



***XXXIX CONGRESO ANUAL DE LA SOCIEDAD
CHILENA DE PRODUCCION ANIMAL***

37º CONGRESO ARGENTINO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

***SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE AVANCES EN
NUTRICIÓN DE VACAS LECHERAS***

2014

TABLA DE CONTENIDOS

PRÓLOGO	3
“SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE AVANCES EN NUTRICIÓN DE VACAS LECHERAS”	5
Milk fat and human health: opportunities and challenges	6
Production and metabolic consequence of heat stress: potential nutritional strategies	12
Una mirada actual a los sistemas de alimentación de vacas lecheras que combinan pasturas y raciones totales mezcladas.....	25
Antecedentes de respuesta lechera y comportamiento alimenticio de vacas lecheras recibiendo distintas ofertas de pradera y suplementación, durante el otoño y primavera	34
Control of feed intake in the transition period.....	41
Metabolismo energético en vacas lecheras	43

Prologo

Desde la década del 60 se viene registrando un aumento sostenido tanto de la productividad agrícola como así también de la demanda mundial de alimentos. Si miramos con detenimiento lo que ha sucedido con la lechería, este sector no escapa a la tendencia general. Según datos de la FAO, el consumo mundial per capita de productos lácteos durante la década del 60 fue de alrededor de 28 kg mientras que el actual ronda los 45 kg y se espera que llegue a más de 65 kg por habitante en 2030. Esto indica no solo un cambio en la cantidad de alimento sino en la calidad de los mismos ya que países de menores ingresos incorporan proteínas de alto valor biológico en sus dietas conforme sus economías mejoran. En este contexto, la investigación juega un rol clave para el desarrollo de nuevas estrategias de aumento de la producción. Además, tan importante como la investigación, las actividades de divulgación de estos nuevos conocimientos cobran una necesidad y relevancia muy alta. Se sabe existe una brecha muy importante entre el conocimiento generado y las tecnologías finalmente adoptadas. En este primer “Simposio Internacional sobre Avances en Nutrición de Vacas Lecheras” se intenta acortar esa brecha y poner a disposición de técnicos, investigadores y productores las últimas actualizaciones en la materia.

Si bien la temática principal del Simposio se refirió a la nutrición y fisiología de la vaca lechera de alta producción, uno de los temas abordados por el Dr. Dale Bauman resulta de sumo interés para toda la comunidad. Durante años se ha divulgado información en contra del consumo de grasas de origen animal, entre ellas la grasa de la leche. En este simposio, el Dr. Bauman expone datos que contradicen lo antes mencionado y pone claridad sobre cual es el valor real de la grasa butirosa de la leche. Otro bloque destacable es el que se refiere al manejo de la nutrición y la eficiencia de producción, temas abordados por el Ing. Mendoza, el Dr. Pulido y el Dr. Allen. En el primer caso, el Ing. Mendoza deja en evidencia que la maximización del

consumo de energía durante la lactancia temprana no solo tiene efecto sobre la producción de leche actual sino que también tiene un efecto residual positivo sobre el resto de la lactancia. A su vez, el Dr. Pulido menciona diferentes estrategias de suplementación que ayudan a eficientizar tanto la producción animal, la producción por hectárea y la eficiencia de uso de las praderas. Finalmente, en esta sección, el Dr. Allen explica con gran detalle como el consumo de materia seca se ve afectado durante el parto, con especial énfasis en la “vaca fresca”. Su trabajo rompe con algunos conceptos clásicos y propone una nueva teoría para explicar la fisiología del consumo en esta etapa crítica del ciclo productivo.

En cuanto a fisiología de la vaca lechera, el Dr. Relling hizo una puesta en común del metabolismo energético de las vacas lecheras, cuyo entendimiento ayuda a comprender y mejorar las herramientas nutricionales que deberíamos utilizar para disminuir el balance energético negativo, mejorar la producción de leche y el bienestar animal. Por último, el Dr. Lance Baumgard expone con detenimiento como se altera el metabolismo de vacas lecheras de alta producción durante periodos de estrés calórico y que estrategias nutricionales y de manejo del ambiente pueden disminuir la incidencia de este cada vez más importante problema asociado al cambio climático.

Este primer “Simposio Internacional sobre Avances en Nutrición de Vacas Lecheras” fue el fruto del trabajo conjunto llevado a cabo entre la Asociación Argentina de Producción Animal (AAPA), la Sociedad Chilena de Producción Animal (SOCHIPA) y la American Dairy Science Association (ADSA). Es nuestro anhelo que los trabajos expuestos sean de suma utilidad, esa es nuestra intención como organizadores, achicar la brecha entre el conocimiento generado y la tecnología adoptada.

Alejandro Palladino, PhD

Fernando Bargo, PhD

**“SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE AVANCES EN NUTRICIÓN DE
VACAS LECHERAS”**

MILK FAT AND HUMAN HEALTH: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Dale E. Bauman[†] and Adam L. Lock*

[†]Department of Animal Science, Cornell University

*Department of Animal Science, Michigan State University
e-mail: deb6@cornell.edu

ABSTRACT

For over a half-century the concept of healthy eating has become synonymous with avoiding fat, especially saturated fat, and this remains a centerpiece in nutritional advice of medical societies and government agencies worldwide. Investigations have shown the science behind this advice, however was based on incomplete and in some cases flawed investigations. Nutritional science has advanced rapidly and evidence now demonstrates that the proportion of total energy from fat or saturated fat is largely unrelated to the risk of cardiovascular diseases or other chronic diseases. Furthermore, milk and dairy products are key components in dietary patterns chosen for optimum health maintenance and the prevention of chronic diseases.

INTRODUCTION

Dairy products are an important source for many vital nutrients including high quality protein, energy, and many essential minerals and vitamins and public health organizations around the world include dairy products in recommendations for a healthy, well-balanced diet (Rice et al., 2013). Dairy products, however, are also a major dietary source of saturated fat, accounting for about 30% of the saturated fat intake (Lock et al., 2014). For over a half-century, saturated fat has been demonized as the major cause of cardiovascular disease (CVD) and public health recommendations are to reduce dietary intake of saturated fat. As a consequence, perception of milk fat is negative and typical dietary advice is to consume only reduced-fat or non-fat dairy products.

Cardiovascular diseases include coronary heart disease, cerebrovascular disease, and other related disorders of the heart and blood vessels. Globally CVD is a leading cause of death, accounting for about one-third of all deaths (Roger et al., 2011). New research and re-evaluation of previous research is challenging long-held dogma on the relationship between saturated fat, milk fat, and CVD. While national organizations and health professionals will be cautious in revising decade-old recommendations, the last few years have provided game-changing scientific evidence that revises the paradigm for the connection between saturated fat and CVD. Furthermore, these new studies have convincingly demonstrated the important role that milk and dairy products play in health maintenance and the prevention of chronic diseases. In the following sections we will deal briefly with some background and historical aspects related to saturated fat and CVD, and then highlight recent findings related to the role of milk and milk fat in human health.

BACKGROUND AND HISTORICAL ASPECTS

The idea that dietary fat, specifically saturated fat, was a major public health concern was first proposed by Keys (1953). Using WHO population data, he reported a curvilinear relationship between the intake of fat and deaths from coronary heart disease for six countries.

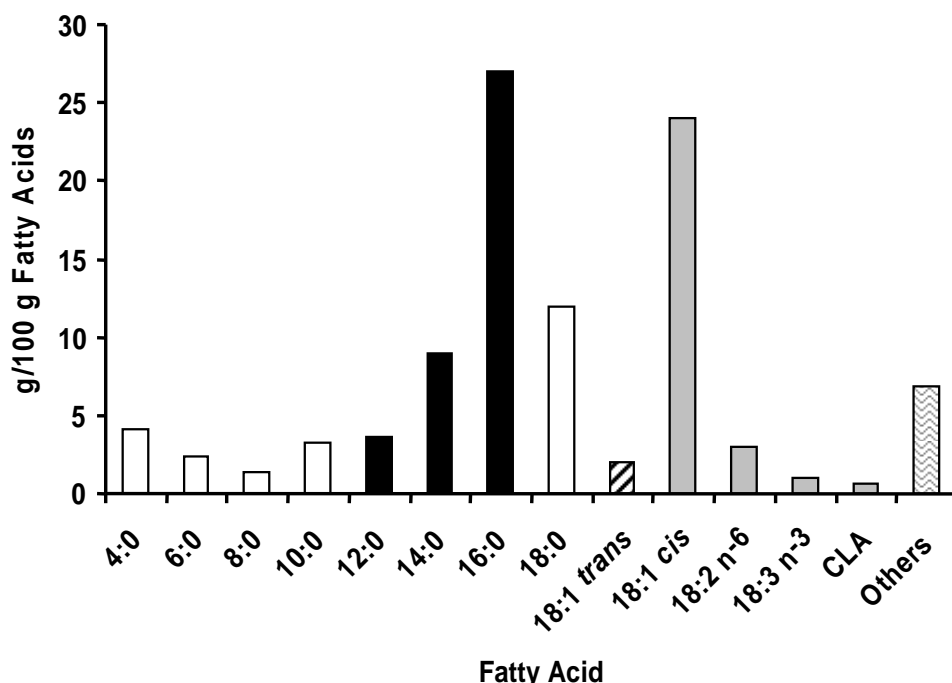


Figure 1. Fatty acid composition of U.S. retail milk supply. Bar coding for fatty acids (FA) is as follows: white + black bars = saturated FA, black bars = saturated FA considered atherogenic, shaded bars = unsaturated FA and crossed hatched bar = *trans* FA. Adapted from O'Donnell-Megrano et al. (2011).

Based on this, Keys (1953; 1980) proposed the “diet-heart hypothesis” suggesting a sequence of etiologic relations between dietary saturated fat, circulating cholesterol, and CVD. In retrospect, other scientists identified several misrepresentations and critical flaws in Keys work; nevertheless, Keys was a charismatic individual and the diet-heart hypothesis was well received by many health practitioners and policy makers. This particularly impacted public perception of dairy products because dairy fat contains 60 to 70% saturated FA (Figure 1). Thus, beginning in the 1970s public health recommendations were to dramatically reduce the intake of saturated fat including a reduction in the consumption of dairy products and/or a shift to low-fat or non-fat dairy products.

The case against dairy foods was also linked to an imperfect understanding of cholesterol as a surrogate marker of CVD risk (Lock et al., 2014). Lauric acid (12:0), myristic acid (14:0), and palmitic acid (16:0) represent about 40% of milk FA (Figure 1), and are noteworthy because they cause pronounced increases in serum low density lipoprotein-cholesterol (LDL-cholesterol), a biomarker for CVD risk (Hegsted et al., 1965). However, they also cause an increase in serum high-density lipoprotein-cholesterol (HDL-C) and this cholesterol fraction reduces the risk of CVD. Thus, when changes in both LDL-C and HDL-C are considered, these saturated FA do not reflect an increased risk for CVD as

convincingly demonstrated by a meta-analysis of data from 60 clinical studies (Mensink et al., 2003).

RECENT DEVELOPMENTS IN SATURATED FAT AND MILK FAT

For the last 50 years the CVD concern has led to dietary recommendations by nationally recognized bodies to reduce saturated fat intake to as low as possible. The World Health Organization recommends saturated fat intake be reduced to less than 10% of dietary calories and the Guidelines by the American Heart Association recommends saturated fat be reduced to an even lower <7% of total calories (Huth and Park, 2012). However, scientists have started to challenge these recommendations emphasizing flaws in the diet-heart hypothesis of Keys and the lack of support from scientific studies (Ravnskov, 2002; Hoenselaar, 2012; Lawrence, 2013). Several excellent investigations have been reported in the last few years that challenge these recommendations and the following represent key examples.

Elwood et al. (2010) conducted a meta-analysis of prospective cohort studies to examine associations between the intake of milk and dairy products and the incidence of ischemic heart disease and stroke. Results indicated *“a reduction in risk in subjects with the highest dairy consumption relative to those with the lowest intake”*; relative risk values were 0.92 for ischemic heart disease and 0.79 for stroke (Elwood et al., 2010).

Siri-Tarino et al. (2010) conducted a meta-analysis of 21 prospective epidemiologic studies that covered a 5 to 23 year follow-up of 347,747 subjects and again results indicated *“there is no significant evidence that dietary saturated fat is associated with an increased risk of coronary heart disease or CVD”* (Siri-Tarino et al., 2010).

Soedamah-Muthu et al. (2011) conducted a similar meta-analysis comparing intake of dairy products and the risk of CVD (including coronary heart disease, stroke, and mortality); their meta-analysis gained greater analytical power by including different dairy food categories and different ranges of intake. Results demonstrated that *“milk intake was not associated with total mortality, but may be inversely associated with overall CVD risk”*; relative risk for the later was 0.94 (Soedamah-Muthu et al., 2011).

Goldbohm et al. (2011) reported results from a large cohort study designed to examine the association between the intake of dairy products and mortality; data covered a 10 year period for 120,852 men and women, and results indicated no association between dairy product consumption and stroke mortality for men or women. Likewise, there was no association between total milk intake and ischemic heart disease mortality in men, whereas a small positive association was observed for women (relative risk = 1.07; Goldbohm et al., 2011).

In a remarkable effort, Chowdhury et al. (2014) summarized prospective, observational studies (n = 32 based on dietary intake involving 512,420 participants; n = 17 based on FA biomarkers involving 25,721 participants) and randomized, controlled trials (n = 27 involving 105,085 participants). They

concluded, “*Current evidence does not clearly support cardiovascular guidelines that encourage high consumption of polyunsaturated fatty acids and low consumption of total saturated fats*” (Chowdhury et al., 2014).

There is a growing body of research that supports a paradigm shift in conclusions about the relationship between saturated fat, milk fat, and cardiovascular health. Comprehensive reviews by Parodi (2009), Givens and Minihane (2011), Kratz et al. (2012), Huth and Park (2012), and Lock et al. (2014) all concluded that the majority of studies have failed to support any adverse association between the intake of dairy products and CVD, regardless of milk fat levels. Overall, saturated fat, targeted by nearly all nutrition-related professional organizations and governmental agencies, has little or no relation to CVD.

DAIRY PRODUCTS AND HUMAN HEALTH

Consumers are increasing aware of the connection between diet and health, and scientists are being asked to clarify the role of specific foods in health maintenance and the prevention of chronic diseases. Multidisciplinary studies in developing countries demonstrate that when diets of school children had little or no animal source foods, the intake of essential micronutrients was inadequate resulting in negative health outcomes including severe problems such as poor growth, impaired cognitive performance, neuromuscular deficits, psychiatric disorders and even death (Neumann et al., 2002; Randolph et al., 2007). Milk and dairy products contain 9 essential nutrients, making them a nutrient-rich food that is included in dietary recommendations around the world.

Long-term effects of milk and dairy products on health and the prevention of chronic diseases of the general population are also of interest, and these would best be determined in randomized controlled trials. There have been no such trials and realistically none are likely because of the required number of subjects and the long latency period associated with chronic diseases. The best evidence, therefore, comes from prospective cohort studies with disease events or death as the outcome. A number of prospective cohort studies have evaluated the association between the intake of milk and dairy products and the incident of chronic diseases. Results of meta-analysis of such studies provide convincing evidence that milk and dairy products are associated with beneficial effects for long-term health maintenance and the prevention of chronic diseases. The beneficial effects in reducing the risk of CVD was discussed earlier, and additional examples of chronic diseases for which consumption of dairy products reduces risk include: diabetes, obesity, metabolic syndrome and many types of cancer (Elwood et al., 2008; 2010; Tremblay and Gilbert, 2009; Kliem and Givens, 2011; Grantham et al., 2012; Korhonen, 2012; Kratz et al., 2012; Rice et al., 2013). Overall, the science clearly demonstrates the importance of milk and dairy products in childhood development, health maintenance, and the prevention of chronic diseases. Indeed, linking the benefits of milk consumption with deaths from key chronic diseases led Elwood et al. (2008) to conclude that high milk consumers have an “*overall survival advantage*”.

REFERENCES

- Chowdhury, R., S. Warnakula, S. Kunutsor, F. Crowe et al. 2014. Association of dietary, circulating, and supplement fatty acids with coronary risk. *Ann. Int. Med.* 160:398-406.
- Elwood, P.C., D.I. Givens, A.D. Beswick, A.M. Fehily et al. 2008. The survival advantage of milk and dairy consumption: an overview of evidence from cohort studies of vascular diseases, diabetes and cancer. *J. Am. Coll. Nutr.* 27:723S-734S.
- Elwood, P.C., J.E. Pickering, D.I. Givens, and J.E. Gallagher. 2010. The consumption of milk and dairy foods and the incidence of vascular disease and diabetes: an overview of the evidence. *Lipids* 45:925-939.
- Givens, D.I., and A.-M. Minihane. 2009. Dairy products: their role in the diet and effects on cardiovascular disease. Pages 163-180 in *Fatty Acids in Health Promotion and Disease Causation*. R.R. Watson, ed. AOCS Publications, Urbana, IL.
- Goldbohm, R.A., A.M. Chorus, F. Galindo Garre, L.J. Schouten, and P.A. van den Brandt. 2011. Dairy consumption and 10-y total and cardiovascular mortality; a prospective cohort study in the Netherlands. *Am. J. Clin. Nutr.* 93:615-627.
- Grantham, N.M., D.J. Magliano, A. Hodge, J. Jowett, P. Meikle, and J.E. Shaw. 2012. The association between dairy food intake and the incidence of diabetes in Australia: the Australian Diabetes, Obesity and Lifestyle Study. *Public Health Nutrition*, Available on CJO 2012 doi:10.1017/S1368980012001310.
- Hegsted, D.M., R.B. McGandy, M.L. Myers, and F.J. Stare. 1965. Quantitative effects of dietary fat on serum cholesterol in man. *Am. J. Clin. Nutr.* 17:281-295.
- Hoenselaar, R. 2012. Saturated fat and cardiovascular disease: the discrepancy between the scientific literature and dietary advice. *Nutr.* 28:118:123.
- Huth, P.J., and K.M. Park. 2012. Influence of dairy product and milk fat consumption on cardiovascular disease risk: a review of the evidence. *Adv. Nutr.* 3:266-285.
- Keys, A. 1953. Atherosclerosis: a problem in newer public health? In: *Recent Adv. Therapy*. Mt. Sinai Hosp. 20:118-139.
- Keys, A. 1980. *Seven countries: a multivariate analysis of death and coronary heart disease*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Kliem, K.E., and D.I. Givens. 2012. Dairy products in the food chain: their impact on health. *Ann. Rev. Food Sci.* 2:21-36.
- Korhonen, H.J. 2012. Production and properties of health-promoting proteins and peptides from bovine colostrum and milk. *Cell. Mol. Biol.* 58:26-38.
- Kratz, M., T. Baars, and S Guyenet. 2012. The relationship between high-fat dairy consumption and obesity, cardiovascular, and metabolic disease. *Eur. J. Nutr.* DOI 10.1007/s00394-012-0418-1, published online: 19 July 2012.
- Lawrence, G.D. 2013. Dietary fats and health: dietary recommendations in the context of scientific evidence. *Adv. Nutr.* 4:294-302.

- Lock, A.L., D.I. Givens and D.E. Bauman. 2014. I. Givens and D.E. Bauman. 2014. Dairy fat: perceptions and realities. Chapter 6 in *Milk and Dairy Products as Functional Foods*. A. Kanekanian, ed., Wiley Blackwell Oxford, UK.
- Mensink, R.P., P.L. Zock, A.D. M. Kester, and M.B. Katan. 2003. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.* 77:1146-1155.
- Neumann, C.D. M. Harris, and L.M. Rogers. 2002. Contribution of animal source foods in improving diet quality and function in children in the developing world. *Nutr. Res.* 22:193-220.
- O'Donnell-Megaró, A.M., D.M. Barbano, and D.E. Bauman. 2011. Survey of fatty acid composition of retail milk in the United States including regional and seasonal variations. *J. Dairy Sci.* 94:59–65.
- Parodi, P.W. 2009. Has the association between saturated fatty acids, serum cholesterol and coronary heart disease been over emphasized? *Int. Dairy J.* 19:345-361.
- Randolph, T.F., E. Schelling, D. Grace, C.F. Nicholson et al. 2007. Invited review: Role of livestock in human nutrition and health for poverty reduction in developing countries. *J. Anim. Sci.* 85:2788-2800.
- Ravnskov, U. 2002. A hypothesis out-of-date, the diet-heart idea. *J. Clin. Epidemiol.* 55:1057-1063.
- Rice, B.H., E.E. Quann, and G.D. Miller. 2013. Meeting and exceeding dairy recommendations: effects of dairy consumption on nutrient intakes and risk of chronic disease. *Nutr. Rev.* 71:209-223.
- Roger, V.L., A.S. Go, D.M. Lloyd-Jones et al. 2011. Heart disease and stroke statistics - 2011 update: a report from the American Heart Association. *Circulation* 123:e18-209.
- Sir-Tarino, P.W., Q. Sun, F.B. Hu, and R.M. Krauss. 2010. Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 91:535-546.
- Soedamah-Muthu, S.S., E.L. Ding, W.K. Al-Delaimy, F.B. Hu et al. 2011. Milk and dairy consumption and incidence of cardiovascular diseases and all-cause mortality: dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Am. J. Clin. Nutr.* 93:158-171.
- Tremblay, A., and J.A. Gilbert. 2009. Milk products, insulin resistance syndrome and type 2 diabetes. *J. Am. Coll. Nutr.* 28(Suppl 1):91S-102S.

**PRODUCTION AND METABOLIC CONSEQUENCE OF HEAT STRESS:
POTENTIAL NUTRITIONAL STRATEGIES**
**L.H. Baumgard¹, M.K. Abuajamieh¹, S.K. Stoakes¹, E. Nolan¹, and R.P.
Rhoads²**

¹Iowa State University, ²Virginia Tech University

Lance Baumgard, PhD
Jacobson Professor of Dairy Science
Baumgard@iastate.edu:
515-294-3615

SUMMARY

Environmental-induced hyperthermia compromises efficient animal production and jeopardizes animal welfare. Reduced productive output during heat stress was traditionally thought to result from decreased nutrient intake. Our observations challenge this dogma and indicate heat-stressed animals employ novel homeorhetic strategies to direct metabolic and fuel selection priorities independently of nutrient intake or energy balance. Thus, the heat stress response markedly alters post-absorptive carbohydrate, lipid and protein metabolism independently of reduced feed intake through coordinated changes in fuel supply and utilization by multiple tissues. There may be nutritional, pharmaceutical and managerial options to take advantage of these aforementioned metabolic changes to improve productivity and animal welfare during the warm summer months.

INTRODUCTION

The term “stress” is defined in different ways, but is used to describe influences outside of a body system, which can shift the internal mechanisms away from their normal or resting state (Lee, 1965). Therefore, the term heat stress is used to describe the effects of increasing environmental temperature on different physiological systems. This is of interest to the dairy industry because of the detrimental changes (production, metabolic, reproductive) induced by heat stress (West, 2003; Bernabucci et al., 2005).

Heat stress negatively impacts a variety of dairy parameters including milk yield, milk quality and composition, rumen health, growth and reproduction and therefore is a significant financial burden (~\$900 million/year for dairy in the U.S.; St. Pierre et al., 2003). Advances in management (i.e. cooling systems; Armstrong, 1994; VanBaale et al., 2005) and nutritional strategies (West, 2003) have alleviated some of the negative impact of heat stress on cattle, but productivity continues to decline during the summer. In the upper Midwest, heat-induced poor reproduction may be the costliest issue. For example, pregnancy rates at the Iowa State University Dairy decreased 19% during the 2010 summer and did not return to spring levels until the middle of December.

BIOLOGICAL CONSEQUENCES OF HEAT STRESS

The biological mechanism by which heat stress impacts production and reproduction is partly explained by reduced feed intake, but also includes altered endocrine status, reduction in rumination and nutrient absorption, and increased maintenance requirements (Collier and Beede, 1985; Collier et al.,

2005) resulting in a net decrease in nutrient/energy available for production. This decrease in energy results in a reduction in energy balance (EBAL), and partially explains (reduced gut fill also contributes) why dairy cattle lose significant amounts of body weight when subjected to unabated heat stress (Rhoads et al., 2009; Shwartz et al., 2009; Wheelock et al., 2010).

Reductions in energy intake during heat stress results in a majority of dairy cows entering into negative energy balance (NEBAL), regardless of the stage of lactation. Essentially, the heat-stressed cow enters a bioenergetic state similar (but not to the same extent) to the NEBAL observed in early lactation. The NEBAL associated with the early postpartum period is coupled with increased risk of metabolic disorders and health problems (Goff and Horst, 1997; Drackley, 1999), decreased milk yield and reduced reproductive performance (Lucy et al., 1992; Beam and Butler, 1999; Baumgard et al., 2002; 2006). It is likely that many of the negative effects of heat stress on production, animal health and reproduction indices are mediated by the reduction in EBAL (similar to the transition period). However, it is not clear how much of the reduction in performance (milk yield and reproduction) can be attributed or accounted for by the biological parameters affected by heat stress (i.e. reduced feed intake vs. increased maintenance costs).

RUMEN HEALTH

The heat-stressed cow is prone to rumen acidosis, and many of the lasting effects of warm weather (laminitis, low milk fats etc.) can probably be traced back to a low rumen pH during the summer months. This may be explained by increased respiration rate, which results in enhanced carbon dioxide (CO₂) exhalation. In order to be an effective blood pH buffering system, the body needs to maintain 20:1 bicarbonate (HCO₃⁻) to CO₂ ratio. Due to the hyperventilation-induced decrease in blood CO₂, the kidney secretes HCO₃⁻ to maintain this ratio. This reduces the amount of HCO₃⁻ that can be used (via saliva) to buffer and maintain a healthy rumen pH. In addition, the heat-stressed cow ruminates less (because of the reduced feed intake and increased time respiring) and rumination is a key stimulator of saliva production. Furthermore, heat-stressed cows drool and this, coupled with reduced saliva production reduces the amount of buffering agents entering the rumen. Consequently, care should be taken when feeding “hot” rations during the summer months. In addition, fiber quality is important all the time, but it is paramount during the summer as it has some buffering capacity and stimulates saliva production (Baumgard and Rhoads, 2007).

METABOLIC ADAPTATIONS TO REDUCED FEED INTAKE

A prerequisite to understanding the metabolic adaptations which occur with heat stress, is an appreciation of the physiological and metabolic adjustments to thermal-neutral NEBAL (i.e. underfeeding or during the transition period).

Early lactation dairy cattle enter a unique physiological state during which they are unable to consume enough nutrients to meet maintenance and milk production costs and animals typically enter NEBAL (Moore et al., 2005). Negative energy balance is associated with a variety of metabolic changes that

are implemented to support the dominant physiological condition of lactation (Bauman and Currie, 1980). Marked alterations in both carbohydrate and lipid metabolism ensure partitioning of dietary and tissue derived nutrients towards the mammary gland, and not surprisingly many of these changes are mediated by endogenous somatotropin which naturally increases during periods of NEBAL. One classic response is a reduction in circulating insulin coupled with a reduction in systemic insulin sensitivity. The reduction in insulin action activates adipose lipolysis, leading to the mobilization of non-esterified fatty acids (NEFA; Bauman and Currie, 1980). Increased circulating NEFA are typical in “transitioning” cows and represent (along with NEFA derived ketones) a significant source of energy (and are precursors for milk fat synthesis) for cows in NEBAL. Post-absorptive carbohydrate metabolism is also altered by reduced insulin action during NEBAL which results in reduced glucose uptake by systemic tissues (i.e. muscle and adipose). Reduced nutrient uptake coupled with the net release of nutrients (i.e. amino acids and NEFA) by systemic tissues are key homeorhetic (an acclimated response vs. an acute/homeostatic response) mechanisms implemented by cows in NEBAL to support lactation. The thermal-neutral cow in NEBAL is metabolically flexible, and can depend upon alternative fuels (NEFA and ketones) to spare glucose (Baumgard and Rhoads, 2013). Glucose can then be utilized by the mammary gland to copiously produce milk (Bauman and Currie, 1980).

HEAT STRESS AND PRODUCTION VARIABLES

Heat stress reduces feed intake and milk yield in dairy cattle. The decline in nutrient intake has been identified as a major cause of reduced production (Fuquay, 1981; West, 2002; 2003). However, the exact contribution of reduced feed intake to the overall reduced milk yield or average daily gain remains unknown. To evaluate this question in both dairy and beef cattle we have conducted experiments involving a group of thermal neutral pair-fed animals to eliminate the confounding effects of dissimilar nutrient intake. The pair-feeding model is necessary in order to differentiate between the direct and indirect effects of heat stress (mediated by reduced feed intake) on production and metabolism. Utilizing this model has allowed us to determine that the heat-induced decrease in nutrient intake only accounts for approximately 50% of the decrease in milk yield (Figures 1 and 2: Rhoads et al., 2009; Wheelock et al., 2010). The model indicates that direct effects of heat explain ~50-60% of decreased milk synthesis. Therefore, identifying hyperthermia-induced direct changes is likely a prerequisite to develop mitigation strategies to maximize milk yield during the warm summer months.

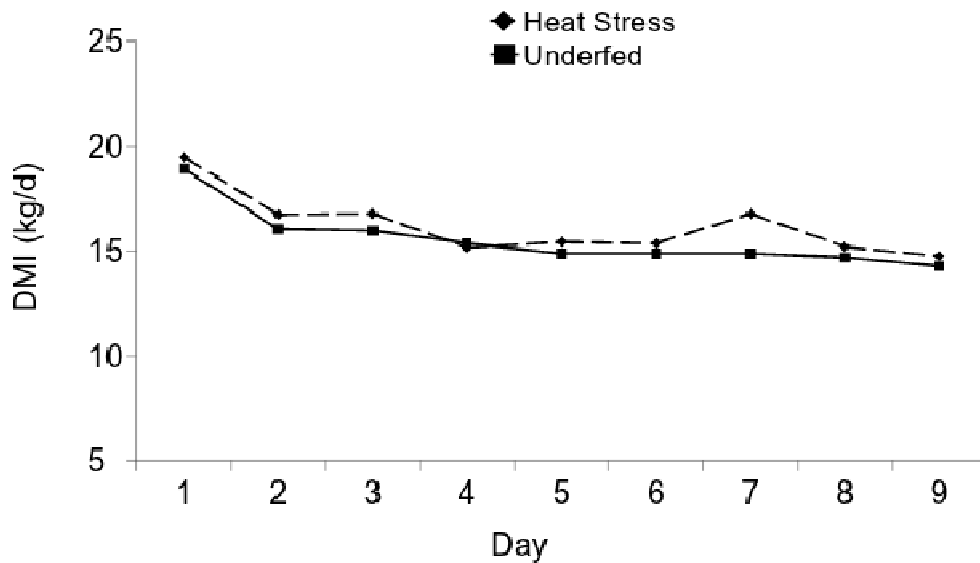


Figure 1. Effects of heat stress and underfeeding (pair-feeding) thermal-neutral lactating Holstein cows on dry matter intake (Rhoads et al., 2009).

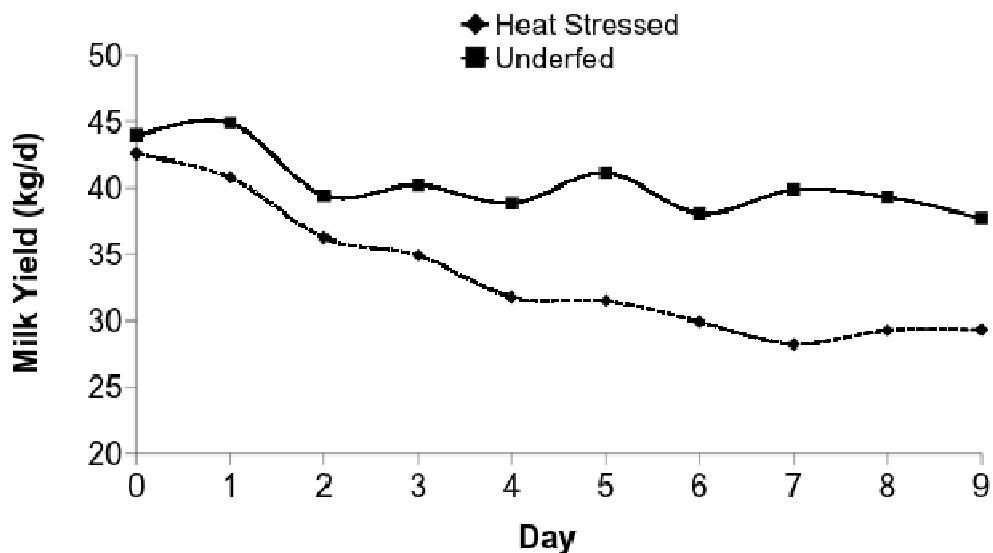


Figure 2. Effects of heat stress and underfeeding (pair-feeding) thermal neutral conditions on milk yield in lactating Holstein cows (Rhoads et al., 2009).

PRE-PARTUM HEAT STRESS

The effects of heat stress during established lactation are well-characterized (Baumgard et al., 2012; Baumgard and Rhoads, 2013), but the effects of environmental hyperthermia prior to calving on post-parturition production parameters is not as clear. It was demonstrated that heat stress during the “far-off” period reduced gestation length, calf body weight and subsequent milk yield, even in intensely cooled cows following calving (Collier et al., 1982). This has recently been confirmed and results indicate that future milk production is substantially reduced in heat-stressed dry cows (Tao et al., 2012). Interesting, it

appears that the heat-induced blunted adipose tissue mobilization “lingers” into lactation and dry cows that were heat-stressed are not able to enlist glucose sparing mechanisms necessary to support maximum milk yield, even though they were intensely cooled after calving (Tao et al., 2012). In addition, future reproductive variables are determinately affected in heat-stressed dry cows (even if they were intensely cooled during lactation; Wiersma and Armstrong 1989). Consequently, actively cooling dry cows should be an important part of a farm’s heat stress abatement strategy.

THEORETICAL REASONS FOR ALTERED METABOLISM

Well-fed ruminants primarily oxidize acetate (a rumen produced VFA) as a principal energy source. During NEBAL cattle increased their energy dependency on NEFA. However, despite the fact that heat-stressed cows have marked reductions in feed intake and are losing considerable amounts of body weight, they do not mobilize adipose tissue (Rhoads et al., 2009; Wheelock et al., 2010). Therefore, it appears that heat stressed cattle experience altered post-absorptive metabolism compared to thermal neutral counterparts, even though they are in a similar negative energetic state. The unusual lack of NEFA response in heat-stressed cows is probably in part explained by increased circulating insulin levels (O’Brien et al., 2010; Wheelock et al., 2010), as insulin is a potent anti-lipolytic hormone. Increased circulating insulin during heat stress is unusual as malnourished animals are in a catabolic state and experience decreased insulin levels. The increase in insulin action may also explain why heat-stressed animals have increased rates of glucose disposal (Wheelock et al., 2010). Therefore, during heat stress, preventing or blocking adipose mobilization/breakdown and increasing glucose “burning” is presumably a strategy to minimize metabolic heat production (Baumgard and Rhoads, 2007).

The increase in extra-mammary glucose utilization during heat stress creates a nutrient trafficking problem with regards to milk yield. The mammary gland requires glucose to synthesize milk lactose and lactose is the primary osmoregulator, thus determines overall milk volume. However, in an attempt to generate less metabolic heat, the body (presumably skeletal muscle) appears to utilize glucose at an increased rate. Therefore, the mammary gland may not receive adequate amounts of glucose, as a result mammary lactose production and subsequently milk yield is reduced. This may be the primary mechanism, which accounts for the additional reductions in milk yield beyond the portion explained by decreased feed intake (Figures 1 and 2).

HEAT STRESS AND IMMUNITY

The metabolic profile of heat-stressed cattle shares some similarities to animals with a stimulated immune system and this is primarily characterized by hyperinsulinemia (Baumgard and Rhoads, 2013). The increased circulating insulin during heat stress is unusual because reduced feed intake, negative energy balance and body weight loss (hallmarks of heat stress) are typically associated with hypoinsulinemia. Incidentally, lactating cows with an activated immune system also have increased circulating insulin concentrations despite reduced feed intake (Waldron et al., 2006). Reasons for the hyperinsulinemia

are not clear, but may include lipopolysaccharide (LPS), an endotoxin produced by gram-negative bacteria. We have demonstrated that cattle IV infused with LPS have marked (>50 fold) hyperinsulinemia 2 hours after LPS administration (Rhoads et al., 2009; Figure 3). Interestingly, the severe increase in insulin following LPS injection only causes minor hypoglycemia and this likely means that LPS causes insulin resistance. Heat-stressed rodents, poultry, pigs and humans have increased levels of circulating LPS because of intestinal integrity issues and presumably assume heat-stressed cattle do as well. Insulin's role during the immune response and during heat acclimation is not clear, but proper insulin action is necessary in order to up-regulate heat shock proteins.

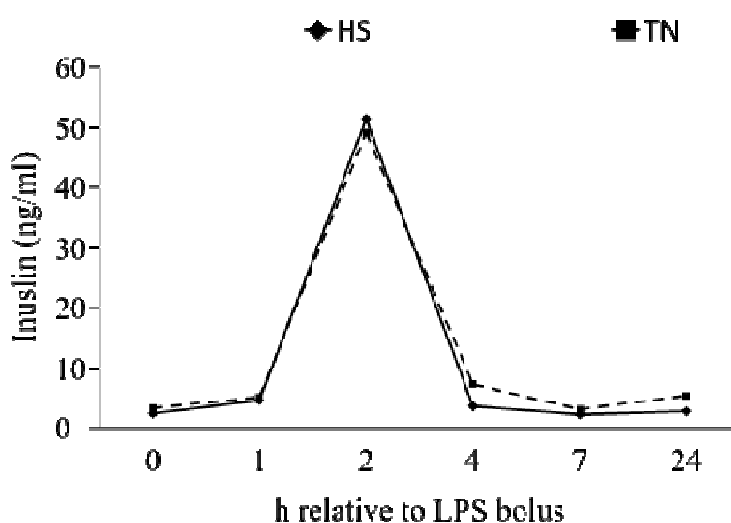


Figure 3. Effects of LPS infusion on blood insulin concentrations in growing Holstein calves either in heat-stressed (HS) or thermal neutral (TN) conditions (Rhoads et al., 2009).

HEAT STRESS ABATEMENT

Heat abatement strategies are often employed as a means to ameliorate the negative effects of heat stress on production during the warm summer months (Smith et al., 2006). Cooling cows with shade and evaporative cooling with soakers and fans is a relatively cheap strategy to help minimize economic losses during an increased heat load (Collier et al., 2006). However, despite new barn construction and heat abatement systems, milk yield and other production parameters continue to be adversely affected by heat stress (Burgos et al., 2007).

Feedstuffs have varying heat increments (HI), largely due to efficiency of nutrient utilization or digestive end products (VanSoest et al., 1991). Fiber digestion results in a higher heat increment (sum of heat produced from rumen fermentation and nutrient metabolism) than digestion of fat or non-fiber carbohydrates (NFC). The major end product of fiber fermentation (acetate) is utilized less efficiently compared to the major end product of NFC digestion (propionate; Baldwin et al., 1980).

The table below illustrates heat increments of several common feedstuffs. The heat increment value expressed as Kcal/Mcal, net energy lactation (NE_L) was derived for total digestible nutrient (TDN) values of 40-100% and fitted to a multiple linear regression model: $y=a+bx+cx^2$. Where $y=$ Kcal HI/Mcal NE_L and $x=$ TDN solved constants are $a= 1350.812$, $b= -17.1496$, and $c= 0.091517$ (Chandler, 1994).

Table 1. Heat increment of common feed ingredients

Feed Ingredient	DM (%)	NDF % of DM	TDN % of DM	NE _L (Kcal/Kg)	HI/NE _L (Kcal/Mcal)
Haylage	35.0	53.0	59.0	1,326	658
Corn Silage	38.3	48.0	66.1	1,500	617
Grass Hay	88.0	53.0	55.0	1,228	684
Alfalfa Hay	89.9	47.5	60.0	1,350	651
Whole Cottonseed	93.0	49.0	87.0	2,453	386
Corn	87.0	10.0	88.0	2,035	550
SBM, 48%	90.0	14.0	81.0	1,866	562
Palm Oil (FA)	100.0	0.0	170.1	5,676	214
Prill (FA)	100.0	0.0	170.1	6,776	214
Tallow	99.0	0.0	191.3	6,402	214

Adapted from Chandler, 1994

NUTRITIONAL STRATEGIES OF HEAT STRESS

There are several nutritional strategies to consider during heat stress. A common strategy is to increase the energy and nutrient density (reduced fiber, increased concentrates and supplemental fat) of the diet as feed intake is markedly decreased during heat stress. In addition to the energy balance concern, reducing the fiber content of the diet is thought to improve the cow's thermal balance and may reduce body temperature. However, increasing ration concentrates should be considered with care as heat-stressed cows are highly prone to rumen acidosis.

Fiber: Fiber is necessary for proper rumen function; current recommendations state a minimum dietary neutral detergent fiber (NDF) of 25% with the proportion of NDF from roughages equaling 75% of total NDF (NRC, 2001). However, its digestion and metabolism create more heat than compared to concentrates (VanSoest et al., 1991). One common nutritional strategy involves reducing dietary fiber during an increased heat-load. However, adequate fiber in the diet is essential to maintain rumen health, and high quality forage helps to maintain feed intake. Grant (1997) demonstrated that a roughage NDF value of 60% still provides sufficient fiber for production of fat corrected milk. On the other hand, Kanjanapruthipong and Thaboot (2006) speculated that the minimum dietary NDF of 23% DM and roughage NDF proportion of 55% dietary NDF have sufficient effective NDF for dairy cows in the tropics.

Protein: Due to reduced feed intake, dietary protein levels may need to be increased during heat stress (West, 1999). Huber et al. (1993) demonstrated

that heat-stressed cows fed lower soluble protein levels had increased milk yield and increased dry matter intake (DMI). Huber et al. (1994) showed that heat-stressed cows fed a highly degradable protein diet (65% of crude protein (CP)) had a 6% reduction in DMI and an 11% decrease in milk yield when compared to diets with lower degradable protein (59%) or diets with lower CP (16%). This agrees with recent recommendations which suggest that addition of dietary CP, more specifically rumen un-degradable protein, is not helpful (Arieli et al., 2006). A possible reason why highly degradable protein diets appear to be deleterious during heat stress is that both rumen motility and rate of passage decline. This allows for a longer residence time and thus more extensive protein degradation (Linn, 1997). We have demonstrated that blood urea nitrogen is elevated in heat-stressed cows compared to pair-fed controls (Wheelock et al., 2010), although it is not clear whether this originates from excess rumen ammonia production or from skeletal muscle breakdown. Regardless, excess ammonia needs to be eliminated and this removal has an energy cost (7.2 kcal/g of nitrogen; and thus increases heat production) as it is metabolized to urea and excreted in the urine (Tyrell et al., 1970). How heat stress affects dietary protein requirements is ill-defined and more research is needed in order to generate more appropriate recommendations.

Fat:Increasing the amount of dietary fat has been a widely accepted strategy within the industry in order to reduce basal metabolic heat production. As stated above, the heat increment of fat is over 50% less than typical forages (Table 1) so it is seemingly a rational decision to supplement additional lipid and reduce fiber content of the diet. However, there are surprisingly few experiments specifically designed to evaluate how supplemental dietary fat affects body temperature indices or even production parameters (Table 2). Most experiments report little or no differences in rectal temperatures (Moody et al., 1967; Knapp and Grummer 1991; Chan et al., 1997; Drackely et al., 2003) and only one paper demonstrated a slight reduction at a specific time of day but not at the other times (Wang et al., 2010). In fact, one report indicated that cows fed additional fat actually had increased in rectal temperatures (Moallem et al., 2010) and these same authors and a recent report (Wang et al., 2010) indicate that additional fat-fed cows had increased respiration rates. A reason why feeding fat does not seemingly improve the thermal balance of heat-stressed cows is difficult to rationalize. It could be that small decreases in a thermal load would be difficult to detect at specific but limited time points, but that these minor changes would accumulate over time into a significant improvement. It would be of interest to evaluate body temperatures in heat-stressed cows fed additional fat utilizing a continuous thermometer system (i.e. HOBOS or eye-button technology).

Additional fat feeding can sometimes decrease DMI in thermal neutral cows (Chillard, 1993) but reduced nutrient intake is typically not observed in heat-stressed cows fed supplemental fat (Moody et al., 1967; Skaar et al., 1989; Knapp and Grummer, 1991; Drackely et al., 2003; Warntjes et al., 2008; Wang et al., 2010). Milk yield responses to additional fat are variable and some authors report no diet effect (Moody et al., 1967; Knapp and Grummer, 1991; Chan et al., 1997; Moallem et al., 2010) while others report an increase in milk yield (Skaar et al., 1989; Drackely et al., 2003; Warntjes et al., 2008; Wang et

al., 2010). Similar to body temperature indices and milk yield data, the effects of dietary fat on milk composition during heat stress also vary and no clear consensus has been reached (Table 2). Overall, results from a limited number of experiments vary, but little or no apparent benefit was typically observed when supplemental dietary fat was included. Reasons for the discrepancies are unclear, but could be due to the type of fats used (saturated vs. unsaturated), rate of inclusion, type of “protection” (i.e. calcium salt vs. prill), environmental factors (i.e. severity of heat stress), or other dietary interactions. Regardless, the dairy industry (nutritionists) needs additional controlled experiments (besides theoretical heat calculations) in order to make intelligent ration balancing decisions regarding the inclusion of supplemental fat.

Ionophores: We propose enhanced extra-mammary tissue glucose utilization may be a key mechanism explaining the decrease in milk yield during heat stress. Two glucose molecules are the substrate for lactose (the primary osmotic regulator of milk yield) synthesis and on a molar basis; lactose is nearly equivalent (95%) to two moles of glucose. Heat-stressed cows secrete about 370 g less lactose (Rhoads et al., 2009) or have approximately twice as much of a decrease in milk lactose yield as pair-fed thermal neutral controls (Wheelock et al., 2010). Therefore, heat-stressed cows in our previous experiments are secreting almost 400 g less glucose/d than thermal neutral counterparts on a similar plane of nutrition. Monensin is a well-described rumen modifier that increases the production of propionate, which is the predominate gluconeogenic precursor in ruminants. The increase in carbon conservation during fermentation is a key mechanism in how monensin increases feed efficiency in growing and lactating ruminants. We have now demonstrated that monensin increases the gluconeogenic rates (on a DMI basis) and utilizing monensin is a key strategy to improve the glucose status of heat-stressed cows (Baumgard et al., 2011).

Water: Water intake is vital for milk production (milk is ~87% water) but it is also essential for thermal homeostasis. This stresses how important water availability and waterer/tank cleanliness becomes during the summer months. Keeping water tanks clear of feed debris and algae is a simple and cheap strategy to help cows remain cool (Baumgard and Rhoads, 2007)

Dietary Cation-Anion Difference (DCAD): Having a negative DCAD during the dry period and a positive DCAD during lactation is a good strategy to maintain health and maximize production (Block, 1994). It appears that keeping the DCAD at a healthy lactating level (~+20 to +30 meq/100 g DM) remains a good strategy during the warm summer months (Wildman et al., 2007).

Minerals: Unlike humans, bovines utilize potassium (K^+) as their primary osmotic regulator of water secretion from sweat glands. As a consequence, K^+ requirements are increased (1.4 to 1.6% of DM) during the summer and this should be adjusted for in the diet. In addition, dietary levels of sodium (Na^+) and magnesium (Mg^+) should be increased as they compete with K^+ for intestinal absorption (West, 2002).

CONCLUSIONS

Heat stress negatively impacts economic parameters associated with profitable milk production. Implementing heat stress abatement strategies is crucial to minimize fiscal losses. In addition to physical barn management, nutritional strategies can be implemented to help ameliorate summer-induced losses. Maintaining rumen health is of primary importance as heat-stressed cows are more prone (for a variety of reasons) to rumen acidosis. Another widely held dogma is that supplementing dietary fat is an effective tactic during heat stress and this stems from theoretical calculations indicating that the heat increment of feeding is much lower for lipids (especially compared to roughages). However, a review of the limited literature fails to corroborate the arithmetic heat savings or ultimately demonstrate a consistent effect on production parameters. The dairy industry needs definitive research on whether or not to include supplemental fat during the warm summer months.

*Aspects of this manuscript were adapted from the 2013 Ontario Bovine Practitioners Conference proceedings paper (Baumgard et al., 2013).

REFERENCES

- Arieli, A., G. Adin, I. Bruckental. 2006. The effect of protein intake on performance of cows in hot environmental temperatures. *J. Dairy Sci.* 87:620–629
- Armstrong, D.V. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77:2044-2050.
- Baldwin, R.L., N.E. Smith, J. Taylor, M. Sharp. 1980. Manipulating metabolic parameters to improve growth rate and milk secretion. *J. Anim. Sci.* 51:1416-1428.
- Bauman, D.E., and W.B. Currie. 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.* 63:1514-1529.
- Baumgard, L.H., C.E. Moore, D.E. Bauman. 2002. Potential application of conjugated linoleic acids in nutrient partitioning. *Proc. Southwest Nutr.Conf.* pp. 127-141.
- Baumgard, L.H., L.J. Odens, J.K. Kay, R.P. Rhoads, M.J. VanBaale, R.J Collier. 2006. Does negative energy balance (NEBAL) limit milk synthesis in early lactation? *Proc. Southwest Nutr.Conf.* pp 181-187.
- Baumgard, L.H., J.B. Wheelock, S.R. Sanders, C.E. Moore, H.B. Green, M.R. Waldron and R.P. Rhoads. 2011. Postabsorptive carbohydrate adaptations to heat stress and monensin supplementation in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 94:5620-5633.
- Baumgard, L.H., and R.P. Rhoads. 2013. Effects of heat stress on post-absorptive metabolism and energetics. *Ann. Rev. Anim. Biosci.* 1: 311-337.
- Baumgard, L.H., R.P. Rhoads, M.L. Rhoads, N.K. Gabler, J.W. Ross, A.F. Keating, R.L. Boddicker, S. Lenka and V. Sejjan. 2012. Impact of climate change on livestock production. Pages 413-468. Chapter 15.

Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production. Eds. V. Sejjan, et al., Springer-Verlag Berlin Heidelberg

- Baumgard, L.H., R.P. Rhoads. 2007. The effects of hyperthermia on nutrient partitioning. Proc. Cornell Nutr.Conf. pp 93-104.
- Beam, S.W., W.R Butler. 1999. Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. J. Reprod. Fertil. 54:411-424.
- Bernabucci, U., B. Ronchi, N. Lacetera, A. Nardone. 2005. Influence of body condition score on relationships between metabolic status and oxidative stress in periparturient dairy cows. J Dairy Sci. 88:2017-2026.
- Block, E. 1994. Manipulation of dietary cation-anion difference on nutritionally related production diseases, productivity, and metabolic responses of dairy cows. J. Dairy Sci. 77:1437-1450.
- Burgos R, L.J. Odens, R.J. Collier, L.H. Baumgard, M.J. VanBaale.2007. Evaluation of different cooling systems in lactating heat stressed dairy cows in a semi-arid environment. Prof. Anim. Sci. 23:546–555
- Chandler, P. 1994. Is heat increment of feeds an asset or liability to milk production? Feedstuffs. Apr. 11.
- Chan S.C., J.T. Huber, K.H. Chen, J.M. Simas, Z. Wu. 1997. Effects of ruminally inert fat and evaporative cooling on dairy cows in hot environmental temperatures. J. Dairy Sci. 80:1172–1178.
- Chilliard, Y. 1993. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: a review. J. Dairy Sci. 76:3897-3931.
- Collier, R.J. S.G. Doelger, H.H. Head, W.W. Thatcher and C.J. Wilcox. 1982. Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield of Holstein cows. J. Anim. Sci. 54:309-319.
- Collier R.J., G.E. Dahl, M.J. VanBaale. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. J. Dairy Sci. 89:1244–1253
- Collier, R.J., D.K. Beede. 1985. Thermal Stress as a Factor Associated with Nutrient Requirements and Interrelationships. In Nutrition of Grazing Ruminants. (ed) by L. McDowell. Academic Press, New York, NY. 59-71.
- Collier, R.J., L.H. Baumgard, A.L. Lock, D.E. Bauman. 2005. Physiological Limitations: Nutrient Partitioning. Chapter 16. In: Yields of Farmed Species: Constraints and Opportunities in the 21st Century. Proceedings: 61st Easter School. Nottingham, England. J. Wiseman and R. Bradley, eds. Nottingham University Press, Nottingham, U.K. 351-377.
- Drackley, J.K. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? J. Dairy Sci. 82:2259-2273.
- Drackley J. K., T.M. Cicela, D.W. LaCount. 2003. Responses of primiparous and multiparous holstein cows to additional energy from fat or concentrate during summer. J. Dairy Sci. 86(4): 1306-1314.
- Fuquay, J.W. 1981. Heat stress as it affects production. J. Anim. Sci. 52:167-174.
- Goff, J.P., R.L. Horst. 1997. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. J. Dairy Sci. 80:1260-1268.

- Grant, R.J. 1997. Interactions among forages and nonforage fiber sources. *J. Dairy Sci.* 80:1438-1446
- Huber, J.T., Z. Wu, S.C. Chan, K.H. Chen. 1993. Feeding for high production during heat stress. *Western Large Herd Management Conf.* Las Vegas, NV. pp. 183–192
- Huber, J.T., G. Higginbotham, R.A. Gomez-Alarcon, R.B. Taylor, K.H. Chen, S.C. Chan, Z. Wu. 1994. Heat stress interactions with protein, supplemental fat and fungal cultures. *J. Dairy Sci.* 77:2080.
- Kanjanapruthipong, J., and B. Thaboot. 2006. Effects of neutral detergent fiber from rice straw on blood metabolites and productivity of dairy cows in the tropics. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 19 (3): 356-362.
- Knapp, D.M., R.R. Grummer. 1991. Response of lactating dairy cows to fat supplementation during heat stress. *J. Dairy Sci.* 74:2573-2579.
- Lee D.H.K. 1965. Climatic stress for domestic animals. *J. Biometeorol.* 9 (1):29-35
- Linn J.G. 1997. Nutritional management of lactating dairy cows during periods of heat stress. *Dairy Update.* Issue:125.
- Lucy, M.C., C.R. Staples, W.W. Thatcher, P.S. Erickson, R.M. Cleale, J.L. Firkins, J.H. Clark, M.R. Murphy, B.O. Brodie. 1992. Influence of diet composition, dry matter intake, milk production and energy balance on time of postpartum ovulation and fertility in dairy cows. *Anim. Prod.* 54:323-331.
- Moallem U., G. Altmark, H. Lehrer, A. Arieli. 2010 Performance of high-yielding dairy cows supplemented with fat or concentrate under hot and humid climates. *J. Dairy Sci.* 93 (7):3192-3202.
- Moody E.G., P.J. Van Soest, R.E. McDowell, G.L. Ford. 1967. Effect of high temperature and dietary fat on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 50 (12):1909-1916.
- Moore, C.E., J.K. Kay, M.J. VanBaale, L.H. Baumgard. 2005. Calculating and improving energy balance during times of nutrient limitation. *Proc. Southwest Nutr. Conf.* pp 173-185.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th rev. ed. Nat. Acad. Press, Washington, DC.
- O'Brien, M.D., R.P. Rhoads, S.R. Sanders, G.C. Duff, L.H. Baumgard. 2010. Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle. *Domest. Anim. Endocrinol.* 38:86-94.
- Rhoads, M.L., R.P. Rhoads, M.J. Van Baale, R.J. Collier, S.R. Sanders, W.J. Shwartz, G., M.L. Rhoads, M.J. VanBaale, R.P. Rhoads, L.H Baumgard. 2009. Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 92:935-942.
- Rhoads, R.P., S.R. Sanders, L. Cole, M.V. Skrzypek, T.H. Elsasser, G.C. Duff, R.J. Collier and L.H. Baumgard. 2009. Effects of heat stress on glucose homeostasis and metabolic response to an endotoxin challenge in Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 87: E-Suppl 2:78.

- Skaar T.C., R.R. Grummer, M.R. Dentine, R.H. Stauffacher. 1989. Seasonal effects of prepartum and postpartum fat and niacin feeding on lactation performance and lipid metabolism. *J. Dairy Sci.* 72:2028-2038
- Smith, J.F., J. Harner, K. Dhuyvetter, M.J. Brouk. 2006. Dairy facilities and cow comfort for the next decade. 2006 Joint ADSA-ASAS Annual Meeting, Minneapolis, MN, July 9-13, 2006.
- St. Pierre, N.R., B. Cobanov, G. Schnitkey. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86 (Issue E):E52-E77.
- Tao, S., I.M. Thompson, A.P. Monteiro, M.J. Hayen, L.J. Young and G.E. Dahl. 2012. Effect of cooling heat-stressed dairy cows during the dry period on insulin response. *J. Dairy Sci.* 95:5035-5046.
- Tyrrell, H.F., P.W. Mode, W.P. Flatt. 1970. Influence of excess protein intake on energy metabolism of the dairy cow. *European Assoc. Anim. Prod.* 16:68-71.
- VanBaale, M.J., J.F. Smith, M.J. Brouk, L.H. Baumgard. 2005. Evaluate the efficacy of your cooling system through core body temperature. *Hoards Dairyman: Western Dairy News.* Aug 5:W147-W148.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583–3597.
- Waldron, M.R., A.E. Kulick, A.W. Bell, T.R. Overton. 2006. Acute experimental mastitis is not causal toward the development of energy-related metabolic disorders in early postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 89:596-610.
- Wang J.P., D.P. Bu, J.Q. Wang, X.K. Huo, T.J. Guo, H.Y. Wei, L.Y. Zhou, R.R. Rastani, L.H. Baumgard, F.D. Li. 2010. Effect of saturated fatty acid supplementation on production and metabolism indices in heat-stressed mid-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93 (9):4121-4127.
- Warntjes J.L., P.H. Robinson, E. Galo, E.J. DePeters, D. Howes. 2008. Effects of feeding supplemental palmitic acid (C16:0) on performance and milk fatty acid profile of lactating dairy cows under summer heat. *Anim. Feed Sci. Technol.* 140: 241–257
- West, J. W. 1999. Nutritional strategies for managing the heat stressed dairy cow. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl. 2):21–35.
- West, J.W. 2002. Physiological effects of heat stress on production and reproduction. *Proc. Tri-State Nutr. Conf.* pp. 1-9.
- West, J.W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131-2144.
- Wheelock, J.B., R.P Rhoads, M.J. Vanbaale, S.R. Sanders, L.H. Baumgard. 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 93:644-655.
- Wiersma, F., and D.V. Armstrong. 1989. Evaporative cooling of dry cows for improved performance. In *Arizona Dairy Newsletter* (Jul):1-5.
- Wildman, C.D., J.W. West, J.K. Bernard. 2007. Effect of dietary cation-anion difference and dietary crude protein on performance of lactating dairy cows during hot weather. *J. Dairy Sci.* 90:1842-1850.

UNA MIRADA ACTUAL A LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE VACAS LECHERAS QUE COMBINAN PASTURAS Y RACIONES TOTALES MEZCLADAS

Alejandro Mendoza^{1,2}, Cecilia Cajarville³, Maximiliano Pastorini⁴, Analía Pérez Ruchel³, Nicolle Pomiés³, Álvaro Santana², José Luis Repetto²

¹Programa de Producción de Leche, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.

²Departamento de Bovinos y ³Nutrición, ⁴Campo N°2, Facultad de Veterinaria, UdelaR, Uruguay.

INTRODUCCIÓN

Los rumiantes tienen una ventaja ecológica muy interesante para los humanos, y es la posibilidad de poder digerir celulosa y por lo tanto aprovechar un recurso que no puede ser utilizado directamente por aquellos. En un contexto de creciente demanda mundial por granos para la alimentación humana y la fabricación de biocombustibles, las pasturas seguirán ocupando un lugar importante en la alimentación de los rumiantes, sobre todo en aquellos países que tienen ventajas climáticas y edáficas para producirlas y utilizarlas con el ganado durante todo el año. Además, si se las utiliza adecuadamente, las pasturas cosechadas directamente por el animal tienen un costo relativo menor que los concentrados o las reservas forrajeras (Dillon, 2006).

Las pasturas compuestas por gramíneas y/o leguminosas templadas, tanto anuales como perennes, poseen un elevado valor nutritivo y ofrecen un amplio margen para la producción de rumiantes. Aprovechadas en el momento adecuado, tienen alta digestibilidad de la materia seca (MS), explicada por una alta digestibilidad de la fibra, presentan elevados tenores de proteína bruta, y posibilitan altas eficiencias de síntesis de proteína microbiana a nivel ruminal (Cajarville *et al.*, 2012). Adicionalmente, se considera que la alimentación en base a pasturas puede tener beneficios sobre la salud de los animales, respecto a sistemas de confinamiento, y desde este punto de vista promoverían un mayor bienestar de los mismos (Rushen *et al.*, 2008). Desde el punto de vista del consumidor, la leche producida por vacas alimentadas con pasturas presenta características nutricionales deseables para la salud humana. Es de particular interés el perfil de ácidos grasos, donde destacan los altos contenidos de ácido ruménico (que presenta propiedades anti-cancerígenas) y vaccénico (Elgersma *et al.*, 2006).

Sin embargo, los sistemas de alimentación basados en pasturas tienen como limitante la dificultad de asegurar una oferta constante de alimentos en calidad y cantidad a lo largo del tiempo. En vacas lecheras, se ha reportado que bajo condiciones de pastoreo, el consumo de MS es menor respecto a cuando son alimentadas con una ración total mezclada (RTM), por lo que el potencial de producción de leche no se explota completamente en sistemas netamente pastoriles; se ha planteado que la producción lograda por vacas alimentadas solo con pasturas de alta calidad sería de alrededor de 30 kg/día (Kolver, 2003). La limitación a un mayor consumo de pastura por las vacas lecheras se debe a restricciones de tipo físicas (digestión y pasaje de material por el tracto digestivo), por limitación de tiempo para actividades de cosecha y rumia del forraje ingerido, o por la alta cantidad de agua ingerida con la pastura (Chilibroste *et al.*, 2005). Además, las vacas en pastoreo presentan costos de

energía vinculados a la caminata, la búsqueda y cosecha de pastura (Kolver, 2003) y el consumo de nutrientes no puede ser predicho con tanta precisión como en sistemas de confinamiento.

¿QUÉ APORTAN LAS RACIONES TOTALES MEZCLADAS A LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE?

Las RTM constituyen un sistema de alimentación donde los forrajes y concentrados son completamente mezclados, y de esta forma son ofrecidos a los animales. El uso de RTM fue recomendado en países del Hemisferio Norte (principalmente EEUU y Europa) a partir de la década de 1960, y tiene amplia difusión en países que tienen limitantes ambientales para la producción y/o la utilización de pasturas durante gran parte del año. Como ventajas de este sistema, se destacan las posibilidades de: a) maximizar el consumo individual, b) ofrecer una dieta con un aporte balanceado de nutrientes y una óptima relación forraje - concentrado, y c) minimizar la selectividad por componentes individuales (Coppock *et al.*, 1981). Lo anterior promovería el incremento de la producción individual de los animales, y facilitaría al nutricionista la tarea de formular una dieta más precisa que cuando se ofrecen los ingredientes por separado.

El uso de RTM tiene ciertas desventajas, como por ejemplo la necesidad de contar con equipos para mezclado y reparto de la RTM, así como instalaciones para la alimentación de los animales, para el tratamiento de los efluentes generados y para el almacenamiento de los alimentos, lo cual supone una inversión en capital. Asimismo, al usar dietas RTM es recomendable agrupar las vacas en lotes para un uso más eficiente de las mismas, lo que puede no ser posible en todos los tambos (Coppock *et al.*, 1981). Adicionalmente, algunos de estos aspectos han contribuido a dar a la alimentación en base a RTM (tradicionalmente usada en sistemas estabulados) una imagen más reñida con las buenas prácticas ambientales respecto a la alimentación en base a pasturas. Sin embargo, análisis recientes sugieren que los primeros requerirían una menor cantidad de insumos (animales, alimento, agua) y producirían menor cantidad de efluentes y gases con efecto invernadero por unidad de producto (Capper *et al.*, 2009), lo que sugiere que los sistemas basados en el uso de RTM no necesariamente son menos “amigables” *per se* con el ambiente que aquellos que usan una mayor proporción de pastura en la dieta.

ALTERNATIVAS PARA SUPERAR LAS LIMITANTES DE LOS SISTEMAS PASTORILES

Tradicionalmente, en los sistemas lecheros pastoriles se buscó superar las limitantes productivas mediante el agregado de concentrados y/o forrajes conservados en diferentes proporciones, suministrándolos separadamente. Sin embargo, esta forma de suministrar los suplementos no ha demostrado ser capaz de optimizar la potencialidad de cada alimento. Por ejemplo, la eficiencia de síntesis de proteína microbiana y la estabilidad del ambiente ruminal no se han visto favorecidos al suplementar pasturas de alta calidad con concentrados (García *et al.*, 2000; Amaral *et al.*, 2011; Tebot *et al.*, 2012; Aguerre *et al.*, 2013), y se ha sugerido que esta forma de suministro normalmente no permite

optimizar la eficiencia de conversión del suplemento a leche (Wales *et al.*, 2013). Por ejemplo, se ha reportado que a mayor inclusión de concentrados en la dieta, disminuye la respuesta productiva al uso del mismo (Walker *et al.*, 2001).

Actualmente se percibe a nivel mundial un renovado interés por utilizar dietas que combinan pasturas y RTM, también llamada ración parcialmente mezclada (RPM), donde incluso la pastura no es el principal componente de la dieta. En el hemisferio norte, esta estrategia busca reducir los elevados costos operativos relacionados con la alimentación del ganado a base de dietas exclusivamente de tipo RTM, mientras que en países del hemisferio sur, con una alimentación a base de pasturas, el interés radica en lograr una mayor ingesta de nutrientes que permita aprovechar el potencial genético de los animales, y aumentar la dotación en los predios, lo que ha sido favorecido por las relaciones favorables entre precios de suplementos y leche en los últimos años.

ANTECEDENTES SOBRE LA COMBINACIÓN DE PASTURAS Y RTM PARA PRODUCCIÓN DE LECHE

Es escasa la literatura científica referida a la evaluación de dietas que combinan pasturas y RTM. Uno de los trabajos pioneros en el tema fue el de Bargo *et al.* (2002), quienes compararon dietas RTM, RPM (a base de una pastura mezcla de gramíneas templadas), y pasturas suplementadas con concentrado. Ellos observaron que las vacas alimentadas con RTM produjeron la mayor cantidad de leche, grasa y proteína, asociado a un mayor consumo de energía, mientras que las del tratamiento pastura + concentrado produjeron la menor, siendo el tratamiento RPM intermedio. También observaron que el contenido de ácidos grasos beneficiosos para la salud humana aumentó a mayor proporción de pastura en la dieta (pastura + concentrado > RPM > RTM; Bargo *et al.*, 2006).

En un intento de identificar niveles de inclusión óptimos de pastura en la dieta de vacas alimentadas con una RTM, Morales *et al.* (2010) compararon el uso de una dieta RTM sola o con acceso diario a una pastura de gramíneas y leguminosas por 6 o 12 horas al día. Observaron que el consumo de pastura aumentó y el de RTM disminuyó a mayor tiempo de acceso, por lo que como resultado neto no hubo diferencias en consumo total de MS entre tratamientos. Ello explicó que tampoco se detectaran diferencias en producción de leche, aunque el tratamiento con mayor tiempo de acceso a pastura produjo menor cantidad de grasa por día con un perfil de ácidos grasos más saludable.

En otro experimento realizado en la misma línea de trabajo, Mendoza *et al.* (2012a) observaron que al ofrecer pastura (raigrás anual) en lugar de RTM por un tiempo restringido (4 horas), el consumo se mantuvo constante (≈ 25 kg de MS), pero disminuyó a menos de 23 kg al aumentar el tiempo de acceso a la pastura a 8 horas. Aunque la proporción del tiempo disponible dedicado a comer o rumiar no fue afectada por la inclusión de pastura, sí lo fue la distribución de estas actividades en el día. Por ejemplo, los animales dedicaron una mayor proporción del tiempo disponible a comer cuando tenían acceso a RTM respecto a pastura. Esto quizás fuera debido al bajo contenido de MS de

la pastura usada, que impidió que los animales consumieran esta alimento a una alta tasa (<1,5 kg MS/hora), y por tanto “esperaran” hasta acceder a la RTM. Con este último alimento se observaron tasas de consumo de hasta 4 kg MS/hora. Estos resultados concuerdan con lo planteado por Baumont (1996), quien sugiere que los rumiantes desarrollan una preferencia por alimentos que causan saciedad más rápidamente, y que se caracterizan por tener una alta ingestibilidad. Los resultados a nivel de consumo se reflejaron en la producción de leche, que disminuyó de 34,7 kg/día en vacas consumiendo solo RTM o con acceso a pastura durante 4 horas, a 32,7 kg/día para las vacas con acceso a pastura por 8 horas. Los principales sólidos lácteos (grasa, proteína, caseína y lactosa), siguieron una tendencia similar (Mendoza *et al.*, 2012b).

En otro experimento del mismo equipo de trabajo, Pomiés *et al.* (sin publicar) compararon 3 dietas compuestas por RTM y raigrás anual en porcentajes de 100/0, 75/25 o 50/50 (base seca), respectivamente, y si bien no observaron diferencias en consumo o producción de leche y sólidos hasta un nivel de inclusión de 25% de pastura, una mayor inclusión se tradujo en un menor consumo de MS (24,7 vs 22,9 kg/día) y una menor producción de leche (30,5 vs 27,9 kg/día). En el mismo sentido, Salado *et al.* (2012a) reportaron disminuciones lineales en la producción de leche y sólidos a medida que la inclusión de pastura en la dieta pasó de 0 a 75%, aunque sin diferencias entre niveles de inclusión de 0 y 25%. Sin embargo, el porcentaje máximo de inclusión de pastura que no altere la producción estaría afectado por la calidad de la misma. En este sentido, en un experimento realizado por Vibart *et al.* (2008) se reportó que el aumento en la proporción de raigrás anual en estado vegetativo en una dieta de tipo RTM de 21 a 41% (base seca) no afectó la producción de vacas lecheras, mientras que con la misma pastura pero en un estado más avanzado de madurez y con menor calidad, el aumento de su proporción de 11 a 35% redujo el consumo total de MS, la producción de leche y proteína. En ambos casos, la concentración de ácidos grasos beneficiosos para la salud humana aumentó a medida que aumentó el nivel de inclusión de pastura, lo que también fue observado por Salado *et al.* (2012a).

Auld et al. (2013) ofrecieron la misma cantidad de MS de pastura a dos grupos de vacas, que además se suplementaron con la misma cantidad de energía metabolizable bajo la forma de concentrado ofrecido en la sala de ordeño y ensilaje ofrecido en el exterior (testigo), o bien estos suplementos se ofrecieron como una RTM (RPM); a su vez, dentro de cada estrategia los animales recibieron cantidades crecientes de suplemento. Si bien los autores no observaron diferencias en producción de leche entre tratamientos, sí detectaron un mayor rendimiento de grasa láctea y una mayor eficiencia de conversión del suplemento a leche corregida por energía al usar una RPM respecto al testigo, pero solo en los mayores niveles de suplementación. En otro trabajo realizado con vacas durante los primeros 60 días de lactancia, Fajardo *et al.* (2012) también ofrecieron a dos grupos de animales la misma cantidad de MS (32 kg/día en promedio) bajo la forma de una RTM, o de una RPM constituida por 50% de la cantidad de RTM ofrecida al grupo anterior y un 50% proveniente de una pastura mezcla de gramíneas y leguminosas. Los autores reportaron una disminución de la producción de leche (35,3 vs. 32,1 kg/día) al usar la RPM, pero luego de este período, una vez que todos los

animales fueron manejados con una misma dieta de tipo RPM, no observaron diferencias productivas debidas a los tratamientos aplicados previamente.

Este nulo o pobre efecto residual luego de una mejora en el plano nutricional a través del uso de una RTM en lactancia temprana también fue observado por Acosta *et al.* (2010). Estos autores aplicaron 3 tratamientos similares a los usados por Bargo *et al.* (2002) (RTM, RPM, o pastura + concentrado y ensilaje ofrecidos separadamente) entre el día 20 y 90 de lactancia, y observaron un aumento de 41 y 22% en producción de leche, y de 49 y 22% en producción de proteína en los tratamientos RTM y RPM respecto al testigo. Sin embargo, cuando tras este período todos los animales fueron manejados como el testigo, la producción residual en el resto de la lactancia fue solo 15 y 13% mayor respecto a aquél, y sin grandes diferencias entre RTM y RPM.

Ciertamente, no alcanza solamente con cuantificar las respuestas productivas que se pueden obtener con este tipo de dietas, sino que importa conocer los mecanismos digestivos y metabólicos que explican esas respuestas, y es aquí donde la literatura científica es más escasa. Respecto al impacto de este tipo de dietas sobre el ambiente ruminal, los resultados obtenidos en bovinos para leche y carne, y en ovinos muestran que el mismo es moderado, con pocos cambios sobre la concentración total de ácidos grasos volátiles y/o pH, aunque las dietas con mayor inclusión de RTM tienden a presentar una proporción mayor de ácido propiónico en la mezcla de ácidos grasos volátiles, mientras que las que tienen mayor inclusión de pasturas presentan mayor proporción de ácido butírico (Santana *et al.*, 2011; Salado *et al.*, 2012b; Pomiés *et al.*, sin publicar). Con todo, la inclusión de alfalfa a una RTM ofrecida a ovinos en crecimiento, aumentó la capacidad de fermentación ruminal evaluada indirectamente a través de la técnica de producción de gas *in vitro*, asociado a un aumento lineal en el consumo de MS (Pérez-Ruchel *et al.*, 2012). Es posible que, como fuera señalado para otras variables, el tipo de pastura esté desempeñando un rol clave en definir el sentido y la magnitud de la respuesta, sin descartar además un efecto de la especie animal. Por otra parte, la concentración ruminal de amoníaco, así como de urea en plasma, tiende a reflejar la ingesta de nitrógeno de las distintas dietas, y en este sentido las mayores concentraciones se han encontrado tanto en dietas con alta como baja proporción de pasturas, dependiendo del contenido y degradabilidad de la proteína de la pastura y la RTM usada (Bargo *et al.*, 2002; Santana, 2012; Pérez-Ruchel *et al.*, 2014a; Pomiés *et al.*, sin publicar). El efecto en general moderado sobre las características del ambiente ruminal, explicaría por qué no se han observado diferencias entre dietas que combinan RTM y pastura sobre la digestibilidad ruminal y/o total de la MS (Salado *et al.*, 2012b; Pérez-Ruchel *et al.*, 2014b; Pomiés *et al.*, sin publicar), sugiriendo que las variaciones en producción de leche antes reportadas se explicarían principalmente por cambios en la ingesta de nutrientes y no por cambios en la digestión de los mismos.

En general, los experimentos realizados con bovinos para leche o engorde muestran un metabolismo glucídico más activo (mayores concentraciones sanguíneas de glucosa e insulina) y/o una menor movilización de reservas corporales al ser alimentados con dietas que incluyen una mayor proporción de

RTM (Bargo et al., 2002; Mendoza *et al.*, 2012c; Salado *et al.*, 2012c; Santana, 2012; Pastorini *et al.*, 2013), asociado al mayor consumo de MS y carbohidratos no fibrosos en estas dietas, si bien en otros trabajos no se observaron diferencias marcadas entre dietas RTM o RPM (Astessiano *et al.*, 2012).

PERSPECTIVAS Y DESAFÍOS

En los últimos años se han realizado avances importantes en el conocimiento de los sistemas de alimentación que combinan pasturas y RTM. Sin embargo, aún permanecen sin dilucidar aspectos claves para cualquier sistema productivo, como si el uso de estas dietas afectaría el desempeño reproductivo, sanitario o el confort de los animales. Tampoco está claro si la RTM incluida en la RPM tendría que tener iguales ingredientes y composición química respecto a si se usara como único alimento, o si por el contrario debería modificarse de forma de contemplar el aporte de nutrientes de la pastura. Por lo tanto, será tarea de los investigadores el dar respuesta a estas nuevas preguntas, de manera de poder identificar las combinaciones pastura – RTM que mejor respondan al objetivo de alcanzar una alta producción de leche de calidad, de manera “amigable” con el ambiente y el animal, y que sean viables desde el punto de vista económico.

REFERENCIAS

- Acosta Y, Karlen H, Mieres J, La Manna A. 2010. Intensificación: El rol de la alimentación. En: Serie actividades de difusión N°610. INIA. Uruguay, pp: 55-62.
- Aguerre M, Cajarville C, Kozloski G, Repetto JL. 2013. Intake and digestive responses by ruminants fed fresh temperate pasture supplemented with increased levels of sorghum grain: A comparison between cattle and sheep. *Anim. Feed Sci. Technol* 186: 12– 19.
- Amaral GA, Kozloski G, Santos AB, Castagnino DS, Fluck C, Farenzena R, Alves TP, Mesquita FR. 2011. Metabolizable protein and energy supply in lambs fed annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) supplemented with sources of protein and energy. *J Agric Sci* 149: 519–527.
- Astessiano AL, Meikle A, Chilbroste P, Fajardo M, Laporta J, Gil J, Mattiauda D, Carriquiry M. 2012. Perfiles metabólicos y endocrinos en vacas Holando con diferentes estrategias de alimentación en lactación temprana. *Veterinaria (Montevideo)* 48 (Suppl 1): 134.
- Auldism MJ, Marett L, Greenwood J, Hannah M, Jacobs J, Wales WJ. 2013. Effects of different strategies for feeding supplements on milk production responses in cows grazing a restricted pasture allowance. *J Dairy Sci* 96: 1218–1231.
- Bargo F, Muller L, Varga GA, Delahoy JE, Cassidy TW. 2002. Ruminant digestion and fermentation of high-producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J Dairy Sci* 85: 2964–2973.
- Bargo F, Delahoy JE, Schroeder GF, Baumgard LH, Muller L. 2006. Supplementing total mixed rations with pasture increase the content of conjugated linoleic acid in milk. *Anim Feed Sci Technol* 131: 226–240.

- Baumont R. 1996. Palatability and feeding behaviour in ruminants. A review. *Ann Zootech* 45: 385-400.
- Dillon P. 2006. Achieving high dry-matter intake from pasture with grazing dairy cows. In: *Fresh herbage for dairy cattle* (Eds: Elgersma A, Tamminga S). Springer. Dordrecht, The Netherlands. pp: 1-26.
- Cajarville C, Mendoza A, Santana A, Repetto JL. 2012. En tiempo de intensificación productiva, ¿cuánto avanzamos en el conocimiento de los nuevos sistemas de alimentación de la vaca lechera? *Veterinaria* (Montevideo) 48: 35–39.
- Capper JL, Cady RA, Bauman DE. 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *J Anim Sci* 87: 2160-2167.
- Chilibroste P, Gibb M, Tamminga S. 2005. Pasture characteristics and animal performance. In: *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*, 2nd edition. CAB International. Wallingford, UK. pp: 681-706.
- Coppock C, Bath DL, Harris B. 1981. From feeding to feeding systems. *J Dairy Sci* 64: 1230-1249.
- Elgersma A, Tamminga S, Ellen G. 2006. Modifying milk composition through forage. *Anim Feed Sci. Technol.* 131: 207–225.
- Fajardo M, Mattiauda D, Meikle A, Carrquiry M, Gil J, Motta G, Guala G, Ortega G, Sorhouet P, Souza F, Chilibroste P. Performance of Holstein dairy cows under different feeding strategies in early lactation. *J Dairy Sci* 95 (Suppl 2): 367.
- García SC, Santini FJ, Elizalde JC. 2000. Sites of digestion and bacterial protein synthesis in dairy heifers fed fresh oats with or without corn or barley grain. *J Dairy Sci* 83: 746-755.
- Kolver ES. 2003. Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. *Proc Nut Soc* 62: 291–300.
- Mendoza A, Cajarville C, Colla R, Gaudentti G, Martín E, Repetto JL. 2012a. Dry matter intake and behavior patterns of dairy cows fed diets combining pasture and total mixed ration. *J Dairy Sci* 95 (Suppl 2): 716.
- Mendoza A, Cajarville C, de la Quintana E, Garmendia M, Mutuberría E, de Torres E, Repetto JL. 2012b. Milk yield and composition of dairy cows fed diets combining pasture and total mixed ration. *J Dairy Sci* 95 (Suppl 2): 249.
- Mendoza A, Cajarville C, Félix A, Pérez-Ruchel A, Duvos M, Iriarte A, Machiavello N, Repetto JL. 2012. Concentración plasmática de insulina, glucosa y urea en vacas lecheras alimentadas con forraje fresco y ración totalmente mezclada. *Veterinaria* (Montevideo) 48 (Suppl 1): 150.
- Morales E, Soldado A, Gonzalez A, Martínez A, Domínguez I, de la Roza B, Vicente F. 2010. Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding of total mixed ration. *J Dairy Res* 77: 225–230.
- Pastorini M, Pomiés N, Cajarville C, Mendoza A, Borges Y, Cruz I, Otegui P, Oyarvide V, Repetto JL. 2013. Variación de la concentración plasmática de insulina y glucosa en vacas lecheras alimentadas con ración

totalmente mezclada y pastura de alta calidad. IX Congreso Nacional de Veterinaria. Uruguay.

- Pérez-Ruchel A, Oudri B, Repetto J, Kozloski G, Bonifacino C, Ubilla J, Cajarville C. 2012. Incorporación de diferentes niveles de alfalfa a una dieta de confinamiento en ovinos: efecto sobre la actividad fermentativa del líquido ruminal utilizado en pruebas de producción de gas in vitro. *Veterinaria (Montevideo)* 48 (Suppl. 1): 152.
- Pérez-Ruchel A, Bonifacino C, Arrieché P, Artigas E, Kozloski G, Gonzalez M, Repetto JL, Cajarville C. Ruminal pH, ammonia and volatile fatty acids concentrations in lambs fed diets composed by fresh Alfalfa and total mixed ration. Joint International Symposium on the Nutrition of Herbivores/International Symposium on Ruminant Physiology (aceptado para su publicación).
- Pérez-Ruchel A, Repetto J, Kozloski G, Gonnet S, Cajarville C. 2014. Nutrient intake and digestibility in lambs fed diets composed by fresh alfalfa and total mixed ration. 51st Meeting Brazilian Society of Animal Science. Sergipe, Brazil.
- Rushen J, de Passillé AM, von Keyserlingk M, Weary D. (2008). Housing for adult cattle. In: *The welfare of cattle*. Springer. Amsterdam, Netherlands. pp: 142-180.
- Salado EE, Bretschneider G, Cuatrin A, Eyherabide G. 2012a. Respuesta productiva de vacas lecheras alimentadas con distintos niveles de ración totalmente mezclada y pastura. *Rev Arg Prod Anim* 32 (Suppl 1): 177.
- Salado EE, Bretschneider G, Gaggiotti M. 2012b. Ambiente y digestión ruminal de vacas lecheras alimentadas con distintos niveles de ración totalmente mezclada y pastura. *Rev Arg Prod Anim* 32 (Suppl 1): 176.
- Salado EE, Bretschneider G, Cuatrin A. 2012c. Reemplazo de ración totalmente mezclada por pastura en vacas lecheras: peso vivo, metabolitos y hormonas plasmáticas. *Rev Arg Prod Anim* 32 (Suppl 1): 178.
- Santana A. 2012. Inclusión de pastura templada en una dieta completa totalmente mezclada para bovinos: Efectos sobre el consumo, el ecosistema ruminal y el aprovechamiento digestivo y metabólico de los nutrientes. Tesis de Maestría en Nutrición de Rumiantes. Facultad de Veterinaria, UdelaR. Uruguay. 45 p.
- Santana A, Ubilla J, Berruti M, Aguerre M, Britos A, Repetto J, Cajarville C. 2011. Dry matter intake, ruminal pH and fermentation capacity of rumen fluid in heifers fed temperate pasture, total mixed rations or both. *J Dairy Sci* 94 (Suppl 2): 511.
- Tebot I, Cajarville C, Repetto JL, Cirio A. 2012. Supplementation with non-fibrous carbohydrates reduced fiber digestibility and did not improve microbial protein synthesis in sheep fed fresh forage of two nutritive values. *Animal* 6: 617-623.
- Vibart RE, Fellner V, Burns JC, Huntington JB, Green JT. 2008. Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *J Dairy Res* 75: 471-480.

- Wales WJ, Marret LC, Greenwood JS, Wright MM, Thornhill JB, Jacobs JL, Ho CKM, Auldish MJ. 2013. Use of partial mixed rations in pasture based dairying in temperature regions of Australia. *Anim Prod Sci* 53: 1167-1178
- Walker GP, Stockdale CR, Wales WJ, Doyle PT, Dellow WD. 2001. Effect of level of grain supplementation on milk production responses of dairy cows in mid-late lactation when grazing irrigated pastures high in paspalum (*Paspalum dilatatum* Poir.). *Aust J Exp Agric* 41: 1-11.

ANTECEDENTES DE RESPUESTA LECHERA Y COMPORTAMIENTO ALIMENTICIO DE VACAS LECHERAS RECIBIENDO DISTINTAS OFERTAS DE PRADERA Y SUPLEMENTACIÓN, DURANTE EL OTOÑO Y PRIMAVERA

Rubén Pulido F.

Facultad Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile
rpulido@uach.cl

La mayor cantidad de leche bovina en Chile se produce en las regiones de Los Lagos y de Los Ríos, donde se recepciona alrededor del 90% de la leche en planta. Como en la mayoría de los climas templados de tipo mediterráneo, los sistemas lecheros predominantes son aquellos que basan su alimentación en las praderas permanentes utilizadas principalmente mediante pastoreo durante la primavera, verano y otoño, y como forraje conservado, para los períodos críticos de crecimiento durante el otoño e invierno, y en los veranos secos.

En el sur de Chile, la producción de leche se basa en un sistema de parición bi-estacional, donde el inicio de la lactancia ocurre al comienzo de la primavera y el otoño (Pérez et al, 2007). El sistema de parición estacional de primavera se sustenta en la utilización de la pradera mediante pastoreo, ajustando los requerimientos nutricionales de las vacas en lactancia a la curva de crecimiento de los pastos (Pulido et al, 2009). Diferente es la estrategia seguida en el sistema de partos de otoño; en este caso, durante la primera mitad de la lactancia, la alimentación se basa en forraje conservado, principalmente ensilaje de pradera, más suplementos suministrados en patio de alimentación; la segunda mitad de la lactancia se desarrolla en pastoreo (Pérez et al, 2007; Pulido et al, 2010).

La pradera, constituye la principal fuente de alimentación durante la mayor parte del año. Las praderas alcanzan producciones de 9 a 14 t de materia seca (MS) por hectárea al año. Sin embargo, el crecimiento del pasto es fuertemente estacional, durante la primavera las tasas de crecimiento alcanzan los 80 kg de MS/ha al día, lo que permite concentrar en esta época entre un 40 a 50% de la producción anual de forraje (Balocchi et al, 2009). Por el contrario, durante el otoño las tasas de crecimiento alcanzan hasta los 50 kg MS/ha al día (Poff et al, 2011), lo que se traduce en un 25 % de la producción anual de forraje. Bajo estas condiciones de crecimiento, se han establecido criterios en el manejo del pastoreo basados en la intensidad y frecuencia del pastoreo que permiten buscar un balance entre la producción de leche y la sustentabilidad de la pradera.

Por su parte, la composición nutricional de la pradera es variable durante las estaciones del año, debido a factores ambientales y de manejo. Durante primavera la alta disponibilidad de forraje se asocia también con una elevada concentración de nutrientes, así como un alto contenido de agua, bajo en fibra efectiva y alta proteína que pueden ser limitantes nutricionales para soportar las demandas del ganado. Es así como la concentración de nutrientes puede variar entre 13 y 30% de proteína cruda (PC) y entre 2,3 y 3,0 Mcal de energía metabolizable, a lo largo de todo el año (Anrique et al, 2014). En el otoño la pradera tiende a ser similar en calidad nutritiva al invierno y comienzo de primavera, donde el crecimiento se caracteriza por un alto nivel de PC y baja

concentración de carbohidratos solubles y MS (Keim et al, 2014), lo que reduce la respuesta productiva.

Si bien es por todos aceptado que en los sistemas pastoriles lecheros el objetivo principal es maximizar la ingesta de pradera, su crecimiento desuniforme a través del año y variabilidad en su calidad nutricional, afectan la productividad animal así como el uso de los nutrientes. Por lo anterior, es necesario aportar otros alimentos como concentrados, forrajes conservados y cultivos forrajeros que favorezcan la utilización de la pradera, para mantener o mejorar la productividad de los sistemas, su competitividad y sustentabilidad.

En estos sistemas pastoriles, los requerimientos de las vacas sin suplementación de mediano o alto nivel productivo, se satisfacen parcialmente con los nutrientes aportados por la pradera (Bargo et al, 2003). En la medida que se han intensificado los sistemas lecheros, las exigencias de forrajes son cada vez mayores para sostener cargas animales más altas y con vacas lecheras de alto mérito genético. Frente a este escenario de inseguridad de oferta de forrajes y de sus limitaciones nutritivas, se han establecido estrategias para minimizar los efectos negativos sobre la producción a través de la programación de partos en épocas asociadas a disponibilidad de forrajes (partos estacionales) y/o a las señales de la industria o mercado específico (Pulido et al, 2013). Otra opción es complementar el consumo de pradera permanente con cultivos forrajeros o praderas de rotación, que aseguren una oferta de forraje fresco principalmente en los períodos de déficit y permitan sustentar las altas cargas y producción de las vacas con forrajes de bajo costo.

Dado el mayor costo de los alimentos concentrados, éstos deben incorporarse en las raciones alimenticias en forma estratégica para conseguir un aumento del consumo de nutrientes y obtener una mayor producción de leche; pero más importante aún, para lograr una más alta eficiencia de la utilización de la pradera y cultivos forrajeros, al sostener una mayor carga animal y productividad de leche por superficie.

En primavera, los concentrados son la alternativa de suplementación más utilizada. Sin embargo, la respuesta productiva que se ha encontrado al uso de concentrados, a menudo ha resultado ser variable y no siempre rentable.

El propósito de la suplementación con concentrado es principalmente aumentar el consumo de nutrientes, y por ende, la producción de leche por vaca y por hectárea a través del aumento de la carga animal y el mejoramiento en la eficiencia de uso de las praderas (Bargo et al, 2003; Kennedy et al, 2008). Adicionalmente, cuando la disponibilidad de la pradera es limitada, la suplementación permitiría aumentar el largo de las lactancias, cubrir los mayores requerimientos que presentan vacas de elevado mérito genético, aumentar el contenido de proteína en leche, el mejoramiento de la condición corporal y la eficiencia reproductiva de los animales (Clark y Woodward, 2007).

La tasa de sustitución indica los kg de MS que disminuye el consumo de pradera por cada kg de concentrado ingerido. Un incremento en la tasa de sustitución reduce consecuentemente la respuesta lechera por kg de

suplemento aportado (Bargo et al, 2003). Sin embargo, las vacas de mayor mérito genético o nivel productivo, tienen un mayor consumo voluntario, tiempo de pastoreo y tasa de consumo, significando una mayor producción de leche.

Por otra parte, la calidad de la pradera ésta así como la cantidad ofrecida, influirán significativamente sobre el consumo de pradera esperado. Al respecto, la oferta de pradera se define como los kilogramos de MS de la pradera ofrecidos por animal al día o por cada 100 kg de peso vivo animal, para un periodo de tiempo determinado, generalmente en un día, y es otra herramienta efectiva para aumentar el consumo individual de pradera en vacas no suplementadas. Sin embargo, el incremento en la oferta de pradera en vacas que reciben concentrado, puede provocar simultáneamente una sustitución de pradera por el suplemento, limitando el aumento esperado en el consumo total de materia seca y energía (Kennedy et al, 2008; Peyraud y Delagarde, 2013). Esta oferta dependerá de la composición botánica, estado de crecimiento de la planta, estructura de la pradera, entre otros. Por lo tanto, a objeto de favorecer un uso eficiente de ella, se debe compensar el consumo deseado con la cantidad de pradera a ofrecer.

Al respecto, existe limitada investigación que evalúe la respuesta a la suplementación con concentrado (cantidad y tipo) cuando las vacas disponen de diferentes niveles de oferta de pradera. Por lo tanto, el conocimiento de la relación entre la cantidad de pradera ofrecida y el nivel y tipo de suplementación con concentrado, permitirá diseñar estrategias para mejorar la respuesta lechera al suplemento y la eficiencia en la utilización de la pradera.

Últimamente, los estudios se han centrado en el efecto de la composición botánica, morfológica y bioquímica de la pradera, como manera de estimular el consumo voluntario y la respuesta lechera de vacas en pastoreo. La mayoría de los estudios se han realizados durante la primavera mostrando resultados prometedores y convirtiéndose en alternativas que deben seguir siendo evaluadas. Al respecto, los trabajos realizados durante el otoño en la Universidad Austral de Chile muestran que si bien se observan mejoramientos durante el día en la concentración de materia seca y carbohidratos solubles y en la relación carbohidratos solubles/proteína cruda de las pradera durante la tarde, estos sólo muestran tendencia al mejoramiento de la respuesta lechera. En el mismo sentido, el fraccionamiento de la entrega de la oferta de pradera y de los suplementos no ha entregado resultados conclusivos.

Primeramente, en este documento se discute la información recopilada de los ensayos de pastoreo primaveral realizados en los últimos años en la Estación Experimental de la Universidad Austral de Chile.

Inicialmente, se estudió el factor suplementación con distintos niveles de concentrado a vacas lecheras que pastoreaban praderas permanentes con dos ofertas diarias; en una primera temporada se comparó 26 vs 38 kg MS/vaca/día (moderado y alto) y en la segunda, 20 vs 30 kg MS/vaca/día (restrictivo y moderado), utilizándose en ambos ensayos, tres niveles de suplementación, 0, 3 y 6 kg/vaca/día. El efecto de suplementar concentrado fue positivo en ambos ensayos para aumentar la producción de leche (0 vs 3 o 6 kg), pero no hubo

efecto entre los niveles 3 y 6 kg. Además, la suplementación significó que las vacas redujeran el consumo de pradera, sin aumentar el consumo total de alimento. Respecto del factor oferta de pradera, cuando se utilizaron 26 vs 38 kg MS/vaca/día, no hubo efecto sobre la producción individual de leche, sin efecto en el consumo de pradera ni total de alimento (Huerta, 2009). En cambio, sí hubo un efecto positivo sobre el consumo de pradera y total de alimento cuando se comparó las ofertas de 20 vs 30 kg/MS/vaca/día, traduciéndose en una mayor producción láctea, producción de proteína láctea y peso vivo. En los dos estudios las ofertas bajas permitieron aumentar la carga animal, y por ende la producción de leche/ha, de un 35% y de un 46% en los dos ensayos, respectivamente (Godoy, 2011).

En las siguientes primaveras, se estudió dos tipos de suplementos para vacas a pastoreo; el maíz grano húmedo (MGH) y el trigo partido (TP) en el primer ensayo, y luego en la primavera siguiente, el MGH con el ensilaje de maíz (ME). En ambos estudios, a las vacas se les ofreció 2 ofertas de pradera (20 vs 30 kg MS/vaca/día). El tipo de suplemento no modificó el consumo de pradera ni materia seca total, aun cuando las vacas suplementadas con el MGH produjeron más leche que las que recibieron los suplementos alternativos TP y ME, en ambos ensayos estudiados (Leichtle et al, 2012a, b). Sin embargo, el MGH produjo un menor porcentaje de proteína láctea frente al TP, pero una mayor concentración frente al ME cuando se comparó con el ME. El factor oferta de pradera en la primera evaluación no tuvo efecto sobre el consumo de pradera ni de alimento ni la producción de leche individual, pero sí los aumentó en la segunda evaluación. En consecuencia, la mayor carga animal lograda en la baja oferta de pradera para ambos ensayos, permitió incrementar la producción de leche por hectárea en un 29 y 34%, respectivamente.

En relación a la producción de leche en otoño-invierno en el sur de Chile, se realizaron a partir del 2008 hasta la actualidad, una serie de estudios que consistieron evaluar la suplementación con distintos tipos y cantidades de concentrado y de ensilaje, y el tiempos de asignación de la oferta de pradera durante el día, evaluados en la Estación Experimental Agropecuaria Austral (EEAA) de la Universidad Austral de Chile en Valdivia.

Un primer ensayo tuvo como objetivo establecer la relación entre dos ofertas de pradera contrastantes; 25 (baja) y 35 (alta) kg MS/día y dos tipos de concentrado (amiláceo o fibroso) en vacas al inicio de lactancia a pastoreo durante el otoño y que no reciben suplementación con forraje conservado (Pulido et al, 2010). Los resultados evidenciaron que el incremento de la oferta de pradera mejoró la producción láctea y los sólidos lácteos, pero sin modificar la composición de éstos, por medio de un aumento del consumo de pradera y MS total. Por su parte, no existió efecto del tipo de concentrado sobre la producción y composición láctea, indistintamente de la oferta de pradera asignada, reflejando la ausencia de cambios en el consumo de materia seca.

En un segundo ensayo, que tuvo la finalidad de establecer la relación entre oferta de pradera y la suplementación creciente con concentrado en vacas lecheras durante el otoño que recibían una suplementación base de ensilaje de pradera (4,5 kg MS/vaca/día) (Schöbitz et al, 2012). Para este estudio se utilizó

dos ofertas de pradera (20 (baja) y 30 (moderada) kg MS vaca/día) y tres cantidades de concentrado energético (0, 3 y 6 kg MS/vaca/día). La oferta de pradera no modificó la producción de leche, pero sí incrementó la concentración de proteína láctea, el consumo de alimento y tiempo de pastoreo. Por su parte el aumento en la oferta de concentrado, incrementó la producción de leche y los sólidos lácteos y disminuyó el consumo de pradera sin afectar el consumo total de alimento ni el tiempo de pastoreo.

En una tercera evaluación que tuvo como objetivo relacionar dos ofertas de pradera restrictivas (17 (baja) y 25 (moderada) kg MS vaca/día) y dos tipos de ensilaje de pradera (pradera y maíz), ofrecidos a 6,25 kg MS/vaca/día (Ruiz-Albarrán et al, 2013). El incremento de la oferta de pradera no tuvo efecto en el consumo de MS ni en la producción de leche, pero sí aumentó el tiempo de pastoreo. Contrariamente, la suplementación con ensilaje de maíz incrementó la producción y la proteína láctea y el consumo de alimento, sin modificar el tiempo de pastoreo, respecto al ensilaje de pradera.

Dos experimentos adicionales en otoño tuvieron como objetivo relacionar el efecto del pastoreo restrictivo a través de dos ofertas de pradera (17 y 25 kg MS/vaca) y el incremento de ensilaje de pradera de 4,5 a 9,0 kg MS/día, para el primer ensayo (Ruiz-Albarrán et al, 2012). Para el segundo ensayo se usaron las mismas ofertas de pradera pero incrementando de 4,5 a 9,0 kg de ensilaje de maíz (Morales et al, 2014). En el primer ensayo el incremento de la oferta de pradera presentó similares consumos de alimento, sin cambios en la producción y composición de sólidos lácteos. Por otro lado, el incremento de la oferta de ensilaje de pradera no modificó la producción de leche y sólidos, el consumo total ni el tiempo de pastoreo, pero sí se observó una mayor tasa de sustitución.

Al comparar las mismas condiciones de pastoreo y cantidad de ensilaje suplementado pero distinto tipo de ensilaje (maíz). El incremento en la oferta de pradera (17 a 25 kg de MS/vaca/día) no modificó el consumo de pradera y el tiempo de pastoreo, pero sí mejoró la respuesta productiva. Se observó que el incremento en el ensilaje de maíz ofrecido no mejoró la producción de leche y sólidos lácteos (Morales et al., 2014). La mayor suplementación con ensilaje de maíz, resultó en un menor consumo de pradera y tiempo de pastoreo, sin afectarse el tiempo de rumia y otras actividades. La mayor suplementación habría generado una mayor tasa de sustitución de pradera por ensilaje ofrecido, reflejándose en menores tasas de consumo de pradera y similares consumos de alimento.

Actualmente se está trabajando en una línea de investigación basada en la hora y fraccionamiento de la entrega de pradera durante un mismo día, el objetivo es relacionar el tiempo de asignación de una oferta de pradera de 21 kg MS en vacas que recibían una ración base de 3,5 kg de MS de ensilaje y 3,0 kg de concentrado a través de una nueva franja ofrecida durante la mañana (AM) o bien por la tarde (PM) y fraccionada en dos cantidades iguales (AM&PM) durante el día (Nanning, 2014). En este estudio se observó una tendencia a incrementar la producción láctea al asignar una nueva franja durante la tarde, sin observarse cambios en la persistencia láctea, grasa,

proteína y urea láctea. El tiempo total que permanecen pastoreando fueron similares entre los tratamientos. Sin embargo, las vacas que fueron asignadas a una nueva franja ya sea durante la mañana o tarde, pastorearon mayormente durante las primeras 4 horas. Este estudio confirma la premisa que las vacas que son asignadas a una nueva franja después del ordeño de la tarde pastorean una pradera de mayor valor nutritivo que durante la mañana y estas tienden a mejorar la productividad de las vacas lecheras.

LITERATURA CONSULTADA

- Anrique, R., X. Molina, M. Alfaro, R. Saldaña. 2014. Composición de alimentos para el ganado bovino. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Instituto de Producción Animal. Valdivia, Chile. 87 p.
- Balocchi, O. A., y I. F. López. 2009. Herbage production, nutritive value and grazing preference of diploid and tetraploid perennial ryegrass cultivars (*Lolium perenne* L.). *Chil. J. Agric. Res.* 69:331-339.
- Bargo, F., L.D. Muller, E.S. Kolver, y J. E. Derlahoy. 2003 Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *J. Dairy. Sci.* 86:1-42.
- Clark, D.A. y S. L. Woodward. 2007. Supplementation of dairy cows, beef cattle and sheep grazing pasture. En: Rattray, P.V., Brookes, I.M., y Nicol, A.M. Pasture and supplements for grazing animals. New Zealand Society of Animal Production. Occasional publication N° 14. 117-133 p.
- Godoy, S.A.C. 2011. Respuesta productiva y metabólica de vacas lecheras suplementadas con concentrado con concentrado y pastoreando diferentes ofertas de pradera en primavera. Tesis de Magister. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. p. 52.
- Huerta, C.A. 2010. Efecto del nivel de suplementación y oferta de pradera sobre la respuesta productiva en vacas lecheras a inicio de lactancia en pastoreo primaveral. Memoria de título, Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad Austral de Chile.
- Keim, J.P., I.F. López, y O. A. Balocchi. 2014. Sward herbage accumulation and nutritive value as affected by pasture renovation strategy. *Grass and Forage Science.* doi: 10.1111/gfs.12115.
- Kennedy, E. M. O'donovan, L. Delaby, F. P. O'mara. 2008. Effect of herbage allowance and concentrate supplementation on dry matter intake, milk production and energy balance of early lactating dairy cows. *Livest Sci* 117, 275-286.
- Leichtle, L., M. Noro, O. A. Balocchi, F. Lanuza, J. Parga y R. G. Pulido. 2012a. Suplementación con maíz grano húmedo o ensilaje de maíz en vacas lecheras a pastoreo. 35° Congreso Argentino de Producción Animal. 9 y 12 de octubre. Córdoba, Argentina.
- Leichtle, L., M. Noro, O. A. Balocchi, F. Lanuza, J. Parga y R. G. Pulido. 2012b. Suplementación con maíz grano húmedo o trigo partido en vacas lecheras a pastoreo. 35° Congreso Argentino de Producción Animal. 9 y 12 de octubre. Córdoba, Argentina.
- Morales, Á., D. Grob, O. A. Balocchi, R. G. Pulido. 2014. Productive and metabolic response to two levels of corn silage supplementation in grazing

- dairy cows in early lactation during autumn. *Chil. J. Agric. Res.* 74:205-212.
- Peyraud, J.L. y R. Delagarde. 2013. Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing. *Anim.* 7 (Suppl. S1), 57-67.
- Pérez, P. L., R. Aanrique, H. González. 2007. Factores no Genéticos que Afectan la Producción y Composición de la Leche en un Rebaño de Particiones de la Décima Región de los Lagos, Chile. *Agric. Tec.* 67: 39-48.
- Poff, J.A., O. A. Balocchi, I. F. López. 2011. Sward and tiller growth dynamics of *Lolium perenne* L. as affected by defoliation frequency during autumn. *Crop Pasture. Sci* 62:346-354.
- Pulido, R.G., R. Muñoz, P. Lemarie, F. Wittwer, P. Orellana, G. C. Waghorn. 2010. Impact of increasing grain feeding frequency on production of dairy cows grazing pasture. *Livest. Sci.* 125:109-114.
- Pulido, R.G. 2013. Suplementación de vacas a pastoreo. Consorcio lechero. En: Pulido, R., Parga, J., Lanuza, A., Balocchi, L. 1ª ed. Consorcio lechero. Osorno. Chile. 85 p.
- Ruíz-Albarrán, M., O. A. Balocchi, M. Noro, F. Wittwer, R. G. Pulido. 2012. Effect of increasing pasture allowance and grass silage on animal performance, grazing behaviour and rumen fermentation parameters of dairy cows in early lactation during autumn. *Livest. Sci.* 150:407-413.
- Schöbitz J, M. Ruiz-Albarrán, O. A. Balocchi, F. Wittwer, M. Noro, R. G. Pulido. 2013. Effect of increasing pasture allowance and concentrate supplementation on animal performance and microbial protein synthesis in dairy cows. *Arch. Med. Vet.* 45, 247-258.

CONTROL OF FEED INTAKE IN THE TRANSITION PERIOD

Michael S. Allen and Paola Piantoni

Department of Animal Science
Michigan State University

Suppression of appetite in dairy cows during the postpartum (PP) period results in negative energy balance, which increases the risk of metabolic disorders. Cows in the PP period are in a lipolytic state from low plasma insulin concentration and decreased insulin sensitivity of tissues, which results in a gradual increase in plasma non-esterified fatty acid (NEFA) concentration in the days before parturition. Moreover, glucose demand for milk production increases drastically after parturition, decreasing plasma glucose concentration. The liver extracts plasma NEFA in a concentration dependent manner and once in the liver, NEFA can be oxidized to acetyl CoA or esterified and stored as triglycerides. Acetyl CoA is oxidized completely to CO₂, producing energy for the liver, or exported to the general circulation as ketone bodies to be used as a source of energy by extra-hepatic tissues. Excessive storage of NEFA as triglycerides compromises liver function while oxidation of NEFA might suppress feed intake. Satiety caused by hepatic oxidation of fuels is likely a dominant mechanism controlling feed intake during the transition period.

Oxidation of fuels signals brain feeding centers to affect feed intake via hepatic vagal afferents. While oxidation of fuels has been linked to feeding behavior, evidence suggests that the mechanism is specifically related to energy charge (degree of phosphorylation of adenine nucleotides) in the liver. The synergistic effects of metabolic inhibitors in laboratory animals suggest an integrated mechanism with a common signal related to hepatic energy status from the oxidation of various fuels. In ruminants, variation in the hypophagic effects of fuels is consistent with their ability to stimulate hepatic oxidation. Acetate and glucose are not extracted from the blood by the ruminant liver and have little effect on feed intake while propionate is extracted and metabolized and can cause satiety. Of fuels metabolized by the ruminant liver, propionate is likely a primary satiety signal when higher starch diets are fed because its flux to the liver increases greatly during meals. Propionate is a primary glucose precursor and can be used for gluconeogenesis, utilizing ATP, or to stimulate oxidation of acetyl CoA, increasing production of ATP, causing satiety. Since propionate is more hypophagic for cows with higher concentrations of hepatic acetyl CoA, acetyl CoA is likely a key metabolite involved in control of feeding behavior. Concentration of acetyl CoA in the liver is highly variable among cows, and is elevated for cows in a lipolytic state (e.g. early PP period, shipping stress). Therefore, highly fermentable starch sources should be limited during this period. Because glucose precursors are needed to restore euglycemia, increase plasma insulin concentration, and decrease lipolysis, rations with higher starch content are recommended during the PP period. However, starch sources with highly ruminally fermentable carbohydrates (e.g. high moisture corn) should be avoided because rapid flux of propionate to the liver can decrease meal size and feed intake. In addition, excessive fermentation acid production in the rumen can reduce ruminal pH and fiber digestion. For cows in the postpartum period, starch sources with lower ruminal degradability but high total tract digestibility (e.g. ground dry corn) will provide the required glucose

precursors for milk production, while limiting the depression in feed intake and fiber digestion that highly fermentable starch sources can induce.

Limiting the rate of lipolysis and the duration of the lipolytic state are key to reducing the incidence of metabolic disease. Lipolysis can be controlled by preventing excessive body condition, minimizing stress in the transition period, and maximizing feed intake in the PP period. Optimal body condition at parturition and increased feed intake PP can be achieved with strategic diet formulation and management. The objective of this presentation is to discuss metabolic control of feed intake in the transition period and its implications for optimizing health and performance of fresh cows.

REFERENCES

- Allen, M.S. 2014. Drives and limits to feed intake in ruminants. *Animal Production Science*, 2014, 54, 1513–1524, <http://dx.doi.org/10.1071/AN14478>
- Allen, M.S. and P. Piantoni. 2014. Carbohydrate Nutrition: Managing energy intake and partitioning through lactation. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, Dairy Nutrition* (in press), <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2014.07.004>
- Allen, M. S. and P. Piantoni. 2013. Metabolic control of feed intake: implications for metabolic disease of fresh cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 29:279–297, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2013.04.001>
- Allen, M. S. and B. J. Bradford. 2012. Control of food intake by metabolism of fuels – a comparison across species. *Proc. Nutr. Soc.* 71:401-409.
- Allen, M.S., B. J. Bradford, and M. Oba. 2009. BOARD-INVITED REVIEW: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *J. Anim. Sci.* 87: 3317-3334.
- Allen, M.S., B.J. Bradford, and K.J. Harvatine. 2005. The cow as a model to study food intake regulation. *Ann. Rev. Nutr.* 25:523-547.

METABOLISMO ENERGÉTICO EN VACAS LECHERAS

Ayelen Chiarle¹, Matias Sirini², Mauricio Giuliadori¹, Alejandro Relling²

¹Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de La Plata. Calle 60 y 118, CP B1900AVW. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

²IGEVET, CCT-La Plata, CONICET

*Correspondencia a arelling@fcv.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente artículo es realizar una actualización bibliográfica de la regulación del metabolismo energético que integra los ejes neuroendócrinos ya conocidos, como el somatotrófico y el hipotálamo-hipofisiario-gonadal, con el entero-insular. En este sentido, se conoce mucho de los ejes somatotrófico e hipotálamo-hipofisiario-gonadal, pero por el contrario, hay muy poca información de su interacción con el eje entero-insular. Este último está compuesto por hormonas que se secretan en el tracto gastrointestinal (hormonas gastrointestinales) y en el páncreas. Las hormonas gastrointestinales poseen efectos sobre el hipotálamo, el páncreas y el tejido adiposo entre otros. En este artículo se explicará principalmente el rol de dos hormonas gastrointestinales en la interacción metabólica que son el péptido insulínico dependiente de glucosa (GIP) y la ghrelina. Por ejemplo, se reportó que el GIP está directamente asociado a la energía producida en leche y que la ghrelina se relaciona con el aumento de producción hepática de glucosa.

POLIPÉPTIDO INSULINOTRÓFICO DEPENDIENTE DE GLUCOSA

El GIP, conocido anteriormente como péptido inhibidor gástrico, es una hormona peptídica liberada por el duodeno. En las ratas se ha descrito un aumento postprandial de su concentración en respuesta a la absorción de los nutrientes (Knapper *et al.*, 1995). Por el contrario, en los rumiantes se desconocen los factores causales de su liberación postprandial. En este sentido, cabritos lactantes alimentados con leche entera poseen mayores concentraciones plasmáticas de GIP que los que ingirieron leche descremada (Martin *et al.*, 1993). Estos autores concluyeron que las grasas inducían liberación de GIP. Por otra parte, se observó que en vacas lecheras la infusión abomasal de caseína o almidón se relaciona con mayores concentraciones de GIP que la infusión de grasas (Relling y Reynolds, 2008). Por lo tanto, este hallazgo sugeriría que la mayor concentración de GIP postprandial se debe no a la cantidad de grasa ingerida si no a la cantidad total de energía consumida.

En ratones se demostró la importancia del GIP en la partición de la energía debido a que la ausencia del receptor de GIP provoca menores ganancias de peso y de deposición de grasa sin reducir el consumo de alimento (Miyawaki *et al.* 2002). Además, se constató que la disminución de la eficiencia energética se asociaba al aumento del uso de carbohidratos como fuente energética (medido a partir del coeficiente respiratorio (Miyawaki *et al.* 2002). Otra función importante del GIP es la inhibición de la lipólisis y la estimulación de la lipogénesis. En roedores y humanos se ha demostrado que el GIP potencia la acción de la insulina y estimula la lipogénesis (Yip y Wolfe, 2000). En ovinos el GIP genera disminuye la lipólisis a nivel del tejido adiposo subcutáneo (Martin *et al.*, 1993). Esto último, coincidiría con una caída en la concentración

plasmática de ácidos grasos no esterificados en vacas lecheras observadas en varios de nuestros trabajos (datos no publicados). En un experimento con vacas en lactación mantenidas en cámaras calorimétricas se observó que las concentraciones plasmáticas de GIP se correlacionaban directamente con la producción de leche y con la energía secretada en la leche, y que se relacionaban inversamente con el coeficiente respiratorio (Relling *et al.*, 2014). Esto último podría indicar que en bovinos de leche, al igual que en los no rumiantes, el GIP tiene una función importante en la regulación de la partición energética al incrementar la eficiencia metabólica que se evidencia como un aumento de la producción, y no como un aumento en la deposición de tejido adiposo. Así, para aumentar la eficiencia de la producción de leche, el animal comenzaría a utilizar lípidos como fuente energética para su mantenimiento y dejaría más glucosa disponible para la síntesis de lactosa a nivel de la glándula mamaria. Sin embargo, aún no se conoce dónde se regula el efecto de esta hormona, en la glándula mamaria, en el tejido adiposo, en ambos, o en algún otro tejido.

GHRELINA

La ghrelina es una hormona peptídica que se secreta en el abomaso de los rumiantes (Bradford y Allen, 2008). Su función más reconocida es la de ser el secretagogo de la hormona de crecimiento (GH) prácticamente en todas las especies (Kojima y Kangawa, 2005; Wert-Lutz *et al.*, 2006). Además, en humanos y roedores se ha descrito que estimula el apetito y que mejora la ganancia de peso (Nakazato *et al.*, 2001; Takahashi *et al.*, 2012). Esta última función no siempre se ha observado en rumiantes.

En rumiantes las concentraciones plasmáticas de la ghrelina aumentan en respuesta a la restricción alimenticia. Cuando los animales reciben la ración todos los días a la misma hora (alimentación programada) también se observa un aumento previo al momento de suministro de la comida (Sugino *et al.*, 2002; Wert-Lutz *et al.*, 2006) y disminuyen luego de la alimentación (Wert-Lutz *et al.*, 2006).

Además, se demostró que en las vacas lecheras al inicio de la lactancia existe una correlación negativa entre las concentraciones de ghrelina y el balance energético que no se observa en la lactancia avanzada (Itoh *et al.*, 2005; Bradford y Allen, 2008). Por otra parte, la concentración de ghrelina (tanto en el líquido cefalorraquídeo como en el plasma) no se correlacionó con el CMS en vacas Holstein al inicio de la lactancia (Laeger *et al.*, 2013). Iqbal *et al.* (2006) sostienen que el efecto de la ghrelina sobre el CMS varía con la especie. Por lo tanto, parecería que la ghrelina en los rumiantes actuaría como “señal” en períodos de restricción alimenticia y de balance energético negativo, aunque su rol como estimulante del CMS es aún inconsistente. Börner *et al.* (2013) sugieren que la ghrelina desempeñaría un papel importante en la adaptación metabólica al inicio de la lactancia en los bovinos de leche. Esto concuerda con los trabajos de Itoh *et al.* (2005) y Bradford y Allen (2008), en los que la ghrelina aumentaba durante períodos de balance energético negativo (BEN) durante la lactancia temprana pero no en la lactancia avanzada. A su vez, la infusión de ghrelina produjo un aumento de la glucemia en vacas en lactancia, pero no en vacas secas (Itoh *et al.*, 2006). El mecanismo por el cual

la ghrelina genera un aumento en las concentraciones plasmáticas de glucosa no ha sido bien descrito aún; pero posiblemente se daría de manera indirecta a través de GH. La GH posee 3 tipos de receptores de GH (GHR): GHR 1A, GHR 1B y GHR 1C. El GHR 1A se encuentra exclusivamente en el hígado y su concentración varía con el estado metabólico y endócrino del animal (Hauser *et al.*, 1990), Es decir, aumentan en BNP y disminuye en el BEN. Los GHR 1B Y 1C, en cambio, se encuentran en diversos tejidos y se consideran constitutivos, por lo que su expresión no estaría afectada por las condiciones fisiológicas del animal (Lucy *et al.*, 1998). El ganado lechero es altamente dependiente de GH para estimular las enzimas gluconeogénicas, tanto de manera directa a nivel hepático, como indirecta a través de una inhibición en la acción de la insulina (Lucy *et al.*, 2001), lo que aseguraría la disponibilidad de glucosa para la síntesis de lactosa (Etherton y Bauman, 1998). Esta función es de vital importancia en el posparto temprano donde las concentraciones de GH son altas (Jiang *et al.*, 2005) y los nutrientes ingeridos son escasos con relación a las demandas para la síntesis láctea (Grummer, 1993). En este momento la ghrelina jugaría un rol importante al estimular la liberación de GH y aumentar así la glucemia. Esto último no se observaría cuando el BEP.

Por otro lado, en un trabajo realizado en bovinos de leche durante el período de transición se demostró que había una correlación directa entre las concentraciones plasmáticas de ghrelina y la movilización de tejido adiposo (Börner *et al.*, 2013); lo que indicaría un posible rol de ghrelina en el metabolismo del tejido adiposo.

CONCLUSIONES

Tanto la ghrelina como el GIP desempeñan funciones en la regulación del metabolismo energético en los rumiantes, pero exactamente cómo realizan estas actividades y cómo interactúan con los demás actores de la regulación energética está por ser dilucidado.

REFERENCIAS

- Börner S., M. Derno, S. Hacke, U. Kautzsch, C. Schäff, S. Thanthan, H. Kuwayama, H. M. Hammon, M. Röntgen, R. Weikard, C. Kühn, A. Tuchscherer, and B Kuhla. 2013. Plasma ghrelin is positively associated with body fat, liver fat and milk fat content but not with feed
- Bradford B. J., and M. S. Allen. 2008. Negative energy balance increases periprandial ghrelin and growth hormone concentrations in lactating dairy cows. *Dom Anim Endocrinol* 34: 196-203.
- Etherton T. D., and D. E. Bauman. 1998. Biology of somatotropin in growth and lactation of domestic animals. *Physiol Rev.* 78:745-61.
- Grummer R. R. 1993. Etiology of lipid-related metabolic disorders in periparturient dairy cows. *J Dairy Sci.* 76:3882-96.
- Hauser S. D., M. F. McGrath, R. J. Collier, and G. G. Krivi. 1990. Cloning and in vivo expression of bovine growth hormone receptor mRNA. *Mol Cell Endocrinol.* 72:187-200.
- Itoh F, T. Komatsu, M. Yonai, T. Sugino, M. Kojima, K. Kangawa, Y. Hasegawa, Y. Terashima, and K. Hodate. 2005. GH secretory responses to ghrelin and GHRH in growing and lactating dairy cattle. *Domest Anim Endocrinol.*

28:34-45.

- Itoh F., T. Komatsu, S. Kushibiki, and K. Hodate. 2006. Effects of ghrelin injection on plasma concentrations of glucose, pancreatic hormones and cortisol in Holstein dairy cattle. *Comp Biochem Physiol A* 143: 97-102.
- Iqbal J., Y. Kurose, B. Canny, and I. J. Clarke. 2006. Effects of central infusion of ghrelin on food intake and plasma levels of growth hormone, luteinizing hormone, prolactin, and cortisol secretion in sheep. *Endocrinology* 147:510-9.
- Jiang H., M. C. Lucy, B. A. Crooker, and W. E. Beal. 2005. Expression of growth hormone receptor 1A mRNA is decreased in dairy cows but not in beef cows at parturition. *J Dairy Sci.* 88:1370-7.
- Knapper J. M., A. Heath, J. M. Fletcher, L. M. Morgan, and V. Marks. 1995. GIP and GLP-1(7-36) amide secretion in response to intraduodenal infusions of nutrients in pigs. *Comp Biochem. Physiol. C. Pharmacol. Toxicol. Endocrinol.* 111: 445-450.
- Kojima, M., and K. Kangawa. 2005. Ghrelin: structure and function. *Physiol Rev* 85: 495-522.
- Laeger T., H. Sauerwein, A. Tuchscherer, O. Bellmann, C. C. Metges, and B. Kuhla. 2013. Concentrations of hormones and metabolites in cerebrospinal fluid and plasma of dairy cows during the periparturient period. *J Dairy Sci.* 96:2883-93.
- Lucy M. C., C. K. Boyd, A. T. Koenigsfeld, and C. S. Okamura. 1998. Expression of somatotropin receptor messenger ribonucleic acid in bovine tissues. *J Dairy Sci.* 81:1889-95
- Lucy M. C. 2001. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *J. Dairy Sci.* 84:1277–1293.
- Martin P. A., A. Faulkner, and G. E. Thompson. 1993. Effects of gut hormones on ovine adipose metabolism in vivo using microdialysis. *Biochem. Soc. Trans.* 21: 443S.
- Miyawaki K, Yamada Y, Ban N, Ihara Y, Tsukiyama K, Zhou H, Fujimoto S, Oku A, Tsuda K, Toyokuni S, Hiai H, Mizunoya W, Fushiki T, Holst JJ, Makino M, Tashita A, Kobara Y, Tsubamoto Y, Jinnouchi T, Jomori T, Seino Y. Inhibition of gastric inhibitory polypeptide signaling prevents obesity. *Nat Med.* 2002 Jul;8(7):738-42.
- Nakazato M, N. Murakami, Y. Date, M. Kojima, H. Matsuo, K. Kangawa, and S. Matsukura. 2001. A role for ghrelin in the central regulation of feeding. *Nature.* 409:194
- Relling, A. E., and C. K. Reynolds. 2008. Abomasal infusion of casein, starch and soybean oil differentially affect plasma concentrations of gut peptides and feed intake in lactating dairy cows. *Dom. Anim. Endocrinol.* 35: 35-45.
- Relling A. E, L. A. Crompton, S. C. Loerch, and C. K. Reynolds. 2014. Short communication: Plasma concentration of glucose-dependent insulinotropic polypeptide may regulate milk energy production in lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 97:2440-3.
- Sugino T., Y. Hasegawa, Y. Kikkawa, J. Yamaura, M. Yamagishi, Y. Kurose, M. Kojima, K. Kangawa, and Y. Terashima. 2002. A transient ghrelin surge

occurs just before feeding in a scheduled meal-fed sheep. *Biochem Biophys Res Commun.* 295:255-60.

Takahashi T., Y. Kobayashi, S. Haga, Y. Ohtani, K. Sato, Y. Obara, A. Hagino, S. G. Roh, and K. Katoh. 2012. A high-protein diet induces dissociation between plasma concentrations of growth hormone and ghrelin in wethers. *J Anim Sci.* 90:4807-13.

Wertz-Lutz A. E., T. J. Knight, R. H. Pritchard, J. A. Daniel, J. A. Clapper, A. J. Smart, A. Trenkle, and D. C. Beitz. 2006. Circulating ghrelin concentrations fluctuate relative to nutritional status and influence feeding behavior in cattle. *J Anim Sci.* 84:3285-300.

Yip, R. G. and M. M. Wolfe. 2000. GIP biology and fat metabolism. *Life Sci.*; 66:91-103.