

L'alimentation des jeunes veaux : un outil pour améliorer la future productivité

James K. Drackley, Ph.D., professeur en nutrition,
Département de sciences animales,
Université de l'Illinois,
Urbana, États-Unis

Une initiative conjointe

L'alimentation des jeunes veaux : un outil pour améliorer la future productivité

RÉSUMÉ

- Chez les jeunes veaux, l'apport d'une quantité accrue de lait ou de lactoreplaceur produit des conditions de croissance plus « naturelles » se rapprochant des quantités consommées lorsqu'ils sont élevés avec leur mère. La prise en compte d'autres comportements naturels des veaux dans l'élaboration des systèmes de régie pourrait améliorer à la fois leur bien-être et la rentabilité de l'exploitation.
- Au cours des premières semaines de vie, l'obtention de taux de croissance biologique appropriés repose sur une consommation accrue de lait ou de lactoreplaceur – une fonction que les aliments solides ne peuvent reproduire.
- Les veaux doivent avoir reçu une quantité appropriée de colostrum de qualité pour être en mesure d'utiliser les éléments nutritifs supplémentaires fournis par un apport en lait accru en début de vie.
- La régie de la transition au moment du sevrage joue un rôle vital pour le succès des régimes d'alimentation précoce améliorée. Une réduction graduelle de l'apport en lait et une consommation adéquate de concentré avant le sevrage sont des conditions essentielles à une transition réussie.
- La composition et la forme physique de ce concentré, de même que la gestion des fourrages, ont aussi des répercussions sur la transition à une alimentation solide.
- De plus en plus de données montrent qu'une alimentation précoce améliorée se traduit par un rendement en lait accru à la première lactation.

INTRODUCTION

Pendant des décennies, une pratique de régie largement acceptée voulait que l'on restreigne l'apport en lait ou en lactoreplaceur chez les jeunes veaux. Cette pratique visait à promouvoir l'ingestion de matière sèche en bas âge afin de stimuler le développement du rumen et de devancer l'âge du sevrage. Le sevrage hâtif, croyait-on, permettait de réduire le coût d'élevage de génisses laitières de remplacement puisque l'on passait rapidement à une alimentation moins coûteuse tout en réduisant la demande en main-d'œuvre et les coûts connexes. Les effets de la consommation de lait en début de vie sur la santé à long terme et sur la production de lait ultérieure n'ont jamais été pris en compte. Qui plus est, l'industrie laitière a longtemps accepté un taux de mortalité néonatale (7,9 % dans les troupeaux aux É.-U.; USDA, 2007) qui serait tout à fait inacceptable dans les industries bovine, porcine ou aviaire. S'est-on jamais demandé si ce taux de mortalité élevé pourrait être lié aux pratiques nutritionnelles en bas âge?

Les effets d'un apport accru de lait dans les premiers stades de la vie sont étudiés depuis plusieurs années (par exemple, Huber et coll., 1984; Richard et coll., 1988). La plupart de ces études n'ont cependant porté que sur les taux de croissance des veaux et sur les variables économiques comparatives dans un horizon très court, sans s'interroger sur l'impact de ces facteurs sur la performance future des vaches. Pratiquement toutes ces études ont utilisé un nombre insuffisant de veaux pour évaluer les effets sur la santé dans un contexte réel. En outre, à la lumière de la compréhension plus large que nous avons aujourd'hui des effets de l'apport et de l'équilibre nutritionnels sur la croissance en bas âge (Diaz et coll., 2001; Tikofsky et coll., 2001; Blome et coll., 2003; Bartlett et coll., 2006), il est évident que plusieurs de ces études plus anciennes (p. ex., Woodford et coll., 1987; Richard et coll., 1988) ont fait appel à des lactoreplaceurs qui ne favorisaient pas un développement rapide des tissus maigres.

À l'opposé, des études plus récentes ont clairement démontré les améliorations remarquables de la croissance et de l'indice de conversion obtenues grâce à un apport accru de lait (Flower et Weary, 2001; Jasper et Weary, 2002; Khan et coll., 2007a,b) ou de lactoreplaceur (Brown et coll., 2005; Bartlett et coll., 2006; Cowles et coll., 2006; Terré et coll., 2006; Hill et coll., 2008a; Raeth-Knight et coll., 2009; Stamey et coll., 2012). En conséquence, on constate aujourd'hui une augmentation générale des quantités de lait fournies aux veaux dans l'industrie, bien que seule une minorité de fermes utilise des systèmes qui visent véritablement à accroître la croissance des jeunes veaux par l'apport accru d'aliments lactés (« alimentation précoce améliorée », « croissance accélérée », « nutrition améliorée », « alimentation intensive » ou « croissance biologiquement normale »). Certaines études qui se sont penchées sur les effets à plus long terme des régimes précoces à base de lait ont fait état d'un possible avantage économique (Terré et coll., 2009; Davis-Rincker et coll., 2011). Les pratiques actuelles auraient-elles pour effet d'hypothéquer en partie le bénéfice futur?

LES LEÇONS DE MÈRE NATURE

Il est souvent utile de prendre un peu de recul par rapport aux pratiques de régie qui ont cours aujourd'hui pour repenser aux origines des bovins laitiers. Y a-t-il des comportements et des schémas d'adaptation naturels dont nous pourrions tirer parti pour promouvoir la productivité et la rentabilité, tout en améliorant le bien-être des animaux? Autrement dit, comment pourrions-nous travailler avec la nature, plutôt que la combattre?

Les veaux allaités par leur mère reçoivent un certain nombre de signaux sociaux et comportementaux qui influencent leur comportement alimentaire (von Keyserlingk et Weary, 2007). Au tout début de la vie du veau, ceci inclut les tétées à l'initiative de la mère (Lidfors et coll., 1994). Le libre accès au lait (alimentation *ad libitum*) et la motivation par la mère font en sorte que les veaux nourris par leur mère reçoivent entre 6 et 12 tétées par jour à raison d'environ 10 minutes par tétée au cours de leur première semaine de vie (Hafez et Lineweaver, 1968; Reinhardt et Reinhardt, 1981). Des veaux Holstein nourris librement à la mamelle ont consommé environ 6 kg de lait quotidiennement; à l'âge de neuf semaines, ils consommaient 12 kg de lait par jour (de Passillé et coll., 2008). Pendant les 14 premiers jours de leur vie, des veaux laissés auprès de leur mère ont présenté des taux de croissance environ 3 fois plus importants que leurs congénères séparés de la mère à l'âge d'un jour et recevant des quantités restreintes de lait (1,04 vs 0,36 kg/jour; Flower et Weary, 2001).

Dans un environnement « naturel », les veaux laissés auprès de leur mère commencent à brouter avec la vache à l'âge de trois semaines environ (Khan et coll., 2011). Et dans l'ordre naturel des choses, les vaches vêlaient au printemps et profitaient du début de croissances des herbages. Le premier aliment solide que consommaient les veaux dans le contexte d'un vêlage printanier et d'une alimentation à base d'herbe était donc une herbe immature luxuriante. Il s'agit d'un aliment riche en sucres et en fructosanes qui fermente rapidement et produit des proportions relativement élevées de butyrate et de propionate, qui sont les principaux stimulants du développement des papilles ruminales (Tamate et coll., 1962). La transition aux aliments solides était graduelle, et le sevrage était généralement complété vers l'âge de dix mois (Reinhardt et Reinhardt, 1981).

Chez le veau nourri au lait maternel, la méthode d'administration (la mamelle de la mère) facilite l'utilisation du plus grand volume de lait consommé. Le lait est ingéré à un rythme beaucoup plus lent lorsqu'il est pris directement à la mamelle, comparativement aux veaux qui ingurgitent une quantité de lait identique à partir d'un seau (Appleby et coll., 2001). Des veaux qui n'ont pas eu droit à la tétée ont par ailleurs démontré un comportement altéré (Appleby et coll., 2001; de Passillé, 2001). Les veaux nourris à la mamelle digéraient mieux et avaient moins tendance à téter leurs congénères que les veaux qui n'avaient pas accès à la mamelle pour satisfaire leur besoin de téter (de Passillé, 2001).

Plusieurs de ces comportements sont observés chez les veaux séparés de leur mère peu de temps après la naissance dans les systèmes de régie typiques des élevages laitiers. Les veaux qui reçoivent davantage de lait se développent plus rapidement et sont plus satisfaits; ils profitent de période de repos plus longues et sont moins portés à la vocalisation que les veaux chez lesquels l'apport en lait est restreint (Jasper et coll., 2008; De Paula Vieira et coll., 2008; Borderas et coll., 2009). Les veaux, qui sont des animaux sociaux, présentent une capacité d'apprentissage supérieure aux animaux ne démontrant pas ce comportement (Chua et coll., 2002) et une consommation accrue de concentré lorsqu'ils sont logés par paires plutôt que seuls (De Paula Vieira et coll., 2010). Des veaux logés par paires ont affiché une meilleure capacité compétitive pour l'accès à la nourriture une fois intégrés au troupeau, à un stade ultérieur de leur développement (Duve et coll., 2012).

La compréhension des chercheurs sur le comportement des bovins laitiers s'est accrue considérablement au cours des 15 dernières années. Dans la plupart des cas, les recherches ont clairement démontré que la prise en compte des comportements naturels a une incidence positive aussi bien sur la rentabilité des élevages que sur le bien-être des animaux (von Keyserlingk et coll., 2007, 2009). L'interaction entre le comportement et l'alimentation, de même qu'entre ces deux éléments et l'environnement du veau, a été clairement démontrée (Khan et coll., 2011).

COMBLER LES BESOINS NUTRITIONNELS DES VEAUX

Tout comme les autres animaux, les veaux ont besoin d'éléments nutritifs pour leur entretien et leur croissance. Et comme chez les autres animaux, les quantités d'éléments nutritifs requises ne sont pas fixes mais varient en fonction du poids corporel (PC) et du gain de poids quotidien moyen (GMQ). Aux États-Unis, la publication du National Research Council (NRC) sur les besoins

nutritionnels des bovins laitiers (NRC, 2001) a établi les besoins énergétiques des jeunes veaux en termes d'énergie métabolisable. Des expériences plus récentes sur la croissance réalisées à l'Université de l'Illinois et à l'Université Cornell ont fourni des données grâce auxquelles on a pu modifier les équations du NRC pour mieux prédire la croissance des génisses laitières et des taurillons dans le contexte des conditions d'élevage qui prévalent en Amérique du Nord (Tableau 1).

Tableau 1. Besoins nutritionnels et rapport gain de poids-alimentation pour un veau de 50 kg en conditions thermoneutres, établis au moyen des équations du NRC (2001) modifiées selon Cornell-Illinois (Van Amburgh et Drackley, 2005)

Gain de poids kg/j	Apport de matière sèche % du PC	Énergie métabolisable Mcal/j	Protéine brute g/j	Protéine brute % de la MS	Rapport gain-alimentation estimatif
0,2	1,05	2,34	94	18,0	0,38
0,4	1,30	2,89	150	22,4	0,63
0,6	1,57	3,49	207	26,6	0,77
0,8	1,84	4,40	253	27,4	0,86
1,0	2,30	4,80	318	28,6	0,87

Les données fournies au tableau 1 permettent de faire la démonstration de plusieurs principes importants. Tout d'abord, la quantité de solides du lait requise pour répondre aux besoins en énergie métabolisable d'entretien est appréciable. L'énergie métabolisable nécessaire à l'entretien lorsque l'animal se situe dans la zone de thermoneutralité est approximativement de 1,75 Mcal par jour pour un veau de 45 kg. Le lait entier contient environ 4,9 Mcal d'énergie métabolisable par kilogramme de solides, ce qui signifie qu'un veau de 45 kg a besoin d'environ 0,32 kg de solides du lait, ou 2,5 kg de lait entier pour l'entretien seulement. Étant donné que la plupart des lactoreplaceurs sont plus faibles en gras que le lait entier, ils procurent moins d'énergie métabolisable par unité de solide (4,6–4,7 Mcal/kg). En conséquence, un veau de 45 kg a besoin d'environ 0,39 kg de lactoreplaceur aux fins d'entretien seulement. La quantité de solides du lait consommée au-delà du seuil d'entretien sera disponible pour la croissance.

Deuxièmement, pour se développer plus rapidement, les veaux ont besoin de plus de lait ou de lactoreplaceur ou, dans le cas de veaux plus âgés, ils doivent consommer plus de concentré. Les veaux répondent à un apport accru en lait ou en lactoreplaceur par un gain de poids supérieur (Huber et coll., 1984; Richard et coll., 1988; Diaz et coll., 2001; Jasper et Weary, 2002; Brown et coll., 2005; Bartlett et coll., 2006; Cowles et coll., 2006; Terré et coll., 2006; Khan et coll., 2007a,b; Hill et coll., 2007; Hill et coll., 2008a; Borderas et coll., 2009; Raeth-Knight et coll., 2009; Davis Rincker et coll., 2011; Stamey et coll., 2012). Troisièmement, la quantité de protéine brute requise dans la diète du veau, établie en pourcentage de matière sèche (MS), est très faible en ce qui a trait à l'entretien, mais augmente avec la hausse du taux de gain de poids. Quatrièmement, la teneur en protéine brute du régime alimentaire semble atteindre un plateau aux environs de 28 %, ce qui se rapproche de la teneur en protéine brute des solides du lait entier (environ 26 % de la matière sèche). Finalement, ces interrelations mettent en lumière l'importance d'adapter l'apport en protéines alimentaires et en énergie en fonction de la croissance prévue du veau. Par exemple, si on

double la quantité d'un lactoreplaceur classique contenant 20 % de protéine brute, le veau n'aura pas suffisamment de protéine pour favoriser la croissance de tissus maigres, et le surplus d'énergie sera converti en graisse (Bartlett et coll., 2006). À l'inverse, si on fournit au veau un lactoreplaceur à forte teneur en protéine (p. ex., à 28 % de protéine brute) conçu pour une « croissance accélérée » aux taux de nutrition classiques de 450 à 600 g par jour, le veau consommera une quantité excessive de protéine qu'il ne pourra utiliser pour profiter d'une croissance supplémentaire, par manque d'énergie. Dans ce cas, les protéines excédentaires seront dégradées et l'azote sera excrété dans l'urine (Bartlett et coll., 2006).

Les besoins en énergie, à la différence des besoins en protéines, sont aussi influencés par les conditions environnementales. Les veaux gardés à l'extérieur de la zone de thermoneutralité, qui pour un veau de moins de 21 jours se situe entre 15 et 25 °C (NRC, 2001), doivent dépenser davantage d'énergie métabolisable pour générer la chaleur requise au maintien de leur température corporelle. Un veau de 45 kg dans un environnement à -20 °C a besoin d'environ 0,56 kg par jour de lactoreplaceur en poudre uniquement pour combler ses besoins d'entretien et régulariser sa température corporelle, comparativement à environ 0,39 kg par jour de poudre dans des conditions thermoneutres. Si les veaux exposés au froid reçoivent la même quantité de lait ou de lactoreplaceur que leurs congénères logés à l'intérieur de l'étable, la quantité d'énergie disponible pour la croissance sera moindre. Le stress thermique accroît aussi les besoins des veaux en énergie d'entretien, bien que la quantité exacte requise pour le refroidissement n'ait pas été aussi bien quantifiée qu'elle ne l'a été pour le stress dû au froid. Les diverses sources de stress dans l'environnement du veau réduisent aussi sa capacité à utiliser efficacement les protéines pour favoriser le gain de poids (Blome et coll., 2003).

Les jeunes veaux sont incapables de combler leurs besoins nutritionnels à partir d'aliments solides parce que leur consommation est trop faible dans leurs premiers jours de vie. Les veaux qui reçoivent des quantités restreintes de lait ne peuvent prendre plus de 0,2 à 0,3 kg par jour (Tableau 1); même lorsque leur consommation de concentré augmente, ils ne peuvent obtenir tous les éléments nutritifs requis à partir d'aliments solides et d'une quantité de lait restreinte (Kertz et al., 1979; Nielsen et coll., 2008a; Sweeney et coll., 2010; Kosiorowska et coll., 2011). Pour produire des taux de croissance biologiquement normaux pendant leurs premiers stades de vie, les veaux doivent profiter de quantités accrues de solides du lait. S'ils ont un accès illimité au lait, ils ne pourront pas atteindre leur plein potentiel de croissance. Les veaux consomment environ 20 % de leur poids corporel par jour (Jasper et Weary, 2002; Khan et coll., 2007a), ce qui correspond environ à 2,5 % de leur poids corporel sous forme de solides du lait, ou 10 à 12 L de lait entier par jour pour des veaux Holstein typiques. À cause de la consommation plus faible et de la digestibilité moindres des concentrés et des fourrages par rapport au lait, les veaux ne peuvent consommer un apport d'éléments nutritifs digestibles égal à celui dont bénéficient ceux qui reçoivent de plus grandes quantités de lait ou de lactoreplaceur (Drackley, 2008).

Il faut un apport en colostrum adéquat pour optimiser les bénéfices d'une consommation accrue de lait. Dans les programmes intensifs, les veaux chez qui le transfert passif est insuffisant (taux d'IgG sériques < 10 mg/mL) n'afficheront pas une croissance aussi efficiente que ceux qui ont reçu une quantité optimale de colostrum. Ceci pourrait s'expliquer en partie par un état de santé générale

moins vigoureux, mais aussi par un apport insuffisant d'éléments nutritifs, d'hormones et de facteurs de croissance contenus dans le colostrum. À titre d'exemple, nous avons récemment démontré que chez des veaux profitant d'un programme d'alimentation intensif avec l'utilisation d'un lactoreemplaceur, que ceux qui avaient de faibles concentrations d'IgG (un indicateur d'un apport insuffisant de colostrum) présentaient des taux de croissance moindres comparativement aux veaux qui avaient un taux d'IgG adéquat (Tableau 2). De telles données montrent qu'une croissance moyenne faible en réponse à un programme alimentaire intensif chez des veaux achetés (Hill et coll., 2006; Quigley et coll., 2006; Drackley, 2008) résulte vraisemblablement d'un apport généralement faible en colostrum chez ces veaux.

Tableau 2. Effets du statut à l'égard du colostrum (faible ou bon)¹ sur la croissance de taurillons achetés et nourris selon un programme traditionnel ou un programme intensif par lactoreemplaceur, jusqu'à l'âge de 5 semaines (Osorio et Drackley, 2009, données non publiées)

Variable	Traditionnel		Intensif	
	Faible	Bon	Faible	Bon
Nombre de veaux	21	20	17	25
Taux moyen d'IgG sérique, mg/dL	558 ^a	1793 ^b	609 ^a	2036 ^b
GMQ ² , kg/jour	0,53 ^a	0,50 ^a	0,63 ^b	0,74 ^c

¹ Faible = < 10 mg/mL, Bon = > 10 mg/dL.

² Interaction du statut à l'égard du colostrum et de l'alimentation ($p < 0,05$).

^{abc} Sur une même ligne, les valeurs ayant des exposants différents sont statistiquement différentes. ($p < 0,10$).

GESTION DE LA TRANSITION AUX ALIMENTS SOLIDES : LA CLÉ DU SUCCÈS

Pour que les veaux poursuivent leur développement au même rythme après le sevrage, l'apport en aliments digestibles doit être maintenu au même niveau. La source des éléments nutritifs passe toutefois de solides du lait hautement digestibles à un concentré (et peut-être à une petite quantité de foin) dont la digestibilité est moindre. On sait de longue date que si les veaux reçoivent un volume accru de lait, l'ingestion de concentré sera moindre que chez les veaux soumis à un système classique à quantités restreintes de lait (Hodgson, 1971; Leaver et Yarrow, 1972; Jenny et coll., 1982; Huber et coll., 1984). L'une des frustrations initiales soulevées par les régimes alimentaires fournissant une quantité accrue de lait, y compris dans le cadre de nos propres études (Pollard et coll., 2003), fut la baisse soudaine et prononcée de la croissance au moment du sevrage (Cowles et coll., 2006; Hill et coll., 2006; Hill et coll., 2008a). Cette baisse est en partie attribuable au fait que le concentré ne contient que 65 à 70 % de l'énergie métabolisable fournie par les solides du lait ou les lactoreemplaceurs (NRC, 2001). Ainsi, l'apport de concentré doit être considérablement plus important que celui recommandé auparavant afin de maintenir les taux de croissance observés avant le sevrage (Tableau 3).

Tableau 3. Apport de moulée début requis pour soutenir différents taux de croissance des veaux

Poids (kg)	GMQ (g/jour)	Apport de moulée début requis (kg MS/j)
60	600	1,53
60	800	1,90
80	600	1,80
80	800	2,18

Pour une moulée début contenant 3,1 Mcal d'énergie métabolisable/kg de matière sèche (NRC, 2001).

La consommation de concentré augmente rapidement lorsqu'on élimine l'apport de lait ou de lactoreplaceur (Jasper et Weary, 2002) ou lorsqu'on le réduit (Khan et coll., 2007a,b; Stamey et coll., 2012), tel qu'illustré à la Figure 1. On constate que les taux d'augmentation de la consommation de concentré associés à la réduction de l'apport en lait sont sensiblement les mêmes dans les modèles d'alimentation lactée classique ou intensive (Hill et al., 2006, 2007; Stamey et coll., 2012). Toutefois, un sevrage effectué avant que le rumen ne soit suffisamment développé pour digérer efficacement le concentré et pour absorber les acides gras volatils qui en résultent peut produire une baisse soudaine de la croissance. Outre la réduction de l'apport total en éléments nutritifs, une plus faible consommation de concentré par les veaux qui reçoivent davantage de lait peut potentiellement ralentir le développement du rumen et en réduire la capacité digestive (Terré et coll., 2006, 2007; Hill et coll., 2010). Le tout premier facteur à considérer pour faciliter la transition au moment du sevrage serait donc de s'assurer de fournir un apport adéquat de concentré avant le sevrage. La Figure 2 montre une étroite corrélation entre l'apport en concentré avant le sevrage et le GMQ pendant la semaine qui suit le retrait complet du lait (Stamey et coll., 2012). L'équation de régression indique que les veaux devraient consommer quotidiennement environ 1,5 kg de moulée début avant le sevrage complet pour maintenir un taux de croissance supérieur à 900 g par jour une fois le lait complètement éliminé.

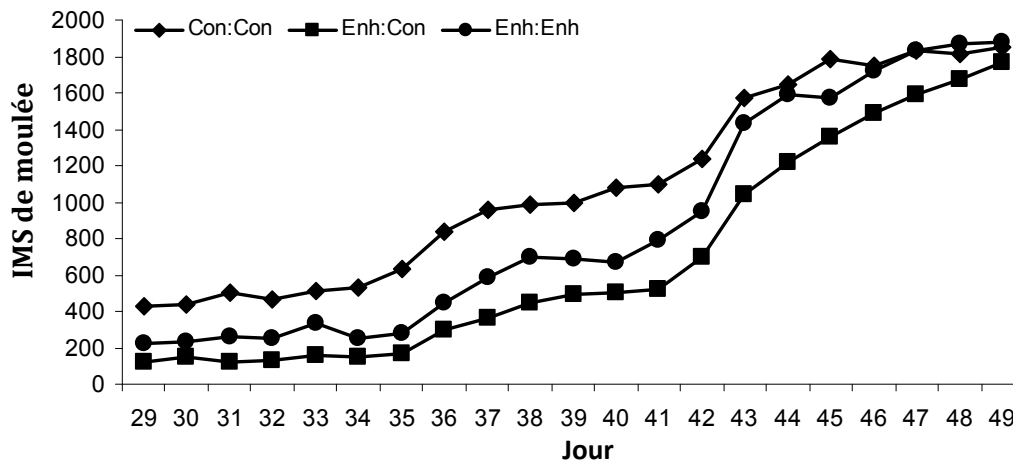


Figure 1. Consommation quotidienne de concentré (g/jour) dans la période de sevrage. Les veaux ont reçu un lactoreplaceur classique plus une moulée début classique (losanges), un lactoreplaceur enrichi plus une moulée début classique (carrés), ou un lactoreplaceur plus une moulée début enrichie (cercles). Le repas de lactoreplaceur de l'après-midi a été abandonné le jour 35, et les veaux ont été sevrés après le jour 42. D'après Stamey et coll. (2012).

La réduction graduelle de l'apport en lait semble être le facteur le plus important pour permettre une consommation accrue de moulée début au sevrage. Khan et coll. (2007a) ont utilisé un programme modifié d'augmentation et de réduction échelonnées, au cours duquel la quantité de lait était réduite lentement à compter de l'âge de 3 semaines. Dans cette étude, la hausse de l'apport en concentré se poursuivait à un rythme régulier et les taux de croissance ont été maintenus pendant et après le sevrage. En outre, le rumen était plus lourd et mieux développé d'un point de vue métabolique que chez les veaux dont l'alimentation était rationnée (Khan et coll., 2007b). Le sevrage échelonné sur 10 jours (jusqu'au 41^e jour) a donné lieu à une consommation de concentré semblable à celle des veaux sevrés sur une période de 22 jours, mais le sevrage sur 10 jours a été associé à une meilleure croissance (Sweeney et coll., 2010). De plus, le sevrage sur 10 jours s'est associé à un maintien supérieur du rythme de croissance comparativement au sevrage abrupt et au sevrage sur une période de 4 jours seulement (Sweeney et coll., 2010). L'apport en lactoremplacéur peut être réduit soit par la diminution de la quantité totale fournie à l'animal, soit par une dilution graduelle avec de l'eau (Jasper et coll., 2008; Nielsen et coll., 2008b). Une autre idée récente visant à améliorer le sevrage consiste à continuer d'administrer de l'eau tiède pendant 2 ou 3 jours aux heures de repas habituelles après le retrait du lait (Jasper et coll., 2008). On dissocie ainsi les aspects comportementaux du sevrage de l'aspect purement nutritionnel.

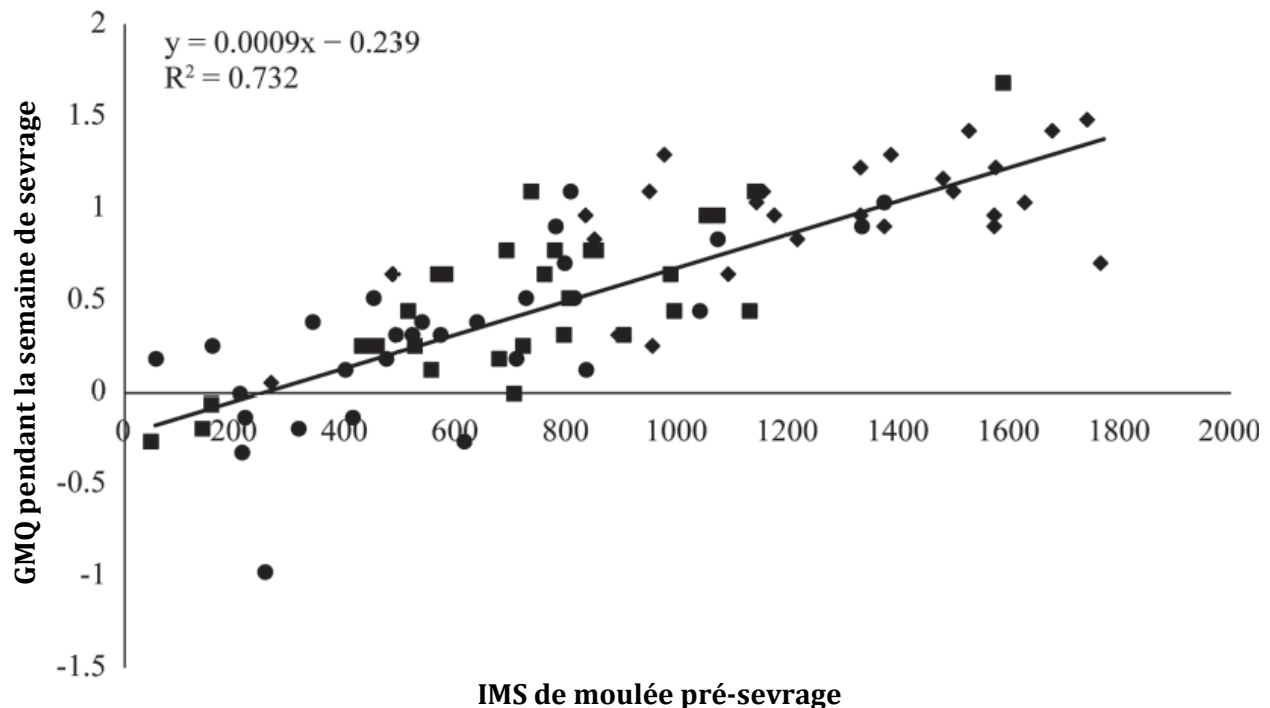


Figure 2. Analyse de régression du GMQ (kg/jour; axe des y) au cours de la semaine qui suit le sevrage (semaine 7) en fonction de l'apport quotidien moyen de concentré (sous forme de matière sèche, en g/jour, axe des x) au cours des 3 derniers jours avant le sevrage de veaux qui recevaient un faible apport de lactoremplacéur classique plus une moulée début classique (◆), un apport élevé de lactoremplacéur enrichi plus une moulée début classique (■), ou un apport élevé de lactoremplacéur enrichi plus une moulée début à forte teneur en protéine brute (●). D'après Stamey et coll., (2012).

La composition du concentré peut influencer la consommation, de même que l'apport en éléments nutritifs. Lorsqu'on a utilisé concentré à teneur accrue en protéine brute (22 % vs 18 %) pour augmenter l'apport en protéine métabolisable, la consommation de moulée début s'est accrue pendant la période de sevrage (Figure 1) et des taux de croissance supérieurs ont été enregistrés après le sevrage (Stamey et coll., 2012). Kosiorowska et coll. (2011) ont constaté qu'un concentré expérimental à faible teneur en amidon et à forte teneur en mélasse et en fibre (10,7 % d'amidon, 29,6 % de NDF) avait eu pour effet d'abaisser le GMQ sans toutefois influencer le développement du rumen comparativement à un concentré classique à forte teneur en amidon (35,0 % d'amidon, 13,6 % de NDF) lorsqu'il était administré avec du lait entier à raison d'un apport élevé (6,4 kg/jour) ou faible (3,2 kg/jour). Hill et coll. (2008b) ont quant à eux constaté que la substitution du maïs par de la mélasse, du saccharose ou des écorces de soja réduisait le GMQ après le sevrage, alors que l'avoine constituait un substitut acceptable au maïs. Chez des veaux qui recevaient un apport élevé de lactoreplaceur (1200 g/jour), la substitution d'une partie du maïs-grain par de la pulpe de betterave ou des drèches de distillerie de triticales dans le concentré n'a pas influencé le GMQ pendant la période antérieure au sevrage, mais une tendance à la baisse du GMQ a cependant été observée pendant la période de transition (Laarman et coll., 2012).

L'une des explications vraisemblables expliquant la réduction de la consommation ou de la performance associée au remplacement de l'amidon par des sources de fibre non fourragères dans ces études est le faible pH qui prévaut dans le rumen en développement, ce qui a pour effet d'inhiber les bactéries capables de digérer les fibres. Quigley et coll. (1992) ont constaté que le pH dans le rumen de jeunes veaux était inférieur à 6,0 pendant la plus grande partie de la période de 12 heures qui suit un repas, que les veaux aient accès à du foin ou non. Kristensen et coll. (2007) et Laarman et Oba (2011) ont aussi rapporté un pH plus faible que 6,0 pendant une bonne partie de la journée. Un pH faible explique aussi en partie la piètre utilisation des fibres des fourrages chez les jeunes veaux.

Des études récentes ont cependant ranimé le débat quant au bien-fondé d'administrer ou non du fourrage aux jeunes veaux nourris au lait, particulièrement lorsque ceux-ci reçoivent des volumes importants de lait ou de lactoreplaceur. Les études comportent souvent des facteurs de confusion tels que les caractéristiques physiques et chimiques des concentrés (p. ex., aliment granulé ou texturé; quantité de fourrage ou non-fourrage [NDF] moulu, litière de paille ou non, type et qualité des fourrages offerts). Khan et coll. (2011b) ont observé que des veaux qui recevaient 8 litres de lait par jour et avaient un accès illimité à du foin de graminées haché en plus d'un concentré consommaient davantage de moulée et de foin entre la 6^e et la 10^e semaines que les veaux qui n'avaient pas accès au foin. Laarman et Oba (2011) ont montré qu'un apport de 80 g par jour de foin haché était suffisant pour prévenir une baisse du pH du rumen sous 5,8 pendant une bonne partie de la journée. Castells et coll. (2012), pour leur part, ont rapporté que les veaux qui recevaient différents types de foin en plus d'un concentré présentaient un GMQ supérieur, une digestion améliorée et une consommation alimentaire accrue, en plus de consacrer plus de temps à ruminer et moins de temps à des comportements oraux non nutritionnels. Il est cependant impératif de noter que dans toutes ces études, les veaux étaient logés sur une litière de copeaux de bois ou de bran de scie. Or, la consommation de quantités mêmes minimales de litière de paille pourrait vraisemblablement reproduire les effets du fourrage observés dans les études ci-dessus

(Kertz, 2007). Chez des veaux qui profitaient de litières de paille, la forme physique du concentré n'a pas eu d'influence sur la croissance ni sur la consommation alimentaire des veaux (Bateman et coll., 2009).

Des modèles nutritionnels intermédiaires, à mi-chemin entre les programmes intensifs et les programmes classiques, ont été mis au point. Ces modèles modérément enrichis préconisent un apport en liquide se situant entre les extrêmes associées aux programmes intensifs et classiques (Stamey et coll., 2006; Hill et coll., 2006). Ces nouveaux modèles produiraient moins de chutes soudaines de la croissance au sevrage et moins de malaises digestifs chez les veaux que les programmes comportant un apport en liquide plus volumineux (Hill et coll., 2006), tout en fournissant néanmoins un statut nutritionnel amélioré pendant la période critique des deux ou trois premières semaines (Stamey et coll., 2006). Les lactoreplaceurs conçus pour ces modèles intermédiaires contiennent généralement entre 24 et 26 % de protéine brute et sont administrés à raison de 1,5 à 1,75 % du poids corporel. Bien que plus faciles à mettre en œuvre, ils ne permettent pas de tirer pleinement parti du potentiel de croissance initial des jeunes veaux. Ils pourraient cependant se révéler plus faciles à mettre en application chez des veaux transportés ou privés de colostrum que les programmes intensifs plus audacieux (Hill et coll., 2006).

Les systèmes d'alimentation automatisés et commandés par ordinateur devraient permettre de maximiser les avantages des programmes de croissance accélérée tout en réduisant le plus possible les problèmes d'adaptation et de sevrage. Nous avons certes encore beaucoup à apprendre pour en arriver à un usage optimal de tels systèmes, mais il est évident qu'ils pourraient susciter un rendement exceptionnel (Nielsen et coll., 2008a; Borderas et coll., 2009). Ils permettent notamment une augmentation graduelle de l'apport en lait en début de vie et des réductions graduelles programmées des quantités de lait jusqu'au sevrage (Sweeney et coll., 2010). Les systèmes d'alimentation automatisés faciliteraient aussi la mise en œuvre de schémas nutritionnels plus compliqués, comme ceux qu'ont utilisés Khan et coll. (2007a,b).

MEILLEURS VEAUX, MEILLEURES VACHES?

Les avantages d'un statut nutritionnel amélioré au cours des deux ou trois premières semaines de vie peuvent être multiples : atteinte plus rapide de la taille nécessaire à la reproduction et au vêlage, capacité supérieure à résister aux infections, production laitière subséquente accrue (Drackley, 2005). D'autres études ont colligé des données sur l'amélioration de la productivité et de la rentabilité (Davis Rincker et coll., 2011; Khan et coll., 2011).

À l'inverse, un apport nutritionnel inadéquat en début de vie semble être un facteur de poids dans la réduction de la résistance aux maladies, de la santé générale et du bien-être. Les données actuelles permettent de supposer que les améliorations de la santé des veaux qui reçoivent davantage de lait ou de lactoreplaceur sont dues à l'amélioration générale du statut nutritionnel, plutôt qu'à l'un ou l'autre des changements observés dans les caractéristiques ou les fonctions immunitaires. De fait, les études qui ont examiné les aspects fonctionnels des éléments du système immunitaire n'ont généralement décelé que des variations minimales entre les veaux selon qu'ils

étaient alimentés selon des modèles classiques ou intensifs (Griebel et coll. 1987; Pollock et coll., 1993, 1994; Nonnecke et coll. 2003; Foote et coll., 2005, 2007). Khan et coll. (2007b) ont mis en lumière une réduction des cotations fécales chez les veaux soumis à un programme de croissance accélérée avec lait entier. Malheureusement, aucune étude n'a encore été réalisée chez des veaux nourris selon différents modèles nutritionnels, puis exposés à un organisme pathogène afin d'évaluer l'incidence des modèles nutritionnels sur la capacité de résister aux maladies ou de récupérer plus rapidement à la suite d'une maladie.

L'amélioration de la production laitière est sans contredit la répercussion la plus intéressante et la plus importante d'un point de vue économique d'un apport en lait accru en début de vie. À la lumière de la quantité croissante de données sur la lactation de vaches qui avaient été soumises à différents schémas nutritionnels après leur naissance, il ne fait plus de doute que la nutrition précoce améliorée et les taux de croissance supérieurs qui s'ensuivent se traduisent bel et bien par une production de lait accrue. Plusieurs études antérieures avaient laissé entendre que les veaux qui avaient reçu des quantités accrues de lait produisaient davantage de lait à l'âge adulte (Foldager et Krohn, 1994; Foldager et coll., 1997; Bar-Peled et coll., 1997). Les améliorations moyennes du rendement laitier à la première lactation sont de l'ordre de 500 à 1 000 kg de lait, y compris dans le cadre d'une étude réalisée par le groupe de recherche de l'auteur (Drackley et coll., 2007). Plusieurs autres études ont aussi fait état des répercussions positives d'un apport en lait accru, bien que ces comparaisons pourraient ne pas être significatives lorsque ces études sont considérées individuellement (Raeth-Knight et coll., 2009; Terré et coll., 2009).

Dans leur analyse récente des rendements en lait de plus de 1800 vaches dans deux troupeaux de l'État de New York, Soberon et coll. (2012) ont constaté que le GMQ antérieur au sevrage comptait pour 22 % dans la variation du rendement en lait lors de la première lactation, selon leur évaluation par le modèle du jour du test (MJT). Pour chaque kg de GMQ antérieur au sevrage, le rendement en lait de première lactation était supérieur de 850 kg et de 1113 kg dans les deux troupeaux. Les marges de supériorité étaient indépendantes des problèmes sanitaires survenus en début de vie. Pour compenser les variations saisonnières du GMT, Soberon et coll. (2012) ont aussi quantifié les résultats selon l'apport en énergie métabolisable en surplus des besoins d'entretien. Leur analyse a montré une hausse de la production de lait de 235 kg pour chaque Mcal d'énergie métabolisable fournie en plus des besoins d'entretien.

Soberon et Van Amburgh (2012) ont réalisés une méta-analyse pour examiner les données tirées de 11 études portant sur l'incidence d'une alimentation précoce améliorée sur le rendement en lait. Selon les différents essais réalisés, l'apport accru en éléments nutritifs était fourni sous forme de quantités accrues de lait, de lactoremplaceur ou de colostrum. Un simple modèle mixte d'analyses avec effets aléatoires et pondéré en fonction du nombre de veaux par traitement a permis de constater que l'apport en lait accru (en tant que variable qualitative, élevée ou faible) s'était traduit par un surplus prévu de 506 kg de lait. L'incidence du traitement s'est révélée hautement significative. Dans une deuxième analyse dans laquelle le GMQ antérieur au sevrage servait de variable continue, chaque kg de GMQ antérieur au sevrage s'est associé à un surplus de 1404 kg de lait à la première lactation (une autre donnée hautement significative). Cette analyse fournit une

forte indication à l'effet que la répercussion générale d'une alimentation précoce améliorée pourrait se résumer ainsi : de meilleures vaches produisant plus de lait.

CONCLUSIONS

Nous avons aujourd'hui accès à un important ensemble de données démontrant que la consommation d'une quantité accrue de lait ou de lactoreemplaceur au cours des premières semaines de vie a une incidence positive non seulement sur la hausse du GMQ pendant la période de l'alimentation lactée, mais aussi sur le potentiel de rendement en lait subséquent. Les recherches et les expériences sur le terrain récentes ont mis en lumière certains aspects qui pourraient jouer un rôle primordial dans le succès des régimes d'alimentation précoce fondés sur un apport en lait accru. Les veaux doivent recevoir du lait entier ou un lactoreemplaceur de composition appropriée à raison d'environ deux fois la quantité fournie par les régimes classiques d'alimentation restreinte. Les pratiques de régie entourant la transition entre le statut de veau nourri au lait et celui de génisse sevrée ne consommant que des aliments solides jouent aussi un rôle crucial pour le maintien des gains de croissance associés à l'alimentation précoce. Le sevrage graduel et en douceur facilite la transition aux aliments secs. Les veaux privés de colostrum ou ceux qui subissent un stress associé au transport ne répondent pas aussi bien à l'apport de quantités accrues de lait, lequel pourrait en fait avoir une incidence négative chez ces veaux. Finalement, des recherches récentes ont montré que les tentatives de reproduction des comportements « naturels » des bovins laitiers sont bénéfiques, aussi bien pour la croissance que pour le bien-être des animaux.

RÉFÉRENCES

- Appleby, M.C., D.M. Weary, and B. Chua. 2001. Performance and feeding behavior of calves on ad libitum milk from artificial teats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 74:191-201.
- Bar-Peled, U., B. Robinzon, E. Maltz, H. Tagari, Y. Folman, I. Bruckental, H. Voet, H. Gacitua, and A.R. Lehrer. 1997. Increased weight gain and effects on production parameters of Holstein heifer calves that were allowed to suckle from birth to six weeks of age. *J. Dairy Sci.* 80:2523-2528.
- Bartlett, K.S., F.K. McKeith, M.J. VandeHaar, G.E. Dahl, and J.K. Drackley. 2006. Growth and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein at two feeding rates. *J. Anim. Sci.* 84:1454-1467.
- Bateman, H.G., II, T.M. Hill, J.M. Aldrich, and R.L. Schlotterbeck. 2009. Effects of corn processing, particle size, and diet form on performance of calves in bedded pens. *J. Dairy Sci.* 92:782-789.
- Blome, R.M., J.K. Drackley, F.K. McKeith, M.F. Hutjens, and G.C. McCoy. 2003. Growth, nutrient utilization, and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein. *J. Anim. Sci.* 81:1641-1655.
- Borderas, T. F., A. M. de Passillé, and J. Rushen. 2009. Feeding behavior of calves fed small or large amounts of milk. *J. Dairy Sci.* 92:2843-2852.

- Brown E.G., M.J. Vandehaar, K.M. Daniels, J.S. Liesman, L.T. Chapin, D.H. Keisler, and M.S. Nielsen. 2005. Effect of increasing energy and protein intake on body growth and carcass composition of heifer calves. *J. Dairy Sci.* 88:585-594.
- Castells, L.I., A. Bach, G. Araujo, C. Montoro, and M. Terré. 2012. Effect of different forage sources on performance and feeding behavior of Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 95:286-293.
- Chua, B., E. Coenen, J. van Delen, and D. M. Weary. 2002. Effects of pair versus individual housing on the behavior and performance of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 85:360-364.
- Cowles, K. E., R. A. White, N. L. Whitehouse, and P. S. Erickson. 2006. Growth characteristics of calves fed an intensified milk replacer. *J. Dairy Sci.* 89:4835-4845.
- Davis Rincker, L. E., M. J. VandeHaar, C. A. Wolf, J. S. Liesman, L.T. Chapin, and M. S. Weber Nielsen. 2011. Effect of intensified feeding of heifer calves on growth, pubertal age, calving age, milk yield, and economics. *J. Dairy Sci.* 94:3554-3567.
- De Paula Vieira, A., V. Guesdon, A.M. de Passillé, M.A.G. von Keyserlingk, and D.M. Weary. 2008. Behavioural indicators of hunger in dairy calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 109:180-189.
- De Paula Vieira, A., M. A. G. von Keyserlingk, and D. M. Weary. 2010. Effects of pair versus single housing on performance and behavior of dairy calves before and after weaning from milk. *J. Dairy Sci.* 93:3079-3085.
- de Passillé, A.M.B. 2001. Sucking motivation and related problems in calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 72:175-187.
- de Passillé, A.M.B.P., G. Marnet, H. Lapierre, and J. Rushen. 2008. Effects of twice-daily nursing on milk ejection and milk yield during nursing and milking in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:1416-1422.
- Diaz, M.C., M.E. Van Amburgh, J.M. Smith, J.M. Kelsey, and E.L. Hutten. 2001. Composition of growth of Holstein calves fed milk replacer from birth to 105-kilogram body weight. *J. Dairy Sci.* 84:830-842.
- Drackley, J.K. 2005. Early growth effects on subsequent health and performance of dairy heifers. Chapter 12 in *Calf and Heifer Rearing*. P.C. Garnsworthy, ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Drackley, J. K. 2008. Calf nutrition from birth to breeding. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Prac.* 24:55-86.
- Drackley, J.K., and M.E. Van Amburgh. 2005. Nutrient requirements of the calf: birth to weaning. Pages 86-95 in *Dairy Calves and Heifers. Integrating Biology and Management*. NRAES publ. 175, Cooperative Extension, Ithaca, NY.
- Drackley, J.K., B.C. Pollard, H.M. Dann, and J.A. Stamey. 2007. First-lactation milk production for cows fed control or intensified milk replacer programs as calves. *J. Dairy Sci.* 90(Suppl. 1):614. (Abstr.)
- Duve, L.R., D.M. Weary, U. Halekoh, and M.B. Jensen. 2012. The effects of social contact and milk allowance on responses to handling, play, and social behavior in young dairy calves. *J. Dairy Sci.* (in press).
- Flower, F.C., and D.M. Weary. 2001. Effects of early separation on the dairy cow and calf: 2. Separation at 1 day and 2 weeks after birth. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 70:275-284.

- Foldager, J., and Krohn, C.C. 1994. Heifer calves reared on very high or normal levels of whole milk from birth to 6-8 weeks of age and their subsequent milk production. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 3 (Abstr.)
- Foldager, J., C.C. Krohn, and L. Mogensen. 1997. Level of milk for female calves affects their milk production in first lactation. In *Proc. 48th Ann. Mtg. European Assoc. Anim. Prod.*
- Foote, M.R., B.J. Nonnecke, D.C. Beitz, and W.R. Waters. 2007. High growth rate fails to enhance adaptive immune responses of neonatal calves and is associated with reduced lymphocyte viability. *J. Dairy Sci.* 90:404-417.
- Foote, M.R., B.J. Nonnecke, W.R. Waters, M.V. Palmer, D.C. Beitz, M.A. Fowler, B.L. Miller, T.E. Johnson, and H.B. Perry. 2005. Effects of increased dietary protein and energy on composition and functional capacities of blood mononuclear cells from vaccinated, neonatal calves. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 75:357-368.
- Griebel, P.J., M. Schoonderwoerd, and L.A. Babiuk. 1987. Ontogeny of the immune response: effect of protein energy malnutrition in neonatal calves. *Can. J. Vet. Res.* 51:428-435.
- Hafez, E.S.E., and L.A. Lineweaver. 1968. Suckling behaviour in natural and artificially fed neonate calves. *Z. Tierpsychol.* 25:187-198.
- Hill, T.M., J.M. Aldrich, R.L. Schlotterbeck, and H.G. Bateman II. 2006. Effects of feeding calves different rates and protein concentrations of twenty percent fat milk replacers on growth during the neonatal period. *Prof. Anim. Sci.* 22:252-260.
- Hill, T.M., H.G. Bateman, II, J.M. Aldrich, and R.L. Schlotterbeck. 2007. Effects of feeding rate of milk replacers and bedding material for calves in a cold, naturally ventilated nursery. *Prof. Anim. Sci.* 23:656-664.
- Hill, S.R., K.F. Knowlton, K.M. Daniels, R.E. James, R.E. Pearson, and A.V. Capuco. 2008a. Effects of milk replacer composition on growth, body composition, and nutrient excretion in preweaned Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 91:3145-3155.
- Hill, T.M., H.G. Bateman II, J.M. Aldrich, and R.L. Schlotterbeck. 2008b. Effects of feeding different carbohydrate sources and amounts to young calves. *J. Dairy Sci.* 91:3128-3137.
- Hodgson, J. 1971. The development of solid food intake in calves. 5. The relationship between liquid and solid food intake. *Anim. Prod.* 13:593-597.
- Huber, J.T., A.G. Silva, O.F. Campos, and C.M. Mathieu. 1984. Influence of feeding different amounts of milk on performance, health, and absorption capability of baby calves. *J. Dairy Sci.* 67:2957-2963.
- Jasper, J., and D.M. Weary. 2002. Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *J. Dairy Sci.* 85:3054-3058.
- Jasper, J., M. Budzynska, and D. M. Weary. 2008. Weaning distress in dairy calves: Acute behavioural responses by limit-fed calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 110:136-143.
- Jenny, B. F., H. J. Van Dijk, and L. W. Grimes. 1982. Performance of calves fed milk rations once daily at various fluid intakes and dry matter concentrations. *J. Dairy Sci.* 65:2345-2350.
- Kertz, A.F. 2007. Letter to the Editor: Pelleted calf starter with straw access can confound results: A comment on Bach et al. (2007). *J. Dairy Sci.* 90:4924.

- Kertz, A.F., L.R. Prewitt, and J.P. Everett, Jr. 1979. An early weaning calf program: summarization and review. *J. Dairy Sci.* 62:1835-1843.
- Khan, M.A., H.J. Lee, W.S. Lee, H.S. Kim, S.B. Kim, K.S. Ki, J.K. Ha, H.G. Lee, and Y.J. Choi. 2007a. Pre- and postweaning performance of Holstein female calves fed milk through step-down and conventional methods. *J. Dairy Sci.* 90:876-885.
- Khan, M.A., H.J. Lee, W.S. Lee, H.S. Kim, K.S. Ki, T.Y. Hur, G.H. Suh, S.J. Kang, and Y.J. Choi. 2007b. Structural growth, rumen development, and metabolic and immune responses of Holstein male calves fed milk through step-down and conventional methods. *J. Dairy Sci.* 90:3376-3387.
- Khan, M.A., D.M. Weary, and M.A.G. von Keyserlingk. 2011a. Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 94:3547-3871.
- Khan, M.A., D.M. Weary, and M.A.G. von Keyserlingk. 2011b. Hay intake improves performance and rumen development of calves fed higher quantities of milk. *J. Dairy Sci.* 94:1071-1081.
- Kosiorowska, A., L. Puggaard, M.S. Hedemann, J. Sehested, S.K. Jensen, N.B. Kristensen, P. Kuroпка, K. Marycz, and M. Vestergaard. 2011. Gastrointestinal development of dairy calves fed low- or high-starch concentrate at two milk allowances. *Animal* 5:211-219.
- Laarman, A.H., and M. Oba. 2011. Short communication: Effect of calf starter on rumen pH of Holstein dairy calves at weaning. *J. Dairy Sci.* 94:5661-5664.
- Laarman, A.H., T. Sugino, and M. Oba. 2012. Effects of starch content of calf starter on growth and rumen pH in Holstein calves during the weaning transition. *J. Dairy Sci.* 95:4478-4487.
- Leaver, J. D., and N. H. Yarrow. 1972. Rearing of dairy cattle. 2. Weaning calves according to their concentrate intake. *Anim. Prod.* 14:161-165.
- Lidfors, L., P. Jensen, and B. Algers. 1994. Suckling in free-ranging beef cattle. Temporal patterning of suckling bouts and effects of age and sex. *Ethology* 98:321-332.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Nielsen, P. P., M. B. Jensen, and L. Lidfors. 2008a. Milk allowance and weaning method affect the use of a computer controlled milk feeder and the development of cross-sucking in dairy calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 109:223-237.
- Nielsen, P.P., M.B. Jensen, and L. Lidfors. 2008b. The effects of teat bar design and weaning method on behavior, intake, and gain of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 91:2423-2432.
- Nonnecke, B.J., M.R. Foote, J.M. Smith, B.A. Pesch, and M.E. Van Amburgh. 2003. Composition and functional capacity of blood mononuclear leukocyte populations from neonatal calves on standard and intensified milk replacer diets. *J. Dairy Sci.* 86:3592-3604.
- Pollard, B.C., H.M. Dann, and J.K. Drackley. 2003. Evaluation of intensified liquid feeding programs for dairy calves. *J. Dairy Sci.* 86(Suppl. 1):174. (Abstr.)
- Pollock, J.M., T.G. Rowan, J.B. Dixon, S.D. Carter, D. Spiller, and H. Warenus. 1993. Alteration of cellular immune responses by nutrition and weaning in calves. *Res. Vet. Sci.* 55:298-306.
- Pollock, J.M., T.G. Rowan, J.B. Dixon, and S.D. Carter. 1994. Level of nutrition and age at weaning: effects on humoral immunity in young calves. *Br. J. Nutr.* 71:239-248.

- Quigley, J.D., III, T.M. Steen, and S.I. Boehms. 1992. Postprandial changes in ruminating calves of selected blood and ruminal metabolites fed diets with or without hay. *J. Dairy Sci.* 75:228-235.
- Quigley, J.D., T.A. Wolfe, and T.H. Elsasser. 2006. Effects of additional milk replacer feeding on calf health, growth, and selected blood metabolites in calves. *J. Dairy Sci.* 89:207-216.
- Raeth-Knight, M., H. Chester-Jones, S. Hayes, J. Linn, R. Larson, D. Ziegler, B. Ziegler, and N. Broadwater. 2009. Impact of conventional or intensive milk replacer programs on Holstein heifer performance through six months of age and during first lactation. *J. Dairy Sci.* 92:799-809.
- Reinhardt, V., and A. Reinhardt. 1981. Cohesive relationships in a cattle herd. *Behaviour* 77:121-151.
- Richard A.L., L.D. Muller, and A.J. Heinrichs. 1988. Ad libitum or twice daily feeding of acidified milk replacer to calves housed individually in warm and cold environments. *J. Dairy Sci.* 71:2193-2202.
- Soberon, F., and M.E. Van Amburgh. 2012. The effect of nutrient intake from milk or milk replacer of pre-weaned pre-weaned dairy calves on lactation milk yield as adults. *J. Dairy Sci.* 95(Suppl. 2):696. (Abstr.)
- Soberon, F., E. Raffrenato, R.W. Everett, and M.E. Van Amburgh. 2012. Prewaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 95:783-793.
- Stamey, J.A., N.A. Janovick, A.F. Kertz, and J.K. Drackley. 2012. Influence of starter protein content on growth of dairy calves in an enhanced early nutrition program. *J. Dairy Sci.* 95:3327-3336.
- Stamey, J.A., R.L. Wallace, K.R. Grinstead, D.R. Bremmer, and J.K. Drackley. 2006. Influence of plane of nutrition on growth of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 89:1871. (Abstr.)
- Sweeney, B.C., J. Rushen, D.M. Weary, and A.M. de Passillé. 2010. Duration of weaning, starter intake, and weight gain of dairy calves fed large amounts of milk. *J. Dairy Sci.* 93:148-152.
- Tamate, H., A.D. McGilliard, N.L. Jacobson, and R. Getty. 1962. Effect of various dietaries on the anatomical development of the stomach in the calf. *J. Dairy Sci.* 45:408-420.
- Terré, M., M. Devant, and A. Bach. 2006. Performance and nitrogen metabolism of calves fed conventionally or following an enhanced growth feeding program during the preweaning period. *Livest. Sci.* 105:109-119.
- Terré, M., M. Devant, and A. Bach. 2007. Effect of level of milk replacer fed to Holstein calves on performance during the preweaning period and starter digestibility at weaning. *Livest. Sci.* 110:82-88.
- Terré, M., C. Tejero, and A. Bach. 2009. Long-term effects on heifer performance of an enhanced-growth feeding programme applied during the preweaning period. *J. Dairy Res.* 76:331-339.
- Tikofsky, J.N., M.E. Van Amburgh, and D.A. Ross. 2001. Effect of varying carbohydrate and fat content of milk replacer on body composition of Holstein bull calves. *J. Anim. Sci.* 79:2260-2267.
- USDA. 2007. Dairy 2007, Part I: Reference of Dairy Cattle Health and Management Practices in the United States, 2007. Fort Collins CO: USDA-APHIS-VS, CEAH.

- Van Amburgh, M., and J. Drackley. 2005. Current perspectives on the energy and protein requirements of the pre-weaned calf. Chapter 5 in Calf and Heifer Rearing. P.C. Garnsworthy, ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- von Keyserlingk, M.A.G., J. Rushen, A.M.B. de Passillé, and D.M. Weary. 2009. Invited review: The welfare of dairy cattle—Key concepts and the role of science. *J. Dairy Sci.* 92:4101–4111.
- von Keyserlingk, M.A. G., and D.M. Weary. 2007. Maternal behaviour in cattle: A review. *Horm. Behav.* 52:106–113.
- Woodford, S.T., H.D. Whetstone, M.R. Murphy, and C L. Davis. 1987. Abomasal pH, nutrient digestibility, and growth of Holstein bull calves fed acidified milk replacer. *J. Dairy Sci.* 70:888-891.