

## 青贮过程及其对青贮作物质量的影响

### Ensiling and Its Effect on Crop Quality

2005 赴美奶业考察团培训讲义

著者：R.E. Muck 和 R.E. Pitt

译者：冯培刚

良好的青贮管理对保证青贮料质量和干物质 (DM) 回收率极其重要。但是人们并不总是明白为什么会这样。为了弄清楚青贮管理为什么会那样重要，首先必须得知道青贮设备中发生了哪些生物学和化学变化过程，这些过程对青贮料质量有怎样的影响以及我们如何控制这些过程。

在一个能够维持厌氧（无氧）环境和低 pH 的青贮设备内，作物可以得到最好的储藏。厌氧环境可以终止酵母和霉菌的生长、抑制植株的呼吸作用并能够促进乳酸菌生长。乳酸菌能够发酵作物中的糖分，主要产生乳酸和乙酸。这些酸可使 pH 降低，低 pH 可以抑制非期望厌氧菌的生长和植株中蛋白降解酶的活性。

青贮设备内发生的生物学和化学变化过程可分为三大类：植株自身发生的、微生物发生的以及由化学反应引起的变化。植株自身发生的过程包括：呼吸作用、细胞溶解或降解、蛋白水解或降解以及将碳水化合物降解成糖的酶解。青贮设备内主要的需氧微生物包括：酵母、霉菌、乙酸产生菌和芽孢杆菌；乳酸菌和梭菌是主要的厌氧菌。青贮设备内发生的化学反应包括：梅拉德反应或褐色反应、半纤维素的酸解反应。

某一特定过程的重要程度乃至作物的质量和养分丢失，既依赖于时间又依赖于环境条件。青贮作物在青贮储藏期间经历了四个阶段：密封前阶段、活跃发酵阶段、稳定阶段和取料饲喂阶段。密封前阶段发生在装填期间，此阶段中，植株中的酶及植株对氧的利用是青贮料发生变化的主导因素，也是导致作物养分丢失的主要原因。一旦设备被密封，氧化作用迅速消失，活跃发酵期开始。活跃发酵期持续 1-4 周，此期通常情况下乳酸菌生长占有优势，同时伴有作物 pH 降低。但是，厌氧酵母和梭菌可能会对作物的质量产生不利影响。当乳酸菌把作物中的糖全部用完或者 pH 低到使它们自身生长终止时，稳定阶段开始了。此期应发生很少的生物活动，但是透过青贮设备墙壁和覆盖物发生的缓慢氧气运动可能会导致酵母、霉菌和需氧细菌的生长。在最后的取料饲喂阶段中，无限数量的氧气可进入青贮设备入口，极易导致需氧微生物更快速生长以及青贮料发热。对各种过程的整体描述和它们发挥作用的时期概括于表 1 中。现在让我们来讨论一下每一种过程是如何影响青贮饲料质量和养分丢失情况的。

#### 植株呼吸作用

呼吸作用是植物、动物和需氧微生物为了维持自身需要和生长而得到能量的一个过程。在植物，糖分是用于呼吸的主要营养物质。呼吸作用利用氧气进行，最终释放出二氧化碳、水和能量。在已收获的作物中，通过呼吸作用得到的所有能量实际上都以热能的形式释放出来。

	密封前	活跃发酵阶段	稳定阶段	取料饲喂阶段
植株呼吸作用	→			
蛋白质水解		→		
碳水化合物酶解		→		
饲草细胞溶解		→		
酵母				→
霉菌	→			→
乙酸产生菌	→		→	→
杆菌	→			→
乳酸菌		→	→	
梭菌		→	→	
梅拉德反应			→	→
半纤维素酶解		→	→	→

图1 青贮过程中各种植株、微生物和化学变化过程发挥最活跃作用的时间

青贮设备密封后，植株的呼吸作用可在清除设备内的氧气、创造厌氧环境方面发挥有益的作用。另外，密封时存留的氧气对作物质量的影响即使对未压实的作物也是很小的。如果作物含水量为60%，未压实的青贮料重约25磅/立方英尺，并且单位体积作物含有约2倍体积的空气。在这种比较差的条件下，通过呼吸作用去除存留空气所需的糖分仅占青贮料干物质的0.12%(Muck, 1988)。

装填时植株的呼吸作用可能会更有害，特别在装填速度较慢时。通过呼吸作用丢失的糖分消化率都很高，这会导致能量和干物质丢失并会使青贮料中纤维含量升高。糖分也是乳酸杆菌的食物，因此，装填期间丢失过多的糖分可能会阻碍pH充分下降，而充分下降的pH是青贮料能够良好保藏所必需的。最后，呼吸作用产生的热量又提高了青贮料的温度，从而加快了所有生物学和化学变化过程的速度，既包括有利的，又包括有害的。但是，最严重的是加快了褐色反应或梅拉德反应的速度，发生这种反应会导致青贮料中酸性洗涤纤维(ADF)和酸性洗涤不溶氮(ADIN)含量升高。

在最佳的温度、湿度条件下，如果氧气量不受限制，植株通过呼吸作用丢失养分的速度为0.4%-0.6%。豆类作物如紫花苜蓿和三叶草要比青草和玉米丢失速度快。幸运的是，常规青贮过程中的水分含量降低了这个速度。一旦一部分作物被另外的作物充分覆盖，进入被埋部分的氧气量也会受到限制。最大呼吸速度发生在湿度大于80%时，并且会随湿度的下降而减慢。湿度为50%和70%时，呼吸速度大约分别为最大呼吸速度的30%和70%(Pitt等, 1985)。温度上升到75°F时，呼吸速度迅速升高，大于75°F后，上升速度变慢，大约在115°F时呼吸速度达到最高。温度超过130°F时，与植物呼吸作用有关的酶将会被破坏。

基于上述，青贮窖装填期间的呼吸作用引起的损失可能大于青贮塔。正常情

况下，湿的作物是用青贮窖来青贮的，而青贮窖装填时暴露的表面区域比较大，相对于受到较严密保护的青贮塔，风带来的压力更有可能把空气驱入青贮窖中的作物中。然而，青贮窖一些不利的方面可以通过更紧密的压实来抵消。不幸的是，当前还没有资料对不同类型青贮设备之间养分丢失情况进行比较。

#### 植株中其它酶的活动

装填期间和密封后第一周内，植株中除了与呼吸有关的酶外，其它的酶也发挥作用。植株中最令人关注的酶是那些将蛋白质降解成可溶性非蛋白氮(NPN)的酶。对牧草和豆类作物，进入青贮设备的可溶性NPN通常占总氮量的10-35%。青贮之后，可溶性NPN范围大约是总氮量的25%-85%。蛋白质水解物的数量取决于饲草的种类、pH、青贮设备内储藏时间、温度和湿度。特别对高产奶牛，高水平的可溶性NPN可能利用率很低。因此为了得到最大的产奶量，泌乳期奶牛可能需要从高粗蛋白日粮中摄入额外的瘤胃不降解蛋白。

紫花苜蓿在青贮过程中极易发生蛋白质水解，其青贮料中可溶性NPN通常是总含氮量的50-70%。含有单宁(可与蛋白结合成复合物)的豆类作物蛋白降解较少，并且与饲草中单宁含量成比例。角果百脉根和红豆草是典型的含单宁豆类作物。与紫花苜蓿相比，青贮期间一些不含单宁的饲草如红三叶草和cicer紫云英也有较低蛋白降解率的趋势，但原因仍不完全清楚(Albrecht和Muck, 1999)。

密封后第一天蛋白质水解速度最高，以后迅速下降，青贮一周后已几乎没有活性。因此为了减少蛋白质降解而采取的方法必须迅速有效。

最高蛋白水解速度可发生在pH 5.5-6.0时，而该pH值是青贮过程中很常见的。在pH4.0时，蛋白质水解速度为最大速度的15-35%。因此制作青贮料时快速发酵或添加酸会降低但不会防止蛋白质降解。

温度同样也会影响蛋白质降解。在50°F-100°F范围内，温度每升高18°F，蛋白水解速度就会加快一倍。但是较高的温度也会提高乳酸菌的生长速度和pH降低速度。因此温度从60°F升到95°F的总效果是：可溶性NPN(以总氮的百分数表示)仅仅升高了10个百分单位(Muck和Dickerson, 1988)。

最后，由于谷物的含水量也会影响发酵速度和pH降低速度，蛋白质降解的数量并不总是与水分含量成强的正相关，但蛋白质水解速度与谷物的含水量还是成正比的。在水分含量大于50%时，这一点变得尤为明显。

总之，为了使蛋白质降解程度降到最低，所采取的措施必须能在青贮开始后的前几天发挥效力，并且必须能够迅速降低pH和/或使得蛋白水解酶不能水解蛋白质。

植株中另一组酶是那些将植株中碳水化合物降解或水解成单糖的酶。此过程会为发酵提供额外的糖分并会降低青贮料的纤维含量。非结构性碳水化合物在青贮过程中几乎全部降解。青草中，非结构性碳水化合物大部分是果聚糖，它基本上可全部转化成单糖。豆类作物中，淀粉是主要的非结构性碳水化合物。淀粉不能被完全降解，但在紫花苜蓿青贮料中，淀粉可提供1-2%的干物质。

结构性碳水化合物(纤维素和半纤维素)在青贮过程中发生了怎样的变化现在还没有完全搞清楚。看起来在青草和豆类作物青贮过程中有少量的纤维素发生了降解。现已测定了青草中半纤维素的水解作用,发现它会使中性洗涤纤维(NDF)降低几个百分点。豆类作物中表现出的水解作用更低,但青贮过程中的豆类作物通常也会发现NDF有所降低。最近的研究表明,这种降低主要是由蛋白水解酶水解导致NPN丢失引起的(Jones等,1992)。紫花苜蓿中真半纤维素养分的丢失看起来是由化学上的酸解反应引起的。酸解速度非常低,但随着pH降低,酸解速度会逐渐升高。

#### 植株细胞溶解

切割牧草时植株中仅有少部分细胞被破坏,由破裂的细胞释放出的糖分通常并不能满足发酵和作物储藏的要求。但在厌氧环境下,大量的植株细胞开始破裂或溶解,从而给乳酸菌发酵提供了大量的糖分。不幸的是,细胞溶解同时也会导致流出液从青贮设备流失以及释放出更多用于降解蛋白的酶。

细胞起始溶解取决于作物中水分含量和温度,作物含水量越多、温度越高,细胞溶解开始的就越早。对收割后直接用于青贮的、含水量为80%或更高的作物,细胞溶解在密封后几小时内就已开始,而对含水量为40%的青贮作物,青贮开始后的头24小时内细胞溶解不会启动(Pitt等,1985)。

来自溶解细胞逸出青贮设备的流出液数量主要取决于青贮料的水分含量和青贮设备类型。大多数对流出液产生量的研究都着眼于含有未枯萎或轻微枯萎饲草的青贮窖的丢失情况。通常情况下,当水分含量低于70%时,青贮窖中不会产生或产生很少的流出液(McDonald,1981)。青贮塔中防止青贮玉米流出液丢失所需的水分含量最初为70%,当青贮料高度大于40英尺时,每增高10英尺,含水量就大约需要降低1个百分点(Waldo,1977)。一般情况下,压缩越紧或压力越大,防止细胞流出液丢失所需的水分含量就应越低。如果用水分含量比作物刚割倒时还高的作物进行青贮,流出液的产生量会随水分含量的升高而升高。例如在青贮窖中,含水量为80%的青贮料会产生20-50加仑流出液/吨青贮料。

流出液营养含量很高,并且已知它可导致鱼类死亡。如果不对它们进行正确处理的话,还会造成其它的环境危害。流出液通常含有5-10%的固体成分,此固体成分主要由可溶性粗蛋白(20-30%)、糖分(4-30%)、发酵产物(0-30%)和灰分(20-30%)组成。因此,青贮窖中含水量80%的青贮料大约会通过流出液丢失4-5%的干物质,其中大部分是高消化率的干物质。

#### 乳酸菌

如前所述,乳酸菌可以发酵糖分,主要产物是能够降低作物pH的乳酸和乙酸。除此之外还可产生其它产物如酒精(乙醇)、琥珀酸、甲酸、甘露醇和2,3-丁二醇。出现在特定青贮料中的各种产物的相对数量主要取决于发酵中占优势的乳酸菌菌株种类以及供细菌消耗利用的糖分及其它成分的种类和数量。

最常用的乳酸菌分类方法是建立在它们利用六碳糖如葡萄糖或果糖生长时所产生的产物基础上的（一分子葡萄糖和一分子果糖连结在一起形成蔗糖，即会客桌上常见的糖）。只能利用六碳糖产生乳酸的乳酸菌称为同型发酵菌。其它的则称为异型发酵菌。异型发酵菌除了能产生乙酸外，通常还会产生二氧化碳和乙醇或乙酸。同型发酵菌不会引起干物质丢失，但异型发酵菌可导致多达24%的六碳糖形式的干物质丢失。按生产实践中的说法，全部利用同型发酵菌进行青贮料发酵，干物质回收率可比完全利用异型发酵菌发酵最多可提高4个点。在正常情况下，干物质回收率提高1-2个点是很有可能的。

发酵（不管是同型发酵还是异型发酵）并不会引起青贮料能量明显丢失（1%），注意到这点也很重要。异型发酵中能量丢失只是稍微高一些。但是发酵产物确实影响动物对青贮料的嗜食性和生产性能。高水平的乙酸和乙醇会降低青贮料的适口性，从而会引起采食量下降。尽管反刍动物能够利用发酵产物，但乙酸却不能在瘤胃发酵，仅有极少量的乙醇可在瘤胃内发酵。相反，某种形式的乳酸可被瘤胃微生物迅速利用。因此，在高青贮日粮中，发酵产物会影响到瘤胃微生物的生长和蛋白质的产生量。

同型发酵的另一个优点是：可更有效的降低pH。乳酸是乳酸菌产生的最强酸。随着相对更多的乳酸产生出来，青贮料或者有更低的pH或者有更高的剩余糖量。对豆类作物和青草青贮料，通常会产生更低的pH；而对玉米青贮料，剩余的糖量则更易受影响。低的pH有助于抑制蛋白质水解、提高半纤维素的酸解和抑制不需要微生物存活。因此，不管对作物的储藏还是动物的生产性能，同型发酵都更有利。

从青贮开始到pH下降所用的时间取决于青贮开始时乳酸菌菌株种类和数量、作物的水分含量和温度。通常情况下，乳酸菌数量越大，pH开始降低所用的时间越短。pH开始降低之前青贮料中乳酸菌数量需要达到100万亿个/吨作物。这么大的数量对进入青贮设备的作物是很难达到的。

青贮开始时作物中乳酸菌的确切数目不可能被迅速确定出来以帮助农场主决定是否通过乳酸菌接种来补充自然菌群数量的不足。正常情况下，玉米中乳酸菌数目最多，青草次之，紫花苜蓿最低。玉米中乳酸菌数目范围通常是10亿到1万亿个耐酸性乳酸菌/吨玉米，而对紫花苜蓿，通常的范围是1亿到100亿。影响青草和玉米中乳酸菌数目的因素知道的很少，但玉米中的数目有随着植株的成熟而升高的趋势。对紫花苜蓿，未收割时数目较少，而在枯萎期数目增多，并且与枯萎的时间、温度和作物的水分含量密切相关。乳酸菌适合在温暖、湿润的环境下生长，因此，在枯萎2-3天后且枯萎期平均气温大于60°F时，紫花苜蓿中乳酸菌数目才可达到较高的水平。

影响青贮设备内乳酸菌生长速度的主要因素是温度和作物中水分含量。最佳的温度取决于特定的菌株，但青贮料中大多数乳酸菌在温度为80-100°F时生长速度最快。低于这个温度范围乳酸菌生长开始变慢，高于这个范围部分乳酸菌会

迅速死亡。在青贮料制作正常的水分含量范围内，作物越潮湿，细菌生长越快。如果水分含量低于40%，乳酸菌的生长会非常慢，并且在一个月的储藏时间内很可能不能完成发酵。70%含水量时，如果不是在寒冷（小于50°F）的环境下，大部分的发酵会在一周内完成。

最后一个议题是：在有氧气存在的情况下乳酸菌会发生怎样的变化？乳酸菌不能像需氧菌和其它高级生命那样利用氧气进行呼吸。但是，氧气确实影响它们的生长方式。通常情况下，它们会产生较少的乳酸而产生较多的乙酸。如果糖分缺乏，它们会把乳酸转化为乙酸。例如，农场工人需要打开青贮设备以便把第二批收割的紫花苜蓿放置在第一批紫花苜蓿上。此时乳酸菌可能是第一批青贮料中占有优势的微生物，设备打开后可能会使得乳酸产生量显著降低而乙酸产生量显著升高，这样的变化会使得第一批青贮料的适口性大大降低。因此何时打开青贮设备更合适是一个需要进一步研究的课题。

### 梭菌性腐败

梭菌是一个菌群，它们在青贮料中生长会损害青贮料的质量。梭菌是由存在于土壤中的孢子植入青贮作物中的。因此作物收获时从土壤中沾染此菌会提高发生梭菌性腐败的可能。通常梭菌可在青贮设备内的厌氧环境下生长，但只局限在湿的青贮料中，并且通常是那些含水量超过70%的青贮料。但水分含量超过70%并不意味着一定会发生梭菌性腐败。

此菌群由几种对青贮料起不同作用的梭菌组成。某些种类的梭菌可把乳酸发酵成丁酸。另一些种类则可以利用作物蛋白中的游离氨基酸产生氨。不管是氨还是由乳酸转化过来的丁酸，它们都会使pH升高。含有梭菌的青贮料具有以下特征：丁酸水平高于乳酸水平，氨氮水平大于总氮量的10%，pH高于5.0以及散发出丁酸（腐烂的黄油味）或氨特有的气味。

用含有梭菌的青贮料配制日粮会降低干物质的采食量，并会通过梭菌发酵产生的混合物破坏瘤胃生态。奶牛可能会厌食，体重增长或产奶量都会受到抑制。

梭菌在低pH或低水分的环境下不能很好的生长。因此，对将进入青贮设备的青贮作物的含水量进行合理的控制（水分低于70%），创造更适合乳酸菌快速生长的青贮环境，都有助于防止梭菌性腐败。

### 贮藏和取料饲喂期间需氧微生物引起的变质

制作青贮料中一个最大的问题是在青贮设备打开前后由需氧微生物引起的变质。青贮料产生有氧腐败的标志通常是：出现白色或多色的微生物菌落、产生的热量使温度高于100°F以及pH大于5.0。由于有氧腐败（aerobic spoilage）需要氧气，因此腐败通常发生在青贮料的外表面-青贮堆暴露的表面、青贮塔或青贮袋内物料的边缘，或者发生在装填过程中暴露于空气中的那层青贮料中。有氧腐败在青贮料用于饲喂时还会继续，它是引起带有混合机的运输车或料槽中发热的原因。

有氧变质(aerobic deterioration)是酵母、霉菌或需氧细菌在氧气存在的条件下生长的结果。这些微生物能够把青贮料中的糖分、发酵末端产物或其它富含能量的营养物质转化成二氧化碳、水和能量，因而青贮设备中干物质回收率降低、有价值营养物质降解。此外，这些微生物和它们的产物可能会对动物产生毒害作用。由于发酵产生的酸在有氧腐败中受到破坏，青贮料的pH有时会升高7.0以上。

有氧腐败是一种复杂的活动，因为在不同的青贮料或同一青贮料的不同时期都有不同的微生物在活动。酵母是一种能够快速生长的真菌菌群，并且通常由它们发动变质过程。它们可在青贮料的表面形成白色的菌落。酵母对高温有一定的敏感性，青贮料温度高于115°F时，酵母会全部死掉。

乙酸产生菌最近已经在变质的青贮玉米中分离出来。它们也会发动变质过程。此菌主要依靠发酵产物生长，因此也会使pH提高。

芽孢杆菌是一种活性菌群，在pH升高到5.0以上时开始生长(Muck, 1992)。尽管不能启动变质过程，但芽孢杆菌在有氧腐败扩散过程中起着重要作用。

李斯特氏杆菌是一组能够导致动物和人发生神经系统疾病的细菌(李氏杆菌病或转圈病)，它可诱发流产或导致死亡。李斯特氏杆菌对低的pH敏感而且相对于其它微生物其竞争力较低。但是它们能够在青贮料中氧气缓慢渗入的区域生长，如在塑料盖布有小漏洞的地方或青贮塔门口附近生长。马比奶牛更易感染李氏杆菌病。

霉菌是一种真菌菌群，它们以长丝(菌丝体)状生长，在已经变质的青贮料中常可看到。霉菌比其它的需氧微生物生长缓慢但更耐高温，因此它们可能是变质青贮料中最终的微生物。除了消耗营养物质外，某些种类的霉菌在特定的条件下还会产生对动物有害的毒素。尽管致死浓度的毒素在青贮料中并不常见，但最近几年中已在青贮玉米中发现了霉菌毒素。最近在青贮玉米中鉴定出的大多数霉菌毒素如脱氧雪腐镰刀菌烯醇是在收割前由田间的梭霉菌产生的。但是出于一个偶然的时机，已经在青贮玉米中发现了黄曲霉毒素。引起中毒的霉菌毒素的剂量当前仍不清楚。

发热是青贮料发生有氧变质时最为常见的征状。在青贮料饲喂过程中，从青贮料卸下一直到发热开始的这段时间(称为料槽寿命(bunk life))是非常重要的因素。如果料槽寿命短，当饲喂动物时，青贮料质量会很快下降。长的料槽寿命会让青贮料保持新鲜的时间较长。青贮料的料槽寿命会由于许多因素而发生变化，这些因素包括：青贮设备打开时需氧微生物污染的程度、青贮料类型(玉米、紫花苜蓿或青草)和环境温度。储存期间青贮设备内存在氧气的时候，最易发生高水平腐败微生物污染。青贮玉米由于糖分含量高、发酵产酸少，比青贮豆类和青草更易发生有氧变质。由于需氧微生物在高温下生长速度快，因此温暖的环境下料槽寿命会变短。

含水量是另一个影响料槽寿命的因素。通常情况下，由于耐热能力低，较干的饲草更易发热。干饲草也很难压实，这就会使得在储存和取料饲喂期间有更多

的氧气流进青贮料。因此，保持青贮料含有合适的水分和采取有效措施防止氧气进入青贮料非常重要。对青贮窖或青贮袋，最佳的水分含量在65%到70%之间；对在顶部卸料的青贮塔，最佳的水分含量为60%到70%。快速连续装填青贮设备、压实、覆盖或密封、修补塑料盖布的裂缝（如果有的话）以及在夏天尽快喂完青贮堆中的青贮料（至少6英寸/天），都会有助于提高料槽寿命。

#### 梅拉德反应或褐色反应

梅拉德反应是一种糖和其它碳水化合物与氨基酸结合成反刍动物很难消化的大分子物质的化学反应过程。这些复合物会提高青贮料中ADF和ADIN的含量。由于半纤维素也会在这些反应中形成复合物，因此青贮料中ADF和NDF的差别会减少。这些反应也会释放出热量，因此青贮料的温度会升高。

温度是影响这些反应的最基本因素。温度低于100°F时这些反应非常缓慢，但高于100°F时，每提高25°F反应速度就会翻一倍。如果这些反应释放的热量超出从青贮设备散失的能力，青贮料的温度可能会升高到发生大范围褐色反应并使消化率大大降低的程度。极端情况下还可能会发生自燃。

那样严重的养分丢失与青贮料的含水量有关。在制作青贮料的正常含水量（40-70%）条件下，水分含量对梅拉德反应没有或有很轻微的影响。但是水分含量确实影响青贮料每单位干物质的耐热能力。青贮料含水量为70%时，每单位干物质的耐热能力要高出含水量为30%时的3倍，这都是由于水分含量不同引起的。因此，相对于较湿的青贮料，同等数量的热量可能会导致较干的青贮料温度至少升高3倍。这也可以部分解释为什么装有较干青贮料（含水量小于40%）的青贮设备更易起火。

#### 整体养分丢失情况和对青贮管理的建议

从前面的讨论中我们很难确定哪一种生物学和化学变化过程对青贮料干物质回收率和质量影响最大。最近的一项研究确实对某一特定过程的相对重要性进行了探讨。Rotz等（1992）分别用传统的青贮方式（含水量65%）和收割后直接进行青贮的方式对紫花苜蓿进行窖式青贮，然后对这两种青贮策略的效果进行比较。为了防止青贮料中梭菌生长，收割后用于直接青贮的紫花苜蓿用甲酸进行了处理。这两种管理策略都用计算机模型DAFOSYM模拟。利用真实（或模拟）的气象资料，通过此种方式就可以对某一个奶牛场饲草收获、储存和饲喂方面所采用的管理策略进行长期的调查。

在密歇根州一个奶牛场应用后，这两种策略产生了不同的青贮丢失率（表1）。对收割后直接青贮方式，流出液和需氧微生物的呼吸作用是造成干物质丢失的主要原因。收割后直接青贮方式中，发酵丢失会有一定程度的升高，但通过添加甲酸来抑制梭菌生长，此种发酵丢失会降到最低。这些结果表明，含水量对青贮料质量具有一定影响。含水量超过70%的青贮料会产生较多的流出液，为了防止对农场环境的影响，对这些流出液必须要进行正确处理。青贮青草和豆类作物



的含水量超过70%时，每上升一个百分点，青贮料中梭菌生长的可能性都会急剧提高。如先前所述，这会提高干物质丢失率和降低剩余青贮料的适口性。

青贮料过干同样会对农场产生问题。这包括收获时田间损失较多、青贮密度降低（会提高有氧丢失）以及耐热性降低（会增加作物发热和发生褐色反应的机会）。

对于传统的管理策略，最大的干物质丢失来自于在稳定期和取料饲喂期发生的需氧微生物呼吸。此模拟已经假设青贮过程中作物装填迅速、塑料布完全密封青贮设备和已采用良好的饲喂措施。如果管理措施较差，装填时和储藏期间发生的有氧丢失甚至可能会更高。这些结果表明，为了将青贮期间养分丢失降到最低，保持青贮设备密封良好和装填期间充分压实青贮料极为重要。

**表1 已枯萎（含水量65%）饲草和割后直接用于青贮的饲草在储藏期间平均干物质丢失和钱数损失情况（根据密歇根州东兰辛地区超过26年的数据，利用DAFOSYM模型进行的模拟）**  
**(Rotz, et al., 1992)已枯萎青贮 收割后直接青贮**

	已枯萎青贮		收割后直接青贮	
	干物质丢失 (%)	经济损失 (美元/英亩)	干物质丢失 (%)	经济损失 (美元/英亩)
装填期间有氧呼吸	0.8	13	1.3	7
发酵阶段	0.7	28	1.5	25
储藏期间有氧呼吸	5.0	10	4.7	10
空置期间有氧呼吸	5.2	9	3.8	7
流出物	0.0	0.4	7	8
总计	12.1	55	17.7	62

在发酵阶段产生的经济损失最高，这主要是由蛋白质降解造成的。蛋白质降解过多，就需要在日粮中额外添加购买来的蛋白补充物以维持产奶量。对蛋白质水解，当前农场主几乎没有选择权。通过快速的装填以及确保迅速发酵产生低pH，可以使蛋白质水解程度达到最低。青贮开始时添加甲酸或其它的酸可以充分降低蛋白质水解。但是当前仍不清楚这些添加剂在成本上是否合适。由于能够保护蛋白质不被降解，甲醛被认为是一种潜在的青贮料添加剂，但健康方面的风险更有可能使它不被采用。最后有希望的添加物是单宁。澳大利亚的研究者正设法将单宁整合到紫花苜蓿中。美国的研究目前则盯在对紫花苜蓿和含单宁豆类作物青贮过程中所用合剂的研制上。

注：1 磅/立方英尺 = 16 公斤/立方米