



Original Article

Effects of Led Light Intensity and Carbon Dioxide Concentration on the Growth of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) in a Plant Factory

Pham Chau Thuy*, Nguyen Le Khanh, Nguyen Nhu Duy

VNU University of Engineering and Technology, 144 Xuan Thuy, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

Received 12 October 2022

Revised 02 December 2022; Accepted 07 December 2022

Abstract: In this study, the effects of light intensity and the carbon dioxide (CO₂) concentration on spinach's growth during vegetative stage in a plant factory (PF) was investigated. Two experiments were conducted with different CO₂ concentration in closed chamber (500 ppm and 800 ppm). In each experiment, plants were hydroponically grown under three light intensities of L1: 115 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, L2: 140 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and L3: 160 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Growth's parameters were determined at different growth stages (T30, T37 and T44 respectively to 30, 37 and 44 days after sowing). The results showed that, before 30 days old, the increase of light intensity was not significantly effected to the growth of plant. During later growing periods (30 days old afterward), the increase of light intensity remarkably boost up yield's related traits such as leaf number, fresh mass and dry mass under 500 ppm CO₂ concentration. At T37, fresh weigh increased 2.1 and 2.4 times when increasing light intensity from L1 to L2 and from L1 to L3, respectively. The combination of light intensity and CO₂ concentration at 800 ppm showed the plant growth indicators increased significantly at the T37 and T44 stages (after 30 days old), especially at the last week of growth period, fresh weight and dry weight of plants were significantly different at the light treatment L2, increased 37.5% and 57.6%, respectively as compared to light treatment only. The results suggested that, during latest growing period, the average light intensity of 140 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ combining with elevating CO₂ concentration is an alternatively way to enhance spinach growth. The findings of this study could be helpful for growers to improve growth conditions for a better development of spinach in the indoor farming (PF).

Keywords: Plant factory (PF), Light intensity, CO₂ concentration, Spinach, Growth indicators.

* Corresponding author.

E-mail address: thuypc@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5511>

Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng đèn led và nồng độ CO₂ đến sinh trưởng của cây cải bó xôi (*Spinacia oleracea* L.) trồng thủy canh trong nhà máy sinh khối thực vật

Phạm Châu Thủy*, Nguyễn Lê Khanh, Nguyễn Như Duy

Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 12 tháng 10 năm 2022

Chỉnh sửa ngày 02 tháng 12 năm 2022; Chấp nhận đăng ngày 07 tháng 12 năm 2022

Tóm tắt: Nghiên cứu này nhằm khảo sát ảnh hưởng của cường độ ánh sáng và nồng độ carbon dioxide (CO₂) đến sinh trưởng và phát triển của cây cải bó xôi trồng thủy canh hồi lưu trong nhà máy sinh khối thực vật (PF). Nghiên cứu được thực hiện trên hai thí nghiệm với nồng độ CO₂ khác nhau trong buồng kín (500 ppm và 800 ppm). Trong mỗi thí nghiệm, cây được trồng thủy canh hồi lưu dưới ba cường độ ánh sáng đèn LED L1, L2, L3 lần lượt là 115, 140 và 160 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Các chỉ số về sinh trưởng của cây được xác định ở các giai đoạn sinh trưởng khác nhau (T30, T37 và T44 lần lượt là 30, 37 và 44 ngày sau khi gieo hạt). Kết quả cho thấy, việc tăng cường độ ánh sáng không ảnh hưởng nhiều đến sinh trưởng của cây ở giai đoạn trước 30 ngày tuổi. Trong các giai đoạn sinh trưởng tiếp theo (30 ngày tuổi trở đi), việc tăng cường độ ánh sáng làm tăng đáng kể các chỉ số liên quan đến năng suất như số lá, sinh khối tươi, sinh khối khô của cây trong điều kiện nồng độ CO₂ duy trì ở nồng độ 500 ppm. Sinh khối tươi của cây cải bó xôi tăng 2,1 và 2,4 lần khi tăng ánh sáng từ L1 sang L2 và từ L1 sang L3 tương ứng tại T37. Việc kết hợp giữa ánh sáng và nồng độ CO₂ ở mức 800 ppm cho thấy các chỉ số sinh trưởng của cây tăng đáng kể ở các giai đoạn T37 và T44 (từ 30 ngày tuổi trở đi). Đặc biệt tại tuần cuối cùng sinh trưởng, sinh khối tươi và sinh khối khô của cây có sự khác biệt có ý nghĩa tại công thức ánh sáng L2, tăng 37,5% và 57,6% tương ứng so với thí nghiệm chỉ có ánh sáng. Kết quả này cho thấy, trong giai đoạn sinh trưởng cuối cùng của cây, cường độ ánh sáng trung bình 140 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ kết hợp với việc nâng cao nồng độ CO₂ là một lựa chọn nhằm tăng cường sự phát triển của cải bó xôi. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp những thông tin hữu ích cho người trồng cây cải thiện điều kiện trồng trọt để cây cải bó xôi phát triển tốt hơn khi trồng trong nhà máy sinh khối thực vật (PF).

Từ khóa: Nhà máy sinh khối thực vật (PF), Cường độ ánh sáng, Nồng độ CO₂, Cải bó xôi, Chỉ số sinh trưởng.

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh quỹ đất cho canh tác nông nghiệp bị thu hẹp, hoạt động sản xuất nông nghiệp phải đối mặt với nhiều trở ngại, khó khăn như biến đổi khí hậu, môi trường ô nhiễm, thời tiết diễn biến bất thường. Hình thức canh tác thẳng đứng trong nhà sử dụng hệ thống “Nhà máy trồng cây với ánh sáng nhân tạo” - Plant factory (PF), hay còn gọi là nhà máy sinh

khối thực vật, để sản xuất hiệu quả cây trồng là một trong những mô hình đang được phát triển hiện nay [1, 2]. Những PF được đầu tư rất hiện đại với quy mô lớn lên tới hàng nghìn m² và kiểm soát hầu hết các yếu tố môi trường tác động lên thực vật, trong đó CO₂ và ánh sáng, những nguyên liệu chính của quá trình quang hợp, là 2 nhân tố thiết yếu ảnh hưởng tới sinh khối, năng suất thực vật.

Chất lượng, cường độ chiếu sáng và thời gian chiếu sáng là các chỉ tiêu quan trọng ảnh hưởng đến khả năng sinh trưởng và phát triển của cây trồng. Việc điều chỉnh các yếu tố này cho ánh sáng nhân tạo trong môi trường hệ

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: thuyipc@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5511>

thống kín nhằm thu được sản lượng cũng như chất lượng cây trồng tốt nhất là rất cần thiết [3], [4]. Một số nghiên cứu trên cây rau diếp cho kết quả của việc tăng cường độ ánh sáng làm tăng sinh khối của cây cùng với việc tăng hoạt động của các enzym chống oxy hoá [5, 6] và sự tăng trưởng đó chỉ có hiệu quả trong một khoảng cường độ ánh sáng nhất định [2, 7].

Các nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng việc cung cấp thêm lượng CO₂ ảnh hưởng đến năng suất quang hợp, sự trao đổi chất và hàng rào bảo vệ lý học, hóa học của thực vật, làm tăng kích thước và độ dày lá, tăng tốc độ tăng trưởng và sản xuất sinh khối, nâng cao chất lượng cây trồng. Ngoài ra, cung cấp thêm CO₂ còn làm tăng hiệu quả sử dụng nước, dẫn đến giảm lượng nước sử dụng trong quá trình sản xuất cây trồng, tăng sức bền gốc, số lượng, và kích thước hoa [8, 9]. Thiếu CO₂ không chỉ dẫn đến sinh khối thấp hơn mà cây trồng cũng sẽ kém chất lượng và sức khỏe (strength). CO₂ cũng ảnh hưởng đến quá trình thoát hơi nước của cây. Nghiên cứu cho thấy CO₂ tăng có thể làm giảm sự thoát hơi nước tới 22% ở các loài thực vật khác nhau [10].

Chowdhury cùng các cộng sự, 2021 nghiên cứu về ảnh hưởng độc lập của từng yếu tố nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ CO₂ lên sự sinh trưởng và hàm lượng đường trong cây cải xoăn trong nhà máy sinh khối thực vật cho thấy hàm lượng glucosinolate trong cải xoăn giảm khi nhiệt độ và độ ẩm tương đối tăng, và tăng khi nồng độ CO₂ tăng lên [11]. Sự kết hợp giữa tăng chiếu sáng và tăng nhiệt độ có thể ảnh hưởng tích cực đối với việc tích lũy các chất chuyển hóa có lợi cho sức khỏe trong các loại rau ăn lá. Zhang và các cộng sự, 2017 thí nghiệm về ảnh hưởng của nồng độ CO₂ đến sinh trưởng của cây trong nhà máy sinh khối thực vật với hệ thống ánh sáng nhân tạo cũng cho thấy khi tăng nồng độ CO₂ trong môi trường nhân tạo lên đến 1000 ppm, sản lượng của cây trồng có thể tăng lên đến 20-25% [12].

Tại Việt Nam, mô hình trồng cây theo chiều thẳng đứng trong nhà đã được thí nghiệm ở một số ít trường đại học, viện nghiên cứu. Đã có một số nghiên cứu về ảnh hưởng của ánh sáng đèn LED đến sinh trưởng của một số cây rau

trong PF và tối ưu điều kiện về dinh dưỡng trong thủy canh hồi lưu cho cây cải bó xôi [13-15]. Nghiên cứu sự phối hợp giữa ánh sáng và nồng độ CO₂ nhằm tối ưu điều kiện giúp khả năng sinh trưởng và phát triển của cây trồng trong mô hình nhà máy sinh khối thực vật còn bỏ ngỏ. Nghiên cứu này với mục tiêu khảo sát ảnh hưởng đồng thời của ánh sáng và nồng độ CO₂ đến khả năng sinh trưởng và phát triển của cây cải bó xôi trong mô hình PF, nhằm xây dựng quy trình trồng cây trong nhà máy sinh khối thực vật trong điều kiện tối ưu về ánh sáng và nồng độ CO₂ nhằm thu được năng suất sinh khối tốt nhất.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm trên hệ thống trồng cây được tiến hành trong nhà hay nhà máy sinh khối thực vật (PF) đặt tại nhà E5, Khoa Công nghệ nông nghiệp, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội. Các yếu tố môi trường trong hệ thống kín như nhiệt độ, độ ẩm được kiểm soát và duy trì trong khoảng thích hợp với sự sinh trưởng và phát triển của cây. Nhiệt độ trong buồng thí nghiệm được trì ở 22 °C và độ ẩm 80% được giữ ổn định trong suốt quá trình thí nghiệm.

Đối tượng cây trồng được nghiên cứu là giống cải bó xôi (*Spinacia oleracea L.*), là loại cây trồng thích hợp với môi trường trong PF, thời gian sinh trưởng ngắn (40 - 45 ngày) và cho năng suất sinh khối cao. Dung dịch thủy canh thương mại HACHI có pH được duy trì trong khoảng 5,8 - 6,2, EC = 0,8 (mS/cm) với giai đoạn cây con và 1,2 (mS/cm) đối với giai đoạn trưởng thành.

Hệ thống chiếu sáng sử dụng đèn LED được sản xuất bởi công ty Cổ phần Bóng đèn phích nước Rạng Đông, model LED TRR 25W 120/WR cho giai đoạn cây con và LED D NCM 02L 120/16W được sử dụng cho cây trưởng thành.

Hệ thống phun khí CO₂ gồm bình khí CO₂, van khí, quạt giúp phân tán CO₂ đồng đều trong buồng thí nghiệm. Cảm biến Libelium để đo nồng độ khí CO₂ trong buồng thí nghiệm và

theo dõi diễn biến CO₂ theo thời gian thực, đồng thời duy trì lượng CO₂ đối với thí nghiệm.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Bố trí thí nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện trên hai thí nghiệm. Thí nghiệm thứ nhất (TN1) được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của 3 cường độ ánh sáng đèn LED L1, L2, L3 lần lượt là 115, 140 và 160 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ lên sinh trưởng và phát triển của cây cải bó xôi ở các giai đoạn sinh trưởng khác nhau (Giai đoạn 1: từ ngày thứ 23 đến ngày thứ 30, giai đoạn 2: từ ngày 30 đến 37 và giai đoạn 3: từ ngày 37 đến ngày 44). Thí nghiệm này không bổ sung thêm CO₂ mà nồng độ CO₂ trong suốt quá trình thí nghiệm là nồng độ CO₂ có sẵn trong môi trường trồng cây (dao động trong khoảng 500 ppm). Thí nghiệm thứ hai (TN2) đánh giá ảnh hưởng đồng thời của cường độ ánh sáng và nồng độ CO₂ bổ sung thêm đến sinh trưởng và phát triển của cây cải bó xôi. Thí nghiệm này thực hiện tương tự như TN1 nhưng có bổ sung thêm CO₂ và duy trì ở nồng độ 800 ppm trong các giai đoạn sinh trưởng khác nhau của cây.

Các thí nghiệm được thực hiện trồng cây trên giàn thủy canh NFT (Nutrient film technique) hồi lưu có 3 giá đỡ, mỗi giá đỡ thủy canh có 3 giàn/3 tầng tương ứng với 3 công thức ánh sáng, mỗi giàn có 3 máng thủy canh, mỗi máng có 9 cây trồng cách nhau 15 cm. Cây được trồng ở điều kiện 12 h sáng/12 giờ tối. Thời gian thu hoạch là 44 ngày sau khi gieo hạt và lặp lại 3 lần cho mỗi công thức với 3 giá riêng biệt. Các hạt nảy mầm được đặt vào khay ươm và chiếu sáng với tỉ lệ quang phổ R:B = 4,75/1. Khi cây đã phát triển 2 lá thật (T12): chọn những cây có sức sống tốt, đặt vào giá thể và đưa vào giàn thủy canh NFT với các công thức ánh sáng khác nhau. Cường độ ánh sáng được điều chỉnh bằng khoảng cách giữa máng và đèn, tương ứng với 3 cường độ ánh sáng L1, L2, L3 như mô tả ở trên. Mẫu được thu tại các thời điểm T30, T37, T44 (tương ứng với số ngày sinh trưởng kể từ lúc gieo hạt) và xác định các chỉ số sinh trưởng và sinh lý của cây ở từng giai đoạn.

Khí CO₂ được duy trì ở nồng độ 800 ppm liên tục trong vòng 3 tuần từ ngày thứ 23 đến ngày thứ 44, và theo dõi sinh trưởng của cây theo 3 giai đoạn sinh trưởng khác nhau như mô tả ở trên. Các điều kiện thí nghiệm khác như nhiệt độ, độ ẩm, cường độ ánh sáng được duy trì tương tự như TN1 (thí nghiệm đối chứng đối với CO₂).

2.2.2. Các chỉ tiêu theo dõi

Các chỉ tiêu đánh giá bao gồm: số lá, chiều dài lá, diện tích lá, hàm lượng chlorophyll, khối lượng tươi, khô. Mỗi công thức ánh sáng chọn 5 cây đồng đều trên mỗi giàn (3 giàn lặp lại).

Số lá/cây: được đếm thủ công, tính từ lá thật đầu tiên, bao gồm cả chồi nách

Chiều dài lá: đo chiều dài 02 lá lớn nhất tính từ gốc đến chóp lá cao nhất bằng thước (mm).

Chlorophyll được đo bằng máy Chlorophyll Meter SPAD502PLUS tại 3 vị trí lá khác nhau trên mỗi mẫu và lấy trung bình, đơn vị SPAD (Soil Plant Analysis Development) [16].

Diện tích lá đo bằng máy đo cầm tay Portable Laser A2rea Meter CI-202 (cm²)

Khối lượng tươi: toàn bộ sinh khối của cây sau khi loại bỏ rễ được gói lại bằng túi giấy và cân để xác định khối lượng tươi (túi giấy đã được sấy khô đến khối lượng không đổi).

Khối lượng khô: được xác định sau khi sấy túi và sinh khối của cây ở điều kiện 80 °C cho đến khối lượng không đổi.

2.2.3. Xử lý số liệu

Số liệu được thu thập và được xử lý bằng phần mềm Microsoft excel và phần mềm xử lý thống kê R version 4.1.3. Phân tích phương sai ANOVA và phân tích phương sai phi tham số Kruskal được sử dụng để đánh giá sự khác biệt giữa các công thức thí nghiệm. Phân tích hậu định Tukey được sử dụng cho những chỉ số sau khi sử dụng phân tích phương sai ANOVA và Boferroni cho chỉ số phân tích theo Kruskal.

3. Kết quả và thảo luận

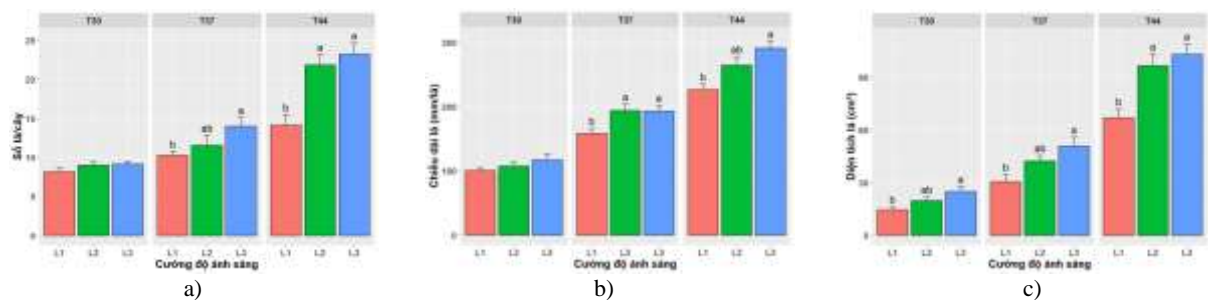
3.1. Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng đến các chỉ số sinh trưởng của cây cải bó xôi trồng thủy canh trong PF

3.1.1. Ảnh hưởng đến số lá, chiều dài lá, diện tích lá

Đối với cây rau ăn lá, số lá, diện tích lá (năng suất kinh tế) là những chỉ số quan trọng quyết định tổng sinh khối của cây và liên quan đến năng suất cây trồng. Chỉ số diện tích lá càng lớn, khả năng hấp thụ CO_2 và quang hợp ở thực vật càng nhiều làm tăng năng suất cây trồng. Tại giai đoạn sinh trưởng đầu (T30, cho đến ngày thứ 30 tính từ lúc bắt đầu chuyển cây ra giàn), cường độ ánh sáng không ảnh hưởng đáng kể đến số lá, chiều dài và diện tích lá (Hình 1). Công thức ánh sáng ở cường độ L3 cho số lá cao nhất ở tất cả các giai đoạn, đặc

biệt giai đoạn T44, tức là tuần cuối của giai đoạn sinh trưởng. Sự sai khác về số lá của cây cải bó xôi chỉ có ý nghĩa thống kê giữa hai công thức ánh sáng L1 và L3 tại cả hai giai đoạn T37 và T44.

Điều đó có nghĩa là tại giai đoạn sinh trưởng sau ngày thứ 30, tăng cường độ ánh sáng sẽ có ý nghĩa hơn đối với việc tăng số lá so với giai đoạn sinh trưởng trước đó. Kết quả về số lá ở ngày thứ 23 của thí nghiệm này cũng tương đồng với số lá ngày thứ 21 của nghiên cứu tương tự (Nguyễn và các cộng sự) [13].



Hình 1. Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng đến số lá (a), chiều dài lá (b), diện tích lá (c) của cây ở các giai đoạn sinh trưởng khác nhau (mỗi thanh bar biểu diễn giá trị trung bình và sai số chuẩn, sự khác biệt thống kê ở mức tin cậy 95% được thể hiện ở các chữ cái a, b, c; L1, L2, L3 là 3 mức cường độ ánh sáng thí nghiệm tương ứng $115 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $140 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ và $160 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Kết quả thí nghiệm cho thấy, cường độ ánh sáng tăng cũng cho các chỉ số diện tích lá, chiều dài lá lớn hơn, đặc biệt ở các giai đoạn sinh trưởng từ T30 trở đi (sau 30 ngày tuổi). Tuy nhiên, chiều dài lá thay đổi không nhiều theo mức tăng cường độ ánh sáng. Sự sai khác về chiều dài và diện tích lá giữa các công thức ánh sáng chỉ có ý nghĩa thống kê giữa L1 và L3 ở cả hai giai đoạn T37 và T44, trong khi giá trị trung bình của các chỉ số này giữa công thức ánh sáng L2 và L3 có khác nhau nhưng không có ý nghĩa thống kê. Điều đó có thể cho thấy, việc tăng cường độ ánh sáng mạnh hơn hẳn (từ 115 đến $160 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ở những tuần cuối sinh trưởng có thể sẽ cho ý nghĩa hơn đối với chiều dài và diện tích lá cây.

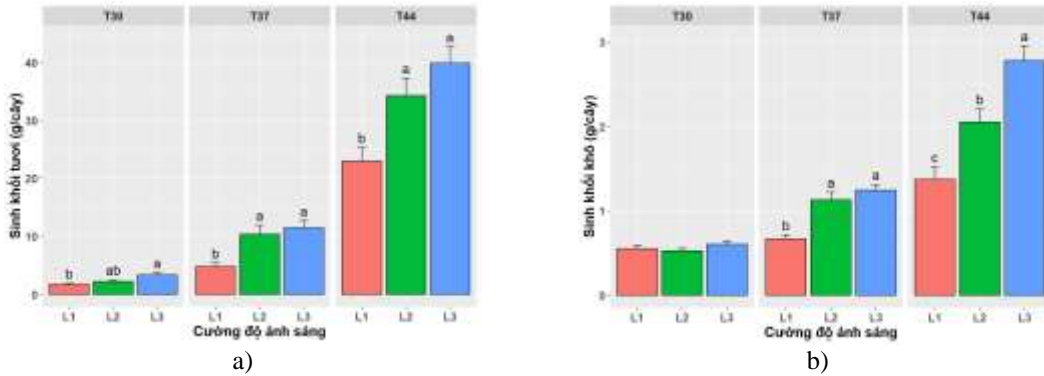
3.1.2. Ảnh hưởng đến sinh khối tươi, sinh khối khô của cây

Kết quả về khối lượng tươi và khối lượng khô của cây trong thí nghiệm có sự khác biệt rất đáng kể giữa ba giai đoạn và 3 công thức ánh

sáng (Hình 2). Khối lượng tươi và khô của cây đạt cao nhất $39,8 \pm 11,1 \text{ g/cây}$ và $2,8 \pm 0,7 \text{ g/cây}$, tương ứng tại tuần cuối cùng của công thức ánh sáng L3. Kết quả về khối lượng tươi của nghiên cứu này cũng tương tự như kết quả của nghiên cứu trước đây của Nguyễn và các cộng sự [14]. Cũng giống như các chỉ số đã phân tích ở trên, các chỉ số về năng suất của cây cải bó xôi cao nhất tại công thức ánh sáng ở cường độ ánh sáng L3 tại tất cả các giai đoạn và sự sai khác ở đây chỉ có ý nghĩa thống kê tại T37 và T44 giữa công thức ánh sáng L1 và L3. Xu hướng này xuất hiện tương tự ở các chỉ số về số lá, chiều dài lá, diện tích lá ở một số giai đoạn sinh trưởng. Tại T37, khối lượng tươi tăng 2,17 và 2,4 lần tại công thức ánh sáng L2 và L3 tương ứng so với công thức ánh sáng L1. Tại T44, khối lượng tươi tăng từ 1,5 và 1,7 lần lượt tại công thức ánh sáng L2 và L3 tương ứng so với công thức ánh sáng L1. Khối lượng tươi của cây cải bó xôi tại thời điểm thu hoạch (T44) ở

cường độ ánh sáng L3 cao hơn L2 nhưng không có ý nghĩa thống kê. Tuy nhiên sự khác biệt có ý nghĩa đối với khối lượng khô của cây thể hiện ở 3 công thức ánh sáng tại T44. Điều đó cho thấy, việc tăng cường độ ánh sáng hơn nữa tại tuần sinh trưởng cuối cùng có thể sẽ cho năng suất sinh khối khô của cây trồng tốt hơn. Tuy

nhiên, điều này có thể bị hạn chế do diện tích, chiều cao của hệ thống trồng cây trong nhà có giới hạn, cùng với khó khăn trong việc tiêu thụ năng lượng và chi phí. Vì vậy, để thu hoạch được năng suất tốt nhất có thể dùng biện pháp phối hợp với các yếu tố khác như bổ sung nồng độ CO₂.



Hình 2. Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng đến a) sinh khối tươi và b) sinh khối khô của cây ở các giai đoạn sinh trưởng khác nhau (mỗi thanh bar biểu diễn giá trị trung bình và sai số chuẩn, sự khác biệt thống kê ở mức tin cậy 95% được thể hiện ở các chữ cái a, b, c; L1, L2, L3 là 3 mức cường độ ánh sáng thí nghiệm tương ứng $115 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $140 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ và $160 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

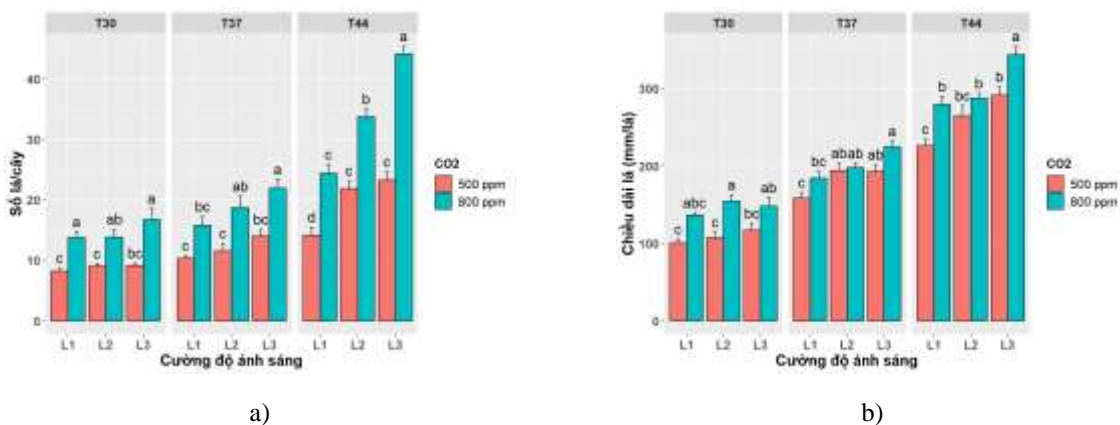
3.2. Ảnh hưởng của đồng thời ánh sáng và nồng độ CO₂ lên sinh trưởng của cây cải bó xôi trồng thủy canh trong PF

3.2.1. Ảnh hưởng đến số lá và chiều dài lá

Trong thí nghiệm về cường độ ánh sáng (TN1), nồng độ CO₂ trong PF là nồng độ CO₂ tự nhiên, được duy trì trong khoảng 500 ppm.

Thí nghiệm thứ hai (TN2) bổ sung thêm CO₂ duy trì ở nồng độ 800 ppm trong 3 tuần cuối của sinh trưởng và theo dõi sự phát triển về số lá theo từng tuần.

Kết quả cho thấy có sự khác biệt rõ rệt về số lá giữa TN1 và TN2 ở tất cả các mức ánh sáng và giai đoạn phát triển (Hình 3).



Hình 3. Ảnh hưởng của đồng thời cường độ ánh sáng và nồng độ CO₂ số lá a) và chiều dài lá b) của cây ở các giai đoạn sinh trưởng khác nhau (mỗi thanh bar biểu diễn giá trị trung bình và sai số chuẩn, sự khác biệt thống kê ở mức tin cậy 95% được thể hiện ở các chữ cái a, b, c; L1, L2, L3 là 3 mức cường độ ánh sáng thí nghiệm tương ứng $115 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $140 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ và $160 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Đặc biệt, số lá tại tuần cuối cùng ở mức ánh sáng L3 của TN2 ($44,1 \pm 4,8$) gấp 1,9 lần so với TN1 ($23,2 \pm 5,5$) ở cùng mức ánh sáng và cùng giai đoạn. Tuy nhiên, nếu xem xét sự sinh trưởng của cây khi có kết hợp đồng thời ánh sáng và CO₂, kết quả thí nghiệm cho thấy sự khác biệt về số lá giữa các công thức ánh sáng chỉ có ý nghĩa thống kê tại tuần sinh trưởng cuối cùng (T44). Các giai đoạn trước không có sự khác biệt về số lá giữa các công thức ánh sáng trong thí nghiệm có bổ sung CO₂. Tương tự như vậy, chỉ số chiều dài lá gần như không có sự khác biệt đáng kể giữa các công thức ánh sáng của từng giai đoạn. Tuy nhiên, ở tuần sinh trưởng cuối cùng có sự khác biệt có ý nghĩa về chiều dài lá giữa TN1 và TN2 ở công thức ánh sáng L1 và L3. So sánh thống kê giữa các công thức ánh sáng tại thí nghiệm 2 cho thấy, số lá và chiều dài lá có tăng theo giai đoạn sinh trưởng, nhưng chỉ có ý nghĩa thống kê tại tuần sinh trưởng cuối cùng (T44, số lá trung bình tại công thức ánh sáng L3 tăng 1,8 lần, chiều dài lá trung bình tăng 12 lần so với công thức ánh sáng L1), đặc biệt sự khác biệt về chiều dài lá chỉ có ý nghĩa thống kê giữa công thức ánh sáng L2 và L3. Điều đó có thể cho thấy, việc tăng nồng độ CO₂ ở 2 tuần cuối cùng của giai đoạn sinh trưởng có ý nghĩa hơn so với các giai đoạn trước.

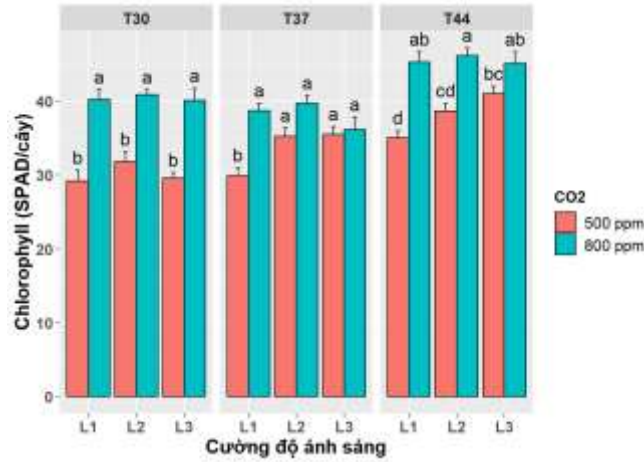
3.2.2. Ảnh hưởng đến hàm lượng chlorophyll

Quang hợp là quá trình cơ bản tạo ra năng suất chất khô cho cây trồng. Chlorophyll (Chl) là sắc tố quang hợp quan trọng đối với cây trồng, quyết định phần lớn khả năng quang hợp và do đó sự phát triển của cây. Kết quả xác định hàm lượng chlorophyll tại hai thí nghiệm cho thấy có sự khác biệt đáng kể về chỉ số SPAD khi bổ sung thêm nồng độ CO₂ tại các giai đoạn sinh trưởng, đặc biệt tại T30, sự khác biệt có ý nghĩa thể hiện ở cả 3 công thức ánh sáng (Chỉ số Chl tăng từ $40,9 \pm 3,9$ lên $45,1 \pm 6,3$ SPAD tại công thức ánh sáng L3, giai đoạn T30). Như vậy, không chỉ mỗi ánh sáng, khi tăng nồng độ CO₂, hàm lượng chlorophyll cũng tăng theo. Có thể nói cả hai yếu tố này ảnh hưởng tích cực đến hàm lượng chlorophyll trong lá, là một trong những chỉ số sinh lý quan trọng liên quan đến quá

trình quang hợp, từ đó ảnh hưởng đến kết quả năng suất sinh khối của cây. Và khi tăng nồng độ CO₂ từ 500 lên 800 ppm thì chỉ số chlorophyll sẽ tăng mạnh ngay sau khi bổ sung CO₂ (tuần giữa sinh trưởng), tạo tiền đề phát triển cho các giai đoạn tiếp theo của cây trồng.

3.2.3. Ảnh hưởng đến năng suất (sinh khối tươi và sinh khối khô) của cây trồng

Sinh khối tươi và sinh khối khô ở các giai đoạn sinh trưởng của hai thí nghiệm được so sánh thể hiện ở Hình 5. So sánh hình ảnh về hình thái của cây giữa hai thí nghiệm tại thời điểm thu hoạch ở công thức ánh sáng L3 được thể hiện tại Hình 6. Kết quả thí nghiệm cho thấy khối lượng tươi của cây cải bó xôi khi được bổ sung thêm CO₂ ở cả ba giai đoạn thí nghiệm cao hơn đáng kể (dao động từ 1,3 đến 1,5 lần tại T44) so với khối lượng tươi tương ứng tại từng công thức ánh sáng của thí nghiệm đối chứng. Sự khác biệt về sinh khối tươi có ý nghĩa thống kê giữa hai thí nghiệm được thể hiện ở mức ánh sáng L1 và L3 tại T37 và ở mức ánh sáng L2 tại tuần cuối cùng của quá trình sinh trưởng (T44). Tuy nhiên, với chỉ số khối lượng khô, sự khác biệt có ý nghĩa giữa TN1 và TN2 lại được thể hiện ở cả hai giai đoạn T37 và T44 tại công thức ánh sáng L2 với tỉ lệ tăng tương ứng là 43,8% tại T37 và 57,6% tại T44. Tại công thức ánh sáng L3, khối lượng tươi và khối lượng khô giữa hai thí nghiệm có sự khác biệt nhưng không có ý nghĩa thống kê. Điều đó có thể cho thấy, ở giai đoạn cuối sinh trưởng, tăng nồng độ CO₂ sẽ có tác động tích cực đến năng suất chất khô của cây. Nếu chỉ có ánh sáng thì cần tăng cường độ ánh sáng ở tuần giáp tuần thu hoạch hoặc tăng mạnh vào tuần cuối cùng sẽ cho kết quả có ý nghĩa hơn (trong thí nghiệm này có thể tăng từ 115 đến 160 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Nếu có đồng thời ánh sáng và CO₂ chỉ cần tăng ánh sáng ở mức độ vừa phải (từ 115 đến 140 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) và bổ sung CO₂ ở hai tuần cuối thu hoạch cho kết quả khác biệt có ý nghĩa cả đối với cả sinh khối tươi và năng suất chất khô của cây. Kết quả về năng suất sinh khối cho cây cải bó xôi trong nghiên cứu này cao hơn so nghiên cứu tương tự của Proietti và các cộng sự, 2013 [17]. Điều này có thể liên quan đến giống cây khác nhau.

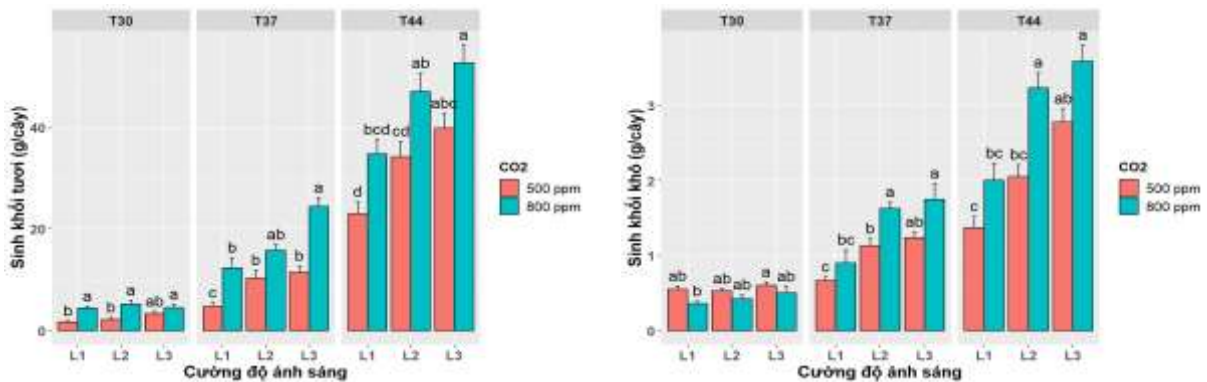


Hình 4. So sánh hàm lượng chlorophyll trong lá của cây giữa hai thí nghiệm (mỗi thanh bar biểu diễn giá trị trung bình và sai số chuẩn, sự khác biệt thống kê ở mức tin cậy 95% được thể hiện ở các chữ cái a, b, c; L1, L2, L3 là 3 mức cường độ ánh sáng thí nghiệm tương ứng $115 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $140 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ và $160 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Việc tăng cường độ ánh sáng lên quá cao bị hạn chế bởi giới hạn kinh tế và kỹ thuật, gây ảnh hưởng bất lợi đến sinh vật do năng lượng dư thừa tỏa ra môi trường. CO₂ cao làm giảm điểm bù ánh sáng, là cường độ ánh sáng mà tại đó cường độ quang hợp bằng với cường độ hô hấp [18]. Mà sự khác biệt giữa chúng là cơ sở để tích lũy vật chất khô tăng trưởng. Ngoài ra, CO₂ còn ảnh hưởng đến giới hạn của tốc độ quang hợp. Tốc độ quang hợp sẽ không thể tăng thêm nữa sau khi cường độ ánh sáng đạt đến một mức nhất định được gọi là điểm bão hòa ánh sáng (lượng ánh sáng tối đa mà cây có thể sử dụng) [19]. Cung

cấp nhiều hơn CO₂ giúp nâng cao giới hạn này để cây có thể hấp thụ nhiều ánh sáng hơn. Việc cung cấp ánh sáng nhân tạo và bổ sung CO₂ cho cây phát triển là tốn kém. Vì thế, cần tối ưu các yếu tố để năng lượng đầu vào được sử dụng hiệu quả và chuyển hóa thành năng suất, sinh khối đầu ra.

Nghiên cứu cần tiếp tục thử nghiệm với các cường độ ánh sáng và các dải nồng độ CO₂ khác nữa nhằm tối ưu điều kiện sinh trưởng của cây trồng đồng thời tối ưu cả về chi phí năng lượng nhằm đạt được năng suất sinh khối và chất lượng cây trồng tốt nhất.



Hình 5. So sánh sinh khối tươi và sinh khối khô của cây cải bó xôi giữa hai thí nghiệm (mỗi thanh bar biểu diễn giá trị trung bình và sai số chuẩn, sự khác biệt thống kê ở mức tin cậy 95% được thể hiện ở các chữ cái a, b, c, d; L1, L2, L3 là 3 mức cường độ ánh sáng thí nghiệm tương ứng $115 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $140 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ và $160 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$).



a) Thí nghiệm 1: T44, L3



b) Thí nghiệm 2: T44, L3

Hình 6. Hình ảnh cây cải bó xôi ở a) thí nghiệm 1 (không bổ sung CO₂) và b) thí nghiệm 2 (có bổ sung CO₂, ở công thức ánh sáng L3 (160 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), tại thời điểm thu hoạch T44.

4. Kết luận

Nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng đồng thời của cường độ ánh sáng và nồng độ CO₂ lên sự sinh trưởng và phát triển của cây cải bó xôi trồng thủy canh trong nhà máy sinh khối thực vật. Kết quả cho thấy cường độ ánh sáng tăng sẽ cho cây trồng sinh trưởng phát triển tốt hơn, tuy nhiên việc tăng cường độ ánh sáng nên thực hiện ở giai đoạn sau 30 ngày tuổi cho kết quả có ý nghĩa hơn. Trồng thủy canh cải bó xôi trong PF với ánh sáng nhân tạo có bổ sung thêm CO₂ ở nồng độ 800 ppm cho kết quả về năng suất sinh khối cao hơn đáng kể so với chỉ dùng ánh sáng nhân tạo (sinh khối tươi tăng 52,7% tại T37 và 37,5% tại T44 ở mức ánh sáng L2). Kết quả cho thấy việc bổ sung CO₂ ở các tuần cuối cùng sinh trưởng sẽ có ý nghĩa đối với sinh trưởng của cây. Nếu bổ sung CO₂ ở mức 800 ppm, năng suất chất khô tăng 43,8% và 40,8% ở giai đoạn T37 và 57,6% và 29,1% ở giai đoạn T44 tại công thức ánh sáng 140 và 160 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ tương ứng so với trồng cây chỉ có ánh sáng và CO₂ tự nhiên. Đây là kết quả có ý nghĩa trong việc xem xét tác động của sự tương tác giữa các yếu tố môi trường đối với việc tối đa hóa sản lượng của cây trồng trong các hệ thống môi trường được kiểm soát như PF, nhằm tăng năng suất cây trồng trong PF trong bối cảnh thiếu đất canh tác hiện nay.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội theo đề tài mã số CN21.23.

Tài liệu tham khảo

- [1] L. Graamans, E. Baeza, A. van den Dobbelsteen, I. Tsafaras, C. Stanghellini, Plant Factories Versus Greenhouses: Comparison of Resource use Efficiency, *Agric. Syst.*, Vol. 160, 2018, pp. 31-43.
- [2] J. H. Kang, S. KrishnaKumar, S. L. S. Atulba, B. R. Jeong, S. J. Hwang, Light Intensity and Photoperiod Influence the Growth and Development of Hydroponically Grown Leaf Lettuce in a Closed-type Plant Factory System, *Hortic. Environ. Biotechnol.*, Vol. 54, No. 6, 2013, pp. 501-509.
- [3] A. Rodyoung, Y. Masuda, H. Tomiyama, T. Saito, K. Okawa, H. Ohara, S. Kondo, Effects of Light Emitting Diode Irradiation at Night on Abscisic Acid Metabolism and Anthocyanin Synthesis in Grapes in Different Growing Seasons, *Plant Growth Regul.*, Vol. 79, No. 1, 2026, pp. 39-46.
- [4] T. Zou, C. Huang, P. Wu, L. Ge, Y. Xu, Optimization of Artificial Light for Spinach Growth in Plant Factory Based on Orthogonal Test, *Plants*, Vol. 9, No. 4, 2020, pp. 490.
- [5] P. J. Hunter, D. A. C. Pink, G. D. Bending, Cultivar-level Genotype Differences Influence Diversity and Composition of Lettuce (*Lactuca* sp.) Phyllosphere Fungal Communities, *Fungal Ecol.*, Vol. 17, 2015, pp. 183-186.

- [6] Q. Li, C. Kubota, Effects of Supplemental Light Quality on Growth and Phytochemicals of Baby Leaf Lettuce, *Environ. Exp. Bot.*, Vol. 67, No. 1, 2009, pp. 59-64.
- [7] R. J. Lee, S. R. Bhandari, G. Lee, J. G. Lee, Optimization of Temperature and Light, and Cultivar Selection for the Production of High-Quality Head Lettuce in a Closed-type Plant Factory, *Hortic. Environ. Biotechnol.*, Vol. 60, No. 2, 2019, pp. 207-216.
- [8] G. La, P. Fang, Y. Teng, Y. Li, X. Lin, Effect of CO₂ Enrichment on the Glucosinolate Contents Under Different Nitrogen Levels in Bolting Stem of Chinese Kale (*Brassica Alboglabra* L.), Vol. 10, No. 6, 2009, pp. 454-464.
- [9] S. K. Singh, V. R. Reddy, S. K. Singh, M. P. Sharma, R. Agnihotri, Dynamics of Plant Nutrients, Utilization and Uptake, and Soil Microbial Community in Crops Under Ambient and Elevated Carbon Dioxide, *Nutr. Use Effic. From Basics to Adv.*, 2015, pp. 381-399.
- [10] E. A. Ainsworth, S. P. Long, What have We Learned from 15 Years of Free-air CO₂ Enrichment (FACE)? A Meta-analytic Review of the Responses of Photosynthesis, Canopy Properties and Plant Production to Rising CO₂, *New Phytol.*, Vol. 165, 2005, pp. 351-372.
- [11] M. Chowdhury, S. Kiraga, M.N. Islam, M. Ali, M. N. Reza, W. H. Lee, S. O Chung, Effects of Temperature, Relative Humidity and Carbon Dioxide Concentration on Growth and Glucosinolate Content of Kale Grown in a Plant Factory, *Foods*, Vol. 10, No. 7, 2021, pp. 1524.
- [12] R. Zhang, T. Liu, J. Ma, Plant Factory: A New Method for Reducing Carbon Emissions, *AIP Conf. Proc.*, Vol. 1820, 2017, pp. 040016.
- [13] T. P. D. Nguyen, T. T. H. Tran, T. T. Nguyen, T. T. Le, Q. T. Nguyen, Determination of Optimal Technical Parameters for Growing of Spinach (*Spinacia Oleracea*) in the Circulating Hydroponic System, *J. Vietnam Agric. Sci. Technol.*, Vol. 1, No. 98, 2019, pp. 1-9 (in Vietnamese).
- [14] T. P. D. Nguyen, T. T. H. Tran, T. T. Nguyen, Q. T. Nguyen, Effects of Red and Blue Led Lights at Varied Intensities on Indoor, Hydroponic Spinach (*Spinacia Oleracea* L.) Growth, *Proceeding 4th Natl. Sci. Conf. Biol. Res. Teach*, 2020, pp. 554-562 (in Vietnamese).
- [15] T. A. T. Tran, V. T. Ho, T. H. Trinh, T. K. A. Ngo, Effect of Nutrients and Light Emitting Diode (LED) on Growth of Lolo and Green Oak Leaf Lettuce Hydroponic, *J. Sci. Technol. Food*, Vol. 22, No. 1, 2022, pp. 54-64 (in Vietnamese).
- [16] L. Limantara, M. Dettling, R. Indrawati, Indriatmoko, T. H. P. Brotosudarmo, Analysis on the Chlorophyll Content of Commercial Green Leafy Vegetables, *Procedia Chem.*, Vol. 14, 2015, pp. 225-231.
- [17] S. Proietti, S. Moscatello, G. A. Giacomelli, A. Battistelli, Influence of the Interaction Between Light Intensity and CO₂ Concentration on Productivity and Quality of Spinach (*Spinacia Oleracea* L.) Grown in Fully Controlled Environment, *Adv. Sp. Res.*, Vol. 52, No. 6, 2013, pp. 1193-1200.
- [18] B. A. Caplan, Optimizing Carbon Dioxide Concentration and Daily Light Integral Combination in a Multi-Level Electrically Lighted Lettuce Production System, *Master thesis, Univ. Arizona*, 2018.
- [19] M. Poudel, B. Dunn, Greenhouse Carbon Dioxide Supplementation, *Oklahoma Coop. Ext. Serv.*, 2017, HLA-6723, pp. 1-6.