

Compostos

Reguladores são, para muitos cultivos, indispensáveis ao alcance de bons níveis

João Domingos Rodrigues e Samuel Luiz Fioreze*



RODRIGO JUNIOR

Objetivo maior da aplicação de biorreguladores na cultura do milho é promover seu rápido desenvolvimento inicial, favorecendo a exploração do solo pelas raízes e o desenvolvimento foliar

Hormônios vegetais são substâncias orgânicas, produzidas em uma célula ou tecido, que atuam como mensageiras químicas, modulando os processos celulares no local de síntese ou em outras partes da planta. A interação entre hormônio e receptor ocorre em sítios específicos, em concentrações extremamente baixas, desencadeando diversos processos fisiológicos, de modo a promover, inibir ou modificar o crescimento e desenvolvimento da planta, sendo extremamente importante nas respostas a fatores ambientais.

Atualmente, são reconhecidos nove principais grupos de hormônios vegetais: auxinas (Ax), giberelinas (GA), citocininas (CK), ácido abscísico (ABA), etileno (Et), brassinoesteróides (BRA), jasmonatos (JA), salicilatos (SA), poliaminas (PA) e, mais recentemente, as estrigolactonas (ST). A atividade de um hormônio, ou, mais frequentemente, a interação entre grupos hormonais, define a ocorrência de processos envolvidos com a promoção ou a inibição do crescimento, diferenciação dos órgãos, defesa contra agentes bióticos e abióticos, além dos processos de senescência natural e maturação.

Reguladores vegetais são compostos naturais ou sintéticos que exibem atividade biológica no controle do crescimento e do desenvolvimento das plantas. Quando aplicados em plantas, apresentam ações similares aos grupos de hormônios vegetais ou atuam na inibição da biossíntese ou, ainda, da atividade dos mesmos. As mais diversas classes de reguladores vegetais desenvolvidos e estudados pela pesquisa, ao longo dos anos, têm proporcionado melhorias ao sistema de cultivo de diversas culturas. Em muitos casos, a utilização de reguladores se torna prática indispensável à viabilidade de sistemas de cultivo. Deste modo, o estudo de substâncias que regulam o metabolismo, inibindo, promovendo ou modificando o crescimento e o desenvolvimento de culturas é indispensável para que o potencial

produtivo das culturas seja expresso em níveis satisfatórios.

BIORREGULADORES

Os biorreguladores são reguladores vegetais classificados como promotores do crescimento, apresentando atividade semelhante aos hormônios vegetais endógenos encontrados nas plantas. Neste grupo, os reguladores vegetais mais comuns são produtos à base de giberelinas (ácido giberélico) e produtos compostos de mais de um grupo hormonal, como auxinas, giberelinas e citocininas. Estudos realizados sobre o processo de germinação de sementes demonstram que a aplicação de ácido giberélico acelera a germinação e aumenta a quantidade de sementes germinadas. A pré-embebição de sementes de milho doce com 50 mg L⁻¹ de ácido giberélico, após oito meses de armazenamento, promoveu o aumento da atividade metabólica durante o processo de germinação, resultando em maior vigor e germinação. O regulador vegetal utilizado apresenta 10% de ácido giberélico em sua composição, sendo registrado para a aplicação via sementes nas culturas do milho e do arroz. Além desse, existe outro regulador vegetal comercial registrado para o milho, formulado com 0,005% de ácido indolbutírico (IBA), 0,009% de cinetina (Kt) e 0,005% de ácido giberélico (GA3), que será aqui tratado como IBA+Kt+GA3. Na cultura do milho, sua aplicação é recomendada em tratamento de sementes, aplicação no sulco de semeadura ou mesmo em aplicações foliares nas fases iniciais do desenvolvimento da cultura, entre os estádios V1 e V2 do desenvolvimento.

Pode-se considerar que os estudos da eficácia da aplicação de biorreguladores na cultura do milho ainda são escassos quando comparados com outras classes de reguladores vegetais em outras culturas, como é o caso dos inibidores da biossíntese de giberelina nas culturas do algodão e do trigo. Além de escassos, os resultados obtidos em experimentos

de campo revelam inconsistência nas respostas de plantas de milho. Em alguns casos, os benefícios iniciais obtidos pelo fornecimento do biorregulador desaparecem nas fases subsequentes do desenvolvimento, sem haver incrementos de produtividade.

O objetivo principal da aplicação de biorreguladores na cultura do milho é promover o rápido desenvolvimento inicial das plantas, favorecendo a exploração do solo pelas raízes e o desenvolvimento foliar. Desse modo, as plantas poderão aproveitar os recursos ambientais, como água, nutrientes e radiação solar, de forma mais eficiente durante o período de diferenciação de espigas, que ocorre nos estádios iniciais do desenvolvimento da cultura. Este estímulo inicial ao desenvolvimento da cultura pode representar maior vantagem competitiva contra plantas não desejáveis ou, mesmo, em relação ao estresse ambiental. De modo geral, aplicações de IBA+Kt+GA3 em sementes (1,5 L 100 kg⁻¹) apresentam incrementos em produtividade, apresentando maior facilidade de aplicação. Os efeitos provenientes da aplicação destas classes de biorreguladores têm sido relacionados com incremento no crescimento das raízes, diâmetro de colmos, número de fileiras de grãos por espiga e de grãos por fileira, resultando em incrementos de produtividade.

RIZOBACTÉRIAS

Apesar de atuarem como organismos fixadores de N, um dos principais mecanismos que explicam os efeitos benéficos da inoculação de sementes de plantas cultivadas com bactérias do gênero *Azospirillum* é a sua capacidade de produzir e metabolizar uma série de hormônios vegetais e de compostos que atuam de forma direta ou indireta na regulação do crescimento da planta, podendo, assim, ser classificadas como rizobactérias promotoras do crescimento vegetal. Entre os efeitos diretos, verifica-se a biossíntese de hormônios promotores



RODRIGO ALMEIDA

Estudo de substâncias que regulam o metabolismo é indispensável para que o potencial produtivo das culturas seja expresso em níveis satisfatórios

do crescimento, como auxinas, gibberelinas e citocininas, e de reguladores do crescimento vegetal, como óxido nítrico e poliaminas. Os mecanismos indiretos de atuação envolvem a indução de resistência sistêmica a doenças, biossíntese de hormônios relacionados ao estresse, como ácido jasmônico, ácido abscísico e etileno, e biossíntese de compostos antimicrobianos. Os efeitos observados em plantas inoculadas com *Azospirillum* são mais próximos daqueles observados após aplicação de biorreguladores do que dos verificados em plantas em associação com outras espécies de bactérias, como a soja e bactérias do gênero *Bradyrhizobium*.

É conhecido que bactérias do gênero *Azospirillum* possuem a capacidade de identificar sinais emitidos ou percebidos pela planta em condições de estresse, desencadeando respostas de forma conjunta com a planta, resultando em aumento de tolerância. Em função da capacidade destas bactérias de estimular

o crescimento vegetal, tanto em condições de estresse como na sua ausência, pode-se dizer que seu efeito de biorregulação pode substituir aqueles proporcionados pela aplicação de biorreguladores comerciais ou, mesmo, atuar de forma sinérgica. Índices satisfatórios de produtividade foram obtidos com 50% da dose recomendada de N, associada à inoculação de sementes com *Azospirillum*, seguida da aplicação foliar do regulador IBA+Kt+GA3 no estágio V4 de desenvolvimento, indicando que as duas tecnologias podem apresentar efeitos sinérgicos para a produtividade da cultura.

INIBIDORES DA BIOSÍNTESE DE GIBERELINAS

Em muitas culturas, o crescimento excessivo de plantas em altura, associado à redução do diâmetro do caule, resulta em maior tendência ao acamamento, causando prejuízos à produção. Reguladores

vegetais que atuam como inibidores da biossíntese de gibberelinas são ferramentas para a redução do porte de plantas, proporcionando o cultivo em maiores densidades de semeadura ou mesmo com maiores investimentos em adubação nitrogenada. Na cultura do trigo, os principais reguladores utilizados com esta finalidade são o *ethyl-trinexapac*, o *prohexadione* cálcio e o cloreto de *chlormequat*, também conhecido como cloreto de clorocolina (CCC). Na cultura do algodão, a aplicação de inibidores da biossíntese de gibberelinas, como o cloreto de *clormequat* e cloreto de *mepiquat*, proporcionam redução do comprimento dos entrenós do caule, viabilizando o cultivo principalmente em sistemas de cultivo adensado. Tanto para a cultura do algodoeiro como para a do trigo, a aplicação de retardantes do crescimento promove melhorias na arquitetura das plantas, como folhas menores e mais eretas, sem prejudicar a produtividade da cultura.

No caso do trigo, o aumento nas taxas fotossintéticas é relatado em folhas bandeira com posição mais ereta nos horários de maior irradiação, em resposta à aplicação de *ethyl-trinexapac*.

O estudo da aplicação de inibidores da biossíntese de giberelinas é bastante recente na cultura do milho. Aplicações de *ethyl-trinexapac* em doses entre 187,5 e 562,5 g ha⁻¹ de i.a. entre os estádios V2 e V8 não reduzem a altura de plantas, podendo, em alguns casos, provocar aumento na largura e redução no comprimento de folhas, sem afetar a produtividade. A redução do comprimento de folhas pode ser uma característica vantajosa para o milho, por proporcionar aumento da densidade de cultivo com menor índice de autossombreamento de folhas. Este sistema, contudo, ainda não foi testado em condições experimentais.

A aplicação de *ethephon* pode resultar em benefícios à cultura do milho cultivado em altas densidades, principalmente quando são esperados eventos relacionados à ocorrência de déficit hídrico e altas temperaturas durante o início da fase reprodutiva da cultura. A aplicação de *ethephon* promove a redução no índice de área foliar de plantas de milho, sem afetar a produtividade da cultura. A aplicação desta classe de reguladores vegetais na cultura do milho deverá ainda ser mais bem estudada, podendo representar uma ferramenta para o cultivo em maiores densidades de plantas ou mesmo para aumento no suprimento de nitrogênio, por meio da modificação da arquitetura de plantas.

FUNGICIDAS DE EFEITOS FISIOLÓGICOS

O período de enchimento de grãos pode ser reduzido em função de estresses bióticos e abióticos, como ocorrência de doenças foliares, déficit hídrico ou excesso térmico e deficiências nutricionais. Como resultado, o potencial produtivo construído pela planta, até a fase de antese, pode ser reduzido. Na cultura do milho,

algumas estratégias podem ser utilizadas para maximizar o acúmulo de matéria seca nos grãos, por meio da manutenção da área foliar verde ativa. Entre as estratégias citadas está a utilização de fungicidas de efeitos fisiológicos. O manejo de fungicidas na cultura do milho vem ganhando maior importância nas últimas safras, principalmente no cultivo em safrinha, no qual as condições para a ocorrência de doenças são mais favoráveis. Tem-se observado, contudo, que os benefícios alcançados pela aplicação de alguns grupos de fungicidas, como as estrobilurinas, vão além do controle de doenças, sendo este grupo considerado como fungicidas de efeitos fisiológicos. Dentro do grupo das estrobilurinas, destaca-se a piraclostrobina, estudada intensamente em oito anos de pesquisa.

A piraclostrobina provoca alteração no ponto de compensação de CO₂ das plantas. Alguns resultados indicam que um aumento transitório na rota alternativa da respiração (AOX) pode se sobrepor à redução esperada da emissão de CO₂ devido à inibição da respiração mitocondrial. Isso provoca a queda nos níveis celulares de ATP e aumento na concentração de prótons (H⁺) no citosol, resultando na ativação do nitrato redutase. Sete dias após a aplicação de piraclostrobina, ocorre decréscimo de 10% do teor de nitrato nos tecidos, indicando sua assimilação e formação de outros complexos metabólicos. Após 15 dias da aplicação, observa-se aumento de 20% na biomassa. A relação C/N e o conteúdo de proteínas não se diferenciam em plantas tratadas ou não com piraclostrobina, indicando que a maior absorção e redução do nitrato favorece o crescimento das plantas tratadas.

O crescimento da produtividade proveniente da aplicação de piraclostrobina pode resultar de alterações em processos fisiológicos da planta, como o retardamento da senescência foliar, aumento na atividade fotossintética, redução da atividade da ácido l-aminociclopropa-

no-l-carboxílico sintase (ACC sintase) e consequente redução na biossíntese de etileno. O atraso no processo de degradação da clorofila, que ocorre durante a senescência, é chamado de “efeito verde”. A manutenção do tecido verde, fotossinteticamente ativo, pode prolongar o período de atividade fotossintética foliar, maximizando o enchimento de grãos.

Além da diminuição da síntese de etileno, observações recentes indicam aumento na síntese de óxido nítrico (NO), importante sinalizador celular do estresse, em plantas tratadas com piraclostrobina. O NO leva à formação de compostos que ativam a defesa das plantas. Além disso, o NO tem ação antiestresse, pois é a substância que reduz a atividade das enzimas ACC sintase e ACC oxidase, reduzindo, com isso, os níveis endógenos de etileno. Vários trabalhos mostram forte ação destes produtos na atividade de enzimas antioxidantes, tendo sido determinadas as atividades de superóxido dismutase (SOD), catalase, peroxidase e peroxidação lipídica, evidenciando ação antiestresse nas plantas tratadas. Observa-se, também, aumento nos níveis endógenos de ácido abscísico (ABA), permitindo a adaptação da planta a situações de estresse hídrico, incrementando a eficiência do uso de água.

A utilização de fungicidas de efeitos fisiológicos na cultura do milho, contudo, tem apresentado resultados bastante inconsistentes. Dependendo do material genético, pressão de doenças, época e número de aplicações, os efeitos podem ser positivos, do ponto de vista de produtividade, ou negativos. Os efeitos negativos podem ser explicados pelo fato de os fungicidas do grupo das estrobilurinas atuarem como inibidores da atividade da enzima ACC sintase, que é chave na biossíntese de etileno na planta, hormônio vegetal responsável pelo desenvolvimento das espigas. A aplicação de fungicidas no milho, entre os estádios VII e VI5, pode reduzir os níveis de etileno na planta, aumentando a frequência de

espigas mal formadas, com consequentes perdas na produtividade. 

* **João Domingos Rodrigues** é professor titular do Departamento de Botânica/ Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista (mingo@ibb.unesp.br);

Samuel Luiz Fioreze é professor auxiliar do Departamento de Ciências Agrônomicas/Curso de Agronomia, da Universidade Federal de Santa Catarina (s.fioreze@ufsc.br).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, C. A.; LIMA, M. W. P.; MORAIS, O. M.; ONO, E. O.; BOARO, C. S. F.; RODRIGUES, J. D.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Fitorreguladores na germinação de sementes e no vigor de plântulas de milho super doce. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, PR, v. 23, n. 1, p. 62-67, 2001.
- ARAGÃO, C. A.; DANTAS, B. F.; ALVES, E.; CATANEO, A. C.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Atividade amilolítica e qualidade fisiológica de sementes armazenadas de milho super doce tratadas com ácido giberélico. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, PR, v. 25, n. 1, p. 43-48, 2003.
- ARTECA, R. N. *Plant growth substances: principles and applications*. New York: Chapman & Hall, 1995. 332 p.
- BASF. F500: O fungicida Premium. São Bernardo do Campo: Basf, 2005. 35 p. (Boletim Técnico).
- BAYLES R. A.; HILTON, G. J. Variety as a factor in the response of cereals to strobilurins. In: BCPC CONFERENCE, 2000. *Proceedings*... Brighton, Hampshire, UK, British Crop Production Council, 2000. p. 731-738.
- BERTELSEN, J. R.; NEERGAARD, E. De; SMEDEGAARD-PETERSEN, V. Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yield of winter wheat. *Plant Pathology*, Oxford, v. 50, p. 190-250, 2001.
- BRYSON, R. J.; LEANDRO, L.; JONES, D. R. The physiological effects of kresoxim-methyl on wheat leaf greenness and the implication for crop yield. In: BCPC CONFERENCE, 2000. *Proceedings*...Farnham, British Crop Protection Council, 2000. p. 739-747.
- BRACCINI, A. L.; DAN, L. G. M.; PICCINI, G. G.; ALBRECHT, L. P.; BARBOSA, M. C.; ORTIZ A. H. T. Seed inoculation with *Azospirillum brasilense*, associated with the use of bioregulators in maize. *Revista Caatinga*, Mossoró, RN, v. 25, n. 2, p. 58-64, 2012.
- BELOW, F. E.; DUNCAN, K. A.; URIBELARREA, M.; RUYLE, T. B. Occurrence and proposed cause of hollow husk in maize. *Agronomy Journal*, v. 101, n. 1, p. 237-242, 2009.
- CASÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and Agronomical Aspects of Phytohormone Production by Model Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Belonging to the Genus *Azospirillum*. *Journal of Plant Growth Regulators*, v. 32, n. 3, p. 619-649, 2013.
- CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. *Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical*. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. 588 p.
- CICCHINO, M. A.; EDREIRA, J. I. R.; OTEGUI, M. E. Maize Physiological Responses to Heat Stress and Hormonal Plant Growth Regulators Related to Ethylene Metabolism. *Crop science*, v. 53, n. 1, p. 2135-2146, 2013.
- COHEN, A. C.; TRAVAGLIA, C. N.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. N. Participation of abscisic acid and gibberellins produced by endophytic *Azospirillum* in the alleviation of drought effects in maize. *Botany*, v. 87, n. 1, p. 455-462, 2009.
- COSTA, R. V.; COTA, L. V.; SILVA, D. D.; MEIRELLES, W. F.; LANZA, F. E. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de estrobilurinas em milho. *Tropical Plant Pathology*, v. 37, n. 4, p. 246-254, 2012.
- DOURADO NETO, D.; DARIO, G. J. A.; VIEIRA JÚNIOR, P. A.; MANFRON P. A.; MARTIN, T. N.; CARRÉRE, R. A. G.; CRESPO, P. E. N. Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. *Revista da FZVA*, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2004.
- FAGAN, E. B. *A cultura da soja: modelo de crescimento e aplicação da estrobilurina piraclastrobina*. Piracicaba: USP/ESALQ, 2007. 83 p. (Tese de Doutorado).
- GHINI, R.; KIMATI, H. *Resistência de fungos a fungicidas*. 2. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002. 78 p.
- GROSSMANN, K.; RETZLAFF, G. Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresoxim methyl in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pesticide Science*, Oxford, v. 50, p.11-20, 1997.
- KÖEHLE, H.; GROSSMANN, K.; RETZLAFF, G.; AKERS, A. Physiologische einflüsse des neuen getreidefungizides juwed auf die ertragsbildung. *Gesunde Pflanzen*, Berlin, v. 49, p. 267-271, 1997.
- KÖEHLE, H.; GROSSMANN, K.; JABS, T.; GERHARD, M.; KAISER, W.; GLAAB, J.; CONRATH, U.; SEEHAUS, K.; HERMS, S. Physiological effects of the strobilurin fungicide F 500 on plants. In: DEHNE, H. W.; GISI, U.; KUCK, K. H.; RUSSELL, P. E.; LYR, H. (Ed.). *Modern fungicides and antifungal compounds III*. Andover, 2002. p. 61-74.
- OLIVEIRA, R. F. Efeito fisiológico do F500 na planta. *Atualidades Agrícolas BASF S.A.*, p. 9-11, 2005.
- SHEKOOFA, A.; EMAM, Y. Plant growth regulator (Ethephon) alters maize (*Zea mays* L.) growth, water use and grain yield under water stress. *Journal of agronomy*, v. 7, n. 1, p. 41-48, 2008.
- YAMASAKI, H.; TIEDEMANN, A. V. Physiological effects of azoxystrobin and epoxiconazole on senescence and the oxidative status of wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, San Diego, v. 71, p. 1-10, 2001.
- YPEMA, H. L.; GOLD, R. E. Kresoxim-methyl: modifications of a naturally occurring compound to produce a new fungicide. *Plant Disease*, v. 83, p. 4-19, 1999.
- ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Doses e épocas de aplicação de regulador de crescimento em híbridos de milho. *Planta Daninha*, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 395-402, 2013.