

泌乳奶牛淀粉的吸收利用率更大

Starch uptake greater in lactating cows

作者: F. N. Owens

译自: Feedstuffs October, 2006 PP14

译者: 史清河 张颖

摘要: 淀粉是谷物籽粒和玉米青贮中可消化能量的主要来源。二者的淀粉含量及其消化位点与消化程度是变化的, 测定饲料中淀粉的含量比消化率更容易。

淀粉是植物贮藏能量的主要形式, 在大多谷物籽粒和玉米青贮干重中占相当大的比例 (表)。

普通饲料中的淀粉含量

作物	平均值, %干物质	范围, %干物质
大麦	54	4-63
玉米	70	65-76
燕麦	44	34-55
高粱籽粒	70	55-85
小麦	63	53-72
玉米青贮	30	22-38

来源: DairyOne, 2006, Dairyone.com.

淀粉比细胞壁成分更易被消化, 占谷物籽粒可消化能的60-90%, 玉米青贮真可消化能的58-72% (Mertens, 2002; Cornell Nutrition Conf. p.1-18)。

泌乳奶牛和肥育牛日粮中的淀粉主要来源于谷物籽粒或青贮, 其它副产品提供的很少。因为淀粉占谷物籽粒和玉米青贮可消化能的大部分, 因此肥育牛和泌乳奶牛日粮的营养价值主要依赖于两个因素: 淀粉含量和淀粉消化率。

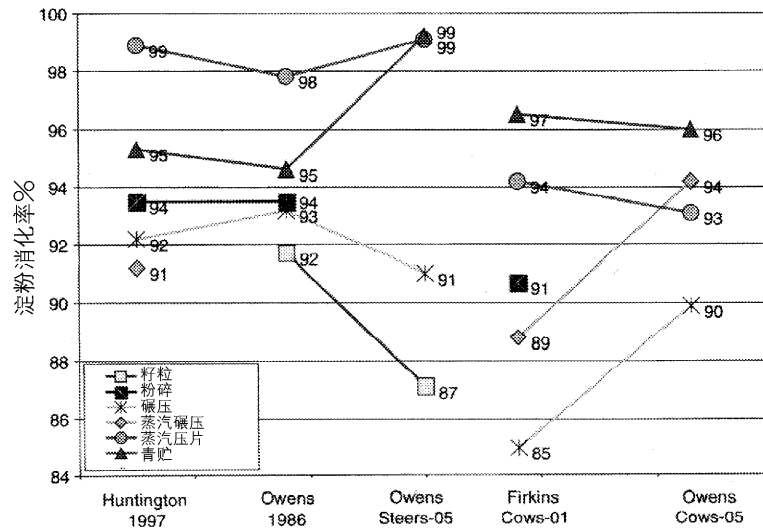
淀粉消化率

自从1986年, 发表了一系列有关牛消化淀粉位点和程度的综述。小谷物籽粒 (大麦、小麦和燕麦) 淀粉的瘤胃和全消化道消化率比高粱和玉米籽粒高很多。因此加工工艺对高粱和玉米籽粒淀粉消化率的影响要明显大于小谷物籽粒。

尽管玉米和高粱的加工工艺受到广泛的重视, 但用于玉米籽粒加工的工艺种类更多。许多研究者综述了不同加工方法加工的玉米籽粒的全消化道淀粉消化值 (平均值参考Owens 2005年的文献综述; Minn. Nutr. Conf. p. 113-133), 结果见图1。

早期的研究多用阉牛进行试验, 但近来已经把泌乳奶牛的淀粉消化率从肥育

图 1 不同作者所述不同方法加工玉米在奶牛全消化道淀粉消化率的平均值



阉牛或青年母牛的消化率中分出来。玉米籽粒淀粉全消化道的消化率因加工方法和牛的类型（泌乳奶牛与肥育阉牛或青年母牛）不同而异。

蒸汽碾压或压片（见图1中圆圈和菱形）加工谷物籽粒或将谷物籽粒发酵以制成高水分玉米（图1中的三角）显著增加其淀粉消化率。这些工艺减小了颗粒大小，并破坏了包被和联接淀粉颗粒的蛋白基质。碾压和粉碎的玉米淀粉全消化道消化率比整粒玉米高，因为它的籽粒种皮象一个粗糙的颗粒，延长了淀粉被微生物或酶分解的过程。

肥育牛的全消化道玉米淀粉消化率一直比泌乳奶牛的高。为什么呢？泌乳奶牛较高的饲料和粗纤维摄入量使得固体颗粒通过瘤胃的速度加快，并使得瘤胃微生物消化分解淀粉的时间缩短。

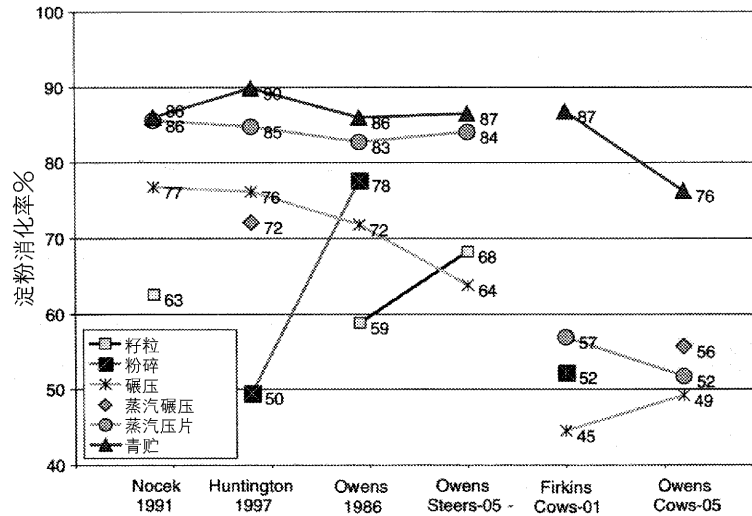
淀粉在消化道的什么位点被消化呢？日粮淀粉在瘤胃内的消化程度见图2。特别是对泌乳奶牛来说，高水分玉米（三角形标识的）和蒸汽压片（圆形标识的）玉米粒的淀粉消化率仍是最高。与全消化道消化率（图1）相比，瘤胃对高水分玉米粒的淀粉消化率占非常高的比例（平均为88%）。

相反，泌乳奶牛瘤胃对干法碾压或粉碎谷物籽粒总淀粉的消化（平均为68%和78%）仅占相当小的部分。

因为压片对淀粉在全消化道的消化率的影响要高于对其在瘤胃的消化率的影响，所以这种加工方法使得淀粉消化的位点转向小肠部位。这与高水分玉米大部分淀粉在瘤胃而非在小肠内消化相反。

图3是有关阉公牛或泌乳奶牛采食经不同加工方法而成的玉米粒后淀粉在各消化位点的消化率的最新研究概况。作为全消化道淀粉消化的一个环节，泌

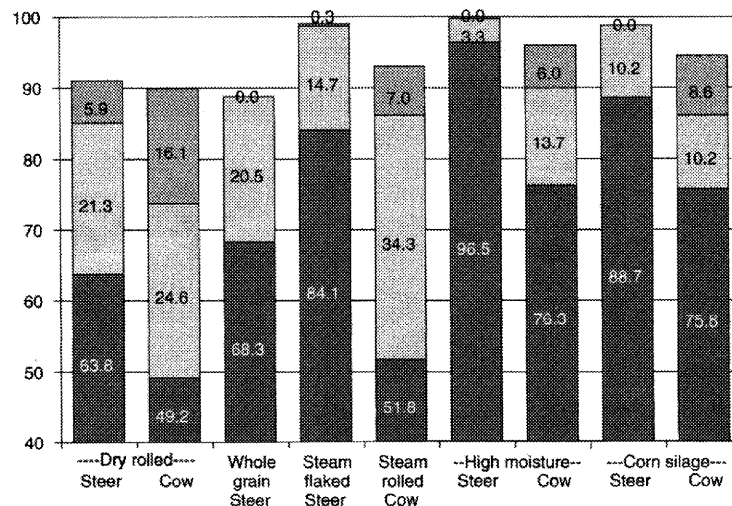
图2 不同方法加工处理玉米淀粉在牛瘤胃的消化率



乳奶牛在小肠消化淀粉的量高于肥育牛；这样可弥补其瘤胃淀粉消化率低的不足。

尽管全消化道淀粉消化是产生能量的主要因素，但是淀粉消化位点这个因素也是非常重要的。淀粉在小肠消化成葡萄糖比其在瘤胃内发酵生成酸可产生更多的净能，这是由于它减少了甲烷的生成和淀粉在瘤胃发酵过程中的热损失 (Harmon 和 McLeod, 2001; J. Anim. Sci. 79: E59-E72; Huntington 等, 2006; J. Anim.

图3 肉牛和奶牛饲喂玉米谷物和玉米青贮后不同部位淀粉的消化率



注：由底往高依次为瘤胃、小肠和大肠。

Sci. 84: E14-E24)。

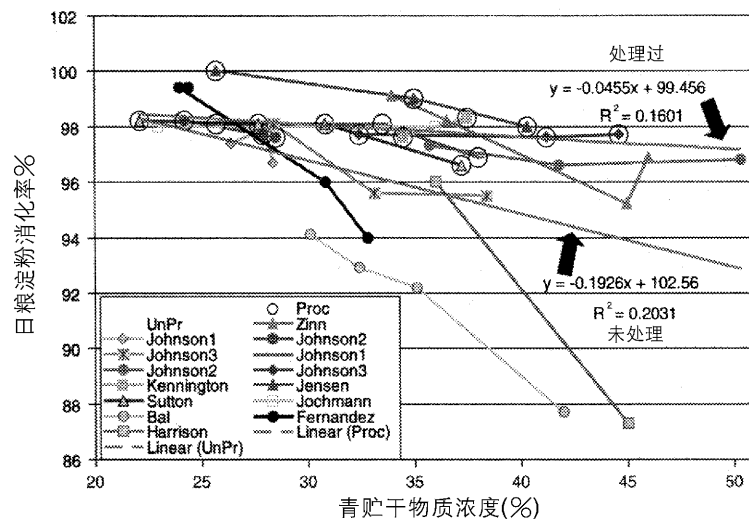
然而，由于小肠内淀粉消化的数量有限，所以抵消了这种优势。尽管关于小肠内淀粉消化程度的报道非常有限，但压片加工比干法碾压玉米淀粉的小肠消化率明显高很多，如图3显示。

玉米青贮

玉米籽粒的淀粉消化率可以很精确的测量出来，因为籽粒通常占试验日粮的大部分。相比之下，当用玉米青贮饲喂泌乳奶牛时，日粮中有不到一半的淀粉源自青贮；其余的则来自籽粒。为了单独计算青贮中淀粉的消化率，则必须用籽粒中的淀粉消化率进行校正。

这些试验中全消化道淀粉消化率（淀粉来自籽粒和青贮）平均为 $96.7 \pm 2.7\%$ （见图4）。在这些试验中测定的青贮有些经过籽粒加工，有些未经过籽粒加工，且这些青贮由于收获的时间不同使得干物质含量不同。这两条实线表明籽粒加工（用圆形表示）和未经过籽粒加工玉米青贮的水分含量对淀粉消化率的平均影响。

图4 青贮处理方法和干物质浓度对青贮淀粉在全消化道消化率的影响

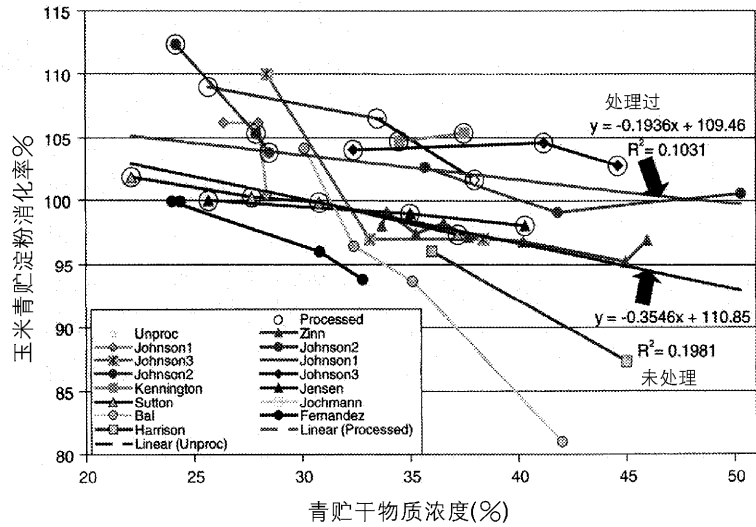


注：圆圈代表日粮中青贮经过颗粒处理

因为青贮的淀粉消化率随着发酵过程的持续而增加，这使得本来就不易准确测定的青贮淀粉消化率变得更复杂。在淀粉消化率较低的两个试验中，有一个试验中的青贮是经过短时间发酵而后进行饲喂的；另一个试验数据来自一个摘要中报道的一个单一的测量结果。

采用 Firkins 等（2001; J. Anim. Sci. 79:E218-E238）估测的籽粒淀粉消化率

图5 对日粮中精料所提供淀粉消化率调整后玉米青贮淀粉的消化率



来校正全消化道淀粉消化率后，发现玉米青贮中淀粉消化率显得惊奇的高（平均值为 $100.7 \pm 5.5\%$ ；图5）。需再次注意的是，在全消化道淀粉消化率最低的研究中使用的是那些发酵不到30天的特别干燥的玉米青贮。

采用收获时加工籽粒的试验中淀粉的消化率均较高。当作物收获推迟且青贮的干物质含量较高时，加工籽粒对淀粉消化率（带圆形标识的）的改善幅度高于未加工的玉米青贮组（不带圆形标识的）。

平均来说，玉米青贮干物质含量为25%时的淀粉消化率不受籽粒是否加工的影响；但对于干物质含量为50%的玉米青贮而言，加工籽粒可使淀粉消化率增加四个百分点。

令人惊讶的是，用籽粒淀粉消化率进行校正后，籽粒经过加工的玉米青贮的淀粉消化率经常超过100%（图5）。尽管这些值超过100%是不可能的，但玉米青贮的淀粉消化率与高水分玉米籽粒淀粉消化均超过95%的情况相似。

以青贮或高水分玉米形式贮存的谷物籽粒在高含水量下收获并进行发酵。因为玉米青贮中籽粒通常比高水分玉米中的籽粒更湿，所以玉米青贮中淀粉消化率应该相当高。

玉米青贮的淀粉消化率随其干物质含量增加而下降，但这种下降幅度相对较小。平均来讲，未经籽粒加工的玉米青贮只有当干物质含量超过45%时其淀粉消化率才下降到95%以下（图5）。

为什么水分含量较低的玉米青贮的淀粉消化率较低呢？与籽粒加工方法对谷物籽粒消化率的影响相似，收获晚的玉米青贮中玉米籽粒会更干一些，在收获时

破损也较少。当这种谷物籽粒在封窖后一个月之内被饲喂时，籽粒可能并未充分变软和发酵，因此被消化的淀粉量则较少。

基于对有关玉米青贮的发表文章进行总结，发现泌乳奶牛对发酵长达一个月以上的作物的淀粉消化率要高于94%，而阉公牛则可达到97%（图3）。而其中的大部分淀粉与高水分玉米的相似，均是通过瘤胃发酵的。

由于玉米青贮淀粉消化率较高，实验室方法用于估测青贮淀粉的全消化道消化率或为提高青贮淀粉消化率而选择玉米杂交品种的研究看来没有什么用。确实，淀粉消化率高说明仅是淀粉含量一个因子将会是影响玉米青贮能值的主要因素。

当含有玉米青贮的日粮中淀粉消化率低时，这更可能是日粮中谷物籽粒加工不充分的结果，而不是玉米青贮的问题。

最坏的情况

如果（1）玉米青贮干物质含量接近50%，（2）籽粒在收获时没有经过被加工，（3）在粪便中未消化的玉米籽粒占绝大部分，那能做什么呢？

一个办法是在饲喂前重新加工青贮，以打破籽粒，或者可以推迟使用，通过延长发酵时间以使籽粒软化，并增加其淀粉消化率。

正确收获时间和籽粒加工方法对获得最大的青贮淀粉消化率和最佳乳生产效率是非常重要的。

淀粉利用率

好几种分析程序可用来预测谷物籽粒或玉米青贮的淀粉消化率。总体来讲，这叫“淀粉利用率”评估，这些程序在方法和处理时间方面不同。

淀粉利用率值可用于评价青贮收获和加工充分程度，并可与谷物籽粒或加工方法结合起来，以配制达到最大生产和最小酸中毒风险的日粮。

什么因素会限制反刍动物瘤胃和大肠微生物发酵或小肠酶分解淀粉呢？淀粉能否被消化受大颗粒食糜的大小或淀粉颗粒对消化本身的敏感性的限制。

一个饲料样品的淀粉利用率可用酶或微生物或二者来评价。酶或微生物消化的淀粉与样品中总淀粉含量相比，这涉及测定经煮沸以破坏或“糊化”现存所有淀粉的样品在培养期间释放出的葡萄糖的总量。尽管蒸汽压片工艺可糊化谷物籽粒中的一些淀粉，但简单的碾压或发酵谷物籽粒则不产生糊化的淀粉。

谷物籽粒淀粉利用率 近几十年来，玉米压片的质量通常通过使用偏光显微镜观察经加工的谷物籽粒来测定经过加热仍未被破坏的淀粉颗粒所占的百分比（糊化）。然而，目前，经压片的谷物籽粒中的淀粉利用率通常采用生化方法而非物理方法来测定。淀粉利用率是用酶将未煮沸的（糊化的）研磨样品中的淀粉分

解成葡萄糖的部分占总淀粉的比例。

或者,通过在谷物籽粒中添加产乙醇酵母所产生出的气体的量来测定压片谷物籽粒淀粉的消化情况;通常以玉米压片而成的用于早餐的谷类作为100%标准。

商业化加工厂或肥育场的压片玉米的淀粉利用率通常在35% (比较厚的压片) - 65% (相当薄的压片) 范围内,而理想的压片的淀粉利用率在45% - 55%之间。因为压片厚度与淀粉利用率呈相关关系,所以要调整碾压的压力或蒸汽压片的间隙以保持一定重量的压片玉米(经常用每小时测量)的淀粉利用率在一个特定范围。

高度糊化的压片谷物籽粒并不理想,因为当日粮中含有大比例的这种谷物籽粒时,饲料采食量通常是减少的。淀粉利用率将随着其他一些因子(例如加工方面的因素以及被加工的杂交品种的容积密度)的变化而改变。不幸的是,实验室测定的淀粉利用率结果要在几天或一周才能得到,此时谷物籽已经被压片并且被饲喂了。

Kansas州的Jim Drouillard发明了一个测定方法,它可在现场几分钟内迅速测定淀粉消化率(Sindt等,2000; Kansas Cattlemen's Day, p. 62-64)。当压片谷物籽粒淀粉消化率超过50%时,阉公牛全消化道淀粉消化率一般超过99%(Zinn等,2000; Pacific Northwest Anim. Nutr. Conf., p. 123-126)。

青贮淀粉利用率 为了测定玉米青贮的淀粉可消化性,威斯康星的工作人员最近发表了一个酶解程序,叫淀粉利用率程度测定(Blasel等,2006; Anim. Feed Sci. Tech., 128: 96-107)。

用这种方法将一个湿的、未研磨的青贮样品与淀粉降解酶进行培养,通过测定释放出的葡萄糖量就可测得总淀粉的利用率。这种方法对颗粒的大小特别敏感,因为样品未经研磨。

颗粒大小可采用目前已商业化使用的“加工评分”技术来测定。主要用于测定玉米青贮的颗粒筛可检测玉米籽粒通过收割机的籽粒加工器被加工的程度。

同样,我们也可以数一定重量的青贮或铡短的玉米秸秆中大于半籽粒的籽粒个数。然而,象淀粉利用率测定一样,加工评分技术类似一种剖检分析。此分析技术应该在收割时测定和调控,而非在青贮被饲喂的时候。

反刍/反刍后的淀粉消化 将一个干燥的经研磨的样品与瘤胃液混合于一个密封的烧杯(体外法)或将样品装于尼龙袋内并悬浮于瘤胃内(体内法)进行培养,测定出来的淀粉消失的速度和程度常用于预测淀粉在瘤胃的消化情况(Sapienza, 2004 Cornell Nutr. Conf., p. 27-40)。

好几个培养时间点能用来估测消化的速度,或用一个时间点(通常12~30小

时)能预测瘤胃消化的程度。淀粉消化的速度和程度随着(1)培养时间,(2)样品碾磨的大小,(3)谷物籽粒粉化的程度变化而异。粉化谷物籽粒中被精细碾磨的颗粒可通过尼龙袋上的孔。

根据 Calsamiglia 和 Stern (1995; J. Anim. Sci. 73: 1459-1465) 描述的方法,用小肠中的酶分解经瘤胃消化后的残渣可估测淀粉在小肠中的消化情况。尽管这种方法可估测淀粉在小肠中的消化情况,但是此法忽略了大肠对淀粉消化的辅助作用,而这部分消化对全消化道的淀粉消化来说也有贡献。

气体产量曲线 淀粉在瘤胃被消化时除了产酸外,瘤胃微生物还产生二氧化碳和甲烷。就像酵母发酵产乙醇一样,瘤胃微生物也产生作为消化副产物的气体。

按照 Pell 和 Schofield (1993; J. Dairy Sci. 76:1063-1073) 所描述的“体外自动”技术测定气体产生的速度和数量可作为发酵的一个指数。当用全批培养测定法时,培养 24 小时后的发酵产物可能变得不正常。

直接用动物测定 这些是测定消化的黄金标准,但是成本高且耗费大量的劳动才能获得结果。淀粉的全消化道消化率可用未去势的动物直接测定,但是为了区分瘤胃消化和小肠消化,需要在试验动物小肠的起始端安装一个瘘管。而且为了区分小肠消化与大肠消化,需要在小肠的末端安装第二个瘘管。

因为仅从瘘管采集一部分食糜,因此整个流量可通过测定样品中的一个不可消化的饲料成分或标记物的浓度来估测。常采用淀粉相对于那个标记物的消失比例来计算消化道任意一点的消化率。

饲料采食量和日粮纤维可用于改变淀粉在消化道的通过速度;它们能改变淀粉消化的地点和程度。然而如果没有采用直接的动物测定来作为基准的话,其他方法(体外法、瘤胃定点培养法)所得的结果是没用的,或许是误导性的。

粪便中淀粉的浓度也可作为测定淀粉消化率的一个粗略指标,结合分析已知消化率的日粮成分(木质素、酸不溶灰分、不可消化的中性洗涤纤维、日粮蛋白)的饲料和粪便含量,饲料和粪样分析是提供阉公牛和泌乳奶牛淀粉消化的可信指标(Zinn 等, 2005, JanimSci83 (Supp. 1): abstract M159)。这样的方法将会有效的评价生产条件下淀粉消化的效率。

总结

淀粉是谷物籽粒和玉米青贮中可消化能量的主要来源。淀粉含量和消化情况(位点和程度)是可变的,测定饲料中淀粉含量比淀粉消化率更容易。可通过加工谷物籽粒或玉米青贮而提高淀粉的消化率,这与颗粒大小的减小和发酵过程有关。

对于干燥碾压的玉米来说，坚硬（角质更多）的大籽粒的淀粉消化率更低。然而谷物籽粒的角质层如果有的话，也很少能影响压片的和青贮过的谷物籽粒的淀粉消化率，因为二者的淀粉消化率接近 100%。

将淀粉与瘤胃微生物或淀粉消化酶作用及筛颗粒等一些实验室方法均可用于估测淀粉消化率。尽管淀粉消化速度和位点的研究有助于配制饲料效率最大化和代谢紊乱最少化的日粮，但是实验室方法能否准确估测反刍动物对淀粉的消化情况仍有待于进一步评定。