福建农业学报 33(6):644～648,2018 http://www.fjnyxb.cn
Fujian Journal of Agricultural Sciences doi:10.19303/j.issn.1008-0384.2018.06.018

陈鑫珠，李文杨，刘远，等. 红象草绿汁发酵液微生物组成及其对菌糠发酵品质的影响［J］. 福建农业学报，2018，33（6）：644－648.
CHEN X Z，LI W Y，LIU Y，et al. Microbiota and Effect of Fermented Red Elephant Grass Juice on Quality and Shelf Life of Fungus Chaff Silage［J］. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*，2018，33（6）：644－648.

红象草绿汁发酵液微生物组成及其对菌糠发酵品质的影响

陈鑫珠[1]，李文杨[1]，刘　远[1]，高承芳[1]，张晓佩[1]，翁伯琦[2*]

（1. 福建省农业科学院畜牧兽医研究所，福建　福州　350013；
2. 福建省农业科学院农业生态研究所，福建　福州　350013）

摘　要：为探索菌糠有效的保存方法，采用红象草绿汁发酵液为添加剂进行青贮，研究红象草绿汁发酵液微生物组成及其对菌糠青贮饲料发酵品质的影响，并确定菌糠的最佳青贮时间。试验设2%红象草绿汁发酵液组和对照组（等量蒸馏水）。样品采用青贮袋抽真空密封贮存，放置室温，在发酵第1、3、7、15、30和60 d开封，测定不同发酵时间菌糠青贮料的发酵品质。每个处理设5个重复。结果表明，红象草绿汁发酵液微生物含量丰富，分布于7个属，其中乳球菌属 *Lactococcus* 为优势菌属，占70%左右；优势乳酸菌种为明串珠菌 *Leuconostoe mesenteroides*，占75%左右。添加红象草绿汁发酵液处理显著（$P<0.05$）提高了菌糠青贮饲料的发酵品质，最佳的开封时间是15 d。在发酵30 d后，不良发酵产物显著（$P<0.05$）升高，不利于菌糠饲料的继续保存。

关键词：菌糠；绿汁发酵液；红象草；发酵品质；发酵时间
中图分类号：S 816.53　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008－0384（2018）06－644－05

Microbiota and Effect of Fermented Red Elephant Grass Juice on Quality and Shelf Life of Fungus Chaff Silage

CHEN Xin-zhu[1], LI Wen-yang[1], LIU Yuan[1], GAO Cheng-fang[1], ZHANG Xiao-pei[1], WENG Bo-qi[2*]

(1. *Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, *Fujian Academy of Agricultural Sciences*, *Fuzhou*, *Fujian*　350013, *China*; 2. *Agricultural Ecology Institute*, *Fujian Academy of Agricultural Sciences*, *Fuzhou*, *Fujian*　350013, *China*)

Abstract: To improve the quality and shelf life of fungus chaff for silage, the microbiota and the effect of the addition of a fermented red elephant grass juice (FREGJ) were studied. Fungus chaff leftover from mushroom cultivation was incorporated with 2% FREGJ or distilled water (CK), vacuum packed in pouches with 5 replicates, and stored at room temperature for 1, 3, 7, 15, 30 and 60 days prior to testing. The 7 genera richly existed in the chaff-FREGJ mixture were dominated by *Lactococcus* genera, accounting for about 70% of the total microbial count, of which 75% were *Leuconostoe mesenteroides*. Quality of the fungus chaff was significantly improved by the addition of FREGJ with 15 d of fermentation ($P<0.05$). However, after 30 d, undesirable microbes and harmful products significantly increased that could cause spoilage and shortened shelf life of the silage ($P<0.05$).

Key words: fungus chaff; fermented grass juice; red elephant grass; silage quality; fermentation time

我国是食用菌大国，每年产生超过7万t的菌糠总量，占世界食用菌总产量的70%以上，食用菌产量世界排名第一[1]。吴学谦等[2]报道，食用菌生产中，培养基的生物学效率约10%，有大约90%的营养物质残余在培养基中。菌糠的营养可相当于常规麦麸类饲料，作为非常规饲料资源应用于畜禽养殖业中，可降低饲料成本[3]。许多报道表明[4－9]，菌糠替代育肥牛、绵羊、鸡、猪、兔的部分日粮，不仅能够提高其生长性能，降低饲料成本，而且缓解饲料短缺的压力，提高养殖业经济效益。目前，少量的菌糠被作为肥料等开发利用，大量被废弃或焚烧处理，既浪费资源，又造成严重的环境污染。探索一种简单

收稿日期：2018－03－05 初稿；2018－05－18 修改稿
作者简介：陈鑫珠（1985－），女，博士，助理研究员，研究方向：饲料加工与贮藏（E-mail：010622051@163.com）
*通讯作者：翁伯琦（1957－），男，研究员，硕士生导师，研究方向：农业生态循环（E-mail：wengboqi@163.com）
基金项目：福建省农业科学院青年英才计划项目（YC2016-9）；福建省农业科学院杰出青年人才基金（2016JQ-2）

可靠的菌糠保存利用方法，将其饲料化利用，不仅实现了菌糠的转化再利用，还解决了环境污染问题，同时又可产生较为显著的经济效益。

青贮是利用乳酸菌进行厌氧发酵，有效保存饲草营养物质的一种技术手段，是草食动物全年均衡供应饲草料的一种贮藏方法。绿汁发酵液（Previously fermented juice，PFJ）是一种新型青贮添加剂，具有环保、经济、制作工艺流程简单、生产成本低等优点，甚至比一些专门的乳酸菌制剂更稳定，不受饲草生长季节、含水率及发酵温度的影响[10]。

红象草 *Pennisetum purpureum* schumab cv. 是禾本科狼尾草属牧草品种。陆云华等研究结果发现其可溶性碳水化合物含量与玉米秸秆相近[11]，可作为制备绿汁发酵液原料。本试验研究红象草绿汁发酵液的微生物组成及其对菌糠青贮发酵品质的影响，以期获得一种较好的制备绿汁发酵液的原料和菌糠青贮保存的有效方法，为菌糠饲料化利用提供理论依据和技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验材料

菌糠：采集平菇栽培三茬后的培养基，由福建农林大学菌草研究所提供。配方：五节芒 73%，麸皮 25%，石灰 2%，含水量 60%。红象草种植于福建省农业科学院畜牧兽医研究所泉头牧草基地。

1.2　试验方法

1.2.1　红象草绿汁发酵液的制备及其微生物组分

在调制菌糠青贮饲料前 48 h 制备红象草绿汁发酵液。制备方法参考陈鑫珠等[12]的方法。将红象草人工刈割后，切碎。分别称取 200 g 新鲜红象草原料加蒸馏水打浆，用两层纱布过滤，加 2%蔗糖（电子秤称取 20 g 溶解），混匀后定容至1 000 mL，30℃恒温厌氧发酵 48 h 以上备用。

量取 100 mL 红象草绿汁发酵液，用无菌滤纸过滤，将滤液装入 50 mL 离心管，4℃ 14 000 r·min^{-1}离心 10 min，收集沉淀，送广州基迪奥生物科技有限公司（中国，广州）进行 Meta 16S rDNA 测序分析微生物的多样性。

1.2.2　菌糠青贮饲料调制

将采集到的菌棒人工破膜、捣碎、混合均匀。称取菌糠原料 500 g 60 份，分别装入试验塑料袋内（事先贴好标签），处理组均匀喷洒 2%红象草绿汁发酵液，对照组喷洒等体积的蒸馏水，充分混匀，装入 20 cm×30 cm 聚乙烯青贮袋，抽真空、封口。放置室内，分别在发酵第 1、3、7、15、30 和 60 d 开封，每个处理每个时期开封 5 个重复。

1.3　菌糠原料及青贮饲料化学成分分析

按张丽英[13]的方法测定原料的干物质（DM）含量和粗蛋白质（CP）含量；采用盐酸、氢氧化钠滴定法测定原料的缓冲能（BC）[14]；采用 Anthrone 比色法定量法测定原料的可溶性碳水化合物（WSC）[13]，采用改进的滤袋分析法（ANKOM A200i，北京）测定原料的中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）含量；由公式 HC＝NDF－ADF 计算半纤维素（HC）含量[15]；采用 A300 全自动氨基酸分析仪（德国：德国曼默博尔公司）测定菌糠的氨基酸含量。

青贮料开封后，搅拌均匀，每个样本称 20 g 放入聚乙烯塑料封口袋中，加入 80 mL 蒸馏水，放置 4℃冰箱浸泡 18 h 后离心，用 pH 计（pH 计：pHS-3B，上海鹏顺科学仪器有限公司）测上清液的 pH 值；准确量取 10 mL 上清液，采用凯氏定氮仪测定氨态氮（NH_3-N）含量[14]；采用岛津 LC-20AT 型高效液相色谱仪测定乳酸（LA）、乙酸（AA）、丙酸（PA）和丁酸（BA）含量。WSC、NDF、ADF、HC、CP、LA、AA、PA 和 BA 含量以干物质基础的百分比表示。

1.4　菌糠青贮饲料微生物分析

采用培养划板计数的方法进行微生物数量分析。分别采用 MRS 琼脂培养基（MRS agar medium，MRS）、营养琼脂培养基（Nutrient Agar，NA）、马铃薯葡萄糖琼脂培养基（Potato Dextrose Agar，PDA）计数材料上的乳酸菌、好氧性细菌、酵母菌和霉菌的数量。乳酸菌用厌氧箱（YQX-Ⅱ型，上海新苗），37℃培养 2 d；好氧性细菌、酵母菌和霉菌在有氧条件下 30℃培养 2～3 d。

取 50 mL 培养好的红象草绿汁发酵液，在高速低温台式离心机（德国 Eppendorf 5417R）15 520 g 下离心 20 min，去上清液。送广州基迪奥生物科技有限公司进行 Meta 16S rDNA 测序，分析微生物的多样性。

1.5　数据统计分析

用 Microsoft Office Excel 2007 对数据进行整理，采用 SPSS 17.0 软件对数据进行方差分析，采用 Duncan′s 法对均值进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　菌糠的营养成分

采用化学分析法测定分析了菌糠原料的化学成分（表 1）。菌糠原料呈弱酸性，低缓冲能，蛋白含量较高，可溶性碳水化合物较低，微生物总量较少。

表 1 菌糠的特性

Table 1 Properties of fungus chaff

	项 目	菌糠
化学成分	干物质/%	34.55
	pH 值	5.42
	缓冲能/(mE·kg^{-1})	50.24
	可溶性碳水化合物/%	1.56
	粗蛋白/%	8.13
	有机物/%	88.75
	粗脂肪/%	3.14
	中性洗涤纤维/%	63.92
	酸性洗涤纤维/%	48.76
	半纤维素/%	15.16
微生物组成	乳酸菌/(lg cfu·g^{-1})	2.23
	好气性细菌/(lg cfu·g^{-1})	4.98
	酵母菌/(lg cfu·g^{-1})	2.35
	霉菌/(lg cfu·g^{-1})	1.23

氨基酸总量达 2.27%，种类丰富，其中，含有瘤胃菌体蛋白质的第一限制性氨基酸——蛋氨酸(0.01%) 和第二限制性氨基酸——赖氨酸(0.08%)，特别是生物机体内氮代谢的基本氨基酸之一的谷氨酸含量丰富，达到 0.45%（表 2）。

表 2 菌糠的氨基酸组成

Table 2 Amino acid composition of fungus chaff

项目	菌糠/%	项目	菌糠/%
天冬氨酸	0.20	异亮氨酸	0.07
苏氨酸	0.13	亮氨酸	0.13
丝氨酸	0.17	酪氨酸	0.05
谷氨酸	0.45	苯丙氨酸	0.12
甘氨酸	0.18	组氨酸	0.10
丙氨酸	0.16	赖氨酸	0.08
半胱氨酸	0.02	精氨酸	0.15
缬氨酸	0.11	脯氨酸	0.13
蛋氨酸	0.01	总量	2.27

2.2 红象草绿汁发酵液的微生物组成

由图 1～2 可知，红象草绿汁发酵液中只有 7 个属的乳酸菌细菌存在，其中优势菌属是乳球菌属 *Lactococcus*，占 70% 左右；其次是明串珠菌属 *Leuconostoc*，约占 30%，魏斯氏菌属 *Weissella*，约占 1%；还有极少量的肠球菌属 *Enterococcus*、乳杆菌属 *Lactobacillus*、片球菌属 *Pediococcus* 和链球菌属 *Streptococcus*；主要有 5 种细菌，优势乳酸菌为明串珠菌 *Leuconostoe mesenteroides*，占 75% 左右；其次是格氏乳球菌 *Lactococcus garvieae*，占 12%左右；还有一些绿色魏斯氏菌 *Weissella viridescens* 和极少量的无乳链球菌 *Streptococcus agalactiae* 和酪黄肠球菌 *Enterococcus casseliflavus*。

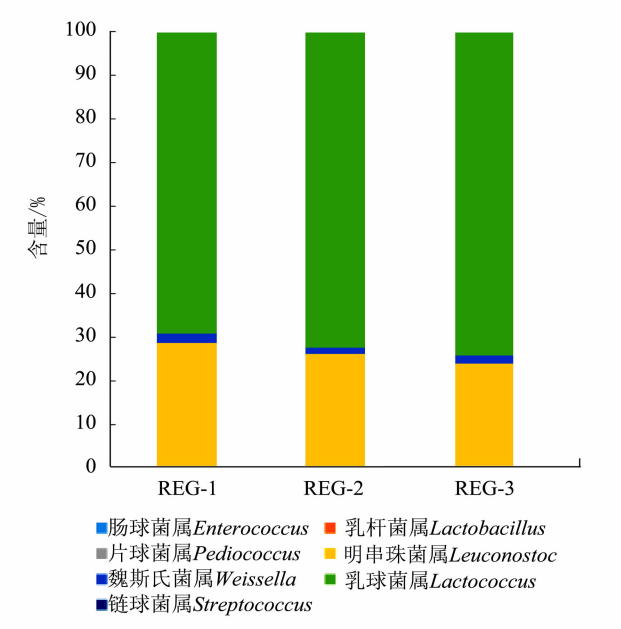

图 1 在属水平上的乳酸菌种类堆积

Fig. 1 Stacked distribution of *Lactococcus* genera

注：RGE1、RGE1、REG1 表示 3 个重复，图 2 同。

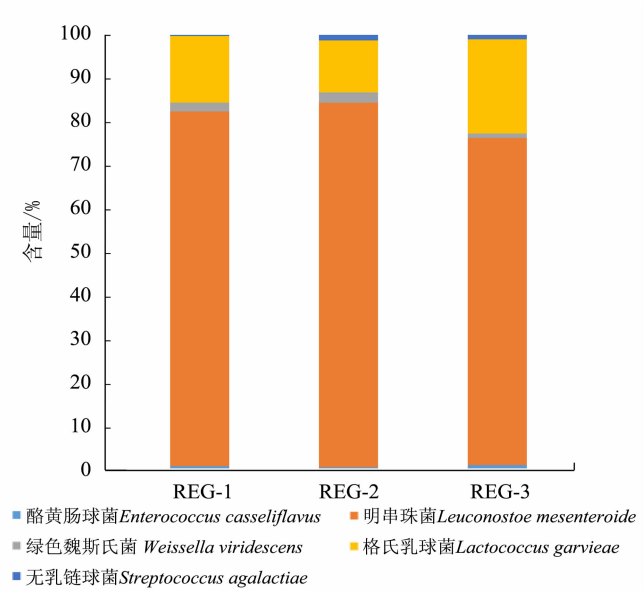

图 2 在种水平上的乳酸菌种类堆积

Fig. 2 Stacked distribution of *Lactococcus* species

2.3 红象草绿汁发酵液对菌糠青贮发酵品质的影响

红象草绿汁发酵液对菌糠青贮发酵品质的影响见表 3。与对照组相比，添加红象草绿汁发酵液处

理 6 个开封时间的菌糠青贮料 pH 值显著降低（$P<0.05$）；乳酸含量显著升高（$P<0.05$）；干物质、氨态氮、乙酸、丙酸和丁酸含量，对照组和处理组差异不显著（$P>0.05$）。说明添加红象草绿汁发酵液能够显著提高菌糠青贮料的乳酸含量，降低青贮料的 pH 值，提高青贮料的发酵品质。

添加红象草绿汁发酵液处理的菌糠青贮料发酵过程中，与发酵 1 d 和 3 d 相比，发酵 60 d 时氨态氮含量显著（$P<0.05$）升高；发酵 7 d 和 15 d 时 pH 值分别显著（$P<0.05$）降低，发酵 15、30、60 d 时 pH 值差异不显著；青贮料的乳酸含量 30 d>60 d>15 d>7 d、3 d>1 d，差异显著（$P<0.05$）；发酵 30 d 和 60 d 时青贮料的乙酸显著（$P<0.05$）升高；发酵 60 d 丙酸含量显著（$P<0.05$）升高；发酵 30 d 丁酸含量显著（$P<0.05$）升高（表 3）。说明菌糠青贮料发酵 1～15 d 时，乳酸发酵迅速，pH 值迅速降低，产生大量乳酸。在发酵 30 d 后，氨态氮、乙酸、丙酸和丁酸含量显著升高，这些不良发酵产物升高，不利于菌糠青贮料继续保存。因此，菌糠青贮料最佳的发酵时间在 15 d。

表 3　红象草绿汁发酵液对菌糠青贮发酵品质的影响

Table 3　Effect of FREGJ on quality of fungus chaff silage

发酵时间/d	处理	干物质/%	氨态氮/%	pH/%	乳酸/%	乙酸/%	丙酸/%	丁酸/%
1	CK	32.92±0.89	0.15±0.00	4.99±0.01a	0.07±0.01b	0.03±0.01	0.02±0.02	0.01±0.01
	REGPFJ	32.48±0.42	0.15±0.01C	4.61±0.03bA	0.25±0.03aF	0.04±0.01B	0.01±0.00C	0.00±0.00B
3	CK	32.85±0.25	0.15±0.01	4.82±0.01a	0.12±0.02b	0.04±0.01	0.01±0.01	0.01±0.02
	REGPFJ	33.34±1.92	0.15±0.01C	4.54±0.01bAB	0.28±0.01aDE	0.06±0.00B	0.02±0.01BC	0.00±0.00B
7	CK	31.85±0.36	0.16±0.01	4.65±0.02a	0.28±0.01b	0.07±0.00	0.03±0.01	0.01±0.01
	REGPFJ	31.70±0.27	0.17±0.01AB	4.37±0.01bCD	0.48±0.05aD	0.08±0.03B	0.03±0.01BC	0.01±0.01B
15	CK	32.36±0.33	0.18±0.02	4.57±0.04a	0.38±0.02b	0.10±0.01	0.04±0.00	0.01±0.01
	REGPFJ	31.86±0.23	0.17±0.01AB	4.31±0.01bD	0.61±0.07aC	0.09±0.06B	0.04±0.02BC	0.01±0.00B
30	CK	32.87±0.17	0.17±0.02	4.56±0.02a	0.52±0.06b	0.33±0.01	0.19±0.06	0.04±0.02
	REGPFJ	32.68±0.10	0.16±0.01BC	4.31±0.01bD	1.71±0.11aA	0.33±0.02A	0.06±0.05B	0.11±0.10A
60	CK	32.59±0.27	0.20±0.03	4.53±0.04a	0.78±0.08b	0.39±0.03	0.21±0.02	0.06±0.03
	REGPFJ	32.17±0.25	0.19±0.01A	4.36±0.06bCD	1.38±0.09aB	0.40±0.07A	0.13±0.02A	0.02±0.03B

注：REGPFJ：红象草绿汁发酵液；同列数据后不同大写字母表示同一处理不同发酵时间之间差异显著（$P<0.05$），同列数据后不同小写字母表示同一发酵时间不同处理之间差异显著（$P<0.05$）。

3　讨　论

本试验对菌糠营养成分、氨基酸组成和微生物组成进行分析，表明菌糠是一种具有一定营养价值的饲料资源，这与许多报道结果相似[6]。另外，菌糠的干物质含量、缓冲能等材料特性指标表明其适宜调制青贮发酵饲料。其微生物总量较少，特别是乳酸菌的数量更少。因此，必须添加外源的乳酸菌，促进其发酵的启动和进程。无添加剂的青贮发酵主要是利用植物表面附生的乳酸菌启动。利用植物原生的乳酸菌作为添加剂进行青贮发酵，能够有效提高青贮料的发酵品质[16-19]。绿汁发酵液是一种方便、有效的自然乳酸菌添加剂，能够改善饲草青贮料的发酵品质，降低青贮料的 pH 值，减少丁酸含量与氨态氮的含量，同时增加乳酸的含量[20]。Cai 等[21]报道与青贮有关的乳酸菌属主要有 7 个属，分别为：乳杆菌属、片球菌属、肠球菌属、明串珠菌属、乳球菌属、链球菌属、魏斯特菌属。试验结果中红象草绿汁发酵液中主要的微生物菌属为乳球菌属、明串珠菌属和魏斯氏菌属，合计占 90%以上，说明其能够影响青贮的发酵品质。陈国富等[22]研究灵芝菌糟饲料发酵中添加绿汁发酵液，结果发现，灵芝菌糟的 pH 值、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维、氨态氮显著降低，碳水化合物含量显著提高。本试验获得相似结果，添加红象草绿汁发酵液处理 6 个开封时间的菌糠青贮料 pH 值显著降低，乳酸含量显著升高，提高了菌糠饲料青贮发酵的品质。但所有的青贮料 pH 值均未下降到 4.2 以下，达不到优质青贮的标准。另外，本研究发现，添加红象草绿汁发酵液，菌糠青贮发酵饲料最佳的

开封时间是15 d，此时青贮料的pH值、氨态氮含量、乙酸含量、丙酸含量和丁酸含量较低，乳酸含量较高。在发酵30 d后，氨态氮含量、乙酸含量、丙酸含量和丁酸含量显著升高，这些不良发酵产物升高，不利于菌糠饲料的继续保存。原因可能：一是乳酸菌的快速大量生长繁殖需要足够的底物，而菌糠原料中的可溶性碳水化合物含量偏低（1.56% DM），本试验没有添加外源的底物供乳酸菌发酵，当发酵到达一定时间，剩余底物无法满足大量乳酸菌的继续生长繁殖[23]，导致内环境微生物菌群开始不稳定，不良微生物复苏，产生氨态氮、乙酸、丙酸和丁酸等不良产物；二是，添加的绿汁发酵液中含有的乳酸菌菌种主要是球菌（明串珠菌和格氏乳球菌），缺少像植物乳酸杆菌等产生速率和效能较高的乳酸菌菌种，无法在较短的时间内将pH值降至4.2以下，以达到完全抑制不良微生物的生长活动、长期保存青贮料的效果。这也可能是菌糠原料碳水化合物不足引发青贮料内环境微生物菌群的一系列变化产生的结果，具体有待进一步研究。

4 结 论

菌糠蛋白含量高，氨基酸含量丰富，营养价值好，是一种很好的饲料资源，可采用青贮发酵技术进行开发利用。添加红象草绿汁发酵的添加液能够显著降低菌糠青贮料的pH值和显著提高青贮料的乳酸含量，有效地促进菌糠发酵进程，保存其营养物质，其最佳的开封时间是15 d。

参考文献：

[1] 赵晓丽，陈智毅，刘学铭. 菌糠的高效利用研究进展［J］. 中国食用菌，2012，31（2）：1－3.

[2] 吴学谦，汪奎宏，朱光权，等. 香菇节木栽培基质生物降解规律的研究［J］. 中国食用菌，2002，21（4）：13－17.

[3] 马寿福，军花，刁治民，等. 食用菌菌糠营养价值及利用途径的研究［J］. 青海草业，2006，15（3）：36－39.

[4] 程云辉，张俊，钟声，等. 玉米秸菌糠在肉羊育肥中的应用效果［J］. 江苏农业科学，2007（6）：214－215.

[5] 程云辉，钟声，钱勇，等. 肉羊育肥饲料中添加秸秆菌糠的效果研究［J］. 草原与畜牧，2008（4）：47－49.

[6] 王声志，王泽河，何华奇，等. 玉米菌糠配合饲料对山羊的增重效果［J］. 安徽农业科学，1997，25（1）：68－69.

[7] 李超，王绍斌，刘燕洁. 金针菇菌糠饲喂昌图鹅仔鹅试验［J］. 食用菌，2007，29（3）：60－61.

[8] 李斌，屈东，邹成义. 发酵菌糠对育肥猪生产性能和胴体品质的影响［J］. 四川畜牧兽医，2007，35（9）：22－23.

[9] 王家富，莫发云，杨国民，等. 菌糠对育肥兔增重效果的研究［J］. 中国养兔杂志，2007，26（6）：6－8.

[10] 朱玉环，廉美娜，郭旭生，等. 藏嵩草绿汁发酵液提高苜蓿青贮发酵品质［J］. 农业工程学报，2013，29（5）：199－205.

[11] 陆云华，汤洪波，邹怀波，等. 台湾甜象草、红象草和皇竹草营养成分和无机元素的分析［J］. 浙江农业科学，2011，54（2）：418－419.

[12] 陈鑫珠. 含水率、混合比例及添加剂对水葫芦玉米秸秆混合青贮品质的影响［D］. 福州：福建农林大学，2010.

[13] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术［M］. 北京：中国农业科技出版社，2003：46－75.

[14] MCDONALD P，PLAYNE M J. The buffering constituents of herbage and of silage［J］. *Journal of the Science of Food and Agriculture*，1966，17：264－265.

[15] VAN SOEST P J，ROBERTSOM J B，LEWIS B A. Methods for dietary fiber，neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition［J］. *Journal of Dairy Science*，1991，74：3583－3597.

[16] KHOTA W，PHOLSEN S，HIGGS D，et al. Natural lactic acid bacteria population of tropical grasses and their fermentation factor analysis of silage prepared with cellulase and inoculant［J］. *Journal of Dairy Science*，2016，99：9768－9781.

[17] PHOLSEN S，KHOTA W，PANG H，et al. Characterization and application of lactic acid bacteria for tropical silage preparation［J］. *Journal of Dairy Science*，2016，87：1202－1211.

[18] CHEN X Z，ZHUANG Y F，ZHANG J G，et al. Factors influencing the distribution of lactic acid bacteria on Pennisetum grasses［J］. *Japanese Society of Grassland Science*，2017，63：150－158.

[19] 郭海明，夏天婵，朱雯，等. 青贮添加剂对稻草青贮品质和有氧稳定性的影响［J］. 草业学报2017，26（2）：190－196.

[20] CHEN X Z，LI W Y，GAO C F，et al. Silage preparation and fermentation quality of kudzu，sugarcane top and their mixture treated with lactic acid bacteria，molasses and cellulase［J］. *Animal Science Journal*，2017：doi：10.1111/asj. 12840.

[21] CAI Y M，BENNO Y，OGAWA M，et al. Influence of *Lactobacillus* spp. from an inoculant and of *Weissella* and *Leuconostoc* spp. from forage crops on silage fermentation［J］. *Appled and environmental microbiology*，1998，64（8）：2982－2987.

[22] 陈国富，张文昌，朱小清，等. 绿汁发酵液和纤维素酶对灵芝菌糟发酵饲料品质和发酵过程的影响［J］. 家畜生态学报，2015，36（7）：39－46.

[23] LI M，ZI X J，ZHOU H L，et al. Effect of sucrose，glucose，molasses，and cellulase on fermentation quality and in vitro gas production of king grass silage［J］. *Animal Feed Science and Technology*，2014，197：206－212.

（责任编辑：张 梅）