

肉牛和奶牛用谷物的加工¹

GRAIN PROCESSING FOR BEEF AND DIARY CATTLE

R. L. Preston 博士，美国德州理工大学

前 言

为使牛能够有效地消化和利用饲料谷物（玉米、高粱或西非高粱、大麦、燕麦，有时还有小麦），必须将籽粒破碎。在牛的采食咀嚼过程中，未加工过的整粒玉米会受到相当的破损，但是大麦和小麦籽粒却能保留完整无损（Beauchemin et al, 1994）。在高精料日粮中可以饲喂整粒玉米，这在后面将予以讨论。关于饲喂反刍动物用谷物的加工有许多综述（Hale, 1973; Texas Tech Univ., 1984; Theurer, 1986; Zinn, 1990a; Swingle et al, 1990; Nocek and Tamminga, 1991; Church, 1991, pp. 194-199; Harmon, 1993; NRC, 1996, pp. 144-146; Huntington, 1997; Owens et al, 1997; Pritchard and Stateler, 1997; Theurer et al, 1999a）。

谷物对日粮的主要贡献是能量，而谷物中的能量主要来自淀粉。淀粉含量最高的谷物是小麦（77%），然后是玉米（72%）、高粱（70%）和大麦及燕麦（57 - 58%）（Huntington, 1997）。所以，通过加工而改善谷物利用率的重点是改进谷物中淀粉的利用率。

加工方法

谷物的加工方法可以分为干法和湿法、冷法和热法。破碎（cracking）、压成波纹（crimping）、碾压（rolling）和磨碎（grinding）是主要的干冷加工法。在浸泡（soaking）、加水调制（reconstitution）和高水分谷物（早期收获）发酵贮藏后进行碾压和磨碎是主要的冷湿加工法。焙烤（roasting）、挤压（extruding，俗称膨化）、爆花（popping）、微化（micronizing）和制粒（pelleting）是主要的干热加工法，虽然有些方法在进行过程中可能加入蒸汽。蒸汽碾压（steam-rolling）和蒸汽压片（steam-flaking）是主要的湿热加工法。本讨论的重点是蒸汽压片加工法，并与其他方法进行比较。蒸汽压片时先对谷物进行调制（conditioning），然后进行直接蒸

¹ 首次发表于1999年8月

汽加热和压片 (Preston and Matulka, 1994)。调制时, 谷物原料中加入水和表面活性剂(调制剂), 一般加8 - 10%水, 然后保持12 - 18小时, 使水分渗入谷物。然后将谷物传送到立式蒸汽室。注入的蒸汽将谷物的温度提高到95 - 100°C, 并保持30 - 45分钟。经调制和蒸汽处理的谷物在两个大的波纹压辊之间通过后即压成片状。波纹压辊在压成的片上形成凹槽, 使其较耐搬运。谷物片的最终密度一般约为原料谷物的一半。谷物片可以直接饲喂或待其“冷却”(散失一些水分)并贮存几天后饲喂, 并不影响饲喂结果(Zinn and Barrajas, 1997)。谷物压片的目的在于使其中的淀粉糊化, 使其更好地为动物所消化利用。

谷物片最初是在生长牛上试验的(60年代初), 证明能使效率改善, 这与淀粉消化得更好以及瘤胃中丙酸比例上升、乙酸比例下降有关。由于乙酸盐是在乳脂合成中起作用而乳脂又在牛奶定价中有重要影响, 所以谷物片在奶牛饲养中的研究直到90年代初期才开始, 这时乳蛋白含量在牛奶定价中已是更重要的因素。

玉 米

玉米的品种影响瘤胃中淀粉的降解程度。在对8种马齿玉米和6种硬粒玉米的试验中(Philippeau et al, 1999), 瘤胃中淀粉降解率分别为55 - 78%和41 - 50%; 玉米胚乳的质地(玻璃状, 透明度)与瘤胃中淀粉降解度高度相关($r^2 = 0.89$)。所以, 未加工玉米的来源能够影响淀粉的瘤胃降解率, 而且显然也影响加工所得到的结果。用高直链淀粉玉米(占淀粉的62%)和正常直链淀粉玉米(占淀粉的27%)饲喂绵羊时, 饲养结果和消化率相似(Preston et al, 1964)。

加工对玉米的影响一般小于对高粱的影响。事实上, 整粒玉米可以在高精料日粮(>83%精料或>70%玉米)中饲喂, 其对于围栏肥育牛饲养效率的影响和饲喂干冷法加工的玉米(波纹片)相当或更好(Vance et al, 1972a, b); 整粒玉米对瘤胃壁具有类似于粗饲料的作用。饲喂整粒玉米的阉牛, 采食量提高15%, 增重提高6%, 在试验的最初56天效果尤其好, 但是, 饲喂蒸汽压片高粱的阉牛, 其效率更要高7%(Preston and Bartle, 1990; Bartle and Preston, 1992)。

用围栏肥育牛比较整粒玉米和蒸汽压片玉米, 增重相似, 但是在约含84%精料的日粮中, 蒸汽压片玉米可使效率改善8%(Matsushima and Greathouse, 1975); 在低精料日粮中, 蒸汽压片玉米可使增重和效率分别提高4%和3%。当在高精料日粮(90%)中比较时, 整粒玉米使阉牛增重显著提高, 效率提高4%(Wolfe and

Matsushima, 1975)。因此，整粒玉米和蒸汽压片玉米的比较结果似乎和日粮的精料水平有关。

最近的一些综述表明，用饲喂高精料日粮的围栏肥育牛比较蒸汽压片玉米和干压玉米时，增重基本一致，但效率则以蒸汽压片玉米为好（表1）（Owens et al, 1997; Theurer et al, 1999a）。

表1 蒸汽压片玉米改善了围栏肥育牛的效率

指标	干法碾压	蒸汽压片	变化
日增重（公斤）	1.32	1.33	+ 1%
增重/100干物质	15.3	17.0	+ 11%

压片程度（密度）能影响围栏肥育结果。厚的与平的玉米片（厚度未说明）与磨碎玉米相比，使增重和效率都得到了改进（Hale, 1984）；平的玉米片与厚的玉米片相比，前者增重快4%、效率改善8%。将压至密度分别为360、310和260克/升，厚度分别为2.23、1.83和1.68毫米的玉米片饲喂围栏肥育牛，生产性能无明显差异，但是，饲喂低密度玉米片的阉牛有增重较少和效率较低的趋势（Zinn, 1990b）；总的消化道淀粉消化率得到提高（分别为98.5、99.1和99.6%），粪便中的淀粉含量随着玉米片密度的降低而逐渐降低（分别为粪便有机物的5.0、3.2和1.4%）。

挤压玉米在瘤胃中的降解率很高，但是降低了围栏肥育阉牛的生产性能，其原因可能是降低了瘤胃的pH（ $\text{pH} < 5$ ）（Gaebe et al, 1998）。

给泌乳母牛饲喂玉米片可以增加产奶量、降低乳脂率、提高乳蛋白率和改进产奶效率。但是，密度为260 - 280克/升的玉米片会使采食量、产奶量和乳脂校正奶产量下降（Theurer et al, 1999a）。饲喂密度为360克/升的玉米片与饲喂密度为310克/升的玉米片、蒸汽碾压玉米（490克/升）或粗磨玉米相比，可使产奶量提高8%（Yu et al, 1997; Yu et al, 1998）。用装瘻管的泌乳牛比较了密度分别为390、320和260克/升、厚度分别为2.45、1.88和1.66毫米的玉米片和干碾压玉米（520克/升）（Plascencia and Zinn, 1996）。蒸汽压片玉米对泌乳牛的饲喂价值得到改善是由于提高了日粮的适口性、淀粉和蛋白质的消化率和产奶净能（ NE_l ）；玉米片

最适宜的密度是320和390克/升。用奶牛比较蒸汽压片玉米和干法加工玉米的饲养试验总结见表2。

表2 蒸汽压片玉米改进了牛奶产量和效率

指标	干法碾压	蒸汽压片	变化
牛奶/天 (公斤)	35.8	38.0	+ 6%
乳蛋白 (%)	2.99	3.06	+ 2%
乳脂 (%)	3.11	2.98	- 4%
脂肪校正奶/干物质	1.28	1.31	+ 2%

玉米在高水分时收获或加水调制至水分为25 - 30%后贮存于限氧筒仓，并在饲喂前稍加碾压，与饲喂干法碾压的玉米相比，增重略低(- 3%)，效率略有改进(+ 4%) (Hale, 1984; Owens et al, 1997)。水分为26 - 32%的早收获玉米在瘤胃中的消失率要高于水分为20%的早收玉米。对含高水分玉米、干法波纹玉米片(dry crimped corn)和干整粒玉米日粮的净能值进行比较，高水分玉米的增重净能(NEg)比干法加工的玉米高4% (Preston, 1975)。

碾压玉米前加水和表面活性剂与干法碾压玉米相比，可以改进围栏肥育牛的增重(+ 9%)和效率(+ 5%)；蒸汽压片玉米与加水碾压玉米相比，增重相同，效率则改进了6% (Zinn et al, 1998)。

高 梁

高粱籽粒和胚乳的特性存在很大的遗传变异，这会影影响动物对它的利用 (Hibberd et al, 1982; Wagner, 1984; Robinson et al, 1992a; Robinson et al, 1992b)。有些高粱品种含单宁(所谓的防鸟品种)，这似乎不会降低淀粉在瘤胃中的降解率，但是会降低淀粉在小肠中的消化率。我们曾经评定过42份生产者送来的高粱样品，籽粒大小、吸水性、粗蛋白和淀粉含量都有很大差异 (Preston et al, 1991)。平均淀粉含量为干物质的 $68.0 \pm 4.8\%$ ，总淀粉含量中“有效”淀粉的平均含量为 $24.8 \pm 3.6\%$ 。

高粱在喂牛前应该加工。由于其籽粒小，牛不能通过充分的咀嚼而有效地利用它。最初是用干法来加工高粱（Brethour，1984）。饲喂细碾压高粱（17%的粉料颗粒度为2 - 4毫米，64%的粉料颗粒度为1 - 2毫米）的牛与饲喂粗碾压高粱（36%的粉料颗粒度为2 - 4毫米，52%的粉料颗粒度为1 - 2毫米）的相比，前者生长较快（+3%），效率较高（+8%）。但是，细磨高粱（14%粉料的颗粒度为1 - 2毫米，53%的颗粒度为0.5—1.0毫米）降低了采食量（-3%）、增重（-12%）和效率（-7%）。细磨高粱（和其他谷物）会产生粉尘多的混合饲料，不利于牛采食。加入“聚集性”饲料原料（如青贮料、糖蜜、脂肪或液体饲料）可能减少粉尘问题，但是并不能改善细磨高粱的效率。

对于高粱来说，值得选用的加工方法是蒸汽压片。早期的研究表明，蒸汽压片优于干法加工，尤其是对于高粱（Hale. 1984）。该研究说明，“薄”片优于“厚”片（以密度衡量），见表3。我们研究了不同程度蒸汽压片高粱饲喂围栏肥育牛的效果（Xiong et al，1991），结果见表4。

表3 高粱籽粒压片程度对生长牛生产效率的改进

指标	压片密度（克/升）		
	460	360	260
增重/天（公斤）	1.31	1.34	1.38
增重/100饲料	15.4	17.2	17.3

表4 高粱压片程度对生长牛生产效率的改进

指标	压片密度（克/升）		
	437	360	283
增重/天（公斤）	1.54	1.53	1.53
增重/100干物质	15.7	16.5	16.9

较大强度压片（360和283克/升）和较小强度压片（437克/升）相比，增重率不受影响，但是前者的增重效率得到改善（分别为+5.1%和+7.6%）；在饲喂期

的最初28天，对增重效率的影响尤为明显。随着压片强度的增加，粪便中淀粉含量大为减少（分别占干物质的10.8、5.7和4.0%），而且在整个饲养期中都是这样。正象预期的那样，强度压片需要耗费较多的电力（分别为4.4、7.5和11.0千瓦小时/1000吨）。这样，饲料效率的改善就被电力消耗的增加所抵消，为了决定采取什么样的压片强度为宜，应在高粱和电力的价格之间进行权衡。高粱压片至密度322和283克/升与密度361克/升相比，前者导致围栏肥育牛的采食量下降、生产性能变差、对酸中毒的易感性提高和生产费用上升（Reinhardt et al, 1997）。最新的结论是，考虑到增重效率和加工成本，压片高粱的适宜密度是360 - 385克/升（Swingle et al, 1999; Theurer et al, 1999b）。用围栏肥育牛比较蒸汽压片高粱和干法碾压高粱的试验总结如表5所示（Owens et al, 1997; Theurer et al, 1999a）。

表5 蒸汽压片高粱对围栏肥育牛生产效率的改进

指标	干法碾压	蒸汽压片	变化
增重/天（公斤）	1.32	1.30	- 1.5%
增重/100干物质	13.6	15.6	+ 14.7

挤压高粱在瘤胃中的降解率很高，但是会降低生长牛在围栏肥育场的生产性能，可能是由于降低了瘤胃的pH水平（pH<5）（Gaebe et al, 1998）。挤压（制粒）高粱使产奶母牛的干物质进食量降低，但提高了产奶量（+3%）、产奶效率（+7%）和乳蛋白产量（+4%），对乳脂产量无影响（Titgemeyer and Shirley, 1997）。

饲喂压片高粱可提高奶牛的产奶量、降低乳脂率、提高乳蛋白率和改进产奶效率。与干法碾压高粱相比，蒸汽压片可使淀粉在瘤胃中的消化率从60%提高到81%，在小肠中的消化率从63%提高到83%，从而使奶牛的可消化淀粉进食量提高9%（Oliveira et al, 1995）。将压片至不同密度的高粱（437、360和283克/升）与干法碾压高粱（643克/升）相比，饲喂最低密度压片高粱的奶牛产奶量下降（表6）；饲喂密度为437克/升的压片高粱的奶牛产奶效率最高（Santos et al, 1997）。用泌乳母牛比较蒸汽压片和干法加工高粱的饲养试验结果如表7所示。

表6 蒸汽压片高粱对产奶效率的改进

指标	干法碾压	压片密度 (克/升)		
		437	360	283
牛奶/天 (公斤)	38.9	38.9	38.1	33.9
乳蛋白 (%)	3.14	3.24	3.26	3.31
乳脂 (%)	2.98	2.84	2.78	2.56
脂肪校正奶/天 (公斤)	35.6	34.8	34.2	28.5
脂肪校正奶/干物质	1.24	1.45	1.34	1.22

表7 蒸汽压片高粱对产奶效率的作用

指标	干法碾压	蒸汽压片	变化
牛奶/天 (公斤)	25.6	25.1	- 2%
乳蛋白 (%)	2.95	3.02	+ 2%
乳脂 (%)	3.20	3.03	- 5%
脂肪校正奶/干物质	1.39	1.46	+ 5%

虽然关于高水分高粱或加水调制高粱饲养价值的有限数据，但多数结果表明，它们优于干法加工的高粱。几个品种的高粱经过加水调制后，其总消化道淀粉消化率从89%提高到97% (Wagner, 1984)。加水调制高粱的淀粉在瘤胃中的消化率可提高22%，从而可降低瘤胃的氨水平，提高微生物蛋白产量。加水调制高粱与压片高粱和干法碾压高粱相比，前者增重分别加快7%和4%，效率分别改善5%和19% (Hale, 1984)；干物质和蛋白质的消化率以及氮存留也都得到改进。水分为23、29和34%的加水调制高粱相互比较时，瘤胃中干物质消失率以水分为29和34%的加水调制高粱为最高 (+ 89%)。早收获高粱 (水分27 - 30%) 可以比干法碾压高粱改进增重 (+ 5%) 和效率 (+ 20%) (Hale, 1984)。试验总结表明，高水分和加水调制高粱与干法碾压高粱相比，使增重略为降低 (- 8%)，但效率改善 (+ 7%)；与压片高粱相比，则增重和效率都较差 (分别为 - 7%和 - 9%) (Owens et

al, 1997)。

在碾压前将高粱浸泡12 - 24小时并不能改变牛的生产性能，只是消化率比饲喂干法碾压高粱稍有提高 (Hale, 1984)。

大麦、燕麦和小麦

为了改善牛对这些谷物的利用效率，它们在饲喂前都必需经过加工。但是，湿法加工似乎并不比干法加工优越。

用蒸汽碾压大麦饲喂围栏肥育牛时，与整粒（未处理）大麦相比，前者增重较高（1.49比1.31公斤/天），效率较好（11.8比10.0增重/100饲料）（Preston and Herlugson, 1980）；在粗饲料水平高的情况下（粗饲料含量25%比15或5%），改善幅度略小。当把干法碾压大麦（390克/升）与蒸汽碾压大麦（390或190克/升）和蒸汽压片玉米（310克/升）相比时（Zinn, 1993），蒸汽碾压大麦的增重与干法碾压大麦相似，而效率仅略有改善（两种蒸汽碾压处理分别为+2%和+6%）。饲喂大麦的增重高于蒸汽压片玉米（+7%），但效率较低（-5%）。瘤胃中淀粉的消化率，大麦为86%，玉米为76%（Milner et al, 1999）。焙烤大麦与干法碾压大麦相比，前者的干物质在瘤胃中的降解速度有所降低，但降解程度无差异（Hinman and Sorensen, 1999）。有一篇关于加工作用的总结指出，蒸汽碾压大麦与干法碾压大麦相比，前者增重较差（-8%）但效率略好（+1%）（Owens et al, 1997）。

关于加工对燕麦的作用数据很少。蒸汽碾压燕麦与干法碾压燕麦相比，前者的增重和效率都略有下降（-3%）（Owens et al, 1997）。

有时，小麦的价格使其成为有竞争力的饲料谷物来源。蒸汽碾压小麦的结果一直不稳定。当干法碾压小麦（520克/升）与蒸汽碾压小麦（390或300克/升）相比时，增重和效率以后者为优（分别为+13%和+10%）（Zinn, 1994）；蒸汽碾压降低了粪便中淀粉含量，而粪便中淀粉含量与总消化道淀粉消化率之间呈强的负相关（ $r^2 = 0.95$ ）。在一篇关于蒸汽碾压小麦和干法碾压小麦比较结果的总结中指出，增重相似，但效率以前者为佳（+11%）（Owens et al, 1997）。当雨水过多、小麦收割被延迟时，小麦在收割前可能发芽，不适于烤制面包。把蒸汽碾压的正常小麦和蒸汽碾压的发芽小麦（58%发芽籽粒）分别按5%的量加入围栏肥育牛日粮后进行饲养试验，增重和效率都相似（Rule et al, 1986）。

用实验室方法评价压片对谷物的作用

本讨论始终把压片前后谷物的密度作为衡量压片程度的指标。这个方法简单易行，便于在饲料厂中用于对压片工序进行质量控制。由于在谷物间和谷物内、工厂间和工厂内以及蒸汽压片条件之间都存在差异，所以不能制订一个适用于某一种谷物、某一个工厂的通用的最佳密度（Karr，1984）。

淀粉是谷物中受蒸汽压片作用的主要成分。关于谷物淀粉的理化特性已有综述（French，1973；Rooney and Pflugfelder，1986）。当给予足够的能量时，谷物胚乳中的淀粉颗粒发生糊化或失去结构。糊化时淀粉颗粒吸水膨胀，排出部分的直链淀粉，变得较易酶解，并失去双反射能力（旋转偏振光的能力）。可以用偏振显微镜来检验是否失去了双反射能力。失去双反射能力的淀粉颗粒所占的百分比称为糊化百分比。这个术语在食品和饲料工业中已使用了一些时候。

糊化百分比被用来测定蒸汽压片对谷物的作用。使牛能有效地利用谷物淀粉的最佳糊化程度是难以确定的。100%糊化的玉米会抑制围栏肥育牛的采食量和增重（DeBie and Woods，1964）。

当对高粱进行蒸汽压片时，随着糊化度的提高，压片密度下降至约350克/升，然后，糊化度趋于持平（约60%糊化度），但密度可进一步下降至200克/升（Xiong et al，1990a；Preston et al，1993；Swingle et al，1999）。所以，恰恰在动物生产性能最佳的高粱压片密度范围内（320 - 360克/升），糊化度变得不敏感了。于是推出了一种改进的酶法（淀粉葡糖苷酶）来测定淀粉的有效性（Xiong et al，1990a）。当把此法用于不同密度的高粱压片时，有效淀粉（占总淀粉的%）与密度的相关性高于双反射能力法的测值（Xiong et al，1990a；Preston et al，1993）。至60%的糊化度和68%的有效淀粉，这两个压片程度的指标是正相关的（ $r^2 = 0.56$ ），但是超过了这个点以后，糊化度只能从60%提高到63%，而有效淀粉则可从68%提高到100%（Preston et al，1993）。现在已有一些商业实验室用此酶法评估压片对谷物的作用。与此类似的酶法也有人使用（Zinn，1990b）。

对于高粱的建议值是：压片密度320 - 360克/升；有效淀粉72 - 78%。对于玉米，有效淀粉值可能不需要这么高：密度260克/升、有效淀粉75%的玉米压片与密度360克/升、有效淀粉50%的玉米压片相比，前者的增重和效率都有降低（Brown et al，1999）。

也可以用产气法来估计压片对谷物中有效淀粉的作用（Hibberd et al，1982；

McLeod and Richardson, 1986; Xiong et al, 1990b)。这些方法是利用瘤胃微生物或酵母菌来发酵有效淀粉。产气率随着高粱压片密度的下降而提高；但是，加水调制高粱的产气率很低。蛋白质降解率随着高粱压片密度的下降而逐渐下降；但是，对于加水调制高粱，则蛋白质降解率与未加工高粱相比略有上升（Xiong et al, 1990b）；在蒸汽压片的玉米（Zinn, 1987）和小麦（Zinn, 1994）也发现这种类似的瘤胃蛋白质降解率下降现象。在调制阶段，高粱蛋白质的溶解度在弱碱（0.0025或0.005 N NaOH）中提高19%，但是在蒸汽处理和随后的压片过程中则显著降低（-67%）（Preston, 1996; Preston, 1998）。但是，淀粉有效性在压片步骤之前并不提高，这说明蒸汽压片处理对淀粉颗粒有两个作用阶段。

近红外光谱分析（NIR）可以在不破坏饲料基质（被动物采食时的状态）的情况下提供饲料成分的分析数据。有人评估了用这种方法测定压片高粱中淀粉有效性的潜力（Preston et al, 1993）。利用172反射波长，发现NIR波谱和糊化度或有效淀粉之间的相关系数分别为0.97和0.99；某交叉验证研究得到的相关系数分别为0.96和0.99。因此，NIR法可以高度准确地描述压片高粱的淀粉有效性。

总 结

为了使牛可以有效地消化和利用饲料谷物，对它们必需进行加工（破碎、碾压、磨碎、高湿度、加水调制、蒸汽碾压、蒸汽压片）。唯一的例外是在高精料-低粗料型日粮中饲喂的整粒玉米。蒸汽压片是适用于高粱的加工方法。通过蒸汽压片，高粱籽粒对生长牛和泌乳牛的效率分别可以提高10-17%和2-8%，主要是由于瘤胃中的淀粉有效性得到了提高。最佳压片密度似乎在320-360克/升之间。蒸汽压片（360-380克/升）可以改善玉米的效率，但改善幅度较小（分别为5-10%和0-2%）。蒸汽压片对于大麦、燕麦或小麦的作用不大。蒸汽压片似乎会降低谷物蛋白质在瘤胃中的降解度。压片谷物的密度测定可以为蒸汽压片厂的质量控制提供一种快速而方便的方法。测定对酶有效的淀粉是衡量蒸汽压片程度的最敏感的实验室方法。近红外光谱分析似乎是衡量压片谷物中淀粉有效性的精确而快速的实验室方法。

（周鼎年 翻译）

参考文献

- Bartle , S.J. and R.L. Preston. 1992. Limited maximum intake , reduced roughage regimes and steam-flaked sorghum grain vs whole shelled corn for feedlot steers. Anim. Sci. Res. Rpt. NO. T-5-317 , pp.128-133. Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.
- Beauchemin , K.A. , T.A. McAllister , Y. Dong , B.I. Farr and K.J. Cheng. 1994. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. J. Anim. Sci. 72:236-246.
- Brethour , J.R. 1984. Processing grains for maximum utilization , comparison of "dry" processing methods. In Proc. Feed Grains Utilization Symp. (For Feedlot Cattle) , pp.85-89. Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.
- Brown , M.S. , C.R. Krehbiel , M.L. Galyean , D.M. Hallford , D. Walker and G. Duff. 1999. Effect of degree of grain processing on serum metabolic hormone profiles and performance by finishing steers. Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci. 50:243-245.
- Church , D.C. 1991. Livestock Feeds and Feeding , 3rd Ed. Prentice Hall , Englewood Cliffs. NJ.
- DeBie , W.H. and W. Woods. 1964. Rumen fermentation and animal performance as influenced by gelatinized corn and enzyme supplementation. J. Anim. Sci. 23:872 (Abs.NO. 105).
- French , D. 1973. Chemical and physical properties of starch. J. Anim. Sci. 37:1048-1061 .
- Gaebel , R.J. , D.W. Sanson , I.G. Rush , M.L. Riley , D.L. Hixon and S.I. Paisley. 1998. Effects of extruded corn or grain sorghum on intake , digestibility , weight gain , and carcasses of finishing steers. J. Anim. Sci. 76:2001 -2007.
- Hale , W.H. 1973. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. J. Anim. Sci. 37:1075-1080.
- Hale , W.H. 1984. Comparison of "wet" grain processing methods for finishing cattle. In Proc. Feed Grains Utilization Symp. (For Feedlot Cattle) , pp. 90-98. Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.
- Harmon , D.L. 1993. Optimization of starch utilization in the ruminant studied. Feedstuffs 65(6):13-15.
- Hibberd , C.A. , D.G. Wagner , R.L. Schemm , E.D. Mitchell , Jr. , R.L. Hintz and D.E. Weibel. 1982. Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grains. J. Anim. Sci. 55:665-672.
- Hinman , D.D. and S.J. Sorensen. 1999. Influence of roasting barley on rumen digestibility. Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci. 50:321-324.
- Huntington , G.B. 1997. Starch utilization by ruminants From basics to the bunk. J. Anim. Sci.

75:852-867.

Karr , M.R. 1984. Grain processing techniques and quality control. In Proc. Feed Grains Utilization Symp. (For Feedlot Cattle) , pp. 99-112. Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.

Matsushima , J.K. and T.R. Greathouse. 1975. In Ruminant Nutrition Research , pp. 69-98. Proc. 23rd Annual Pfizer Res. Conf. , New York , NY.

McLeod , K.R. and C.R. Richardson. 1986. Laboratory evaluations of processed grain sorghum and corn. Anim. Sci. ReS. Rpt. NO. T-5-213 , pp. 7-8. TexaS Tech Univ. , Lubbock. TX.

Milner , T.J. , J.G.P. , Bowman and L.M.M. Surber. 1999. Ruminant digestion by steers fed high concentrate diets containing corn or barley. Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.50:350-353 .

Nocek , J.E. and S. Tamminga. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. J. Dairy Sci. 74:3598-3629 .

NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7in Revised Ed. Natl. Acad. Press , Washington , D.C.

Oliveira , J.S. , J.T. Huber , J.M. Simas , C.B. Theurer and R.S. Swingle. 1995. Effect of sorghum grain processing on site and extent of digestion of starch in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 78:1318-1327.

Owens , F.N. , D.S. Secrist , W.J. Hill and D.R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: A review. J. Anim. Sci. 75:868-879.

Philippeau , C. , F. Le Deschault de Monredon and B. Michalet-Doreau. 1999. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. J. Anim. Sci. 77:238-243.

Plascencia , A. and R.A. Zinn. 1996. Influence of flake density on the feeding value of steam-processed corn in diets for lactating cows. J. Anim. Sci. 74:310-316.

Preston , R.L. 1975. Net energy evaluation of cattle finishing rations containing varying proportions of corn grain and corn silage. J. Anim. Sci. 41:622-624.

Preston , R.L. 1996. Influence of steps in the flaking process on starch availability and protein solubility of sorghum grain. Anim. Sci. 8 Food Tech. Res. Rpt. No. T-5-361 , pp. 21-22. Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.

Preston , R.L. 1998. Changes in sorghum and corn grains during steps in the steam-flaking process. J. Anim. Sci. 76 (Suppl. 1):317 (Abs. No. 1241).

Preston , R.L. , M.S. Zuber and W.H. Pfander. 1964. High-amylose corn for lambs. J. Anim. Sci. 23:1182-1184.

Preston , R.L. and M.L. Herlugson. 1980. Barley variety and form in rations containing variable levels of roughage for finishing steers. Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci. 31:265-268.

Preston , R.L. and S.J. Bartle. 1990. Comparison of steam-flaked sorghum grain and whole-shelled corn for finishing steers. Anim. Sci.Res. Rpt. No.T-5-283 , pp. 8-9. Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.

Preston , R.L. , S.J. Bartle and R.E. Castlebury. 1991. Laboratory evaluation of grain sorghum for steam-flaking and utilization by feedlot cattle. Anim. Sci. Res. Rpt. T-5-297 , pp. 69-71 . Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.

Preston ,R.L. ,A.C. Brake ,T.P. Karnezos ,A.G. Matches and Y. Xiong. 1993. Near infrared reflectance and gelatinization as measures of starch availability in steam-flaked sorghum. Anim. Sci. 8 Food Tech. Res. Rpt. No. T-5-327 , pp. 189-190. Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.

Preston , R.L. and L.A. Matulka. 1994. Influence of steps in the flaking process and flake density on starch availability and mineral content of sorghum grain. Anim. Sci. 8 Food TeCh. Res. Rpt. NO. T-5-342 , pp. 30-31 . Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.

Pritchard , R.H. and D.A. Stateler. 1997. Grain processing Effects on mixing , prehension , and other characteristics of feeds. J. Anim. Sci. 75:880-884.

Reinhardt , C.D. , R.T. Brandt , Jr. , K.C. Behnke , A.S. Freeman and T.P. Eck. 1997. Effect of steam-flaked sorghum grain density on performance , mill production rate , and subacute acidosis in feedlot steers. J. Anim. Sci. 75:2852-2857.

Robinson , K.D. , C.R. Richardson and K.J. Smith. 1992a. The nutritional differences among seed coat color of grain sorghum. Anim. Sci Res. Rpt. No. T-5-317 , pp. 121-122. Texas Tech Univ. , Lubbock , Tx.

Robinson , K.D. , C.R. Richardson and K.J. Smith. 1992b. Effects of steaming time on Starch availability of grain sorghum. Anim. SciRes. Rpt. No. T-5-317 , pp. 123-124. Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.

Rooney ,L.W. and R.L. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. J. Anim. Sci. 63:1607-1623.

Rule , D.C. , R.L. Preston , R.M. Koes and W.E. McReynolds. 1986. Feeding value of sprouted wheat (*Triticum aestivum*) for beef cattle finishing diets. Anim. Feed Sci. Tech. 15:113-121.

Santos , F.A.P. , J.T. Huber C.B. Theurer R.S. Swingle amd J.M. Simas. 1997. Response of lactating dairy cowsto various densities of sorghum grain. J. Anim. Sci. 75:1681-1685.

Swingle , R.S. , J. Moore , M. Poore and T. Eck. 1990. Utilization of starch from processed grain. In Proc. SW Nutr. 8 Mgt. Conf. , pp. 52-64. Univ. Arizona , Tucson , AZ.

Swingle , R.S. , T.P. Eck , C.B. Theurer , M. De ia Llata , M.H. Poore and J.A. Moore. 1999. Flake density of steam-processed sorghum grain alters performance and sites of digestibility by growing-finishing steers. *J. Anim. Sci.* 77 1 055-1 065.

Texas Tech Univ. 1984. Proc. Feed Grains Utilization Symp. (For Feedlot Cattle). Lubbock , TX.

Theurer , C.B. 1 986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649-1662 .

Theurer , C.B. , R. Wanderly and J.T. Huber. 1999a. Steam-flaking grains may improve nutritional value. *Feedstuffs* 71(20)16-19.

Theurer , C.B. , R.S. Swingie , R.C. Wanderley , R.M. Kattnig , A. Urias and G. Ghenniwa. 1999b. Sorghum grain flake density and source of roughage in feedlot cattle diets. *J. Anim. Sci.* 77:1066-1073

Titgemeyer , E.C. and J.E. Shirley. 1997. Effect of processed grainsorghum and expeller soybean meal on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80:714-721.

Vance , R.D. , R.L. Preston V.R. Cahili and E.W. Klosterman. 1972a. Net energy evaluation of cattle-finishing rations containing varying proportions of corn grain and corn silage. *J. Anim. Sci.* 34:851-856.

Vance , R.D. , R.L. Preston , E.W. Klosterman and V.R. Cahill. 1972b. Utilization of whole shelled corn and crimped corn grain with varying proportions of corn silage by growing-finishing steers. *J. Anim. Sci.* 35:598-605.

Wagner , D. 1984. Influence of variety on starch , protein and tannin content and utilization of sorghum grain. In Proc. Feed Grains Utilization Symp. (For Feedlot Cattle) pp.36-57 Texas Tech Univ. , Lubbock , TX.

Wolfe , G.D. and J.K. Matsushima. 1975. Effects of whole vs flaked corn on feedlot performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 41427(Abs. No. 720).

Xiong , Y. , S.J. Bartle and R.L. Preston. 1990a. Improved enzymatic method to measure processing effects and starch availability in sorghum grain. *J. Anim. Sci.* 68:3861 -3870.

Xiong , Y. , S.J. Bartle , R.L. Preston and Q. Meng. 1990b. Estimating starch availability and protein degradation of steam-flaked and reconstituted sorghum grain through a gas production technique. *J. Anim. Sci.* 68:3880-3885.

Xiong , Y. , S.J. Bartle and R.L. Preston. 1991 . Density of steam-flaked sorghum grain , roughage level , and feeding regime for feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 69: 1707-1718.

Yu , P. , J.T. Huber , C.B. Theurer , K.H. Chen , L.G. Nussio and Z. Wu. 1997. Effect of steam-flaked

or steam-rolled corn with or without *Aspergillus oryzae* in the diet on performance of dairy cows fed during hot weather. *J. Dairy Sci.* , 80:3293-3297.

Yu ,P. ,J.T. Huber ,F.A.P. Santos ,J.M. Simas and C.B. Theurer. 1998. Effects of ground , steam-flaked and steam-rolled corn grains on performance of lactating cows. *J.Dairy Sci.* 81:777-783.

Zinn , R.A. 1987. Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn in diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* . 65:256-266.

Zinn ,R.A. 1990a. Optimizing the value of steam-flaked corn in diets for feedlot cattle. In *Proc. SW Nutr. 8 Mgt. Conf.* , pp. 36-51 . Univ. Arizona , Tucson , AZ.

Zinn , R.A. 1990b. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:767-775.

Zinn , R.A , 1993. Influence of processing on the comparative feeding value of barley for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 71:3-10.

Zinn , R.A. 1994. Influence of flake thickness on the feeding value of steam-rolled wheat for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 72:21-28.

Zinn , R.A. and R. Barrajas. 1997. Comparative ruminal and total tract digestion of a finishing diet containing fresh vs air-dry steam-flaked corn. *J. Anim. Sci.* 75:1704-1707.

Zinn , R.A. , E.G. Alvarez , M.F. Montano , A. Plascencia and J.E. Ramirez. 1998. Influence of tempering on the feeding value of rolled corn in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2239-2246.