



Symposium sur les bovins laitiers

Le mardi 30 octobre 2018

Centrexpo Cogeco, Drummondville

Outils pour maximiser l'utilisation de l'amidon dans les rations de vaches laitières

Luiz Ferraretto, Ph.D., professeur adjoint, nutrition animale
University of Florida

Outils pour maximiser l'utilisation de l'amidon dans les régimes alimentaires des bovins laitiers

Luiz F. Ferraretto, Ph.D., PAS

Professeur adjoint en nutrition du bétail

Département des sciences animales

University of Florida

lferraretto@ufl.edu

INTRODUCTION

Comparativement à d'autres nutriments, l'amidon a été un sujet de recherche sous-évalué en nutrition laitière pendant plusieurs années. Par conséquent, aucune recommandation sur l'apport d'amidon pour les vaches laitières n'a été établie par le guide de nutrition du *NRC* (2001). Récemment, l'amélioration observée dans l'utilisation de l'amidon par les vaches laitières en lactation a suscité beaucoup d'intérêt de la part des producteurs laitiers et des nutritionnistes du secteur, surtout au cours de la dernière décennie qui a vu les prix du maïs doubler. L'amidon est rapidement fermenté en propionate par les microorganismes du rumen. Le propionate est absorbé dans la circulation sanguine et transporté jusqu'au foie où, il sert de précurseur du glucose. S'il n'est pas digéré dans le rumen, l'amidon atteint l'intestin grêle et est digéré directement en glucose par l'amylase pancréatique. Donc, en dépit de l'absence d'exigence établie, la complémentation d'amidon touche directement l'apport de glucose et, ainsi, la performance laitière des vaches. Conséquemment, l'utilisation de l'amidon par les vaches laitières est devenu un sujet de recherche important. Le présent article a donc pour objectif de présenter et de débattre des stratégies potentielles visant à optimiser l'utilisation de l'amidon chez les vaches laitières en lactation.

DIGESTIBILITÉ DE L'AMIDON DU MAÏS GRAIN ET DU MAÏS ENSILAGE

L'amidon représente environ 50 % de la valeur énergétique du maïs ensilage et 75 % de celle du maïs grain, respectivement (calculée d'après le guide de nutrition du *NRC*, 2001). Comparativement à d'autres sources d'amidon comme l'orge et le blé, le maïs affiche une digestibilité de l'amidon inférieure dans le rumen et dans l'ensemble du tube digestif (**ADTD**; Ferraretto et coll., 2013). Une meilleure compréhension des facteurs qui touchent la disponibilité et la digestion de l'amidon pourrait mener à la formulation de rations plus efficaces à meilleur coût et à plus faible teneur en amidon réduisant les risques d'acidose ruminale. De plus, il est souhaitable de mettre l'accent sur la digestibilité ruminale de l'amidon puisqu'elle altère l'efficacité de l'utilisation de l'énergie et augmente la synthèse microbienne ruminale lorsque les niveaux de protéines dégradables dans le rumen sont adéquats (Firkins et coll., 2006). La plus forte synthèse microbienne explique la plus grande concentration de protéines laitières par unité de concentration d'amidon digestible dans le rumen (Ferraretto et coll., 2013). Une augmentation de la digestion d'amidon peut mener à une meilleure utilisation des nutriments et à une baisse des coûts d'alimentation. Une description détaillée des facteurs pouvant influencer l'utilisation de l'amidon dans le maïs ensilage et le maïs grain sera abordée dans cette section.

La digestibilité de l'amidon du maïs ensilage, du maïs grain humide (**MGH**) et du maïs sec moulu (**MSM**) peut être affectée par plusieurs facteurs. Tout d'abord, l'amidon de l'endosperme est protégé par le péricarpe qui offre une grande résistance à la fixation microbienne s'il est intact (McAllister et coll., 1994); la rupture de l'enveloppe du grain est donc essentielle. Les régimes contenant du MGH dont la

taille moyenne des particules (**TMP**) est inférieure à 2 mm avaient davantage d'ADTD comparativement au MGH dont la TMP était supérieure à 2 mm (95,2 % comparativement à 89,5 %; Ferraretto et coll., 2013). De même, une plus grande TMP a réduit l'ADTD dans les régimes de MSM (77,7 % comparativement à 93,3 % pour une TMP de 4 mm et de 1 mm respectivement; Ferraretto et coll., 2013). Cela s'explique par la plus grande surface exposée à la digestion bactérienne et enzymatique des particules plus fines (Huntington, 1997). On obtient une plus grande digestibilité d'amidon et une meilleure production de lait lorsque le maïs ensilage est récolté avec un appareillage éclateurs de grains réglé entre 1 et 3 mm (Ferraretto et Shaver, 2012). Toutefois, d'autres pratiques de récolte comme la maturité à la récolte et la longueur de coupe théorique (**LCT**) peuvent nuire à l'efficacité des éclateurs de grains.

L'éclatement des grains est efficace quand les couteaux sont réglés à une LCT entre 0,93 et 2,86 cm, mais pas plus court ni plus long (Ferraretto et Shaver, 2012). Cela pourrait s'expliquer par l'éclatement des grains plus prononcé par les lames de coupe à une LCT plus courte (Johnson et coll., 1999) ou par l'inhibition de l'éclatement des grains lors du passage des tiges à travers les rouleaux quand la LCT est plus longue. De plus, l'éclatement des grains a accru l'ADTD dans les régimes contenant du maïs ensilage entre 32 et 40 % de MS à la reprise, mais pas quand le maïs ensilage était à plus de 40 % de MS (Figure 1; Ferraretto et Shaver, 2012). Une proportion accrue d'endosperme vitreux dans le grain est associée à une plus grande maturité (Phillipeau et Michalek-Douveau, 1997). L'amidon de l'endosperme vitreux est moins digestible à cause des liaisons chimiques de la zéine qui enveloppent les granules d'amidon (Kotarski et coll., 1992); la teneur en endosperme vitreux est influencée par la maturité du grain et le type d'hybride. De plus, une augmentation d'endosperme vitreux dans le grain augmente la dureté du grain qui, à son tour, peut amener les grains de maïs ensilage très secs à éclater moins facilement durant la transformation des grains à la récolte.

La réduction de la taille des particules du grain améliore la digestibilité de l'amidon en augmentant la surface exposée aux microbes du rumen. Toutefois, même une fois le grain brisé, l'amidon n'est pas entièrement digestible en raison de la présence d'une matrice de protéines-amidon formée par les liaisons chimiques de la zéine avec les granules d'amidon (Kotarski et coll., 1992; McAllister et coll., 1993). Par conséquent, l'étape suivante consisterait à libérer l'amidon de ses matrices protéiques. À mesure que le maïs gagne en maturité, l'amidon devient plus vitreux et davantage de liaisons se forment avec la zéine. Cette matrice amidon-protéine réduit la digestibilité de l'amidon. La digestibilité ruminale de l'amidon in vitro est plus élevée lorsque le MGH est récolté à une plus basse teneur en MS (Figure 2; Ferraretto et coll., 2014). De plus, une méta-analyse de Ferraretto et Shaver (2012) a révélé une réduction de l'ADTD dans les régimes contenant du maïs ensilage à plus de 40 % de MS. Cela pourrait être lié à une augmentation de la proportion d'endosperme vitreux dans le grain associée à une plus grande maturité (Correa et coll., 2002; Ngonyamo-Majee et coll., 2009). Il est également possible qu'une réduction de la fermentation de maïs ensilage plus sec (Der Bedrosian et coll., 2012) atténue la dégradation de la zéine durant la fermentation (Hoffman et coll., 2011). Goodrich et coll. (1975) ont récolté du MGH à 67 % de MS et ont séché du maïs au four pour qu'il atteigne de 73 à 79 % de MS afin de pouvoir étudier les effets de la teneur en eau sur la fermentation du MGH; ils ont observé une baisse des concentrations d'acétate et de lactate et une hausse correspondante du pH à mesure que la teneur en MS du MGH augmentait. Les plus faibles concentrations de lactate et d'acétate sont probablement liées à la croissance bactérienne réduite résultant de l'apport d'eau limité (Muck, 1988). Goodrich et coll. (1975) ont également observé une baisse de la production de gaz ruminale in vitro accompagnant la baisse de la teneur en MS, ce qui laisse supposer une digestibilité réduite de l'amidon du MGH lorsque la teneur en MS est plus élevée. Ces résultats suggèrent qu'un stade de maturité adéquat est nécessaire à la récolte pour maximiser la digestibilité de l'amidon du maïs ensilage et du MGH.

On dénote quatre phases importantes de fermentation lors de la mise en silo d'un fourrage : une phase aérobie, une phase de fermentation active, une phase stable et une phase de reprise. La phase aérobie débute après la récolte et l'ensilage. Durant cette phase, la respiration des plantes et des microorganismes se poursuit jusqu'à ce que l'oxygène soit complètement absent du silo ou que l'approvisionnement de substrat ait pris fin. Une fois l'oxygène épuisé, la fermentation commence avec la production bactérienne des produits finaux de fermentation. Cette phase se caractérise par l'accumulation d'acide lactique et d'acide acétique et la baisse correspondante du pH. Une fois le pH bas, la masse ensilée atteint une phase de stabilité. Il est généralement admis que la fermentation microbienne et végétale cesse et que peu de changements surviennent durant la phase de stabilité. Le Tableau 1 résume les résultats de travaux de recherche sur les effets de la durée d'entreposage de l'ensilage de maïs sur la digestibilité ruminale de l'amidon évaluée in vitro (**DAiv**). À 30 ou à 45 jours d'ensilage, la digestibilité de l'amidon a augmenté d'une moyenne de 7 pour cent, situation qui est probablement liée à la phase de fermentation qui coïncide avec cette période de temps. Il est intéressant de noter que les 7 études ont constaté une augmentation graduelle de la DAiv au fil du temps, ce qui laisse supposer que la DAiv augmente peut-être continuellement à mesure que l'entreposage se prolonge. L'activité protéolytique des protéases microbiennes ou végétales est plus prononcée durant le processus de fermentation anaérobie (Baron et coll., 1986). La phase anaérobie est caractérisée par une chute radicale du pH (Muck, 2010) qui favorise l'activité des protéases végétales spécifiques de l'endosperme des grains céréaliers (Simpson, 2001), malgré le fait que l'activité des protéases végétales est habituellement réduite lorsque le pH est bas (Muck, 1988). Junges et coll. (2015) ont évalué l'impact de diverses sources de protéases sur la solubilisation des protéines dans du maïs réhydraté ensilé pendant 90 jours. Ces auteurs ont signalé que les protéases bactériennes étaient responsables de 60 % de l'augmentation de la concentration de protéines brutes solubles, suivies des enzymes des grains (30 %), des champignons et des produits finaux de fermentation (5 % chacun).

Même si prolonger le temps d'entreposage peut favoriser l'accroissement de la digestibilité de l'amidon dans les cas où le maïs récolté est constitué de particules plus grossières, plus sèches ou d'hybrides plus vitreux, la recherche dans le domaine est encore limitée. Deux autres études (Ferraretto et coll., 2015a,b) ont été menées pour évaluer l'interaction entre les types d'hybrides et la durée d'entreposage par rapport à la digestibilité de l'amidon du maïs ensilage. Nous avons avancé l'hypothèse que l'entreposage prolongé atténuerait ou comblerait peut-être la différence de digestibilité d'amidon entre les types d'hybrides. Lors de la première expérience (Ferraretto et coll., 2015b), une autre étude collaborative industrie-université, 8 hybrides de maïs ensilage (4 maïs à nervure centrale brune; bm₃ et 4 feuillus) ont été ensilés pendant 0, 30, 120 et 240 jours. Bien que la DAiv ait été similaire d'un hybride à l'autre tout au long de la période d'entreposage, la réponse de la fraction N au temps de fermentation a varié selon le type d'hybride, ce qui permet de croire à des effets plus prononcés sur la dégradation de la zéine dans les hybrides feuillus que dans les hybrides bm₃. La seconde expérience (Ferraretto et coll., 2015a) a permis de comparer 3 hybrides (bm₃, deux fins, et farineux-feuillu expérimental) ensilés pendant 0, 30, 60, 120 et 240 jours. Toutefois, contrairement à notre hypothèse, la durée d'entreposage plus longue n'a pas atténué les effets négatifs de la vitrosité du grain sur la DAiv. Cela s'avère particulièrement important parce que les pratiques de gestion pourraient ne pas éliminer complètement les différences inhérentes de digestibilité ruminale de l'amidon d'un hybride à l'autre. Les résultats de ces expériences soulignent l'importance de mener davantage de recherche sur la digestibilité de l'amidon du maïs ensilage en ce qui a trait aux interactions potentielles entre les hybrides, la maturité à la récolte, la transformation des grains et la durée d'entreposage. Par ailleurs, les résultats indiquent que les hybrides de type bm₃ pourraient offrir la meilleure chance de tirer parti de

l'altération des propriétés de l'endosperme des grains pour obtenir une meilleure digestibilité de l'amidon.

CONCENTRATION D'AMIDON DANS LE RÉGIME ALIMENTAIRE

Une étude récente a fait appel à la méta-analyse pour évaluer l'effet de l'amidon alimentaire sur la performance laitière des vaches (Ferraretto et coll., 2013). Les auteurs n'ont tenu compte que des valeurs d'amidon alimentaire et non du type spécifique de glucide utilisé pour remplacer l'amidon. La concentration d'amidon dans le régime alimentaire n'a pas affecté l'ingestion et cela semble lié à deux phénomènes contraires : l'encombrement du rumen (Mertens, 1987) et les concentrations ruminales de propionate plus élevées et la diminution correspondante de la taille des repas (Allen et coll., 2009) lorsque le maïs grain était remplacé partiellement par des sources de fibres fourragères et non-fourragères, respectivement. Bien que la production laitière ait augmenté de 0,08 kg/jour par pour cent d'augmentation de la teneur en amidon alimentaire, la conversion alimentaire n'a pas été touchée par l'amidon alimentaire. De plus, la concentration plus élevée d'amidon alimentaire a amélioré la teneur en protéines du lait. La teneur réduite en protéines du lait des vaches recevant un régime alimentaire faible en amidon est liée à une diminution de la production de protéines microbiennes ruminales (Oba et Allen, 2003). Autrement, une quantité plus faible d'amidon atteint l'intestin grêle et modifie la teneur en protéines du lait en altérant les concentrations artérielles d'insuline (Rius et coll., 2010). Inversement, la teneur en gras du lait a diminué avec l'augmentation de la teneur en amidon alimentaire. La baisse de gras du lait dans les régimes alimentaires à forte teneur en amidon est probablement également liée à l'apport moins important de fibres détergentes neutres (NDF) (Jenkins et McGuire, 2006). La concentration d'azote uréique du lait a également diminué en raison de la hausse des concentrations d'amidon alimentaire. Globalement, ces données permettent de croire à une meilleure utilisation de l'azote ruminal (guide de nutrition du NRC, 2001) à mesure que l'apport en amidon du régime alimentaire augmente.

Un autre résultat d'intérêt souligné par la méta-analyse de Ferraretto et coll. (2013) est l'effet de la concentration d'amidon alimentaire sur la digestibilité in vivo de fibres NDF. La digestibilité de fibres NDF alimentaires a diminué de 0,61 % dans le rumen et de 0,48 % dans l'ensemble du tube digestif par pour cent d'augmentation de la teneur en amidon alimentaire. Tout comme la baisse de gras du lait, la baisse de digestibilité des fibres peut s'expliquer en partie par une baisse du pH ruminal résultant des plus grandes quantités d'amidon digérées dans le rumen par suite de l'augmentation de l'ingestion d'amidon. On sait qu'un faible pH ruminal affecte la croissance microbienne et l'adhérence bactérienne et donc, la digestion des fibres. De plus, la digestibilité des sous-produits non-fourragers essentiellement riches en fibres utilisés pour remplacer le maïs grain en partie dans les régimes faibles en amidon pourrait aussi avoir sa part de responsabilité. Un exercice présenté par Weiss (non publié) durant la 28^e Conférence Découverte de l'*American Dairy Science Association* sur l'amidon chez les ruminants a servi à calculer les effets d'un changement de 0,5 % de la digestibilité de fibres NDF dans l'ensemble du tube digestif pour chaque changement de 1 % de la teneur en amidon alimentaire sur les valeurs énergétiques alimentaires. Dans l'exercice de Weiss, une hausse de 5 % de la teneur en amidon alimentaire (par ex., passer de 25 à 30 %) ferait augmenter l'énergie nette de lactation (EN_L) de 6,5 % si on ne tient pas compte des effets néfastes de l'amidon alimentaire sur la digestibilité des fibres NDF dans l'ensemble du tube digestif. Toutefois, une réduction de 2,5 % (de 46,5 à 44,0 %) de la digestibilité des fibres NDF dans l'ensemble du tube digestif résulterait en une hausse de l'EN_L de 5,3 %. Il conviendrait d'intégrer ces effets dans les différents modèles de formulation.

On peut formuler des régimes à teneur réduite en amidon en remplaçant une partie des grains céréaliers par des sous-produits alimentaires riches en fibres et faibles en amidon (par ex., écales de

soya, de la pulpe d'agrumes, des graines de coton entières, de la pulpe de betterave, écales de graines de coton, résidus de blé), des fourrages riches en amidon (par ex., du maïs ensilage) ou des ingrédients riches en sucre (par ex., de la mélasse, du lactosérum, du sucrose). Toutefois, même si ces diverses sources de glucides peuvent fournir de l'énergie, leur fermentation ruminale par les microorganismes génère différents produits finaux de fermentation qui, à leur tour, altèrent le métabolisme et la performance des vaches laitières. Fredin (2015) a mené une méta-analyse visant à déterminer laquelle de ces stratégies d'alimentation pourrait mitiger les effets néfastes potentiels de servir aux vaches laitières un régime alimentaire réduit en amidon. La production laitière a baissé quand l'amidon a été remplacé par des sources de fibres non-fourragères (0,16 kg/jour par % de diminution d'amidon alimentaire) ou par du fourrage (0,32 kg/jour par % de diminution d'amidon alimentaire). On croyait qu'une baisse de consommation et une réduction de la dégradation ruminale de la fibre NDF des fourrages (Allen, 1997) entraînerait une plus grande réduction de la production laitière que de remplacer l'amidon alimentaire par de la fibre non -fourragère dans l'étude de Fredin (2015). Toutefois, Fredin (2015) a souligné que 24 des 61 moyennes de production étaient plus élevées avec des rations moins riches en amidon. Ceci signifie qu'on peut obtenir un rendement laitier positif avec un régime réduit en amidon. Les rendements en composants du lait ont également diminué avec le remplacement de l'amidon alimentaire.

Les effets négatifs potentiels sur la production laitière ou sur l'efficacité alimentaire font ressortir le fait qu'il est préférable de contrôler les revenus par rapport aux coûts des aliments plutôt que le prix par unité de matière sèche dans la ration afin d'évaluer pleinement les bienfaits économiques des régimes réduits en amidon. À la lumière de ces méta-analyses (Ferraretto et coll., 2013; Fredin, 2015), il pourrait s'avérer impossible de réduire l'amidon alimentaire des vaches laitières au pic de la lactation et en milieu de lactation et il importe d'évaluer soigneusement la situation propre à chaque ferme.

ÉVALUATION À LA FERME DE LA DIGESTIBILITÉ DE L'AMIDON

Fredin et coll. (2014) ont signalé un rapport étroit entre les mesures d'amidon fécal et l'ADTD. Ces résultats nous portent à croire que des mesures additionnelles, comme le contenu du régime alimentaire en amidon ou les concentrations de marqueurs dans les fèces ou dans le régime alimentaire, sont inutiles. Par ailleurs, Fredin et coll. (2014) signalent la grande exactitude de la spectroscopie de réflectance dans le proche infrarouge pour prédire l'amidon fécal, qui permet ainsi de réaliser des analyses plus rapidement et à peu de frais. Bien que les avantages d'une plus grande digestibilité de l'amidon sur la production laitière soient bien connus, il est très difficile d'en estimer les retombées économiques avec précision. L'exercice présenté dans cet article vise à fournir des chiffres aux producteurs laitiers et à leurs nutritionnistes comme point de départ.

Pour atteindre notre objectif, une mise en situation hypothétique a été créée et cinq valeurs d'amidon fécales ont été choisies de manière arbitraire et utilisées pour prédire l'ADTD à l'aide de l'équation de Fredin et coll. (2014; Table 2). Par la suite, la quantité de maïs qu'il faudrait servir pour obtenir la même quantité d'amidon digestible que si l'ADTD était de 100 % a été estimée à partir des hypothèses suivantes : l'amidon alimentaire s'élève à 25 % de la MS et la MS consommée est de 25 kg/jour. Par conséquent, on suppose que les vaches consomment 6,25 kg d'amidon par jour. En se fondant sur l'ADTD, les valeurs de la perte d'amidon dans les fèces ont été calculées et variaient entre 0 et 1,56 kg. Si on considère que le maïs grain contient 70 % d'amidon et affiche une digestibilité ruminale in vitro d'amidon de 70 %, on retrouve seulement 0,49 kg d'amidon digestible pour chaque kg de maïs supplémentaire. Donc, en divisant la perte d'amidon par 0,49, on obtient la quantité de maïs nécessaire pour compenser l'amidon non digéré. Enfin, on a établi le coût du maïs grain à 140 \$US la

tonne (0,14 \$US/kg). Les valeurs utilisées dans le présent exercice ne sont pas nécessairement représentatives de l'ensemble de l'industrie laitière américaine, mais elles constituent une bonne indication des pertes économiques potentielles résultant de la faible digestibilité de l'amidon. Il est donc recommandé que les producteurs laitiers et leurs nutritionnistes effectuent les mêmes calculs en se fondant sur leur propre situation et leurs propres objectifs.

L'amidon fécal n'est pas indicatif de la digestibilité d'aliments spécifiques mais bien de l'ensemble du régime alimentaire, et peut constituer un moyen utile pour suivre des groupes particuliers en prélevant des échantillons d'au moins 10 % des animaux du groupe. Si les niveaux d'amidon fécal dépassent 3 %, il est alors conseillé d'évaluer les aliments riches en amidon afin d'élucider le problème. De plus, il est recommandé de réévaluer les valeurs d'amidon fécal 2 ou 3 semaines après avoir apporté des changements au régime alimentaire ou aux pratiques de gestion.

MESSAGES À RETENIR

- La digestibilité de l'amidon touche la production du lait et des composants du lait;
- Plusieurs stratégies peuvent accroître la digestibilité de l'amidon d'ingrédients individuels; plus particulièrement la taille moyenne des particules, la maturité à la récolte et le type d'endosperme de l'hybride;
- La réduction de l'amidon alimentaire réduit le prix à l'unité de la MS, mais il est conseillé d'analyser les revenus par rapport au coût des aliments;
- Il faut combiner les analyses d'amidon fécal et d'échantillons de lait pour optimiser la gestion de la nutrition.

RÉFÉRENCES

- Allen, M. S. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80:1447–1462.
- Allen, M. S., B. J. Bradford and M. Oba. 2009. The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *J. Anim. Sci.* 87:3317-3334.
- Baron, V. S., K. R. Stevenson, and J. G. Buchanan-Smith. 1986. Proteolysis and fermentation of corn-grain ensiled at several moisture levels and under several simulated storage methods. *Can. J. Anim. Sci.* 66:451-461.
- Correa, C. E. S., R. D. Shaver, M. N. Pereira, J. G. Lauer, and K. Kohn. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. *J. Dairy Sci.* 85:3008-3012.
- Der Bedrosian, M. C., L. Kung, Jr., and K. E. Nestor, Jr. 2012. The effects of hybrid, maturity and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *J. Dairy Sci.* 95:5115-5126.
- Ferraretto, L. F., P. M. Crump, and R. D. Shaver. 2013. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 96:533-550.
- Ferraretto, L. F., P. M. Crump, and R. D. Shaver. 2015a. Effect of ensiling time and exogenous protease addition to whole-plant corn silage of various hybrids, maturities and chop lengths on nitrogen fractions and ruminal in vitro starch digestibility. *J. Dairy Sci.* 98:8869-8881.
- Ferraretto, L. F., S. M. Fredin, R. E. Muck and R. D. Shaver. 2016. Microbial inoculant and ensiling time effects on fermentation profile, nitrogen fractions, and ruminal in vitro and in situ starch digestibility in corn shredlage and late-maturity-corn silage. *Prof. Anim. Sci.* 32:861-868.
- Ferraretto, L. F., and R. D. Shaver. 2012. Meta-analysis: Impact of corn silage harvest practices on intake, digestion and milk production by dairy cows. *The Prof. Anim. Sci.* 28:141-149.
- Ferraretto, L. F., R. D. Shaver, S. Massie, R. Singo, D. M. Taysom, and J. P. Brouillette. 2015b. Effect of ensiling time and hybrid type on fermentation profile, nitrogen fractions and ruminal in vitro starch and NDF digestibility in whole-plant corn silage. *The Prof. Anim. Sci.* 31:146-152.
- Ferraretto, L. F., K. Taysom, D. M. Taysom, R. D. Shaver, and P. C. Hoffman. 2014. Relationships between dry matter content, ensiling, ammonia-nitrogen, and ruminal in vitro starch digestibility in high-moisture corn samples. *J. Dairy Sci.* 97:3221-3227.
- Firkins, J. L., A. N. Hristov, M. B. Hall, G. A. Varga, and N. R. St- Pierre. 2006. Integration of ruminal metabolism in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89(E. Suppl.):E31–E51.
- Fredin, S. 2015. How to get more out of dietary starch and low starch diets. Pages 91-101 in *Proc. 77th Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*. Ithaca, NY.
- Fredin, S. M., L. F. Ferraretto, M. S. Akins, P. C. Hoffman, and R. D. Shaver. 2014. Fecal starch as an indicator of total tract starch digestibility by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97:1862-1871.
- Goodrich, R. D., F. M. Byers, and J. C. Meiske. 1975. Influence of moisture content, processing and reconstitution on the fermentation of corn grain. *J. Anim. Sci.* 41:876-881.
- Hoffman, P. C., N. M. Esser, R. D. Shaver, W. K. Coblenz, M. P. Scott, A. L. Bodnar, R. J. Schmidt, and R. C. Charley. 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *J. Dairy Sci.* 94:2465-2474.
- Huntington, G. B. 1997. Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75:852-867.
- Jenkins, T. C. and M. A. McGuire. 2006. Major advances in nutrition: impact on milk composition. *J. Dairy Sci.* 89:1302-1310.
- Johnson, L., J. H. Harrison, C. Hunt, K. Shinnars, C. G. Doggett, and D. Sapienza. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. *J. Dairy Sci.* 82:2813-2825.

- Junges, D., G. Morais, J. L. P. Daniel, M. H. F. Spoto, and L. G. Nussio. 2015. Contribution of proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. In: XVII International Silage Conference, Piracicaba, SP, Brazil. Pages 566-567.
- Kotarski, S. F., R. D. Waniska, and K. K. Thurn. 1992. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *J. Nutr.* 122:178-190.
- McAllister, T. A., H. D. Bae, G. A. Jones and K. J. Cheng. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *J. Anim. Sci.* 72:3004-3018.
- McAllister, T. A., R. C. Phillippe, L. M. Rode, and K. J. Cheng. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *J. Anim. Sci.* 71:205-212.
- Mertens, D. R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *J. Anim. Sci.* 64:1548-1558.
- Muck, R. E. 1988. Factors affecting silage quality and their implications for management. *J. Dairy Sci.* 71:2992-3002.
- Muck, R. E. 2010. Silage microbiology and its control through additives. *R. Bras. Zootec.* 39:183-191 (Supl. Especial)
- Ngonyamo-Majee, D., R. D. Shaver, J. G. Coors, D. Sapienza, and J. G. Lauer. 2009. Influence of single-gene mutations, harvest maturity and sample processing on ruminal in situ and post-ruminal in vitro dry matter and starch degradability of corn grain by ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 151:240-259.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, D.C.
- Oba, M. and M. S. Allen. 2003. Effects of corn grain conservation method on ruminal digestion kinetics for lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *J. Dairy Sci.* 86:184-194.
- Philippeau, C., and B. Michalet-Doreau. 1997. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 68:25-35.
- Rius, A.G., J. A. D. R. N. Appuhamy, J. Cyriac, D. Kirovski, O. Becvar, J. Escobar, M. L. McGilliard, B. J. Bequette, R. M. Akers, and M. D. Hanigan. 2010. Regulation of protein synthesis in mammary glands of lactating dairy cows by starch and amino acids. *J. Dairy Sci.* 93:3114-3127.
- Simpson, D. J. 2001. Proteolytic degradation of cereal-prolamins – The problem with proline. *Plant Sci.* 161:825-838.
- Windle, M. C., N. Walker, and L. Kung Jr. 2014. Effects of an exogenous protease on the fermentation and nutritive value of corn silage harvested at different dry matter contents and ensiled for various lengths of time. *J. Dairy Sci.* 97:3053-3060.
- Young, K. M., J. M. Lim, M. C. Der Bedrosian, L. Kung Jr. 2012. Effect of exogenous protease enzymes on the fermentation and nutritive value of corn silage. *J. Dairy Sci.* 95:6687-6694.

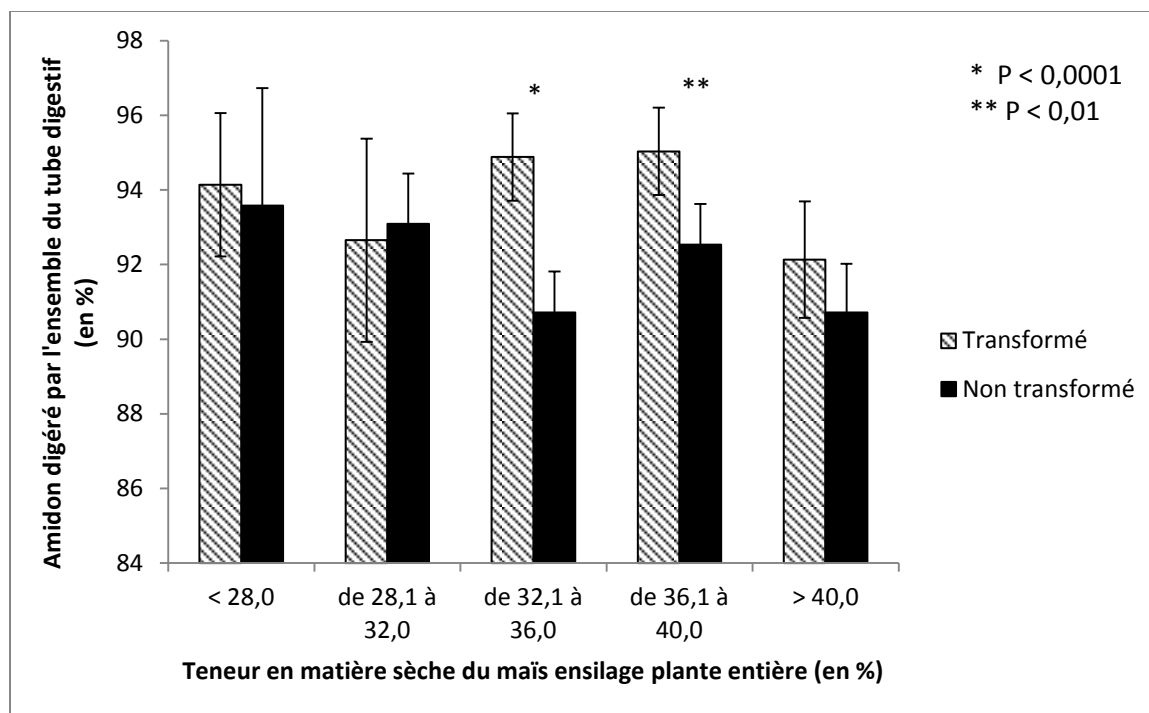


Figure 1. Effet de l'éclatement des grains et de la teneur en matière sèche du maïs ensilage plante entière sur l'amidon digéré par l'ensemble du tube digestif. Source : Ferraretto et Shaver (2012).

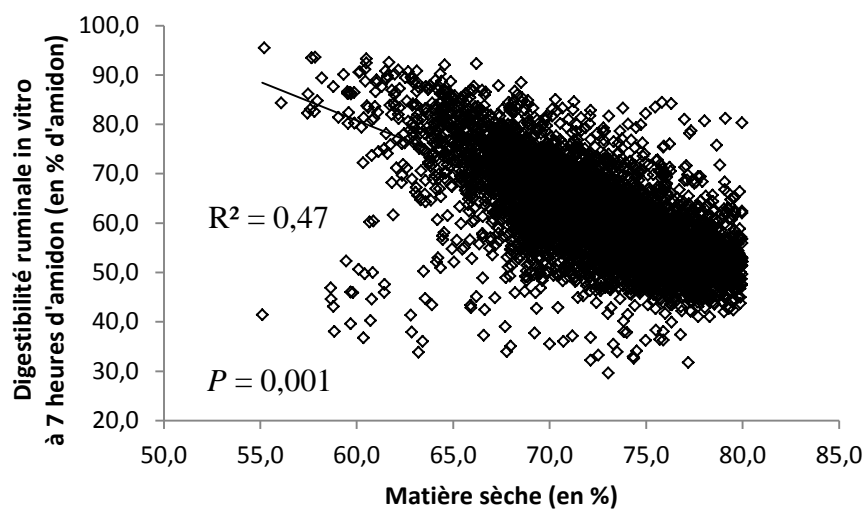


Figure 2. Relation entre la teneur en MS et la digestibilité ruminale in vitro à 7 heures d'amidon de maïs grain humide. Équation prévisionnelle : $y = 174,30 (\pm 1,57) - 1,56x (\pm 0,02)$; $n = 6\,131$, écart-type = 6,97, $R^2 = 0,47$, $P = 0,001$. Source: Ferraretto et coll. (2014).

Tableau 1. Effets de la durée d'entreposage sur la digestibilité ruminale in vitro d'amidon de maïs ensilage plante entière¹

Élément	Jours en ensilage											Valeur <i>P</i>
	0	30	45	60	90	120	150	180	240	270	360	
<u>Maïs ensilage plante entière</u>	----- % d'amidon -----											
Der Bedrosian et coll., 2012 ¹	69	---	75	---	77	---	---	79	---	82	82	0,01
Windle et coll., 2014 ¹	54	---	59	---	63	---	68	---	---	---	---	0,01
Young et coll., 2012 ¹	66	---	76	---	---	---	79	---	---	---	---	0,01
Ferraretto et coll., 2015a ²	56	59	---	61	---	63	---	---	67	---	---	0,01
Ferraretto et coll., 2015b ²	62	72	---	---	---	79	---	---	84	---	---	0,01
Ferraretto et coll., 2016 – exp. 1 ²	60,7	69,3	---	---	---	72,0	---	---	---	---	---	0,05
Ferraretto et coll., 2016 – exp. 2 ²	54,0	61,7	---	---	---	66,7	---	---	---	---	---	0,04

^{1,2} Digestibilité ruminale in vitro à 7 heures d'amidon d'échantillons moulus avec des tamis de 3 mm ou de 4 mm, respectivement.

Tableau 2. Estimations économiques du maïs additionnel servi pour compenser l'amidon non digéré.

<u>Amidon fécal, en % de la MS</u>	0	5	10	15	20
ADTD¹, % d'amidon	100	93,75	87,50	81,25	75,00
Apport d'amidon², kg/vache/jour	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
Perte d'amidon³, kg/vache/jour	0	0,39	0,78	1,17	1,56
Maïs grain additionnel⁴, kg/vache/jour	0	0,80	1,59	2,39	3,18
Coût du maïs grain⁵, \$US/vache/jour	0,00	0,11	0,22	0,33	0,45

¹Calculé à l'aide de l'équation de Fredin et coll. (2014); $ADTD = 100 - (1,25 \times \text{amidon fécal})$.

²Apport d'amidon = $(25 \text{ kg de matière sèche ingérée} \times 25 \% \text{ d'amidon}) / 100$

³Perte d'amidon = $\text{apport d'amidon} - ((\text{apport d'amidon} \times ADTD) / 100)$

⁴Maïs grain additionnel = $\text{perte d'amidon} / 0,49$

⁵Coût du maïs grain = $\text{maïs grain additionnel} \times 0,14$. Coût du maïs grain obtenu à partir des valeurs fournies par *FeedVal 2012* en novembre 2016.

Outils pour maximiser l'utilisation de l'amidon dans les régimes alimentaires des bovins laitiers

Luiz F. Ferraretto, Ph.D., PAS
Professeur adjoint
Département de sciences animales
University of Florida



L'amidon est-il un élément nutritif essentiel?

- Nutrition des bovins laitiers - NRC (2001)
 - Non.
- 28^e Conférence Découverte de l'ADSA sur l'amidon
 - Non, mais c'est très important!
- Pourquoi parler d'amidon aujourd'hui?

La source d'énergie la plus utilisée



Amidon - 70 % de la MS



Amidon - 30 % de la MS

Digestion de l'amidon chez les ruminants

Amidon
consommé

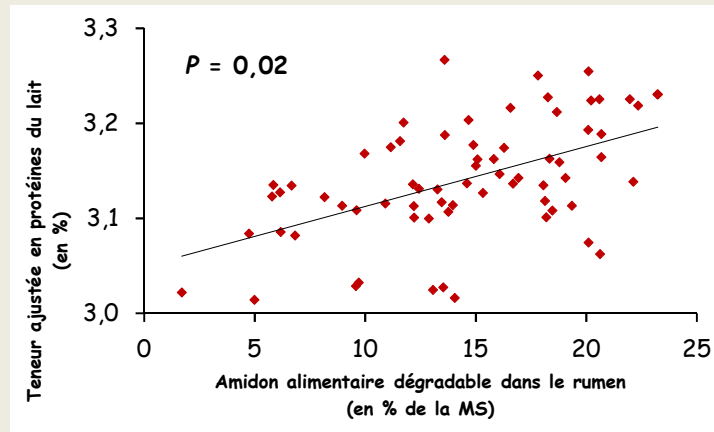


- Fermentation microbienne
- Production d'acides gras volatils
- Propionate
- Glucose par le foie
- Synthèse de protéines microbiennes

Rumen

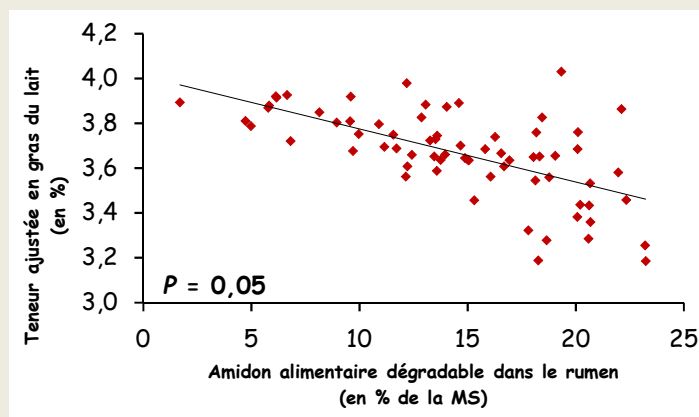
Adapté de la diapo fournie par Shane Fredin, Ph.D.

Amidon alimentaire dégradable dans le rumen



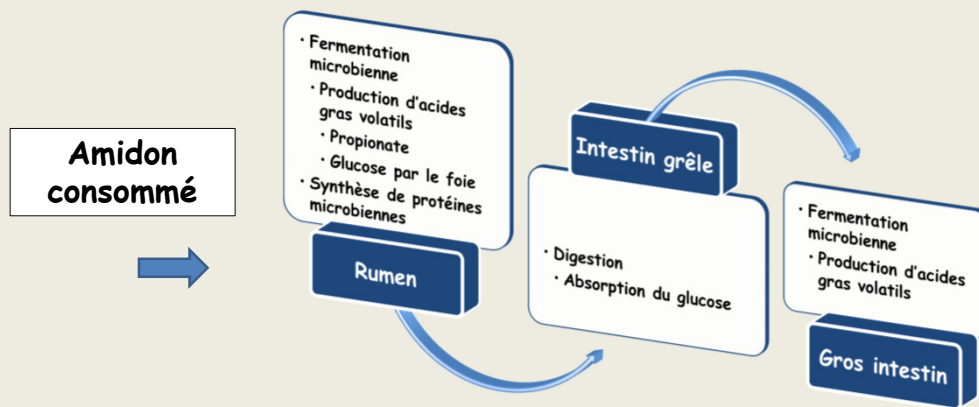
Ferraretto et coll., 2013

Amidon alimentaire dégradable dans le rumen



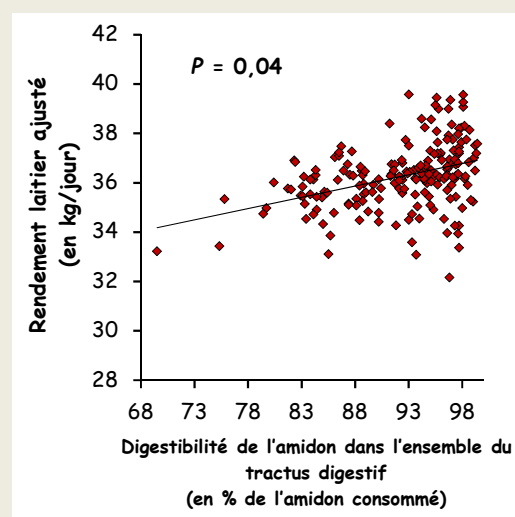
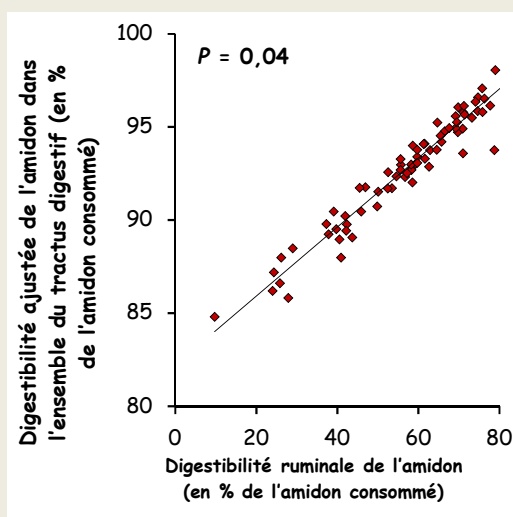
Ferraretto et coll., 2013

Digestion de l'amidon chez les ruminants



Adapté de la diapo fournie par Shane Fredin, Ph.D.

Digestibilité de l'amidon et rendement laitier



Ferraretto et coll., 2013

Stratégies d'optimisation de la quantité totale d'amidon digérée dans le rumen

- Amidon alimentaire
 - Consommer moins d'amidon peut réduire le rendement en lait
- Améliorer la digestibilité de l'amidon

Régime faible en amidon

	JEL au début de l'étude	Semaines à l'étude	NDF fourrager alim. en % de MS	Amidon alim. Amidon normal - amidon réduit, en % de MS	Substituts partiels du maïs
UW I	51	12	21	5	Écales de soja
UW II	68	10	20	5	Sous-produits de blé, Graines de coton entières
UW III	114	12	21	10	Écales de soja
UW IV	100	14	21	6	Écales de soja

Sources : Gencoglu et coll., 2010; Ferraretto et coll., 2011; Ferraretto et coll., 2012; Akins et coll., 2014

Régime faible en amidon

	MSI, kg/jour	Production laitière kg/jour	Lait corrigé, kg/jour	kg lait/kg MSI	kg lait corrigé/ kg MSI
UW I	1,09	1,02	1,04	0,93	0,95
UW II	1,07	0,96	0,96	0,88	0,89
UW III	1,07	0,99	1,02	0,93	0,96
UW IV	0,99	0,96	0,98	0,99	0,99

Données présentées pour régime faible en amidon / teneur normale en amidon

MSI - matière sèche ingérée

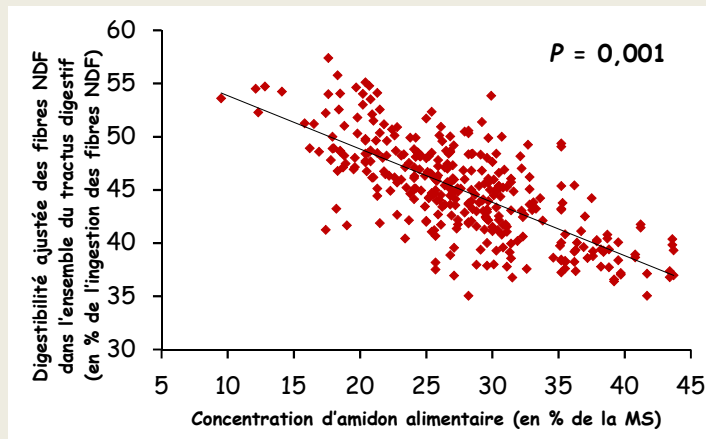
Sources : Gencoglu et coll., 2010; Ferraretto et coll., 2011; Ferraretto et coll., 2012; Akins et coll., 2014

Régime faible en amidon

- Réduction de l'efficacité alimentaire de 2 à 12 % pour le lait/MSI et de 1 à 11 % pour le lait corrigé/MSI
- Réduction de 1 à 8 % des coûts d'alimentation par unité de MS
- Hausse du coût d'alimentation/vache/jour de 3 à 8 % dans 2 essais et réduction de seulement 1-2 % dans 2 essais
- Revenus par rapport aux coûts d'alimentation - baisse de 4 à 7 % dans 3 essais, aucun changement dans 1 essai

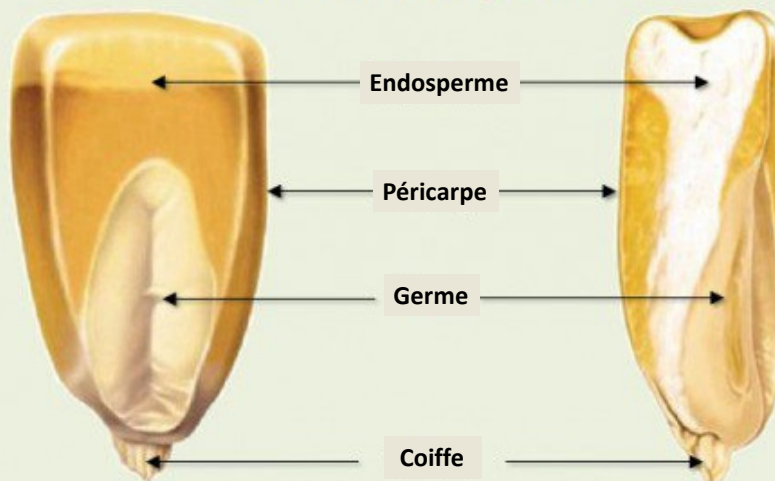
Sources : Gencoglu et coll., 2010; Ferraretto et coll., 2011; Ferraretto et coll., 2012; Akins et coll., 2014

L'amidon affecte la digestibilité des fibres NDF

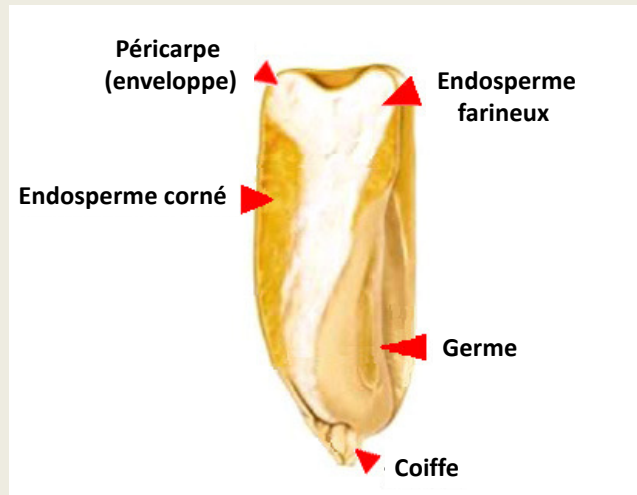


Ferraretto et coll., 2013

Grain de maïs



Grain de maïs



Endosperme corné = endosperme vitreux

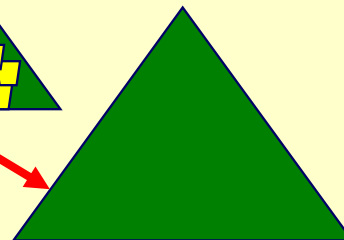
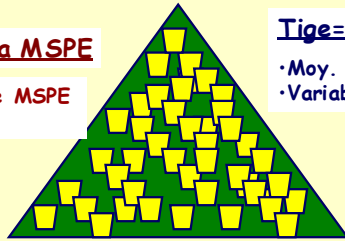
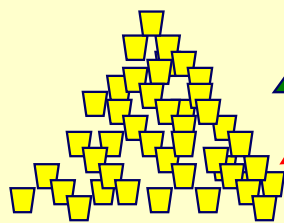
Maïs ensilage plante entière

Grain = ~40-45 % de la MSPE

- Moy. 30 % d'amidon dans le MSPE
- Variable grain : canne

Tige = ~55-60 % MSPE

- Moy. 42 % de NDF dans la MSPE
- Variable canne : grain



Digestibilité de l'amidon de 80 à 98 %

- Taille des particules de grain
- Durée de fermentation de l'ensilage
- Maturité du grain
- Propriétés de l'endosperme
- Additifs (exp.)

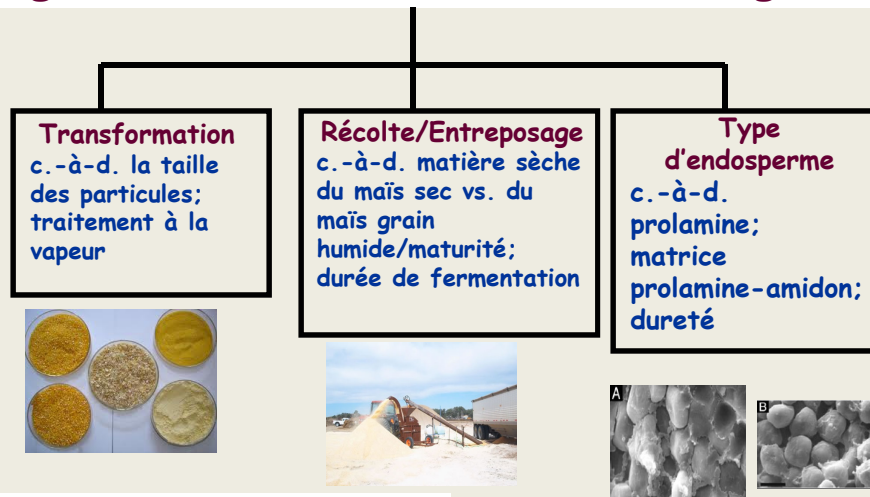
DNDFiv de 40 à 70 %

- Lignine/NDF
 - ✓ Type d'hybride
 - ✓ Environnement; gén. x env.
 - ✓ Maturité
- Hauteur de coupe
- Additifs (exp.)

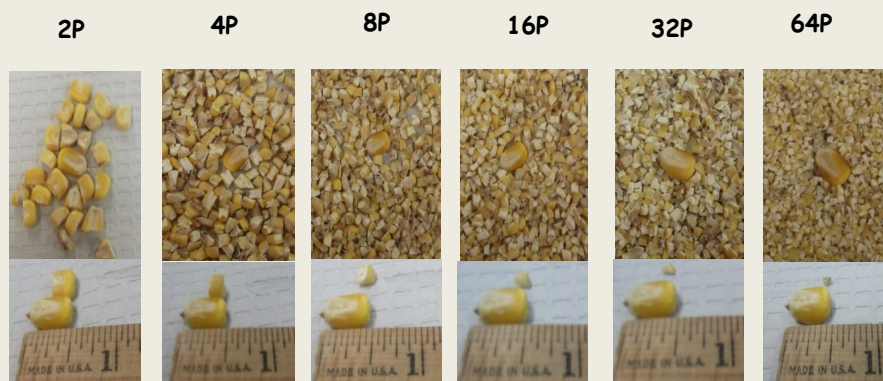
Adapté d'après Joe Lauer, Département d'agronomie, UW Madison

NDFpe selon la longueur de coupe

Principaux facteurs qui influencent la digestibilité de l'amidon du maïs grain



Particules de grains

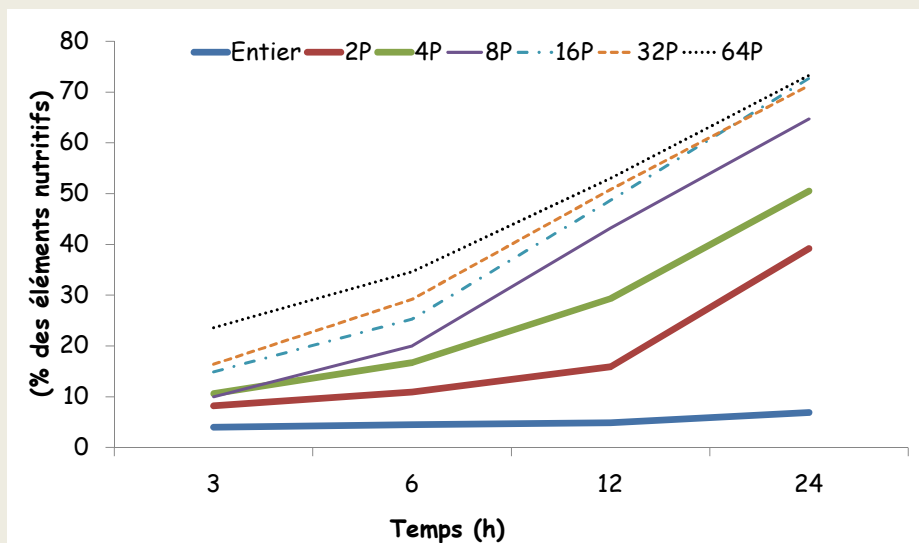


Dias Junior et coll., 2016

Incubation ruminale de l'amidon in situ



Digestibilité ruminale de la MS des grains non fermentés



Dias Junior et coll., 2016

Making Sure Your Kernel Processor Is Doing Its Job

by Kevin J. Shinnars and Brian J. Holmes

www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/KernelProcessing-FOF.pdf



Figure 1 Maïs plante entière déposé dans une bassine d'eau.



Figure 2 Agiter doucement la matière pour aider les grains à se déposer au fond de la bassine.



Figure 3 Égouttage et retrait de la tige qui flotte.

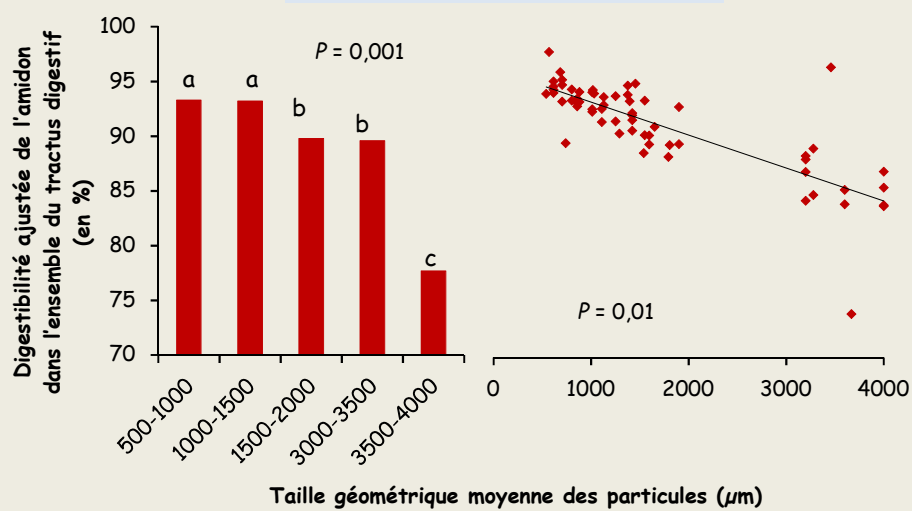


Figure 4 Enlever l'eau soigneusement de façon à ne conserver que les grains dans la bassine.



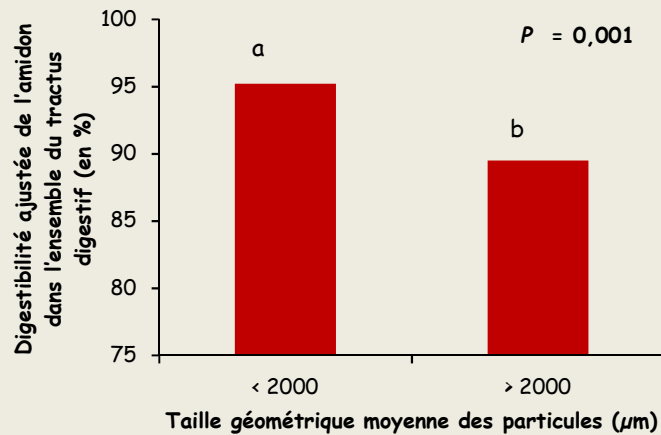
Figure 6 Grains séparés montrant trois niveaux de transformation des grains. Seule la pile de droite peut être considérée transformée adéquatement.

Maïs sec moulu



Ferraretto et coll., 2013

Maïs grain humide



Ferraretto et coll., 2013

Une question?

- Est-ce que la taille des particules a un effet sur la fermentation du MGH?



MGH = Maïs grain humide

Effet de la taille moyenne des particules

Élément	Particules grossières	Particules fines	Valeur de <i>P</i>
pH	3,97	4,16	0,001
Lactate, en % de MS	1,55	1,84	0,001
Acétate, en % de MS	0,12	0,23	0,001
Stabilité aérobie, en h	37	59	0,15
Taille moy. des particules, en μm	3 544	906	0,001
DAiv, en % de l'amidon	36,6	70,3	0,001

MGH fermenté pendant 28 jours

Saylor et coll., non publié

Maturité à la récolte

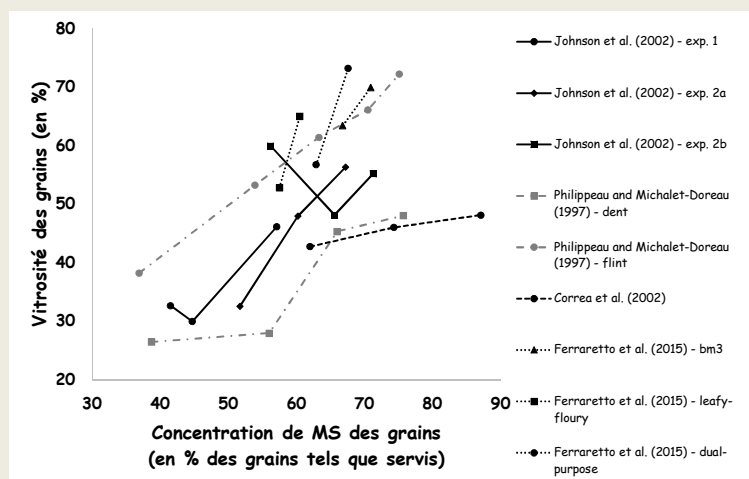
- Devrions-nous laisser les plantes au champ plus longtemps pour récolter davantage de matière sèche et d'amidon?



Maturité à la récolte (>40 % de MS) Problèmes éventuels

- Mauvaise compaction
- Plus grande porosité
- Davantage de levures et de moisissures
- Augmentation de la perte et de l'échauffement
- Augmentation des mycotoxines
- Durée de conservation plus courte
- Moins grande digestibilité de l'amidon et des fibres

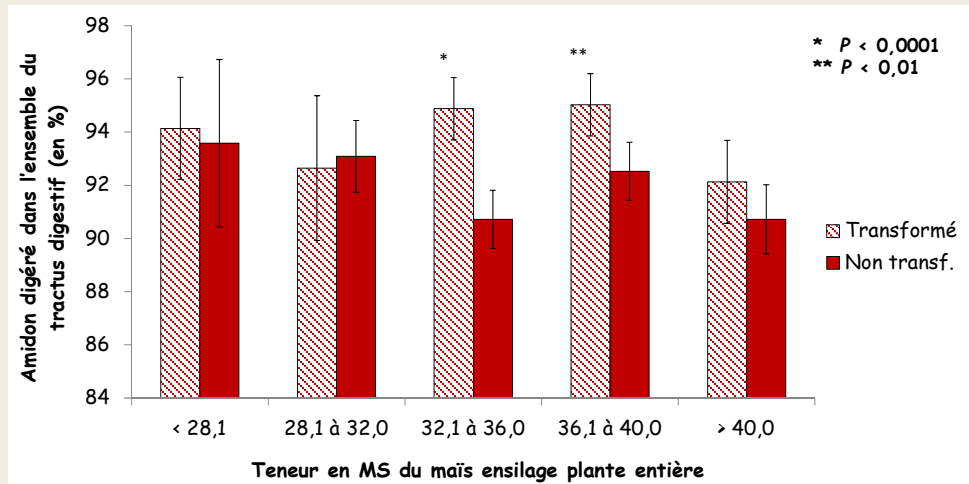
Vitrosité des grains



Ferraretto et coll., 2018



Interaction entre la transformation du grain et la maturité



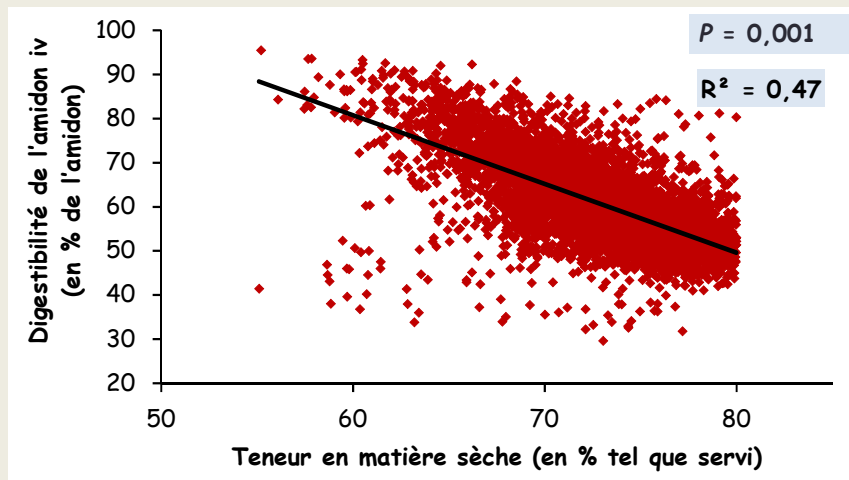
Ferraretto et Shaver, 2012; PAS

Étude sur le maïs grain humide

- 6 131 échantillons de MGH
- De mars 2011 à mai 2013
- Entre 50 et 80 % de MS

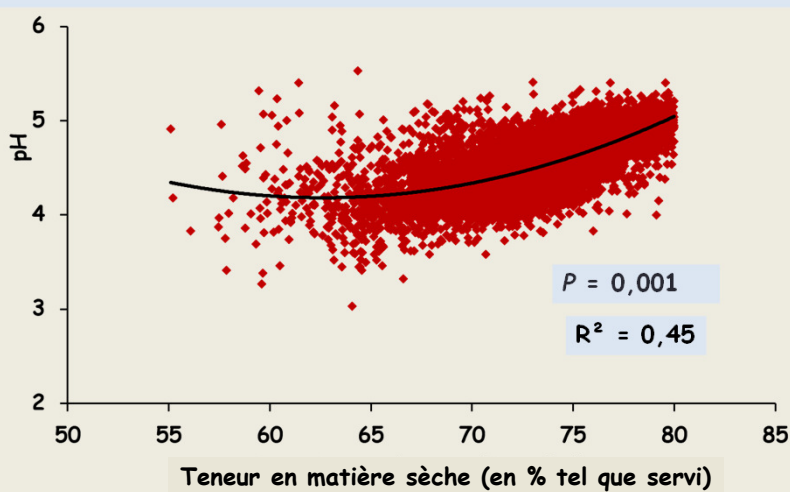
Ferraretto et coll., 2014

Digestibilité de l'amidon iv en fonction du % de MS



Ferraretto et coll., 2014

Le % de MS affecte la fermentation



Ferraretto et coll., 2014

La fermentation du maïs ensilage et du maïs grain humide augmente la digestibilité de l'amidon!



Effet observé lors de plusieurs essais avec de l'ensilage de maïs

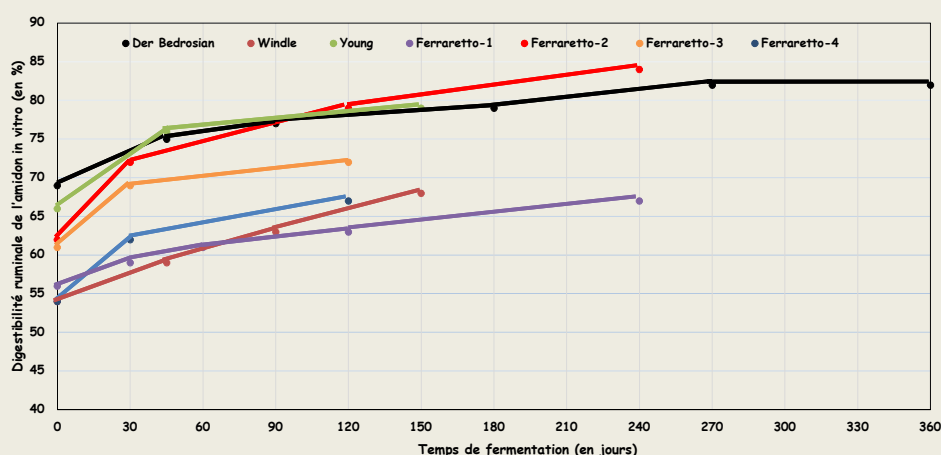
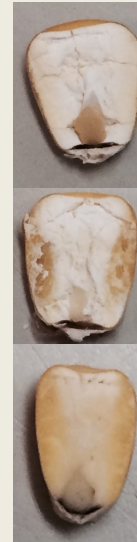
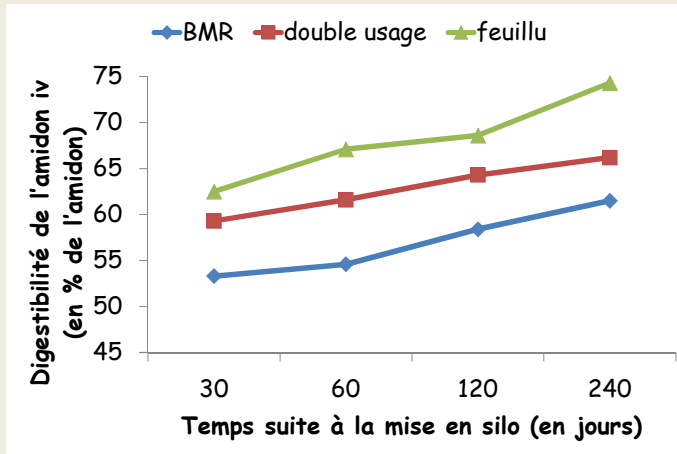


Figure 1. Effet de la durée d'entreposage sur la digestibilité ruminale de l'amidon in vitro. Données de Der Bedrosian et coll., 2012; Windle et coll., 2014; Young et coll., 2012; Ferraretto-1, Ferraretto et coll., 2015a; Ferraretto-2, Ferraretto et coll., 2015b; Ferraretto-3,4, Ferraretto et coll., 2016.

Kung et coll., 2018; JDS

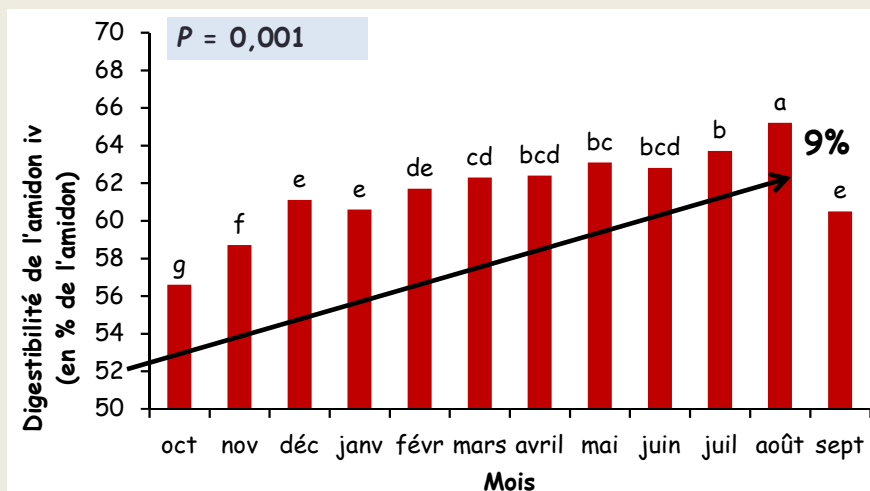
Type d'hybride × durée d'entreposage



Effet du temps ($P < 0,001$)
 Effet de l'hybride ($P = 0,02$)
 Hybride × temps ($P > 0,10$)

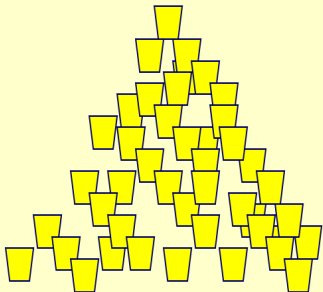
Ferraretto et coll., 2015b

MGH - Digestibilité de l'amidon iv améliorée par la durée d'entreposage



Ferraretto et coll., 2014

En résumé



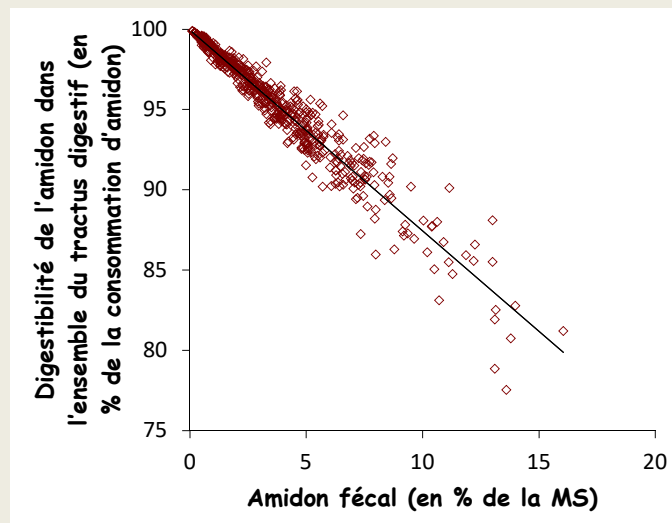
Digestibilité de l'amidon de 80 à 98 %

- Taille des particules de grain
- Durée de fermentation de l'ensilage
- Maturité du grain
- Propriétés de l'endosperme
- Additifs (exp.)

- Il est essentiel que les grains soient cassés
- Laisser l'ensilage fermenter pendant assez longtemps
- Récolter à la maturité voulue
- Utiliser des hybrides procurant un endosperme plus farineux, si possible
- Additifs???

Amidon fécal - outil pour mesurer et gérer la digestibilité de l'amidon à la ferme





$P < 0,001$

$R^2 = 0,94$

564 échantillons

$$\% \text{ d'ADTD} = 100,0 \% - (1,25 \times \% \text{ d'amidon fécal})$$

Fredin et coll., 2014

Utilité de mesurer l'amidon fécal à la ferme?

- Peut servir à prédire l'amidon digestible dans l'ensemble du tractus digestif grâce aux équations existantes
 - Mesure la ration totale, pas spécifiquement les ingrédients
 - N'indique pas le site de digestion
 - Surveiller des groupes précis pendant un certain temps
 - À < 3 % d'amidon dans les fèces, inutile d'examiner la ration
 - Si le résultat est > 3 %, il faut alors évaluer les ingrédients de la ration

Perspective économique de l'amidon fécal

- Amidon alimentaire - 25%
- Matière sèche consommée (25 kg/vache/jour)
- Maïs grain - 70 % d'amidon (1 kg de maïs = 0,7 kg d'amidon)
- Digestibilité iv de l'amidon du maïs grain - 70 % (1 kg de maïs = 0,49 kg d'amidon digestible)
- Prix du maïs grain - 140 \$US/tonne (0,14 \$US/kg)

Perspective économique de l'amidon fécal

Amidon fécal, en %	0	5	10	15	20
Amidon consommé, en kg/jour	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
ADTD, % d'amidon	100	93,75	87,5	81,25	75
Perte d'amidon, en kg/jour	0	0,39	0,78	1,17	1,56
Maïs grain, en kg/jour	0	0,80	1,59	2,39	3,18
Maïs grain, en \$/jour	0	0,11	0,22	0,33	0,45

Amidon consommé = (25 kg de matière sèche ingérée * 25 % d'amidon)/100

Perte d'amidon = amidon consommé - ((amidon consommé * ADTD)/100)

Répercussions

- L'amidon fécal est un moyen d'évaluer à la ferme la digestibilité de l'amidon alimentaire
- Plusieurs stratégies peuvent accroître la digestibilité de l'amidon des ingrédients de la ration
- La digestibilité de l'amidon touche la consommation et la production du lait et des composants du lait
- Combiner les analyses d'amidon fécal et d'échantillons de lait pour optimiser la gestion de l'alimentation

Des questions?

lferraretto@ufl.edu



UF | IFAS
UNIVERSITY of FLORIDA

Tools to Maximize Starch Utilization in Dairy Cattle Diets

Luiz F. Ferraretto, Ph.D., PAS
Assistant Professor
Department of Animal Sciences
University of Florida



Is Starch a Required Nutrient?

- Dairy NRC (2001)
 - No.
- 28th ADSA Discovery Conference - Starch
 - No, but it is very important!
- Why are we discussing starch today?

Most Used Energy Source



Starch - 70% of DM



Starch - 30% of DM

Starch Digestion in Ruminants

Starch intake

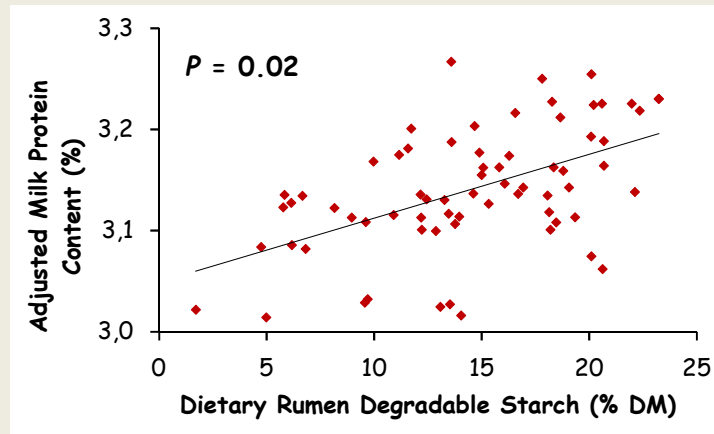


- Microbial fermentation
- VFA production
 - Propionate
 - Glucose via liver
- Microbial protein synthesis

Rumen

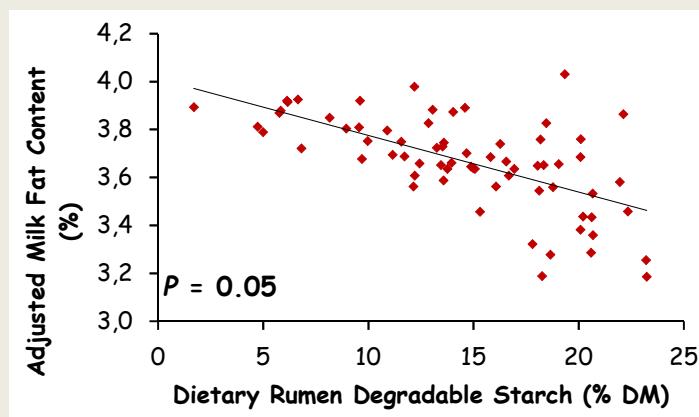
Adapted from slide provided by Dr. Shane Fredin

Dietary Rumen Degradable Starch



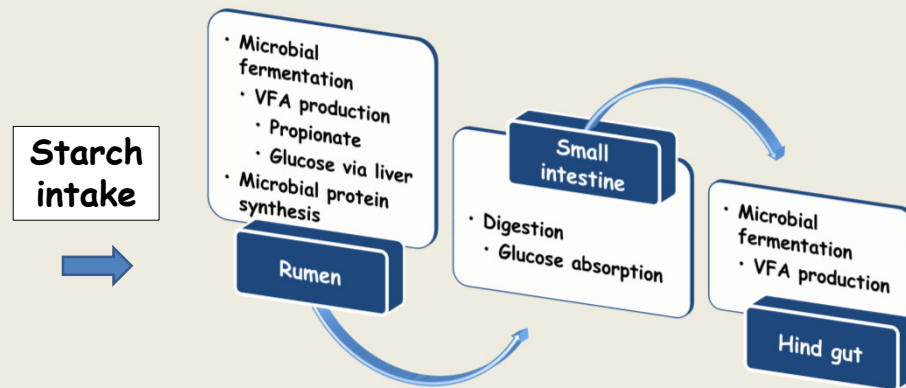
Ferraretto et al., 2013

Dietary Rumen Degradable Starch



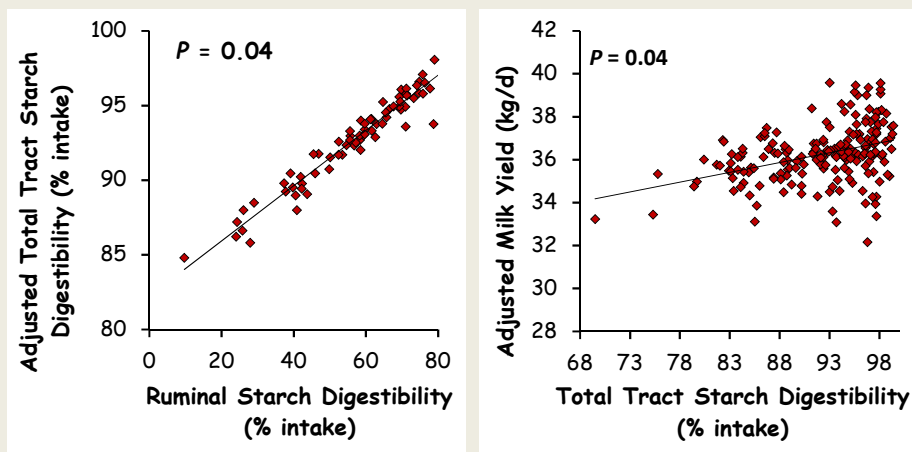
Ferraretto et al., 2013

Starch Digestion in Ruminants



Adapted from slide provided by Dr. Shane Fredin

Starch Digestibility and Milk Yield



Ferraretto et al., 2013

Strategies to Optimize Total amount of Starch Digested in the Rumen

- **Dietary Starch**
 - Less starch may reduce performance
- **Improve starch digestibility**

Reduced-Starch Diets

	DIM at Trial Start-Up	Weeks on Trial	Dietary Forage NDF, % DM	Diet Starch NS - RS, % DM	Partial Corn Replacers
UW I	51	12	21	5	SH
UW II	68	10	20	5	WM, WCS
UW III	114	12	21	10	SH
UW IV	100	14	21	6	SH

SH - soy hulls, WM - wheat middlings, WCS - whole cottonseed

Sources: Gencoglu et al., 2010; Ferraretto et al., 2011; Ferraretto et al., 2012; Akins et al., 2014

Reduced-Starch Diets

	DMI, kg/d	Milk production, kg/d	SCM, kg/d	kg milk/kg DMI	kg SCM/kg DMI
UW I	1.09	1.02	1.04	0.93	0.95
UW II	1.07	0.96	0.96	0.88	0.89
UW III	1.07	0.99	1.02	0.93	0.96
UW IV	0.99	0.96	0.98	0.99	0.99

Data presented as reduced-starch / normal-starch diet

DMI - dry matter intake, SCM - solids-corrected milk

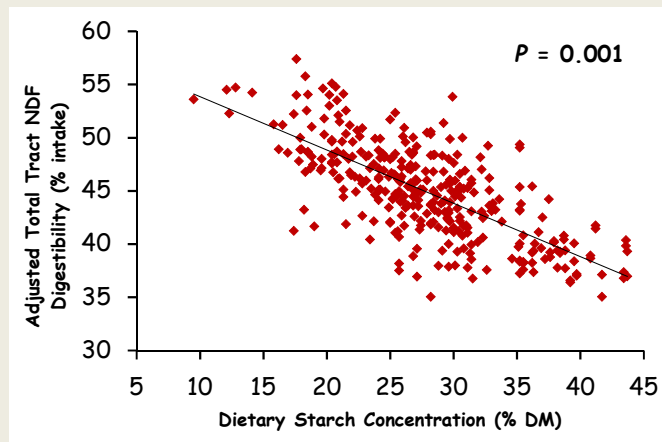
Sources: Gencoglu et al., 2010; Ferraretto et al., 2011; Ferraretto et al., 2012; Akins et al., 2014

Reduced-Starch Diets

- Reduced gross feed efficiencies by 2%-12% for Milk/DMI and 1%-11% SCM/DMI
- Reduced feed cost per unit DM by 1%-8%
- Increased feed cost/cow/day by 3%-8% in 2 trials and reduced it only by 1%-2% in 2 trials
- Reduced IOFC by 4%-7% in 3 trials with no change in 1 trial

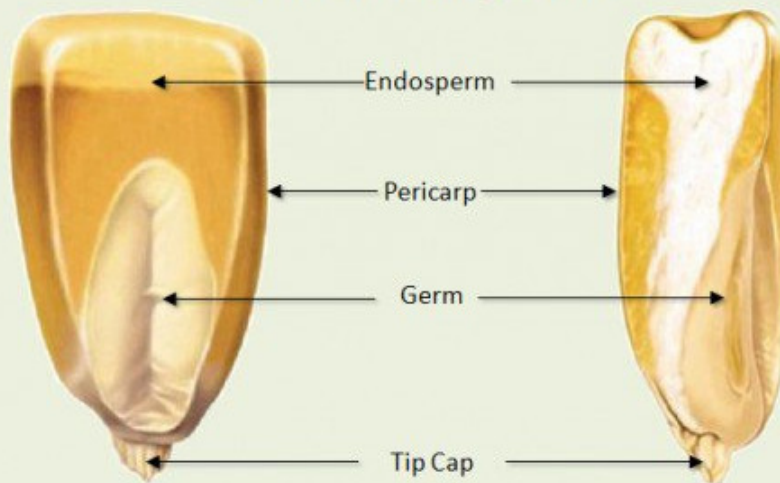
Sources: Gencoglu et al., 2010; Ferraretto et al., 2011; Ferraretto et al., 2012; Akins et al., 2014

Starch Affects NDFD

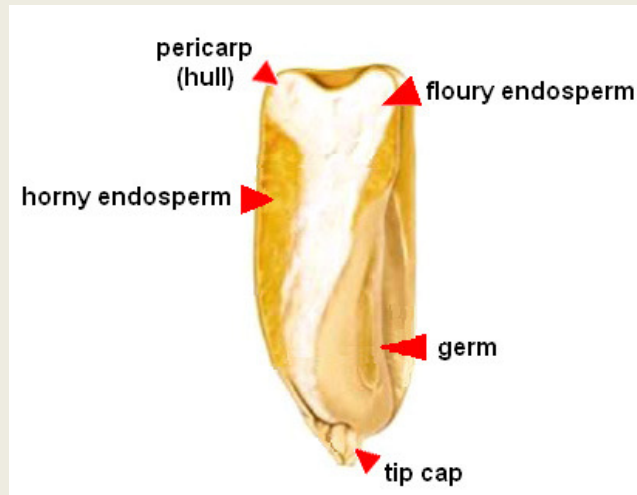


Ferraretto et al., 2013

Corn Kernel



Corn Kernel



Horny endosperm = vitreous endosperm

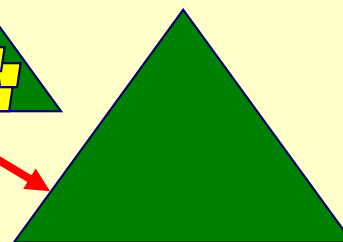
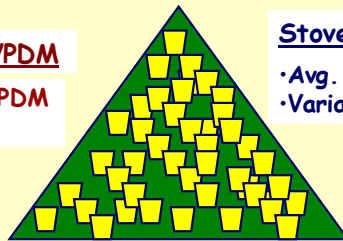
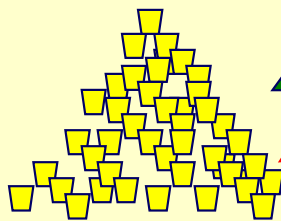
Whole-Plant Corn Silage

Grain ~40-45% of WPDM

- Avg. 30% starch in WPDM
- Variable grain:stover

Stover = ~55-60% of WPDM

- Avg. 42% NDF in WPDM
- Variable stover:grain



80 to 98% StarchD

- Kernel particle size
- Duration of silage fermentation
- Kernel maturity
- Endosperm properties
- Additives (exp.)

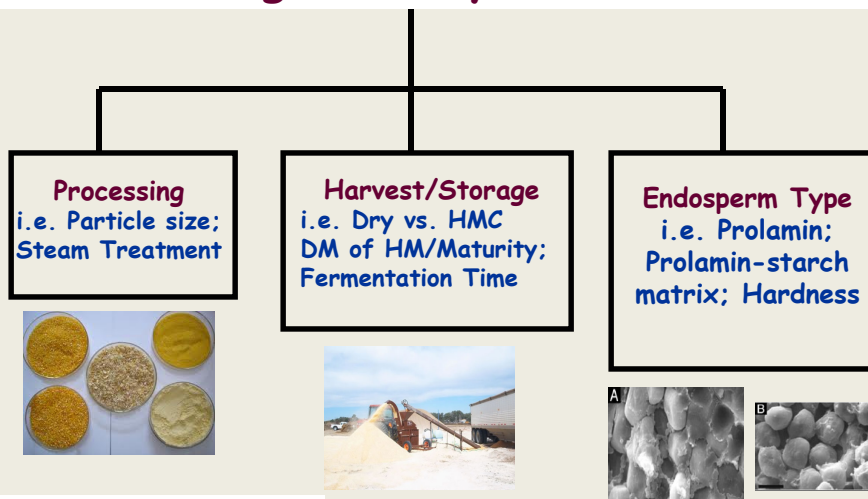
40 to 70% IVNDFD

- Lignin/NDF
 - ✓ Hybrid Type
 - ✓ Environment; G x E
 - ✓ Maturity
- Cutting height
- Additives (exp.)

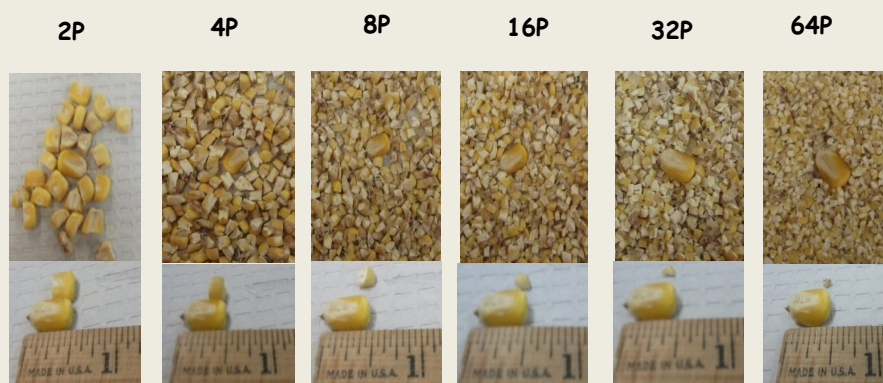
Adapted from Joe Lauer, UW Madison Agronomy Dept.

Variable peNDF as per chop length

Primary Factors Influencing Starch Digestibility in Corn Grain



Kernel Particles



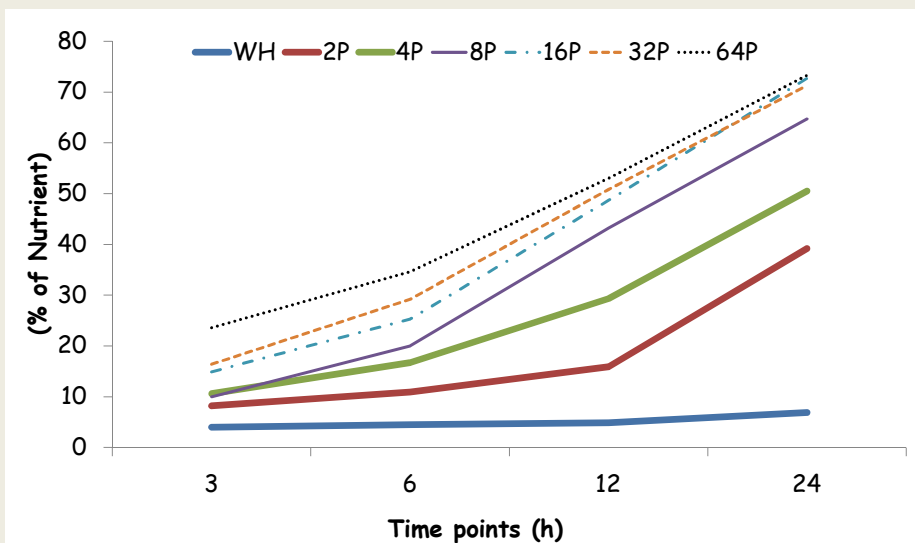
P = pieces

Dias Junior et al., 2016

Ruminal in situ Starch Incubation



Ruminal in situ DM Digestibility of Unfermented Kernels



Dias Junior et al., 2016

Making Sure Your Kernel Processor Is Doing Its Job

by Kevin J. Shinnars and Brian J. Holmes

www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/KernelProcessing-FOF.pdf



Figure 1. Chopped whole-plant corn placed into water.



Figure 2. Gently agitating material to help the kernels sink to the bottom of the container.



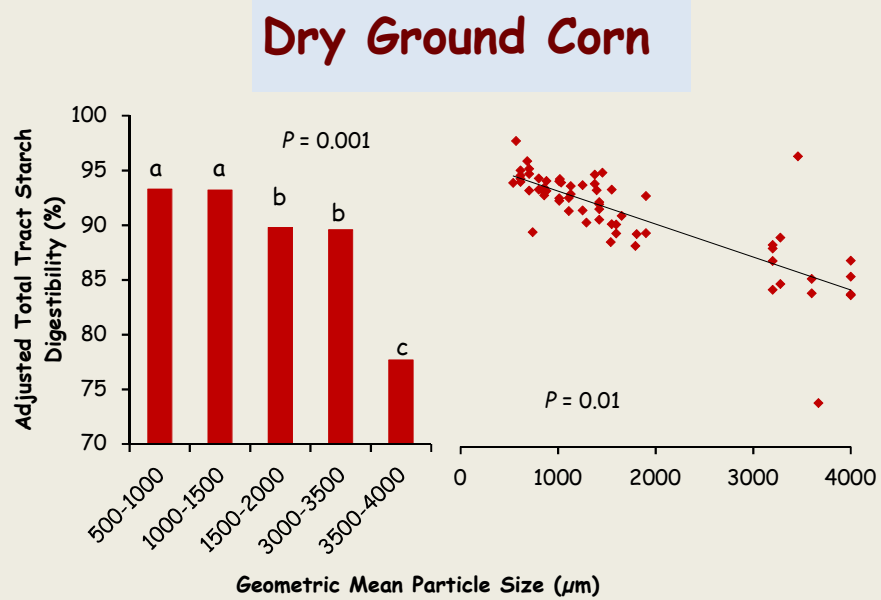
Figure 3. Skimming and removing the floating stover.



Figure 4. Carefully draining the water so only the kernels remain in the container.

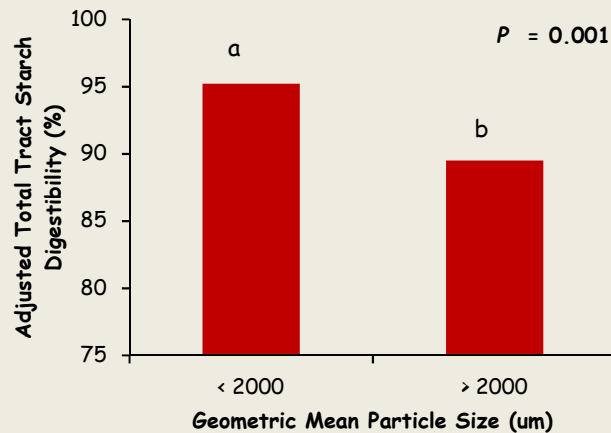


Figure 6. Separated kernels showing three levels of kernel processing. Only the material on the right could be considered adequately processed.



Ferraretto et al., 2013

High-Moisture Corn



Ferraretto et al., 2013

Question?

- Does particle size affects fermentation of HMC?



MPS Effect

Item	Coarse	Fine	P-value
pH	3.97	4.16	0.001
Lactate, % DM	1.55	1.84	0.001
Acetate, % DM	0.12	0.23	0.001
Aerobic Stability, h	37	59	0.15
MPS, μm	3544	906	0.001
ivSD, % starch	36.6	70.3	0.001

HMC fermented for 28 d

Saylor et al., unpublished

Maturity at Harvest

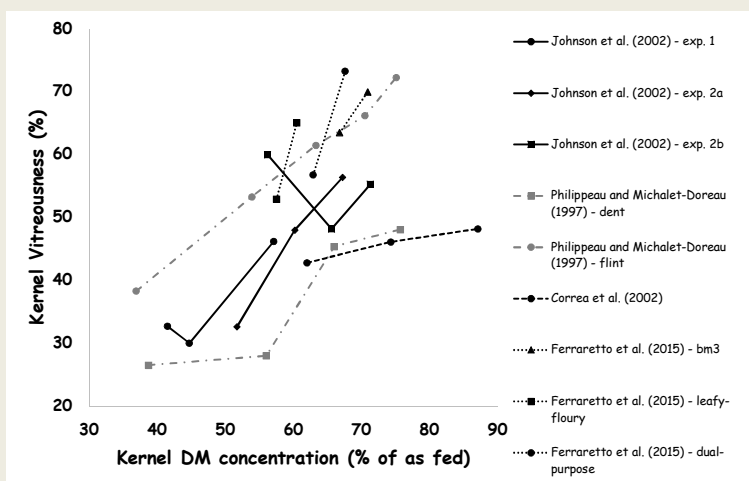
- Should we keep plants longer in the field to harvest greater yields of DM and starch?



Maturity at Harvest (>40% DM) Potential Issues

- Poor packing
- More porosity
- More yeast and molds
- Increase shrinkage and heating
- Increase mycotoxins
- Shorten bunk life
- Lower starch and fiber digestibility

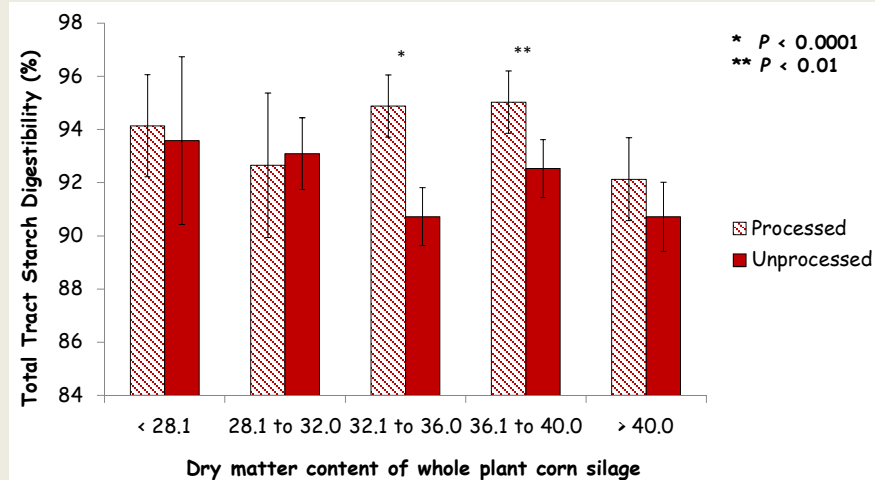
Kernel Vitreousness



Ferraretto et al., 2018



Kernel Processing * Maturity



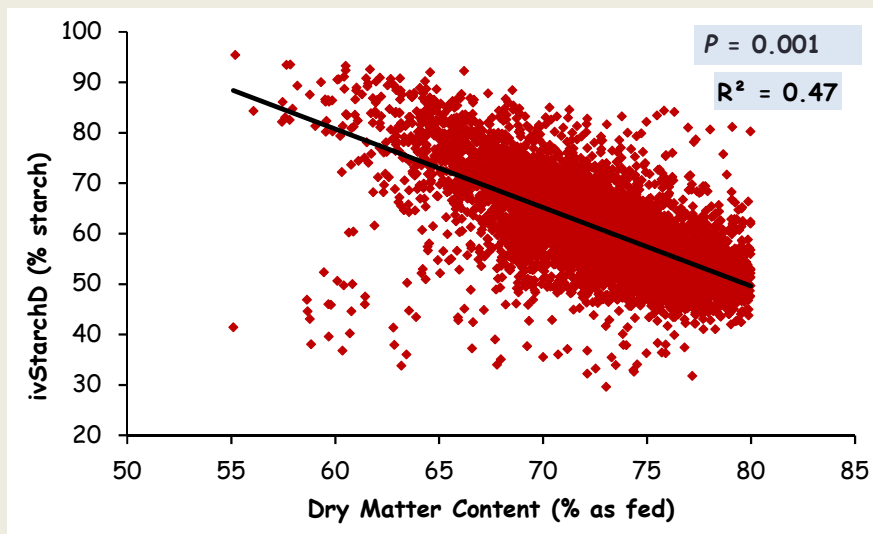
Ferraretto and Shaver, 2012; PAS

High-Moisture Corn Survey

- 6,131 HMC samples
- March 2011 - May 2013
- Within 50 - 80% DM

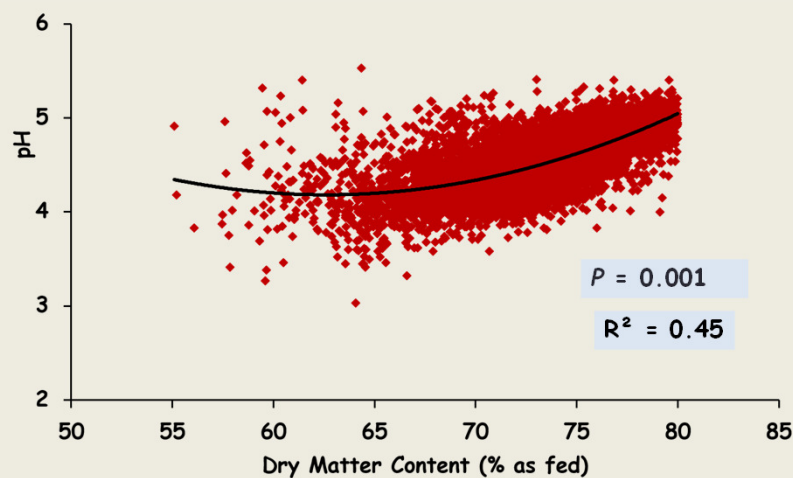
Ferraretto et al., 2014

ivStarchD Affected by %DM



Ferraretto et al., 2014

%DM Affects Fermentation



Ferraretto et al., 2014

Corn Silage and High-moisture Corn Fermentation Increases Starch Digestibility!



Response Across Multiple Corn Silage Trials

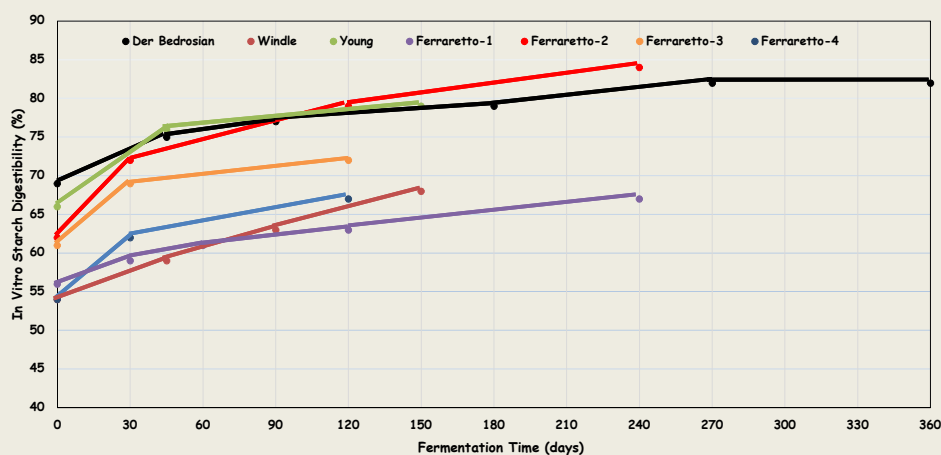
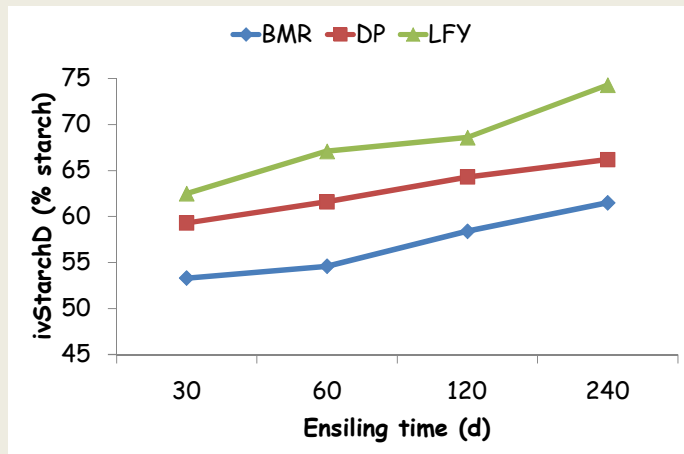


Figure 1. Effect of days of ensiling on ruminal in vitro starch digestibility. Data from Der Bedrosian et al., 2012; Windle et al., 2014; Young et al., 2012; Ferraretto-1, Ferraretto et al., 2015a; Ferraretto-2, Ferraretto et al., 2015b; Ferraretto-3,4, Ferraretto

Kung et al., 2018; JDS

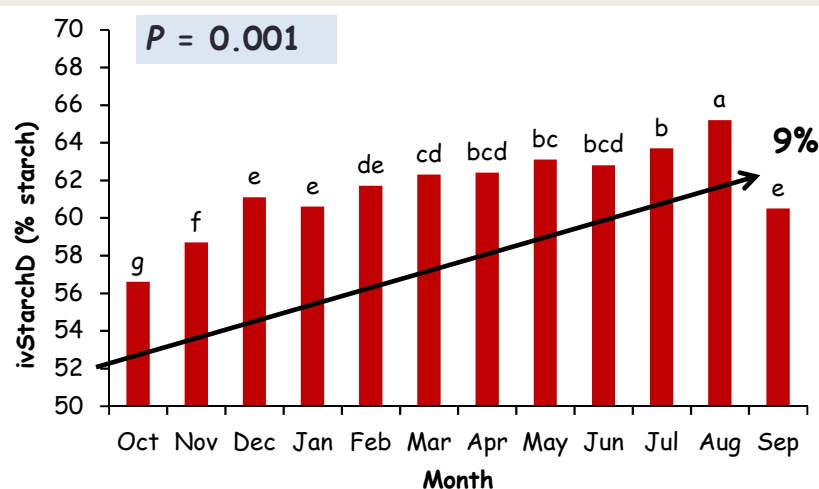
Hybrid Type × Ensiling Time



Time effect ($P < 0.001$)
Hybrid effect ($P = 0.02$)
Hybrid×Time ($P > 0.10$)

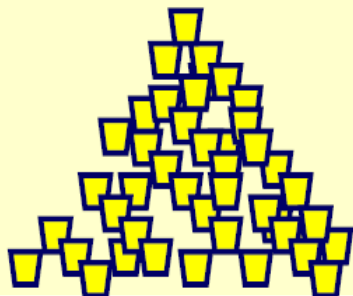
Ferraretto et al., 2015b

HMC - ivStarchD Increased by Storage Length



Ferraretto et al., 2014

Summary



80 to 98% StarchD

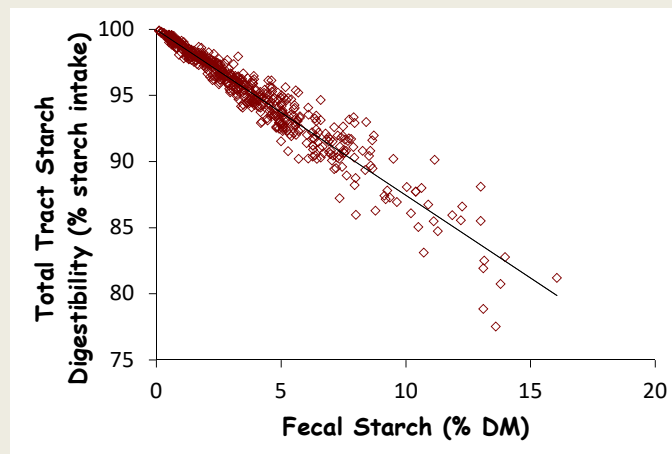
- Kernel particle size
- Duration of silage fermentation
- Kernel maturity
- Endosperm properties
- Additives

- Broken kernels are essential
- Allow silage to ferment for an extended period
- Harvest at the correct maturity
- Use hybrids with more floury endosperm if available
- Additives???

Fecal Starch - Tool to Measure and Manage Starch Digestibility on Farm



Source: Image - http://danpostmediafiles.s3.amazonaws.com/2012/10/20/10_2012.jpg



$P < 0.001$

$R^2 = 0.94$

564 samples

$$\text{TTSD \%} = 100.0\% - (1.25 \times \text{fecal starch \%})$$

Fredin et al., 2014

Utility of on Farm Fecal Starch?

- Can be used to predict total tract starch digestibility from available equations
 - Reflect total diets, not specific feedstuffs
 - It does not indicate site of digestion
 - Monitor specific groups over time
 - If <3% starch in feces no need to investigate feeds
 - If >3% should evaluate specific feedstuffs

Fecal Starch Economics

- Dietary starch - 25%
- Dry matter intake (25 kg/cow/d)
- Corn grain - 70% starch (1kg corn = 0.7 kg starch)
- Corn grain ivStarchD - 70% ivStarchD (1 kg corn = 0.49 kg digestible starch)
- Corn grain price - 140.0 US\$/t (0.14 US\$/kg)

Fecal Starch Economics

Fecal starch, %	0	5	10	15	20
Starch intake, kg/d	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
TTSD, % Starch	100	93.75	87.5	81.25	75
Starch loss, kg/d	0	0.39	0.78	1.17	1.56
Corn grain, kg/d	0	0.80	1.59	2.39	3.18
Corn grain, \$/d	0	0.11	0.22	0.33	0.45

Starch intake = (25 kg DMI * 25% starch)/100

Starch loss = starch intake - ((starch intake * TTSD)/100)

Implications

- Fecal starch is a viable tool to assess dietary starch digestibility on farm
- Several strategies that increase starch digestibility of individual feed ingredients
- Starch digestibility affect intake, milk and milk components production
- Combine fecal starch and milk samples analysis to optimize nutritional management

Questions?

lferraretto@ufl.edu



UF | IFAS
UNIVERSITY of FLORIDA