

Fatores a serem observados no balanceamento de dietas para vacas de leite quando se utilizam alimentos com alta fibra (byproducts)

B.J. Bradford e C.R. Mullins
Department of Animal Sciences and Industry
Kansas State University

INTRODUÇÃO

A última década foi marcada por aumento na pressão para o uso da terra, com escassez na oferta de *commodities* e maiores preços dos grãos, acarretando aumento significativo nos custos de ração nas granjas de leite. Entretanto, essas tendências foram acompanhadas por maior fornecimento de dietas contendo subprodutos (*byproducts*) com alto teor de fibra, muitos deles derivados da produção de biocombustíveis. Na realidade, estima-se que 40% do grão de milho colhido nos Estados Unidos em 2010 foi utilizado no processo de moagem a seco (World Agricultural Outlook Board, 2011).

Outras culturas também são processadas com o objetivo de recuperar frações específicas da planta e, em muitos casos, as fibras da cultura têm pouco valor aos fabricantes. Consequentemente, muitos subprodutos do processamento industrial apresentam um teor relativamente alto de fibras, tornando-os especialmente apropriados para serem usados como ingredientes da ração de ruminantes. Algumas das fontes de fibras não-forrageiras mais comuns (FFNF; $\geq 30\%$ de fibra detergente neutro) fornecidas nos Estados Unidos são o farelo de glúten de milho úmido (FGMU), grãos de destilaria (DGS), casca de soja e polpa de beterraba. Este artigo destacará a literatura relacionada ao fornecimento de FFNF com o objetivo de apresentar aos nutricionistas estratégias práticas para a incorporação desses ingredientes na dieta de vacas de leite, sem comprometer a saúde ou a produtividade.

ESTRATÉGIAS DE FORMULAÇÃO

Tradicionalmente, muitos nutricionistas enfatizam que a relação forragem:concentrado é o ponto de partida para a formulação de dietas para gado de leite. Infelizmente, essa métrica é um tanto imprecisa para atender às necessidades nutricionais de uma vaca em lactação; por exemplo, tanto a silagem de milho como a palha de trigo são consideradas forragens, embora suas propriedades químicas e físicas sejam totalmente diferentes. Tais problemas ficam bem mais evidentes com a inclusão de FFNF, que são ricas em fibras (como as forragens) porém rapidamente digeridas e passadas pelo rúmen (como os concentrados). Nas últimas décadas, a maioria dos nutricionistas passou a se basear em concentrações-alvo de energia, fibra detergente neutro (FDN), proteína e micronutrientes. Está implícito na relação forragem:concentrado ou nos níveis-alvo de FDN/energia que a produtividade das vacas em lactação é geralmente limitada pela energia fornecida (Allen, 2000). Ainda assim, uma fibra fisicamente efetiva e adequada também é necessária à manutenção da saúde ruminal e ao rendimento da gordura no leite.

Ao incorporarmos um novo ingrediente ao TMR, ficamos tentados a substituir diretamente um componente já presente na dieta. Estudos revelam que o grão de

milho pode ser substituído com sucesso por casca de soja (Ipharraguerre et al., 2002) ou por uma combinação de casca de soja e casca de caroço de algodão (Beckman e Weiss, 2005). Em ambos os estudos, a concentração de gordura no leite aumentou significativamente, com poucos efeitos em outros parâmetros produtivos. No entanto, a substituição direta raramente consiste no uso ideal de tais ingredientes. Isto foi demonstrado por outros estudos nos quais a casca de soja ou a polpa de beterraba substituiu o grão de milho e reduziu a produção de leite (Nakamura e Owen, 1989; Pantoja et al., 1994) ou a produção de proteína no leite (Mansfield e Stern, 1994; Mansfield et al., 1994).

Muitas FFNF fornecem nutrientes valiosos além da fibra digestível e, na maior parte das vezes, esse nutriente é proteína. Desta forma, é comum as FFNF substituírem uma combinação de grãos cereais e de farelos de oleaginosas nas dietas (Armentano e Dentine, 1988; Clark e Armentano, 1997; Younker et al., 1998). Entretanto, mesmo essa abordagem mais equilibrada para a formulação de dietas com FFNF pode sacrificar a produtividade devido à queda no aporte de energia digestível. Embora a FDN das FFNF seja relativamente digestível em comparação à FDN da forragem, a substituição de carboidratos não fibrosos (CNF) altamente digestíveis por FDN pode reduzir a ingestão alimentar, diminuir a digestibilidade da dieta e limitar a produção de leite (Anderson et al., 2006; MacLeod et al., 1985; Schingoethe et al., 1999; Staples et al., 1984).

Trabalhos mais recentes com FFNF indicam que esses ingredientes podem ser utilizados com maior eficácia quando os alvos tradicionais para carboidratos são deixados de lado e a FDN não-forrageira é utilizada para substituir uma combinação de FDN da forragem e amido. Essas fontes altamente digestíveis de FDN podem fornecer quantidades substanciais de matéria orgânica fermentável no rúmen, com produção de ácido mais constante em comparação a concentrados com alto teor de amido (Fellner e Belyea, 1991; Stock et al., 2000). Também podem substituir porções de fibra da forragem, caso as características físicas da dieta permaneçam suficientes para estimular a ruminação (Allen e Grant, 2000).

Uma série de 3 experimentos relatados por Boddugari et al. (2001) demonstrou muito bem as respostas típicas a essas diferentes abordagens para o uso de FFNF. No primeiro estudo, um produto da moagem semelhante ao FGMU foi utilizado para substituir 0, 50, 75 ou 100% dos concentrados em uma dieta de lactação. Conforme indicado acima, a substituição de CNF por FDN reduziu a ingestão de matéria seca, embora neste caso o rendimento leiteiro tenha se mantido, melhorando a eficiência alimentar (Boddugari et al., 2001). Um segundo experimento avaliou a substituição parcial da forragem além da substituição completa dos concentrados pelo produto da moagem; as 4 dietas continham 45, 53, 62 e 70% de FFNF (base de MS), com apenas 30% de forragem na dieta mais radical. À medida que a taxa de inclusão de FFNF aumentava nesse experimento, a produção de leite aumentava também, porém sem elevar o rendimento da gordura (Boddugari et al., 2001). O terceiro e último estudo foi realizado para comparar uma dieta controle a outra contendo 40% do produto da moagem, substituindo porções da forragem e do concentrado. Essa abordagem para o uso de FFNF levou a aumento de 6 kg/d no rendimento de leite corrigido para gordura, impulsionado por aumento de 20% na eficiência produtiva (Boddugari et al., 2001). De fato, uma vasta quantidade de informações indica que além de reduzir os custos com a dieta, o fornecimento de FFNF em níveis ideais

melhora a produtividade das vacas de leite (Aliyu e Bala, 2011; Ipharraguerre e Clark, 2003; Nadeem e Sufyan, 2005; Schingoethe et al., 2009).

Energia

Em vez de se concentrarem em nutrientes específicos como fontes de energia, muitos nutricionistas simplesmente formulam a dieta para atingir uma determinada densidade energética preditiva. Entretanto, essa abordagem tem desvantagens. As previsões de modelos para fornecimento de energia são famosas pela falta de precisão e tais previsões têm uma probabilidade ainda maior de serem imprecisas no caso de FFNF. Há várias razões para isso: em primeiro lugar, essas previsões de energia baseiam-se em modelos de dados que não costumavam considerar dietas com altas taxas de inclusão de FFNF, sem falar que os modelos não levam em conta os efeitos associativos das dietas, que provavelmente serão um fator importante quando uma quantidade substancial de CNF for substituída por FDN não-forrageira (Beckman e Weiss, 2005). Por último, uma das respostas mais consistentes à substituição parcial de forragem por FFNF é o aumento na IMS (Kononoff et al., 2006; Mullins et al., 2010; Sullivan et al., 2011), que não é considerado nos modelos, tornando as previsões de densidade energética menos relevantes. Portanto, em vez de formular a dieta tendo como alvo a densidade energética ou o amido, o uso de grandes quantidades de FFNF requer um processo mais flexível e interativo.

Com base na experiência, a abordagem abaixo consiste em um meio efetivo de formular dietas com altas taxas de inclusão de FFNF:

- 1) Estabeleça uma concentração mínima de fibra efetiva para manter a saúde do rúmen e o rendimento da gordura no leite. Inclua as forragens necessárias à obtenção dessas exigências, com uma margem adequada de segurança.
- 2) Incorpore a combinação de FFNF e concentrados para fornecer pelo menos 34% de CNF, deixando a FDN total aumentar à medida que as FFNF são incorporadas.
- 3) Avalie o fornecimento de ácidos graxos insaturados disponíveis no rúmen e ajuste as taxas de inclusão para limitar o risco de queda da gordura no leite (Lock, 2010).
- 4) Avalie as previsões do aporte de proteína (incluindo proteína não-degradável no rúmen), lisina metabolizável e metionina metabolizável. Ajuste as proporções dos ingredientes ou adicione fontes de aminoácidos *bypass* para equilibrar os fornecimentos de proteína.
- 5) Reavalie as metas para as etapas 1-3 e depois faça um balanço dos micronutrientes.

É possível que o uso dessa abordagem deixe as concentrações de FDN bem mais elevadas que as encontradas em uma dieta típica mas mesmo assim, devido à alta digestibilidade da FDN não-forrageira, tais dietas poderão fornecer matéria orgânica fermentável no rúmen adequada à produção de altos níveis de proteína microbiana e ácidos graxos voláteis (Hristov, 2006) e, por sua vez, rendimento leiteiro (Dann e Grant, 2009). Dietas que incorporem mais de 20% de FFNF conseguem suportar rendimentos leiteiros acima de 50 kg/d com menos de 22% de amido e até 37% de FDN (Boguhn et al., 2010; Ferraretto et al., 2011; Gencoglu et

al., 2010). Muitas outras dietas à base de FFNF conseguem sustentar níveis de produção acima de 35kg/d com apenas 25-36% de CNF (Batajoo e Shaver, 1994; Boddugari et al., 2001; Kononoff et al., 2006; Miron et al., 2003; VanBaale et al., 2001; Voelker e Allen, 2003).

Uma diferença significativa nesta abordagem é o fato de que fontes de gordura não serão formuladas em dietas devido à falta de foco na densidade energética. Entretanto, isso não nega a utilidade da gordura em algumas dietas à base de FFNF. Quando a carga de ácidos no rúmen já se encontra elevada e mesmo assim é necessário fornecer mais energia para promover a produção de leite, a adição de gordura pode ser uma forma útil de proporcionar energia adicional. Em um estudo, vacas alimentadas com dietas ricas em FFNF no início da lactação tiveram desempenho superior às vacas alimentadas com uma dieta tradicional, porém a adição de 2,25% de ácidos graxos hidrogenados melhorou ainda mais a produtividade (Weiss e Pinos-Rodriguez, 2009). A inclusão de uma fonte de gordura com disponibilidade ruminal limitada pode acabar reduzindo ainda mais o teor de CNF em dietas à base de FFNF, com possíveis aumentos na produtividade.

Fibra fisicamente efetiva

Apesar da pouca utilidade da relação forragem:concentrado, as características físicas do TMR não podem ser ignoradas. As características físicas da ração total têm grande impacto na mastigação que, por sua vez, afeta a saúde ruminal, IMS, produção de gordura no leite e digestibilidade (Allen e Grant, 2000). A substituição de FFNF por grãos provavelmente terá efeito mínimo no tamanho da partícula, porém a substituição pela forragem poderá reduzir muito o tamanho médio da partícula da dieta. Consequentemente, os nutricionistas precisam considerar a FDN fisicamente efetiva (FDNfe) ao formularem as dietas.

Há múltiplas formas de calcular a FDNfe, mas as definições aceitas levam em conta a capacidade de estimular a mastigação, de manter a concentração da gordura no leite e a produção, ou ambas (Grant, 1997). Assim, a FDNfe combina informações sobre comprimento da partícula e teor químico da dieta. Fontes de fibras não-forrageiras possuem pequeno tamanho médio da partícula e, de um modo geral, baixos teores de lignina e altos teores de fibra digestível, portanto a inclusão de FFNF nas dietas reduzirá a efetividade física da FDN. Isto pode ser benéfico, caso a distensão ruminal esteja restringindo a IMS (Allen, 2000) e desde que o nível de carboidratos fermentáveis não ultrapasse a capacidade ruminal de neutralização e saída de ácidos graxos voláteis.

Apesar do valor teórico da FDNfe, os métodos de aplicação no campo para calcular a FDNfe de uma dieta permanecem um tanto vagos. Uma meta-análise (Zebeli et al., 2008) demonstrou associações razoavelmente fortes entre $FDNfe_{> 1,18}$ e pH ruminal e rendimento da gordura no leite. A variável $NDFfe_{> 1,18}$ deriva da determinação da proporção de partículas da ração mista total retidas em uma peneira de 1,18 mm, multiplicada pela concentração de NDF total da dieta (Mertens, 1997). Embora a meta-análise tenha indicado que a $FDNfe_{> 1,18}$ é uma métrica valiosa para um TMR típica para animais de leite, a base de dados usada para avaliação não se concentrou em dietas ricas em FFNF. Na realidade, no banco de dados a concentração média de FDN da forragem correspondeu a 21,9% da MS

(Zebeli et al., 2008) e as dietas à base de FFNF podem conter apenas 12% de FDN da forragem (Harvatine et al., 2002; Miron et al., 2003; Mullins et al., 2010). Com uma proporção tão pequena de FDN de fontes forrageiras é pouco provável que o uso de FDN total da dieta como fator nos cálculos de $\text{FDNfe}_{>1,18}$ resulte em uma métrica útil.

Isso pode ser demonstrado por uma comparação de resultados recentes com taxas baixas e altas de inclusão de FFNF. Yang e Beauchemin (2007) utilizaram basicamente forragens e concentrados tradicionais em diferentes proporções e comprimentos de corte para gerar dietas com uma ampla gama de valores de $\text{FDNfe}_{>8,0}$. Um dos achados do estudo revelou que $\text{FDNfe}_{>8,0}$ (a proporção de partículas retidas em uma peneira de 8mm multiplicada pelo teor de FDN na dieta) foi um valor preditivo bem superior da dinâmica do pH ruminal em comparação à $\text{FDNfe}_{>1,18}$ (Yang e Beauchemin, 2007). Entretanto, à exceção de uma única dieta com $\text{NDF}_{>8,0}$ de apenas 9,6% de MS, o rendimento da gordura no leite se manteve em todos os tratamentos. Por outro lado, outro estudo recente avaliou 3 dietas com taxas de inclusão de FGMU entre 33 – 56% de MS e concentrações de FDN da forragem caindo de 15,3 para 9,3% da MS (Rezac et al., 2010). Embora as concentrações de $\text{FDNfe}_{>8,0}$ nessas dietas tenham permanecido acima de 10,7% da MS, a dieta com menores níveis de forragem apresentou queda de quase 20% no rendimento da gordura no leite, causando acidose clínica. Nesse experimento, os valores de $\text{FDNfe}_{>1,18}$ foram ainda menos preditivos; a $\text{FDNfe}_{>1,18}$ foi maior na dieta que induziu a redução da gordura no leite em comparação à dieta controle (Rezac et al., 2010). Com base nessas comparações, tudo indica que os limiares de FDNfe considerados seguros nas dietas tradicionais talvez não se apliquem a dietas com altos níveis de FFNF. Nesses exemplos, a gordura no leite se manteve quando a FDN da forragem correspondeu a 16,0% da MS (Yang e Beauchemin, 2007) ou 12,9% da MS, mas não quando os níveis caíram para 9,3% da MS (Rezac et al., 2010), indicando que a FDN da forragem não deve ser ignorada em dietas baseadas em FFNF.

Infelizmente ainda não há uma única ferramenta para quantificar a adequação das fibras nas dietas para vacas de leite e prever, de forma uniforme, as respostas da saúde ruminal às dietas. Para dietas à base de FFNF, defendemos uma abordagem semelhante à proposta pelo NRC (2001), que utiliza uma escala móvel das concentrações de FDN da forragem e FDN total. Por exemplo, recomenda-se no mínimo 18% de NDF da forragem se o teor de FDN total da dieta for apenas 27%, porém 15% de NDF da forragem será necessária se o FDN total corresponder a 33% da MS. Esta abordagem foi expandida com sucesso para 12-13% de FDN da forragem com 31-35% de FDN total sem induzir queda da gordura no leite (Miron et al., 2003; Mullins et al., 2010; Rezac et al., 2010). Essa abordagem reflete o conceito de que a eficácia da FDN não-forrageira corresponde à metade da eficácia da FDN da forragem para manter a função ruminal e o rendimento da gordura no leite (Swain e Armentano, 1994). Se essas diretrizes forem seguidas e as dietas formuladas para que >35% das partículas fiquem retidas em uma peneira de 8mm (Kononoff et al., 2003) o esperado é que as dietas com FFNF promovam uma função ruminal normal. A FFNF úmida pode ajudar a atender às exigências de fibras, uma vez que tende a aglutinar os componentes da dieta, evitando que as vacas separem partículas maiores de forragem (Sullivan et al., 2011).

Apesar da importância da fibra efetiva para os bovinos de leite, não podemos nos esquecer de que a queda da gordura no leite é um problema multifatorial. Por exemplo, o fornecimento de amido não degradável no rúmen deve ser um fator de risco independente, tanto para a queda no pH ruminal (Zebeli et al., 2008) quanto para a redução da gordura no leite (Maia et al., 2009). Na realidade, é provável que uma das principais explicações para o fornecimento seguro de altos níveis de FFNF em dietas com pouca forragem é o fato de que tais dietas são normalmente pobres em amido; já fornecemos dietas com apenas 14% de amido (Rezac et al., 2010). Em segundo lugar, a degradabilidade da fração de FDN da forragem também deve ser considerada. Mesmo que as concentrações recomendadas de FDN da forragem sejam atingidas, dietas à base de FFNF com FDN da forragem altamente degradável (por exemplo, silagem de milho midrib com nervura marrom) podem ainda assim reduzir a gordura no leite (Holt et al., 2010). Por último, algumas FFNF (principalmente DGS) podem fornecer uma carga substancial de ácidos graxos insaturados disponíveis no rúmen, introduzindo outro importante fator de risco que reduz a gordura no leite (Hippen et al., 2010). Todos esses fatores devem ser considerados na formulação de uma dieta favorável à produção satisfatória de componentes.

Proteína

O uso de FFNF pode ter um impacto significativo nas frações protéicas de uma dieta. Algumas FFNF, como FGMU, fornecem uma fonte de proteína altamente degradável, enquanto outras, como DGS, tendem a fornecer mais proteína não-degradável no rúmen, principalmente na presença de um produto seco (Kononoff et al., 2007). Esses fatores podem ter efeito considerável na formulação da dieta. Por exemplo, se a proteína não-degradável no rúmen obtida de DGS de milho for utilizada em substituição a um produto de farelo de soja *bypass* (tentando, assim, manter o fornecimento de proteína metabolizável), a composição de aminoácidos da proteína metabolizável poderá ser sensivelmente alterada. Em um cenário como esse, é possível que o primeiro aminoácido limitante mude de metionina para lisina, e a suplementação com fontes de aminoácidos limitantes poderá ajudar a aumentar a produção de proteína no leite (Nichols et al., 1998). Embora as previsões de modelos de fornecimento de aminoácidos metabolizáveis sejam raramente precisas em dietas com altos níveis de FFNF, ainda assim os nutricionistas deveriam pensar em ajustar as fontes de proteína *bypass*, caso os fornecimentos previstos de metionina e/ou lisina variem consideravelmente em relação às exigências.

LIMITAÇÕES E PREOCUPAÇÕES PRÁTICAS

Apesar de grandes diferenças nos perfis de nutrientes de cada FFNF, os nutricionistas devem levar em conta conceitos nutricionais semelhantes ao incorporarem esses ingredientes às dietas. O aspecto mais importante a considerar ao se incluir um ingrediente é sua derivação. Muitos subprodutos são tratados como resíduos durante o processamento industrial, facilitando a introdução de fatores antinutricionais. Desta forma, os nutricionistas devem estar cientes do processo de derivação para auxiliarem no monitoramento de problemas potenciais

Variabilidade

A composição química e física dos ingredientes pode variar drasticamente entre lotes. Por exemplo, o NRC (2001) registrou um alto desvio padrão para concentrações de proteína bruta ($23,8 \pm 5,7\%$) e FDN ($35,5 \pm 6,8\%$) de FGMU. Em um estudo canadense, Droppo et al. (1985) testaram a composição de nutrientes e MS de 4 amostras de cada uma das 14 cargas de FGMU entregues por caminhões de uma única instalação de amido. Embora a faixa dos valores de MS fosse ampla (40-48%), o mais preocupante foi a variabilidade nos teores de proteínas e minerais entre as cargas; os coeficientes de variação estavam entre 12 e 35%. Não foi surpresa observar uma variabilidade semelhante entre fornecedores de outras FFNF (Kleinschmit et al., 2007). A variação no teor de nutrientes provavelmente reflete diferenças nas fontes do material de processamento ou diferenças na técnica de processamento daquele lote em particular. Assim, os nutricionistas devem estar cientes dessa variação ao incorporarem tais ingredientes às dietas.

Há abordagens para reduzir os riscos associados à variação na composição dos ingredientes. Uma delas consiste em trabalhar com um único fornecedor capaz de demonstrar maior consistência nos produtos. Apesar do preço mais alto geralmente cobrado por esses produtos, a TMR ficará mais consistente, compensando esse custo adicional. Outra estratégia comum é minimizar o risco associado a qualquer ingrediente individual através de uma mistura de diferentes fontes de FFNF. Por exemplo, Leiva et al., (2000) forneceram uma dieta contendo 46% de FFNF, utilizando porém 4 ingredientes diferentes. A estratégia adequada para uma determinada granja de leite depende muito do número e dos tipos de FFNF com boa relação custo-benefício na região, bem como do tamanho da granja (ver abaixo).

Estabilidade

Um dos fatores que restringe o valor de baixas taxas de inclusão de FFNF em pequenas granjas de leite é a vida útil limitada de ingredientes úmidos. Considerando que as granjas de leite geralmente precisam aceitar a entrega de uma carga inteira de ração para conseguirem um preço razoável, a granja deve consumir toda essa carga entre 4 e 10 dias, principalmente em climas quentes. Para aumentar a vida útil, a maioria das FFNF pode ser submetida à secagem, mas isso agrega custos adicionais substanciais e desconsidera a vantagem da proximidade de uma instalação de fontes. Além disso, em alguns casos os produtos úmidos podem ser mais digestíveis e dar maior suporte à produtividade (Anderson et al., 2006).

Embora os produtos secos costumem ser a melhor opção para manter a estabilidade do produto, existem outras estratégias para preservar a ração. Por exemplo, a ensilagem de FGMU em sacos plásticos para silos preserva a qualidade, conforme demonstrado pelo pH, temperatura e concentrações de ácidos orgânicos (Jaster et al., 1984). No entanto, o pequeno tamanho da partícula das FFNF úmidas pode fazer com que os sacos estiquem demais e arrebentem, e a baixa fluidez desses produtos pode causar problemas em silos verticais. Uma possível solução consiste em misturar as FFNF com alguma outra forragem e ensilar a mistura (Schroeder, 2010). Outra abordagem para preservar a FFNF úmida é a aplicação de um agente antimicrobiano, como ácido propiônico, excelente para preservação a curto prazo (Geetha et al., 2009).

CONCLUSÃO

A incorporação de FFNF nas dietas de vacas em lactação oferece a oportunidade de aumentar a lucratividade da granja ao reduzir os custos com a ração e, possivelmente, aumentar a produção de leite. Vários fatores deverão ser levados em conta ao se adicionarem esses ingredientes às dietas de vacas em lactação e talvez as regras gerais convencionais não se apliquem quando esses ingredientes forem fornecidos em grandes quantidades. Dietas formuladas para complementar as características de qualquer FFNF, em vez de uma substituição única para um ingrediente, aumentarão a probabilidade de melhor aproveitamento.

REFERÊNCIAS

- Aliyu, S. and M. Bala. 2011. Brewer's spent grain: a review of its potentials and applications. *Afr. J. Biotechnol.* 10(3):324-331.
- Allen, D. M. and R. J. Grant. 2000. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83(2):322-331.
- Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83(7):1598-1624.
- Anderson, J. L., D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur, and A. R. Hippen. 2006. Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89(8):3133-3142.
- Armentano, L. E. and M. R. Dentine. 1988. Wet corn gluten feed as a supplement for lactating dairy cattle and growing heifers. *J. Dairy Sci.* 71(4):990-995.
- Batajoo, K. K. and R. D. Shaver. 1994. Impact of nonfiber carbohydrate on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77(6):1580-1588.
- Beckman, J. L. and W. P. Weiss. 2005. Nutrient digestibility of diets with different fiber to starch ratios when fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88(3):1015-1023.
- Boddugari, K., R. J. Grant, R. Stock, and M. Lewis. 2001. Maximal replacement of forage and concentrate with a new wet corn milling product for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84(4):873-884.
- Boguhn, J., H. Kluth, M. Bulang, T. Engelhard, and M. Rodehutschord. 2010. Effects of pressed beet pulp silage inclusion in maize-based rations on performance of high-yielding dairy cows and parameters of rumen fermentation. *Animal* 4(01):30-39.
- Clark, P. W. and L. E. Armentano. 1997. Influence of particle size on the effectiveness of beet pulp fiber. *J. Dairy Sci.* 80(5):898-904.
- Dann, H. M. and R. J. Grant. 2009. Feeding low starch diets. Pages 143-157 in *Proc. Tri-State Dairy Nutr. Conf.*, Ft. Wayne, IN.
- Droppo, T. E., G. K. MacLeod, and D. G. Grieve. 1985. Composition and storage characteristics of wet corn gluten feed. *Can. J. Anim. Sci.* 65:265-268.
- Fellner, V. and R. L. Belyea. 1991. Maximizing gluten feed in corn silage diets for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74(3):996-1005.
- Ferraretto, L. F., R. D. Shaver, M. Espineira, H. Gencoglu, and S. J. Bertics. 2011. Influence of a reduced-starch diet with or without exogenous amylase on lactation performance by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94(3):1490-1499.
- Geetha, P., C. Valli, and V. Balakrishnan. 2009. Evolving effective preservation technique for distiller's grain. *Tamilnadu J. Vet. Anim. Sci.* 5(5):186-193.

- Gencoglu, H., R. D. Shaver, W. Steinberg, J. Ensink, L. F. Ferraretto, S. J. Bertics, J. C. Lopes, and M. S. Akins. 2010. Effect of feeding a reduced-starch diet with or without amylase addition on lactation performance in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93(2):723-732.
- Grant, R. J. 1997. Interactions among forages and nonforage fiber sources. *J. Dairy Sci.* 80(7):1438-1446.
- Harvatine, D. I., J. L. Firkins, and M. L. Eastridge. 2002. Whole linted cottonseed as a forage substitute fed with ground or steam-flaked corn: digestibility and performance. *J. Dairy Sci.* 85(8):1976-1987.
- Hippen, A. R., D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur, P. L. Linke, D. R. Rennich, M. M. Abdelqader, and I. Yoon. 2010. *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in dairy cow diets containing dried distillers grains plus solubles. *J. Dairy Sci.* 93(6):2661-2669.
- Holt, M. S., C. M. Williams, C. M. Dschaak, J. S. Eun, and A. J. Young. 2010. Effects of corn silage hybrids and dietary nonforage fiber sources on feed intake, digestibility, ruminal fermentation, and productive performance of lactating Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93(11):5397-5407.
- Hristov, A. N. 2006. Carbohydrate effects on the efficiency of utilization of ruminal ammonia nitrogen for milk protein synthesis in dairy cows. Pages 109-139 in *Trends in Dietary Carbohydrates Research*. M. V. Landow, ed. Nova Publishers.
- Ipharraguerre, I. R. and J. H. Clark. 2003. Soyhulls as an alternative feed for lactating dairy cows: a review. *J. Dairy Sci.* 86(4):1052-1073.
- Ipharraguerre, I. R., R. R. Ipharraguerre, and J. H. Clark. 2002. Performance of lactating dairy cows fed varying amounts of soyhulls as a replacement for corn grain. *J. Dairy Sci.* 85(11):2905-2912.
- Jaster, E. H., C. R. Staples, G. C. McCoy, and C. L. Davis. 1984. Evaluation of wet corn gluten feed, oatlage, sorghum-soybean silage, and alfalfa haylage for dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 67(9):1976-1982.
- Kleinschmit, D. H., J. L. Anderson, D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur, and A. R. Hippen. 2007. Ruminal and intestinal degradability of distillers grains plus solubles varies by source. *J. Dairy Sci.* 90(6):2909-2918.
- Kononoff, P. J., A. J. Heinrichs, and D. R. Buckmaster. 2003. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *J. Dairy Sci.* 86(5):1858-1863.
- Kononoff, P. J., S. K. Ivan, and T. J. Klopfenstein. 2007. Estimation of the proportion of feed protein digested in the small intestine of cattle consuming wet corn gluten feed. *J. Dairy Sci.* 90(5):2377-2385.
- Kononoff, P. J., S. K. Ivan, W. Matzke, R. J. Grant, R. A. Stock, and T. J. Klopfenstein. 2006. Milk production of dairy cows fed wet corn gluten feed during the dry period and lactation. *J. Dairy Sci.* 89(7):2608-2617.
- Leiva, E., M. B. Hall, and H. H. Van Horn. 2000. Performance of dairy cattle fed citrus pulp or corn products as sources of neutral detergent-soluble carbohydrates. *J. Dairy Sci.* 83(12):2866-2875.
- Lock, A. 2010. Update on dietary and management effects on milk fat. Pages 15-26 in *Proc. Tri-State Dairy Nutr. Conf.*, Fort Wayne, IN.
- MacLeod, G. K., T. E. Droppo, D. G. Grieve, D. J. Barney, and W. Rafalowski. 1985. Feeding value of wet corn gluten feed for lactating dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 65:125-134.
- Maia, M. R. G., R. J. B. Bessa, and R. J. Wallace. 2009. Is the trans-10 shift that sometimes occurs in the ruminal biohydrogenation of linoleic acid caused by low

- pH or starch? A Rusitec study. Pages 276-277 in Ruminant physiology. Digestion, metabolism, and effects of nutrition on reproduction and welfare. Y. Chilliard, F. Glasser, Y. Faulconnier, F. Bocquier, I. Veissier, and M. Doreau, ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Mansfield, H. R. and M. D. Stern. 1994. Effects of soybean hulls and lignosulfonate-treated soybean meal on ruminal fermentation in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77(4):1070-1083.
- Mansfield, H. R., M. D. Stern, and D. E. Otterby. 1994. Effects of beet pulp and animal by-products on milk yield and in vitro fermentation by rumen microorganisms. *J. Dairy Sci.* 77(1):205-216.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80(7):1463-1481.
- Miron, J., E. Yosef, E. Maltz, and I. Halachmi. 2003. Soybean hulls as a replacement of forage neutral detergent fiber in total mixed rations of lactating cows. *Anim. Feed Sci. Tech.* 106(1-4):21-28.
- Mullins, C. R., K. N. Grigsby, D. E. Anderson, E. C. Titgemeyer, and B. J. Bradford. 2010. Effects of feeding increasing levels of wet corn gluten feed on production and ruminal fermentation in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93(11):5329-5337.
- Nadeem, A. and A. B. Sufyan. 2005. Partial replacement of forage fiber with non-forage fiber in ruminant ration: a review. *Pakistan Vet. J.* 25(2):92-97.
- Nakamura, T. and F. G. Owen. 1989. High amounts of soyhulls for pelleted concentrate diets. *J. Dairy Sci.* 72(4):988-994.
- Nichols, J. R., D. J. Schingoethe, H. A. Maiga, M. J. Brouk, and M. S. Piepenbrink. 1998. Evaluation of corn distillers grains and ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81(2):482-491.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. National Research Council. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Pantoja, J., J. L. Firkins, M. L. Eastridge, and B. L. Hull. 1994. Effects of fat saturation and source of fiber on site of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77(8):2341-2356.
- Rezac, D. J., K. N. Grigsby, and B. J. Bradford. 2010. Effects of varying inclusion rates of prairie hay and wet corn gluten feed on productivity of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93 (E-Suppl. 1):515 (Abstr.).
- Schingoethe, D. J., M. J. Brouk, and C. P. Birkelo. 1999. Milk production and composition from cows fed wet corn distillers grains. *J. Dairy Sci.* 82(3):574-580.
- Schingoethe, D. J., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, and A. D. Garcia. 2009. Invited review: The use of distillers products in dairy cattle diets. *J. Dairy Sci.* 92(12):5802-5813.
- Schroeder, J. W. 2010. Corn gluten feed: composition, storage, handling, feeding and value. North Dakota State University Extension Publication AS-1127.
- Staples, C. R., C. L. Davis, G. C. McCoy, and J. H. Clark. 1984. Feeding value of wet corn gluten feed for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67(6):1214-1220.
- Stock, R. A., J. M. Lewis, T. J. Klopfenstein, and C. T. Milton. 2000. Review of new information on the use of wet and dry milling feed by-products in feedlot diets. *J. Anim. Sci.* 77 (E-Suppl.):1-12.
- Sullivan, M. L., K. N. Grigsby, and B. J. Bradford. 2011. Effects of corn gluten feed and effective NDF on ruminal pH and productivity of lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 94 (E-Suppl. 1):455 (Abstr.).
- Swain, S. M. and L. E. Armentano. 1994. Quantitative evaluation of fiber from nonforage sources used to replace alfalfa silage. *J. Dairy Sci.* 77(8):2318-2331.

- VanBaale, M. J., J. E. Shirley, E. C. Titgemeyer, A. F. Park, M. J. Meyer, R. U. Lindquist, and R. T. Ethington. 2001. Evaluation of wet corn gluten feed in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84(11):2478-2485.
- Voelker, J. A. and M. S. Allen. 2003. Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 1. Effects on feed intake, chewing behavior, and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86(11):3542-3552.
- Weiss, W. P. and J. M. Pinos-Rodriguez. 2009. Production responses of dairy cows when fed supplemental fat in low- and high-forage diets. *J. Dairy Sci.* 92(12):6144-6155.
- World Agricultural Outlook Board. 2011. World Agricultural Supply and Demand Estimates; July 12, 2011. United States Department of Agriculture.
- Yang, W. Z. and K. A. Beauchemin. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: chewing and ruminal pH. *J. Dairy Sci.* 90(6):2826-2838.
- Younker, R. S., S. D. Winland, J. L. Firkins, and B. L. Hull. 1998. Effects of replacing forage fiber or nonfiber carbohydrates with dried brewers grains. *J. Dairy Sci.* 81(10):2645-2656.
- Zebeli, Q., J. Dijkstra, M. Tafaj, H. Steingass, B. N. Ametaj, and W. Drochner. 2008. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *J. Dairy Sci.* 91(5):2046-2066.