

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.047

苜蓿草干燥试验与收获工艺优化*

钱旺 杨世昆 刘贵林 王全喜 吴雅梅

(中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院, 呼和浩特 010010)

【摘要】 通过田间试验对苜蓿草干法收获工艺和湿法收获工艺进行了分析,研究了苜蓿草自然晾晒干燥速度特性;研究了苜蓿草在收获过程中营养成分变化和干物质损失规律;解决茎、叶干燥不同步问题和提高苜蓿草营养成分保有率的方法,可实现苜蓿草收获营养成分保有率在90%以上,干物质损失小于2%。

关键词: 苜蓿草 干燥 收获工艺 试验 优化

中图分类号: S233.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0231-04

Optimization on Harvesting Technology and Drying Experiment of Alfalfa

Qian Wang Yang Shikun Liu Guilin Wang Quanxi Wu Yamei

(Huhhot Branch, Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Huhhot 010010, China)

Abstract

The dry and wet harvesting technology of the hay and green grass was analyzed though experiments. Alfalfa drying rate of air drying was analyzed. Law of nutrition variation and dry matter loss was studied. The out-of-sync problem was resolved and nutrition retention rate was improved. The nutrition was up to 90% and dry matter loss was below 2%.

Key words Alfalfa, Dry, Harvesting technology, Experiment, Optimization

引言

我国牧草收获的传统工艺是牧草干法收获工艺,该工艺最大缺点是苜蓿草干物质损失大和营养成分保持率低。据统计,我国每年产草量大约在3亿t^[1],因此,探索苜蓿草收获新工艺是目前国内、外亟待解决的问题。本文以紫花苜蓿为研究对象,进行干燥试验并对其收获工艺进行优化。

1 牧草收获工艺分析

目前,我国主要牧区在制备干草的过程中,牧草干法收获工艺一直是我国牧草收获的主体工艺。现有的干法收获工艺大致可分为^[2]:传统的长散草收贮工艺,即割、搂、集、垛、运与露天堆垛贮存的收贮工艺;散干草收贮工艺,即割、搂、捡拾运输与露天堆垛加覆盖贮存的收贮工艺;方草捆(圆草捆)收贮工艺,即割、搂、捡拾压捆与运输贮存的收贮工艺。其

收获工艺的主要特点是:被刈割的牧草在田间晾晒到安全水分(17%)后进行加工处理及贮存。现行的牧草干法收贮工艺各个作业环节的损失是:收获及运输过程中苜蓿草损失率达25%~30%、取饲过程中损失5%、由于雨水冲刷和风吹日晒导致牧草变质而造成苜蓿草营养成分损失高达20%~30%。

2 材料与方法

2.1 试验区概况

试验地苜蓿草:品种是牧歌401+Z。该品种长度、产量、地形地貌及地块大小等在当地均具有代表性。

试验地点:经度:109°20'东,纬度:38°23'北,海拔:1300~1400m,全年日照时数:5850MJ/m²。位于内蒙古鄂尔多斯市乌审旗和白泥井。

试验时间:因苜蓿草在我国一年收获2~4茬,在鄂尔多斯市乌审旗、白泥井每年苜蓿收获3茬,

收稿日期:2012-07-05 修回日期:2012-08-02

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD35B03)

作者简介:钱旺,硕士生,主要从事牧草收获与加工及太阳能干燥研究,E-mail: qianwang0319@163.com

1 茬累计收获时间 45 d。

2.2 试验设计

2.2.1 试验仪器

试验仪器有：由中国农机院呼和浩特分院自行设计的干燥试验台^[3]（图 1）、干燥箱和风速仪等。

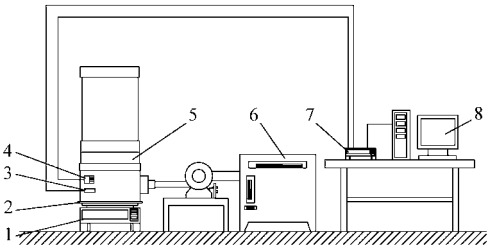


图 1 干燥试验台结构示意图

Fig.1 Schematic drawing of drying test-bed

1. 电子称量仪 2. 隔热板 3. 进口温度探头 4. 进口湿度探头
5. 干燥箱 6. 温控柜 7. 记录仪 8. 计算机

2.2.2 试验方法

利用试验台对苜蓿草破碎茎秆、未破碎茎秆和叶进行干燥试验；利用田间试验对传统工艺和新工艺在不同收获阶段做营养成分的试验。

(1) 牧草取样与分样

田间取样为了减小偶然事件，选择 S 型随机取点法。

(1) 在田间随机选择 5 点，每点划定 2.0 m² 面积，每小区内行距 50 cm，提取完整植株。记作样本 A、样本 B、样本 C、样本 D 和样本 E。

(2) 在样本 A 中再随机选取 4 份质量相同的牧草样本，记作 A1、A2、A3 和 A4。

(3) A1 样本作含水率的测定并得知样品烘干后质量、A2 样本在 A1 样本作含水率的测定的同时制作成营养成分测定所需的样本。

(4) 在田间晾晒过程中，称量 A3 样本质量并计算在含水率达到 40% 左右时制作营养成分测定样本，记录晾晒时间 *t*。

(5) 上同，称量样本质量并计算 A4 在含水率达到 17% 左右时制作营养成分测定样本，记录晾晒时间 *t*，重复试验样本 B、C、D、E。

(2) 品质检验

试验采用在花蕾期的紫花苜蓿。试验采用专用干燥箱将不同时段采集的苜蓿草进行含水率测定，按照草样制作要求迅速进行干燥处理。粉碎机粉碎后放入棕色广口瓶中密封保存，等待后期进行品质检验。粗蛋白按 GB/T 6432—1994 标准测定。粗脂肪按 GB/T 6433—2006 标准测定。粗纤维按 GB/T 6434—2006 标准测定。灰分按 GB/T 6438—2007 标准测定。胡萝卜素按《粮油籽粒品质及其分析技术》中的方法测定。含水率测定，随机取 5 个牧草

样本，作切碎处理，其长度为 15 mm。每个样本质量不少于 50 g，装入铝盒内，立即称量。在 130℃ 恒温下干燥 4 h，干燥到质量不再减小为止，然后取出放入干燥皿中冷却至常温，得牧草含水率为

$$H_c = \frac{W_{cs} - W_{cg}}{W_{cs}} \times 100\% \tag{1}$$

式中 W_{cs} ——样品干燥前质量，g
 W_{cg} ——样品干燥后质量，g

(3) 苜蓿草茎干干燥试验

将苜蓿分为 3 种情况准备试验样品：①未破碎茎秆长度为 6 cm。②破碎茎秆长度为 6 cm。③完整的花、叶。分别对破碎茎秆、未破碎茎秆和花叶进行干燥。

在恒温 47℃、恒速 0.8 m/s 时对叶进行干燥，取 0.4 kg 的叶均匀摊平在同一层、相同尺寸的 3 个筛上，试验开始后每隔 20 min 分别从 3 个小筛中取样 1 次，测定样品含水率，每次试验取得的点数为 16 个。对每次取出的 3 个样品测定的含水率取平均值。

分别对破碎茎秆及未破碎茎秆进行干燥，干燥条件为 47℃、0.8 m/s 试验时取质量相同的茎秆均匀摊平在 3 个尺寸相同的小筛上，试验开始后每 120 min 取样一次，干燥时间为 600 min，取点数为 5 个。对每次取出的 3 个样品的含水率测定取平均值。

(4) 苜蓿草的损失测定

苜蓿草的损失包括：收获机械损失、生理生化变化与养分损失（活体细胞异化作用、植物细胞生化作用）、光化学作用与养分损失以及雨淋损失。

牧草总损失率包括切割、翻晒、打捆、运输过程中的机械损失和捡拾压捆机收获过程中的干草损失^[4]。其测定方法如下：①测定前将收获机械上的碎草清理干净，在草条下侧地面铺上塑料布和帆布。②待机组通过后，将测定地段上的收获机械漏拾牧草及落到塑料布或帆布、机器各部位上的碎草收集起来，称其质量。③每次测定长度应不少于 10 m，收获损失率为

$$S_j = \frac{W_j}{10^5 LP_i} \times 100\% \tag{2}$$

式中 W_j ——收集损失的碎草质量，g
 L ——测定长度，m
 P_i ——每 1 m 草条质量，kg/m

生理生化变化、光化学作用与雨淋带来的损失测定通过测定苜蓿草在不同的含水率情况下各项营养成分变化情况，获得其损失率。

3 结果与分析

3.1 苜蓿草茎叶干燥分析

苜蓿干燥时茎叶的干燥速度不同步,叶的干燥速度是茎秆的2~3倍。茎秆破碎会缩短达到安全含水率的时间,加快茎秆的干燥速度。经破碎的茎秆干燥速度与花叶基本同步。

如图2所示,破碎茎秆的含水率随时间变化的趋势与叶相似。降至安全含水率所需时间由大到小排序为:未破碎茎秆、破碎茎秆和花叶。曲线方程和相关系数为

$$y_1 = 0.9368e^{-0.1763x} \text{ (叶)} \quad (R^2 = 0.9237)$$
$$y_2 = 0.6738e^{-0.0697x} \text{ (破碎茎秆)} \quad (R^2 = 0.9546)$$
$$y_3 = 0.9142e^{-0.0638x} \text{ (未破碎茎秆)} \quad (R^2 = 0.9774)$$

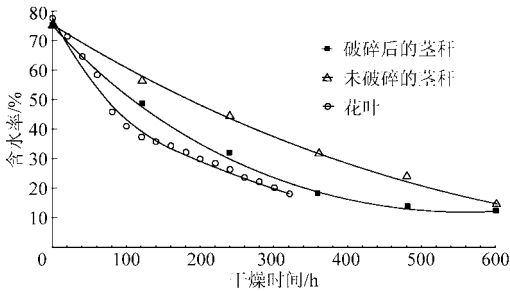


图2 花叶、破碎和未破碎茎秆含水率随干燥时间的变化曲线

Fig. 2 Moisture content curves of leaves, broken and non-broken stems with drying time

由图2可以看出叶的水分随时间变化明显比茎秆快,这主要是由苜蓿的生长特性及形状特性引起的。苜蓿植株体内的各部位不仅含水率不同,而且它们的散水强度也不同,故苜蓿各部位的干燥速度不均匀。叶片较薄、表面积大,水分从内层细胞向外移动的距离比茎秆短得多,而且阻力也较小,故叶片干燥速度比茎快得多。可见苜蓿干燥时采用茎叶分离干燥是减少叶营养损失的有效途径。破碎茎秆使木质化和非木质化细胞分开,茎秆被分成许多部分,从而增加了茎秆表面面积,减弱了保持水分的能力;茎秆破碎破坏了其角质层、维管束和表皮,使茎秆的内部暴露于空气中,增大了水导系数,从而加快了干燥速度。

3.2 苜蓿草营养成分分析

苜蓿草在田间自然晾晒过程中水分散失与自身营养成分流失是一个复杂的过程^[5]。为了获取苜蓿草在自然晾晒过程中发生雨淋、生理生化与光化学作用对营养成分变化的影响因素,试验将苜蓿草的田间收获过程按照时间分割为n段,每隔0.5h进行1次苜蓿草采样,并对草样进行营养品质化验。通过试验数据真伪的排筛,数据汇编,经Matlab优化,得出苜蓿草在整个干燥过程中不同变量之间的

变化情况,并对其进行了分析。

3.2.1 苜蓿草温度对含水率的影响

由图3可得,随着温度的升高含水率降低,在第1个温度峰值内含水率变化显著。第2、3个峰值内含水率变化缓慢。

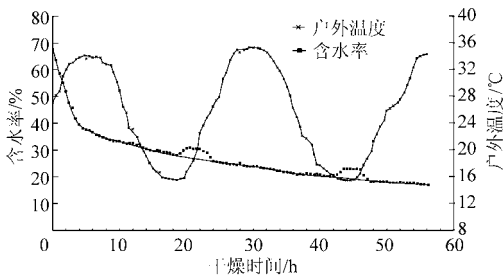


图3 刈割后苜蓿草含水率和温度随干燥时间的变化曲线

Fig. 3 Moisture content and temperature variety curves of alfalfa grass with drying time

苜蓿干燥特性曲线包括3个阶段。第1阶段蒸发的主要是苜蓿的游离水分,游离水分存在于物料的空隙或表面,此类水分与物料的结合力较弱或自由散于物料表面,在干燥过程中易于除去,所以这一阶段干燥速度最快。含水率从68.4%降到39.6%所用时间为157min,得到第1阶段苜蓿干燥平均速率为0.18%/min。第2阶段蒸发的主要是苜蓿的物化结合水分,物化结合水分是以一定的物理化学结合力与物料结合起来的水分(包括物料的吸附水分、结构水分和毛细管水分等),此类水分与物料的结合比较稳定,且有较强的结合力,在干燥过程中较难除去,所以第2阶段干燥速度减慢^[6]。含水率从39.6%降到17.0%所用时间为2970min,得到第2阶段苜蓿干燥平均速率为0.008%/min。第3阶段蒸发的主要是苜蓿的化学结合水分,化学结合水分是按照一定的数量和比例与化合物结合而生成带结晶水的化合物中的水分,此类水分与化合物的结合力很强,在干燥过程中难除去,所以第3阶段干燥速度非常缓慢。含水率从17.0%降到16.5%所用时间为240min,得到第3阶段苜蓿干燥平均速率为0.002%/min。由于昼夜温差大,在凌晨出现大量露水,使得苜蓿草含水率有所升高,影响了干燥速度。

3.2.2 苜蓿草营养成分变化情况

苜蓿草营养成分中粗蛋白与胡萝卜素对牲畜的影响最大,粗蛋白与胡萝卜素的保有量不高直接影响牲畜对营养的摄取。粗蛋白与胡萝卜素在自然干燥中3阶段的第2阶段损失严重。

由图4、5可得,在整个干燥过程中苜蓿草层内部温度变化不大,最高内部温度为26.7℃,最低内部温度20.8℃。粗蛋白、粗脂肪、胡萝卜素的保有

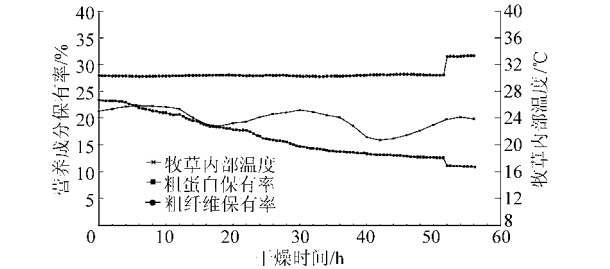


图 4 苜蓿草营养成分随干燥时间的变化曲线
Fig.4 Nutrition variety curves of alfalfa grass with drying time

率都随着晾晒时间的增长而减少,其曲线斜率呈现 3 阶段。干燥 0 ~ 4 h,营养损失小。干燥 4 ~ 52 h,营养损失加快。干燥 52 ~ 56 h,营养损失速度属于跳跃性的。粗纤维保有率基本保持不变,干燥 52 ~

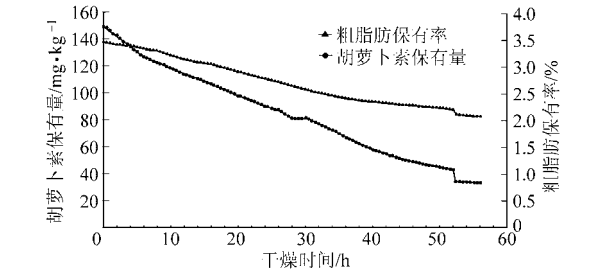


图 5 苜蓿草胡萝卜素、粗脂肪随干燥时间的变化曲线
Fig.5 Variety curves of carotene and crude fat of alfalfa grass with drying time

56 h,营养损失也存在跳跃性变化。其中粗蛋白、胡萝卜素在干燥 4 ~ 52 h 保有率损失很快。整理数据如表 1 所示。

表 1 牧草营养成分损失 Tab.1 Nutrition loss of forage grass								
工艺	草样	时间/h	含水率/%	粗蛋白/%	粗脂肪/%	粗纤维/%	灰分/%	胡萝卜素/mg·kg ⁻¹
湿法收获工艺	鲜苜蓿草	0	68.7	23.39	3.42	27.08	8.73	147.07
	方捆机收获前	4.5	40.0	22.63	3.07	26.94	8.71	121.64
	烘干后草捆	3.5	17.0	21.20	3.02	36.60	7.93	108.93
传统收获工艺	鲜苜蓿草	0	68.7	23.39	3.42	27.08	8.73	147.07
	方捆机收获前	56	17.0	14.56	2.51	26.47	7.25	37.73
	收获后草捆	0.5	17.0	11.17	2.13	49.18	6.97	32.78

注:工作环境:温度 28℃、大气压 91 kPa、相对湿度 27%,太阳能总辐射:969 W/m²。

干燥第 1 阶段是以活体细胞异化作用为主导的代谢阶段,这一期间植物细胞的生理活动在继续进行,但由于水分和其他营养成分物质的供应中断,只能靠分解植物体内贮存的营养物质来进行,直至细胞趋于死亡,在这个阶段内营养成分损失相对少。第 2 阶段是以植物细胞生化作用为主的过程,当牧草含水率降至 40% 以下时,植物细胞开始死亡,直至含水率降到 17% 左右。植物细胞死亡之后,体内的生理作用逐渐被有酶参加的生化作用所取代,适宜的苜蓿草层温度使酶的活性加强,如果干燥速度慢,蛋白质和胡萝卜素的分解会加剧。另外,牧草第 2 阶段在田间干燥时间长,还将面临光化学作用与雨淋霉变所带来的损失。牧草在晒制过程中强烈的阳光直射和植物体内氧化酶的作用,使植物体内胡萝卜素、叶绿素、维生素 C 和维生素 B 等营养元素大部分被分解。雨淋霉变所带来的损失也是很大的,磷大约损失 30%,碳酸钠损失 65%,矿物质损失 67%,碳水化合物损失 37%。第 3 阶段苜蓿草含水率为 17% 以下,轻微的抖动或揉搓将造成花叶的大量脱落。含水率低的情况下进行机具收获是造成营养成分保有率跳跃性变化的原因。

4 结论

(1)采用柔性压扁技术设计的切割压扁机,可

实现苜蓿草整株压扁后茎、叶干燥时间同步问题,减少了田间自然晾晒时间,减少雨淋霉变风险。

(2)苜蓿草含水率降至 40% 的过程中,田间自然干燥速率快,综合营养成分损失速度慢。含水率从 40% 降到 17% 的过程田间干燥速度慢,综合营养成分损失速度快。因此,从干燥时间和营养成分变化情况可得,加快第 2 阶段干燥速度是减少牧草营养成分损失的最佳办法,应采取分段干燥的收获方法。

(3)苜蓿草含水率降至 40% 的过程中综合营养成分损失小,含水率从 40% 降到 17% 的过程中综合营养成分损失大。在含水率为 17% 时收获干物质损失严重,综合营养成分损失大,而在含水率 40% 左右时苜蓿草的韧性大,收获干物质损失小。因此,从干物质损失和营养成分变化情况可得,机械收获应在含水率为 40% 左右时收获为宜。

(4)新工艺包括将生长的牧草切割压扁→割后牧草自然晾晒到含水率 40% 左右→牧草通过收获机械以长散草或成型草捆的形式运输→长散草(成型草捆)运输到太阳能干燥设备上干燥→干燥到含水率 17% 左右贮存。

27(8):1 502 ~ 1 505.

Sun Jianying, Li Minzan, Tang Ning, et al. Spectral characteristics and their correlation with soil parameters of black soil in northeast China[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007,27(8): 1 502 ~ 1 505. (in Chinese)

- 13 Shibusawa S, Hirako S, Otomo A, et al. Real-time soil spectrophotometer for in-situ underground sensing[J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2000, 62(5):79 ~ 86.
- 14 Shibusawa S. On-line real time soil sensor[C]//Proceedings of the 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechanics, 2003: 1 061 ~ 1 066.
- 15 Adamchuk V I, Hummel J W, Morgan M T, et al. Feasibility of on-the-go mapping of soil nitrate and potassium using ion-selective electrodes[C]//ASABE Annual Meeting, Paper No.021183, 2002.
- 16 Adamchuk V I, Hummel J W, Morgan M T, et al. On-the-go soil sensors for precision agriculture[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 44(1): 71 ~ 91.
- 17 潘雯. 基于近红外光谱技术的土壤有机质测定仪的开发[D]. 北京:中国农业大学,2007.
- 18 An Xiaofei, Li Minzan, Zheng Lihua. Estimation of soil total nitrogen and soil moisture based on NIRS technology[C]//The Fifth International Conference of Computer and Computing Technology in Agriculture, 2011.
- 19 李民赞. 光谱分析技术及其应用[M]. 北京:科学出版社,2006.
- 20 陆婉珍. 现代近红外光谱分析技术[M]. 2 版. 北京:中国石化出版社,2006.
- 21 王东锋,王会良,董冠强. 单片机 C 语言应用 100 例[M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- 22 Mouazen A M, Karoui R, De Baerdemaeker J,et al. Characterization of soil water content using measured visible and near infrared spectra [J]. Soil Science Society of American Journal, 2006, 70(4):1 295 ~ 1 302.

(上接第 234 页)

参 考 文 献

- 1 董宽虎,王常慧,牧原. 干燥方法对苜蓿草粉营养价值的影响[J]. 草地学报,2003,7(4):334 ~ 337.
Dong Kuanhu, Wang Changhui, Mu Yuan. Effects of different drying methods on the nutritive value of alfalfa meal[J]. Acta Agrestia Sinica, 2003,7(4): 334 ~ 337. (in Chinese)
- 2 杨世昆,苏正范. 饲草生产机械与设备[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
- 3 杨世昆,杨文大,刘贵林,等. 交替供热式太阳能饲草干燥设备: 中国,ZL200320124589.3[P]. 2003-11-14.
- 4 Bolsen K C. Personal communication—unpublished data[M]. ManhaRen;Kansas State University, 1985.
- 5 Collins M. Wetting and maturity effects on the yield and quality of legume hay[J]. Agronomy Journal,1983,75(3):523 ~ 527.
- 6 Montague W D,Teuber L R. Changes in forage equality of improved alfalfa populations[J]. Crop Science, 1986,26(6):1 137 ~ 1 143.
- 7 Llovera J,Ferran J. Harvest management effects on alfalfa production and quality in mediterranean areas[J]. Grass and Forage Science, 1998,53(1):88 ~ 92.
- 8 Rotz C A,Abrams S M. Losses and quality changes during alfalfa hay harvest and storage[J]. Transactions of the ASAE,1988, 31(2):350 ~ 355.
- 9 Tomes N J,Soderlund S,Lampsey,et al. Preservation of alfalfa hay by microbial inoculation at baling[J]. Journal of Production Agriculture,1990,3(4):491 ~ 497.