

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ECOLOGIA DOS RECURSOS FLORAIS

Data de aceite: 02/06/2024

Natalia de Sousa Silva

Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Maranhão-IFMA, campus Monte Castelo
São Luís - MA
<https://lattes.cnpq.br/8415077071111243>

Misael dos Santos Leite

Instituto Federal do Maranhão, Campus Presidente Dutra
Presidente Dutra – Maranhão
<https://lattes.cnpq.br/1640610298459511>

Nerilson Marques Lima

Universidade Federal de Goiás
Goiânia – Goiás
<http://lattes.cnpq.br/0495456987994445>

Teresinha de Jesus Aguiar dos Santos Andrade

Instituto Federal do Maranhão, Campus Presidente Dutra
Presidente Dutra – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/8812730306785969>

RESUMO: As flores fazem parte das estruturas reprodutivas das plantas e são essenciais para as plantas que as produzem. Além do valor estético, os recursos florais possuem variadas características como forma, formato, fragrância e cor que tem

seu significado individual e colaborativo no ecossistema. A grande diversidade das flores é principalmente resultado dos processos metabólicos que ocorrem neste órgão reprodutivo. Os diversos metabólitos secundários produzidos por este órgão estão envolvidos nas propriedades sensoriais, estrutural, resistência a predadores, desenvolvimento, reprodução, bem como sustentam as interações das plantas com polinizadores animais. A interação química entre plantas e insetos exerce um papel fundamental no desenvolvimento de redes ecológicas planta-inseto, tornando-a um ferramenta importante para os ecossistemas naturais e agrícolas. Do ponto de vista ecológico, as flores respondem aos estímulos ambientais através da liberação de sinais químicos produzidos, os mesmos constituem o elemento de mediação nas interações de polinizadores úteis no mecanismo de proteção contra herbívoros ou patógenos. Os pigmentos naturais das pétalas das flores, atuam principalmente como um sinal para atrair e selecionar polinizadores. O metabolismo das flores abrange tópicos de relevância para a agricultura e o ecossistema.

PALAVRAS-CHAVE: Flores. Metabólitos, Cores. Interação química.

ABSTRACT: Flowers are part of the reproductive structures of plants and are essential to the plants that produce them. In addition to aesthetic value, floral resources have various characteristics, such as shape, fragrance, and colour, with individual and collaborative meanings in the ecosystem. The great diversity of flowers is mainly a result of the metabolic processes that occur in this reproductive organ. The various secondary metabolites produced by this organ are involved in sensory and structural properties, resistance to predators, development, reproduction, and supporting the interactions of plants with animal pollinators. The chemical interaction between plants and insects is fundamental in developing plant-insect ecological networks, making it an essential tool for natural and agricultural ecosystems. From an ecological point of view, flowers respond to environmental stimuli by releasing chemical signals, which constitute the mediating element in the interactions of pollinators and are helpful in the protection mechanism against herbivores or pathogens. The natural pigments in flower petals mainly act as a signal to attract and select pollinators. Flower metabolism covers topics of relevance to agriculture and the ecosystem.

PALAVRAS-CHAVE: Flowers. Metabolites. Colours. Chemical Interaction

1. INTRODUÇÃO

As plantas são classificadas como a forma de vida mais bem sucedida na Terra, embora não usem estratégias baseadas em movimentos como correr, perseguir a presa, escapar/evitar seus inimigos ou comunicar-se visualmente. A fim de sobreviver, elas desenvolveram inúmeras características para superar esse desafio, utilizam ferramentas mais sutis como a metabolização de grande variedade de compostos químicos como os metabólitos secundários (Yeshi *et al.*, 2022).

As pesquisas químicas envolvendo a imensa biodiversidade natural demonstram que os metabólitos produzidos variam consideravelmente entre e dentro das espécies individuais (Wang *et al.*, 2022). Contudo a terminação biodiversidade diz respeito não apenas a toda a diversidade de vida no Planeta, mas também as suas diferentes e complexas interações (Jordano, 2016, 2021). Os compostos químicos naturais funcionam como base para a comunicação vegetal dentro de seus ecossistemas, mediando interações entre plantas e diversos mutualistas (Ma *et al.*, 2021).

A ligação entre a biodiversidade e as interações tem sido reconhecida há muito tempo, mas o conhecimento ainda permanece limitado (Pugh & Field, 2022). As interações ecológicas ocorrem entre os organismos e eles próprios e entre os organismos e o meio ambiente e são cruciais para manter a biodiversidade e a saúde de um ecossistema (Dyer *et al.*, 2010).

Para as plantas as flores não se restringem apenas a beleza e a estética, as mesmas desempenham papéis vitais para sobrevivência, adaptação e reprodução (Burns, 2015; Athira *et al.*, 2023). A diversa variedade de recursos florais nas angiospermas exerce uma importante função na atração de polinizadores. A interação das flores e seus polinizadores ampara o sucesso evolutivo das angiospermas. A polinização é um serviço ecossistêmico

essencial do qual dependem a diversidade global de plantas com flores e a garantia da segurança alimentar de humanos e animais (Costanza *et al.*, 2017).

2. O PAPEL DOS METABÓLITOS NAS FLORES

As angiospermas representam os grupos mais diversos das espécies vegetais, são plantas complexas, fanerógamas vascularizadas e possuem flores e frutos recobrendo suas sementes (Parkinson *et al.*, 1999). O processo fisiológico de floração é um dos mais essenciais nas plantas, pois garante a continuação da transferência genética de uma geração para a outra e também sustenta a segurança alimentar (Chakraborty *et al.*, 2022).

A fim de superar desafios bióticos e abióticos para prosperar em novos ambientes, as plantas precisaram desenvolver estratégias em suas vias metabólicas. O desenvolvimento dos metabólitos secundários marca um grande passo para se adequar durante a evolução das plantas e sugerem uma função primordial dos metabólitos secundários nas plantas (Delgoda & Murray, 2017).

As flores, órgão reprodutivo das angiospermas, produzem uma vasta variedade de metabólitos secundários, relacionados diretamente na autodefesa, adaptação, interação, reprodução, evolução entre outras funções próprias do desenvolvimento da planta (Chakraborty *et al.*, 2022). Esses compostos químicos apresentam ampla aplicabilidade nutracêuticas e farmacológicas como bactericida (Ninama *et al.*, 2024), antioxidantes (Kalemba-Drożdż and Cierniak, 2019), antimicrobiana (Aliyazicioglu *et al.*, 2017) e anti-inflamatória (Oliveira *et al.*, 2024).

Para atrair a atenção de polinizadores como insetos, aves e mamíferos e afastar certos invasores, que podem variar conforme os processos que ocorrem neste órgão (Borghi & Fernie, 2021), as plantas utilizam-se de metabólitos especializados responsáveis pela cor, forma, aroma e o sabor das suas flores (Tan *et al.*, 2013).

O aroma das flores resulta de uma grande complexidade de substâncias químicas que carregam elementos sobre a identidade da flor e a qualidade da recompensa do néctar. Esses voláteis florais podem agir como um sinal imediato ou de longa distância para atrair os insetos polinizadores, bem como atuar como desestimuladores contra visitantes menos eficazes (Jin *et al.*, 2023).

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) que atraem polinizadores não estão difundidos igualmente pela filogenia das plantas com flores, a frequência e a predominância destes compostos nos aromas florais variam amplamente entre as espécies (Farré-Armengol *et al.*, 2017). Os COVs são moléculas de baixo peso molecular (abaixo de 300 Da), baixa polaridade e alta pressão de vapor, por isso são altamente voláteis o que promove a difusão do aroma das flores no ar (Borghi & Fernie, 2021). Essas moléculas produzidas pelas flores pertencem a diferentes classes químicas (Figura 1), como os derivados de ácidos graxos (trans- β -ocimeno, trans- β -farneseno), benzenoides/fenilpropanóides (2-hidroxibenzoato de

metila, 2-feniletanol) terpenos do tipo mono e sesquiterpenos (limoneno, mirceno, linalol, α - e β -pineno, cariofileno) (Benvenuti & Mazzoncini, 2022). Os COVs têm grande potencial de aplicação na agricultura principalmente em sistemas sustentáveis, como controle biológico, melhoramento e manipulação genética, polinização e no manejo de pragas (Riffel, 2015).

Abaixo segue algumas substâncias orgânicas mais comuns no aroma de flores.

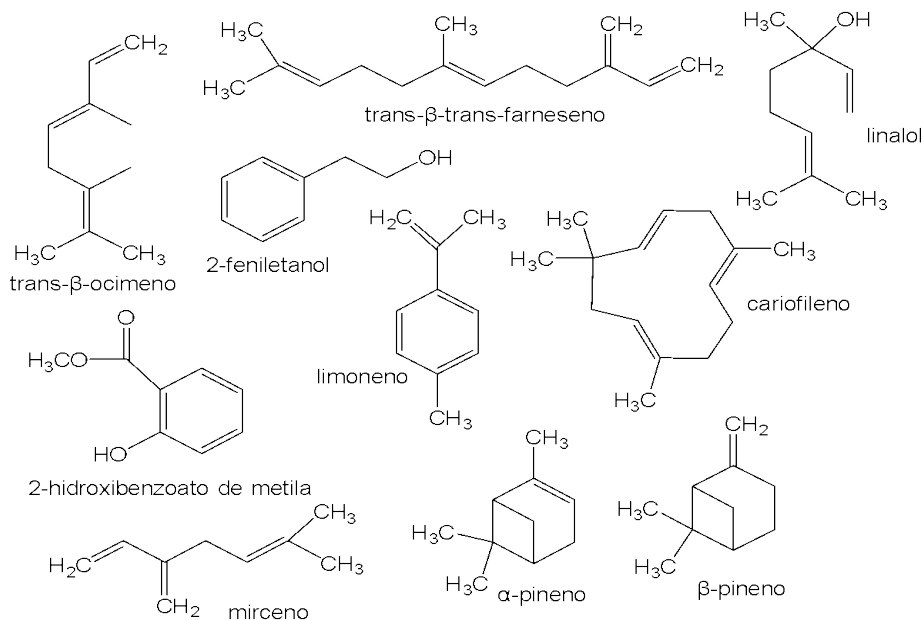


Figura 1: Compostos orgânicos voláteis encontrados nos aromas das flores

A cor da flor se deve em grande parte à presença de pigmentos químicos naturais presentes nos cloroplastos e vacúolos celulares dos tecidos florais. Esses metabólitos responsáveis pela atribuição da cor nas flores podem conferir tolerância ao estresse durante a floração e desenvolvimento (Paupière *et al.*, 2014; Burns *et al.*, 2015) e atuando como fotoprotetores contra os efeitos nocivos da radiação solar UV, pois são capazes de absorver radiação luminosa ultravioleta (Borghi & Fernie, 2021).

As bases químicas das cores das flores deve-se principalmente aos grupos de classes principais de pigmentos florais (Narbona *et al.*, 2021):

- flavonoides, contribuem com as cores amarela e vermelha, mas também roxas e azuladas;
- carotenóides, incluem pigmentos de caroteno que produzem as cores amarela, laranja e vermelha;
- betalaínas, geralmente produzem as cores roxas.

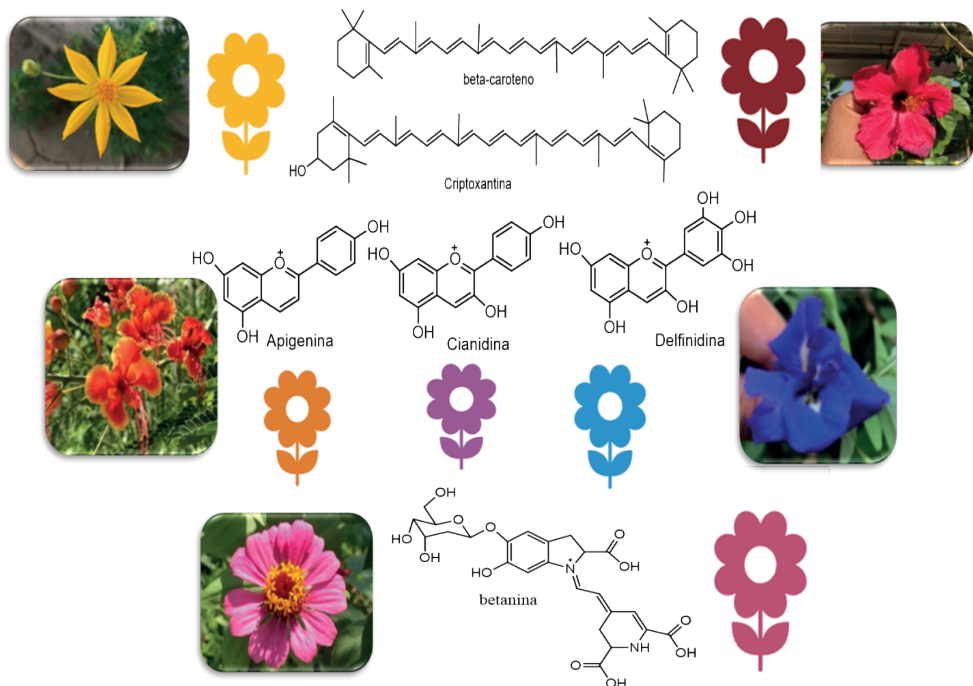


Figura 2: Principais classes de moléculas dos pigmentos nas flores

3. INTERAÇÕES QUÍMICAS E ECOLÓGICAS ENTRE INSETOS E FLORES

Todos os organismos geram sinais químicos e todos, à sua maneira, respondem às emissões químicas de outros. O resultado é uma vasta interação comunicativa usando linguagem química, fundamental para a estrutura da vida. A linguagem não falada das plantas diz respeito aos sinais químicos liberados durante os processos de sinalização e comunicação motivando as interações e escolhas particulares com as plantas da mesma espécie, vizinhas e com outros organismos, como micróbios e insetos (Sharma, Malthankar, Mathur, 2021; Coatsworth *et al.*, 2023).

As interações entre plantas e insetos são resultados da evolução tanto o emissor (planta) quanto o receptor (inseto), originando uma ampla multiplicidade de aromas das plantas e especializações olfativas de insetos (Effah *et al.*, 2022). A comunicação entre flores e insetos exercem funções importantes na atração de polinizadores tanto para espécies específicas como para plantas dentro da mesma espécie, influenciando assim as decisões das polinizadores quando procuram néctar e pólen (Rachensberger *et al.*, 2019).

As flores desenvolveram diferentes estratégias para manipular o comportamento de seus parceiros insetos. Para liberar aromas, cuja produção pode ser energeticamente cara para a planta, algumas flores liberam em ciclos repetitivos ou em resposta à luz e à

temperatura correndo o risco de atrair insetos e outros animais que não seus polinizadores (Bouwmeeste *et al.*, 2019). Assim uma tática influente é produzir compostos químicos com funções preexistentes nos sistemas de comunicação dos próprios insetos (Schiestl, 2010). Os pigmentos florais e os COVs transmitem mensagens visuais (cor) e olfativas (fragrância) para atrair possíveis polinizadores, bem como selecionam visitantes indesejáveis, como herbívoros oportunistas que poderiam roubar o néctar (Paul *et al.*, 2022).

Do ponto de vista ecológico, embora algumas das interações sejam óbvias a partir de várias características visuais e olfativas, como a forma de uma flor, sua cor, cheiro, e perfumes, existem outras imperceptíveis. Por exemplo, a eletricidade é uma das ferramentas utilizadas por algumas espécies de flores para se comunicarem com outros organismos, a partir da atração de cargas elétricas opostas, neste caso o exoesqueleto de muitos insetos possuem cargas positivas e as flores cargas negativas (Ashworth, 2017). As cargas elétricas positivas também possibilita algumas flores liberar uma grande quantidade de aroma e atrair os polinizadores. As flores aparecem diferentes sob a luz ultravioleta para atrair as abelhas, pois as mesmas possuem a capacidade de ver uma faixa mais ampla do espectro de luz do que os seres humanos, desta maneira são mais atraentes para as abelhas (Ibarra, Langridge, Vorobyev, 2015).

Das milhares de plantas com flores que produzem todos os nossos alimentos e produtos industriais à base de plantas, mais da metade dependem de um polinizador para se reproduzirem. Desta maneira a importância da polinização na manutenção de um planeta saudável não pode ser subestimada, uma vez que a maior parte da nossa alimentação provém dessas plantas com flores (Bartomeus *et al.*, 2014).

Em conclusão os vários processos biossintéticos das flores são os principais responsáveis por esta grande diversidade de características fenotípicas, pois os metabolitos formados a partir destes sustentam e regulam o crescimento e desenvolvimento dos mais diversos recursos florais e medeiam as interações entre flores e outras biotas.

REFERÊNCIA

Aliyazicioglu, R; Demir, S; Badem, M; Sener, S.O; Korkmaz, N; Demir, E.A; Ozgen U; Karaoglu, S.A; Aliyazicioglu, Y. Antioxidant, antigenotoxic, antimicrobial activities and phytochemical analysis of *Dianthus carmelitarum*. **Records of Natural Products**, v.11, p.270-284, 2017.

Ashworth, James. **Plants and pollinators use electric fields to find each other**. Natural History Museum. 2021. Disponível em: <https://www.nhm.ac.uk/discover/news/2021/ september/plants-and-pollinators-use-electric-fields-to-find-each-other.html>. Acessado em 12 dez. 2023.

Athira, K; Jaishanker, R. N; Rajan, S. C; Dadhwal, V. K. Remote sensing of flowers. **Ecological Informatics**, v.78, p.102369, 2023.

Bartomeus, I; Potts, S.G; Steffan-Dewenter, I; Vaissière, B.E; Woyciechowski, M; Krewenka, KM.;Tschulin, T; Roberts, SP; Szentgyörgyi, H; Westphal, C; Bommarco, R. Contribution of insect pollinators to crop yield and quality varies with agricultural intensification. **PeerJ**, v.27(2), p.e328, 2014.

Benvenuti, S; Mazzoncini, M. The Biodiversity of Edible Flowers: Discovering New Tastes and New Health Benefits. **Frontiers in Plant Science**, v.22(11), p. 569499, 2021.

Borghi, M; Fernie, A. R. From Flowers to Seeds: how the Metabolism of Flowers Frames Plant Reproduction. **Biochemist**, v.43(3), p.14-18, 2021.

Borghi, M; Fernie, A. R; Schielstl, Florian P; Bouwmeester, Harro J. The floral advantage of looking, smelling, and tasting good: the metabolic network that produces signals for pollinators. **Trends in Plant Science**, v.22(4), p.338-350, 2017.

Burns, K. C. The color of plant reproduction: macroecological trade-offs between biotic signaling and abiotic tolerance. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v.3 (118), 2015.

Bouwmeester, H; Schuurink, R. C; Bleeker P. M; Schiestl F. The role of volatiles in plant communication. **The Plant Journal**, v.100, p.892-907, 2019.

Coatsworth, P; Gonzalez-Macia, L; Collins, A. S.P; Bozkurt, T; Güder, F. Continuous monitoring of chemical signals in plants under stress. **Nature Reviews Chemistry**, v.7(1), p.7-25, 2023.

Chakraborty, A; Chaudhury, R; Dutta, S; Basak, M; Dey, S; Schöffner, A. R; Das, Malay. Role of metabolites in flower development and discovery of compounds controlling flowering time. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.190, p.109-118, 2022.

Costanza, R.; Groot, R.; Braat, L; Kubiszewski, I.; Fioramonti, L.; Sutton, P.; Farber, S.; Grasso, M. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Service**, v.28, p.1-16, 2017.

Delgoda, R; Murray, J.E. in: Badal, S., Clement Y. N. Chapter 7-**Evolutionary Perspectives on the Role of Plant Secondary Metabolites**. Pharmacognosy, Fundamentals, Applications and Strategies. Academic Press, Boston, MA (2017), p. 93-100.

Dyer, L; Walla, T; Greeney, H; Stireman, J; Hazen, R. Diversity of interactions: a metric for studies of biodiversity. **Biotropica**, v.42(3), p. 281-289, 2010.

Effah, E; Svendsen, L; Barrett, D.P; Clavijo-McCormick, A. Exploring plant volatile-mediated interactions between native and introduced plants and insects. **Scientific Reports**, v.12, p.15450, 2022.

Farré-Armengol, G; Filella, I; Llusà, J; Peñuelas, J. β -Ocimene, a Key Floral and Foliar Volatile Involved in Multiple Interactions between Plants and Other Organisms. **Molecules**, v.22(7), p.1148, 2017.

Ibarra, N. H; Langridge, K. V; Vorobyev, M. More than colour attraction: behavioural functions of flower patterns. **Current Opinion in Insect Science**, v.12, p.64-70, 2015.

Jin, J; Mingyue, Z; Tingting J; Mengting Z; Mengqian, L; Guomeng, Y; Jingming W; Danyang, G; Yuting, P; Timothy D. H; Wilfried, S; Chuankui, S. Volatile compound-mediated plant-plant interactions under stress with the tea plant as a model. **Horticulture Research**, v.10 (9), 2023.

Jordano, P. Chasing Ecological Interactions. **PLoS Biol**, v.14(9), p.e1002559, 2016.

Jordano, P. The Biodiversity of Ecological Interactions: Challenges for recording and documenting the Web of Life. **Biodiversity Information Science and Standards**, v. 5, p.e75564, 2021.

Kalemba-Drożdż, M. Cierniak, A. Antioxidant and genoprotective properties of extracts from edible flowers. **Journal of Food and Nutrition Research**, v.58, p. 42-50, 2019.

Ma, D; Cushnie, B; Ngo, A; Li, T. An Overview of Chemical Communications in Interspecies Mutualism Relationships. Department of Bioengineering. 2021. Disponível: <https://bioengineering.hyperbook.mcgill.ca/an-overview-of-chemical-communications-in-interspecies-mutualism-relationships/>. Acessado: 12 de dezembro de 2023.

Narbona, E; Del Valle J. C; Arista, M; Buide, M. L; Ortiz, P. L. Major Flower Pigments Originate Different Colour Signals to Pollinators. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v.9, p. 943850, 2021.

Ninama, V; Shah, H; Kapadia, C; Italiya, A; Datta, R; Singh, S; Singh, A. Assessment of phytochemicals, nutritional compositions and metabolite profiling using GC-MS from annual edible flowers. **Scientia Horticulturae**, v.323, p.112551, 2024.

Oliveira, I; Chrysargyris, A; Finimundy, T. C; Caroch, M; Santos-Buelga, C; Calhelha R. C; Tzortzakos, N; Barros, L; Heleno, S. A. Magnesium and manganese induced changes on chemical, nutritional, antioxidant and antimicrobial properties of the pansy and Viola edible Flowers. **Food Chemistry**, v.438, p.137976, 2024.

Parkinson, C. L; Adams, K. L; Palmer, J. D. Multigene analyses identify the three earliest lineages of extant flowering plants. **Current Biology**, v.9(24), p. 1485-8, 1999.

Paul, I; Sarkar, M. P.; Bhadoria, P.B.S. Floral secondary metabolites in context of biotic and abiotic stress factors. **Chemoecology**, v.32, p.49-68, 2022.

Paupière, M.J.; Van Heusden, A.W.; Bovy, A.G. The metabolic basis of pollen thermo-tolerance: perspectives for breeding. **Metabolites**, v.4, p.889-920, 2014.

Rachersberger, M.; Cordeiro, D. G.; Schäffler, I.; Dötterl, S. Honeybee Pollinators Use Visual and Floral Scent Cues to Find Apple (*Malus domestica*) Flowers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.67 (48), 13221-13227, 2019.

Riffel, A. Os voláteis de plantas e o seu potencial para a agricultura / Alessandro Riffel, João Gomes da Costa – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 48 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros).

Schiestl, F.P. The evolution of floral scent and insect chemical communication. **Ecology Letters**, v.13(5), p.643-56, 2010.

Sharma, G.; Malthankar, P.; Mathur, V. Insect–plant interactions: a multilayered relationship. **Annals of the Entomological Society of America**, v.114(1), p.1-16, 2021.

Tan, J.; Wang, M.; Tu, L.; Nie, Y.; Lin Y.; Zhang, X. The flavonoid pathway regulates the petal colors of cotton flower. **PLoS One**, v.8, p. e72364, 2013.

Yeshi, K.; Crayn, D.; Ritmejerjyrté, E.; Wangchuk, P. Plant Secondary Metabolites Produced in Response to Abiotic Stresses Has Potential Application in Pharmaceutical Product Development. **Molecules**, v.27(1), p.313, 2022.

Wang, S.; Li, Y.; He, L.; Yang, J.; Fernie, A. R.; Luo, J. Natural variance at the interface of plant primary and specialized metabolism. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 67, p.102201, 2022.