi giá trị được biểu diễn dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn, dựa trên mẫu 100 hạt mỗi giống/dòng (Bảng 2). Kết quả cho thấy phương pháp dự đoán qua xử lý hình ảnh có khả năng đếm số lượng hạt tương đối chính xác, với sai số nhỏ (< 5 hạt) ở hầu hết các giống/dòng. Ngoại trừ, lúa cỏ có sai số cao hơn, do hình dạng hạt lúa có râu rất dài, dẫn đến dính nhiều hơn trong cùng khung hình. Thêm vào đó, vỏ trấu bị lem cũng gây nhiễu, dẫn đến ảnh hưởng đến kết quả nhận diện.

Về kích thước, chiều dài hạt lúa dự đoán (CDH_DI) thường gần với giá trị thực tế (CDH_TC), với sai số trung bình khoảng 0,2–0,5 mm ở các giống phổ biến như ST25 (≈11 mm), dài hạt điển hình của giống thơm chất lượng cao, IR64 (≈9–10 mm), phù hợp với giống có chiều dài trung bình đến dài, và thấp hơn ở các giống ngắn như N22 hoặc DS1 (≈7–8 mm). Chiều rộng (CRH) có sai số lớn hơn ở một số giống như: TNN91 sai lệch ≈0,42 mm, Lúa tím 1 ≈0,33 mm, dẫn đến tỷ lệ D/R (DR) bị ảnh hưởng, đặc biệt ở các giống có tỷ lệ cao ST25 (DR_TC ≈5,26, DR_DI ≈5,05) hoặc thấp hơn ở các giống tròn hơn như Pokkali (DR ≈0,25 mm). Nhìn chung, phương pháp xử lý hình ảnh sử dụng watershed và hiệu chuẩn bằng vật tham chiếu cho kết quả tin cậy ở các giống/dòng có dạng hạt đều, ít dính và hình dạng ổn định, với độ lệch trung bình chấp nhận được. Tuy nhiên, sai số tăng ở lúa cỏ và một số giống có hạt nhỏ hoặc dị dạng cho thấy cần cải thiện về tiền xử lý như: điều chỉnh ngưỡng distance transform hoặc lọc contour để nâng cao độ chính xác ở các điều kiện đa dạng các giống/dòng lúa.

Bảng 2. Tổng số hạt, chiều dài và chiều rộng (mm), tỷ lệ dài/rộng hạt lúa xác định thực tế (TC) và dự đoán theo phương pháp xử lý hình ảnh (DI)

TT	Giống/dòng	TSH_TC	TSH_DI	CDH_TC	CDH_DI	CRH_TC	CRH_DI	DR_TC	DR_DI
1	TNN91	100 ± 0,15	101,93 ± 0,83	10,33 ± 0,22	9,95 ± 0,14	3,28 ± 0,16	3,7 ± 0,19	3,24 ± 0,2	3,93 ± 0,18
2	ST25	100,1 ± 0,18	101,55 ± 0,37	11,09 ± 0,25	10,98 ± 0,13	2,19 ± 0,15	2,44 ± 0,16	5,26 ± 0,38	5,05 ± 0,15
3	IR64	99,9 ± 0,1	102,15 ± 0,87	9,44 ± 0,22	9,85 ± 0,21	2,55 ± 0,17	2,58 ± 0,21	4,44 ± 0,4	4,22 ± 0,15
4	Lúa tím 1	100,1 ± 0,1	101,07 ± 0,3	9,67 ± 0,14	10,16 ± 0,15	2,82 ± 0,13	3,15 ± 0,11	3,5 ± 0,18	3,32 ± 0,15
5	N22	100,2 ± 0,2	100,86 ± 0,23	7,3 ± 0,11	7,64 ± 0,17	2,51 ± 0,13	3,28 ± 0,2	2,97 ± 0,15	2,4 ± 0,11
6	Pokkali	99,9 ± 0,1	104,19 ± 0,89	8,13 ± 0,2	8,01 ± 0,19	3,41 ± 0,15	3,39 ± 0,19	2,41 ± 0,08	2,66 ± 0,15
7	DS1	100 ± 0,15	100 ± 0	7,06 ± 0,13	7,61 ± 0,16	3,82 ± 0,13	3,73 ± 0,17	1,86 ± 0,06	1,93 ± 0,13
8	Lúa cỏ	100,2 ± 0,25	110,64 ± 2,63	8,52 ± 0,34	12,47 ± 0,32	2,25 ± 0,14	2,95 ± 0,18	3,89 ± 0,23	4,35 ± 0,12

TC: Xác định thực tế; DI: Xử lý hình ảnh.

Bảng 3. Kích thước hạt lúa từ kết quả dự đoán TC vs DI được phân loại theo tiêu chuẩn SES, 2013

Giống/dòng	Trung bình tỷ lệ DR (TC vs DI)	Phân loại
TNN91	3,24 vs 3,93	Hạt dài
ST25	5,26 vs 5,05	Hạt dài
IR64	4,44 vs 4,22	Hạt dài
Lúa tím 1	3,5 vs 3,32	Hạt dài
N22	2,97 vs 2,4	Hạt trung bình
Pokkali	2,41 vs 2,66	Hạt trung bình
DS1	1,86 vs 1,93	Hạt ngắn
Lúa cỏ	3,89 vs 4,35	Hạt dài

3.2. Kết quả phân loại hình dạng hạt lúa dựa trên tỷ lệ chiều dài/chiều rộng (DR)

Kết quả phân loại hình dạng hạt lúa dựa trên tỷ lệ chiều dài/chiều rộng (DR) trung bình từ dữ liệu dự đoán của hai phương pháp theo tiêu chuẩn của IRRI (Bảng 3). Phân loại này dựa trên kết quả dự đoán từ xử lý hình ảnh sau khi quy đổi, phản ánh khá tốt đặc tính di truyền và hình dạng hạt của từng giống/dòng. Trong đó, đa số giống/dòng lúa thuộc loại hạt dài (DR trung bình > 3,0), bao gồm TNN91 (3,24 vs 3,93), ST25 (5,26 vs 5,05) tỷ lệ cao nhất, đặc trưng của giống lúa thơm chất lượng cao với hạt dài mảnh, IR64 (4,44 vs 4,22), lúa tím 1 (3,5 vs 3,32) và lúa cỏ (3,89 vs 4,35). Những giống/dòng này phù hợp với nhu cầu tiêu dùng phổ biến ở nhiều thị trường ưa chuộng hạt dài, ngoài trừ lúa cỏ. Ngược lại, N22 (2,97 vs 2,4) và Pokkali (2,41 vs 2,66) được phân loại là hạt trung bình với tỷ lệ DR nằm trong khoảng 2,1–3,0. Riêng DS1 có DR thấp nhất (1,86 vs 1,93), thuộc loại hạt ngắn, đặc trưng cho hạt tròn, dày, thuộc nhóm lúa *japonica*. Kết quả này cho thấy tính khả thi của phương pháp xử lý hình ảnh (DI) so với xác định thủ công (TC) trong việc phân loại tự động và nhanh chóng kích thước hạt của các giống/dòng lúa khác nhau.

3.3. Các chỉ số đánh giá độ chính xác và mức độ phù hợp của hai phương pháp

Dựa vào các chỉ số đánh giá độ chính xác và mức độ phù hợp của phương pháp xử lý hình ảnh (DI) so với đo lường thực tế (TC) thông qua các chỉ số thống kê ghi nhận trong Bảng 4. Phương pháp xử lý hình ảnh (OpenCV với Otsu + Watershed + hiệu chuẩn bằng vật tham chiếu) mang lại hiệu quả tốt trong việc đo kích thước (CRH) với R^2 = 0,83 và MAE = 0,65 mm; hình dạng hạt lúa (DR) với R^2 = 0,8 và MAE = 0,61, cho thấy độ chính xác cao. Đối với chiều dài hạt (CDH), ghi nhận có R^2 = 0,59 và MAE = 1,08 mm. Ghi nhận này có thể xuất phát từ việc một số hạt có râu dài, vỏ trấu lem, hạt chồng lấn, hoặc sai lệch trong việc xác định minAreaRect khi hạt nghiêng mạnh. Tuy nhiên, mức R^2 vẫn ở mức chấp nhận được cho phương pháp xử lý hình ảnh (DI).

Tổng số hạt (TSH) có R^2 = 0,11, cho thấy độ chính xác đếm TSH thấp nhất. Điều này đến từ chính lúa cỏ có râu rất dài và Pokkali có vỏ trấu bị lem gây ra nhiễu/sai lệch. Tuy nhiên, giá trị sai số MAE = 2,54 hạt (≈2,5%) là kết quả vẫn đạt được tin cậy đối với việc đếm hạt tự động (DI) so với đánh giá thực tế (TC). Các thuật toán cần cải thiện thêm ở các bước phân đoạn, điều chỉnh ngưỡng distance transform linh hoạt theo giống/dòng, thêm bộ lọc dựa trên hình dạng, hoặc kết hợp với mô hình học sâu (deep learning) cho quá trình dự đoán bằng hình ảnh đạt hiệu quả hơn.

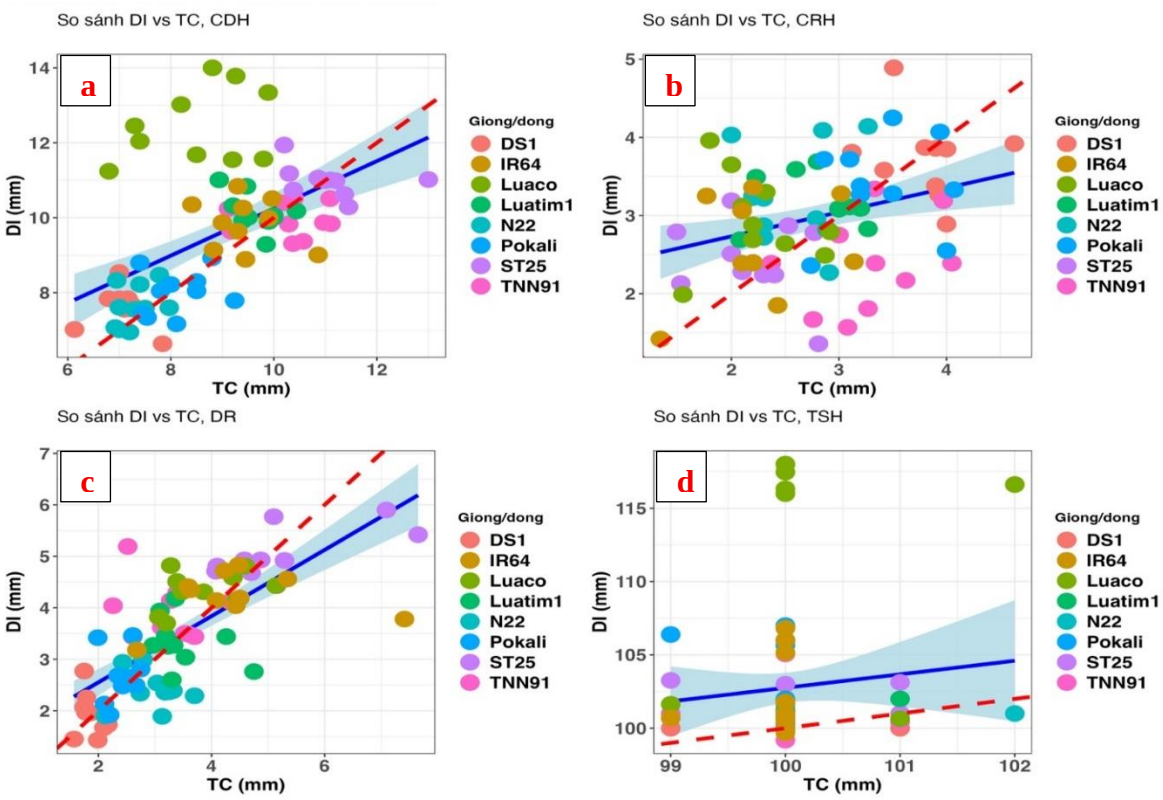
Bảng 4. Hệ số tương quan bình phương (R^2), sai số tuyệt đối trung bình (MAE) của phương pháp xử lý hình ảnh (DI) so với đo lường thực tế (TC)

Tính trạng	Trung bình tương quan (R^2)	Sai số tuyệt đối trung bình (MAE)	Mức độ thể hiện
CDH	0,59	± 1,08	Trung bình
CRH	0,83	± 0,65	Cao
DR	0,8	± 0,61	Cao
TSH	0,11	± 2,54	Thấp

3.4. Đánh giá độ chính xác của phương pháp phân tích hình ảnh kỹ thuật số (DI) so sánh trực tiếp giữa giá trị đo thực tế (TC) theo các tính trạng

Biểu đồ phân tán trong hình cho thấy sự so sánh giữa giá trị đo thực tế (TC) và giá trị dự đoán bằng phương pháp xử lý hình ảnh (DI) cho các tính trạng (TSH, CDH, CRH, DR) (Hình 4a, b, c, d) (Bảng 4). So sánh DI - TC cho CDH, các điểm phân bố khá gần nhau, cùng với xu hướng

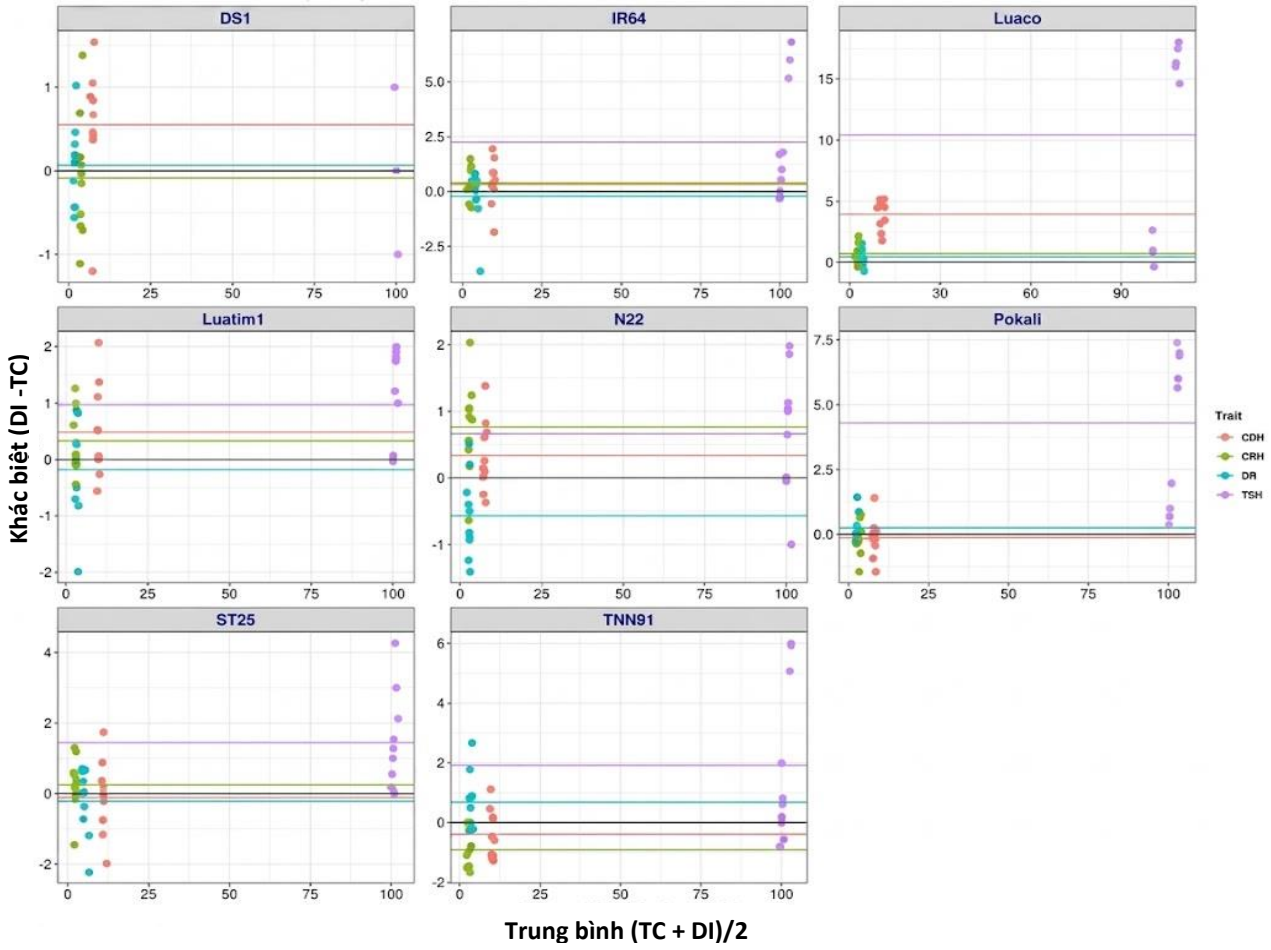
tuyến tính rõ rệt. Điều này cho thấy phương pháp DI dự đoán chiều dài hạt tương đối chính xác, dù có một số điểm lệch như ST25 hoặc IR64, nơi DI đôi khi đo ngắn hơn TC do ảnh hưởng của góc nghiêng hoặc phân đoạn. Kết quả phù hợp với R^2 = 0,59 và MAE = 1,08 mm, khẳng định độ tin cậy trung bình cho tính trạng này (Hình 4a). So sánh DI - TC cho CRH, các điểm nằm gần nhau hơn, với đường hồi quy có độ dốc cao và phân bố hẹp. Đây là tính trạng có độ phù hợp cao nhất (R^2 = 0,83; MAE = 0,65 mm), cho thấy thuật toán xử lý hình ảnh đo chiều rộng ổn định, ít bị ảnh hưởng bởi biến thiên góc chụp hoặc phân đoạn (Hình 4b). So sánh DI - TC cho DR thể hiện các điểm sát nằm sát nhau, đường hồi quy gần trùng đường tham chiếu, với phân bố tuyến tính rõ hơn. Kết quả này khẳng định độ chính xác cao trong dự đoán hình dạng hạt (R^2 = 0,8; MAE = 0,61), dù vẫn có sai số tích lũy từ CDH và CRH. Các giống/dòng hạt dài, thon như ST25 với DR cao ≈5–6 nằm ở vùng trên, trong khi DS1 thấp ≈1,9 nằm vùng dưới, phù hợp theo phân loại của IRRI: hạt dài (>3,0), hạt trung bình (2,1–3,0), hạt ngắn (1,1–2,0) (Hình 4c). So sánh DI - TC cho TSH, các điểm phân bố rộng, nhiều điểm lệch khỏi đường chuẩn, đặc biệt Pokkali và lúa cỏ, nơi DI thường đếm cao hơn, đường hồi quy có độ dốc thấp nhưng vẫn nằm khoảng tin cậy. Điều này nói lên tương quan yếu (R^2 = 0,11, MAE = 2,54 hạt), chủ yếu do phân tách dư thừa ở hạt lúa có râu ngắn/dài hoặc dư thừa xuất hiện ở hạt bị nhiễu nền do vỏ trấu bị lem (Hình 4d). Nghiên cứu vẫn còn trở ngại đối với các dòng lúa có đặc điểm hình thái phức tạp như râu dài hoặc vỏ trấu biến dạng màu sắc do bệnh lý (lem lép hạt). Ngoài ra, độ chính xác còn phụ thuộc vào điều kiện ánh sáng và việc sắp xếp mẫu thủ công để tránh chồng lấn hạt hoàn toàn.



Hình 4. Biểu đồ phân tán thể hiện sự so sánh giữa giá trị đo thực tế (TC) và giá trị dự đoán bằng phương pháp xử lý hình ảnh (DI) cho các tính trạng

3.5. Đánh giá độ chính xác của phương pháp phân tích hình ảnh kỹ thuật số (DI) so sánh trực tiếp giữa giá trị đo thực tế (TC) theo giống/dòng

Biểu đồ Bland-Altman cho thấy chi tiết mức độ đồng nhất giữa phương pháp đo thực tế (TC) và dự đoán qua hình ảnh (DI) trên 8 giống/dòng lúa (Hình 5). Đối với tính trạng CDH, CRH, DR, các giống DS1, IR64, ST25 nằm gần sát đường tham chiếu, cho thấy sai số công cụ thấp và tính ổn định cao của thuật toán đối với các hạt có hình thái chuẩn. Tính trạng TSH, sai số lớn nhất ghi nhận rõ rệt ở nhóm lúa cỏ, với các điểm dữ liệu TSH (màu tím) nằm cách xa đường trung bình. Điều này cho thấy râu lúa dài gây biến động (nhiễu) nghiêm trọng cho thuật toán phân đoạn Watershed, dẫn đến hiện tượng đếm thừa do các râu dính nhau được nhận diện thành các đối tượng riêng biệt. Tuy nhiên, đối với giống Pokkali, dù có vỏ trấu lem màu, nhưng các chỉ số về chiều dài và chiều rộng vẫn duy trì được mức sai số chấp nhận được, cho thấy bộ lọc Gaussian và ngưỡng Otsu đã hoạt động tương đối hiệu quả trong việc loại bỏ nhiễu bề mặt hạt. Nghiên cứu cũng đã chứng minh tính khả thi ứng dụng của công cụ RiceGS-AI trong điều kiện dùng hình ảnh để đánh giá. Tuy nhiên, một số hạn chế của nghiên cứu cũng được ghi nhận như: (1) độ chính xác phụ thuộc vào cấu hình phần cứng cụ thể và điều kiện ánh sáng không flash; (2) thuật toán xử lý ảnh chưa xử lý triệt để các trường hợp hạt lúa có hình thái phức tạp như râu dài (lúa cỏ) hoặc biến dạng bề mặt (Pokkali). Các nghiên cứu tiếp theo sẽ tập trung vào việc mở rộng tập dữ liệu trên nhiều dòng điện thoại khác nhau, camera, và tích hợp mô hình học sâu để nâng cao khả năng thích ứng của công cụ.



Hình 5. Biểu đồ Bland-Altman thể hiện sự đồng nhất giữa phương pháp đo thực tế (TC) và giá trị dự đoán bằng xử lý hình ảnh (DI) cho 8 giống/dòng lúa

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng thành công quy trình xử lý ảnh tự động (DI) để dự đoán các tính trạng hạt lúa. Công cụ RiceGS-AI đã tự động hóa thành công việc đo lường với độ chính xác về chiều rộng và hình dạng hạt ($R^2 \geq 0,80$). Mặc dù, vẫn còn một vài hạn chế ở việc đếm các giống/dòng lúa có râu dài hoặc màu vỏ trấu không đồng nhất. Qua nghiên cứu cho thấy phương pháp này hoàn toàn có thể thay thế phương pháp thủ công (TC) trong công tác chọn tạo giống khởi đầu với lượng mẫu lớn, giúp tiết kiệm thời gian, sức lao động và tăng tính khách quan trong tương lai. Đặc biệt, nghiên cứu là bước cơ sở để thu thập bộ dữ liệu chuẩn, phục vụ cho việc huấn luyện các mô hình học sâu trong tương lai để giải quyết các vấn đề hạt có râu, lem lép hạt hoặc hạt dính nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Zuo J & Li J (2014). Molecular genetic dissection of quantitative trait loci regulating rice grain size. Annu. Rev. Genet. 48: 99-118. DOI: 10.1146/annurev-genet-120213-092138.

[2]. Ren D.Y, Ding C.Q & Qian Q (2023). Molecular bases of rice grain size and quality for optimized productivity. Sci. Bull. 68: 314-350.

[3]. Ramya P, Chaubal A, Kulkarni K, Gupta L, Kadoo N, Dhaliwal H. S & Gupt V (2010). QTL mapping of 1000-kernel weight, kernel length, and kernel width in bread wheat (Triticum aestivum L.). Journal of Applied Genetics. 51(4): 421-429. DOI:10.1007/bf03208872.

[4]. Yabe S, Yoshida H, Kajiya-Kanegae H, Yamasaki M, Iwata H, Ebana K & Nakagawa H (2018). Description of grain weight distribution leading to genomic selection for grain-filling characteristics in rice. Plos One. 13(11): e0207627. DOI:10.1371/journal.pone.0207627.

[5]. Martin C. R, Rousser R & Brabec D. L (1993). Development of a single-kernel wheat characterization system. Transactions of the ASAE. 36(5): 1399-1404. DOI: 10.13031/2013.28477.

[6]. Standard Evaluation System for Rice (SES) (2013). International Rice Research Institute (IRRI). http://www.knowledgebank.irri.org/images/docs/rice-standard-evaluation-system.pdf

[7]. Liu ZY, Cheng F, Ying YB & Rao XQ (2005). Identification of rice seed varieties using neural network. J Zhejiang Univ Sci B. 6(11): 1095-100. DOI: 10.1631/jzus.2005.B1095.

[8]. Singh S. K, Vidyarthi S. K & Tiwari R (2020). Machine learnt image processing to predict weight and size of rice kernels. Journal of Food Engineering. 274: 109828. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109828.

[9]. Tyagi A, Motwani D, Dabhi V & Prajapati H (2025). Rice Grain Size Measurement using Image Processing. arXiv preprint arXiv:2503.03214. Accepted for the 1st International Conference on AIML-Applications for Engineering & Technology (IEEE ICAET-2025).