

Biotecnologia aplicada ao valor nutricional dos alimentos

Biofortificação

Neuza Maria Brunoro Costa

PbD em Nutrição Humana, professora do Departamento de Nutrição e Saúde, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

nmbc@ufv.br

Fotos cedidas pela autora

A biotecnologia baseia-se na habilidade de introduzir, com precisão, construções gênicas em um organismo, usando a tecnologia do DNA recombinante ou técnicas de engenharia genética para alterar os seus processos metabólicos favoravelmente.

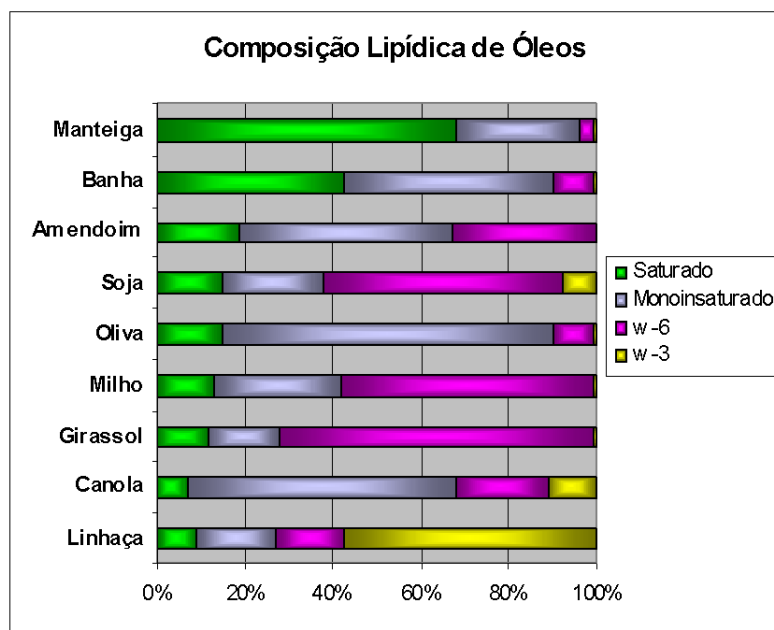
A maioria das pesquisas de melhoramento de plantas das duas últimas décadas tem sido direcionada para aumentar a produtividade e resistência a doenças e pragas. Atualmente, a aplicação de biotecnologia às plantas tem sido direcionada para aumentar sua qualidade nutricional (Zimmermann e Hurrell, 2002).

Segundo Kishore e Shewmaker (1999), o desenvolvimento da biotecnologia pode ser dividido em três fases. A primeira fase consistiu na introdução de características agrônômicas. Desde 1995, alguns produtos com

melhores aspectos culturais têm sido lançados no mercado, com a soja *Roundup Ready*, tolerante ao glifosato, um ingrediente ativo do herbicida Roundup. Outro exemplo de produto com melhores aspectos culturais é o milho *YieldGard*. Este milho possui um gene que codifica para uma proteína inseticida que ocorre naturalmente na bactéria *Bacillus thuringiensis* e confere resistência à broca no milho, inseto que infesta a cultura e reduz sua produção de 6% a 20%.

A segunda fase da biotecnologia visa à produção de culturas de melhor qualidade. O melhoramento genético clássico tem produzido alimentos diferenciados, como a canola com alto teor de ácido erúico e glicosinolato, milho ceroso com alto teor de amilose, arroz com grão longo e trigo *durrun*. Vários produtos para ração animal estão sendo desenvolvidos, entre os quais aqueles com grãos com alta densidade calórica, devido ao elevado conteúdo de óleo; e os de grãos com alta densidade de nutrientes, principalmente teor de proteína, aminoácidos essenciais ou micronutrientes. O milho com alto teor de óleo (6% ou mais) e/ou alto teor de proteína é resultado do melhoramento molecular. Outro exemplo da biotecnologia, introduzindo genes que alteram vias metabólicas, é a produção de gordura sólida ou semi-sólida sem ácidos graxos *trans* nas sementes oleaginosas. Isso é possível, inibindo-se a conversão de ácido esteárico para óleo em soja e canola. A melhoria de atributos como flatulência, *flavor* do feijão, propriedades de textura e emulsificação da soja também são exemplos de novos produtos da biotecnologia da segunda fase.

A terceira fase da biotecnologia



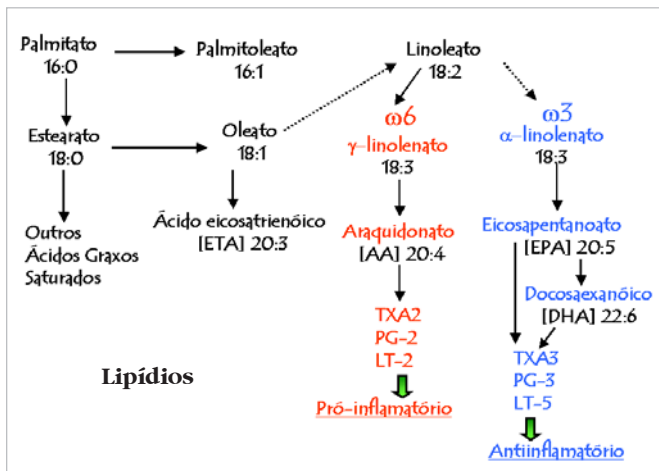
objetiva o uso de plantas como “biofábricas” produzindo alimentos nutricionalmente fortificados e substituindo a adição de constituintes sintéticos aos alimentos. Um exemplo é o óleo de canola rico em caroteno. Desse modo, a biotecnologia pode ser utilizada para suprir as deficiências nutricionais, como a vitamina A. A biotecnologia também pode ser usada para reduzir o conteúdo de fatores antinutricionais, assim como para fornecer novos nutrientes nos grãos, como os fitoesteróis, os quais têm o potencial de reduzir de 10% a 15% os níveis de colesterol em humanos. Outras aplicações da biotecnologia para um futuro próximo incluem a modulação de doenças pela manipulação de compostos antioxidantes, antiinflamatórios e estimulantes do sistema imune nos alimentos.

Proteínas

A melhoria do valor nutricional de plantas, enfocando a composição de aminoácidos das proteínas, tem sido objeto de programas de melhoramento de plantas há várias décadas. As proteínas dos cereais são normalmente pobres em certos aminoácidos essenciais. Em milho, lisina é o primeiro aminoácido limitante e triptofano, o segundo. Metionina e cisteína também estão presentes em pequenas concentrações, o que pode prejudicar a absorção de ferro e zinco no intestino (Graham et al., 1999).

A lisina é sintetizada junto com outros aminoácidos essenciais, como treonina, metionina e isoleucina, a partir do aspartato. A introdução dos genes que codificam as enzimas aspartato quinase e dihidrodipicolinato sintase de bactérias menos sensíveis à inibição por lisina dentro da batata resultou em aumentos de 6, 8 e 2 x nos teores de lisina, treonina e metionina, respectivamente. O nível de lisina chegou a 15% do aminoácido total, enquanto nas plantas não transformadas esse nível foi de 1% (Sévenier et al., 2002).

A soja, embora seja uma das melhores fontes proteicas de origem vegetal, contém proteínas inferiores às de origem animal, por apresentarem



deficiência em aminoácidos sulfurados. Portanto, a melhoria do valor nutricional e das propriedades funcionais da soja tem sido importante objetivo da indústria de alimentos. A metionina é o aminoácido limitante da soja e, devido à sua hidrofobicidade, sua inserção resulta na melhoria do valor nutricional e funcional dessa oleaginosa. O aumento da hidrofobicidade aumenta a formação de gel induzido pelo calor e a capacidade emulsificante da soja.

O gene que codifica uma proteína específica da semente, rica em aminoácidos essenciais e não-alérgica, *AmA1*, albumina do amarantos (*Amaranthus hypochondriacus*), foi introduzido na batata, resultando na melhoria de seu valor nutricional, com aumento do conteúdo total de proteínas e, principalmente, de aminoácidos essenciais. Um aumento de 2,5 a 4 vezes no teor de lisina, metionina, cisteína e tirosina foi observado em batatas contendo o gene *AmA1* (Chakraborty et al., 2000). Portanto, a introdução desse gene possibilita aumento do valor proteico da batata, com perfil de aminoácidos essenciais semelhante ao padrão estabelecido pela FAO/OMS, e, ao contrário do que ocorreu com o gene da castanha-do-brasil, não apresenta alergenicidade.

As plantas transgênicas podem ser uma fonte alternativa viável de hemoglobina, uma vez que elas constituem uma fonte de biomassa barata, e as produções de culturas transgênicas têm sido disponíveis comercialmente em alguns países. As proteínas α e β -globinas da hemoglobina humana foram expressas em tabaco transgênico (*Nicotiana tabacum* var. Xanthi),

transformadas usando *Agrobacterium tumefaciens*. Embora o tabaco tenha sido usado como planta-modelo, outras espécies podem fornecer maiores produções com etapas de purificação e esterilização mais simples. As plantas transgênicas oferecem consideráveis vantagens para produção em larga escala de hemoglobina recombinante e poderiam aliviar a dependência de limitados suprimentos de re-

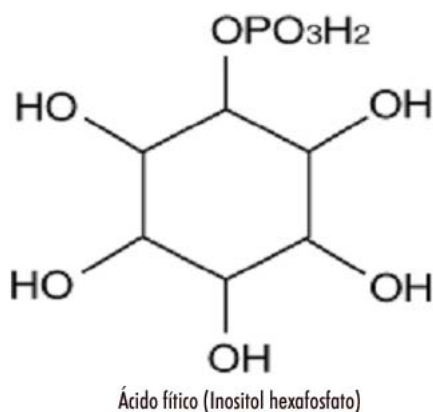
síduos de sangue humano, assim como eliminando a contaminação de origens bacteriana e animal (Dieryck et al., 1997).

Plantas transgênicas podem expressar várias proteínas do leite humano. Por exemplo, tem sido demonstrado que o gene que codifica a β -caseína pode ser introduzido na batata, de forma que essa proteína possa ser detectada nas folhas e nos tubérculos na proporção de 0,01% das proteínas solúveis. Da mesma forma, α -lactoalbumina e lactoferrina podem ser expressas em tabaco. Essas tecnologias poderão, num futuro breve, possibilitar o uso de plantas na produção de alimentos infantis, com os benefícios dessas proteínas do leite humano (Dunwell, 1999).

Lipídios

A manipulação do perfil de ácidos graxos por meio da biotecnologia pode trazer benefícios nutricionais. O melhoramento convencional tem produzido óleos de girassol e amendoim ricos em ácido oléico, os quais são normalmente ricos em ácido linoléico. Por meio de mutações, em girassol, o conteúdo de ácido oléico aumentou de 29% para 84%. Mutantes da soja com menores teores de ácido palmítico e maiores teores de ácido esteárico têm sido obtidos (Liu et al., 2002). Essas alterações no perfil de ácidos graxos, aumentando o teor de ácidos graxos monoinsaturados e reduzindo o teor de ácido palmítico, têm implicações na redução do risco de doenças cardiovasculares.

Ácidos graxos trans



Os ácidos graxos *trans* têm sido associados a efeitos indesejáveis nos lípidios sanguíneos, o que tem levado a indústria a reexaminar o uso de gordura hidrogenada na produção de margarinas e molhos. Através da biotecnologia, foi desenvolvida canola com elevado teor de ácido esteárico (18:0), pela supressão da enzima $\Delta 9$ dessaturase. O ácido esteárico, embora seja saturado, tem menos implicações no perfil lipídico, uma vez que pode ser convertido em ácido oléico no organismo. O óleo requer menor ou nenhuma hidrogenação e, portanto, não são produzidos ácidos graxos *trans*.

Outra forma de evitar a hidrogenação e a geração de ácidos graxos *trans* é aumentando a expressão do ácido oléico (18:1 n-9) no lugar do ácido linoléico (18:2 n-6) e α -linolênico (18:3 n-3), pela supressão da enzima $\Delta 12$ dessaturase. O óleo com mais ácido oléico é menos suscetível à oxidação.

Ácido γ -linolênico (GLA)

Os ácidos graxos $\Delta 6$ -dessaturados são de grande importância para as

Arroz Dourado



células animais, por desempenharem papel na manutenção da estrutura e função da membrana, na regulação da síntese e transporte de colesterol e na prevenção da perda de água pela pele e como precursores de eicosanóides, incluindo prostaglandinas e leucotrienos. Em animais, esses ácidos graxos são sintetizados a partir do ácido graxo essencial linoléico (C18:2 $\Delta 9,12$), sendo a primeira etapa a dessaturação para ácido γ -linolênico (GLA; C18:3 $\Delta 6,9,12$), catalisada pela $\Delta 6$ -dessaturase.

A atividade reduzida dessa enzima pode ser observada no envelhecimento, estresse, diabetes, eczema e em algumas doenças infecciosas, ou no catabolismo aumentado do GLA pela oxidação ou aumento da divisão celular (como exemplo, no câncer ou inflamação). Óleos contendo GLA são amplamente usados como suplementos e têm sido relatados como de uso farmacêutico. No reino vegetal, o GLA não é comumente produzido, entretanto, com o uso da biotecnologia, o DNA que expressa a enzima $\Delta 6$ -dessaturase foi introduzido no tabaco a partir de *Borago officinalis* L., cujas sementes contêm cerca de 20% a 25% de GLA. Com isso, outras culturas com maior produtividade podem se tornar fontes de GLA (Sayanova et al., 1997).

Zinco

As principais fontes de zinco em populações pobres, que têm acesso limitado a alimentos de origem animal, são cereais, tubérculos e leguminosas, os quais têm baixa quantidade ou biodisponibilidade de zinco. O principal fator que reduz a biodisponibilidade de zinco em cereais e leguminosas é o ácido fítico (Ruel e Bouis, 1998).

As estratégias do melhoramento de plantas para controlar deficiências de zinco incluem o aumento da concentração de zinco nas plantas, redução da quantidade de ácido fítico e aumento da concentração de aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína), os quais aumentam a absorção de zinco pelas plantas.

Ferro

A alta prevalência de anemia fer-

ropriva nos países em desenvolvimento tem sido associada ao consumo de ferro de baixa biodisponibilidade. O consumo de alimentos que aumentam a absorção de ferro não-heme, como frutas e vegetais, é freqüentemente limitado. Além disso, os grãos e leguminosas são ricos em ácido fítico, que é um potente inibidor da absorção de ferro (Lucca et al., 2002).

O enriquecimento com ferro, através do melhoramento genético ou da biotecnologia (biofortificação), tem sido uma alternativa com perspectivas sustentáveis para alimentos que fazem parte da dieta básica de populações, substituindo os suplementos dietéticos ou a fortificação de alimentos. Oferece, ainda, a possibilidade de aumentar a produtividade, que geralmente é limitada pela deficiência mineral da planta (Grotz e Guerinot, 2002).

O conteúdo de ferro nos tecidos da planta pode ser aumentado pela maior captação de ferro do solo. Na deficiência de ferro, as plantas liberam prótons, os quais reduzem o pH em torno da raiz, aumentando o teor de Fe^{3+} livre e estabelecendo um gradiente eletroquímico que direciona o transporte de ferro para dentro da raiz. Além disso, na deficiência de ferro, a enzima Fe^{3+} quelato redutase, que reduz o Fe^{3+} para a forma Fe^{2+} mais solúvel, é induzida e, finalmente, o Fe^{2+} é captado por transportadores. Essa redução do Fe^{3+} é uma etapa-limite para a maioria das plantas. Gene que induz a superexpressão da redutase-oxidase 2 férrica (FRO2) de levedura tem sido expressa em tabaco, aumentando a atividade da Fe^{3+} quelato redutase (Grotz e Guerinot, 2002).

Proteínas transportadoras de ferro, como a Nramp (*natural resistance-associated macrophage protein*) e IRT1 (*iron regulated transporter 1*), podem ser superexpressas, aumentando a concentração de ferro nas plantas. Culturas de milho, trigo e arroz usam da quelação com compostos de baixo peso molecular como estratégia para obter ferro do solo. Esses compostos da família dos fitossideróforos são liberados no solo, onde se ligam ao Fe^{3+} , transportando-o para a planta. A superexpressão do gene NAAT (*nicotinamide aminotransferase*) leva ao au-



do arroz, o equivalente a 20% das recomendações diárias de ferro.

Beta caroteno e vitamina A

A deficiência de vitamina A é problema de saúde pública em mais de 70 países. Duzentos e cinquenta milhões de crianças são deficientes de vitamina A, e a cada ano três milhões de crianças desenvolvem xerofthalmia (FAO/WHO, 1998).

A vitamina A é requerida para visão, crescimento, reprodução, proliferação e diferenciação celular e integridade do sistema imune. É fornecida na dieta como retinol pré-formado, principalmente como éster de retinol, pelos alimentos de origem animal e pelos carotenóides, pró-vitamina A, presentes em alimentos de origem vegetal.

O consumo de micronutrientes deve ser suficiente para prevenir deficiências e manter boa saúde. Em condições normais, uma dieta bem balanceada fornece quantidades suficientes de todos os nutrientes para o funcionamento adequado do organismo. Em condições fisiológicas específicas, o consumo de nutrientes por meio de alimentos naturais pode, entretanto, ser inadequado. Em tais casos, suplementos ou produtos fortificados podem prevenir a inadequação. A aplicação da biotecnologia em alimentos para aumentar o teor de β -caroteno (biofortificação) tem sido considerada uma opção atrativa (Winter e Rodrigues, 1997).

Em mandioca, o conteúdo de β -caroteno atinge mais de 20 mg/kg em algumas variedades. A intensidade da cor da raiz está altamente correlacionada com a concentração de caroteno, a qual parece ser determinada por dois genes, um que controla o transporte de intermediários para a raiz e outro responsável pelo processo de estocagem. O cultivar de tomate *Caro-Red* possui 10 vezes mais caroteno que cultivares normais, entretanto ele teve problemas de aceitação devido a cor menos vermelha (Graham et al., 1999).

Nos países tropicais, o arroz é beneficiado para remover a camada de aleuroma rica em óleo, para reduzir a rancificação durante a estocagem. Na porção restante, assim como no farelo,

mento de fitossideróforos, que por sua vez eleva o conteúdo de ferro nessas plantas.

Para aumentar o conteúdo mineral em algum tecido específico das plantas através da manipulação transgênica, é necessário não somente aumentar a absorção do mineral pela raiz, mas também conduzi-lo aos diversos órgãos da planta (Grusak, 2002).

Com o objetivo de elevar o teor de ferro do arroz branco ou polido, foi realizada a inserção de genes que expressam três proteínas no endosperma central: fitoferrina de *Phaseolus*, proteína semelhante à metalotioneína, rica em cisteína endógena, e uma fitase de *Aspergillus fumigatus* termorresistente. A proteína semelhante à metalotioneína, rica em cisteína, superexpressa em arroz aumentou o conteúdo de resíduos de cisteína sete vezes e o nível de fitase 130 vezes. Isso possibilita uma atividade da fitase suficiente

para degradar o ácido fítico completamente. Entretanto, a proteína fitase do fungo perde sua atividade após a cocção do arroz. A expressão de fitoferrina pode dobrar o conteúdo de ferro do endosperma do arroz, variando de 1,15 a 2,21 mg/100 g, em comparação com arroz-controle, que apresenta de 1,0 a 1,1 mg/100 g.

Os peptídios ricos em cisteína melhoram a absorção de ferro no intestino, pois são considerados os principais contribuidores na absorção de ferro. Outra opção para aumentar o conteúdo de ferro em plantas é a introdução de ácido ascórbico, hemoglobina e peptídeos contendo cisteína no tecido vegetal (Zimmermann e Hurrell, 2002).

O consumo extra de ferro no arroz transgênico parece ser de significância nutricional, considerando-se um consumo diário de 300 g de arroz por um adulto, o que representaria elevar de 3mg para 6 mg de ferro provenientes

a provitamina A é deficiente (Zimmermann e Hurrell, 2002). A engenharia genética foi usada para produzir grãos de arroz ricos em β -caroteno. O endosperma de arroz imaturo pode sintetizar o composto intermediário geranilgeranil difosfato, uma molécula isoprenóide de 20 carbonos. A condensação de duas moléculas de geranilgeranil difosfato produz o fitoeno, uma molécula com 40 carbonos. O fitoeno é o primeiro carotenóide precursor na via biossintética para a produção de β -caroteno, pela expressão da enzima fitoeno sintase. Entretanto, alterando o precursor geranilgeranil difosfato para a produção de β -caroteno, pode reduzir os níveis de outros compostos.

A síntese de β -caroteno a partir do fitoeno requer complementação com três enzimas: a dessaturase fitoeno, a dessaturase β -caroteno e a licopeno β -ciclase (Zimmermann e Hurrell, 2002). O fitoeno é precursor do licopeno, o qual é convertido a caroteno (Dunwell, 1999).

A introdução simultânea desses genes foi um dos maiores avanços tecnológicos, e 1,6 a 2 μ g de β -caroteno/g de arroz fresco foram expressos (Zimmermann e Hurrell, 2002). O *Golden rice*, o arroz-dourado e geneticamente modificado para expressar alto conteúdo de carotenóide, tem recebido atenção da mídia pelo seu potencial em suprir provitamina A para milhões de indivíduos. Foi desenvolvido em 1990 por pesquisadores alemães e suíços, com financiamento da Fundação Rockefeller, e tende a ser cruzado com variedades locais de arroz. Três genes tirados do narciso-silvestre e da bactéria *Erwinia* sp foram introduzidos no arroz para produzir um grão amarelo, com altos níveis de β -caroteno, que é convertido em vitamina A no organismo.

Esforços iniciais com o *Golden rice* têm-se concentrado na Índia, mas esta tecnologia deverá se estender a outros países da Ásia, África e América do Sul.

O arroz com vitamina A produzido geneticamente tem sido indicado como importante alternativa no combate à cegueira. Mais de dois milhões de crianças estão sob o risco de cegueira devido à deficiência de vitamina A. Trata-se, portanto, de um esforço para

melhorar a saúde de milhões de pessoas, a maioria na Ásia, visto que é difícil obter uma grande abrangência aos malnutridos do mundo inteiro com o uso de pílulas.

Projeto similar ao *Golden rice* está sendo realizado para introduzir a enzima fitoeno sintase na canola (*Brassica napus*). A concentração de caroteno obtida foi de 1.000 a 1.500 μ g/g de semente. Essa tecnologia foi também transferida para a mostarda (*Brassica juncea*), cultivada em muitas partes do mundo, incluindo Índia, Nepal e Bangladesh, sendo o segundo maior óleo consumido na Índia. O óleo de mostarda deverá conter β -caroteno suficiente para reduzir a deficiência de vitamina A na população indiana e, visto tratar-se de óleo, é esperado que tenha alta biodisponibilidade (Mackey, 2002).

Vitamina C

Vitamina C, cujos nomes químicos são ácido ascórbico ou ascorbato, é um doador de elétrons, antioxidante ou agente redutor. A vitamina C promove a absorção de ferro não-heme, reduzindo, assim, a anemia.

As pessoas que possuem estoques máximos (20 mg/kg) de vitamina C podem viver durante dois meses, sem o consumo de vitamina C, sem que os sinais clínicos de deficiência apareçam. Com um consumo abaixo de 30 mg/dia, as concentrações plasmáticas ficam em 11 μ mol/L. Acima desse consumo, as concentrações aumentam rapidamente para 60 μ mol/L (FAO/WHO, 1998).

Uma justificativa para o aumento do teor de vitamina C em alimentos é o fato de esta conferir proteção contra cataratas, câncer e lesões oxidativas no DNA do esperma. Segundo Ames (2001), os fumantes deveriam ingerir muito mais vitamina C que os não-fumantes para alcançar o mesmo nível de vitamina C no plasma. O risco de câncer para descendentes de pais fumantes é maior quando o consumo de antioxidante da dieta é baixo.

O nível de vitamina C pode ser aumentado, expressando-se o gene que codifica a enzima L-galactona- α -lactona desidrogenase (Dunwell, 1999). Em plantas e alguns animais, mas não no homem, o ácido ascórbico

é sintetizado a partir da glicose.

Genes codificando sorbose desidrogenase e sorbose desidrogenase de *Gluconobacter oxydans* inseridas no mesmo organismo possibilitam a conversão de sorbitol a 2-ceto-L-gulonato. *Erwinia herbicola* contendo o gene de *Corynebacterium* sp. converte glicose em ácido 2-cetogulônico, o qual pode ser facilmente convertido em ácido ascórbico (Demain, 2000).

Fitato

O fitato, uma molécula de açúcar/álcool ligado a seis grupos fosfato, é uma fonte de fósforo para a semente, necessária para a germinação (Raboy, 2001). Uma redução no teor de fitato pode ser inaceitável, já que reduziria o teor de fósforo total. Além disso, altos conteúdos de fitato estão associados com altos conteúdos de ferro e zinco (Graham et al., 1999). Entretanto, na alimentação, o fitato é um fator antinutricional porque quela ferro, cálcio, zinco e outros íons divalentes, tornando-os indisponíveis para absorção. Tal efeito negativo do ácido fítico tem maior impacto em países em desenvolvimento, onde grande parte da população tem como principais fontes de zinco os cereais, tubérculos e as leguminosas e acesso limitado a alimentos de origem animal. Os efeitos benéficos do mioinositol na saúde, como agente anticancerígeno e antioxidante, têm maior impacto nos países desenvolvidos, onde a maior preocupação é com patologias associadas ao envelhecimento, como dano oxidativo e câncer (Brinch-Pedersen et al., 2002).

A adição de fitase de *Aspergillus niger* em soja e canola, via transgênese, levou a uma menor excreção de fósforo nas fezes de frangos e de suínos, indicando maior biodisponibilidade de fósforo e de outros minerais normalmente quelados ao fitato, como ferro e zinco. Além disso, a menor liberação de fósforo no ambiente reduz seu arraste pela água, reduzindo o impacto ambiental. O uso de fitase em vez da remoção do fitato do alimento tem a vantagem de não reduzir o teor de fósforo do alimento, além de aumentar a sua biodisponibilidade (Brinch-Pedersen et al., 2002).

Para melhorar o valor nutritivo mineral, a biotecnologia (biofortificação) pode ser aplicada de três formas: para elevar a concentração de minerais em tecidos apropriados, como endosperma de cereais; para elevar os níveis de compostos que aumentam o uso do mineral e reduzir os fatores antinutricionais, como mioinositol. Em humanos, milho com baixo teor de fitato, contendo 73% do fosfato disponível, teve a absorção de zinco aumentada em 76% (Raboy, 2001).

Produtos de origem animal

O melhoramento genético, as técnicas de reprodução e a manipulação da alimentação animal têm levado a melhorias na produção e valor nutritivo da carne de suínos, aves, peixes e ruminantes em geral.

A manipulação da composição da carne de suínos tem possibilitado alterações. Por exemplo, o aumento do teor de ácidos graxos monoinsaturados, a redução da relação de ácidos graxos ω -6/ ω -3 de 7 a 10 para 4 a 5 e o aumento do conteúdo de ácidos graxos polinsaturados de cadeia longa (EPA e DHA), elevando, assim, a sua qualidade nutricional e propiciando maiores benefícios à saúde.

A qualidade da carcaça e a homogeneidade dos animais quando abatidos poderiam ser melhoradas com o uso da clonagem ou da produção *in vitro* de embriões em larga escala. Em médio prazo, é possível a integração da biotecnologia da reprodução com a genética quantitativa e molecular. No longo prazo, a competitividade das carnes de ovelha e cabrito poderia ser amplamente aumentada pelas novas técnicas reprodutivas e genéticas. Entretanto, ainda não está claro se esses avanços serão bem aceitos pelos consumidores nos países desenvolvidos. Pesquisa no Reino Unido apontou os organismos geneticamente modificados (OGM) como a principal preocupação do consumidor, entretanto técnicas de manipulação na criação de peixes, como a ginogênese, a androgênese e a transgênese, têm sido usadas rotineiramente. Existem previsões de uso de carnes com baixos teores de gordura e de colesterol obtidas de animais transgênicos. Questiona-se,

entretanto, se a obtenção dessas características desejáveis só será possível por meio da modificação genética, utilizando-se transgênicos.

O papel da biotecnologia será, num primeiro momento, limitada à preservação da biodiversidade e à autenticidade do produto, mas desempenhará um papel importante em termos de desenvolvimento sustentável da produção animal extensiva.

O número e as condições das fibras musculares são parâmetros fisiológicos importantes no animal vivo e determinantes-chave da qualidade e quantidade da carne. A interação entre genes e fisiologia pode determinar a qualidade e quantidade da carne. Isso pode beneficiar a indústria da carne pelo aumento da quantidade de tecido magro da matéria-prima, com ótimas características de qualidade e menor variabilidade do produto final (Garnier et al., 2002).

A aceitação da biotecnologia animal encontra-se nos dias de hoje apoiada em preocupações de ordem ética, segurança alimentar e ambiental, bem-estar dos animais, benefícios para os consumidores, produtores e agroindústria e impacto socioeconômico. A biotecnologia pode ser aplicada para melhorar a *performance* dos animais com uma melhor nutrição, aumento do potencial de produção, melhoria do estado de saúde e redução dos resíduos pela melhor utilização dos recursos (Bonneau e Laarveld, 1999).

A adição de enzimas pode melhorar a disponibilidade de nutrientes de alimentos, diminuir custos de alimentação e reduzir os dejetos de produção no ambiente. Pré e probióticos ou suplementos imunes podem inibir microrganismos intestinais patogênicos ou tornar o animal mais resistente a eles. A biotecnologia pode melhorar o valor nutricional das plantas, ou incorporar vacinas ou anticorpos na alimentação, o que protegerá o animal mais eficientemente contra doenças.

A administração de somatotropina recombinante acelera o crescimento e proporciona carcaça mais magra e aumenta a produção de leite. Entretanto, quando administrada em longo prazo, aumenta a incidência de osteocondrose, cartilagem macia, úlcera estomacal, resistência à insulina e estresse.

Pode também reduzir a capacidade de detoxificação do fígado, reduzindo a eliminação de xenobióticos pelos animais (Bonneau e Laarveld, 1999).

A expressão do gene somatotropina em peixes e porcos proporciona crescimento mais rápido, melhor eficiência alimentar e carcaça mais magra. A expressão do hormônio IGF-1 (fator de crescimento semelhante à insulina) no músculo aumenta o crescimento muscular em porcos. O gene *c-ski* em porcos e gado resulta em hipertrofia muscular (Bonneau e Laarveld, 1999).

Os avanços da engenharia genética podem ser aplicados para melhorar a produção e sua eficiência, alterar a composição do leite e auxiliar na prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças. Algum progresso já foi alcançado, como o desenvolvimento de bactérias que produzem grandes quantidades de proteína e são importantes reguladoras do metabolismo; seleção mais rápida e melhoria no cruzamento de animais e plantas pela transferência de genes; desenvolvimento de testes de DNA no diagnóstico de doenças infecciosas; e produção de anticorpos monoclonais para o tratamento de doenças, dentre outras. A biologia molecular tem ainda o potencial de produzir animais transgênicos capazes de produzir leite com diferente composição; a concentração de caseína poderá ser aumentada ou modificada, visando à produção de queijo; a proteína β -lactoglobulina, que causa problemas na manufatura do leite, poderia ser suprimida; a concentração de gordura no leite poderia ser reduzida pela supressão da enzima CoA carboxilase, assim como a concentração de lactose poderia ser reduzida pela remoção da α -lactoalbumina ou pela introdução de uma enzima capaz de quebrar a lactose em glicose e galactose; e outras modificações de interesse da indústria e do consumidor (Chalupa et al., 1996).

Embora sejam muitas as aplicações da biotecnologia para a produção animal, sua aceitação é pequena. Os benefícios podem ser grandes para a indústria de alimentos, como a melhoria na carcaça dos animais. Também pode beneficiar tanto a indústria como a população, pela redução dos custos de tratamentos medicamentosos dos animais, menor produção de resíduos,

menor resistência a antibióticos, menor impacto ambiental e melhor saúde animal (Bonneau e Laarveld, 1999).

Considerações finais

Diversos compostos, como vitaminas e minerais, antioxidantes, ácidos graxos insaturados, fibras alimentares, flavonóides, prebióticos e probióticos, são reconhecidos por prevenir ou retardar o aparecimento de doenças como aterosclerose e câncer, dentre outras, e podem ter seus teores aumentados nos alimentos pela biotecnologia.

A biotecnologia apresenta grande potencial para a produção de alimentos com melhores propriedades nutricionais e funcionais, entretanto o baixo acesso à literatura científica atualizada acerca das suas possíveis aplicações tem gerado insegurança e resistência de certos indivíduos na aceitação dos seus produtos.

Segundo Roberts et al. (2001), o conhecimento do genoma e as possíveis modificações na composição nutricional e funcional dos alimentos podem ser uma perspectiva futura para a manipulação de doenças como fenilcetonúria, enteropatias induzidas pelo glúten e intolerância à lactose. Ainda doenças crônico-degenerativas não-transmissíveis, como doenças cardiovasculares, câncer, obesidade, diabetes mellitus, doença de Parkinson e de Alzheimer poderão ser melhores conhecidas, diagnosticadas, prevenidas e tratadas.

O uso do genoma na prevenção dietética de doenças está por ser estabelecido, e o campo da nutrição tem que se tornar mais ativo na demonstração de mecanismos que direcionem a conexão entre dieta e fenótipo de acordo com variações genéticas específicas.

Referências Bibliográficas

- Ames, B.N. 2001. DNA damage from micronutrient deficiencies is likely to be a major cause of cancer. *Mutation Research. Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 475: 7-20.
- Barbosa, M.C.A. 1997. Determinação de inibidores de proteases em soja e em seus derivados protéicos. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa.
- Barkovich, R.; Liao, J.C. 2001. Metabolic engineering of isoprenoids. *Metabolic Engineering*, 3: 27-39.
- Berg, R.D. 1998. Probiotics, prebiotics or conbiotics? *Trends in Microbiology*, 6: 89-92.
- Bonneau, M.; Laarveld, B. 1999. Biotechnology in animal nutrition, physiology and health. *Livestock Production Science*, 59: 223–241.
- Bostid, F.R.R. 1988. Quality-protein maize. Washington: National Academic Press. 100 p.
- Bouis, H.E. 1999. Economics of enhanced micronutrient density in food staples. *Field Crops Research*, 60: 65-173.
- Brinch-Pedersen, H.; Sørensen, L.D.; Holm, P.B. 2002. Engineering crop plants: getting a handle on phosphate. *Trends in Plant Science*, 7: 118-125.
- Chakraborty, S.; Chakraborty, N.; Datta, A. 2000. Increased nutritive value of transgenic potato by expressing a nonallergenic seed albumin gene from *Amaranthus hypochondriacus*. *PNAS*, 97: 3724-3729.
- Chaleff, R.S. 1984. Applications of plant cell culture to crop improvement, 177-192. In: Puett, D. Human fertility, health and food. Impact of molecular biology and biotechnology. New York: United Nations Fund for Population Activities. 254 p.
- Chalupa, W.; Galligan, D.T.; Ferguson, J.D. 1996. Animal nutrition and management in the 21 st century: dairy cattle. *Animal Feed Science Technology*, 58: 1-18.
- Chassy, B.M. 2002. Food safety evaluation of crops produced through biotechnology. *Journal of the American College of Nutrition*, 21:166S-173S.
- Demain, A.L. 2000. Small bugs, big business: the economic power of the microbe. *Biotechnology Advances*, 18: 499-514.
- Dieryck, W.; Paginier, J.; Poyart, C.; Marden, M.C. 1997. Human haemoglobin from transgenic tobacco. *Nature*, 386: 29-30.
- Dunwell, J.M. 1999. Transgenic crops: the next generation, or an example of 2020 vision. *Annals of Botany*, 84: 269-277.
- FAO/WHO. 1998. Human vitamin and mineral requirements. Report of a joint FAO/WHO expert consultation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 286 p. www.fao.org/HumanVitaminandMineralRequirements.htm
- Forkmann, G.; Martens, S. 2001. Metabolic engineering and applications of flavonoids. *Current Opinion in Biotechnology*, 12: 155–160.
- Friedrich, M. J. 1999. Genetically enhanced rice to help fight malnutrition. *JAMA*, 282: 1508-1509.
- Garnier, J.P.; Klont, R.; Plastow, G. 2002. The potential impact of current animal research on the meat industry and consumer attitudes towards meat. *Meat Science*. Article In Press, 9p.
- Graham, R.; Senadhira, D.; Beebe, S.; Iglesias, C.; Monasterio, I. 1999. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. *Field Crops Research*, 60: 57-80.
- Grotz, N.; Guerinot, M.L. 2002. Limiting nutrients: an old problem with new solutions? *Current Opinion in Plant Biology*, 5: 158–163.
- Grusak, M.A. 2002 Enhancing mineral content in plant food products. *Journal of the American College of Nutrition*, 21: 178S–183S.
- Heyer, A.G.; Lloyd, J.; Kossmann, J. 1999. Production of modified polymeric carbohydrates. *Current Opinion in Biotechnology*, 10: 169–174.
- Hirschberg, J. 1999. Production of high-value compounds: carotenoids and vitamin E. *Current Opinion in Biotechnology*, 10: 186–191.
- Jensen, L.G.; Olsen, O.; Kops, O.; Wolf, N.; Thomsen, K.K.; Wettstein, D. 1996. Transgenic barley expressing a protein-engineered, thermostable (1,3-1,4)-b-glucanase during germination. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93: 3487-3491.
- Kemper, E.L. 1999. Estudo da Modulação e do Papel Funcional da Enzima Lisina-Cetoglutarato redutase em

- milho. Joinville, – SC: UNICAMP. 142 p. Tese (Doutorado)-Universidade Estadual de Campinas
- Kishore, G.M.; Shewmaker, C. 1999. Biotechnology: enhancing human nutrition in developing and developed worlds. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96: 5968–5972.
- Kuipers, O.P. 1999. Genomics for food biotechnology: prospects of the use of high-throughput technologies for the improvement of food microorganisms. *Current Opinion in Biotechnology*, 10: 511–516.
- Liu, Q.; Singh, S.; Green, A. 2002. High-oleic and high-stearic cottonseed oils: Nutritionally improved cooking oils developed using gene silencing. *Journal of the American College of Nutrition*, 21: 205S–211S.
- Lönnerdal, B. 2002. Expression of human milk proteins in plants. *Journal of the American College of Nutrition*, 21: 218S–221S.
- Lucca, P.; Hurrell, R.; Potrykus, I. 2002. Fighting iron deficiency anemia with iron-rich rice. *Journal of the American College of Nutrition*, 21: 184S–190S.
- Mackey, M. 2002. The application of biotechnology to nutrition: An overview. *Journal of the American College of Nutrition*, 21: 157S–160S.
- Marzzoco, A.; Torres, B.B. 1999. *Bioquímica básica*. 2. ed. São Paulo: Guanabara. 360 p.
- Mason, H.S.; Haq, T.A.; Clements, J.D.; Arntzen, C.J. 1998. Edible vaccine protects mice against *Escherichia coli* heat-labile enterotoxin (LT): potatoes expressing a synthetic LT-B gene. *Vaccine*, 16: 1336–1346.
- Monteiro, M.R.P. 2001. Avaliação da digestibilidade e da qualidade protéica de linhagens de soja com ausência do inibidor de tripsina Kunitz e das isoenzimas lipoxigenases. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ. 69 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa.
- Murphy, D.J. 1999. Production of novel oils in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 10: 175–180.
- Raboy, V. 2001. Seeds for a better future: 'low phytate' grains help to overcome malnutrition and reduce pollution. *Trends in Plant Science*, 6: 458–462.
- Reilly, C. 1996. Biotechnology: Science and the consumer. *Trends in Food Science & Technology*, 7: 336–338.
- Roberts, M.A.; Mutch, D.M.; German, J.B., 2001. Genomics: food and nutrition. *Current Opinion in Biotechnology*, 12: 516–522.
- Rocheford, T.R.; Wong, J.C.; Egesel, C.O.; Lambert, R.J. 2002. Enhancement of vitamin E levels in corn. *Journal of the American College of Nutrition*, 21: 191S–198S.
- Ruel, M.T.; Bouis, H.E. 1998. Plant breeding: a long-term strategy for the control of zinc deficiency in vulnerable populations. *American Journal of Clinical Nutrition*, 68: 488S–494S.
- Sayanova, O.; Smith, M.A.; Lapinskas, P.; Stobart, A.K.; Dobson, G.; Christie, W.W.; Shewry, P.R.; Napier, J.A. 1997. Expression of a borage desaturase cDNA containing an N-terminal cytochrome b_5 domain results in the accumulation of high levels of n^6 -desaturated fatty acids in transgenic tobacco. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 94: 4211–4216.
- Schiffirin, E.J.; Blum, S. 2001. Food processing: probiotic microorganisms for beneficial foods. *Current Opinion in Biotechnology*, 12: 499–502.
- Sévenier, R.; Meer, I.M.V.D.; Bino, R.; Koops, A.J. 2002. Increased production of nutriment by genetically engineered crops. *Journal of the American College of Nutrition*, 21: 199S–204S.
- Silva, M.V. 1989. Influência de lipoxigenases 1 e 3 no sabor de extratos hidrossolúveis de soja. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ. 47 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa.
- Speirs, J.; Lee, E.; Holt, K.; Young-Duk, K.; Scott, N.S.; Loveys, B.; Schuch, W. 1998. Genetic manipulation of alcohol dehydrogenase levels in ripening tomato fruit affects the balance of some flavor aldehydes and alcohols. *Plant Physiology*, 117: 1047–1058.
- Takase, K.; Hagiwara, K. 1998. Expression of human alpha-lactalbumin in transgenic tobacco. *Journal of Biochemistry, Tokyo*, 123: 440–444.
- UNICEF. 1996. Nutrition. 18 nations fortify foods site: www.unicef.org/pon96/nutortif.htm. consultado em 07/2002.
- Utsumi, S.; Katsube, T.; Ishige, T.; Takawa, F. 1997. Molecular design of soybean glycinins with enhanced food qualities and development of crop producing such glycinins. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 115: 1–15.
- Vaughan, E.E.; Mollet, B.; Vos, W.M. 1999. Functionality of probiotics and intestinal lactobacilli: light in the intestinal tract tunnel. *Current Opinion in Biotechnology*, 10: 505–510.
- Verpoorte, R.; Memelink, J., 2002. Engineering secondary metabolite production in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 13: 181–187.
- Verrips, C.T.; Warmoeskerken, MMCG; Post, J.A. 2001. General introduction to the importance of genomics in food biotechnology and nutrition. *Current Opinion in Biotechnology*, 12: 483–487.
- Willen, M.V. 2001. Advances in genomics for microbial food fermentations and safety. *Current Opinion in Biotechnology*, 12: 493–498.
- Winter, K.; Rodriguez, G. 1997. Consumers' views on nutrition and public health. *Proceedings of the Nutrition Society*, 56: 879–888.
- Wiseman, A.; Woods, L.; Ridgeway, T. 2001. Bioprocessing to generate 'multifunctional' foods? *Trends in Biotechnology*, 19, 89–90.
- Worrall, D.; Elias, L.; Ashford, D.; Smallwood, M.; Sidebottom, C.; Lillford, P.; Telford, J.; Holt, C.; Bowles, D. 1998. A carrot leucine-rich-repeat protein that inhibits ice recrystallization. *Science*: 282: 115–117.
- Zhao, F.J.; Hawkesford, M.J.; McGrath, S.P. 1999. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Science*, 30: 1–17.
- Zimmermann, M.B.; Hurrell, R.F. 2002. Improving iron, zinc and vitamin A nutrition through plant biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 13: 142–145.