
REVISTA
Mosaicum

NÚMERO 33, jan./jun. 2021

<https://doi.org/10.26893/rm.v33i33>

eISSN 1980-4180

UTILIZAÇÃO DO SISTEMA CRISPR/CAS-9 NO MELHORAMENTO VEGETAL REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

USE OF THE CRISPR/CAS-9 SYSTEM IN PLANT
BREEDING: SYSTEMATIC REVIEW

<https://doi.org/10.26893/rm.v33i33.479>

Tharcilla Nascimento da Silva Macena

Mestre em Genética e Biologia Molecular
(Universidade Estadual de Santa Cruz)

E-mail: tharcillamacena@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8884-8203>

Naiane Oliveira Santos

Mestre em Genética e Biologia Molecular
(Universidade Estadual de Santa Cruz)

E-mail: naianeoliveira01@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5138-9042>

João Vitor de Andrade Alves

Graduado em Ciências Biológicas (Universidade do Estado da Bahia)

 <https://orcid.org/0000-0001-6491-2701>

Matheus Almeida da Silva Gonçalves

Graduado em Ciências Biológicas (Universidade do Estado da Bahia)

 <https://orcid.org/0000-0002-6363-3417>

Recebido em: 20 abr. 2021

Aprovado em: 20 maio 2021



Artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença **Creative Commons Attribution**, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições, desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Resumo: Analisa as utilizações do sistema Crispr/Cas-9 no melhoramento vegetal. Por meio de revisão narrativa de literatura realizada na base de dados *Scopus*, foi criado um protocolo de pesquisa para selecionar os artigos a partir de critérios de exclusão e inclusão. Os dados desta pesquisa indicam a maior concentração de trabalhos no continente asiático, tendo a China se apresentando como principal expoente em pesquisas na área, com um foco muito grande no melhoramento de *Oriza sativa* e *Solanum lycopersicum*. Esses estudos na maioria das vezes buscam o aumento na produtividade e a tolerância a estresse abiótico e biótico isso por que há uma crescente busca por melhoria da qualidade dos grãos e melhoria da resistência a estresses diante do aquecimento climático.

Palavras-chaves: Biotecnologia. Edição genética em plantas. Espécies vegetais

Abstract: Analyze the uses of the Crispr/Cas-9 system in plant improvement, through a systematic literature review carried out in the Scopus database. A research protocol was developed to select articles based on exclusion and inclusion criteria. The data from this research indicate the greatest concentration of works in the Asian continent, with China presenting itself as the main exponent in research in the area, with a great focus on the improvement of *Oriza sativa* and *Solanum lycopersicum*. These studies most often seek to increase productivity and tolerance to abiotic and biotic stress because there is a growing search for improvement in grain quality and improved resistance to stresses in the face of climate warming.

Keywords: Biotechnology. Genetic editing in plants. Plant species

INTRODUÇÃO

86

Nos últimos anos um grande avanço na área da genética vem chamando a atenção dos pesquisadores ao redor do mundo, isso porque está ocorrendo o desenvolvimento de várias ferramentas biotecnológicas de edição genética, entre elas, uma que têm chamado a atenção de todos é a ferramenta CRISPR/Cas-9 (Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Interespaçadas conjugado com a proteína Cas-9) que apresenta uma enorme perspectiva na área da biologia molecular sendo capaz de editar genes com alta precisão sendo uma metodologia rápida, fácil e com baixo custo em comparação com as outras técnicas de edição genética, podendo assim, trazer muitas possibilidades de manipulação genética, principalmente no melhoramento de várias culturas ao redor mundo. Com isso, o investimento nessa área de pesquisa está crescendo exponencialmente em vários países desenvolvidos e por isso o objetivo deste estudo foi desenvolver uma revisão sistemática sobre a utilização do sistema Crispr/Cas-9 no melhoramento vegetal, buscando entender a aplicação desse sistema nas culturas vegetais pelo mundo. Compreender o progresso dessa técnica se faz necessário para

entender melhor como está ocorrendo o seu desenvolvimento, indicando assim, quais os futuros caminhos dos estudos nessa área. Já que a utilização do CRISPR/cas-9 na indústria agrícola apresenta enorme potencial de acelerar o melhoramento genético de plantas, auxiliando os agricultores a superarem os principais desafios que acometem as lavouras, pois se trata de uma ferramenta capaz de introduzir modificações pontuais no genoma de plantas.

REFERENCIAL TEÓRICO

O sistema Crispr/Cas-9 é compreendido a partir do sistema imune dos procariotos (Van der oost et al., 2009) e está presente na maioria das bactérias e em muitas archaeas (Grissa et al., 2007). Esse sistema atua como uma ferramenta de defesa bacteriana contra infecção causada por vírus, um mecanismo de resistência adquirido contra bacteriófagos (Deveau et al., 2008). A forma como esse mecanismo atua chamou a atenção de vários pesquisadores nos últimos anos, tornando possível a utilização dessa ferramenta como uma técnica biotecnológica de edição do genoma de seres vivos em geral (Pennisi, 2014)

87

O sistema Crispr/Cas-9 está revolucionando a biologia molecular nos últimos anos, pois se trata de uma ferramenta eficiente, altamente específica e programável (Leadford, 2015; Doudna & Charpentier, 2014). Está se tornando a técnica de escolha por muitos pesquisadores que trabalham com edição de genomas, levando a rápida adoção por vários laboratórios ao redor do mundo (Brandt & Barrangou, 2019), trazendo novas possibilidades de manipulação dos genomas dos seres vivos. Essa tecnologia promete mudar o curso da pesquisa agrícola (Doudna & Charpentier, 2014), pois pode ser uma solução efetiva para problemas no melhoramento vegetal, aumentando o rendimento e a qualidade das colheitas (Gao, 2018).

Sendo uma das técnicas mais utilizadas pelos cientistas nos últimos anos em todo o mundo, torna-se imprescindível

que se conheça suas aplicações e que se tenham informações precisas sobre este sistema. Por isso, uma revisão sistemática pode oferecer aos pesquisadores uma síntese de informações selecionadas e criteriosas para futuras investigações, já que é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca e apreciação crítica (Linde & Willich, 2003).

MATERIAL E MÉTODOS

A revisão foi dividida em quatro etapas: Busca piloto, Planejamento, Execução e Sumarização.

I Busca piloto: No intuito de verificar o estado da arte sobre a utilização do sistema Crispr/Cas-9 para o melhoramento vegetal nos últimos anos, foram realizadas buscas nos bancos de dados Scopus (www.scopus.com) e Web of Science (www.webofknowledge.com). Para tentar contemplar ao máximo o tema proposto, criou-se sete Strings (combinações de palavras chaves com buscadores booleanos) de busca com as palavras Crispr AND Cas-9 em comum combinadas com outras palavras-chave como: “plants” OR “vegetables” OR “seeds” OR “grains” OR “monocot” OR “dicot” OR “fruit” OR “cereal” OR “leaf”. As strings de busca usadas no banco de dados encontram-se na figura 1. Como critério inicial de seleção, utilizou-se um filtro com publicações escrita apenas em “inglês” e publicadas no ano de “2019” sobre o sistema CRISPR/CAS-9 no melhoramento das plantas.

Figura 1 - Sete Strings de busca utilizadas para coleta dos documentos no banco de dados Scopus

II Planejamento: Para diminuir a fonte de literatura, utilizou-se apenas um banco de dados que foi o Scopus, uma vez que, a mesma apresentou um número de artigos significativamente

grande que correspondem ao problema proposto nesta pesquisa, a exclusão do banco de dados Web of Science essa base foi

Strings de busca
("Crispr" OR "Cas-9" AND "plants" OR "vegetables")
("Crispr" OR "Cas-9" AND "seeds" OR "grains")
("Crispr" OR "Cas-9" AND "monocot" OR "monocotyledonous")
("Crispr" OR "Cas-9" AND "dicot" OR "dicotyledonous")
("Crispr" OR "Cas-9" AND "fruit")
("Crispr" OR "Cas-9" AND "leaf")
("Crispr" OR "Cas-9" AND "cereal")

excluída devido a mesma ter apresentado publicações que também vieram na pesquisa da Scopus A condução desta

III Execução: Os resultados da busca no banco de dados foram importados no formato BIBITEX para o software StArt (Estado da Arte através da Revisão Sistemática) desenvolvido pela Universidade de São Carlos (UFSCAR) disponível para down-

Tabela 1 - Protocolo de pesquisa

Tabela 1. Protocolo de Revisão Sistemática	
Título:	UTILIZAÇÃO DO SISTEMA CRISPR-CAS-9 NO MELHORAMENTO VEGETAL - REVISÃO SISTEMÁTICA
Pesquisadores:	Alves, J. V. A.; Gonçalves, M. A. S.; Macena, T. N. S.
Descrição:	Este artigo é uma revisão sistemática realizada partir de estudos do ano de 2019, sobre a utilização do sistema CRISPR-CAS9 no melhoramento vegetal.
Objetivos:	Compreender como o sistema CRISPR-CAS9 está sendo utilizado nos últimos anos no melhoramento vegetal.
Questões principais:	Q1. Quais países mais utilizam a técnica CRISPR-CAS-9 no melhoramento vegetal? Q2. Quais são as espécies utilizadas? Q3. O sistema CRISPR-CAS-9 está sendo aplicado em quais áreas de atuação no melhoramento vegetal?
Palavras-chaves:	CRISPR-CAS-9, Plantas, sementes, grãos, frutas e folha
Critério de seleção de fontes:	Apenas artigos científicos
Idioma dos artigos:	Apenas Inglês
Objetivo de estudo:	Artigos encontrados no banco de dados (Scopus)
Critérios de inclusão (I) e critérios de exclusão (E):	(I) Termos no resumo ("Crispr" OR "Cas-9") AND ("plants" OR "vegetal" OR "sementes" OR "grãos" OR "monocotiledónea" OR "dicotiledónea" OR "fruta" OR "cereal" OR "folha") (I) Artigos escritos em inglês (I) Artigos publicados em 2019; (E) Teses, dissertações e anuais; (E) Artigos de revisão; (E) Artigos publicados antes de 2019 (E) Artigos que não contemplem a aplicação do sistema CRISPR-Cas9 em alguma seqüência.
Tipo de estudo	Artigos de pesquisa
Seleção inicial dos artigos	Artigos que contém no título, resumos ou palavras-chaves os termos ("Crispr" OR "Cas-9") AND ("plantas" OR "vegetal" OR "sementes" OR "grãos" OR "monocotiledónea" OR "dicotiledónea" OR "fruta" OR "cereal" OR "folha") e Artigos que utilizam o sistema CRISPR-Cas9 em alguma seqüência na planta.
Informações para extração	País do estudo, seqüência alvo, espécie vegetal, área de atuação, função molecular e medida de efeito.
Sumarização:	Gráficos, tabelas e figuras

load no link (http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool).

Na seleção, os artigos importados passaram por critérios de inclusão e exclusão de acordo com a figura 2, a partir do resumo, podendo ser aceito, rejeitado ou excluído (caso de publicações duplicadas). No processo de extração os artigos foram triados a partir da leitura dos textos completo e alguns foram rejeitados de acordo com os critérios de exclusão. Já os artigos que não foram excluídos a partir desse último critério de exclusão foram selecionados e passaram por um processo de extração de dados tais como: País do estudo, espécie vegetal, área de atuação, função molecular e medida de efeito.

Figura 2 – Pontos usados como critérios de inclusão (I) e exclusão (E)

Critérios de inclusão
(I) Artigos que contém no título, resumos ou palavras chaves os termos ("Crispr" OR "Cas-9") AND ("plants" OR "vegetables" OR "seeds" OR "grains" OR "monocot" OR "dicot" OR "fruits" OR "cereal" OR "leaf").
(I) artigos escritos em inglês;
(I) Artigos publicados em 2019.
Critérios de exclusão
(E) Teses, dissertações e manuais;
(E) Artigos de revisão;
(E) Artigos publicados antes de 2019;
(E) Artigos que não contemple a aplicação do sistema CRISPR/Cas-9 em alguma sequência.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

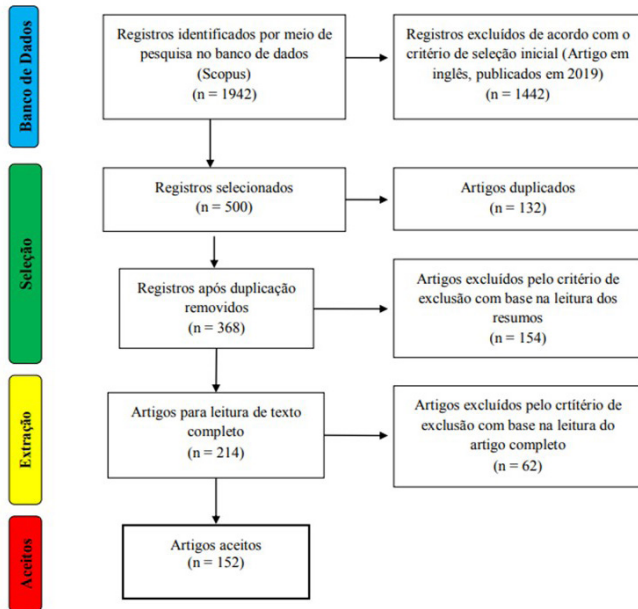
As buscas realizadas no banco de dados Scopus utili-

zando as sete strings envolvendo o sistema Crispr/Cas-9 no melhoramento vegetal retornou um total de 1942 artigos, a partir destes foi utilizado um filtro para os artigos em inglês, publicados em 2019, restando apenas 500 artigos, que foram importados para o programa StArt, onde ocorreu todo o processo de inclusão e exclusão dos artigos como mostra a figura 3. A exclusão dos artigos foi direcionada a partir dos artigos duplicados ou de acordo com o critério de exclusão aplicado no resumo e texto completo. Após o processo de exclusão dos duplicados e o processo de seleção, restaram apenas 11% do total de 1942 artigos sendo selecionados no final, apenas 7,8% ou 214 artigos. Na fase de extração, dos 214 artigos previamente selecionados, 71% dos artigos foram aceitos e 29% foram excluídos, restando apenas 152 artigos para serem analisados.

Figura 3 – PRISMA flow diagram. Processo de escolha dos artigos a partir da aplicação dos critérios de inclusão e exclusão dos artigos coletados

Distribuição geográfica dos artigos

91

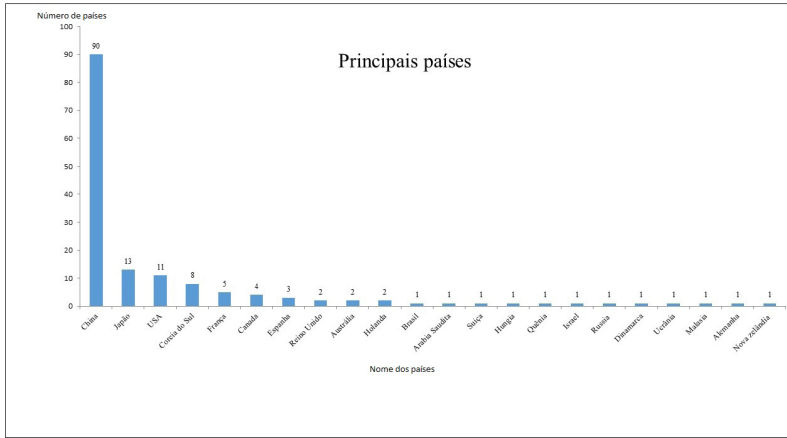


A maioria dos estudos foi realizada na Ásia, aproximadamente 75% ou 114 dos artigos analisados, sendo que a China apresenta 79% ou 90 artigos deste valor como mostra a figura 4, indicando que é o principal país que utiliza o sistema Crispr/Cas-9 no melhoramento de plantas. Já a Europa, América, Oceania e África apresentam aproximadamente 10%, 12%, 2%, 1% dos artigos, respectivamente.

O grande interesse dos países asiáticos no estudo do sistema Crispr/Cas-9 no melhoramento vegetal provavelmente decorre do fato de que esses países estão no centro de produção de várias cultivares sendo a China o país com maior rendimento agrícola no mundo, isso pelo fato segundo Xu et al. (2017) do governo chinês ter feito grandes esforços em inovação em ciência e tecnologia agrícola, especialmente no melhoramento de novas cultivares e melhorias nas práticas agrônômicas para lidar com o ambiente em mudança. Isso porque a China configura-se como a nação em maior expansão econômica no mundo, com o produto interno bruto (PIB) superior a US\$ 12 trilhões. A China também expandiu seus esforços além de suas fronteiras em 2017, quando a empresa estatal ChemChina comprou a Syngenta, com sede na Suíça - uma das quatro maiores empresas do mundo, com uma grande equipe de P&D trabalhando com o CRISPR - por US\$ 43 bilhões (Cohen, 2019). Isto potencializou o país em relação à edição genética por Crispr, já que a empresa é uma das maiores em proteção de cultivo e biotecnologia e possibilitou um relacionamento próximo entre o governo, indústria e academia.

Figura 4 - Principais países produtores de conhecimento sobre o Crispr/Cas-9 no melhoramento vegetal

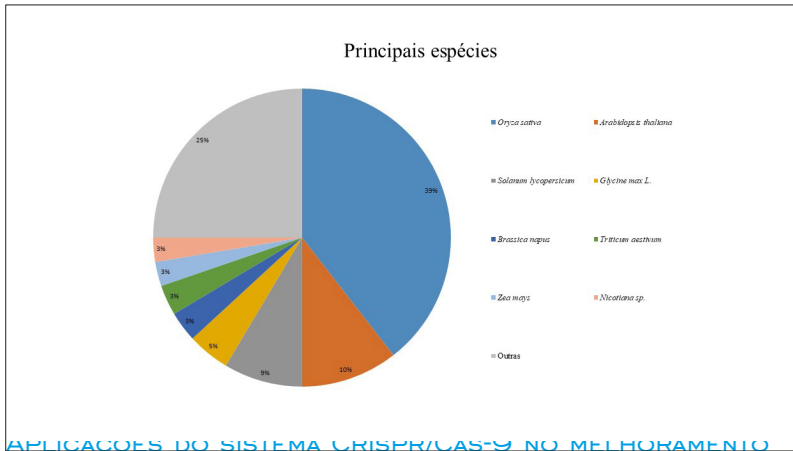
Distribuição de espécies dos artigos



Na análise dos artigos a espécie *Oriza sativa* foi a mais comum, representando cerca de 39% dos artigos, seguida de *Arabidopsis thaliana* 10%, *Solanum lycopersicum* 9% e *Glycine max L.* 4,6% como está representado na Figura 5. A espécie *Oriza sativa* é predominante no continente Asiático sendo mais frequente na China, já que 95% dos artigos da Ásia e 80% da China sobre o Crispr/Cas-9 no melhoramento vegetal são sobre a *Oriza sativa*, isso pode ser explicado pelo fato da nação asiática concentrar 7% das áreas agricultáveis de todo o planeta. Além de ser 95% autossuficiente na produção de trigo, arroz e milho, grãos que são a base da alimentação de seu 1,4 bilhão de habitantes, a China é responsável por alimentar 20% da população mundial (Eler, 2018).

Os dados apresentam uma grande similaridade em relação à revisão feita entre 2014-2017 (Ricroch, 2017), indicando que as pesquisas continuam voltadas para o melhoramento dessas culturas. Ressaltando que a China é o maior produtor de *Oriza sativa* e *Solanum lycopersicum*. A *Arabidopsis thaliana* que não apresenta grande importância econômica direta, mas é utilizada como planta modelo, oferecendo diversas vantagens nos estudos de investigação em genética e biologia molecular ao redor do mundo.

Figura 5 – Principais espécies de plantas encontradas nos artigos analisados sobre Crispr/Cas-9 no melhoramento vegetal em 2019

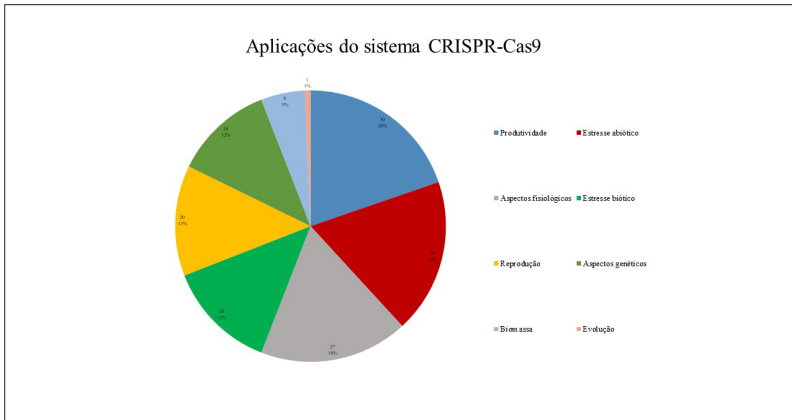


APLICAÇÕES DO SISTEMA CRISPR/CAS-9 NO MELHORAMENTO VEGETAL

Para avaliação das aplicações do sistema Crispr/Cas-9 no melhoramento vegetal, foram criadas oito categorias de acordo com uma análise prévia de todos os artigos selecionados, essas categorias foram divididas em: Produtividade (aumento no rendimento da planta), Estresse biótico, Estresse abiótico, Aspectos fisiológicos (alteração no comportamento fisiológico da planta), Aspectos genéticos (testes de mutantes, identificação de função de genes e edições de bases nucleotídicas), Reprodução, Biomassa e Evolução. Analisou-se os artigos e quantificou os dados na figura 6. Isso pode ser explicado pelo fato do crescente desafio à segurança alimentar diante do aquecimento climático, que faz necessário investir no desenvolvimento de novas políticas agrícolas, inovação em conhecimento e tecnologia e, práticas agrícolas inteligentes (Xu et al, 2017), o que permite obter o maior rendimento de produção com menos utilização de fertilizantes e pesticidas nas áreas agrícolas e criar variedades que sejam resistentes a pragas e doenças, bem como tolerantes à seca e a salinidade. Além disso, a Syngenta, a maior aquisição estrangeira da China até o momento, foi uma forma

para buscar novas tecnologias para aumentar a produtividade agrícola, além de reduzir o uso de produtos químicos em solos altamente poluídos (Patton, 2018).

Figura 6 – Tipos de aplicações do sistema Crispr/Cas-9 no melhoramento vegetal a partir dos artigos analisados



artigos, indicam que a utilização da técnica está sendo muito importante na especificidade da edição genética, o que pode possibilitar um grande avanço da técnica nas culturas vegetais, isso porque muitos dos artigos buscam descobrir e entender por meio do sistema Crispr/Cas-9 os genes que podem ser alterados, analisando o comportamento fisiológico da planta a partir de determinadas modificações genéticas, isso pode ser importante para gerar variedades mais bem preparadas para condições futuras.

CONCLUSÕES

A revisão sistemática aqui apresentada indica que o sistema Crispr/Cas-9 é uma ferramenta valiosa para pesquisas na área de biologia molecular, sendo cada vez mais utilizada no melhoramento de plantas ao redor do mundo.

Os dados desta pesquisa indicam maior concentração

de trabalhos no continente asiático, tendo a China se apresentado como principal expoente em pesquisas na área, com um foco muito grande no melhoramento de *Oriza sativa* e *Solanum lycopersicum*. Essas culturas são manipuladas geneticamente principalmente para garantir a segurança alimentar da crescente população, assim, aumentar o teto de produtividade de *Oriza sativa* continua sendo uma prioridade na China e ao mesmo tempo, há uma demanda crescente por melhoria da qualidade dos grãos e melhoria da resistência a estresses diante do aquecimento climático.

Este trabalho serve como base para futuras revisões a fim de comparar o desenvolvimento do sistema nos próximos anos.

REFERÊNCIAS

ABE, F. et al. Genome-Edited Triple-Recessive Mutation Alters Seed Dormancy in Wheat. **Cell Reports**, v. 28, n. 5, p. 1362-1369.e4, 2019.

AL AMIN, N. et al. CRISPR-Cas9 mediated targeted disruption of FAD2-2 microsomal omega-6 desaturase in soybean (*Glycine max.L*). **BMC Biotechnology**, v. 19, n. 1, p. 1–10, 2019.

ARNDELL, T. et al. GRNA validation for wheat genome editing with the CRISPR-Cas9 system. **BMC Biotechnology**, v. 19, n. 1, p. 1–12, 2019.

96

BAGE, S. A. et al. Genetic characterization of novel and CRISPR-Cas9 gene edited maize brachytic 2 alleles. **Plant Gene**, v. 21, p. 100-198, 2020.

CHARPENTIER E, DOUDNA JA. Biotechnology: rewriting a genome. **Nature**, v. 495, p.50–51 12, 2013.

CHARPENTIER E, MARRAFFINI L. A. Harnessing CRISPR-Cas9 immunity for genetic engineering. *Curr. Opin. Microbiol.* v.19, p.114–19, 2014.

CHEN H, CHOI J, BAILEY S. Cut site selection by the two nuclease domains of the Cas9 RNA-guided endonuclease. **J. Biol. Chem.** v. 132, p.84–94, 2014.

COHEN, J. To feed its 1.4 billion, China bets big on genome editing of crops. Disponível em: <<https://www.sciencemag.org/news/2019/07/feed-its-14-billion-china-bets-big-genome-editing-crops>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

DE MAAGD, R. A. et al. CRISPR/Cas inactivation of RECQ4 increases homeologous crossovers in an interspecific tomato hybrid. **Plant Biotechnology Journal**, v. 18, n. 3, p. 805–813, 2020.

DEVEAU, H. et al. Phage response to CRISPR-encoded resistance in *Streptococcus thermophilus*. **Journal of Bacteriology**, v. 190, n. 4, p. 1390–1400, 2008.

DIMOND, P. F. F. Will a Biomedical duel between China and the United States improve gene-editing outcomes. Disponível em: <<https://www.genengnews.com/insights/crispr-in-china/>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

DOUDNA, J. A.; CHARPENTIER, E. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. **Science**, v. 346, n. 6213, 2014.

GAO, C. The future of CRISPR technologies in agriculture. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 19, n. 5, p. 275–276, 2018.

GOMEZ, M. A. et al. Simultaneous CRISPR/Cas9-mediated editing of cassava eIF4E isoforms nCBP-1 and nCBP-2 reduces cassava brown streak disease symptom severity and incidence. **Plant Biotechnology Journal**, v. 17, n. 2, p. 421–434, 2019.

GRISSA, I.; VERGNAUD, G.; POURCEL, C. The CRISPRdb database and tools to display CRISPRs and to generate dictionaries of spacers and repeats. **BMC Bioinformatics**, v. 8, p. 1–10, 2007.

LINDE, K.; WILLICH, S. N. How objective are systematic reviews? Differences between reviews on complementary medicine. **Journal of the Royal Society of Medicine**, v. 96, n. 1, p. 17–22, 2003.

LEADFORD, H et al. Crispr, the disruptor. **Nature**, v. 522, p. 20 – 24, 2015.

KITCHENHAM, B; BRERETON, P. A systematic review of systematic review process research in software engineering. **Information And Software Technology**, v. 55, n. 12, p.2049-2075, 2013.

PATTON, D. China-owned Syngenta plots growth in challenging home market. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/us-china-syngenta/china-owned-syngenta-plots-growth-in-challenging-home-market-idUSKBN1KE1B3>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

PENNISI, E. The CRISPR craze. **Science**, v. 341, p. 833 – 837, 2013.

POMPILI, V. et al. Reduced fire blight susceptibility in apple cultivars using a high-efficiency CRISPR/Cas9-FLP/FRT-based gene editing system. **Plant Biotechnology Journal**, v. 18, n. 3, p. 845–858, 2020.

RICROCH, A.; CLAIRAND, P.; HARWOOD, W. Use of CRISPR systems in plant genome editing: toward new opportunities in agriculture. v. 0, 2017.

VAN DER OOST, J. et al. CRISPR-based adaptive and heritable immunity in prokaryotes. *Trends in Biochemical Sciences*, v. 34, n. 8, p. 401–407, 2009. XU, Y.; LI, J.; WAN, J. Agriculture and crop science in China: Innovation and sustainability. *Crop Journal*, v. 5, n. 2, p. 95–99, 2017.

XU, Z. S. et al. Changing Carrot Color: Insertions in DcMYB7 Alter the Regulation of Anthocyanin Biosynthesis and Modification. *Plant physiology*, v. 181, n. 1, p. 195–207, 2019.

ZHANG, J. et al. A unique chromosome translocation disrupting CIWIP1 leads to gynoecy in watermelon. *Plant Journal*, v. 101, n. 2, p. 265–277, 2020.