

SỰ PHÁT TRIỂN CỦA BỘ RỄ NGÔ TRONG ĐIỀU KIỆN THIẾU HỤT OXY VÀ NGẬP ÚNG

Nguyễn Văn Lộc*, Phạm Quang Tuấn, Nguyễn Việt Long

Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

*Tác giả liên hệ: nvloc@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 27.12.2018

Ngày chấp nhận đăng: 21.03.2019

TÓM TẮT

Ngập úng là một trong những yếu tố giới hạn năng suất và sản lượng cây ngô ở các vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa châu Á cũng như trên thế giới. Nghiên cứu này được tiến hành để đánh giá sự biến đổi cấu trúc bộ rễ ngô trong điều kiện thiếu hụt oxy vùng rễ. Đặc điểm bộ rễ của 30 dòng ngô thuần được kiểm tra trong môi trường có xử lý thiếu hụt oxy vùng rễ bằng dung dịch agar 0,1%. Sự phát triển của bộ rễ bao gồm các chỉ tiêu về chiều dài (RLD), diện tích bề mặt (RSAD) và thể tích bộ rễ (RVD) được đánh giá trước và sau xử lý thí nghiệm bằng hệ thống phân tích rễ WinRHIZO. Dựa trên kết quả thử nghiệm của 30 dòng ngô trong điều kiện thiếu hụt oxy vùng rễ, 15 dòng ngô được chọn lọc để kiểm tra trong điều kiện ngập úng. Kết quả thí nghiệm chỉ ra rằng sự phát triển của bộ rễ các dòng ngô khác nhau trong môi trường thiếu hụt oxy vùng rễ và điều kiện ngập úng có tương quan chặt chẽ với nhau. Chín dòng ngô ưu tú có khả năng chống chịu tốt trong điều kiện thiếu hụt oxy và ngập úng đã được chọn lọc. Kết quả trong nghiên cứu này là cơ sở quan trọng để hiểu rõ cơ chế chống chịu ngập ở cây ngô. Đồng thời, chín dòng ngô chịu ngập úng có thể được đưa vào các chương trình chọn tạo giống ngô lai để cải thiện tính chịu ngập và tạo giống ngô chịu ngập úng.

Từ khóa: Ngập úng, thiếu hụt oxy, rễ, ngô.

Maize Root Development under Hypoxia and Waterlogging Conditions

ABSTRACT

Waterlogging is a major environmental stress limiting maize yield in the monsoonal areas of Asia, as well as in other parts of the world. The objective of this study was to evaluate the phenotypic variation in root development under hypoxia condition at the seedling stage of diverse maize inbred lines in 0.1% agar-hydroponic culture. The root length (RLD), root surface area (RSAD) and root volume (RVD) under hypoxia were investigated by means of WinRHIZO analysis before and after the treatment. Based on the evaluation results of 30 lines under hypoxia, root development of 15 selected lines was also evaluated in soil culture. Significant phenotypic variation in hypoxia tolerance in roots was observed among studied maize lines. Root development in hydroponic and soil culture was significantly correlated. The results suggested that nine potential lines (VNT2, VNT3, VNT7, VNT9, VNT12, VNT13, VNT14, VNT24 và VNT25) had a high ability to develop roots under hypoxia. These results provide insights into the mechanisms of waterlogging adaptation and the hypoxia tolerant materials can be used to improve the waterlogging tolerance of modern maize cultivars at the seedling stage.

Keywords: Waterlogging, hypoxia, root development, maize.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngô là một trong những cây ngũ cốc quan trọng bậc nhất trên thế giới. Cây ngô được canh tác ở nhiều vùng sinh thái khác nhau. Chính vì vậy, ngô cũng là cây trồng chịu tác động lớn của các yếu tố ngoại cảnh bất thuận trong đó có sự dư thừa độ ẩm (Min *et al.*, 2014). Ở vùng Đông Nam Á, khoảng 15% diện tích trồng ngô thường

xuân bị ảnh hưởng bởi điều kiện đất quá thừa ẩm hay đất úng ngập (Rathore *et al.*, 1997). Mức độ ảnh hưởng của ngập úng lên cây ngô khác nhau tùy vào từng giai đoạn sinh trưởng, phát triển. Trong đó, ngập úng ở giai đoạn đầu ảnh hưởng nghiêm trọng đối với sinh trưởng phát triển và năng suất của cây ngô hơn các giai đoạn sau (Meyer *et al.*, 1987; Kanwar *et al.*, 1988; Mukhtar *et al.*, 1990; Lizaso & Ritchie,

1997). Nguyên nhân chủ yếu là ở giai đoạn này (khi cây có 3-4 lá thật), bộ rễ đột bắt đầu phát triển và rất mẫn cảm với điều kiện thiếu oxy do ngập úng gây ra.

Ở Việt Nam, diện tích trồng ngô có khả năng mở rộng được trên các chân đất sau hai vụ lúa (vụ Đông trong cơ cấu luân canh 3 vụ ở đồng bằng Bắc Bộ). Tuy nhiên, các yếu tố khí hậu và đất đai trong đó có ngập úng ở giai đoạn đầu vụ (do mưa lớn và độ ẩm dư thừa sau khi thu hoạch lúa) gây ảnh hưởng đến sức sống và tỉ lệ sống của cây ngô là nguyên nhân gây giảm năng suất nghiêm trọng.

Thiếu hụt oxy vùng rễ được xác định là yếu tố gây hại chính trong môi trường đất ngập nước. Nguyên nhân là do sự hòa tan của oxy giảm 10^4 lần trong điều kiện ngập nước so với điều kiện thông thường (Armstrong, 1980; Armstrong & Drew, 2002). Lượng oxy giảm nhanh trong đất ngập nước do được sử dụng trong quá trình hô hấp của cây trồng và của vi sinh vật. Sự thiếu hụt oxy ở vùng rễ gây ra hiện tượng hô hấp yếm khí ở trong các tế bào (Drew, 1983; Perata & Alpi, 1993). Điều này làm giảm sự phát triển của bộ rễ (Bacanamwo & Purcell, 1999; Miura *et al.*, 2015; Shimamura *et al.*, 2003; 2010; Thomas *et al.*, 2005). Sự sinh trưởng của bộ rễ liên quan đến các bộ phận trên mặt đất. Do đó, đánh giá đặc điểm phát triển của bộ rễ trong điều kiện thiếu hụt oxy hoặc ngập úng là cơ sở quan trọng để chọn lọc ra các dòng ngô có khả năng chịu úng.

Hiện nay trên thế giới, nghiên cứu tính chịu ngập của cây ngô chưa có nhiều công bố, đặc biệt là các công bố về sự phát triển của bộ rễ cây ngô liên quan đến điều kiện thiếu hụt oxy do ngập úng gây ra. Nghiên cứu trước đây của chúng tôi (Nguyễn Văn Lộc và cs., 2014; 2015) chỉ ra rằng phản ứng chịu ngập của một số dòng ngô là khác nhau. Kết quả nghiên cứu đã chọn lọc được một số dòng ngô chống chịu ngập tốt và có ưu thế lai cao. Tuy nhiên, những nghiên cứu này chưa đi sâu giải thích cơ chế chịu úng của cây ngô, đặc biệt là cơ chế sự phát triển của bộ rễ. Vì vậy, nghiên cứu này được tiến hành để làm rõ các vấn đề còn hạn chế góp phần quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo và công tác chọn tạo giống chống chịu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thí nghiệm 1: Nghiên cứu sự biến đổi cấu trúc bộ rễ của tập đoàn dòng ngô thuần trong điều kiện thiếu hụt oxy ở vùng rễ

Thí nghiệm được tiến hành với 30 dòng ngô thuần có đời tự thụ S_8 , ký hiệu VNT₁-VNT₃₀. Phương pháp xử lý thiếu hụt oxy được tiến hành theo các nguyên cứu trước đây đã công bố (Wiengweera *et al.*, 1997; Shimamura *et al.*, 2010; Jutsuyama, 2015; Nguyen *et al.*, 2017; Suematsu *et al.*, 2017). Hạt giống được xử lý cồn 90% trong vòng 1 phút. Sau đó hạt được ngâm 8 giờ trong nước cất và được ủ trong tủ định ôn 30°C. Hạt đã nảy mầm được trồng trên tấm xốp bọt biển (7 mm) được cố định bởi các cục bông mềm. Mỗi tấm bọt xốp được thiết kế 8 hàng với 80 lỗ trồng cây (10 lỗ/hàng), sau đó đặt nổi trên một thùng hình chữ nhật kích thước (400 mm × 600 mm × 400 mm), bên trong chứa nước cất có sục khí bằng hệ thống máy bơm khí (Hình 1).

Thí nghiệm được tiến hành trong nhà lưới có mái che trong 4 ngày. Sau 6 ngày gieo trồng, thí nghiệm về thiếu hụt oxy vùng rễ được tiến hành trong vòng 7 ngày. Công thức đối chứng được duy trì nồng độ oxy trong nước cất >7,0 mg/L bằng hệ thống máy bơm khí Sobo 108 với công suất 3 W, tốc độ bơm khí 3,0 L/giờ (Hình 2). Công thức xử lý được tiến hành bằng cách sử dụng dung dịch agar 0,1% duy trì nồng độ oxy hòa tan <1,0 mg/L do sự khuếch tán kém của oxy trong môi trường agar 0,1% (Hình 2). Thí nghiệm được thiết kế theo khối ngẫu nhiên đầy đủ với 10 lần lặp lại (mỗi lần lặp là 1 cây).

2.2. Thí nghiệm 2: Nghiên cứu ảnh hưởng của xử lý ngập đến sinh trưởng phát triển của một số dòng ngô thuần

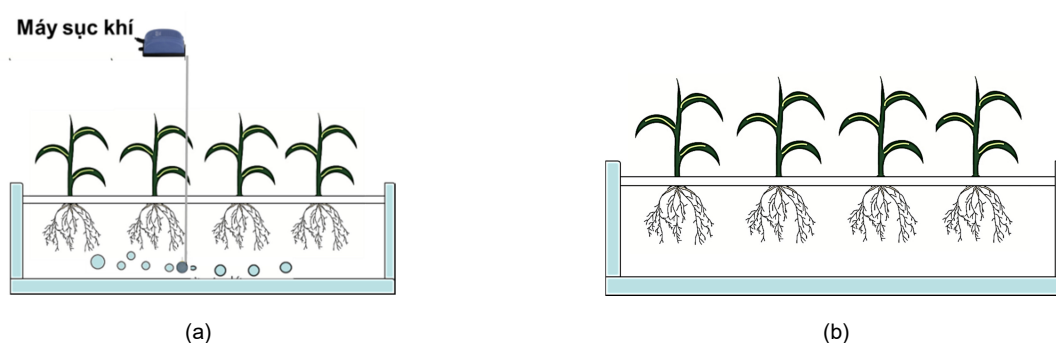
Dựa trên kết quả thí nghiệm 1, 15 dòng ngô được chọn lọc bao gồm VNT1, VNT2, VNT3, VNT4, VNT6, VNT7, VNT8, VNT9, VNT10, VNT11, VNT14, VNT23, VNT26, VNT27 và VNT29. Thí nghiệm được tiến hành trong điều kiện nhà kính. Các điều kiện xử lý ban đầu được tiến hành như thí nghiệm 1. Hạt giống ở các mẫu dòng khác nhau được gieo trong cốc thí nghiệm (đường kính đáy 51 mm; đường kính miệng 72

mm; chiều cao 116 mm). Các cốc này được đặt trong một khay nhựa lớn (924 mm × 610 mm × 200 mm) có mực nước 2 cm so với mặt đáy. Sau 4 ngày gieo trồng, ở mỗi cốc sẽ được tỉa chọn 1 cây. Sau 6 ngày gieo trồng, các mẫu dòng ngô sẽ được chia làm 2 và tiến hành xử lý ngập. Ở công thức

đối chứng, dòng ngô sẽ được duy trì 2 cm nước ở đáy khay nhựa, ở công thức xử lý ngập thì được xử lý bằng cách duy trì mực nước 2 cm so với bề mặt của cốc thí nghiệm (Hình 3). Thí nghiệm được tiến hành với 6 lần lặp lại, mỗi lần lặp lại là 6 cây được gieo trên một khay thí nghiệm.



Hình 1. Hệ thống bố trí thí nghiệm thiếu hụt oxy vùng rễ



Hình 2. Mô tả phương pháp xử lý oxy vùng rễ, công thức đối chứng cung cấp đầy đủ oxy vùng rễ (a) và công thức xử lý thiếu hụt oxy vùng rễ bằng dung dịch agar 0,1% (b)



Hình 3. Phương pháp xử lý ngập

2.3. Các chỉ tiêu theo dõi

Các chỉ tiêu hình thái bộ rễ được xác định ở hai thời điểm trước và sau xử lý thí nghiệm. Bộ rễ của từng cây riêng biệt được quét máy scanner GTX-970, Epson, Nagano, Japan (Hình 4), sau đó được xử lý bằng phần mềm WinRhizo (Regent Instruments, Inc., Quebec, Canada). Tổng chiều dài của bộ rễ (RL) được xác định trong nghiên cứu này. Hệ thống bộ rễ được 10 phân nhóm theo đường kính (ϕ , mm) bao gồm các nhóm sau: $0 < \phi \leq 0,5$, $0,5 < \phi \leq 1,0$, $1,0 < \phi \leq 1,5$, $1,5 < \phi \leq 2,0$, $2,0 < \phi \leq 2,5$, $2,5 < \phi \leq 3,0$, $3,0 < \phi \leq 3,5$, $3,5 < \phi \leq 4,0$, $4,0 < \phi \leq 4,5$, $\phi > 4,5$, đường kính trung bình của rễ (RD) được xác định bằng giá trị trung bình đường kính rễ ở các phân nhóm. Diện tích bề mặt của bộ rễ (RSA) và thể tích (RV) được tính toán dựa vào chỉ tiêu chiều dài và đường kính trung bình của bộ rễ. Sự phát triển chiều dài bộ rễ (RLD), diện tích bề mặt bộ rễ (RSAD) và thể tích bộ rễ (RVD) được đo đếm bằng giá trị chênh lệch của từng chỉ tiêu trước và sau xử lý thí nghiệm. Các bộ phận thân và rễ được tách riêng và sấy ở nhiệt độ 80°C đến khối lượng không đổi để tính toán các giá trị chất khô. Chỉ số chịu thiếu hụt oxy (HTI) và chỉ số chịu ngập (FTI) được xác định theo từng chỉ tiêu theo dõi, là tỷ lệ giữa giá trị của cùng một chỉ tiêu ở công thức xử lý thí nghiệm (thiếu hụt oxy và ngập) so với nó ở công thức đối chứng.

2.4. Phân tích thống kê

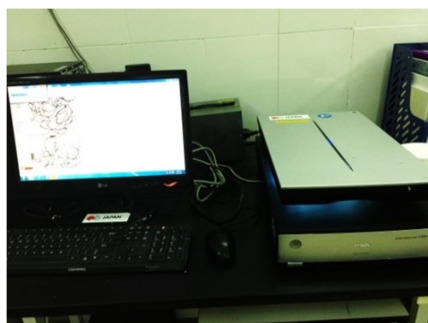
Dữ liệu được tổng hợp phân tích phương sai hai nhân tố để so sánh các giá trị trung bình dựa trên giá trị LSD của các chỉ tiêu theo dõi ở các công thức xử lý và các dòng ngô thí nghiệm. Hệ số tương quan (Pearson's r) được tính toán cho một số chỉ tiêu ở thí nghiệm 1 và thí nghiệm

2 như tương quan về chỉ số thiếu hụt oxy của chiều dài rễ và khối lượng thân; chỉ số chống chịu thiếu hụt oxy và chỉ số chịu ngập của chiều dài bộ rễ ở hai thí nghiệm. Phần mềm Systat.ver 13 được sử dụng trong các phân tích thống kê trong nghiên cứu này.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của thiếu hụt oxy vùng rễ đến cấu trúc bộ rễ và chất khô tích lũy của một số dòng ngô thuần

Các dòng ngô khác nhau và các công thức xử lý khác nhau ảnh hưởng rõ rệt đến đặc điểm phát triển của bộ rễ. Các chỉ tiêu về chiều dài, diện tích bề mặt và thể tích của bộ rễ giảm trong điều kiện thiếu hụt oxy vùng rễ (Hình 5). RLD công thức đối chứng là 237,0 cm trong khi đó giá trị này chỉ đạt 175,53 cm trong điều kiện thiếu hụt oxy (thiếu hụt oxy đã làm giảm 25% RLD). Tương tự, giá trị diện tích bề mặt và thể tích bộ rễ bị giảm lần lượt là 21 và 20% (Bảng 1, Bảng 2), trong khi đó, đường kính trung bình của rễ có xu hướng tăng trong điều kiện thiếu hụt oxy vùng rễ (tăng 14%). Kết quả này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đây trên cây trồng cạn (Nguyen *et al.*, 2017; Suematsu *et al.*, 2017). Sau 7 ngày xử lý thiếu hụt oxy vùng rễ, khối lượng rễ, thân và tổng khối lượng thân rễ giảm lần lượt là 20, 19,85 và 19,9% so với công thức đối chứng (Bảng 3). Chín dòng ngô chống chịu tốt bao gồm VNT2, VNT3, VNT7, VNT9, VNT12, VNT13, VNT14, VNT24 và VNT25 có chỉ số HTI về sự phát triển về chiều dài bộ rễ $>0,9$ và 2 dòng bao gồm VNT10 và VNT16 (có chỉ số HTI về chiều dài bộ rễ chỉ đạt lần lượt là 0,3 và 0,19).



Hình 4. Hệ thống WinRhizo phân tích các chỉ tiêu hình thái bộ rễ

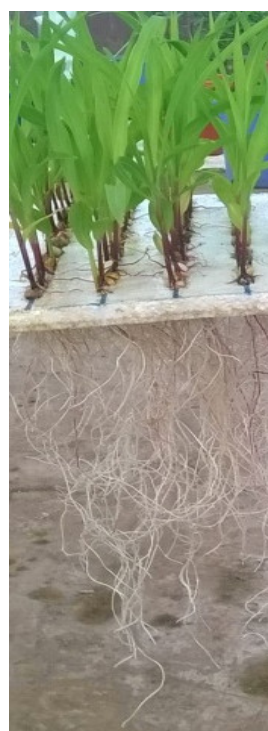
Bảng 1. Kết quả phân tích thống kê và phương sai của các chỉ tiêu nghiên cứu trong thí nghiệm 1

Chỉ tiêu	Công thức	Trung bình $\pm$ SD	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất	Sự sai khác có ý nghĩa		
					Dòng ngô (D)	Xử lý thiếu hụt oxy (XL)	D x XL
RLD (cm)	Đối chứng	237,00 $\pm$ 60,19	127,28	343,01	**	**	**
	Xử lý	175,53 $\pm$ 59,98	59,12	283,97			
RSAD (cm ²)	Đối chứng	40,10 $\pm$ 9,11	23,52	62,25	**	**	**
	Xử lý	31,88 $\pm$ 10,43	14,13	61,36			
RVD (cm ³)	Đối chứng	0,44 $\pm$ 0,16	0,23	0,81	**	**	**
	Xử lý	0,56 $\pm$ 0,14	0,32	0,80			
ARD (mm)	Đối chứng	0,53 $\pm$ 0,07	0,41	0,68	**	**	**
	Xử lý	0,60 $\pm$ 0,08	0,46	0,75			
RDW (g)	Đối chứng	0,09 $\pm$ 0,01	0,07	0,12	**	**	*
	Xử lý	0,07 $\pm$ 0,01	0,05	0,11			
SDW (g)	Đối chứng	0,13 $\pm$ 0,02	0,10	0,17	**	**	*
	Xử lý	0,10 $\pm$ 0,02	0,06	0,16			
TDW (g)	Đối chứng	0,22 $\pm$ 0,03	0,19	0,28	**	**	*
	Xử lý	0,18 $\pm$ 0,03	0,13	0,26			

Ghi chú: RLD, RSAD, RVD lần lượt là sự phát triển của chiều dài, diện tích bề mặt và thể tích; ARD: Giá trị trung bình của đường kính rễ; RDW: Khối lượng khô bộ rễ; SDW: Khối lượng khô của thân lá; TDW: Tổng khối lượng chất khô. ** và * là sự sai khác có ý nghĩa thống kê lần lượt ở các mức xác suất $P < 0,01$ và $P < 0,05$.



(a)



(b)

Hình 5. Hệ thống rễ sau 7 ngày xử lý thiếu hụt oxy của các dòng ngô giảm sinh trưởng phát triển rõ ràng (a) so với đối chứng (b)

Bảng 2. Đặc điểm hình thái bộ rễ của các dòng ngô thuần trong điều kiện xử lý thiếu hụt oxy vùng rễ và đối chứng

Mã dòng	RLD (cm)			RSAD (cm ²)			RVD (cm ³)			ARD		
	Đối chứng	Xử lý	HTI	Đối chứng	Xử lý	HTI	Đối chứng	Xử lý	HTI	Đối chứng	Xử lý	HTI
VNT1	127,28	65,07	0,51	23,52	20,28	0,86	0,32	0,28	0,88	0,58	0,59	0,98
VNT2	279,66	276,79	0,99	62,25	61,36	0,99	0,81	0,80	0,99	0,53	0,57	1,08
VNT3	250,76	236,94	0,94	40,73	34,18	0,84	0,53	0,46	0,87	0,44	0,54	1,23
VNT4	171,54	113,73	0,66	31,35	19,60	0,63	0,43	0,27	0,63	0,55	0,56	1,02
VNT5	295,51	245,71	0,83	46,49	45,17	0,97	0,70	0,66	0,94	0,58	0,65	1,12
VNT6	337,07	187,77	0,56	58,07	40,26	0,69	0,80	0,69	0,86	0,68	0,74	1,09
VNT7	174,07	169,16	0,97	34,50	33,43	0,97	0,46	0,43	0,93	0,56	0,57	1,02
VNT8	256,08	213,83	0,84	45,26	35,42	0,78	0,64	0,47	0,73	0,52	0,58	1,12
VNT9	226,04	206,07	0,91	44,31	39,78	0,90	0,64	0,61	0,95	0,62	0,66	1,06
VNT10	194,08	59,12	0,30	35,68	14,13	0,40	0,51	0,27	0,53	0,64	0,75	1,17
VNT11	218,6	189,99	0,87	37,94	29,46	0,78	0,52	0,39	0,75	0,56	0,59	1,05
VNT12	282,41	265,01	0,94	45,29	30,19	0,67	0,59	0,27	0,46	0,46	0,54	1,17
VNT13	149,26	146,76	0,98	25,26	22,83	0,90	0,32	0,28	0,88	0,54	0,58	1,07
VNT14	309,73	283,97	0,92	45,61	41,85	0,92	0,54	0,49	0,91	0,47	0,47	1,00
VNT15	312,76	172,63	0,55	46,11	26,36	0,57	0,54	0,45	0,83	0,47	0,66	1,40
VNT16	343,01	65,36	0,19	53,75	50,71	0,94	0,67	0,52	0,78	0,50	0,69	1,38
VNT17	210,26	186,23	0,89	31,39	30,49	0,97	0,45	0,40	0,89	0,47	0,52	1,11
VNT18	255,83	184,21	0,72	45,06	32,12	0,71	0,62	0,45	0,73	0,56	0,57	1,02
VNT19	135,69	106,85	0,79	26,41	20,01	0,76	0,41	0,30	0,73	0,62	0,64	1,03
VNT20	253,61	197,29	0,78	45,64	40,12	0,88	0,68	0,65	0,96	0,47	0,63	1,34
VNT21	171,22	99,31	0,58	26,58	18,61	0,70	0,33	0,28	0,85	0,49	0,60	1,22
VNT22	237,53	141,91	0,60	35,52	34,21	0,96	0,70	0,66	0,94	0,48	0,68	1,42
VNT23	333,58	210,26	0,63	43,26	30,39	0,70	0,45	0,35	0,78	0,42	0,47	1,12
VNT24	195,8	187,77	0,96	39,86	38,26	0,96	0,78	0,69	0,88	0,57	0,68	1,19
VNT25	179,69	177,99	0,99	39,19	38,55	0,98	0,67	0,66	0,99	0,62	0,69	1,11
VNT26	220,76	172,22	0,78	43,21	25,99	0,60	0,68	0,31	0,46	0,64	0,68	1,06
VNT27	273,1	211,46	0,77	34,77	30,22	0,87	0,35	0,34	0,97	0,41	0,46	1,12
VNT28	202,32	107,42	0,53	38,69	17,42	0,45	0,59	0,23	0,39	0,51	0,65	1,27
VNT29	235,66	186,03	0,79	35,10	24,6	0,70	0,42	0,30	0,71	0,48	0,54	1,13
VNT30	277,2	198,93	0,72	42,34	30,45	0,72	0,52	0,37	0,71	0,50	0,59	1,18

Bộ rễ có mối tương quan chặt với sự phát triển trên mặt đất, do vậy thiếu hụt oxy vùng rễ sẽ ảnh hưởng tất cả sự phát triển của cây (Nguyen *et al.*, 2017). Kết quả nghiên cứu trong thí nghiệm này cho thấy chỉ số HTI của bộ rễ có tương quan chặt với HTI của khối lượng thân với hệ số tương quan $r = 0,67^{**}$ (Đồ thị 1).

3.2. Ảnh hưởng của ngập đến cấu trúc bộ rễ và chất khô tích lũy của một số dòng ngô thuần thí nghiệm

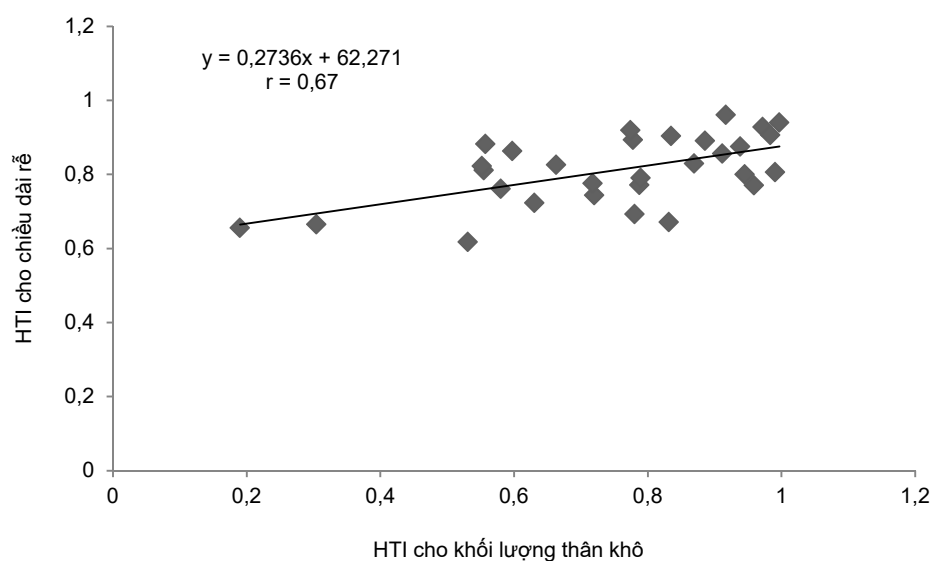
Ngập úng làm giảm sự trao đổi không khí (oxy) giữa đất và khí quyển dẫn đến giảm khối lượng chất khô của bộ rễ, vận chuyển nước và

chất dinh dưỡng qua hệ thống rễ (Wesseling, 1974). Hệ thống rễ sẽ bị tổn thương nếu điều kiện đất ngập nước kéo dài. Sự thông khí kém gây ra chết tế bào và thậm chí gây thối chết của bộ rễ (Wenkert *et al.*, 1981). Trong nghiên cứu này, kết quả thí nghiệm cho thấy ngập nước làm giảm 41% sự phát triển về chiều dài bộ rễ so với

đối chứng. Trong đó 6/15 dòng chịu ngập úng kém VNT1, VNT4, VNT8, VNT10, VNT23 và VNT27 (có FTI chiều dài rễ <0,5) và có 3 dòng bao gồm VNT2, VNT7, VNT9 có chỉ số FTI cao lần lượt là 0,79, 0,79 và 0,72. Khối lượng chất khô tích lũy ở bộ rễ, thân và toàn bộ cây giảm lần lượt là 37%, 11% và 19% (Bảng 6).

Bảng 3. Ảnh hưởng của thiếu hụt oxy vùng rễ đến khả năng tích lũy chất khô của các dòng ngô thuần

Mã dòng	Khối lượng rễ khô (g/cây)			Khối lượng thân khô (g/cây)			Tổng khối lượng chất khô (g/cây)		
	ĐC	Xử lý	HTI	ĐC	Xử lý	HTI	ĐC	Xử lý	HTI
VNT1	0,08	0,06	0,75	0,11	0,09	81,07	0,19	0,15	0,79
VNT2	0,12	0,11	0,92	0,17	0,16	94,03	0,28	0,26	0,93
VNT3	0,09	0,07	0,78	0,13	0,11	80,00	0,22	0,18	0,82
VNT4	0,09	0,06	0,67	0,12	0,10	82,59	0,21	0,16	0,76
VNT5	0,08	0,05	0,63	0,14	0,09	67,12	0,22	0,15	0,68
VNT6	0,10	0,08	0,80	0,16	0,14	88,16	0,27	0,23	0,85
VNT7	0,08	0,06	0,75	0,12	0,11	92,82	0,19	0,17	0,89
VNT8	0,09	0,07	0,78	0,11	0,10	90,32	0,20	0,16	0,80
VNT9	0,10	0,07	0,70	0,16	0,13	85,63	0,25	0,21	0,84
VNT10	0,07	0,05	0,71	0,13	0,08	66,47	0,20	0,13	0,65
VNT11	0,09	0,06	0,67	0,12	0,10	82,89	0,20	0,16	0,80
VNT12	0,09	0,09	1,00	0,16	0,14	87,49	0,25	0,22	0,88
VNT13	0,08	0,08	1,00	0,10	0,09	90,61	0,19	0,17	0,89
VNT14	0,08	0,06	0,75	0,14	0,13	96,04	0,21	0,20	0,95
VNT15	0,08	0,07	0,88	0,12	0,10	82,19	0,19	0,16	0,84
VNT16	0,09	0,08	0,89	0,13	0,09	65,52	0,22	0,16	0,73
VNT17	0,08	0,06	0,75	0,11	0,09	89,02	0,19	0,16	0,84
VNT18	0,09	0,07	0,78	0,12	0,09	74,36	0,22	0,16	0,73
VNT19	0,09	0,07	0,78	0,13	0,10	77,12	0,21	0,17	0,81
VNT20	0,08	0,07	0,88	0,12	0,10	89,29	0,19	0,17	0,89
VNT21	0,09	0,08	0,89	0,12	0,09	76,07	0,20	0,16	0,80
VNT22	0,09	0,06	0,67	0,16	0,13	86,29	0,24	0,20	0,83
VNT23	0,08	0,07	0,88	0,14	0,10	72,30	0,22	0,17	0,77
VNT24	0,09	0,08	0,89	0,12	0,09	77,01	0,21	0,17	0,81
VNT25	0,08	0,07	0,88	0,13	0,10	80,55	0,21	0,17	0,81
VNT26	0,10	0,07	0,70	0,17	0,11	69,25	0,27	0,19	0,70
VNT27	0,09	0,08	0,89	0,11	0,10	91,91	0,21	0,18	0,86
VNT28	0,08	0,06	0,75	0,12	0,07	61,78	0,19	0,13	0,68
VNT29	0,11	0,09	0,82	0,14	0,11	79,04	0,25	0,21	0,84
VNT30	0,08	0,07	0,88	0,12	0,10	77,55	0,21	0,16	0,76



Đồ thị 1. Tương quan giữa chỉ số thiếu hụt oxy vùng rễ (HTI) đối với chiều dài rễ và khối lượng thân khô

Bảng 4. Kết quả phân tích thống kê và phương sai của các chỉ tiêu nghiên cứu trong thí nghiệm 2

Chỉ tiêu	Công thức	Trung bình $\pm$ SD	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất	Sự sai khác có ý nghĩa		
					Dòng ngô (D)	Xử lý ngập (XL)	D x XL
RLD (cm)	Đối chứng	180,74 $\pm$ 23,83	146,6	211,0	**	**	**
	Xử lý	107,44 $\pm$ 28,74	63,2	164,2			
RDW (g)	Đối chứng	0,08 $\pm$ 0,01	0,07	0,12	**	**	**
	Xử lý	0,06 $\pm$ 0,01	0,05	0,11			
SDW (g)	Đối chứng	0,18 $\pm$ 0,02	0,10	0,17	**	**	**
	Xử lý	0,14 $\pm$ 0,02	0,06	0,16			
TDW (g)	Đối chứng	0,26 $\pm$ 0,03	0,19	0,28	**	**	**
	Xử lý	0,19 $\pm$ 0,04	0,13	0,26			

Ghi chú: RLD là sự phát triển của chiều dài rễ; RDW: Khối lượng khô bộ rễ; SDW: Khối lượng khô của thân lá; TDW: Tổng khối lượng chất khô. ** và * là sự sai khác có ý nghĩa thống kê lần lượt ở các mức 99% và 95%.

3.3. Tương quan giữa chỉ số thiếu hụt oxy vùng rễ (HTI) và chịu ngập (FTI) đối với chiều dài bộ rễ ngô

Có mối tương đồng chặt chẽ giữa điều kiện thiếu hụt oxy vùng rễ trong môi trường dung dịch agar và môi trường đất ngập nước. Wiengweera *et al.* (1997) sử dụng dung dịch agar 0,1% để xử lý thiếu hụt oxy vùng rễ như điều kiện đất ngập nước. Kết quả chỉ ra rằng nồng độ oxy đo được dưới 1,0 mg/L, trong khi

đó nồng độ của ethylene có xu hướng tăng giống như kết quả trong nghiên cứu của Trought & Drew (1980). Điều này khẳng định chống chịu thiếu hụt oxy vùng rễ trong điều kiện thủy canh sẽ chống chịu tốt trong điều kiện ngập úng. Dưới điều kiện ngập, chiều dài rễ và khối lượng khô của rễ bị giới hạn (Sallam & Scott 1987; Shimamura *et al.*, 2003; Henshaw *et al.*, 2007a; Yamane & Iijima 2016). Chỉ tiêu về phát triển chiều dài của bộ rễ ngô cũng phản ánh khả năng chống chịu ngập

trong điều kiện đồng ruộng (Souza *et al.*, 2012). Hiện tượng này cũng được xác định ở một số loài cây khác (Visser *et al.*, 2000; Colmer, 2003; Yamauchi *et al.*, 2014). Đối với cây đậu tương, dưới điều kiện thiếu hụt oxy vùng rễ, các đặc điểm của bộ rễ như chiều dài và diện tích bề mặt rễ giảm, ngoại trừ đường kính của bộ rễ (Sakazono *et al.*, 2014). Hơn thế nữa, mối quan hệ giữa sự phát triển của bộ rễ trong điều kiện thiếu hụt oxy vùng rễ và chỉ số chống chịu ngập trong điều kiện đồng ruộng đã được công bố bởi Jitsuyama (2015). Kết quả thí nghiệm này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đây trên cây trồng cạn nói chung và cây ngô nói riêng. Chỉ số chịu thiếu hụt oxy vùng rễ (HTI) của RLD ở thí nghiệm 1 có tương quan rất chặt ($r = 0,84^{**}$) với chỉ số chịu ngập đối với cùng chỉ tiêu ở thí nghiệm 2 (Đồ thị 2).

4. KẾT LUẬN

Thiếu hụt oxy vùng rễ và ngập úng ảnh hưởng tới sự phát triển bộ rễ và khả năng tích lũy chất khô của tập đoàn dòng ngô thuần tham gia thí nghiệm. Sự phát triển về chiều dài bộ rễ (RLD) giảm 25% trong điều kiện thiếu hụt oxy vùng rễ và giảm 41% trong điều kiện ngập úng.

Sự phát triển của bộ rễ trong điều kiện thiếu hụt oxy vùng rễ có liên quan chặt chẽ với khả năng chịu ngập ở cây ngô. Nghiên cứu này đã chọn lọc được 9 dòng ngô chống chịu thiếu hụt oxy vùng rễ tốt bao gồm VNT2, VNT3, VNT7, VNT9, VNT12, VNT13, VNT14, VNT24 và VNT25 có chỉ số HTI về tổng chiều dài bộ rễ $>0,9$. Khả năng chống chịu thiếu hụt oxy vùng rễ (THI) có tương quan thuận và chặt chẽ với khả năng chịu ngập dựa trên tính trạng tổng chiều dài rễ. Kết quả nghiên cứu này được tiến hành trên vật liệu là các dòng ngô thuần ưu tú, đây sẽ là cơ sở quan trọng để tiến hành nghiên cứu sâu hơn nhằm làm sáng tỏ cơ chế sinh lý và di truyền chống chịu thiếu hụt oxy vùng rễ và chịu ngập ở cây ngô. Đồng thời, các dòng ngô chịu ngập úng được xác định trong nghiên cứu này có thể được đưa vào các chương trình chọn tạo giống ngô lai để cải thiện tính chịu ngập và tạo giống ngô chịu ngập úng.

LỜI CẢM ƠN

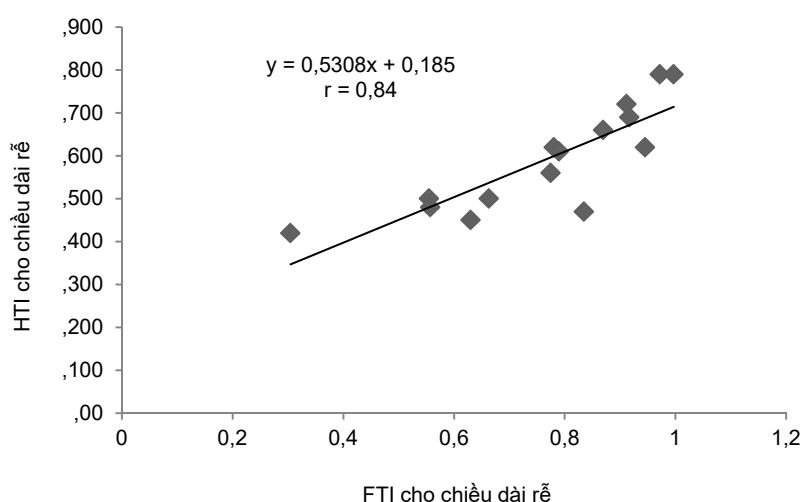
Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn GS.TS. Phạm Văn Cường, Trung tâm nghiên cứu cây trồng Việt Nam - Nhật Bản đã cho phép sử dụng hệ thống trang thiết bị của dự án JICA.

Bảng 5. Sự phát triển về chiều dài bộ rễ của các dòng ngô thuần trong điều kiện xử lý ngập và đối chứng

Mã dòng	Chiều dài rễ (cm)		FTI
	Đối chứng	Xử lý	
VNT1	170,6	85,6	0,50
VNT2	205,4	161,8	0,79
VNT3	146,6	90,4	0,62
VNT4	196,0	97,4	0,50
VNT6	210,4	100,8	0,48
VNT7	208,0	164,2	0,79
VNT8	211,0	98,6	0,47
VNT9	163,0	117,6	0,72
VNT10	152,2	63,2	0,42
VNT11	196,8	130,2	0,66
VNT14	153,0	105,2	0,69
VNT23	151,0	68,4	0,45
VNT26	182,6	114,0	0,62
VNT27	171,0	96,0	0,56
VNT29	193,6	118,2	0,61

Bảng 6. Tích lũy chất khô của các dòng ngô thuần trong điều kiện xử lý ngập và đối chứng

Tên dòng	Khối lượng rễ khô (g/cây)			Khối lượng thân khô (g/cây)			Tổng khối lượng chất khô (g/cây)		
	ĐC	Xử lý	FTI	ĐC	Xử lý	FTI	ĐC	Ngập	FTI
VNT1	0,07	0,04	0,57	0,15	0,12	0,80	0,22	0,16	0,73
VNT2	0,08	0,07	0,88	0,20	0,19	0,95	0,28	0,26	0,93
VNT3	0,06	0,05	0,83	0,16	0,14	0,88	0,22	0,19	0,86
VNT4	0,07	0,04	0,57	0,18	0,14	0,78	0,25	0,18	0,72
VNT6	0,09	0,05	0,56	0,15	0,10	0,67	0,24	0,15	0,63
VNT7	0,10	0,09	0,90	0,20	0,18	0,90	0,30	0,27	0,90
VNT8	0,09	0,06	0,67	0,17	0,15	0,88	0,26	0,21	0,81
VNT9	0,06	0,04	0,67	0,16	0,15	0,94	0,22	0,19	0,86
VNT10	0,09	0,04	0,44	0,16	0,12	0,75	0,25	0,16	0,64
VNT11	0,08	0,07	0,88	0,21	0,12	0,57	0,29	0,19	0,66
VNT14	0,06	0,05	0,83	0,16	0,13	0,81	0,22	0,18	0,82
VNT23	0,06	0,03	0,50	0,16	0,13	0,81	0,22	0,16	0,73
VNT26	0,09	0,08	0,89	0,19	0,17	0,89	0,28	0,25	0,89
VNT27	0,09	0,07	0,78	0,20	0,15	0,75	0,29	0,22	0,76
VNT29	0,08	0,06	0,75	0,21	0,12	0,57	0,29	0,18	0,62



Đồ thị 2. Tương quan giữa chỉ số chịu thiếu hụt oxy vùng rễ (HTI) và chịu ngập (FTI) đối với tổng chiều dài bộ rễ

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Armstrong W. (1980). Aeration in higher plants. *Adv Bot Res.* 7: 225- 232.
- Armstrong W. & Drew M.C. (2002). Root growth and metabolism under oxygen deficiency. *In: Yoav W, Amram E., Uzi K. (Eds.) Plant Root: The Hidden Half 3rd edition.* Marcel Dekker Inc., New York. pp. 729-761.
- Bacanamwo M. & Purcell L.C. (1999). Soybean dry matter and N accumulation responses to flooding stress, N sources, and hypoxia. *J Exp Bot.* 50: 689-696.
- Colmer T.D. (2003). Long-distance transport of gases in plants: a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. *Plant Cell Environ.* 26: 17-36.
- Drew M.C. (1983). Plant injury and adaptation to oxygen deficiency in the root environment: A review. *Plant Soil.* 75: 179-199.
- Henshaw T.L., Gilbert R.A., Scholberg J.M.S., Sinclair T.R. (2007). Soya bean (*Glycine max* L. Merr.)

- genotype response to early-season flooding: I. Root and nodule development. *J Agron Crop Sci.* 193: 177-188.
- Islam M.R., Hamid A., Khaliq Q.A., Haque M.M., Ahmed J.U. & Karim M.A. (2010). Effects of soil flooding on roots, photosynthesis and water relations in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Bang J Bot.* 39:241-243.
- Jitsuyama Y. (2015). Morphological root responses of soybean to rhizosphere hypoxia reflect waterlogging tolerance. *Can J Plant Sci.* 95: 999-1005.
- Kanwar R.S., Baker J.L. & Mukhtar S. (1988). Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 31: 133-141.
- Lizaso, J.I. and Ritchie J.T. (1997). Maize shoot and root response to root zone saturation during vegetative growth. *Agronomy J.*, 89: 125-134.
- Meyer W.S., Barrs H.D., Mosier A.R. & Schaefer N.L. (1987). Response of maize to three short-term periods of waterlogging at high and low nitrogen levels on undisturbed and repacked soil. *Irrigation Science*, 8: 257-272.
- Min M.N., Amiruzzaman M., Ahmed A. & Ali M.R. (2014). Combining ability study in waterlogged tolerant maize (*Zeamays* L.). *Bangladesh J Agril Res.*, 39: 283-291.
- Miura K., Ogawa A., Matsushima K. & Morita H. (2012). Root and shoot growth under flooded soil in wild grownnut (*Glycine Soja*) and as a genetic resource of waterlogging tolerance for soybean (*Glycine max*). *J Weed Sci Res.* 18: 427-423.
- Mukhtar S., Baker J.L. & Kanwar R.S. (1990). Corn growth as affected by excess soil water. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 33: 437-442.
- Nguyen L.V., Takahashi R., Githiri S.M., Rodriguez T.O., Tsutsumi N., Kajihara S., Sayama T., Ishimoto M., Harada K., Suematsu K., Abiko T. & Mochizuki T. (2017). Mapping quantitative trait loci for root development under hypoxia conditions in soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Theor Applied gen.* 130(4): 743-755.
- Nguyễn Văn Lộc, Nguyễn Thái Hùng, Nguyễn Văn Cường, Phạm Quang Tuấn & Nguyễn Việt Long (2013). Phản ứng của các dòng ngô thuần trong điều kiện ngập ở thời kỳ cây con. *Tạp chí Khoa học và Phát triển.* 11(7): 926-932.
- Nguyễn Văn Lộc và Nguyễn Việt Long (2015). Ưu thế lai về đặc tính chịu úng của cây ngô. *Tạp chí khoa học và Phát triển.* 13(5): 694-704.
- Onuegbu B.A. (1997). Screening for flooding tolerance of some ornamental plants. *Crop, Soil Forestry Nig J.* 3: 29-35.
- Perata P. & Alpi A. (1993). Plant responses to anaerobiosis. *Plant Sci.* 93: 1-17.
- Rathore T.R., Warsi M.Z.K., Zaidi P.H. & Singh N.N. (1997). Waterlogging problem for maize production in Asia region. *Tamnet News Letter.* 4: 13-14.
- Sallam A. & Scott H. D. (1987). Effects of prolonged flooding on soybeans during early vegetative growth. *Soil Sci.* 144: 61-66.
- Shimamura S., Mochizuki T., Nada Y. & Fukuyama M. (2003). Formation and function of secondary aerenchyma in hypocotyl, roots and nodules of soybean (*Glycine max*) under flooded conditions. *Plant Soil.* 251: 351-359.
- Shimamura S., Yamamoto R., Nakamura T., Shimada S. & Komatsu S. (2010). Stem hypertrophic lenticels and secondary aerenchyma enable oxygen transport to roots of soybean in flooded soil. *Ann Bot.* 106: 277-284.
- Souza T.C., Castro E.M., Magalhães P.C., Alves E.T. & Pereira F.J. (2012). Early characterization of maize plants in selection cycles under soil flooding. *Plant Breed.* 131: 439-501.
- Suematsu K., Abiko T., Nguyen V.L. & Mochizuki T. (2017). Phenotypic variation in root development of 162 soybean accessions under hypoxia condition at the seedling stage. *Plant Pro Sci.* 20(3): 323-335.
- Thomas A.L., Guerreiro S.M.C & Sodek L. (2005). Aerenchyma formation and recovery from hypoxia of the flooded root system of nodulated soybean. *Ann Bot.* 96: 1191-1198
- Trought MCT & Drew MC (1980). The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) I. Shoot and root growth in relation to changes in the concentrations of dissolved gases and solutes in the soil. *Plant and Soil.* 54: 77-94.
- Visser E.J.W., Colmer T.D., Blom C.W.P.M & Voesenek L.A.C.J. (2000). Changes in growth, porosity, and radial oxygen loss from adventitious roots of selected mono - and dicotyledonous wetland species with contrasting types of aerenchyma. *Plant Cell Environ.* 23: 1237-1245.
- Wenkert W., Fausey N.R. & Watters H.D. (1981). Flooding responses in *Zea mays* L. *Plant Soil.* 62: 351-366.
- Wiengweera A., Greenway H. & Thomson C.J. (1997). The use of agar nutrient solution to simulate lack of convection in waterlogging soils. *Ann Bot.*, 80: 115-123.
- Yamane K. & Iijima M. (2016). Nodulation control of crack fertilization technique reduced the growth inhibition of soybean caused by short-term waterlogging at early vegetative stage. *Plant Prot Sci.* 19(3): 438-448.
- Yamauchi T., Shimamura S., Nakazono M. & Mochizuki T. (2013). Aerenchyma formation in crop species: A review. *Field Crop Res.* 152: 8-16.