

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de
05/07/2022

At the author's request, the full text of this thesis / dissertation will not be available online until July 5, 2022

SIRLENE LOPES DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO MELHORA O METABOLISMO
FOTOSSINTÉTICO E AUMENTA PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO**

Botucatu

2021

SIRLENE LOPES DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO MELHORA O METABOLISMO
FOTOSSINTÉTICO E AUMENTA PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre Agronomia (Agricultura).

Orientador(a): Carlos Alexandre Costa Crusciol

Botucatu

2021

O48a Oliveira, Sirlene Lopes de
Adubação foliar de molibdênio melhora o metabolismo fotossintético e aumenta produtividade de soja e milho / Sirlene Lopes de Oliveira. -- Botucatu, 2021
55 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu
Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol

1. Nutrição de plantas. 2. Adubação foliar. 3. Glycine max L. (Merr.). 4. Zea mays L.. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

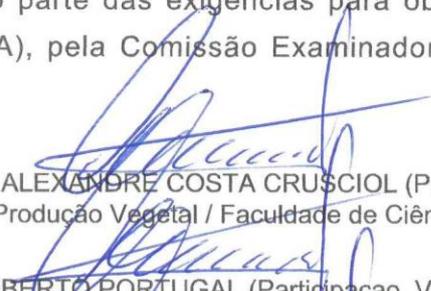
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ADUBAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO MELHORA O METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO E AUMENTA A PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO

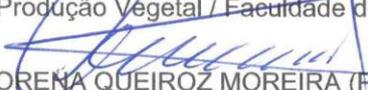
AUTORA: SIRLENE LOPES DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO PORTUGAL (Participação Virtual)
Pós-Doutorando - Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Profa. Dra. LAÍS LORENA QUEIROZ MOREIRA (Participação Virtual)
Fertilidade do Solo / Instituto Federal do Norte de Minas Gerais

Botucatu, 05 de julho de 2021.

Aos meus pais

Antônio Edson e Valdecir Oliveira

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por abençoar meu caminho.

À minha família pelo apoio incondicional.

Ao meu namorado Valdomiro Júnior pelo apoio e compreensão.

Ao Prof. Dr. Carlos A. C. Crusciol, pela orientação, ensinamentos, incentivo, paciência e exemplo de professor.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido por meio de bolsa de mestrado (Processo nº 130646/2019-9).

À Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” pela oportunidade de realizar o mestrado e pela contribuição na minha formação profissional.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura por todo o suporte na realização desta pesquisa.

Aos meus colegas de pós-graduação, Vitor Alves, Gabriel Oliveira, Tatiani Galeriani, João Bossolani, Rafael Vilela, Leila Bernart, Luiz Gustavo Moretti, Fernanda Marcolan e Mariley Fonseca pelo companheirismo e valiosa contribuição no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos alunos de graduação Guilherme Noronha, Alisson Mariano, Gustavo Barreto, Pedro Viotto, Frabrizio Bianchi, e tantos outros sem os quais, esta pesquisa não seria possível.

Às minhas amigas de república, Claudia Vilalva e Larissa Moreira, pelos momentos descontraídos e por tornar esta jornada menos árdua.

Aos membros da banca, Dr. José Roberto Portugal e Prof^a, Dr^a. Lais Lorena Queiroz Moreira por aceitarem o convite e dedicarem tempo em avaliar este trabalho.

Aos servidores da Faculdade de Ciências Agrárias – Unesp Botucatu, pelos valiosos serviços prestados.

A todos que de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”

DE BEAUVOIR, Simone; HESSE, Gisela. **Mémoires d'une jeune fille rangée**. Paris: Gallimard, 1958. 502 p.

RESUMO

A adubação foliar tem sido empregada como uma estratégia suplementar de nutrição de plantas, principalmente em lavouras de alto potencial produtivo. Nestas condições, os nutrientes aplicados em pequenas doses podem apresentar um efeito estimulante da fotossíntese, aumentando o seu desempenho produtivo. Devido a sua alta mobilidade na planta e a necessidade de baixas doses, o molibdênio pode ser aplicado via foliar, minimizando possíveis perdas da aplicação via solo. Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência da aplicação foliar de molibdênio em soja e milho em dois anos agrícolas. A soja foi cultivada nas safras de verão em 2018/2019 e 2019/2020 e o milho foi cultivado na segunda safra dos anos de 2019 e 2020. Os experimentos foram realizados na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista – Campus de Botucatu. A dose utilizada foi a de 0,20 L ha⁻¹ de molibdato de potássio, cujas aplicações foram realizadas no estágio V₄ na soja e no milho, respectivamente. As avaliações realizadas em todos os experimentos consistiram na determinação do status nutricional das plantas, atividade da Nitrato Redutase (NR), parâmetros de trocas gasosas, enzimas fotossintéticas (Rubisco na soja e milho e PEPcase no milho), concentração de açúcar solúvel total, teor de proteína na folha, número de grãos por planta, massa de 100 grãos e produtividade. A aplicação de Mo proporcionou incrementos na atividade da NR, dos teores de nitrogênio e de proteína nas folhas de soja. Houve também aumento da atividade da enzima Rubisco, fotossíntese líquida e incrementos na produtividade da soja e do milho. Os resultados desta pesquisa demonstram que a aplicação foliar de molibdênio foi eficiente no tocante ao metabolismo do nitrogênio e modulou a resposta da planta quanto a fixação do carbono culminando em melhoria da produtividade das culturas.

Palavras-chave: *Glycine max* L. (Merr.); *Zea mays* L.; efeito estimulante; atividade fotossintética, absorção de nitrogênio.

ABSTRACT

Foliar fertilization has been used as a supplemental strategy for plant nutrition, especially in crops with high yield potential. Under these conditions, nutrients applied in small doses can stimulate effect on photosynthesis and increase yield performance. Due to its high mobility in the plant and the need for low doses, molybdenum can be applied through the leaves, minimizing possible losses when applied through the soil. Therefore, the objective of this study was to evaluate the efficiency of foliar application of molybdenum in soybean and maize in two crop years. Soybean was grown in the summer crops 2018/2019 and 2019/2020 and maize in the second crop 2019 and 2020. The experiments were conducted at Lageado Experimental Farm, which belongs to the faculty of Agronomic Sciences of Sao Paulo State University - Botucatu. The dose used was 0.20 L ha⁻¹ of potassium molybdate, whose applications were carried out at stage V₄ in soybean and maize, respectively. The evaluations carried out in all the trials consisted in determining the nutritional status of the plants, nitrate reductase (NR) activity, gas exchange parameters, photosynthetic enzymes (Rubisco in soybean and maize and PEPcase in maize), total soluble sugar concentration, leaf protein content, number of grains per plant, mass of 100 grains and yield. Application of Mo resulted in an increase in nitrogen and protein content in soybean and maize leaves. There was also an increase in Rubisco enzyme activity, net photosynthesis, and an increase in soybean and maize. The results of this research indicate that foliar application of molybdenum was efficient in terms of nitrogen metabolism and modulated the plant's response to carbon fixation, resulting in improved crop yields.

Keywords: Glycine max L. (Merr.); Zea mays L.; stimulant effect; photosynthetic activity, nitrogen absorption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Balanço hídrico climatológico referente às safras de soja (a, 2018/19; c, 2019/20) e milho (b, 2019; d, 2020) cultivadas em Botucatu, SP, Brasil. ETc: evapotranspiração da cultura; ETr: evapotranspiração real. As setas indicam o momento das pulverizações e das amostragens. 33
- Figura 2 - Teores de macronutrientes nas folhas de soja e milho sob influência da presença e ausência de Mo aplicado via foliar. N (a, b), P (c, d), K (e, f), Ca (g, h), Mg (i, j), e S (k, l). 34
- Figura 3 - Teores de micronutrientes nas folhas de soja e milho sob influência da presença e ausência de Mo aplicado via foliar. Mo (a, b); B (c, d); Fe (e, f); Cu (g, h); Mn (i, j); Zn (k, l). 35
- Figura 4 - Atividade da NR ativa (a, b) e NR total (c, d) em folhas de soja e milho sob efeito da presença ou ausência de Mo aplicado via foliar. 36
- Figura 5 - Fotossíntese líquida, A (a, b); condutância estomática, gs (c, d); concentração de CO₂ na câmara subestomática, Ci (e, f); transpiração foliar, E (g, h); eficiência do uso da água, EUA (i, j); e eficiência da carboxilação, A/Ci (k, l) de plantas de soja e milho sob influência da presença e ausência de Mo aplicado via foliar. 37
- Figura 6 - Concentração de proteína foliar e açúcar total nas folhas de soja (a) e milho (b) sob efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo. 38
- Figura 7 - Atividade das enzimas PEP Carboxilase (a, b) e Rubisco (c, d) de plantas de soja e milho sob sob efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo. 39
- Figura 8 - Componentes de produção: Número de vagens por planta (a), número de grãos por vagem (b) em plantas de soja e prolificidade (c), número de grãos por espiga (d) em plantas de soja e milho efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo. 40
- Figura 9 - Componentes de produção: Número de grãos por planta (a, b), massa de cem grãos (c, d) e produtividade de grãos (e, f) em plantas de soja e milho sob efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo. 39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1	O molibdênio no solo e na planta	21
2.2	Adubação foliar de molibdênio	23
2.3	Molibdênio via foliar em soja e milho	24
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1	Descrição da área experimental	26
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	27
3.3	Adubação e tratos culturais.....	27
3.4	Avaliações experimentais	28
4	RESULTADOS	33
4.1	Condições climáticas	33
4.2	Status nutricional.....	34
4.3	Atividade da Nitrato redutase	35
4.4	Parâmetros fotossintéticos e assimilação do carbono	36
4.5	Componentes de produção e produtividade	39
5	DISCUSSÃO	42
6	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* L. (Merr.)] e o milho (*Zea mays* L.) são algumas das culturas mais importantes no cenário mundial (XU et al., 2020). Em 2019, estas culturas ocuparam uma área global de cerca de 120 e 197 milhões de hectares, respectivamente (FAO, 2019). Com o aumento da demanda pelo fornecimento de alimentos, são discutidas tecnologias que otimizem a produção agrícola sem aumentar o consumo de recursos naturais (SCHRÖDER et al., 2019). Neste sentido, a adubação foliar tem se mostrado como uma técnica importante não somente para correção nutricional, mas também como uma estratégia para o aumento da produção vegetal, ainda que as plantas não apresentem deficiências nutricionais (ROSOLEM, 2002). Neste caso, a adubação foliar assume função suplementar que, quando aplicada em pequenas doses do nutriente e em estágios fenológicos estratégicos, pode atuar como um estimulante do metabolismo do carbono, contribuindo ainda, para uma maior tolerância a estresses abióticos, como o déficit hídrico (ALEXANDER, 1986; HUSSAIN et al., 2021; PRIMAVESI, 1978; RODRIGUES et al., 2021). Nos últimos anos, a adubação foliar tem sido aprimorada com a adoção de tecnologias que favorecem a absorção foliar, garantindo resultados satisfatórios no incremento da produtividade (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015).

A adubação suplementar de micronutrientes, sobretudo de molibdênio (Mo), é uma prática cujos impactos sobre o metabolismo e produção vegetal ainda possuem lacunas, principalmente sob condições de campo. O Mo é um metal constituinte de enzimas fundamental para a absorção, assimilação e transporte de nitrogênio (N) nas plantas (BITTNER, 2014; MENDEL, 2013). Conseqüentemente, sua falta ou suplementação reflete indiretamente sobre os produtos do metabolismo do N (MARSCHNER, 2012).

Normalmente, a aplicação de Mo tem como principais objetivos estimular a fixação biológica de nitrogênio e a redução do nitrato (CALONEGO et al., 2010; CRUSCIOL et al., 2019; MERCANTE et al., 2011). Todavia, pesquisas recentes demonstraram o efeito direto do Mo sobre a fotossíntese devido a sua participação na biossíntese de clorofila e na manutenção da estabilidade do aparelho

fotossintético (IMRAN et al., 2019; YU; HU; WANG, 2006). Além disso, foi relatado que a melhoria da fotossíntese mediante a suplementação de Mo aumenta a eficiência do uso da água, conduzindo à maior tolerância a estresses abióticos (WU et al., 2020). Estes resultados, porém, foram obtidos por meio de experimentos sob condições controladas, não sendo possível estabelecer os seus reais impactos sobre a fisiologia e produtividade das culturas em condições de campo. Apesar disso, tais informações permitem criar a hipótese de que o Mo pode atuar como um estimulante do metabolismo do N e do carbono, conduzindo a incrementos na fotossíntese e na produtividade das culturas. Diante disso, objetivamos avaliar o efeito da aplicação foliar de Mo sobre fisiologia e produtividade das culturas de soja e milho em sucessão.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que a fertilização foliar de Mo foi capaz de melhorar a fisiologia e a produtividade das culturas de soja e milho. Isto foi possível devido a melhoria da atividade da NR, que por sua vez, promoveu o aumento dos teores foliares de N e a síntese de proteínas. Além disso, houve melhoria dos parâmetros fotossintéticos, indicando que a adubação foliar de Mo é uma estratégia viável não somente para a melhoria do status nutricional da planta, mas também uma técnica estimulante do metabolismo do carbono.

REFERÊNCIAS

- ABDIN, M. Z. et al. Sulphur Interaction with Other Nutrients BT - Sulphur in Plants. In: ABROL, Y. P.; AHMAD, A. (Eds.). . Dordrecht: Springer Netherlands, 2003. p. 359–374.
- ALBINO, U. B.; CAMPO, R. J. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência do Bradyrhizobium e na fixação biológica de nitrogênio em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 527–534, 2001.
- ALEXANDER, A. **Foliar Fertilization**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1986.
- AMBROSANO, E. J. et al. Leguminosas e oleaginosas. In: **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. São Paulo: Instituto Agrônomo (IAC), 1997. p. 187–203.
- BAMBARA, S.; NDAKIDEMI, P. A. Effects of Rhizobium inoculation, lime and molybdenum on photosynthesis and chlorophyll content of Phaseolus vulgaris L. **African Journal of Microbiology Research**, v. 3, n. 11, p. 791–798, 2009.
- BHATTACHARYA, A. Chapter 3 - Water-Use Efficiency Under Changing Climatic Conditions. In: BHATTACHARYA, A. B. T.-C. C. AND R. U. E. IN P. (Ed.). . [s.l.] Academic Press, 2019. p. 111–180.
- BICUDO DA SILVA, R. F. et al. The Soybean Trap: Challenges and Risks for Brazilian Producers. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 12, 2020.
- BINDRABAN, P. S. et al. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, n. 8, p. 897–911, 2015.
- BITTNER, F. Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. FEB, p. 1–6, 2014.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, p. 248–254, maio 1976.
- BUKOVAC, M. J.; WITTWER, S. H. Absorption and Mobility of Foliar Applied Nutrients. 123. **Plant Physiology**, v. 32, n. 5, p. 428–435, 1 set. 1957.
- CAIONI, S. et al. Nitrogen and molybdenum for irrigated maize in the brazilian savannah with low altitude. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 3, p. 418–427, 2016.
- CALONEGO, J. C. et al. Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 3, p. 334–340, 2010.

CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Na Fixação Biológica Do N₂. **INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS**, n. 98, p. 6–9, 2002.

CAMPO, R. JOSÉ; ALBINO, U. B.; HUNGRIA, M. Métodos de Aplicação de Micronutrientes na Nodulação e na Fixação Biológica do N₂ em Soja. n. 19, p. 1–7, 1999.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. VAN; CAMARGO, C. E. O. **Adubação de cereais**RAIJ, B. van et al., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 1997.

CARMO-SILVA, E. et al. Optimizing Rubisco and its regulation for greater resource use efficiency. **Plant, Cell and Environment**, v. 38, n. 9, p. 1817–1832, 2015.

CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. **Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods**, v. 9, n. 9, p. 901–926, 2018.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, v. 7, n. 6, p. 1–89, 2021.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Rhizobial inoculation and molybdenum fertilization in peanut crops grown in a no tillage system after 20 years of pasture. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 43, p. 1–19, 2019.

DEGL'INNOCENTI, E.; GUIDI, L.; SOLDATINI, G. F. Characterisation of the photosynthetic response of tobacco leaves to ozone: CO₂ assimilation and chlorophyll fluorescence. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, n. 8, p. 845–853, 2002.

DONAGEMMA, G. K. et al. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA. In: TEIXEIRA, P. C. et al. (Eds.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª ed. Brasília/DF: Embrapa Solos, 2017. p. 95–116.

DREWNOSKI, M. E. et al. Nitrates in Livestock Feeding. **NebGuide**, n. 3, p. 1–6, 2019.

DUBOIS, MICHEL. et al. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1 mar. 1956. EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília/DF: Embrapa Solos, 2018.

FAGAN, E. B. et al. **Fisiologia vegetal: Metabolismo e nutrição vegetal**. 1. ed. São Paulo: Andrei Editora, 2015. v. 1

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. **Guaíba: Agropecuária**, v. 1, p. 360, 2000.

FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T. D. Stomatal Conductance and Photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 33, n. 1, p. 317–345, 1982.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: Fundamentos científicos e técnicas de campo**. São Paulo: Abisolo, 2015.

GAGO, J. et al. Relationships of leaf net photosynthesis, stomatal conductance, and mesophyll conductance to primary metabolism: A multispecies meta-analysis approach. **Plant Physiology**, v. 171, n. 1, p. 265–279, 2016.

HAGEMAN, R. H.; REED, A. J. [24] Nitrate reductase from higher plants. **Photosynthesis and Nitrogen Fixation - Part C**, v. 69, n. 1, p. 270–280, 1980.

HANWAY, J. J. How a corn plant develops. Special Report. 38. **Iowa Agricultural and Home Economics Experiment Station Publications**, v. 48, n. Sept, p. 1–18, 1966.

HELDT, H.-W.; PIECHULLA, B. **Plant Biochemistry**. Amsterdã: Academic Press, 2011. v. 4

HILLE, R. The molybdenum oxotransferases and related enzymes. **Dalton Transactions**, v. 42, n. 9, p. 3029–3042, 2013.

HUSSAIN, S. et al. Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 159, p. 43–52, 2021.

IMRAN, M. et al. Molybdenum-induced effects on photosynthetic efficacy of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different nitrogen sources are associated with nitrogen assimilation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 141, n. May, p. 154–163, 2019.

IMRAN, M. et al. **Molybdenum Supply Alleviates the Cadmium Toxicity in Fragrant Rice by Modulating Oxidative Stress and Antioxidant Gene Expression** *Biomolecules*, 2020.

KAISER, B. N. et al. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of Botany**, v. 96, n. 5, p. 745–754, 2005.

KAISER, W. M.; SPILL, D. Rapid Modulation of Spinach Leaf Nitrate Reductase by Photosynthesis 1: II. In Vitro Modulation by ATP and AMP. **Plant Physiology**, v. 96, n. 2, p. 368–375, 1 jun. 1991.

KIRK, P. L. Kjeldahl Method for Total Nitrogen. **Analytical Chemistry**, v. 22, n. 2, p. 354–358, 1950.

LAWSON, T.; BLATT, M. R. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. **Plant Physiology**, v. 164, n. 4, p. 1556–1570, 2014.

LEVENE, H. Robust tests for equality of variances,. In: OLKIN, I. et al. (Eds.). . **Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling**. 1. ed. Stanford University Press: [s.n.]. p. 278–292.

LI, Y. et al. Molybdenum Sulfide Induce Growth Enhancement Effect of Rice (*Oryza sativa* L.) through Regulating the Synthesis of Chlorophyll and the Expression of Aquaporin Gene. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 16, p. 4013–4021, 2018.

LIU, L. et al. Effects of molybdenum on nutrition, quality, and flavour compounds of strawberry (*Fragaria xananassa* Duch. cv. Akihime) fruit. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 7, p. 1502–1512, 2017.

LIU, L. et al. Integrated Analysis of Molybdenum Nutrition and Nitrate Metabolism in Strawberry. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1117, 2020.

LONG, D.; OAKS, A. Stabilization of nitrate reductase in maize roots by chymostatin. **Plant physiology**, v. 93 3, p. 846–850, 1990.

MAEKAWA, T.; KOKUBUN, M. Correlation of leaf nitrogen, chlorophyll and rubisco contents with photosynthesis in a supernodulating soybean genotype Sakukei 4. **Plant Production Science**, v. 8, n. 4, p. 419–426, 2005.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da Produção de Milho. **Embrapa**, p. 10, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. DE. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997.
MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. AMSTERDAM: Elsevier, 2012.

MASSENA, V. et al. Fixação Biológica de Nitrogênio – Estado da Arte. **Miolo_Biota.pmd**, p. 151–180, 2006.

MBAH, G. C.; DAKORA, F. D. Nitrate inhibition of N₂ fixation and its effect on micronutrient accumulation in shoots of soybean (*Glycine max* L. Merr.), Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Vedd) and Kersting's groundnut (*Macrotyloma geocarpum* Harms.). **Symbiosis**, v. 75, n. 3, p. 205–216, 2018.

MENDEL, R. R. The molybdenum cofactor. **Journal of Biological Chemistry**, v. 288, n. 19, p. 13165–13172, 2013.

MERCANTE, F. M. et al. Estratégias para Aumentar a Eficiência de Inoculantes Microbianos na Cultura da Soja. **Embrapa Agropecuária Oeste - Comunicado Técnico 169**, p. 4, 2011.

MORAES, L. M. DE F. et al. Redistribuição de molibdênio aplicado via foliar em diferentes épocas na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1496–1502, 2008.

NIU, J. et al. Effects of Foliar Fertilization: a Review of Current Status and Future Perspectives. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 104–118, 2021.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do solo. 2007. 1017 p.

NUNES-NESI, A.; FERNIE, A. R.; STITT, M. Metabolic and signaling aspects underpinning the regulation of plant carbon nitrogen interactions. **Molecular Plant**, v. 3, n. 6, p. 973–996, 2010.

OECD/FAO. **Organization f. Agric. Outlook 2020– 2029**, 2020.

PRIMAVESI, O. Conceito de adubação foliar. **Atualidades Agroveterinárias/Embrapa Pecuária Sudeste.**, n. 37, p. 28–40, 1978.

PROVAN, F.; LILLO, C. Photosynthetic Post-Translational Activation of Nitrate Reductase. **Journal of Plant Physiology**, v. 154, n. 5, p. 605–609, 1999.

QIN, S. et al. Effect of molybdenum levels on photosynthetic characteristics, yield and seed quality of two oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 63, n. 2, p. 137–144, 2017.

QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Correção da acidez do solo. In: VAN RAIJ, B. et al. (Eds.). **Recomendações de Adubação e Calagem Para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p. 14–19.

RAIJ, B. VAN et al. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001.

REID, C. D. et al. Comparison of spectrophotometric and radioisotopic methods for the assay of Rubisco in ozone-treated plants. **Physiologia Plantarum**, v. 101, n. 2, p. 398–404, 1997.

RENSEIGNÉ, N.; UMAR, S.; IQBAL, M. Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Springer, v. 27, n. 1, p. 45–57, 2007.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops** Ames Iowa State University of Science and Technology. Coop. Ext. Serv. Ames, IA, USA , 1993.

RODRIGUES, V. A. et al. Magnesium foliar supplementation increases grain yield of soybean and maize by improving photosynthetic carbon metabolism and antioxidant metabolism. **Plants**, v. 10, n. 4, 2021.

ROLIM, G., SENTELHAS, P., BARBIERE, V. Planilhas no ambiente excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Rev. Bras. Agrometeorol**, v. 6, n. 1, p. 133–137, 1998.

ROSOLEM, C. A. **RECOMENDAÇÃO E APLICAÇÃO DE NUTRIENTES VIA FOLIAR**LAVRAS/UFPA/FAEP, , 2002.

RUTKOWSKA, B. et al. Prediction of molybdenum availability to plants in differentiated soil conditions. **Plant, Soil and Environment**, v. 63, n. 11, p. 491–497, 2017.

SANTOS, M. M. et al. Épocas De Aplicação De Nitrogênio Em Cobertura Na Cultura Do Milho Em Plantio Direto, E Alocação Do Nitrogênio (15N) Na Planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1185–1194, 2010.

SCHRÖDER, P. et al. Discussion paper: Sustainable increase of crop production through improved technical strategies, breeding and adapted management – A European perspective. **Science of The Total Environment**, v. 678, p. 146–161, 2019.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 20 jun. 1965.

SHOAIB RANA, M. et al. Molybdenum as an Essential Element for Crops: An Overview. p. 18535–18547, 2020.

STEIN, O.; GRANOT, D. An Overview of Sucrose Synthases in Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 95, 2019.

STEINER, F.; ZOZ, T. Foliar application of molybdenum improves nitrogen uptake and yield of sunflower. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 17, p. 1923–1928, 2015.

SUN, X. et al. Differential Expression of Proteins in Response to Molybdenum Deficiency in Winter Wheat Leaves Under Low-Temperature Stress. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 32, n. 5, p. 1057–1069, 2014.

TCHERKEZ, G. et al. Protein synthesis increases with photosynthesis via the stimulation of translation initiation. **Plant Science**, v. 291, p. 110352, 2020.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The Water Balance Climatology. **Laboratory of climatology, New Jersey**, 1995.

TOLEDO, M. Z. et al. Nodulação e atividade da nitrato redutase em função da aplicação de molibdênio em soja. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 858–864, 2010.

UNICAMP. **Center of Meteorological and Climatic Research Applied to Agriculture. Botucatu: Municipalities climate of São Paulo State**. Disponível em: <[https://www.cpa.unicamp.br/outras->](https://www.cpa.unicamp.br/outras-). Acesso em 02 março. 2021

USDA. Oilseeds: world markets and trade. **Foreign Agricultural Service**, n. May, p. 1–40, 2021a.

USDA. Grain : World Markets and Trade. **United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service**, v. 22, n. June, p. 1–42, 2021b.

VALENTINI, L.; COELHO, C.; FERREIRA, S. Teor de nitrogênio foliar e produtividade de três cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidos às adubações nitrogenada e molíbdica. **Revista Ceres**, v. 52, n. 302, p. 130–137, 2005.

WALSH, J. D.; BEATON, L. M. Soil Testing and Plant Analysis. **Soil Science**, n. 6, p. 470, 1975.

WATANABE, S. et al. Arabidopsis molybdenum cofactor sulfurase ABA3 contributes to anthocyanin accumulation and oxidative stress tolerance in ABA-dependent and independent ways. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 16592, 2018.

WENG, B.-Q. et al. Effects of Molybdenum Application on Plant Growth, Molybdoenzyme Activity and Mesophyll Cell Ultrastructure of Round Leaf Cassia in Red Soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 11, 2009.

WENRICH, B. R.; TRUMBO, T. A. Interaction of nucleic acids with Coomassie Blue G-250 in the Bradford assay. **Analytical biochemistry**, v. 428, n. 2, p. 93–95, set. 2012.

WU, S. et al. Nitric Oxide Mediates Molybdenum-Induced Antioxidant Defense in Wheat under Drought Stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1085, 2017.

XU, Z. et al. Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 246, p. 107661, 2020.

YEOH, H. H.; WEE, Y. C. Leaf protein contents and nitrogen-to-protein conversion factors for 90 plant species. **Food Chemistry**, v. 49, n. 3, p. 245–250, 1994.

YU, M.; HU, C. XIAO; WANG, Y. HUA. Effects of Molybdenum on the Intermediates of Chlorophyll Biosynthesis in Winter Wheat Cultivars Under Low Temperature. **Agricultural Sciences in China**, v. 5, n. 9, p. 670–677, 2006.