

青贮饲料的 生物化学

[英] PETER McDONALD

动物营养研究
农业部畜牧局饲料机

北京农业大学出版社

青贮饲料的生物化学

动物营养研究会 译
农业部畜牧局饲料机械处

责任编辑：高 欣

封面设计：雷克敬

青 贮 饲 料 的 生 物 化 学

动 物 营 养 研 究 会 译
农业部畜牧局饲料机械处

※

北京农业大学出版社出版
(北京市海淀区圆明园西路2号)
北京市昌平建华印刷厂印刷
新华书店首都发行所发行

※

787×1092毫米 32开本 7.25印张 160千字
1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷
印数：5 000

ISBN 7-81002-079-X/S·80

定 价：2.30元

The Biochemistry of Silage

PETER McDONALD

Reader in Agricultural Biochemistry

University of Edinburgh

and

Head of the Department of Agricultural

Biochemistry Edinburgh School of

Agriculture

A Wiley-Interscience Publication

JOHN WILEY AND SONS

Chichester • New York • Brisbane • Toronto

代 译 者 序

饲料的青贮技术在我国推广应用已近四十年的历史。除了在奶牛、肉牛以及羊的饲养业上已成为不可缺少的重要技术措施外；在广大农村的农副产品，在维持猪的青绿饲料常年平衡供应以及调整饲料营养结构等方面起到了应有的科学技术保证作用。

近20年来青贮技术有了许多革新，对过去青贮技术的许多“禁区”，也不断有重大突破，如在低水分青贮技术方面、青贮饲料添加剂方面、以及二次发酵的防止等方面都找到一系列行之有效的办法，使过去认为不适于青贮的原料，或不可避免的青贮损耗等都在实际生产上得到了解决。

Peter McDonald教授（英、爱丁堡大学农业生物化学系）多年从事饲料青贮技术及其理论方面的研究，是这方面有数的先驱。该书从青贮饲料原料、青贮饲料发酵过程、水、氧消长规律、青贮饲料添加剂、特别对养分的损耗及青贮饲料的营养价值作了全面的阐述。引用了上千篇技术文献，是一本归纳得很好的青贮技术参考书。

这本书的引进对指导和提高我国青贮饲料技术水平，广辟饲料资源将起到积极作用。

张子仪

1988年6月11日

目 录

一、序言	(1)
青贮饲料历史进展.....	(1)
青贮饲料原理.....	(4)
青贮饲料设备.....	(6)
二、青贮作物	(10)
禾本科牧草.....	(10)
禾谷类.....	(26)
豆科植物.....	(30)
其它作物.....	(32)
三、植物酶类的作用	(35)
呼吸.....	(35)
水溶性碳水化合物.....	(46)
蛋白质和其它含氮化合物.....	(50)
其它组分.....	(56)
四、乳酸菌	(58)
乳酸菌的分类和发酵特性.....	(58)
乳酸菌的来源和发育.....	(64)
碳水化合物的发酵.....	(68)
有机酸的发酵.....	(72)
含氮化合物的发酵.....	(75)
五、梭 菌	(77)
梭菌的分类和发酵特性.....	(77)

梭菌的来源和发展	(79)
梭菌发酵的产物	(82)
六、其它微生物	(93)
肠细菌科	(93)
真 菌	(99)
杆 菌	(107)
单核细胞增生利斯特氏菌	(108)
七、氨气对青贮饲料的影响	(109)
田间阶段	(109)
青贮窖中最初的好气性阶段	(110)
青贮后空气的渗入	(114)
青贮饲料的好气性败坏	(115)
八、水对青贮饲料的影响	(123)
用萎蔫法降低含水量	(123)
水分含量对发酵的影响	(127)
流出物	(129)
九、青贮饲料添加剂	(138)
发酵促进剂	(140)
发酵抑制剂	(150)
需氧腐败抑制剂	(172)
营养添加剂	(176)
十、饲料青贮时的损失	(180)
损失的测量	(181)
田间损失	(183)
发酵损失	(185)
流出损失	(188)
氧化损失	(190)

十一、青贮饲料的营养价值	(193)
乳酸青贮	(193)
醋酸青贮	(207)
梭菌青贮	(208)
萎蔫青贮	(210)
青贮饲料添加剂	(213)
好气性霉坏青贮	(219)

一、序 言

贮藏饲料的主要目的是在作物生长最适时期收割贮存起来，以备缺草季节使用。一些国家(如英国)由于作物生长季节有限，为了满足反刍家畜在冬季的营养需要，长期以来，贮藏饲料起了重要的作用。

晒制干草已成为一种保存饲料的传统工艺。必须在牧草含干物质相当高时收割后晒干，而这意味着牧草在干燥前消化性就差。实际上，再加上天气变化无常，在干燥过程中，往往使牧草成分改变，营养物质损失而使其营养价值降低。农民们早已知道用自然发酵方法保存作物，如青贮。这种方法对于天气和收获时机的依赖性都比较小。今天，尽管晒制干草采用了新的干燥技术，且有很大发展。用青贮的方法保存饲料的数量仍在不断增加。世界上许多国家，青贮饲料已成为反刍家畜冬季日粮的主要组成部分。

青贮饲料历史进展

青贮饲料是用含高水分的作物经发酵调制后的产物。发酵过程称为青贮(ensilage)，使用的容器称为青贮窖(silo)。用窖式容器贮藏牧草或粮食的方法已经有许多世纪的历史了。青贮窖(silo)这一词来自希腊语siros(σιρος)。意指为

了贮藏玉米在地里挖的坑或凹洞。Pliny在其“自然史”一书中提到用壕沟贮藏玉米。Cappadocia和Thrace把这种壕称为siri。在西班牙和非州，人们特别注意选择在干燥的地方把谷壳或藁秆撒在地上。Euripides、Theophrastus、Hesychius和Suidas等这些希腊人都提到过青贮窖。

希腊字Siromastes是指一种带有铁尖或叉的器械，可以探明藏匿在洞仓中的禁运品或其他不正当的商品。在“旧约全书”(2 Kings, xi, 10)上提到Jehoiada将David的“siromastes”给了百人队长们，在战争中这种器械还被用作武器。在埃及发现的一张注明公元前1000—1500年的旧油画上表明古埃及人通晓青贮作为保存作物的一种方法。根据Kirstein指出，在公元前约1200年曾青贮过秸杆的Carthage遗址，发现了青贮窖。从地中海地区古老的著作中，看到隔绝空气密封秸杆是成功贮藏饲料的主要条件。罗马历史学家Cato(公元100年)指出日尔曼人在地里贮藏青绿饲料，然后用牲畜粪便盖起来。在意大利，青贮枯萎的牧草至少已有700年的实践。北欧的瑞典及苏联波罗的海一些省，自18世纪初就已青贮牧草。德国北部地区，19世纪初已将甜菜头和叶同时青贮。

尽管世界上许多地区对青贮作为一种保存饲料的技术，认识较早，但直到19世纪末才比较普遍地了解青贮的过程。1842年Grieswald在波罗的海农业进展协会学报(Transactions of the Baltic Association for the Advancement of Agriculture)上最早记述了青贮制作工艺。他介绍的方法是迅速将刚割下的鲜草踏实填满坑，甚至将整草入窖。窖一填满就用一层木板或大小恰好的盖(well-fitting)将内容物封闭起来，然后上面再盖一层约45厘米厚的土。

1862年德国斯图加特市的Reihleu在Wurttemberg Wochenblatt发表了他的一篇青贮生产工艺的报道，后翻译成法文并发表在1870年的法国农业杂志上(Journal d' Agriculture pratique)。

毫无疑问，现代青贮实践的主要功劳应属于Goffart。他是一个法国农民，1877年在他自己青贮玉米试验的基础上，出版了第一本关于青贮的书。约一年后，英译本出版，并在美国发行。这种新的贮藏技术迅速被美国农民采用。1886年1月在纽约举行第五次青贮会议上，Vermont(佛蒙特州)的Smith概述了许多农民的感受。他说：“我们用不着详细说明秸秆加工系统的优点。这种加工不受气候的支配，也就是说能使我们的农场在原来养一头牛的面积上养两头牛。我们一致公认青贮的实用价值。这一点我们已在青贮中看到了……。现在，感谢Goffart先生，感谢美国的农民们，感谢那些令人惊异的牧草、本地玉米，使我们的农场有能力使它们的产量增加四倍。当市场黄油价格最高时我们正好有充裕的时间来制作最好最鲜的黄油。我们的菜牛可保持全年生长。一英亩地上的牛数超过以前，而花代价较少。”

毫不奇怪在法国和美国，对青贮很热心。英国青贮虽早已兴起，但直到1882年才普遍为英国农民所认识。Vicomtede Chezilles 是许多热烈支持青贮的法国人中的一个，在皇家农学会(Royal Agricultural Society)的刊物上，登了一篇令人难忘的报道，他的一个容量为1000吨的青贮窖是世界上最大的。1883年报道英国只有六个青贮窖，但数年之后，兴趣大增，到1886年全国已有青贮窖1605个。

在英国已倾向于采用牧草作为青贮的原料，而不用玉米，和玉米一样，牧草也适应Goffart提出的青贮方法，

例如迅速装填，密封使之不漏气。遗憾的是，1885年Fry的《甜青贮》(Sweet Ensilage) 一书的出版使Goffart总结的青贮原理受到了打击。甜青贮的作用过程依靠牧草至少在温度50℃下进行。但常常温度比这还高。达到这样的温度，要求作物收割较迟，且在填窖前已枯萎，还必须让空气进入窖中。所以，要等到牧草达到所要求的温度后才封窖。纵然用这种方法制作的青贮料常能保存较好，但由于热和氧化作用使养分损失增加，营养价值低，而且几乎和家畜维持的日粮质量一样差。

使窖中饲料在密封前发热的青贮方法，在英国作为一种青贮技术一直延续到本世纪中，这可能是延误此国青贮进展的原因。除去两次世界大战期间的一些时间，由于改良机械和集约化畜牧生产的需要，同时精饲料价格上涨的结果，对于青贮的兴趣直到1950年又复兴。今天，人们普遍认识到，只要坚持青贮生产的某些基本原理，就能够保证生产出反刍家畜的高质量饲料来。

青 贮 饲 料 原 理

自然发酵保存作物的首要问题是获得厌氧条件。实际上，可用多种方法得到厌氧条件，最有效的方法是将作物贮存在不透气的密闭容器中，使牧草与空气隔绝，植物呼吸酶可以迅速除掉牧草内部吸附的氧气。在开放式窖中(open-type silo)，有效厌氧状态的获得决定于压实的程度及最终密封的效力。密封的主要目的是防止青贮过程中空气重新进入和循环。

不论任何时间，哪里有氧气与牧草接触，哪里就有好气

菌活动，使物质腐烂，不可利用和食用，并常变得有毒。

其次是阻止梭状芽孢杆菌 (*clostridia*) 的活动。这些细菌常常与孢子形式存在于收割后的牧草上，窖内厌氧条件一形成，它们就开始繁殖。这些有机体的生长产生的讨厌的丁酸，降解氨基酸成为一系列营养价值低的产物。最普通的方法是抑制梭状芽孢杆菌的生长以促进乳酸发酵。乳酸菌 (*lactic acid bacteria*) 是一种兼性厌氧菌，即在有氧或缺氧情况下都能生存。乳酸菌常存在于收割后的作物上，使作物含有的天然糖 (主要是葡萄糖和果糖) 发酵，产生一种酸的混合体，其中主要是乳酸。产生的乳酸使氢离子浓度增高，使梭状芽孢杆菌生长发育被抑制。这种抑制作用的产生，不仅由于氢离子浓度增加，而且是由本身未离解的酸所引起的。在青贮中要想正好达到能产生抑制效果的临界 pH 值是很难的，因为抑制作用不仅决定于 pH，而且决定于水分含量及温度。原料越湿润临界 pH 值就越低。当未枯萎的牧草干物质含量约 20% 时，公认 pH 值达 4.0 可防止梭状芽孢杆菌的活动。在此酸度下，青贮料可长期保存，只要青贮窖保持密闭式或不受雨水渗透。

抑制梭状芽孢杆菌生长发育的另一种方法是降低作物在青贮前的含水量。青贮的作物含干物质 30% 或更多几乎没有梭状芽孢杆菌发生作用，作物保存良好。梭状芽孢杆菌对水的需要特别敏感，其生长需要很潮湿的条件。例如一些干物质含量约 15% 的原料，甚至 pH 值低达 4.0 也不能抑制梭状芽孢杆菌的生长。

乳酸生长的速度是抑制梭状芽孢杆菌和降低发酵损失的主要原因，这决定于青贮作物上乳酸菌的总数及底物的可利用性。反过来，它们又受各种物理损害的影响 (如碾碎、割

碎、切碎和砍碎)。现代的精密铡草机可将草切碎成小于25毫米的长度,植物汁液也迅速释出,促进了乳酸菌的生长。切割很细的青贮料比切得较长或粗的原料容易被反刍家畜采食。

青 贮 饲 料 设 备

商业化青贮设备

农民们用来发酵作物的青贮设备种类很多, Nash最近将青贮设备分成六大类型——竖式窖、卧式窖、软墙窖、塑料窖、真空窖和香肠状窖。

1. 竖式窖 (Vertical silo)

这种窖可以是地下坑式的或一般塔式的地上窖。青贮塔的耗氧损失最小,因为厌氧条件容易得到,与塔中青贮原料比较,暴露于空气的表面较小。不管怎样,这种窖受到的压力比卧式窖大。除非作物预先在地里已晒蔫过,否则,塔底表面压力会引起原料汁液的流失,甚至使窖受到破坏。另一种竖式窖是青贮堆,新西兰较普遍,其结构类似建立在地面上的干草堆或玉米堆。这种窖的缺点是用塑料或其它材料盖起来也难防止空气的侵入,结果损失很大。

2. 卧式窖 (Horizontal silo)

卧式窖有许多,最普遍的是一种有围墙的夹板青贮堆或地面青贮堆,这种青贮堆一般有三面2—3米高的硬墙,常建筑在“荷兰牲口棚(Dutch barn)”的下方,以保护其不受恶劣环境的影响,作物被青贮在一列沿窖向前摆着的楔形架上,架子一个摞一个,在装填过程中,随时用塑料布将顶部密封起来,最后用适当的東西,如沙袋、轮胎或草捆重压于表面以防止空气重新进入。

3.活动墙青贮窖 (Flexible-walled silo)

英格兰国立农业工程学院最早采用这种青贮窖。它类似于地面青贮堆,但有能向外移动的墙。用这种结构可以装满窖达7米高而不会对边墙造成过大的压力。但现在一般都装在4米高。

4.塑料青贮窖 (Plastic silo)

这种窖类似青贮堆,只是用塑料布把青贮堆盖起来。塑料布通常由聚氯乙烯(PCV)或聚乙烯制成。这种窖可选择袋状形式。将草装入袋内,顶部密封。在塑料使用上的一项最新改革是制成一种大包,将草压缩装入大包裹,每包可装约0.75吨。这些包可堆放在下面铺着的防潮布的地上,然后用不漏气的塑料布盖起来,或者将包装进一个大型塑料袋里,然后颈部用绳扎起来。

5.真空青贮窖 (Vacuum silo)

在真空青贮窖里,草放置在塑料布上,堆成需要的高度,然后用相同材料的单子盖在草上,用封条将布的两边联结一起,然后用真空泵抽出窖中空气,抽气还能使草压实。只要这种青贮窖保持密封就没问题。遗憾的是,塑料容易损坏,一旦空气进入窖内,其损失可能与没有防护设备的青贮堆一样严重。

6.塑料罐青贮窖 (Plastic sausage silo)

德国发明了这种青贮窖。用一种专门机器将切碎的青贮料通过一个成型漏斗,装入塑料罐中,装满后,罐的直径为2.4米,但长度可以从任意到30米不等。

试验青贮设备 (Experimental Silos)

1.实验室青贮装置 (Laboratory silo)

Barnett回顾了早期实验室技术文献，其中描述了一系列不同类型的青贮装置，包括试管(test-tubes)、牛奶瓶(milk bottles)、玻璃广口瓶(glass jars)和玻璃园筒(glass cylinders)。应用最广的实验室青贮装置是一组50-250克容量的试管，只允许气体逸出而防止空气进入。适用的密封装置或是一个带水银阀(valve of mercury)的橡皮塞。水银阀支撑在一个熔结玻璃盘上。或者是一个玻璃或塑料发酵阱(plastic fermentation trap)，其中装满了水。Virtanen使用的是能装约15-20千克鲜草的陶瓷容器，能检测干物质损失，产生 CO_2 及渗出液流失的允许量。Wieringa使用的是容量为1-2升能密封的玻璃贮藏罐。而Ohyama和Masaki用1升的水银封玻璃瓶，Jones也进行了研究，他把薄聚乙酰袋(20×40厘米)装满牧草，封住袋颈。然后把袋子放进一个大的厚聚乙酰袋(40×80厘米)，袋子上有一个插塞和插孔与空吸泵相连。Wilson和Wilkins对用18种禾本科牧草和8种豆科牧草在容量为100克鲜草的试管中青贮与用相同牧草在容量为1吨鲜草的聚氯乙烯(PVC)塑料袋内进行的青贮技术进行了比较和评价，试管青贮测得的数据和PVC袋青贮有密切关系。虽然在实验室青贮装置中的发酵实例不够典型，往往醋酸盐含量高，除非保证青贮原料含有正常数量的乳酸菌，或在青贮前接种了乳酸菌。但我们自己在爱丁堡的青贮结果，基本证实了以上的研究。

2. 小规模试验青贮设备(Pilot-scale silo)

当必须充分满足反刍家畜饲养试验中对青贮料的数量需要时，或需要详细测定青贮料的营养损失时，在实验室中可采用小规模试验青贮设备。Watson和Ferguson在1937年最早采用了这种青贮装置，包括一个按比例缩减的青贮塔，

木质或混凝土质的，可容纳约1吨青贮原料。Golf和Gneist采用的青贮设备类似以上装置，是钢质的，容量为0.75吨。Barnett和Milier使用的是高1.8米，内径1.2米的污水管道。这根管子搁在一个坚实的混凝土基础上，穿过一根排出渗出液的铁管。Nash使用一些类似以上装置的混凝土置构的青贮设备，每个装有屋顶、热电偶和收集渗出液的装置。五十年代在Beltsville的美国农业部(USDA)研究中心，使用的实验青贮塔是涂有珐琅质的钢筒(enamelled steel)，设有一些采样口，每塔高2.4米，直径1.2米，而且在需要称重时可以搬运。McDonald和Attwood专门设计了一个能测定青贮过程中重量损失的实验青贮设备，包括4个钢筒，每个高1.8米，直径1.2米，有7个采样口，10个热电偶。每个钢筒悬挂在栓在钢架上的提杆式称量装置上，称量装置可以称出全部负荷并测量出实际损失重量。这套青贮装置可容纳约1吨原料，称量装置感量为0.1千克。

1970年在爱丁堡建成了一个容量为4.0吨的地面实验青贮设备，专门测定气体和渗出液的损失。这一设备是钢质的，被安装在一个负重槽上，每个槽被埋入地里的混凝土柱支撑着。

最复杂的试验青贮设备可能要数在Braunschweig建造的，包括6个密封青贮塔，每塔容量为2—3吨，头两个用玻璃衬里的钢结构，其余4个为用玻璃纤维加强了聚脂树脂结构。所有青贮塔都能称量，并配备有连续自动测定和分析气体的装置。

最近，PVC制作的青贮设备已被应用于小规模的研究，这种青贮设备能加工成任何尺寸直到能装约3吨的青贮料，通常设有收集渗出液的排水孔。