

# 液体饲料制造工艺及在反刍动物饲养中的应用

熊易强 博士

## 前 言

“液体饲料”，从广泛的意义上讲，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、用于养猪的一种全价液体饲料等。本文的讨论限定于广泛用于反刍动物的液体补充饲料（liquid feed supplements，缩写 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 2 百万吨（AFIA2002, 2003）。

传统的液体饲料多半是给牧场过冬家畜或放牧家畜在饲草质量不佳的旱季提供的液体补充饲料。基本原料有糖蜜、尿素、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（NPN）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 中添加微量矿物质、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”似地在饲槽里添加到粗饲料中或全混合日粮（total mixed ration，缩写 TMR）中。

上世纪七十年代后期到八十年代初期，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。液体补充饲料（LFS）含有各种常量矿物质（钙以悬浮的石粉颗粒形式加入）和微量矿物质（例如锌、铜、硒）、维生素、药用或非药用添加剂、非蛋白氮。有的情况 LFS 的悬胶或乳胶系统内还加入一些过瘤胃蛋白质和脂肪。肥育场 LFS 通常在喂料之前与干饲料在搅拌车里混合。将定量的（饲料总量的 3-7%）LFS 从安装在肥育场的储料罐泵吸到搅拌车，中间通过一个液体计量表。九十年代，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。

专门用途的液体补充饲料有下列几种：

### 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。

### 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。脂肪或植物油与糖蜜和其他液体载体制成乳化状态。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质。

### “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）。

### 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。由于是多用途的，该产品不含添加的维生素和微量元素。

Hodge (1990) 对液体饲料作过一个总体评述。最近 Shaver (2001) 综述了液体补充饲料在产奶中的使用。但是，详细介绍液体饲料制造工艺的公开资料仍然有限。本文内容大部分根据作者的实践经验，包括在美国一个公司做的研究和产品开发工作。

### 液体饲料的优点

液体饲料有下列优点：

1) 节省劳力。液体饲料的补充可以全部机械化，可以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。

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都是个麻烦。添加液体，特别是含有脂肪的 LFS，这个问题即可避免。

3) 搅拌均匀度很高。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搅拌均匀度。这项搅拌研究得到的 CV%值低于实验室分析的相应平均 CV%值(表 1)。换句话说，这个结果可以被认为均匀度是 100%(Xi ong, 1995)。

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

样品编号	Rch-E	RP-E	Rch-ADE	RP-ADE
	----维生素 E, IU/kg----		----维生素 A IU/kg----	
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

4) 减轻全混合日粮 (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。Armentano 和 Leonardi (1999) 以及 Martin (1999) 观察了饲槽中广泛的 TMR 分级现象，牛将大颗粒剩了下来。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，可完全消除任何微量原料如维生素和微量元素的分离。

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(Xi ong, 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。

6) 有一些关于 LFS 提高全混合日粮摄入量并改善动物生产表现的介绍和试验报告(Shaver 2001, Emanuel e 2003)。不过，看来需要更多的数据才能得出明确结论。

### 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：

1) 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 。

2) 液体补充饲料如含有不能保持悬浮达 60 天的原料，应在标识上注明“用本制品配制或饲喂时必须搅动”。

3) 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”。

### 液体饲料制造中的胶体化学基础

液体饲料是一种胶体系统，可以是悬胶，或是乳胶，或二者兼有。悬胶是固体颗粒悬浮在液相中。乳胶是两种不同的相彻底分散的系统，两种相指亲水相（与水有强的亲和性）和疏水相（与水没有亲和性）。可以是油滴分散在水中（水包油），也可以是水滴分散在油中（油包水）。含油/脂的液体饲料是水包油系统。

悬胶和乳胶都是动力学不稳定系统，就是说，一段时间之后，悬胶中的悬浮颗粒最终会从液相中沉积出来，油滴会汇集成大油滴，最终从亲水相中分离出来。从实用的目标，我们希望得到一种比较稳定的悬胶或乳胶，譬如让液体饲料制品能保持稳定达 2 个月或更长时间。

### 司托克斯法则 (Stokes Law)

司托克斯法则描述单一的惰性球体在无限大的液体柱中的无妨碍沉降过程。颗粒沉降的速度可用下式表示：

$$v_t = \frac{gd_p^2(\rho_s - \rho)}{18\mu}$$

其中：

$v_t$ ：沉淀速度

$g$ ：重力常数

$d_p$ ：颗粒直径

$\rho_s$ ：固相密度

$\rho$ ：液相密度

$\mu$ ：液体黏度

应当记住，司托克斯法则只定量地适用于一种理想情况，即：一个“单一”、“惰性”、“球体”，在一个“无限大”的液柱体中。真实的悬胶不存在这样的条件。液体饲料是一种更复杂的系统，其中还有其他因素，诸如表面电荷和/或不同高分子化合物之间的相互作用。不过司托克斯法则对了解和指导液体饲料的研究和开发是很有用的，例如，司托克斯法则清楚地指示，较小的粒度和较高的黏度可以提高悬胶稳定性。

### 非牛顿或假塑性体特性

根据作者观察，大多数液体饲料的性质是非牛顿的或假塑性的。可以用下式给以数学描述：

$$\eta_{app} = m\gamma^{n-1}$$

其中， $\eta_{app}$ 是表观黏度， $\gamma$ 是剪切速率， $m$ 和 $n$ 分别是稠度系数和流动行为指标( $n < 1$ )。

就一个非牛顿的或假塑性系统来说，搅动后黏度下降，搅动越大黏度越低；而放置则使黏度增大。这一现象也叫做剪切稀薄效应。放置和储存时的高黏度使得液体饲料更加稳定(司托克斯法则)；而搅动后黏度下降使得液体饲料泵吸时更好地流动。

### 乳胶和乳化剂

食品和人体健康领域对乳胶做过深入的研究。只有存在乳化剂的情况下才能形成乳胶。按经典定义，乳化剂是兼含亲水基和疏水基的化合物。疏水基连接油相，亲水基连接水相。这样就在油相和水相之间形成一个界膜。亲水基和疏水基的相对大小和性质决定乳化剂的性质。通常用HLB尺度来描述一种乳化剂的乳化性质。该尺度表示亲水-疏水之间的平衡状况，即乳化剂上的亲水基与亲油基(疏水基)的大小、强度的平衡状况。液体饲料制造中最常用的乳化剂是卵磷脂。市售卵磷脂是脂类和磷脂的复合物。磷脂是由带有磷的二酰化甘油分子与甘油的3个碳原子连接形成的化合物。磷脂的主要类型如图1所示(Meyers, 1990)。食品工业使用的其他乳化剂有蛋清蛋白、酪蛋白、乳清蛋白、大豆分离蛋白和植物胶(Britten等1991, Burgaud和Dickinson 1990, DiGarti等1991, Yao等1990)。由于热动力学不稳定性，乳胶容易出水(cream)(因油相与水相的比重不同所致)、聚集(aggregate)或絮凝(flocculate)(因碰撞的颗粒相互作用所致)、凝聚(coalescence)(形成较大颗粒时获得自由能的结果)。乳化剂分子在油水界面处的吸附会减弱界面张力，缩小两个相的密度差异，从而使上述过程缓慢下来。

乳化剂的功能性包括乳化能力(emulsion capacity)和乳化稳定性(emulsion stability)。乳化能力是指乳化形成时刻的最初粒度分布；乳化稳定性是指粒度分布随时间而起的变化。乳化能力和乳化稳定性都受许多因素的影响，诸如乳化系统的pH、黏度、理化特性、以及与其他化合物的相互作用，还有乳化剂的制作工艺。

### 制造液体饲料用的原料

以下所列是液体饲料常用的原料，当然所列并不周全。美国饲料工业协会(AFIA)近期可能将制定并发表一个液体饲料原料手册(与R. Preston私人通讯，2004)。

#### 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. 读数为79.5，pH值大致为5。

\* 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。

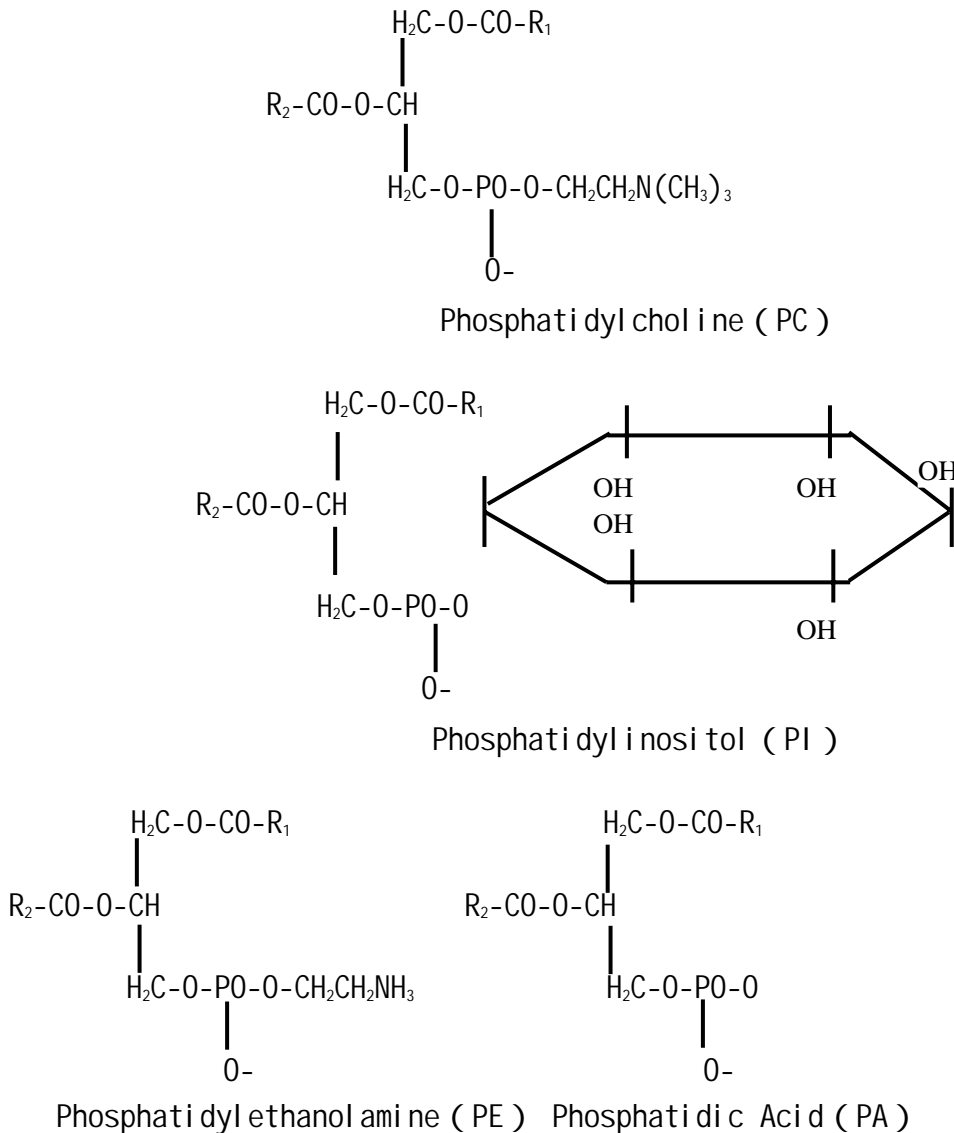


图 1 大豆卵磷脂的主要磷脂成分

### 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（与 D. Larson 私人通讯，1995）。

### 去糖甜菜糖蜜

随着离子交换工艺在甜菜糖精制中的采用，传统的甜菜糖蜜即在工业发达国家的市场上减少。去糖甜菜糖蜜（De-sugared Beet Molasses，缩写 DBM）就是离子交换作业的副产品，成了液体饲料的一种原料。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（Xi ong, 1991）。

### 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)，

一家美国供应商的 CMS-Lys 保证分析数据是：干物质 40%（至少），非蛋白氮 40%（至少），粗脂肪 5%（至少）。根据 Iowa 州立大学的研究，单独以这种液体按总日粮的 2.5%或更高比例使用，牛的生产表现下降，它的高含硫量（4.67%）是造成这下降的原因（Hannon 和 Trenkle, Endres 和 Trenkle, 1990；Endres 和 Trenkle, 1991）。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。作者在该原料刚上市时研究过它在制造液体饲料方面的性能（Xi ong, 1993a）。

#### 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，进行湿磨前须将玉米粒用稀硫酸（或 SO<sub>2</sub> 溶液）浸泡一段时间。浸泡时谷粒吸胀，可溶性物质渗到水中，接着产生乳酸发酵。这浸泡过程使谷粒的细胞结构松懈，让细胞内的淀粉粒易于提取出来。“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，粗蛋白含量约为 45-50%，多数是可溶性天然蛋白。饲养试验表明，浸泡水适口性优于糖蜜（与 D. Larson 私人通讯，1995）。

#### 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 至 6 范围，具体 pH 取决于制作奶酪的加工方法。

#### 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。其干物含量变动于 20%至 50%之间，蛋白质多数是可溶性天然蛋白，含量也高低不等，可高达 25%。

#### 酒精发酵浆水

酒精发酵浆水是酒精发酵的副产品，将稀薄的釜馏物（酒精蒸馏后的可溶部分）浓缩而成。酒精发酵浆水含干物质 30%或低一些，蛋白含量在 30-35%（干基）范围，大部分是可溶性天然蛋白。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（Xi ong 1996a）。

#### 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。

#### 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；其另一个功能是含脂/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。

#### 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。

#### 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，因为它是液体。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 CO<sub>2</sub> 而大量起泡（见下面“起泡控制”）。干的磷如磷酸二钙，根据作者经验，只要特

别小心，也可以用来制造液体饲料。

#### 微量矿物元素

制造液体饲料采用特制的微量元素。据作者的实验室经验，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。

#### 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。

#### 植物胶

悬胶的或乳剂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。由于大分子植物胶吸附在小油滴与水相的界面上，因此也能稳定乳胶制品。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%范围。有人报道，还有其他植物胶也用于液体饲料（Hodge, 1990）。为了降低成本，作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。

#### 粘土

许多工业部门也用粘土来作悬胶稳定剂。粘土的品质和价格各异。液体饲料普遍使用 Attapulgi te 粘土。虽然可以添加干的粘土制成液体饲料，但事先将粘土散开更便于操作。不过，粘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，如果粘土是事先用水分散的，这加水的数量应当从配方中相应减去。粘土的价格低廉得多，添加粘土的悬胶制品可以用到大型肥育场，在这里液体饲料的存放期通常不超过一个月。粘土的添加量在 3-5%范围（以事先分散的形式）。将粘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（Xi ong, 1993b）。

#### 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，供应商应提供技术帮助选择适合于液体饲料的卵磷脂。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。

### 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。

#### 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，清理容易得多。罐的数量和大小都要仔细设计，要适应当前的生产能力和未来可能的发展需要。

#### 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。

### 搅拌罐

搅拌罐是关键设备。搅拌罐的产量通常是 20 吨，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 1.5-2 小时。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。

### 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。

### 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。

## 液体饲料的制造工艺

### 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。

### 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。

关于原料的相互作用和原料添加顺序，在控制起泡一段详细说明。

### 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。

### 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  $\text{CO}_2$ ）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(DeI st 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(Xi ong 1993c)。

### 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。这是因为酸（主要是乳酸）在与碳酸钙（石粉）发生反应，产生  $\text{CO}_2$  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（pH4-4.5），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（ $\text{NH}_3$ ）即足以中和酸而停止起泡。在一个液体饲料厂进行了一项中试，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（8-10ppm）远低

于美国环境保护局(EPA)规定的安全高限(35ppm)。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(Xi ong 1993c)。

如果化学反应不能停止,唯一的办法是让反应进行直到反应完成,让CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>全部释放。

#### 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。作者在一项解难研究中发现,简单地改变原料添加顺序即可解决这起泡问题,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(Xi ong, 1993c)。

#### 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(与Klopfenstein私人通讯,1992)。形成稳定悬胶的问题之一是过瘤胃蛋白的颗粒较大。作者通过匀浆作业成功地制成一种羽毛粉悬胶制品(Xi ong, 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 and 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。

### 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。

有些化学稳定性问题已在“控制起泡”一段讲过了。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。Klink(2003)介绍了FDA要求的测定药物稳定性的程序。用于液体饲料的大多数维生素是特制的,以保证稳定性。作者研究过来自两个供应商的维生素A和E在两种典型液体饲料中的化学稳定性(Xi ong, 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°C下存放56天,在0d(天)、14d、28d、42d、和56d取样测定维生素A和E。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的维生素A显示105 IU/d的“增加”(P=0.066),根据基础化学这没有意

表2 液体补充饲料中的维生素在30°C存放不同时间的稳定性

处 理	----- 存放时间-----				
	0 d	14 d	28 d	42 d	56 d
	----- 维生素 A IU/kg -----				
1	85300	83800	85300	87500	90800
2	90600	90200	86400	88400	88400
3	87600	87800	83400	91700	82300

4	91500	89100	84700	90600	81100
----- 维生素 E IU/kg -----					
5	211	197	216	191	210
6	206	229	185	195	203
7	232	207	203	188	195
8	194	221	205	199	210

义。处理 7 的维生素 E 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差和 CV%，对维生素 A 分别是 3307 IU 和 3.79%；对维生素 E 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，两个供应商的维生素 A 和 E，在典型的液体饲料制品中经 30°C 存放 56 天，化学上是稳定的(存放期间没有变化)。

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)。作者参加过一项关于液体饲料使用一种抗生素的 FDA 审批考核试验，用了类似方法检定位置稳定性，在实验室和生产存放条件下都存放 8 周，然后直接测定顶部和底部的该药品含量。

### 进行研究和产品开发的快速实验室方法

为进行液体饲料的研究和开发，作者建立了一个快速实验室方法(Xi ong, 1993d)。这个方法能定量地测定液体饲料的位置稳定性，以位置稳定性指标 (positional stability index, 缩写 PSI) 表示，或用最初建立此方法时定的悬胶稳定性指标 (suspension stability index, 缩写 SSI) 表示。传统方法要 2 个月才能得出结果，而这个方法只用 1-2 天。这个方法可以将 1000g 实验室规模的试验结果直接放大到 20t (甚至更大) 的生产规模。对原料评价、产品筛选以及加工工艺发展，这都是一个十分有用的工具。PSI 有 2 项测试指标，即 PSI 53 和 PSI 15。PSI 53 模拟在一般肥育场条件下的液体饲料的稳定性，即在罐内存放 2-4 周并每天循环。PSI 15 模拟在不良条件下液体饲料的稳定性，譬如，不循环和/或长时间存放。PSI >95% 设定为液体饲料制品悬胶稳定性的底线。这是根据下列观察得出的。

1) 生产现场取样的用粘土为稳定剂的悬胶制品，SSI 53 最低值为 88%。

2) 一家液体饲料厂的两批以植物胶为稳定剂的悬胶制品发送到 2 个中试液罐中(每个 1000kg)，经 3 周存放和循环后，上层(距储罐内制品表面约 20cm)样品的钙含量分别为该处 0 天的钙含量的 96.2% 和 98.0%；而这两批制品 0 天的 SSI 53 分别为 96.0% 和 100.0%。

3) 用一种酵母培养/羽毛粉(作为固相)的悬胶制品直接测试 PSI 53, PSI 15 并测试经 60 天不搅动放置后的 PSI (PSI 60dW/0, 不良条件下)，结果 PSI 53, PSI 15 和 PSI 60dW/0 分别为 98.3%、96.9% 和 96.6%(Xi ong, 1997)。

根据美国饲料管理者协会(AAFCO)标准，含钙 0.5-25% 的饲料中钙的分析误差(AV%)是： $((14/x)+6) \times 100\%$  (其中，x = 保证%)。该悬胶制品的钙保证含量为 7%，SSI 53 的测值 95% (-5% 保证值) 仍然可以认为是在 7% 含钙液体制品的 AV% 范围之内 (AV%=(14/7+6)%=8%)。

## 附 录

### 位置稳定性指标 (PSI) 测定

## 悬胶稳定性指标(SSI)测定

悬胶稳定性指标(SSI)，是在一定外力下经过一定时间，留在容器上部的悬浮颗粒对最初（刚制成时刻）颗粒数的百分率。

制定了两个测定 SSI 的离心条件：1) 300 rpm / 5 min (SSI 53)，测定液体悬胶制品一般条件下的稳定性；2) 500 rpm / 10 min (SSI 15)，测定液体悬胶制品在不良条件下的稳定性。

测定 SSI 的离心操作如下。

设备：2476 型 IEC CENTRA-8 离心机。

操作：

- 1) 1000ml 液体样品以高档设定混合 3min，使颗粒均匀分布。
- 2) 取 50ml 混合样品置 100ml 样品瓶内，加盖，作钙 (Ca\*) 分析用。
- 3) 将 4 个 40ml 离心管在 20ml 处作标记。
- 4) 给每个标记离心管加入 40ml 混合后的样品，以 300 rpm (18.11 g) 离心 5 min。
- 5) 从两个离心管吸取 1/2 上层液移入一个 100ml 样品瓶，加盖，作钙 (Ca\*) 分析用。
- 6) 所有作钙 (Ca\*) 分析用的样品在分析前充分摇动。
- 7) 离心后 Ca\* 含量除以离心前 Ca\* 含量，再乘 100，计算得出 SSI。

$$SSI = (\text{离心后 Ca}^*/\text{离心前 Ca}^*) 100\%$$

测定不良条件下的 SSI 时，以 500 rpm (50.3 g) 离心 10 min，重复 1-6 步骤。

## 乳化制品位置稳定性指标测定

上述操作经下列改动，可用来测定乳胶制品位置稳定性指标。

- 1) 以乙醚提取物 (EE) 代替钙或其他所要求的固体化合物作实验室分析项目和表示指标。
- 2) 乳胶制品位置稳定性指标或乳胶稳定性指标 (ESI) 的计算修改如下：

$$ESI = (1 - (\text{离心后 EE} - \text{离心前 EE}) / \text{离心前 EE}) 100\%$$

还使用过一种更简便的方法表达 ESI：离心后乳层(cream zone)高度与离心管内液体层的总高度的百分比。例如，如果离心后没有水层自离心管底部分出，ESI 为 100%。如离心后离心管内液体层的总高度为 50mm，离心后乳层高度为 48mm(2mm 水层自离心管底部分出)，ESI 为 96%(48/50)。

应当指出，这实验室操作程序尚未与传统的放置法及在生产条件下进行深入比较评价。

## 参考文献

**AFIA. 2002** Liquid feed survey. 32<sup>nd</sup> Annual Liquid Feed Symposium Proceedings. Sept. 2002. 155-157.

**AFIA. 2003** Liquid feed survey. Liquid Feed Symposium Proceedings. Sept. 2003.

**Armentano, L. and C Leonardi. 1999.** Effect of different particle size, quality and quantity of alfalfa hay on selective consumption of dairy cattle. Proc. UW Arlington Dairy Day. 1-17.

**Britten M. and H. Giroux. 1991.** Emulsifying properties of whey protein and casein composite blends. Journal of Dairy Science. Vol. 74:3318-3325.

**Burgaud, I. and E. Dickinson. 1990.** Emulsifying effects of food macromolecules in presence of ethanol. Journal of Food Science. Vol. 55 875-876.

**Davis, P. 2003.** Liquid supplements and intake inhibitors. Liquid Feed Symposium Proceedings. Sept. 2003, AFIA.

**Emanuele, S.M. 2003** Effect of molasses and sugar supplementation on performance of ruminal fermentation of

dairy cattle. Liquid Feed Symposium Proceedings. Sept. 2003, AFIA.

**Endress, M and A. Trenkle. 1990.** Evaluation on Modified Condensed Molasses Solubles (CMS) as supplement for cattle. Iowa State University 1990 Beef-Sheep Report, AS-606.

**Endress, M and A. Trenkle. 1990.** Evaluation on Modified Condensed Molasses Solubles (CMS) as supplement for cattle. Iowa State University 1991 Beef-Sheep Report, AS-616.

**Garti, N, A. Aserin and D. Azria 1991** A clouding agent based on modified soy protein. International Food Science and Technology vol. 26, 259-270.

**Hannon, K. and A. Trenkle. 1990** Evaluation of Condensed Molasses Solubles (CMS) as a source of supplemental nitrogen for cattle. Endress, M and A. Trenkle. 1990. Iowa State University 1990 Beef-Sheep Report, AS-601.

**Hudge, D. 1990.** Competition with Dry Feeds: Liquid Supplements. Feed Management. Vol. 41, No. 8. 9-11

**Klink, P. 2003.** Challenges of using various pharmaceuticals in liquid feeds. Liquid Feed Symposium Proceedings. Sept. 2003, AFIA.

**Martin, R. 1999.** TMR particle distribution analysis at six-hour time intervals. Proc. UW Arlington Dairy Day 7-16.

**Meyer, S. 1990.** Towards better fish feeding-Lecithin and phospholipids. Feed Management. Vol. 41, No. 8. 12-14.

**Moore, J. and J. Harris. 1999.** Highlights of recent liquid supplement research. 29<sup>th</sup> Annual AFIA Liquid Feed Symposium Proceedings. 37-42.

**Rush, I. 1986.** Levels of CMS by-product as a supplement in finishing cattle ration. University of Nebraska Report to a product supplier.

**Shaver, R. D. 2001.** Recent applications of liquid feed supplements in rations for lactating dairy cows. Prof. Anim. Sci. 17: 17-19.

**Williams, D. 2003.** History of liquid feed manufacturing technologies, from there to tomorrow.

**Xiong, Y. 1991.** Investigation on De-sugared Beet Molasses as a liquid feed ingredient. Unpublished paper.

**Xiong, Y. 1992.** Development of a new liquid feed product for textured feed. i.d.

**Xiong, Y. 1993a.** Condensed Fermentation Solubles (CFS) as an alternative feed ingredient in manufacturing suspension liquid products. i.d.

**Xiong, Y. 1993b.** Clay vs gum as suspension stabilizer for liquid feeds. i.d.

**Xiong, Y. 1993c.** Forming control in liquid feeds. i.d.

**Xiong, Y. 1993d.** Suspension Stability Index for liquid feeds. i.d.

**Xiong, Y. 1995.** Evaluation on stabilities and mixing homogeneity of DLC E-40 and A/D/E 400/100/100 in liquid feeds. i.d.

**Xiong, Y. 1996a.** Evaluation of Distiller Solubles in liquid feed. i.d.

**Xiong, Y. 1996b.** Evaluation of a new gum as suspension stabilizer agent in liquid feed. i.d.

**Xiong, Y. 1997.** Stability of Yeast Culture in Stress Care liquid feed. i.d.

**Yao, J. J, K. Tanteeratarm and L.S. Wei, 1990.** Effects of maturation and storage on solubility, emulsion stability and gelatinization properties on isolated soy proteins. JAOCS Vol. 974-978.