

## Método de seleção de sementes de milho crioulo para pequenos produtores

*Landrace maize seed selection method for small producers*

Jocimeri Portes de Oliveira (ORCID 0000-0002-7214-9723), Leonardo Alves Martins\* (ORCID 0000-0001-9256-090X), Letícia Fátima de Azevedo (ORCID 0000-0001-8725-7922)

Faculdade IDEAU, Bagé, RS, Brasil. \*Autor para correspondência: leomartins-@hotmail.com

Submissão: 26/09/2022 | Aceite: 03/11/2022

### RESUMO

A seleção de sementes com qualidade fisiológica é fundamental para pequenos agricultores, que selecionam e salvam as sementes para a próxima safra. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes em três posições na espiga, de duas variedades de milho crioulo. O experimento foi realizado no município de Bagé, no ano de 2020, com sementes da safra 2019/2020 na Faculdade IDEAU. Foram utilizadas sementes das variedades Ferrinho e Amarelão, no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e os tratamentos foram compostos pela separação das sementes em três posições da espiga: Basal, Intermediária e Apical. Foram realizados os testes de germinação, primeira contagem da germinação, comprimento de plântula e massa seca de plântula. As sementes das posições Basal e Intermediária apresentam germinação entre 94 e 98%, superior a posição Apical. A primeira contagem da germinação e os testes de comprimento e massa seca de plântula mostraram baixo nível de vigor para todos os tratamentos. As sementes das posições Basal e Intermediária das var. de milho crioulo Amarelão e Ferrinho apresentaram maior viabilidade, mostrando que sua seleção, com descarte das sementes Apicais, demonstra potencial como método de seleção para agricultores familiares. Entretanto, independentemente da posição na espiga, as sementes analisadas apresentaram baixo nível de vigor.

**PALAVRAS-CHAVE:** qualidade fisiológica de sementes; posição da semente na espiga; vigor; viabilidade.

### ABSTRACT

The selection of seeds with physiological quality is essential for small farmers, who select and save seeds for the next crop. The objective of this work was to evaluate the physiological quality of seeds in three positions on the ear of two varieties landrace maize. The experiment was carried out in the municipality of Bagé, in the year 2020, with seeds from the 2019/2020 harvest at Faculdade IDEAU. Seeds of the Ferrinho and Amarelão varieties were used, in a completely randomized design, with four replications and the treatments were composed by separating the seeds in three positions of the ear: Basal, Intermediate and Apical. Tests for germination, first germination count, seedling length and seedling dry mass were performed. The seeds of the Basal and Intermediate positions present germination between 94 and 98%, higher than the Apical position. The first germination count and the tests of seedling length and dry mass showed a low level of vigour for all treatments. The seeds of the Basal and Intermediate positions of var. of landrace maize Amarelão and Ferrinho showed higher viability, showing that their selection, with the disposal of Apical seeds, demonstrates potential as selection method for small farmers. However, regardless of the position on the ear, the seeds analyzed showed a low level of vigour.

**KEYWORDS:** physiological seed quality; ear seed position; vigour; viability.

## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas para o Brasil e o mundo (BATTISTI et al. 2020, WAHA et al. 2020), pois a espécie é a principal fonte energética de origem vegetal (WANG & HU 2021). A dispersão do seu centro de origem para diferentes regiões proporcionou elevada variabilidade genética (PRASANNA 2012), permitindo o desenvolvimento de cultivares híbridos com elevado potencial produtivo (CAIRNS & PRASANNA 2018). Na mesma proporção em que são altamente produtivos, os materiais

híbridos demandam elevado aporte de insumos e tecnologia de produção (HOU et al. 2020, SZABÓ et al. 2022).

Justamente pela sua adaptação a diferentes regiões e condições edafoclimáticas, o milho também é uma das principais culturas para a agricultura familiar, sendo a base da alimentação humana e animal (GUZZON et al. 2021). Porém, neste contexto a utilização de cultivares comerciais resulta em baixa produtividade (CARPENTIERI-PÍPOLO et al. 2010), devido a necessidade de elevado investimento em insumos, e os agricultores familiares se valem de variedades crioulas (FENZI & COUIX 2022).

O milho é cultivado no Brasil mesmo antes da chegada dos europeus (FREITAS et al. 2003), gerando variedades adaptadas a diferentes regiões conforme a sua dispersão (COSTA et al. 2017). As variedades crioulas, selecionadas e adaptadas a cada região, apresentam importantes características produtivas, como: resistência a condições climáticas desfavoráveis, pragas, doenças e menor exigência em fertilidade do solo (COSTA et al. 2020, DWIVEDI et al. 2016, GOUESNARD et al. 2016, HÖLKER et al. 2019, MACHADO et al. 2011, SPOLAOR et al. 2018).

Outra diferença importante entre materiais híbridos e crioulos reside na produção de sementes. A produção de sementes de materiais híbridos é altamente especializada (WANG et al. 2020), gerando sementes com elevada qualidade fisiológica (ANDRADE et al. 2019). Por outro lado, o próprio agricultor seleciona as plantas mais vigorosas para salvar sementes crioulas para a próxima safra, além de armazenar em estruturas alternativas, como embalagens plásticas (ANTONELLO et al. 2009).

A produção de sementes comerciais engloba um rigoroso processo de beneficiamento, determinando diferenças entre lotes, e permitindo descartar sementes com baixa qualidade fisiológica (MENEZES et al. 2002, NERLING et al. 2014). Já na agricultura familiar, uma das formas de seleção de sementes crioulas é realizada através de seleção artificial, por meio de plantas e/ou espigas mais vigorosas e sementes com maior dimensão (BEVILAQUA et al. 2014). Porém, este processo tende a ter baixa eficiência, especialmente em safras onde a produção é baixa e não há diferença entre plantas, espigas e sementes (DE ANDRADE et al. 2020). Considerando que a formação das sementes ocorre conforme a sua posição na espiga, a relação fonte:dreno também é diferente, determinando a formação de sementes redondas e achatadas, com diferença em massa específica, que pode gerar diferença na qualidade fisiológica (MONDO & CICERO 2005, STUMM et al. 2016).

A qualidade fisiológica das sementes é determinada pela viabilidade e vigor (DIAS et al. 2015). Enquanto a viabilidade determina o número de sementes vivas, o vigor indica como está a organização celular após a dessecação, e a capacidade de suportar períodos de estresse sem perder a capacidade de formar uma plântula normal (KHAEIM et al. 2022, WATERWORTH et al. 2015). Desta forma, sementes com maior nível de vigor germinam mais rápido (ANTONELLO et al. 2009), conseguem suportar períodos com estresse hídrico (BIANCHETTO et al. 2017) e tem capacidade de formar plântulas com maior comprimento radicular e aéreo (MENEGUZZO et al. 2020).

Dada a importância da produção e seleção de sementes de milho crioulo com alta qualidade, torna-se necessário desenvolver, de forma prática, metodologia que possa ser empregada por agricultores familiares para a seleção de sementes superiores. Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar, em duas variedades de milho crioulo, a qualidade fisiológica de sementes conforme a sua posição na espiga.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Bioquímica da Faculdade IDEAU, Bagé/RS. Foram utilizadas sementes de milho de duas variedades crioulas, Amarelão e Ferrinho (Figura 1). Os materiais foram obtidos de dois agricultores familiares. O primeiro cultiva a var. Ferrinho no município de Candiota/RS (31°40'52,586"S 53°49'21,599"W – Assentamento Santo Antônio II), e o segundo cultiva a var. Amarelão em Hulha Negra/RS (31°35'41,117"S 53°49'21,599"W – Assentamento Conquista da Fronteira).

As sementes das duas variedades foram produzidas na safra 2019/2020. Logo após a colheita, as espigas selecionadas para sementes, ainda com palha, foram armazenadas em sacos de polipropileno e acondicionadas dentro de galpão por cada produtor. Não foram coletadas informações sobre os métodos de produção empregados e características edafoclimáticas dos locais.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e três tratamentos, determinados pela posição das sementes na espiga em basal, intermediário e apical, para as duas variedades, Amarelão e Ferrinho.

Após receber as espigas das duas variedades, estas foram despalhadas e depois procedeu-se a separação das sementes em relação à posição na espiga em: basal, intermediária e apical (Figura 2). Manualmente, primeiro foram debulhadas as sementes da posição basal e apical, e depois da posição

intermediária, com as sementes acondicionadas em sacos de papel identificados.



Figura 1. Espiga da variedade Amarelão (A) e Ferrinho (B).

*Figure 1. Ear of the variety Amarelão (A) and Ferrinho (B).*



Figura 2. Debulha das sementes em três posições da espiga: basal, intermediária e apical.

*Figure 2. Seed treshing in three ear positions: basal, intermediate and apical.*

Para avaliar a qualidade fisiológica das sementes oriundas das três posições da espiga foram realizados os seguintes testes:

- Teste de germinação (G%): realizado em rolos de papel germitest, utilizando quatro repetições de 100 sementes distribuídas sobre dois papéis e cobertas com um terceiro, previamente umedecidos com três vezes o peso do papel em volume de água. Os rolos contendo as sementes foram acondicionados em sacos plásticos e mantidos a 25°C em germinador tipo B.O.D. A contagem de plântulas normais, anormais e sementes mortas foi efetuada no sétimo dia (BRASIL 2009).

- Primeira Contagem da Germinação (PCG%): foi realizada em conjunto com o teste padrão de germinação, registrando a porcentagem de plântulas normais no quarto dia após o início do teste de germinação. As plântulas normais foram contadas e retiradas do rolo de papel, permanecendo apenas as sementes que não haviam germinado até o momento (BRASIL 2009).

- Comprimento de Plântulas (CP): foram utilizadas quatro repetições com 20 sementes, colocadas para germinar nas mesmas condições do teste de germinação. As sementes foram dispostas no sentido longitudinal sobre papel germitest e coberta com outra folha, para formar um rolo que foi colocado em saco plástico. Os rolos foram colocados na posição vertical na B.O.D. regulada à 25 °C. A avaliação foi realizada 180h após a semeadura, com a seleção aleatória de 10 plântulas. Cada plântula foi medida individualmente com régua graduada da extremidade da raiz até a extremidade do coleótilo, em centímetros (MENEGUZZO et al. 2020).

- Massa Seca de Plântulas (MSP): Após medir o comprimento total, as plântulas foram acondicionadas em sacos de papel identificados e postas para secar em estufa de ar forçado à 60 °C por 72h para avaliação da massa seca. Após a secagem, o peso de todas as plântulas foi mensurado em balança analítica com precisão de 0,001g. O resultado é expresso em g/plântula. (MENEGUZZO et al. 2020).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias que apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre tratamentos, foram comparadas pelo teste de Tukey. A análise estatística foi realizada no software SISVAR (FERREIRA 2011).

## RESULTADOS

A viabilidade das sementes da var. Amarelão foi avaliada pelo teste de germinação (G) e pela primeira contagem da germinação (PCG). As posições da espiga Basal e Intermediária apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para germinação, primeira contagem, plântulas anormais e sementes mortas, como mostra a tabela 1. As sementes das duas posições apresentaram ótimo poder germinativo, atingindo 98% de germinação. Já as sementes da posição Apical apresentaram maior porcentagem de sementes mortas e plântulas anormais.

Para a variedade Ferrinho, as sementes das posições Basal e Intermediária apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para germinação, plântulas anormais e sementes mortas (Tabela 1). As sementes da posição Apical, por outro lado, apresentaram maior porcentagem de plântulas anormais e sementes mortas. Na primeira contagem da germinação não houve diferença entre os tratamentos, com todos apresentando valor entre 18 e 20%.

O teste de comprimento de plântulas (CP) apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para as posições Intermediária e Apical, com a posição Basal apresentando o menor comprimento de plântulas (Tabela 1). Já no teste de massa seca de plântula (MSP) não houve diferença entre as sementes das três posições da espiga.

Para a variedade Ferrinho não houve diferença entre as sementes das três posições da espiga quanto ao comprimento de plântulas e massa seca de plântula.

Tabela 1. Primeira contagem da germinação (PCG), germinação (G), plântulas anormais (Anorm.), sementes mortas (Morta), comprimento de plântula (CP) e massa seca de plântula (MSP) de sementes de milho crioulo Amarelão e Ferrinho em três posições da espiga.

Table 1. First germination count (FGC), germination (G), abnormal seedlings, dead seeds, seedling length and seedling dry matter of landrace maize Amarelão and Ferrinho seeds in three ear positions.

Posição	PCG (%)	G (%)	Anorm. (%)	Morta (%)	CP (cm)	MSP (g)
Variedade Amarelão						
Basal	71a*	98a	2a	0a	34,97b	0,090ns
Intermediária	68a	98a	2a	0a	39,95a	0,118ns
Apical	46b	82b	12b	6b	40,10a	0,112ns
-----						
Variedade Ferrinho						
Basal	18ns	94a	2a	4a	33,36ns	0,074ns
Intermediária	20ns	96a	2a	2a	31,28ns	0,076ns
Apical	19ns	72b	16b	12b	32,17ns	0,061ns

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

## DISCUSSÃO

A viabilidade, obtida pelo teste de germinação, mostrou que as sementes de ambas as variedades, Amarelão e Ferrinho, das posições Basal e Intermediária da espiga, apresentaram entre 94 e 98% de sementes viáveis, superiores a posição apical, que apresentou 72 e 82%. Este resultado se deve às sementes do ápice da espiga estarem mais sujeitas à danos no eixo embrionário devido a maior exposição a pragas, doenças e umidade (MONDO & CICERO 2005).

Na agricultura familiar, as sementes de milho crioulo são selecionadas e salvas pelo próprio agricultor, pois disso depende a próxima safra (DOS SANTOS et al. 2021). Como a seleção é realizada de forma manual, descartar as sementes do ápice da espiga e salvar as restantes, com melhor viabilidade, tem potencial prático e técnico para melhorar a uniformidade e desenvolvimento do estande de plantas (CATÃO et al. 2010, QUEIROZ et al. 2019).

Outro aspecto fisiológico que ajuda a entender estas diferenças está na força dreno de fotoassimilados para as sementes. Conforme sua posição na espiga, as sementes possuem diferença na força dreno, ou seja, as sementes do centro e base da espiga tem prioridade e maior taxa de enchimento de grãos (BONELLI et al. 2016, JIN et al. 2013).

A capacidade de enchimento de grãos também é afetada por condições adversas, como estresse hídrico ou nutricional (BIANCHETTO et al. 2017, YANG et al. 2018). Como na agricultura familiar a utilização de insumos é baixa, as variedades crioulas estão ainda mais expostas a condições adversas, e o

descarte das sementes do ápice pode ser uma importante ferramenta para a seleção de sementes com maior viabilidade.

A primeira contagem da germinação é um indicador do vigor de sementes, pois o teste analisa as sementes que completam o processo de germinação em menor tempo. Ao ser estimulada com água, temperatura adequada para a espécie e oxigênio, a semente inicia o processo de retomada do metabolismo. No início do processo as sementes reparam estruturas celulares e DNA, e sintetizam proteínas, sendo o tempo destes processos proporcional aos danos que a semente sofreu (KUMAR et al. 2014, OLDENBURG et al. 2013). Assim, sementes que completam a germinação e formam plântulas em menor tempo possuem maior vigor devido a melhor integridade celular (KHAEIM et al. 2022, WATERWORTH et al. 2015).

As sementes Basais e Intermediárias da var. Amarelão apresentaram resultado de 71 e 68%, respectivamente, similar a outro trabalho com milho crioulo (MONDO & CICERO 2005). Entretanto, valores abaixo de 80% na primeira contagem configuram lotes de baixo vigor (ANTONELLO et al. 2009, MENEGUZZO et al. 2020). Pelos resultados do teste de primeira contagem da germinação, as sementes da variedade Amarelão das três posições da espiga podem ser classificadas como de baixo nível de vigor, já que este é um dos principais testes para determinar o nível de vigor em sementes de milho (SENA et al. 2015).

Da mesma forma, a var. Ferrinho apresentou valores abaixo de 20% para a primeira contagem da germinação nas três posições da espiga, indicando nível muito baixo de vigor (MENEGUZZO et al. 2020). Apesar de ambas as variedades terem apresentado valores de germinação similares, o teste de primeira contagem demonstra que as sementes da var. Amarelão possuem melhor integridade celular (WATERWORTH et al. 2015).

Os testes de comprimento e massa seca de plântula possuem potencial para predição do nível de vigor em sementes de milho (ANDRADE et al. 2019). O comprimento e o peso de plântula estão relacionados com a capacidade e eficiência de mobilização de reservas para o embrião formar a plântula. A ausência de diferença entre sementes com níveis distintos de germinação corrobora os resultados da primeira contagem da germinação, de que todas as sementes avaliadas possuem baixo nível de vigor.

Em suma, a seleção de sementes das posições Basal e Intermediária, para as duas variedades analisadas, apresenta potencial para ser utilizada como uma técnica simples, prática e efetiva na agricultura familiar. Entretanto, o baixo nível de vigor das sementes para as duas variedades, independentemente da posição na espiga, mostra que são necessários novos estudos que avaliem o sistema de produção de sementes (GONDIM et al. 2006).

## CONCLUSÃO

As sementes das posições Basal e Intermediária das var. de milho crioulo Amarelão e Ferrinho apresentaram maior viabilidade, mostrando que sua seleção, com descarte das sementes Apicais, demonstra potencial como método de seleção para agricultores familiares. Entretanto, independentemente da posição na espiga, as sementes analisadas apresentaram baixo nível de vigor.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE GC et al. 2019. Seed reserves reduction rate and reserves mobilization to the seedling explain the vigour of maize seeds. *Journal of Seed Science* 41: 488-497.
- ANTONELLO LM et al. 2009. Influência do tipo de embalagem na qualidade fisiológica de sementes de milho crioulo. *Revista Brasileira de Sementes* 31: 75-86.
- BATTISTI R et al. 2020. Rules for grown soybean-maize cropping system in Midwestern Brazil: Food production and economic profits. *Agricultural Systems* 182: 102850.
- BEVILAQUA GAP et al. 2014. Agricultores guardiões de sementes e ampliação da agrobiodiversidade. *Cadernos de Ciência & Tecnologia* 31: 99-118.
- BIANCHETTO R et al. 2017. Desempenho agrônomo de milho crioulo em diferentes níveis de adubação no Sul do Brasil. *Revista Eletrônica Científica da UERGS* 3: 528-545.
- BONELLI LE et al. 2016. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research* 198:215-225.
- BRASIL. 2009. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: MAPA/ACS. 399 p.
- CAIRNS JE & PRASANNA BM. 2018. Developing and deploying climate-resilient maize varieties in the developing world. *Plant Biology* 45: 1-5.
- CARPENTIERI-PÍPOLO V et al. 2010. Avaliação de cultivares de milho crioulo em sistema de baixo nível tecnológico. *Acta Scientiarum* 32: 229-233.

- CATÃO HCRM et al. 2010. Qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de milho crioulo produzidas no norte de Minas Gerais. *Ciência Rural* 40: 2060-2066.
- DIAS MAN et al. 2015. Vigor tests association as an alternative for precise and efficient assessment of maize seed quality. *Revista Caatinga* 28: 93-99.
- COSTA EN et al. 2020. Resistance of maize landraces from Brazil to fall armyworm (Lepdoptera: Noctuidae) in the winter and summer seasons. *Bragantia* 79: 377-386.
- COSTA FM et al. 2017. Maize diversity in Southern Brazil: indication of a microcenter of *Zea mays* L. *Genetic Resources and Crop Evolution* 64: 681-700.
- DE ANDRADE JG et al. 2020. Diagnóstico das técnicas de produção e armazenamento de sementes crioulas em assentamentos rurais de Aparecida, Paraíba, Brasil. *Research, Society and Development* 9: e130953147.
- DOS SANTOS CM et al. 2021. Qualidade fisiológica de sementes crioulas de milho e feijão de pequenos agricultores de Ituiutaba-MG. *Research, Society and Development* 10: e47101320857.
- DWIVEDI SL et al. 2016. Landrace germplasm for improving yield and abiotic stress adaptation. *Trends in Plant Science* 21: 31-42.
- FENZI M & COUIX N. 2022. Growing maize landraces in industrialized countries: from the search for seeds to the emergence of new practices and values. *International Journal of Agricultural Sustainability* 20: 327-345.
- FERREIRA DF. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia* 35: 1039-1042.
- FREITAS FO et al. 2003. DNA from primitive maize landraces and archaeological remains: implications for the domestication of maize and its expansion into South America. *Journal of Archaeological Science* 30: 901-908.
- GONDIM TCO et al. 2006. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho-crioulo sob estresse causado por baixo nível de nitrogênio. *Revista Ceres* 53: 413-417.
- GOUESNARD B et al. 2016. Identification of adaptation traits to drought in collections of maize landraces from southern Europe and temperate regions. *Euphytica* 209: 565-584.
- GUZZON F et al. 2021. Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillars of nutrition security and cultural heritage of humanity. *Agronomy* 11: 172.
- HOU P et al. 2020. How to increase maize production without extra nitrogen input. *Resources, Conservation & Recycling* 160: 104913.
- HÖLKER AC et al. 2019. European maize landraces made accessible for plant breeding and genome-based studies. *Theoretical and Applied Genetics* 132: 3333-3345.
- JIN X et al. 2013. Proteomic identification of genes associated with maize grain-filling rate. *Plos One* 8:e59353.
- KHAEIM H et al. 2022. Impact of temperature and water on seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.). *Agronomy* 12: 397.
- KUMAR RA et al. 2014. Changes in DNA damage, molecular integrity, and copy number for plastid DNA and mitochondrial DNA during maize development. *Journal of experimental Botany* 65: 6425-6439.
- MACHADO AT et al. 2011. Manejo da diversidade genética e melhoramento participativo de milho em sistemas agroecológicos. *Revista Brasileira de Agroecologia* 6: 127-136.
- MENEGUZZO MRR et al. 2020. Length of soybean and maize seedlings influenced by seed vigor and size. *Revista de Ciências Agrárias* 43: 193-201.
- MENEZES NL et al. 2002. Qualidade física e fisiológica das sementes de milho após o beneficiamento. *Revista Brasileira de Sementes* 24: 97-102.
- MONDO VHV & CICERO SM. 2005. Análise de imagens na avaliação da qualidade de sementes de milho localizadas em diferentes posições na espiga. *Revista Brasileira de Sementes* 27: 09-18.
- NERLING D et al. 2014. Qualidade física e fisiológica de sementes de milho durante o beneficiamento. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 13: 238-246.
- OLDENBURG DJ et al. 2013. The amount and integrity of mtDNA in maize decline with development. *Planta* 237: 603-617.
- PRASANNA BM. 2012. Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. *Journal of Biosciences* 37: 843-855.
- QUEIROZ TN et al. 2019. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de variedades tradicionais de milho. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde* 17: 1-9.
- SENA DVA et al. 2015. Vigor de sementes de milho cv.'Sertanejo' por testes baseado no desempenho de plântulas. *Ciência Rural* 45: 1910-1916.
- SPOLAOR LT et al. 2018. Brazilian maize landraces variability under high and low phosphorous inputs. *Maydica* 63: 1-8.
- STUMM SBQ et al. 2016. Qualidade fisiológica de sementes de milho em função do tamanho, formato e tratamento. *Scientia Agraria Paranaensis* 15: 222-227.
- SZABÓ A et al. 2022. Analysis of nutrient-specific response of maize hybrids in relation to leaf area index (LAI) and remote sensing. *Plants* 11: 1197.
- WAHA K et al. 2020. Multiple cropping systems of the world and the potential for increasing cropping intensity. *Global Environmental Change* 64: 102131.
- WANG J et al. 2020. Joint optimization of irrigation and planting pattern to guarantee seed quality, maximize yield, and save water in hybrid maize seed production. *European Journal of Agronomy* 113: 125970.
- WANG J & HU X. 2021. Research on corn production efficiency and influencing factors of typical farms: Based on data from 12 corn-producing countries from 2012 to 2019. *Plos One* 16: e0254423.

- WATERWORTH WM et al. 2015. The importance of safeguarding genome integrity in germination and seed longevity. *Journal of Experimental Botany* 66: 3549-3558.
- YANG H et al. 2018. Heat stress during grain filling affects activities of enzymes involved in grain protein and starch synthesis in waxy maize. *Scientific Reports* 8: 15665.