

青貯酸酵过程

〔英国〕A. J. G. 鮑乃德原著

上海科学技术出版社

青貯醱酵过程

[英國] A.J.G. 鮑乃德 原著

聶光達 朱鍾景
陈爱德 楊学礼 合譯

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本書系根据 A. J. G. 鮑乃德 (A. J. G. Barnett) 所著的 "Silage Fermentation" 一書 1954 年版的俄譯本 (俄譯者为 К. И. Рябова 1955 年版) 并参照英文原本譯出。

全書計九章, 对青貯方法、青貯过程, 以及青貯料的分析和飼養价值均有比較詳細的論述, 可作为高等農業院校畜牧系和实际工作者的参考書。

青 貯 酸 酵 过 程

英文原本書名 Silage Fermentation
作 者 A. J. G. Barnett
出 版 者 Butterworths Scientific Publications 1954 年
俄譯本書名 Процессы брожения в силосе
譯 者 К. И. Рябова
出 版 者 Издательство Иностранной Литературы 1955 年
譯 者 聶光达 朱鍾景 陈愛德 楊学礼

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业许可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

商务印书館上海厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印張 6 20/32 字數 151,000

(原科技版印 1,200 册 1958 年 4 月第 1 版)

1962 年 2 月新 1 版 1962 年 2 月第 1 次印刷

印數 1—1,000

統一書号: 16119 · 87

定 价: (十四) 1.15 元

出版者的話(俄譯本)

青貯飼料是所有農畜和家禽日糧的重要組成部分。在黨和政府所擬定的進一步發展公共畜牧業的決定中，要求盡量增加青貯飼料的貯備。蘇共中央一月全體會議(1955年)決定在1960年製備的青貯料應不少於一億七千六百萬噸，或增至1953年的五倍半。

擴大播種青貯作物，提高製備青貯料的品質，利用國內外科學和實踐業已証實其合理性的各種新的青貯方法，這些都是首要任務。

現向蘇聯讀者所推薦的“青貯發酵過程”一書是阿拜爾丁大學農業生物化學實驗室主任 A.J.G.Barnett 所寫，1954年出版於倫敦。

青貯是製備過冬用青綠多汁飼料最通用而可靠的方法，保證幾乎完全能保存其對農畜有生理價值的特性。目前對用作製備青貯料的植物的化學成分和各種組成物質的生物合成作用的特性研究不夠。正如本書作者正確指出的，對這些物質在青貯過程中的變化研究得更少。因此本書特別注重於青貯物質中酸的生成問題和青貯料中影響各個有機酸的比率的因素以及氮的代謝，特別是由硝酸鹽變為亞硝酸鹽等問題。除對眾所周知的和廣泛採用的分析青貯料的方法加以闡述外，並對更能充分揭露青貯發酵過程實質的最新方法進行了有價值的報導。

本書也研究了各種青貯方法，以及為了提高青貯料的營養價值和可消化性所採用的補充物的刺激作用。最後一章特別用來研究實驗室測定青貯物質各種品質指標的新方法。

A.J.G.Barnett 寫作本書時，採用了大量實驗資料，但是他並未根據這些資料作出有利於某種青貯法的結論，而建議讀者自行選擇。

根據蘇聯科學上研究出的飼料青貯原理，專家們可用批判的態度來對所提出的方法予以評價，並從中選出在集體農莊和國營農場生產條件下可能採用者。

把 A.J.G.Barnett 所著的這本書用俄文出版，可使廣泛的蘇聯專家們能夠熟悉外國科學研究機關在青貯飼料方面所研究的問題。

序 言

本書的主要目的是綜述有关飼料青貯方面的問題。這個問題作为一个科学研究对象，正引起相当大的兴趣。在这里从任何个别狹小的純粹或实用科学部門的立場，都不可能做出实际資料的綜合，因为有关青貯料的制备特性和应用的研究工作性質，往往需要离开本題。此外，在研究象保藏飼料作物的收获这样重要的題目时，如果对青貯料的基本种类和制备青貯料的不同方法不加叙述和研究，是不合理的，因为这些区别影响着青貯料發生变化的特性。

某些批評家可能覺得所研究的材料在某些情況下用另外一些方式編排更为合理。但是我們認為具有充分理由，例如在論乳酸的生成一章中來研究收割前的青綠植物和青貯料中碳水化合物的含量問題，因为乳酸形成过程在較大程度上决定于碳水化合物的含量。另一方面，把有关收割前的植物和青貯料中的維生素和礦物質的論述，插入研究青貯过程中有关損耗的一節中去，因为上述成分正由于这些損耗而具有着特殊意义。

本書对青貯料的分析無論是陈旧的和傳統的方法或是較現代化的方法都加以論述。新的分析方法，可借以获得更宝贵的資料，但目下各个研究机关正在研究中，因此对于現有文献的利用應該審慎。

有关飼料青貯的許多問題尚待解决。关于植物的实际生物化学成分及其青綠物質的各种已知組成物的生物合成作用的特性，迄今仍很少知道。对这些物質在青貯时能發生些什么影响，知道

得更少，因为原始复雜状态不僅被单独一种而且为許多不同的生物化学过程所复雜化。从本書的說明中可以看出，在近代知識水平下，对青貯料醱酵时所產生的过程往往只能做出一些假定，而這些假定是根据某些青貯作物不完全的認識。

正由于这些原因，本書作者把青貯料醱酵过程的研究，主要着重于牧草，因为对于牧草的成分較其他作物研究得多。此外，禾本科牧草及其与三叶草的混播牧草，至少在英國，对制备青貯料具有头等重要的意义。

目 錄

出版者的話(俄譯本)

序言

第一章	飼料青貯过程	1
第二章	青貯料中加酸及其他物質	13
第三章	生產的、試驗的和實驗室的青貯法	27
第四章	飼料青貯时各种物質的損失	49
第五章	青貯料中乳酸的生成	83
第六章	青貯醱酵时低級脂肪酸、氨基酸和揮發性 鹼的生成	105
第七章	生產性青貯料和實驗室青貯料的分析法	132
第八章	專門化分析法	149
第九章	青貯料的可消化性与营养价值	182
关于参考書的說明		210
術語解釋		212

第一章

飼料青貯过程

保存飼料作物的主要目的是保持这些作物在一定生长期所特有的有价值的飼料品質，在这一时期它們最适宜用作飼料，以便在缺乏新鮮飼料的季節里飼喂所保存的飼料。全年都有生長期的國家不發生保存飼料的問題，但是每年有冬季的地方，保存夏季產品的專門方法是必需的。另一方面，僅在一年的一定季節才具有丰饒牧草的許多热带区域的國家，最好儲藏牧草以備于早期应用。

与保存飼料这一主要問題有关的一些附帶問題是减少必要的支出，并避免保存过程中有价值的营养物質的損耗。这些問題是互有关系的，因为有百分之百效果的保存过程，花費很大，以致效果較差的保存过程中的物質損失，还可認為有利。由此可知，牧草的人工干燥法是保存禾本科牧草与三叶草混播牧草的最好方法，但是目前采用本方法的費用几乎使得小的農場主无法接受。除了机械化干燥牧草法外，还有另外两种保存飼料作物的方法，即制备干草和青貯。在大多数農場主的面前發生了这样的問題，即从最后两个办法中应采用哪一个办法。虽然大規模地采用两者之中任何一种方法都証明正确，然而在許多情况下不可应用于干草制备法。

通常是在牧草开花时期，当植物莖部充分發育时或者較迟而在开花結束和結籽时制备干草。在較早时期刈割牧草，則干草的收获很少；但是如在牧草开花期制备，干草的数量增加，其品質則低于用較嫩牧草制备的干草。大家知道，蛋白質含量在植物生長

过程中是有变化的,叶子里所含蛋白質較莖部为多,而在植物生長末期,大量蛋白質聚集于种籽里。当制备干草时,牧草含氮量^①僅为最高叶量期含量的55~60%,而在这种材料中的可消化氮量僅为嫩草中含量的50%,甚或更少。干草的淀粉价也可能較最高叶量期牧草变化約25%。因而,不論收割后的情况如何,制备干草远非飼料品質較好的材料。

在刈草場中留待干燥的刈草,細胞內的过程持續时期的長短取决于天气。因細胞呼吸作用所引起的損失总是相当大,而在某些情况下,例如在潮湿无風的天气时就变得極其嚴重。用变更干燥的方法可使这些損失减少一些,但是損失畢竟仍旧相当大。由于干草的易碎性随着聚堆而發生营养物質的巨大損失,因为在聚堆时往往丢失开花后所刈割植物的富有蛋白質的种籽。干草运往草堆时可能增加机械损伤所引起的損失。最后,如果牧草干燥不够而部分細胞繼續活动,那么,由于細胞呼吸作用而將發生营养物質的進一步損失,这种呼吸作用,使得干草在草堆里自行發热。由此可知,呼吸作用、醱酵和机械损伤所引起的損失相当大,可能为原始干物質含量的25%和淀粉价的45%。象这样的营养物質的損失,即使在正确的制备干草的情况下也認為是不可避免的。因此,作为保存牧草的方法,制备干草和不补充任何物質于青貯材料中的青貯法相比較时(其損失相当于20%及35%),寧取后者。在制备干草良好的条件下粗蛋白質的損失不大,但是这种物質損失的数值是按刈割植物原來蛋白質含量的百分数計算。这种含量,正如前已指出,通常很低。

因此,利用保存的飼料主要是,至少在英國,作为蛋白質精料以及胡蘿卜素來源,青貯料較干草有利,因为在蛋白質含量方面,干草与粗料很少区别,而在刈草时植物中含有的胡蘿卜素大大低

① 按俄文版为“含蛋白質”,英文版为“含氮量”——譯者注

于較嫩植物。此外,牧草在刈草場中干燥时,在太陽光和氧化过程的影响下,維生素 A 元(胡蘿卜素)几乎完全被破坏。用作制备干草的牧草也可能損失其他維生素。但是牧草并非維生素 B 和 D 的最好的來源,而反芻牲畜能够合成复合維生素 B 的成分,因此这种損失并无重大意义。最近的研究証明,在干草中具有維生素 D 的抑制剂,然而人工干燥的牧草中也有存在,所以不能認為这种特性是干草所特有的缺点(Weits 氏,1952)。

气候可能是有碍于采用最好的干草制备法的最后的决定性的条件。到刈割季節时,天气可能是既不适宜刈割也不适宜干燥干草。刈割的牧草放在刈草場里可能被雨水將可溶性营养物質的主要部分冲洗淨尽。

如果在制备干草和青貯之間作为保存牧草的方法來选择,考慮到上述一切,那么就應該偏重于后者。通常制备青貯料时的損失比制备干草时要小得多。用作青貯料的牧草,除極不利的天气外,在任何天气下都可刈割并且可在蛋白質含量最高时刈割;无須顧慮胡蘿卜素的損失,而机械損伤的損失也不大。

表 1 指出牧草在生長过程中所發生变化的資料足以說明在不同生長期所刈割牧草的飼养价值。

表 1 不同生長期刈割牧草的化学成分

生 長 期	干 物 質 %	蛋 白 質 含 量 %	纖 維 素 %	淀 粉 当 量 *
生叶始期	18	4.0	3.6	10.8
生叶期	19	3.3	4.5	11.8
开花始期(小莖)	21	3.0	5.4	12.2
开花期(大莖)	23	2.4	6.2	12.7
开花末期(結籽期)	25	2.1	7.4	12.8

* 在新鮮材料中測得

同样也必須熟悉貯藏飼料的費用。青貯飼料的支出是不大的。如果采用青貯窖或青貯壕儲存材料,主要費用是用于設置这些設備。如果运用青貯塔,那么連同青綠物質升降設備要耗費相

当大的金額,但是僅需花用一次。

一、青貯料的醱酵作用

把各种農產品主要是谷物貯藏于貯藏窖里是早已熟知的方法。貯藏窖易于制造,而放在窖內的物質不受地面上不可避免的雨、热和風的影响。貯藏窖用作青貯飼料的貯藏庫約于 1850 年或較早已开始在欧洲采用。而在英國是从 1875 年开始采用。必須指出,青貯料最初就是貯藏于貯藏窖,后来虽然出現了青貯塔、青貯壕等等,但是貯藏窖仍然是最熟知的和被廣泛采用的青貯飼料貯藏庫。

貯存青貯料时要力求獲得青貯物質中足够濃度的乳酸。这种乳酸是由刈割植物中所具有的一定的微生物產生,也要尽量預防他种微生物的發展,从而保存飼料到需用时为止。为了尋求各种最好的方法来达到上述目的,進行了各种生產的和实验室的試驗,許多有关这些試驗的報告業已發表。

在英國主要的青貯作物是禾本科牧草、三叶草及其混播草,但也有效地采用其他作物作青貯。不論被青貯的材料如何,而所有作物青貯的目的及原理是相同的。在青貯过程中植物品質和特性的变化以及这些变化的原因在以下各章研究。在本章中必須指出,在沒有运用任何补充物質而制备良好的青貯飼料中發生下列变化:

第一期 植物細胞呼吸作用的繼續,引起二氧化碳的生成和簡單碳水化合物氧化。这些生物化学过程和物質的机械压縮致使青綠物質流出液汁并随之釋放热量(关于青貯料中温度变化的初期研究已于 1922 年在 Amos 氏和 Williams 氏的著作中闡明)。

第二期 大腸菌屬和其他类群微生物產出少量醋酸。这个时期持續不久并很快即轉入第三期。

第三期 由于利用一定碳水化合物乳酸細菌的活动——乳

酸杆菌屬和鏈球菌屬——开始乳酸發酵。

第四期 是靜止(休眠)期,在这一期間青貯物質中的乳酸含量达到最高程度并保持在新鮮材料的1~1.5%,而材料保持在恒定的pH 4.2以下。

上列各期延續17~21天,但是前三期約經過3天即告結束。到3周末才能确定所埋藏的青貯料的品質。如果青貯料發現不好而其品質低劣,不是由于青貯方法的缺点而是由于各种原因乳酸產量不足所引起,那么可能开始下列第五期:

第五期 丁酸菌既利用剩余的可溶性碳水化合物也利用已生成的乳酸;这一过程在埋藏青貯料特別坏的情况下会随之發生氨基酸的分解而生成高級揮發性脂肪酸和氨,也可能發生生成胺和碳酸气的脱羧基作用。

因而,在埋藏青貯料时必须力求做到:1)消除在第一期植物細胞呼吸作用所引起的損失及 2)在第三期刺激產生乳酸以防發展到第五期。

如果对青貯物質施行部分机械作用,或者采用补充无机酸或其混合物(例如A. I. V. ①混合物)的方法使好气性及嫌气性的呼吸作用能够中止,第一个問題就可解决;在后一情况下,其效果也是局部的,但是很大。机械作用是使植物細胞好气性呼吸作用中止,在裝填青貯窖时把所裝各層新鮮材料逐次踏实;以后出現的嫌气性呼吸不会引起象好气性那样大的損失(見第四章)。Rushmann氏(1940)及其他学者指出,夯实青貯物質对青貯料的品質有良好影响,但是在青貯飼料的品質及其夯实程度之間并无直接关連,特别是夯实过度时。

埋藏青貯料时也应采取措施解决第二个問題,即用直接或間接的办法保証达到必需的乳酸發酵。如果將材料切碎或將其揉

① A. I. V. 混合物及青貯料是以此种青貯法的提出者 A. I. Virtanen 教授的名字而命名——俄文版編者注。

軟，特別是富有蛋白質的材料，那麼它就更加緊密，而細胞液就被榨出并受到乳酸細菌的影響。因而在微生物的新陳代謝中，將更充分地利用碳水化合物及其他營養物質，如氨基酸及維生素。如果富有蛋白質的材料不切碎，那麼應在青綠物質中補充糖漿。補充糖漿能得到與切碎材料同樣的效果。也可採用補充無機酸的間接方法來解決所研究的第二個問題；雖然在這種情況下乳酸醱酵局部遲緩(Virtanen 氏, 1939)，但是其他不適宜形式的醱酵却被制止了。

綜上所述可以得出結論，簡單青貯方法的各種變化，是為了減少細胞呼吸作用所引起的營養物質的損失，除了人工酸化以外，也在於加強乳酸醱酵。雖然，青貯時營養物質可能損失的一切原因將在第四章里予以詳細研究，但是在本章里簡要地介紹一些抑制呼吸作用和加強乳酸醱酵所採用的各種方法還是合理的。

鑒於本問題具有豐富參考文獻，同時因為對所採用的方法要提出不同的要求，為了便於研究這些方法起見，可分類如下：

- (1) 青綠物質的預先加工(曬干或切碎)；
- (2) 溫度的調節；
- *(3) 補充碳水化合物(糖漿，馬鈴薯)；
- (4) 補充酸或酸的混合物(例如 A. I. V. 混合物或 Virtanen 制劑)；
- (5) 補充各種物質(乳清，食鹽)。

應該指出，第四及第五類方法不僅用於遏止細胞呼吸作用，而且用於消毒青綠物質，然而其中沒有任何一類在任何情況下能獲得完滿的效果。

二、青綠物質的預先加工

根據實驗室的和在生產情況下的各種試驗，都証實青貯時切碎青綠物質能得到較好的效果。人們把青綠物質在低溫下切碎，但

推廣本方法的唯一障礙是價值高昂的切碎設備和巨大的附加工資。被認為優秀青貯專家的 Kirsch 氏(1933)証實,如果把青綠物質切碎,保證其相當程度的壓緊從而抑制細胞呼吸作用,那麼為了過分防備而補充各種物質,在許多情況下是完全多餘的。

Grasemann 氏及 Heinzl 氏(1949)指出,在切碎的青綠物質中形成乳酸比未切碎的要快得多(表 2)。

表 2 青綠物質切碎對青貯料形成乳酸的作用

延 續 時 間(小 時)	乳 酸 含 量* %	
	切碎原料中%	未 切 碎 原 料 中 %
0	0.1	0.1
36	1.4	0.2
240	1.6	0.8
720	1.6	1.8

* 百分率是按新鮮材料的重量計算

然而這些作者與其他大多數研究者相反,在總結時得出的結論,並未證明必須切碎青綠物質。

根據一系列試驗室試驗的結果, Gneist 氏(1944)認為壓碎青綠物質比切碎者產生的效果好,並証實用壓碎物質製造的青貯料中的粗蛋白質含量較未用此種方式加工的對照物質中多 20~25%。De Man 氏(1952)也持同樣意見。這些研究者結論的真實性已為本書著者在青貯試驗工作中充分証實。

Stirling 氏(1951)所進行的試驗證明,在埋入試驗室青貯裝置前將牧草切碎,以後所引起的細菌發育較未切碎的對照的青貯料更加強烈。然而在同一青貯期間,在新鮮牧草中細菌發育比在已凋萎的牧草中更加強烈(圖 1 及圖 2)。Nash 氏(1951)証實,雖然用特種設備搗碎植物能得到適宜青貯的材料,但是用這種方法製備的青貯料,其品質並不比用別種方法製備者為佳。

材料晾乾是一個有爭論的問題。注意到上述有關干草在刈草

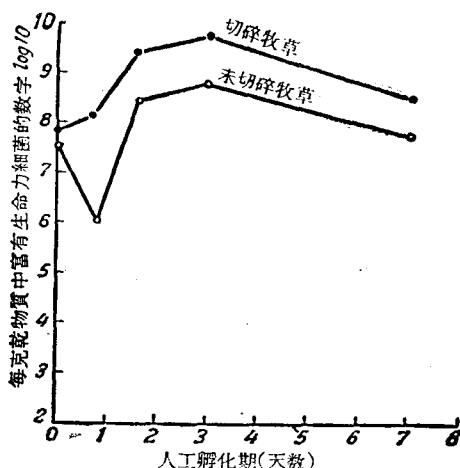


圖 1 浸漬对切碎及未切碎牧草中微生物發育的影响
(根据 Stirling 的資料)

圖表是用計算帶有琼脂的番茄蛋白胨提出物中菌落的方法(在为期5天和温度30°C的情况下)所獲得的資料而編成的。这种提出物是每天用實驗室设备中的青貯料提出物來接种的。

場干燥时营养物質的損失,似可認為不宜把刈割备作青貯料的牧草在其埋藏前晾干。虽然晾干不象制备干草时天然干燥牧草的过程占据那么多的時間,即使呼吸消耗并不較干燥过程的消耗为大,但是营养物質的損失还是相当大。另一方面,这一过程并不决定于气候条件是青貯的优点之一,但是在适宜晾干的条件下則不复如此。虽然如此,Woodward氏(1944)証实,要使材料含水量达到約相等于60%的需要量,在适度干燥气候下僅2小时就足够。但是这位作者也認為切碎材料是制备青貯料的适当方法。Wilson氏(1948)在研究使用苜蓿和其他豆科植物时發現,晾干并不能引起青貯物質中易于醱酵的碳水化合物任何顯著的增加。

顯然,这两种过程(晾干和切碎青綠物質)有根本的區別,虽然切碎物質中流出液汁的損失要比晾干材料大得多,然而在許多情況下与用晾干材料制备青貯料因过热所引起的損失比較并不算

大,对这一点是无可置疑的。

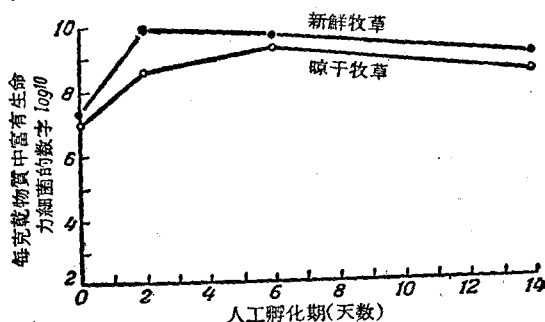


圖 2 晾干对于切碎或未切碎牧草中微生物發育的影响
(根据 Stirling 氏的資料)

圖表是用計算帶有琼脂的番茄蛋白胨提出物中菌落的方法(在为期 5 天和温度 30°C 的情况下)所獲得的資料而編成的。这种提出物是每天用實驗室設備中的青貯料提出物來接種的。

三、溫度的調節

正如下面所指出,青綠物質的温度可以人工調節,可是在青貯时采用其他压紧材料的方法可使其有相当大的变化。潮湿的切碎或压碎的物质变得很紧密,因而其中温度升到稍高于 20°C 。用这种方法所獲得的青貯料,細胞呼吸作用在上述温度下終止,即大家所知道的“冷青貯料”(Cold fermentation silage)。有些研究家確認这种青貯料含有大量丁酸,然而本書作者用这种方法進行一系列青貯試驗时,获得了品質优良和具有高度可消化性的飼料。

如果材料压紧得不很紧实,但还压得相当好,那么得到的是“輕微醱酵的青貯料”,特別是青貯物質稍微潮湿的时候。这种青貯料含有一些空气,其温度高达 20°C 以上,但不到 30°C 。

在輕微压紧的莖叶物質中有許多空气;这种物質發热后,而在本身重量的負荷下压紧起來,形成芳香飼料,然而由于細胞呼吸作用而損失大量营养物質。在这种飼料中蛋白質可消化率大大降低

(見第三章“垛中青貯法”一節)。这种醱酵形式叫做“热青貯法”(Warm fermentation process),其温度达 50°C 。

曾試圖用电气、蒸汽或热空气对新鮮青貯材料人工加热。許多作者証明了这些方法的优点,但是与更簡單的更便宜的公認的方法比較,其中任何一种未必是生產青貯料更完善的方法。用人工把青貯物質加热,在目前僅具有歷史意义。

四、 在青貯飼料中补充碳水化合物

对含高量蛋白質的青貯物質(特別当其为切碎者)补充对乳酸細菌易于利用的碳水化合物則为其活动創造有利的基質。例如在青貯沒有补充物难于青貯的苜蓿时,补充碳水化合物是适当的。为此目的往往采用糖漿。应以橡皮管、噴射器或普通噴壺按每噸青貯料补充 $9\sim 18$ 公斤糖漿水溶液。糖漿加水应适宜,而且要注意在青貯物質中分布均匀,否則在青貯物質中將留下未經处理的材料而使青貯料品質不一律。

有关应用糖漿的参考文献很多,其中也有不能令人置信的著作,然而对含高量蛋白質象大豆这样的材料加工使用糖漿是毫無疑問的(Elting氏,1935)。Johnson氏等(1940)証明用糖漿加工苜蓿的青貯料,在品質和一般性質方面与酸化情况下所获得者很少区别。Brown氏及Heaney氏(1951)用試驗的方法發現,用糖漿加工的和未用糖漿加工的青貯料,在可消化率方面的差別并不大,后者稍为低些。Olson氏(1951)証实,糖用甜菜渣青貯料只有青貯时在其中补充糖漿才有利。

煮熟的或新鮮的馬鈴薯早就廣泛地被用作补充碳水化合物的來源。如果馬鈴薯未煮熟,在埋藏青貯料时应將其切碎或搗碎,并均匀地补充于青綠物質。老的方法是把馬鈴薯和青貯料逐層交替分置,但是把切碎的馬鈴薯与青貯料更均匀地摻合在一起能產生更好的效果。Gneist氏指出在苜蓿中补充馬鈴薯的一些优点,但