

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO FELIPE PACHECO COELHO

BIOFORTIFICAÇÃO DE ALFACE JOVEM COM IODO EM CULTIVO
HIDROPÔNICO

CURITIBA

2021

JOÃO FELIPE PACHECO COELHO

BIOFORTIFICAÇÃO DE ALFACE JOVEM COM IODO EM CULTIVO
HIDROPÔNICO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Coorientadora: Profa. Dra. Christiane Queiroz

CURITIBA

2021

Coelho, João Felipe Pacheco

Biofortificação de alface jovem com iodo em cultivo hidropônico. / João Felipe Pacheco Coelho. – Curitiba, 2021.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
Orientador: Voinel Pauletti
Coorientadora: Christiane Quelroz

1. Alimentos enriquecidos. 2. Hipotireoidismo. 3. Alface. 4. Hidroponia.
I. Pauletti, Voinel. II. Quelroz, Christiane. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
45001015014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **JOÃO FELIPE PACHECO GOELHO** intitulada: **BIOFORTIFICAÇÃO DE ALFACE JOVEM COM IODO EM CULTIVO HIDROPÔNICO**, sob orientação do Prof. Dr. **VOLNEI PAULETTI**, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Junho de 2021.

Assinatura Eletrônica

30/06/2021 12:13:31.0

VOLNEI PAULETTI

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

30/06/2021 13:56:29.0

SUELEN ÁVILA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO)

Assinatura Eletrônica

30/06/2021 12:16:07.0

PEDRO ROBERTO FURLANI

Avaliador Externo (CONPLANT - CONPLANT)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035-090 - Tel: (41) 3350-9248 - E-mail: pg@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8238 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 98835

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.pppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 98835

A todos que me apoiaram nesta jornada ao longo de todo o período de estudo. Dedico principalmente a minha Vó, Dona Ruth.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por poder levantar todos os dias em busca dos meus sonhos.

A minha Vó, que sempre me ajudou ao longo da vida.

Amigos, Professor Volnei e Professora Christiane, por todo o suporte.

A capes por proporcionar o auxílio da bolsa quando mais precisava.

A todos que vivenciaram meu cotidiano até o dia de minha apresentação.

A UFPR que trouxe todas as condições, dentro do possível, para que eu pudesse concluir minha pesquisa.

Ao LAMIR (UFPR) por permitir que as primeiras análises no aparelho novo, ICP-MS fossem as minhas.

Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá. (AIRTON SENNA)

RESUMO

As alfaces *baby leaf* são aquelas cultivadas e colhidas quando suas folhas não estão expandidas totalmente, sendo fonte de minerais na dieta humana. Os teores de iodo nesta hortaliça são baixos, mas a biofortificação com a adição do elemento na solução nutritiva de cultivo é uma alternativa promissora para aumentar estes teores e favorecer o suprimento adequado de iodo na dieta humana. O objetivo deste trabalho foi determinar a concentração de iodo na solução nutritiva para biofortificação de alface *baby leaf* com este elemento, obtenção de maior produtividade da planta e qualidade das folhas para a nutrição humana. Para isso foi conduzido experimento em casa de vegetação, no sistema hidropônico floating. Doses diferentes de iodato de potássio (KIO_3) foram aplicadas na solução nutritiva para fornecer iodo nas doses de 0, 20,40 e 80 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Foram analisadas características fenológicas das plantas, teores de nutrientes, sódio e alumínio nas folhas, atividade antioxidante, quociente de risco e contribuição para as doses diárias necessárias para adultos e mulheres em amamentação. A concentração de 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de iodo na solução nutritiva levou a um grande aumento na concentração de iodo nas folhas de alface, o que favoreceu as características fenológicas. Foi verificado um aumento nas concentrações de nitrogênio, potássio, e uma diminuição de magnésio na menor dose de iodo aplicada, de 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$, o qual não apresentou risco à saúde humana conforme o quociente de risco de 0,003 observado. O consumo diário de 50 g de alface biofortificada com 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de KIO_3 pode contribuir com 262 μg de iodo, o que é suficiente para sanar a necessidade diária para uma pessoa adulta e 97% da necessidade diária de uma mulher em amamentação. A biofortificação da alface *baby leaf* hidropônica com a aplicação de 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ na solução nutritiva proporcionou maior teor foliar de K e N, menor teor de Mg e maior produtividade da alface e melhora da sua qualidade para a nutrição humana. O consumo diário de alface *baby leaf* biofortificada com iodo permite atender toda a demanda de uma pessoa adulta por este elemento.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*. Alimento enriquecido. Iodo na nutrição humana. Hipotireoidismo. Alface hidropônica.

ABSTRACT

Baby leaf lettuces are those cultivated and harvested when their leaves are not fully expanded, being a source of minerals in the human diet. The iodine contents in this vegetable are low, but biofortification with the addition of the element in the culture nutrient solution is a promising alternative to increase these contents and favor the adequate supply of iodine in the human diet. The objective of this work was to determine the iodine concentration in the nutrient solution for biofortification of baby leaf lettuce with this element, obtaining greater plant productivity and leaf quality for human nutrition. For this, an experiment was conducted in a greenhouse, in the hydroponic floating system. Different doses of potassium iodate (KIO₃) were applied in the nutrient solution to provide iodine at doses of 0, 20, 40 and 80 $\mu\text{mol L}^{-1}$. The phenological characteristics of the plants, nutrient content, sodium and aluminum in the leaves, antioxidant activity, risk quotient and contribution to the daily doses necessary for breastfeeding adults and women were analyzed. The concentration of 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of iodine in the nutrient solution led to a large increase in the concentration of iodine in lettuce leaves, which favored the phenological characteristics. There was an increase in the concentrations of nitrogen, potassium, and a decrease in magnesium at the lowest dose of iodine applied, of 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$, which did not present a risk to human health according to the risk quotient of 0.003 observed. The daily consumption of 50 g of biofortified lettuce with 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ KIO₃ can contribute 262 μg of iodine, which is enough to meet the daily need for an adult and 97% of the daily need for a woman in breast-feeding. Biofortification of hydroponic baby leaf lettuce with the application of 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ in the nutrient solution provided higher leaf K and N content, lower Mg content and higher lettuce yield and improved quality for human nutrition. The daily consumption of baby leaf lettuce biofortified with iodine allows meeting all the demand of an adult person for this element..

Keywords: *Lactuca sativa*. Enriched food. Iodine in human nutrition. Hypothyroidism.

Hydroponic lettuce.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – VISÃO GERAL DO EXPERIMENTO CONDUZIDO EM SISTEMA FLOATING.....	23
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - TEMPERATURAS MÍNIMA, MÁXIMA E MÉDIA E UMIDADE RELATIVA DIÁRIAS DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	22
GRÁFICO 2 - VARIAÇÃO DO PH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	24
GRÁFICO 3 - TEOR DE IODO EM FOLHAS DE ALFACE <i>BABY LEAF</i> CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO, EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO ELEMENTO NA SOLUÇÃO DE CULTIVO.....	29

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – NÚMERO DE FOLHAS (NF), LARGURA (LF) E COMPRIMENTO (CF) DA MAIOR FOLHA, MASSA SECA (MSA) E MASSA FRESCA DA RAIZ (MFR) DE ALFACE EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE IODO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	28
TABELA 2 – TEORES FOLIARES DOS NUTRIENTES SÓDIO E ALUMÍNIO E DPPH EM ALFACE <i>BABY LEAF</i> EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE IODO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE CULTIVO.....	29
TABELA 3 - DOSE DE IODO IDEAL, TEOR DE IODO NAS FOLHAS, QUOCIENTE DE RISCO (QR) PARA INGESTÃO DE IODO, QUANTIDADE DE ÁGUA NA FOLHA, QUANTIDADE, QUANTIDADE DE IODO INGERIDA ATRAVÉS DO CONSUMO DE 50 GRAMAS DE FOLHAS E INGESTÃO EM RELAÇÃO A ADULTOS E MULHERES EM AMAMENTAÇÃO.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

μL	- microlitro
μm	- micromol
Al	- Alumínio
B	- Boro
Ca	- Cálcio
CF	- Comprimento da folha
Cfb	- Subtropical úmido mesotérmico
cm	- Centímetro
Cu	- Cobre
DDR	- Dose diária recomendada de iodo
DFT	- Deep film technique
DI	- Dose diária de iodo
DMAPP	- Dimetilalil difosfato
DPPH	- 2,2 Difenil – 1picril – hidrazil
dS	- Decisiemens
EAG	- Equivalente ácido gálico
Fe	- Ferro
g	- Grama
GPP	- Geranil difosfato
HCL	- Ácido clorídrico
I ⁻	- Iodeto
I	- Iodo
IO ₃ ⁻	- Iodato
IPP	- Isopentenil pirofosfato
K	- Potássio
kg	- quilograma
KI	- Iodeto de potássio
KIO ₃	- Iodato de potássio
L	- Litro
LF	- Largura de folha
m	- Metro
MAS	- Massa seca da parte aérea

MEP	- Metileritritol fosfato
MFA	- Massa fresca da parte aérea
MFR	- Massa fresca de raiz
Mg	- Magnésio
mg	- Miligrama
mg	- Miligrama
min	- Minuto
ml	- Mililitro
mm	- Milímetro
Mn	- Manganês
Mo	- Molibdênio
N	- Nitrogênio
Na	- Sódio
NF	- Número de folhas
NH ₄ ⁺	- Amônio
NIT	- Nível de ingestão tolerável de iodo
nm	- Nanômetro
NO ₃ ⁻	- Nitrato
OMS	- Organização Mundial de Saúde
P	- Fósforo
PC	- Peso corporal
PEBD	- Polietileno de baixa densidade
pH	- Potencial hidrogeniônico
QR	- Quociente de risco
RPM	- Rotações por minuto
S	- Enxofre
SOD	- Superóxido dismutase
TMAH	- Tetrametilamônio
USDA	- Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
W	- Watts
Zn	- Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

- ° - Grau
- ' - Minuto
- '' - Segundo
- S - Sul
- O - Oeste
- °C - Celsius
- % - Porcentagem
- > - Maior

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 MATERIAL E MÉTODOS	21
2.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DO EXPERIMENTO.....	21
2.2 DELINEAMENTO E TRATAMENTO.....	22
2.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	23
2.4 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS.....	24
2.5 AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE CONSUMO DAS ALFACES BIOFORTIFICADAS COM IODO.....	27
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	27
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.2 DISCUSSÃO	29
4 CONCLUSÕES.....	33
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

As hortaliças folhosas participam da dieta alimentar de todos os povos e classes sociais do planeta. A área total colhida e a produção mundial no período de 1961-2014 são de aproximadamente 5.500.000 ha para uma produção de 125.000.000 de toneladas (FAOSTAT, 2018).

A alface (*Lactuca sativa L.*) é uma hortaliça folhosa que está entre as culturas mais valiosas no mundo e a primeira salada cultivada e comercializada internacionalmente (DESHPANDE E SALUNKHE, 1998; SOLDATENKO, 2018). Os maiores produtores são a China, Índia e Estados Unidos, com área semeada de 632.000, 170.000 e 110.000 hectares, respectivamente. No Brasil, ocupa uma área de aproximadamente 40.000 hectares (SOUSA, et al., 2014).

A sensibilidade da alface a baixas e altas temperaturas, e precipitação prolongada (YURI et al., 2017; TURINI et al., 2011), tem proporcionado aumento do cultivo desta hortaliça em ambiente protegido (SILVA et al., 2014), o que permite a produção em todas as estações do ano (OLIVEIRA et al., 2004). Mais recentemente, a alface *baby leaf* está ganhando espaço nos mercados, devido a sua praticidade e sabor (PURQUERIO E MELO, 2011; GIMÉNEZ et al., 2020). As *baby leaf* são aquelas colhidas com folhas ainda não expandidas totalmente, ou seja, colhidas precocemente em relação ao ciclo completo de desenvolvimento. Para a comercialização, o comprimento da folha varia entre 5 a 15 cm (CARNEIRO et al., 2008). As *baby leaf* tendem a estimular o consumo pela população, inclusive dos mais jovens, devido ao tamanho reduzido, maciez e sabor agradável (PURQUERIO E MELO, 2011).

A produção de *baby leaf* pode ocorrer com o cultivo no solo ou em sistema hidropônico. No sistema hidropônico *floating Deep film technique* (DFT), as plantas são alocadas numa base de isopor, de maneira a flutuar sobre uma lâmina de 5 a 20 cm de solução nutritiva (SILVA E MELO, 2012), exigindo um bom sistema de aeração. Dentre as vantagens deste sistema estão principalmente à redução de custos, reutilização do meio de cultivo, melhor desenvolvimento radicular e melhor aproveitamento das áreas de cultivo.

A alface é uma importante fonte de sais minerais e vitaminas (CALORI, 2010). Nutricionalmente fornece consideráveis quantidades de potássio (1410 mg.kg^{-1}), fósforo (200 mg.kg^{-1}), vitamina A ($0,025 \text{ mg.kg}^{-1}$) e vitamina C (28 mg.kg^{-1}) (USDA,

2019), contém folato, betacaroteno e uma importante concentração de fitoquímicos incluindo flavonoides e lactucina (COLLINS, 2004). Além de conter elementos como boro, ferro, cobre, molibdênio, zinco, manganês, cloro e níquel, que são os micronutrientes essenciais para as plantas (TAIZ E ZEIGER, 2013), também contém iodo, flúor, cobalto, selênio, cromo, vanádio, silício e arsênio, que são essenciais para os humanos (SAHIN, 2021).

Nos humanos, o iodo é essencial para a biossíntese de hormônios tireoidianos, para a biossíntese de proteínas, no metabolismo de ácidos nucleicos e gorduras, no desenvolvimento de células e no desenvolvimento e funcionamento adequado do sistema nervoso e outros órgãos (KRZEPILKO, 2019; SILVA E MELCHERT, 2019).

A dose diária recomendada de iodo para a população depende do estágio de vida e da idade (KRZEPILKO, 2019): para crianças pequenas de 1 a 8 anos a dose é de $90 \mu\text{g dia}^{-1}$; para crianças mais velhas de 9 a 13 anos, $120 \mu\text{g dia}^{-1}$; para adultos maiores de 14 anos, $150 \mu\text{g dia}^{-1}$; e para mulheres durante os períodos de gestação e amamentação, 220 e $270 \mu\text{g dia}^{-1}$. A ingestão do iodo de forma deficitária causa na maioria das vezes aumento da glândula tireóide (bócio), pode vir a acarretar câncer de tireóide e estômago e autismo em meninos em crescimento (DOGGUI E ATIA, 2015). A falta de iodo para mulheres grávidas e em fase de amamentação são extremamente prejudiciais, pois levam a distúrbios permanentes do desenvolvimento de feto e retardo no desenvolvimento mental e físico de crianças (DOGGUI E ATIA, 2015).

O sal iodado de mesa é a principal forma de fornecimento de iodo para a população mundial (KUROSAD et al., 2005). No entanto, o consumo excessivo de sal pode aumentar o risco de hipertensão (GARFINKLE, 2017). Esta dicotomia entre necessidade de ingestão diária de iodo e necessidade de prevenção de doenças cardiovasculares, impõe limites a esta estratégia de fornecimento de iodo. Além disso, as perdas de iodo durante o cozimento, para diferentes tipos de alimentos e diversos procedimentos de preparação variam de 3 a 100% (RANA et al., 2013). Entre a produção do sal iodado até o cozimento, as perdas médias são estimadas em aproximadamente 20% (OMS, 2007). Outra importante fonte de iodo para os humanos são o leite e os produtos lácteos. A contribuição destes alimentos está entre 25 e 70% da ingestão diária de iodo (ARRIZABALABA, 2015). As concentrações são influenciadas por diversos fatores que vão desde variações de clima e geográficas

até manejo na ordenha, processamento do leite e alimentação animal. Contudo o consumo e o teor de iodo contido nesses alimentos variam muito, tornando-se uma fonte imprevisível do elemento (REIJDEN et al., 2017).

A suplementação diária de iodo de forma mais ampla da população pode ocorrer através de outros meios, como com o consumo de folhosas, frutas e legumes. O iodo contido nas plantas tem melhor absorção e é muito mais satisfatório para a saúde humana, que o iodo encontrado no sal de cozinha, ou seja, é possível diminuir a quantidade sal utilizada na comida (KRZEPILKO et al., 2019).

No entanto, de forma geral, os alimentos de origem vegetal são relativamente pobres em iodo (ERSHOW et al., 2017). Os teores nas plantas cultivadas variam de 0,10 a 0,15 mg kg⁻¹ de peso fresco, como espinafre com 0,12 mg kg⁻¹, brócolis com 0,15 mg kg⁻¹ e sementes de ervilha com 0,14 mg kg⁻¹ (KUNACHOWICZ et al., 2005). Nos cereais, trigo, arroz e milho, que são responsáveis por até 60% do consumo diário de energia da população, os níveis são extremamente baixos, variando de 2 a 30 µg kg⁻¹ (CAKMAK et al., 2017). As razões para estes baixos teores nos principais alimentos consumidos são o baixo teor nos solos cultivados (MEDRANO-MACIAS, 2016; FUGE E JOHNSON, 2015; ZIMMERMANN, 2009), baixo teor e transferência para a parte comestível das plantas (KRZEPILKO, 2019) e o processamento dos alimentos (MOTTIAR E ALTOSAAR, 2011).

Neste cenário, a biofortificação é uma estratégia promissora (CAKMAK E WHITE, 2017). Tem sido utilizada para suprir as deficiências mais comuns de Fe, que ocorre em cerca de 60% da população mundial, de iodo e de zinco que atingem cerca de 30% da população e a de selênio que ocorre em aproximadamente 15% da população (WHITE E BROADLEY, 2009).

A biofortificação tem como objetivo a elevação da concentração de vitaminas e nutrientes existentes nas partes comestíveis das plantas (NASCIMENTO, 2018) e pode ser obtida através da adubação das plantas ou pelo melhoramento genético. Todo o processo é geralmente empregado em vegetais e cereais de alto consumo, o que garante que um número maior de pessoas tenha acesso ao produto.

Segundo Loureiro et al. (2018), a biofortificação de alimentos atua como uma interferência nutricional de forma específica, e busca elevar o conteúdo de nutrientes em alimentos vegetais. Esse processo busca aumentar a concentração de elementos essenciais para o metabolismo humano, nas porções comestíveis das plantas, através da intervenção agrícola ou seleção genética (WHITE E BRODLEY, 2005).

Esta abordagem da saúde pública da biofortificação de alimentos básicos tem como objetivo controlar e diminuir as deficiências nutricionais especialmente nos países pobres (NESTEL et al., 2006). No entanto, a falta de iodo ocorre tanto em países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento (SMOLÉN, 2014; CAKMAK, 2017; GONZALI, 2017), tornando-se um problema mais amplo.

Os métodos mais comumente utilizados na biofortificação agrônômica de iodo incluem a pulverização de folhas, fertirrigação, aplicação direta no solo de composto de iodo e alteração da solução nutritiva. As formas inorgânicas I^- e IO_3^- são as mais utilizadas, sendo fornecidas junto com o elemento potássio, KI e KIO_3 , iodeto e iodato de potássio, respectivamente (KRZEPILKO et al., 2019). Para a absorção pela raiz o IO_3^- deve ser reduzido para I^- (BLASCO, 2013). Nos cultivos que não utilizam solo o iodato é menos tóxico que o iodeto (KRZEPILKO et al., 2019), portanto é o mais adequado para a biofortificação (CAKMAK et al., 2017).

O iodo pode ser absorvido pela raiz e pelas estruturas aéreas (SHAW et al., 2007; TSCHIERSCH et al., 2009). A absorção do elemento ocorre através de canais iônicos de I e pelos transportadores de cloreto, que são energizados por bombas de prótons (WHITE E BROADLEY, 2009). Com isso pode ocorrer competição com outros ânions, como o cloro, nitrato e perclorato (VOOGT E JACKSON, 2010). Os transportadores de iodo ainda não estão bem estabelecidos, mas a sua atividade na planta pode ser partilhada por vários transportadores e canais de ânions (WHITE E BROADLEY, 2009; LANDINI et al., 2012).

Quando dentro da planta, o fluxo de iodo no xilema é predominante (WENG ET AL., 2009). Mas geralmente não é distribuído uniformemente entre os tecidos das plantas, concentrando-se na seguinte ordem decrescente: raiz>folha>caule (WENG et al., 2009). Na alface foi constatado o seu transporte da folha até as raízes (SMOLÉN, 2014).

A utilização de sais de iodo no sistema hidropônico resulta no aumento da biomassa de vegetais folhosos, como repolho, espinafre e alface. Outros efeitos benéficos observados foram o aumento da absorção de nitrogênio em espécies folhosas (GONZALI, 2017) e aumento da capacidade antioxidante devido ao estímulo das principais enzimas desintoxicantes das espécies reativas de oxigênio (LEYVA et al., 2011).

Os antioxidantes, como os compostos fenólicos e carotenoides, são encontrados principalmente em vegetais e frutas, que são considerados importantes fontes

dessas substâncias para os humanos (THAIPONG et al., 2006; SMÓLEN et al., 2014). Os compostos fenólicos são considerados produtos secundários do metabolismo vegetal e sintetizados na rota metabólica do ácido chiquímico e no metabolismo dos fenilpropanóides (BLASCO et al., 2013). Estão relacionados nos processos de coloração, amargor, aroma e estabilidade oxidativa em várias categorias de alimentos (CASTAÑEDA et al., 2009). Eles são considerados antioxidantes atuando como interruptores de radicais livres, promovendo a prevenção da oxidação (WROLSTAD, 2005). Já os carotenoides são um conjunto de pigmentos lipossolúveis que tem nas hortaliças e frutas, os principais fornecedores destes compostos aos humanos (CARLSEN et al., 2011). Eles são sintetizados através da via metileritritol fosfato (MEP), onde após reações sucessivas, é produzido isopentenil pirofosfato (IPP) e dimetilalil difosfato (DMAPP). Após esse processo ocorre a condensação de dois isoprenos resultando numa molécula de geranyl difosfato (C10), onde após duas reações com moléculas de IPP, produz a molécula de geranyl geranyl difosfato (GGPP), que é precursora do primeiro carotenoide, o fitoeno (C40) (MESQUITA et al., 2017). A atividade dos antioxidantes previne e retarda a oxidação de outras moléculas, o que acarreta uma proteção aos danos oxidativos no corpo humano (ALI et al., 2011).

Segundo Kupper et al. (2019) a aplicação exógena de iodo na planta promove benefícios na atividade antioxidante, através de duas hipóteses funcionais: na primeira o iodo em sua forma reduzida teria uma reação direta com as espécies reativas de oxigênio, atuando como antioxidante inorgânico; na segunda, o elemento estaria atuando como um pró-oxidante, que fomenta a síntese de antioxidantes (SMÓLEN, 2014).

No cultivo de morango semi-hidropônico, o acréscimo de iodo em solução nutritiva promoveu aumento na concentração do elemento nos frutos, na biomassa das plantas e melhoria na qualidade dos frutos (LI et al., 2016). Vegetais folhosos podem armazenar iodo nos tecidos comestíveis, transformando-os nos principais candidatos aos programas de biofortificação (PUCCINELLI et al., 2020; VOOGT et al., 2010; BLASCO et al., 2008; DAI et al., 2006; ZHU et al., 2003). Em alface hidropônica, Voogt (2010) estudou doses diferentes de KIO_3 que variaram de 13 a 129 $\mu\text{mol. L}^{-1}$ com intuito de promover a biofortificação da hortaliça e verificou que o aumento da dose fornecida de iodo aumentou significativamente o teor de iodo na planta, mas não promoveu interferência na biomassa da planta.

Blasco et al. (2011) trabalharam com doses de iodo na solução nutritiva que variaram de 0 a 80 $\mu\text{mol L}^{-1}$. As aplicações não promoveram aumento de biomassa, mas produziram elevação das atividades de algumas enzimas responsáveis no combate as espécies reativas de oxigênio, como superóxido dismutase (SOD) e ascorbato peroxidase. Blasco et al. (2013) observaram que as doses aplicadas de iodo de até 80 $\mu\text{mol L}^{-1}$ promoveram efeito benéfico na biomassa e síntese de enzimas ligadas a atividade antioxidante como a shiquimato desidrogenase. Sularz et al. (2020), estudaram a concentração de 0,29 $\mu\text{g L}^{-1}$, e nela foi obtido aumento na concentração de alguns elementos minerais e diminuição de Cu e Zn. Quanto ao teor foliar de iodo, apesar de ser verificado aumento, os valores são bastante contrastantes. Com doses entre 90 e 129 $\mu\text{g L}^{-1}$ na solução nutritiva foi obtido teores de iodo nas folhas de alface entre 653 a 764 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de massa seca (VOOGT, 2010). Nesta mesma espécie, a utilização de 10 μmol de iodo na forma de KI na solução nutritiva resultou em 23.000 $\mu\text{g kg}^{-1}$ na massa seca da alface (PUCCINELLI, 2020). Todos estes estudos foram realizados em ciclo vegetativo completo, utilizando o sistema hidropônico de fluxo contínuo (NFT – *nutrient film technique*). No entanto plantas cultivadas de ciclo completo quando comparadas as *baby leaf* podem apresentar menores concentrações de nutrientes, compostos fenólicos e carotenóides (VASCONCELOS et al., 2011).

O objetivo do presente trabalho foi analisar os efeitos da adição de diferentes concentrações de iodato de potássio sobre o desenvolvimento, teores foliares de nutrientes e iodo, atividade antioxidante e a qualidade das folhas para a nutrição humana de alface *baby leaf* cultivada em sistema *floating*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

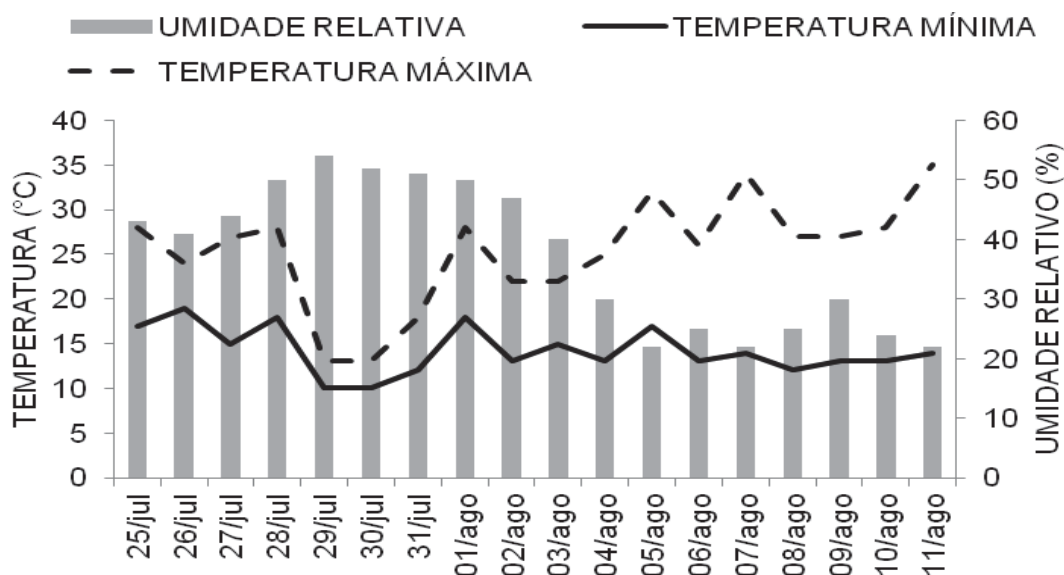
2.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido de 25 de julho a 11 de agosto de 2019 na Universidade Federal do Paraná, no Setor de Ciências Agrárias, no município de Curitiba, estado do Paraná, nas coordenadas 25°24'46.89''S; 49°14'52.82''O; elevação de 915 metros. O clima, segundo a classificação climática de Koppen, é caracterizado por ser Cfb, subtropical úmido mesotérmico, com a temperatura média anual de 17°C, sendo que em janeiro a média é de 20,5 °C e em julho é de 13 °C, com a pre-

cipitação média anual de 1550 mm, ligeiramente concentrada nos meses de verão, tendo como os meses mais secos julho e agosto (ALVARES, et al., 2014).

O experimento foi conduzido numa casa de vegetação semi-controlada. A temperatura e a umidade relativa do ar durante a condução do experimento constam no Gráfico 1, e os valores médios foram de 27, 2 °C e 42 %, respectivamente. A casa de vegetação na qual foi desenvolvido o experimento é coberta com polietileno de baixa densidade (PEBD), anti-UV, com espessura de 150 µm, com altura de pé direito de 3,0 metros, 7 metros de largura e 18 metros de comprimento, o que totaliza uma área de 126 metros quadrados. Não foi utilizada luz artificial.

GRÁFICO 1 - TEMPERATURAS MÍNIMA, MÁXIMA E MÉDIA E UMIDADE RELATIVA DO AR DIÁRIA, DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.



FONTE: O autor (2021).

2.2 DELINEAMENTO E TRATAMENTO

O sistema hidropônico utilizado foi o floating, ou seja, solução estática com aeração. Foram utilizados potes plásticos pretos com capacidade total de 2 litros de solução, dimensões 12 x 13,4 x 18 cm, altura, largura e comprimento, respectivamente, com dois potes por repetição e duas plantas por pote, totalizando 4 plantas por repetição. (Figura 1). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 6 repetições. Os tratamentos consistiram de doses de iodo na solução nutritiva de 0, 20, 40, 60, 80 µmol L⁻¹, que proporcionam 0 g; 2,539.10⁻³

g; $5,076 \cdot 10^{-3}$ g; $7,614 \cdot 10^{-3}$ g e $10, 15 \cdot 10^{-3}$ g, obtido com a diluição em um litro de água deionizada de 0,0000, 0,1027, 0,2054, 0,3082 e 0,4709 g de KIO_3 (59,29% de I), respectivamente.

FIGURA 1. VISÃO GERAL DO EXPERIMENTO CONDUZIDO EM SISTEMA *FLOATING*.



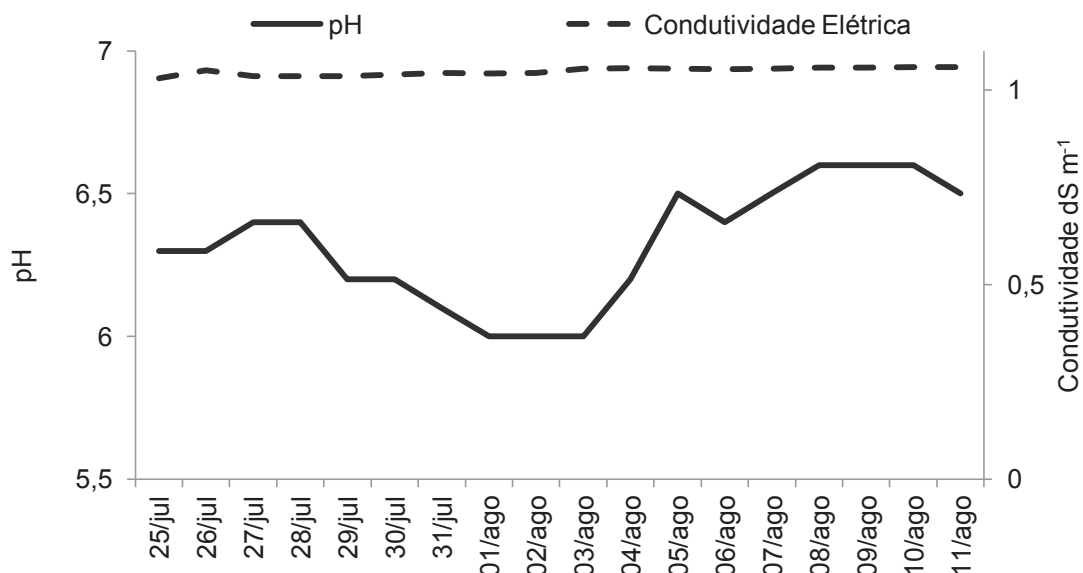
FONTE: O autor (2021).

2.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A cultivar de alface utilizada foi a Natália, de folha lisa, cujas mudas foram obtidas com a sementeira no dia 5 de julho em bandejas plásticas com 288 células contendo apenas vermiculita e mantida com fertirrigação na casa de vegetação da empresa AGROFIOR, localizada no município de Colombo, PR, por 19 dias. No vigésimo dia as mudas foram transferidas para os potes de cultivo experimental e

mantidas até o dia 11 de agosto. A solução nutritiva utilizada para o experimento foi baseada em Furlani et al. (1999), com as seguintes concentrações: 87 N-NO₃; 12 N-NH₄; 19, P; 91 K; 71 Ca; 19 Mg; 26 S; 0,15 B; 0,01 Cu; 1,0 Fe; 0,2 Mn; 0,03 Mo; e 0,03 Zn mg L⁻¹. Em todos os dias foram determinados o pH e a condutividade elétrica da solução nutritiva (Gráfico 2). A média do pH foi de 5,8 e a média da condutividade 1,09 (dS m⁻¹). A solução nutritiva para os tratamentos foi diluída em 20 litros.

GRAFICO 2 – MÉDIA DA VARIAÇÃO DO pH E DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.



FONTE: O autor (2021).

2.4 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

As avaliações foram realizadas em quatro plantas por repetição quando 70% das folhas atingiram 10 cm de comprimento, o que ocorreu após 18 dias de cultivo na solução nutritiva. Foram determinadas: o comprimento da maior folha (CF) obtida com auxílio de régua graduada; número de folhas por planta (NF), obtido pela contagem de todas as folhas; largura da maior folha (LF) obtida com o auxílio de régua graduada; massa fresca da parte aérea (MFA), após o corte no colo da planta, ou seja, logo abaixo da folha mais velha, foi determinada com o uso de balança analítica; massa fresca da raiz (MFR), após o corte no colo da planta, foi determinada a

massa com o uso de balança analítica; massa seca da parte aérea (MSA), obtida pela secagem do material colhido em estufa a 60°C até massa constante e posterior determinação a massa em balança analítica.

Para a determinação do teor de nutrientes, todo o material vegetal previamente seco, foi moído em moedor de grãos de café, marca Cadence Di Grano. A extração dos nutrientes foi realizada através da digestão via seca, conforme metodologia descrita por Martins e Reissmann (2007), com algumas modificações. Cerca de 0,5 gramas de material vegetal previamente moído, foi colocado em cadinhos de porcelana e na mufla para incineração à 500°C por 3 horas. Após o resfriamento foi adicionado em cada cadinho 3 gotas de ácido clorídrico (HCl) 3 mol L⁻¹, e colocado novamente na mufla por mais 3 horas. Após esse período e resfriamento dos cadinhos, adicionaram-se 5 ml de HCl 3 mol L⁻¹, colocados sobre chapa aquecida a uma temperatura média de 75°C por 10 minutos, para a solubilização do material inorgânico. Após o resfriamento filtrou-se para balões volumétricos de 50 ml, utilizando papel filtro faixa azul, que após a lenta filtração, foram armazenados em frascos falcon para posterior determinação da concentração dos nutrientes. A determinação dos teores de magnésio, cálcio, fósforo, enxofre, ferro, boro, cobre, molibdênio, manganês e zinco, foi realizada por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES). Para a determinação do potássio, 0,2 ml dos extratos foram diluídos em 9,8 ml de água deionizada e a leitura foi realizada em fotômetro de chama, modelo DM -62. Para o nitrogênio, foi realizada uma segunda moagem do material vegetal, com o intuito de atingir a granulometria igual ou inferior a 2 mm. Para isso foi utilizado o moinho de bolas de porcelana, da marca Fritsch, modelo Grinder Pulverisette 2. Após este processo foram pesados cerca de 0,015 g de material vegetal e encapsulados em folha de estanho. A determinação ocorreu via combustão em analisador CHONS, modelo Vario El III. Os dados foram expressos em g kg⁻¹, para macronutrientes, e mg kg⁻¹ para os micronutrientes.

A determinação do teor de iodo nas folhas de alface foi realizada com material fresco, colhido no dia 11 de agosto nas duas plantas que não foram utilizadas para determinação da massa seca e análises de nutrientes. O material foi colhido, embrulhado em folhas de papel alumínio e congelado até o dia da análise. A primeira parte da análise ocorreu através da extração alcalina das amostras com hidróxido de tetrametilamônio (TMAH) em microondas (SMÓLEN et al., 2019). Aproximadamente 0,2 g de material vegetal foi colocado no recipiente de extração, tubos de teflon, e

adicionado 5 ml de TMAH a 5%. Em seguida esta mistura foi transferida para tubos de teflon adequados para o rotor do microondas. A temperatura de rampa do microondas foi de 110°C e de resfriamento foi de 50°C. O tempo de extração foi de 30 minutos. Após a extração foi aumentado o volume para 25 ml, pipetando 10 ml de água ultrapura para o recipiente e uma segunda alíquota de 10 ml de água para enxaguar o restante do extrato e direcioná-lo para os tubos de centrifuga, e de forma subsequente foram transferidos para tubos de centrifuga descartáveis de tampa azul de 50 ml. A centrifugação foi realizada durante 30 min em 3000 rpm. Terminando o processo, foi realizada a filtração em filtros Millipore. Após esta etapa foi adicionado 5 ml de TMAH a 1% de TMAH, em tubos de ICP-MS sem diluição adicional. As condições operacionais analíticas para o ICP-MS foram: gás de nebulização a 1.059 L.min⁻¹, gás auxiliar 0.798 L.min⁻¹, gás de resfriamento 14.02 L.min⁻¹, potência de radiofrequência 1150 W e 3 canais.

Para a análise bioquímica de determinação da atividade antioxidante, foi realizada extração em metanol, seguindo metodologia proposta por Corrêa et al. (2004) com adaptações. Um grama de amostra seca foi diluído em 20 mL de metanol 40% e mantido em banho maria a 60°C, por 1 hora, com agitação. Após esse período, a mistura foi centrifugada a 3000 rpm, por 20 minutos e o sobrenadante foi transferido para um balão volumétrico de 25 mL. Completou-se o volume do balão volumétrico com água destilada e essa solução, denominada extrato fenólico, foi utilizada na realização das análises. A capacidade antioxidante foi determinada utilizando o radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) de acordo com o método descrito por Kuskoski et al. (2006). Foram pipetados 100 µL do extrato fenólico, diluído em água destilada (1:1 v/v), em tubos de ensaio e adicionados 3,9 mL de solução de DPPH (100 µM). Após 30 minutos realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro a 517 nm. O resultado foi expresso como percentual de inibição do radical DPPH, quanto maior este percentual maior é a atividade antioxidante, de acordo com a equação abaixo:

$$\% \text{ inibição radical DPPH} = (A_{\text{DPPH}} - A_{\text{amostra}}) * 100 / A_{\text{DPPH}}$$

Onde: A_{DPPH} = absorbância da solução de DPPH pura; A_{amostra} = absorbância de cada amostra a 30 minutos após a adição da solução de DPPH.

2.5 AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE CONSUMO DAS ALFACES BIOFORTIFICADAS COM IODO

Foi calculada a contribuição das folhas de alface para a ingestão diária de iodo (DI) e a dose diária recomendada de iodo (DDR) em %. O DDR seguiu as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS), com o valor de $150 \mu\text{g dia}^{-1}$ para pessoas maiores de 14 anos (KRZEPILKO, 2019). Para estes cálculos foi considerado um consumo diário de 50 g de folhas de alface. Também calculou-se o quociente de risco proposto por Sularz et al. (2020), através da equação: $QR = DDI/NIT$, onde o DDI é a dose diária média e NIT o nível de ingestão tolerável de iodo. O DDI é determinado da seguinte maneira: $DDI = (CI \cdot FC \cdot ID)/PC$, onde o CI é a concentração de iodo nas folhas (mg kg^{-1}), o FC é o fator de conversão de peso fresco para seco (MSA/MFA), ID é a ingestão diária 50g ou 0,05 kg e PC é o peso corporal médio (70kg). O valor para o NIT é de $1100 \text{ g I dia}^{-1}$ (KESSLER, 2009)

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Em caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade. As análises foram realizadas com uso do software Assistat (SILVA E AZEVEDO, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESULTADOS

Em geral, o maior desenvolvimento das plantas ocorreu na dose de 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de iodo na solução de cultivo.

Todas as características fenológicas avaliadas, número de folhas (NF) n°, comprimento da maior folha (CF), largura da maior folha (LF), massa fresca da parte aérea (MFA), massa seca da parte aérea (MSA), e massa fresca da raiz (MFR), foram maiores nesta dose (Tabela 1). Em relação aos demais tratamentos, na dose de 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ houve aumento no NF de 8 a 16,5 %, no CF de 6,4 a 9,8 %, na LF de 5 a 7 %, na MAS de 9,5 a 13,96 %, na MFA de 27 a 27,7 % e na MFR de 29 a 31,2 %.

TABELA 1 – NÚMERO DE FOLHAS (NF), LARGURA (LF) E COMPRIMENTO (CF) DA MAIOR FOLHA, MASSA SECA (MSA) E MASSA FRESCA (MFA) DA PARTE AÉREA E MASSA FRESCA DA RAIZ (MFR) DE AFALCE EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE IODO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE CULTIVO.

Iodo	NF	LF	CF	MS	MFA	MFR
$\mu\text{mol L}^{-1}$	N°	cm	cm	g planta^{-1}	g planta^{-1}	g planta^{-1}
0	15,2 ab	9,1 ab	10,8 b	2,7 b	27,4 b	4,8 b
20	16,6 a	10,1 a	11,6 a	3,3 a	32,9 a	6,2 a
40	15,3 ab	8,5 b	10,5 b	2,7 b	27,5 b	4,4 b
60	14,2 b	8,8 b	10,8 b	2,71 b	27,6 b	4,5 b
80	13,9 b	8,5 b	10,5 b	2,8 ab	27,5 b	4,3 b
CV (%)	5,68	7,53	3,81	11,62	10,3	16,57

*Valores seguidos pela mesma letra na linha não diferem entre si - Tukey ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2021).

O teor de nutrientes na parte aérea da alface apresenta uma pequena variação pela aplicação de iodo na solução nutritiva (Tabela 2). Maiores teores de N e K, e menores de Mg foram observados na dose de iodo de 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$, mas são alterações pouco expressivas. Os nutrientes Ca, P, S, B, Cu, Fe e Zn e os elementos Al e Na não foram influenciados pela aplicação de iodo na solução nutritiva.

A maior atividade antioxidante (DPPH) foi observada quando se adicionou iodo à solução nutritiva, independente da dose (Tabela 2).

TABELA 2 – TEORES FOLIARES DOS NUTRIENTES, SÓDIO E ALÚMÍNIO E (DPPH) EM ALFACE BABY LEAF EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÕES DE IODO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE CULTIVO

Iodo	N	K	Mg	Ca	P	S	Al	Na
$\mu\text{mol L}^{-1}$				g kg^{-1}				
0	57,4 b	118,2 b	2,9 ab	19,8 a	15,7 a	1,2 a	174,4 a	1,0 a
20	63,9 a	168,0 a	2,7 b	24,1 a	17,6 a	1,1 a	114,4 a	0,8 a
40	59,3 ab	130,5 b	3,0 ab	23,3 a	16,9 a	1,2 a	112,8 a	1,0 a
60	60,8 ab	134,8 b	3,1 a	23,6 a	16,9 a	1,3 a	168,2 a	1,0 a
80	57,4 b	129,5 b	3,0 ab	23,4 a	16,1 a	1,4 a	142,7 a	0,8 a
CV %	5,05	13,78	6,54	17,43	19,25	14,61	50,05	23,29

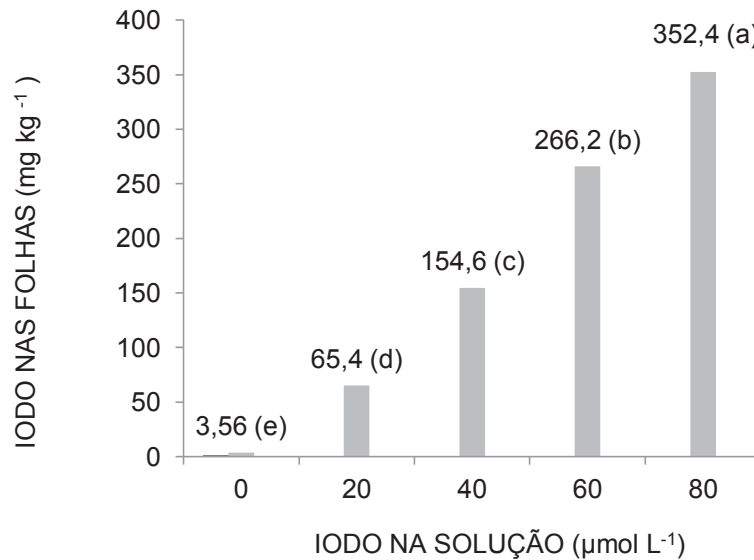
Iodo	Mn	B	Cu	Fe	Zn	DPPH
$\mu\text{mol L}^{-1}$			mg/kg^{-1}			%
0	34,8 a	5,1 a	15,9 a	233,6 a	48,5 a	53,7 b
20	38,1 a	5,6 a	14,3 a	212,3 a	46,3 a	62,2 ab
40	31,8 a	5,3 a	15,1 a	208,5 a	43,8 a	61,3 ab
60	34,5 a	5,3 a	14,6 a	219,6 a	43,8 a	65,3 a
80	31,7 a	5,3 a	15,0 a	201,3 a	45,2 a	67,7 a
CV %	11,55	8,85	10,9	38,95	11,52	8,53

*Valores seguidos pela mesma letra na linha não diferem entre si - Tukey ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2021).

O aumento da dose de KIO_3 na solução nutritiva resultou em aumento do teor de iodo nos tecidos foliares da alface (Gráfico 3). O teor de iodo na folha variou de níveis abaixo do limite de detecção a 3,56 a 352,4 mg kg^{-1}

GRÁFICO 3 - TEOR DE IODO EM FOLHAS DE ALFACE *BABY LEAF* CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO, EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO ELEMENTO NA SOLUÇÃO DE CULTIVO



*Valores seguidos pela mesma letra na linha não diferem entre si - Tukey ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2021).

Considerando a menor dose de iodo aplicada na solução nutritiva ($20 \mu\text{mol L}^{-1}$) e o consumo de 50 g de folhas frescas de alface com 92 % de água (Tabela 3), o quociente de risco calculado é 0,007 com uma quantidade consumida de iodo por refeição de 262 μg .

TABELA 3 – DOSE DE IODO IDEAL, TEOR DE IODO NAS FOLHAS, QUOCIENTE DE RISCO (QR) PARA INGESTÃO DE IODO, QUANTIDADE DE ÁGUA NA FOLHA, QUANTIDADE DE IODO INGERIDA ATRAVÉS DO CONSUMO DE 50 GRAMAS DE FOLHAS E INGESTÃO EM RELAÇÃO A ADULTOS E MULHERES EM AMAMENTAÇÃO

Tratamento	Teor de iodo nas folhas	QR	Água na folha	Iodo ingerido com consumo de 50 g de folhas frescas	Ingestão em relação: Adultos/Mulheres em amamentação
$\mu\text{mol L}^{-1}$	mg kg^{-1}		%	μg	%
20	65,4	0,003	92	262	174,5/97

FONTE: O autor (2021).

3.2. DISCUSSÃO

O aumento observado nas características fenológicas avaliadas na alface baby leaf na menor dose de iodo ($20 \mu\text{mol L}^{-1}$) (Tabela 1) também foi verificado por outros autores (BLASCO et al., 2013; BLASCO et al., 2011). Blasco et al. (2011) atribuiu este aumento da parte comestível da alface, ao estímulo da atividade da enzima nitrato redutase pela aplicação do KIO_3 . O suprimento de K promove a atividade do nitrato redutase (SOARES et al., 2020 E ARMENGAUD et al., 2004), pela expressão de genes responsivos ao K, que proporcionam maior absorção e transporte de nitrato para a parte aérea da planta, através da via de alta afinidade de absorção, NRT2 (HU et al., 2017). Outros autores identificaram a melhora na atividade da nitrato redutase, com a aplicação de doses de KIO_3 , pois ele foi atuante como substrato alternativo para a enzima (SMOLÉN et al., 2015). O IO_3^- pode atuar como acceptor de elétrons da enzima nitrato redutase (SMOLÉN et al., 2011). Esta maior atividade da nitrato redutase proporcionada pela aplicação de KIO_3 favorece a redução do NO_3^- a NH_4^+ , o qual de forma subsequente é incorporado a compostos orgânicos, como, por exemplo, aminoácidos, que atuam promovendo o aumento de biomassa das plantas. Outro ponto eminente para explicar o aumento do crescimento das plantas, foi o aumento da atividade antioxidante (Tabela 2). Segundo Blasco et al. (2013), a aplicação de baixas doses de iodo promove a atividade de enzimas ligadas a biossíntese de compostos fenólicos, SKDH e PAL, compostos com papel protetor no combate ao estresse, justificando o maior desenvolvimento das plantas.

As características fenológicas em doses aplicadas maiores que $20 \mu\text{mol L}^{-1}$, de certa forma não favoreceram o desenvolvimento das plantas, porém não proporcionaram toxidez (Tabela 1). Não obstante alguns estudos relatam que altas concentrações ($> 100 \mu\text{mol L}^{-1}$) e acúmulo de iodo nas folhas apresentam-se fitotóxicos às plantas, devido ao antagonismo entre os íons nitrato e iodato (BLASCO et al., 2012; SULARZ et al., 2020). Isso se deve ao fato, que o aumento de doses aplicadas de IO_3^- diminui a taxa de redução do nitrato, pois a nitrato redutase atua no processo de redução do IO_3^- para I^- (SMOLÉN et al., 2016). Essa hipótese existe, pois a nitrato redutase poderia atuar catalisando a redução de IO_3^- para I^- , ou seja, com a atuação da NR na redução do iodo, ao invés de promover a redução do nitrato a nitrito ocorreu uma interferência direta no metabolismo do nitrato.

A atividade antioxidante promoveu um efeito eminente na eliminação de radical DPPH, nas doses de iodo aplicadas (Tabela 2), o que caracteriza uma capacidade melhorada de eliminação de radicais livres. Outros estudos verificaram o efeito positivo do iodo sobre a capacidade antioxidante nas plantas (SMÓLEN et al., 2020; MEDRANO-MACIAS et al., 2016). Esse fator é verificado, pois é sugerido que ocorre uma atuação pró-oxidante do iodo, o que desencadeia a maior síntese de compostos antioxidantes (MACIAS et al., 2021). Essa produção de compostos fenólicos ocorre devido a um possível aprimoramento das principais enzimas das vias do shiquimato e fenilpropanóides, SKDH e PAL (BLASCO et al., 2013).

Os efeitos da aplicação de IO_3^- em aumentar a concentração de nutrientes nas folhas de alface (Tabela 2) também foram observados em experimentos realizados com morango e alface (MACIAS et al., 2021; SULARZ et al., 2020; BLASCO et al., 2012; BLASCO et al., 2011). Esse efeito poderia ser atribuído à dissociação do sal em K e iodato, levando a maior disponibilidade de K inibindo ou prejudicando a absorção de Mg (SENBAYRAM et al., 2015; MILLS et al., 1996). Mas isso é pouco provável uma vez que nas doses maiores de iodo este efeito deveria se acentuar, o que não foi observado. Talvez a maior massa fresca das raízes (Tabela 2) possa ter favorecido a absorção de K e com isso diminuído a de Mg para manter a quantidade de cargas positivas internamente nas células. Acredita-se que para o nitrogênio, a aplicação da menor dose de iodo, $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Tabela 1), promoveu um efeito de cooperação, levando a ocorrência de aperfeiçoamento no transporte e absorção do nitrogênio (MACIAS et al., 2016). Contudo, o aumento da atividade da enzima nitrato redutase proporcionado pela aplicação de iodo (Blasco et al., 2010), pode atuar promovendo o aumento de nitrogênio assimilado nas folhas de alface. Isso se deve, porque a quantidade de nitrogênio absorvido depende da atividade de enzimas presentes no seu ciclo (BREDEMEIER E MUNDSTOCK, 2000).

O aumento de iodo nas folhas de alface com o aumento das doses de KIO_3 na solução nutritiva (Gráfico 3), também foi observado por outros autores (SMÓLEN et al., 2019; BLASCO et al., 2007; ZHU et al., 2003). Isso é devido ao iodo ter o transporte via xilema altamente eficiente, pois ele é encontrado amplamente distribuído na parte aérea (LANDINI et al., 2011). A chegada do iodo ao xilema das raízes pode seguir as rotas apoplástica e simplástica (GONZALI et al., 2017). Contudo é predominante retirado da solução nutritiva na forma passiva, ou seja, pelo apoplasto (HUMPHREY et al., 2019). Com isso, o aumento da concentração de KIO_3 na solu-

ção proporcionou aumento da captação de iodo pela via sem gasto de energia, apoplástica, o que sugere a saturação das proteínas transportadoras das membranas plasmáticas das células radiculares (GONZALI et al., 2017), e conseqüentemente, aumento da absorção e transporte para a parte aérea.

Admitindo uma dieta diária de consumo de 50 gramas de alface (duas cabeças de alface *baby leaf* – Tabela 1), a quantidade de água nas folhas frescas de 92% e o teor de iodo nas folhas de 65,4 mg kg⁻¹ referente ao tratamento de menor dose aplicada na solução nutritiva de 20 µmol L⁻¹, o teor de iodo presente nos 50 gramas de alface é de 262 µg, o que corresponde a 174% da necessidade diária do elemento para uma pessoa adulta e 97% da necessidade diária de uma mulher em fase de amamentação (Tabela 3). Segundo Krepilko et al. (2019), a necessidade diária de iodo em adultos e mulheres em fase de amamentação, é de 150 e 270 µg dia⁻¹, respectivamente. A extrapolação em 112 µg de iodo na dose diária para adultos não representa excesso do elemento, já que a maioria das pessoas toleram pelo menos 1000 µg de iodo por dia (LOPES et al., 2012). Outro ponto fundamental para determinar a segurança da alface biofortificada com I é o QR, no qual foi calculado usando os dados do presente trabalho, com o fator de conversão de 0,083. Valores superiores a 1,0 promovem risco a saúde do consumidor (SMOLEN et al., 2019). Com isso a menor dose aplicada (de 20 µmol L⁻¹) não oferece risco para a saúde humana, pois apresenta QR calculado de 0,007 (Tabela 3).

4 CONCLUSÕES

A concentração de 20 µmol L⁻¹ de iodo na solução nutritiva proporcionou maior teor foliar de K e N, e aumento de massa da alface. Doses maiores que 20 µmol L⁻¹ não favoreceram o desenvolvimento das plantas.

O fornecimento de iodo na solução nutritiva de cultivo hidropônico proporcionou aumento de iodo e da atividade antioxidante das folhas de alface *baby leaf*.

O consumo de 50 g de folhas frescas de alface *baby leaf* biofortificada com 20 µmol L⁻¹ de iodo na solução nutritiva é suficiente para o suprimento de 100% da necessidade diária do elemento para uma pessoa adulta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conhecimentos sobre a forma e mecanismos de atuação do iodo nas plantas ainda não é totalmente esclarecido e informações sobre a caracterização de alface após a biofortificação com iodo são escassos. Estudos que busquem o entendimento destes mecanismos podem trazer maior eficiência nos estudos futuros que envolvam a biofortificação com este elemento nos alimentos mais consumidos, auxiliando na mitigação da sua deficiência em seres humanos.

REFERÊNCIAS

ALI, L.; SVENSSON, B.; ALSANIUS, B.W.; OLSSON, M.E. Late season harvest and storage of *Rubus* berries - major antioxidant and sugar levels. *Scientia Horticulturae*, v.129, p.376-381, 2011. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.03.047

ALVARES, C.A; STAPE, P.C; SENTELHAS, P.C. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22: 711-728. 2014.

ARMENGAUD, P.; BREITLING, R.; AMTMANN, A. The potassium-dependent transcriptome of arabidopsis reveals a prominent role of jasmonic acid in nutrient signaling. *Plant Physiology*, v. 136, n. 1, p. 2556–2576, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.104.046482>

ARRIZABALAGA, J. J. M.; JALÓN, M.; ESPADA, M.; CAÑAS, P. M.; LATORRE. Iodine concentration in ultra-high temperature pasteurized cow's milk. Applications in clinical practice and in community nutrition. *Med. Clin. (Barc.)* 145:55–61. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2014.04.027>.

BLASCO B.; RÍOS, J. J.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E., RUBIO-WILHELMI, M. M.; LEYVA, R.; ROMERO, L. Study of the interactions between iodine and mineral nutrients in lettuce plants. *J. Plant Nutr.* v. , n., p, ano ??? 35.2012.10180/01904167.2012.716889

BLASCO, B.; RÍOS, J. J.; CERVILLA, L. M.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E.; RUIZ, J. M.; ROMERO, L. Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Ann. Appl. Biol.* 152, 289–299. 2008. doi: 10.1111/j.1744-7348.2008.00217.x

BLASCO B., RÍOS, J. J.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ.; RUBIO-WILHELMI, M. M.; LEYVA, R.; ROMERO, L. Does iodine biofortification affect oxidative metabolism in lettuce plants. *Biological Trace Element Research*v. 142, n. 3, p. 831–842, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8816-9>

BLASCO, B.; RÍOS, J. J.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E.; RUBIO-WILHELMI, M. M.; LEYVA, R.; ROMERO, L. Iodine effects on phenolic metabolism in lettuce plants under salt stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 61, n. 11, p. 2591–2596, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf303917n>

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, CLAUDIO M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, v. 30, n. 2, p. 365–372, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782000000200029>

CAKMAK, I.; MCLAUGHLIN, M. J; WHITE, P. Zinc for better crop production and human health. *Plant and Soil*, The Hague, v. 411, p.1-4. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-016-3166-9>.

CALORI, A.H.; FACTOR, T.L.; LIMA, J.S. Análise econômica da produção de mini-folhas ou baby leaf em hidroponia. In: 2 Simpósio Nacional de Tecnologia em Agronegócio. 2010.

CARLSEN, M.H.; KARLSEN, A.; LILLEGAARD, I.T. Relative validity of fruit and vegetable intake estimated from an, using carotenoid and flavonoid biomarkers and the method of triads. *Br j nutr* 105:1530-1538. 2011.

CARNEIRO, O.L.; PURQUEIRO, L.F.V.; TIVELLI, S. W.; SANCHES, J.C.I.A.P. É possível produzir baby leaf de rúcula em bandejas com diferentes volumes de células? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 48. 2008.

CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, M. L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, M. E.; RODRÍGUEZ, J. A.; GALÁN-VIDAL, C. A. Chemical studies of anthocyanins: a review. *Food Chemistry*, v. 113, p. 859-871, 2009.

COLLINS, A. Lettuce: A diet food and nutrition. 2004. Disponível em: <http://www.annecollins.com/dietnutrition/lettuce>> Acesso em: 29 jul 2019.

CORRÊA, A. D.; SANTOS, S. R.; ABREU, C. M. P.; JOKL, L.; SANTOS, C. D. Removal of polyphenols of the flour cassava leaves. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 24, n. 2, p. 159-164, 2004.

DAI, J. L.; ZHU, Y.G.; HUANG, Y.Z.; ZHANG, M.; SONG, J. L. Availability of iodide and iodate to spinach (*Spinacia oleracea* L.) in relation to total iodine in soil solution. *Plant and Soil*, [s. l.], v. 289, n. 1–2, p. 301–308, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9139-7>

DESHPANDE, S. S.; SALUNKHE, D. K. Lettuce: Handbook of vegetable science and technology: production, composition, storage, and processing. 1a ed. [S.l.] : Marcel Dekker, Inc., 1998. ISBN 0-8247-0105-4. p. 493–509.

DOGGUI, R.; ATIA, E.L. Iodine deficiency: Physiological, clinical and epidemiological features, and pre-analytical considerations. *Annales d'Endocrinologie*, [s. l.], v. 76, n. 1, p. 59–66. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ando.2014.12.002>

ERSHOW, A.G.; SKEAFF, S.A.; MERKEL, J.M.; PEHRSSON, P.R. Development of Databases on Iodine in Foods and Dietary Supplements. *Nutrients*. 2017; 10(1):100. Published. 2017. doi:10.3390/nu10010100

FAO. Food and Agricultural Organization. Faostat, 2018. Disponível em: FAO. Food and Agricultural Organization. Faostat. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 21 mai. 2021.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. Cultivo hidropônico de Plantas. Campinas: Instituto Agronômico, 52 p. Boletim técnico, 180.1999.

GARFINKLE, M. A. Salt and essential hypertension: pathophysiology and implications for treatment. *Journal of the American Society of Hypertension*, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 385–391, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jash.2017.04.006>

GIMÉNEZ, A.; FERNÁNDEZ, J.; PASCUAL, J. Promising composts as growing media for the production of baby leaf lettuce in a floating system. *Agronomy*, [s. l.], v. 10, n. 10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10101540>

GONZALI, S.; KIFERLE, C.; PERATA, P. Iodine biofortification of crops: agronomic biofortification, metabolic engineering and iodine bioavailability. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 1-212. 2017.

Hu, W.; COOMER, T.D.; LOKA, D.A. Oosterhuis DM, Zhou Z. Potassium deficiency affects the carbon-nitrogen balance in cotton leaves. *Plant Physiol Bioch.* 2017 Apr.115:408-417. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.04.005.

HUMPHREY, O.S., YOUNG, S.D., BAILEY, E.H. Iodine uptake, storage and translocation mechanisms in spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Environ Geochem Health* 41, 2145–2156. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00272-z>

KESSLER, J. Are there Side Effects when Using Supraphysiologic Levels of Iodine in Treatment Regimens? [S. l.]: Elsevier Inc., 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374135-6.00082-0>

KRZEPIŁKO, A.; PRAZAK, R.; SKWARYLO, B.; MOLAS, J. Agronomic biofortification as a means of enriching plant foodstuffs with iodine. *Acta Agrobotanica*, [s. l.], v. 72, n. 2, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5586/aa.1766>

KUNACHOWICZ, H.; NADOLNA, I.; PRZYGODA, B.; IWANOWICZ, K. Tabele składu i wartości odżywczej żywności. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 2005.

KÜPPER, F.C.; CARRANO, C.J. Key aspects of the iodine metabolism in brown algae: A brief critical review. *Metallomics* 2019, 11, 756–764.

KUROSAD, A.; NICPOŃ, J.; KUBIAK, K.; JANKOWSKI, M.; KUNGL, K. Iodine nutrition. *Adv Clin Exp Med* 14: 1019–1025. 2005.

KUSKOSKI, E.M.; ASUERO, A.G.; MORALES, M.T.; FETT, R. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. *Ciência Rural*, v. 36, p. 1283-1287, 2006.

LANDINI, MARTINA.; GONZALI, Silvia.; PERATA, P. Iodine biofortification in tomato. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 174, n. 3, p. 480–486, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jpln.201000395>

LEYVA, R.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E.; JUAN, J.; RIOS, M.M.; ROMERO, L.; BLASCO, B. Beneficial effects of exogenous iodine in lettuce plants subjected to salinity stress. *Plant Science*, v. 181, n. 2, p. 195–202, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.05.007>

LI, Li. Proteomic Response and Quality Maintenance in Postharvest Fruit of Strawberry (*Fragaria × ananassa*) to Exogenous Cytokinin. *Scientific Reports* v. 6, n. December 2015, p. 1–11, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep27094>

LOPES, M.; CASTRO, J.; MARCELINO, M.; OLIVEIRA, M.J.; CARRILHO, F.; LIBERT, . Iodo e Tiróide: O que o clínico deve saber. *Acta Medica Portuguesa*, v. 25, n. 3, p. 174–178, 2012.

LOUREIRO, M.P.; CUNHA, L.R.; NASTARO, B.T.; PEREIRA, K.Y.; NEPOMOCENO, M.L. Biofortificação de alimentos: problema ou solução? *Segurança Alimentar e Nutricional*, v. 25, n. 2, p. 66–84, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/san.v25i2.8652300>

MARTINS, A.P.L.; REISSMANN, C. Laboratory routine for chemical and analytical procedures on plant tissues. *Scientia Agraria*, v. 8, n. 1, p. 1–17, 2007. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99516333001>

MEDRANO MACÍAS, J.; LÓPEZ, C.M.G.; RIVAS, M. E.N.; NARVÁEZ, O. W.A.; BENAVIDES, M.A.; Martínez Lagunes, P. Enhancement to Salt Stress Tolerance in Strawberry Plants by Iodine Products Application. *Agronomy* 2021, 11, 602. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030602>

MEDRANO MACÍAS, J.; LÓPEZ, C.M.G.; RIVAS, M.E.N.; NARVÁEZ, O.W.A.; BENAVIDES, M.A.; LAGUNES, M.P. Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, n. AUG 2016, p. 1–20, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01146>

MESQUITA, S. S.; TEIXEIRA, C.M.L.L.; SERVULO, E.F.C. Carotenoids: Properties, applications and market. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 2, p. 672–688, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170040>

MILLS, H.A., JONES Jr., J.B. *Plant Analysis Handbook II*. MicroMacro Publishing, Athens, GA. 1996.

MOTTIAR, Y.; ALTOSAAR, I. Iodine sequestration by amylose to combat iodine deficiency disorders. *Trends in Food Science and Technology*, v. 22, n. 6, p. 335–340, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.02.007>

NASCIMENTO, C.S. Biofortificação Agrônômica da Rúcula com Selênio em Sistema Hidropônico. (2018). 43 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

NESTEL, P.; BOUIS, H. E.; MEENAKSHI, J. V.; PFEIFFER, Wolfgang. Symposium: FOOD FORTIFICATION IN DEVELOPING COUNTRIES BIOFORTIFICATION OF STAPLE FOOD CROPS. *J. Nutr*, v. 136, p. 1064–1067, 2006.

OLIVEIRA, A.C.B.; SEDIYAMA, M.A.N.; PEDROSA, M.W.; GARCIA, N.C.; GARCIA, S.L.R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada. 2004

OMS. Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: A guide for programme managers (3rd ed.). Geneva, Switzerland: WHO. (2007).

PUCCINELLI, M.; LANDI, M.; MAGGINI, R.; PARDOSSI, A.; INCROCCI, L. Iodine biofortification of sweet basil and lettuce grown in two hydroponic systems. *Scientia*

Horticulturae, v. 276, n. October 2020, p. 109783, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109783>

PURQUERIO, L.F.V.; MELO, P.C.T. Hortaliças pequenas e saborosas. Horticultura Brasileira, Brasília. v. 29, p.1-1. 2011.

RANA, R.; RAGHUVANSHI, R.S. Effect of different cooking methods on iodine losses. Journal of Food Science and Technology, v. 50, n. 6, p. 1212–1216, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0436-7>

REIJDEN, O.L.; ZIMMERMANN, M.B.; GALETTI, V. Iodine in dairy milk: Sources, concentrations and importance to human health. Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism, v. 31, n. 4, p. 385–395, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.10.004>

SAHIN, O. Combined biofortification of soilless grown lettuce with iodine, selenium and zinc and its effect on essential and non-essential elemental composition. Journal of Plant Nutrition, v. 44, n. 5, p. 673–678, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1849300>

SENBAYRAM, M.; GRANSEE, A.; WAHLE, V.; THIEL, H.. Role of magnesium fertilisers in agriculture: Plant-soil continuum. Crop and Pasture Science, v. 66, n. 12, p. 1219–1229, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/CP15104>

SHAW, G.; SCOTT, L.K.; KINNERSLEY, R.; P. Sorption of caesium, iodine and sulphur in solution to the adaxial leaf surface of broad bean (*Vicia faba* L.). *Environ. Exp. Bot.* 59, 361–370. doi: 10.1016/j.envexpbot.2006.04.008. 2007.

SILVA B.A.; SILVA, A.R.; PAGIUCA, L.G. Cultivo protegido: em busca de mais eficiência produtiva. Hortifruti Brasil, 1:10-18. 2014.

SILVA, A.P.P.; MELO, B. Hidroponia. Disponível em: <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/hidropo.2016>. Acesso em: 22 jul. 2020.

SILVA, A.R.M.; MELCHERT, W.R. Iodo: riscos e benefícios para a saúde humana. *Cienc. Culto.* São Paulo, v. 71, n. 2, pág. 58-60. 2019. Disponível em <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000967252019000200016&lng=en&nrm=iso>. acesso em 26 de novembro de 2020. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000200016>

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>.

SINGLETON, V.L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 1999, 299, 152–178.

SMOLEŃ S.; WIERZBIŃSKA J.; SADY W.; KOŁTON A., WISZNIEWSKA A.; LISZKA-SKOCZYLAS, M. Iodine biofortification with additional application of salicylic acid affects yield and selected parameters of chemical composition of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Sci. Hort.* 188 89–96. 10.1016/j.scienta.2015.03.023. 2015.

SMOLEŃ, S.; BARANSKI, R.; LEDWOŻYW-SMOLEŃ, I.; SKOCZYLAS, Ł.; SADY, W. Combined biofortification of carrot with iodine and selenium. *Food Chemistry*, [s. l.], v. 300, n. July, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125202>

SMOLEŃ, S.; KOWALSKA, I.; CZERNICKA, M.; HALKA, M; KĘSKA, K; SADY, W. Iodine and selenium biofortification with additional application of salicylic acid affects yield, selected molecular parameters and chemical composition of lettuce plants (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Frontiers in Plant Science*, v. 7, n. OCTOBER2016, p. 1–16, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01553>

SMOLEŃ, S.; ROZEK, S.; LEDWOŻYW-SMOLEŃ, I.; STRZETELSKI, P. Preliminary evaluation of the influence of soil fertilization and foliar nutrition with iodine on the efficiency of iodine biofortification and chemical composition of lettuce. *Journal of*

Elementology, v. 16, n. 4, p. 613–622, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5601/jelem.2011.16.4.10>

SMOLEŃ, S.; KOWALSKA, I.; SADY, W. Assessment of biofortification with iodine and selenium of lettuce cultivated in the NFT hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, v. 166, p. 9–16, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.011>

SOARES, P.; MESQUITA, N.; ALMEIDA, J.; COUTRIM, R.; CAIRO, P.; DIAS S.L. Crescimento, qualidade de raízes e atividade da redutase do nitrato em plantas de rabanete submetidas a doses de potássio e fontes de nitrogênio. *Scientia Plena*. 16. 10.14808/sci.plena.2020.060205. 2020.

SOLDATENKO, A.V.; RAZIN A.F.; SHATILOV, M.V.; IVANOVA, M.I.; TAKTAROVA, S.V.; KUZYAKIN, M.V.; SOKOLOVA, E.S. BUKANOV, V.S. Problems of lettuce production in the open field and features of its cultivation in the conditions of small-scale production (the “Vesely Agronom” LLC case, Dmitrovsky district, Moscow region) *Russian Vegetables* 2 pp 55-60. 2018

SOUSA, T.P.; PEREIRA, E.; NETO, S.; RAPOSO, L.; SILVEIRA, S.; FRANCISCO, E. Produção de alface (*Lactuca sativa* L .), em função de diferentes concentrações e tipos de biofertilizantes Production of lettuce (*Lactuca sativa* L .), for function different concentrations and types of biofertilizers. *Revista Verde* (Pombal - PB - Brasil), v. 9, n. 4, p. 168–172, 2014.

SULARRZ, O.; SMOLEŃ, S.; KORONOWICZ, A.; K, I; LESZCZYFISKA, T. Chemical Composition of Lettuce (*Lactuca sativa* L .). Chemical Composition of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Biofortified with Iodine by KIO₃, 5-Iodo-, and 3.5-Diiodosalicylic Acid in a Hydroponic Cultivation, n. Id, p. 1–17, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954 p.

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. B. D.H. Comparison of abts, dpsh, frap, and orac assays for estimating antioxidant ac-

tivity from guava fruit extracts. *Journal of food composition and analysis* 19:669-675. Trace Elements in Medicine and Biology, Muenchen, v. 27S1, p. 42-42. 2006.

TSCHIRSCH, J.; SHINONAGA, T.; HEUBERGER, H. Dry deposition of gaseous radio iodine and particulate radio caesium onto leafy vegetables. *Sciencia Total. Environ.* 407, 5685–5693.doi:10.1016/j.scitotenv.2009.06.025. 2009

TURINI, T.; CAHN, M.; CANTWELL, M.; JACKSON, L.; KOIKE, S.; NATWICK, E.; SMITH, R.; SUBARRAO, K.; TAKELE, E. Iceberg lettuce production in California, 2011. Disponível em: <http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/7215.pdf>>.

USDA - United States Department of Agriculture.. National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release. Disponível em: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/301895>. Acesso em: 01 maio. 2019.

VASCONCELOS, R.L.; FREITAS, M.P.N.; BRUNINI, M.A. Características físico-químicas da rúcula cv. cultivada produzida no sistema convencional e no baby leaf.. *Nucleus*, Ituverava, v. 8, n. 2, oct. ISSN 1982-2278. Disponível em: <http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/607>>. Acesso em: 09 nov. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.3738/nucleus.v8i2.607>. 2011.

VOOGT, W.; JACKSON, W. A. Perchlorate, nitrate, and iodine uptake and distribution in lettuce (*Lactuca sativa* L.) and potential impact on background levels in humans. *J. Agric. Food Chem.* 58, 12192–12198. doi: 10.1021/ jf101227d. 2010

VOOGT, W.; HOLWERDA, H. T.; KHODABAKS, R. Biofortification of lettuce (*Lactuca sativa* L.) with iodine: the effect of iodine form and concentration in the nutrient solution on growth, development and iodine uptake of lettuce grown in water culture. *J. Sci. Food Agric.* 90, 906–913. doi: 10.1002/jsfa.3902. 2010

WENG, H.X.; YAN, A.L.; HONG, C.L.; QIN, Y.C.; PAN, L.; XIE, L.L. Biogeochemical transfer and dynamics of iodine in a soil-plant system. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 31, n. 3, p. 401–411, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10653-008-9193-6>

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R. Biofortification of crops with seven mineral elements of ten lacking in human diets iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytol.* 182, 49 – 84. doi:10.1021/jf10127d. 2009

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science*, v. 10, n. 12, p. 586–593, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.10.001>

WROLSTAD, R.E.; DURST, R.W.; LEE, J. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology*, v. 16, p. 423-428, 2005.

YURI, J.E.; RESENDE, G.M.; COSTA, N. .; GOMES, A.S. Desempenho agrônômico de genótipos de alface americana no Submédio do Vale do São Francisco. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 35, p. 292-297, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170222>.

ZHU, Y.G.; HUANG, Y.Z.; Hu, Y.; LIU, Y.X. Iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants grown in solution culture: Effects of iodine species and solution concentrations. *Environment International*, v. 29, n. 1, p. 33–37, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00129-0](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00129-0)

ZIMMERMANN, M.B. (2009). Iodine Deficiency. *Endocrine Reviews*, 30(4), 376–408. doi:10.1210/er.2009-0011