

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

LUZ VERMELHA NOTURNA E *MULCHING* NO
CRESCIMENTO DA ALFACE

María José Yáñez Medelo

Engenheira Agrônoma

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

LUZ VERMELHA NOTURNA E *MULCHING* NO
CRESCIMENTO DA ALFACE

María José Yáñez Medelo

Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

Coorientador: Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

M488l Medelo, María José Yañez
Luz vermelha noturna e mulching no crescimento da alface /
María José Yañez Medelo. -- Jaboticabal, 2021
38 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal

Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho
Coorientador: Rogério Falleiros Carvalho

1. Lactuca sativa. 2. Hidroponia. 3. Luz artificial. 4. Cultivo
protegido. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: LUZ VERMELHA NOTURNA E *mulching* NO CRESCIMENTO DA ALFACE

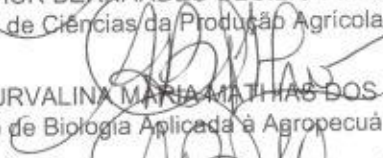
AUTORA: MARIA JOSÉ YÁÑEZ MEDELO

ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

COORIENTADOR: ROGÉRIO FALLEIROS CARVALHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Profa. Dra. DURVALINA MARIA MATHIAS DOS SANTOS (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. JUAN WALDIR MENDOZA CORTÉZ (Participação Virtual)
Facultad de Agronomía / Universidad Nacional Agraria La Molina / Peru

Jaboticabal, 26 de fevereiro de 2021

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

MARIA JOSE YAÑEZ MEDELO – Nascida em Cúcuta, Norte de Santander, Colômbia, filha de Blanca Aliria Medelo Tarazona e Jesus Antonio Yañez Parra. Em 2015, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Francisco de Paula Santander, Colômbia. Durante a graduação participou do Programa de Pesquisa SIBAA (Semillero de investigación Biotecnología para la Agricultura y la Alimentación). Trabalhou na Federação Nacional de Cafeteiros de Colômbia. Em agosto de 2019, ingressou no Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus Jaboticabal, sob a orientação do Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho e coorientação do Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho.

À minha família pelo apoio incondicional em todas
as etapas deste trabalho, em especial aos meus pais
Blanca Aliria Medelo Tarazona e Jesús Antonio Yáñez Parra,
que sempre foram exemplos de força, dedicação,
amor e paciência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço a tudo na vida.

A meus pais, pelo exemplo de luta, especialmente, à minha mãe e melhor amiga, Blanca Aliria Medelo, pelo apoio, amor, compressão e confiança, por me ensinar o valor do esforço e trabalho

A minha irmã, Marlody, por toda dedicação em me ajudar com o que for preciso.

A minha Avó Berta Maria Tarazona (*in memoriam*), por ser uma segunda mãe, pelo amor, carinho e ensinamentos.

A meu orientador Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, pela compreensão, paciência, incentivo, empenho pessoal, orientação e, sobretudo, amizade, que tanto contribuíram para a minha formação profissional.

A meu coorientador, Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho, pelo apoio e atenção.

Ao meu namorado Danilo dos Reis Cardoso Passos, por todo o amor, compreensão, paciência, apoio e companheirismo em todos os momentos.

Aos amigos do grupo de pesquisa em nutrição e adubação de hortaliças, Camila Seno, Carolina Seno, Danilo Passos, Breno Pereira, Beliza Queiroz, Julia das Mercês, Isaías Reis, Paulo Henrique Soares e Franciele Quintino, pelas experiências compartilhadas e momentos de descontração.

A minhas amigas mais queridas, Jeiny Viviana Gonzalez Ortiz e Kelly Johana Osorio, pela valiosa amizade ao longo da vida.

A Laura Valderrama pela ajuda, paciência e apoio para cumprir meus sonhos.

Aos amigos colombianos Ana Maria Fernanda Ramirez Tovar, Valentina Montoya, Juan Diego Rodriguez pela amizade e porque sempre encontraram as palavras certas nos dias difíceis.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela oportunidade oferecida.

Aos funcionários do Departamento de Ciências da Produção Agrícola, em especial aos servidores Inauro Santana e Reinaldo dos Santos, do Setor de Olericultura e Plantas Aromático-medicinais, e à Rosane Innocente e Wagner Aparecido, pela atenção e assistência.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A radiação luminosa proveniente do sol.....	3
2.2 Importância da luz vermelha na produção e qualidade da alface	5
2.3 Mulching como potencializador da iluminação artificial	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Caracterização e localização da área experimental	8
3.2 Instalação e condução do experimento	9
3.3 Tratamentos e delineamento experimental	10
3.4 Características avaliadas	11
3.5 Análise estatística	12
4 DISCUSSÃO.....	21
5 CONCLUSÃO	24
6 REFERÊNCIAS	25

LUZ VERMELHA NOTURNA E *MULCHING* NO CRESCIMENTO DA ALFACE

RESUMO - A aplicação de luz tem sido um dos mais recentes fatores a serem incorporados ao cultivo noturno de alface. Dentre os componentes de manejo, a intensidade de fótons tem tido destaque, com possibilidade de ter seu efeito otimizado pelo *mulching*. Entretanto, a resposta da alface à suplementação de luz noturna de baixa intensidade associada ao fotoperíodo natural não é conhecida. Desta forma, objetivou-se avaliar o impacto da intensidade da luz vermelha aplicada à noite e da cobertura de canais de cultivo hidropônico com material reflexivo, em aspectos biométricos e produtivos da alface. Foram avaliados oito tratamentos resultantes da combinação de *mulching* (presença e ausência) e intensidade de luz vermelha (0; 0,8; 1,6 e 2,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), via LED. O experimento foi realizado em cultivo hidropônico, de junho a agosto de 2020, sob delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Alguns nutrientes foram influenciados pelos fatores isoladamente ou pela interação. Não houve interação dos fatores e nem efeito do *mulching* sobre as características biométricas e produtivas da alface. O aumento do fotoperíodo mediante a aplicação de luz vermelha noturna promoveu aumento do número de folhas, área foliar e massa fresca e seca da parte aérea e da produtividade da alface, e quanto maior a intensidade da luz vermelha, maiores os valores obtidos. Portanto, a luz vermelha, mesmo em baixa intensidade, fornecida em período adicional à radiação solar, é capaz de incrementar o crescimento da alface e, consequentemente, a produtividade do cultivo.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*, hidroponia, luz artificial, luz vermelha, cultivo protegido.

RED NIGHT LIGHT AND *MULCHING* ON LETTUCE GROWTH

ABSTRACT – The application of light has been one of the most recent factors to be incorporated into the cultivation of lettuce. Among the management components, the photon intensity stands out, with the possibility of having its effect optimized by mulching. The response of lettuce to supplementation of low-intensity light applied at night associated with the natural photoperiod is not known. Thus, the objective was to evaluate the impact of the intensity of red light applied at night and the coverage of hydroponic cultivation channels with reflective material, in biometric and productive aspects of lettuce. Eight treatments resulting from the combination of mulching (presence and absence) and red light intensities, applied via LED (0, 0.8, 1.6 and 2.4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) were evaluated. The experiment was carried out in hydroponic cultivation, from June to August 2020, in a randomized block design, split-plot, with four replicates. Some nutrients were influenced by the factors alone or by their interaction. There was no interaction of factors and no effect of mulching on the biometric and productive characteristics of lettuce. The increase in photoperiod through the application of red light at night promoted an increase in the number of leaves, leaf area, fresh and dry mass of the shoot and productivity of lettuce; and the greater the intensity of red light, the greater the values obtained. Therefore, red light, even at low intensity, provided in an additional period to solar radiation, is able to increase the growth of lettuce and, consequently, the productivity of cultivation.

Keywords: *Lactuca sativa* L. Hydroponics, Artificial light, Red light, Protected cultivation.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Dados meteorológicos do período experimental.	9
Tabela 2. Resumo da análise de variância para teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na alface em função da intensidade de luz vermelha e mulching.	13
Tabela 3. Resumo da análise de variância para teores foliares de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na alface em função da intensidade de luz vermelha e mulching.	15
Tabela 4. Resumo das análises de variância para número de folhas (NF), área foliar (AF), diâmetro do caule (DC) e comprimento do caule (CC) da alface em função da intensidade de luz vermelha e mulching.	17
Tabela 5. Resumo das análises de variância para massa seca do caule (MSC), massa seca de folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa fresca da parte aérea (MFPA) da alface em função da intensidade de luz vermelha e mulching.	19
Tabela 6. Resumo das análises de variância para carotenoides (Car) e clorofila a (Chl a) e b (Chl b) em função da intensidade de luz vermelha e mulching.	19

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Unidades experimentais com aplicação de luz vermelha nas intensidades de 0,8 (a); 1,6 (b) e 2,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (c).	11
Figura 2. Tratamentos sem (a) e com (b) mulching dos canais hidropônicos na alface.	11
Figura 3. Teores foliares de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), boro (B) e manganês (Mn) na alface em função da interação mulching e intensidade de luz vermelha.	15
Figura 4. Área foliar (AF) e número de folhas por planta (NF) de alface em função da intensidade de luz vermelha.	19
Figura 5. Comprimento do caule (CC) e massa seca do caule (MSC) de alface em função da intensidade de luz vermelha.	20
Figura 6. Massa seca de folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA) de alface em função da intensidade de luz vermelha.	20
Figura 7. Massa fresca da parte aérea (MFPA) de alface em função da intensidade de luz vermelha.	20

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa de maior importância econômica no mercado brasileiro, com produção nacional de 575,5 mil toneladas, em 86,8 mil hectares. Em 2019, o estado que mais se destacou foi São Paulo, com produção de 137 mil toneladas de alface em 8 mil hectares (Pessoa e Machado, 2020). Portanto, a alface constitui-se em uma das culturas mais importantes no agronegócio brasileiro, com crescimento do cultivo em condições artificiais (Camejo et al., 2020). Esta espécie possui rápido crescimento, curto período de produção, baixa demanda de energia para produção e alto valor nutricional (Lin et al., 2013).

Entre os diversos fatores que afetam a produção da alface em ambiente protegido, as questões relacionadas à luz têm atraído a atenção do setor agrícola. Determinar qual espectro de fótons, fotoperíodo e densidade de fluxo de fótons são decisões importantes, que afetam a produtividade da cultura e a qualidade do produto (Kelly et al., 2020).

Especificamente para a alface, maior período de luz favorece seu crescimento e, conseqüentemente, a produção (Fu et al., 2017). Somado ao fotoperíodo suplementar, maior intensidade de luz também é fator promotor do crescimento, incrementando a produtividade da cultura (Viršilė et al., 2019; Yan et al., 2019; Zakurin et al., 2020). Em estudos de suplementação de luz à alface, em geral realizada diurnamente, melhores respostas no crescimento foram observadas com 200 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fótons (Fu et al., 2012; Kang et al., 2013; Zhang et al., 2018). Porém, a quantidade de energia luminosa necessária para a fotossíntese é cerca de 100 vezes maior do que a necessária para estímulos morfogenéticos das plantas (He et al., 2019). Por outro lado, baixa intensidade de luz pode ser suficiente para gerar sinais e estímulos fotomorfogenéticos nas plantas, e suportam as seguintes hipóteses: i) baixa intensidade luminosa aplicada às plantas, durante a noite, terá implicação positiva no crescimento e produção da alface, em razão de aumentar o fotoperíodo; ii) maior intensidade de luz promoverá maior crescimento e produção da alface.

As respostas morfológicas e fisiológicas das plantas são fortemente influenciadas pela qualidade da luz, que se refere ao comprimento de onda (cor) que atinge a superfície da planta para realizar seus processos fotossintéticos e

fotomorfogenéticos (Gupta e Agarwal, 2017; Han et al., 2019; Minamida et al., 2019). Os comprimentos de onda mais comumente utilizados para a produção de hortaliças, como alface, são o comprimento de onda azul e vermelha, os quais são predominantemente absorvidos pelos fotorreceptores, tais como criptocromos, fotopropinas e zeitlupes (315 – 500 nm), bem como fitocromos (600 – 750 nm) que regulam o crescimento das plantas (Kang et al., 2016; Chen et al., 2017; Kitazaki et al., 2018). No entanto, o comprimento de onda de luz vermelha tem sido considerado o espectro de iluminação mais eficiente para o crescimento e funcionamento fotossintético da alface (Samuolienė et al., 2013; Chen et al., 2017).

Alguns estudos demonstraram que a luz vermelha é indispensável para o desenvolvimento do aparelho fotossintético, e poderia afetar a morfogênese da planta, pois emitem um espectro de luz muito próximo do máximo de absorbância, tanto da clorofila quanto dos fitocromos (Chen et al., 2017; Lazzarini et al., 2017). Atualmente, a suplementação luminosa por diodo emissor de luz (LED) tem sido utilizada como modo principal de aplicação da luz artificial às culturas em casas de vegetação, conforme evidenciado por Olle e Alsiòa (2019). O LED vem ganhando relevância na horticultura, uma vez que permite fornecer um espectro específico de luz à cultura possibilitando obter atributos fotomorfogenéticos e de qualidade desejáveis (Zhang et al., 2019), criando sistemas de iluminação economicamente eficientes quando comparados com lâmpadas convencionais (Samuoliene et al., 2013). Além disso, outra vantagem do LED, em relação às fontes de iluminação tradicionais, é o menor aquecimento da própria fonte luminosa (Wang et al., 2015).

Como estratégia para otimizar o aproveitamento da luz aplicada artificialmente, tem-se o *mulching*. O uso de *mulching* pode contribuir para o controle de pragas e aumento do aproveitamento da luz incidente no ambiente (Lamont Junior, 2017). Estes filmes fotosseletivos são projetados para absorver comprimentos de onda luminosos, o que muda o espectro da luz passando pelo filme ou reflete esse comprimento de volta ao dossel da planta, o que pode ser útil no manejo características da planta (Bhattacharya et al., 2018).

Diante do exposto, o objetivo foi avaliar o impacto da intensidade luminosa complementar à luz ambiente e da cobertura de canais de cultivo hidropônicos com material reflexivo em aspectos biométricos e produtivos da alface.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A radiação luminosa proveniente do sol

O sol é a principal fonte luminosa do planeta terra, cuja radiação é composta por um espectro eletromagnético caracterizado por velocidade, comprimento de onda e frequência (Silva Junior e Carvalho, 2020), abrangendo comprimentos de onda de 300 a 2500nm (Taiz e Zeiger, 2016). No entanto, para as plantas, a faixa da radiação de 400 a 750nm é a que regula vários processos (fotossíntese, fotomorfogênese, fotoperiodismo e fototropismo), que se relacionam ao crescimento e desenvolvimento, e é definida como radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (Mawphlang et al., 2017). Nesta faixa estão os comprimentos de onda violeta (400-450 nm), azul (450-520 nm), verde (520–560 nm), amarelo (560–600 nm), laranja (600–625 nm), vermelho (625-700 nm) e vermelho extremo (>700 nm) (Van Lersel, 2017). As luzes azul e vermelha atraem a maioria das atenções para o manejo de cultivos agrícolas, uma vez que esses comprimentos de onda são, predominantemente, absorvidos pelos pigmentos fotorreceptores gerando maior impacto na arquitetura e desenvolvimento das plantas (Abidi et al., 2013).

Respostas fotomorfogênicas, tais como germinação, fototropismo, expansão foliar, floração, e alteração no crescimento, são reguladas por fotorreceptores (fitocromos, criptocromos e fototropinas), cuja intensidade, qualidade e/ou duração da luz afetam como estas respostas ocorrem (Sancar., 2003; Ibaraki, 2016; Gupta, 2017).

Os fotorreceptores são moléculas que se encontram presentes nos cloroplastos das plantas, os quais detectam e traduzem os sinais e informações presentes nos comprimentos de onda do espectro luminoso (Cocetta et al., 2017). As plantas apresentam diversos fotorreceptores, que incluem os pigmentos fotossintéticos como as clorofilas, que absorvem, principalmente, os comprimentos de onda azul e vermelho, e os carotenoides, que absorvem, principalmente, a luz azul (Bayat et al., 2018).

Os fitocromos são as moléculas mais caracterizadas e exponencialmente estudadas (Silva Junior e Carvalho, 2020), com picos de absorção na faixa do vermelho (620-700nm) e vermelho extremo (730-800nm) do espectro luminoso

(Carvalho e Folta, 2014). Atuam na germinação de sementes, floração, arquitetura da planta, tuberação, proteção contra sombra e dormência de botões; portanto, com efeito marcante na produtividade (Demotes-Mainard et al., 2016; Bayat et al., 2018).

Existem várias fontes de luz para uso na produção agrícola, como as lâmpadas de sódio de alta pressão, lâmpadas de iodetos metálicos e lâmpadas fluorescentes (Ahmed et al., 2020). Entretanto, as emissões de luz artificial tradicional não são espectralmente ideais, nem energeticamente eficientes para várias espécies de plantas (Bantis et al., 2018). O Diodo Emissor de Luz (LED) tem se constituído em tecnologia interessante para suprir a carência luminosa passível de acontecer em campo (Krbal et al., 2014), ou em ambientes protegidos (Gupta, 2017). É a primeira fonte de luz com capacidade de controlar a intensidade e composição espectral, evitando o desperdício de energia, ajustando os comprimentos de onda aos fotorreceptores da planta (Gupta, 2017). Adicionalmente, possui bom desempenho, menor aquecimento que outras fontes de luz, tamanho pequeno, vida longa e capacidade de economizar energia (Mitchell et al., 2015; Urrestarazu et al., 2016; Lazzarini et al., 2017).

A tecnologia LED tem sido amplamente utilizada para investigar os efeitos da qualidade da luz no desenvolvimento e metabolismo das plantas, com particular atenção à fotossíntese e fotomorfogênese (Graham et al., 2019). Diferentes qualidades de luz afetam diferentemente o crescimento da planta e a qualidade nutricional (Nicole et al., 2016; Bayat, 2018). Nas últimas décadas, os estudos sobre a manipulação da luz têm se dedicado a compreender a relação da luz e metabólitos secundários (Bantis et al., 2018). Como já é conhecido para muitas hortaliças e condimentos, a quantidade e a qualidade da luz desempenham função importante na síntese de muitos antioxidantes, como ácidos fenólicos, carotenoides, flavonoides, antocianinas e α -tocoferol (Stagnari et al., 2014), principalmente, devido às respostas fotomorfogênicas desencadeadas pelos fitocromos (Henschel et al., 2017).

Muitos estudos ainda são necessários para adequar a iluminação (intensidade, comprimento de onda e duração) à demanda das hortaliças. Determinar qual o espectro e a densidade de fluxo de fótons e o fotoperíodo são decisões importantes que afetam o custo de iluminação, a produtividade da cultura e a qualidade do produto colhido (Kelly et al., 2020; Zakurin et al., 2020).

Embora os custos com luminárias LED estejam diminuindo e a eficiência da iluminação aumentando, minimizar os custos de energia é fundamental para a lucratividade.

2.2 Importância da luz vermelha na produção e qualidade da alface

A alface é uma planta de clima temperado, que pertencente à família Asteraceae, originária da região do Mediterrâneo (Chen et al., 2021). É considerada uma das hortaliças folhosas mais importantes do mundo (Treuren et al., 2018).

É uma planta anual, herbácea, com caule diminuto, ao qual se prendem as folhas (Filgueira, 2007), apresentando rápido crescimento, porte pequeno e alto valor nutricional (Chen et al., 2021). A alface é valorizada, principalmente, por apresentar bons teores de cálcio e vitaminas A, C, B₁ e B₂, além de benefícios na prevenção de doenças cardiovasculares e na redução do risco de câncer (Kim et al., 2016; Amoozgar et al., 2017; Fu et al., 2017), sendo consumida em saladas, na forma de folhas cruas sozinha ou misturada a outras hortaliças.

No Brasil, os dados mais recentes indicam que a produção nacional atingiu 575,5 mil toneladas, em 86,8 mil hectares, sendo São Paulo o principal estado produtor, responsável por 137 mil t, em 8 mil ha, em 2019 (Pessoa e Machado, 2020).

A alface é a principal cultura utilizada em sistemas hidropônicos, no Brasil (Soares et al., 2020), onde o sistema *nutrient film technique*, com reaproveitamento e recirculação da solução nutritiva, é utilizado se não em 100% dos cultivos hidropônicos, algo muito próximo à isso.

A qualidade e a produtividade da alface são afetadas por práticas agronômicas e vários fatores ambientais, como a luz (Ilić e Fallik, 2017), a qual pode afetar o desempenho agrônômico assim como o seu sabor (Carvalho e Folta, 2014; Gupta, 2017; Chen et al., 2021).

Comprimentos de onda azul e vermelho parecem ser mais adequados para produção da alface como resultado do espectro de absorção máxima da clorofila (Wang et al., 2018). A luz vermelha mostrou-se 25 a 35% mais eficiente que a luz azul e 5 a 30% mais eficiente do que a luz verde (Ruangrak e Khummueng, 2019). Plantas

da alface apresentaram aumento de 28% na expansão foliar e 15% na massa fresca e seca quando se aplicou luz vermelha (Li e Kubota, 2009).

A luz vermelha é um comprimento de onda essencial para o crescimento normal da planta. Este comprimento de onda é, principalmente, mediado pelo fitocromo e desempenha uma função importante na morfogênese foliar, formação do aparato fotossintético, acúmulo de carboidratos e síntese de compostos químicos (Chen et al., 2016; Wang et al., 2016; Rehman et al., 2017). Na cultura da alface, o conteúdo de açúcar solúvel foi significativamente maior sob luz LED vermelha que sob outros tratamentos de luz (Zhang et al., 2018). Chen et al (2019) relataram que a massa fresca e os teores de frutose, de glicose e de fibra bruta e o índice de açúcar total na alface foram significativamente aumentados pelo tratamento com vermelho monocromático. Embora não seja a estratégia de iluminação ideal, o vermelho monocromático pode atender aos requisitos de crescimento, produtividade e qualidade da alface (Gupta et al., 2017).

A densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) e o fotoperíodo são dois componentes-chave do manejo de luz na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas e do valor nutricional de seus produtos (Zhang et al., 2018). O fotoperíodo é uma importante sinalização fotomorfogênica, assim como é o componente integral de luz diária (DLI) - soma total de PPFD atingindo as plantas (Viršilė et al., 2019). Sob um determinado PPFD, Kelly et al (2020) verificaram que aumentar o fotoperíodo aumenta o DLI e, conseqüentemente, aumentou a produtividade da alface. Nhi et al (2016) observaram que o aumento da extensão do fotoperíodo com intensidades de luz relativamente baixa pode melhorar a nutrição da planta e aumentar a massa seca da alface.

A suplementação luminosa com intenção de aumentar o fotoperíodo tem reflexos positivos na alface e outras hortaliças folhosas.

Várias estratégias de tratamento de plantas com fotoperíodo de 24h na fase de pré-colheita têm sido relatadas como bem sucedidas na redução do teor de nitrato em hortaliças folhosas (Wanlai, et al., 2013). Na alface de folha verde, um fotoperíodo curto de 12h resultou em área foliar 1,44 vez menor às de plantas cultivadas com 16 a 24 h. O índice de flavonoides aumentou em fotoperíodos mais longos. Na alface de folha vermelha, a maior concentração de aminoácidos livres foi observada com

fotoperíodo de 16h e diminuiu gradualmente nos fotoperíodos mais longos (Viršilė et al., 2019). Fotoperíodo mais longos com PPFD mais baixo tem sido sugerido como uma estratégia para aumentar a fotossíntese eficiência e crescimento da colheita de alface em ambientes controlados (Iersel, 2017). Isso tem implicações práticas para a agricultura em ambiente controlado Weaver e Iersel (2020) descobriram que para a alface cultivada em estufa, a massa seca aumentou 28% quando o fotoperíodo aumentou de 12 a 21 h.

Assim, o presente estudo tem como hipóteses relativas à iluminação artificial da cultura da alface: i) ainda que com baixa intensidade de luz vermelha, fotoperíodo adicional de 6 horas aumentará o crescimento e produtividade da cultura; ii) o incremento da intensidade de luz vermelha, via LED, por 6 horas, aumentará o crescimento e produtividade da cultura.

2.3 *Mulching* como potencializador da iluminação artificial

A prática agrônômica do *mulching* é mais utilizada em cultivo de hortaliças em solo, podendo ser realizada com material orgânico ou sintético (Rippa et al., 2018; Merino et al., 2019). Os benefícios são numerosos e dependentes do material usado.

Quando o *mulching* é realizado com material orgânico, geralmente, busca-se diminuir a temperatura do solo e evaporação de água, controle de plantas daninhas aumento da formação de húmus no solo, possibilidade de extensão do ciclo agrônômico das lavouras, proteção de plantas contra alguns patógenos e pragas (Franquera e Mabesa, 2016; Guerrini, et al., 2019). Já o *mulching* realizado com materiais sintéticos, em geral, apresentam baixíssima ou nenhuma transmitância de luz ao solo, mas possuem grau variado de refletividade da luz. Assim, quando opaco, o *mulching* tem contribuição ao cultivo por reduzir a temperatura do solo; reduzir a evaporação de água do solo, diminuindo a frequência e/ou lâmina de irrigação; reduzir a amplitude hídrica e térmica do solo, proporcionando benefícios ao sistema radicular da planta e à ação de microbiota do solo com impacto positivo sobre a ciclagem de nutrientes; controlar algumas pragas e patógenos, controlar plantas daninhas, minorar ou evitar erosão do solo e reduzir podridão de frutos ou de folhas baixas que estariam apoiados no solo (Guerrini, et al., 2019). Quando o *mulching* possui

característica refletiva, dependente da cor, pode contribuir para controle de certas pragas e aumento do aproveitamento da luz incidente no ambiente (Lamont Jr, 2017; Bhattacharya et al., 2018)

No cultivo hidropônico *nutrient film technique* (NFT), há diversos tipos de canais de cultivo. Em geral, quando adquiridos de empresas de produtos hidropônicos, possuem a parte superior nas cores branca ou prata. Quando o canal de cultivo é fabricado pelo produtor rural, em geral, usando-se tubos de PVC cortados longitudinalmente, os canais são cobertos em a parte superior com polietileno de baixa densidade branco ou prata, ou placas de poliestireno expandido, ou com Tetra-Pak®, que é um material composto de camadas de filmes de polietileno-alumínio-polietileno-papel-polietileno. Em comum, estes materiais usados como *mulching* sustentam as plantas, evita a incidência direta da radiação solar na solução nutritiva e no sistema radicular; diminui a temperatura e evaporação da água, diminui a formação de algas, reduz a entrada de poeira nos canais de cultivo e contaminação da solução nutritiva, reflete a luz incidente, que além de controlar certos insetos pode redistribuir parte da luz para o dossel das plantas.

No presente estudo, acredita-se que o uso de *mulching* Tetra-Pak sobre os canais de cultivo, inclusive cobrindo os espaços entre os canais, possibilitará melhor aproveitamento da luz artificial aplicada à alface, com efeito positivo sobre o crescimento desta hortaliça.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e localização da área experimental

O experimento foi conduzido de 12 de junho (semeadura) a 6 de agosto de 2020 (colheita), em casa de vegetação, com medidas de 51 m de comprimento, 12,80 m de largura e pé-direito de 3,0 m, no sistema hidropônico *nutrient film technique* (NFT), com recirculação da solução nutritiva (sistema fechado), na UNESP, câmpus de Jaboticabal, SP, situada a 21°15'22" S, 48°18'58" O e a 575 metros de altitude.

Os valores de temperaturas mínimas e máximas e de precipitação pluvial referentes ao período de condução do experimento (Tabela 1) foram extraídos de

dados pertencentes ao acervo da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas da Estação Agroclimatológica do Câmpus de Jaboticabal, SP.

Tabela 1. Dados meteorológicos do período experimental.

Mês	Tmax. (°C)	Tmin. (°C)	Tmed. (°C)	UR (%)	Precipitação pluvial (mm)	ND	RSG (MJ m ⁻²)
Junho	27,75	14,31	20,4	63,46	6,4	1	14,16
Julho	29,57	13,86	21,12	55,80	0	0	16,09
Agosto	28,55	11,37	19,42	49,85	0	0	18,16

Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tmed: temperatura média; UR: umidade relativa do ar; ND: número de dias com chuva; RSG: Radiação solar global.

3.2 Instalação e condução do experimento

A alface 'Vanda' foi semeada em espuma fenólica 2 x 2 x 2 cm, previamente lavada em água corrente, de modo a eliminar qualquer tipo de resíduo presente. Durante o período de germinação e crescimento inicial da plântula, essas placas permaneceram por 12 dias em casa de vegetação com sistema de aspersão sendo irrigadas somente com água (Fase I).

Quando as plântulas apresentaram os cotilédones expandidos, as células da espuma fenólica foram individualizadas e as mudas transferidas para canais de polipropileno, com 5 cm de largura, em sistema NFT, com 5% de declividade (Fase II) e então permaneceram por 15 dias.

Quando apresentaram duas folhas, 27 dias após a semeadura, as plantas foram transplantadas para os canais definitivos, com 0,10 m de diâmetro e 5% de declividade para recolhimento da solução nutritiva para os reservatórios. O espaçamento de cultivo foi de 0,25 m entre canais e 0,25 m entre plantas (Fase III).

Nas fases II e III, a solução nutritiva utilizada foi a recomendada para alface por Furlani et al. (1999). As concentrações dos nutrientes foram as seguintes: 24; 174; 39; 183; 142; 38; 52; 0,3; 0,02; 2,0; 0,40; 0,06 e 0,06 mg dm⁻³ de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, respectivamente.

O acionamento das bombas (Power Head CX-300, vazão de 1000 L h⁻¹), para circulação da solução nutritiva, foi controlado por um temporizador, com início às 7h00

e término às 19h00, realizada de modo intermitente, sendo 15 minutos com circulação da solução nutritiva e 15 minutos sem circulação. No período seguinte, de 19h00 às 7h00, as plantas receberam solução nutritiva às 22h00 e 2h00 por 15 minutos.

Durante o período experimental, as soluções nutritivas receberam aeração constante. O pH e a condutividade elétrica (CE) foram monitoradas, diariamente, por meio de peagômetro e condutivímetro digital. O pH foi mantido entre 5,5 a 6,5, usando-se NaOH ou HCl 0,1 mol L⁻¹. Diariamente, foi realizado a reposição de água para completar o volume inicial do reservatório (500 L). A solução nutritiva dos tratamentos foi renovada quando se constatou redução de 50% da CE inicial.

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Foram avaliados oito tratamentos resultantes da combinação de intensidades de luz vermelha (0; 0,8; 1,6 e 2,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e *mulching* (presença e ausência).

A aplicação da luz se deu a partir da Fase III de crescimento das plantas e foi realizada de 24h às 6h, em suplementação à radiação solar. As luminárias com uma, duas ou três fitas de LED, 5050, 127v, ip66, marca LED Max para a aplicação de 0,8; 1,6 e 2,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, foram posicionadas a 0,30 m de altura da superfície do *mulching*. Utilizou-se uma luminária por unidade experimental (Figura 1). A radiação foi aferida usando-se o espectrorradiômetro portátil (modelo SpectraPen, LM 500, PSI, Brno, Czech Republic). Entre as subparcelas, utilizou-se de uma cortina de polietileno negro para evitar a interferência entre tratamentos de luz.

Como *mulching*, foi utilizado o Tetrapak[®], cuja face voltada para a luz era de cor prata. Considerou-se como ausência de *mulching* quando o Tetrapak[®] foi usado para cobertura somente dos canais de cultivo e o tratamento presença do *mulching* correspondeu à cobertura de toda a bancada, inclusive vãos entre os canais de cultivo (Figura 2).



Figura 1. Unidades experimentais com aplicação de luz vermelha nas intensidades de 0,8 (a); 1,6 (b) e 2,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (c).

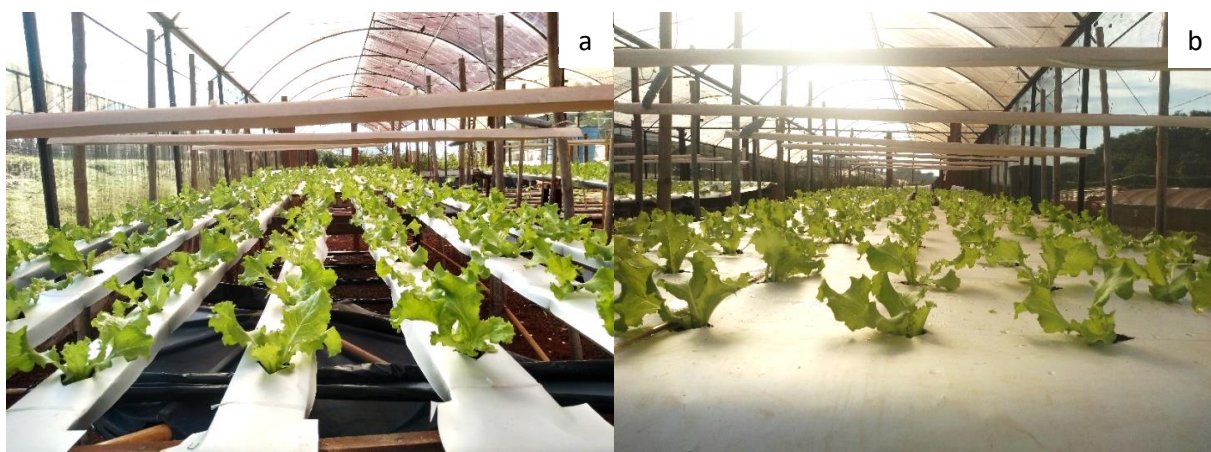


Figura 2. Tratamentos sem (a) e com (b) *mulching* dos canais hidropônicos na alface.

Os tratamentos foram arranjados em delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. A subparcela (intensidade de luz) foi constituída por 21 plantas da alface. Como área útil para coleta de dados, foi considerada as plantas sob a projeção da luminária.

3.4 Características avaliadas

Quando a planta estava com dois terços de seu período de crescimento na Fase III, foi realizada a avaliação do estado nutricional da alface. De cada planta da área útil da subparcela, foi coletada uma folha intermediária (recém-desenvolvidas).

As folhas coletadas foram lavadas em água corrente e deionizada, colocadas

para secar em estufa com circulação de ar a $65\pm 2^{\circ}\text{C}$. Após seco, foram moídas e preparada a digestão para leitura de macro e micronutrientes, conforme metodologia proposta por Miyazawa et al (2009).

Na colheita, foram avaliados: a) Número de folhas: realizada a contagem do número de folhas por planta; b) Área foliar (dm^2 por planta): obtida por meio do medidor eletrônico da marca LICOR® 104, modelo LI 3100; c) Diâmetro e comprimento do caule (mm): o diâmetro a 3 cm acima do colo da planta e o comprimento do caule foram obtidos usando-se paquímetro digital e régua milimétrica; d) Massa fresca da parte aérea (kg por planta): as plantas de cada subparcela foram colhidas entre 6:00 h às 7:00 h, e imediatamente pesadas; e) Massa seca de folhas e do caule (g por planta): as folhas e o caule foram lavados em água corrente e água deionizada, secas em estufa de circulação forçada de ar a $65 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem massas constantes e em seguida pesadas; f) Massa seca da raiz (g por planta): foi adotado o procedimento descrito para massa seca de folhas e caule; g) Teor de carotenoides e de clorofila: discos foliares foram coletados de folhas intermediárias de plantas da alface e a determinação dos teores de cada pigmento foi realizada segundo metodologia proposta por Lichtenthaler (1987); h) Estômatos: foram avaliados usando impressões de folhas abaxiais colando-se a folha na lâmina de microscópio de vidro com adesivo instantâneo universal éster de cianoacrilato (Sampson, 1961). Foi realizada de 5 às 6 h, horário que apresentava presença da iluminação artificial. Após a secagem, retirou-se rapidamente a folha, deixando-se somente a impressão da epiderme. As imagens de interesse foram fotografadas com o uso de um microscópio Light microscope Bel Photonics.

3.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa *AgroEstat* (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015). Foi realizado o estudo de regressão para todas as características, escolhendo-se a equação significativa e de maior coeficiente de determinação.

4 RESULTADOS

Os teores foliares de macronutrientes foram influenciados por *mulching* isoladamente (N, Mg e S) ou pela interação da luz vermelha e *mulching* (P, K e Ca). Quando o *mulching* não esteve presente, os teores de N, Mg e S foram maiores (Tabela 2). Para os macronutrientes que foram influenciados pela interação, houve ajuste de equação e foram observados aumentos lineares dos teores de P, K e Ca em função da intensidade de luz vermelha, quando o *mulching* não estava presente. Quando presente, houve decréscimos nos teores de K e Ca com aumento na intensidade de luz vermelha e incremento no teor de P até $2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ seguido por reduções em maiores intensidades (Figura 3).

Tabela 2. Resumo das análises de variância para teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na alface em função da intensidade de luz vermelha e *mulching*.

Causas da Variação	N	P	K	Ca	Mg	S
Valores de F						
<i>Mulching</i> (M)	18,83*	5,73 ^{ns}	4,11 ^{ns}	8,06 ^{ns}	89,67**	16,66**
Intensidade luz vermelha (ILV)	1,54 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,03 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,46 ^{ns}
M x ILV	2,92 ^{ns}	15,66**	5,31**	6,95**	2,51 ^{ns}	0,64 ^{ns}
CV Parcela (%)	4,04	4,73	21,44	9,06	8,09	6,025
CV Subparcela (%)	4,04	4,00	20,27	11,38	13,23	16,21
<i>Mulching</i> g kg⁻¹						
Sem	48,96a	9,92a	31,16a	9,90a	4,66a	2,85a
Com	46,01b	10,33a	36,35a	9,04a	3,55b	2,61b
Intensidade luz vermelha $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$						
0	46,83 a	10,35 a	33,53 a	9,95 a	4,38 a	2,68 a
0,8	48,11 a	10,05 a	30,16 a	9,62 a	3,92 a	2,87 a
1,6	46,68 a	10,01 a	37,67 a	9,22 a	4,02 a	2,73 a
2,4	48,31 a	10,10 a	33,65 a	9,10 a	4,08 a	2,62 a
Regressão sem <i>mulching</i>	ns	L**	L**	L*	ns	ns
Regressão com <i>mulching</i>	ns	Q*	L*	L**	ns	ns

*, **, ns = significativo a 5%, 1% e não significativo pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de F ($p > 0,05$). L = linear; Q = quadrática

Não houve interação entre os fatores *mulching* e intensidade da luz vermelha para as características biométricas avaliadas. O *mulching* não afetou as características, enquanto a intensidade luminosa influenciou o número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca de folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa fresca da parte aérea (MFPA) da alface (Tabelas 4; 5; 6; 7). Massa seca do caule (MSC), massa seca de raiz (MSR) e teores foliares de carotenoides (Car), clorofila a (Chl a) e b (Chl b) não foram influenciadas pelos fatores isolados ou em interação. As médias observadas para estas características em resposta aos fatores avaliados encontram-se nas Tabelas 5 e 6.

Para teores foliares de micronutrientes, foi observado que os fatores isolados afetaram somente Mn foliar. Assim como para macronutrientes, a ausência de *mulching* proporcionou plantas com maior teor de Mn. B e também o Mn foram influenciados pela interação (Tabela 3). Sem *mulching*, o teor de B foliar diminuiu até $1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto o teor de Mn foliar aumentou linearmente com o incremento na intensidade de luz vermelha. Com *mulching*, não houve ajuste para teores de B e verificou-se ajuste linear para teores de Mn, com redução à medida que maior foi a intensidade (Figura 3). Cu, Fe e Zn não foram influenciados pelos fatores (Tabela 3).

O NF e a AF foram afetados positivamente pela intensidade luminosa, com incrementos lineares. Assim, máximos de NF (56,81 folhas por planta) e de AF ($11.723,47 \text{ cm}^2$ por planta) foram observados com $2,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto plantas cultivadas sem complementação luminosa apresentaram 50,25 folhas e 10.037 cm^2 , respectivamente (Figura 4), representando aumentos de 13% e 17%, respectivamente.

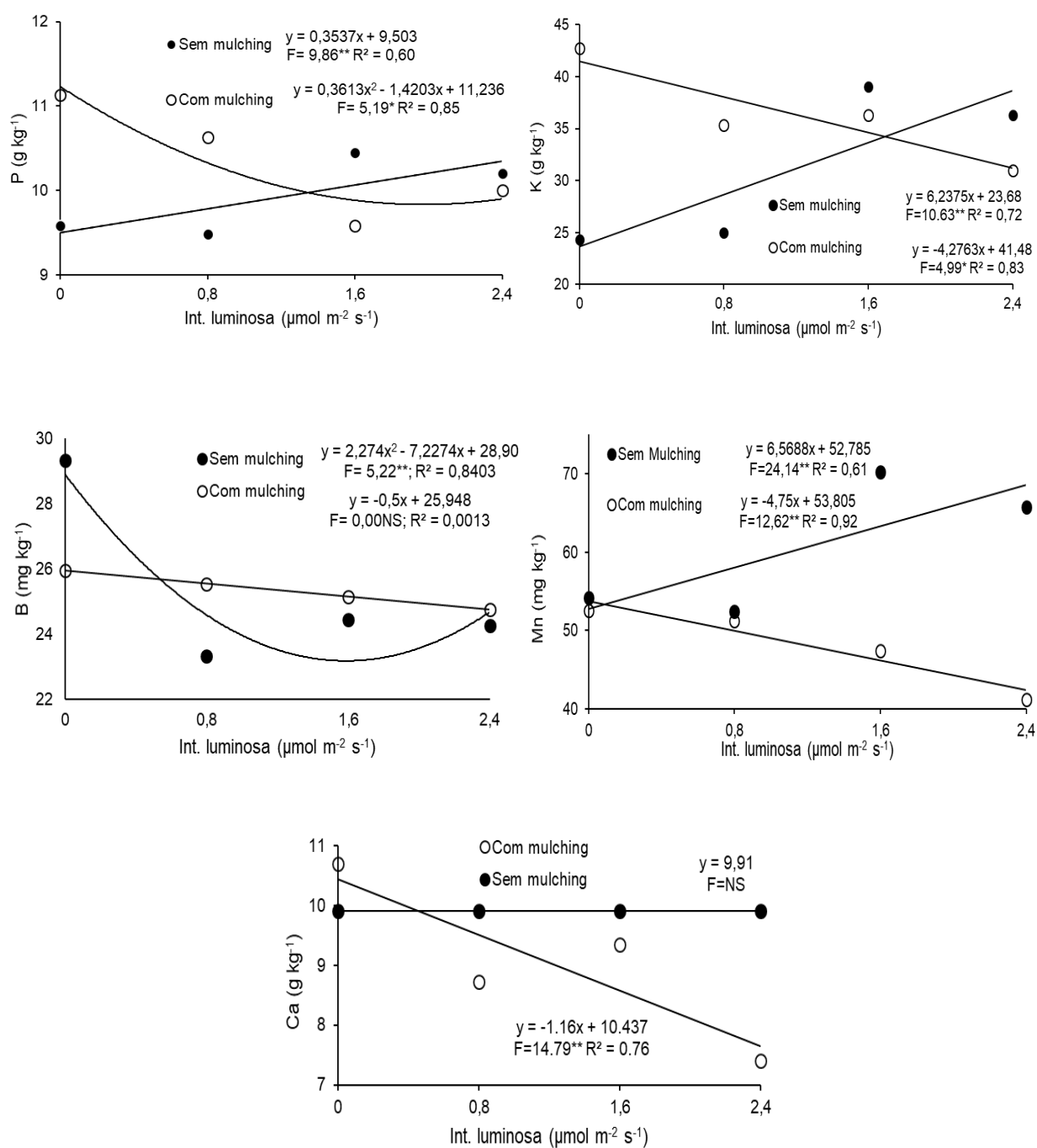


Figura 3. Teores foliares de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), boro (B) e manganês (Mn) na alface em função da interação *mulching* e intensidade de luz vermelha.

Tabela 3. Resumo das análises de variância para teores foliares de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na alface em função da intensidade de luz vermelha e *mulching*.

Causas da Variação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Valores de F				
<i>Mulching</i> (M)	0,41 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,40 ^{NS}	48,63 ^{**}	0,00 ^{NS}
Intensidade luz vermelha (ILV)	2,17 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,31 ^{NS}	3,26 [*]	0,44 ^{NS}
M x ILV	3,58 [*]	0,44 ^{NS}	1,56 ^{NS}	14,51 ^{**}	1,79 ^{NS}
CV Parcela (%)	9,54	21,62	33,09	9,36	3,57
CV Subparcela (%)	9,95	20,50	25,19	8,79	8,72
<i>Mulching</i>	mg kg⁻¹				
Sem	25,33a	14,90a	110,95a	60,66a	51,74a
Com	25,88a	15,09a	103,68a	48,10b	51,71a
Intensidade luz vermelha	μmol m⁻² s⁻¹				
0	27,43a	15,48a	107,77a	53,37ab	52,57a
0,8	25,36a	14,03a	99,88a	51,85b	50,17a
1,6	24,25a	14,41a	112,81a	58,82a	52,10a
2,4	25,38a	16,06a	107,57a	53,47ab	52,06a
Regressão sem <i>mulching</i>	Q [*]	ns	ns	L [*]	ns
Regressão com <i>mulching</i>	ns	ns	ns	L ^{**}	ns

*, **, ns = significativo a 5%, 1% e não significativo pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de F ($p > 0,05$). L = linear; Q = quadrática

Quanto ao efeito da luz no caule, o diâmetro do caule não foi afetado pelos fatores avaliados e apresentou média de 6,93 mm, enquanto o comprimento do caule foi significativamente aumentado pelo incremento na intensidade luminosa (Tabela 4), sendo máximo, 39,36 cm (Figura 5) com a maior intensidade avaliada (2,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Embora não tenha sido observado efeito dos fatores na MSC (Tabela 5), houve ajuste de equação linear em função do aumento da intensidade de luz vermelha, com máximo de 3,42 g (Figura 5).

A máxima MSF foi de 22,20 g por planta, obtida com 2,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto planta sem luz complementar apresentou 15,77 g (Figura 6). A MSPA, como

consequência dos aumentos lineares observados para MSC e MSF, respondeu positivamente com máximo de 25,62 g planta⁻¹, enquanto plantas não suplementadas com luz acumularam 18,74 g (Figura 5; 6).

Para MFPA, foi observado que a maior intensidade de luz vermelha proporcionou plantas com 0,69 kg (Figura 7), 17% maior que a de plantas que não receberam complementação luminosa.

Tabela 4. Resumo das análises de variância para número de folhas (NF), área foliar (AF), diâmetro do caule (DC) e comprimento do caule (CC) da alface em função da intensidade de luz vermelha e *mulching*.

Causas de variação	NF	AF	DC	CC
	Valores F			
<i>Mulching</i> (M)	3,24 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,69 ^{ns}	2,23 ^{ns}
Intensidade luz vermelha (ILV)	4,71*	5,07*	0,84 ^{ns}	1,76 ^{ns}
M x ILV	1,38 ^{ns}	1,54 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,10 ^{ns}
CV (%) Parcela	4,58	16,80	3,55	21,36
CV Subparcela	7,90	9,13	5,65	12,02
<i>Mulching</i>	folhas pl⁻¹	dm² pl⁻¹	mm	cm
Sem	54,31a	108,29a	6,97a	26,54a
Com	52,75a	109,31a	6,89a	29,71a
Intensidade luz vermelha	(μmol m⁻² s⁻¹)			
0	49,00b	97,43b	6,80a	26,13a
0,8	54,75ab	109,42ab	6,85a	27,72a
1,6	53,75ab	113,54a	7,06a	28,81a
2,4	56,62a	114,80a	7,01a	29,85a
Equação polinomial	L**	L**	ns	L*

*, **, ^{ns} = significativo a 5%, 1% e não significativo pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de F (p > 0,05). L = linear, pl = planta

Tabela 5. Resumo das análises de variância para massa seca do caule (MSC), massa seca de folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa fresca da parte aérea (MFPA) da alface em função da intensidade de luz vermelha e *mulching*.

Causas de variação	MSC	MSF	MSPA	MSR	MFPA
Valores de F					
<i>Mulching</i> (M)	1,52 ^{ns}	3,79 ^{ns}	2,42 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Intensidade luz vermelha (ILV)	2,48 ^{ns}	17,64 ^{**}	11,58 ^{**}	0,63 ^{ns}	6,20 ^{**}
M x ILV	3,01 ^{ns}	2,41 ^{ns}	1,79 ^{ns}	2,31 ^{ns}	2,88 ^{ns}
CV (%) Parcela	8,96	2,56	3,76	20,71	9,03
CV Subparcela	12,04	9,96	11,27	12,99	7,77
<i>Mulching</i>	g pl⁻¹	g pl⁻¹	g pl⁻¹	g pl⁻¹	kg pl⁻¹
Sem	3,13a	18,81a	21,95	1,97a	0,65a
Com	3,25a	19,15a	22,41	1,99a	0,64a
Intensidade luz vermelha	μmol m⁻² s⁻¹				
0	3,02a	16,19b	19,22c	1,93a	0,59b
0,8	2,99a	17,24b	20,24bc	1,92a	0,64ab
1,6	3,36a	20,10a	23,47ab	1,98a	0,68a
2,4	3,39a	22,39a	25,79a	2,08a	0,68a
Equação polinomial	L*	L**	L**	ns	L**

*, **, ^{ns} = significativo a 5%, 1% e não significativo pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de F (p > 0,05). L = linear, pl = planta

Tabela 6. Resumo das análises de variância para carotenoides (Car) e clorofila a (Chl a) e b (Chl b) em função da intensidade de luz vermelha e *mulching*.

Causas de variação	Car	Chl a	Chl b
Valores de F			
<i>Mulching</i> (M)	0,26 ^{ns}	1,96 ^{ns}	2,72 ^{ns}
Intensidade luz vermelha (ILV)	0,36 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,23 ^{ns}
M x ILV	0,34 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,44 ^{ns}
CV (%) Parcela	10,41	7,56	7,50
CV Subparcela	13,87	14,35	14,78
<i>Mulching</i>	µg g⁻¹ MF	µg g⁻¹ MF	µg g⁻¹ MF
Sem	0,69a	0,179a	0,485a
Com	0,68a	0,173a	0,465a
Intensidade luz vermelha	µmol m⁻² s⁻¹		
0	0,675a	0,172a	0,465a
0,8	0,677a	0,175a	0,470a
1,6	0,717a	0,182a	0,492a
2,4	0,702a	0,176a	0,473a
Equação polinomial	ns	ns	ns

*, **, ns = significativo a 5%, 1% e não significativo pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de F ($p > 0,05$). L = linear, pl = planta, MF = massa fresca

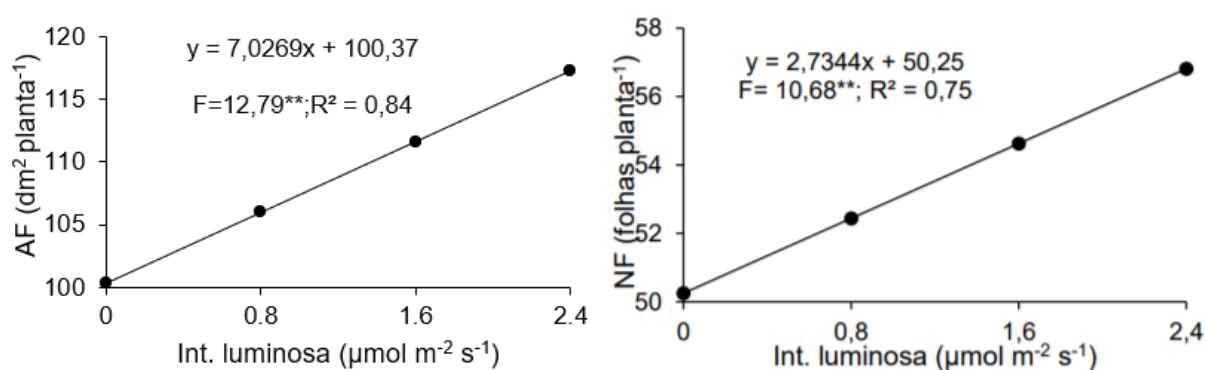


Figura 4. Área foliar (AF) e número de folhas por planta (NF) de alface em função da intensidade de luz vermelha.

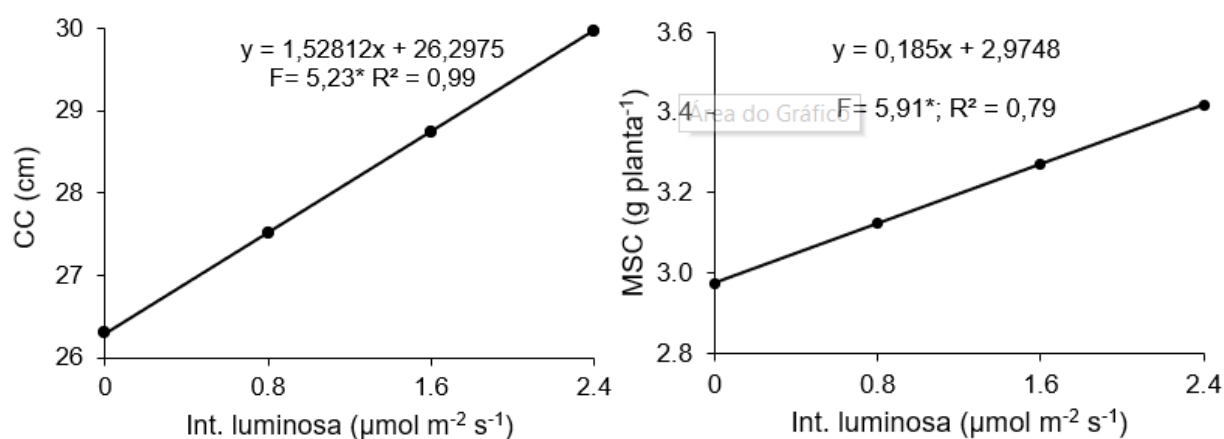


Figura 5. Comprimento do caule (CC) e massa seca do caule (MSC) de alface em função da intensidade de luz vermelha.

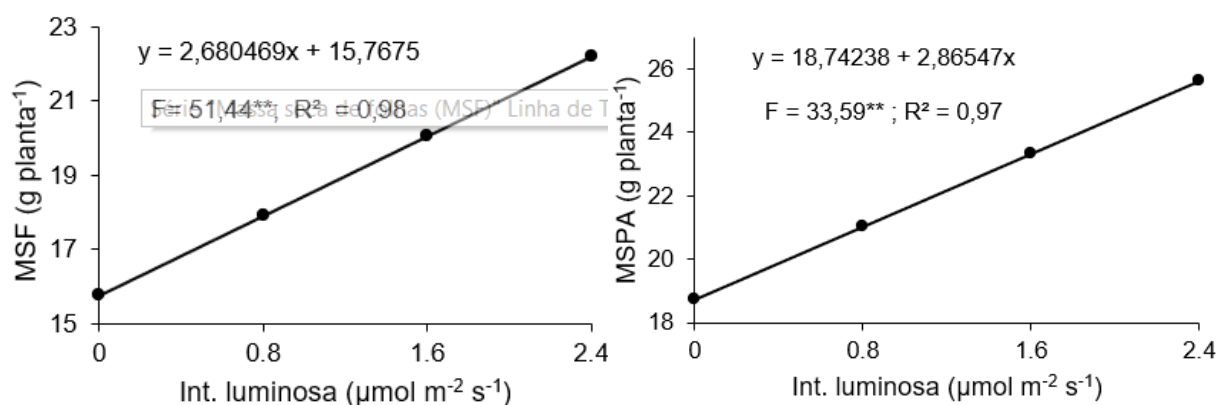


Figura 6. Massa seca de folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA) de alface em função da intensidade de luz vermelha.

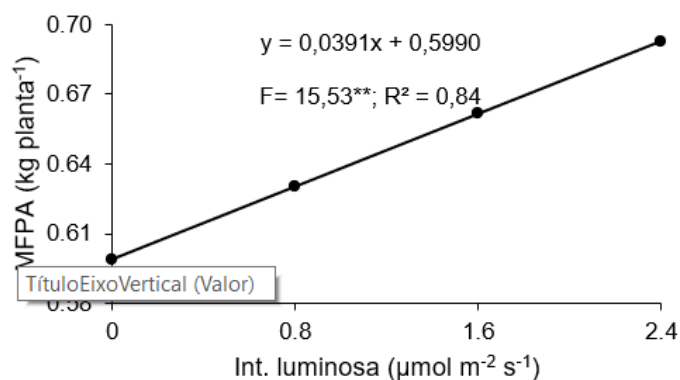


Figura 7. Massa fresca da parte aérea (MFPA) de alface em função da intensidade de luz vermelha

5 DISCUSSÃO

O período de cultivo da alface na Fase III foi de 29 dias, considerado normal por ser em cultivo hidropônico, na região de Jaboticabal, SP. Normalmente, a alface permanece nesta fase por 24 a 30 dias.

Plantas da alface tratadas com luz vermelha mostraram maior crescimento em comparação às plantas não iluminadas artificialmente. De acordo com Mereb et al. (2020), as plantas otimizam a absorção de luz por meio de respostas morfofisiológicas, objetivando aumentar a captação de luz, realização da fotossíntese com, conseqüente, crescimento e desenvolvimento (Zou et al., 2019). Neste sentido, foi observado que o aumento na intensidade de luz promoveu incrementos lineares no número de folhas, área foliar, comprimento do caule, massa seca das folhas, massa seca do caule da alface e massa seca da parte aérea. Assim, máximos valores das características de crescimento da alface foram obtidos com a maior intensidade de luz, o que proporcionou incrementos de 13, 17, 41 e 37% para o número de folhas, área foliar, massa seca de folhas e massa seca da parte aérea, respectivamente (Figuras 4, 5 e 6), que em conjunto explicam o aumento na massa fresca da parte aérea (Figura 7), que é o produto comercial. Samuoliene et al. (2009), comparando comprimentos de onda no crescimento da alface, verificaram que melhor resultado foi proporcionado pela luz vermelha, com a qual se constatou aumento na concentração

de carboidratos, especialmente de sacarose nas folhas, o que retifica maior atividade do processo fotossintético.

Não foi possível estabelecer relação entre a ausência do *mulching* no aumento dos teores de N, Mg, S e B, nem das interações *mulching* e intensidade da luz vermelha nos teores de P, K, Ca, B e Mn com o efeito observado nas características biométricas e bioquímicas avaliadas, uma vez que não foram observadas interações, nem efeito isolado do *mulching*, nestas características. Exceto para os teores de P (10,0-10,4 g kg⁻¹) (Tabela 2), que foram maiores que a faixa adequada (3 a 7 g kg⁻¹), de K (30,2-37,7 g kg⁻¹), Ca (9,1-9,9 g kg⁻¹) e B (24,3-27,4 mg kg⁻¹) (Tabelas 2 e 3), que ficaram abaixo das faixas adequadas, 50 a 80 g kg⁻¹, 15 a 25 g kg⁻¹, 30 a 70 mg kg⁻¹, respectivamente; os demais nutrientes situaram-se dentro das faixas adequadas, segundo Trani et al. (2018).

Houve efeito da luz também no comprimento do caule (+10%) e na massa seca do caule (+14,9%) (Figuras 5). Caule longo é uma característica não desejável comercialmente (Al-Said et al., 2018; Okuda et al., 2017). No entanto, o aumento no comprimento do caule mostrou-se pequeno, apenas 3,7 cm no comprimento do caule (Figura 5), entre plantas sob maior intensidade de luz vermelha e plantas não iluminadas artificialmente. Embora maior intensidade de luz vermelha tenha proporcionado incremento no comprimento do caule da alface, não foi observado prejuízo no aspecto visual das folhas, portanto, não afetou negativamente o aspecto comercial. A baixa intensidade de luz vermelha aplicada às plantas pode ser a explicação do pequeno efeito da luz na elongação do caule da alface, divergindo do observado por Wang et al. (2016) e Amoozgar et al. (2017), os quais trabalharam com intensidades de luz vermelha entre 200 e 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e verificaram efeito mais intenso da luz no crescimento do caule. No presente estudo, plantas não iluminadas artificialmente apresentaram caule com 26,3 cm, o que é um caule muito comprido para os padrões comerciais. O elevado comprimento do caule de plantas não suplementadas com luz pode ser atribuído às temperaturas altas ocorridas durante o cultivo, as quais são indutoras de elongação caulinar como etapa do processo de florescimento (Flôres et al., 2016; Amaral et al., 2018; Spalholz et al., 2020). Embora não aferida, a temperatura interna da casa de vegetação não climatizada, pode ser 8°C maior que a temperatura externa à casa de vegetação (Son et al., 2016;

Hassanien e Ming, 2017). Durante o período experimental, temperaturas registradas em estação meteorológica, foram de 20, 13 e 29°C como temperaturas média, média das mínimas e média das máximas, respectivamente. Assim, a temperatura na casa de vegetação esteve superior ao intervalo de 15 a 25°C, considerado por Chen et al. (2021) como adequado à alface.

A manifestação positiva da luz vermelha na parte aérea não foi percebida na raiz (Tabela 5). O resultado concorda com Lee et al. (2014) e Son et al. (2015), os quais afirmam que o estímulo da luz vermelha é percebido com a maior alocação de massa na parte aérea que na raiz da planta. Assim, o efeito da luz vermelha na parte aérea da alface, sobretudo na massa seca de folhas (+41%), e ausência na alocação adicional de massa na raiz (massa média de 1,98 g) em resposta ao aumento de intensidade da luz vermelha, faz com que o aumento na relação MSPA/MSR seja fortemente influenciado massa seca de folhas. A alocação de massa pela planta na parte aérea ou na raiz obedece ao controle genético, mas é fortemente condicionado pelo ambiente (Poorter e Nagel, 2000). No presente estudo, o favorecimento à alocação de massa seca na parte aérea (folhas e caule) pode ser atribuído ao cultivo da alface em sistema hidropônico. Neste sistema de produção, quando bem manejado, as raízes encontram alta disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio. Tal condição pode desfavorecer o crescimento do sistema radicular em relação ao da parte aérea, uma vez que o sistema radicular se mostra capaz de atender, conforme observado nos resultados, aos aumentos no número de folhas, área foliar e massa seca de folhas.

A luz vermelha possui efeitos diversos nas plantas, sendo uns dos melhores comprimentos de luz para estimular a expansão foliar e a manutenção estomática (Son e Oh., 2013; Clavijo-Herrera et al., 2018). Entretanto, não foi observada a abertura de estômatos durante a suplementação noturna com a luz vermelha. Esses resultados são complexos, pois o movimento estomático depende de outros comprimentos de onda (Yang et al., 2018) e fluência luminosa (Costa e Marengo, 2007). Assim, o incremento da massa seca observado na alface não pode ser explicado pela absorção noturna de carbono. Por outro lado, é provável que o estímulo da luz vermelha aplicada à noite tenha induzido maior atividade fotossintética diurna, assim como possíveis efeitos na morfologia da cultura da alface. De fato, a luz

vermelha é indispensável para o desenvolvimento do aparelho fotossintético e pode afetar a morfogênese das plantas devido às respostas fotomorfogenéticas, as quais são geradas pela ação dos fotorreceptores, como o fitocromo, o qual tem um importante papel no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas (Yeh e Chung, 2009; Chen et al., 2016; Viczián et al., 2017). Dessa forma, embora não tenhamos explorado os mecanismos de sinalização luminosa pelos quais os fotorreceptores agem durante a noite para que mudanças moleculares tenham ocorrido durante o dia, nossos resultados podem ser o início de uma busca mais aprofundada das respostas vegetais ao tratamento de luz vermelha que resultaram na melhora do crescimento da alface.

Conforme os resultados, o uso de luz vermelha em período noturno, ainda que em baixíssima intensidade, promoveu a alocação de massa na parte aérea, especialmente folhas da alface (parte comercial), como resultado de efeito no estímulo à incorporação de carbono e às modificações morfológicas na alface, conforme também observado por Kim et al. (2004); Lin et al. (2013); Muneer et al. (2014) e Zhen et al. (2019). Não foi encontrado na literatura, estudos que avaliaram tão baixas intensidades luminosas à cultura da alface.

6 CONCLUSÕES

O crescimento da alface é favorecido fornecimento de luz vermelha noturna, ainda que em baixa intensidade.

Máximo crescimento da alface é obtido com $2,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz vermelha.

Não há interação entre os fatores *mulching* e intensidade da luz vermelha no crescimento e produtividade da alface.

7 REFERÊNCIAS

Abidi F, Girault T, Douillet O, Guillemain G, Sintès G, Laffaire M, Ahmed H Ben, Smiti S, Huché-Thélier L, Leduc N (2013) Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis. **Plant Biol** 15:67-74. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00603.x>

Ahmed HA, Yu-Xin T, Qi-Chang Y (2020) Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. **South African Journal of Botany** 130:75-89. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.12.018>

Al-Said F, Hadley P, Pearson S, Khan MM, Iqbal Q (2018) Effect of high temperature and exposure duration on stem elongation of iceberg lettuce. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences** 55:95-101

Amaral J C, Silva VN (2018) Tolerance to bolting in lettuce: cultivars and growing seasons. **Idesia** 36:1-9

Amoozgar A, Mohammadi A, Sabzalian MR (2017) Impact of light-emitting diode irradiation on the photosynthesis, phytochemical composition and mineral element content of lettuce cv. Grizzly. **Photosynthetica** 55:1-11. DOI:10.1007/s11099-016-0216-8

Bantis F, Smirnakou S, Ouzounis T, Koukounaras A, Ntagkas N, Radoglou K (2018) Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). **Scientia Horticulturae** 235:437-451. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058>

Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2015) **Experimentação Agronômica e Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. 1. ed. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015

Bayat L, Arab M, Aliniaiefard S, Seif M, Lastochkina O, Li T (2018) Effects of growth under different light spectra on the subsequent high light tolerance in rose plants. **AoB Plants** 10:1-17. <https://doi.org/10.1093/aobpla/ply052>

Bhattacharya S, Das S, Saha T (2018) Application of plasticulture in horticulture: A review. **The Pharma Innovation Journal** 7:584-585.

Camejo D, Frutos A, Mestre TC, Piñero MC, Rivero RM, Martínez V (2020) Artificial light impacts the physical and nutritional quality of lettuce plants. **Horticulture, Environment, and Biotechnology** 61:69-82. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00191-z>

Carvalho SD, Folta KM (2014) Environmentally Modified Organisms - Expanding Genetic Potential with Light. **Critical Reviews in Plant Sciences** 33:486-508. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.929929>

Chen XL, Wang LC, Li T, Yang, QC, Guo, WZ (2019) Sugar accumulation and growth of lettuce exposed to different lighting modes of red and blue LED light. **Scientific Reports** 9:1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43498-8>

Chen XL, Xue XZ, Guo WZ, Wang LC, Qiao XJ (2016) Growth and nutritional properties of lettuce affected by mixed irradiation of white and supplemental light provided by light-emitting diode. **Scientia Horticulturae** 200:111-118. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.007>

Chen XL, Yang QC, Song WP, Wang, LC, Guo WZ, Xue XZ (2017) Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation. **Scientia Horticulturae** 223:44-52. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.037>

Chen Z, Jahan MS, Mao P, Wang M, Liu X, Guo S (2021) Functional growth, photosynthesis and nutritional property analyses of lettuce grown under different temperature and light intensity. **The Journal of Horticulturae Science and Biotechnology** 96:53-61. <https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1807416>

Clavijo-Herrera J, Santen E van, Gómez C (2018) Growth, water-use efficiency, stomatal conductance, and nitrogen uptake of two lettuce cultivars grown under different percentages of blue and red light. **Horticulturae** 4:16. doi:10.3390

Cocetta G, Casciani D, Bulgari R, Musante F, Kolton A, Rossi M, Ferrante A (2017) Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. **The European Physical Journal Plus** 132:43. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2017-11298-x>

Costa GC, Marengo RA (2007) Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica** 37:229-234. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000200008>

Demotes-Mainard S, et al. (2016) Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. **Environmental and Experimental Botany** 121:4-21. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.010>

Filgueira FAR (2013) **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 421p.

Flôres JA, Santos LAC, Silva DMP, Oliveira IA, Pereira, CE (2016) Desempenho agrônômico de cultivares de alface em casa de vegetação no município de Humaitá, AM. **Revista de Ciências Agroambientais** 14:113-116. <https://doi.org/10.5327/RCAA.V14I2.1637>

Franquera EN, Mabesa RC (2016) Colored plastic mulch effects on the yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and soil temperature. **Journal of Advanced Agricultural Technologies** 3:1-5.

Fu W, Li Pingping, Wu Y, Tang J (2012) Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. **Horticultural Science** 39:129-134. <https://doi.org/10.17221/192/2011-hortsci>

Fu Y, Li HY, Yu J, Liu H, Cao ZY, Manukovsky NS, Liu Hong (2017) Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. youmaicai). **Scientia Horticulturae** 214:51-57. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.020>

Furlani PR, Silveira LCP, Bolonhesi D, Faquin V (1999) **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: IAC, 52 p. (Boletim Técnico, 180)

Graham T, Yorio N, Zhang P, Massa G, Wheeler R (2019) Early seedling response of six candidate crop species to increasing levels of blue light. **Life Sciences in Space Research** 21:40-48. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2019.03.001>

Guerrini S, Yan C, Malinconico M, Mormile P (2019) Agronomical overview of mulch film systems. In.: Gutiérrez TJ (Ed.) **Polymers for Agri-Food Applications**. Argentina: Springer International Publishing, p. 241-264. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19416-1_13

Gupta SD, Agarwal A (2017) Artificial lighting system for plant growth and development: Chronological advancement, working principles, and comparative assessment. In.: Gupta SD (Ed) **Light emitting diodes for agriculture**. Singapore: Springer, p. 1-25.

Gupta DS (Ed.) (2017) **Light emitting diodes for agriculture: Smart lighting**. Singapore: Springer, 345p. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3>

Han SJ, et al. (2019) Various light quality including QD-LED affect growth and leaf color of red romaine baby leaf lettuce. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca** 47:757-762. <https://doi.org/10.15835/nbha47311580>

Hassanien EHR, Ming L (2017) Influences of greenhouse-integrated semi-transparent photovoltaics on microclimate and lettuce growth. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 10:11-22. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20171006.3407>

He D, Kozai T, Niu G, Zhang X 2019 Light-Emitting Diodes for Horticulture. In.: Li J, Zhang GQ (Eds.), **Light-Emitting Diodes, Solid State Lighting Technology and Application**. China: Springer, p. 513-547. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99211-2_14

Henschel JM, Resende JTV, Giloni-Lima PC, Zeist AR, Lima Filho, RB, Santos MH (2017) Produção e qualidade de morangueiro cultivado sob diferentes cores de cobertura de túneis baixos. **Horticultura Brasileira** 35:364-370. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620170308>

Ibaraki Y (2016) Lighting efficiency in plant production under artificial lighting and plant growth modeling for evaluating the lighting efficiency. In.: Gupta SD (Ed) **Light emitting diodes for agriculture**. Singapore: Springer, p. 151-161. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1848-0_11

Iersel MW van, Gianino D (2017) An adaptive control approach for light-emitting diode lights can reduce the energy costs of supplemental lighting in greenhouses. **HortScience** 52 72-77. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11385-16>

Ilić ZS, Fallik E (2017) Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. **Environmental and Experimental Botany** 139:79-90. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006>

Kang JH, KrishnaKumar S, Atulba SLS, Jeong BR, Hwang SJ (2013) Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. **Horticulture, Environment, and Biotechnology** 54:501-509

Kang WH, Park JS, Park KS, Son JE (2016) Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs). **Horticulture, Environment, and Biotechnology** 57:573-579

Kelly N, Choe D, Meng Q, Runkle ES (2020) Promotion of lettuce growth under an increasing daily light integral depends on the combination of the photosynthetic photon flux density and photoperiod. **Scientia Horticulturae** 272:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109565>

Kim HH, Goins GD, Wheeler RM, Sager JC (2004) Stomatal Conductance of Lettuce Grown Under or Exposed to Different Light Qualities. **Annals of Botany** 94:691-697. <https://doi.org/10.1093/aob/mch192>

Kim MJ, Moon Y, Tou JC, Mou B, Waterland NL (2016) Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Food Composition and Analysis** 49:19-34. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>

Kitazaki K, et al. (2018) Metabolic reprogramming in leaf lettuce grown under different light quality and intensity conditions using narrow-band LEDs. **Scientific Reports** 8:1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25686-0>

Krbal M, Baxant P, Skoda J, Sumec S (2014) Operating parameters of luminaires for phytotron, In: 15th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2014. **Anais...** Brno-Bystrc, Czech Republic: EEE. p. 671-674. <https://doi.org/10.1109/EPE.2014.6839411>

Lamont WJ (2017) Plastic Mulches for the Production of Vegetable Crops. In: Orzolek MD (Ed.) **A Guide to the Manufacture, Performance, and Potential of Plastics in Agriculture**. Pennsylvania: Elsevier, p. 45-60. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102170-5.00003-8>

Lazzarini LES, Pacheco FV, Silva ST, Coelho AD, Medeiros APR, Bertolucci SKV, Pinto JEBP, Soares JDR (2017) Uso de diodos emissores de luz (LED) na fisiologia de plantas cultivadas–revisão. **Scientia Agraria Paranaensis** 16:137-144

Lee JS, Lim TG, Kim YH (2014) Growth and phytochemicals in lettuce as affected by different ratios of blue to red led radiation. **Acta Horti** s/v:843-848. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2014.1037.112>

Lichtenthaler HK (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in enzymology** 148: 350-382.

Li Q, Kubota C (2009) Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. **Environmental and Experimental Botany** 67:59-64. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.011>

Lin KH, Huang MY, Huang WD, Hsu MH, Yang ZW, Yang CM (2013) The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). **Scientia Horticulturae** 150:86-91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>

Mawphlang OIL, Kharshiing EV (2017) Photoreceptor mediated plant growth responses: Implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. **Frontiers in Plant Science** 8:1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01181>

Mereb EL, Alves FRR, Rezende MH, Oliveira EJ, Carvalho R F, Melo HC (2020) Morphophysiological responses of tomato phytochrome mutants under sun and shade conditions. **Brazilian Journal of Botany** 43:45-54. <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00584-w>

Merino D, Gutiérrez TJ, Alvarez VA (2019) Potential agricultural mulch films based on native and phosphorylated corn starch with and without surface functionalization with chitosan. **Journal of Polymers and the Environment** 27:97-105. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1325-1>

Minamida T, Sasahara S, Tashiro Y, Yoshida K, Tabata Y, Akutsu M (2019) Effects of light quality from different led light sources on the growth of four leaf lettuce cultivars. **ICIC Express Letters. Part B: Applications** 10:509-513.

Mitchell CA et al. (2015) Light-emitting diodes in horticulture. In.: Janick J (Ed.) **Horticultural Reviews**: New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, p. 1-88. <https://doi.org/10.1002/9781119107781.ch01>

Miyazawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo CAFS, Melo WJ (2009) Análise química de tecido vegetal. In: Silva FC (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, p. 191–233.

Muneer S, Kim EJ, Park SJ, Lee JH (2014) Influence of Green, Red and Blue Light Emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). **Internacional Journal of Molecular Sciences** 15:4657-4670. <https://doi.org/10.3390/ijms15034657>

Nhi NP, Long PN, Non TTS, Thuy VTB, Thue LV, Ba TT (2016). Effects of color led light intensities and different photoperiod regimes on growth of hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Can Tho University Journal of Science** 2:1-7. <https://doi.org/10.22144/ctu.jen.2016.008>

Nicole CCS, Charalambous F, Martinakos S, Voort SV, Li Z, Verhoog M, Krijn M (2016) Lettuce growth and quality optimization in a plant factory. **Acta Hortic** 1134:231-238. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.31>

Okuda N, Miya Y, Yanagi T, Yamaguchi K (2017) Effects of end of day lighting after night chilling treatment on growth and development of lettuce. **Environmental Control in Biology** 55:7-11. <https://doi.org/10.2525/ecb.55.7>

Olle M, Alsina I (2019) Influence of wavelength of light on growth, yield and nutritional quality of greenhouse vegetables. **Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B** 73:1-9. <https://doi.org/10.2478/prolas-2019-0001>

Pessoa HP, Machado Junior R (2020) Folhosas em destaque no cenário nacional. In.: Oliveira ML (Ed.) **Anuário HF**. Brasil: Campo & Negócio, p. 60-64.

Poorter H, Nagel O (2000) The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. **Functional Plant Biology** 27:1191-1191.

Rehman M, Ullah S, Bao Y, Wang B, Pen D, Liu L (2017) Light-emitting diodes: whether an efficient source of light for indoor plants?. **Environmental Science and Pollution Research** 24:24743-24752. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0333-3>

Rippa M, Yan C, Petti L, Mormile P (2018) A simple method for saving water in agriculture based on the use of photo-selective mulch film. **International Journal of Agriculture and Environmental Research** 4:1-43.

Ruangrak E, Khummueng W (2019) Effects of artificial light sources on accumulation of phytochemical contents in hydroponic lettuce. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology** 94:378-388. <https://doi.org/10.1080/14620316.2018.1504630>

Sampson, J (1961) A method of replicating dry or moist surfaces for examination by light microscopy. **Nature** 191:932-933.

Samuolienė G, Brazaitytė A, Sirtautas R, Viršilė A, Sakalauskaitė J, Sakalauskienė S, Duchovskis P (2013) LED illumination affects bioactive compounds in romaine baby leaf lettuce. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 93:3286-3291. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6173>

Samuolienė G, Urbonavičiūtė A, Brazaitytė A, Jankauskienė J, Duchovskis P, Bliznikas Z, Žukauskas A (2009) The benefits of red LEDs: improved nutritional quality due to accelerated senescence in lettuce. **Sodininkystė ir Daržininkystė** 28:111-120.

Sancar A (2003) Structure and function of DNA photolyase and cryptochrome blue-light photoreceptors. **Chemical Rev** 103:2203-2237. <https://doi.org/10.1021/cr0204348>

Segatto BF, Bisognin AD, Benedetti M, Costa LC, Rampelotto MV, Nicoloso FT (2004) Técnica para anatomia de folha de batata. **Ciência Rural, Santa Maria** 34:1597-1601.

Soares CS, Lima ACS, Silva JA, Vilar MSA, Silva ALP, Lima Junior JA, Brito Neto JF (2020) Production of lettuce in NFT hydroponic system at different planting seasons and irrigation regimes. **Australian Journal of Crop Science** 14:1042-1047. doi: 10.21475/ajcs.20.14.07.p1828.

Son KH, Jeon YM, Oh MM (2016) Application of supplementary white and pulsed light-emitting diodes to lettuce grown in a plant factory with artificial lighting. **Horticulture, Environment, and Biotechnology** 57: 560-572.

Son KH, Oh MM (2013) Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. **HortScience** 48:988-995.

Son KH, Oh MM (2015) Growth, photosynthetic and antioxidant parameters of two lettuce cultivars as affected by red, green, and blue light-emitting diodes. **Horticulture, Environment, and Biotechnology** 56:639–653. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-1064-3>.

Spalholz H, Perkins-Veazie P, Hernández R (2020) Impact of sun-simulated white light and varied blue:red spectrums on the growth, morphology, development, and phytochemical content of green- and red-leaf lettuce at different growth stages. **Scientia Horticulturae** 264: 109195. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109195>

Stagnari F, Galieni A, Specca S, Pisante M (2014) Water stress effects on growth, yield and quality traits of red beet. **Scientia Horticulturae** 165:13-22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.026>

Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A (2016) **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 858p.

Trani PE, Raij B van, Cantarella, H Figueiredo, GJB (Org.) (2018) Alface. In: Trani PE, Breda Junior JM, Factor L Purquerio LFV, Lima Junior S, Tivelli WT. **Hortaliças, recomendação de calagem a adubação para o estado de São Paulo**. Campinas: CATI, p. 41-43.

Treuren R van, Eekelen HDLM, Ron Wehrens, Vos, RCH (2018) Metabolite variation in the lettuce gene pool: towards healthier crop varieties and food. **Metabolomics** 146:1-14 <https://doi.org/10.1007/s11306-018-1443-8>

Urrestarazu M, Nájera C, Gea MM (2016) Effect of the spectral quality and intensity of light-emitting diodes on several horticultural crops. **HortScience** 51:268–271. <https://doi.org/10.21273/hortsci.51.3.268>

Viczián A, Klose C, Ádám É, Nagy F (2017) New insights of red light-induced development. **Plant Cell & Environment** 40:2457-2468. <https://doi.org/10.1111/pce.12880>

Viršilė A, Brazaitytė A, Vaštakaitė-Kairienė V, Miliauskienė J, Jankauskienė J, Novičkovas A, Samuolienė G (2019) Lighting intensity and photoperiod serves tailoring nitrate assimilation indices in red and green baby leaf lettuce. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 99:6608-6619. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9948>.

Wang J, Lu W, Tong Y, Yang Q (2016) Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. **Frontiers in Plant Science** 7:250. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00250>.

Wang J, Xin TY, Chang YQ (2016) Effect of LED light with different ratios of red to blue light on photosynthesis and energy use efficiency for lettuce. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering** 34:234-240.

Wang XY, Xu XM, Cui J (2015) The importance of blue light for leaf area expansion, development of photosynthetic apparatus, and chloroplast ultrastructure of *Cucumis sativus* grown under weak light. **Photosynthetica** 53:213-222. DOI: 10.1007/s11099-015-0083-8.

Wanlai Z, Wenke L, Qichang Y (2013) Reducing nitrate content in lettuce by pre-harvest continuous light delivered by red and blue light-emitting diodes. **Journal of Plant Nutrition** 36:481-490. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.748069>

Weaver G, Iersel MW van (2020) Longer photoperiods with adaptive lighting control can improve growth of greenhouse-grown 'Little Gem' lettuce (*Lactuca sativa*). **HortScience** 55:573-580.

Yan Z, He D, Niu G, Zhai H (2019) Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. **Scientia Horticulturae** 248:138-144. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.002>

Yang X, Xu H, Shao L, Li T, Wang Y, Wang R (2018) Response of photosynthetic capacity of tomato leaves to different LED light wavelength. **Environmental and Experimental Botany** 150:161-171.

Yeh N, Chung JP (2009) High-brightness LEDs-energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. **Renewable and sustainable Energy Reviews** 13:2175-2180. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.027>.

Zakurin AO, Shchennikova AV, Kamionskaya AM (2020) Artificial-light culture in protected ground plant growing: Photosynthesis, photomorphogenesis, and prospects of led application. **Russian Journal of Plant Physiology** 67:413-424. DOI: 10.1134/S102144372003022X

Zhang M, Whitman CM, Runkle ES (2019) Manipulating growth, color, and taste attributes of fresh cut lettuce by greenhouse supplemental lighting. **Scientia Horticulturae** 252:274-282. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.051>

Zhang X, He D, Niu G, Yan Z, Song J (2018) Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 11:33-40. DOI: 10.25165/j.ijabe.20181102.3420

Zhen S, Haidekker M, Iersel MW (2019) Far-red light enhances photochemical efficiency in a wavelength-dependent manner. **Physiologia. Plantarum** 167:21-33. <https://doi.org/10.1111/ppl.12834>

Zou J, Zhang Y, Zhang Y, Bian Z, Fanourakis D, Yang Q, Li T (2019) Morphological and physiological properties of indoor cultivated lettuce in response to additional far-red light. **Scientia Horticulturae** 257:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108725>