

不同添加剂对豆浆型和豆渣型发酵饲料 发酵品质及有氧稳定性的影响

李金库 王雪洋 赵峻祥 刘晨 孙奉召 乔新月 李井春 魏国生 李雁冰*
(黑龙江八一农垦大学动物科技学院,黑龙江省寒区饲料资源高效利用与营养调控重点实验室,大庆 163319)

摘要: 本试验旨在研究不同添加剂对豆浆型和豆渣型发酵饲料发酵品质及有氧稳定性的影响。添加剂包括布氏乳杆菌(LB)、植物乳杆菌(LP)、复合化学添加剂1和2。每组称取900 g混合发酵饲料,由玉米胚芽粕、豆渣或豆浆、大豆糖蜜、喷浆玉米皮、稻壳按12:45:1:25:17比例配制而成。试验共6组,分别为对照组(无任何添加剂)、复合化学添加剂1组(添加4 L/t复合化学添加剂1)、复合化学添加剂2组(添加2 L/t复合化学添加剂2)、LB+LP(水)组(添加2.0 mL/kg LP和LB冻干粉末与水混合菌液,LB添加量为 10^6 CFU/g,LP添加量为 10^6 CFU/g)、LB+LP(MRS)组[添加2.0 mL/kg LP和LB冻干粉末与乳酸细菌培养基(MRS)混合菌液,LB添加量为 10^6 CFU/g,LP添加量为 10^6 CFU/g]、LB+LP组(添加2.0 mL/kg LB和LP用MRS复活后的菌液,LB添加量为 10^6 CFU/g,LP添加量为 10^6 CFU/g)。每组3个重复,2种发酵饲料发酵周期均为10 d,室温储存。结果表明:1)豆渣型发酵饲料方面,与对照组相比,复合化学添加剂1和2组的干物质含量及乳酸菌数量显著升高($P<0.05$),复合化学添加剂2和LB+LP组的乳酸、丙酸、异丁酸含量显著降低($P<0.05$),各试验组的乳酸菌数量显著提高($P<0.05$);复合化学添加剂1组的开封当天(1 d)pH显著高于其他各组($P<0.05$),LB+LP(MRS)组的最终(7 d)pH显著高于其他各组($P<0.05$),复合化学添加剂2组的最终(7 d)pH显著低于其他各组($P<0.05$)。2)豆浆型发酵饲料方面,复合化学添加剂1和2组的pH显著高于其他各组($P<0.05$),复合化学添加剂1组的干物质显著高于其他各组($P<0.05$),LB+LP(MRS)组的丙酸含量显著高于除LB+LP(水)组外的其他各组($P<0.05$),LB+LP(水)组的乙醇含量显著高于其他各组($P<0.05$);复合化学添加剂2组的开封当天(1 d)pH显著高于其他各组($P<0.05$),LB+LP(MRS)组的最终(7 d)pH显著高于其他各组($P<0.05$),LB+LP(水)、LB+LP(MRS)、LB+LP组的最终(7 d)pH均显著高于对照组($P<0.05$)。由此可见,各添加剂都在一定程度上改善了豆浆型和豆渣型发酵饲料的发酵品质和有氧稳定性,但复合化学添加剂在改善豆渣型发酵饲料的发酵品质和有氧稳定性方面优于其他添加剂。

关键词: 豆渣型发酵饲料;豆浆型发酵饲料;添加剂;发酵品质;有氧稳定性

中图分类号:S816.3

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)03-1424-10

大豆作为主要的蛋白质饲料原料,目前的国内产量远不能满足生产需求。为此,我国每年都

从美国和巴西等主要大豆产地进口大量的大豆^[1],仅在2018年我国就进口大豆8 803万t^[2],

收稿日期:2019-09-05

基金项目:黑龙江八一农垦大学研究生创新科研项目(YJSCX2019-Y22);国家自然科学基金项目(31402136);黑龙江省自然科学基金青年项目(QC2018022);黑龙江八一农垦大学创新人才项目(CXRC2017007);国家重点研发计划项目(2017YFD0502106-2)

作者简介:李金库(1995—),男,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,研究方向为牧草加工与青贮技术。E-mail:1763464264@qq.com

*通信作者:李雁冰,副教授,硕士生导师,E-mail:liyanbing929@163.com

而豆浆和豆渣作为大豆加工主要副产品,其营养成分并没有得到充分的利用。目前,国内豆浆和豆渣在养殖领域的应用研究才刚刚起步,合理利用现有的大豆资源,充分利用大豆加工副产品,对我国饲料产业的发展具有重要的意义。

发酵饲料是目前被广泛使用的用于减少抗生素使用的饲料^[3],它不但能通过在现代猪生产中使用工业副产品来降低生产成本^[4],还能通过微生物发酵降解饲料原料中抗营养因子,并提供益生菌^[5]。豆浆和豆渣是豆制品加工行业的主要副产品,豆浆以其营养而闻名^[6],但豆渣由于含有抗营养因子,在饲料应用方面受到限制^[7]。据统计,我国每年生产湿豆渣 2 000 万 t^[8]。Jiang 等^[7]用豆渣为原料,运用固态发酵技术添加 γ -聚谷氨酸(γ -poly-glutamic acid, γ -PGA)生产染色芽孢杆菌,证明了连续分批发酵的可行性。Jiang 等^[9]也曾以发酵豆渣部分替代豆粕,通过饲养试验研究其对鱼的生长性能及血液生化指标的影响,结果显示发酵豆渣对鱼的生长有一定的促进作用,以 40 g/kg 替代豆粕时生长性能最佳。Yadav 等^[10]利用豆浆作为代乳剂饲喂水牛犊牛,结果表明添加维生素、矿物质和酶的豆浆可替代多达 80% 的水牛乳,节省成本且对水牛生长性能无不良影响。目前,国内在高水分豆渣和豆浆直接发酵并在短时间内达到利用效果的技术还不是很成熟。因此,本试验通过在豆浆型和豆渣型发酵饲料中添加微生物和复合化学添加剂,研究不同添加剂对豆浆型和豆渣型发酵饲料有氧稳定性及发酵产物的影响,旨在探究豆渣和豆浆开发为发酵饲料的可行性以及适合豆浆型和豆渣型发酵饲料的添加剂,为合理利用大豆加工副产物提供理论依据和科学指导。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与 设计

主要试验材料:布氏乳杆菌(*Lactobacillus buchneri*, LB)、植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*, LP)、复合化学添加剂(复合化学添加剂 1 和 2 均由苯甲酸钠、亚硝酸钠、山梨酸钾配制而成,但是复合化学添加剂 1 和 2 中各成分比例不同)、乳酸细菌培养基(MRS)。玉米胚芽粕、豆渣、豆浆、大豆糖蜜、喷浆玉米皮、稻壳均由大庆市牧源药业公司提供。

试验时间为 2018 年 4 月,试验共 6 组,分别为对照组、复合化学添加剂 1 组、复合化学添加剂 2 组、LB+LP(水)组、LB+LP(MRS)组、LB+LP 组。每组称取 900 g 混合发酵饲料,由玉米胚芽粕、豆渣或豆浆、大豆糖蜜、喷浆玉米皮、稻壳按 12:45:1:25:17 比例配制而成,分别作如下处理:1)对照组无任何添加剂;2)复合化学添加剂 1 组添加复合化学添加剂 1,添加量为 4 L/t;3)复合化学添加剂 2 组添加复合化学添加剂 2,添加量为 2 L/t;4) LB+LP(水)组添加 LP 和 LB 冻干粉末与水混合菌液,以 2.0 mL/kg 的添加量添加到发酵饲料中, LB 添加量为 10^6 CFU/g, LP 添加量为 10^6 CFU/g;5) LB+LP(MRS)组添加 LP 和 LB 冻干粉末与 MRS 混合菌液,以 2.0 mL/kg 的添加量添加到发酵饲料中, LB 添加量为 10^6 CFU/g, LP 添加量为 10^6 CFU/g;6) LB+LP 组添加 LB 和 LP 用 MRS 复活后的菌液,按 1:1 体积比混合均匀, LB 添加量为 10^6 CFU/g, LP 添加量为 10^6 CFU/g。各组均用蒸馏水将水分调至同一水平。将每组混合好的饲料均匀地装入 3 个真空袋内。用真空封口机进行封口,把真空袋放在室温中发酵,豆浆型和豆渣型发酵饲料发酵时间为 10 d,每组 3 个重复。开封后取样分析化学成分及发酵品质。原料干物质含量、pH 及微生物含量见表 1。

1.2 指标检测

1.2.1 干物质含量测定

开封前、后样品干物质含量采用 65 °C 烘箱干燥 48 h 后进行测定^[11]。

1.2.2 微生物数量测定

乳酸菌数量的测定采用 MRS 平板计数法。大肠杆菌数量的测定采用紫红胆盐琼脂培养后进行计数。使用 pH 调至 3.5 的马铃薯琼脂培养基培养酵母菌和霉菌,并采用平皿涂布法^[12]测定酵母菌和霉菌数量。

1.2.3 发酵品质和 有氧稳定性

pH 测定:用 pH-100 精密 pH 计(哈尔滨市南岗区硕博顺达试剂公司)测定^[13]。

挥发性脂肪酸含量测定:称取发酵饲料 10 g,放入 6 号自封袋中,加入 90 g 去离子水,然后经定性滤纸过滤,并将浸提液置于 -20 °C 冷冻保存待测。挥发性脂肪酸和醇类含量采用高效液相色谱仪(戴安中国有限公司)测定^[14],色谱柱:Sepax Carbomix H-NP5,配同系保护柱 Carbomix H-NP5;

流动相: 2.5 mmol/L H_2SO_4 水溶液, 流速: 30 $^{\circ}C$, 响应时间: 6 s, 进样量: 20 μL 。
0.55 mL/min, 柱温: 57 $^{\circ}C$, 示差检测器温度:

表 1 原料干物质含量、pH 及微生物数量 (鲜重)

Table 1 DM content, pH and microbial number of raw materials (fresh weight)

项目 Items	豆渣 Bean dregs	豆浆 Soybean milk	稻壳 Rice husk	喷浆玉米皮 Spray corn husk	玉米胚芽粕 Corn germ meal	糖蜜 Molasses
干物质 DM/%	23.64		90.56	97.98	90.49	
pH	5.31	4.10	6.33	4.02	3.80	4.78
乳酸菌 Lactic acid bacteria/[log(CFU/g)]			5.94	5.41	6.54	8.00
酵母菌 Yeast/[log(CFU/g)]	6.29	5.98				
大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i> /[log(CFU/g)]		8.60	8.64	7.61	5.64	7.60
霉菌 Molds/[log(CFU/g)]				4.91		6.60

有氧稳定性测定: 所有发酵饲料达到贮存日期后开封, 样料敞口放置 7 d, 环境温度为室温。连续 7 d 固定时间测定 pH, pH 上升幅度小, 有氧稳定性则较好, 反之较差^[15]。

1.3 数据统计分析

发酵品质和有氧稳定性结果采用 SPSS 19.0 统计软件对数据进行单因子方差分析 (one-way ANOVA), 采用 Duncan 氏法进行多重比较, 结果以“平均值 \pm 标准差”表示, $P < 0.05$ 为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 不同添加剂对豆渣型发酵饲料发酵品质的影响

如表 2 所示, 与对照组相比, 复合化学添加剂 1 和 2 组的干物质、乙酸含量及乳酸菌数量显著升高 ($P < 0.05$)。复合化学添加剂 1 组的干物质含量最高, 为 57.50%; 乳酸菌数量最高, 为 9.04 log(CFU/g)。与对照组相比, 复合化学添加剂 2 和 LB+LP 组的乳酸、丙酸、异丁酸含量显著降低 ($P < 0.05$), 复合化学添加剂 2 组的乳酸、丙酸和异丁酸含量最低, 分别为 26.68、1.62、1.44 g/kg DM。对照组的乳酸菌数量显著低于其他各组 ($P < 0.05$)。

2.2 不同添加剂对豆渣型发酵饲料有氧稳定性的影响

如表 3 所示, 复合化学添加剂 1 和 2 组在有氧暴露期间内稳定性较好, pH 变化幅度较小; 而 LB+LP(水)、LB+LP(MRS)、LB+LP 组在 1~3 d 表

现出良好的稳定性, 但在 4~7 d pH 显著升高 ($P < 0.05$)。复合化学添加剂 1 组的开封当天 (1 d) pH 最高, 为 4.32, 显著高于对照组和其他试验组 ($P < 0.05$); LB+LP(MRS) 组的最终 (7 d) pH 最高, 为 6.73, 显著高于对照组和其他试验组 ($P < 0.05$); 复合化学添加剂 2 组的最终 (7 d) pH 最低, 为 4.30, 显著低于对照组和其他试验组 ($P < 0.05$)。

2.3 不同添加剂对豆浆型发酵饲料发酵品质的影响

如表 4 所示, 各试验组对豆浆型发酵饲料发酵品质的改善虽然没有豆渣型发酵饲料明显, 但在某些指标上还是有一定的效果。从整体看, 复合化学添加剂 1 组发酵品质较好。复合化学添加剂 1 和 2 组的 pH 分别为 4.03 和 4.06, 显著高于对照组和其他试验组 ($P < 0.05$)。复合化学添加剂 1 组的干物质含量为 57.52%, 显著高于对照组和其他试验组 ($P < 0.05$)。LB+LP(MRS) 组的丙酸含量最高, 显著高于对照组和除 LB+LP(水) 组外的其他试验组 ($P < 0.05$)。LB+LP(水) 组的乙醇含量最高, 显著高于对照组和其他试验组 ($P < 0.05$)。

2.4 不同添加剂对豆浆型发酵饲料有氧稳定性的影响

如表 5 所示, 对照组和化学添加剂 1、2 组在有氧暴露期间内稳定性较好, 虽 1 d 和 7 d 之间差异显著 ($P < 0.05$), 但变化幅度较小。而 LB+LP(水)、LB+LP(MRS)、LB+LP 组有氧暴露期间变化幅度较大。复合化学添加剂 2 组的开封当天 (1 d) pH 最高, 为 4.06, 显著高于对照组和其他试验组 ($P < 0.05$); LB+LP(MRS) 组的最终 (7 d) pH

最高,为 6.18,显著高于对照组和其他试验组 ($P < 0.05$);各试验组的最终(7 d) pH 均高于对照组,但只有 LB+LP(水)、LB+LP(MRS)、LB+LP 组与对照组差异显著 ($P < 0.05$)。

表 2 不同添加剂对豆渣型发酵饲料发酵品质的影响(干物质基础)

Table 2 Effects of different additives on fermentation quality of bean dregs type fermented feed (DM basis)

项目 Items	对照组 Control group	复合化学 添加剂 1 组 Compound chemical additive 1 group	复合化学 添加剂 2 组 Compound chemical additive 2 group	LB+LP (水)组 LB+LP (water) group	LB+LP (MRS)组 LB+LP (MRS) group	LB+LP 组 LB+LP group	SEM	P 值 P-value
pH	4.20±0.04 ^b	4.32±0.03 ^a	4.22±0.04 ^b	3.84±0.05 ^c	3.88±0.09 ^c	3.89±0.06 ^c	0.05	<0.01
干物质 DM/%	54.67±0.58 ^b	57.50±0.00 ^a	57.10±0.24 ^a	54.70±0.51 ^b	53.84±0.97 ^b	54.20±1.00 ^b	1.56	<0.01
乳酸 Lactic acid/(g/kg)	44.64±1.1.75 ^b	29.27±0.14 ^d	26.68±0.08 ^c	49.58±1.24 ^a	50.03±0.91 ^a	32.85±0.82 ^c	9.88	<0.01
乙酸 Acetic acid/(g/kg)	2.33±0.14 ^c	4.33±0.17 ^b	3.53±0.07 ^c	2.79±0.14 ^d	4.67±0.11 ^a	3.54±0.04 ^c	0.84	<0.01
丙酸 Propioni acid/(g/kg)	2.48±0.05 ^a	2.16±0.07 ^c	1.62±0.08 ^d	2.43±0.10 ^{ab}	2.35±0.06 ^b	1.71±0.06 ^d	0.35	<0.01
异丁酸 Isobutyric acid/(g/kg)	2.41±0.03 ^a	1.96±0.06 ^b	1.44±0.10 ^c	2.26±0.10 ^a	2.13±0.07 ^b	1.51±0.07 ^c	0.38	<0.01
丁二酸 Succinic acid/(g/kg)	2.59±0.11 ^c	3.89±0.07 ^a	2.60±0.08 ^c	2.78±0.07 ^b	2.36±0.09 ^d	1.14±0.06 ^c	0.83	<0.01
乙醇 Ethanol/(g/kg)	15.63±0.06 ^c	0.00±0.00 ^c	10.00±0.47 ^d	19.10±0.14 ^a	18.37±0.32 ^b	10.32±0.03 ^d	6.70	<0.01
乳酸菌 Lactic acid bacteria/ [log(CFU/g)]	6.16±0.02 ^f	9.04±0.07 ^a	8.72±0.07 ^b	7.38±0.02 ^c	7.47±0.05 ^d	7.79±0.05 ^c	0.97	0.01
酵母菌 Yeasts/[log(CFU/g)]	6.68±0.06 ^c	5.71±0.08 ^f	7.73±0.11 ^b	7.37±0.06 ^c	8.81±0.07 ^a	7.02±0.01 ^d	0.97	<0.01

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。表 4 同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as Table 4.

表 3 不同添加剂对豆渣型发酵饲料有氧稳定性的影响

Table 3 Effects of different additives on aerobic stability of soybean dregs type fermented feed

项目 Items	对照组 Control group	复合化学 添加剂 1 组 Compound chemical additive 1 group	复合化学 添加剂 2 组 Compound chemical additive 2 group	LB+LP (水)组 LB+LP (water) group	LB+LP (MRS)组 LB+LP (MRS) group	LB+LP 组 LB+LP group	SEM	P 值 P-value
1 d	4.20±0.04 ^{Gb}	4.32±0.03 ^{Ba}	4.22±0.04 ^{ABb}	3.84±0.05 ^{Ec}	3.88±0.09 ^{Ec}	3.89±0.06 ^{Ec}	0.05	<0.01
2 d	4.30±0.01 ^{Fa}	4.30±0.01 ^{Ba}	4.21±0.03 ^{ABb}	3.86±0.03 ^{Ed}	3.83±0.04 ^{Ed}	3.92±0.03 ^{Ec}	0.05	<0.01
3 d	4.41±0.03 ^{Ea}	4.26±0.02 ^{Bb}	4.15±0.02 ^{Bc}	3.89±0.06 ^{Ed}	3.90±0.08 ^{Ed}	3.86±0.06 ^{Ed}	0.05	<0.01
4 d	4.54±0.05 ^{Db}	4.30±0.05 ^{Bc}	4.12±0.06 ^{Bd}	4.13±0.01 ^{Dd}	5.35±0.07 ^{Da}	4.17±0.02 ^{Dd}	0.11	<0.01
5 d	5.56±0.01 ^{Cb}	4.35±0.10 ^{Bd}	4.16±0.06 ^{Bc}	5.41±0.04 ^{Cc}	5.84±0.03 ^{Ca}	5.62±0.06 ^{Cb}	0.16	<0.01

续表3

项目 Items	对照组 Control group	复合化学 添加剂1组 Compound chemical additive 1 group	复合化学 添加剂2组 Compound chemical additive 2 group	LB+LP (水)组 LB+LP (water) group	LB+LP (MRS)组 LB+LP (MRS) group	LB+LP组 LB+LP group	SEM	P值 P-value
6 d	6.22±0.03 ^{Ba}	4.31±0.00 ^{Bd}	4.29±0.13 ^{Ad}	5.79±0.06 ^{Bc}	6.29±0.06 ^{Ba}	6.04±0.07 ^{Bb}	0.21	<0.01
7 d	6.38±0.10 ^{Ab}	4.46±0.09 ^{Ac}	4.30±0.07 ^{Ad}	6.30±0.10 ^{Ab}	6.73±0.04 ^{Aa}	6.34±0.04 ^{Ab}	0.24	<0.01
SEM	0.20	0.02	0.02	0.22	0.26	0.23		
P值 P-value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		

同行数据肩标不同小写字母表示同一个开封时间不同组间差异显著 ($P<0.05$), 同列数据肩标不同大写字母表示同一个组不同开封时间差异显著 ($P<0.05$)。表5同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference in different groups at the same unsealing time ($P<0.05$); in the same column, values with different capital letter superscripts mean significant difference in the same group at different unsealing times ($P<0.05$). The same Table 5.

表4 不同添加剂对豆浆型发酵饲料发酵品质的影响(干物质基础)

Table 4 Effects of different additives on fermentation quality of soybean milk type fermented feed (DM basis)

项目 Items	对照组 Control group	复合化学 添加剂1组 Compound chemical additive 1 group	复合化学 添加剂2组 Compound chemical additive 2 group	LB+LP (水)组 LB+LP (water) group	LB+LP (MRS)组 LB+LP (MRS) group	LB+LP组 LB+LP group	SEM	P值 P-value
pH	3.91±0.01 ^c	4.03±0.01 ^b	4.06±0.01 ^a	3.92±0.01 ^{dc}	3.95±0.01 ^c	3.93±0.02 ^d	0.01	<0.01
干物质 DM/%	55.05±0.20 ^c	57.52±0.07 ^a	56.70±0.23 ^b	55.79±0.05 ^d	56.50±0.12 ^{bc}	56.39±0.22 ^c	0.80	<0.01
乳酸 Lactic acid/(g/kg)	59.64±3.95 ^a	41.06±7.25 ^c	46.78±5.47 ^{bc}	61.52±3.55 ^a	57.90±2.99 ^a	52.09±7.72 ^{ab}	8.83	<0.01
乙酸 Acetic acid/(g/kg)	4.59±0.72 ^{ab}	2.76±0.21 ^d	2.95±0.60 ^{cd}	5.70±0.76 ^a	5.09±0.68 ^{ab}	4.02±0.85 ^{bc}	1.24	<0.01
丙酸 Propionic acid/(g/kg)	1.79±0.29 ^b	1.51±0.29 ^b	1.61±0.29 ^b	1.95±0.40 ^{ab}	2.36±0.27 ^a	1.65±0.14 ^b	0.38	0.04
丁酸 Butyric acid/(g/kg)	0.27±0.12	0.13±0.11	5.05±8.38	0.39±0.11	—	0.16±0.10	3.43	0.45
异丁酸 Isobutyric acid/(g/kg)	0.78±0.18	0.70±0.35	1.07±0.18	0.87±0.02	0.98±0.23	0.76±0.08	0.22	0.27
丁二酸 Succinic acid/(g/kg)	2.47±0.43 ^{ab}	1.75±0.71 ^b	2.14±0.30 ^{ab}	2.75±0.37 ^{ab}	3.43±0.70 ^a	3.52±1.56 ^a	0.94	0.11
乙醇 Ethanol/(g/kg)	13.12±3.44 ^b	3.66±0.81 ^c	10.28±2.42 ^b	25.58±2.77 ^a	13.94±3.71 ^b	11.17±0.31 ^b	7.07	<0.01
乳酸菌 Lactic acid bacteria/ [log(CFU/g)]	6.41±0.49	6.61±0.42	6.04±0.02	7.53±1.54	7.23±0.92	7.42±0.07	0.86	0.19
酵母菌 Yeasts/[log(CFU/g)]	4.21±1.78	1.41±2.21	3.73±0.62	3.97±1.72	3.08±0.98	1.23±1.94	1.90	0.21

表 5 不同添加剂对豆浆型发酵饲料有氧稳定性的影响

Table 5 Effects of different additives on aerobic stability of soybean milk type fermented feed

项目 Items	对照组 Control group	复合化学 添加剂 1 组 Compound chemical additive 1 group	复合化学 添加剂 2 组 Compound chemical additive 2 group	LB+LP (水)组 LB+LP (water) group	LB+LP (MRS)组 LB+LP (MRS) group	LB+LP 组 LB+LP group	SEM	P 值 P-value
1 d	3.91±0.01 ^{Ec}	4.03±0.01 ^{Db}	4.06±0.01 ^{Ea}	3.92±0.01 ^{Bde}	3.95±0.01 ^{Ec}	3.93±0.02 ^{DEd}	0.01	<0.01
2 d	4.01±0.07 ^{DEbc}	4.08±0.04 ^{Cab}	4.13±0.05 ^{Da}	3.99±0.03 ^{Bc}	3.93±0.01 ^{Ecd}	3.89±0.04 ^{Ed}	0.02	<0.01
3 d	4.07±0.06 ^{BCDc}	4.18±0.02 ^{Bab}	4.21±0.04 ^{CDa}	4.09±0.10 ^{Bbc}	4.10±0.01 ^{Dbc}	4.11±0.05 ^{CDbc}	0.02	0.04
4 d	4.14±0.06 ^{ABCa}	4.20±0.03 ^{Ba}	4.17±0.09 ^{Da}	4.17±0.07 ^{Ba}	4.02±0.01 ^{DEb}	4.11±0.02 ^{CDab}	0.02	0.06
5 d	4.21±0.06 ^{Abc}	4.26±0.01 ^{Ab}	4.34±0.03 ^{ABa}	4.14±0.02 ^{Bd}	4.20±0.01 ^{Ccd}	4.21±0.03 ^{Cbc}	0.02	<0.01
6 d	4.05±0.05 ^{CDc}	4.10±0.02 ^{Cc}	4.27±0.03 ^{BCc}	5.66±0.23 ^{Ab}	6.08±0.01 ^{Ba}	5.49±0.22 ^{Bb}	0.20	<0.01
7 d	4.16±0.07 ^{ABc}	4.21±0.02 ^{Bc}	4.36±0.02 ^{Ac}	5.77±0.34 ^{Ab}	6.18±0.04 ^{Aa}	5.74±0.18 ^{Ab}	0.21	<0.01
SEM	0.02	0.02	0.02	0.17	0.21	0.16		
P 值 P-value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		

3 讨论

3.1 不同添加剂对豆浆型和豆渣型发酵饲料有氧稳定性的影响

首先,经过 10 d 的发酵,豆浆型和豆渣型发酵饲料在开封当天表现出很好的 pH 和干物质含量;其次,豆浆型发酵饲料一直表现出很好的有氧稳定性,而豆渣型发酵饲料在开封后 4 d 内也表现出良好的有氧稳定性,这表明豆浆和豆渣可以作为发酵底物。有氧稳定性对发酵饲料至关重要,特别是 pH 被认为是影响和提高青贮发酵饲料发酵质量的重要因素^[16]。Chen 等^[17]试验证明,发酵饲料中低 pH(4.19 或更低)均可促进良好发酵,发酵饲料开封后,饲料接触空气,引起好氧微生物的生物活动,致使饲料中的糖、乳酸、乙酸、蛋白质和氨基酸被分解,同时产生热量,使 pH 升高,pH 前后变化超过 2 时发生腐败,品质变坏。影响有氧稳定性的微生物主要有酵母菌和霉菌^[18]。一般以测定开封后 7 d 的各项指标来判断发酵品质^[19]。本试验中,复合化学添加剂 1 和 2 组的有氧稳定性很好,可能是因为在发酵开封后,饲料中的乳酸菌数量和乳酸含量比较高,提高了有氧稳定性。苯甲酸钠和乳酸菌是最有前途的添加剂,既能提高青贮饲料发酵,又能提高好氧稳定性^[20]。Ranjit 等^[21]的试验证明,采用 1×10^6 CFU/g 的布氏乳杆菌接种玉米青贮饲料,可获得较好的乳酸发酵效

果,玉米青贮饲料的好氧稳定性得到了显著提高。但在本试验中,乳酸菌的添加并没有有效改善发酵饲料的有氧稳定性,开封后 3 d 的 pH 迅速升高,没有起到抑制二次发酵的效果,可能是发酵时间不充足导致的乳酸菌数量和乳酸含量不足。洪梅等^[22]研究发现,布什乳杆菌是发酵后期的主导菌群,在发酵过程中起到非常重要的作用,这与本试验中添加微生物的试验组有氧稳定性略差的结果相符。各试验组的乙酸含量都显著高于对照组,但乳酸菌复合制剂添加组的酵母菌较多,酵母菌在有氧条件下代谢产生较多的二氧化碳和乙醇,影响了饲料的发酵品质。Kleinschmit 等^[23]的试验也证明,有氧稳定性较好的发酵饲料乙酸含量都比较高,而乙醇含量都比较低。这与复合化学添加剂组较好的有氧稳定性试验结果相符合。

3.2 不同添加剂对豆浆型和豆渣型发酵饲料发酵品质的影响

乳酸菌和乳酸的产生有利于改善发酵品质。利用含有植物乳杆菌等细菌的青贮饲料接种剂,可以快速降低青贮饲料的 pH,避免发酵过程中不需要的微生物的增殖,从而提高青贮饲料的质量^[24]。底物中的大豆糖蜜含有碳水化合物、蛋白质、脂肪等成分且含量很高,营养物质丰富^[25],近几年常被用作微生物的发酵底物,在本试验中,各试验组发酵饲料中以大豆糖蜜为发酵底物,是为了让乳酸菌快速繁殖,达到快速发酵的目的^[26]。

同时,孟陆丽等^[27]就曾用大豆糖蜜做底物并以乳酸杆菌发酵生产乳酸,并得到了最佳配比,林丽芳^[28]的研究也证明促进乳酸的发酵,丁酸的发酵会在发酵过程中受到抑制,进而提高紫花苜蓿青贮的发酵品质。乳酸含量的提高有助于提高发酵品质^[29]。本试验中,各组均含有一定量的乳酸,其中以LB+LP(MRS)组乳酸含量最多,可能是乳酸菌利用糖蜜代谢产生乳酸。乳酸的产生可以降低发酵饲料的pH^[30],使发酵饲料的营养价值和适口性得到提高。本试验中,LB+LP(水)和LB+LP(MRS)组的乳酸菌含量显著高于对照组和其他试验组,其原因应该是发酵初期乳酸菌的添加致使乳酸菌大量繁殖,也导致乳酸含量迅速增加。化学添加剂在目前生产中普遍使用,它用量少,效果好,能有效提高发酵产物的干物质含量,减少干物质损失率^[31],这与复合化学添加剂1和2组豆浆型和豆渣型发酵饲料的干物质含量很高的发酵试验结果相同。复合化学添加剂的添加还可以降低发酵初期有害微生物的活性,确保发酵成功。复合化学添加剂1和2组的乳酸含量低,但是乳酸菌数量很高,可能是复合化学添加剂的添加有利于乳酸菌的生长,但它没有像乳酸菌添加组一开始就有大量乳酸菌,所以乳酸含量的积累不如乳酸菌添加组,但其乳酸含量低的真正原因还需进一步研究。虽然乳酸含量不如乳酸菌添加组高,但复合化学添加剂的添加也在一定程度上促进了乳酸的发酵,改善了发酵品质。豆浆型混合饲料中LB+LP组与对照组相比仅干物质含量升高,其他指标均无显著差异,这与万江春等^[32]LB+LP混合添加组具有良好的发酵结果不同。原因可能是发酵时间较短,布氏乳杆菌尚未发挥作用,也可能是发酵底物的差异导致。但真正原因还需进一步研究。

4 结论

各添加剂都在一定程度上改善了豆浆型和豆渣型发酵饲料的发酵品质和有氧稳定性,但复合化学添加剂在改善豆渣型发酵饲料的发酵品质和有氧稳定性方面优于其他添加剂。

参考文献:

- [1] 周曙东,钱悦.美国、巴西大豆生产成本收益比较及对中国的启示[J].世界农业,2018(2):113-118.
- [2] 王辽卫.2017年我国饲料原料市场回顾与展望[J].猪业科学,2018,35(2):49-51.
- [3] PIUMED-FERRER C, VON WRIGHT A. Fermented pig liquid feed: nutritional, safety and regulatory aspects[J]. Journal of Applied Microbiology, 2009, 106(2):351-368.
- [4] WANG J, HAN Y, ZHAO J Z, et al. Consuming fermented distillers' dried grains with solubles (DDGS) feed reveals a shift in the faecal microbiota of growing and fattening pigs using 454 pyrosequencing[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(4):900-910.
- [5] KIARIE E, BHANDARI S, SCOTT M, et al. Growth performance and gastrointestinal microbial ecology responses of piglets receiving *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products after an oral challenge with *Escherichia coli* (K88) [J]. Journal of Animal Science, 2011, 89(4):1062-1078.
- [6] PATRIGNANI F, MODESTO M, MICHELINI S, et al. Technological potential of *Bifidobacterium aesculapii* strains for fermented soymilk production [J]. LWT, 2018, 89:689-696.
- [7] JIANG K, TANG B, WANG Q, et al. The bio-processing of soybean dregs by solid state fermentation using a poly γ -glutamic acid producing strain and its effect as feed additive [J]. Bioresource Technology, 2019, 291:121841.
- [8] CHEN Y, YE R, YIN L, et al. Novel blasting extrusion processing improved the physicochemical properties of soluble dietary fiber from soybean residue and *in vivo* evaluation [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 120:1-8.
- [9] JIANG Y, ZHAO P F, LIN S M, et al. Partial substitution of soybean meal with fermented soybean residue in diets for juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides* [J]. Aquaculture Nutrition, 2018, 24(4):1213-1222
- [10] YADAV D S, BAGHEL R P S, NAYAK S, et al. Effect of fortified soymilk as partial milk replacer on performance and feeding economics of murrah buffalo calves [J]. Journal of Animal Research, 2018, 8(1):21-25
- [11] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3版.北京:中国农业大学出版社,2007:48-80.
- [12] PARVIN S, WANG C, LI Y, et al. Effects of inoculation with lactic acid bacteria on the bacterial communities of Italian ryegrass, whole crop maize, guinea grass and rhodes grass silages [J]. Animal Feed Science and

- Technology, 2010, 160(3/4):160-166.
- [13] HAN K J, COLLINS M, VANZANT E S, et al. Bale density and moisture effects on alfalfa round bale silage[J]. Crop Science, 2004, 44(3):914-919.
- [14] 唐庆凤, 杨承剑, 彭开屏, 等. 添加植物乳杆菌对桑枝叶与玉米秸秆混合青贮发酵品质的影响[J]. 饲料工业, 2018, 39(19):38-43.
- [15] 马迪, 梁慧慧, 邵文强, 等. 不同乳酸菌添加剂对青贮黑麦草和青贮玉米发酵产物和有氧稳定性的影响[J]. 草地学报, 2014, 22(6):1365-1370.
- [16] DENEK N, CAN A, AVCI M, et al. The effect of molasses-based pre-fermented juice on the fermentation quality of first-cut Lucerne silage[J]. Grass and Forage Science, 2011, 66(2):243-250.
- [17] CHEN L, GUO G, YUAN X J, et al. Effects of applying molasses, lactic acid bacteria and propionic acid on fermentation quality, aerobic stability and *in vitro* gas production of total mixed ration silage prepared with oat-common vetch intercrop on the Tibetan Plateau[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(5):1678-1685.
- [18] FERRERO F, PIANO S, TABACCO E, et al. Effects of conservation period and *Lactobacillus hilgardii* inoculum on the fermentation profile and aerobic stability of whole corn and sorghum silages[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(5):2530-2540.
- [19] WANG M S, YANG C H, JIA L J, et al. Effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation characteristics and aerobic stability of whipgrass silage in laboratory silos[J]. Grassland Science, 2014, 60(4):233-239.
- [20] DE FARIA PEDROSO A, NUSSIO L G, LOURES D R S, et al. Fermentation, losses, and aerobic stability of sugarcane silages treated with chemical or bacterial additives[J]. Scientia Agricola, 2008, 65(6):589-594.
- [21] RANJIT N K, KUNG L, Jr. The effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage[J]. Journal of Dairy Science, 2000, 83(3):526-535.
- [22] 洪梅, 刁其玉, 姜成钢, 等. 布氏乳杆菌对青贮发酵及其效果的研究进展[J]. 草业学报, 2011, 20(5):266-271.
- [23] KLEINSCHMIT D H, SCHMIDT R J, KUNG L, Jr. The Effects of various antifungal additives on the fermentation and aerobic stability of corn silage[J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(6):2130-2139.
- [24] OLIVEIRA A S, WEINBER Z G, OGUNADE I M, et al. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(6):4587-4603.
- [25] DA SILVA F B, ROMÃO B B, CARDOSO V L, et al. Production of ethanol from enzymatically hydrolyzed soybean molasses[J]. Biochemical Engineering Journal, 2012, 69:61-68.
- [26] 江杨娟, 徐丽, 陈美思, 等. 乳酸菌发酵大豆糖蜜生产乳酸及糖代谢变化[J]. 食品科学, 2018, 39(6):130-134.
- [27] 孟陆丽, 刘胜, 许金蓉, 等. 乳酸杆菌发酵大豆糖蜜生产乳酸的研究[J]. 农业机械, 2011(20):148-150.
- [28] 林丽芳. 添加山梨酸、乙醇对紫花苜蓿和白三叶发酵品质的影响[D]. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学, 2010:1-47.
- [29] TABASZEWSKA M, GABOR A, JAWORSKA G, et al. Effect of fermentation and storage on the nutritional value and contents of biologically-active compounds in lacto-fermented white asparagus (*Asparagus officinalis* L.)[J]. LWT, 2018, 92:67-72.
- [30] KANDASAMY S, KAVITAKE D, SHETTY P H. Lactic acid bacteria and yeasts as starter cultures for fermented foods and their role in commercialization of fermented foods[M]//PANDA S K, SHETTY P H. Innovations in technologies for fermented food and beverage industries. Cham: Springer, 2018:25-52.
- [31] KUNG L, Jr., SMITH M L, DA SILVA E B, et al. An evaluation of the effectiveness of a chemical additive based on sodium benzoate, potassium sorbate, and sodium nitrite on the fermentation and aerobic stability of corn silage[J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(7):5949-5960.
- [32] 万江春, 谢开云, 王玉祥, 等. 同/异质型乳酸菌添加对苏丹草青贮酵母菌群落结构及发酵品质的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(2):565-572.

Effects of Different Additives on Fermentation Quality and Aerobic Stability of Soybean Milk Type and Soybean Dregs Type Fermented Feeds

LI Jinku WANG Xueyang ZHAO Junxiang LIU Chen SUN Fengzhao QIAO Xinyue

LI Jingchun WEI Guosheng LI Yanbing*

(Key Laboratory of Efficient Utilization and Nutrition Control of Feed Resources in Cold Area of Heilongjiang Province, College of Animal Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different additives on fermentation quality and aerobic stability of soybean milk type and soybean dregs type fermented feeds. The additives contained *Lactobacillus buchneri* (LB), *Lactobacillus plantarum* (LP), compound chemical additives 1 and 2. Each group weighed 900 g mixed fermented feed which prepared by corn germ meal, soybean milk or soybean dregs, soybean molasses, sprayed corn husk and rice husk in proportion of 12:45:1:25:17. There were 6 groups in the experiment, which were control group (without any additive), compound chemical additive 1 group (added 4 L/t compound chemical additive 1), compound chemical additive 2 group (added 2 L/t compound chemical additive 2), LB+LP (water) group (added 2.0 mL/kg LP and LB lyophilized powder mixed with water, LB addition was 10^6 CFU/g, LP addition was 10^6 CFU/g), LB+LP(MRS) group [added 2.0 mL/kg LP and LB lyophilized powder mixed with lactic acid bacteria culture medium (MRS), LB addition was 10^6 CFU/g, LP addition was 10^6 CFU/g] and LB+LP group (added 2.0 mL/kg LP and LB bacteria solution revived by MRS, LB addition was 10^6 CFU/g, LP addition was 10^6 CFU/g). Each group contained 3 replicates, and the fermentation cycle of 2 kinds of fermentation feed was 10 days and stored at room temperature. The results showed as follows: 1) for soybean dregs type fermented feed, compared with the control group, the dry matter content and *Lactobacillus* number of compound chemical additive 1 and 2 groups were significantly increased ($P<0.05$), the contents of lactic acid, propionic acid and isobutyric acid of compound chemical additive 2 and LB+LP groups were significantly decreased ($P<0.05$), and the *Lactobacillus* number of experimental groups was significantly increased ($P<0.05$); the pH at the unsealed day (1 d) of compound chemical additive 1 group was significantly higher than that of other groups ($P<0.05$), the final (7 d) pH of LB+LP(MRS) group was significantly higher than that of other groups ($P<0.05$), and the final (7 d) pH of compound chemical additive 2 group was significantly lower than that of other groups ($P<0.05$). 2) For soybean milk type fermented feed, the pH of compound chemical additive 1 and 2 groups was significantly higher than that of other groups ($P<0.05$), the dry matter content of compound chemical additive 1 group was significantly higher than that of other groups ($P<0.05$), the propionic acid content of LB+LP(MRS) group was significantly higher than that of other groups except LB+LP (water) group ($P<0.05$), and the ethanol content of LB+LP (water) group was significantly higher than that of other groups ($P<0.05$); the pH at the unsealed day (1 d) of compound chemical additive 2 group was significantly higher than that of other groups ($P<0.05$), the final (7 d) pH of LB+LP(MRS) group was significantly higher than that of other groups ($P<0.05$), and the final (7 d) pH of LB+LP (water), LB+LP (MRS) and LB+LP group was significantly

* Corresponding author, professor, E-mail: liyanbing929@163.com

higher than that of the control group ($P<0.05$). In conclusion, all the additives can improve the fermentation quality and aerobic stability of soybean milk type and soybean dregs type fermented feeds to a certain degree, but the compound chemical additive is better than other additives in improving the fermentation quality and aerobic stability of soybean dregs type fermented feed. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(3): 1424-1433]

Key words: soybean dregs type fermented feed; soybean milk type fermented feed; additive; fermentation quality; aerobic stability