

液体饲料制造工艺及在反刍动物饲养中的应用

熊易强

“液体饲料”，从广义上讲，可以指任何液体形式的饲料原料或配合饲料，诸如糖蜜、油/脂、液体蛋氨酸异构物、用于养猪的一种液体饲料等。本文的讨论限定于广泛用于反刍动物的液体补充饲料（LFS）。

LFS 商业化生产在美国始于 1951 年，是饲料行业中发展迅速的一个领域（Williams, 2003）。美国目前 LFS 年产量约 200 万 t（AFIA2002, 2003）。

传统的液体饲料多半是在饲草质量不佳的旱季给牧场过冬家畜或放牧家畜提供的液体补充饲料。基本原料有糖蜜、尿素和食盐。糖蜜作为载体，并提供能量，改善适口性；尿素是非蛋白氮来源；食盐有两个作用，即提供养分，并控制进食量以防止氨中毒，但食盐对控制进食量的作用不够。近来开发了一些化学和机械的控制进食量方法，取得了一定程度的效果（Davis, 2003）。也可以在 LFS 中添加微量矿物元素、维生素和某些药用添加剂。对放牧家畜最常见的作法是将 LFS 放在舔食罐里自由采食。也可将 LFS “加佐料”似的在饲槽里添加到粗饲料中或全混合日粮（TMR）中。

上世纪 70 年代后期到 80 年代初期，专门为围栏肥育场设计的一种完全液体补充饲料迅速推广，并开发了更为精细的制造工艺。LFS 含有各种常量矿物元素（钙以悬浮的石粉颗粒形式加入）和微量矿物元素（例如锌、铜、硒）、维生素、药用或非药用添加剂、非蛋白氮。有时 LFS 的悬胶或乳胶系统内还加入一些过瘤胃蛋白质和脂肪。90 年代，随着奶牛场规模扩大和全混合日粮的广泛应用，这种完全液体补充饲料扩展到了奶牛场。

1 LFS 的应用

1.1 LFS 种类

1.1.1 抗应激制品

专为新到肥育场的去势小公牛克服长途运输的应激而设计的液体补充饲料。其特点是钾的含量高，还可以加酵母培养物。可以开发类似产品用来克服奶牛的围产期（产犊前 3 周和后 2 周）应激和高温应激。

1.1.2 产奶牛适用的高脂乳化制品

如果添加的是动物脂肪，液体饲料的脂肪含量通常是 20%；如果添加的是植物油，脂肪含量可达较高水平。以 LFS 形式供给脂肪的最大好处是使用方便，这种 LFS 也可以含有维生素和微量矿物元素。

1.1.3 “结构饲料”专用乳化制品

结构饲料是饲养马（提供娱乐或作为“宠物”）用的。用整粒大麦、压轧玉米和补充颗粒饲料按 1:1:1 比例混合，以含有 5%~8%脂肪的乳化液体制品外涂。为使这结构饲料保持一种金黄发亮的外观，该制品采用了特殊来源的脂肪（Xiong, 1992）。

1.1.4 适用于多种家畜的液体饲料制品

最近市面出现了为多种家畜设计的液体饲料产品。例如，Power Mix4-20 是含有 4%蛋白质和 20%脂肪的液体补充饲料。根据供应商介绍，该饲料按推荐的用量可用于奶牛、肉牛、猪和家禽。该产品不额外添加维生素和微量元素。

1.2 液体饲料的优点

1.2.1 节省劳力

液体饲料的补充可以全部机械化，可以直接从储液罐泵吸到搅拌车与干料混合。设有仪表装置，保证补充液体饲料的准确性。

1.2.2 控制粉尘

干的补充饲料与粉碎谷物和干粗饲料搅拌混合时，粉尘对现场的人和动物非常不利。添加液体，特别是含有脂肪的 LFS，这个问题即可避免。

1.2.3 混合均匀度很高

用直接测定维生素 E 和维生素 A/D/E 化合物的方法评价了来自两个供应商的维生素混合均匀度。研究得到的 CV%低于实验室分析的相应平均 CV%（表 1）。

表 1 不同来源的维生素在一种非悬浮液体补充饲料中的混合均匀度 IU/kg

样品编号	Rch-E	RP-E	Rch-ADE	RP-ADE
	VE		VA	
1	203	210	86800	85700

2	209	208	86800	90800
3	218	217	84900	86100
4	224	212	90700	90700
5	216	191	88600	91000
6	208	186	89900	83300
7	219	206	85300	88200
8	210	211	89600	82400
9	213	205	89800	84500
10	220	200	90500	86300
平均值	214.0	204.6	88290	86300
s	6.50	9.69	2166.6	3154.5
CV%	3.04	4.73	2.45	3.63
实验室分析平均 CV%	3.79		6.79	

RP, Rch: 两家维生素供应商。

1.2.4 减轻 TMR 在饲槽内的分级

自从奶牛业引进 TMR 以来，分级现象已经成为一个严重问题。而当液体饲料与干料搅拌成完全日粮时，液体添加物粘涂在细粉和粗粒上，从而缓解了分级的问题。而且，以液体形式添加，可完全消除任意一种微量原料，如维生素和微量元素的分离。

1.2.5 节省烘干液体副产品时的能耗

许多湿加工的副产品，如湿磨制取淀粉时的浸泡水、发酵时的蒸馏液体和其他副产品，如要作为干料使用，都必须从原来的含水量（95%~70%）烘干到 13% 以下。但制造液体饲料通常只要求含水量为 40%。特殊情况下，通过适当处理，一种含水 70% 的制品也能成功地作为液体饲料原料使用 (Xiong, 1996)。制作高水分产品在烘干过程中（比如从 90% 降到 40%）移去每吨水分的能耗，远低于

制作低水分产品的烘干（比如从 40% 降到 13%）能耗。

1.2.6 尚需确证的优点

有报告指出 LFS 能提高全混合日粮的摄入量，并改善动物生产性能（Shaver 2001, Emanuele 2003）。不过，尚需要更多的数据得出明确结论。

1.3 对液体补充饲料标识的特殊要求

加拿大食品检验局动物健康生产部规定在干饲料标识基础上增加对液体饲料的标识要求。对液体饲料增加的要求如下：液体补充饲料标识应有单位容积的重量，容积测定的温度是 20℃；液体补充饲料如含有不能保持悬浮达 60d 的原料，应在标识上注明“用本制品配制或饲喂时必须搅动”；液体补充饲料的标识上应注明“本制品的黏度随温度升高而下降”。

2 制造液体饲料用的原料

2.1 糖蜜

2.1.1 甘蔗糖蜜

甘蔗糖蜜是最常用的载体，其能量值接近于玉米的干基能量。甘蔗糖蜜是甘蔗制糖或蔗糖精制时的副产品，含水低于 27.0%，Brix. 读数（用于纯糖溶液时，代表糖的重量百分率；用于糖蜜时，除糖之外，还含有矿物质、树胶和其他可提取物）为 79.5，pH 值大致为 5。

2.1.2 甜菜糖蜜

甜菜糖蜜是甜菜制糖的副产品，规格指标与甘蔗糖蜜近似，蛋白质含量高一些。甜菜糖蜜的 pH 值为 7 或稍高。一般甜菜糖蜜的适口性比甘蔗糖蜜更好。

2.1.3 去糖甜菜糖蜜

去糖甜菜糖蜜（DBM）是离子交换作业的副产品，与甜菜糖蜜相比，去糖甜菜糖蜜的含糖量约为一半，固形物较少（65%），含蛋白质较多。DBM 的 pH 在 9~10 范围。对 DBM 在液体饲料系统中的应用有过研究（Xiong, 1991）。

2.1.4 浓缩糖蜜发酵液（CMS）

广义上说，这包括糖蜜的任何发酵副产品。有一种 CMS 是生产赖氨酸的副产品（CMS-Lys），根据 Nebraska 大学的饲养试验结果（Rush, 1986），用 CMS-Lys 代替 25%传统的尿素糖蜜，不会影响增重、饲料进食量和饲料效率。

2.2 其他

2.2.1 玉米浸泡水（玉米发酵浓缩提取液）

玉米浸泡水是制取淀粉的副产品。“浸泡水”是浸泡-乳酸发酵液的浓缩制品，含干物质 50%~55%，pH 值 3.8~4.0，以干基计算，粗蛋白质含量约为 45%~50%，多数是可溶性天然蛋白质。饲养试验表明，浸泡水适口性优于糖蜜。

2.2.2 浓缩乳清

这是制作奶酪时从凝乳分离出的清液的浓缩制品，主要含乳糖、蛋白质和矿物质，pH 值在 4~6 范围，具体 pH 取决于制作奶酪的加工方法。

2.2.3 啤酒厂浓浆

啤酒厂浓浆是啤酒或麦芽汁副产品的一种浓缩浆液。其干物质含量变动于 20%~50%之间，蛋白质多数是可溶性天然蛋白质，含量高低不等，高者可达 25%。

2.2.4 酒精发酵浆水

酒精发酵浆水是酒精发酵的副产品。酒精发酵浆水含干物质 30%或低一些，蛋白质含量在 30%~35%（干基）范围，大部分是可溶性天然蛋白质。将酒精发酵浆水与液体尿素混合可得到一种比单独的酒精发酵浆水或液体尿素更稳定的制品（Xiong, 1996a）。

2.2.5 液体尿素

尿素是制造液体饲料的主要非蛋白氮来源，通常为液体形式。供应商供应的尿素溶液通常含尿素 70%，到液体饲料厂再稀释到 50%。液体尿素的 pH 高时会释放氨。

2.2.6 脂肪或植物油

猪油或植物油是用来增加液体饲料的能量的；另外含脂/油的液体饲料在干的原料上涂布得比较好，不那么粘，比无脂肪液体饲料制得的日粮有更好的质地和流动性。

2.2.7 细粉碎碳酸钙

制造液体饲料用的碳酸钙必须细粉碎，以保证高度的悬浮稳定性。一家供应商提供的“325 号筛”石灰规格如下：97.5%通过美国 325 号筛，99.9%通过美国 200 号筛，95.5%通过美国 400 号筛。

2.2.8 多磷酸氨

饲料级多磷酸氨（10-40-0，表示含有10%氮，40%磷，0%钾）是液体饲料最普遍使用的磷的来源。液体饲料用的另一种液体形式的磷是磷酸。磷酸是相当强的一种酸，腐蚀性很强，贮存和搬运时要有特殊的安全措施。配方中有碳酸钙的情况下，会发生酸碱反应，很快产生CO₂而大量起泡（见下面“起泡控制”）。

2.2.9 微量矿物元素

制造液体饲料采用特制的微量元素。干饲料用的普通微量元素只要颗粒足够细（指不溶于水的化合物），也可以用于液体饲料，制品的稳定性相当好。

2.2.10 维生素

液体饲料用的维生素都是供应商特制的。对普通维生素在液体饲料中的稳定性尚未作过研究。

2.2.11 植物胶

悬胶的或乳胶的液体饲料都用植物胶作稳定剂，因为植物胶有高度亲水性，很少量植物胶就能显著提高制品的黏度，有效地稳定液体饲料的悬胶状态。食品级黄原胶（Xanthan Gum）一直是最常用的，在液体饲料中的添加量在0.05%~0.15%。其他的植物胶也用于液体饲料，笔者对一种工业级植物胶进行过实验室研究，结果表明，以同样添加量比较，饲料级植物胶制成的液体饲料在多数情况下都符合稳定性要求。

2.2.12 黏土

液体饲料普遍使用Attapulgate黏土。黏土的功能性可能不如植物胶那么好。经过一个月的存放后，可以清楚地看到液体饲料上层出现分离，如果黏土是事先用水分散的，加水的数量应当从配方中相应减去。黏土的添加量在3%~5%范围（以事先分散的形式）。将黏土与很少量的植物胶（常量的1/3）合并使用，可以达到与单一常量植物胶制成的产品同样的稳定水平（Xiong, 1993b）。

2.2.13 卵磷脂

来自大豆油精炼的大豆卵磷脂是液体饲料常用的原料。饲料工业和食品工业通常都使用有一定HLB尺度的再加工卵磷脂，其功能性远优于粗磷脂，可适应不同制品的需要。由于液体饲料属于水包油系统，应选用HLB尺度较高的卵磷脂。卵磷脂在液体饲料中的比率为脂肪的1%左右，可以与脂肪事先混合。

3 制造液体饲料的设备

与干饲料相比，制造液体饲料的设备比较简单，每吨饲料的投资和劳力费用也较低。但有一点很重要：液体原料和最终产品的所有加工、运输、贮存设备都必须是耐腐蚀的。下面介绍制造液体饲料的常用设备。

3.1 液体原料贮存罐

有两种基本类型的罐，即平底罐和锥底罐。对常有分层、分凝、聚集现象的原料，如脂肪，锥底罐较好，容易清理得多。

3.2 干料仓

尽管干料经常用包装袋或其他容器搬运，但为了更好地存放、搬运，可能仍然需要有干料仓。

3.3 搅拌罐

搅拌罐是关键设备。搅拌罐的产量通常是 20t，与美国搬运制成品的罐车匹配。用得最多的是有一个螺旋桨的变速搅拌机。搅拌时形成涡漩面，干料或脂肪（事先与卵磷脂混合）添加其中形成悬胶或乳胶。完成一个周期，即从原料喂入（进入搅拌罐）到成品出厂（从搅拌罐到罐车），通常要 1.5~2h。搅拌罐具备对泵入罐内的液体原料随时称重的功能，从这层意义上说，配料和搅拌两个工序合二为一。

匀浆器(Homogenizers)，在食品工业和其他工业部门普遍使用，可以生产更加稳定的悬胶和乳胶，但因价格较高，在液体饲料方面可能近期不会采用。

3.4 泵和管道

泵和管道用于液体原料和成品的搬运和回流。管道的粗细要适当，这对提高作业效率很重要。

3.5 干料喂入器

便于控制的干料喂入器或喷粉器，可将细粉碎的石灰之类的干料准确而恒定地喷到搅拌罐中液体涡面的边缘内，制成悬胶液体产品。

4 液体饲料的制造工艺

4.1 配料

液体饲料的配料，不仅要平衡养分以保证营养价值，还要十分关注最终成品的物理化学稳定性，配方中的各种原料对此影响很大。因此，深入了解每种原料的特性以及原料之间的相互作用，是正确配料的基础。

4.2 原料添加顺序

制造液体饲料另一个关键是搅拌时按正确顺序添加原料。原料添加顺序对成品质量和加工过程影响很大，提供配方的同时应清楚写明原料添加顺序。

4.3 控制起泡

在加工过程和最终成品中都可能发生起泡现象。起泡是由生物因素或化学因素造成的。

4.3.1 发酵造成的起泡

玉米浸泡水有很多产生乳酸的细菌，甘蔗糖蜜有时也会发酵。发酵产生的气体（大部分是 CO_2 ）形成气泡，被困在液相中，特别在稳定的乳化系统中会这样。5%盐或 0.4% DMX-7（Delst Inc. 公司供应的一种丙酸盐类型的霉菌抑制剂）可有效地钝化生物活性，制止起泡。生产条件下用过 2.5%盐加 0.2% DMX-7 (Xiong 1993c)。

4.3.2 酸碱反应造成的起泡

含玉米浸泡水的钙悬胶液体饲料在制成后或发货中经常起泡。这是酸（主要是乳酸）在与碳酸钙（石粉）发生反应，产生 CO_2 形成气泡。将玉米浸泡水氨化是停止这种起泡的最有效办法。用氨处理玉米浸泡水的一个好处是使液体的黏度剧增，从而提高制品的悬胶稳定性。这个现象可以这样解释，即原来的玉米浸泡水 pH 接近蛋白质等电点（ $\text{pH}4\sim4.5$ ），这时蛋白质在胶体中最不稳定，氨化使 pH 远离蛋白质等电点，从而使黏度加大。实验室滴定表明，在玉米浸泡水中加入 1.5%~2.0%氨（ NH_3 ）足以中和酸而停止起泡。在一个液体饲料厂进行的试验中，将无水氨直接加入搅拌罐，结果很成功，在搅拌罐上口收集的空气的最高氨浓度（8~10mg/kg）远低于美国环境保护局（EPA）规定的安全高限（35mg/kg）。考虑到在卸货时进行玉米浸泡水氨化可能更方便，作者进行了玉米浸泡水直接氨化的实验室研究，结果进一步证实，1.5%~2.0%的氨足以中和玉米浸泡水，中和后在 5 周观察中未见生霉迹象（Xiong, 1993c）。

如果化学反应不能停止，唯一的办法是让反应进行直到完成，让 CO_2 在搅拌

初期释放到空气中。例如，在加入其他原料之前，让磷酸二氢钙或磷酸（如果必须用其中之一作为磷源）与石粉发生反应，所产生的 CO₂ 全部释放。

4.3.3 液体尿素质量低劣造成的起泡

这一问题在添加的液体尿素 pH 为 9.7 时出现，这样的高 pH 下会连续产氨。当时制定的原料添加顺序是先加水和胶，然后加液体尿素，这样氨就留在气泡里面，被胶/液相包围。简单地改变原料添加顺序即可解决这种起泡问题，即先将液体尿素与糖蜜和/或玉米浸泡水混合，气体氨被糖蜜/玉米浸泡水中的酸中和而变成铵盐（Xiong, 1993c）。

4.4 液体饲料系统添加过瘤胃蛋白

Nebraska 大学反刍动物营养组进行过几个试验，证明了将非蛋白氮与过瘤胃蛋白（如血粉和羽毛粉）恰当地合并使用的好处。但该试验的液体饲料制成后即立刻使用了，没有让它形成稳定的悬胶制品。形成稳定悬胶的问题之一是过瘤胃蛋白的颗粒较大。笔者通过匀浆作业成功地制成一种羽毛粉悬胶制品（Xiong, 1997），其中问题之一是匀浆增加的费用是否合算。考虑到所需要的过瘤胃蛋白可能超过一定数量液体饲料系统的悬浮能力，将过瘤胃蛋白与全混合日粮中的其他干料一起外涂 LFS 可能是个比较容易的解决办法。另外，在 LFS 中加入保护蛋氨酸或其他限制氨基酸或许是可行的（Moore 和 Harris, 1999）。

对于蛋鸡日粮，液体饲料也不能添加石粉，因为石粉的添加量太大，悬胶需要的非常细的石粉颗粒还可能对蛋壳强度起不良作用。

5 液体饲料的稳定性

液体饲料的稳定性问题有两个基本方面，即化学-生物学稳定性和物理或位置稳定性。

药品和维生素的化学和营养稳定性一直是制造商和用户主要关心的问题。用于液体饲料的所有动物药品都须提交 FDA 审批。用于液体饲料的大多数维生素是特制的，以保证其稳定性。笔者研究过来自两个供应商的 VA 和 VE 在两种典型液体饲料中的化学稳定性（Xiong, 1995）。将维生素 E 和 A/D/E 添加到 8 种液体饲料制品（处理）中，30℃ 下存放 56d，在 0、14、28、42 和 56d 取样测定

VA 和 VE。结果列入表 2。回归分析表明，8 个处理中只有 2 个有斜率差异。处理 1 的 VA 显示有 105 IU/d 的“增加”（P=0.066），根据基础化学这没有意义。处理 7 的 VE 下降 0.55 IU（P=0.051）。从这项研究的实验室结果得出的平均标准误和 CV%，对 VA 分别是 3 307IU 和 3.79%；对 VE 分别是 13.86 IU 和 6.78%。按这样的分析误差，上述统计分析显示的日变化应当可以忽略。因此可以作结论，两个供应商的 VA 和 VE，在典型的液体饲料制品中经 30℃ 存放 56 d，化学上是稳定的（存放期间没有变化）。

表 2 液体补充饲料中的维生素在 30℃ 存放不同时间的稳定性 IU/kg

处理	存放时间/d				
	0	14	28	42	56
VA					
1	85300	83800	85300	87500	90800
2	90600	90200	86400	88400	88400
3	87600	87800	83400	91700	82300
4	91500	89100	84700	90600	81100
VE					
5	211	197	216	191	210
6	206	229	185	195	203
7	232	207	203	188	195
8	194	221	205	199	210

关于位置稳定性，在食品科学和制药工业中有多种方法测定和表示悬胶和乳胶稳定性；但在液体饲料方面，悬胶和乳胶的位置稳定性往往用相当简单的方法测定。举例说，液体饲料经过一段时间存放后（例如 2 或 3 个月），测定液体饲料上层部分和下层的钙浓度（对悬胶制品）或脂肪浓度（对乳胶制品）。