

# Influência da adubação potássica na produção e na atividade de enzimas pós-colheita em escarola (*Cichorium endivia* L.)

## Influence of potassium fertilization in endive (*Cichorium endivia* L.) production and enzyme post-harvest activity

Paulo Sérgio Pavinato<sup>1</sup>  
Juliano Carlos Calonego<sup>2</sup>  
Elisangela Clarete Camili<sup>3</sup>  
Angela Cristina Alvarez<sup>4</sup>  
Glauber Henrique Leite<sup>5</sup>  
Carmen Silvia Fernandes Boaro<sup>6</sup>

### Resumo

O potássio é um dos nutrientes mais abundantes no citoplasma das células vegetais, e sua alta contribuição no metabolismo das plantas está relacionada ao controle osmótico das células e à ativação de inúmeras enzimas. Sendo de conhecimento que a produção e manutenção da qualidade pós-colheita de sementes, frutos e hortaliças depende da boa nutrição potássica, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de doses de potássio na produção e qualidade pós-colheita de escarola. A escarola, variedade Malan, foi cultivada em vasos com capacidade de 10 kg de solo, em casa de vegetação, na Fazenda Experimental Lajeado, Departamento de Produção Vegetal/Horticultura da FCA-UNESP,

- 
- 1 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Professor da área de Ciência do Solo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Dois Vizinhos; E-mail: pavinato@utfpr.edu.br
  - 2 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Professor da Universidade Oeste Paulista - UNOESTE; E-mail: juliano@unoeste.br
  - 3 Dra.; Engenheira Agrônoma; Professora da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso; E-mail: ecamili@hotmail.com
  - 4 M.Sc.; Engenheira Agrônoma; Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Agronomia na Universidade de Ciências Agrônômicas/UNESP-Botucatu; E-mail: angela.alvarez@pop.com.br
  - 5 M.Sc.; Engenheiro Agrônomo; Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Agronomia na Universidade de Ciências Agrônômicas/UNESP-Botucatu; E-mail: ghpleite@fca.unesp.br
  - 6 Dra.; Bióloga; Professora do Departamento de Botânica na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP-Botucatu; E-mail: csfboaro@ibb.unesp.br

---

Recebido para publicação em 15/04/2008 e aceito em 03/06/2009

Ambiência Guarapuava, PR v.5 n.3 p.505 - 520 Set/Dez. 2009 ISSN 1808 - 0251

---

Botucatu-SP. Os tratamentos consistiram em cinco doses de potássio, correspondentes a 0, 75, 150, 300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, aplicadas 1/3 no plantio e o restante em três coberturas (8, 16 e 28 dias após o transplante). Por ocasião do transplante, aplicou-se a adubação nitrogenada e fosfatada recomendadas para a cultura. Aos 35 dias após o transplante, as plantas foram colhidas e se efetuaram as avaliações de diâmetro de cabeça, massa fresca e área foliar. Ainda utilizando plantas frescas, determinou-se a atividade das enzimas polifenol oxidase e peroxidase. Em plantas secas, em estufa a 60°C por 72 h, foram determinadas a massa seca, o teor de K no tecido e o acúmulo total de proteínas. De maneira geral, a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, correspondente à dose recomendada pelos boletins de adubação para a escarola, resultou em máxima produção e qualidade pós-colheita, não respondendo a doses mais elevadas.

**Palavras-chave:** potássio; espécies olerícolas; enzimas oxidantes.

## **Abstract**

Potassium is one of the nutrients that is present in higher levels in the cytoplasm of plant cells, and its contribution in plant metabolism is related to cell osmotic regulation and the activation of many enzymes. Given the knowledge that production and post-harvest quality maintenance of seeds, fruit and vegetables are a consequence of good potassium nutrition, our research focused on assessing the effect of potassium rates in production and post-harvest quality of endive. The endive, variety Malan, was cultivated in pots with soil mass of 10 kg each, in a greenhouse, at Fazenda Experimental Lajeado, Department of Crop Science/Horticulture of FCA-UNESP, Botucatu-SP. The treatments were five potassium rates, corresponding to 0, 75, 150, 300 and 600 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O, with 1/3 being applied at plant sow and the other 2/3 in three cover applications (8, 16 and 28 days after plant sow). At the moment of plant sow, the recommended crop fertilization of nitrogen and phosphorus was done. At 35 days after plant sow the plants were harvested, and their head diameter, fresh mass and leaf area were measured. Further using fresh plants, the activity of enzymes polyphenol oxydase and peroxydase was verified. In plants dried at 60°C for 72h, the dry mass, K tissue concentration and total protein accumulation were registered. In general, the rate of 150 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O, corresponding to the recommended fertilization rate for endive by research publications, promoted the maximum production and post-harvest quality of endive, which did not increase under higher rates.

**Key words:** potassium; vegetable species; oxidative enzymes.

## Introdução

A chicória (*Cichorium endivia* L.) é uma espécie da família Asteraceae, constituindo o grupo de hortaliças folhosas mais populares no Brasil, a qual já era utilizada como alimento pelos antigos egípcios, gregos e romanos (CAMARGO, 1981). No Brasil, dentro da espécie botânica, são plantadas comercialmente a chicória crespa ou endívia, e a chicória lisa ou escarola, sendo o grupo lisa de maior valor no mercado consumidor (FILGUEIRA, 2000).

O potássio (K) é um elemento essencial na nutrição de plantas, sendo o cátion mais importante nos processos fisiológicos, não somente pela sua concentração nos tecidos vegetais, mas também pelas funções bioquímicas exercidas. A boa nutrição com potássio promove o uso eficiente da água, em consequência do controle da abertura e fechamento dos estômatos, e maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para os outros órgãos da planta (MALAVOLTA et al., 1997). Também exerce participação no processo de regulação do potencial osmótico das células, na ativação de muitas enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, na translocação de carboidratos, na resistência à salinidade, geada, seca, doenças e acamamento, conferindo qualidade aos produtos (EPSTEIN, 1975; MENGEL e KIRKBY, 1987; MARSCHNER, 1995; TAIZ e ZEIGER, 1998). Além disso, é absorvido em grande quantidade e permanece móvel nas plantas, na forma do íon  $K^+$ .

Plantas estressadas quanto à nutrição apresentam aumento da biossíntese de poliaminas, principalmente putrescina. Em diversas espécies, a carência de potássio

induz acúmulo de putrescina nas folhas, conforme o observado em cevada pelo trabalho pioneiro de Richards e Coleman (1952), em feijão (CROCOMO et al., 1974), em gergelim (*Sesamum indicum*) (CROCOMO e BASSO, 1974) e em bananeira (*Musa* sp.) (ZAIDAN et al., 1999). As poliaminas estão envolvidas nos processos de divisão celular (MAKI et al., 1991), desenvolvimento e crescimento (SMITH, 1985; EVANS e MALMBERG, 1989), na senescência (SMITH, 1985; GALSTON e KAUR-SAWHNEY, 1990) e na regulação do metabolismo de ácidos nucleicos.

O potássio ocasiona aumento na resistência natural da parte aérea das hortaliças às doenças fúngicas, às pragas, ao acamamento, além de contrabalancear o efeito contrário causado pelo excesso de nitrogênio. No entanto, o excesso de potássio desequilibra a nutrição das hortaliças, dificultando a absorção de cálcio e magnésio (PERRENOUD, 1977; FAQUIN, 1994). O potássio também é requerido para a síntese protéica, pois quando deficiente, as plantas apresentam menor síntese de proteínas e acúmulo de compostos nitrogenados solúveis, como aminoácidos, amidas e nitrato (FAQUIM, 1994). Assim, o adequado aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados depende, também, de um eficiente suprimento de potássio às plantas.

O aparecimento de manchas necróticas nas folhas de plantas deficientes em potássio é resultado do acúmulo de putrescina em nível tóxico. Dessa forma, a oxidação enzimática de compostos fenólicos pelas enzimas peroxidase e polifenol oxidase resulta, reconhecidamente, no escurecimento

de tecidos vegetais (WHITEHEAD e SWARDT, 1982). Araújo (1995) relata que a peroxidase é uma enzima importante sob os pontos de vista nutricional, de coloração e de “flavor”.

Há uma classe de enzimas que catalisam a oxidação de mono e difenóis para quinonas, conhecidas como polifenol oxidases, fenolases, tirosinases, catecolases e cresolases. Essas enzimas estão envolvidas na formação de materiais poliméricos coloridos, que provocam reações que podem ser chamadas de “escurecimento enzimático” ou “melanização” (FOX, 1991). As enzimas atuam de forma intensa, quando há ruptura dos tecidos dos vegetais e, também, quando os mesmos são mantidos sob congelamento inadequado. O corte dos tecidos aumenta a atividade enzimática, acelerando a oxidação.

No cultivo de hortaliças, deve-se estar atento à qualidade do produto a ser apresentado no mercado. Esta qualidade é influenciada principalmente pela escolha do cultivar adaptado, adubação equilibrada, e tratos culturais adequados. Tendo em vista a importância do potássio na produção e manutenção da qualidade pós-colheita de sementes, frutos e hortaliças, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de doses de potássio na produção e qualidade pós-colheita de escarola.

### **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Fazenda Experimental Lajeado, Departamento de Produção Vegetal/Horticultura da

Faculdade de Ciências Agronômicas-UNESP, *Campus* de Botucatu, no período de março a maio de 2004.

As unidades experimentais foram compostas de vasos plásticos com capacidade para 10 dm<sup>3</sup>, preenchidos com solo com fertilidade, classificado como Latossolo Vermelho-Escuro álico de textura média (EMBRAPA, 1999), com as seguintes características químicas: MO = 9,0 g dm<sup>-3</sup>; pH = 4,1, P = 1,0 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 2,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 2,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e V = 12%. Procedeu-se a correção do solo com calcário dolomítico para elevar a saturação por bases a 70%. A correção foi realizada trinta dias antes da transferência do solo para os vasos.

As mudas de escarola do cultivar Malan, com aproximadamente vinte dias de cultivo, foram obtidas em viveiro idôneo, apresentando bom desenvolvimento inicial e porte uniforme. Foi transplantada uma muda em cada vaso, um dia após o enchimento dos vasos com o solo.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo utilizadas quatro repetições, com três plantas por repetição. Os tratamentos consistiram na variação das doses de potássio, em função do recomendado para a cultura, segundo Raij et al. (1996). Sendo a dose recomendada para escarola de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, os tratamentos foram constituídos por duas doses abaixo e duas acima desta, ou seja, 0, 75, 150, 300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, aplicadas 1/3 no plantio e o restante dividido em três coberturas feitas aos 8, 16 e 28 dias após o transplante.

A adubação com fósforo e nitrogênio seguiu também a recomendação de

Raij et al. (1996),. Sendo aplicado o equivalente a 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no momento do transplante. Depois, juntamente com as aplicações do potássio em cobertura, aplicou-se 75 kg ha<sup>-1</sup> de N. As fontes de adubos utilizadas foram uréia (45% de N), cloreto de potássio (KCl: 58% de K<sub>2</sub>O) e superfosfato triplo (SFT: 42% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). A quantidade de fertilizantes utilizada por vaso no momento do transplante foi de 0,44 g de uréia e 4,76 g de SFT para todos os tratamentos, e de 0,0; 0,21; 0,42; 0,84 e 1,68 g de KCl para os respectivos tratamentos. Em cobertura foram aplicadas três doses por vaso de 0,28 g de uréia, em todos os tratamentos, e três doses de 0,0; 0,14; 0,28; 0,56 e 1,12 g de KCl, para fechar a composição dos tratamentos mencionados anteriormente, respectivamente. Visando o fornecimento de enxofre e micronutrientes, aos dez dias após o transplante, realizou-se adubação com 0,2 g de bórax, 0,5 g de sulfato de zinco e 1,5 g de gesso por vaso.

A irrigação foi realizada manualmente, fornecendo-se um volume similar de água para todos os vasos diariamente, dependendo da necessidade das plantas. Aos 37 dias após o transplante, a taxa fotossintética foi avaliada por meio da variável “Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> nas folhas”, utilizando-se o equipamento “Infra Red Gas Analyser – IRGA”, modelo LI-6400. As medidas foram tomadas na região mediana da folha bem desenvolvida.

A colheita foi realizada aos 45 dias após o transplante, de acordo com a recomendação para essa cultura. Logo após a colheita das cabeças avaliou-se o diâmetro e a massa fresca das mesmas.

Foram avaliadas dose plantas por tratamento, sendo que seis plantas foram utilizadas para a medição da área foliar, em medidor modelo AAM-7, fabricado por Hayashi – Denkoh CO. Em seguida as folhas foram submetidas à secagem a 60° C em estufa com circulação de ar forçada, até atingirem massa constante, para determinação da massa seca e análise do teor de potássio por digestão ácida a quente (MALAVOLTA et al., 1997). As outras seis plantas foram congeladas em nitrogênio líquido para avaliação das enzimas peroxidase (POD) e polifenol oxidase (PFO) e proteínas totais.

Para a determinação de peroxidase (POD), amostras de tecido congelado foram pesadas e homogeneizadas em homogeneizador Pottern Elvehjem em 5 mL de tampão fosfato de potássio 0,2 mol L<sup>-1</sup>, pH 6,7 e centrifugadas a 10.000 rpm, por cinco minutos a 4° C, obtendo-se dessa maneira o extrato bruto. A atividade da enzima peroxidase foi determinada de acordo com o método de Lima (1994): o sistema da reação continha 1,0 mL do extrato enzimático (extrato bruto), 0,5 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30%), 0,5 mL de solução de diclorofenol e aminoantipirina (163 mg de diclorofenol + 81,3 mg de aminoantipirina em 100 mL de H<sub>2</sub>O).

Os tubos foram mantidos em banho-maria a 30° C por cinco minutos, sendo a reação interrompida pela adição de 2 mL de etanol absoluto. Procedeu-se a leitura de absorbância, imediatamente, em espectrofotômetro a 505 nm. A atividade da peroxidase foi expressa em µmol de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> decomposto g<sup>-1</sup> de matéria fresca minuto<sup>-1</sup>, utilizando-se a fórmula  $A = L.VT/6,58.T$ , onde: A = atividade da peroxidase; L = leitura; VT = volume

total de reação (2 mL); T = tempo de reação (5 minutos); 6,58 = absorvidade molar do composto colorido.

Para determinação de polifenol oxidase (PPO) amostras de tecido congelado foram pesadas e homogeneizadas em homogeneizador Potter Elvehjem em 5 mL de tampão fosfato de potássio 0,05 M, pH 6,0 e centrifugadas a 12.500 rpm por cinco minutos a 4°C, obtendo-se dessa maneira o extrato bruto. A atividade de polifenol oxidase foi determinada de acordo com o método de Cano et al. (1997). A amostra de 0,3 mL do extrato bruto foi adicionado 1,85 mL de tampão fosfato 0,1 mol L<sup>-1</sup> (pH 6,0) e 0,05 mL de catecol 0,1 mol L<sup>-1</sup>. A mistura foi incubada por trinta minutos em banho-maria a 30°C. Interrompeu-se a reação pela adição de 0,7 mL de ácido sulfúrico 5%. Realizou-se a leitura de absorvância em espectrofotômetro a 395 nm. A atividade enzimática foi expressa em  $\Delta A_{395}$  mg de matéria fresca minuto<sup>-1</sup>.

Quanto à análise de proteínas totais (N x 6,25), amostras para determinação do teor de nitrogênio total foram retiradas de folhas de escarola secas e este determinado pela destruição da matéria orgânica, em balão de micro Kjeldahl e destilação em aparelho de "kirk", seguida da determinação volumétrica segundo as normas da A.O.A.C. (1995).

Todos os resultados foram submetidos à análise da variância utilizando o programa estatístico SAS (SAS Institute, 2001), sendo posteriormente aplicada à análise de regressão com o melhor ajuste do modelo matemático para os fatores com significância de 5%.

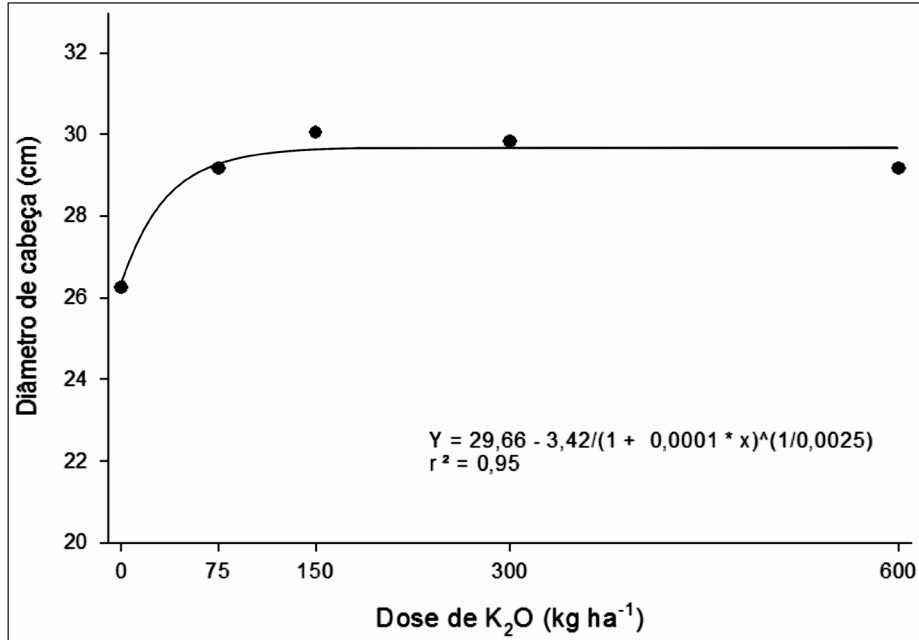
## **Resultados e Discussão**

Uma das variáveis influenciadas pelo potássio foi o diâmetro médio de folha das plantas, também chamado de diâmetro de cabeça para as espécies olerícolas. No presente estudo constatou-se a influência do K neste parâmetro, sendo que os maiores diâmetros foram observados quando utilizada a adubação recomendada para escarola (RAIJ et al., 1996), ou seja, 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Figura 1). A curva de ajuste para esses dados mostrou resposta mais expressiva até em torno de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, mantendo-se constante para maiores doses.

Mota et al. (2001), verificaram que o tamanho da cabeça de alface para as redes de fast food é de grande importância, pois toda a produção é fatiada mecanicamente, sendo ideal que tenha o maior tamanho possível. Silva Júnior (1987) observou que tanto nos estádios iniciais quanto nos estádios finais da cultura do repolho, a dose de potássio influi na formação de cabeças mais firmes e bem fechadas, com maior compactidade. Essa é uma característica desejável também para a alface americana.

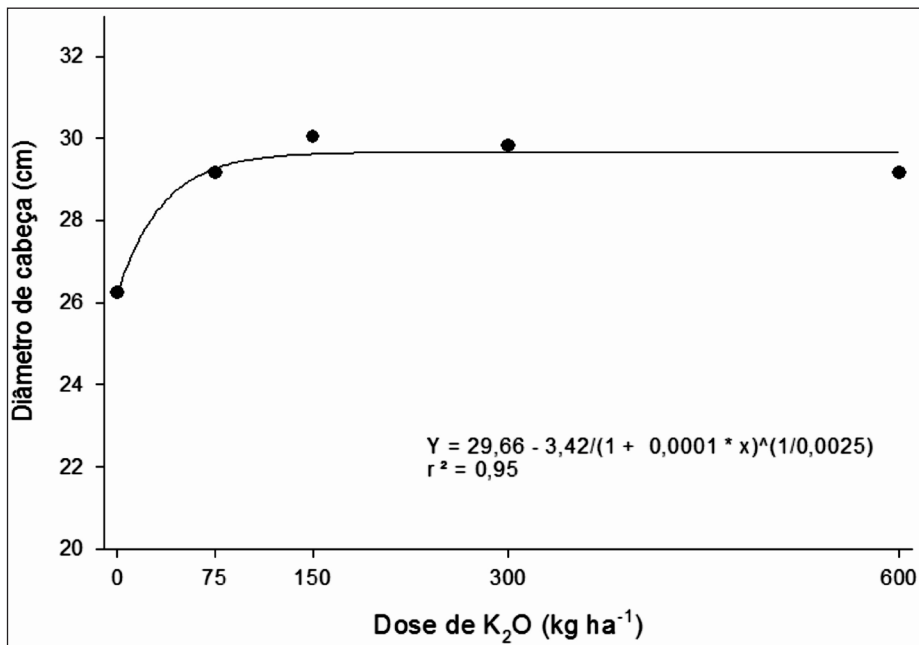
A produção de massa fresca da escarola mostrou uma ascensão rápida até 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, sendo que acima desta não houve aumento expressivo (Figura 2). Quanto à massa seca, tanto os dados como a curva ajustada mostraram aumento até a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Figura 3). Porém, uma análise econômica, a qual não foi efetuada no trabalho, poderia indicar se haveria retorno econômico no uso de doses tão altas.

**Figura 1.** Diâmetro médio de cabeça de escarola em função de doses de potássio



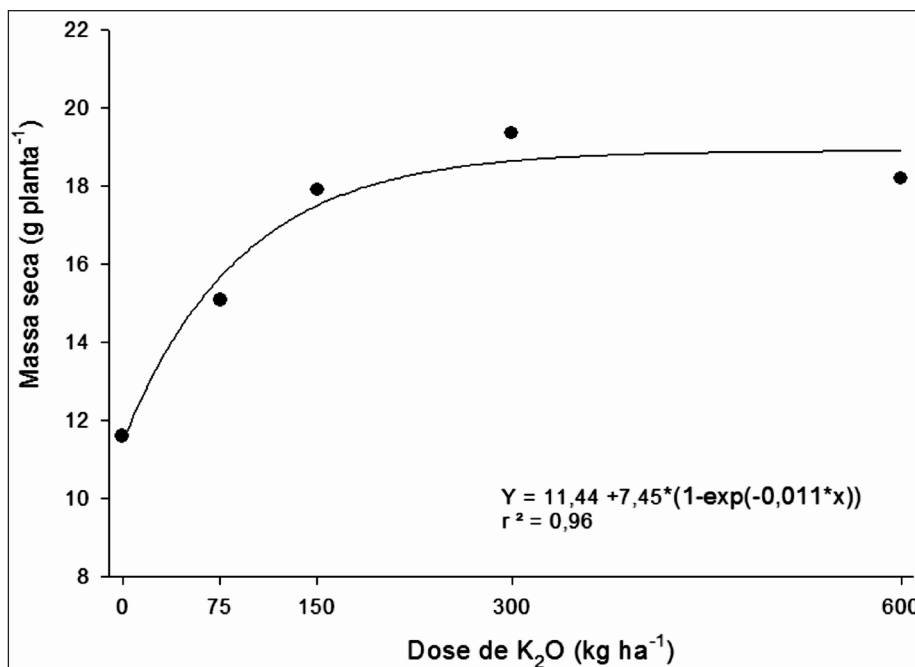
Fonte: Os autores

**Figura 2.** Produção de massa fresca de escarola com a aplicação de doses de potássio



Fonte: Os autores

**Figura 3.** Produção de massa seca de escarola com a aplicação de doses de potássio



Fonte: Os autores

Os resultados observados para produção de massa fresca e seca mostram que as plantas não responderam com crescimento indefinido à aplicação de doses crescentes de nutrientes, o que dependerá de um balanço interno e, principalmente, dos processos fisiológicos envolvidos na incorporação dos mesmos na fitomassa. A literatura registra que quando o potássio é fornecido em abundância ocorre um “consumo de luxo”, o que pode interferir na absorção de outros nutrientes, como o cálcio e o magnésio, principalmente (MARSCHNER, 1995). Ressalta-se, também, que o desbalanço de nutrientes no tecido poderá favorecer o desenvolvimento de doenças fúngicas e causar desordens fisiológicas às plantas.

A adubação potássica pode não elevar o rendimento das culturas, diferente da nitrogenada, cujos relatos

quase sempre se referem ao aumento de produção (NICOULAUD et al., 1990). Em alface, Sousa (2000) observou que no cultivar Tainá a adubação potássica não apresentou acréscimo de produção, provavelmente devido ao fato do experimento ter sido conduzido num solo com alto teor deste elemento (4,3 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>3</sup>). Por outro lado, Mota et al. (2001) observaram resposta do cultivar Lorca e verificaram que a dose de 113,8 kg ha<sup>-1</sup> de KCl (68,4 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) proporcionou maior produção total e comercial. No entanto, doses acima de 200 kg ha<sup>-1</sup> (120 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) foram prejudiciais à produção num solo com 1,07 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

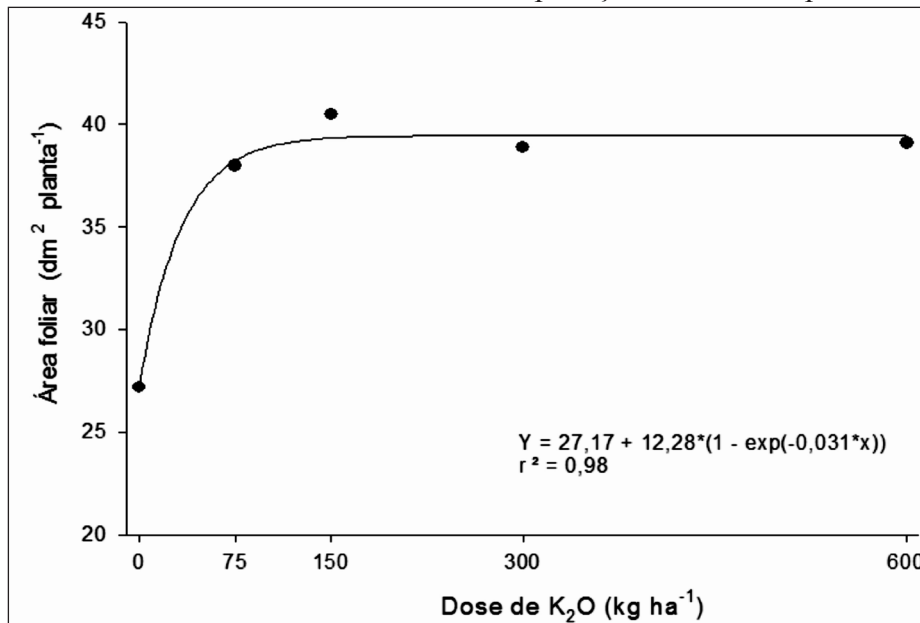
A área foliar apresentou comportamento semelhante à massa fresca, ou seja, houve incremento até a dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, no

entanto o aumento mais significativo foi até  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , com pouco incremento na produção para doses superiores a essa (Figura 4). A área foliar foi bastante expressiva, em termos absolutos, chegando a atingir mais de  $40 \text{ dm}^2$  por planta.

vezes maior que a de nitrogênio, o que caracterizaria o “consumo de luxo” deste nutriente pelas plantas.

O crescimento e desenvolvimento normal de plantas pode ser obtido com limites de potássio no tecido entre 2 e 5% da matéria seca na parte vegetativa, para

**Figura 4.** Área foliar total de escarola com a aplicação de doses de potássio



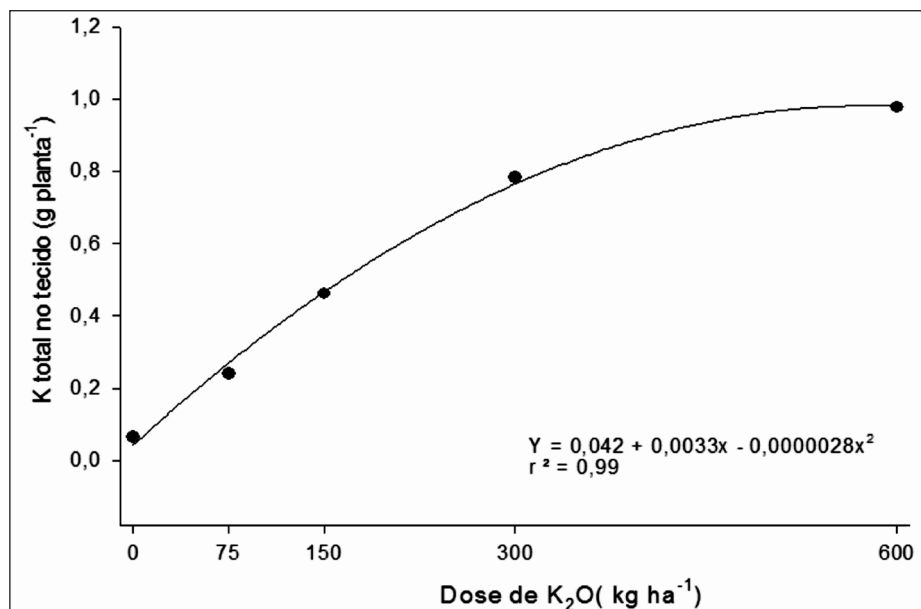
Fonte: Os autores

Os dados de acúmulo de potássio no tecido mostraram haver “consumo de luxo” deste nutriente nas maiores doses (Figura 5), pois as produções de massa fresca e seca incrementaram somente até as doses de  $150$  e  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente, enquanto que o K acumulado no tecido incrementou significativamente até quase  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Tal situação pode ter provocado desbalanço de nutrientes no tecido, diminuindo a resposta em produção de massa pelas maiores doses de  $\text{K}_2\text{O}$ . Segundo Padilha (1998), quando o solo apresenta elevado teor de potássio, sua absorção pelas plantas pode ser até quatro

a maioria das culturas (MARSCHNER, 1995). O autor cita também que quando o potássio está deficiente, o crescimento é retardado e a retranslocação de K é aumentada das folhas velhas e caules, para suprir as partes novas. Assim, os sintomas de deficiência são notados nas partes velhas da planta que se tornam cloróticas e necróticas sob carência severa.

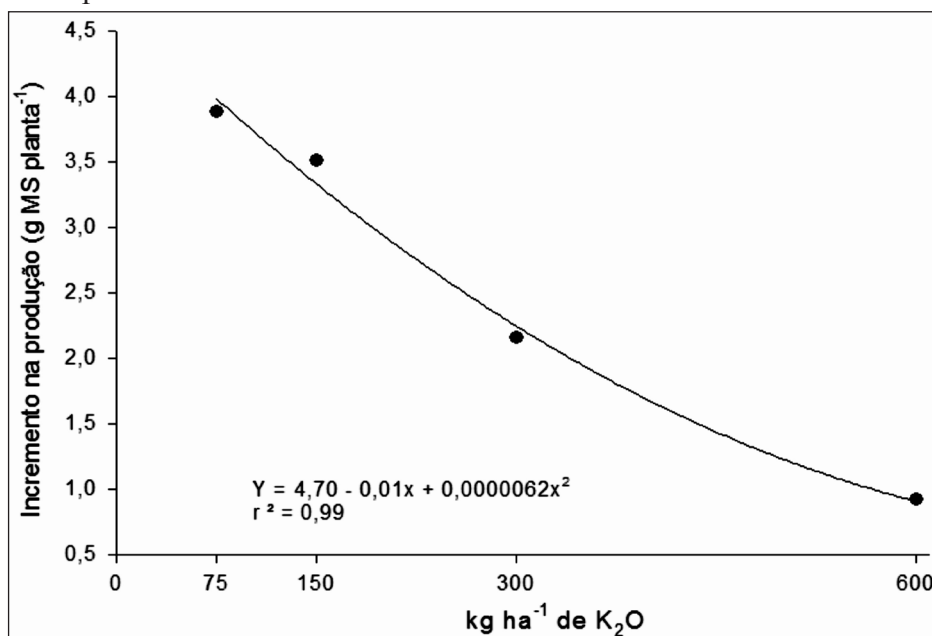
Estudos como estes demonstram a melhor eficiência no incremento de produção de massa pelas culturas quando se aplica o potássio. Como é apresentado na figura 6, as doses mais eficientes foram as menores, chegando a produzir

**Figura 5.** Potássio total acumulado no tecido de escarola com a aplicação de doses de potássio



Fonte: Os autores

**Figura 6.** Incremento na produção de matéria seca pela escarola (g de matéria seca produzida por g de K<sub>2</sub>O aplicado pl<sup>-1</sup>) com a aplicação de doses de potássio



Fonte: Os autores

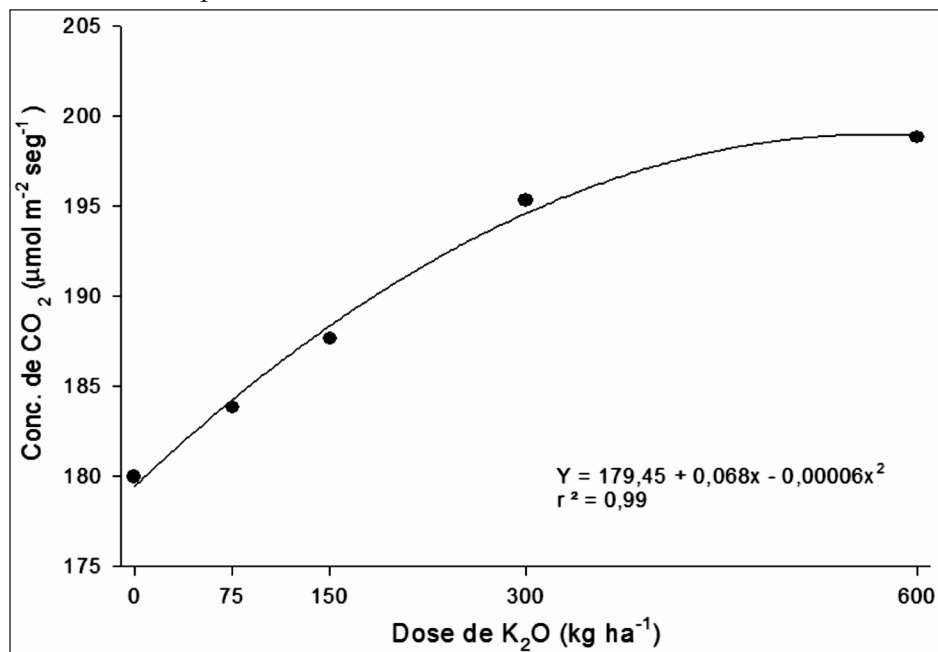
em torno de 4,0 g de massa seca por g de  $K_2O$  aplicado por planta, com menor resposta nas doses maiores.

A concentração interna de  $CO_2$ , determinada com aparelho medidor de fotossíntese, mostrou ser incrementada com o aumento da dose de  $K_2O$  (Figura 7). No entanto, essa concentração pode não representar acréscimo na assimilação líquida de carbono e/ou posterior conversão em carboidratos, pois como apresentado na figura 8, a taxa fotossintética por planta, levando em consideração a sua área foliar, aumentou até a dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , com posterior diminuição acentuada (não se ajustou a curvas de comportamento). Isso é uma provável explicação do porquê de não ter havido acréscimo na produção de massa fresca com doses superiores a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ .

A oxidação de compostos fenólicos à ortoquinonas pela ação de uma ou múltiplas enzimas levam ao escurecimento enzimático. Plantas deficientes em potássio podem acumular putrescina em nível tóxico e resultar no aparecimento de manchas necróticas nas folhas, devido à oxidação enzimática de compostos fenólicos pelas enzimas peroxidase e polifenoloxidase (FOX, 1991). Na figura 9 fica clara a ação de doses elevadas de K na inibição da enzima peroxidase, com diminuição em, aproximadamente, 40% da atividade dessa enzima com a aplicação de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , em relação às doses menores, cuja atividade foi bastante semelhante entre elas.

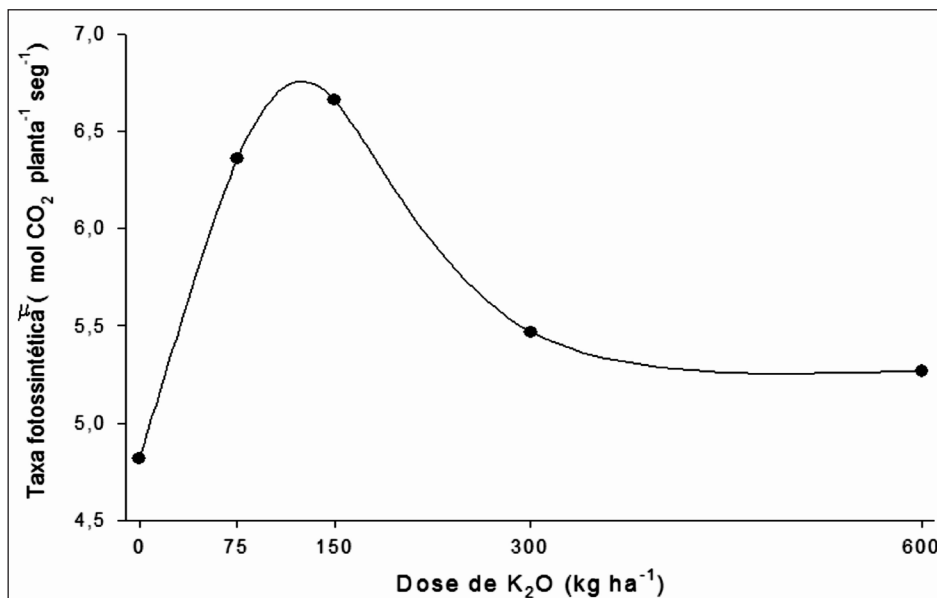
A polifenol oxidase pode atuar como catalisador na hidroxilação de monofenóis à ortodihidroxifenóis e na oxidação

**Figura 7.** Concentração interna de  $CO_2$  nas folhas de escarola com a aplicação de doses de potássio



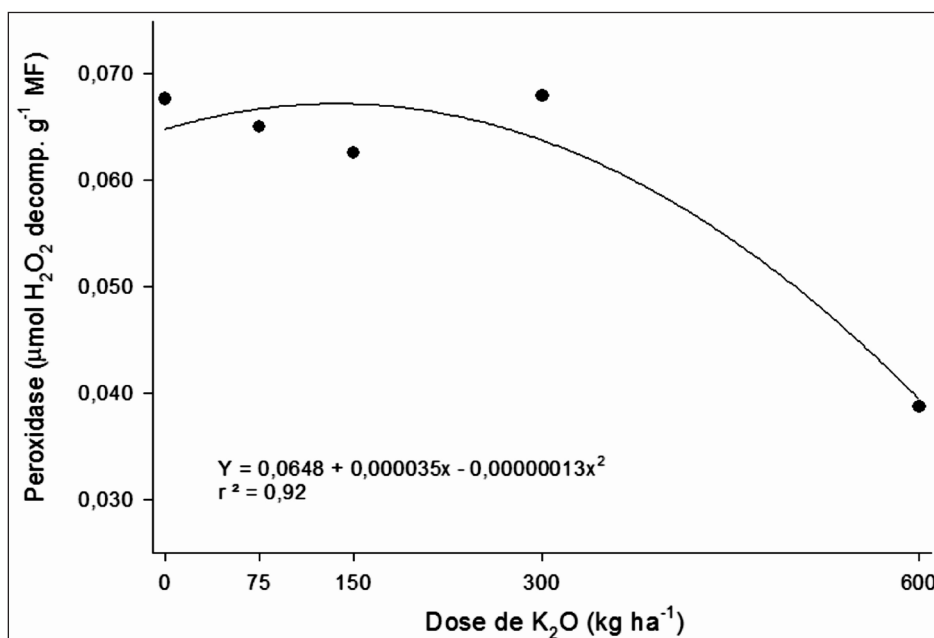
Fonte: Os autores

**Figura 8.** Taxa fotossintética de CO<sub>2</sub> por planta de escarola, de acordo com a área foliar e com a aplicação de doses de potássio



Fonte: Os autores

**Figura 9.** Atividade da enzima peroxidase na massa fresca visando a qualidade pós-colheita de escarola, com a aplicação de doses de potássio



Fonte: Os autores

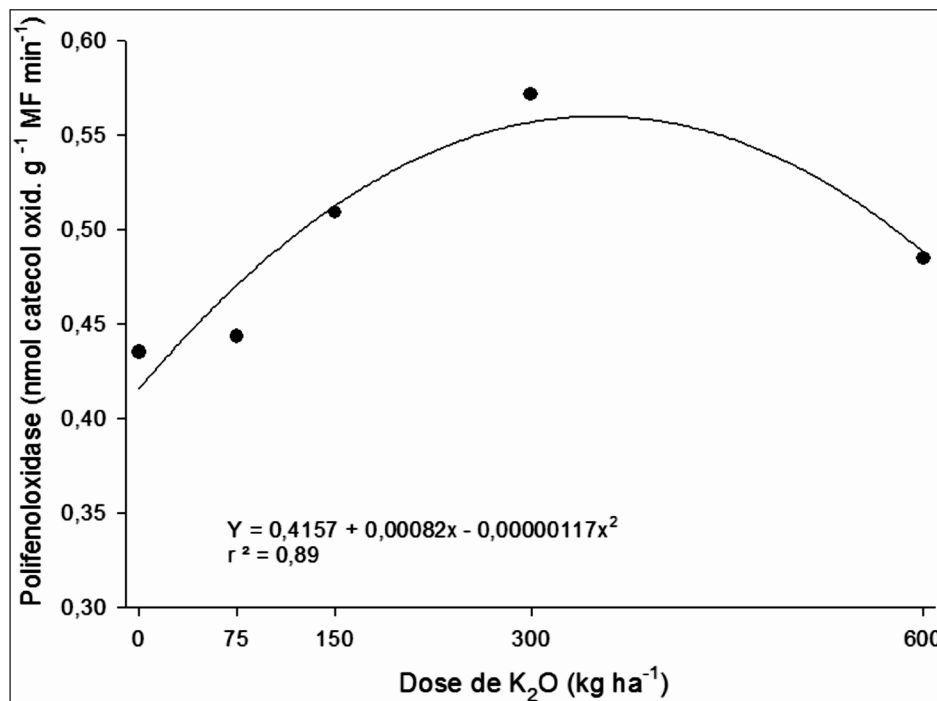
de ortodihidroxifenóis à ortoquinonas, ambas envolvendo compostos fenólicos e oxigênio molecular (ALMEIDA, 1991). Amorim e Silva (1968) afirmam que as enzimas polifenol oxidases atuam nos polifenóis, diminuindo sua ação antioxidante sobre os aldeídos e facilitando sua oxidação enquanto se produzem quinonas, substâncias que, por sua vez, inibem a ação das polifenol oxidases. O escurecimento do fruto de diferentes cultivares de uva tem sido registrado tanto na presença como na ausência de atividade desta enzima (ROMEYER et al., 1986), que é influenciada pelo estágio de desenvolvimento e pelas condições ambientais (VALERO et al., 1989).

A atividade da polifenol oxidase aumentou até a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O,

com posterior diminuição para maiores doses (Figura 10). O que provavelmente ocorreu em função da inibição desta enzima pelo excesso de K interno na planta, ocasionada por um desbalanço fisiológico. No entanto, nenhuma dessas enzimas limitou a produção de escarola, já que nas doses de K em que o diâmetro de cabeça, a área foliar e a produção de massa seca e fresca foram máximas, ou seja, de 150 a 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, a atividade dessas enzimas também foi elevada.

Segundo Faquin (1994), o potássio é requerido para a síntese protéica em plantas que, quando deficientes nesse nutriente, apresentam menor acúmulo de compostos nitrogenados. Porém, o excesso de potássio em hortaliças ocasiona um desequilíbrio na nutrição das

**Figura 10.** Atividade da enzima polifenol oxidase na massa fresca visando a qualidade pós-colheita de escarola, com a aplicação de doses de potássio



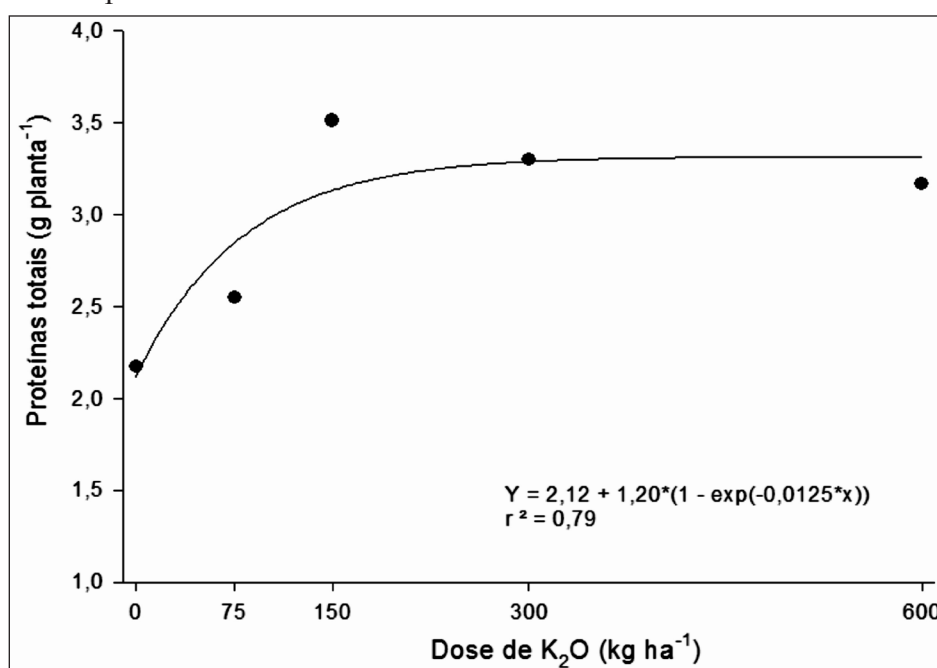
Fonte: Os autores

mesmas, dificultando a absorção de cálcio e magnésio, e conseqüentemente afetando todo o metabolismo. A síntese de proteínas totais nas plantas respondeu positivamente ao aumento da adubação potássica, até a dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, a partir da qual houve estabilização, como pode ser visto na Figura 11.

## Conclusões

De maneira geral, a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, correspondente à dose recomendada pelos boletins de adubação para a escarola, resultou em máxima produção e melhor qualidade pós-colheita, não respondendo a doses mais elevadas.

**Figura 11.** Proteínas totais no tecido de escarola com a aplicação de doses de potássio



Fonte: Os autores

## Referências

ALMEIDA, M. E. M. *Estudo de interações entre o emprego de compostos químicos com o tratamento térmico no controle da atividade da polifenoloxidase em frutos e hortaliças*. 1991. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós-ESALQ, Piracicaba.

AMORIM, H. F.; SILVA, O. M. Relationship between the polyphenol oxidase activity of coffee beans and the quality of the beverage. *Nature*, London, v.219, p.381-382, 1968.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS-AOAC. *Official methods of analysis of AOAC international*. CUNIFF, P. (Ed) 16 ed., v.1, Arlington, Virginia. cap.3, p.24, 1995.

- ARAÚJO, J. M. A. *Química de alimentos: teoria e prática*. Viçosa: UFV, 1995. 335p.
- CAMARGO, L. S. *As hortaliças e seu cultivo*. Campinas: Fundação Cargill, 1981. 321p.
- CANO, M. P.; HERMANDEZ, A.; ANCOS, B. High pressure and temperature effects on enzyme inactivation in strawberry and orange products. *Journal of Food Science*, v.62, n.1, p.85-88. 1997.
- CROCOMO, O. J.; BASSO, L. C. Accumulation of putrescine and related aminoacids in potassium deficient *Sesamum*. *Phytochemistry*, v.13, p.2659-2665, 1974.
- CROCOMO, O. J.; CATTINI, M. A.; ZAGO, E. A. Acúmulo de aminas e aminoácidos em relação ao nível de potássio em folhas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v.17, n.1, p.93-102, 1974.
- EPSTEIN, E. *Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 412 p.
- EVANS, P. T.; MALMBERG, R. L. Do polyamines have roles in plant development? *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, v. 40, p.235-265, 1989.
- FAQUIM, V. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: Esal-Faepe, 1994. 227 p.
- FILGUEIRA, F. A. R. Asteráceas. In: *Manual de Olericultura*. 3. ed. Viçosa: UFV, p.289-295. 2000.
- FOX, P. F. (ed). *Food enzymology*. London: Elsevier, v.2, 1991. 378 p.
- GALSTON, A. W.; KAUR-SAWHNEY, R. Polyamines in plant physiology. *Plant Physiology*, v.94, n.2, p.406-410, 1990.
- LIMA, G. P. P. *Efeito do cálcio sobre o teor de poliamidas, peroxidase e nitrato redutase em calos de arroz (Oryza sativa L. cv IAC 4440)*. 1994. 84 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.
- MAKI, H.; ANDO, S.; KODAMA, H.; KOMAMINE, A. Polyamines and the cell cycle of *Catharanthus roseus* cells in culture. *Journal of Plant Physiology*, v.96, n.4, p.1008-1013, 1991.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2. ed. London, Academic Press, 1995. 889 p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. *Principles of plant nutrition*. 4. ed. International Potash Institute, 1987. 687 p.

MOTA, J. H.; SOUZA, R. J.; SILVA, E. C.; CARVALHO, J. G.; YURI, J. E. Efeito do cloreto de potássio via fertirrigação na produção de alface-americana em cultivo protegido. *Ciência e agrotecnologia*. Lavras, v.25, n.3, p.542-549, 2001.

NICOULAUD, B. A. L., MEURER, E. J., ANGHINONI, I. Rendimento e absorção de nutrientes por alface em função de calagem e adubação mineral e orgânica em solo "Areia quartzosa hidromórfica". *Horticultura Brasileira*, v.8, n.2, p.6-9, 1990.

PADILHA, W. A. *Curso internacional de fertirrigacion en cultivos protegidos*. Quito: Ecuador, 1998. 120 p.

PERRENOUD, S. *Potassium and plant health*. Bern: International Potash Institute, 1977. 218 p.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (eds.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo* (2. ed.). Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285 p.

RICHARDS, F. J.; COLEMAN, R. G. Occurrence of putrescine in potassium deficient barley. *Nature*, v.170, n.4324, p.460, 1952.

ROMEYER, F. M.; MACHEIX, J. J.; SAPIS, J. C. Changes and importance of oligomeric procyanidins during maturation of grape seeds. *Phytochemistry*, Cambridge, Grã Bretanha, v.25, n.1, p.219-221, 1986.

SAS Institute. *SAS user's guide: Statistics*, Ver 8.2; Cary, NC. 2001.

SILVA JUNIOR, A. A. Adubacao mineral e organica em repolho (*Brassica oleracea capitata*). II. Concentracao de Nutrientes Na Folha e Precocidade. *Horticultura Brasileira*, v.5, n.1, p.15-17, 1987..

SMITH, T. A. Polyamines. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, v.36, p.117-143, 1985.

SOUSA, L. M. A. *Manejo da fertirrigação potássica na cultura da alface* (*Lactuca sativa* L.) americana. 2000. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. 2.ed. Sunderland: Sinauer Associates, 1998. 792p.

VALERO, E.; SÁNCHEZ-FERRER, A.; VARÓN, R.; GARCÍA-CARMONA, F. Evolution of grape polyphenol oxidase activity and phenolic content during maturation nad vinification. *Vitis*, Landau, v.28, n.2, p.85-95, 1989.

WHITEHEAD, C. S.; SWARDT, G. H. Extraction and senescing leaves of *Protea erifolia*. *South African Journal of Botany*, Pretória, v.1, p.127-130, 1982.

Z Aidan, H. A.; BROETTO, F.; OLIVEIRA, E.; GALLO, L. A.; CROCOMO, O. T. Influence of potassium nutrition and the nitrate/ammonium ratio on the putrescine and spermidine contents in banana vitroplants. *Journal of Plant Nutrition*, v.22, n.7, p.1123-1140, 1999.