



RENDIMENTO E ACÚMULO DE NITRATO EM ALFACE HIDROPÔNICA SOB PROPORÇÕES DE NITRATO E AMÔNIO

YIELD AND NITRATE ACCUMULATION IN LETTUCE HYDROPONIC IN DIFFERENT NITRATE AND AMMONIUM RATIOS

Silvana Ohse^{1*}
Durval Dourado-Neto²
Paulo Augusto Manfron³
Rosana Fernandes Otto¹
Amanda Regina Godoy¹

Artigo
Completo

¹Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)- Campus Uvaranas - Ponta Grossa/PR. E-mail: sohse@uepg.br.

²Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Piracicaba-SP.

³Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria-RS.

RESUMO

O alto teor de nitrato em hortaliças é considerado um risco à saúde humana, principalmente naquelas cujo consumo é feito *in natura*, como é o caso da alface. Objetivando reduzir o teor de nitrato nas folhas de alface hidropônica através da adição de nitrogênio na forma de amônio na solução nutritiva, desenvolveu-se um experimento em casa-de-vegetação, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS), durante o período de 13 de novembro a 30 de dezembro. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições, constando as parcelas de quatro proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ na solução nutritiva (100:0-testemunha; 90:10; 80:20 e 70:30) e as subparcelas de três cultivares de alface (Regina, Mimosa e Verônica). Não houve interação entre cultivares e proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ para nenhuma das variáveis avaliadas. A cultivar Regina apresentou maior número de folhas por planta e maior acúmulo de nitrato. A proporção 90:10 de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ proporcionou maior produção de massa fresca, maior número de folhas, reduzindo cerca de 20% o acúmulo de nitrato em relação ao obtido com a proporção 100:0. A proporção 80:20 manteve alto o rendimento e reduziu em 27% o acúmulo de nitrato, todavia a proporção 70:30 reduziu cerca de 36% o rendimento. Portanto, concentrações de amônio acima de 20% do nitrogênio total na solução nutritiva reduzem o rendimento e prejudicam a qualidade visual da alface e a utilização de 10% de amônio, além de elevar o rendimento, reduz significativamente o teor de nitrato.

Palavra-chave: Adubação Nitrogenada; Hidroponia; *Lactuca sativa* L.; NFT.

ABSTRACT

The high nitrate content in vegetables is considered a risk to the human health, mainly in those whose consumption is *in natura*, as in lettuce. With the objective of minimizing the nitrate content in hydroponic lettuce, a green-house experiment was carried out at the Crop Production Department, Federal University of Santa Maria (UFSM/RS), Brazil, from November 13th to December 30th. The experimental design was completely randomized in a split-plot with four replications, with the plots of four proportions of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$

in the nutrient solution (100:0-control, 90:10, 80:20 and 70:30) and subplots of three lettuce cultivars (Regina, Mimosa and Verônica). There was no interaction between lettuce cultivars and proportions of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ for any of the variables evaluated. The cultivar Regina presented the largest number of leaves per plant and higher nitrate accumulation. The ratio 90:10 of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ provided higher yield of fresh mass, more leaves, reducing about 20% of the nitrate accumulation in relation to that obtained from the proportion 100:0. The proportion 80:20 maintained the yield high and reduced about 27% of the nitrate accumulation, however the proportion 70:30 reduced about 36% of the yield. Therefore, ammonium concentrations above 20% of the total nitrogen in the nutrient solution reduce the yield and harm the visual quality of lettuce plants and the use of 10% of ammonium increase the yield and reduces significantly the nitrate content.

Key Words: Nitrogen fertilization; Hydroponic; *Lactuca sativa* L.; NFT.

INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente que promove maior aumento no rendimento da maioria das culturas, inclusive da alface, sendo, por essa razão, utilizado em grandes quantidades. O N participa de muitas funções importantes nos vegetais, tais como aminoácidos, proteínas, enzimas, clorofila, nucleotídeos, dinucleotídeos, ácidos nucleicos, sendo absorvido na forma de íon nitrato (NO_3^-) ou de íon amônio (NH_4^+) (TAIZ et al., 2017).

No sistema hidropônico, o nitrogênio é fornecido, basicamente, na forma nítrica, podendo levar a planta a acumular NO_3^- e nitrito (NO_2^-) em níveis muito altos, o que pode causar problemas em seres humanos, tais como a metahemoglobinemia (MAYNARD et al., 1976; CHANG; YAN; RISKOWSKI, 2013). Além disso, no estômago humano o NO_2^- sofre ação de enzimas, reagindo com aminas e amidas formando nitrosaminas e nitrosamidas, compostos comprovadamente carcinogênicos (ADDISCOTT; BENJAMIN, 2004). A capacidade de acúmulo de NO_3^- pelas plantas é de caráter genético, porém pode ser grandemente influenciada por outros fatores, tais como disponibilidade do íon, disponibilidade de molibdênio (Mo), intensidade luminosa, temperatura, umidade relativa do ar, época de cultivo, sistema de cultivo e hora de colheita (MAYNARD et al., 1976; CRADDOCK, 1983).

Altos teores de nitrato podem ser acumulados quando se utiliza adubação nitrogenada excessiva, independente da fonte do adubo ser mineral ou orgânica (OHSE et al., 2002; FAQUIN, 2004). Nesse sentido, Castro e Ferraz (1998), quando utilizaram iodo de esgoto como fonte de nitrogênio, encontraram 1090 $\text{mg NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ de fitomassa fresca (FMF) e, com uso de uréia, o teor de NO_3^- baixou para 420 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de FMF.

O teor máximo de NO_3^- aceitável em vegetais tem sido padronizado por alguns países. A comunidade europeia estabeleceu, como limite máximo permitido para a alface produzida em casa de vegetação, teores de NO_3^- na fitomassa fresca de 3500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ para o período de verão (1 de abril a 30 de setembro), 4500 $\text{mg} \cdot \text{NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ para o período de inverno (1 de outubro a 31 de março) e 2500 $\text{mg NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ como o limite máximo permitido para alface produzida a campo aberto (MCCALL; WILLUMSEN, 1998; BOINK; SPEIJERS, 2001). Na Alemanha, o limite é de 2000 $\text{mg NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ de FMF e na Áustria é 1500 $\text{mg NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ de FMF (GÜNES et al., 1996). No entanto, o Brasil não possui legislação e valores limites para teor de nitrato em vegetais.

Em solução nutritiva, tem-se buscado reduzir o acúmulo de NO_3^- em alface pela diluição da solução nutritiva próxima à colheita, sem que isso prejudique o crescimento da cultura (BOON et al., 1990; TAIN et al., 2003). Todavia, a concentração de NO_3^- em folhas de vegetais pode ser parcialmente reduzida pela eliminação do N-

NO_3^- na solução nutritiva poucos dias antes da colheita (BOON et al., 1990). Outra opção capaz de minimizar o acúmulo de NO_3^- consiste em manter elevadas intensidades de radiação luminosa durante o ciclo da cultura. No entanto, essa prática é onerosa e de difícil aplicação comercial (ANDRIOLO, 1999). O suprimento eficiente de Mo às plantas é outra maneira de manter a assimilação normal do NO_3^- , visto que faz parte da enzima nitrato redutase, atuando na redução do NO_3^- e, com isso, na incorporação do N (ANDRIOLO, 1999; TAIN et al., 2017).

Além das alternativas citadas, parte do N fornecido na forma de nítrica (NO_3^-) pode ser substituída pela amoniacal (NH_4^+), podendo reduzir o acúmulo de NO_3^- nos vacúolos (TAIN et al., 2003; ANDRIOLO et al., 2006). O balanço adequado entre N- NO_3^- e N- NH_4^+ , além de reduzir o acúmulo de nitrato, também permite maior estabilidade do pH da solução nutritiva, o que é de grande importância em cultivos circulantes, com pequeno volume de solução por planta (ANDRIOLO et al., 2006). Altas proporções de NH_4^+ na solução nutritiva podem causar decréscimo na absorção de P, Ca, Mg e K (MALAVOLTA, 2006). Nesse sentido, Faquin et al. (1994) e Furlani (1998) recomendam a utilização de 15% a 20% de N na forma de NH_4^+ na solução nutritiva. Tain et al. (2003) demonstraram que 50% do N total na forma de NH_4^+ reduz significativamente o desenvolvimento do sistema radicular de alface, tornando as plantas suscetíveis a patógenos, contudo, Andriolo et al. (2006) comprovaram que a alface hidropônica responde melhor à proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ entre 9-12%.

Como existe controvérsia quanto à quantidade de NH_4^+ limite na solução nutritiva para o pleno desenvolvimento e crescimento da cultura da alface, realizou-se o presente trabalho, com o objetivo de avaliar o efeito de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ na solução nutritiva para a produção de cultivares de alface, determinando o teor de nitrato nas folhas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Núcleo de Pesquisa em Ecofisiologia e Hidroponia (NUPECH) do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na cidade de Santa Maria-RS, localizada a 95 m de altitude.

O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado, sob parcelas subdivididas, com quatro repetições. O fator principal constou de quatro proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (100:0; 90:10; 80:20 e 70:30%) aplicadas às parcelas e o fator secundário de três cultivares de alface (Regina, Mimosa e Verônica) aplicadas às subparcelas. A solução 100:0 foi a sugerida por Castellane e Araújo (1995), utilizada como testemunha, e as demais proporções tiveram a adição de outros sais (Tabela 1). Como fonte de ferro, utilizou-se o ferro quelatizado pelo EDTA, dissolvendo-se 24,1 g de sulfato de ferro em 400 mL de água e 25,1 g de NaEDTA em 400 mL de água aquecida (80°C), quando juntou-se as duas soluções frias, completando-se o volume para 1,0 litro e colocando-o para borbulhar ar durante 12 horas, completou-se o volume novamente, mantendo-o em geladeira em embalagem envolta com papel alumínio. Utilizando-se 1,0 mL L⁻¹ de solução.

TABELA 1. Quantidade (g·1000L-1) de sais componentes das soluções nutritivas contendo as diferentes proporções de NO₃⁻:NH₄⁺ testadas. Santa Maria, UFSM/RS.

Sais Componentes	Proporção NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺			
	100:0	90:10	80:20	70:30
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	950	950	950	950
KNO ₃	900	723	545	368
(NH ₄) ₂ SO ₄	-	110	220	330
KH ₂ PO ₄	272	272	272	272
KCl	-	123	246	368
MgSO ₄ ·7H ₂ O	246	246	246	246
MnSO ₄ ·H ₂ O	1,70	1,70	1,70	1,70
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	1,15	1,15	1,15	1,15
CuSO ₄ ·7H ₂ O	0,19	0,19	0,19	0,19
H ₃ BO ₃	2,85	2,85	2,85	2,85
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,12	0,12	0,12	0,12
Fe-EDTA*	1000mL	1000mL	1000mL	1000mL

* Como fonte de ferro, utilizou-se o ferro quelatizado pelo EDTA (Etileno diamino tetra-acetato de sódio).

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido de 288 células colocadas para flutuarem sobre lâmina de, aproximadamente, 5 cm de solução nutritiva (CASTELLANE; ARAÚJO, 1995) diluída a 25%, sistema chamado "piscina". As bandejas permaneceram na piscina até as mudas encontrarem-se com 4 a 5 folhas, então foram transferidas para o berçário, etapa esta de adaptação ao sistema hidropônico, objetivando desenvolver o sistema radicular, utilizando-se a solução Castellane e Araújo (1995), diluída a 50%. As mudas permaneceram por sete dias no berçário, sendo então transferidas para a bancada de produção, onde se desenvolveram até a colheita.

O leito hidropônico da bancada de produção constou de telhas de cimento-amianto pintadas com tinta neutrol (betuminosa), a fim de evitar contaminações, sustentadas por cavaletes de metalão com 0,8 m de altura. As bancadas de produção possuíam seis canais de 18,0 cm de largura e 5,0 cm de profundidade por onde circulava a solução nutritiva, possuindo 3,7 m de comprimento e 1,1 m de largura com a declividade de 1%, perfazendo a área de 4,07 m². O espaçamento foi de 18,0 cm entre fileiras e 30,0 cm entre plantas, perfazendo 73 plantas por bancada. Para a sustentação das plantas utilizou-

se o plástico dupla-face com a parte clara voltada para cima a fim de diminuir o aquecimento da solução.

As proporções NO₃⁻:NH₄⁺ foram preparadas e armazenadas em reservatórios, no volume de 400 L e as mudas das cultivares foram alocadas nos canais das bancadas. A circulação da solução foi controlada por temporizador, o qual manteve a circulação por 30 minutos a intervalos de 15 minutos durante o dia (das 6:0 as 18:0 horas) e, durante a noite, por 30 minutos a intervalos de 2 horas (das 18:0 as 6:0 horas), fornecendo o volume de 2,67 L de solução por planta.

O volume do reservatório foi completado, diariamente, com água de poço artesiano, para a marca de 400 L, sendo determinados o pH e a condutividade elétrica da solução. O pH foi mantido em 6,0 ± 0,2, utilizando-se para a sua redução o H₂SO₄ 1N e para sua elevação, NaOH 1N. A condutividade elétrica foi usada como base para reposição e/ou troca da solução nutritiva, o que não foi necessário nesse experimento, pois as plantas atingiram ponto de colheita em 21 dias, totalizando 47 dias de ciclo completo.

As plantas de alface foram colhidas no máximo desenvolvimento, porém antes de apresentarem sinais de pendoamento. Foram coletadas quatro plantas por subparcela

(amostragem) e nestas determinou-se a fitomassa fresca da planta inteira, da parte aérea e de raízes, após, determinou-se o número de folhas. As partes da planta foram colocadas em sacos de papel e levadas para a estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até atingir massa constante. Após a secagem, determinou-se a fitomassa seca da parte aérea, raízes e total, calculando-se também o teor de água. Posteriormente, a parte aérea foi moída e foi determinado o teor de nitrato, segundo a metodologia de Cataldo et al. (1975).

Os dados obtidos para cada variável foram submetidos à análise da variância e, quando de significância, aplicou-se o teste de Tukey para separação de médias através do programa estatístico ESTAT (UNESP, 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as variáveis avaliadas, não houve interação entre os fatores proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ e cultivares de alface, indicando que as proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ não induziram comportamento diferenciado às cultivares estudadas. Compararam-se, então, as médias das cultivares independentemente das proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$.

As três cultivares testadas assemelharam-se em rendimento na produção de fitomassa fresca da parte aérea (FMFPA), das raízes (FMFR) e da planta inteira (FMFPI), o que pode ser verificado na Tabela 2. A produção de FMFPA média foi de 275,56 g, valor este muito próximo à média obtida por Pôrto et al. (2012) e Genuncio et al. (2012) para alface hidropônica e superior aos valores obtidos por Ohse et al. (2012 e 2014) para a cultivar Regina.

TABELA 2. Produção de fitomassa fresca da parte aérea (FMFPA), das raízes (FMFR) e da planta inteira (FMFPI), número de folhas por planta (NFP), produção de fitomassa seca da parte aérea (FMSPA), das raízes (FMSR) e da planta inteira (FMSPI) das cultivares de alface. Santa Maria, UFSM/RS.

Cultivares	FMFPA	FMFR	FMFPI	NFP	FMSPA	FMSR	FMSPi
	g.planta ⁻¹			planta ⁻¹		g.planta ⁻¹	
Regina	288,98 a	58,89 a	347,88 a	40,38 a	13,18 a	2,69 a	15,87 a
Mimosa	270,60 a	57,52 a	328,13 a	22,31 b	12,53 a	2,67 a	15,20 a
Verônica	267,11 a	57,08 a	324,19 a	19,69 c	12,85 a	2,75 a	15,60 a
Média	275,56	57,83	333,40	27,46	12,85	2,70	15,56
CV(%)	13,91	19,10	14,57	9,00	15,03	20,50	15,78

*Médias de tratamentos seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A cultivar Regina apresentou maior número de folhas por planta (NFP), seguida de Mimosa e por último a Verônica (Tabela 2). Em outros estudos, porém, realizados durante o inverno, as cultivares de alface do tipo folhas lisas também apresentaram maior NFP, porém de menor tamanho que as crespas (OHSE et al., 1999; OHSE et al., 2012; OHSE et al., 2014). A cultivar Verônica apresentou, em média, 19,7 folhas.planta⁻¹, resultado este superior aos encontrados por Vaz e Junqueira (1998) e

Schmidt (1999), os quais obtiveram valores médios de 13,3 e 13,1 folhas.planta⁻¹, respectivamente. Contudo, Mondin (1996) encontrou média superior para esta cultivar (29,7 folhas planta⁻¹), ambas produzidas durante o outono-inverno, podendo ser explicado pela maior duração do experimento (79 dias).

Os valores de FMFPI encontrados neste experimento, realizado durante o verão, foram superiores aos valores médios de 214,3; 209,3 e 163,5 g.planta⁻¹ para as cultivares Mimosa,

Regina e Verônica, respectivamente, encontrados por Schmidt (1999) durante o período de outono-inverno. Regina e Verônica são cultivares recomendadas para plantio durante todo o ano, todavia a cv. Mimosa é recomendada para plantio em épocas de temperaturas mais amenas (fevereiro a setembro). Nesse contexto, os resultados comprovam maior rendimento dessa cultivar durante o verão, apresentando nessa época rápido crescimento. Comparando-se a produção de FMFPI da cv. Verônica obtida por Schmidt (1999) verificou-se que essa cultivar foi mais produtiva no verão do que quando cultivada durante o inverno sob hidroponia, acumulando NO_3^- em níveis muito baixos, cerca de 25% a menos que a cv. Regina, podendo ser, preferencialmente, utilizada quando houver preocupação com seu acúmulo (Tabela 4).

A produção média de FMFPI foi de 333,40 g.planta⁻¹, aos 21 dias após o transplante (DAT). Valor superior aos encontrados por Ruschel (1998) em alface da cultivar Vera (155,3 g.planta⁻¹) e Marisa (159,2 g.planta⁻¹) aos 17 DAT. A produção média de FMFPA (275,56 g.planta⁻¹) foi superior também aos dados encontrados por Ohse et al. (2014) para as cultivares Regina, Mimosa Verde, Mimosa Vermelha, Lucy Brown e Vera, por Ohse et al. (2012) para a cultivar Regina e por Dias Júnior et al. (1999) para Babá de Verão (213,9 g.planta⁻¹), Lívia (199,7 g.planta⁻¹), Deisy (163,9 g.planta⁻¹), Aurora (161,2 g.planta⁻¹), Vitória (118,3 g.planta⁻¹) e Maravilha (70,5 g.planta⁻¹) quando produzidas sob sistema hidropônico NFT.

A produção de fitomassa fresca da parte aérea (FMFPA), de raízes (FMFR) e da planta inteira (FMFPI) foram significativamente ($P < 0,01$) influenciadas pelas proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (Tabela 3). A proporção 90:10 proporcionou o maior NFP, sendo a menor média para esta variável apresentada quando da utilização da

proporção 70:30 de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ na solução nutritiva, todavia não diferiu da testemunha. O NFP, com a utilização da proporção 90:10, foi 14,7% superior ao NFP obtido quando do uso da proporção 70:30 (Tabela 3).

A proporção 90:10 de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ proporcionou rendimento de FMFPI de alface superior em 12,2% à testemunha (100:0), em 14,1% à proporção 80:20 e 42,8% à proporção 70:30. O rendimento da alface quando do uso das proporções 100:0 e 80:20 ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$) não diferiram, indicando que a utilização de NH_4^+ pode ser de até 20% do N total na solução nutritiva, contudo, proporções superiores levaram a cultura da alface a reduzir seu rendimento, bem como a qualidade visual. A proporção 70:30 reduziu em 35,8% o rendimento da alface quando comparada com a testemunha (Tabela 3). Efeito que pode ser atribuído ao fato do íon NH_4^+ ser tóxico para as células vegetais, uma vez que atua como desacoplador entre o fluxo de elétrons, fosforilação oxidativa e a fotofosforilação (TAIZ et al., 2017).

TABELA 3. Produção de fitomassa fresca da parte aérea (FMFPA), das raízes (FMFR) e da planta inteira (FMFPI), número de folhas por planta (NFP), produção de fitomassa seca da parte aérea (FMSPA), das raízes (FMSR) e da planta inteira (FMSPI) de plantas de alface produzidas sob diferentes proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM/RS.

Proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$	FMFPA	FMFR	FMFPI	NFP	FMSPA	FMSR	FMSPI
	g.planta ⁻¹			Planta ⁻¹	g.planta ⁻¹		
100:0	290,68 a	65,32 a	356,00 b	27,92 ab	12,63 ab	2,84 ab	15,47 ab
90:10	329,29 a	69,96 a	399,25 a	29,00 a	14,20 a	3,03 a	17,23 a
80:20	293,95 a	55,89 b	349,83 b	28,17 a	13,15 ab	2,51 b	15,66 ab
70:30	188,34 b	40,16 c	228,50 c	24,75 b	11,43 b	2,44 b	13,87 b
MÉDIA	275,56	57,83	333,40	27,40	12,85	2,70	15,56
CV (%)	12,26	8,32	10,61	10,02	12,64	15,61	12,26

*Médias de tratamentos seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A produção de FMFPA da alface quando da utilização da proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 70:30 na solução nutritiva foi cerca de 35, 43 e 36% menor que quando do uso das proporções 100:0 (testemunha), 90:10 e 80:20, respectivamente, no entanto, estas não diferiram entre si (Tabela 3). A produção média de FMFPA quando do uso da proporção 90:10, mesmo sem diferir estatisticamente, foi 11,7% e 10,7% superior à testemunha e à proporção 80:20, respectivamente (Tabela 3). Faquin et al. (1994) encontraram, quando da utilização da proporção 100:0; 85:15 e 70:30 de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ na solução nutritiva, os seguintes valores de FMFPA: 302,5; 250,0 e 123,3 g.planta⁻¹, respectivamente, revelando perdas em rendimento da ordem de 59% a partir de 15% do N total da solução na forma amoniacal. Andriolo et al. (2006) relataram redução de 32,6% na FMFPA da alface, cultivar Vera, quando da utilização na solução nutritiva de 16,6% do N total na forma de NH_4^+ , concluindo que o limite de 9-12% do N total na forma de NH_4^+ deve ser avaliado na produção de alface hidropônica.

A produção média de fitomassa seca da parte aérea (FMSPA) foi de 12,8 g.planta⁻¹ aos 47 dias após a semeadura (DAS), valor esse semelhante ao encontrado por Mondin (1996) aos 79 DAS (12,2 g.planta⁻¹) e superior ao encontrado por Ruschel (1998) com 47 DAS (5,88 g.planta⁻¹) e por Ohse et al. (2014). Essa

superioridade em produção pode ser explicada pela duração do ciclo e pela utilização da fase intermediária (berçário), fase que objetiva a adaptação da planta ao sistema NFT, visando também desenvolver o sistema radicular, propiciando, com isso, melhor e maior absorção dos nutrientes contidos na solução a ser utilizada na fase de produção. Contudo, pode ter sido influenciada por outros fatores, tais como: solução empregada, época do ano, cultivares etc.

A produção de FMSPA, FMSR e da FMSPI da alface, com a utilização da proporção 90:10 foi sempre maior, porém, sem grandes diferenças dos valores obtidos quando do uso das proporções 100:0 e 80:20 (Tabela 3). O maior valor de FMSR foi proporcionado pela proporção 90:10, resultado que não diferiu da testemunha e, quando da análise da FMSPI, a proporção 90:10 apresenta o maior valor, não diferindo das proporções 100:0 e 80:20. A proporção 70:30 reduziu em 19,5% a produção FMSPI quando comparada com a proporção 90:10 (Tabela 3).

O teor de água da parte aérea (TAPA) nas folhas não diferiu entre as cultivares independentemente das proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ utilizadas, revelando diferença significativa ($P < 0,01$) para as proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ na solução nutritiva, independentemente das cultivares (Tabela 4 e 5). A utilização da proporção 70:30 reduziu em 1,8% o TAPA da alface, quando comparada com a testemunha. O

TAPA médio encontrado (95,19%) foi superior aos teores médios (92,7 e 94,53%) encontrado por Mondin (1996) e Ohse et al. (2014) e inferior ao teor médio (96,13%) encontrado por Ruschel (1998). Isso se deve provavelmente à menor e/ou maior permanência da cultura na bancada de produção ou ao potencial osmótico gerado por cada proporção. Sgarbieri (1987) e Oliveira e Marchine (1998) encontraram o teor de 94,0% para alface produzida no solo, comparando-se com o teor médio de água encontrado para alface sob hidroponia, o qual foi de 95,19%. Concluí-se que esta tende a ter mais água em seus tecidos por apresentar ponto de colheita em menor período.

A cultivar Regina apresentou maior teor de nitrato (TN) em seus tecidos, acumulando 22,1% e 23,8% mais que a cv. Mimosa e 24,6% e 28,8% mais que a cv. Verônica (Tabela 4), respectivamente na fitomassa fresca (TNTMF) e na fitomassa seca (TNFMS). Esses resultados comprovam, assim como os de Mondin (1996), que a capacidade de acúmulo de nitrato é de caráter genético e que as cultivares do tipo folhas lisas são mais acumuladoras que as do tipo folhas crespas. Os TNFMS obtidos para as cultivares de alface estudadas foram inferiores à média de 615,02 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de MF de folhas de alface encontrada por Pôrto et al. (2012).

TABELA 4. Teores de água da parte aérea (TAPA) e de nitrato na fitomassa seca (TNFMS) e fitomassa fresca (TNTMF) das cultivares de alface. Santa Maria, UFSM/RS.

Cultivares	TAPA (%)**	TNFMS (mg·kg ⁻¹)	TNTMF (mg·kg ⁻¹)
Regina	95,25 a	9.817,45 a	444,05 a
Mimosa	95,27 a	7.479,00 b	345,71 b
Verônica	95,05 a	6.992,60 b	334,94 b
Média	95,19	8.096,46	374,89
CV (%)	0,57	12,24	9,48

* Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** Os dados de porcentagens do teor de água foram transformados em arco seno $\sqrt{x/100}$.

Faquin et al. (1996), utilizando a solução Furlani (1995), encontraram 436,9 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de MF para a cultivar Verônica. Ruschel (1998) encontrou 8.993,89 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de MS e 345 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de MF como teor máximo em alface sob hidroponia, quando a solução fornecia 240 mg L⁻¹ de N. Para a cultivar Regina, o teor de nitrato, tanto na fitomassa seca como fresca foi superior ao encontrado por Ohse et al. (2012). Pôrto et al. (2012) demonstraram que, quanto maior for o fornecimento de N, maior será o acúmulo de NO₃⁻, entretanto, não observaram valores passíveis de causar problemas à saúde humana. Os resultados encontrados por esses autores apresentam certa variação em função do manejo, condições climáticas, entre outros, todavia, não apresentam grandes discrepâncias com os resultados encontrados (Tabela 4).

Rezende et al. (1999), analisando oito marcas de alface sob hidroponia em Brasília-DF, encontraram teores variando de 687 a 5.044 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de FMF. Da mesma forma, Junqueira et al. (1999), analisando 20 amostras de alface sob hidroponia em duas propriedades em Brasília-DF, encontraram teores médios de 3.841 e 684 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de MF. Delistoianov et al. (1996) obtiveram o maior teor de nitrato com a cultivar Tainá (1.688 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de FMF). Ohse et al. (2002) obtiveram teores médios de nitrato variando de 178,7 a 752,02 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de FMF em função da solução nutritiva. Beninni et al. (2002), obtiveram para alface produzida em hidroponia, teor médio de nitrato de 1.588 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de FMF, com valores máximo e mínimo de 2.568 e 471 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de FMF respectivamente. Ohse et al. (2009) obtiveram teores médios de nitrato variando de 40,9 a

441,4 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de FMF e Ohse et al (2012) de 893,11 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de FMF (agrião) e 100,96 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de FMF (chicória), quando produzidas em sistema NFT. As variações encontradas não só se devem aos efeitos dos diversos fatores que regulam o acúmulo de NO₃⁻ nas plantas, tais como manejo, condições climáticas, cultivares, cultura, época do ano, horário de colheita, mas também à variação dos métodos utilizados para a análise de NO₃⁻.

O acúmulo de NO₃⁻ na fitomassa fresca diminuiu cerca de 20% com a utilização de 10% de NH₄⁺ como fonte de N, não havendo redução significativa no teor de NO₃⁻ a partir dessa proporção (Tabela 5). Entretanto, quando da utilização de 30% do N total na forma amoniacal, corre-se o risco de grandes perdas no rendimento (Tabela 3). Boon et al. (1990) reduziram 40,8% o teor de NO₃⁻ em alface hidropônica produzida durante o inverno, quando da utilização da proporção NO₃⁻:NH₄⁺ inicial de 80:20. Resultados contrários foram encontrados por Zito et al.

(1994), os quais demonstraram que 30% do N total na forma de NH₄⁺ proporcionou maior rendimento para a cultura da alface sob hidroponia.

De acordo com os resultados obtidos, com a utilização de 10% e 20% do N total na forma amoniacal, reduziu-se cerca de 20% e 27% o acúmulo de NO₃⁻ nas folhas de alface, respectivamente, sem reduzir a produção. No entanto, como os teores de NO₃⁻ encontrados foram bem abaixo do considerado crítico à saúde humana, o que varia de 1500 a 4500 mg NO₃⁻ kg⁻¹ de FMF (GÜNES et al., 1996; MCCALL; WILLUMSEN, 1998; BOINK; SPEIJERS, 2001). Dessa forma, poder-se-ia utilizar soluções com 100% do N na forma de NO₃⁻, contudo, com a utilização de 10% do N total na forma de NH₄⁺, a produção da cultura da alface foi 13,20% superior (Tabela 3). Vale lembrar que, durante a época de verão, as condições ambientais são desfavoráveis ao acúmulo de NO₃⁻, devido à baixa luminosidade e altas temperaturas.

Tabela 5. Teores de água (TA) e de nitrato na fitomassa seca (TNFMS) e fresca (TNFMF) da parte aérea de plantas de alface cultivadas em diferentes proporções de NO₃⁻:NH₄⁺ na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM/RS.

Proporções NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺	TA (%)	TNFMS (mg·kg ⁻¹)	TNFMF (mg·kg ⁻¹)
100:0	95,65 a	10.660,52 a	459,40 a
90:10	95,68 a	8.576,94 b	367,71 b
80:20	95,52 a	7.600,42 b	337,58 b
70:30	93, 90 b	5.547,78 c	334,89 b
Média	95,19	8.096,46	374,89
CV (%)	0,64	17,03	10,86

* Médias de tratamentos ligadas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** Os dados de porcentagens foram transformados em arco seno $\sqrt{x/100}$.

A utilização de até 20% do N total na forma amoniacal não afetou o rendimento da alface, reduzindo, no entanto, 28,7 e 26,5% o acúmulo de NO₃⁻ na fitomassa seca e fitomassa fresca, respectivamente (Tabela 5). Por outro lado, concentrações de NH₄⁺ acima de 20% causam uma redução significativa no rendimento, cerca de 36%, quando do uso da proporção 70:30 comparada com a testemunha (100:0), corroborando com Furlani (1998). A proporção de

NO₃⁻:NH₄⁺ 90:10 forneceu um ganho em fitomassa fresca, fitomassa seca e número de folhas por planta, aumentando o rendimento em 13,20%, quando comparado com a testemunha (proporção 100:0), além de reduzir em 20% o acúmulo de nitrato. Por outro lado, um estudo mais detalhado, com proporções NO₃⁻:NH₄⁺ mais próximas, seria recomendado no intuito de determinar a partir de qual porcentagem de

amônio na solução inicia o aumento e/ou a redução do rendimento.

CONCLUSÕES

A cultivar do tipo folha lisa apresentou, devido às suas características genéticas, maior número de folhas por planta e maior teor de nitrato em seus tecidos. A proporção $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ de 90:10 manteve o rendimento das cultivares de

alface Regina, Mimosa e Verônica, reduzindo significativamente o teor foliar de nitrato. A utilização de amônio na solução nutritiva não deve ultrapassar 20% do nitrogênio total, por causar reduções tanto em rendimento como na qualidade visual da cultura da alface, além de não ter minimizado de forma significativa o teor de nitrato em relação à utilização de 10% do N total na forma de NH_4^+ .

REFERÊNCIAS

- ADDISCOTT, T.M.; BENJAMIN, N. Nitrate and human health. **Soil and Use Manage**, v.20, p.98-104, 2004.
- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Editora da UFSM, 1999. 142p.
- ANDRIOLO, J.L.; GODOI, R.S.; COGO, C.M. et al. Growth and development of lettuce plants at high $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios in the nutrient solution. **Horticultura Brasileira**, v.24, p.352-355, 2006.
- BENINNI, E.R.Y.; TAKAHASHI, H.W.; NEVES, C.S.V.J.; FONSECA, I.C.B. Teor de nitrato em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.2, p.183-186, 2002.
- BOINK, A.; SPEIJERS, G. Health effect of nitrates and nitrites, a review. **Acta Horticulturae**, n. 563, p. 29-36, 2001.
- BOON, J.; STEENHUIZEN, J.W.; STEINGRÖVER, E.G. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by nitrogen and chloride concentration, $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. **Journal of Horticultural Science**, v.65, n.3, p.309-321, 1990.
- CASTELLANE, P.D.; ARAÚJO, J.A.C. **Cultivo sem solo - Hidroponia**. FCAV-UEP, Jaboticabal, 1995. 44 p.
- CASTRO, S.R.P. de; FERRAZ, A.S.L. Teores de nitrato nas folhas e produção de alface cultivada com diferentes fontes de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.16, n.1, p.65-68, 1998.
- CATALDO, D.A.; HAROON, L.V.; SCHRADER, L.E. et al. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, n.1, p.71-80. 1975.
- CHANG, A.C.; YANG, T.Y.; RISKOWSKI, G.L. Changes in nitrate and nitrite concentrations over 24h for sweet basil and scallions. **Food Chemistry**, v.136: p.955-960, 2013.
- CRADDOCK, W.M. Nitrosamines and human cancer: proof of association?. **Nature**, London, p.306-638. 1983.
- DELISTOIANOV, F.; PEREIRA, P.R.G.; MARTINEZ, H.E.P. et al. Teores de nitrato em cultivares comerciais de alface sob cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v.14, n.1, p.84, 1996.
- DIAS JÚNIOR, C.P.; LAURA, V.A.; FAVERO, S. Desempenho de seis cultivares de alface sob cultivo hidropônico. In: 39^o CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, n. 95., Tubarão. **Anais...** Tubarão: SOB, 1999.

- FAQUIN, V. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88 p.
- FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; VILELA, L.A.A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras, Minas Gerais:UFLA. 1996. 50 p.
- FAQUIN, V.; MARQUES, E.S.; SANTOS, H.S. et al. Crescimento e concentração de nitrato em alface sob influência da relação $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ e cloro na solução nutritiva e do horário de colheita. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. **Anais...** 21, Petrolina:SBCS, 1994, p.152-153.
- FERNANDES, A.A.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; FONSECA, M.C.M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.2, p.195-200, 2002.
- FURLANI, P.R. **Cultivo de alface pela técnica de hidroponia - NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1995. 18 p. (Documentos IAC, 55).
- FURLANI, R.P. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia – NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1998. 30p. (Boletim Técnico, n° 168).
- GENUNCIO, G.C.; GOMES, M.; FERRARI, A.C. et al. Hydroponic lettuce production in different concentrations and flow rates of nutrient solution. **Horticultura Brasileira**, v.30, p.526-530, 2012.
- GÜNES, A.; INAL, A.; AKTAS, M. Reducing nitrate content of NFT grown winter onion plants (*Allium cepa* L.) by partial replacement of NO_3^- with amino acid in nutrient solution. **Scientia Horticulturae**, v.65, p.203-208, 1996.
- JUNQUEIRA, A.M.R.; REZENDE, A.J.; BORGIO, L.A. et al. Níveis de nitrato em alface hidropônica e em agrião produzidos no Distrito Federal. In: 39^o CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, n. 153., Tubarão. **Anais...** Tubarão:SOB, 1999.
- LYONS, D.J.; RAYMENT, G.E.; NOBBS, P.E. et al. Nitrate and nitrite in fresh vegetables from Queensland. **Journal of Science Food Agriculture**, v. 64, n.3, p.279-281. 1994.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora CERES Ltda, São Paulo, 2006, 638p.
- MAYNARD, D.N.; BARKER, A.V.; MINOTTI, P.L. et al. Nitrate accumulation in vegetables. **Advances in Agronomy**, v.28, n.71, p.71-118, 1976.
- MCCALL, D.; WILLUMSEN, J. Effects of nitrate, ammonium and chloride application on the yield and nitrate content of soil-grown lettuce. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v.73, n.5, p.698-703, 1998.
- MONDIN, M. **Efeito de sistema de cultivo na produtividade e acúmulo de nitrato em cultivares de alface**. Jaboticabal:UNESP, 1996, 88p. (Tese de Doutorado).
- OHSE, O.; OLIVEIRA, J.L.B.; OTTO, R.F.; GODOY, A.R. Rendimento de cultivares de alface produzidas em hidroponia. **Scientia Rural**, v.1, p.56-66, 2014.
- OHSE, S. **Rendimento, composição centesimal e teores de nitrato e vitamina c em alface sob hidroponia**. 1999, 103 f. Tese (Tese em Produção Vegetal) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

OHSE, S.; CARVALHO, S.M.; RAMOS, D.M.R.; REZENDE, B.L.; OLIVEIRA, J.L.B.; MANFRON, P.A.; DOURADO NETO, D. Produção e composição química de hortaliças folhosas em hidroponia. **Bioscience Journal**, v.28, n.2, p.155-163, 2012.

OHSE, S.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A. et al. Composição centesimal, teor de Vitamina C e de nitrato em seis cultivares de alface produzidas em quatro soluções Hidropônicas. **Insula Revista de Botânica**, v.31, p.59-79, 2002.

OHSE, S.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; SANTOS, O.S. dos. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. **Scientia Agricola**, v.58, n.1, p.181-185, 2001b.

OHSE, S.; DOURADO NETO, D.; MARODIN, V.S.; MANFRON, P.A.; AITA, A. Teores de nitrato e de vitamina C em alface produzida em Santa Maria/RS: um estudo preliminar. **Insula Revista de Botânica**, v.30, p.63, 2001a.

OHSE, S.; NOGUEIRA FILHO, H.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; LONDERO, F. Teor de nitrato em cultivares de alface produzidos em sistema convencional e hidropônico. **Insula Revista de Botânica**, v.32, p.63, 2003.

OHSE, S.; RAMOS, D.M.R.; CARVALHO, S.M.; DE; FETT, R.; OLIVEIRA, J.L.B. Composição centesimal e teor de nitrato em cinco cultivares de alface produzidas sob cultivo hidropônico. **Bragantia**, v.68, n.2, p.407-414, 2009.

OLIVEIRA, J.E.D. de; MARCHINE, J.S. **Ciências nutricionais**. São Paulo, Ed. Sarvier, 1998. 347p.

PÔRTO, M.L.A.; ALVES, J.C.; SOUZA, A.P. et al. Doses de nitrogênio no acúmulo de nitrato e na produção da alface em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v.30, p.539-543, 2012.

REZENDE, A.J.; JUNQUEIRA, A.M.R.; XIMENES, M.I.N. et al. Teores de nitrato em alface hidropônica produzida e comercializada no Distrito Federal. In: 39^o CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, n. 307., Tubarão. **Anais...** Tubarão: SOB, 1999.

RUSCHEL, J. **Acúmulo de nitrato, absorção de nutrientes e produção de duas cultivares de alface cultivadas em hidroponia, em função de doses conjuntas de nitrogênio e potássio**. Piracicaba, 1998, 76p. Dissertação (M.Sc.). Universidade de São Paulo:ESALQ.

SCHMIDT, D. **Soluções nutritivas, cultivares e formas de sustentação de alface cultivada em hidroponia**. Santa Maria, 1999. 79p. Dissertação (M.Sc.) – Universidade Federal de Santa Maria.

SGARBIERI, V.C. **Alimentação e Nutrição: fator de saúde e desenvolvimento**. Campinas: Editora da UNICAMP. 1987. 387p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TIAN, X.; LI, S.; WANG, Z. et al. Response of lettuce to different nitrogen forms. **Ying Yong Sheng Tai Xue Bao**. n.14, v.3, p.377-381, 2003.

UNESP. Universidade Estadual Paulista. **Sistema para análises estatísticas: ESTAT**. V. 2.0. Jaboticabal. 1991.

VAZ, R.M.R.; JUNQUEIRA, A.M.R. Desempenho de três cultivares de alface sob cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v.16, n.2, p.178-180, 1998.

ZITO, R.K.; FRONZA, V.; MARTINEZ, H.E.P. et al. Fontes de nutrientes, relações nitrato:amônio e molibdênio, em alface (*Lactuca sativa* L.) produzida em meio hidropônico. **Revista Ceres**, v.41, n.236, p.419-430. 1994.

Recebido: 16/08/2016
Aceito: 13/06/2017