



Productive and physiological performance of lettuce cultivars under hydroponic cultivation in the semi-arid region of the Northeast

Desempenho produtivo e fisiológico de cultivares de alface em cultivo hidropônico no Semiárido nordestino

Jefferson Freitas de Menezes Fortes¹, Marcelo de Almeida Guimarães¹, Hozano de Souza Lemos Neto², Italo Marlone Gomes Sampaio^{3*}, Francisco Gilcivan Moreira Silva⁴

Abstract: Lettuce is the most-produced leafy vegetable in Brazil; however, to achieve satisfactory production in the different regions, it is necessary to choose the correct cultivar. The aim of this work was to evaluate the productive and physiological performance of lettuce cultivars in a hydroponic system located in Caucaia, in the state of Ceará. A completely randomised design was used, with four cultivars (Isabela, Vanda, Elba and Summer Crisp) and four replications. The following were evaluated: plant height and diameter (PH and PD), total fresh and dry weight (TFW and TDW), commercial fresh weight (CFW), internal CO₂ concentration (Ci), stomatal conductance (gs), photosynthesis (A), ratio between internal and external CO₂ concentration (Ci/Ca), and transpiration (E). Differences were seen between cultivars in the production and physiological characteristics, except for Ci and Ci/Ca. The 'Elba' and 'Summer Crisp' cultivars were the first to show signs of bolting (32 and 36 days) and greater height, 38.7 and 31.8 cm respectively. The 'Isabela' and 'Vanda' cultivars obtained the greatest values for CFW (43.5 and 41.13 g) and TFW (49.38 and 46.46 g). In relation to physiological performance, the 'Isabela' and 'Summer Crisp' cultivars presented the most photosynthesis. The 'Isabela' cultivar had the best productive and physiological performance, in addition to being the only cultivar that presented no signs of bolting, and is therefore strongly suggested for hydroponic production under the conditions of this study.

Key words: *Lactuca sativa* L. Hydroponics. Bolting. Photosynthesis.

Resumo: A alface é a hortaliça folhosa mais produzida no Brasil, entretanto, para se obter uma produção satisfatória nas diferentes regiões, é necessário escolher adequadamente a cultivar. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho produtivo e fisiológico de cultivares de alface em sistema hidropônico localizado no município de Caucaia-CE. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro cultivares (Isabela, Vanda, Elba e Crespa para Verão) e quatro repetições. Avaliou-se altura e diâmetro das plantas (AP e DP), massa fresca e seca total (MFT e MST), massa fresca comercializável (MFC), concentração interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (gs), fotossíntese (A), razão entre concentração interna de CO₂ e externa (Ci/Ca) e transpiração (E). Foram observadas diferenças entre as cultivares para as características produtivas e fisiológicas, exceto Ci e Ci/Ca. As cultivares 'Elba' e 'Crespa para Verão' foram as que primeiro apresentaram indícios de pendoamento (32 e 36 dias) e, também, maior altura, respectivamente, 38,7 e 31,8 cm. As cultivares 'Isabela' e 'Vanda' obtiveram os maiores valores de MFC (43,5 e 41,13 g) e MFT (49,38 e 46,46 g). Quanto ao desempenho fisiológico, as cultivares 'Isabela' e 'Crespa para Verão' apresentaram maior fotossíntese. A cultivar 'Isabela' teve o melhor desempenho produtivo e fisiológico, além de ter sido a única que não apresentou indícios de pendoamento na colheita, sendo, portanto, a mais indicada para ser produzida em cultivo hidropônico, nas condições deste estudo.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L. Hidroponia. Pendoamento. Fotossíntese.

*Corresponding author

Submitted for publication on 13/10/2019, approved on 12/12/2019 and published on 23/01/2020

¹Universidade Federal do Ceará, Departamento de Fitotecnia, CEP 60356-001 Fortaleza, CE. E-mail: mguimara@ufc.br; jefferson_ffortes@yahoo.com.br;

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido, CEP 59625-900, Mossoró, RN, Brasil. E-mail: hozanoneto@hotmail.com;

³Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAGRO), Universidade Federal Rural da Amazônia, CEP 66077-830 Belém, PA. E-mail: italofito@gmail.com;

⁴Programa de Pós-graduação em Ciência do solo (PPGCS), Universidade Federal do Ceará, CEP 60356-001 Fortaleza, CE. E-mail: fgilcivan@gmail.com.

INTRODUCTION

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a leafy vegetable belonging to family Asteraceae that has good organoleptic properties (brightness, aroma, texture and flavour) and is a source of fibre, minerals, vitamins and lipids (USDA, 2018). Due to these properties, and its being consumed and sold *in natura*, lettuce has become the most consumed leafy vegetable in the world (SALA; COSTA, 2012). In 2012, the volume of lettuce sold in the 23 principal Supply Centres (CEASA) in Brazil was 79,000 tons (CARVALHO, 2013).

Lettuce is grown throughout Brazil, both in the soil and in hydroponic systems. In hydroponic systems, it is considered the most cultivated vegetable in the country and is preferred by producers for this form of cultivation (COMETTI *et al.*, 2016). When grown in a hydroponic system, the productivity of lettuce is higher, mainly due to the greater number of cycles in the same area, greater precocity and higher quality, compared to cultivation in the soil (BARBOSA *et al.*, 2015).

The main advantages of hydroponic production are the better visual appearance of the final product, shorter production cycle, absence of soil diseases, reduced climate risk, lower water and nutrient uptake, higher productivity and longer shelf-life (KHAN *et al.*, 2018; SAMBO *et al.*, 2019). As such, this system provides farmers with greater convenience and higher yields when harvesting (MARTINEZ, 2016).

In tropical and subtropical regions, such as those that occur in the semi-arid region of Brazil (ALVARES *et al.*, 2013), production and quality in the lettuce are low when compared to those of temperate regions. This is due to the high temperatures, which interfere with the length of the cycle and with crop production, due to early bolting and a physiological disorder, tipburn, which is a burning of the edge of the leaves, usually caused by calcium deficiency. As such, the productivity and quality of the lettuce are reduced (DIAMANTE *et al.*, 2013).

The effects of temperature on both early bolting and the appearance of physiological disturbances, such as tipburn, can be further intensified when the behaviour of cultivars under different cultivation systems is unknown, as the performance of the cultivars is seen to change in protected environments, in this case a hydroponic system, and under field conditions (GUALBERTO *et al.*, 2009; BLAT *et al.*, 2011; ROSA *et al.*, 2014).

In evaluating the adaptability of cultivars of the crisp group submitted to a hydroponic system, Gualberto *et al.* (2009) found that only the ‘Veronica’ and ‘Deyse’ cultivars were able to adapt to the system; in addition, they found that the cultivars of this group present variations in their behaviour in relation to changes in the type of cultivation and the environment.

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa pertencente à família Asteraceae, que possui boas propriedades organolépticas (brilho, aroma, textura e sabor) e nutricionais, sendo fonte de fibras, minerais, vitaminas e lipídeos (USDA, 2018). Devido a essas propriedades e forma de consumo e comercialização *in natura*, a alface se tornou a hortaliça folhosa mais consumida no mundo (SALA; COSTA, 2012). Em 2012, o volume de alface comercializado nas 23 principais Centrais de Abastecimento (CEASA) brasileiras foi de 79 mil toneladas (CARVALHO, 2013).

A cultura da alface é explorada em todo território nacional, tanto em solo como em sistema hidropônico. Neste último, é considerada a hortaliça mais explorada no país, sendo inclusive a que apresenta a maior preferência por parte dos produtores para essa forma de cultivo (COMETTI *et al.*, 2016). Quando produzida em sistema hidropônico, a alface apresenta maior produtividade devido, principalmente, ao maior número de ciclos na mesma área, precocidade e qualidade se comparada ao sistema de cultivo em solo (BARBOSA *et al.*, 2015).

As principais vantagens da produção no sistema hidropônico são: melhor aspecto visual do produto final, ciclo de produção menor, ausência de doenças do solo, redução dos riscos climáticos, menor consumo de água e nutrientes, maior produtividade e maior tempo de prateleira (KHAN *et al.*, 2018; SAMBO *et al.*, 2019). Dessa forma, esse sistema proporciona maior praticidade e rentabilidade aos produtores na ocasião de colheita (MARTINEZ, 2016).

A produção e a qualidade da alface em regiões tropicais e subtropicais, como as que ocorrem no Semiárido brasileiro (ALVARES *et al.*, 2013), são baixas quando se compara às regiões de clima temperado. Isso se deve às elevadas temperaturas que interferem na duração do ciclo e na produção da cultura, devido ao pendoamento precoce e a um distúrbio fisiológico “tip burn”, que é uma queimadura na borda das folhas ocasionada em geral pela deficiência de cálcio. Dessa forma, produção e qualidade da alface são reduzidas (DIAMANTE *et al.*, 2013).

Os efeitos da temperatura, tanto no pendoamento precoce como no surgimento do distúrbio fisiológico, como o “tip burn”, podem ser intensificados ainda mais quando não se conhece o comportamento das cultivares nos diferentes sistemas de cultivo, pois têm-se observado diferentes desempenhos desses materiais em condições de ambiente protegido, nesse caso, no sistema hidropônico, como também em condições de campo (GUALBERTO *et al.*, 2009; BLAT *et al.*, 2011; ROSA *et al.*, 2014).

Ao avaliarem a adaptabilidade de cultivares do grupo crespa submetidas ao sistema hidropônico de cultivo, Gualberto *et al.* (2009) verificaram que apenas as cultivares ‘Verônica’ e ‘Deyse’ apresentaram adaptabilidade ao sistema, além disso, observaram que as cultivares desse grupo apresentam variações quanto ao seu comportamento frente às mudanças de cultivo e ambientais.

It is therefore important to test different cultivars to select the one that best adapts to these conditions. It should be noted that the choice of cultivar to be used in any type of system considers such factors as the variety that has greater acceptability in the local market, productivity, adaptability to the climate and growing conditions, quality, cycle, and resistance to pests, diseases and bolting; together, these factors interfere with the viability of the enterprise (COMETTI *et al.*, 2019). As such, the aim of this work was to evaluate the productive and physiological performance of lettuce cultivars under a hydroponic system set up in Caucaia, Ceará.

MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted on a farm in Caucaia, in the state of Ceará (3°43'40" S and 38°42'39.5" W), from April to June of 2016. The area is on the banks of the Cruzeiro do Sul highway, in the town of Genipabu. According to Alvares *et al.* (2013), the local climate is of type 'As' (rainy tropical), with a mean annual maximum temperature of 29 °C, a minimum of 22 °C, and precipitation of 1,326 mm. During the experiment, a mean minimum and maximum temperature of 25 and 33 °C, and a mean minimum and maximum relative humidity of 45 and 88%, were recorded inside the shelter by means of a thermo-hygrometer.

The experiment was carried out under 50% shading in a protected environment with a ceiling height of 2.45 m. A completely randomised design was used, with four treatments, the lettuce cultivars Isabela, Vanda, Elba and Summer Crisp, and four replications. Each experimental unit consisted of a PVC channel containing 13 lettuce plants, through which circulated a complete macro- and micronutrients solution.

The NFT (laminar nutrient flow technique) hydroponic cultivation system was adopted. The Furlani nutrient solution for leafy vegetables (FURLANI *et al.*, 1998) was used, the composition of which is shown in Table 1.

The seeds of each cultivar were sown in 2 x 2 cm phenolic foam with 345 cells. Five days after sowing (DAS), the seedlings were transferred to the nursery where they remained for 19 days, by which time they presented 4 definitive leaves (MARTINEZ, 2016). The plants were then transplanted to the production benches, where they remained for 20 days until harvested. The spacing adopted was 0.25 x 0.25 m between both the cultivation channels and the plants.

Dessa forma, é importante testar diferentes cultivares para selecionar a que melhor se adapta a essas condições. Vale ressaltar que a escolha da cultivar para atuar em qualquer tipo de sistema considera fatores como variedade com maior aceitabilidade no mercado local, produtividade, adaptabilidade às condições climáticas e às de cultivo, qualidade, ciclo, resistência a pragas e doenças e ao pendoamento. Juntos, esses fatores interferem na viabilidade do empreendimento (COMETTI *et al.*, 2019). Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho produtivo e fisiológico de cultivares de alface em sistema hidropônico instalado no município de Caucaia-CE.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma fazenda agrícola no município de Caucaia, estado do Ceará (3° 43' 40" Sul e 38° 42' 39,5" Oeste), entre os meses de abril e junho de 2016. A área utilizada fica às margens da rodovia Cruzeiro do Sul, na localidade do Genipabu. O clima local, segundo Alvares *et al.* (2013), é do tipo 'As' (Tropical chuvoso), com temperatura média máxima anual de 29 °C, mínima de 22 °C e precipitação de 1.326 mm. Durante a condução do experimento, foram registradas no interior do abrigo, por meio de termo higrômetro, as médias de temperaturas mínimas e máximas de 25 e 33 °C e umidade relativa do ar mínima e máxima de 45 e 88%, respectivamente.

O experimento foi conduzido em ambiente protegido com tela do tipo sombrite a 50% com pé direito de 2,45 m. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e mesmo número de tratamentos, sendo: cultivar de alface Isabela, Vanda, Elba e Crespa para Verão. A unidade experimental consistiu em canaleta de PVC com 13 pés de alface, por onde circulava solução completa de macro e micronutrientes.

O sistema de cultivo adotado foi o hidropônico do tipo NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes). A solução nutritiva utilizada foi a de Furlani *et al.* (1998) para hortaliças folhosas, cuja composição está apresentada na Tabela 1.

As sementes de cada cultivar foram semeadas em espuma fenólica com 345 células nas dimensões de 2 x 2 cm. Aos 5 dias após a semeadura (DAS), as plântulas foram transferidas para o berçário onde permaneceram por 19 dias, época em que já apresentavam 4 folhas definitivas (MARTINEZ, 2016). Após esse período, as plantas foram transplantadas para as bancadas de produção, onde permaneceram por 20 dias até serem colhidas. O espaçamento adotado foi de 0,25 x 0,25 m entre os canais de cultivo e entre plantas, respectivamente.

Table 1 - Chemical analysis of the water and chemical composition of the nutrient solution**Tabela 1** - Análise química da água e composição química da solução nutritiva

SAR	EC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ³⁻	DS	pH	
	dS m ⁻¹			mmol _c L ⁻¹				mg L ⁻¹		
0.99	0.32	0.7	1.1	1.3	0.2	2.6	0.7	6.1	6.1	
*Fertiliser Salt				g 1000 L ⁻¹			g 500 L ⁻¹			
				Calcium nitrate			480.00			240.00
				Potassium nitrate (NKS)			480.00			240.00
				Monoammonium phosphate (MAP)			150.00			75.00
				Magnesium sulphate			420.00			210.00
				Copper sulphate			0.15			0.08
				Zinc sulphate			0.50			0.25
				Manganese sulphate			1.50			0.75
				Sodium molybdate			0.15			0.08
				Boric acid			1.50			0.75
				Ferrilene			30.00			15.00

SAR - sodium adsorption ratio, EC - electrical conductivity, Ca²⁺ - calcium, Mg²⁺ - Magnesium, Na⁺ - sodium, K⁺ - potassium, Cl⁻ - chlorine, HCO³⁻ - bicarbonate, DS - dissolved solids, pH - hydrogen potential, Classification: C2S1 - medium salinity water with a low sodium concentration. *Furlani Nutrient Solution (1998). Source: Water and Soil Laboratory, FUNCEME.

RAS - razão de adsorção de sódio, CE - condutividade elétrica, Ca²⁺ - cálcio, Mg²⁺ - Magnésio, Na⁺ - sódio, K⁺ - potássio, Cl⁻ - cloro, HCO³⁻ - Bicarbonato, SD - Sólidos dissolvidos, pH - potencial hidrogeniônico, Classificação: C2S1 - água com salinidade média e concentração baixa de sódio. *Solução nutritiva de Furlani (1998). Fonte: Laboratório de água e solo da FUNCEME.

The nutrient solution was monitored daily, every morning and evening, with the aid of a TDS3 portable digital conductivity meter, to maintain the ideal electrical conductivity (EC) at between 1.4 to 1.6 in the nursery and 1.8 mS cm⁻¹ on the production benches. The nutrients were renewed when the solution reached an EC of less than 1 mS cm⁻¹, and the solution was replenished daily by the addition of water. The pH of the solution was also monitored using a portable digital pH meter, care being taken to adjust to a range of 5.5 to 6.5.

At 42 DAS, on a clear day between 08:00 and 10:00 h, gas exchange was evaluated with the aid of the LI-6400XT Licor Infrared Gas Analyser (IRGA). The following were analysed: internal CO₂ concentration in the substomatic chamber (C_i, μmol CO₂ mol⁻¹), stomatal conductance (g_s, mol H₂O m⁻² s⁻¹), photosynthesis (A - μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), ratio between the CO₂ concentration in the substomatic chamber and the ambient CO₂ concentration (C_i/C_a), instantaneous carboxylation efficiency (A/C_i), and transpiration (E - mol H₂O m⁻² s⁻¹).

O monitoramento da solução nutritiva foi realizado diariamente, sempre pela manhã e ao final da tarde, com o auxílio de um condutivímetro portátil digital da marca TDS3, sendo mantida a condutividade elétrica (CE) ideal entre 1,4 a 1,6 no berçário e 1,8 mS cm⁻¹ nas bancadas de produção. A renovação dos nutrientes se deu quando a solução atingiu CE abaixo de 1 mS cm⁻¹, e a reposição do volume da solução foi realizada pela adição de água diariamente. Além da CE, também foi monitorado o pH da solução com um peagâmetro portátil digital, tomando-se o cuidado de ajustar ao intervalo de 5,5 a 6,5.

Aos 42 DAS, entre 08:00 e 10:00 h, em um dia de céu limpo, foram realizadas as avaliações de trocas gasosas com o auxílio do analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo LI-6400XT da Licor. Foram analisadas a concentração interna de CO₂ na câmara subestomática (C_i, μmol CO₂ mol⁻¹), condutância estomática (g_s, mol H₂O m⁻² s⁻¹), fotossíntese (A - μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), razão entre concentração de CO₂ na câmara subestomática e concentração de CO₂ do ambiente (C_i/C_a), eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) e transpiração (E - mol H₂O m⁻² s⁻¹).

At 44 DAS, the plants were harvested and taken to the laboratory, where the following were measured: 1) plant height (PH, cm) – the distance from the base of the stem to the insertion point of the last developing leaf; 2) plant diameter (PD, cm) – the greatest distance between each end of the plant; 3) commercial fresh weight (CFW, g plant⁻¹) – the fresh weight of the plant after removal of any non-commercial parts; 4) non-commercial fresh weight (NCFW, g plant⁻¹) – the weight of any shoots presenting damage or markings that make the shoots unmarketable; 5) total fresh weight (TFW, g plant⁻¹) – the sum of the commercial and non-commercial fresh weight of the plant; 6) age at bolting (AB, days) – the number of days from sowing until showing signs of bolting, i.e. the start of stem elongation; and 7) dry matter.

The non-commercial fresh weight (NCFW) consisted of yellowish or unpigmented leaves, dead leaves, torn leaves or those attacked by pests and disease, and leaves with necrotic markings.

To determine the PH and PD, a tape measure marked in centimetres and a calliper were used respectively. To determine the fresh weight, a semi-analytical balance was used. To obtain the dry weight, the plants were dried in a forced air circulation oven at 65 °C to constant weight, and the values determined on a precision balance to four decimal places.

The data were submitted to analysis of variance (F-test), and the mean values compared by Scott-Knott test. The Sisvar v5.6 statistical software (FERREIRA, 2011) was used to analyse the data. Pearson correlation analysis was also carried out between the TDW and the variables *A* and *A/Ci*, by means of the Excel 2013 software.

RESULTS AND DISCUSSION

The cultivars differed ($p \leq 0.05$) in plant height, and commercial and total fresh and dry weight, except for the diameter and non-commercial fresh weight, which had a respective mean value of 23.82 cm and 6.14 g (Table 2).

The ‘Elba’ and ‘Summer Crisp’ cultivars presented the greatest mean height (PH). However, ‘Isabela’ and ‘Vanda’ were the most noteworthy as they had the smallest mean PH. In lettuce, plant height is considered an important parameter for checking resistance to bolting (LUZ *et al.*, 2009). As such, smaller plants are more advantageous in this respect. Under the conditions of high temperatures and long days (over 10 h of light, a typical case in the northeast of Brazil throughout the year), the plant tends to grow in height, increasing the length of the stem, and consequently reducing its ability to invest in the production and growth of leaves, thereby reducing productivity.

Aos 44 DAS, as plantas foram colhidas e levadas ao laboratório para a medição de: 1) altura da planta (AP, cm) - distância da base do caule até o ponto de inserção da última folha em desenvolvimento; 2) diâmetro da planta (DP, cm) - maior distância entre as extremidades da planta; 3) massa fresca comercializável (MFC, g planta⁻¹) - massa fresca da planta após a retirada da parte não comercializável; 4) massa fresca não comercializável (MFNC, g planta⁻¹) - massa de toda parte aérea da planta que apresentava algum tipo de injúria ou mancha, e que a tornava não comercializável; 5) massa fresca total (MFT, g planta⁻¹) - somatório da massa fresca comercial e não comercial da planta; 6) idade de pendoamento (IP, dias) - quantidade de dias da semeadura até as plantas começarem a apresentar indícios de pendoamento, o que consistiu no início de alongamento do caule e 7) matéria seca.

A massa fresca não comercializável (MFNC) consistiu de folhas amareladas ou despigmentadas, folhas mortas, folhas rasgadas ou atacadas por pragas e doenças e folhas com manchas necróticas.

Para determinação de AP e DP, foram utilizadas fita métrica graduada em centímetros e paquímetro, respectivamente. Já para determinação da massa fresca, utilizou-se balança semi-analítica. Para a obtenção da massa seca, as plantas foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até obtenção de massa constante, sendo em seguida determinados seus valores em balança de precisão de quatro casas decimais.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (teste F), sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott. Empregou-se para análise dos dados o programa estatístico *Sisvar* versão 5.6 (FERREIRA, 2011). Também foi realizada uma análise de correlação de Pearson entre a MST com as variáveis *A* e *A/Ci*, através do Excel versão 2013.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cultivares diferiram entre si ($p \leq 0,05$) quanto às características altura de planta, massa fresca e seca comercializável e total, exceto para o diâmetro e a massa fresca não comercial, que tiveram, respectivamente, média de 23,82 cm e 6,14 g (Tabela 2).

As cultivares ‘Elba’ e ‘Crespa para Verão’ foram as que apresentaram as maiores médias de altura (AP). No entanto, as ‘Isabela’ e ‘Vanda’ foram as que mereceram destaque já que tiveram as menores médias de AP. Em alface, a altura da planta é considerada um parâmetro importante para se verificar a resistência ao pendoamento (LUZ *et al.*, 2009). Assim, plantas que apresentam menor altura são mais vantajosas nesse quesito. Em condições de temperaturas elevadas e dias longos (acima de 10 h de luz, caso típico do Nordeste brasileiro ao longo de todo o ano), a planta tende a crescer em altura, alongando o caule, o que, consequentemente, reduz sua capacidade em investir na produção e crescimento de folhas, reduzindo sua produção.

Table 2 – Mean values for plant height (PH), plant diameter (PD), age at bolting (AB), commercial fresh weight (CFW), non-commercial fresh weight (NCFW), total fresh weight (TFW) and total dry weight (TDW) in four lettuce cultivars under a hydroponic system

Tabela 2 - Médias de altura da planta (AP), diâmetro da planta (DP), idade de pendoamento (IP), massa fresca comercializável (MFC) e não comercializável (MFNC), massa fresca total (MFT) e massa seca total (MST) de quatro cultivares de alface em sistema hidropônico

Cultivar	PH	PD	AB	CFW	NCFW	TFW	TDW
	cm	mm	days	g per plant			
Isabela	17.13 b	23.22	¹ NB	43.50 a	5.88	49.38 a	1.96 a
Vanda	19.62 b	25.12	40	41.13 a	5.33	46.46 a	1.69 a
Elba	23.21 a	22.90	32	38.66 a	6.51	45.17 a	1.88 a
Summer Crisp	21.85 a	24.02	36	31.80 b	6.85	38.65 b	1.28 b
Mean	-	23.82	-	-	6.14	-	-
F-test	4.58*	1.45^{ns}	-	15.13*	0.66^{ns}	9.25*	12.27*
² CV (%)	12.15	6.88	-	6.65	27.03	6.63	10.21

Mean values followed by different letters in a column differ by Scott-Knott test at a significance level of 5%. ¹NB - showed no evidence of bolting at harvest (44 days after sowing). ²CV - Coefficient of variation, * - significant at 5% by F-test.

Médias seguidas por letras diferentes nas colunas evidenciam diferenças entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ¹NP – não apresentou indícios de pendoamento na colheita (44 dias após a semeadura). ²CV – Coeficiente de variação, * - significativo a 5% pelo teste F.

Furthermore, under prolonged exposure to this type of environment, the plant is stimulated to bolt and flower, and when this happens, it becomes unfit for consumption, as the accumulation of latex turns the leaves bitter (SOUZA *et al.*, 2008). This was seen in ‘Elba’ and ‘Summer Crisp’, which were the first cultivars to show signs of bolting (32 and 36 DAS) and greater height (23.21 and 21.85 cm respectively), as well as the lowest mean value for commercial fresh weight (CFW) and total fresh weight (TFW). Whereas, ‘Vanda’, which only presented signs of bolting after 40 DAS, and ‘Isabela’, which had presented no signs of bolting by 44 DAS when it was harvested, both had the shortest height and, consequently, the greatest accumulation of CFW and TFW.

The different responses shown by the cultivars in this study demonstrates the importance of conducting this type of research in regions that are still poorly studied and exploited for the cultivation of lettuce. This is because, despite the small genetic difference between the cultivars under study, the different phenotypes among the cultivars were still expressed (BLAT *et al.*, 2011), and made it possible to identify at least one cultivar with the potential for production under the climate conditions found in the study region.

Similar results to those obtained in this study were seen by Lemos Neto *et al.* (2017), who, working with cultivars of crispy lettuce in Fortaleza, Ceará, found different ages for bolting and flowering among the cultivars being studied, even though they had all been subjected to the same conditions of climate and cultivation. According to the authors, this fact expresses the resistance or lack of resistance of each genotype to early bolting, which, among other production factors, directly affects plant height.

Além disso, em condições de exposição prolongada a este tipo de ambiente, a planta é estimulada a pendoar e florescer, e quando isso ocorre, ela se torna imprópria para o consumo, pois o acúmulo de látex deixa as folhas amargas (SOUZA *et al.*, 2008). Tais fatos foram observados para ‘Elba’ e ‘Crespa para Verão’, sendo as primeiras a apresentarem indícios de pendoamento (32 e 36 DAS), maiores alturas (23,21 e 21,85 cm, respectivamente), bem como as menores médias de massa fresca comercial (MFC) e total (MFT). Já a ‘Vanda’, que apresentou índice de pendoamento (IP) somente a partir de 40 DAS, e a ‘Isabela’, que não apresentou IP até os 44 DAS, data em que foi colhida, foram as que apresentaram menor altura e, consequentemente, maior acúmulo de MFC e MFT.

A resposta diferenciada apresentada pelas cultivares neste trabalho mostra a importância de se conduzir esse tipo de pesquisa em regiões ainda pouco estudadas e exploradas para o cultivo da alface. Isso porque, apesar da pequena diferença genética existente entre as cultivares estudadas, ocorreu a expressão de fenótipos diferentes entre as cultivares (BLAT *et al.*, 2011), inclusive possibilitando a indicação de pelo menos uma com potencial produtivo para as condições climáticas observadas na região deste estudo.

Resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho foram observados por Lemos Neto *et al.* (2017), que ao trabalhar com cultivares de alface do tipo Crespa em Fortaleza-CE verificaram idades de pendoamento e florescimento diferentes entre as cultivares estudadas, ainda que tivessem sido submetidas às mesmas condições climáticas de cultivo. Segundo os autores, tal fato expressa a capacidade de cada genótipo à resistência ou não ao pendoamento precoce, o que influencia diretamente na altura das plantas, dentre outros fatores de produção.

While working with cultivars of crispy lettuce in a protected environment in the region of Iranduba in Amazonas, Kano *et al.* (2012) found similar results for mean plant height to those obtained in this study for the ‘Isabela’ (17.70 cm) and ‘Vanda’ (19.20 cm) cultivars. This similarity between results is possibly related to both regions having a similar mean temperature and photoperiod, which are able to stimulate early bolting in lettuce (SOUZA *et al.*, 2008). Luz *et al.* (2009) found that ‘Isabela’, grown in the region of Cáceres in Mato Grosso, also had the shortest stem length, which seems to confirm its greater tolerance to bolting when produced under high temperatures and protected conditions.

‘Summer Crisp’ had the lowest mean values for CFW, TFW and TDW, with the other cultivars being superior but not differing from each other. Similar results were obtained by Kano *et al.* (2012), who worked with crispy lettuce during the summer in Iranduba, Amazonas. The authors found that ‘Isabela’ also stood out for its production of commercial fresh weight and total fresh and dry weight. Santos *et al.* (2009) also evaluated several cultivars of crispy lettuce and found a greater weight for ‘Isabela’ and ‘Vanda’ produced during the summer in Cáceres, Mato Grosso.

In relation to gas exchange, differences were seen for photosynthesis (A), instantaneous carboxylation efficiency (A/C_i), stomatal conductance (g_s) and transpiration (E) (Table 3). The ‘Isabela’ and Summer Crisp’ cultivars presented the highest mean values for A and A/C_i ; while ‘Elba’ and ‘Summer Crisp’ presented greater mean values for g_s and E .

The ‘Isabela’ and ‘Summer Crisp’ cultivars presented the highest mean values for photosynthesis and instantaneous carboxylation efficiency, which indicates some similarity between these cultivars in physiological behaviour under the climate conditions in question. However, it also serves to emphasise the genetic and, consequently, phenotypic difference between both cultivars, as ‘Isabela’ was shown to have greater productive efficiency than did ‘Summer Crisp’ which, despite presenting high mean values for the factors in question, also appears to lose these carbohydrates at a greater rate through respiration, since the mean weight achieved by plants of this cultivar was always lower than that of the other cultivars studied in the research, including those with lower values for A and A/C_i , as is the case with ‘Vanda’ and ‘Elba’.

The ‘Elba’ and ‘Summer Crisp’ cultivars presented the greatest mean values for stomatal conductance (g_s) and transpiration E . These results are complementary and indicate greater opening of the stomatal pore by these cultivars. This observation is important when the aim is to evaluate or select cultivars based on water use efficiency, i.e. identify cultivars that succeed in producing more weight using a smaller volume of this input.

For a better interpretation of the results obtained in this work, an analysis was carried out of the correlation between total dry weight and the variables photosynthesis and instantaneous carboxylation efficiency (Table 4).

Ao trabalharem com cultivares do tipo Crespa em ambiente protegido na região de Iranduba-AM, Kano *et al.* (2012) observaram resultados semelhantes aos obtidos neste estudo para as cultivares Isabela (17,70 cm) e Vanda (19,20 cm) quanto a altura média de plantas. Tal semelhança entre os resultados possivelmente tem relação com o fato de as duas regiões terem médias de temperaturas e de fotoperíodo semelhantes, capazes de estimular o pendoamento precoce da alface (SOUZA *et al.*, 2008). Luz *et al.* (2009) verificaram que a ‘Isabela’, cultivada na região de Cáceres-MT, também foi a que apresentou o menor comprimento do caule, o que parece confirmar sua maior tolerância ao pendoamento quando produzida sob temperatura elevada e em condições protegidas.

Para a MFC, MFT e MST, a ‘Crespa para Verão’ foi a que apresentou as menores médias, sendo que as demais cultivares foram superiores sem se diferir entre si. Resultados semelhantes foram obtidos por Kano *et al.* (2012), que trabalharam com alfaces do tipo crespa, no verão de Iranduba – AM. Os autores verificaram que a ‘Isabela’ também se destacou quanto a produção de massa fresca comercial e massa fresca e seca total. Também Santos *et al.* (2009) avaliaram diversas cultivares do tipo crespa e observaram maiores massas para ‘Isabela’ e ‘Vanda’, produzidas no verão de Cáceres-MT.

Em relação às trocas gasosas, foi observada diferença para a fotossíntese (A), eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) (Tabela 3). As cultivares ‘Isabela’ e ‘Crespa para Verão’ foram as que apresentaram as maiores médias de A e A/C_i . Já para a g_s e E , as cultivares ‘Elba’ e ‘Crespa para Verão’ foram as que apresentaram médias superiores.

As cultivares ‘Isabela’ e ‘Crespa para Verão’ apresentaram as maiores médias de fotossíntese e eficiência instantânea de carboxilação, o que indica certa similaridade entre estas cultivares quanto ao comportamento fisiológico na condição climática em questão. No entanto, também servem para enfatizar a diferença genética e, conseqüentemente, fenotípica existente entre ambas as cultivares, já que a ‘Isabela’ mostrou ter eficiência produtiva superior à ‘Crespa para Verão’ que, apesar de ter apresentado médias elevadas para os fatores em questão, também parece perder taxas mais elevadas desses carboidratos por respiração, já que a média das massas obtidas por suas plantas foi sempre inferior a das demais cultivares estudadas na pesquisa, inclusive daquelas que apresentaram menor A e A/C_i , caso da ‘Vanda’ e da ‘Elba’.

Quanto à g_s estomática e E cultivares, ‘Elba’ e ‘Crespa para Verão’ foram as que apresentaram as maiores médias. Esses resultados são complementares e indicam maior abertura do poro estomático por essas cultivares. Tal observação é importante quando se objetiva avaliar ou selecionar cultivares com base na eficiência de uso da água, ou seja, indicar aquelas que conseguem produzir mais massa utilizando menor volume deste insumo.

Para uma melhor interpretação dos resultados obtidos neste trabalho, foi realizada uma análise de correlação entre a massa seca total com as variáveis fotossíntese e eficiência instantânea de carboxilação (Tabela 4).

Table 3 – Mean values for photosynthesis (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), internal CO_2 concentration (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$), ratio between the internal CO_2 concentration in the substomatic chamber and the ambient CO_2 concentration (C_i/C_a), instantaneous carboxylation efficiency (A/C_i), stomatal conductance (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), and transpiration (E , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in four lettuce cultivars under a hydroponic system

Tabela 3 - Médias de fotossíntese (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$), razão entre a concentração interna de CO_2 na câmara subestomática e concentração de CO_2 do ambiente (C_i/C_a), eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e transpiração (E , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de quatro cultivares de alface em sistema hidropônico

Cultivar	A	C_i	C_i/C_a	A/C_i	g_s	E
Isabela	9.88 a	333.82	0.853	0.0297 a	0.309 b	0.0069 a
Vanda	8.43 b	341.32	0.869	0.0247 b	0.303 b	0.0061 b
Elba	9.24 b	340.80	0.870	0.0271 b	0.387 a	0.0075 a
Summer Crisp	10.35 a	340.26	0.867	0.0304 a	0.443 a	0.0072 a
Mean	-	339.06	0.87	-	-	-
F-test	5.22*	0.23 ^{ns}	0.19 ^{ns}	3.82*	4.42*	6.27*
¹ CV (%)	7.69	4.32	4.37	9.53	17.69	6.61

Mean values followed by different letters in a column differ by Scott-Knott test at a significance level of 5%. ¹CV - Coefficient of variation, * - significant at 5% by F-test.

Médias seguidas por letras diferentes nas colunas evidenciam diferenças entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância. ¹CV – coeficiente de variação; * - significativo a 5% pelo teste F.

Table 4 - Pearson correlation between total dry weight (TDW), photosynthesis (A) and instantaneous carboxylation efficiency (A/C_i)

Tabela 4 - Correlação de Pearson entre a massa seca total (MST), a fotossíntese (A) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i)

Isabela	TDW
A	0.467**
A/C_i	0.765**
Vanda	TDW
A	0.982**
A/C_i	0.879**
Elba	TDW
A	-0.572 ^{ns}
A/C_i	-0.594**
Summer Crisp	TDW
A	-0.057*
A/C_i	0.613**

* - Significant at 5%; ** - Significant at 1% by Student's t-test.

* - Significativo a 5%; ** - Significativo a 1% pelo teste t-Student.

For the 'Isabela' and 'Vanda' cultivars, a positive correlation was found between A and A/C_i with TDW, i.e. as the photosynthesis and instantaneous carboxylation efficiency increased, the TDW also increased. These results are important, since they show that in addition to these cultivars having a greater photosynthetic capacity, which may be related to endogenous or morphological factors of the plants, such as a larger leaf area for example, they are also efficient in converting CO_2 into carbohydrates, which reflects in a greater capacity for production.

CONCLUSION

The 'Isabela' cultivar had the best productive and physiological performance and was the only cultivar that showed no signs of bolting at harvest; it was therefore, the most suitable for production at high temperature and luminosity under hydroponic cultivation.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for granting scholarships to the second author (Proc. 306062/2016-0) and the third author (Proc.154458/2018-0).

Para as cultivares 'Isabela' e 'Vanda', verificou-se correlação positiva entre A e A/C_i com MST, ou seja, à medida que houve incremento da fotossíntese e da eficiência instantânea de carboxilação, também foi observado aumento da MST. Tais resultados são importantes, pois indicam que além dessas cultivares apresentarem maior capacidade fotossintética, o que pode estar relacionado a fatores endógenos ou morfológicos das plantas, como, por exemplo, maior área foliar, elas também são eficientes na conversão de CO_2 em carboidratos, o que reflete em uma maior capacidade de produção.

CONCLUSÃO

A cultivar 'Isabela' apresentou o melhor desempenho produtivo e fisiológico, além de ter sido a única que não apresentou indícios de pendoamento na colheita, sendo, portanto, a mais indicada para ser produzida sob elevada temperatura e luminosidade em cultivo hidropônico.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas ao segundo autor (Proc. 306062/2016-0) e ao terceiro autor (Proc.154458/2018-0).

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

BLAT, S. F.; SANCHEZ, S. V.; ARAÚJO, J. A. C.; BOLONHEZI, D. Desempenho de cultivares de alface crespa em dois ambientes de cultivo em sistema hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 135-138, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362011000100024>

BARBOSA, G. L.; GADELHA, F. D. A.; KUBLIK, N.; PROCTOR, A.; REICHEL, L.; WEISSINGER, E.; WOHLLEB, G. M.; HALDEN, R. U. Comparison of land, water and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, n. 6, p. 6879-6891, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph120606879>

CARVALHO, C. Anuário brasileiro de hortaliças. Editora Gazeta Santa Cruz, Santa Cruz do Sul, 2013. 88 p.

COMETTI, N. N.; GALON, K.; BREMENKAP, D. M. Comportamento de quatro cultivares de alface em cultivo hidropônico em ambiente tropical. **Revista Eixo**, v. 8, n. 1, p. 114-122, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.19123/eixo.v8i1.563>

DIAMANTE, M. S.; SEABRA JUNIOR, S.; INAGAKI, A. M.; SILVA, M. B.; DALLACORT, R. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 133-140, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

- FURLANI, P. R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia - NFT. Campinas: Instituto Agrônomo, 1998. 30p.
- GUALBERTO, R.; OLIVEIRA, P. S. R.; GUIMARÃES, A. M. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de alface do grupo crespa em cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 7-11, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362009000100002>
- KANO, C.; CHAVES, F. C. M.; BERNI, R. F.; GONÇALVES, N. R.; SUINAGA F. A. Avaliação de cultivares de alface crespa sob cultivo protegido no município de Iranduba/AM. **Horticultura Brasileira**, v. 2, n. 30, p. 390-394, 2012.
- LEMONS NETO, H. S.; GUIMARÃES, M. A.; TELLO, J. P. J.; MESQUITA, R. O.; DOVALLE, J. C.; LIMA NETO, B. P. Productive and physiological performance of lettuce cultivars at different planting densities in the Brazilian Semi-arid region. **African Journal of Agricultural**, v. 12, n. 10, p. 771-779, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11961>
- LUZ, A. O.; SEABRA JÚNIOR, S.; SOUZA, S. B. S.; NASCIMENTO, A. S. Resistência ao pendoamento de genótipos de alface em ambientes de cultivo. **Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 71-82, 2009.
- MARTINEZ, H. E. P. **Manual prático de hidroponia**. 3 ed. Editora UFV, 2016. 286p.
- SALA, F. C., COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>
- SANTOS, C. L.; SEABRA, J. R. S.; GADUM, D. E.; LALLA, J.; THEODORO, V. C. A.; NESPOLI, A. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas em Cáceres-MT. **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 87-98, 2009.
- SAMBO, P.; NICOLETTO, C.; GIRO, A.; PII, Y.; VALENTINUZZI, F.; MIMMO, T.; LUGLI, P.; ORZES, G.; MAZETTO, F.; ASTOLFI, S.; TERZANO, R.; CESCO, S. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>
- SOUZA, M. C. M.; RESENDE, L. V.; MENEZES, D.; LOGES, V.; SOUTE, T. A.; SANTOS, V. F. Variabilidade genética para características agronômicas em progênies de alface tolerantes ao calor. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 354- 358, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362008000300012>
- ROSA, A. M; SEÓ, H. L. S.; VOLPATO, M. B.; FOZ, N. V.; SILVA, T. C.; OLIVEIRA, J. L. B.; PESCADOR, R.; OGLIARI, J. B. Production and photosynthetic activity of mimosa verde and mimosa roxa lettuce in two farming systems. **Revista Ceres**, v. 61, n. 4, p. 494-501, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461040007>
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. *National agricultural library*. National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release April, 2018. Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. Acesso em: 10 jun. 2018.
- KHAN, F. A.; KURKLU, A.; GHAFOR, A.; ALI, Q.; UMAIR, M.; SHAHZAIB. A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. **International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences**. v. 2, n. 2, p. 59-66. 2018.