

UM ESTUDO FISIOLÓGICO: A DIFERENÇA DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E ADUBAÇÃO QUÍMICA AFETA A DENSIDADE DE ESTÔMATOS EM VARIEDADES DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*)?

Lyssa Gabriela de Sousa Marinho¹; Jheisse Kelly Alves dos Santos Sousa¹; Ioana Monteiro Mota¹; Frederico Augusto Abrantes Souza²; Weverton Filgueira Pacheco³; Josilda Cavalcante Amorim Damasceno⁴; Miqueias Oliveira de Souza⁴; Eduardo de Souza Moreira⁴; Gabriela Luz Moreira⁴; Reysi Jhayne Pegorini⁴

1 Estudante do Curso Integrado em Agropecuária do IFMA Campus Grajaú; E-mail: lyssa.g@acad.ifma.edu.br

1 Estudante do Curso Integrado em Edificações do IFMA Campus Grajaú; E-mail: jheisse.kelly@acad.ifma.edu.br

1 Estudante do Curso Subsequente em Agropecuária do IFMA Campus Grajaú; E-mail: ioana.m@acad.ifma.edu.br

2 Professor Esp. em Informática do IFMA Campus São Raimundo das Mangabeiras; E-mail: frederico.souza@ifma.edu.br

3 Professor Dr. em Zootecnia do IFTO Campus Araguaatins; E-mail: weverton.pacheco@ifto.edu.br

4 Professora Dra. em Agronomia do IFMA Campus Grajaú; E-mail: josilda.damasceno@ifma.edu.br

4 Professor Me. Em Biologia do IFMA Campus Grajaú; E-mail: miqueias.souza@ifma.edu.br

4 Professor Dr. em Agronomia do IFMA Campus Grajaú; E-mail: eduardo.moreira@ifma.edu.br

4 Professora Dra. em Agronomia do IFMA Campus Grajaú; E-mail: gabriela.luz@ifma.edu.br

4 Professora Me. em Biologia do IFMA Campus Grajaú e Coordenadora do Projeto; E-mail: reysi.pegorini@ifma.edu.br

Resumo

O estudo avaliou os efeitos da adubação convencional e agroecológica na densidade estomática de duas variedades de mandioca (Talo Vermelho e BRS Poti), em experimento conduzido no IFMA – Campus Grajaú, em parceria com a UEMA. O delineamento experimental em blocos casualizados (fatorial 2x3) considerou três tratamentos de adubação (convencional, agroecológica e testemunha). A análise de variância mostrou que apenas a variedade influenciou significativamente a densidade estomática ($p < 0,001$), com maior número de estômatos na Talo Vermelho em relação à Poti. Essa diferença reflete distintas estratégias fisiológicas de adaptação, sugerindo maior potencial de assimilação de carbono para a variedade local em ambientes úmidos, enquanto a Poti apresenta maior eficiência no uso da água. Conclui-se que as variedades possuem respostas fisiológicas contrastantes, e novos estudos são necessários para compreender seus impactos produtivos.

Palavras-chave: Estômatos; Fisiologia Vegetal; Adubação orgânica; Adubação convencional

Financiamento: Bolsistas IFMA – Edital PRPGI nº 17/2024 - PIBIC Ensino Médio 2024/2025

Introdução

As tendências atuais nas mudanças climáticas aumentam a frequência e a gravidade da seca e da salinidade, limitando o crescimento e a produtividade das plantas em todo o mundo e, em última análise, reduzindo a produção de alimentos, levando a maiores riscos de fome, levando à ameaças potenciais à procura global de alimentos, uma vez que se prevê que a população mundial aumente entre 9 e 12,3 bilhões de pessoas entre 2050 e 2100 (FAO, 2017; Frona, et al., 2019; Raza, et al., 2019).

Diante deste cenário, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) que é originária do México e da América Central (Allem, 2002), amplamente cultivada por pequenos agricultores nos solos pobres do continente Africano, Asiático e na América Latina, surge como uma cultura comercial em muitos países em desenvolvimento, antes cultivada por pequenos agricultores, conhecida como uma cultura de “alimento para homens pobres” (FAO 2018) e de “combustível alimentar” (Howeler, et al., 2013), hoje é vista como cultura resiliente, prosperando em ambientes desafiadores onde outras culturas alimentares importantes enfrentam dificuldades, tornando-a uma cultura ideal e resistente ao clima (Pushpalatha e Byju 2020), trazendo benefícios imediatos contra a fome, a pobreza e a desnutrição (FAO 2018).

E quando se fala de manter uma população viva, tem-se que levar em consideração que a vida na terra depende da fotossíntese, a fonte da nossa alimentação, do oxigênio e da esmagadora maioria da nossa energia. Para que ocorra a fixação fotossintética de carbono, o CO₂ deve primeiro difundir-se da atmosfera para o interior da folha. Este processo fundamental é possível em plantas terrestres vasculares pela presença de estômatos: poros microscópicos nas superfícies epidérmicas das folhas (Taiz e Zeiger, 2004).

Cada estômato individual é formado por duas células especializadas conhecidas como células guarda, que circundam o poro estomático (Raven, et al., 2007). Ao controlar dinamicamente as aberturas dos poros, as plantas podem regular suas trocas gasosas como a primeira resposta a uma infinidade de mudanças ambientais, incluindo intensidade de luz, temperatura, umidade e disponibilidade de água (Shimazaki, et al., 2007). Alguns estudos indicam que a propriedade de queda ou dobramento das folhas da mandioca reduz a transpiração com uma taxa fotossintética razoável, este fenômeno na mandioca mitiga o stress hídrico e torna a cultura tolerante à seca prolongada (El-Sharkawy, 2006), fazendo com que as plantas se adaptem alterando as características fisiológicas sendo o fechamento estomático a adaptação primária das plantas ao estresse hídrico, reduzindo o turgor das células guarda sem afetar a taxa de fotossíntese (Osakabe, et al., 2014).

Sabendo que a fertilização é um importante fator para aumento da taxa fotossintética, desempenhando um papel insubstituível no aumento do rendimento das colheitas, existem problemas com o uso desnecessário e cego de fertilizantes químicos, que aumentam o risco de contaminação na atmosfera (Walia e Kumar, 2021). Em um estudo realizado na China (Yan, et al., 2021) para visualizar os efeitos da irrigação e da adubação nas características morfológicas e no padrão de distribuição dos estômatos das folhas de milho, indicou que a morfologia estomática, densidade e o padrão de distribuição espacial dos estômatos na folha do milho foram mais propícios para melhorar a eficiência das trocas gasosas sob a quantidade ideal de irrigação e quantidade de fertilizante químico, aumentando a taxa fotossintética líquida de folhas de milho e o rendimento de grãos na planície. Já em outro estudo realizado para avaliar as características anatômicas de estômatos, mesófilo e pecíolo de variedades de batata-doce após indução de adubação orgânica, também encontrou diferença entre as variedades (Rampe, et al., 2019).

Diante deste cenário e aproveitando que existem poucas referências de trabalhos sobre a densidade estomática em folhas de mandioca, este trabalho teve como objetivo avaliar a densidade estomática de duas variedades de mandioca: uma variedade local, "Talo Vermelho" e uma variedade comercial, oriunda da Embrapa, a BRS Poti, sob dois tipos de adubação: adubação convencional e adubação agroecológica e ausência de adubação (testemunha), analisando se existe influência das adubações na densidade estomática.

Metodologia

Área de Estudo

Esta pesquisa foi realizada em campo experimental do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão - Campus Grajaú (IFMA). em parceria com o Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), campus São Luís, fazendo parte da Tese de Doutorado de um servidor lotado no campus Grajaú. O município de Grajaú, localizado na porção central do estado do Maranhão, no último registro do IBGE, que data de 2017, haviam 3.216 estabelecimentos agropecuários, ocupando uma área de 477.768ha, destes estabelecimentos 638 estão registrados como estabelecimentos que produzem mandioca no município (IBGE, 2024).

Delineamento Experimental

Os tratamentos foram formados pela combinação de três níveis de adubação: adubação convencional, adubação agroecológica e ausência de adubação (testemunha), sendo este tratamento testemunha, a simulação do método de produção de mandioca adotado pelos produtores locais, juntamente com duas variedades de mandioca: uma variedade local, conhecida como "Talo Vermelho" e uma variedade comercial, oriunda da Embrapa, a BRS Poti.

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizado, com quatro repetições e 6 tratamentos, os quais foram arrançados no esquema fatorial 2x3 (Figura 1).

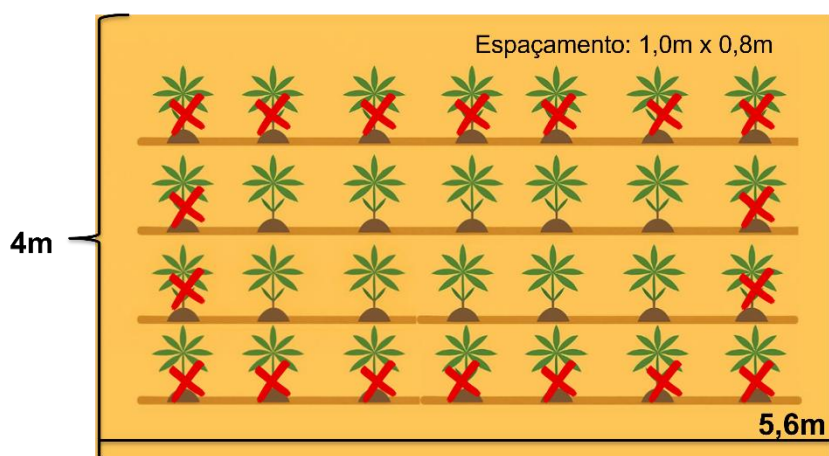
Figura 1 – Desenho experimental da disposição das parcelas no esquema fatorial 2x3.



Fonte: autores

Cada parcela possuía uma área total de 22,4 m², composta por quatro linhas de plantio, cada uma contendo sete plantas de mandioca (Figura 2).

Figura 2 – Simulação do plantio de mandioca dentro de cada parcela.



Fonte: autores.

No entanto, apenas as duas linhas centrais foram consideradas para as avaliações de crescimento, descartando-se as plantas da bordadura. Para a análise, foram selecionadas três plantas dentro da área útil da parcela. As plantas foram identificadas com uma fita para garantir que as avaliações subsequentes fossem realizadas sempre nas mesmas plantas até a colheita.

Antes de iniciar o experimento, foram realizadas avaliações das propriedades físicas, químicas e do teor de matéria orgânica do solo na camada superficial (0-20 cm de

profundidade) para determinar sua fertilidade e a necessidade de correção da acidez. Com base nos resultados, aplicou-se calcário ($1,0 \text{ t ha}^{-1}$) e gesso agrícola (200 kg ha^{-1}) de forma manual em toda a área, exceto nas parcelas controle, que não receberam nenhum tipo de corretivo. Os insumos foram incorporados ao solo utilizando um motocultivador, atingindo a profundidade de 20 cm, entre 30 e 90 dias antes do plantio (Figura 3 – A e B). No sistema de adubação convencional, seguiu-se a recomendação da análise de solo, aplicando-se 300 kg ha^{-1} de superfosfato simples, 70 kg ha^{-1} de cloreto de potássio e 10 kg ha^{-1} de FTE BR12 durante o plantio, diretamente nas covas. Já no manejo agroecológico, utilizou-se uma combinação de esterco bovino ($5,0 \text{ t ha}^{-1}$), fosfato natural (200 kg ha^{-1}) e cinza ($1,0 \text{ t ha}^{-1}$), também depositados manualmente nas covas. As parcelas testemunhas, que simularam o método tradicional dos agricultores locais, não receberam nenhuma forma de adubação, sendo as manivas plantadas diretamente no solo sem correções ou fertilizantes.

Figura 3 – Insumos sendo incorporados ao solo com auxílio de motocultivador (A). Aplicação manual de gesso e calcário no solo (B).



Fonte: autores

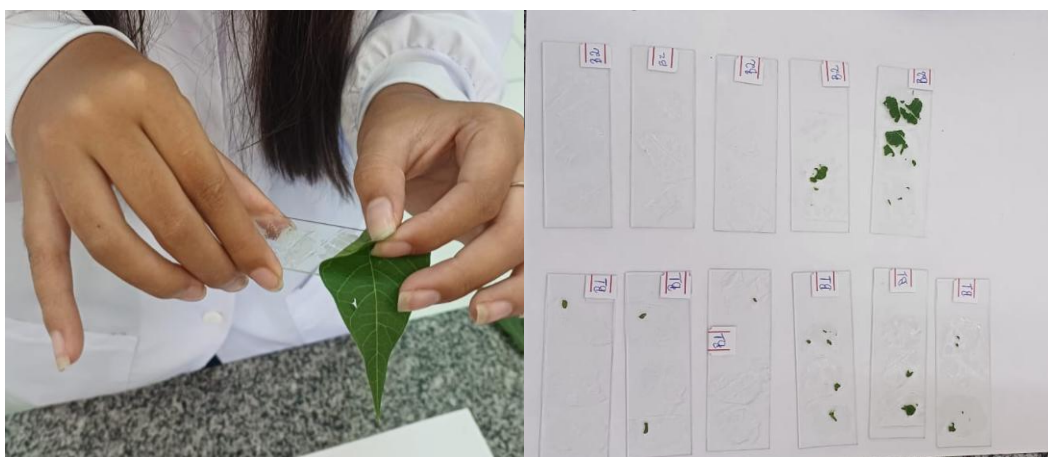
As manivas-sementes foram obtidas do terço médio de plantas saudáveis e foram plantas com tamanho de 20 cm de comprimento, com 5 a 7 gemas e cortadas em corte reto. O plantio das manivas foi feito manualmente na cova, a uma profundidade de 10 cm, no mês de fevereiro de 2025. A colheita está prevista para junho de 2026, totalizando 18 meses de cultivo, quando a planta completar um ciclo e meio de crescimento. O controle das plantas daninhas está sendo feito manualmente por meio de capina, assim como o controle de possíveis pragas que possam afetar as plantas, utilizando-se métodos alternativos e produtos biológicos.

Variáveis mensuráveis

Densidade de estômatos - A coleta das folhas para análise da densidade estomática foi realizada em três plantas de cada sub-parcela útil no mês de julho. As

folhas selecionadas estavam plenamente desenvolvidas e coletadas no terço médio-apical da planta. Foram obtidas as impressões das epidermes da face abaxial das folhas, utilizando-se adesivo instantâneo (Tek® Bond). Essas impressões foram utilizadas para preparar lâminas semipermanentes, seguindo o método descrito por Segatto et al. (2004). Posteriormente, as lâminas foram observadas em um microscópio de luz na objetiva de 40x, realizado as fotografias para contagem detalhada (Figura 4).

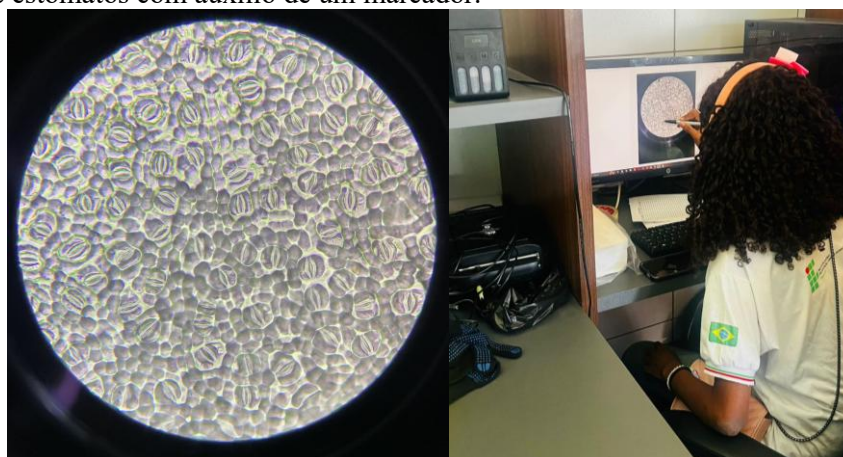
Figura 4 – Técnica de colagem de lâmina foliar com adesivo instantâneo para impressão de estômatos, ao lado laminário já com as lâminas preparadas para visualização.



Fonte: autores

Logo após o preparo das lâminas, foi realizada a visualização dos estômatos em microscópio e registrado a fotografia da lâmina, sendo utilizado o aumento da objetiva de 40x. Para contagem dos estômatos, foi acoplado a um monitor uma folha de acetato e com auxílio de um marcador os estômatos foram marcados e contabilizados. Sendo realizado após uma média da contagem dos estômatos das três folhas de cada parcela (Figura 5).

Figura 5 – Foto da visualização da lâmina do estômato de mandioca. Bolsista realizando a contagem de estômatos com auxílio de um marcador.



Fonte: autores

Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F, a 5% de probabilidade, e as médias dos tratamentos serão comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas serão realizadas no Programa R (R Core Team (2023)) e no Microsoft Excel.

Resultados e Discussão

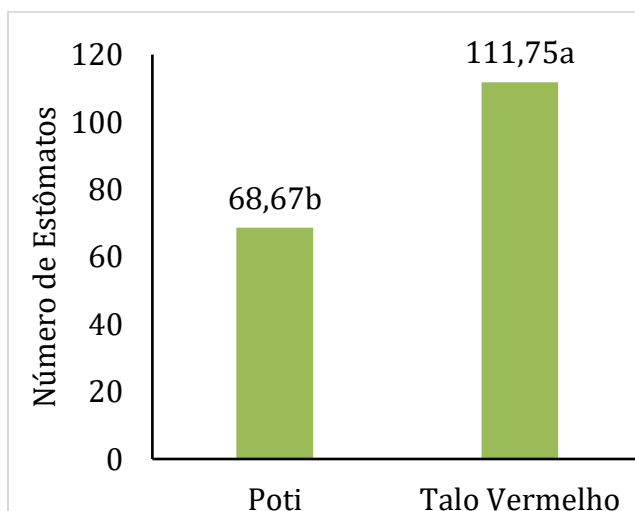
A análise de variância indicou que a variedade teve efeito significativo ($p < 0,001$) sobre a densidade dos estômatos, enquanto os efeitos da adubação e da interação entre variedade e adubação não foram significativos (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise de Variância (ANOVA bifatorial) do número de estômatos

Fonte de variação	SQ	gl	QM	F	p-valor
Variedade	11137,04	1	11137,04	346,68	<0,0001
Adubação	14,33	2	7,17	0,22	0,802 ^{ns}
Var × Adubação	140,33	2	70,17	2,18	0,141 ^{ns}
Resíduo	578,25	18	32,13		
Coefficiente de Variação (CV%)					6,2%

A variedade **Talo Vermelho** apresentou número significativamente maior de estômatos do que a variedade **Poti** (Figura 6).

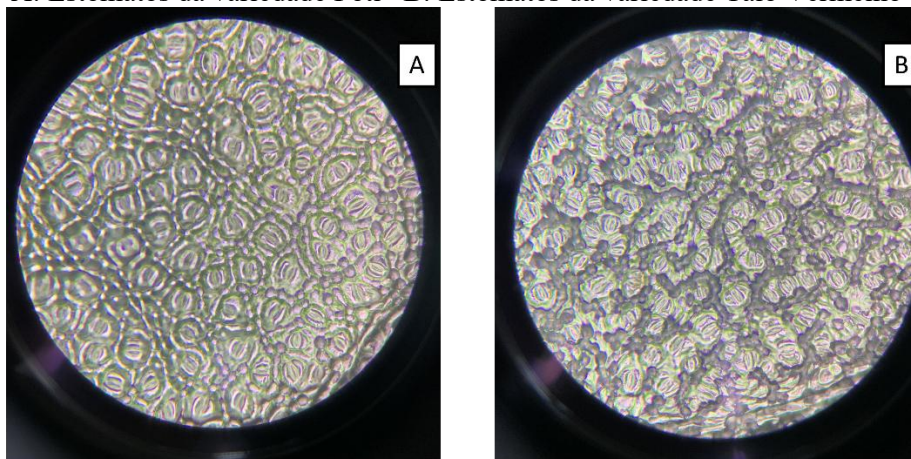
Figura 6 - Média do número de estômatos de variedade de mandioca cultivada no município de Grajaú – MA.



Fonte: autores

Visualmente, é possível perceber diferenças morfológicas nas lâminas microscópicas de cada variedade (Figura 7).

Figura 7 - A: Estômatos da variedade Poti B: Estômatos da variedade Talo Vermelho



Fonte: autores

A variedade Talo Vermelho, nativa da região, apresentou maior densidade estomática em relação à variedade Poti, desenvolvida pela Embrapa. Essa característica pode estar associada a uma estratégia adaptativa de resposta rápida a condições favoráveis de luz e umidade, permitindo maior assimilação de carbono em curtos períodos, conforme destacado por Hetherington & Woodward (2003). Já a menor densidade estomática observada na Poti indica uma maior eficiência no uso da água, favorecendo a estabilidade da produção em diferentes condições de cultivo. Assim, enquanto a Talo Vermelho pode expressar maior potencial produtivo em ambientes com disponibilidade hídrica adequada, a Poti tende a ser mais resiliente ao estresse hídrico, refletindo o contraste entre a seleção natural em ambientes áridos e o melhoramento genético voltado à produtividade estável.

Conclusão

Houve diferença significativa na densidade estomática entre as variedades. Mais estudos são recomendados para avaliar suas implicações fisiológicas e produtivas.

Agradecimentos

Agradecemos a PRPGI - IFMA pelo apoio financeiro aos bolsistas e ao IFMA – Campus Grajaú pela infraestrutura e recursos técnicos, e aos voluntários e colaboradores que contribuem para o desenvolvimento do projeto.

Referências

- ALLEM, A. C. (2002) The origins and taxonomy of cassava. *In*: Hillocks RJ, Thresh JM, Bellotti A (eds) Cassava: Biology, Production and Utilization. CABI, Wallingford, pp 1–16
- EL-SHARKAWY, M. A (2006) International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology and responses to environmental stresses in the tropics. **Photosynthetica** 44:481–512
- FAO (2018) The state of agricultural commodity markets 2018. Agricultural trade, climate change and food security. Rome.
- FRONA, D.; SZENDERAK, J.; HARANGI-RAKOS, M. (2019) The challenge of feeding the world. **Sustainability** 11(20):5816.
- HETHERINGTON, Alistair M.; WOODWARD, F. Ian. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, v. 424, n. 6951, p. 901-908, 2003.
- HOWELER, R.; LUTALADION, THOMAS G (2013) Save and grow cassava: a guide to sustainable production intensification. FAO Plant Production and Protection Division, Rome.
- IBGE. 2024. Cidades Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/grajau/pesquisa/24/76693>. Acesso em 03/04/2024.
- OSAKABE Y, OSAKABE K, SHINOZAKI K, TRAN LS (2014) Response of plants to water stress. **Front Plant Sci** 5:86
- PUSHPALATHA, R.; BYJU, G (2020) Is cassava (*Manihot esculenta* Crantz) a climate “smart” crop? A review in the context of bridging future food demand gap. **Tropical Plant Biol** 13:201–211.
- R Core Team (2023) R A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- RAMPE. H.L; UMBOH, S.D; SIAHAAN, R; MAABUAT, P.V. (2019) Anatomical characteristics of stomata, mesophyll and petiole of six varieties sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) after organic fertilizer induction. IOP Conf. Series: **Materials Science and Engineering** 567.
- RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray Franklin; EICHHORN, Susan E. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007 830 p
- RAZA, A.; RAZZAQ, A.; MEHMOOD, S.S.; ZOU, X.; ZHANG, X.; LV, Y.; XU, J. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. **Plants**, 8, 34. 2019

SEGATTO, F. B., BISOGNIN, D. A., BENEDETTI, M., COSTA, L. C. DA, RAMPELOTTO, M. V., & NICOLOSO, F. T. Técnica para o estudo da anatomia da epidermefoliar de batata. **Ciência Rural**, 34(5), 1597-1601. 2004.

SHIMAZAKI, K., DOI, M., ASSMANN, S.M. AND KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annu. Rev. Plant Biol.** 58, 219–247. 2007

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artemed, 3.ed. 2004. 719p

WALIA, S; KUMAR, R. Nitrogen and sulfur fertilization modulates the yield, essential oil and quality traits of wild marigold (*Tagetes minuta* L.) in the Western Himalaya. **Plant Sci.** 11:631154. 2021

YAN,RUN-JIEAND LI,FEIAND ZHANG,XI-XIAND ZHANG,YUN-XINAND WU,HAI-XIAAND HAO,LI-HUAAND CHANG,ZHI-JIEAND ZHENG,YUN-PU (2021). Effects of irrigation and fertilization on the morphological traits and distribution pattern of stomata of maize leaves under straw returning. Chinese, Journal article, China, (10), Wuhan, **Water Saving Irrigation** / Jieshui Guan'gai, (71–77), Editorial Office of Water Saving Irrigation.