

<http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2015v43n4p427-435>

Uso de calcário na amenização da toxidez de cobre em videiras jovens

Use of limestone in alleviating toxicity of copper in young vines

Paula Duarte de OLIVEIRA¹; Vítor Gabriel AMBROSINI²; George Wellington Bastos de MELO³; Jovani ZALAMENA⁴; Gustavo BRUNETTO⁵

¹ Eng. Agrônoma; Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); poulduarte@hotmail.com

² Eng. Agrônomo; Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas; Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); vgambrosini@gmail.com

³ Eng. Agrônomo; Doutor em Ciência do Solo; Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Uva e Vinho); wellington.melo@embrapa.br

⁴ Eng. Agrônomo; Doutor em Manejo do Solo; Pós-Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo; Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); jovanzalamena@yahoo.com.br

⁵ Autor para correspondência; Eng. Agrônomo; Doutor em Ciência do Solo; Professor Adjunto no Departamento de Solos; Centro de Ciências Rurais; UFSM. Av. Roraima, 1000, Camobi, CEP: 97105-340, Santa Maria – RS, Brasil. Telefone: (55) 3220-8108. brunetto.gustavo@gmail.com

Recebido em: 25-09-2014; Aceito em: 24-06-2015

Resumo

A aplicação de calcário pode diminuir a toxidez de Cu em videiras jovens. O trabalho objetivou avaliar o efeito da calagem em solos com adição de Cu como estratégia de amenizar a toxidez do metal pesado em videiras jovens. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando solo coletado em uma área sem histórico de cultivo. O solo foi dividido em três porções iguais, que receberam doses de calcário correspondentes a 0, 12,6 e 25,2 Mg ha⁻¹. Após 45 dias de incubação, o solo recebeu doses crescentes de Cu: 0, 50, 100, 200 e 300 mg kg⁻¹ de solo, aplicadas na forma de sulfato de Cu. Posteriormente, o solo foi incubado novamente por 45 dias. Em vasos contendo três quilogramas de solo, foram transplantadas estacas de videira 'Niágara Rosada'. Após 103 dias de cultivo, os ramos das videiras foram podados e descartados. Aos 46 dias após a primeira poda, foram determinadas as clorofilas *a* e *b* (Índice de Clorofila Falker – ICF). O cultivo foi finalizado aos 77 dias após a primeira poda, quando foi determinada a área foliar e foi coletado material vegetal para a determinação da matéria seca (MS) de raízes e da parte aérea, e o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e Cu em cada parte. O aumento das doses de Cu reduziu a MS de raízes e da parte aérea, a área foliar, as clorofilas *a* e *b* (ICF) e a absorção de todos os nutrientes nas videiras jovens. A calagem minimizou os efeitos causados pelo excesso de Cu.

Palavras-chave adicionais: absorção de nutrientes; calagem; metal pesado; *Vitis* sp.

Abstract

Liming can reduce the toxicity of Cu in young vines. The study aimed to evaluate the effect of liming on soils with addition of Cu, as strategy to mitigate the toxicity of heavy metal in young vines. The experiment was conducted in a greenhouse using soil collected in area without history of cultivation. The soil was divided into three equal portions, which received doses of lime corresponding to 0, 12.6 and 25.2 Mg ha⁻¹. After 45 days of incubation, the soil has received increasing doses of Cu: 0, 50, 100, 200 and 300 mg kg⁻¹, as a Cu sulfate. Subsequently, the soil was incubated again for 45 days. In pots containing three kilograms of soil, vine cuttings of 'Niagara Rosada' were transplanted. After 103 days of cultivation, the branches of the vines were pruned and discarded. 46 days after the first pruning, were determined chlorophyll *a* and *b* (Falker Chlorophyll Index – FCI). The cultivation was finished at 77 days after the first pruning, when it was determined the leaf area and plant material was collected for determination of dry matter (DM) of roots and shoots, and the accumulation of N, P, K, Ca, Mg and Cu in each part. Increasing doses of Cu reduced the dry matter of roots and shoots, leaf area, chlorophylls *a* and *b* (FCI) and uptake of all nutrients in young vines. Liming minimized the effects caused by Cu excess.

Additional keywords: nutrients uptake; liming; heavy metal; *Vitis* sp.

Introdução

As frequentes aplicações de fungicidas e caldas à base de Cu para o controle de doenças fúngicas em videiras (*Vitis* sp.) em produção podem causar o acúmulo desse metal pesado no solo ao

longo dos anos, principalmente na fração orgânica (Nogueirol et al., 2010; Ruyters et al., 2013; Brunetto et al., 2014a, 2014b). Com o decréscimo da produtividade de uva, os vinhedos mais antigos em produção são erradicados e, em seguida, o solo é revolvido para um novo transplante de videiras

jovens. Como consequência, a oxidação da matéria orgânica é potencializada, aumentando a disponibilidade de Cu que, apesar de ser um micronutriente essencial às plantas, pode ser incrementado no solo a teores que podem ser tóxicos (Chen et al., 2013; Juang et al., 2014).

As plantas expostas ao alto teor de Cu podem apresentar redução da concentração de clorofilas e da taxa fotossintética, causadas indiretamente por alguns fatores como: destruição da estrutura interna dos cloroplastos e as modificações na composição das membranas dos tilacoides (Borghi et al., 2007), inibição de enzimas responsáveis pela biossíntese da clorofila (Zengin & Munzuroglu, 2005) e danos no aparato fotossintético pelo efeito do Cu na cadeia de transporte de elétrons (Cambrollé et al., 2013).

O excesso de Cu no solo também pode causar restrição ao crescimento radicular, danos na cutícula e rachaduras nas raízes, inibindo a absorção de água e de nutrientes pelas raízes (Sheldon & Menzies, 2005; Michaud et al., 2008; Kopittke et al., 2009; Chen et al., 2013). Como consequência, o alto teor de Cu no solo pode prejudicar o incremento da matéria seca das videiras jovens, retardando seu crescimento.

Os efeitos tóxicos do excesso de Cu em videiras jovens transplantadas em solos com altos teores do metal pesado, no entanto, podem ser minimizados com a adição de calcário, que promove o aumento do valor de pH e da capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva) do solo (Joris et al., 2012). A elevação do pH pela aplicação de calcário aumenta a disponibilidade dos macronutrientes no solo (Sousa et al., 2007) e reduz a disponibilidade do Cu às plantas, uma vez que parte do elemento pode ser adsorvido aos grupos funcionais de superfície de partículas reativas e outra parte pode ser precipitada na solução (Agbenin & Olojo, 2004; Joris et al., 2012). Ainda, o Ca e o Mg derivados do calcário podem competir com o Cu pelos sítios de adsorção da superfície das raízes, reduzindo a absorção do metal pesado pela planta (Luo et al., 2008; Kopittke et al., 2011). Portanto, a prática da calagem pode ser uma importante estratégia para reduzir os efeitos tóxicos do Cu para as videiras jovens. No entanto, não é suficientemente conhecida qual a melhor dose de calcário a ser aplicada e, conseqüentemente, o valor de pH do solo que pode minimizar a toxidez do Cu em videiras jovens cultivadas em solo de textura arenosa.

O trabalho objetivou avaliar o efeito da calagem em solos com a adição de Cu como estratégia de amenizar a toxidez do metal pesado em videiras jovens.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de agosto de 2012 a fevereiro de 2013, utilizando um Argissolo Vermelho (Embrapa, 2013) coletado em área de campo natural sem histórico de cultivo, no município de Farroupilha - RS. Após a

coleta, o solo foi seco ao ar, passado em peneira com malha de 2 mm e submetido à análise química para a determinação das características iniciais, que eram: argila 530 g kg⁻¹; matéria orgânica do solo 28 g kg⁻¹; pH em água (1:1) 4,3; Índice SMP 4,4; Al, Ca e Mg trocáveis, 6,79; 0,28 e 0,31 cmol_c dm⁻³, respectivamente (ambos extraídos por KCl 1 mol L⁻¹); P disponível 3,1 mg dm⁻³, K trocável 31,0 mg dm⁻³ e Cu disponível 0,8 mg dm⁻³ (ambos extraídos por Mehlich 1) (Tedesco et al., 1995).

O solo foi submetido à aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 90 kg ha⁻¹ de K₂O para elevar os teores até o nível de suficiência (CQFS-RS/SC, 2004) e, em seguida, foi dividido em três porções iguais. A fonte de K foi o cloreto de potássio (KCl), e de P o superfosfato triplo (SFT). A primeira porção foi mantida sem calagem; na segunda porção, foi aplicado o correspondente a 12,6 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 85,7%), correspondente a 1 SMP; na terceira porção do solo, foi adicionado o correspondente a 25,2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, equivalente a 2 SMP. O calcário foi adicionado sobre o solo e homogeneizado manualmente, até mistura total do solo com o calcário. A quantidade necessária de calcário para cada SMP foi estipulada de acordo com a equação proposta por Rodighero et al. (2012). Posteriormente, o solo sem a aplicação de calcário e com a aplicação equivalente a 1 e 2 SMP foi acondicionado em sacos de plástico, nos quais foi adicionada água para manter 80% da capacidade de campo. O solo permaneceu incubado durante 45 dias. Diariamente, cada porção do solo foi pesada e, quando necessário, foi adicionada água para manter a capacidade de campo a 80%.

Após a incubação, o solo foi submetido à adição de doses crescentes de Cu: 0, 50, 100, 200 e 300 mg kg⁻¹ de solo seco. Estas doses de Cu foram adicionadas porque, em estudos preliminares, observou-se que videiras cultivadas em solos com doses de Cu próximas a 100 mg kg⁻¹, normalmente, apresentaram menor produção de matéria seca da parte aérea e das raízes. Por isso, foram criadas doses abaixo e acima do valor. A fonte de Cu foi o sulfato de Cu, aplicado sobre o solo, homogeneizado, submetido à adição de água para elevar a capacidade de campo até 80% e incubado por mais 45 dias. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com três repetições, em arranjo fatorial 3 x 5 (doses de calcário x doses de Cu).

Após as duas incubações, foi coletado solo para determinar os valores de pH do solo obtidos com as doses de calcário aplicadas. O valor de pH em água (relação 1:1) do solo foi de 4,0 no solo sem a adição de calcário; 5,5 no solo com a adição de 12,6 Mg ha⁻¹ de calcário; e 6,7 no solo com adição de 25,2 Mg ha⁻¹ de calcário.

Três quilogramas de solo foram adicionados em vasos, que foram distribuídos sobre bancadas em casa de vegetação com controle de temperatura e umidade. Em 17 de agosto de 2012, foi transplantada

em cada vaso uma estaca de videira 'Niágara Rosada' com três gemas. No decorrer do experimento, realizou-se a poda, permanecendo apenas um broto por estaca, sendo o ramo tutorado verticalmente ao longo da condução do experimento. Os vasos foram trocados de posição nas bancadas, semanalmente, para minimizar a desuniformidade de iluminação. Ao longo do cultivo, foram aplicados 50 mg kg^{-1} de N em cada unidade experimental, divididos em duas vezes (2 de outubro e 28 de novembro de 2012). A fonte de N foi a ureia (44% de N), aplicada dissolvida em água. Diariamente, os vasos foram pesados e, quando necessário, foi adicionada água para manter a capacidade de campo a 80%.

Após 103 dias de cultivo, os ramos das videiras foram podados e descartados. Aos 46 dias após a primeira poda, foi mensurada a altura de cada planta, em cm, desde a inserção do ramo na estaca até à última folha desenvolvida, utilizando uma régua graduada. O teor de clorofila *a* e *b*, expresso como Índice de Clorofila Falker (ICF), foi determinado com o clorofilômetro CFL1030 da marca Falker, procedendo-se a uma leitura por planta no centro da terceira folha completa, contada de baixo para cima. Com os resultados dos teores de clorofila *a* e *b* (ICF), foram obtidas as relações de clorofila *a/b*.

Aos 77 dias após a primeira poda, a parte aérea das plantas foi cortada rente à superfície do solo com uma tesoura de poda. Em seguida, as folhas foram separadas dos ramos, e realizou-se a determinação da área foliar de cada planta com o medidor eletrônico LI-3100 Area Metter, marca LI-COR.

O solo de cada vaso foi retirado, e as raízes foram separadas e lavadas em água corrente, passadas em solução de HCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (permanecendo em contato com essa solução por, aproximadamente, 3 minutos), depois foram novamente lavadas em água corrente e, posteriormente, submetidas à lavagem com água destilada. Os ramos, as folhas e as raízes foram secos em estufa com circulação de ar forçado a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ até atingirem massa constante. O material vegetal seco foi moído e armazenado, e os teores totais de N, P, K, Ca, Mg e Cu foram determinados utilizando metodologia descrita pela Embrapa (1997). Para determinar o acúmulo de nutrientes nas raízes e na parte aérea da planta, multiplicou-se o teor do nutriente pela massa seca do órgão vegetal. O somatório do acúmulo do nutriente nas raízes e na parte aérea equivale ao acúmulo na planta inteira.

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de homocedasticidade e, posteriormente, à análise de variância. Quando a mesma foi significativa, aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as médias dos tratamentos com calagem dentro da mesma dose de Cu; e para os resultados entre as doses de Cu, dentro da mesma dose de calcário, foram aplicadas regressões polinomiais. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Sisvar 5.3 (Build 75) (Ferreira, 2011).

Resultados e discussão

A análise de variância revelou efeito de interação dos fatores Cu e calagem para todas as variáveis, exceto para clorofila *a* (ICF). Os resultados desta variável e o desdobramento da análise de variância das demais variáveis estão apresentados nas Tabelas 1–5.

A produção de matéria seca (MS) de raízes e a altura das plantas diminuíram de forma linear com o incremento do teor de Cu disponível no solo, nos tratamentos sem adição de calcário (Tabela 1). A redução relativa dessas variáveis foi de 80% na MS de raízes e de 72% na altura das plantas, quando comparados os resultados obtidos nos tratamentos com a maior e a menor dose adicionada no solo. A MS da parte aérea e a área foliar das videiras jovens no solo, sem a adição de calcário, de acordo com as análises de regressão, aumentaram aproximadamente até às doses de 100 e 109 mg kg^{-1} de Cu adicionado, nesta ordem; diminuindo, a partir daí, em 75 e 55%, respectivamente, até à maior dose aplicada (Tabela 1). Além disso, observa-se que a redução da produção de MS de raízes (80%) foi mais acentuada em relação à MS da parte aérea (75%).

Esses resultados corroboram com os de outros trabalhos realizados com diferentes cultivares de videiras jovens cultivadas com teores altos de Cu (Melo et al., 2008; Toselli et al., 2009; Chen et al., 2013; Juang et al.; 2014). A redução da produção de MS da parte aérea e das raízes, assim como da área foliar, é causada pela exposição do sistema radicular das plantas ao alto teor de Cu no solo, que pode danificar a cutícula e causar rachaduras nas raízes, provocando a má-formação, inibição do crescimento e da produção de biomassa das raízes (Sheldon & Menzies, 2005; Michaud et al., 2008; Juang et al.; 2014). Em função disso, a absorção de água e de nutrientes pelas raízes é prejudicada, causando também a redução da biomassa da parte aérea das plantas (Kopittke et al., 2009).

Com a adição de $12,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário, que elevou o valor de pH até 5,5, os efeitos do Cu não foram significativos sobre a MS de raízes e da área foliar, enquanto a MS da parte aérea e a altura das plantas aumentaram de forma quadrática, sendo o valor máximo obtido com doses de Cu aproximadas a 142 e 170 mg kg^{-1} , respectivamente (Tabela 1). A partir dessas doses de Cu, essas variáveis diminuíram. Apesar disso, com a maior dose de Cu aplicada no solo, a redução dessas variáveis foi menor que a daquelas observadas nos tratamentos sem a adição de calcário: com adição de $12,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário, a MS da parte aérea aumentou de 0,8 para 1,5 g, e a altura das plantas incrementou de 5,5 para 14,2 cm em relação ao mesmo tratamento sem a adição de calagem (Tabela 1).

Tabela 1 - Matéria seca das raízes e da parte aérea, altura da planta e área foliar de videiras jovens cultivadas em solo com doses crescentes de Cu e de calcário. *Dry matter of roots and shoots, plant height and leaf area of young vines grown in soil with increasing doses of Cu and limestone.*

Calcário (Mg ha ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)					Regressão	R ²
	0	50	100	200	300		
(1)Matéria seca das raízes (g)							
0,0	3,9 a	6,0 a	4,4 a	1,5 b	1,0 c	$\hat{y} = 5,27 - 0,014 x$	0,71**
12,6	3,1 b	2,1 b	3,4 a	3,9 a	3,3 a	–	ns
25,2	3,8 ab	1,7 b	1,6 c	0,8 b	1,9 b	$\hat{y} = 3,60 - 0,031 x + 0,00008 x^2$	0,90**
CV (%)	14,41						
(1)Matéria seca da parte aérea (g)							
0,0	1,4 a	2,7 a	2,2 a	1,4 b	0,8 b	$\hat{y} = 1,74 + 0,008 x - 0,00004 x^2$	0,68**
12,6	1,7 a	2,0 b	2,8 a	2,9 a	1,5 a	$\hat{y} = 1,55 + 0,017 x - 0,00006 x^2$	0,90**
25,2	1,8 a	0,6 c	1,1 b	0,3 c	2,1 a	$\hat{y} = 1,73 - 0,018 x + 0,00006 x^2$	0,74**
CV (%)	20,25						
(1)Altura da planta (cm)							
0,0	23,9 a	21,4 a	18,7 a	14,3 b	5,5 b	$\hat{y} = 24,47 - 0,059 x$	0,98**
12,6	16,9 b	13,0 b	19,5 a	29,5 a	14,2 a	$\hat{y} = 12,62 + 0,136 x - 0,0004 x^2$	0,44**
25,2	15,2 b	7,5 c	12,7 b	3,0 c	17,5 a	$\hat{y} = 15,46 - 0,129 x + 0,0004 x^2$	0,57**
CV (%)	17,55						
(1)Área foliar (cm ²)							
0,0	250,7 b	352,8 a	308,1 a	269,1 b	124,4 c	$\hat{y} = 270,26 + 1,09 x - 0,005 x^2$	0,92**
12,6	284,2 ab	267,4 a	257,0 ab	399,2 a	233,1 b	–	ns
25,2	346,2 a	104,5 b	168,5 b	80,3 c	396,1 a	$\hat{y} = 326,56 - 3,63 x + 0,012 x^2$	0,85**
CV (%)	18,15						

ns – não significativo; * – significativo a p<0,05; ** – significativo a p<0,01; (1)Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

No solo com a adição de 25,2 Mg ha⁻¹ de calcário, que elevou o valor de pH ao final da incubação até 6,7, a MS de raízes e da parte aérea, a altura e a área foliar das videiras jovens diminuíram com o incremento da dose de Cu, mas de forma quadrática (Tabela 1). Apesar disso, a redução teve menos impacto nessas variáveis em relação ao solo sem a adição de calcário. Isso pode ser constatado pelo teste de separação de médias na dose de 300 mg kg⁻¹ de Cu, que mostrou incremento dessas variáveis com a adição do calcário (Tabela 1).

A amenização dos efeitos tóxicos do Cu pela calagem sobre as variáveis de crescimento das videiras jovens pode ser consequente do aumento da capacidade de troca de cátions, que pode aumentar a adsorção de Cu, diminuindo sua disponibilidade às plantas (Joris et al., 2012). Além disso, com a adição de calcário, ocorre o incremento de íons OH⁻ livres na solução, que podem complexar o Cu²⁺, formando precipitado (Agbenin & Olojo, 2004), o que diminui a quantidade absorvida pelas plantas e, por consequência, seu potencial de toxidez. A adição de Ca e Mg no solo pela calagem também pode ter contribuído para o crescimento das plantas, porque esses elementos competem com os íons de Cu²⁺ livres no solo pela adsorção na superfície das raízes, reduzindo a absorção do metal pesado, posteriormente (Luo et al., 2008; Kopittke et al., 2011), e também sua translocação das raízes para

a parte aérea (Juang et al.; 2012; Chen et al., 2013).

A clorofila a (ICF) nas folhas diminuiu com a adição de 25,2 Mg ha⁻¹ de calcário, em relação ao tratamento sem calagem, independentemente da dose de Cu aplicada (Tabela 2). Provavelmente, a redução na clorofila a (ICF) com o aumento da calagem está relacionada com a concomitante diminuição na produção de raízes nas menores doses de Cu (Tabela 1), o que inibe a absorção de água e de nutrientes – como o N, que teve sua absorção reduzida com a adição das menores doses de Cu (Tabelas 3, 4 e 5) (Li et al., 2013). O aumento das doses de Cu também reduziu a clorofila a (ICF), independentemente da dose de calcário (Tabela 2), o que pode ter acontecido, em parte, porque houve redução na absorção de N e Mg pelas videiras submetidas às doses 0 e 25,2 Mg ha⁻¹ de calcário (Tabelas 3, 4 e 5). O N é um nutriente essencial para a síntese da molécula de clorofila (Li et al., 2013); e o Mg, quando em situação de excesso de Cu, pode ser substituído pelo metal pesado na molécula de clorofila, inibindo a fotossíntese (Yruela, 2009). Além disso, o excesso de metais pesados no interior das plantas pode causar a inibição da atividade de enzimas, como, por exemplo, aquelas que atuam na biossíntese da clorofila, diminuindo sua concentração na planta (Zengin & Munzuroglu, 2005).

Tabela 2 - Clorofilas a e b (ICF) e relação clorofila a/b nas folhas de videiras jovens cultivadas em solo com doses crescentes de Cu e de calcário. *Chlorophyll a and b (FCI) and relation chlorophyll a/b in leaves of young vines grown in soil with increasing doses of Cu and limestone.*

Calcário (Mg ha ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)						Regressão	R ²	
	0	50	100	200	300	⁽²⁾ Média			
⁽¹⁾ Clorofila a (ICF)									
0,0	36,3 ^{ns}	35,7 ^{ns}	37,9 ^{ns}	36,0 ^{ns}	28,7 ^{ns}	34,9 a	–	ns	
12,6	30,9	36,2	34,7	33,6	34,0	33,9 ab	–	ns	
25,2	32,1	35,3	29,4	27,8	27,9	30,5 b	–	ns	
⁽¹⁾ Média	33,1	35,7	34,0	32,5	30,2		$\hat{y} = 34,83 - 0,013 x$	0,62 ^{**}	
CV (%)	11,67								
⁽²⁾ Clorofila b (ICF)									
0,0	14,5 a	11,9 a	12,9 a	12,6 a	6,7 b	-	$\hat{y} = 14,44 - 0,02 x$	0,71 ^{**}	
12,6	7,5 b	11,7 a	10,8 ab	8,5 b	10,2 a	-	–	ns	
25,2	12,3 a	11,4 a	8,4 b	6,5 b	7,0 b	-	$\hat{y} = 11,64 - 0,019 x$	0,79 ^{**}	
CV (%)	11,77								
⁽²⁾ Relação clorofila a/b									
0,0	2,5 b	3,1 a	2,9 a	2,9 b	4,3 a	-	$\hat{y} = 2,54 + 0,0045 x$	0,66 ^{**}	
12,6	4,3 a	3,1 a	3,2 a	4,0 a	3,3 b	-	–	ns	
25,2	2,6 b	3,1 a	3,5 a	4,3 a	4,0 ab	-	$\hat{y} = 2,88 + 0,0048 x$	0,76 ^{**}	
CV (%)	13,95								

ns – não significativo; * – significativo a p<0,05; ** – significativo a p<0,01; ⁽¹⁾Médias de cada fator apresentadas apenas para a variável Clorofila a (ICF), que não apresentou efeito de interação. ⁽²⁾Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tabela 3 - Valores de N, P, K, Ca, Mg e Cu acumulados nas raízes de videiras jovens cultivadas em solo com doses crescentes de Cu e de calcário. *Values of N, P, K, Ca, Mg and Cu accumulated in roots of young vines grown in soil with increasing doses of Cu and limestone.*

Calcário (Mg ha ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)						Regressão	R ²	
	0	50	100	200	300				
⁽¹⁾ Nitrogênio (mg planta ⁻¹)									
0,0	105,8 a	125,9 a	94,5 a	39,4 b	18,5 b		$\hat{y} = 123,33 - 0,358 x$	0,89 ^{**}	
12,6	80,2 b	43,8 b	90,3 a	101,8 a	66,7 a		–	ns	
25,2	85,1 ab	32,9 b	40,2 b	20,1 b	54,7 a		$\hat{y} = 78,87 - 0,71 x + 0,002 x^2$	0,83 ^{**}	
CV (%)	15,80								
⁽¹⁾ Fósforo (mg planta ⁻¹)									
0,0	2,6 a	3,6 a	3,1 a	1,5 b	0,7 b		$\hat{y} = 3,38 - 0,008 x$	0,76 ^{**}	
12,6	2,0 b	1,3 b	1,9 b	2,5 a	1,8 a		–	ns	
25,2	2,5 ab	1,0 b	1,0 c	0,5 c	1,4 a		$\hat{y} = 2,33 - 0,022 x + 0,00006 x^2$	0,89 ^{**}	
CV (%)	15,22								
⁽¹⁾ Potássio (mg planta ⁻¹)									
0,0	22,4 a	31,3 a	27,6 a	9,4 b	8,7 b		$\hat{y} = 29,09 - 0,07 x$	0,67 ^{**}	
12,6	25,4 a	15,7 b	23,0 a	21,2 a	16,0 a		–	ns	
25,2	24,7 a	11,2 b	12,4 b	7,9 b	9,9 b		$\hat{y} = 18,22 - 0,038 x$	0,49 ^{**}	
CV (%)	15,50								
⁽¹⁾ Cálcio (mg planta ⁻¹)									
0,0	11,0 c	15,1 a	11,0 b	4,0 b	2,3 c		$\hat{y} = 13,11 - 0,039 x$	0,79 ^{**}	
12,6	17,7 b	12,3 a	21,6 a	18,1 a	16,0 a		–	ns	
25,2	22,1 a	8,4 b	11,7 b	4,4 b	9,7 b		$\hat{y} = 20,23 - 0,16 x + 0,0004 x^2$	0,78 ^{**}	
CV (%)	11,90								
⁽¹⁾ Magnésio (mg planta ⁻¹)									
0,0	5,4 c	6,9 a	5,4 b	2,1 b	1,1 c		$\hat{y} = 6,61 - 0,018 x$	0,83 ^{**}	
12,6	6,8 b	4,4 b	7,0 a	7,8 a	6,6 a		–	ns	
25,2	8,1 a	3,1 c	3,4 c	1,6 b	4,0 b		$\hat{y} = 7,41 - 0,067 x + 0,0002 x^2$	0,86 ^{**}	
CV (%)	12,23								
⁽¹⁾ Cobre (µg planta ⁻¹)									
0,0	776,7 a	778,7 a	908,5 a	300,5 b	115,3 c		$\hat{y} = 911,86 - 2,58 x$	0,81 ^{**}	
12,6	470,8 b	380,5 b	602,6 b	946,3 a	898,7 a		$\hat{y} = 414,77 + 1,88 x$	0,80 ^{**}	
25,2	282,9 b	187,3 c	353,6 c	293,3 b	700,9 b		$\hat{y} = 190,31 + 1,33 x$	0,61 ^{**}	
CV (%)	17,95								

ns – não significativo; * – significativo a p<0,05; ** – significativo a p<0,01; ⁽¹⁾Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

A clorofila *b* (ICF) nas folhas também diminuiu com o incremento de Cu nos solos sem adição de calcário e naqueles com 25,2 Mg ha⁻¹ de calcário (Tabela 2). O excesso de Cu na parte aérea, além de inibir a síntese de enzimas que atuam na síntese da clorofila, normalmente induz o decréscimo no conteúdo de clorofila da planta, e está associado à destruição da estrutura interna dos cloroplastos e as modificações na composição das membranas dos tilacoides (Borghini et al., 2007). Somado a isso, o Cu tem efeito direto na cadeia de transporte de elétrons, e seu excesso no tecido pode causar danos no aparato fotossintético, inibindo a fotossíntese (Cambrollé et al., 2013).

Em experimento com plantas de orégano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*), Panou-Filotheou et al. (2001) observaram que as plantas expostas ao alto teor de Cu no solo apresentaram redução no número e no tamanho de cloroplastos, o que diminui a concentração de pigmentos fotossintéticos nas folhas. A redução da concentração de clorofila nas folhas pelo excesso de Cu foi constatada, também, por Cambrollé et al. (2013) em trabalho realizado com videira. Os autores atribuíram esse efeito ao decréscimo no teor de N e Mg nas folhas das plantas submetidas a altas

doses do metal pesado, uma vez que esses elementos são envolvidos na síntese de clorofila. No presente experimento, foi constatado que o aumento das doses de Cu reduziu a absorção desses dois macronutrientes (Tabelas 3 e 4), podendo ser uma das causas para a diminuição das clorofilas *a* e *b* nas folhas.

A relação clorofila *a/b* aumentou com o incremento das doses de Cu quando não houve calagem e com adição de 25,2 Mg ha⁻¹ de calcário; e no solo com a aplicação de 12,6 Mg ha⁻¹ de calcário, os efeitos do Cu não foram significativos (Tabela 2). Esse aumento na relação clorofila *a/b* indica um estresse sofrido pelas plantas em função do excesso de Cu adicionado e pode ser consequência da redução na eficiência fotoquímica do fotossistema II, como reflexo do aumento do teor de Cu nos tecidos (Zengin & Munzuroglu, 2005).

O acúmulo de Cu nas raízes, na parte aérea e na planta inteira diminuiu conforme o teor do elemento no solo foi incrementado sem a adição de calcário (Tabelas 3, 4 e 5). Essa diminuição é uma consequência da redução da MS das plantas causada pelo aumento das doses de Cu (Tabela 1).

Tabela 4 - Valores de N, P, K, Ca, Mg e Cu acumulados na parte aérea de videiras jovens cultivadas em solo com doses crescentes de Cu e de calcário. *Values of N, P, K, Ca, Mg and Cu accumulated in shoots of young vines grown in soil with increasing doses of Cu and limestone.*

Calcário (Mg ha ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)					Regressão	R ²
	0	50	100	200	300		
	(1)Nitrogênio (mg planta ⁻¹)						
0,0	60,6 a	57,6 a	74,3 a	32,8 b	30,3 b	$\hat{y} = 67,42 - 0,126 x$	0,63**
12,6	61,9 a	50,4 a	60,8 b	58,5 a	49,0 a	–	ns
25,2	56,4 a	16,6 b	39,9 c	7,5 c	61,6 a	$\hat{y} = 54,19 - 0,545 x + 0,0018 x^2$	0,62**
CV (%)	13,54						
	(1)Fósforo (mg planta ⁻¹)						
0,0	1,6 a	2,0 a	2,0 a	2,2 a	1,0 b	$\hat{y} = 1,54 + 0,01 x - 0,00004 x^2$	0,90**
12,6	1,4 a	1,5 a	1,4 ab	1,8 a	1,1 b	–	ns
25,2	1,3 a	0,3 b	1,0 b	0,2 b	1,8 a	$\hat{y} = 1,29 - 0,014 x + 0,00005 x^2$	0,67**
CV (%)	19,60						
	(1)Potássio (mg planta ⁻¹)						
0,0	1,4 b	15,9 a	12,9 a	14,0 a	9,2 ab	$\hat{y} = 4,28 + 0,146 x - 0,0004 x^2$	0,66**
12,6	10,3 a	9,2 b	9,5 b	12,9 a	6,9 b	$\hat{y} = 9,04 + 0,03 x - 0,0001 x^2$	0,40
25,2	11,4 a	2,5 c	6,5 c	1,2 b	10,8 a	$\hat{y} = 10,57 - 0,115 x + 0,0004 x^2$	0,68**
CV (%)	14,09						
	(1)Cálcio (mg planta ⁻¹)						
0,0	6,9 c	13,1 a	8,8 b	7,7 b	4,2 c	$\hat{y} = 10,28 - 0,016 x$	0,37*
12,6	16,3 b	11,1 a	13,9 a	20,4 a	12,8 b	–	ns
25,2	24,0 a	4,2 b	10,8 ab	1,8 c	16,8 a	$\hat{y} = 21,52 - 0,241 x + 0,0007 x^2$	0,72**
CV (%)	16,29						
	(1)Magnésio (mg planta ⁻¹)						
0,0	2,2 b	4,0 a	3,1 ab	2,0 b	1,3 c	$\hat{y} = 3,27 - 0,0058 x$	0,45**
12,6	4,2 a	4,4 a	3,5 a	6,1 a	3,3 b	–	ns
25,2	4,6 a	1,2 b	2,4 b	0,5 c	4,5 a	$\hat{y} = 4,36 - 0,048 x + 0,00016 x^2$	0,76**
CV (%)	15,31						
	(1)Cobre (µg planta ⁻¹)						
0,0	21,2 a	20,1 a	13,6 a	18,8 a	6,4 b	$\hat{y} = 21,33 - 0,04 x$	0,65**
12,6	16,6 a	13,7 b	13,3 a	15,8 a	10,6 ab	–	ns
25,2	20,7 a	2,4 c	10,2 a	1,3 b	13,0 a	$\hat{y} = 18,12 - 0,198 x + 0,0006 x^2$	0,63**
CV (%)	19,25						

ns – não significativo; * – significativo a $p < 0,05$; ** – significativo a $p < 0,01$; (1)Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 5 - Valores de N, P, K, Ca, Mg e Cu acumulados na planta inteira de videiras jovens cultivadas em solo com doses crescentes de Cu e de calcário. *Values of N, P, K, Ca, Mg and Cu accumulated in whole young vines grown in soil with increasing doses of Cu and limestone.*

Calcário (Mg ha ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)					Regressão	R ²
	0	50	100	200	300		
(1)Nitrogênio (mg planta ⁻¹)							
0,0	166,5 ^{ns}	183,5 a	168,8 a	72,1 b	48,8 b	$\hat{y} = 190,74 - 0,48 x$	0,87 ^{**}
12,6	142,1	94,3 b	151,0 a	160,3 a	115,7 a	–	ns
25,2	141,5	49,5 c	80,1 b	27,5 c	116,2 a	$\hat{y} = 133,07 - 1,25 x + 0,004 x^2$	0,74 ^{**}
CV (%)	11,00						
(1)Fósforo (mg planta ⁻¹)							
0,0	4,2 a	5,5 a	5,0 a	3,7 a	1,8 b	$\hat{y} = 4,55 + 0,012 x - 0,00007 x^2$	0,93 ^{**}
12,6	3,4 b	2,8 b	3,3 b	4,3 a	2,9 a	–	ns
25,2	3,8 ab	1,3 c	2,0 c	0,6 b	3,2 a	$\hat{y} = 3,60 - 0,035 x + 0,0001 x^2$	0,79 ^{**}
CV (%)	11,87						
(1)Potássio (mg planta ⁻¹)							
0,0	23,8 b	47,2 a	40,5 a	23,4 b	17,9 ^{ns}	$\hat{y} = 31,36 + 0,13 x - 0,0006 x^2$	0,57 ^{**}
12,6	35,7 a	25,0 b	32,5 b	34,1 a	22,9	–	ns
25,2	36,1 a	13,7 c	18,9 c	9,1 c	20,7	$\hat{y} = 33,00 - 0,27 x + 0,0008 x^2$	0,77 ^{**}
CV (%)	12,28						
(1)Cálcio (mg planta ⁻¹)							
0,0	17,9 c	28,2 a	19,9 b	11,8 b	6,5 b	$\hat{y} = 24,11 - 0,056 x$	0,67 ^{**}
12,6	34,0 b	23,4 a	35,4 a	38,5 a	28,8 a	–	ns
25,2	46,1 a	12,6 b	22,5 b	6,2 c	26,5 a	$\hat{y} = 41,77 - 0,40 x + 0,001 x^2$	0,73 ^{**}
CV (%)	11,15						
(1)Magnésio (mg planta ⁻¹)							
0,0	7,6 b	10,9 a	8,5 b	4,1 b	2,4 b	$\hat{y} = 9,90 - 0,024 x$	0,74 ^{**}
12,6	11,0 a	8,8 b	10,5 a	13,9 a	9,9 a	–	ns
25,2	12,7 a	4,3 c	5,9 c	2,1 c	8,5 a	$\hat{y} = 11,76 - 0,115 x + 0,0003 x^2$	0,81 ^{**}
CV (%)	11,44						
(1)Cobre (µg planta ⁻¹)							
0,0	797,9 a	798,8 a	922,1 a	319,3 b	121,7 c	$\hat{y} = 933,21 - 2,63 x$	0,82 ^{**}
12,6	487,3 b	394,2 b	615,9 b	962,1 a	909,4 a	$\hat{y} = 430,44 + 1,87 x$	0,83 ^{**}
25,2	303,7 b	189,7 c	363,7 c	294,6 b	713,9 b	$\hat{y} = 201,83 + 1,32 x$	0,63 ^{**}
CV (%)	17,57						

ns – não significativo; * – significativo a p<0,05; ** – significativo a p<0,01; (1)Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

A adição de calcário no solo reduziu a absorção do Cu pelas plantas quando foram adicionadas as menores doses de Cu (Tabelas 3, 4 e 5). Por outro lado, quando foram adicionadas as maiores doses de Cu, a calagem possibilitou maior acúmulo do elemento nas raízes e, por consequência, na planta inteira, em comparação ao solo sem a adição de calcário (Tabelas 3 e 5). No entanto, o incremento no acúmulo de Cu na parte aérea das videiras jovens não foi promovido pela calagem (Tabela 4). Obviamente, esse aumento no acúmulo de Cu nas raízes pela adição de calcário é decorrente do efeito da calagem no incremento da biomassa de raízes submetidas a altas doses de Cu (Tabela 1), uma vez que a quantidade acumulada é calculada pela multiplicação entre o teor do nutriente (dado não apresentado) e a MS da planta. Mas, além disso, a adição de Ca no solo pela calagem pode ter contribuído para a redução dos efeitos de toxidez nas raízes pelo excesso de Cu, permitindo maior acúmulo do metal pesado neste órgão, mas reduzindo sua distribuição para a parte aérea. Este efeito foi observado por Chen et al. (2013) em estacas de videira cultivadas sob doses crescentes de Cu e de Ca, e corrobora os resultados do presente trabalho.

O incremento das doses de Cu também reduziu o acúmulo de N, P, K, Ca e Mg nas raízes, na parte aérea e, consequentemente, na planta inteira de videira jovem, nos tratamentos sem calagem e com a adição de 25,2 Mg ha⁻¹ de calcário (Tabelas 3, 4 e 5). As exceções foram os acúmulos de P e K na parte aérea das videiras jovens quando não houve aplicação de calcário, que foram incrementados com o aumento das doses de Cu até aproximadamente 125 e 183 mg kg⁻¹, nesta ordem, mas decrescendo com doses superiores (Tabela 4). Com a adição de 12,6 Mg ha⁻¹ de calcário, os efeitos do Cu não foram significativos (Tabelas 3, 4 e 5), exceto para o K na parte aérea, que aumentou com as doses de Cu aplicadas até 150 mg kg⁻¹, diminuindo a partir daí (Tabela 4).

A diminuição no acúmulo dos macronutrientes nas videiras jovens, provavelmente, é uma consequência da redução na MS das plantas pelo incremento da dose de Cu, o que corrobora os resultados obtidos por Melo et al. (2008). Mas, além disso, a absorção de água e de nutrientes pelas videiras jovens pode ter sido inibida por causa da redução da biomassa das raízes (Kopittke et al., 2009).

As doses de calcário adicionadas também influenciaram na absorção dos macronutrientes. Quando não foi aplicado Cu no solo, a calagem favoreceu particularmente o acúmulo de Ca e Mg nas videiras jovens. E, quando houve incremento da dose de Cu, a aplicação de calcário favoreceu a absorção de N, P, K, Ca e Mg nas videiras jovens, que havia sido prejudicada nos tratamentos sem calagem (Tabelas 3, 4 e 5). Estes resultados do acúmulo de macronutrientes na planta, somados àqueles das variáveis de crescimento das plantas, indicam que a calagem foi favorável para as videiras jovens, especialmente quando as doses de Cu foram maiores. Portanto, a aplicação de calcário favoreceu o crescimento das plantas e a absorção de N, P, K, Ca e Mg.

O favorecimento da absorção de macronutrientes pela calagem nos tratamentos onde a dose de Cu foi mais elevada, está relacionado ao incremento da biomassa de raízes pela calagem nesses tratamentos (Tabela 1), o que favorece a absorção de água e de nutrientes pelas plantas. Mas, além disso, o pH do solo também está fortemente associado à labilidade e à absorção dos macronutrientes pelas plantas (White, 2012). Em pH baixo, como nos tratamentos sem calagem (pH igual a 4,0), os macronutrientes estão predominantemente em formas pouco lábeis, e o incremento do pH do solo até aproximadamente 6,0 aumenta a disponibilidade desses nutrientes no solo (Sousa et al., 2007). Portanto, a calagem é importante para o estabelecimento de videiras jovens em solo com alto teor de Cu.

Conclusões

O incremento das doses de cobre reduziu a produção de matéria seca das raízes e da parte aérea, a altura e a área foliar das plantas, as clorofilas *a* e *b* (ICF), e a absorção de nutrientes pelas videiras jovens. Porém, a calagem, especialmente com a adição de 12,6 Mg ha⁻¹ de calcário, que elevou o pH até 5,5, diminuiu esses efeitos causados pelo excesso de cobre adicionado.

Referências

- Agbenin JO, Olojo LA (2004) Competitive adsorption of copper and zinc by a Bt horizon of a savanna Alfisol as affected by pH and selective removal of hydrous oxides and organic matter. *Geoderma* 119(1):85-95. doi: 10.1016/S0016-7061(03)00242-8.
- Borghi M, Tognetti R, Monteforti G, Sebastiani L (2007) Responses of *Populus x euramericana* (*P. deltoides* x *P. nigra*) clone *Adda* to increasing copper concentrations. *Environmental and Experimental Botany* 61(1):66-73. doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.10.001.
- Brunetto G, Miotto A, Ceretta CA, Schmitt DE, Heinzen J, Moraes MP, Canton L, Tiecher TL, Comin JJ, Giroto E (2014a) Mobility of copper and zinc fractions in fungicide amended vineyard sandy soils. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60(5):609-624. doi: 10.1080/03650340.2013.826348.
- Brunetto G, Schmitt DE, Comin JJ, Miotto A, Moraes MP, Heinzen J (2014b) Frações de cobre e zinco em solos de vinhedos no Meio Oeste de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18(8):805-810. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n08p805-810.
- Cambrollé J, García JL, Ocete R, Figueroa ME, Cantos M (2013) Growth and photosynthetic responses to copper in wild grapevine. *Chemosphere* 93(2):294-301. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.04.080.
- Chen PY, Lee YI, Chen BC, Juang KW (2013) Effects of calcium on rhizotoxicity and the accumulation and translocation of copper by grapevines. *Plant Physiology and Biochemistry* 73:375-382. doi: 10.1016/j.plaphy.2013.10.016.
- CQFS-RS/SC (2004) Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. SBCS-Núcleo Regional Sul/UFRGS. 400p.
- Embrapa (1997) Manual de métodos de análise de solo. Embrapa-CPNS. 212p.
- Embrapa (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Embrapa. 353p.
- Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia* 35(6):1039-1042. doi: 10.1590/S1413-70542011000600001.
- Joris HAW, Fonseca AF, Asami VY, Briedis C, Borszowski PR, Garbuió FJ (2012) Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto. *Revista Ciência Agronômica* 43(1):1-10. doi: 10.1590/S1806-66902012000100001.
- Juang KW, Lee YI, Lai HY, Wang CH, Chen BC (2012) Copper accumulation, translocation, and toxic effects in grapevine cuttings. *Environmental Science and Pollution Research* 19(4):1315-1322. doi: 10.1007/s11356-011-0657-3.
- Juang KW, Lee YI, Lai HY, Chen BC (2014) Influence of magnesium on copper phytotoxicity to and accumulation and translocation in grapevines. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 104:36-42. doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.02.008.
- Kopittke PM, Asher CJ, Blamey FPC, Menzies NW (2009) Toxic effects of Cu²⁺ on growth, nutrition, root morphology, and distribution of Cu in roots of *Sabi* grass. *Science of the Total Environment* 407(16):4616-4621. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.04.041.
- Kopittke PM, Kinraide TB, Wang P, Blamey FPC, Reichman SM, Menzies MW (2011) Alleviation of Cu and Pb rhizotoxicities in cowpea (*Vigna unguiculata*) as related to ion activities at root-cell plasma membrane surface. *Environmental Science & Technology* 45(11):4966-4973. doi: 10.1021/es1041404.

- Li SX, Wang ZH, Stewart BA (2013) Responses of Crop Plants to Ammonium and Nitrate N. *Advances in Agronomy* 118:205-397. doi:10.1016/B978-0-12-405942-9.00005-0.
- Luo XS, Li LZ, Zhou DM (2008) Effect of cations on copper toxicity to wheat root: Implications for the biotic ligand model. *Chemosphere* 73(3):401-406. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.05.031.
- Melo GW, Brunetto G, Schafer Junior A, Kaminski J, Furlanetto V. (2008) Matéria seca e acumulação de nutrientes em videiras jovens cultivadas em solos com diferentes níveis de cobre. *Revista Brasileira de Agrociência* 14(4):72-76.
- Michaud AM, Chappellaz C, Hinsinger P (2008) Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.). *Plant and Soil* 310(1):151-165. doi: 10.1007/s11104-008-9642-0.
- Nogueirol RC, Alleoni LRF, Nachtigall GR, Melo GW (2010) Sequential extraction and availability of copper in Cu fungicide-amended vineyard soils from Southern Brazil. *Journal of Hazardous Materials* 181(1):931-937.
- Panou-Filotheou H, Bosabalidis AM, Karataglis S (2001) Effects of copper toxicity on leaves of oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*). *Annals of Botany* 88(2):207-214.
- Rodighero K, Melo GWB, Freitas RF, Dal Magro R, Scanagatta V, Oliveira PD (2012) A atual recomendação de calcário superestima a necessidade dos solos da Serra Gaúcha. In: Encontro de Iniciação Científica, 10, Encontro de Pós-Graduandos da Embrapa, 6., 2012, Bento Gonçalves. p.35.
- Ruyters S, Salaets P, Oorts K, Smolders E (2013) Copper toxicity in soils under established vineyards in Europe: A survey. *Science of the Total Environment* 443:470-477. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.11.001.
- Sheldon AR, Menzies NW (2005) The effect of copper toxicity on the growth and root morphology of Rhodes grass (*Chloris gayana* Knuth.) in resin buffered solution culture. *Plant and Soil* 278(1):341-349. doi: 10.1007/s11104-005-8815-3.
- Sousa DMG, Miranda LN, Oliveira AS (2007) Acidez do solo e a sua correção. In: Novais RF, Alvarez VHV, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL (ed) *Fertilidade do solo*, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.205-274.
- Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohem H, Volkweiss SJ (1995) *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2 ed. UFRGS. 174p.
- Toselli M, Baldi E, Marcolini G, Malaguti D, Quartieri M, Sorrenti G, Marangoni B (2009) Response of potted grapevines to increasing soil copper concentration. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 15(1):85-92. doi: 10.1111/j.1755-0238.2008.00040.x
- White PJ (2012) Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: Short-distance transport. In: Marschner P (ed) *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (third edition), Academic Press. p.6-47. doi:10.1016/B978-0-12-384905-2.00002-9
- Yruela I (2009) Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology* 36(5):409-430. doi: 10.1071/FP08288
- Zengin FK, Munzuroglu O (2005) Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica* 47(2):157-164.