

Passo Fundo, RS / Março, 2026



Alta população de plantas aumenta os danos por geadas em Aveia-preta

Osmar Rodrigues⁽¹⁾, Jane Rodrigues Assis Machado⁽¹⁾, Edson Roberto Costenaro⁽²⁾ e Pedro Mathias Peres Weschenfelder⁽³⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS. ⁽²⁾ Analista, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

⁽³⁾ Estudante de graduação da Universidade de Passo Fundo, bolsista CNPq na Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Resumo — A aveia é o cereal forrageiro anual mais cultivado no mundo. Nos estados do Sul do Brasil, a cultura da aveia compõe predominantemente os sistemas de produção, como planta de cobertura antecedendo o cultivo de soja/milho ou como forragem para produção de leite/carne. Nestes ambientes, a aveia-preta está sujeita a danos de geadas na primavera, reduzindo sua produtividade com reflexos negativos nestes sistemas em que participa. Nesta condição, produtores de aveia-preta, tem minimizado a perda potencial por geada estabelecendo seu cultivo mais tarde ou selecionando cultivares que floresçam após a janela de maior risco de geada ter passado. Contudo, com o reflexo do aquecimento global, acelerando o desenvolvimento das culturas e anulando parcialmente a “*possível redução de risco de geada*” esperada pelo aquecimento, torna-se oportuna a adoção de técnicas de mitigação para fazer frente a essa nova realidade. Neste cenário, a densidade de sementes, uma vez que pode alterar a estrutura das plantas, modificando as características osmóticas do tecido, pode ser usada como ferramenta para a mitigação dos efeitos danosos da geada na cultura da aveia-preta. Considerando resultados escassos de pesquisas de arranjo de plantas, para a resposta das culturas a estresses abióticos, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a produção de biomassa de aveia-preta sob diferentes densidades de semeadura, com foco nos efeitos de um evento de geada natural, no ano de 2021. Os resultados, independente dos genótipos estudados apontam que a densidade de 200 pl/m², além de implicar em redução nos custos de sementes para implantação, comparativamente às altas densidades (300 e 400 pl/m²), melhora a resistência das plantas aos danos provocados por geadas, repercutindo positivamente na produção de biomassa.

Termo para indexação: Avena strigosa, população de plantas, biomassa e geadas.

High plant population increases frost damage in black oats

Abstract — Oats are the most widely cultivated annual forage cereal in the world. In the southern states of Brazil, oat cultivation predominantly comprises our production systems, either as a service crop preceding

Embrapa Trigo
Rodovia BR-285, km 294
Caixa Postal 78
99022-100 Passo Fundo, RS
www.embrapa.br/trigo
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Daniel Augusto Schurt

Membros

Alaerto Luiz Marcolan, Alexandre Ferreira do Nascimento, Alvadi Antonio Balbinot Junior, Gilberto Rocca da Cunha, João Leonardo Fernandes Pires, Jorge Alberto de Gouvêa, Joseani Mesquita Antunes e Sandra Maria Mansur Scagliusi

Normalização bibliográfica

Graciela Olivella Oliveira
(CRB-10/1434)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Márcia Barrocas Moreira Pimentel

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

soybean/corn cultivation or as forage for milk/meat production. However, black oats are subject to spring damage, reducing their productivity and negatively impacting these systems. In this context, black oat producers have minimized the potential for loss by establishing their crops later or selecting cultivars that flower after a window of higher survival risk. However, with the impact of global warming accelerating crop development and partially negating the “possible reduction in the risk of delay” expected from warming, the adoption of mitigation techniques to address this new reality becomes opportune. In this scenario, seed density, since it can alter plant structure by modifying the osmotic characteristics of the tissue, can be used as a tool to mitigate the damaging effects of frost on black oat cultivation. This aspect of plant spatial arrangement has not received much attention in research. Thus, given the scarcity of results and the opportunity presented by the occurrence of natural frost in 2021, biomass production under different sowing densities of black oats was evaluated. The results, regardless of the three genotypes studied, indicate that the lowest density studied, 200 plants/m², compared to densities of 300 and 400 plants/m², in addition to the lower establishment cost, improves plant resistance to frost damage, positively impacting biomass production.

Index term: *Avena strigosa*, plant population, biomass and frosts.

Introdução

Variabilidade Climática e o Fenômeno das geadas

A cada ano, ocorrem ondas de frio polar que afetam os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro. Esse fenômeno resulta em quedas significativas de temperatura, levando à ocorrência de geadas severas, especialmente, nas regiões mais ao sul do Brasil, impactando diretamente a produção de alimentos destinados tanto ao consumo interno quanto, em certos anos e dependendo dos produtos, à exportação internacional.

Os danos causados à produção refletem-se na comercialização dos produtos brasileiros. Somente a exportação das três principais commodities — café, cana-de-açúcar e milho — gerou um montante de US\$ 21,3 bilhões em 2020, dentro de um total exportado de US\$ 100,81 bilhões, o segundo maior

valor da série histórica, perdendo apenas para 2018 (Brasil, 2021).

Eventos climáticos extremos, como geadas (< 0 °C) e choques térmicos (curtos períodos de elevadas temperaturas > 33 °C) afetam, principalmente, às produções de cereais de inverno cujos prejuízos necessitam ser mitigados para manter a lucratividade do negócio agrícola.

Os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, enfrentam as temperaturas do ar mais frias, no ano de 2020 ocorreram baixas temperaturas com queda de neve em alguns locais e sensação térmica alcançando -15 °C, causando danos às culturas estabelecidas (Informativo..., 2020).

Nesse contexto, as geadas se destacam como o principal fator de risco para a produção de grãos nos sistemas agrícolas do sul do Brasil e parecem estar se tornando mais frequentes e intensas, em virtude das alterações climáticas, com ênfase em eventos extremos. Assim, aumento das temperaturas globais, contrariamente ao esperado, estão agravando os efeitos da geada (Liu et al., 2018; Chamberlain et al., 2021). Alterações na fenologia das plantas, dormência reduzida, brotação e floração precoces, são alguns dos efeitos do aumento das temperaturas, contribuindo para a redução da resistência às geadas. Tal mecanismo decorre, pela antecipação no tempo (dias mais curtos) da fase fenológica de maior sensibilidade às geadas (fase reprodutiva), anulando parcialmente a “*possível redução de risco de geada*” esperada com temperaturas mais elevadas, pelo aquecimento global (Liu et al., 2020). Um dos exemplos mais característicos deste fenômeno foi relatado na Austrália, onde o aumento na frequência de temperaturas diurnas mais elevadas (> 40 °C) provocaram aumento na incidência de geadas em grande parte do cinturão australiano de grãos, entre 1960 e 2011 (Barlow et al., 2015).

O frio causado pelas geadas pode levar a formação de cristais de gelo que danificam a integridade da membrana celulares, nos tecidos vegetais. Contudo, cereais de inverno e, especialmente, a aveia-preta, podem aumentar a capacidade de suportar temperaturas congelantes após serem expostos a estímulos como; baixas temperaturas e dias curtos. Esse processo, denominado de *aclimação* ao frio ou *endurecimento* por geada, está associado a alterações bioquímicas e fisiológicas que ocorrem a nível celular, principalmente na composição da bicamada lipídica das membranas (Satyakam et al., 2022).

Embora o aquecimento global possa amenizar as temperaturas de inverno, ele aumenta as variações de temperatura e a probabilidade de eventos

climáticos extremos. Tais alterações podem contribuir para que as plantas tenham dificuldades para “*endurecer*” tornando-se menos resistentes às geadas no inverno. Tais condições, de maneira geral e a longo prazo, poderão interferir na distribuição das espécies e, principalmente, na sua produtividade, a curto prazo. Como consequência, o crescimento vegetativo, a floração e o “*desendurecimento*” serão acelerados, acarretando o brotamento precoce e a maior vulnerabilidade à geada.

Tipos de danos

A temperatura crítica na qual ocorrem os danos de geada às culturas depende de vários fatores, incluindo a espécie, o estágio de desenvolvimento da planta e a duração do evento de geada. Quanto maior a duração do resfriamento, maior a probabilidade de ocorrência e propagação da nucleação de gelo, com danos subsequentes. Por outro lado, o estágio de desenvolvimento, pode favorecer a maior resiliência a geada. Tal condição pode ser evidenciada pela exposição prolongada às geadas, nas fases iniciais de desenvolvimento das culturas (Jahed et al., 2023).

O resfriamento e o congelamento são os principais responsáveis pelos danos nos cereais de inverno, provocados por estresse de frio. A lesão por resfriamento geralmente ocorre quando as plantas são expostas a temperaturas entre 0 °C e 10 °C e está relacionada principalmente, com disfunções metabólicas (na fotossíntese, na respiração, na absorção de nutrientes, na redução e assimilação de N). Tais alterações, em algumas situações, podem levar as plantas à esterilidade, repercutindo fortemente na produtividade de grãos. O congelamento, por sua vez, ocorre em temperaturas inferiores a -2 °C, com formação de cristais de gelo no espaço intercelular (apoplasto). Esses cristais reduzem o potencial hídrico externo à célula e induzem a saída de água do citoplasma, que se desidrata, resultando em danos à estrutura das membranas (Wang et al., 2023). Além disso, o estresse de baixa temperatura pode levar a alterações morfológicas e moleculares nas plantas, provocando redução da área foliar, redução na concentração de clorofila, alteração na proporção de pigmentos foliares e danos na estrutura celular interna da folha (Zhang et al., 2021). Tanto o resfriamento quanto o congelamento podem provocar danos foto-oxidativos, com formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) nos cloroplastos. Nessas condições, a queda da atividade metabólica reduz a fixação de CO₂, de modo que a energia luminosa absorvida se torna excedente em relação à capacidade de uso, favorecendo a geração de ROS.

A alta toxicidade das ROS causa danos à membrana e degradação da clorofila, sendo, portanto, responsáveis pelo desenvolvimento de clorose e necrose foliar após eventos de geada.

Danos na fase vegetativa

Danos por estresse de frio em cereais de inverno são observados em todos os estádios de desenvolvimento, desde plântulas até a maturação final, mas com intensidade variável (Hassan et al., 2021). A ocorrência de geadas durante a fase vegetativa causa danos às folhas, de diferentes naturezas e consequências. Acelera danos e destruição de membranas, com vazamento de eletrólitos nas células das folhas, causando clorose, murcha e, eventualmente, necrose (Hassan et al., 2021); inibe a expansão foliar; reduz a interceptação de radiação pelo dossel e a eficiência do uso de radiação (EUR) devido a fotoinibição (Mattila et al., 2020). O conjunto destas alterações repercutem negativamente na taxa fotossintética líquida, reduzindo a produção de assimilados e o acúmulo de biomassa (Zhang et al., 2020; El-Badri et al., 2021). Não obstante, geralmente tais alterações na fase vegetativa, geram menores impactos no potencial de produção de grãos (Xu et al., 2022), uma vez que os meristemas reprodutivos dos cereais, estão protegidos e abaixo da superfície do solo.

Danos na fase reprodutiva

A transição do estágio vegetativo para reprodutivo reduz o nível de resistência ao congelamento, de modo que os danos causados por geadas nos estádios reprodutivos são maiores, com grande reflexo na produção de grãos. Tal sensibilidade à geada é atribuída à sensibilidade do desenvolvimento do pólen no estágio de micrósporo jovem à geada. Contudo, causas mais genéricas como a restrição completa da atividade fotossintética do dossel (Fernández Nevyl; Battaglia, 2021) e danos graves às espiguetas das espigas em desenvolvimento (Liu et al., 2020), também contribuem para redução na produção de grãos. Nessa situação, mecanismos como o acúmulo excessivo de ROS, a peroxidação lipídica de membranas e o aumento da senescência foliar, parecem comprometer o funcionamento do aparato fotossintético (Huang et al., 2019; Liu et al., 2020). Temperaturas do ar congelantes, na fase de enchimento dos grãos, geralmente apresentam danos menores, mas podem contribuir para a formação de grãos menores, encolhidos e enrugados, ou mesmo mortos (Cromey et al., 1998).

Danos nas raízes

Geadas também podem danificar as raízes e o seu funcionamento celular. Estudos realizados em arroz sob estresse de baixa temperatura do ar, apresentaram redução de 51% no comprimento das raízes e na biomassa (Hsu; Hsu, 2019; Kul et al., 2020). A geada interfere na absorção de água e minerais das plantas, principalmente nas raízes finas e regeneração dessas raízes, implica em gasto de tempo e reservas de carboidratos não estruturais, que impactam a produtividade final das plantas. Comparativamente à parte aérea, as raízes são mais propensas aos danos pelas geadas. Essa diferença na resistência à geada entre as raízes e a parte aérea, tem sido atribuída ao seu teor relativo de água que pode ser até três vezes maior que o da parte aérea. Tal situação, aumenta o risco de formação prejudicial de gelo.

Geadas em aveia-preta

A aveia é o cereal forrageiro anual mais cultivado no mundo (Andrzejewska et al., 2019). Entre os cereais de inverno, a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) tem se destacado na produção de biomassa em função do seu ciclo vegetativo mais longo e consequente tolerância às geadas. A cultura da aveia-preta compõe o sistema de produção nos estados do sul do Brasil, fornecendo forragem para produção de leite/carne e biomassa para a produção de soja/milho (Lopes et al., 2009). Neste sistema, a aveia-preta está sujeita a danos de geadas na primavera, reduzindo sua produtividade com reflexos negativos nos sistemas de produção em que participa. Nesta condição, produtores de aveia-preta, particularmente em climas do tipo mediterrâneo como o Sul do Brasil, tem minimizado a perda potencial por geada estabelecendo seu cultivo mais tarde ou selecionando cultivares que floresçam após a janela de maior risco de geada. Contudo, com o reflexo do aquecimento global, acelerando o desenvolvimento das culturas e anulando parcialmente a “*possível redução de risco de geada*” esperada pelo aquecimento, impõe até mesmo para aveia-preta, a adoção de técnicas de mitigação para fazer frente a essa nova realidade.

Densidade de semeadura, como prática de mitigação de danos por Geadas

Entre as condições que possuem potencial para mitigar os danos de geadas, a densidade de semeadura, destaca-se para as condições do sul do Brasil, especialmente no cultivo de aveia-preta para produção de forragem. A densidade de semeadura adequada evita a retenção excessiva de umidade

no solo e conseqüentemente, a maior sensibilidade das plantas ao congelamento. Por outro lado, densidades elevadas, que frequentemente tem sido utilizada pelos produtores nos campos de aveia-preta pastoreados no Sul do Brasil, em que pesem maiores ganhos iniciais de produção de biomassa (Rodrigues et al., 2023), podem provocar autossombreamento e, em consequência, aumentar o risco de geada. O autossombreamento, diminui a eficiência fotossintética da planta, e afeta negativamente o afilhamento (iniciação de gemas de afilhos) e, conseqüentemente, a produção de biomassa. O aumento do risco de geada, em função da maior cobertura vegetal (dossel ou palhada), decorre da redução do aquecimento do solo durante o dia. Por outro lado, copas abertas ou baixa cobertura vegetal (baixa população de plantas), armazenam mais carboidratos solúveis em água (CSA) nos tecidos (Van Herwaarden et al., 1998), em função da maior penetração de luz, que atinge áreas mais profundas do dossel. Dessa forma, pode gerar maior concentração osmótica (CSA) dos tecidos, implicando em menor sensibilidade à geada.

No contexto no sul do Brasil, a geada tem o potencial de reduzir significativamente a produção, principalmente na fase reprodutiva. Isso explica por que a tolerância a geada se constitui em um dos principais objetivos da pesquisa e do melhoramento genético dos cereais de inverno na América do Sul (Federizzi; Mundstock, 2004). Da mesma forma, a manipulação da época de floração como medida de prevenção às geadas, tem se constituído como principal estratégia na produção pelos agricultores. Contudo, as geadas continuam sendo o maior obstáculo para a produção de cereais de inverno, especialmente no sul do Brasil. Neste cenário, a densidade de semeadura possui potencial estratégico para minimizar o efeito negativo das geadas, uma vez que pode alterar a estrutura das plantas (Pomarenke et al., 2024), modificando as características osmóticas do tecido (conteúdo relativo de água). Tal estratégia, pode reforçar mecanismos internos das plantas (aumento da concentração osmótica celular) minimizando estresses do ambiente. Portanto, da mesma forma que existe uma densidade ideal de plantas, para a supressão de ervas daninhas (Li et al., 2018) e para melhorar o aproveitamento dos recursos do ambiente (Zhang et al., 2025), pode-se usar a densidade de plantas como ferramenta para a mitigação dos efeitos danosos da geada na cultura da aveia-preta. Assim, dada a escassez de informações e a oportunidade de ocorrência de geada natural no ano de 2021, foram avaliadas diferentes densidades de sementes de

cultivares de aveia-preta, para mitigação dos efeitos negativo da geada na produção de forragem. Dessa forma, contribuindo para acabar com a fome e melhorando a segurança alimentar em uma agricultura mais sustentável, participando das metas do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 (ODS 2).

Material e métodos

O estudo foi conduzido na estação experimental da Embrapa Trigo em Passo Fundo, RS (28°15' S, 52°24' W, 687 m). O solo da estação experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, o qual em 2019 foi corrigido com adubação fosfatada e potássica, cujas características resultantes estão apresentadas na Tabela 1. Em 2021, antes da semeadura que ocorreu em 10/05/2021, foi aplicado 260 kg/ha de adubação (N-P-K) correspondente a fórmula 5-25-25. Após a emergência das plântulas, foi efetuado o desbaste para obtenção das densidades desejadas (200, 300 e 400 plantas aptas por m²).

Foram testados três genótipos de aveia-preta (Embrapa 139-Neblina, PFA 201702 e PFA 201803) em três densidades de sementes (200, 300 e 400 sementes aptas por m²). As parcelas foram constituídas por 5 linhas espaçadas de 0,2 m e com 6 m de comprimento. O experimento foi fatorial 3 x 3, com delineamento em blocos casualizados, e quatro repetições. A semeadura foi em 10/05/2021 com

ajuste da população após a emergência. O manejo da cultura seguiu as indicações da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Com relação ao manejo de nitrogênio em cobertura, utilizou-se uma aplicação de N (Ureia-46-0-0) no início do afilhamento e após cada corte, suplementações de 25g/parcela.

Tabela 1. Análise química do solo, conforme coleta de 0 a 20 cm de profundidade. EMBRAPA TRIGO, Passo Fundo, RS.

Textura	Argila g/dm ³	pH H ₂ O	Ind. SMP	P mg/dm ³	K mg/dm ³	MO g/dm ³
2	540	5,3	5,4	38,3	212	40
Al	Mg	Ca	H+Al	CTC	CTCe	S
mmol _c /dm ³						
5,6	20,6	50,6	86,8	163,5	82,2	76,6
V	Ca	Mg	K	H+Al	Al	
(%)	% de saturação da CTC			(%)		
46,9	31,0	12,6	3,3	53,1	6,8	

Os dados climáticos (temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e insolação) foram obtidos na estação meteorológica na Embrapa Trigo, (localizada a 1 km do local do experimento) e são apresentados a partir de 15 de julho de 2021 (Figura 1).

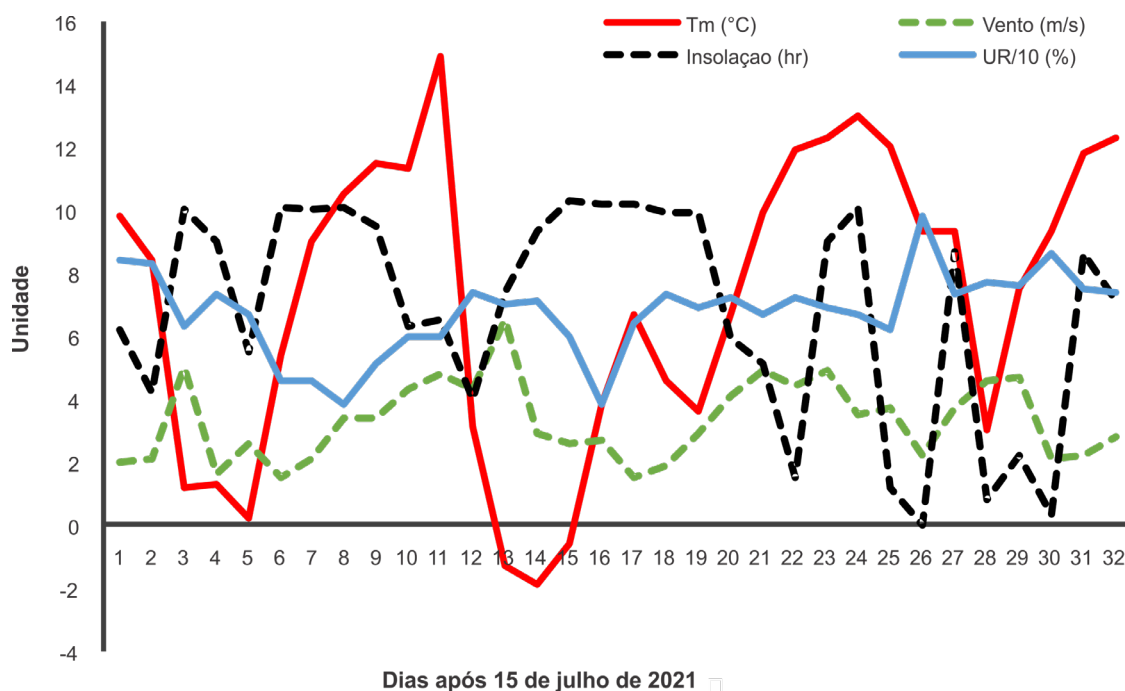


Figura 1. Temperatura mínima (Tm °C), umidade relativa (UR %), velocidade do vento (m/s) e insolação (hr) após 15 de julho de 2021 em Passo Fundo, RS. Ocorrência de temperaturas negativas no abrigo meteorológico (1,20 cm acima do solo) nos dias 28, 29 e 30 de julho. Coordenadas geográficas da estação meteorológica de Passo Fundo, RS (Lat. 28°15'46" S; Long. 52°24'24" W; Altitude 684 m).

Para avaliação dos danos da geada, foi quantificada a produção de biomassa com cortes manuais a 0,07 m acima da superfície do solo, sempre que as plantas atingiam 0,20 m de altura. A área de amostragem correspondeu a 3,0 m, perfazendo 0,6 m². Imediatamente após os cortes as amostras foram secadas a 60°C em estufa com circulação forçada de ar, até a obtenção do peso constante da massa seca. Após a coleta das amostras, os restantes

das parcelas foram roçados para uniformização da altura das plantas remanescentes. O primeiro corte ocorreu 35 dias após a emergência. As amostragens, dos respectivos cortes, foram realizadas conforme as datas apresentadas na Tabela 2.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Datas de amostragens referentes aos diferentes cortes de três genótipos de aveia-preta. EMBRAPA TRIGO, Passo Fundo/RS, 2021.

Ano	Semeadura	Emergência	1° Corte	2° Corte	3° Corte	4° Corte	Colheita
2021	10/05	18/05	23/06	17/07	09/08	30/08	18/10

Resultados e discussão

A análise da produção de biomassa (matéria seca), em função dos tratamentos utilizados, revelou que não houve interação entre os genótipos e as densidades de semeadura utilizadas, por isto, os genótipos foram analisados separadamente. Foi observado no primeiro corte, que o genótipo PFA 201803 obteve uma produção de matéria seca (MS) de 650 kg/ha, superando estatisticamente os demais genótipos estudados (Figura 2).

Por outro lado, no segundo corte, não houve diferença significativa na produção de biomassa (MS) entre os genótipos (Figura 2). Assim, independente da densidade de semeadura e apesar das pequenas

diferenças de ciclo entre os genótipos, a produção média de biomassa foi de 740 kg/ha.

No terceiro corte, após a ocorrência de temperaturas baixas (Figura 1) que propiciou a ocorrência de geadas, observou-se diferença significativa na produção de biomassa, entre os genótipos estudados (Figura 2). Nesse contexto, se destacou em produção de biomassa, com média de 916 kg/ha a cultivar Embrapa 139-Neblina. Nessa mesma avaliação, o genótipo PFA 201803 apresentou a maior redução na produção de biomassa, comparativamente ao segundo corte, caracterizando-se como o mais sensível ao dano de geada. Por outro lado, o genótipo PFA 201702 apresentou um desempenho intermediário entre os genótipos, com rendimento de 740 kg/ha (Figura 2).

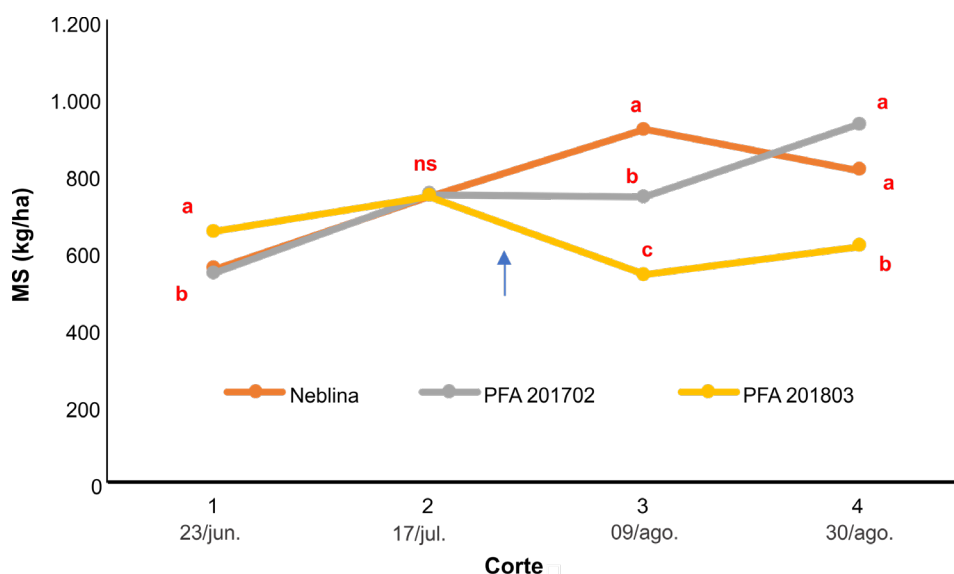


Figura 2. Efeito da geada no rendimento de massa seca em genótipos de aveia-preta em 2021. Embrapa Trigo - Passo Fundo, RS. As diferentes letras, em cada corte, representa diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade. A seta indica, aproximadamente, o período que ocorreu as geadas (28, 29 e 30 de julho).

No quarto corte, o genótipo PFA 201702 melhorou seu desempenho e, junto com BRS Neblina, apresentaram rendimento de biomassa (MS) superior a PFA201803 (Figura 2).

Com relação às densidades estudadas, independente dos genótipos, o primeiro corte na densidade de 400 pl/m² teve a sua produção de biomassa significativamente superior as demais densidades, produzindo em média 707 kg/ha (Figura 3). No segundo corte, não houve diferença significativa entre as densidades estudadas na produção de biomassa, uma vez que o efeito da maior população de plantas (400 pl/m²) já havia sido compensado, nas demais densidades (200 e 300 pl/m²). Assim, no terceiro corte, que ocorreu após as geadas, observou-se que a densidade de 200 pl/m² utilizada na semeadura, foi significativamente menos afetada na produção de

biomassa, atingindo em média 831 kg/ha. As demais densidades (300 e 400 pl/m²) obtiveram produção de biomassa significativamente inferior (Figura 3).

No quarto corte, 21 dias de rebrote após o terceiro corte, não houve diferença significativa na produção de biomassa entre as densidades estudadas (Figura 3). Nessa condição, as densidades mais elevadas (300 e 400 pl/m²), recuperaram sua condição fisiológica de rebrote no mesmo nível da densidade de 200 pl/m² que apresentou o menor dano (medido pela biomassa avaliada) pós geada.

Finalmente, analisando-se a produção de biomassa total acumulada nos quatro cortes, observou-se que não houve diferença significativa entre as densidades utilizadas (Figura 4), nos genótipos estudados.

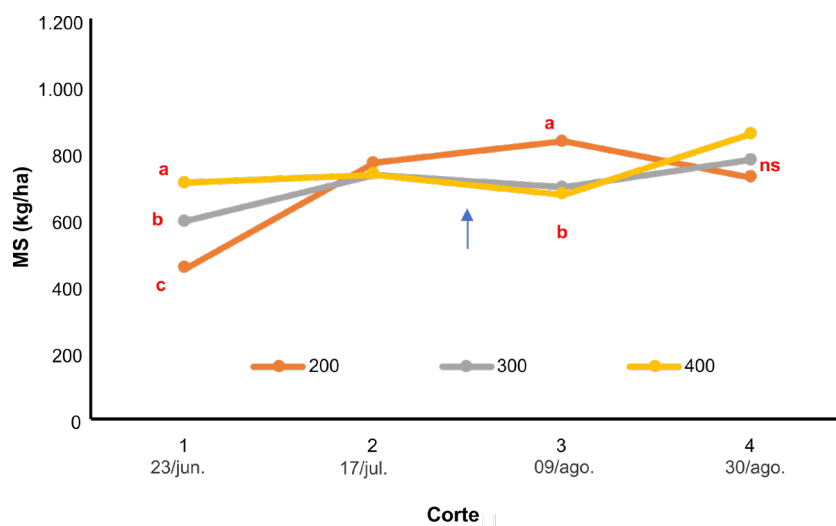


Figura 3. Efeito da geada no rendimento de massa seca de aveia-preta submetida a diferentes densidades de semeadura. Embrapa Trigo - Passo Fundo, RS. As diferentes letras em cada corte, representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A seta indica, aproximadamente o momento (tempo) em que ocorreram as geadas (28, 29 e 30 de julho).

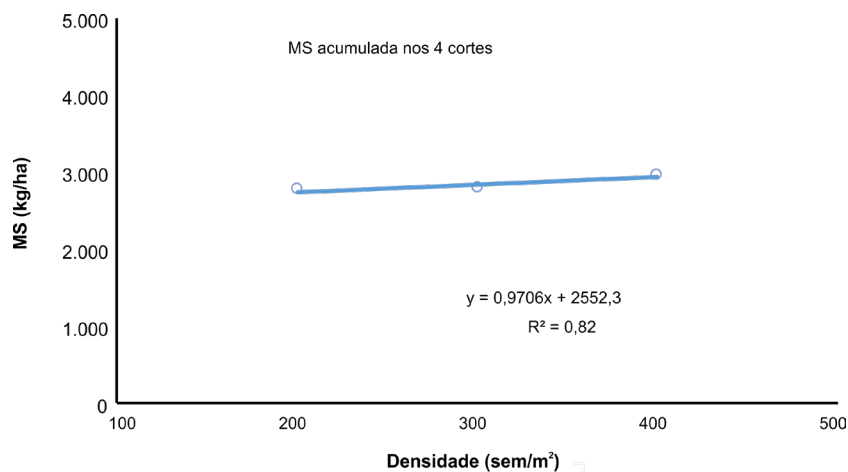


Figura 4. Efeito da densidade de sementes de genótipos de aveia-preta na produção de biomassa seca (kg de MS/ha) acumulado em 4 cortes. Passo Fundo, 2021.

Com relação ao número de afilhos por planta, parâmetro muito importante para produção de biomassa e avaliado antes do segundo corte, observou-se

que na densidade de 200 pl/m² apresentou o melhor desempenho (Figura 5).

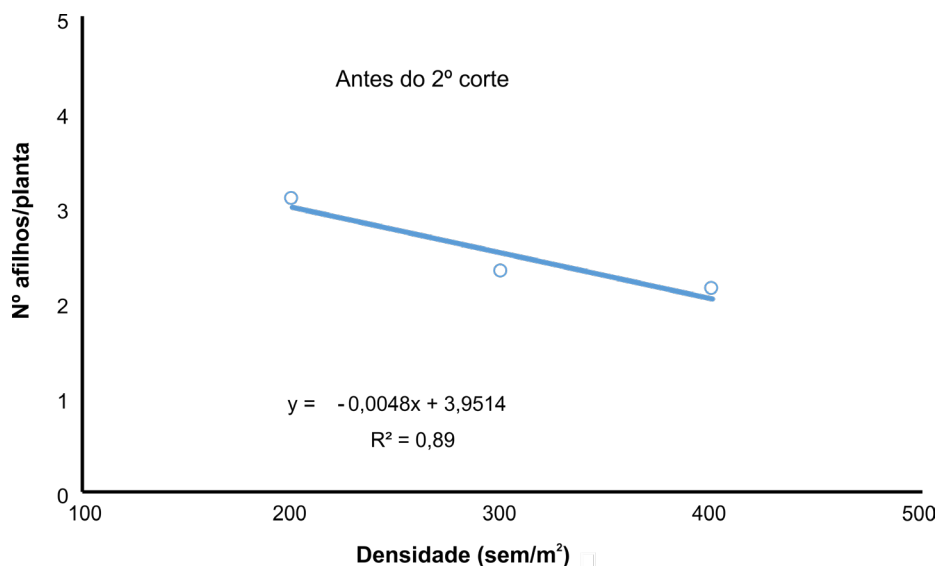


Figura 5. Efeito da densidade de sementes de genótipos de aveia-preta no número de afilhos/planta, em Passo Fundo, 2021.

Discussão

Os danos de geada em genótipos de aveia-preta são muito frequentes na região sul do Brasil, e geralmente passam despercebidos à campo em função da intensidade, da velocidade de resfriamento e do momento em que ocorrem. Contudo, em alguns anos essas ocorrências são muito marcadas e permitem avaliações mais distintivas em relação aos genótipos e o seu manejo, especialmente, em relação a densidade de plantas.

Foi observado que após o segundo corte, a ocorrência de geada afetou significativamente a produção de biomassa entre os genótipos avaliados no terceiro corte (Figura 2). O genótipo PFA 201803, sofreu redução significativa na produção de biomassa em relação aos demais genótipos, independentemente das diferentes densidades utilizadas. Por outro lado, a cultivar Embrapa 137-Neblina mostrou-se mais resistente à perda de produtividade de biomassa em função das geadas sofridas. No quarto corte, o genótipo PFA 201702 mostrou maior recuperação na produção de biomassa em relação aos demais genótipos, superando até mesmo a cultivar Neblina (Figura 2). Várias são as causas das diferenças na resposta de produção de biomassa dos genótipos, o que não se constituiu no propósito do presente estudo. Pelo contrário, a utilização de 3 genótipos (variabilidade genética), reforça a condição de segurança na análise do principal fator de interesse do estudo (densidade populacional).

Com relação à densidade de semeadura, independentemente dos genótipos, foi observado no primeiro corte que a maior produção de biomassa, na densidade de 400 pl/m², comparativamente às demais densidades foi consequência da maior quantidade de semente utilizada (Rodrigues et al., 2023). A partir daí as densidades mais reduzidas (200 e 300 pl/m²) foram recuperando a produção de biomassa (Figura 3), quer seja pela reduzida competição intraespecífica ou pelo maior afilhamento (Figura 5) e pela potencialização de uso da qualidade da luz interceptada (Almeida; Mundstock, 2001). Tais condições propiciaram, já no segundo corte, ausência de diferenças significativas entre as densidades avaliadas.

A melhor resposta na produção de biomassa obtido pela população de 200 pl/m², após ocorrência das geadas (Figura 3), pode-se constituir em medida de manejo ambientalmente correta, para mitigar os efeitos negativos da geada nos sistemas de produção. Tais resultados, onde apenas a população de plantas variou, portanto livres de interferência dos genótipos, dos estádios de desenvolvimento e da duração do evento, fornece maior segurança à informação. O efeito positivo significativo sobre a produção de biomassa (pós geada), observada na densidade de 200 pl/m², no terceiro corte (Figura 3), foi destacado pelo impacto negativo na produtividade primária (biomassa), causado pela geada, em maior escala nas populações de 300 e 400 pl/m².

Várias causas, juntas ou isoladas, podem explicar a diferença significativa na produção de biomassa na população de 200 pl/m², comparativamente às demais populações de plantas estudadas. Nesse sentido, a maior disponibilidade de radiação na população de 200 pl/m², favorecendo a maior eficiência fotossintética, pode ter repercutido positivamente na concentração osmótica dos tecidos (Pomarenke et al., 2024), aumentando a resistência à geada. Copas abertas ou baixa cobertura vegetal (baixa população de plantas), armazenam mais carboidratos solúveis em água (CSA) nos tecidos (Van Herwaarden et al., 1998), como consequência da maior penetração de luz nas áreas mais profundas do dossel. Por outro lado, a menor cobertura vegetal (dossel ou palhada), pode levar ao maior aquecimento do solo durante o dia, e a noite com o resfriamento do solo e do ar com a dissipação de calor na atmosfera, pode reduzir o resfriamento e os danos causados (Rebbeck et al., 2007).

Após o terceiro corte, com a remoção do material vegetal supostamente mais danificado pela geada (tratamentos de 300 e 400 pl/m²) (Figura 3), foi observado que 21 dias de rebrote (quarto corte) foram suficientes para recuperação da produção de biomassa nas densidades de 300 e 400 pl/m² (Figura 3). Tal recuperação, evidencia que a diferença de produção de biomassa observada no terceiro corte entre os tratamentos de densidade (300 e 400 pl/m²), ocorreu em função do efeito da geada.

Ao analisarmos a biomassa acumulada nos quatro cortes, onde não houve diferença significativa entre as densidades usadas, verifica-se que a vantagem apresentada na densidade de 200 pl/m² frente à geada, avaliada no terceiro corte, foi compensada pelo maior desempenho produzido pelas demais densidade (300 e 400 pl/m²) no primeiro corte, decorrente da maior quantidade de semente. Isso demonstra que a utilização da densidade de 200 pl/m² pode representar economia no custo de implantação da forrageira e cria um ambiente favorável para maior resistência à geada.

Considerações finais

A densidade de plantas de aveia-preta de 200 pl/m², além de reduzir os custos de sementes na sua implantação, comparativamente as altas densidades (300 e 400 pl/m²) melhorou a resistência das plantas aos danos provocados por geadas, com efeitos positivos na produção de biomassa.

Referências

- ALMEIDA, M. L. de; MUNDSTOCK, C. M. A qualidade da luz afeta o afilhamento em plantas de trigo quando cultivadas sob competição. **Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 401-408, jun. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000300006>.
- ANDRZEJEWSKA, J.; CONTRERAS-GOVEA, F. E.; PASTUSZKA, A.; KOTWICA, K.; ALBRECHT, K. A. Performance of oat (*Avena sativa* L.) sown in late summer for autumn forage production in Central Europe. **Grass and Forage Science**, v. 74, n. 1, p. 97-103, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12400>.
- BARLOW, K. M.; CHRISTY, B. P.; O'LEARY, G. J.; RIFFKIN, P. A.; NUTTALL, J. G. Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: a review. **Field Crops Research**, v. 171, p. 109-119, Feb. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2014.11.010>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Exportações do agro ultrapassam US\$ 100 bilhões pela segunda vez na história.** Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/2022/exportacoes-do-agro-ultrapassam-a-barreira-dos-us-100-bilhoes-pela-segunda-vez>. Acesso em: 23 fev. 2026.
- CHAMBERLAIN, C. J.; COOK, B. I.; MORALES-CASTILLA, I.; WOLKOVICH, E. M. *Climate change reshapes the drivers of false spring risk across European trees.* **New Phytologist**, v. 229, n. 1, p. 323-334, Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16851>.
- CROMEY, M. G.; WRIGHT, D. S. C.; BODDINGTON, H. J. Effects of frost during grain filling on wheat yield and grain structure. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 26, n. 4, p. 279-290, Dec. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1080/01140671.1998.9514065>.
- EL-BADRI, A. M.; BATOOL, M.; WANG, C.; HASHEM, A. M.; TABL, K. M.; NISHAWY, E.; KUAI, J.; ZHOU, G.; WANG, B. Selenium and zinc oxide nanoparticles modulate the molecular and morpho-physiological processes during seed germination of *Brassica napus* under salt stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 225, art. 112695, Dec. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112695>.
- FEDERIZZI, L. C.; MUNDSTOCK, C. M. Fodder oats: an overview for South America. In: SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G. (ed.). **Fodder OATS: a world overview.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004. (Plant production and protection series, n. 33). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/008/y5765e/y5765e00.HTM>. Acesso em: 23 fev. 2026.

- FERNÁNDEZ NEVYL, S.; BATTAGLIA, M. E. Developmental plasticity in *Arabidopsis thaliana* under combined cold and water deficit stresses during flowering stage. **Planta**, v. 253, n. 2, art.50, Feb. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/S00425-021-03575-7>.
- HASSAN, M. A.; XIANG, C.; FAROOQ, M.; MUHAMMAD, N.; YAN, Z.; HUI, X.; YUANYUAN, K.; BRUNO, A. K.; LELE, Z.; JINCAI, L. Cold stress in wheat: plant acclimation responses and management strategies. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, art. 676884, July 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.676884>.
- HSU, C. H.; HSU, Y. T. Biochemical responses of rice roots to cold stress. **Botanical Studies**, v. 60, n. 1, art. 14, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40529-019-0262-1>.
- HUANG, H.; ULLAH, F.; ZHOU, D. -X.; YI, M.; ZHAO, Y. Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, art. 800, June 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00800>.
- INFORMATIVO METEOROLÓGICO. Brasília, DF: Inmet, n. 32, 17 ago. 2020. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/informativos/Informativo_N32_17_08_2020.pdf. Acesso em: 23 fev. 2026.
- JAHED, K. R.; SAINI, A. K.; SHERIF, S. M. Coping with the cold: unveiling cryoprotectants, molecular signaling pathways, and strategies for cold stress resilience. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, art. 1246093, Aug. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1246093>.
- KUL, R.; EKINCI, M.; TURAN, M.; ORS, S.; YILDIRIM, E. How abiotic stress conditions affects plant roots. In: YILDIRIM, E.; TURAN, M.; EKINCI, M. (ed.). **Plant roots**. London: Intechopen, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.95286>.
- LI, P.; MO, F.; LI, D.; MA, B.-L.; YAN, W.; XIONG, Y. Exploring agronomic strategies to improve oat productivity and control weeds: leaf type, row spacing, and planting density. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 98, n. 5, p. 1084-1093, Oct. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0354>.
- LIU, L.; XIA, Y.; LIU, B.; CHANG, C.; XIAO, L.; SHEN, J.; TANG, L.; CAO, W.; ZHU, Y. Individual and combined effects of jointing and booting low-temperature stress on wheat yield. **European Journal of Agronomy**, v. 113, art. 125989, Feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125989>.
- LIU, Q.; PIAO, S.; JANSSENS, I. A.; FU, Y.; PENG, S.; LIAN, X.; CIAIS, P.; MYNENI, R. B.; PEÑUELAS, J.; WANG, T. Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost. **Nature Communications**, v. 9, art. 426, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02690-y>.
- LOPES, M. L. T.; CARVALHO, P. C. de F.; ANGHINONI, I.; SANTOS, D. T. dos; AGUINAGA, A. A. Q.; FLORES, J. P. C.; MORAES, A. de. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, n. 39, n. 5, p. 1499-1506, ago. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000096>.
- MATTILA, H.; MISHRA, K. B.; KUUSISTO, I.; MISHRA, A.; NOVOTNÁ, K.; ŠEBELA, D; TYYSTJÄRVI, E. Effects of low temperature on photoinhibition and singlet oxygen production in four natural accessions of *Arabidopsis*. **Planta**, v. 252, n. 2, art. 19, Aug. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03423-0>.
- POMARENKE, L. B.; ZARDIN, N. G.; SCHUNEMANN, L. L.; BRONSTRUP, L.; HEUSNER, L. B.; ARENHART, T. P.; PETER, C. L.; ROSA, J. A. da; COPPETTI, K.; MAGANO, D. A.; SILVA, J. A. G. da. Efeito da densidade de semeadura sobre indicadores do colmo de aveia. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 43., 2024, Porto Alegre, RS. **Anais [...]**. Porto Alegre: UFRGS, 2024.
- REBBECK, M.; LYNCH, C.; HAYMANN, P. T.; SADRAS, V. O. Delving of sandy surfaced soils reduces frost damage in wheat crops. **Australian Journal of Agricultural Research**. v. 58, n. 2, p. 105-112, Feb. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR06097>.
- RODRIGUES, O.; NASCIMENTO JUNIOR, A. do; COSTENARO, E. R.; WESCHENFELDER, P. M. P. **Densidade de semeadura de aveia-preta para máxima produtividade de biomassa**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2023. 20 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 109).
- SATYAKAM; ZINTA, G.; SINGH, R. K.; KUMAR, R. Cold adaptation strategies in plants - an emerging role of epigenetics and antifreeze proteins to engineer cold resilient plants. **Frontiers in Genetics**, v. 13, art. 909007, Aug. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.909007>.
- VAN HERWAARDEN, A. F.; ANGUS, J. F.; RICHARDS, R. A.; FARQUHAR, G. D. 'Haying-off' the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertiliser. II. Carbohydrate and protein dynamics. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 49, n. 7, p. 1083-1094, Sept. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1071/A97040>.
- WANG, C.; WANG, Z.; EL-BADRI, A. M.; BATOOL, M.; ANWAR, S.; WANG, X.; BAI, M.; YOU, Y.; WANG, B.; WANG, J.; XU, Z.; KUAI, J.; ZHOU, G. Moderately deep tillage enhances rapeseed yield by improving frost resistance of seedling during overwintering. **Field Crops Research**, v. 304, art. 109173, Dec. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109173>.

XU, H.; HASSAN, M. A.; SUN, D.; WU, Z.; JIANG, G.; LIU, B.; NI, Q.; YANG, W.; FANG, H.; LI, J.; CHEN, X. Effects of low temperature stress on source sink organs in wheat and phosphorus mitigation strategies. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, art. 807844, Feb. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.807844>.

ZHANG, J.; DING, J.; IBRAHIM, M.; JIAO, X.; SONG, X.; BAI, P.; LI, J. Effects of the interaction between vapor-pressure deficit and potassium on the photosynthesis system of tomato seedlings under low temperature. **Scientia Horticulturae**, v. 283, art. 110089, June 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110089>.

ZHANG, R.; WANG, Y.; MALIK, K.; WANG, J.; ZHAO, G.; LI, C. Optimal fertilizer rate and sowing density can improve oat quality, yield and N and P comprehensive efficiency in the Loess Plateau of China. **Frontier Plants Science**, v. 16, p. 1-19, June 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1604427>.

ZHANG, Z.; WU, P.; ZHANG, W.; YANG, Z.; LIU, H.; AHAMMED, G. J.; CUI, J. Calcium is involved in exogenous NO-induced enhancement of photosynthesis in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under low temperature. **Scientia Horticulturae**, v. 261, art. 108953, Feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108953>.