



GENÉTICA NO COTIDIANO

Material de apoio para o curso

Organizador: Enéas Ricardo Konzen

G328

Genética no cotidiano. Material de apoio para o curso/
Enéas Ricardo Konzen – Organizador.

Diagramação: Ana Carolina Nardini Cabral e
coordenação de Marlise Bock Santos.

NAPEAD - Núcleo de Apoio Pedagógico à Educação à Distância

Imbé - RS: 2024.

112 p. ; il. color. Recurso eletrônico.

1. Genética. 2. Educação Básica. 3. Konzen, Enéas Ricardo.
I. Cabral, Ana Carolina Nardini. II. Santos, Marlise Bock.
III. Título.

CDU 575(816.5)

Ismael Cabral – CRB10/2484

Módulo 7

Autores:

Alice Pita Barbosa e
Enéas Ricardo Konzen

MÓDULO 7

DOMESTICAÇÃO DE PLANTAS: A SELEÇÃO DE NOSSOS ALIMENTOS

Depois de tudo que nós vimos até agora (lembra da ordem?: origem da vida, relações de parentesco, diversidade genética nos níveis morfológico e molecular e técnica de PCR em tempo real), vamos falar um pouco de uma grande aplicação da genética na nossa alimentação. Trata-se da domesticação de plantas. Poxa, e a domesticação de animais? Não vamos tratar aqui pela natureza do exemplo que queremos explicar para você. Mas saiba que tanto a domesticação de animais quanto a de plantas certamente envolve muita genética, mesmo que quem tenha começado a domesticá-los nem soubesse do que essa ciência se tratava. Aliás, nem escrita havia. Seguimos com nosso último capítulo.

A origem da domesticação de plantas

A palavra **domesticação** deriva do latim *domus*, que significa casa. Em um sentido amplo, domesticar significa “amansar, de modo que este [um animal, por exemplo] possa conviver com o homem” ou “tornar-se educado para o convívio social”. Este termo, contudo, também pode ser aplicado às plantas, mais especificamente ao processo de incorporação de espécies vegetais ao cotidiano dos seres humanos.

A base para a domesticação de plantas está na Teoria da Evolução explicada pela **seleção natural**, proposta por Charles Darwin e Alfred Wallace no século XIX, como segue: devido à variabilidade genética, indivíduos de uma mesma população apresentam variabilidade para diversas características. Cada característica ou caráter, como já vimos antes, apresenta variação. Por exemplo, a cor das sementes de ervilha, podendo ser amarela ou verde. A forma da semente, que pode ser lisa ou rugosa. No que tange à variação da característica, pelo princípio de seleção natural, as formas de expressão dessa característica que mais contribuem para sobrevivência e reprodução de indivíduos da população acabam transferindo seus alelos para as próximas gerações. Dessa forma, os indivíduos mais aptos serão aqueles que terão condições de perpetuar alelos específicos para o gene ou genes responsáveis por determinada característica.

Ao contrário da seleção natural, a domesticação ocorre com a interferência dos seres humanos sendo, por isso, também conhecida como seleção artificial. Povos indígenas, agricultores e pesquisadores vêm realizando a **seleção artificial** ao longo

de milênios, séculos e décadas, respectivamente. Os principais objetivos desta seleção são facilitar o cultivo, aumentar a produtividade e melhorar as características para consumo. Durante o processo de domesticação, uma série de características recorrentes é adquirida e mantida por uma ampla gama de variedades ou genótipos, o que caracteriza a **síndrome da domesticação**. Assim, nota-se que os critérios que determinam o ‘mais apto’ no ambiente selvagem são distintos dos critérios que determinam o que é ‘mais adequado’ aos interesses dos seres humanos. No último caso, as características de maior interesse para a espécie humana são buscadas.

Alguns exemplos de características recorrentes são o aumento da resistência mecânica e do tamanho das sementes (aumentando sua durabilidade e resultando em plantas mais vigorosas), mudanças no tamanho e na forma dos grãos e das plantas (produzindo maior quantidade por unidade de área ocupada), mudanças químicas (tornando o sabor mais agradável) e redução da sensibilidade ao fotoperíodo (possibilitando o cultivo ao longo de todo ano, ao invés deste se restringir a determinadas épocas do ano com determinada duração do período de luz). Por este motivo, a domesticação de plantas é reconhecida como uma das mais importantes atividades que o ser humano realizou em prol da civilização.

As múltiplas facetas dos vegetais

Imagine que você foi à feira e comprou os seguintes vegetais: couve, couve-flor, brócolis-ramoso, brócolis-romanesco, repolho, couve-de-bruxelas e couve-rábano (Figura 7.1). Considerando-se que os sete vegetais mencionados apresentam morfologia bastante diversa, quantas espécies você acredita que foram adquiridas?



Figura 7.1 – Quantas espécies diferentes constam nesta lista? Fonte das imagens: Pixabay.

A resposta para esta pergunta certamente irá te surpreender: foi adquirida uma única espécie: *Brassica oleracea* (a qual será abreviada como *B. oleracea* daqui para frente). Sim, todos esses itens pertencem à mesma espécie. Você apenas estará levando para casa plantas que foram selecionadas para diferentes formas de uma mesma espécie.

Cada um dos vegetais mencionados é um genótipo ou variedade desta espécie (Tabela: família, espécie e genótipos/nomes populares). Além disso, uma mesma variedade pode apresentar variados fenótipos ou subvariedades (forma, tamanho, cor e sabor variados), como é o caso da couve, que pode ser do tipo “tronchuda”, “manteiga”, “serrilhada”, “roxa”, “crespa”, dentre outros.

A domesticação de *BRASSICA OLERACEA*

A domesticação da espécie *B. oleracea* iniciou-se na região Mediterrânea, de onde são nativas. Nesta região é comum que plantas do tipo selvagem cresçam ao longo dos costões rochosos, próximos ao mar. As plantas selvagens de *B. oleracea* (*B. oleracea* var. *oleracea*) deram origem às demais variedades que encontramos atualmente nas feiras e supermercados de todo o mundo e também apresentam características bastante distintas. Por exemplo, no tipo selvagem as folhas são pouco densas e apresentam pecíolos (comumente chamados de ‘talos’) longos, caules finos e fibrosos e órgãos de reserva de nutrientes pouco suculentos.

Apesar de serem comestíveis, a *B. oleracea* selvagem apresenta sabor extremamente amargo, decorrente da presença de glucosinolatos – compostos ricos em enxofre e importantes na defesa do vegetal contra herbívoros. Acredita-se que a redução no teor dos glucosinolatos marcou o início da domesticação de *B. oleracea* – qualquer redução do amargor, resultando em melhoria do sabor, era bem vinda pelos agricultores da época. Além disso, foram obtidas plantas que apresentam maior densidade de folhas, assim como pecíolos mais curtos, aumentando a produtividade por metro quadrado cultivado. Estas primeiras mudanças provavelmente originaram a primeira variedade de *B. oleracea* domesticada - *B. oleracea* var. *acephala*, popularmente conhecida como couve.

Agora vamos entender o que isso tem a ver com genética? Primeira resposta: muito. Ao selecionar formas específicas de interesse para o cultivo e consumo, mesmo sem saber, os agricultores estavam separando genótipos (genes e seus alelos) que conferiam estas características. Geralmente, ao selecionar algumas formas dentre o que está disponível no ambiente selvagem, **os agricultores restringiram a variabilidade genética a algumas poucas variantes de interesse**. Assim, os materiais selecionados apresentam menor variabilidade genética do que uma população selvagem.

Ao estudarem essas variedades selecionadas por métodos de sequenciamento

e isolamento de genes, os cientistas têm se deparado com genes que regulam: i) o sabor e a nutrição; ii) a morfologia; iii) a arquitetura da planta - forma como ela cresce e se dispõe espacialmente no ambiente; e iv) a transição entre os estágios vegetativo e reprodutivo (ou seja, quando florescem), como será discutido com mais detalhes a seguir.

Síndromes de domesticação de *BRASSICA OLERACEA*

Existe uma série de atributos fenotípicos que permite a distinção das variedades domesticadas de *B. oleracea* da espécie progenitora selvagem. Estes atributos constituem as chamadas síndromes de domesticação. Neste tópico serão descritas as principais síndromes de domesticação encontradas nas sete variedades de *B. oleracea* mencionadas no início deste capítulo, e também alguns dos processos genéticos envolvidos.

Síndromes de domesticação na couve

Vamos iniciar falando um pouco mais sobre a couve (*B. oleracea* var. *acephala*), a variedade domesticada que apresenta maior grau de similaridade com a variedade selvagem. Além das características mencionadas no tópico anterior, nesta variedade há uma maior extensão da **fase vegetativa das plantas**, isto é, elas demoram mais tempo para florescer, resultando em maior produção de folhas - isto é, partes comestíveis. Estas, por sua vez, passam a ser maiores e menos fibrosas, além de apresentarem maior concentração de nutrientes e menor amargor. Além disso, há uma maior dominância apical, ou seja, o caule principal não se ramifica. Isso ocorre devido a ação do hormônio vegetal auxina, produzido no meristema apical do caule (ápice do caule) e nas folhas jovens ao seu redor. Este hormônio é continuamente enviado para a base da planta, exercendo ação inibitória sobre as gemas axilares, as quais permanecem dormentes durante todo o ciclo de vida da planta.

A **transição floral** corresponde ao momento do ciclo de vida das plantas em que a energia utilizada para a produção de caules, raízes e folhas (**crescimento vegetativo**) é direcionada para a produção flores (**crescimento reprodutivo**). Esse processo envolve mudanças drásticas nos padrões de morfogênese e diferenciação celular nos meristemas caulinares apicais e laterais, as quais integram fatores genéticos e ambientais (ex.: fotoperíodo e temperatura). Em algumas espécies, o gatilho para a transição floral se dá, por exemplo, a partir da percepção do comprimento do período claro do dia e, ou das variações na temperatura do ambiente. No caso da *Brassica* selvagem, essa sensibilidade aos fatores ambientais restringe a duração do crescimento vegetativo, resultando em um pequeno número de folhas formadas. A domesticação possibilitou contornar este problema por meio de um processo de seleção de plantas de *B. oleracea*

que apresentam um maior número de cópias de um gene chave do processo de transição floral. Este gene codifica uma proteína chamada 'Flowering locus C' (FLC) que, quando expresso, inibe a transição floral. Ou seja, a planta demora mais para florescer.

Como dito anteriormente, a redução do amargor foi um passo crucial no processo de domesticação da couve. As substâncias que conferem amargor (glucosinolatos), no entanto, também conferem proteção contra herbivoria, algo que também é muito importante em plantas cultivadas. Este metabólito é armazenado nos vacúolos das células vegetais de plantas da família Brassicaceae. Ao sofrer herbivoria, os vacúolos são rompidos, liberando os glucosinolatos. Estes são submetidos à ação de uma enzima denominada mirosinase, que os degrada em toxinas. Alguns dos compostos liberados são voláteis e auxiliam, inclusive, na atração de inimigos naturais - isto é, animais capazes de afugentar os herbívoros que estão atacando as plantas.

Pois bem, eis o dilema: os glucosinolatos são benéficos para a defesa das plantas, porém, quanto maior sua concentração nos vacúolos, maior o amargor. A enzima mirosinase, por outro lado, não apresenta amargor. Através do processo de domesticação, foram selecionadas plantas com menor teor de glucosinolatos e, em contrapartida, teores mais elevados de mirosinase, resultando em um mecanismo de compensação, em que o amargor é reduzido, porém, a capacidade de defesa contra herbivoria é mantida. Isso foi possível devido a seleção de plantas com maior nível de expressão do gene *Myrosinase 1 precursor* (TGG1).

Além das modificações que possibilitaram o cultivo e utilização da couve na culinária em todo o mundo, também foram realizadas mudanças na coloração das folhas por meio do aumento na síntese de pigmentos vegetais denominados **antocianinas**. Este pigmento é armazenado no vacúolo das células, possui propriedades antioxidantes e apresenta coloração vermelho, violeta, verde, azul ou amarelo, dependendo do pH celular (cores apresentadas em ordem crescente de valores de pH). Por este motivo encontramos não só subvariedades de couve com coloração arroxeadas ('couve-roxa'), mas também outras brassicáceas, como repolhos e rábanos, de coloração roxa. Também está presente em outros vegetais como cebola roxa, berinjela, uva, maçã, ameixa, morango, acerola e em subvariedades de couve ornamental. Genes relacionados à produção de antocianinas, com as suas mutações, permitem variações na expressão das cores das folhas de couve.

Síndromes de domesticação no repolho

O repolho (*B. oleracea* var. *capitata*) é um dos vegetais pertencentes à espécie *Brassica oleracea* que também pode ser encontrado na cor roxa, devido à presença de antocianinas. Neste caso, sua variedade denomina-se *capitata rubra*. As síndromes

de domesticação do repolho tiveram como alvo a inibição do desenvolvimento do meristema apical do caule (gema terminal), o encurtamento dos entrenós e a curvatura das folhas. Além disso, o teor de clorofilas é menor (tornando as folhas mais claras), o amargor também foi suprimido e o florescimento retardado.

Caules são estruturas vegetativas subdivididas em nós, a partir das quais podem se desenvolver folhas e outras estruturas caulinares, ao longo de seu comprimento. Os intervalos caulinares situados em meio a dois nós denominam-se entrenós. Alguns vegetais, a exemplo das bromélias, apresentam entrenós muito reduzidos, de modo que as folhas acabam apresentando um aspecto de roseta. Isso também ocorre com a couve e, de maneira mais intensa, com o repolho, devido ao processo de domesticação. O comprimento dos entrenós é influenciado pela ação de um hormônio vegetal denominado giberelina. No repolho e em outras variedades de *Brassica*, a mutação em genes relacionados à biossíntese desse hormônio resulta em caules com entrenós muito curtos. Em um sentido oposto, plantas de repolho que recebem aplicação de giberelina exógena passam a apresentar entrenós longos e a atingir cerca de 2 metros de comprimento!

Síndromes de domesticação na couve-flor e brócolis

Em *B. oleracea* var. *botrytis* (couve-flor e brócolis-romanescos) e *B. oleracea* var. *italica* (demais variedades de brócolis), o principal alvo da domesticação foi o processo de **transição floral**, o qual envolve uma série de mudanças estruturais no ápice do meristema apical do caule, resultando em meristemas florais que se tornam aptos para a produção de flores e inflorescências. Nas variedades supracitadas, as flores são abortadas precocemente e não se desenvolvem completamente, adquirindo o **fenótipo** característico de uma massa amorfa de tecido vegetal no lugar das flores (var. *botrytis*) ou chegando a desenvolver estruturas florais rudimentares, não funcionais (var. *italica*). Além disso, são observadas alterações no caule, que apresenta pequeno comprimento, folhas dispostas em roseta e textura delicada, pouco fibrosa.

O processo genético que resulta na inibição da transição floral e abortamento em *B. oleracea* var. *botrytis* está relacionada com o gene *CAULIFLOWER* (*CAL*). A mutação deste gene resultou em um fenótipo bastante similar em outra espécie, *Arabidopsis thaliana*, uma planta bem pequena e que é usada como modelo de estudo na genética, pertencente à mesma família vegetal, *Brassicaceae*.

Seleção dos alimentos da nossa mesa

Basicamente, os alimentos selecionados para compor a nossa mesa diária, a exemplo da couve, couve-flor e brócolis, que destacamos anteriormente, resultaram de uma gradativa seleção de características pelos povos tradicionais, agricultores e pesquisadores. Geralmente, a domesticação conduziu à redução da diversidade genética entre os materiais selecionados. Hoje, os pesquisadores buscam sempre realizar cruzamentos entre as variedades existentes e até mesmo resgatar alguns materiais selvagens para incluir nos cruzamentos, de modo que novas combinações possam ser produzidas e selecionadas. O contínuo exercício de fornecer cultivos mais produtivos e mais variados é cada vez mais acelerado graças ao poder de detectarmos o quanto essa variação é determinada geneticamente. Assim, é possível aumentar os ganhos em produtividade e a produção de alimentos. Esse processo de seleção guiada por aspectos genéticos é o **melhoramento genético**, sendo aplicado tanto a plantas quanto a animais.

ATIVIDADE DO CAPÍTULO

Faça uma breve pesquisa sobre a domesticação de alguma planta que você e sua família consomem durante suas refeições. Descreva a espécie, suas características e sua importância. Descreva também um pouco da história por trás da domesticação.

A partir das informações coletadas e escritas, elabore um cartaz digital e apresente aos seus colegas e professor(a). Nesse cartaz coloque figuras, fotografias (você mesmo pode tirar em casa) e alguns tópicos explicando brevemente a domesticação da espécie que você escolheu.

Referências consultadas

- Arias, Tatiana, Chad E. Niederhuth, Paula McSteen, and J. Chris Pires. 2021. The Molecular Basis of Kale Domestication: Transcriptional Profiling of Developing Leaves Provides New Insights Into the Evolution of a Brassica Oleracea Vegetative Morphotype. *Frontiers in Plant Science* 12(March): 1–17.
- Baker, Robert L. et al. 2017. Polyploidy and the Relationship between Leaf Structure and Function: Implications for Correlated Evolution of Anatomy, Morphology, and Physiology in Brassica. *BMC Plant Biology* 17(1): 1–12. <http://dx.doi.org/10.1186/s12870-016-0957-3>.
- Cheng, Feng et al. 2016. Subgenome Parallel Selection Is Associated with Morphotype Diversification and Convergent Crop Domestication in Brassica Rapa and Brassica Oleracea. *Nature Genetics* 48(10): 1218–24.
- Cheng, Feng, Jian Wu, and Xiaowu Wang. 2014. Genome Triplication Drove the Diversification of Brassica Plants. *Horticulture Research* 1(February): 1–8.
- Hong, Joon Ki et al. 2012. Overexpression of Brassica Rapa SHI-RELATED SEQUENCE Genes Suppresses Growth and Development in Arabidopsis Thaliana.” *Biotechnology Letters* 34(8): 1561–69.
- Kistler, Logan et al. 2018. Multiproxy Evidence Highlights a Complex Evolutionary Legacy of Maize in South America. *Science* 362(6420): 1309–13.
- Maggioni, Lorenzo, Roland von Bothmer, Gert Poulsen, and Elinor Lipman. 2018. Domestication, Diversity and Use of Brassica Oleracea L., Based on Ancient Greek and Latin Texts. *Genetic Resources and Crop Evolution* 65(1): 137–59.
- Purugganan, Michael D., Abee L. Boyles, and Jane I. Suddith. 2000. “Variation and Selection at the CAULIFLOWER Floral Homeotic Gene Accompanying the Evolution of Domesticated Brassica Oleracea.” *Genetics* 155(2): 855–62.
- Ren, Wenqing et al. 2018. “Association of MicroRNAs with Types of Leaf Curvature in Brassica Rapa.” *Frontiers in Plant Science* 9(February): 1–12.
- Smith, Lee B., and Graham J. King. 2000. “The Distribution of BoCAL-a Alleles in Brassica Oleracea Is Consistent with a Genetic Model for Curd Development and Domestication of the Cauliflower.” *Molecular Breeding* 6(6): 603–13.
- Stansell, Zachary et al. 2018. “Genotyping-by-Sequencing of Brassica Oleracea Vegetables Reveals Unique Phylogenetic Patterns, Population Structure and Domestication Footprints.” *Horticulture Research* 5(1).