

THE ICAC RECORDER

International
Cotton
Advisory
Committee



Technical
Information Section

VOL. XXIX No. 3
SEPTEMBER 2011

Update on Cotton
Production Research



Índice	
	Páginas
Introdução	3
Necessidade de Aplicações de Inseticidas em Algodão Biotecnológico de Gene Duplo Resistente a Insetos no Sistema de Produção dos EUA	4
Cor do Algodão: Medição e Descoloração	9
Papel da Biotecnologia no Desenvolvimento Sustentável de Algodão	13
Por Dr. Sukumar Saha, Pesquisador ICAC do Ano de 2011	

Introdução

Helicoverpa zea constitui uma peste importante no algodão dos EUA e é referida popularmente como lagarta do algodoeiro. *H. zea* também é comum em outras colheitas, onde é reconhecido por nomes diferentes. Outras lagartas do algodoeiro/de broto também atacam o algodão nos EUA. Desde a adoção do algodão biotecnológico nos EUA, as perdas devido a lagartas de broto/algodoeiro caíram de 3,97% em 1995 para 1,2% em 2010. As perdas devidas a insetos como *Lygus* e ao pulgão-fedido, que não são controladas pela toxina *Bt*, permaneceram quase no mesmo nível durante os últimos 15 anos. Os dados mostram que, apesar do aumento na pressão de insetos devido a certos insetos sugadores e aumentos de preço nos produtos inseticidas, o custo direto de manejo de artrópodos não aumentou nos últimos 15 anos. Em 2010/11, estima-se o preço tecnológico para o algodão biotecnológico resistente a insetos em cerca US\$ 35/ha, o que representa cerca de 25% do custo do manejo de artrópodos. A experiência com tecnologia de gene duplo nos EUA tem mostrado que, com variedades de algodão com gene *Bt* múltiplos, as tecnologias podem proporcionar controle muito bom das pragas de lagartas, mas podem não oferecer 100% de controle da lagarta do algodoeiro. Muitos pesquisadores têm observado que, sob pressão natural extrema a partir da lagarta do algodoeiro, as variedades biotecnológicas resistentes a insetos podem exibir controle variável das lagartas do algodoeiro-alvo, e podem exigir aplicações suplementares de inseticidas para evitar perdas de produção devidas a lesão a partir dessa espécie. Logo, existem muitos fatores que poderiam determinar a necessidade de borrifamento adicional em variedades de gene duplo. O primeiro artigo é sobre a “Necessidade de Borrifamento em Algodão Biotecnológico de Gene Duplo Resistente a Insetos no Sistema de Produção dos EUA”.

O segundo artigo, intitulado “Cor do Algodão: Medição e Descoloração”, lida com os desenvolvimentos mais recentes na medição da cor das fibras e nas alterações em cor devidas a várias razões. Os dois parâmetros independentes de cor de algodão são grau de refletância (Rd) e amarelidão (+b). Todos os capulhos abertos em um campo não são colhidos logo após a abertura. O caroço de algodão na planta fica sujeito ao desgaste climático de muitos dias. Um atraso na colheita do algodão e o orvalho contínuo sobre capulhos abertos também alteram a cor natural do algodão. Relatos mostram que alguns fardos de algodão, especialmente aqueles transportados por via marítima, mudam de cor de modo significativo, particularmente +b, a partir de sua medição inicial em HVI. Umidade e temperatura constituem os dois fatores mais importantes que afetam a cor após coleta e durante armazenamento. O amarelamento pode resultar em

The ICAC RECORDER (ISSN 1022-6303) é publicado quatro vezes por ano pela Secretaria do International Cotton Advisory Committee, 1629 K Street, NW, Suite 702, Washington, DC 20006-1636, EUA. Editor: M. Rafiq Chaudhry rafiq@icac.org. Taxa de assinatura: US\$ 205,00 (cópia impressa); US\$ 170,00 (versão eletrônica). Copyright © ICAC 2011. Não se permite reprodução integral ou em parte sem consentimento expresso da Secretaria.

enfraquecimento leve da fábrica ou até desintegração completa do tecido. Uma deterioração da cor indica redução da capacidade de processamento da fibra, resultando em preço menor de mercado. Uma deterioração da cor afeta a capacidade das fibras absorverem corantes de modo equivalente a fibras sem cor deteriorada. Mesmo que o algodão com deterioração de cor seja capaz a absorver corantes de modo igual a algodão sem deterioração de cor, afeta-se a capacidade das fibras descoloridas de reter corantes. Fornecem-se muito mais fatos sobre a cor do algodão no segundo artigo.

O terceiro artigo é do Dr. Sukumar Saha, Pesquisador ICAC do Ano de 2011. O Dr. Saha, que trabalha atualmente para o Departamento da Agricultura dos EUA, foi reconhecido na 70^a Reunião Plenária do ICAC, realizada na Argentina, de 4-10 de setembro de 2011. O Dr. Saha é uma autoridade internacional na genômica e citogenética de algodão. Sua pesquisa é utilizada no desenvolvimento de recursos genéticos e citogenéticos por pesquisadores ao redor do mundo. Ele desenvolveu, avaliou e divulgou linhas de substituição cromossômica interespecíficas retrocruzadas oriundas de outras espécies de algodão tetraploides. Essa pesquisa inaugura novos paradigmas nos estudos de reprodução e genética do algodão, proporcionando uma ferramenta para superar os problemas de introgressão interespecífica e na descoberta de alguns genes ou características novos. O Dr. Saha também fez uma contribuição importante no desenvolvimento de marcadores de SSR baseados em PCR em programas de reprodução de algodão. O Dr. Saha é um dos oito cientistas fundadores que iniciaram a *International Cotton Genome Initiative* (Iniciativa Internacional do Genoma do Algodão) (ICGI) para facilitar o trabalho de pesquisa colaborativo em genômica de algodão no nível global. O Dr. Saha fez uma apresentação no Seminário Técnico em Buenos Aires, setembro de 2011. Seu artigo, reproduzido aqui, está focalizado em três áreas específicas sobre o papel da biotecnologia no aprimoramento do algodão: 1) uso de tecnologia transgênica na produção de algodão econômica e ambientalmente sustentável; 2) seleção assistida por marcador para acelerar os programas de reprodução de algodão; e 3) o futuro do sequenciamento do genoma do algodão para desvendar os segredos da genética para o aprimoramento do algodão.

A Necessidade de Aplicações de Inseticidas no Algodão Biotecnológico de Gene Duplo Resistente a Insetos no Sistema de Produção dos EUA

Nos Estados Unidos, *Helicoverpa zea* constitui uma praga importante e é conhecido comumente como lagarta do algodoeiro, quando afeta algodão. No entanto, quando *H. zea* ataca outras colheitas, a lagarta é nomeada frequentemente segundo a planta hospedeira (por exemplo, lagarta da espiga no milho, lagarta do sorgo, lagarta da soja, lagarta do tomate e outros). A ampla variedade de hospedeiros e a sequência de colheitas de que o inseto se alimenta em uma única época de crescimento possuem impacto significativo em seu potencial para desenvolver resistência às toxinas expressas em algodão Bt e outras colheitas biotecnológicas. Essa qualidade polifágica dá origem a cenários desenvolvimentares sazonais, em que apenas um número limitado de gerações não ficaria exposto às toxinas transgênicas, seja em Bollgard ou Bollgard II. Além disso, o uso de toxinas Bt semelhantes tanto em milho Bt quanto em algodão Bt pode sujeitar populações a exposições de seleção múltipla dentro de um único ano. A comercialização de mais colheitas biotecnológicas que portam os mesmos genes Bt irá aumentar o risco de desenvolvimento de resistência às toxinas. A lagarta do tabaco

(*Heliothis virescens*) constitui uma praga importante e tem sempre exigido um número maior de aplicações de inseticida do que *H. zea*. No entanto, essa situação mudou com a introdução do algodão Bollgard em 1996. O algodão biotecnológico Bollgard eliminou 100% das aplicações para lagarta do tabaco, mas o controle suplementar da lagarta do algodoeiro permaneceu uma prática rotineira até se ter adotado o Bollgard II. Conseqüentemente, revisou-se o limiar para lagartas para controlar a população de escape. A adoção do Bollgard II intensificou o controle em planta de lagartas, particularmente da lagarta do algodoeiro. Posteriormente, em 2005, a Dow AgroSciences tornou disponível uma tecnologia alternativa de gene duplo, o WideStrike[®]. Embora variedades na tecnologia Bollgard II[®] ou WideStrike[®] tenham proporcionado um controle muito bom de lagartas, não oferecem controle de 100% de lagartas do algodoeiro.

A situação com a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) difere significativamente das da lagarta do tabaco e da lagarta do algodoeiro. A lagarta do algodoeiro é uma praga ocasional a esporádica em muitas áreas de algodão ao redor do mundo. Também é conhecida como uma praga migratória nos EUA. A praga ataca a parte inferior da planta, onde vive e, com isso, torna difícil a detecção de infestações utilizando protocolos padrão de amostragem. Borrifamentos reativos de inseticidas também produzem frequentemente resultados inconsistentes. Têm havido dúvidas com relação ao desempenho dos algodões Bt transgênicos contra essa praga. O WideStrike[®] proporcionou melhor proteção do que os algodões Bollgard ou Bollgard II contra a lagarta do cartucho.

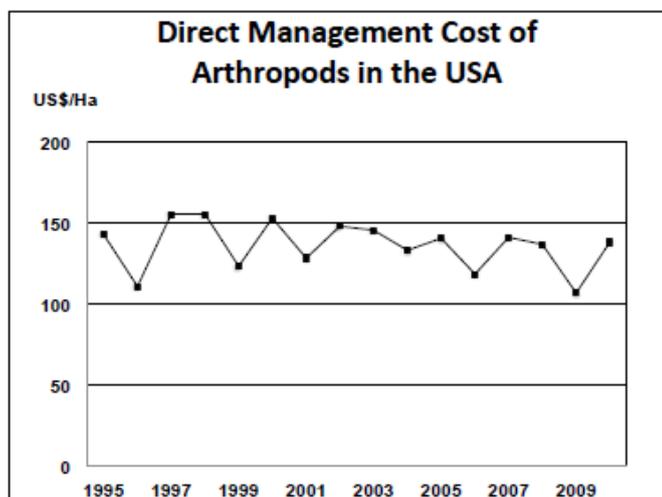
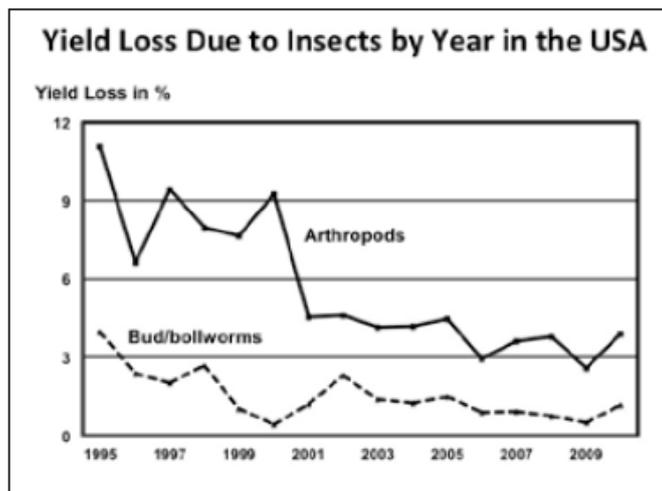
As outras duas pragas danificadoras de frutos do algodão nos EUA, onde as variedades biotecnológicas foram adotadas mais cedo do que em qualquer outro país, são a lagarta rosada (*Pectinophora gossypiella*) e a lagarta do algodoeiro (*Helicoverpa armigera*). A lagarta do algodoeiro, uma lagarta americana, não constitui uma praga séria no algodão. É tipicamente mais difícil de controlar com algodão Bt do que outras pragas lepidópteras alvejadas e requer frequentemente borrifamento com inseticidas como medida de controle suplementar. A proteção contra lagarta rosada melhorou com a introdução do algodão biotecnológico de gene duplo resistente a insetos.

Perdas Devidas a Insetos nos EUA

Nos EUA, as perdas devidas a artrópodos têm sido avaliadas desde 1979. Os danos são expressos em termos de perda na produção atribuível às várias pragas individuais. As informações necessárias são fornecidas pelos agentes dos condados, especialistas de extensão, consultores particulares e pesquisadores entomologistas. Todos os dados são transformados em média sobre a área total de cada unidade de relato. Por exemplo, se uma unidade de relato compreender 100 hectares e tiver ocorrido uma perda de 8% na área de 25 hectares, a perda média apareceria nos dados como perda de 2%. Esse procedimento de transformação em média é usado em todos os dados relatados, incluindo produções e custos de controle. As perdas de produção devidas a pragas artrópodas têm diminuído significativamente nos últimos 15 anos. Desde a introdução do algodão biotecnológico, as perdas devidas a larvas do broto e larvas do algodoeiro também têm diminuído, de 3,97% em 1995 para 1,2% em 2010 (Anônimo, 1996-2011). As perdas devidas a determinados outros insetos, tais como *Lygus* e pulgões-fedidos,

têm permanecido quase no mesmo nível nos últimos 15 anos. No entanto, têm ocorrido flutuações de um ano para outro, o que também vale para lagartas do broto/algodoeiro. As perdas de produção devidas a lagartas do broto/algodoeiro foram de apenas 0,5% em 2009/10. Com base nos dados médios de produção para 1995/96, estima-se que foram perdidos 66,7 quilogramas de fibra de algodão por hectare devido a artrópodos naquela estação, em comparação com 36,0 quilogramas na estação 2010/11. Logo, pode-se inferir que as medidas mais recentes de controle de pragas não têm só economizado os custos de inseticida, mas também têm contribuído para perdas menores e produções maiores.

Nos EUA, também são coletados dados sobre custos diretos de manejo em conexão com artrópodos. Os dados que aparecem nos quadros seguintes mostram que, apesar do aumento da pressão a partir de certos insetos sugadores e apesar dos aumentos de preço nos produtos inseticidas, o custo direto de manejo de artrópodos não aumentou nos últimos 15 anos (Anônimo, 1996-2011). Em 2010/11, estima-se o custo do algodão biotecnológico resistente a insetos em US\$ 35/ha, o que representa cerca de 25% do custo do manejo de artrópodos. Existem muitos fatores responsáveis pela ausência de aumentos no custo do controle de artrópodos nos últimos 15 anos. O algodão biotecnológico constitui um dos principais fatores, mas o programa de erradicação do bicudo também reduziu significativamente o dano por esse inseto, particularmente no Texas. A infestação por bicudo, que cobriu até 0,9 milhão de hectares em 2002, foi reduzida para menos de 50.000 ha em 2010.



1. Perda de Produção Devida a Insetos por Ano nos EUA

2. Perda de Produção em %
3. Artrópodos
4. Lagartas do broto/algodoeiro

1. Custo Direto de Manejo de Artrópodos nos EUA

2. US\$/ha

O Problema da Resistência e a Necessidade de Borrifar

O ano de 2010 foi o décimo-quinto aniversário da introdução, adoção e uso comercial em grande escala do algodão biotecnológico na busca evolutiva para controlar os danos por insetos no algodão. Uma das lições mais convincentes aprendidas a partir do uso de inseticidas ao redor do mundo, quando aplicados em algodão biotecnológico, foi que a indústria inteira teve de projetar programas de manejo de resistência para o algodão biotecnológico antes mesmo de o primeiro algodão biotecnológico de gene único resistente a insetos ter sido comercializado em 1996. A tecnologia de gene duplo Bollgard II[®] (Cry1Ac + Cry2Ab), introduzida pela Monsanto em 2003, completou seus primeiros oito anos de plantio comercial em 2010. Dois anos mais tarde, introduziu-se outro algodão biotecnológico de gene duplo resistente a insetos, o WideStrike[®] (Cry1Ac + Cry1F), comercializado pela Dow AgroSciences, e este concluiu seus primeiros seis anos de uso comercial em 2010. A Monsanto descontinuou subsequentemente a produção comercial do algodão Bollgard (gene Cry1Ac) por receio de que insetos pudessem desenvolver resistência a uma variedade de gene único mais rápido do que a uma variedade de gene duplo.

A experiência com tecnologia de gene duplo nos EUA tem demonstrado que as variedades de algodão com as tecnologias gênicas de Bt múltiplo atualmente disponíveis podem proporcionar controle muito bom de pragas de lagartas, mas também podem não oferecer 100% de proteção contra a lagarta do algodoeiro. Muitos pesquisadores têm observado que, sob a pressão natural extrema das lagartas do algodoeiro, as variedades biotecnológicas resistentes a insetos podem exibir controle inconsistente das lagartas do algodoeiro-alvo e podem exigir aplicações suplementares de inseticidas para evitar perdas de produção devidas a danos por lagartas do algodoeiro. Em 2010, Greene (2011) experimentou a pressão mais alta registrada a partir de *H. zea* em estudos de campo realizados na Carolina do Sul nas últimas cinco estações. Os estudos de campo das tecnologias de algodão biotecnológico existentes e promissoras foram inundados por infestações naturais de lagarta do algodoeiro, e foram observados resultados variáveis. Greene (2011) notou picos dos níveis de danos em capulhos que se aproximaram de 20, 60 e 30% em variedades não-protetidas com características de Bollgard II[®], WideStrike[®] e TwinLink[™], respectivamente. A tecnologia de gene único Bollgard[®] mostrou danos por lagarta do algodoeiro tão altos quanto de 60% no pico de pressão de lagarta do algodoeiro. Ele relatou que está em andamento pesquisa para desenvolver limiares de tratamento desenhados especificamente para tecnologias de gene Bt múltiplo à medida que ficarem disponíveis.

Jackson *et al.* (2011) observaram que, durante os últimos poucos anos de colheita, os algodões biotecnológicos de gene duplo resistentes a insetos (Bollgard II[®] e

WideStrike[®]) têm exigido números cada vez maiores de borrifamentos de inseticida alvejando a lagarta do algodoeiro. No Mississípi, algodão biotecnológico recebeu uma média de 1,7 aplicação por hectare em 2009 para controle suplementar de lagarta do algodoeiro; a cifra foi aumentada para 2,3 borrifamentos por hectare em 2010. Capturas de armadilha de feromônio de traças do algodoeiro adultas também demonstraram taxas de captura quase duas vezes mais altas em 2010 do que nos quatro anos anteriores. O número médio sazonal de traças do algodoeiro capturadas por armadilha por semana foi < 50 em 2006-2009 e > 100 traças por armadilha por semana em 2010. Os pesquisadores coletaram lagartas do algodoeiro de algodão e milho biotecnológicos resistentes (ou seja, Bollgard II[®], WideStrike[®] e SmartStax[®]) e as testaram quanto a suscetibilidade a Cry1Ac e Cry2Ab através de bioensaios de incorporação de dieta e mortalidade de dose. Ensaaiou-se uma colônia laboratorial da lagarta do algodoeiro (LabZea) que era suscetível a várias toxinas Bt como linhagem de controle. As proporções de resistência para Cry1Ac indicaram que as populações de lagarta do algodoeiro coletadas a partir de colheitas de Bt com gene em pirâmide foram 3-8x menos suscetíveis a Cry1Ac do que a colônia suscetível laboratorial. As taxas de suscetibilidade dessas colônias a Cry1Ac foram comparáveis a muitas das encontradas durante 2002-2008 no Arkansas, onde as proporções de resistência variaram de cerca de 0,1 a > 500. Como no caso das estimativas de suscetibilidade a Cry1Ac, as proporções de resistência a Cry2Ab variaram de 2-12.

As proporções de mortalidade geradas a partir da % de mortalidade de uma colônia submetida a doses discriminatórias de 100 µg/mL de dieta (Cry1Ac) ou 150 µg/mL (Cry2Ab) mostraram que a suscetibilidade a Cry1Ac permaneceram inalteradas de 2002-2008. No entanto, a proporção de mortalidade para Cry2Ab em 2010 foi de 0,4, o que foi mais baixo que a variação de 0,6-1,0 entre 2002 e 2008 (no estado do Arkansas). Esses dados sugerem que, qualquer que seja a redução em suscetibilidade que estiver sendo observada, esta é mais provavelmente devida à redução da suscetibilidade à proteína Cry2Ab. No entanto, isso não explicaria o aumento na sobrevivência de lagarta do algodoeiro nas variedades de algodão WideStrike, que produzem proteínas Bt tanto Cry1Ac quanto Cry1F. Jackson *et al.* (2011) também apontaram outro fator que poderia ser responsável pela sobrevivência mais alta no algodão biotecnológico de gene duplo. Sugerem que as densidades populacionais maiores de lagartas de algodoeiro durante a estação poderiam ser a causa do número aumentado de sobreviventes observado em certos campos plantados com variedades biotecnológicas.

Siebert *et al.* (2011), da Dow AgroSciences LLC, concluíram que suas variedades WideStrike, em oposição às variedades não-Bt, mostraram uma redução média em muitos anos dos danos em capulhos utilizando WideStrike em 82% em cada local. Viram uma diferença nos danos realizados por lagartas do algodoeiro no algodão biotecnológico resistente a insetos, mas ninguém reivindica controle completo de todas as lagartas do algodoeiro. O estudo de referência mostrou redução de 82% nos danos por lagarta do algodoeiro, mas isso só significa que houve 18% de danos que poderiam ter sido evitados através de biotoxinas mais perfeitas ou da aplicação de inseticidas. Alguns outros estudos descobriram taxas de mortalidade ligeiramente mais altas (ou seja, 85,4%) contra o complexo de lagartas do algodoeiro, incluindo a lagarta do cartucho da beterraba (*Spodoptera exigua*), a lagarta mede-palmo do repolho (*Trichoplusia ni*) e a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*). O algodão Bt de gene

único produziu uma taxa de mortalidade de 45,3%. Siebert *et al.* (2011) também não encontraram tendências para uma alteração na eficácia por um determinado período de tempo. De acordo com Siebert *et al.* (2011), os fatores contribuintes que explicam os níveis de danos de capulhos em uma variedade WideStrike na ausência de borrifamento foliar suplementar podem incluir: 1) intensidade e duração das infestações por lagarta do algodoeiro; e 2) padrões de expressão da proteína Cry durante períodos de pressão de lagartas do algodoeiro ligada à umidade do solo e às temperaturas dos períodos diurno e noturno. A equipe da Dow AgroSciences LLC não encontrou evidências de que a redução na suscetibilidade a Cry1Ac ou Cry1F com o tempo constitua um fator que leve a danos vegetais maiores. Os pesquisadores admitem que borrifamento suplementar alvejando a lagarta do algodoeiro tem sido sempre ocasionalmente necessária no algodão WideStrike, particularmente contra altas densidades e/ou infestações prolongadas.

O algodão transgênico com genes Bt tem reduzido a necessidade de inseticidas convencionais, enquanto proporciona benefícios para a saúde humana e o ambiente. Por exemplo, no algodão nos EUA, o número médio de aplicações de inseticida utilizadas contra a lagarta do tabaco e o complexo da lagarta do algodoeiro diminuiu de 5,6 em 1990-1995 para 0,63 em 2005-2009 (Williams, 2008-2010). Aconselha-se que variedades que contêm WideStrike devam continuar a ser observadas quanto à lagarta do algodoeiro. Quando se justificam tratamentos suplementares com inseticida, devem-se selecionar inseticidas e taxas de aplicação apropriados, e aplicá-los no momento apropriado para tratar infestações.

Expressão de Endotoxina

Os genes determinam todas as características fisiológicas e morfológicas e seu impacto definitivo nos organismos vivos. Um gene é uma unidade básica que determina variação/diversidade e semelhanças/hereditariedade, e é definido como um segmento de DNA que contém uma sequência específica de nucleotídeos. Todos os genes em todos os organismos vivos se expressam através de proteínas ou enzimas. A expressão de um gene varia de acordo com a sequência de nucleotídeos, a natureza de seu promotor, seu local de inserção na planta modificada, o ambiente interno da planta e as diferentes fontes de modificação (bióticas e abióticas). Transgenes são capazes de se expressar completamente de modo mais perfeito quando as condições são ideais. Logo, existem muitos fatores que podem determinar a necessidade de borrifamento adicional em variedades de gene duplo. Esses fatores influenciam direta e indiretamente a quantidade de endotoxina expressa em cada algodão biotecnológico, bem como a reação dos insetos em termos de sensibilidade e/ou tolerância às toxinas produzidas no interior da planta. Alguns desses fatores estão discutidos abaixo:

- As diferentes espécies de lepidópteros variam em sua suscetibilidade a proteínas endotoxinas. Algumas larvas continuarão a viver por dois a três dias após a alimentação ter sido interrompida. Ínstares individuais podem danificar diferentes partes da planta: frutos/brotos, capulhos pequenos ou grandes. Por exemplo, no caso da lagarta do cartucho, as larvas de 3^o, 4^o e 5^o ínstar danificaram menos capulhos maiores do que fizeram em capulhos de porte médio ou menores. Também se tem demonstrado que os danos em frutos por

todos os ínstares resultaram em redução significativa na sobrevivência de frutos até a colheita. A alimentação dos insetos em capulhos grandes não reduziu a probabilidade de sobrevivência do fruto até a colheita; no entanto, a produção a partir de capulhos danificados pode ficar muito mais baixa em comparação com produções de capulhos não-afetados. Aceita-se geralmente que a lagarta do cartucho constitui uma das espécies de lepidópteros que é menos suscetível às proteínas endotoxinas Bt expressas no algodão.

- As concentrações de endotoxina precisam ser quantificadas, pois as quantidades de endotoxina encontradas nas folhas e nas outras partes do pé de algodão variam significativamente. Logo, a eficácia definitiva de qualquer algodão biotecnológico de gene único ou múltiplo particular dependerá dos níveis de expressão proteica nas diferentes partes da planta (Adamczyk *et al.*, 2008). Quando as larvas se alimentam em folhas de algodão do tipo Bt menos efetivo, precisam consumir quantidades maiores de material folhoso para ingerir a quantidade de endotoxina necessária para ser letal para elas. Também se estabeleceu que a alimentação em algodões transgênicos reduziu significativamente o peso e a emergência pupais e também reduziu o desenvolvimento larval. De acordo com Kranthi *et al.* (2005), os níveis de toxina diminuem à medida que a colheita amadurece e ficam consistentemente mais baixos ou indetectáveis em frutos. A mortalidade larval de *H. armigera* e lagarta do algodoeiro foi maior em folhas que contêm toxina do que em outras partes em frutificação (Arshad *et al.*, 2009). A quantidade de toxina também pode variar entre as partes de uma única planta. Em geral, pétalas, folhas e frutos apresentam concentrações mais altas de toxinas Bt do que anteras e óvulos. A pesquisa também tem demonstrado que os capulhos na posição 1 (próximo ao caule principal) apresentam concentrações mais altas de toxinas do que aqueles nas posições mais distantes do caule principal. As concentrações de proteínas Bt diminuem constantemente entre os nódulos 9 e 17. A idade da planta também é importante, pois alguns dados mostram que as quantidades de toxinas diminuem em partes de plantas mais velhas, particularmente em 110 dias após o plantio. Essa situação demandará borrifamento de inseticida contra as lagartas do algodoeiro-alvo e lagartas que possam estar prevalentes no estágio de maturidade da colheita. Também se afirma que a concentração de cloroplastos possui efeito na expressão de toxina e, conseqüentemente, na sensibilidade para proteção contra insetos-alvo, particularmente *Spodoptera frugiperda*.

Expressão da Endotoxina Cry1Ac em Diversas Variedades de Algodão em Dois Locais

Variedade	Concentração de Endotoxina Cry1Ac (ppm)	
	Estado do Mississípi	Stoneville
DP 33B/458B/RR	2,03 a	2,95 a
Sure-Grow 125 BR	1,15 b	2,69 a
PM 1218 BG/RR	0,90 bc	1,87 bc
ST 4892 BR	0,64 bc	1,94 b
DP 451 B/R	0,76 bc	1,49 c
ST 4691 B	0,61 c	1,56 bc

- As diferentes variedades podem expressar diferentes quantidades de toxina. Como consequência, a eficácia das toxinas pode diferir amplamente de uma variedade para outra (Kranthi *et al.*, 2005). Hofs e Vaissayre (2007) fizeram uma revisão extensa dos fatores responsáveis pela expressão da toxina. O trabalho feito nos EUA em tão precocemente quanto 2001 revelou claramente que houve diferenças significativas intervariedades e interlocais na expressão de toxinas (<http://msucares.com/newsletters/pests/cis/2002/cis1302.htm>). Os dados também mostraram que, em um local, uma variedade ter uma concentração de endotoxina mais alta do que em outro pode, na verdade, apresentar uma concentração mais baixa em um local diferente.
- Também podem ocorrer diferenças na suscetibilidade como função da localização geográfica da população. Mesmo antes da comercialização do algodão biotecnológico, estava bem estabelecido que altas temperaturas podem causar desequilíbrios fisiológicos na planta que podem acionar a degradação de proteínas solúveis. Consequentemente, concentrações de toxinas Bt em qualquer variedade podem diminuir se temperaturas quentes prevalecerem por um longo período. Chen *et al.* (2003, 2005) mostraram como a exposição a temperaturas de mais de 37°C por um período de 24 horas reduz as concentrações de proteínas Cry1A em mais de 50%. Os efeitos geográficos são acentuados devido a várias condições abióticas, que incluem não só altas temperaturas, mas também secas, salinidade, inundações, etc. Um estudo realizado pelo *Institute of Plant Protection* (Instituto de Proteção Vegetal) da *Chinese Academy of Agricultural Sciences* (Academia Chinesa de Ciências Agrícolas), China, mostrou que o teor de toxinas nas variedades de algodão Bt mudou significativamente com o tempo, dependendo da parte da planta, do estágio de crescimento e da variedade. Geralmente, a proteína toxina foi expressa em altos níveis durante os estágios iniciais de crescimento, diminuiu no meio da estação e se recuperou no final da estação.
- As plantas contêm muitos compostos secundários, tais como fenóis, ortoquinonas, terpenoides e taninos. Estudos têm mostrado que as concentrações desses compostos variam de acordo com a idade da planta e a exposição a fatores externos. Alguns desses compostos criam sinergias com toxinas Bt (gossipol), enquanto que outros (taninos) criam interferência negativa. Kranthi *et al.* (2005) relatam que, em períodos de estresse, o aumento relativo na concentração de gossipol compensa a redução da concentração de toxina Bt. Esses achados mostram que alterações na eficácia não dependem exclusivamente do nível de toxina Bt na planta, mas também da condição fisiológica da planta. Linhas de estudo semelhantes em batatas transgênicas descobriram que glicoalcaloides foliares nas variedades de batata transgênica afetaram os benefícios anti-insetos dos trasgenes. Esse tipo de pesquisa não tem sido realizado no algodão, pode ser exigido provavelmente. As conclusões de tais estudos podem até ajudar a intensificar a capacidade da planta de produzir quantidades maiores de toxinas.
- A exposição de insetos aos mesmos produtos químicos por um período longo de tempo (ou seja, aplicações frequentes do mesmo inseticida, ano após ano) permite que o inseto desenvolva a capacidade de tolerar concentrações de inseticidas consideravelmente maiores que as doses recomendadas. Insetos sugadores, bem como mastigadores, são igualmente capazes de desenvolver tais

tolerâncias. Por exemplo, lepidópteros possuem resistência desenvolvida a inseticidas em muitos países e admite-se geralmente que insetos-alvo podem desenvolver resistência a toxinas Bt; de fato, confirmou-se resistência ao gene Cry1Ac do Bollgard em muitos países. Quando um inseto-alvo desenvolve resistência, as variações e flutuações das concentrações de endotoxina, resultantes dos muitos fatores mencionados acima exigirão números maiores de aplicações de inseticida, mesmo em algodão biotecnológico de gene duplo.

Novas Tecnologias Baseadas em Bt Resistente a Insetos

As duas tecnologias novas resistentes a insetos que se espera que fiquem disponíveis para uso comercial nos próximos poucos anos são Bollgard III[®] e TwinLink[™]. Ambas as tecnologias estão aguardando registro regulatório e aprovações apropriadas, mas já estão passando por testes extensos na Austrália e nos EUA. No ano passado, Monsanto solicitou à *Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental) dos EUA permissão para empreender testes de campo de algodão Bollgard III de gene triplo resistente a insetos resultante de engenharia genética. O Bollgard III combina o gene estabelecido Bollgard II (MON15985), que produz as toxinas Cry1Ac e Cry2Ab2, com o COT102 (Vip3Aa19) da Syngenta para controle dos insetos lepidópteros. Espera-se que o objetivo primário das novas tecnologias nos novos produtos se alinhe com no futuro próximo para evitar o desenvolvimento de resistência em tanto quanto possível e aumente o espectro de insetos lepidópteros controlados efetivamente pelas toxinas. Espera-se que o Bollgard III proporcione melhor proteção contra lagartas do cartucho. Alguns estudos iniciais realizados em algodão não-Bt e Bollgard II e III indicaram que as larvas de lagarta do cartucho foram capazes de penetrar em 47, 18 e 3% dos capulhos em algodão não-Bt, Bollgard II e Bollgard III, respectivamente.

A tecnologia Bt TwinLink[™] oferecerá uma alternativa para as tecnologias Bt existentes. A tecnologia de resistência a insetos TwinLink[™] contém dois genes Cry, que expressam as proteínas Cry1Ab e Cry2Ae que alvejam pragas lepidópteras no algodão. Realizou-se certo número de estudos em 2010 para caracterizar adicionalmente o controle de lepidópteros, confirmar o desempenho agrônômico, comparar o desempenho de base das variedades e determinar os perfis de expressão de proteínas. Os achados mostraram que canteiros de algodão não-Bt sofreram 100% de danos em capulhos, enquanto que as lagartas do algodoeiro causaram cerca de 15% dos danos em capulhos em canteiros de TwinLink[™] não-protegidos. Os danos sazonais médios em capulhos foram de menos de 10 e 20% em canteiros protegidos e não-protegidos de algodão TwinLink[™], respectivamente. As produções de canteiros protegidos e não-protegidos de algodão TwinLink[™] foram semelhantes, indicando que o desempenho ficou apenas minimamente aumentado com controle suplementar de lagartas do algodoeiro.

Em outro estudo, as concentrações de proteínas Cry1Ab e Cry2Ae foram determinadas por extração proteica a partir do tecido terminal da folha e de procedimento quantitativo de ELISA colorimétrico. Foram amostrados cinco locais e bases genéticas múltiplas por seis semanas consecutivas durante o florescimento e o período de estabelecimento de capulhos. Os dados indicam que, como no caso de outras proteínas Cry1, ocorre um declínio ligeiro da proteína Cry1Ab do TwinLink[™] à medida que o pé de algodão amadurece. No entanto, a proteína Cry2Ae no TwinLink[™] manteve ou aumentou

numericamente seu nível de expressão até a maturidade. Esses dados indicam que, sob certas condições, incluindo pressão extrema de lepidópteros (Greene *et al.*, 2011), pode-se precisar de controle suplementar de lepidópteros para apoiar a eficácia da tecnologia TwinLink™.

A discussão dos dados acima indica que não são apenas os algodões biotecnológicos resistentes a insetos existentes que podem exigir borrifamento adicional; as novas tecnologias Bt (Bollgard III e TwinLink™) que estão na fonte de informações para aprovação (e espera-se que estejam em uso dentro dos próximos 2-3 anos) também precisarão de aplicações de inseticidas para obter rendimento máximo. No entanto, vale igualmente o fato de que essa situação também está ligada a pressão de insetos e, como tal, pode variar de um ano para outro. Qual gene é efetivo contra qual lepidóptero será sempre um fator na determinação da necessidade de aplicações de inseticida e em que retornos econômicos líquidos.

Conclusão

Inseticidas são borrifados em algodão não-biotecnológico com base em certos limiares para várias pragas. Os limiares podem ser baseados em um nível combinado de avaliação de várias pragas. O uso de um limiar combinado pode evitar que perdas decorrentes de uma praga atinjam um nível alto demais antes de as aplicações de inseticida serem feitas. Quando se verifica um limiar em algodão não-biotecnológico, isso significa geralmente que pelo menos algum dano já foi sofrido antes do início da aplicação do inseticida. Contrariamente, com algodão biotecnológico resistente a insetos, não há limite para qualquer praga-alvo, e há um controle de praga de 100% sob tais circunstâncias. Se as proteínas Bt não forem 100% efetivas, como se tem demonstrado ser o caso com Bollgard II e WideStrike (que permitem algum dano por lagarta do algodoeiro no campo), o borrifamento de inseticidas pode aumentar as produções. Danos e benefícios variam de ano a ano, dependendo do nível de pressão de pragas. Dados e pesquisas anuais têm mostrado que, nos EUA, as variedades Bollgard III e WideStrike se beneficiam de uma única aplicação de inseticida contra a lagarta do algodoeiro. O tratamento contra lagarta do algodoeiro aumentou a produção de fibra de algodão em uma média de 78 e 125 kg/ha com Bollgard II e WideStrike, respectivamente, por todos os anos e variedades avaliados. Quando se fatoraram os custos do inseticida contra lagarta do algodoeiro, a proteção estimada contra insetos e os custos da tecnologia de sementes em uma equação, as variedades Bollgard II e WideStrike proporcionaram retornos econômicos, conforme expresso em termos de controle de lagarta do algodoeiro. Além disso, tudo parece indicar que as tecnologias mais efetivas, que se espera que se alinhem dentro dos próximos 2-3 anos, também podem proporcionar retornos econômicos conforme expresso em menos aplicações de inseticida.

Referências

Adamczyk J.J., Jr., S. Greenberg, S. Armstrong, W.J. Mullins, L.B. Braxton, R.B. Lassiter, and M.W. Siebert. 2008. Evaluation of Bollgard II® and WideStrike™ technologies against beet and fall armyworms. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*. National Cotton Council, Memphis, TN, USA.

Anonymous. 1995-2011. Cotton insect losses. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*. National Cotton Council, Memphis, TN, USA.

Arshad, M., A. Sunail, M.J. Arif, and M.A. Khan. 2009. Transgenic Bt and non-transgenic cotton effects on survival and growth of *Helicoverpa armigera*. *Int. J. Agric. Biol.* 11:473-476.

Chen D., Yan C., Chan Y., Nie A., Wu Y. (2003). Effect of high temperature stress on the leaf Bt protein content and nitrogen metabolism of Bt cotton. *Cotton Science* 15 (5), p. 288-292.

Chen D., Ye G., Yang C., Chen Y., Wu Y. (2005). The effect of high temperature on the insecticidal properties of Bt Cotton. *Environmental and Experimental Botany* 53 (3), p. 333- 342.

Greene, Jeremy K. 2011. First hand experiences with dual Bt cottons in the Southeast. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*, National Cotton Council, Memphis, TN, USA. Pp 892.

Greene, Jeremy K., Dan Robinson, Kristen M. Carter and Ginger N. Devinney. 2011. Performance of new and existing Bt cotton technologies when inundated with heavy/natural populations of bollworm in SC – 2010. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*, National Cotton Council, Memphis, TN, USA.

Herbert, D. A. Jr., S. Malone, J. Bacheler and D. Mott. 2011. Assessment of Lep-resistant cotton varieties in North Carolina and Virginia. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*, National Cotton Council of America, Memphis, TN, USA.

Hofs, Jean-Luc and Maurice Vaissayre. 2007. Technical Constraints to the Use of Bt Technology in Cotton Farming: The Case of Toxin Expression. Paper presented at the Expert Consultation on Biotechnology Applications in Cotton, Ouagadougou, Burkina Faso. 29-31 October, 2007, disponível em http://www.icac.org/meetings/biotech_2007/documents/english/monday/e_hofs.pdf.

Jackson, R. E., Angus Catchot, J. Gore and Scott D. Stewart. 2011. Increased survival of bollworms on Bollgard II cotton compared to lab based colony. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*, National Cotton Council, Memphis, TN, USA. Pp 893.

Kranthi, K.R., S. Naidu, C.S. Dhawad, A. Tatwawadi, K. Mate, E. Patil, A.A. Bharose, G.T. Behere, R.M. Wadaskar, and S. Kranthi. 2005. Temporal and intra-plant variability of Cry1Ac expression in Bt cotton and its influence on the survival of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* Hübner (*Noctuidae: Lepidoptera*). *Curr. Sci.* 89:291-298.

Siebert, M.W., N.P. Storer and L.B. Braxton. 2011. Widestrike[®] insect protection: adoption, performance and observations since commercialization. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*, National Cotton Council, Memphis, TN, USA. Pp 894.

Williams, M.R. 2008-2010. Cotton insect losses. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*, National Cotton Council, Memphis, TN, USA.

Cor do Algodão: Medição e Descoloração

Os dois parâmetros independentes mais usados de cor de algodão são: grau de refletância (Rd) e amarelidão (+b). A refletância indica o quanto o algodão é refletivo ou opaco, e a amarelidão indica o grau de pigmentação colorida. O código de cor é determinado pela localização do ponto em que os valores de Rd e +b se interseccionam no diagrama de colorímetro de algodão de Nickerson-Hunter para algodão de planalto.

Quantidade de luz solar, temperaturas diurnas e noturnas durante o crescimento, insumos agronômicos e seu momento de aplicação são responsáveis pela maior parte das variações nos parâmetros de qualidade de fibra dentro de uma única variedade. A cor da fibra também é afetada pelos mesmos fatores. O grau do algodão é uma avaliação composta de cor, resíduo e preparação. Cada característica é julgada separadamente, mas um classificador qualificado integra sua avaliação dos três parâmetros diversos em um grau composto. A avaliação de cor constitui uma categorização primária, usada para designar um grau ao algodão. O resíduo costumava ser o segundo fator mais importante na determinação da qualidade, mas avanços no equipamento tornaram cada vez mais fácil eliminar materiais vegetais do algodão, conseqüentemente ressaltando a significância da cor como um fator de qualidade importante. Enquanto a medição dos parâmetros de qualidade de fibra melhorou bastante, acrescentando confiabilidade e respeitabilidade de dados, a medição da cor não atingiu sucesso semelhante. Parte do problema é que a percepção de cor humana resulta da interação de três componentes: fonte luminosa, objeto e detector (olho e cérebro no caso de gradação manual). Então, quando se mede a cor de uma amostra, trata-se, de fato, de um processo pelo qual a cor, como percebida pelos humanos, é medida e descrita pelo olho nu ou por um instrumento medidor de cor (HVI, colorímetro, etc.). Este artigo trata dos últimos desenvolvimentos em medição de cor de fibras e alterações progressivas na cor devidas a várias razões.

Medição da Cor

A cor do algodão pode ser julgada visualmente a olho nu ou medida mecanicamente com o auxílio de diferentes tipos de instrumentos. A avaliação a olho nu da cor, frequentemente referida como grau de cor do classificador, pode ser afetada pela luz sob a qual se observa uma amostra de algodão e pelos arredores gerais (cor da mesa, cor da parede, etc.). Se a cor de uma amostra tiver de ser julgada visualmente por um classificador, o laboratório deve se certificar de fornecer iluminação apropriada. Humanos classificam amostras por comparação visual com um conjunto de padrões físicos sob iluminação padrão. A avaliação é feita em uma sala com paredes cinza-escuras, e as amostras são colocadas sobre uma mesa preta com intensidade luminosa incidente de 1.200 lx. Quanto mais experiente for o classificador em julgar a cor do algodão, mais precisa será a avaliação que poderá fazer. Os classificadores requerem treinamento especial antes de se qualificarem para o trabalho de avaliar a cor do algodão.

O Departamento de Agricultura dos EUA (USDA) começou a desenvolver instrumentos para avaliar a cor do algodão nos anos 1930. Os dois critérios para medição de cor (Rd e +b) foram introduzidos nessa época. De acordo com Matusiak e Walawska (2010), Nickerson e Hunter desenvolveram um método objetivo de medir a cor utilizando um colorímetro no início dos anos 1940. A escala de Hunter utilizada em um colorímetro de algodão de Nickerson-Hunter indica a porcentagem de reflexão (Rd) em uma direção vertical, o que é uma medida da claridade de uma amostra, e em uma direção horizontal, com o código de cor sendo determinado pela localização do ponto em que os valores de Rd e +b se interseccionam no diagrama. Durante um teste de cor, os fotodiodos absorvem a luz filtrada a partir da amostra iluminada, e um microprocessador expressa os resultados em termos de claridade e amarelidão da amostra. Matusiak e Walawska (2010) relataram que a tecnologia de colorimetria foi incorporada no equipamento de teste HVI durante os anos 1970. Um teste HVI emprega uma fonte luminosa de xenônio dupla para iluminar uma janela de amostra que mede 7,1 cm por 9,1 cm. As duas luzes localizadas em um ângulo de 45° são piscadas em uma janela que contém uma amostra de algodão comprimida. A luz refletida é medida por dois detectores, e os sinais dessas luzes são usados para calcular a Rd e a +b da amostra. O *International Committee on Cotton Testing Methods* (Comitê Internacional Sobre Métodos de Teste de Algodão) da ITMF recomenda a medição de cor por HVI.

De acordo com os procedimentos padronizados desenvolvidos pelo USDA, existem 25 graus de cor oficiais, mais 5 categorias de cor abaixo de grau. A cor fornece uma indicação da capacidade das fibras de absorver corantes no processo de fabricação. A maior parte da colheita de algodão nos EUA é classificada como graus de cor branco 21, 31 ou 41. Os graus 32 ou 42 seriam graus manchados claros. O algodão Pima não possui grau, pois geralmente é descarado em descaradoras de cilindro, de modo que a preparação é diferente. Além disso, o algodão Pima também possui uma cor amarela mais escura que o do planalto.

A medição de cor em HVI também exige iluminação especial. A iluminação através de uma claraboia instalada por sobre o ombro é considerada adequada para uma avaliação precisa de cor. Também se recomenda que os arredores sejam esbranquiçados a cinza-claros. Os tetos não devem ser mais de 9,5 na escala de cor neutra de Munsell. Também se deve garantir que as paredes das salas de classificação não sejam mais escuras que 9,0 na escala de cor neutra de Munsell.

O USDA produz e fornece algodões de calibração internacional e de HVI para calibrar todo o maquinário envolvido na medição em HVI das características de qualidade. No entanto, no caso de cor, usam-se ladrilhos de cerâmica, e não amostras de algodão, para calibrar as máquinas. O USDA fornece diferentes ladrilhos para diferentes marcas e modelos de HVI. É amplamente aceito que não existe rastreabilidade geralmente reconhecida para esses padrões. Logo, valendo a partir de 1 de julho de 2000, o Programa de Algodão do USDA aceitou e implementou o grau de cor HVI como padrão oficial de grau de cor. Apoiando esses graus, o Programa de Algodão do USDA mantém dois colorímetros-mestres em Memphis, Tennessee, para garantir a consistência de valores em todos os ladrilhos de calibração de cor em HVI e padrões de cor de algodão para Rd e +b. Os colorímetros-mestres também são calibrados com o auxílio de ladrilhos. Para monitorar a exatidão da calibração de cor a longo prazo, os padrões-

mestres de cor de algodão são mantidos em armazenamento frio. Esses chamados “padrões de armazenamento em *freezer*” são medidos por cada colorímetro-mestre em base trimestral (Knowlton, 2008). As tolerâncias permitidas de cor para Rd e +b são de 1,0 e 0,5 unidade, respectivamente. Seria desejável ter o algodão de calibração internacional para que a cor seja confiável. Atualmente, o USDA fornece caixas de verificação de cor de algodão, mas o problema é que a cor (principalmente +b) muda à medida que o algodão envelhece. Portanto, é duvidoso que uma mudança da calibração com ladrilho para calibração com algodão pudesse ser útil.

Designações Oficiais de Grau para Algodão de Planalto

	Branco	Manchado Claro	Manchado	Tingido	Corado de Amarelo
Regular Bom (GM)	11	12	13	-	-
Regular Estrito (SM)	21	22	23	24	25
Regular (M)	31	32	33	34	35
Regular Baixo Estrito (SLM)	41	42	43	44	-
Regular Baixo (LM)	51	52	53	54	-
Medíocre Bom Estrito (SGO)	61	62	63	-	-
Medíocre Estrito (GO)	71	-	-	-	-
Abaixo de Grau	81	82	83	64	85

A graduação de cor manual e em HVI pode produzir resultados diferentes. Os dados de HVI são afetados por resíduos no algodão, e o grau de classificador é enormemente dependente da capacidade do mesmo. A experiência tem demonstrado repetibilidade entre os graus de classificador em apenas cerca de 70%, e níveis ainda mais baixos de repetibilidade têm sido relatados entre os graus de HVI e classificadores. As duas áreas com as oportunidades e os desafios mais significativos para atualizar e aprimorar a medição rápida e precisa da cor de algodão são: 1) melhor conhecimento e aplicação do sistema atual de cor (Rd e +b) para sistemas de cor bem conhecidos e 2) desenvolvimento de padrões de cor de algodão verificáveis ou “rastreadáveis” a partir de fontes autênticas. Diante disso, novos procedimentos e sistemas de cor estão sendo investigados para atualizar e aprimorar as medições atuais de cor, bem como os

protocolos de padrão de cor do Serviço de Comercialização Agrícola do USDA (Rogers e Thibodeaux, 2006).

Alteração de Cor e Medição de Cor no Local em Localidades Remotas

A cor do algodão é dependente da variedade específica e de sua interação genotípica com o ambiente, bem como com os insumos aplicados. Infelizmente, a cor do algodão não fica estável com o tempo, seja no campo ou embalado em fardos. Os seguintes fatores possuem impacto significativo na cor do algodão:

- O algodão de planalto tem cor naturalmente branco-brilhante. A exposição contínua no campo a desgaste climático e a baixa ação de micro-organismos podem fazer com que o algodão perca sua clareza e fique mais escuro, mas isso não vale apenas sob condições de campo; o desgaste climático também pode alterar a cor do algodão mesmo depois deste ter sido descaroçado e embalado. Quando um capulho se abre, devem-se permitir cinco a sete dias para que a fibra de algodão se core e seque no campo antes de ser colhida.
- Uma falta de água de irrigação ou geada pode forçar os capulhos a se abrirem prematuramente. Sabemos que capulhos imaturos produzem fibras fracas com índice *micronaire* subnormal. O algodão colhido a partir de capulhos imaturos também é caracterizado por aumento da saturação de cor amarela. Fibras imaturas também ficam propensas a descoloração mais rápida do que a das fibras maduras.
- Algumas lagartas do algodoeiro afetam apenas a porção do capulho. Se uma lagarta do algodoeiro ingerir algumas sementes no capulho, a semente oca e suas sementes adjacentes podem produzir algodão manchando com tingimento amarelado, suficiente para ter impacto significativo no grau do algodão.
- Mesmo se o capulho amadurecer normalmente e for colhido a tempo, a colheita por máquina pode tingir o algodão com contaminantes, tais como folhas verdes, graxa, óleo, etc., até um grau suficiente para abaixar seu grau.
- Todo capulho pode não ser colhido em seu momento ideal de colheita. Atrasos na colheita e orvalho contínuo sobre capulhos abertos também podem acarretar alterações na cor natural do algodão.
- Umidade e temperatura constituem os dois fatores mais importantes que afetam a cor do algodão após a colheita e durante o armazenamento.

Relatos mostram que alguns fardos de algodão, especialmente aqueles transportados por via marítima, mudam de cor significativamente; a variação em +b a partir da medição em HVI inicial é particularmente notável. Com base na mesma hipótese, Rodgers *et al.* (2011) testaram a cor do algodão “no local em localidades remotas” utilizando um espectrofotômetro portátil e a compararam com dados de HVI obtidos a partir de amostras cortadas após o descaroçamento. Os pesquisadores realizaram várias comparações entre parâmetros de cor de espectrofotômetro e leituras de HVI para +b e encontraram os melhores resultados globais como sendo de +b em HVI e espectrofotômetro HunterLab MiniScan EZ (MSEZ). Eles descobriram uma combinação linear excelente entre as leituras de +b em HVI e b* em MSEZ no caso tanto de ladrilhos cerâmicos quanto de biscoitos de algodão, com inclinações próximas da unidade e altas correlações (> 0,97). Pode-se lembrar que o USDA fornece dois tipos

de padrões de cor: um conjunto de cinco ladrilhos cerâmicos e um conjunto de 12 biscoitos de fibra de algodão. As combinações de cor entre os padrões de ladrilho e biscoito foram ligeiramente diferentes, mas significativas, indicando que o espectrofotômetro é capaz de medir cores até um grau aceitável de precisão.

Dados posteriores revelaram que os valores de +b em HVI foram geralmente ~1,3 unidade mais baixos que os valores de b* em MSEZ. Quando se ajustou quanto a essa diferença, observou-se concordância excelente entre +b em HVI e b* em MSEZ.

Alteração de Cor no Armazenamento

Os efeitos negativos do desgaste climático no campo ou do armazenamento na cor da fibra de algodão são bem conhecidos. Estudos têm mostrado que a maior parte do efeito colorizante foi devido a amarelamento. O amarelamento foi ligado primariamente a teor de umidade, dias de armazenamento, temperatura média do ar durante o armazenamento e temperatura da fibra de algodão no momento em que foi armazenada. Densidade no armazenamento, aeração e luz solar também afetarão o processo de amarelamento. Um teor de umidade acima de 14 por cento aumenta acentuadamente o amarelamento. O segundo fator mais importante que tem efeito na cor da fibra de algodão ou no amarelamento é a temperatura.

Umidade

Quando o algodão é trazido dos campos, apresenta geralmente um teor de umidade mais alto que o ideal para descarçamento apropriado. Consequentemente, a fibra de algodão é geralmente secada até 6-8%. O algodão é mais facilmente limpo, possibilitando consequentemente um grau de folha melhor. A princípio, a secagem reduz a força da fibra; portanto, uma secagem excessiva pode causar mais rupturas de fibras durante o descarçamento, o que resulta em qualidade mais baixa de fio. Também há tendência de acrescentar água ao caroço por diferentes razões, incluindo peso de fardo. Umidade mais alta no caroço reduz a ruptura de fibras e também requer menos energia para pressionar os fardos. Chun e Anthony (2004) acrescentaram água na esteira de fibra de algodão do descarçador na taxa de 0, 5,9, 9,1, 21,8 e 25,0 kg por fardo como borrifamento adicional antes de pressionar o algodão em fardos. Depois, armazenaram o algodão por quatro meses para ver os efeitos da umidade mais alta da fibra na atividade microbiana, na cor do algodão e em outras características de qualidade de fibra. Os fardos foram embalados em densidade universal de aproximadamente 448,5 kg/m³ e tamanho de fardo de 53,3 cm x 139,7 cm x 78,7 cm. Após 116 dias, os fardos foram abertos e as amostras foram coletadas e testadas quanto a vários parâmetros. Algumas características foram afetadas negativamente, enquanto que outras foram afetadas positivamente. A cor do algodão diminuiu de regular a regular baixa estrita em quatro meses. A fibra de algodão ficou mais escura e mais amarela com a quantidade mais alta de umidade. Os dados também mostraram que a adição de umidade aumentou a atividade microbiana, particularmente bolor, o que pode ter consequências adicionais para a cor da fibra de algodão. Os efeitos na cor estão exibidos abaixo.

Efeito da Adição de Umidade na Cor do Algodão

Umidade Adicionada	Rd	+b	Grau de Cor
Sem água adicionada	75,7	8,5	31
5,9 kg/fardo	74,7	8,9	31
9.1 kg/fardo	73,6	9,3	41
21,8 kg/fardo	70,6	10,1	42
25,0 kg/fardo	69,3	10,6	43

O algodão é enfardado e embalado bem abaixo de seu teor de umidade de equilíbrio em armazenamento. Então, se um fardo não for apropriadamente pressionado, a fibra de algodão pode absorver umidade, conseqüentemente deteriorando a cor em determinado estágio. Achados semelhantes no efeito prejudicial da umidade no algodão armazenado há meses foram relatados na literatura, incluindo Anthony (2002a).

Temperatura e Cobertura de Fardos

Fiandeiros recomendam embrulhar os fardos em tecido de algodão para o propósito de evitar contaminação. No entanto, o algodão continua a ser embrulhado em filme de polietileno, polipropileno trançado e aniagem trançada. A classificação dos materiais de cobertura de fardo do menos poroso ao mais poroso é: filme de polietileno, polipropileno trançado, algodão e aniagem trançada. Com relação ao efeito da exposição da área superficial na cor do algodão, é razoável supor que quanto mais porosa for uma cobertura de fardo, maior será a área superficial da fibra que ficará exposta às condições atmosféricas. A literatura mostra que os valores de +b de cor da fibra foram afetados significativamente pelo tipo de cobertura de fardo e pelas condições atmosféricas com o tempo. Isso é importante, pois fardos armazenados são usados para formar camadas misturadas para tecelagens produzirem fios e tecidos coloridos uniformes. Alguns relatos mostram que uma +b de cor de 0,15 possui conseqüências significativas, enquanto que outros estudos mostram que apenas quando a variação ficou acima de 0,38 unidades de +b é que ocorreriam conseqüências significativas durante o acabamento. Altas temperatura e umidade trabalham juntas para produzir alterações na +b da cor da fibra. A relação entre crescimento fúngico nas fibras e sua resposta à temperatura explica por que o envelhecimento no verão pode resultar em alterações significativas na amarelidão +b.

Efeito dos Resíduos na Medição de Cor

Como mencionado acima, a cor do algodão é uma interação de refletância e amarelidão. A refletância pode ser afetada por resíduos no algodão. A Dra. Malgorzata Matusiak, do *Textile Research Institute of Poland* (Instituto de Tecnologia Têxtil da Polônia) apresentou um artigo em uma reunião do *International Committee on Cotton Testing Methods* da *International Textile Manufacturers Federation* (Federação Internacional de Fabricantes Têxteis) (ITMF) em Bremen, Alemanha, em março de 2010, que tratou da “Influência dos resíduos na medição de cor”. A Dra. Matusiak testou 20 amostras de algodão em um HVI quanto a Rd e +b com e sem resíduos. Ela descobriu que, em 70%

dos casos, o grau de cor mudou/melhorou como resultado da remoção dos resíduos. Na mesma reunião, o sr. James Knowlton, do Departamento de Agricultura dos EUA, também apresentou um artigo sobre o mesmo assunto. Pegou quatro amostras de algodão e mediu o grau de cor em quatro estágios. O primeiro teste foi na amostra na chegada. O segundo teste foi realizado após o resíduo foliar ter sido retirado para abaixar o teor de folhas em 1 a 2 graus de folhas. O terceiro teste foi feito após a remoção do resíduo foliar para abaixar o teor de folhas em mais 1 a 2 graus de folhas. No quarto teste, foram usados biscoitos de algodão de grau padrão como parâmetro de controle. O sr. Knowlton utilizou um colorímetro/medidor de resíduos de xenônio-mestre para testar a cor e o grau de folhas e concluiu que:

- A classificação de cor de algodão é baseada na cor total da amostra e não na cor da fibra sozinha.
- A Rd é afetada pelo teor de folhas, diminuindo com o aumento do teor de folhas.
- A +b não é afetada pelo teor de folhas.
- A quantificação do grau de alteração de cor para a alteração foliar (baseada em medições por instrumento) é possível em biscoitos de algodão de padrão de grau, mas não em algodão cru.

O sr. Hossein Ghorashi, da Uster Technologies, apresentou um artigo semelhante em uma reunião do *International Committee on Cotton Testing Methods* da ITMF realizada em Bremen, Alemanha, em 1-2 de abril de 2008. O sr. Ghorashi explicou que eles manipularam os padrões de graus de cor do USDA ao adicionarem sistematicamente partículas de resíduos e depois verificarem Rd e +b em HVI. Os dados da Uster Technologies provaram que existe uma forte correlação inversa entre valores de Rd e níveis de teor de resíduos, conforme determinado pelos padrões de graus de cor do USDA. Contrariamente, os valores de +b não foram afetados pela adição de resíduos. O sr. Ghorashi observou que as relações desenvolvidas como resultado desse trabalho podem ser usadas para corrigir as medições de cor em HVI. No entanto, existem algumas dúvidas sobre a relação do teor de resíduos com os valores de Rd. Os resíduos são medidos na superfície; se estiverem espalhados uniformemente por toda a amostra, isso é bom, mas é muito possível que os resíduos medidos na superfície podem não representar a quantidade real de resíduos na amostra.

Reprodutibilidade dos Resultados de Cor

A reprodutibilidade e a repetibilidade dos dados de cor não são satisfatórias. Já foi demonstrado que a quantidade de resíduos no algodão pode afetar seu valor de Rd quando testada em um HVI. Uma maneira de testar a cor e evitar o efeito dos resíduos seria testar a Rd por meio de um espectrofotômetro. Matusiak e Walawska (2008) compararam os dados de HVI com os dados do espectrofotômetro Datacolor 650. As coordenadas de cor determinadas no espectrofotômetro foram L* - claridade, a* - verde/vermelho, b* - azul/amarelo, C* - saturação e h - ângulo de matiz. As medições foram feitas em diferentes iluminantes: D 65 (luz diurna), A (tungstênio) e F 11 (TL 84). Os índices de cor foram calculados com base nos parâmetros de cor medidos segundo o índice de brancura CIE, o índice de brancura de Stephensen e o índice de amarelidão D 1925. Matusiak e Walawska (2008) concluíram que há forte correlação entre os resultados de medição de cor de algodão por HVI e espectrofotômetro. No

entanto, as amostras de algodão classificadas no mesmo grau de cor em HVI diferem realmente entre si na variação de L^* , a^* e b^* no espectrofotômetro.

Rogers *et al.* (2006) estudaram o impacto na medição de cor do uso de vários instrumentos e procedimentos de amostragem. As amostras analisadas foram ladrilhos de cor, ladrilhos AMS (Serviço de Comercialização de Agricultura do USDA) e camadas de algodão cru ou “blocos” AMS. As amostras foram medidas com instrumentos tanto de bancada quanto portáteis oriundos de vários fabricantes de instrumentos de cor. Observaram que a variável primária que teve impacto na concordância de cor entre as unidades foi o uso do vidro de HVI na parte dianteira da amostra. O impacto desse vidro na consistência das leituras da unidade portátil foi grave.

Os resultados de HVI também mostraram que a avaliação de cor por HVI pode ser diferente da do grau do classificador. O nível de confiança pode diferir como resultado de muitos fatores, mas estima-se que, na média, os dados de HVI correspondem aos graus do classificador em apenas 70% das vezes. Isso não vale apenas para os dados de espectrofotômetro contra os de HVI; os dados de HVI registrados a partir de uma máquina também exibiram repetibilidade mais baixa em outras máquinas. Sistemas diferentes de HVI também podem produzir leituras diferentes. A Força-Tarefa Sobre Padronização Comercial de Testes de Algodão por Instrumentos da ICAC realizou amplos estudos com laboratórios ao redor do mundo e chegou à mesma conclusão. Preparação de amostra, calibração do HVI, condição dos ladrilhos de cor, etc. estão entre os possíveis fatores responsáveis pela baixa repetibilidade.

Colorização de Tecidos

O algodão é uma fibra higroscópica e incha em ambiente de alta umidade, em água e em soluções concentradas de certos ácidos, sais e bases. Sabe-se que o algodão exibe resistência excelente a álcalis. Durante o processo de tratamento químico no tingimento e acabamento, a degradação é causada geralmente por oxidação, hidrólise ou ambas. A maior parte dos produtos químicos superficiais no algodão (incluindo inseticidas, desfolhantes e dessecantes, se houver) é removida na lavagem durante o processo de alvejamento. É o fio, e não fibras únicas, que sofre o maior número de tratamentos químicos. A maior parte dos produtos químicos é aplicada no fio ou tecido a fim de conferir cor ou evitar encolhimento. Obtém-se estabilidade de cor ou Colorlock em um fio ou tecido através de aquecimento. Uma exposição longa de tecido a luz visível e ultravioleta, especialmente na presença de altas temperaturas ao redor de 250-397°C e umidade, pode resultar em enfraquecimento do tecido ou mesmo sua completa desintegração. Ocorre menos deterioração se o algodão for mercerizado, mas o algodão mercerizado fica um pouco mais suscetível a oxidação e hidrólise (<http://cotton.missouri.edu/Classroom-Resistance.html>).

Os tecidos de algodão fazem parte de vários produtos de uso final em que desempenho funcional e aparência visual têm importância fundamental. Logo, têxteis conhecidos como industriais, técnicos ou qualquer outro termo devem manter suas propriedades físicas e mecânicas por toda a vida útil do material. Corantes ou tinturas são aplicados predominantemente em solução aquosa. Muitas vezes, são aplicadas não uma, mas

muitas cores, e torna-se importante que todas as cores sejam aplicadas uniformemente. Têxteis são corados apenas após impurezas superficiais (por exemplo, cera de fibra, acabamento de fiação e poeira particulada) terem sido removidas por tratamentos apropriados. Tais tratamentos, ou seja, desclassificação por tamanho e lavagem, conferem brancura estável a um tecido. O alveijamento também é feito para acrescentar brancura estável a tecidos. A mercerização melhora brilho, força tênsil, estabilidade dimensional e reobtenção de umidade. Porém, fibras mortas ou com pouca ou nenhuma parede secundária se beneficiam comparativamente menos de mercerização. A deterioração de cor indica redução da capacidade de processamento da fibra além de reduzir o preço de mercado. A deterioração de cor torna as fibras relativamente mais incapazes de absorver corantes do que fibras sem deterioração de cor equivalentes. Mesmo quando algodão com deterioração de cor absorve corantes como algodão sem deterioração de cor, diminui-se a capacidade das fibras descoloridas segurarem os corantes. Além disso, quando se cora algodão descolorido, este pode não ter o mesmo acabamento que o algodão sem deterioração.

Referências

Anthony, W.S. 2002a. Impact of moisture added at lint slide on cotton color. *The Cotton Gin and Oil Mill Press*, 203(6):8-12.

Chun, David T.W. and W. Stanley Anthony. 2004. Effect of adding moisture at the lint slide on cotton bale microbial activity and fiber quality. *The Journal of Cotton Science*, 8:83-90.

Chun, David T.W. and James E. Rogers III. 2011. Effect of fungal spores on cotton color. *The Journal of Cotton Science*, 15:52-60, 2011. <http://www.cotton.org/journal/2011-15/1/upload/JCS15-52.pdf>.

Knowlton, James. 2008. USDA Reference methods for HVI Rd/+b Color Calibration. *Proceedings of the ICCTM Meeting 2008*, Bremen, April 1-2, 2008.

Matusiak, Malgorzata and Anetta Walawska. 2008. Measurement of color of cotton fibers by means of spectrophotometer. Disponível em: http://www.itmf.org/mail/upload/D_Color_04_Matusiak_2_Spectrophotometer.pdf.

Matusiak, Malgorzata and Anetta Walawska. 2010. Important aspect of cotton colour measurement. *FIBERS & TEXTILES in Eastern Europe*, 2010, Vol 18, No. 3 (80) pp 17-23.

Rodgers III, J.E., Thibodeaux, D.P. 2006. Updating HVI color measurements. *Proceedings, Fiber Selection Conference*. CD-ROM. p. 50, 2006.

Rodgers III, James E., Devron P. Thibodeaux, Jacqueline H. Campbell and Linda B. Kimmel. 2006. Cotton Color Measurements - the Possibility for "traceable" HVI Color Standards. *Proceedings of the 2006 Beltwide Cotton Conferences*, USA.

Rodgers, J.E., C.A. Fortier, X. Cui, C. D. Delhom, V. B. Martin and M. D. Watson. 2011. Preliminary Assessments of Portable Color Spectrophotometer Measurements of Cotton Color. *Proceedings of the 2011 Beltwide Cotton Conferences*, USA.

Papel da Biotecnologia no Desenvolvimento Sustentável do Algodão

Sukumar Saha, Pesquisador ICAC do Ano de 2011, Unidade de Pesquisa de Manejo Integrado de Pragas, Laboratório de Pesquisa de Ciência de Colheitas, USDA, Estado do Mississippi, MS, EUA

Resumo

As perspectivas de biotecnologia para proporcionar produção sustentável de algodão custo-eficiente sob um ambiente seguro para o século 21 são enormes. O papel da biotecnologia vegetal no aprimoramento do algodão constitui uma área de rápida evolução e bastante ampla. O objetivo específico deste artigo é proporcionar um relato sobre três áreas específicas, incluindo tecnologia transgênica, seleção assistida por marcador e sequenciamento de genoma de algodão com referência ao papel da biotecnologia no aprimoramento do algodão. As tecnologias transgênicas no algodão têm objetivo específico de superar dois problemas importantes na produção de algodão: 1) o alto custo do manejo de ervas-daninhas e 2) a redução grave de produção causada por insetos lepidópteros frugívoros, especialmente a lagarta do algodoeiro. A história de sucesso das tecnologias transgênicas utilizando genes *Bt* e tolerantes a herbicidas no aprimoramento do algodão permanece sendo um feito científico notável. Para melhorar a eficiência e retardar o desenvolvimento da resistência a insetos ao gene Cry1Ac em linhagens de algodão, usa-se um método de pirâmide de pelo menos dois ou mais genes. Os genes Cry2Ab, Cry1F e Cry1Ac foram aplicados na segunda geração de genes *Bt* após 2009. As linhagens transgênicas de algodão resistentes a insetos e herbicidas têm demonstrado grande potencial de biotecnologia na produção sustentável de algodão. Estudos recentes demonstraram que a nova ferramenta emergente da tecnologia de RNAi também terá grandes impactos no aprimoramento da qualidade de sementes como fonte alimentar e também no fornecimento de genes de resistência contra pragas e doenças, incluindo nematódeos. A seleção assistida por marcador (MAS) proporcionará aos produtores uma ferramenta de seleção eficiente para potencializar a seleção fenotípica tradicional com um marcador de DNA baseado em gel no laboratório. Os marcadores de repetição simples de sequência (SSR) e polimórfico único de nucleotídeos (SNP) serão usados como marcadores potenciais na MAS para acelerar os programas de reprodução de algodão. Recentemente, uma equipe de cientistas dos setores tanto públicos quanto privados iniciou uma parceria para propor um relato sobre problemas e perspectivas de sequenciamento do genoma do algodão. Cientistas da Universidade da Georgia, EUA e da Universidade Texas Tech, EUA, lideraram equipes multidisciplinares internacionais, que estão quase concluindo a sequência das espécies diploides de genomas D e A ancestrais referentes ao algodão de planalto. O conhecimento obtido a partir da decodificação do genoma do algodão melhorará o conhecimento dos genes nos níveis moleculares e ajudará a desvendar o mistério da genética para aprimorar produção e qualidade de fibras. Considerando os impactos tanto ambientais quanto econômicos das novas tecnologias e o algodão como uma colheita de grande renda em países tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento, está mais do

que na hora de considerar o estabelecimento de um centro internacional de pesquisa de algodão independente. O centro deve recomendar as complexas soluções orientadas ao sistema com base em um plano de conhecimento intensivo utilizando novas ferramentas biotecnológicas emergentes para segurança global de alimentos e fibras.

A biotecnologia agrícola exercerá um papel importante no proporcionamento de produção sustentável e custo-eficiente de algodão em um ambiente seguro para o século 21. A população mundial está projetada para mais de nove bilhões de pessoas em 2050 (Wakelyn e Chaudhry, 2010), e o rápido aumento na população demanda duplicação dos níveis atuais de produção para segurança global de alimentos e fibras dentro das próximas quatro décadas. Os fazendeiros terão de cumprir essa demanda sob condições de rápido declínio de recursos agrícolas, incluindo terra e água. A biotecnologia estará na vanguarda da invenção e inovação agrícola para resolver muitos desses desafios. O poder das novas tecnologias de acelerar o desenvolvimento agrícola não está mais visível em lugar nenhum além do algodão, por causa da história de sucesso do algodão biotecnológico.

O algodão (*Gossypium* spp.) constitui fonte mais importante de fibra natural para a indústria têxtil e é a colheita de maior renda em 70 países, incluindo os EUA, China e Índia (Smith e Coyle, 1997). Trata-se de uma fonte de muitos produtos renováveis, incluindo têxteis para roupas, materiais de isolamento doméstico para poupar energia, alimentos ricos em proteínas e energia para animais, alimento para humanos na forma de óleo de cozinha e uso eficiente de energia através do uso de matéria vegetal em decomposição e biomassa (Cotton Incorporated, 2010). Os cientistas também estão explorando o futuro potencial do caroço de algodão como fonte importante de alimento para pessoas, devido a seu alto valor nutricional (Sunilkumar *et al.*, 2006).

O algodão constitui uma das colheitas importantes que suscitam incrível promessa para aproveitar os benefícios da biotecnologia vegetal. Trata-se de uma das poucas colheitas a aproveitar os benefícios da engenharia genética, desde a introdução do algodão Bt em 1996. Atualmente, o algodão biotecnológico é cultivado em mais de 60% das áreas de produção de algodão do mundo (Wakelyn e Chaudhry, 2010). A discussão sobre o papel da biotecnologia vegetal no aprimoramento do algodão constitui uma área em rápida evolução e bastante ampla, que envolve pesquisa básica e estratégica e sua aplicação. Este artigo focalizará em três áreas específicas no papel da biotecnologia no aprimoramento de algodão, considerando seu grande impacto: 1) uso de tecnologia transgênica na produção econômica e ambientalmente sustentável de algodão, 2) seleção assistida por marcador para acelerar os programas de reprodução de algodão e 3) o futuro do sequenciamento do genoma do algodão para desvendar os segredos da genética para o aprimoramento do algodão.

Tecnologias Transgênicas

A tecnologia transgênica usa sequências exógenas de DNA ou RNA por meio de tecnologia de DNA recombinante para criar organismos transgênicos que expressam novas características agricolamente úteis. As tecnologias transgênicas em algodão objetivam especificamente superar duas limitações importantes na produção de algodão: 1) alto custo do manejo de ervas-daninhas no cultivo devido a crescimento lento das

mudas de algodão em comparação com as ervas-daninhas (tolerância a herbicidas) e 2) redução na produção de fibras devido a uma infestação grave de insetos lepidópteros frugívoros, especialmente a lagarta do algodoeiro (Hake, 2010).

Um relato recente estimou que o valor dos produtos químicos de proteção vegetal usados em nível global é de cerca de US\$ 32 bilhões por ano e que 16% de todos os inseticidas globais são usados para proteger o algodão (Kranthi e Kranthi, 2010). A parte do algodão no consumo de pesticidas declinou em cerca de 43% de 1986 a 2009, desde a introdução do algodão *Bt* de engenharia genética (Wakelyn e Chaudhry, 2010). Também foi relatado recentemente em uma edição especial da *Nature* que o uso de algodão *Bt* ajuda a aprimorar a produção em mais de 60% da produção das variedades convencionais e evita pelo menos 2,4 milhões de casos de envenenamento por pesticida em fazendeiros indianos cada ano, poupando US\$ 14 milhões em custos anuais de saúde (Whitfield, 2003). A história de sucesso dos genes *Bt* no aprimoramento do algodão permanece como um dos feitos mais brilhantes na agricultura na história da humanidade. A ICAC publicou vários relatos de especialistas sobre o uso de tecnologias transgênicas no algodão desde a época da introdução até o presente (ICAC 2000; ICAC 2004; Hake, 2010; Kranthi e Kranthi, 2010). Muitos dos pensamentos neste artigo com referência a algodão transgênico são extraídos a partir desses artigos e de um livro recém-publicado pela ICAC: *Cotton: Technology for the 21st Century* (Wakelyn e Chaudhry, 2010). Os leitores devem ser estimulados a revisá-los para referências de detalhes.

Em 2010, doze países, incluindo Argentina, Austrália, Brasil, Burkina Faso, China, Colômbia, Índia, Indonésia, México, Paquistão, África do Sul e Estados Unidos haviam aprovado oficialmente o plantio de algodão biotecnológico desde sua concepção em 1995 (Hake, 2010). Nas últimas duas décadas, a demandas por produções aumentadas forçou os fazendeiros a utilizarem mais inseticidas no manejo de pragas. Isso fez com que mais espécies desenvolvessem resistência a inseticidas e, conseqüentemente, causou uma crise no manejo de pragas de algodão (Kranthi e Kranthi, 2010). Os Estados Unidos da América estavam entre os primeiros a liberar comercialmente o algodão *Bt* que incorporava o gene *CryIAC* (derivado da bactéria do solo *Bacillus thuringiensis*) em 1996. A toxina *Bt* expressa no algodão biotecnológico protege o fruto de insetos lepidópteros, mas é segura para todos os outros organismos não-alvo, incluindo insetos benéficos, aves, peixes, animais e humanos (Hake, 2010). Estima-se que a maior parte das áreas de algodão na Austrália, China, Índia, México, África do Sul e EUA está com algodão transgênico, que cobre agora mais de 15 milhões de hectares em todo o mundo (Kranthi e Kranthi, 2010). No entanto, a tecnologia *Bt* de gene único (Bollgard ITM), registrada na *Environmental Protection Agency* dos EUA, foi retirada voluntariamente devido a preocupações sobre o desenvolvimento de resistência à toxina por insetos selecionados (Dodds e Bond, 2010). Para melhorar a eficiência e retardar o desenvolvimento de resistência de insetos ao gene *CryIAC* no algodão, tem-se aplicado uma estratégia de pirâmide em pelo menos dois ou mais genes como *Cry2Ab*, *CryIF* e *CryIAC* na segunda geração de genes *Bt* após 2009.

O alto custo do manejo de ervas-daninhas foi sempre uma preocupação importante para produtores de algodão. A descoberta da tecnologia do algodão resistente a glifosato ajudou no desenvolvimento de linhagens de algodão transgênico com tolerância

intensificada a glifosato, um herbicida usado para controlar ervas-daninhas em campos de algodão. O primeiro gene tolerante ao herbicida bromoxinila em variedades de algodão, vendido sob o nome comercial de BXN, foi desenvolvido usando-se o gene *bxn*, proveniente da bactéria natural do solo *Klebsiella pneumoniae*, subespécie *ozaenae* (Dodds e Bond, 2010). A planta que contém esse gene produz uma enzima, que destoxifica a bromoxinila até seu metabolito primário. As linhagens de algodão transgênico resistentes a glifosato foram desenvolvidas por meio de incorporação do gene da enzima EPSPS insensível a glifosato, proveniente de *Agrobacterium* spp, cepa CP4 (Green, 2009). O algodão resistente a glifosato de primeira e segunda geração (Roundup Ready Flex™) cobria cerca de 35% dos hectares totais de algodão nos EUA e 80% das áreas totais de algodão na Austrália em 2006 (Holtzapffel *et al.*, 2008; USDA-AMS, 2008; Wreth *et al.*, 2008). Desde 2009, quase todas as variedades comerciais de algodão transgênico nos EUA contêm tecnologia resistente a glifosato de segunda geração, além dos atraentes genes *Bt* resistentes a insetos (Dodds e Bond, 2010). As variedades transgênicas de algodão resistentes a insetos e herbicidas elevaram nossas expectativas para um fluxo contínuo de conquistas científicas na produção sustentável de algodão para o século 21.

Tecnologia de RNAi no Aprimoramento do Algodão

Os cientistas na pesquisa do algodão logo testemunharão o legado da biotecnologia em outra área nova emergente: a da tecnologia de RNAi. Recentemente, o desenvolvimento de uma nova tecnologia em que se introduz um RNA de filamento duplo (dsRNA) em um organismo para induzir interferência sequência-específica de RNA (RNAi) de um transcrito-alvo se tornou uma ferramenta poderosa para descobrir a função gênica (Serenella *et al.*, 2007). A RNAi é uma nova técnica emergente baseada em silenciamento gênico pós-transcricional dependente de homologia, induzido por RNA de filamento duplo (dsRNA). Recentemente, vários artigos têm sido publicados descrevendo os méritos desse método na ciência vegetal (Nui *et al.*, 2010; Sindhu *et al.*, 2009; Kranthi e Kranthi, 2010). Deve-se introduzir uma fonte de dsRNA através de técnicas de transformação no DNA de uma planta para criar plantas transgênicas com características mediadas por RNAi, que podem passar essas características para a próxima geração. A inativação seletiva dos genes utilizando DNA codificado através da tecnologia de RNAi terá enorme potencial no aprimoramento futuro do algodão devido às suas altas especificidade, estabilidade e eficácia, especialmente na área de resistência de plantas contra pragas, patógenos e nematódeos e aprimoramento da qualidade de sementes.

Para cada quilograma de fibra, o pé de algodão produz cerca de 1,65 kg de sementes, o que constitui uma fonte importante de proteína (23%) e óleo (21%) de alta qualidade, e o algodão constitui a terceira maior colheita de campo em termos de sementes oleosas comestíveis no mundo (Sunilkumar *et al.*, 2006). O caroço de algodão cultivado mundialmente pode fornecer proteína suficiente para alimentar 500 milhões de pessoas por ano (Star Tribune, 2009). No entanto, as sementes também contêm glândulas de gossipol, que proporcionam resistência contra insetos, mas o gossipol reduz o potássio sanguíneo a níveis perigosos em humanos e pode causar dano ao coração e ao fígado em pessoas e animais (Star Tribune, 2009). O caroço de algodão é usado primariamente como alimento animal, pois os estômagos dos bovinos digerem gradualmente o gossipol

venenoso, tornando-o inócuo para os animais. Recentemente, o grupo do Dr. Keerti S. Rathore, da Universidade Texas A&M, utilizou a tecnologia de RNAi e fez uma descoberta inovadora ao desenvolver pés de algodão que eliminam a produção de gossipol na semente, deixando que a produção do mesmo continue em caules, folhas e flores para proteger a planta contra insetos (Sunilkumar *et al.*, 2006). Essa descoberta fornece uma nova ferramenta para o uso de sementes de algodão como fonte importante de produtos alimentícios.

A tecnologia de RNAi também promete muito no controle de pragas e patógenos no algodão. Os pesquisadores têm descoberto genes potenciais que são letais para a reprodução ou bom estado quanto suprimidos em nematódeos de vida livre. Os cientistas demonstraram que a supressão de quatro genes de um nematódeo parasita através de tecnologia de RNAi levou a uma redução no número de fêmeas maduras do nematódeo em *Arabidopsis thaliana* transgênico (Sindhu *et al.*, 2009). A resistência vegetal mediada por RNAi possui potencial maior que os pés de algodão transgênicos *Bt* resistentes convencionais (Niu *et al.*, 2010). Por exemplo, muitas pragas e patógenos compartilham linhagens distintas e homólogos de genes importantes, assim, a supressão dos genes-alvo apropriados pode proporcionar resistência contra um amplo grupo de múltiplas pragas ou organismos patogênicos. A resistência também fica mais estável, pois é baseada em hibridização de RNA em poucos nucleotídeos em vez da interação entre proteínas e o potencial de mutação para impedir hibridização de RNA é menor (Escobar *et al.*, 2001). Assim, haverá menos potencial para as pragas superarem a resistência. Teoricamente, todas as pragas e patógenos portam genes com fenótipos básicos prejudiciais, e a identificação desses genes-alvo proporcionará um escopo para usar a tecnologia de RNAi para tornar plantas transgênicas resistentes contra essas pragas e patógenos, promovendo métodos ecologicamente amigáveis de proteção de colheitas (Niu *et al.*, 2010). Uma das dificuldades na tecnologia de RNAi é identificar genes que possam ser efetivos através de um sistema de administração adequado. Por exemplo, o dsRNA se degrada rapidamente no sistema digestório de mamíferos e falha em captar RNA para o interior das células.

Embora as tecnologias transgênicas proporcionem benefícios enormes para resultar em produções agrícolas mais altas com menos recursos e menos impacto ambiental, a extensa adoção dessas técnicas sem regulação apropriada preocupa muitos sobre seus impactos nocivos potenciais no ambiente e na saúde. Isso se torna especialmente importante, considerando que muitos países não desenvolveram políticas regulatórias e de segurança apropriadas. Como consequência, muitos países se deparam com novos problemas com manejo de pragas. Por exemplo, novas pragas sugadoras surgiram como pragas importantes na Índia devido a baixo uso de inseticidas, causando perdas econômicas significativas na produção de algodão (Kranthi e Kranthi, 2010). É importante praticar manejo integrado de pragas e ervas-daninhas com variedades de algodão transgênico, utilizando controle regulatório apropriado para produção sustentável e custo-efetiva de algodão. Por exemplo, o uso disseminado de tecnologia resistente a glifosato tem levado a desvio para algumas de ervas-daninhas que são tolerantes a glifosato nos EUA (Holtzapffel *et al.*, 2008). Ervas-daninhas podem desenvolver resistência a herbicidas devido a pressão de seleção por uso excessivo de herbicidas aplicados na população. O *amaranto de Palmer* constitui uma das ervas-daninhas resistentes a herbicidas mais importantes encontradas nos campos de algodão

dos EUA (Bennett, 2007). Há possibilidade de que uma contaminação cruzada de pólen também possa transmitir a característica de resistência a herbicidas para parentes silvestres localizados nas mesmas áreas de algodão cultivado.

Seleção Assistida por Marcador para Acelerar Programas de Reprodução de Algodão

O princípio da reprodução vegetal está baseado na seleção de características desejáveis e na montagem de combinações mais desejáveis de características em uma planta específica. A seleção assistida por marcador (MAS), uma ferramenta na biotecnologia vegetal, proporciona aos produtores sistemas eficientes de seleção para substituir a seleção tradicional baseada em estirpe fenotípica por um marcador de DNA baseado em gel no laboratório. A MAS é um processo indireto de seleção, em que se seleciona uma característica de interesse, não com base na própria característica, mas em um marcador de DNA ligado a essa característica de interesse. A maior parte das características economicamente importantes no algodão é controlada por *loci* quantitativos complexos (QTL), que consistem de muitos genes que afetam os fenótipos. Os marcadores de DNA são “marcos” no genoma que podem ser selecionados por sua grande proximidade de um QTL de interesse. A seleção de marcadores de DNA ligados ao QTL de interesse aumenta a eficiência reprodutiva, reduzindo a seleção fenotípica subjetiva, demorada e custosa e, de acordo com isso, reduzindo significativamente gerações retrocruzadas.

A MAS terá enorme potencial nas seguintes áreas de programa reprodutivo do algodão: 1) pirâmide assistida por marcador, 2) retrocruzamento assistido por marcador, 3) estudo de heterose, 4) avaliação de diversidade genética e seleção parental, 5) identidade de cultivar e avaliação de pureza de sementes e 6) avaliação assistida por marcador de materiais reprodutivos (Bertrand e Mackill, 2008). A MAS será bastante efetiva no algodão quando os produtores a utilizarem em gerações iniciais, pois plantas com combinações gênicas indesejáveis poderão ser descartadas e poderá ser usado um número menor de linhagens de alta prioridade nas gerações subsequentes. Também, se a ligação entre o marcador e o QTL selecionado não for muito firme, a maior eficiência da MAS está nas gerações iniciais, devido ao aumento de probabilidade de recombinação entre o marcador e o QTL. A principal desvantagem da aplicação da MAS nas gerações iniciais é o custo da genotipagem de um número maior de plantas na população (Bertrand e Mackill, 2008).

A identificação de marcadores de DNA informativos constitui a primeira etapa crítica para desenvolver um programa reprodutivo assistido por marcador e acelerar o programa de desenvolvimento de variedades. O principal fator limitante no uso de marcadores de DNA é o número limitado de marcadores informativos úteis para MAS no algodão. O sucesso da MAS é baseado nas informações sobre a associação dos marcadores com as características de interesse com base no mapa molecular. A maior parte dos mapas moleculares no algodão é baseada no mapa de recombinação de uma população desenvolvido a partir dos cruzamentos de progenitores específicos de interesse em um programa. No entanto, foi relatado que os QTLs identificados em uma população de mapeamento particular podem não ser efetivos em diferentes bases genéticas (Liao *et al.*, 2001). Alguns estudos colaborativos para desenvolver métodos moleculares de mapeamento de associação são relatados por Abdurakhmonov *et al.*

(2008 e 2009). Esse novo método de estratégia de mapeamento de associação proporcionou uma ferramenta estatisticamente mais poderosa no mapa molecular do algodão, pois é baseado na pesquisa de grandes populações comparadas com o método de mapeamento de recombinação mais comumente usado com base em alguns cruzamentos individuais selecionados. Esse é o primeiro relato sobre o uso da estratégia de mapeamento de associação no algodão para descobrir: 1) diversidade genética em várias centenas de linhagens de algodão do Uzbequistão com base em grande número de marcadores moleculares para características agronômicas e de fibras, 2) valor de desequilíbrio de ligação (LD) em nível genômico no genoma do algodão e 3) associação de vários marcadores de DNA com características agronômicas e de fibras importantes e suas localizações cromossômicas. Essa pesquisa ajudou os geneticistas a “extrair” genes úteis entre um grande número de populações para aprimoramento de germoplasma. Atualmente, estamos utilizando a MAS com base em nosso estudo de mapeamento de associação, selecionando o marcador de DNA a partir dos progenitores doadores associados com a característica de interesse melhorada para aprimorar as características de qualidade de fibra em alguns cultivares uzbeques. O estudo demonstrou que uma aplicação bem-sucedida da análise de associação genética utilizando um grande número de populações acelerará a taxa de descoberta de gene/QTL e marcadores úteis informativos no algodão.

A seleção de marcadores adequados constitui um dos fatores-chave para o sucesso de um programa de MAS e deve ser baseada em um sistema de detecção simples e eficiente, altamente polimórfico e distribuído pelo genoma. Marcadores de SSR e SNP são considerados como marcadores de escolha para MAS em muitas espécies de colheita. Recentemente, cientistas criaram o *Cotton Microsatellite Database* (Banco de Dados de Microssatélites de Algodão) (CMD) [<http://www.cottonssr.org>], com apoio da Cotton Incorporated (Blenda *et al.*, 2006). Trata-se de um banco de dados relacional baseado em uma rede cuidada e integrada, que proporciona acesso centralizado a microssatélites de algodão publicamente disponíveis, um recurso importante para pesquisa básica e aplicada de reprodução de algodão. Atualmente, o CMD contém dados de publicações, sequências, preparadores, mapeamentos e homologias de nove projetos importantes de microssatélites de algodão, representando coletivamente mais de 3.000 microssatélites. Além disso, a Monsanto também doou cerca de 4.000 marcadores de SSR de algodão e informações associadas para a Texas AgriLife Research, uma agência do Sistema Texas A&M, em 2009 (Xiao *et al.*, 2009).

A descoberta do marcador de SNP abre um novo paradigma na MAS, especialmente considerando muitas sequências gênicas publicamente disponíveis agora no GenBank. Os marcadores polimórficos de nucleotídeos (SNPs) únicos são associados normalmente com muitos genes candidatos. A descoberta do marcador de SNP é bastante difícil em uma espécie poliploide como o algodão. É como resolver dois quebra-cabeças ao mesmo tempo, pois o algodão apresenta dois conjuntos duplicados de cromossomos. Muitas das indústrias de sementes estão usando agora marcadores de SNP como marcadores de escolha em MAS em milho e outras colheitas. No entanto, quase não existem tais informações disponíveis em bandos de dados públicos de algodão. Recentemente, descobrimos uma estratégia para identificar marcadores de SNP em espécies tetraploides de algodão (An *et al.*, 2007, 2008; Buriev *et al.*, 2010, 2011). Os marcadores de SNP são normalmente bialélicos. No entanto, a detecção de um

haplótipo é essencial para detectar alelos múltiplos com base em conjuntos únicos de marcadores de SNP em um gene candidato. Trata-se de uma tarefa difícil identificar um haplótipo que possa distinguir diferenças alélicas em um único *locus* em uma espécie poliploide como o algodão, devido à presença de *loci* duplicados. Os pesquisadores utilizaram análise de grupo das sequências de *G. hirsutum* e da espécie ancestral de genoma A e D diploide a partir de um gene candidato de interesse, utilizando o método de agrupamento de reunião de vizinhos, e agruparam as sequências tetraploides em dois subgenomas baseados em sua associação com a espécie ancestral diploide. As sequências de genótipos tetraploides oriundas de uma clade individual da árvore filogenética foram alinhadas e comparadas para detectar os supostos SNPs. A combinação exclusiva de SNPs em uma sequência dentro de uma clade do filograma foi considerada como haplótipo. Cada clade no dendograma é considerada um suposto *locus*. A hipótese foi baseada na suposição de que as sequências em cada *locus* serão mais semelhantes em comparação com as sequências entre os *loci*. Algumas vezes, essa estratégia de identificação de haplótipo com base na análise de agrupamento sem conhecimento genético anterior pode separar alelos significativamente diferentes de um *locus* em duas clades diferentes, conseqüentemente interpretando erroneamente diferenças alélicas como diferenças de *locus*. Tal condição pode falhar em identificar alguns dos SNPs verdadeiros. Nossa estratégia proporcionou uma estimativa bastante conservadora de supostos SNPs na família do gene *MIC-3* (Buriev *et al.*, 2010). A vantagem desse método é o número reduzido de falsos SNPs na análise ao evitar o problema de comparação entre sequências ortólogas e parálogas. Essa descoberta dos marcadores de SNP foi confirmada posteriormente usando-se linhas de remoção para identificar suas localizações cromossômicas (Ann *et al.*, 2007, 2008; Buriev *et al.*, 2010, 2011).

Os marcadores de SNP proporcionarão uma ferramenta para associar genes candidatos em MAS nos programas de reprodução molecular de algodão. Tais descobertas que proporcionam o conhecimento dos genes candidatos associados com características complexas também terão um efeito indireto para explorar as possibilidades da manipulação genética dos genes candidatos específicos para aprimorar características importantes. A descoberta dos marcadores de SNP terá enorme impacto na MAS do programa de reprodução do algodão.

Sequência do Genoma do Algodão

A decodificação do genoma do algodão é essencial para uso eficiente de tecnologias genômicas no aprimoramento do algodão de planalto. Recentemente, uma equipe multidisciplinar internacional, que incluiu cientistas setores tanto público quanto privado, iniciou uma parceria como comunidade para formular um relatório sobre os problemas e perspectivas do sequenciamento do genoma do algodão (Chen *et al.*, 2007). Os leitores devem ser estimulados a estudar o relatório de Chen *et al.* (2007) para referências detalhadas sobre o sequenciamento do genoma do algodão. Este artigo resumirá algumas das informações-chave desse relatório.

O algodão é enriquecido com muitos recursos genômicos disponíveis, incluindo cromossomos artificiais bacterianos (BACs), ESTs, mapas de ligação e mapas genéticos e físicos integrados para análise e montagem de sequência (Chen *et al.*, 2007). O

sequenciamento dos genomas de algodão revelará a relação do genoma funcional e do desempenho agrônômico, a importância da poliploidia e a variação do tamanho genômico dentro do gênero *Gossypium*.

Estima-se que os tamanhos do genoma do algodão haploide sejam de aproximadamente 880 Mb para *G. raimondii*, aproximadamente 1,75 Gb para *G. arboreum* e aproximadamente 2,5 Gb para *G. hirsutum* (Chen *et al.*, 2007). Torna-se essencial desenvolver uma estratégia abrangente para sequenciamento do genoma do algodão com base em economia, tecnologia e prioridades. Devido ao progresso contínuo em tecnologia de sequenciamento de alto rendimento e às reduções de custo, podem-se usar abordagens múltiplas e paralelas para revelar informações completas dos genomas de *Gossypium*. Torna-se crítico ter uma estratégia abrangente para sequenciamento completo de um ou mais representantes de cada grupo de genoma de *Gossypium* A, B, C, D, E, F, G, K e AD derivado de tetraploide ($n = 26$) para compreender a complexidade no nível molecular na evolução do genoma do algodão.

Recentemente, cientistas na Universidade da Geórgia, sob a liderança do Dr. Andrew Patterson, e na Universidade Texas Tech, sob a liderança da Dra. Thea Wilkins, lideraram equipes multidisciplinares internacionais que estão quase concluindo a sequência das espécies diploides de genoma D e A ancestral do algodão de planalto, respectivamente. Recentemente, um relatório indicou que uma *joint venture* da Monsanto Company (NYSE:MON) e da Illumina Inc., baseada em San Diego, (NASDAQ:ILMN) ajudará a revelar a sequência genômica do algodão, utilizando tecnologia de sequenciamento de próxima geração da Illumina (*web page* da Monsanto, 2010). O relatório também afirmou que as duas empresas concluíram o sequenciamento de uma espécie silvestre peruana de algodão (*Gossypium raimondii*) e doarão seus achados ao público. Os *Joint Genome Institutes* (Institutos Reunidos do Genoma) do Departamento de Energia dos EUA (<http://www.jgi.doe.gov/>) deram um passo importante para apoiar um estudo piloto para sequenciamento forçado de *G. raimondii* para uma cobertura de 0,5x (Chen *et al.*, 2007). Cientistas do USDA/ARS estão planejando sequenciar o genoma de algodão tetraploide utilizando uma abordagem de sequenciamento baseada em BAC em colaboração com cientistas do *Anyang Cotton Research Institute* (Instituto Anyang de Pesquisa do Algodão), na China (comunicação pessoal).

A sequência genômica de AD pode oferecer oportunidades superiores para elucidar os tipos e frequências de alterações que distinguem um algodão poliploide de um diploide. As sequências de espécies diploides de genoma A e D serão bastante úteis na montagem da sequência do genoma AD tetraploide e fornecerão informações valiosas sobre conteúdo e padrões de expressão gênica e evolução do genoma poliploide. O sequenciamento de representantes de cada clade diploide será importante para conhecer padrões moleculares e eventos biológicos associados na evolução, incluindo a diversidade genômica e morfológica dentro do gênero para se adaptar a uma ampla faixa de ecossistemas em regiões mais quentes e áridas do mundo (Chen *et al.*, 2007). O conhecimento obtido a partir da decodificação do genoma do algodão melhorará nosso conhecimento da função gênica e, finalmente, beneficiará os produtores, com melhora da produção e da qualidade das fibras. Informações provenientes do sequenciamento do

genoma de algodão serão bastante úteis para desenvolver ferramentas para tornar os pés de algodão resistentes a estresses bióticos e abióticos.

Devido à globalização da agricultura, espera-se que os preços das *commodities* caiam provavelmente, e uma produção eficiente será um fator-chave no mercado competitivo mundial. De acordo com isso, os pesquisadores podem ter de objetivar a manipulação do sistema genético utilizando ferramentas biotecnológicas para adotar pés de algodão em diversidade ambiental, extraíndo o máximo dos diferentes recursos naturais, incluindo suprimento hídrico limitado - em vez de usar insumos caros para alterar o ambiente.

O algodão também constitui uma colheita de alta renda em muitos países em desenvolvimento, que são a origem de rápido crescimento populacional e degradação ambiental, e alguns fazendeiros não podem bancar a adoção de pacotes biotecnológicos de alto insumo. No entanto, vivemos em uma aldeia global interconectada, e uma falha em captar os benefícios da biotecnologia terá efeitos contaminantes em todo o mundo no futuro. Porém, os desafios não são apenas biológicos - também são institucionais, financeiros, políticos e sociais. Considerando os impactos tanto ambientais quanto econômicos das novas tecnologias, o algodão como colheita de alta renda em países tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento, o papel das indústrias privadas nas novas tecnologias e os problemas agrícolas complexos nos diferentes países, talvez esteja mais que na hora de considerar estabelecer um centro internacional de pesquisa do algodão. Torna-se essencial encarar esses desafios para o século 21 através de forte parceria de pesquisa entre instituições públicas e privadas. Esse centro internacional servirá como um facilitador, que poderá negociar arranjos apropriados entre os setores público e privado como catalisadores em tais parcerias. Esse centro se certificará de que os benefícios das descobertas inovadoras do amanhã sejam compartilhados apropriadamente em países tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Esse centro deverá estudar os benefícios de investimentos relativos em ambientes favoráveis contra marginais no algodão, pois muitos produtores de algodão no mundo vivem em áreas marginais e não podem bancar os pacotes biotecnológicos de alto insumo. Com base nesse estudo, o centro poderá orientar o desenvolvimento de princípios ecologicamente favoráveis, tais como rodízio de culturas, consorciação e sistemas de manejo de culturas, para as condições locais para maximizar os benefícios da biotecnologia. Esse centro estabelecerá um sistema regulatório baseado em fatores científicos e agroecológicos sensatos do país específico, desenvolverá métodos custo-efetivos para quarentena ou propósitos regulatórios e auxiliará fazendeiros na detecção da pureza transgênica, um mecanismo eficiente de aporte de sementes transgênicas. Torna-se essencial desenvolver uma estratégia para contra-atacar a atitude negativa com relação ao algodão transgênico. O centro deverá recomendar as soluções complexas e orientadas por sistema, com base em planos de conhecimento intensivo em vez de apenas tecnologias mais simples centralizadas em sementes. O histórico de sucesso da biotecnologia no algodão elevou nossas expectativas para um fluxo contínuo de milagres científicos para promover produção sustentável de algodão sob um ambiente seguro para o século 21.

Referências

- Abdurakhmonov, I. Y., R. J. Kohel, J. Z. Yu, A. E. Pepper, A. Abdullaev, F. N. Kushanov, I. B. Salakhutdinov, Z. T. Buriev, S. Saha, B. Scheffler, J. N. Jenkins and A. Abdugarimov. 2008. Genome-wide linkage disequilibrium (LD) and LD-mapping of fiber quality traits in Upland cotton. *Genomics* 92:478-487.
- Abdurakhmonov, I. Y., S. Saha, J. N. Jenkins, Z. T. Buriev, S. E. Shermatov, B. E. Scheffler, A. E. Pepper, J. Z. Yu, R. J. Kohel and A. Abdugarimov. 2009. Linkage disequilibrium based association mapping of fiber quality traits in *G. hirsutum* L. variety germplasm. *Genetica* 136:401-417.
- An, C., S. Saha, J. N. Jenkins, B. Scheffler, T. A. Wilkins and D. M. Stelly. 2007. Transcriptome profiling, sequence characterization, and SNP marker based chromosomal assignment of the EXPANSIN genes in cotton. *Molecular Genetics Genomics* 278:539-553.
- An, C., S. Saha, J. N. Jenkins, D-P Ma, B. E. Scheffler, R. J. Kohel, J. Z. Yu and D. M. Stelly. 2008. Cotton (*Gossypium* spp.) R2R3-MYB Transcription factors, SNP identification, Phylo-genomic characterization, chromosome localization and linkage mapping. *Theoretical Applied Genetics* 116:1015-1026.
- Bennett, D. 2007. Ian Heap helps keep tabs on global weed resistance. In Delta Farm Press, January 17, 2007 at <http://deltafarmpress.com/ian-heap-helps-keep-tabs-global-weed-resistance> (verificado em 22 de agosto de 2011).
- Bertrand, C., Y. Collard and David J. Mackill. 2008. Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions Of The Royal Society Biological Sciences*. 363(1491):557–572.
- Blenda, A., J. Scheffler, B. Scheffler, J. Lacape, J. Z. Yu, S. Jung, M. Staton, M. Palmer, C. Jesudurai, S. Muthukumar, P. Yellambalase, S. Ficklin, R. Eschelmann, M. Ulloa, S. Saha, D. Feng, R. Cantrell and D Main. 2006. CMD: A cotton microsatellite data base resource for *Gossypium* genomics. *BMC Genomics* 7:132.
- Buriev, Z. T.*, S. Saha*, I. Y. Abdurakhmonov*, J. N. Jenkins, A. Abdugarimov, B. E. Scheffler, and D, M, Stelly. 2010. Clustering, haplotype diversity, and locations of *MIC-3*, a unique root-specific defense-related gene family in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Theoretical Applied Genetics* 120:587-606. (*equally credited as first author)
- Buriev, Z. T.*, S. Saha*, J. N. Jenkins, A. Abdugarimov, D. M. Stelly and I. Y. Abdurakhmonov*. 2010. Birth-and-death evolution of clustered *MIC-3* (*Meloidogyne Induced Cotton - 3*) supergene family of *Gossypium* species under purifying selection and gene amplification. *Molecular Biology and Evolution*. *Theoretical Applied Genetics* DOI 10.1007/s00122-011-1672-y. (online, *equally credited as first author).

Chen, Z.J., B.E. Scheffler, E. Dennis, B.A Triplett, T. Zhang, W. Guo, X. Chen, D.M Stelly, P.D Rabinowicz, C.D Town, T. Arioli, C. Brubaker, R.G Cantrell, J.M. Lacape, M. Ulloa, P. Chee, A.R. Gingle, C.H. Haigler, R. Percy, S. Saha, T. Wilkins, R.J. Wright, A. Van Deynze, Y. Zhu, S. Yu, I. Abdurakhmonov, I. Katageri, P.A. Kumar, Mehboob-Ur-Rahman, Y. Zafar, J.Z. Yu, R.J. Kohel, J. Wendel and A.H. Paterson. 2007. Toward sequencing cotton (*Gossypium*) genomes. *Plant Physiol* 145:1303-1310.

Cotton Incorporated. 2010. Cotton Today. Em <http://cottontoday.cottoninc.com/sustainability-about/responsible-economicdevelopment/> (verificado em 20 de julho de 2011).

Cranston, J. J., J. D. Rivera, M. L. Galyean, M. M. Brashears, J. C. Brooks, C. E. Markham, L. J. McBeth and C. R. Krehbiel. 2006. Effects of feeding whole cottonseed and cottonseed products on performance and carcass characteristics of finishing beef cattle. *Journal of Animal Science* 84:2186-2199.

Dodds, M. D. and J. A. Bond. 2010. Cotton weed pests and their control in the 21st century. Pp. 123-154. In: P. J. Wakelyn and M. R. Chaudhry (eds). *Cotton: Technology for the 21st Century*. Publ. International Cotton Advisory Committee, Washington, DC, USA.

Escobar MA, E.L. Civerolo, K.R. Summerfelt, A.M. Dandekar AM. 2001. RNAi-mediated oncogene silencing confers resistance to crown gall tumorigenesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98: 13437-13442.

Green, J. M. 2009. Evolution of glyphosate-resistant crop technology. *Weed Science* 57:108-117.

Hake, K. D. 2010. Cotton biotechnology: Current and future applications. In: P. J. Wakelyn and M. R. Chaudhry (eds.). *Cotton: Technology for the 21st Century*. Publ. International Cotton Advisory Committee, Washington, DC, USA.

Holtzapffel, R., O. Mewett, V. Wesley and P. Hattersley. 2008. Genetically modified crops: tools for insect pest and weed control in cotton and canola. Australian Gov. Bureau of Rural Sciences, Canberra, http://www.daff.gov.au/data/assets/pdf_file/0004/908266/GM-crops-insect-pest-weed-control-261108.pdf. (verificado em 17 de março de 2009).

International Cotton Advisory Committee (ICAC). 2000. Report of an expert panel on biotechnology in cotton. International Advisory Committee, Washington, DC, USA. <http://www.icac.org/> verificado em 17 de agosto de 2011).

International Cotton Advisory Committee (ICAC). 2004. Report of second expert panel on biotechnology in cotton. International Advisory Committee, Washington, DC, USA. <http://www.icac.org/> (verificado em 17 de agosto de 2011).

Kranthi, K. R. and S. Kranthi. 2010. Cotton insects pests and their control in the 21st century. Pp. 99-122. In: P. J. Wakelyn and M. R. Chaudhry (eds.). *Cotton: Technology*

for the 21st Century. Publ. International Cotton Advisory Committee, Washington, DC, USA.

Liao C.Y, Wu P, Hu B, Yi K.K. Effects of genetic background and environment on QTLs and epistasis for rice (*Oryza sativa* L.) panicle number. *Theor. Appl. Genet.* 2001;103:104–111.

Monsanto web page. 2010. Monsanto and Illumina Reach Key Milestone in Cotton Genome Sequencing. Em <http://www.monsanto.com/newsviews/Pages/Monsanto-Illumina-Key-Milestone-Cotton-Genome-Sequencing.aspx>. (verificado em Niu Jun-Hai, H. Jian, J. Xu, Y. Guo, and Q. Liu. 2010. RNAi technology extends its reach: Engineering plant resistance against harmful eukaryotes. *African Journal of Biotechnology.* 9(45):7573-7582.

Parakhi, V., V. Arkhi, V. Kumar, G. Sunilkumar, L. Campbell, M. Sing and K. S. Rathore. 2009. Expression of apoplastically secreted tobacco osmotin in cotton confers drought tolerance. *Molecular Breeding* 23:625-639.

Reiser, R. and H. C. Fu. 1962. The mechanism of gossypol detoxification by ruminant animals. *Journal of Nutrition* 76:215.

Sernella, .A. S., J. McCuiston, Mui-Yun Wong, X. Wang, M.R. Thon, R. Hussey, T. Baum and E. Davis. 2007. Qualitative detection of double-stranded RNA-mediated gene silencing of parasitism genes in *Heterodera glycines*. *J. Nematology.* 39(2):145-152.

Sindhu,A.S., Tom R. Maier, Melissa G. Mitchum, Richard S. Hussey, Eric L. Davis and Thomas J. Baum. 2009. Effective and specific in planta RNAi in cyst nematodes: expression interference of four parasitism genes reduces parasitic success. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60, No. 1, pp. 315–324, 2009.

Smith, C. W. and G. G. Coyle. 1997. Association of fiber quality parameters and within-boll yield components in upland cotton. *Crop Science* 37:1775–1779.

Star Tribune. 2009. TEXAS: Genetic engineering turns ‘Fabric of Our Lives’ into edible cottonseed that may feed millions. In: *Bites*. Também disponível em <http://bites.ksu.edu/news/137208/09/12/03/texas-geneticengineering-turns-fabric-our-lives-edible-cottonseed-may-feed-mil>. (verificado em 18 de agosto de 2011)

Sunilkumar G., L.M. Campbell, L. Puckhaber, R. D. Stipanovic†, and K. S. Rathore. 2006. Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue-specific reduction of toxic gossypol. *PNAS.* 103(48):18054-18059.

United States Department of Agriculture (USDA). 2008. Agricultural chemical usage-2007 field crops summary. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/nass/AgriChemUsFC/2000s/2008/AgriChemUsFC-05-21-2008.pdf>. (verificado em 11 de março de 2009)

Wakelyn, P. J. and M. R. Chaudhry. 2010. Introduction. Pp. 1-2. In: P. J. Wakelyn and M. R. Chaudhry (eds.). *Cotton: Technology for the 21st Century*. Publ. International Cotton Advisory Committee, Washington, DC, USA.

Werth, J. A., C. Preston, I. N. Taylor, G. W. Charles, G. N. Roberts and J. Baker. 2008. Managing the risk of glyphosate-resistance in Australian glyphosate-resistance cotton production system. *Pest Management Science* 64:417-421.

Whitefield, J. 2003. Transgenic cotton a winner in India. *Nature* | doi:10.1038/news030203-12.

Xiao, J., K. Wu, David D. Fang, David M. Stelly, John Yu, and Roy G. Cantrell. 2009. New SSR markers for use in cotton (*Gossypium* spp.) improvement. *J. Cotton Sci.* 13:75-157.

Cotton: Technology for the 21st Century

O livro *Cotton: Technology for the 21st Century* cobre as partes principais da produção de algodão.

- Taxonomia e Produção do Algodão
- Colheita, Descaroçamento e Processos Pós-Colheita
- Economia, Uso das Fibras de Algodão e Promoção
- Carvão de Algodão

Cada um dos 16 capítulos do livro teve contribuição de autores altamente respeitados e internacionalmente reconhecidos em todo o mundo.

O livro começa com a origem das espécies de algodão e termina com um olhar provocativo em como a produção e a demanda mundiais podem mudar no século 21. A abordagem global no livro não é para fornecer informações sobre trabalho já realizado, mas, em vez disso, o livro é dedicado às tendências futuras na tecnologia e pesquisa sempre em mudança da produção de algodão. Controle de pragas, sustentabilidade, biotecnologia, medições de qualidade de fibra, processamento de fios e tingimento/acabamento formam partes substanciais do livro.

Preço = US\$ 180

(frete incluído)

Capa dura: 432 páginas

Editora: ICAC

ISBN: 9780979390357

Formulário de Pedido

Por favor, envie-me _____ exemplares de *Cotton: Technology for the 21st Century*

Encontra-se anexo um cheque de US\$ _____

Encontram-se anexos detalhes de meu cartão de crédito:

American Express Master Card Visa Card

Número do Cartão: _____ Data de Expiração: _____

Endereço de Cobrança/Entrega:

Nome (letra de forma) _____

Endereço _____

Cidade e código postal _____ Estado _____ País _____

E-Mail _____

Envie seu formulário de pedido por correio, *e-mail* ou fax para:

Serviços de Assinatura ICAC

1629 K Street, Suite 702 - Washington, DC 20006 - EUA

E-Mail: publications@icac.org - **Fax:** (1) 202-463-6950 - **Telefone:** (1) 202-463-6660

Ramal. 111

Você também pode pedir seu exemplar *online* em

<https://www.icac.org/cart/pubdetail.php?id=PUB00000482>