

Ficocianina da *Arthospira (Spirulina) platensis*: uma revisão do efeito da intensidade de luz nos cultivos.

Ingrid Rocha Teixeira

Mestra em Engenharia Química

Instituição: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Endereço: Rua Benjamin Constant, 229, Cidade Alta, 95700-346-Bento Gonçalves -RS

E-mail: irochateixeira@hotmail.com

Marlene Guevara dos Santos

Mestra em Engenharia Química

Instituição: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Endereço: Rua Benjamin Constant, 229, Cidade Alta, 95700-346-Bento Gonçalves -RS

E-mail: marlene-santos@uergs.edu.br

RESUMO

Uma alternativa aos corantes sintéticos utilizados na indústria alimentar são os pigmentos naturais, como os provenientes de microrganismos. Nesse sentido, a cianobactéria *Spirulina platensis* apresenta em sua composição elevado teor de ficocianina, pigmento de coloração azul, que possui atividade antioxidante, anti-inflamatória e anticarcinogênica. Para obtenção da biomassa, o cultivo autotrófico é comumente utilizado, todavia, limitações associadas a flutuabilidade da iluminação solar resulta em baixa produtividade. Nesse sentido, utilizar iluminação artificial, a exemplo das LEDs, apresenta-se como uma alternativa viável para superar tais limitações. Assim sendo, o presente trabalho elaborou uma revisão da literatura acerca das estratégias de cultivos que utilizam LEDs a fim de elevar o conteúdo de ficocianina na *Spirulina platensis*. Os resultados revelaram que a incidência de LED vermelha durante os cultivos apresenta efeito positivo no crescimento da biomassa, todavia, com relação ao efeito das LEDs no aumento da produtividade das ficocianinas, embora os achados na literatura diverjam muito dentre trabalhos encontrados, leds amarela, azul e verde promovem efeito positivo. O tempo de incidência de luz durante os cultivos, o fotoperíodo (integral, parcial) e o uso combinado de LEDs apresentam-se como parâmetros que precisam ser melhores explorados. No geral, foram encontrados poucos estudos até o momento, sendo um indicativo de que novas investigações precisam ser realizadas para um melhor entendimento.

Palavras-chave: cianobactéria; cultivo; pigmento natural, ficobiliproteínas, LEDs.

INTRODUÇÃO

Na atualidade, existe uma tendência mundial em substituir materiais de origens não renováveis pelos chamados biomateriais, que são produtos de origem renovável e totalmente biodegradáveis. Atrelado a isso, vem crescendo a preocupação com os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de rejeitos. Essas inquietações justificam a enorme importância de se conhecer, sintetizar e caracterizar novos bioprodutos desenvolvidos com foco na viabilidade econômica e na sustentabilidade. Nesse contexto, devido à crescente demanda por pigmentos naturais para aplicação em alimentos e cosméticos, a busca por novas fontes e métodos para obtenção desses pigmentos tem se intensificado (Jespersen et al. 2005; Giraldo-Calderón et al. 2018; Käferböck et al. 2020)

Arthospira plantensis, uma cianobactéria popularmente conhecida como *Spirulina platensis* (*S. platensis*) destaca-se por apresentar em sua composição elevado teor de ficocianina (C-PC), pigmento natural de coloração azul, hidrossolúvel, com absorção máxima no comprimento de onda de 620 nm, que além da utilização como corante, possui propriedades antioxidantes, antiinflamatórias e anticarcinogênicas, o que torna sua utilização ainda mais interessante para aplicação industrial (Romay et al. 2005; Chentir et al. 2018). A literatura reporta que vários estudos têm sido realizados com o objetivo de aumentar o conhecimento biotecnológico e o potencial produtivo da *S. platensis* a fim de elevar o conteúdo de ficocianina. Nesse sentido, a intensidade, fonte e regime de luz (fotoperíodo), bem como temperatura, pH, composição de nutrientes e o tipo de sistema de cultivo apresentam-se como parâmetros com forte influência na composição da biomassa (García-López et al. 2020; Chaiklahan et al. 2022).

O potencial fotossintético das cianobactérias para crescimento é amplamente reconhecido, visto que esses organismos são bastantes eficientes em utilizar luz como fonte de energia. Nesse contexto, nota-se que a energia luminosa é um dos fatores mais importantes durante o cultivo das cianobactérias, para que o processo da fotossíntese ocorra (Shen et al. 2017). Recentemente, alguns estudos demonstraram que a manipulação das condições do meio, a exemplo de utilizar iluminação artificial ao invés da solar, pode estimular a produção de biomassa e de compostos de alto valor agregado. A luz artificial é uma fonte controlável que permite maior eficiência e um processo mais padronizado, o que se resulta no aumento da produtividade (García-López et al. 2020; Lysenko et al. 2021).

Esta revisão se concentra em identificar o efeito de diferentes espectros de luz LEDs no crescimento celular da biomassa e na produção de ficocianina da cianobactéria *S. platenses*, bem como avaliar as vantagens e desvantagens dessas estratégias de cultivo.

CIANOACTÉRIAS

Pertencentes ao reino Monera, as cianobactérias, também conhecidas por algas azuis ou algas cianofíceas, estão entre as formas de vida mais primitivas da Terra. São microrganismos procarióticos, comumente encontradas em águas doces e salgadas, que podem crescer rapidamente e se adaptar a diferentes condições ambientais e climáticas, em função da simplicidade de sua estrutura celular (Aliyu et al. 2021). Nos últimos anos, esses microrganismos têm chamado a atenção devido a sua capacidade de produzir uma ampla variedade de compostos orgânicos, tais como, carboidratos, lipídios e proteínas, que podem ser utilizados como matéria-prima para uma série de bioprodutos valiosos, como biocombustíveis, pigmentos e compostos médicos (Tian-Yuan et al. 2014; Castillo et al. 2021).

Assim como as plantas, as cianobactérias realizam fotossíntese para obtenção de energia. No entanto, por não possuírem clorofila-b, elas absorvem luz principalmente na região azul e vermelha do espectro visível devido à presença da clorofila-a. Para compensar essa lacuna, esses microrganismos possuem as ficobiliproteínas (PBPs) que são responsáveis por absorver a porção de luz que não é absorvida pela clorofila, tornando o processo de fotossíntese mais eficiente. As PBPs estão localizadas nas ficobilissomas, os quais estão situadas sobre a superfície externa da membrana do tilacoide. (Hsieh-Lo et al., 2019). Dependendo da cor e das propriedades de absorbância, as PBPs podem ser divididas em três principais classes: ficoeritrina (PE, de cor rosa brilhante ou vermelho), ficocianina (C-PC, de cor azul mais escuro) e aloficocianina (APC, de cor azul mais 22 claro) (Ílter et al., 2018; Sun et al., 2006).

No geral, as cianobactérias apresentam-se como uma importante fonte de pigmentos, lipídeos, proteínas e carboidratos. Temperatura e exposição ao sol são fatores que podem afetar fortemente a composição desses microrganismos (Narciso, 2016; Singh et al., 2005). Atualmente, o procedimento mais utilizado para o cultivo é o crescimento autotrófico. Nesse tipo de cultivo, é utilizado energia solar e CO₂ como fonte de carbono para realização da fotossíntese (Tian-Yuan et al. 2014; Shen et al. 2017). Contudo, a produção da biomassa em culturas autotróficas é limitada principalmente pela influência

da luz. A exposição dos cultivos a alta intensidade luminosa pode levar a fotoinibição, enquanto baixa iluminação resulta em energia insuficiente para o processo. (Eriksen 2008; Perez-Garcia et al. 2011; Tian-Yuan et al. 2014).

Dentre as diferentes espécies de cianobactérias, a *S. platensis* concentra grande parte dos estudos que envolvem a extração da ficocianina (Hsieh-Lo et al., 2019; Singh et al., 2005). Sendo que, além da ficocianina, esse microrganismo também possui outros pigmentos comercialmente importantes, como clorofila e os carotenóides. A *S. platensis* é encontrada em regiões tropicais e subtropicais, em meio aquático com elevado teor de carbonatos e bicarbonatos, ou seja, meios com pH alcalino e salinidade elevada (Ali & Saleh, 2012). Tais condições tornam seu cultivo bastante atrativo, pois os habitats extremos inibem o crescimento de microrganismos indesejados. Além disso, sua parede celular é facilmente rompida, o que facilita o acesso aos seus importantes componentes bioativos (Lupatini et al., 2016).

A composição da *S. platensis* pode variar em função do meio de cultivo, sendo comumente cerca de 50 -70 % (m/m) de proteínas, 10 -15 % (m/m) de carboidratos e 5-10 % (m/m) de lipídeos (De Moraes et al., 2015). Dentre as ficobiliproteínas, a ficocianina é o principal pigmento da Spirulina, podendo constituir até 30% da massa desta cianobactéria. Além de estar presente em cianobactérias, esse pigmento também pode ser encontrado em algas vermelhas e cryptomonas, e pode ser classificado em três grupos, de acordo com a forma de obtenção, sendo eles, C-ficocianinas, R-ficocianinas e C-ficocianinas II, quando provenientes, respectivamente, de cianobactérias, algas vermelhas e cryptomona (Fernández-Rojas et al. 2014).

FICOCIANINAS

A ficocianina derivada da *S. platensis* é comumente utilizada na indústria como corante alimentar em gomas, bebidas, laticínios e também na indústria de cosméticos, em batons e delineadores. Estudos também comprovam o efeito antiviral desse pigmento, bem como, sua possível aplicação no tratamento de infecções do coronavírus, graças às suas propriedades nutracêuticas, anti-inflamatórias, imunoestimulantes e imunomoduladoras, sendo um preventivo método de saúde que requer mais estudos (Rivera et al. 2021).

O grau de pureza do extrato é um fator essencial que determina o campo de aplicação desse pigmento. Este parâmetro é avaliado com base na razão A_{620}/A_{280} , que

corresponde a absorvância da ficocianina a 620 nm (A_{620}) e de outras proteínas a 280 nm (A_{280}). A ficocianina é considerada um produto comestível quando a razão $A_{620}/A_{280} \geq 0,7$; como grau de reagente se essa razão está entre 0,7 e 3,9, e com grau analítico quando $A_{620}/A_{280} \geq 4$ (2,3). Além disso, o seu valor comercial varia amplamente e depende do grau de pureza, o preço de mercado da ficocianina com qualidade alimentar é cerca de 0,13 US \$ mg, enquanto, seu valor com grau analítico pode chegar até 15 US \$ mg.

Diversos fatores podem influenciar o cultivo das cianobactérias para a produção de ficocianinas, dentre eles, os mais importantes são: intensidade da luz, fonte de luz e regime de luz (fotoperíodo), temperatura, pH e composição dos nutrientes. No geral, por serem microrganismos fotossintéticos, ou seja, convertem energia luminosa em energia química no processo de fotossíntese, a luz é um parâmetro que exerce forte influência sobre os metabólitos e crescimento das cianobactérias. A seguir, são apresentados maiores detalhes do efeito da luz nesses cultivos.

INTENSIDADE DE LUZ/FONTE DE LUZ/REGIME DE LUZ

Atualmente, o procedimento mais utilizado para o cultivo das cianobactérias é o crescimento autotrófico. Nesse tipo de cultivo, é utilizado energia luminosa e CO_2 como fonte de carbono para realização da fotossíntese (Tian-Yuan et al. 2014; Shen et al. 2017). Comumente, utiliza-se luz solar como fonte de energia luminosa, todavia, para a produção de biocompostos de alto valor agregado, a exemplo da ficocianina, recomenda-se o uso de luz artificial, em função do controle eficiente e padronizado da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos, que resultando em maior produtividade (Prates et al. 2018).

As lâmpadas fluorescentes eram preferencialmente utilizadas como fonte artificial de energia em culturas de cianobactérias. Recentemente, os diodos emissores de luz (LEDs) vêm sendo mais utilizados por ser considerada uma fonte de energia ecologicamente correta. LEDs apresentam diversas vantagens como alta eficiência de conversão de eletricidade, baixo consumo de energia, baixa dissipação de calor, não poluente e durável (Bachchhav et al. 2017; Chaiklahan et al. 2022). Por outro lado, o uso de luz artificiais em comparação a luz solar por longos períodos pode comprometer o custo total de produção (García-López et al. 2020).

As LEDs emitem um comprimento de onda único, que podem, em algumas situações, dificultar a absorção de energia das clorofilas. Como as ficobiliproteínas, a exemplo da ficocianina, são responsáveis por absorver a energia não canalizada pelas

clorofilas, nesse sentido, pode haver um aumento na produção de tais pigmentos, afim de elevar a absorção e eficiência energética do para o processo da fotossíntese (Prates et al. 2018). Alguns estudos relataram a aplicação de LEDs como fonte de luz em cultivos de microalgas e cianobactérias. LEDs branca, vermelha, verde, azul e amarela são as fontes de luz aplicadas com mais frequência para o crescimento da *Spirulina* conforme verifica-se na Tabela 1.

No geral, observa-se que os dados sobre a eficácia fotossintética, bem como o efeito das LEDs ainda permanecem controverso, diferindo entre os trabalhos. Bachchhav et al. (2017) ao avaliarem o efeito das LEDs no cultivo autotrófico da *Spirulina* em comparação com as lâmpadas fluorescentes, observaram que as LEDs aumentaram o teor de ficocianina das células. O estudo evidenciou que LED amarela e azul elevaram, respectivamente, em 3,5 e 2,6 vezes o teor de ficocianina quando comparada ao controle (fluorescente). Em contrapartida, constataram não haver influência significativa entre o conteúdo de ficocianina do experimento controle com as LEDs verde e vermelha. Ademais, foi relado efeito diferente das LEDs com relação ao efeito no crescimento da biomassa. LED vermelha maximizou o crescimento da biomassa (8,95 g/l) enquanto LED azul proporcionou menor crescimento (3,66 g/l).

Prates et al. (2018) ao avaliarem o cultivo da *Spirulina* em diferentes fotoperíodos (integral e parcial - claro/escuro por 12 horas) com LEDs (branca, vermelha, verde e azul), constataram que LEDs em fotoperíodo de luz integral forneceram parâmetros de crescimento da biomassa superiores ao regime parcial. Sendo que, embora todas as LEDs apresentaram resultados superiores ao controle, experimento usando apenas luz fluorescente, o crescimento máximo de biomassa foi obtido com LED vermelha. Em contrapartida, a concentração de ficocianina foi maior no fotoperíodo de luz parcial, tal achado foi atribuído a característica fotossensível desse pigmento, dessa maneira, a incidência de luz contínua do fotoperíodo integral pode ter causado sua degradação. No geral, para todas as cores de LEDs avaliadas a concentração de ficocianina foi maior que o experimento controle, sendo que a máxima concentração foi obtida com a LED verde e azul.

Tabela 1. Efeito das LEDs no crescimento da biomassa e ficocianina da *S. platensis*

Leds	Intensidade	Condição ótima	Teor máximo	Outros Parâmetros	Referência
Azul, Verde Vermelha Branca	3200/500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Máximo de ficocianina: Fotoperíodo: 12 h de luz fluorescente branca, 6 h de luz verde, 6 h escuro Máximo de biomassa: Fotoperíodo: 12 h de luz fluorescente branca, 12 h de luz vermelha	Ficocianina: 126,39 mg gbiomassa ⁻¹ Biomassa: 1,77 g L ⁻¹	Meio Zarrouk Método de extração: banho ultrassônico	(Prates et al. 2018)
Vermelha Azul	70/30 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	Máximo de ficocianina e de biomassa: Combinação de LED 70/30% de vermelho/azul	Ficocianina: 0,168 g mL ⁻¹ Biomassa: 0,148 g L ⁻¹	Meio Zarrouk modificado Método de extração: congelamento/descongelamento	(Lima et al. 2018)
Vermelha, Branca, Amarela, Verde Azul	-	Máximo de Ficocianina: Amarelo Máximo de Biomassa: Vermelha	Ficocianina: 242 mg gbiomassa ⁻¹ Biomassa: 8,95 g L ⁻¹	Meio Zarrouk Método de extração: Congelamento/descongelamento	(Bachchhav et al. 2017)
Azul	350 $\mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$	Máximo de ficocianina: Azul Máximo de Biomassa: Não foi avaliado	Ficocianina: 150 mg gbiomassa ⁻¹	Meio Zarrouk modificado Método de extração: Congelamento/descongelamento	García-López et al. (2020)

Fonte: Própria, 2023.

García-López et al. (2020) também avaliaram a influência do período de incidência de luz nos cultivos. Os pesquisadores avaliaram o efeito da LED azul versus branca durante um tempo de indução de 24 e 48 horas, sendo observado um aumento significativo no teor de ficocianina ao utilizar LED azul. Os resultados encontrados no estudo indicaram que apenas 24 horas de indução foi suficiente para concentração do pigmento.

Lima et al. (2018) avaliaram estratégias de iluminação com LEDs azul e vermelha em diferentes composições afim de verificar a relação entre a produtividade da cianobactéria, clorofila-a, teores totais de carotenoides e ficocianinas. Os resultados indicaram que empregar 70 e 30 % de fótons de LEDs vermelha e azul respectivamente, produziu as maiores taxas de produtividade de biomassa e, conseqüentemente, produziram as maiores concentrações de clorofila, carotenoides e ficocianina no volume da cultura. Para ficocianina, a luz vermelha maximizou a contração da ficocianina por massa celular, alcançando um valor de 167,07 mg g⁻¹.

A obtenção das ficocianinas envolve a desintegração da membrana celular da cianobactéria, que normalmente começa com extração sólido-líquido utilizando solvente aquoso. No geral, a escolha do método de extração e as condições de cultivo (temperatura, meio de cultivo, intensidade de iluminação dentre outros) são fatores com forte influência no rendimento do processo de extração (Pez Jaeschke et al. 2021). Sendo assim, é impossível definir dentre os diferentes trabalhos avaliados na Tabela 1 qual melhor estratégia apenas comprando os resultados máximos obtidos em cada estudo, uma vez que existem diferenças no cultivo e no método de extração.

Em resumo, os resultados encontrados dentre esses autores indicam que LED vermelha apresenta efeito positivo no crescimento da biomassa. Com relação ao efeito das LEDs na indução de ficocianina, os resultados encontrados divergem sendo um indicativo de que novas investigações precisam ser realizadas a fim de avaliar qual a melhor estratégia de cultivo que maximiza a obtenção desse pigmento, contudo, nota-se leds verde, amarela e azul fornecem maiores concentrações de ficocianinas dentre os trabalhos avaliados. O tempo de incidência da luz durante os cultivos, o fotoperíodo de luz (integral, parcial) e uso combinado de mais de uma LED apresentam-se como parâmetros com forte influência na produtividade da ficocianina, sendo assim, acredita-se que novas estratégias de estudo avaliando esses parâmetros isoladamente e

após combinados precisam ser realizados afim de encontrar a condição ótima de cultivo que aumente a produtividade das ficocianinas.

CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo revisar o efeito do espectro de luz no crescimento da biomassa e produção de ficocianina na cianobactéria *S. platensis*. Embora a luz solar seja comumente utilizada para obtenção da biomassa, o uso de luz artificial apresenta-se vantajoso a produção de biocompostos de alto valor agregado, a exemplo da ficocianina. De maneira geral, observa-se que as lâmpadas de LEDs oferecem diversas vantagens quando comparadas a lâmpadas fluorescentes, como baixo consumo de energia, alta eficiência de conversão elétrica e baixa dissipação de calor, além de aumentar o conteúdo de ficocianina na biomassa.

O cultivo da *S. platensis* pode ser realizado em regime de fotoperíodo integral ou parcial de luz. O uso de LEDs em fotoperíodo de luz parcial foi considerado mais promissor para produção de ficocianina, uma vez que esse regime além de reduzir custo do processo pode proporcionar maior produção desse pigmento na biomassa, pois sendo a ficocianina é um pigmento fotossensível, alta intensidade de luz de maneira contínua pode resultar na sua degradação. Com relação ao crescimento da biomassa, dentre as LEDs que têm sido avaliadas, a vermelha proporcionou melhores resultados. Por outro lado, para a produção de ficocianina o efeito das LEDs variou dentre os trabalhos encontrados, mas a luz azul, amarelo e verde apresentam bons resultados.

O tempo de incidência de luz durante os cultivos, o fotoperíodo (integral, parcial) e o uso combinado de mais de uma cor de LED apresentam-se como parâmetros que precisam serem melhores explorados. Por fim, observa-se que os estudos publicados até o momento abordam o grande potencial das culturas de cianobactérias quando são iluminadas com LEDs, mas acredita-se que futuras investigações devam se concentrar na determinação da combinação ideal de parâmetros.

REFERÊNCIAS:

- Aliyu A, Lee JGM, Harvey AP (2021) Microalgae for biofuels via thermochemical conversion processes: A review of cultivation, harvesting and drying processes, and the associated opportunities for integrated production. *Bioresour Technol Reports* 14:100676. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100676>
- Bachchhav MB, Kulkarni MV, Ingale AG (2017) Enhanced Phycocyanin Production from *Spirulina platensis* using Light Emitting Diode. *J Inst Eng Ser E* 98:41–45. <https://doi.org/10.1007/s40034-016-0090-8>
- Castillo T, Ramos D, García-Beltrán T, et al (2021) Mixotrophic cultivation of microalgae: An alternative

- to produce high-value metabolites. *Biochem Eng J* 176:. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.108183>
- Chaiklahan R, Chirasuwan N, Srinorasing T, et al (2022) Enhanced biomass and phycocyanin production of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* by a cultivation management strategy: Light intensity and cell concentration. *Bioresour Technol* 343:126077. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126077>
- Chentir I, Hamdi M, Li S, et al (2018) Stability, bio-functionality and bio-activity of crude phycocyanin from a two-phase cultured Saharian *Arthrospira* sp. strain. *Algal Res* 35:395–406. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.09.013>
- Eriksen NT (2008) The technology of microalgal culturing. *Biotechnol Lett* 30:1525–1536. <https://doi.org/10.1007/s10529-008-9740-3>
- Fernández-Rojas B, Hernández-Juárez J, Pedraza-Chaverri J (2014) Nutraceutical properties of phycocyanin. *J Funct Foods* 11:375–392. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.011>
- García-López DA, Olgún EJ, González-Portela RE, et al (2020) A novel two-phase bioprocess for the production of *Arthrospira* (*Spirulina*) *maxima* LJGR1 at pilot plant scale during different seasons and for phycocyanin induction under controlled conditions. *Bioresour Technol* 298:122548. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122548>
- Giraldo-Calderón ND, Romo-Buchelly RJ, Arbeláez-Pérez AA, et al (2018) Microalgae biorefineries: Applications and emerging technologies. *DYNA* 85:219–233. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.68780>
- Jespersen L, Strømdahl LD, Olsen K, Skibsted LH (2005) Heat and light stability of three natural blue colorants for use in confectionery and beverages. *Eur Food Res Technol* 220:261–266. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1062-7>
- Käferböck A, Smetana S, de Vos R, et al (2020) Sustainable extraction of valuable components from *Spirulina* assisted by pulsed electric fields technology. *Algal Res* 48:. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101914>
- Lima GM, Teixeira PCN, Teixeira CMLL, et al (2018) Influence of spectral light quality on the pigment concentrations and biomass productivity of *Arthrospira platensis*. *Algal Res* 31:157–166. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.02.012>
- Lysenko V, Kosolapov A, Usova E, et al (2021) Chlorophyll fluorescence kinetics and oxygen evolution in *Chlorella vulgaris* cells: Blue vs. red light. *J Plant Physiol* 258–259:153392. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153392>
- Perez-Garcia O, Escalante FME, de-Bashan LE, Bashan Y (2011) Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products. *Water Res* 45:11–36. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.037>
- Pez Jaeschke D, Rocha Teixeira I, Damasceno Ferreira Marczak L, Domeneghini Mercali G (2021) Phycocyanin from *Spirulina*: A review of extraction methods and stability. *Food Res Int* 143:. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110314>
- Prates D da F, Radmann EM, Duarte JH, et al (2018) *Spirulina* cultivated under different light emitting diodes: Enhanced cell growth and phycocyanin production. *Bioresour Technol* 256:38–43. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.122>
- Rivera C, Niño L, Gelves G (2021) Modeling of phycocyanin production from *Spirulina platensis* using different light-emitting diodes. *South African J Chem Eng* 37:167–178. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.05.005>
- Romay C, Gonzalez R, Ledon N, et al (2005) C-Phycocyanin: A Biliprotein with Antioxidant, Anti-Inflammatory and Neuroprotective Effects. *Curr Protein Pept Sci* 4:207–216. <https://doi.org/10.2174/1389203033487216>
- Shen L, Damascene Ndayambaje J, Murwanashyaka T, et al (2017) Assessment upon heterotrophic microalgae screened from wastewater microbiota for concurrent pollutants removal and biofuel production. *Bioresour Technol* 245:386–393. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.177>
- Tian-Yuan Z, Yin-Hu W, Lin-Lan Z, et al (2014) Screening heterotrophic microalgal strains by using the Biolog method for biofuel production from organic wastewater. *Algal Res* 6:175–179. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2014.10.003>