

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2015-0669

王旭哲, 岳亚飞, 张凡凡, 马春晖. 全株玉米青贮营养品质的紧实度效应. 草业科学, 2016, 33(9): 1893-1900.

Wang X Z, Yue Y F, Zhang F F, Ma C H. The compaction effect of nutritional quality of whole plant corn silage. Pratacultural Science, 2016, 33(9): 1893-1900.



全株玉米青贮营养品质的 紧实度效应

王旭哲, 岳亚飞, 张凡凡, 马春晖

(石河子大学动物科技学院, 新疆 石河子 832003)

摘要:本研究旨在分析不同紧实度对全株玉米(*Zea mays*)青贮品质变化的影响,以便筛选出适宜的青贮紧实度。以新饲玉10号青贮玉米为材料,青贮装料密度设计为5个(350、400、500、600、700 kg·m⁻³),分别在青贮制作完成后1、3、5、7、9、15、30、50 d取样,测定青贮料的干物质(DM)、粗蛋白(CP)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、水溶性碳水化合物(WSC)和pH,并动态监测开窖后各处理青贮内部温度变化规律,同时对比开窖前后的相对饲喂价值(RFV)。结果表明,青贮时间和紧实度的交互作用仅对CP、ADF和pH有极显著影响($P<0.01$),对DM、NDF和WSC均无显著影响($P>0.05$)。处理600 kg·m⁻³的pH最低且CP含量最高;处理700 kg·m⁻³的DM、WSC以及RFV值含量最高,NDF及ADF含量最低。处理600 kg·m⁻³有氧暴露后稳定的时间显著高于其它处理($P<0.05$),达到100 h。同时,有氧暴露时间与温度呈现出单调递增的趋势,且相关性显著($P<0.05$)。随着紧实度的增大(350~600 kg·m⁻³),青贮饲料的品质增加,有氧稳定性提高;当紧实度为600 kg·m⁻³时,品质较700 kg·m⁻³变化不显著,600 kg·m⁻³为最佳紧实度,建议采用。

关键词:紧实度;玉米青贮;营养品质

中图分类号:S816.11;S513

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2016)9-1893-08*

The compaction effect of nutritional quality of whole plant corn silage

Wang Xu-zhe, Yue Ya-fei, Zhang Fan-fan, Ma Chun-hui

(College of Animal Sciences and Technology, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: In this study, the whole plant corn (*Zea mays*) silage nutritional quality at different compactions was analyzed to determine the appropriate compaction of silage. The treatments used Xinsiyu 10 for silage materials with five compaction degrees (350, 400, 500, 600 and 700 kg·m⁻³). Sampling and determination of the DM, CP, NDF, ADF, WSC and RFV of silages were done on the 1 st, 3rd, 5th, 7th, 9th, 15th, 30th and 50th day after ensiling. Dynamic monitoring of the temperature change of each silage treatment was also measured after opening silo. Results indicated that DM, CP, NDF, ADF, and WSC content and pH value from compaction degree of corn silage decreased significantly than before ensiling ($P<0.05$). Silage time had a significant effect on above indicators ($P<0.01$). After opening silo, 600 kg·m⁻³ had the lowest pH value, while the content of CP was the highest; DM, WSC and RFV of 700 kg·m⁻³ treatment was the highest, NDF and ADF was the lowest. The stable time after exposure to oxygen of treatment 600 kg·m⁻³ was significantly higher than other treatments ($P<0.05$), reaching 100 h. At the same time, there was a monotonic increasing trend of oxygen exposure time and temperature, and the correlation was significant ($P<0.05$). With the increasing of charge degree range (350~600 kg·m⁻³), the fermentation quality of the silage correspondingly increased. When compaction degree reaching to 600 kg·m⁻³, the quality did not change significantly, suggesting that 600 kg·m⁻³

* 收稿日期:2015-12-01 接受日期:2016-04-02

基金项目:国家自然科学基金项目(31460637);国家牧草产业技术体系(CARS35)

第一作者:王旭哲(1991-),男,吉林九台人,在读硕士生,研究方向为饲草生产与加工。E-mail:690953197@qq.com

通信作者:马春晖(1966-),男,新疆哈密人,教授,博士,研究方向为饲草生产与加工。E-mail:chunhuima@126.com

is the best compaction.

Key words: compaction; corn silage; nutritional quality

Corresponding author: Ma Chun-hui E-mail: chunhuima@126.com

调制青贮饲料的目的就是最大限度地保持青贮原料原有的营养价值,并将营养物质的损失降至最低^[1]。在青贮调制过程中,适当的青贮紧实度可以通过改变青贮饲料间的孔隙决定氧气穿透青贮饲料的程度^[2-3],进而改善青贮饲料的青贮品质^[4-5],随着紧实度的增加青贮牧草的 pH 可显著降低^[6],同时高密度青贮窖可有效降低干物质损失^[7]。所以,紧实度的控制对青贮品质尤为重要^[8]。但有关紧实度在青贮中的系统研究报道较少。在生产实践中,机械、填装作业、设施高度等因素均影响青贮紧实度的控制,同时实际操作中很少量化控制青贮的紧实度,缺乏可供参考的适宜范围,对青贮品质产生较大影响。因此,本研究设置不同紧实度的青贮处理,探究不同紧实度下全株玉米青贮品质的变化规律,同时结合有氧稳定性比较各紧实度下的全株玉米青贮品质,旨在选出合适的青贮紧实度从而为生产实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

青贮原料:以玉米品种新饲玉 10 号(新疆农垦科学院作物所选育的早中熟品种)为青贮材料,其生长期为 2015 年 4 月 10 日—2015 年 7 月 20 日(生长期 101 d),乳熟末期至蜡熟初期刈割,当场切碎为 1~2 cm 长的物料,待贮。测定全株青贮玉米水分和水溶性碳水化合物(WSC)含量分别为 77.37%和 18.77%,pH 为 4.91,粗蛋白(CP)含量为 9.64%,中性洗涤纤维(NDF)为 59.25%、酸性洗涤纤维(ADF)为 47.16%。

青贮罐规格:直筒,直径 19.4 cm,高 102 cm,壁厚 0.6 cm,容积为 30.2 L,采用 PVC 管制作。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验地位于新疆石河子大学牧草试验站(44°20' N, 88°30' E,海拔 420 m)。将青贮装料密度即紧实度设为 5 个,分别为 350、400、500、600、700 kg·m⁻³,每个紧实度 3 次重复。分别在青贮装罐完成后 1、3、5、7、9、15、30、50 d 取样,青贮 50 d 时开窖,每个时间点在各处理组的 3 个青贮罐分别取样,即 3 个重复,对青贮料的营养成分、WSC 和 pH 进行分析,计算开窖当天各处理组的相对饲喂价值(RFV),并在开窖后动态监测各处理青贮饲料的温度变化。

1.2.2 测定方法 干物质(DM)采用 105℃烘干法测

定^[9];NDF(%DM)和 ADF 采用范氏法(van Soest)测定^[10];CP 采用凯氏定氮法测定^[10];水溶性碳水化合物(WSC)采用蒽酮比色法测定^[11];pH 利用酸度计(PHS-25,上海雷磁)测定;不同处理青贮饲料的温度采用多点式温度记录仪(i500-E3TW,玉环智拓仪器科技有限公司)动态监测,温度记录仪测量时间间隔设置为 5 min,每个处理放置 3 个温度探头。

RFV 的计算公式^[12]为:

$$RFV = DMI \times DDM / 1.29.$$

式中:DMI 为干物质随意采食量(% BW), $DMI = 120 / NDF$;DDM 为可消化干物质含量(% DM), $DDM = 88.9 - 0.779 \times ADF$;ADF 为酸性洗涤纤维含量;选择 1.29 是饲草 $DMI \times DDM$ 的参数值。

1.3 数据处理

在 Excel 中作数据的基本处理,用 SPSS 17.0 对各处理的 DM、NDF、ADF、CP、WSC 和 pH 以及有氧稳定时间进行方差分析,通过 Duncan 法对各处理间的差异进行比较。采用 Origin 8.0 进行绘图并对开窖温度进行线性拟合。

2 结果与分析

2.1 不同紧实度下全株玉米青贮营养品质变化

pH 在青贮期内变化明显(表 1)。青贮 1 d 后,pH 开始出现差异,随后的青贮过程中 350 和 400 kg·m⁻³的 pH 始终与其它处理差异显著($P < 0.05$)。青贮 3 d 时,500、600 和 700 kg·m⁻³处理的 pH 均降为 4.00 以下。青贮 5 d 时,350 kg·m⁻³处理的 pH 降至 3.99,随后出现缓慢上升趋势。青贮 15 d 时,400、500、700 kg·m⁻³处理的 pH 均降至最低;400 kg·m⁻³与除 350 kg·m⁻³处理外其余 3 个处理间差异显著($P < 0.05$),而 500、600 和 700 kg·m⁻³处理间差异不显著($P > 0.05$)。在青贮 50 d 时,处理 350 和 400 kg·m⁻³的 pH 与其它处理差异显著($P < 0.05$)且 350 kg·m⁻³的 pH 最高,为 4.13,其余 3 组间差异不显著($P > 0.05$),处理 600 kg·m⁻³的 pH 最低,为 3.97。

青贮 50 d 时,350 kg·m⁻³的 DM 含量显著低于 500~700 kg·m⁻³ ($P < 0.05$)的,但 400~600 kg·m⁻³处理间无显著差异($P > 0.05$)(表 1)。

在青贮过程的初期,各处理 CP 含量均缓慢下降,

表1 青贮过程中不同紧实度下全株玉米青贮营养品质的变化

Table 1 Change of the nutritional quality of whole-plant corn silage at different compactions during fermentation process

青贮时间 Silage time/d	紧实度 Compaction/kg · m ⁻³	DM/%	CP/%	NDF/%	ADF/%	WSC/%	pH
1	350	20.20a	8.96a	57.64a	46.80a	13.03b	4.23a
	400	20.25a	8.26b	57.59ab	46.05ab	13.31b	4.18a
	500	20.59a	8.45ab	56.68bc	45.57b	13.31b	4.05b
	600	20.54a	7.38c	56.96abc	44.18c	16.86a	3.98c
	700	22.38a	8.42ab	56.25c	45.89ab	17.29a	4.10b
	SE	0.48	0.07	0.13	0.13	0.27	0.01
3	350	20.44b	7.92a	57.41a	45.95a	12.63b	4.11a
	400	20.37b	7.92a	57.10ab	43.63b	13.19ab	4.08a
	500	20.95ab	8.30a	55.94bc	42.40c	12.54b	3.94b
	600	20.83ab	7.82a	55.68c	42.75c	16.31a	3.96b
	700	21.45a	7.72a	54.97c	42.14c	14.24ab	3.96b
	SE	0.11	0.10	0.19	0.12	0.23	0.01
5	350	19.87b	7.67bc	56.62a	44.78a	11.68a	3.99b
	400	20.30b	7.36c	55.77ab	43.94b	11.06a	4.07a
	500	20.62ab	8.02a	54.89ab	41.69c	8.62a	3.91d
	600	20.76ab	7.96ab	54.84ab	42.34c	13.84a	3.95c
	700	21.56a	7.51c	54.45b	41.62c	12.73a	3.95c
	SE	0.14	0.04	0.19	0.12	0.23	0.01
7	350	19.70b	7.33b	55.20a	44.05a	11.12a	4.00b
	400	20.21ab	6.30c	54.70ab	42.85b	10.04a	4.06a
	500	20.92a	7.22b	53.64ab	39.93d	8.50a	3.92c
	600	20.54ab	7.92a	53.62ab	37.44e	8.77a	3.94c
	700	21.15a	7.44b	53.18b	41.16c	8.84a	3.93c
	SE	0.17	0.06	0.22	0.11	0.27	0.01
9	350	19.35b	6.68c	54.11a	43.13a	8.99a	4.02a
	400	20.28a	6.42d	53.49ab	37.27d	9.36a	4.05a
	500	20.58a	7.18b	52.70b	38.78c	6.58a	3.89b
	600	20.98a	7.92a	52.35bc	36.28e	8.13a	3.88b
	700	20.92a	7.81a	51.17c	40.35b	8.65a	3.89b
	SE	0.13	0.02	0.12	0.12	0.27	0.01
15	350	18.68c	6.58c	53.62a	37.66a	7.48a	4.04a
	400	19.70b	6.64c	53.54a	35.49b	7.97a	4.04a
	500	19.68b	7.08b	51.75b	35.69b	7.17a	3.88b
	600	20.39ab	7.79a	51.63b	31.97d	6.74a	3.89b
	700	21.04a	7.58a	51.07b	33.48c	8.10a	3.88b
	SE	0.14	0.05	0.18	0.14	0.30	0.01
30	350	18.64c	6.33d	52.80a	36.27a	3.03b	4.08a
	400	19.22bc	6.45d	52.23a	33.64b	4.82ab	4.04b
	500	20.24ab	6.81c	51.20a	35.59a	5.29ab	3.90c
	600	20.34ab	7.73a	51.47a	31.24c	5.29ab	3.91c
	700	21.03a	7.48b	50.64a	32.37bc	7.76a	3.91c
	SE	0.23	0.03	0.36	0.22	0.25	0.01

续表 1

青贮时间 Silage time/d	紧实度 Compaction/kg · m ⁻³	DM/%	CP/%	NDF/%	ADF/%	WSC/%	pH
50	350	18.56c	6.06e	52.14a	35.10a	2.94c	4.13a
	400	19.17bc	6.41d	51.51ab	32.12b	4.24b	4.08a
	500	20.02ab	6.69c	50.23b	31.83bc	5.16b	4.00b
	600	19.60b	7.71a	50.45ab	30.66cd	4.61b	3.97b
	700	20.77a	7.44b	49.88b	30.15d	6.95a	4.00b
	SE	0.14	0.02	0.24	0.21	0.15	0.01

注:同列不同小写字母表示同一青贮天数各紧实度处理间差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lower case letters for the same silage time within the same column mean significant differences among different compaction treatments at 0.05 level.

但随着青贮的进行,下降速度逐渐平缓,青贮 3 d 时各处理间无显著差异($P>0.05$),15 d 后基本保持稳定。青贮 50 d 时各处理间 CP 含量均差异显著($P<0.05$),且 600 kg · m⁻³ 的 CP 含量为 7.71%,显著高于其它各处理的,350 kg · m⁻³ 的 CP 含量最低,只有 6.06%。

青贮青贮过程中,各处理 NDF 含量均呈现出下降趋势(表 1)。青贮 1 d 时,350 和 400 kg · m⁻³ 的 NDF 含量显著高于处理 700 kg · m⁻³ ($P<0.05$),其余两个处理间差异不显著($P>0.05$)。随后的青贮过程中,处理 350 kg · m⁻³ 的 NDF 含量始终显著高于 700 kg · m⁻³ ($P<0.05$),到青贮 30 d 时各处理间差异均不显著($P>0.05$)。青贮 50 d 时,除处理 350 kg · m⁻³ 显著高于 400 和 600 kg · m⁻³ 处理($P<0.05$)外,其余各处理间未表现出明显差异($P>0.05$),其中 700 kg · m⁻³ 的 NDF 含量降至最低,为 49.88%。

随着青贮的进行,各处理组 ADF 含量呈现出下降趋势(表 1)。青贮 1 d 时,600 kg · m⁻³ 的 ADF 含量显著低于其余处理的($P<0.05$),在随后的青贮过程中,除青贮 30 d 后,500 kg · m⁻³ 与 350 kg · m⁻³ 无

显著差异外,处理 350 kg · m⁻³ 始终显著高于其余处理($P<0.05$)。

在青贮的前 15 d,各处理 WSC 含量逐步下降,随后 15—30 d 下降幅度加大,但 30—50 d 趋于平缓。(表 1)。青贮 1 d 时,处理 600 和 700 kg · m⁻³ 的 WSC 含量均显著高于其余处理的($P<0.05$)。但在青贮 5、7、9、15 d 时,各处理间无显著差异($P>0.05$)。在青贮的前 15 d,各处理 WSC 含量快速下降,但在青贮 30 d 之后下降平缓。直至青贮 50 d 时,处理 700 kg · m⁻³ 的 WSC 含量显著高于其它处理的($P<0.05$),其 WSC 含量为 6.95%,处理 350 kg · m⁻³ 显著低于其它处理($P<0.05$),其 WSC 含量为 2.94%。

2.2 紧实度、青贮时间及其互作对全株玉米青贮营养品质的影响

青贮时间对于 DM、CP、NDF、ADF、WSC 和 pH 的变化均有极显著影响($P<0.01$)(表 2),同时紧实度对于上述各指标也均有极显著影响($P<0.01$)。但时间与处理的交互作用仅对 CP、ADF 和 pH 有极显著影响($P<0.01$),对 DM、NDF 和 WSC 均未产生显著影响($P>0.05$)。

表 2 青贮时间和紧实度对全株玉米青贮营养品质的影响
Table 2 Effect of silage time and compaction on nutritional quality of whole-plant corn silage

变异来源 Variation source	DM	CP	NDF	ADF	WSC	pH
青贮时间 Silage time	* *	* *	* *	* *	* *	* *
紧实度 Compaction	* *	* *	* *	* *	* *	* *
青贮时间×紧实度 Silage time×Compaction	NS	* *	NS	* *	NS	* *

注: * 表示显著影响($P<0.05$), * * 表示极显著影响($P<0.01$), NS 表示无显著影响($P>0.05$)。
Note: * and * * indicate significant effect at 0.05 and 0.01 level, respectively, NS means no significant effect at 0.05 level.

表 3 青贮前后全株玉米营养品质对比分析

Table 3 Analysis of nutritional quality of whole-plant corn befor and after the silage

指标 Index	青贮原料 Ensiling material	紧实度 Compaction/kg·m ⁻³				
		350	400	500	600	700
干物质 DM/%	22.63a	18.56d	19.17cd	20.02bc	19.60c	20.77b
粗蛋白 CP/%DM	9.64a	6.06f	6.41e	6.69d	7.71b	7.44c
中性洗涤纤维 NDF/%DM	59.25a	52.14b	51.51bc	50.23cd	50.45cd	49.88d
酸性洗涤纤维 ADF/%DM	47.16a	35.10b	32.12c	31.83cd	30.66de	30.15e
水溶性碳水化合物 WSC/%DM	18.77a	2.94d	4.24c	5.16c	4.61c	6.95b
pH	4.91a	4.13b	4.08b	4.00c	3.97c	4.00c
相对饲喂价值 RFV	81.89d	109.88c	115.44b	118.74ab	119.92a	122.02a

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lower case letters within the same row mean significant difference at 0.05 level.

2.3 全株玉米青贮前后营养品质对比分析

对全株玉米青贮前后营养品质进行对比分析(表 3)发现,在青贮开窖后各处理与青贮原料在 DM、CP、NDF、ADF、WSC、pH 和 RFV 均有显著差异($P<0.05$),且各处理 DM、CP、NDF、ADF、WSC 含量和 pH 均降低,RFV 逐步上升。

通过比较开窖后各处理的 RFV 值(表 3)发现,各处理的营养品质均与青贮原料的存在显著差异($P<0.05$),且随着青贮进程的推进,各处理的 RFV 值较青贮原料有所升高。处理 350 kg·m⁻³的 RFV 值显著低于其余处理($P<0.05$),而处理 500、600、700 kg·m⁻³间无显著差异($P>0.05$),且 700 kg·m⁻³的 RFV 值最大。

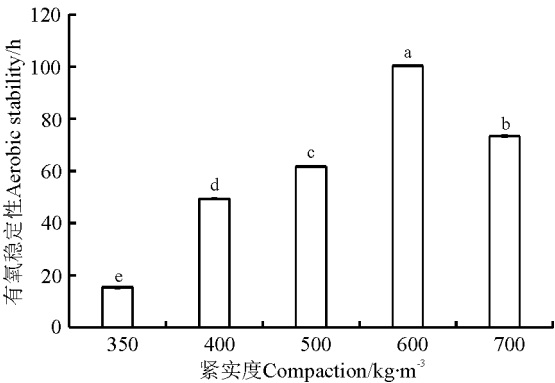


图 1 不同紧实度青贮玉米暴露于空气下的有氧稳定性

Fig.1 Aerobic stability of different compactions corn silage exposed to air

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lower case letters mean significant difference at 0.05 level.

2.4 紧实度对全株玉米青贮有氧稳定性的影响

有氧稳定时间为青贮饲料暴露于空气中的温度高于室温 2℃ 时所需时间(h)^[13]。处理 350~700 kg·m⁻³有氧暴露后稳定的时间分别为 15、49、62、100、73 h,且各处理间均差异显著($P<0.05$)(图 1)。

对各处理氧暴露时间与温度进行回归分析(图 2),结果表明,5 个紧实度处理下全株玉米青贮的有氧暴露时间与温度存在相关性,二者关系表现出随着有氧暴露时间的延长,温度呈现线性递增的趋势且相关性显著($P<0.05$),二者关系为 $Y=0.002X+24.920$ ($R^2=0.768$),其中, X 是有氧暴露时间, Y 是温度。

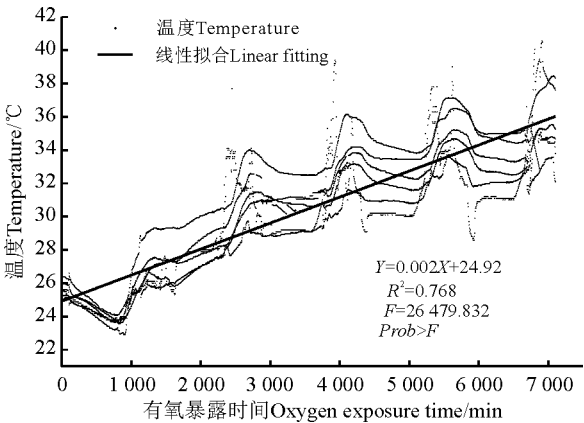


图 2 玉米青贮有氧暴露时间与温度之间的关系

Fig.2 Relationship between oxygen exposure time and temperature in corn silage

3 讨论

3.1 紧实度对玉米青贮饲料品质的影响

pH 能反映青贮饲料是否保存较好及其被腐败菌

分解的程度,品质优良的青贮饲料 pH 为 3.8~4.5^[14]。紧实度和青贮时间对 pH 有极显著影响($P<0.01$),且随青贮时间的延长均呈现下降趋势。这是因为青贮初期各类微生物活动活跃,消耗了原料中的 WSC,从而产生大量的酸,导致 pH 快速下降,这与杨云贵等^[15]的研究结果一致。青贮 3 d 时,500、600、700 kg·m⁻³ 的 pH 均降为 4.00 以下。随着青贮紧实度的增加,pH 逐渐降低,说明较大紧实度的 pH 相对较低^[7],600 kg·m⁻³ 的 pH 最低,350 和 400 kg·m⁻³ 的 pH 与其它处理差异显著($P<0.05$),其余 3 个处理间差异不显著($P>0.05$)。随着青贮紧实度的增大 WSC 含量的减少量逐渐降低,这是由于青贮初期青贮原料 WSC 含量较高,为乳酸菌提供了大量营养物质^[16],导致乳酸菌活动活跃,产生了更多乳酸,随着青贮紧实度的增大,pH 能较快进入稳定状态,从而可尽早减少对 WSC 的消耗量^[3,17]。

本研究中,各处理与青贮前相比,DM 含量明显下降,由于青贮原料是在乳熟末期收获调制的,其含水量较高,作为青贮过程中微生物重要青贮来源的 WSC 的含量也高,被微生物利用后导致其最后 DM 含量损失相对较高。随着青贮紧实度的增大,DM 含量的减少量逐渐降低,处理 350 kg·m⁻³ 的 DM 含量最小,这是由于高密度的青贮可减少呼吸损失和其它有氧损失^[7,18]。

本研究在青贮的过程中,随着青贮时间的推移,各处理 CP 含量均较青贮原料有所降低,是由于青贮中的腐败微生物梭菌会分解原料中的氨基酸、含氮盐类(硝酸盐和亚硝酸盐)、嘌呤和嘧啶产生氨态氮,这些生物活动都会降低青贮蛋白的含量。但随着青贮紧实度的增大,CP 含量减少量较小,是由于随着青贮密度的增加,饲料的孔性降低,氧气含量减少^[3],腐败微生物的生长减缓,从而 CP 的损失减少。

NDF 和 ADF 含量越高,饲料营养品质越差。本研究中,NDF 及 ADF 含量都有不同程度的降解,由于青贮初期存在部分产纤维素酶的微生物^[19],其消耗青贮中的营养物质产生纤维素酶导致 ADF 下降相对较

快且 NDF 也有所下降,之后基本保持稳定。本研究中,随着青贮紧实度的增大,NDF 及 ADF 含量的减少量逐渐降低,是由于青贮初期细胞呼吸和接下来的酶解过程容易导致碳水化合物分解,从而使不可消化组分的含量相对增加^[20]。因此,WSC 含量高的处理 700 kg·m⁻³ 比 WSC 含量低的 350 kg·m⁻³ 处理的 NDF、ADF 含量低,且与处理 500、600 kg·m⁻³ 间差异不显著($P>0.05$)。综上所述,700 kg·m⁻³ 的 RFV 含量最高。

3.2 紧实度对玉米青贮饲料有氧稳定性的影响

本研究中,不同紧实度玉米青贮饲料的有氧稳定性存在显著差异($P<0.05$)。随着青贮紧实度的增大,玉米青贮饲料的有氧稳定性时间逐渐延长。较高的青贮密度可提供较为稳定的 pH 环境,可抑制好氧微生物的生长^[21]。因此,处理 350 kg·m⁻³ 有氧暴露后稳定的时间仅有 15 h,而处理 600 kg·m⁻³ 达到 100 h,显著高于其它处理($P<0.05$)。但处理 700 kg·m⁻³ 的 WSC 含量较高,相对于处理 600 kg·m⁻³ 为好氧微生物创造了有利的生存条件,因此,600 kg·m⁻³ 的有氧稳定时间长于 700 kg·m⁻³。直至最后一组处理暴露于空气中高于室温 2℃ 时开窖结束。随着有氧暴露时间的延长,温度呈现出线性递增趋势($P<0.05$),正是由于开窖后随时间延长,好氧微生物的活动增强,其利用青贮底物产生水、二氧化碳和热量^[22]。因此,温度随有氧暴露时间延长而上升。

4 结论

本研究中,不同紧实度对玉米青贮过程中 pH、DM、CP、NDF、ADF、WSC、RFV 含量变化以及开窖后有氧稳定时间均影响显著。综合比较,随着紧实度的增大(350~600 kg·m⁻³),青贮饲料的营养品质增加,有氧稳定时间提高。当紧实度达到 600 kg·m⁻³ 后,营养品质变化不显著,有氧稳定性最好。因此,600 kg·m⁻³ 为最佳紧实度。同时,有氧暴露时间与温度呈现出线性递增的趋势 $Y=0.002X+24.920$ ($R^2=0.768$)。

参考文献 References:

- [1] Kleinschmit D H, Kung L J. The effects of *Lactobacillus buchneri* 40788 and *Pediococcus pentosaceus* R1094 on the fermentation of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(10): 3999-4004.
- [2] Sabine G, Thomas H. Metrological prerequisites for determination of silage density compacted in a bunker silo using a radiomet-

- ric method. *Agricultural Engineering International; CIGR Journal*, 2012, 14(4): 134-143.
- [3] Mceniry J, O'Kiely P, Clipson N J W, Forristal P D, Doyle E M. The relative impacts of wilting, chopping, compaction and air infiltration on the conservation characteristics of ensiled grass. *Grass & Forage Science*, 2007, 62(4): 470-484.
- [4] Toruk F, Koc F. Effects on silage quality and aerobic stability of different compaction levels in sunflower silage. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2009, 15(3): 269-275.
- [5] Toruk F, Gonulol E, Kayisoglu B, Koc F. Effects of compaction and maturity stages on sunflower silage quality. *African Journal of Agricultural Research*, 2010, 5(1): 55-59.
- [6] Tavares V B, Pinto J C, Evangelista A R, Figueiredo H C P, Ávila C L S, Lima R F D. Effects of different compaction degrees, inclusion of absorbent additive and wilting on the chemical composition of Tanzania grass silages. *Revista Brasileira De Zootecnia*, 2009, 38(1): 40-49.
- [7] Amaral R C D, Bernardes T F, Siqueira G R, Reis R A. Fermentative and chemical characteristics of Marandugrass silage submitted to four compaction pressures. *Revista Brasileira de Zootecnia-brazilian Journal of Animal Science*, 2007, 36(3): 532-539.
- [8] Szucs J P, Suli A, Meszaros A, Avasi Z. Biological inoculants in forage conservation. *Scientific Papers Animal Science & Biotechnologies*, 2011, 44(1): 136-140.
- [9] 任海伟, 赵拓, 李金平, 李雪雁, 李志忠, 徐娜, 王永刚, 喻春来, 高晓航, 王晓力. 玉米秸秆与废弃白菜混贮料的发酵特性及其乳酸菌分离鉴定. *草业科学*, 2015, 32(9): 1508-1517.
- Ren H W, Zhao T, Li J P, Li X Y, Li Z Z, Xu N, Wang Y G, Yu C L, Gao X H, Wang X L. Identification of lactic acid bacteria and fermentation characteristics of mixed ensilages of corn stover and cabbage waste. *Pratacultural Science*, 2015, 32(9): 1508-1517. (in Chinese)
- [10] 朱丹, 张佩华, 赵勋, 刘士杰, 张开展, William P. Weirs, 卜登攀. 不同 NDF 与淀粉比例饲料在奶牛瘤胃的降解特性. *草业科学*, 2015, 32(12): 2122-2130.
- Zhu D, Zhang P H, Zhao X, Liu S J, Zhang K Z, Weirs W P, Bu D P. Rumen degradation characteristics of different neutral detergent fiber/starch ratio diets in dairy cattle. *Pratacultural Science*, 2015, 32(12): 2122-2130. (in Chinese)
- [11] Han K J, Collins M, Vanzant E S, Dougherty C T. Bale density and moisture effects on alfalfa round bale silage. *Crop Science*, 2004, 44(3): 914-919.
- [12] 红敏, 高民, 卢德勋, 胡红莲. 粗饲料品质评定指数新一代分级指数的建立及与分级指数 (GI_{2001}) 和饲料相对值 (RFV) 的比较研究. *动物营养学报*, 2011, 32(9-10): 143-146.
- Hong M, Gao M, Lu D X, Hu H L. New forage grading index: Its establishment and comparative study on the evaluation of forage quality with the grading index-2001 (GI_{2001}) and relative feed value (RFV). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 32(9-10): 143-146. (in Chinese)
- [13] 刘辉, 卜登攀, 吕中旺, 李发弟, 刘士杰, 张开展, 王加启. 乳酸菌和化学保存剂对窖贮紫花苜蓿青贮品质和有氧稳定性的影响. *畜牧兽医学报*, 2015, 46(5): 784-791.
- Liu H, Bu D P, Lyu Z W, Li F D, Liu S J, Zhang K Z, Wang J Q. Effect of lactic acid bacteria or a chemical preservative on the quality and aerobic stability of alfalfa silage produced in farm-scale silos. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2015, 46(5): 784-791. (in Chinese)
- [14] 程银华, 雷雪芹, 徐廷生, 王青青, 田英申. 玉米秸秆揉丝微贮与传统青贮饲料发酵过程中 pH 和微生物的变化. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2014, 42(5): 17-21.
- Cheng Y H, Lei X Q, Xu T S, Wang Q Q, Tian Y S. Changes of pH and microorganism during the fermentation of microbial and traditional silages with corn straw knead wire. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2014, 42(5): 17-21. (in Chinese)
- [15] 杨云贵, 张越利, 杜欣, 刘桂要, 曹社会. 2 种玉米青贮饲料青贮过程中主要微生物的变化规律研究. *畜牧兽医学报*, 2012, 43(3): 397-403.
- Yang Y G, Zhang Y L, Du X, Liu G Y, Cao S H. Study on the major microorganism changes during the silage processing of two kinds of corn silage. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2012, 43(3): 397-403. (in Chinese)
- [16] 张庆, 张万军, 田吉鹏, 王雨, 李旭娇, 玉柱. 乳酸菌青贮技术研究进展. *草业科学*, 2014, 31(2): 328-333.
- Zhang Q, Zhang W J, Tian J P, Wang Y, Li X J, Yu Z. Advances in lactic acid bacteria silage technology research. *Pratacultural*

- Science, 2014, 31(2): 328-333. (in Chinese)
- [17] 杨红, 田吉鹏, 刘贵波, 游永亮, 玉柱. 青贮容器不同部位高丹草青贮饲料的营养价值. 草业科学, 2015, 32(10): 1682-1686.
Yang H, Tian J P, Liu G B, You Y L, Yu Z. Comparison of quality and nutritional value of *Sorghum bicolor* × *S. sudanense* in different positions of the bucket. Pratacultural Science, 2015, 32(10): 1682-1686. (in Chinese)
- [18] Muck R E, Holmes B J. Factors affecting bunker silo densities. Applied Engineering in Agriculture, 2000, 16(6): 613-619.
- [19] 任克宁, 张福元, 王莹莹, 王娟. 白腐菌及黑曲霉对玉米秸秆生物降解的研究. 中国饲料, 2011(3): 35-38.
Ren K N, Zhang F Y, Wang Y Y, Wang J. Study on degradation of corn straws with *Phanerochaete chrysosporium* and *Aspergillus niger*. China Feed, 2011(3): 35-38. (in Chinese)
- [20] 刘贤, 韩鲁佳, 原慎一郎, 野中和久. 不同添加剂对全株玉米和青玉米秸青贮饲料质量的影响. 农业工程学报, 2004, 20(4): 246-249.
Liu X, Han L J, Hara S I, Nanaka K. Effects of different additives on the quality of whole-plant corn and green corn stover silage. Transactions of the CSAE, 2004, 20(4): 246-249. (in Chinese)
- [21] Gerlach K, Roß F, Weiß K, Büscher W, Südekum K-H. Aerobic exposure of grass silages and its impact on dry matter intake and preference by goats. Small Ruminant Research, 2014, 117(2-3): 131-141.
- [22] 徐春城. 现代青贮理论与技术. 北京: 科学出版社, 2013: 129-130.
Xu C C. Silage Science and Technology. Beijing: Science Press, 2013: 129-130. (in Chinese)

(责任编辑 武艳培)

《草业学报》 欢迎投稿 欢迎订阅

《草业学报》由中国科协技术协会主管, 中国草学会、兰州大学主办, 国内外公开发行的学术性期刊。2014年《草业学报》的影响因子为 2.353, 在全国被统计的 1989 种期刊中排名第 10 位, 现入编全国中文核心期刊, 荣获“百强报刊”, “百种中国杰出学术期刊”, “中国精品科技期刊”, “中国科技论文在线优秀期刊一等奖”。

《草业学报》主要报道国内外草业科学及其相关领域, 如畜牧学、农学、林学、经济学等领域的高水平理论研究和科技创新成果, 发表国内外草业领域创新性的研究论文, 刊载学术价值较高的草业科学专论、综述、评论等, 探讨草业发展的新理论与新构思, 是草业新秀成长的园地, 推动草业科学发展的论坛。其读者对象主要是从事农林牧渔、园林绿化、生态环境、国土资源等领域的科研管理及教学等专业人员。

本刊为: 中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊, 中国科技论文统计源期刊, 英国 CABI 文摘数据库来源期刊, 《中国生物学文摘》中国生物学文摘数据库收录期刊, 中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊, 《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊, 《万方数据—数字化期刊群》入网期刊。

《草业学报》为月刊, 全铜版印刷, 逢每月 20 日出版, 大 16 开本, 220 页, 定价 25 元, 全年 300 元。国内邮发代号: 54-84, 全国各地邮局均可订阅, 若错过订期, 可在本编辑部直接办理订阅。

邮发代号: 54-84

国内刊号: CN 62-1105/S

国际统一刊号: ISSN 1004-5759

地址: 兰州市嘉峪关西路 768 号《草业学报》编辑部

邮编: 730020

网址: <http://cyxb.lzu.edu.cn>

电话、传真: 0931-8913494

E-mail: cyxb@lzu.edu.cn