

我国饲用草产品加工技术的现状及展望

钟瑾^{1,3*}, 倪奎奎¹, 杨军香⁴, 玉柱², 陶勇^{1,3}

1. 中国科学院微生物研究所, 国家微生物资源前期开发重点实验室, 北京 100101;

2. 中国农业大学动物科技学院草业科学系, 北京 100193;

3. 中国科学院大学生命科学学院, 北京 100049;

4. 全国畜牧总站, 北京 100125

* 联系人, E-mail: zhongj@im.ac.cn

2017-11-09 收稿, 2017-12-12 修回, 2017-12-13 接受, 2018-01-16 网络版发表

中国科学院科技服务网络计划重点项目(KFJ-STZ-ZDTP-004)、中国科学院重点部署项目(KFZD-SW-101)和公益性行业(农业)科研专项(201503134)资助

摘要 近年来, 随着人民生活水平的快速提高, 我国对畜产品的需求不断增加, 同时也引发我国饲草尤其是优质饲草供应不足的问题. 饲用草产品加工是整个草牧业链条中连接草种植业和畜养殖业的桥梁, 通过对饲草原料加工调制, 可以改变原先饲草的体积和理化性质, 便于饲草贮藏、运输和动物采食, 减少资源浪费, 保证饲草均衡供应. 先进的饲用草产品加工技术还可进一步提升饲草品质, 有力促进现代草牧业的健康快速发展. 本文从饲用草产品加工特别是青贮加工技术的概念、加工技术的应用并结合国内外研究现状, 系统阐述饲用草产品加工技术的研究进展及未来研究方向, 为饲用草产品加工的进一步升级提供理论指导.

关键词 草牧业, 饲用草产品加工, 青贮饲料, 青贮添加剂

我国草地面积占国土面积的42%, 是畜牧业生产的物质基础. 2015年中央“一号文件”明确提出加快发展草牧业, 支持青贮玉米和苜蓿等饲草的种植. 随着我国食物结构的调整, 动物性食物需求迅速增加, 饲料不足及成本居高不下等问题日益突出^[1]. 将牧草开发成一系列饲用草产品, 如青贮饲料等, 将不仅有助于提高牧草价值和农业结构的调整, 而且有利于整个草产业的升级. 饲用草产品加工是以牧草、作物和农副产品为原料, 进一步调制而成草产品. 在畜牧业发展中充分利用并推广草产品, 不仅可以充分解决我国夏秋季节牧草供应过剩、冬春季节青饲料供应不足的矛盾, 而且显著提高畜产品的产量与质量, 同时对建立良好的生态环境也起到重要的推动作用.

虽然近年来我国草产品在加工方面取得了较大的进展, 但与发达国家相比还有很大的差距和提升

空间. 首先, 我国牧草的种植和收割比较粗放, 相关的技术研究缺乏系统化, 尤其是饲用草产品加工技术还相对落后, 先进的饲用草产品加工技术没有得到规模化应用, 直接导致我国饲用草产品质量低, 市场竞争力弱. 其次, 我国牧草收割加工机械设备严重依赖进口, 其高昂的价格限制草产品的机械化生产和企业的投资兴趣. 最后, 我国牧草种植区域广且分散, 不同地域气候环境差异较大, 而目前我国缺乏草牧业相关的宏观技术指导对草产品的合理布局影响深远.

草牧业概念的提出, 明确了草业与牧业的紧密联系, 而饲用草产品加工正是草业与牧业的纽带与桥梁. 大力发展先进的饲用草产品加工技术, 不仅可以满足我国畜牧业发展的巨大需求, 也可以缩短我国与发达国家之间的差距, 减少对国外饲用草产品

引用格式: 钟瑾, 倪奎奎, 杨军香, 等. 我国饲用草产品加工技术的现状及展望. 科学通报, 2018, 63: 1677–1685

Zhong J, Ni K K, Yang J X, et al. The present situation and prospect of the processing technology of forage grass in China (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63: 1677–1685, doi: 10.1360/N972017-01168

的依赖.

1 草产品加工的概念

草产品概念有狭义和广义之分. 狭义草产品指仅用于动物饲喂的饲草类产品, 包含天然草地和人工草地的牧草、饲料作物以及农副产品, 如苜蓿、羊草、多花黑麦草、狗尾草、玉米、高粱、燕麦以及蔬菜废弃物等. 广义的草产品除了包括狭义的草产品外, 还包括药用草产品、绿化用草产品、工业用草产品、食用草产品等^[1]. 本文主要讨论狭义草产品.

饲用草产品加工是指以牧草、作物和农副产品为原料, 通过物理、化学或生物的加工方法, 调制成本草(青干草、草捆)、成型草(草颗粒、草块)和青贮饲料(半干青贮、高水分青贮、全混合日粮青贮)等多种形式, 可方便用于商品流通. 饲用草产品加工是饲草从原料到产品, 从分散生产到社会化生产的重要环节. 目前在商业饲用草产品中, 各类饲用草产品所占比例分别为青贮49.77%, 草捆33.40%, 草颗粒5.55%, 草块4.91%, 其他6.37%, 其中青贮饲料所占的比例逐年增加^[2].

饲用草产品加工在发达国家已经形成了比较成熟且规模较大的产业体系. 我国虽然起步晚, 但是发展速度快, 具有广阔的前景.

2 青贮加工技术的应用研究

青贮是将新鲜植物切断压实在窖、塔等贮存器中, 形成厌氧密闭的发酵环境, 乳酸菌利用原料中的可溶性糖生成以乳酸为主的有机酸, 降低pH, 抑制酵母等有害微生物的活动, 从而达到长期保存的目的^[3]. 青贮饲料在美国等畜牧业发达的国家, 已经成为优质粗饲供给的核心和饲喂草食动物重要的粗饲料. 经过近几十年的研究, 青贮饲料已经在原料机械收获、自动化操作、青贮添加剂等各个环节, 以及不

同处理对青贮发酵品质、发酵微生物和营养品质的影响, 都有着广泛深入的研究^[3]. 我国虽然在青贮加工技术研究和应用方面起步较晚, 但发展迅速. 特别是在最近10年, 我国对优质安全畜产品的大量需求不断增大, 迫切要求我国必须重视青贮饲料的推广与应用^[3]. 目前, 我国青贮加工技术研究的主要对象是围绕着全株玉米、苜蓿、羊草、燕麦等主要饲草, 同时也包括水葫芦、甘蔗尾叶、香蕉尾叶和蔬菜残渣等具有地域特色的农业副产物. 青贮加工技术研究的重点是如何通过制作工艺改良和添加剂使用, 尤其是微生物添加剂, 来抑制在青贮厌氧发酵过程中梭菌、酵母等有害菌的生长, 减少蛋白质等营养物质的损失, 以此来改善青贮产品的质量^[4].

2.1 青贮添加剂

2.1.1 生物添加剂

生物添加剂主要包括微生物添加剂和酶制剂, 因其具有操作安全、不损伤机械、对人和环境无害等优点, 引起众多科研人员和企业的浓厚兴趣^[5], 目前它们已被广泛应用于各类饲草的青贮生产, 占据市售青贮添加剂的主流地位.

(i) 微生物添加剂. 青贮饲料中添加乳酸菌接种剂, 使乳酸菌(特别是乳杆菌*Lactobacilli*, 如图1)在青贮发酵起始阶段就占据主导优势地位, 调控以乳酸或乙酸为主的发酵模式, 快速降低pH, 抑制有害菌的生长, 减少蛋白等营养物质的损失. 乳酸菌添加剂按照发酵类型主要可分为两种: 同型发酵乳酸菌和异型发酵乳酸菌. 同型发酵乳酸菌主要包括*Lactobacillus* (*L.*) *plantarum*, *Pediococcus*和*Lactococcus*等, 可快速产生乳酸, 使pH迅速降至4.0以下, 抑制糖和蛋白质的降解^[6]. 异型发酵乳酸菌主要有*L. buchneri*和*L. brevis*等, 它们可同时产生乳酸和乙酸, 虽然相比同型发酵乳酸菌产酸速度较慢, 但在有氧阶段可有效

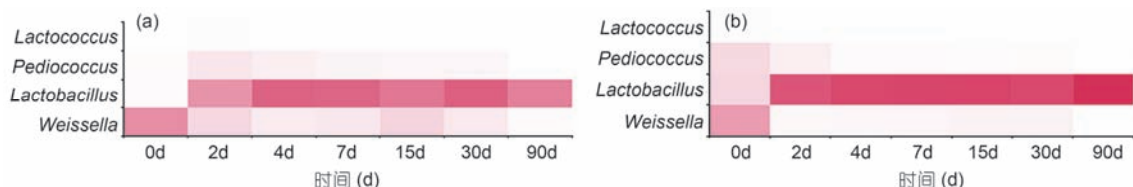


图1 全株玉米青贮发酵过程中乳酸菌数量变化趋势. (a) 对照组, 无任何添加; (b) 加菌组, 添加微生物复合菌剂组(*L. plantarum*和*Pediococcus pentosaceus*)

Figure 1 The change of lactic acid bacteria in the ensiling process of whole crop corn. (a) Control, without any additive; (b) inoculant group, added with microbial inoculant (*L. plantarum* and *Pediococcus pentosaceus*)

抑制酵母和霉菌等有害菌的生长,改善青贮的有氧稳定性。微生物添加剂通常是包含1种或多种乳酸菌组成的复合菌剂。乳酸菌复合菌剂具有潜在的协同作用,例如将*Lactobacillus*和*Pediococcus*组合在一起,*Pediococcus*能够在发酵初期创造厌氧环境,*Lactobacillus*具有较强的耐酸性,有利于在发酵后期进一步创造酸性环境。

如何抑制青贮有氧阶段有害真菌的生长,依然是当前研究的难点和热点。虽然同型发酵乳酸菌能够在青贮厌氧阶段大量产生乳酸,但在有氧阶段有效抑制真菌生长的功能有限。有接近三分之一的相关文献表明只接种同型发酵乳酸菌甚至加速了青贮饲料的有氧变败。异型发酵乳酸菌,特别是*L. buchneri*,能够利用可溶性糖和乳酸产生乙酸和丙酸,抑制真菌的生长,从而改善有氧稳定性^[7,8]。虽然*L. buchneri*已被广泛应用于全株玉米和牧草等多种青贮饲料有氧稳定性的改善,但也并非完美无暇。首先是生长速度慢,*L. buchneri*需要在厌氧条件下生长50 d左右才能最终有效改善青贮有氧稳定性;其次是异型发酵菌产生大量的乙酸会导致青贮饲料能量损失过大,适口性降低。因此,找到一种能够在一到两周内快速有效提高青贮饲料有氧稳定的异型发酵菌株或者既能以乳酸发酵为主又能抗青贮有氧变败的同型发酵菌株将会有十分重要的意义。在食品工业中,经过长期研究发现一些乳酸菌(如同型发酵菌*L. plantarum*)除产生有机酸外,也能产生肽类及脂肪酸等抗真菌类细菌素类物质,这就为发现同型发酵抗变败乳酸菌提供了可能^[9]。

除乳酸菌外,一些其他种类微生物也可被用作青贮添加剂,主要用于改善青贮饲料有氧稳定性。例如,丙酸菌(*Propionibacteria*)可以将乳酸和葡萄糖转化为乙酸和丙酸,相比乳酸具有更强的抑制真菌的能力。有学者研究将*Propionibacteria shermanii*添加到高水分玉米青贮饲料中,发现即使玉米青贮饲料pH在4.5以上,*Propionibacteria shermanii*依然能够有效抑制真菌的生长^[10]。

为了能够主导青贮发酵,微生物添加剂的添加量通常限定在 $10^5 \sim 10^6$ cfu (菌落形成单位, colony forming unit)/g。当微生物接种剂超出 10^6 cfu/g时,不仅不能有效提升青贮发酵品质,而且增加青贮制作成本,不符合经济效益^[11]。

市售乳酸菌添加剂多是粉末或颗粒状,复配时

需要量添加一些营养剂如磷酸钙、脱脂牛奶、微量元素和蔗糖等。添加剂使用时,需与一定量的生理盐水搅拌均匀,喷洒时可采用手动或自动机械。如果生理盐水浓度超过2.0 ppm,可能会降低添加剂的活性。此外,24或48 h内未被使用或未被使用完毕的微生物菌液需谨慎利用,因为此时菌剂的活性可能已经下降,无法达到起始菌剂的浓度。青贮菌剂最好在原料切割时喷洒,不仅能最大限度增加微生物与发酵底物互作时间,而且利于青贮菌剂在大型青贮窖内的均匀分布。有报道称,青贮菌剂在用于干物质(>45%)含量较高的青贮饲料中,应以液体形式进行添加,这不仅可以在一定程度上缓解原料中水分不足的问题,而且菌液自身的水分有利于微生物生长,加速发酵进程^[12]。

青贮菌剂贮藏环境的优劣对微生物活性也有重要的影响。有些菌剂需冷藏或冷冻保存,有些需存放在阴凉、干燥的地方即可,因为水、光照和氧气等会降低青贮菌剂的微生物活性。此外,开袋之后的菌剂产品,尽量一次或当季使用完毕。

(ii) 酶制剂。添加酶制剂有助于改善青贮饲料营养物质消化率和动物生产性能,同时减少动物粪污的排出。淀粉酶和纤维素酶能将植物中的淀粉和纤维降解为糖,为青贮发酵微生物提供底物,加速产生乳酸和降低pH,抑制蛋白质分解。Ni等人^[13]研究发现,将乳酸菌和纤维素酶组合添加比单独添加乳酸菌或酶对小麦秸秆青贮品质的改善效果更好,原因可能是组合添加使因纤维降解产生的糖分能被青贮菌剂快速有效利用。酶制剂在青贮饲料中的效果受到多种因素影响,如原料的种类、青贮的温度和pH等,大部分酶制剂在pH 4.5~5.0和45~50℃条件下具有最高活性。

虽然近些年我国在酶制剂的研发和应用上有一定的进展,但酶制剂在青贮饲料上的应用并不普遍,主要原因是:一方面商业酶制剂的研究尚处于中初级阶段,还没有能够开发出商业高产菌株;另一方面高昂的生产成本阻碍了酶制剂的规模化应用。降低纤维素酶生产成本成为目前一个难点,而利用工农业生产废弃物作为发酵底物与真菌高效固态发酵相结合,可用于青贮酶制剂的生产并有效降低成本。如2015年,韩国科学家从白蚁中分离到一株能够生产较高纤维素酶的酵母菌并将其添加到稻秸青贮饲料中,发现添加此酵母菌能够改善青贮发酵品质。与对

照组相比,纤维素降解率提高了近16%,这或许可替代价格昂贵的纤维素酶制剂应用于青贮或黄贮^[14]。另有研究发现将复合酶制剂添加到青贮饲料中比单独添加某一种酶效果更好,原因可能是复合酶之间的协同效应能降解多种纤维包括一些非水溶纤维,因此复合酶制剂应是未来发展的方向^[15]。此外,不同植物具有不同纤维结构组成,若能根据不同植物纤维结构和青贮环境特性,有针对性地研发青贮酶制剂将会大大提高纤维降解效率。

2.1.2 农业副产物

(i) 糖蜜。糖蜜是蔗糖制造业的副产物,含糖量较高,一般在40%~50%。在针对低糖分牧草的青贮时,添加糖蜜可增加乳酸菌发酵所需底物,有效促进乳酸发酵,抑制有害菌生长,减少蛋白质损失。Woolford认为,仅提供外源糖还不足以保证乳酸菌在青贮菌群竞争时占据绝对优势,最好与青贮菌剂组合添加^[16]。总体而言,添加糖蜜不仅有助于青贮饲料保存,同时也利于提高动物采食率,但添加量需依据青贮原料的特性,如对于高水分和含糖量低的牧草,糖蜜的添加量可适当提高至4%~5%。糖蜜黏稠度高,难以直接利用,因此可与温水混匀稀释后喷洒使用,并尽量减少作业渗漏损失^[17]。

(ii) 淀粉。淀粉是否可以作为一种有效的青贮发酵底物被乳酸菌利用一直存在争议。在研究将含有90%淀粉的大麦添加到黑麦草中时,发现对青贮品质的提高并不是来自于淀粉的水解,而是大麦中含有的 β -葡聚糖^[18]。另有研究按4%糖蜜和15%米糠单独或组合添加到象草(*Pennisetum purpureum* Schum)中,结果显示糖蜜和米糠组合使用相比单独添加不仅能改善青贮发酵品质而且增加羊的采食率^[19]。在不同的试验中,使用淀粉作为发酵促进物的效果存在较大差异,还需更深入的研究来阐明其作用机理。

2.1.3 发酵抑制剂

发酵抑制剂主要包括有机酸和无机酸。有机酸主要有甲酸、乙酸、丙酸和苯甲酸;无机酸主要有硫酸、盐酸、磷酸等。发酵抑制剂的主要作用是降低青贮pH,抑制植物呼吸和梭菌生长,直接形成利于乳酸菌生长的环境,从而延长贮藏时间,获得优质青贮饲料。但酸对人、动物和机械具有腐蚀性,对动物有潜在毒性,通常可通过添加碳酸钙调节。综合国内外研究,发酵抑制剂种类选择和添加量在不同青贮原料中有所差异。

(i) 有机酸。甲酸又名蚁酸,是有机酸中酸性最强的酸和最常用的一种青贮发酵抑制剂。其作用机制是产生氢离子的作用和非游离酸对细菌的选择作用,能够有效抑制梭菌、芽孢杆菌和革兰氏阴性菌,也有研究表明甲酸对乳酸菌生长也有一定的抑制作用。甲酸的添加量随着青贮原料的种类、生育期、干物质含量不同而变化。杨富裕等人^[20]添加甲酸到红麻青贮饲料中,可显著降低了氨态氮含量增加,减少了干物质损失,但由于甲酸酸性强,商业上一般采用其复合盐。

丙酸虽然比甲酸和无机酸酸性弱,但在挥发性脂肪酸中,丙酸抑制真菌生长的效果最好,被广泛应用于改善青贮饲料的有氧稳定性。随着青贮pH的降低,丙酸对酵母和霉菌的抑制效果增加,尤其适合应用于玉米等酸性环境较强的青贮饲料中。虽然丙酸对真菌等有害微生物抑制能力较强,但添加过多同样会抑制乳酸菌等有益微生物的活动。因此,丙酸的添加量应依据青贮原料的含水率、贮藏时间和贮存形式等而调整。例如,高水分比低水分青贮饲料需要更多丙酸来抑制真菌;高水分玉米青贮饲料贮藏1和6个月,丙酸添加比例分别为0.1%和0.5%^[21]。对于玉米青贮,丙酸的添加量在一个较低的水平即可(0.2%~0.5%),这既能抑制真菌改善有氧稳定性,也不会影响乳酸菌的发酵。市售发酵抑制剂大都是多种发酵抑制剂的混合物(苯甲酸、山梨酸、柠檬酸等),但丙酸通常是主要成分。

(ii) 无机酸。在20世纪,无机酸被提出应用于饲料保存,因其具有强酸性,可有效抑制大肠杆菌和梭菌生长。但由于无机酸对青贮容器具有腐蚀性,且大量无机酸的使用会导致反刍动物体内酸碱平衡失调,采食量降低,生产性能下降,故目前使用不多。

2.1.4 营养性添加剂

营养性添加剂是指为满足特殊需要而加入饲料中的少量或微量营养性或非营养性物质,其加入青贮饲料后能够明显改善青贮饲料营养均衡。氮是最为常用的一种添加剂,其主要作用为:增加氮源(经微生物作用形成菌体蛋白);改善有氧稳定性;预防青贮过程中发热现象;减少蛋白质降解。一般先将氨溶于水后再使用,但对于干物质大于45%的青贮原料,不适合添加氨,因为氨不能与原料紧密结合到一起,易导致青贮窖或青贮包不同部位营养品质不均匀。据报道,青贮原料水分为70%左右时,加入营养

型添加剂效果最佳。此外,为使青贮饲料营养全面,维生素作为补充饲料也被用于青贮饲料中^[22]。

2.2 青贮加工技术

青贮制作的一般流程为:确立青贮方式,清理青贮设施,如窖贮或裹包青贮;适时收割与运输,如苜蓿在现蕾期到初花期收割,青贮玉米在乳熟期到蜡熟期间收割;装填,压实,密封。随着我国对青贮饲料需求量逐年增加,青贮饲料的生产制作规模也越来越大,因此必须具有与之相匹配的青贮机械。青贮收割机主要有自走式青贮收割机、背负式青贮收割机和牵引式青贮收割机等。自走式青贮收割机可将收割、切碎同步进行,因其工作效率高,可用于大型收割场地,是非常理想的收割切碎机;背负式青贮收割机一般是由拖拉机动力输出轴驱动,但受到拖拉机配套设施的限制,作业效率较低;牵引式青贮收割机是由拖拉机或地轮动力输出轴驱动,作业时由拖拉机牵引收获机再牵引果穗收集车,由于配置过长,转弯、行走不便,主要应用在大型农场。目前,青贮切碎机种类较多,普遍造价较低,但使用时存在安全隐患,需设置安全警示标志。青贮制作过程中,需要将切碎的青贮原料切碎后压实,一般用重型拖拉机或铲车压实,实践表明四轮拖拉机压实效果好,但需注意青贮窖边角位置的压实。拉伸膜裹包青贮是一种比较新的技术,在欧美国家已经比较普及,我国最近也开始了此技术的推广应用。

2.3 青贮品质检测技术

青贮品质的检测一般分为感官鉴定法和实验室鉴定法。感官鉴定法是根据青贮料的颜色、气味、口味、质地等指标来评定品质好坏的方法,该方法简单迅速。实验室鉴定法包含pH、有机酸含量、化学成分、微生物种类和数量等。pH和有机酸是衡量青贮品质好坏的重要指标之一,优质青贮饲料的pH在4.2以下,有机酸以乳酸为主。化学成分主要包含粗蛋白、粗脂肪、氨态氮、酸性和中性洗涤纤维。其中,氨态氮与总氮的比值反映出青贮饲料中蛋白质和氨基酸的分解程度,比值越大,青贮品质就越差。微生物检测有培养法和非培养法,非培养法具有快速准确的特点已被用于青贮饲料微生物检验,如目前较为流行的高通量检测,能够最大限度的反映出青贮饲料微生物菌群的丰度。

目前,我国学者对青贮饲料理化指标常见的评价体系有V-Score评分标准、Kaiser评分标准及农业部1996年试行标准,但总体来说,并没有形成统一的标准,很难开展横向和纵向的评定比较,因此有必要针对不同原料建立自己的青贮饲料质量评定标准体系。

3 干草加工技术的应用研究

干草调制是把天然草地或人工种植的牧草和饲草进行适时收割、晾晒和贮藏的过程,干草加工研究主要围绕着干草添加剂和打捆技术等展开。

3.1 干草添加剂

为了获得高品质干草产品,多种添加剂被应用于干草保存,干草添加剂主要包含3类:化学添加剂、生物添加剂和天然添加剂。

化学添加剂种类多样,目前应用最为广泛,效果也最为显著,主要用于干草的快速干燥和干草防霉。干燥剂主要由碳酸钾或碳酸钠、硅酸钠和柠檬酸组成,有利于苜蓿等牧草茎叶水分的散失,加快干燥速率。化学防霉剂又可分为有机酸和有机盐。有机酸主要是乙酸、丙酸或复合酸剂。其中,丙酸对抑制高水分干草中霉菌生长和预防热害效果最为显著^[23]。有机盐能够在一定程度上减少有机酸的强酸性对机械和动物的损伤,但有机盐只有在转化为有机酸后才能发挥作用。二乙酸钠和无水氨是比较常用种类有机盐,可有效抑制霉菌等有害菌的活动,但无水氨在使用时,需在草捆外裹包一层塑料膜,防止其挥发。有些研究者向高水分干草中添加盐(NaCl)用于吸附干草中的水分从而抑制微生物的活动,然而目前关于盐的使用量、对干草适口性影响以及经济效益等相关研究较少,致使还没有在干草中推广应用^[24]。

生物添加剂主要有发酵产品、厌氧微生物接种剂和有氧微生物接种剂,但生物添加剂对干草中霉菌抑制效果有限且具有不稳定的特点,目前还未得到广泛应用。发酵产物主要是酶、微生物代谢产物或复合物,如嗜酸乳杆菌和植物乳杆菌的代谢产物与乳清、糖蜜、氨、酵母提取物的混合物,可预防干草热害和提高消化率,但在含水率超过25%的干草中效果不明显^[25]。厌氧微生物接种剂,主要有乳杆菌(*Lactobacilli*)、片球菌(*Pediococcus*)和链球菌(*Streptococcus*)等,但厌氧微生物接种剂对干草贮藏品质改善效果尚不明确,主要是由于厌氧微生物接

种剂需要严格的厌氧环境和一定的水分活度(大于0.95),这在干草制作中难以实现;需氧微生物如芽孢杆菌(*Bacillus pumilus*)能够适应苜蓿干草环境,可在有氧条件下抑制腐败微生物的生长^[26].

天然添加剂具有不破坏饲料营养成分、适口性和不危害动物健康等优点,且许多植物提取物能够有效抑制霉菌生长,已成为干草添加剂的研究热点,日益受到国内外干草生产行业的重视.在我国天然中草药添加剂最具有应用前景,目前研究较多的是柑橘皮、茴香、生姜和其他一些提取物,其中柑橘皮应用最为广泛.

干草添加剂的使用效果受到多种因素的影响,主要有喷洒器、干草含水率和贮藏环境.喷洒器设置校准是保证添加剂能够在干草中均匀分布的关键步骤,如喷嘴类型、喷嘴压力等;干草含水率是影响添加剂使用效果最为重要的因素,一般最高含水率不要超过35%,使用时需准确检测干草含水率,以确定需要添加的量;贮藏环境会影响干草中微生物活性,如下雨会改变干草中的微生物组成和可溶性碳水化合物的浸出,因此干草需根据当地特殊环境进行生产制作.

3.2 干草加工技术

干草调制时,人工快速干燥技术对原料水分散失的效果优于自然平摊晾晒法,且能减少营养物质的损耗.物理机械压扁技术能够破坏苜蓿茎秆的蜡质层和纤维素,使维管束暴露于空气中,加快水分散失,缩短干燥时间.为了进一步提高干燥效率,国外研究者还添加一些化学干燥剂如2% K_2CO_3 ,以促进水分渗透.在打捆贮藏阶段,若含水率在20%~30%时,草捆内部会发热,引发能量营养损失和霉菌等有害菌生长,降低品质.此外,在干草调制的最后,还要进行二次高密度打捆固定作业,使中等密度或出自捡拾压捆机的草捆进行二次压实打捆.二次高密度打捆缩小了草捆的体积、减少了贮存空间,方便运输和减少运输成本.

3.3 干草品质检测技术

干草品质检测分为外观特征和化学分析.外观特征主要包括颜色气味、叶片含量、牧草形态和病虫害几个方面初步对干草品质进行鉴定.以感官鉴定干草品质,每个国家都有自己的标准,中国目前尚未有统一标准.化学分析即营养物质成分分析,一般认

为干草品质应根据消化率及营养成分含量来评定,其中粗蛋白、酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维是干草品质的重要指标.

4 草颗粒加工技术的应用研究

根据加工原料的不同,草颗粒可以分为两种:一种是将玉米、棉花、稻草等秸秆压制成可以,成为纯草颗粒;另一种是以粉碎的秸秆为基础,根据草食动物不同生长阶段对营养的需求,添加精料或其他辅料,称混合草颗粒.在现代化饲草加工业中,草颗粒是最为重要的一种成型草产品,占到饲喂配合饲料的60%~70%.其中,混合饲料的加工,可按照不同动物饲喂的生长阶段进行营养组合配制,具有营养均衡、价格低廉和适宜于长期贮存的特点,已经成为颗粒加工的新增长点和发展趋势.当前草颗粒加工工艺存在含粉率高、硬度低、易破碎及表面粗糙等问题.我国草颗粒加工无论是产量还是质量都还不能满足市场的需求,生产水平与发达国家还有很大的差距.

4.1 草颗粒加工技术

草颗粒加工分为粉碎系统、混合系统和制粒系统3个核心系统,相对应的核心设备分别为粉碎机、混合机和制粒机.

粉碎的方法主要有击碎、磨碎、压碎和锯切碎.粉碎工艺与配料工艺有着紧密的关系,也是比较成熟的工艺.按组合形式可分为先粉碎后配料和先配料后粉碎两种工艺,目前多采用先粉碎后配料的工艺流程.对于长度较长或者质地较硬的原料,还需二次粉碎.

混合是饲料生产中将配合后的各种物料,在外力作用下将各种物料互相参合,在容器里各种组分的微粒均匀分布的过程.混合机主要包括叶带卧式螺旋混合机、双轴桨叶式高效混合机、分批立式混合机和连续式混合机.其中,叶带卧式螺旋混合机是目前饲料厂应用最多的一种分批式混合机,具有混合效率高、质量好和残留量少等优点.

制粒机根据压制模型可分为环模制粒机和平模制粒机,其中环模制粒机应用最为广泛.刚制粒成型的颗粒饲料温度高、水分大,还需要经过熟化、冷却、破碎、分级等一系列处理后才能成为合格的产品.

4.2 草颗粒质量检测技术

草颗粒品质检测还未形成统一的技术体系,目

前,检测的指标主要是物理特性和营养成分。物理特性主要是制粒密度、粒度和杂质含量;营养成分主要是粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和淀粉。

5 草粉加工技术的应用研究

与草颗粒类似,草粉也主要用于配合饲料,作为优质蛋白和维生素补充饲料。欧美许多国家都建立了大型专业化草粉生产工厂,如美国每年利用苜蓿制作草粉达到20万吨。草粉已被广泛用于动物的饲喂:优质的草粉可提高猪的生长速度,改善肉质,减少精料的使用;在蛋鸡中添加草粉可增强其抗应激能力,增加蛋重;在羊等反刍动物中可提高日增重。目前,我国草粉产业尚处于起步阶段,混合饲料中草粉所占比例较小。但是,我国饲草资源丰富,拥有多种富含高蛋白的优质牧草。当前草粉加工存在的主要问题是规模化程度低,原料供应质量不稳定,质量配检体系相对滞后。

5.1 草粉加工技术

加工优质草粉的原料,主要有紫花苜蓿、沙打旺、红豆草、红三叶和野生牧草等。草粉加工的一般工艺流程为:收割、切短、干燥和粉碎。其中,粉碎是草粉加工最为重要的一道工序,对草粉质量有着重要的影响。粉碎方式有击碎、磨碎、压碎和锯切碎,粉碎机种类有锤片式粉碎机、劲锤式粉碎机。草粉贮藏应干燥、避光、通风以及避免酸碱污染。

5.2 草粉质量检测技术

草粉质量检测首先应观察草粉感官性状如形状、色泽、气味和杂物,再次是分析营养成分如粗蛋白、粗脂肪、粗灰分、钙、磷和维生素等。

6 草产品加工技术展望

欧美国家在草产品加工各个环节均有较为深入的研究。我国草产品加工技术起步晚,但发展快。主要存在的问题是缺乏草产品加工和检测标准、机械化水平低和低损耗、延时贮藏工艺缺乏等。

6.1 制定饲用草产品标准化生产工艺和检测体系

牧草的产后收储大多采用传统的手工方式,导致牧草收割不及时,霉变、发黄的现象经常发生,失

去了其应有的营养价值,甚至对牲畜造成毒害。标准化生产是畜牧业健康稳定发展的保证。从饲用草产品加工原料的种植、收割时期、收割次数、留茬高度,到原料粉碎、混合、压制、贮藏等技术,并结合电脑智能化控制,制定标准化生产控制体系,不再是简单的工艺组合,而是向更为专业化的流水作业发展。

质量检测是保证草产品质量安全的重要手段。分析内容应从过去简单的营养指标向营养、加工和卫生指标相结合,以及分析手段逐渐向现场快速测定和实验室准确鉴定相结合的方向发展。

6.2 加快机械发展,适应不同种植地形

目前,我国草产品加工机械发展多是引进后再消化,自主研发水平较低,极大制约了草产品加工技术的推广和升级。再加上我国国情较为复杂,牧草面积有大有小,种植地形有平原有山区,且多在经济落后地区,限制了先进机械加工技术的应用。因此,应加快研制适应不同规模、不同地形的草产品加工机械,推动草产品加工机械化因地制宜有序开展。

6.3 高效青贮复合菌剂的研制及应用

根据种植牧草的种类不同和贮藏环境的特殊性等,探索饲草原料最佳的贮存及青贮加工方式。选育适于不同种类草料青贮加工的活力强、产酸高、稳定性好、耐低温、降解纤维素或具益生功能的微生物菌种,并研究其最佳的发酵生产工艺,研制及生产高效青贮微生物复合菌剂,并应用于高品质青贮饲料产品的加工。

6.4 开发多元草产品,满足不同需求

总体来看,我国草产品主要以草捆、草颗粒为主,青贮饲料正在逐步推广中,草产品结构单一,再加上加工工艺落后,导致我国草产品市场竞争力不足。因此,国家应针对草产品供应的季节限制性、地域不平衡性、营养不稳定性,合理的开发多类型、多元化的优质全价草产品、天然牧草青贮产品,开展青鲜草颗粒加工工艺、植物性添加物的研究,研发非常规饲草及饲草型混合日粮等。特别是应因地制宜,根据当地饲草原料以及需求特点,有针对性的开发相应的优质草产品,全面推进我国草产品加工水平。

参考文献

- 1 Jia Y S, Ge G T. Forage Products of the Northern China (in Chinese). Beijing: Science Press, 2013. 3–18, 65–98 [贾玉山, 格根图. 中国北方草产品. 北京: 科学出版社, 2013. 3–18, 65–98]
- 2 Holstein Grass. Statistical Yearbook of Grass in China (in Chinese). Beijing: Holstein, 2013. 5–20 [荷斯坦牧草. 中国牧草统计年鉴. 北京: 荷斯坦, 2013. 5–20]
- 3 Xu C C. Silage Science and Technology (in Chinese). Beijing: Science Press, 2013. 167–183 [徐春城. 现代青贮理论与技术. 北京: 科学出版社, 2013. 167–183]
- 4 Wang Y, Zhang Q, Yu Z. Research advances on organic chemical additives in silage (in Chinese). Chin J Animal Sci, 2014, (7): 93–97 [王雨, 张庆, 玉柱. 青贮中有机化学添加剂及其作用效果的研究进展. 中国畜牧杂志, 2014, (7): 93–97]
- 5 Bolsen K K, Bonilla D R, Huck G L, et al. Effect of a propionic acid bacterial inoculant on fermentation and aerobic stability of whole-plant corn silage. J Animal Sci, 1996, 74: 274
- 6 Wang Q, Yu C Q, Li Z H, et al. Effect of adding coenzyme and lactic acid bacteria on fermentation quality of mixed silages of tall fescue (*Festuca arundinacea*) and common vetch (*vicia sativa*) in Tibet (in Chinese). Acta Pratacult Sin, 2012, 4: 186–191 [王奇, 余成群, 李志华, 等. 添加酶和乳酸菌制剂对西藏苇状羊茅和箭筈豌豆混合青贮发酵品质的影响. 草业学报, 2012, 4: 186–191]
- 7 Kung L, Ranjit N K, Robinson J R, et al. The Effect of *Lactobacillusn buchneri* on the Fermentation and Aerobic Stability of Barley Silage. Proceedings of the 12th International Silage Conference, Uppsala, 5–7 July 1999. 272–273
- 8 Schmidt R J, Emara M, Kung L. The use of a quantitative real-time polymerase chain reaction assay for identification and enumeration of *Lactobacillus buchneri* in silages. J Appl Microbiol, 2008, 105: 920–929
- 9 Sttrom K, Sjogren J, Broberg A, et al. *Lactobacillus plantarum* MiLAB 393 produces the antifungal cyclic dipeptides cyclo and 3-phenyllactic acid. Appl Environ Microbiol, 2002, 68: 4322–4327
- 10 Filya I, Hanoglu H, Sucu E, et al. Ensiling Maize with Biological Additives in Large Containers. Proceedings of the 13th International Silage Conference, South Ayrshire, 11–13 September 2002. 194
- 11 Kung L A. Review on Silage Additives and Enzymes. Department of Animal and Food Sciences University of Delaware Newark, 2010, DE 19717–1303
- 12 Flores R O, Glatz B A, Bern C J, et al. Preservation of high moisture corn by microbial fermentation. J Food Prot, 1985, 48: 407–411
- 13 Ni K K, Wang Y P, Pang H L, et al. Effect of cellulase and lactic acid bacteria on fermentation quality and chemical composition of wheat straw silage. Am J Plant Sci, 2014, 13: 1877–1884
- 14 Lee S M, Guan L L, Eun J S, et al. The effect of anaerobic fungal inoculation on the fermentation characteristics of rice straw silages. J Appl Microbiol, 2015, 118: 565–573
- 15 Weinberg Z G, Muck R E. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. FEMS Microb Rev, 1996, 19: 53–68
- 16 Woolford M K. The Silage Fermentation. New York: Marcel Decker, 1984
- 17 Keady T W. A review of the effects of molasses treatment of unwilted grass at ensiling on silage fermentation, digestibility and intake, and on animal performance. Ir J Agric Food Res, 1996, 35: 141
- 18 Jones D J. The Effect of cereal incorporation on the fermentation of Spring- and Autumn-Cut silages in laboratory silos. Grass Forage Sci, 1988, 43: 167–172
- 19 Yokota H, Fujii Y, Ohshima M. Nutritional quality of Napier Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) silage supplemented with molasses and rice bran by goats. Asian-Australas J Animal Sci, 1988, 11: 697–701
- 20 Yang F Y, Zhou H, Han J G. The effect of formaldehyde additives on sweet clover silage Quality (in Chinese). Grassland China, 2004, 26: 39–56 [杨富裕, 周禾, 韩建国. 添加甲醛对草木樨青贮品质的影响. 中国草地, 2004, 26: 39–56]
- 21 Kung J R, Sheperd A C, Smagala A M. The effect of preservatives based on propionic acid on the fermentation and aerobic stability of corn silage and a total mixed ration. J Dairy Sci, 1998, 81: 1322–1330
- 22 Johnson C O, Huber J T, Bergen W G. Influence of ammonia treatment and time of ensiling on oroteolysis in corn silage. J Dairy Sci, 1982, 65: 1740–1747
- 23 Knapp W R, Holt D A, Lechtenberg V L. Propionic acid as a hay preservative. Agron J, 1976, 68: 120
- 24 Lacefield G D. Why Salt Hay? Hoard's Dairyman, 1987. 463
- 25 Rotz C A, Davis R J, Buckmaster D R. Bacteria inoculants for preservation of alfalfa hay. J Prod Agric, 1988, 4: 362
- 26 Tomes N J. Personal Conversation-Unpublished Data. Research Microbiologist, Microbial Genetics, West Des Moines, IA, 1989

Summary for “我国饲用草产品加工技术的现状及展望”

The present situation and prospect of the processing technology of forage grass in China

Jin Zhong^{1,3*}, Kuikui Ni¹, Junxiang Yang⁴, Zhu Yu² & Yong Tao^{1,3}

¹ Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

² Institute of Grassland Science, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

³ School of Life Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

⁴ The National Animal Husbandry Station, Beijing 100125, China

* Corresponding author, E-mail: zhongj@im.ac.cn

In recent years, with the rapid improvement of Chinese people's living standards, the demand of animal products is increasing greatly, which leads to significant shortage in supply of forage especially high-quality forage. The insufficient supply of forage especially high-quality feed blocks the further promotion of animal husbandry. In China, the area of grassland accounts for 42% of the total land area, which is critical for animal husbandry. However, a gap exists between grass and livestock. Grass products such as silage and hay, are the bridge connecting grass cultivation and animal husbandry. Besides, processing technology of grass products is able to solve the question that the excess utilization of the winter-spring pasture and the imbalance of forage grass with the livestock. Therefore, we proposed that grass products processing is the key factor of promoting the development of farming and animal husbandry, it can adjust the balance of grass supply of all years, and guarantee the modern development of animal husbandry. Although great improvement has already been obtained in the processing technology of grass products, the level still is quite low compared with developed countries. Firstly, there is a lack of systematic research related to processing technology, which directly causes the low quality of grass products and weak market competition. Secondly, the machinery equipment associated with forage harvesting and processing in our country are heavily dependent on imports, its high price limits the mechanized production of grass. The physical and chemical characteristics of grass can be improved through processing modulation of grasses, contributing to the efficiency of their storage, transportation and feeding. Of the many kinds of grass products, we highlighted the importance of silage and its additives. Additives are natural or industrial products added in rather large quantities to the forage or grain mass. Additives control or prevent certain types of fermentation, thus reducing losses and improving silage stability. In order to assist in the fermentation process, various silage additives have been used to improve the nutrient and energy recovery in silage, often with subsequent improvements in animal performance. The purpose for applying additives to the silage is to ensure that the growth of lactic bacteria predominates during the fermentation process, producing lactic acid in quantities high enough to ensure good silage. Therefore, this review is made to focus on some practical aspects of the fermentation process and the uses of some common silage additives that include microbial inoculants, enzymes, and propionic acid. Overall, we summarized the current research achievements and existing issues in the processing of grass products at home and abroad regarding concepts, significances, current situations, main theories and technologies in this review. By analyzing problems, we propose the concept of grass processing especially the silage processing technique, and provide a theoretical guidance for upgrading grass products in China, which we consider an important guidance significant for forage production with high quality in the future.

grass products processing, ensiling, additives, grass and animal husbandry

doi: 10.1360/N972017-01168