

鲜苹果渣蛋白饲料发酵工艺研究

贺克勇^{1a}, 杨帆², 薛泉宏^{1b}, 来航线^{1b}

(1 西北农林科技大学 a. 机械与电子工程学院, b. 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 陕西省饲料工业办公室, 陕西 西安 710003)

[摘 要] 为了优化鲜苹果渣直接发酵的工艺条件,以不接菌鲜苹果渣为对照,以酵母菌和黑曲霉为混合发酵剂,分别对混合原料和纯果渣进行了氮素、pH 和灭菌 3 因素试验。结果表明,加入氮素能大幅度提高发酵产物中纯蛋白质含量,氮源种类对发酵产物中纯蛋白质含量也有一定影响;当 pH 为 6 时,加 NH_4NO_3 处理可使混合原料和纯果渣发酵产物中纯蛋白质含量较不接菌对照分别提高 96.9% 和 105.5%。不同 pH 下发酵产物中纯蛋白质含量不同,较适宜的发酵 pH 为 6。加热灭菌有利于提高发酵产物中纯蛋白质含量,混合原料的平均增幅为 23.6%,纯果渣增幅为 49.8%。说明在利用鲜苹果渣生产蛋白饲料时,应选择灭菌加氮发酵,较适宜的氮源为 NH_4NO_3 ,较适宜的 pH 为 6。

[关键词] 苹果渣;蛋白饲料;发酵饲料;发酵工艺

[中图分类号] TQ920.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)11-0090-05

Studies on fermenting technology of protein-fodder from pomace

HE Ke-yong^{1a}, YANG Fan², XUE Quan-hong^{1b}, LAI Hang-xian^{1b}

(1a College of Mechanical and Electronic Engineering, b College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Office of Fodder Industry of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710003, China)

Abstract: To optimize the technology of fresh pomace ferment in contrast to pomace without sterilization, the experiment was carried out with N (Nitrogen) element, pH and sterilization on the mixed pomace and pure pomace, respectively by taking *Aspergillus Niger* and yeast as mixed ferment. Results showed:

Adding inorganic nitrogen (N) could improve the content of pure protein of the fermented product notably. The source of N had some influence on the content of pure protein of the fermented product to some degree. On the condition of pH 6, adding NH_4NO_3 could increase the protein content of fermentation product of mixed materials and pure pomace by 96.9% and 105.5%, respectively, compared with no inoculation. The protein content of fermentation product was different under different value of pH, and pH 6 was more suitable. In comparison with no sterilization fermentation, protein content of sterilization fermentation was higher, and the average increase rate was 23.6% (mixed materials) and 49.8% (pure pomace). So, it could be concluded that adding inorganic nitrogen with sterilization could get better protein fodder from fresh pomace, and the more suitable condition was pH 6 with adding NH_4NO_3 .

Key words: pomace; protein fodder; fermented fodder; fermenting technology

我国是浓缩苹果汁的生产大国,2006 年全国浓缩苹果汁出口量 60 万 t,排出鲜苹果渣约 180 万 t,苹果渣的利用已成为亟待解决的问题。苹果渣含有丰富的营养物质^[1-5],可作为饲料原料。但由于苹果

渣干物质中蛋白质含量仅 40 g/kg 左右,直接作饲料品质较差。近年来,苹果渣发酵利用已引起人们的普遍重视,对苹果渣发酵菌种选育、发酵培养基及发酵工艺已进行了初步研究^[6-13],认为通过发酵可

† 收稿日期: 2006-10-20

[基金项目] 西北农林科技大学青年基金项目(05ZR086)

[作者简介] 贺克勇(1972-),男,陕西渭南人,助理研究员,主要从事农业微生物研究。

[通讯作者] 薛泉宏(1957-),男,陕西白水人,教授,主要从事放线菌资源研究。E-mail: xueqhong@public.xa.sn.cn

提高苹果渣中蛋白质含量,改善苹果渣品质。但已有研究大多为烘干苹果渣灭菌发酵,直接利用鲜苹果渣不灭菌发酵的报道较少。利用鲜苹果渣直接发酵可简化生产工艺,降低生产成本,在生产上有重要的实用意义。本文研究了灭菌、物料 pH 和氮素等因子对鲜苹果渣发酵产物中纯蛋白质含量和产品得率的影响,以期为利用鲜苹果渣直接发酵生产蛋白饲料提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

发酵剂:由酵母菌 Y₁₂ 与黑曲霉 H14 按体积比 5 : 1 混和而成。黑曲霉 H14 为纤维素酶高产株, Y₁₂ 为饲料酵母菌,均由西北农林科技大学资源环境学院微生物资源研究室保存。

发酵原料:新鲜苹果渣,由乾县海升果业发展股份有限公司提供;油渣,由市场购得。

混合原料:鲜苹果渣 油渣粉 = 30 : 4(质量比,相当于干苹果渣 油渣粉 = 6 : 4);纯果渣:直接用鲜苹果渣。

1.2 方法

1.2.1 发酵试验方案 纯果渣发酵:N 素设加 N、不加 N 2 个水平;发酵物料 pH 设 3,5 和 6 3 个水平;物料前处理设灭菌、不灭菌对照 2 个水平;同时设不接菌对照。

混合原料发酵:氮源物质种类分别为 NH₄NO₃、(NH₄)₂SO₄、NH₄Cl 和 CO(NH₂)₂ 4 种;发酵物料 pH 设置及灭菌处理同纯果渣发酵。

1.2.2 发酵方法 混合原料发酵:在广口瓶中加入混合原料 34 g(折合干物质 10 g);按每瓶 0.2 g 纯 N

加入 NH₄NO₃、(NH₄)₂SO₄、NH₄Cl 和 CO(NH₂)₂;然后分别加入 Ca(OH)₂ 粉 0,0.3,0.5 g,调整物料 pH 为 3,5,6;最后补入 6 mL 水,使混合原料与水的质量比达到 1 : 3,充分混匀。不灭菌处理每瓶直接接入 0.5 g 发酵剂,用 4 层纱布包扎后置于培养箱;灭菌处理用 4 层纱布包扎,在 121 ℃ 下灭菌 30 min,冷却后,再按每瓶 0.5 g 用量接入发酵剂;对照处理不接发酵剂。

纯果渣发酵:称鲜纯果渣 30 g(折合干物质 6 g)于广口瓶中,分别加入 Ca(OH)₂ 粉 0,0.3,0.5 g,调整物料 pH 为 3,5,6;按每瓶 0.12 g 纯 N 加入 NH₄NO₃;无 N 对照不加 NH₄NO₃。灭菌和发酵剂接种同混合原料发酵。

以上各处理均重复 3 次,28 ℃ 条件下培养 3 d,记录各处理外观生长状况。发酵结束后将发酵产物 80 ℃ 条件下烘干,称质量,备用。

1.2.3 发酵饲料中纯蛋白质含量测定 纯蛋白质含量测定参考文献[11]的方法。

1.2.4 结果计算 增率/ % = (接菌处理纯蛋白质含量 - 不接菌对照纯蛋白质含量)/ 不接菌对照纯蛋白质含量 × 100 %;

灭菌增率/ % = (灭菌处理纯蛋白质含量 - 不灭菌处理纯蛋白质含量)/ 不灭菌处理纯蛋白质含量 × 100 %;

发酵产物得率/ % = (发酵产物干重/ 原料干重) × 100 %。

2 结果与讨论

2.1 不同处理发酵剂菌体的生长状况

不同处理发酵剂菌体的外观生长状况见表 1。

表 1 不同处理发酵剂菌体的外观生长状况(培养 3 d)

Table 1 Growth of stains tested in different treatments (for 3 days)

原料 Material	N 源 Nitrogen source	不灭菌 Without sterilization									灭菌 With sterilization								
		pH = 3			pH = 5			pH = 6			pH = 3			pH = 5			pH = 6		
		24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
混合 原料 Mixed pom- ace	对照 Contrast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NH ₄ NO ₃	-	-	+	-	+	++	-	+	++	+	++	+++	++	++	+++	++	+++	+++
	(NH ₄) ₂ SO ₄	-	-	+	-	+	++	-	+	++	+	++	+++	++	++	+++	++	+++	+++
	NH ₄ Cl	-	-	+	-	++	++	-	++	++	+	++	+++	++	++	+++	++	+++	+++
	CO(NH ₂) ₂	-	-	-	-	+	-	-	+	+	++	++	+	++	++	+	++	++	++
纯果 渣 Pure pom- ace	对照 Contrast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	无 N Without N	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	++	+	+	++	+	+	++
	有 N With N	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+++	+++	++	+++	+++	++	+++	+++

注: -, +, ++ 及 +++ 分别表示培养物外观无明显变化、菌体开始生长、菌体明显可见及菌体生长繁茂。
Note: -, +, ++ and +++ indicated that medium had no notable change, stains began to grow, stains was clear to be observed and stains was very lush, respectively.

从表 1 可以看出,灭菌处理菌体生长优于不灭菌对照。经过 3 d 培养,灭菌处理物料上菌体均生长繁茂,不灭菌对照菌体生长差,说明灭菌处理有利于接入菌生长。加 N 处理菌体的生长状况普遍优于不加 N 处理。N 源不同,菌体生长状况各异:氮源为 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 及 NH_4Cl 时,菌体生长较好, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 仅在灭菌处理中生长较好,不灭菌条件下生长较差,且有氨臭味。pH 不同,菌体生长状况不同,在 pH 5~6 时,菌体生长良好。

从菌体生长状况可以看出,鲜苹果渣发酵应采用灭菌发酵,pH 为 5~6,N 素采用 NH_4NO_3 、

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 及 NH_4Cl 。

2.2 培养条件对发酵产物蛋白质含量的影响

2.2.1 pH 从表 2 和表 3 可知,利用混合原料发酵时,不同 pH 条件下发酵产物中纯蛋白质含量不同。在不灭菌处理中,发酵产物纯蛋白质含量平均值大小顺序为 pH 6(189.0 g/kg) > pH 5(160.3 g/kg) > pH 3(138.2 g/kg);在灭菌处理中,表现出相同趋势:pH 6(206.9 g/kg) > pH 5(196.5 g/kg) > pH 3(190.6 g/kg)。说明不论灭菌与否,微酸性条件下发酵产物中纯蛋白质含量较高;但 pH 过低,不利于单细胞蛋白形成,发酵产物中纯蛋白质含量较低。

表 2 不同处理发酵产物中纯蛋白质含量(不灭菌)

Table 2 Protein content of fermentation product in different treatments(without sterilization)

原料 Material	N 源 Nitrogen source	pH = 3		pH = 5		pH = 6		均值 Average	
		含量/ (g · kg ⁻¹)	增率/ %	含量/ (g · kg ⁻¹)	增率/ %	含量/ (g · kg ⁻¹)	增率/ %	含量/ (g · kg ⁻¹)	增率/ %
		Content	Increase rate	Content	Increase rate	Content	Increase rate	Content	Increase rate
混合 原料 Mixed pomace	NH_4NO_3	144.9	30.6	172.2	55.3	198.4	78.9	171.8	54.9
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	139.2	25.5	171.2	54.4	194.7	75.7	168.4	51.9
	NH_4Cl	139.8	26.1	151.7	36.8	186.1	67.8	159.2	43.6
	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	128.7	16.1	146.2	31.8	176.7	59.3	150.5	35.7
	均值 Average	138.2	20.5	160.3	44.6	189.0	70.4	162.5	45.2
纯果渣 Pure pomace	无 N Without N	67.2	11.4	69.1	14.6	70.7	17.2	69.0	14.4
	有 N With N	77.2	28.0	79.0	31.0	86.7	43.8	81.0	34.3
	均值 Average	72.2	19.7	74.1	22.8	78.7	30.5	75.0	24.3

注:混合原料(对照)、纯果渣(对照)发酵产物中蛋白质含量分别为 110.9 和 60.3 g/kg。下表同。

Note: The protein content of mixed pomace(contrast) and pure pomace (contrast) was 110.9 and 60.3 g/kg respectively.

在纯果渣发酵中,pH 对发酵产物中纯蛋白质含量的影响较小。如在不灭菌加氮处理中,pH 调至 3,5,6 时,发酵产物中纯蛋白质含量分别为 77.2,79.0 及 86.7 g/kg,差异不显著。

以上结果表明,不同 pH 下发酵产物中纯蛋白质含量不同,微酸性环境更有利于菌体的发酵生长,

鲜苹果渣酸度较大不利于发酵产物中蛋白质含量的提高,苹果渣发酵的适宜 pH 约为 6,即在发酵前根据苹果渣的 pH 高低,加入一定量熟石灰调节发酵原料酸度至 pH 6 是必要的。在用混合原料发酵时,pH 调节更为重要。

表 3 不同处理发酵产物中纯蛋白质含量(灭菌)

Table 3 Protein content of fermentation product in different treatments(with sterilization)

原料 Material	N 源 Nitrogen source	pH = 3		pH = 5		pH = 6		均值 Average		灭菌增率/ % Increase rate ith sterilization			
		含量/ (g · kg ⁻¹)	增率/ %	含量/ (g · kg ⁻¹)	增率/ %	含量/ (g · kg ⁻¹)	增率/ %	含量/ (g · kg ⁻¹)	增率/ %	pH			均值
		Content	Increase rate	Content	Increase rate	Content	Increase rate	Content	Increase rate	3	5	6	Average
		Content	Increase rate	Content	Increase rate	Content	Increase rate	Content	Increase rate				
混合 原料 Mixed pomace	NH_4NO_3	205.4	85.2	209.1	88.5	218.4	96.9	211.0	90.2	41.7	21.4	10.1	24.4
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	182.5	64.6	191.9	73.0	210.1	89.6	194.8	75.7	31.1	12.1	7.3	16.8
	NH_4Cl	173.4	56.4	176.6	59.2	189.0	70.4	179.7	62.0	24.0	16.4	2.0	14.1
	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	201.2	81.4	208.6	88.1	210.3	89.6	206.7	86.4	56.3	42.7	19.0	39.3
	均值 Average	190.6	71.9	196.5	77.2	206.9	86.6	198.0	78.6	38.3	23.1	9.6	23.6
纯果渣 Pure pomace	无 N without N	94.7	57.0	103.0	70.8	108.0	79.1	101.9	79.1	49.1	49.1	52.8	47.6
	有 N with N	118.1	125.8	108.6	123.9	123.9	105.5	122.6	105.5	53.0	59.2	43.8	52.0
	均值 Average	106.4	77.9	114.4	89.7	115.9	92.3	112.2	92.3	46.9	54.2	48.3	49.8

2.2.2 N 素 由表 2 和表 3 可知,加入 N 素能大幅度提高发酵产物中纯蛋白质含量。不灭菌处理条件下,纯果渣不加氮和加氮处理发酵产物中纯蛋白质平均含量分别为 69.0 和 81.0 g/kg,加入氮素后发酵产物中纯蛋白质含量较不加氮对照提高 17.4%;灭菌处理条件下,纯果渣不加氮和加氮处理发酵产物中纯蛋白质平均含量分别为 101.9、122.6 g/kg,加入无机氮素后发酵产物中纯蛋白质含量较对照提高 20.3%。

由表 2、3 还可以看出,N 源种类对发酵产物中纯蛋白质含量也有一定影响。不灭菌条件下,NH₄NO₃、(NH₄)₂SO₄、NH₄Cl 和 CO(NH₂)₂ 处理的发酵产物中平均纯蛋白质含量分别为 171.8、168.4、159.2 和 150.5 g/kg,可见鲜苹果渣直接发酵时,NH₄NO₃ 和 (NH₄)₂SO₄ 的作用效果优于 NH₄Cl 和 CO(NH₂)₂;灭菌条件下,NH₄NO₃、(NH₄)₂SO₄、NH₄Cl 和 CO(NH₂)₂ 处理的发酵产物中平均纯蛋白质含量分别为 211.0、194.8、179.7 和 206.7 g/kg,即加入 NH₄NO₃ 和 CO(NH₂)₂ 的作用效果优于 (NH₄)₂SO₄ 和 NH₄Cl;不论灭菌与否,对发酵产物中纯蛋白质含量提高最大的 N 源均为 NH₄NO₃,当 pH 为 6 时,加 NH₄NO₃ 处理可使混合原料和纯果渣发酵产物中纯蛋白质含量较不接菌对照分别提高 96.9%和 105.5%。CO(NH₂)₂ 仅适合于苹果渣灭菌发酵。

2.2.3 灭菌处理 从表 2 和表 3 可知,混合原料中不灭菌与灭菌处理发酵产物中纯蛋白质含量平均值分别为 162.5 和 198.0 g/kg,即灭菌可使发酵产物中纯蛋白质含量显著提高,增幅高达 23.6%。

从表 3 可知,加入不同氮素时,灭菌对发酵产物中纯蛋白质含量的提高幅度不同,大小顺序为

CO(NH₂)₂ (39.3%) > NH₄NO₃ (24.4%) > (NH₄)₂SO₄ (16.8%) > NH₄Cl (14.1%),其中加入 CO(NH₂)₂ 处理发酵产物中纯蛋白质含量增幅最高;在纯果渣发酵中,加氮处理的灭菌增率均值高于不加氮处理,灭菌发酵较不灭菌发酵产物中纯蛋白质含量平均提高 49.8%。

由表 3 还可以看出,在混合原料中,灭菌引起的蛋白质增幅随物料 pH 而异。在 pH 为 3、5、6 时,混合原料 4 种氮源处理的纯蛋白质平均增率分别为 38.3%、23.1%及 9.6%,即在原料酸度较大、且不进行 pH 调整直接发酵时,加热灭菌可克服物料酸度过大对发酵的抑制作用,使产物中纯蛋白质含量大幅度提高;在物料 pH 为 6 时,加热灭菌对发酵产物中纯蛋白质增加幅度不大。

由此可见,苹果渣灭菌能提高发酵产物中蛋白质含量,即在苹果渣单细胞蛋白饲料的发酵生产中,应采取果渣灭菌发酵。灭菌能杀死果渣中的杂菌,使接入菌生长繁殖不受影响,同时,灭菌后的果渣在营养上更有利于微生物的吸收利用。

2.3 发酵条件对发酵产物得率的影响

2.3.1 pH 从表 4 可以看出,pH 影响发酵产物得率。随 pH 值的升高,发酵产物得率降低。混合原料不灭菌条件下,pH 3、5 和 6 处理的发酵产物平均得率分别为 84.4%、76.9%和 63.3%,差异明显;在混合原料灭菌条件下,pH 3、5 和 6 的平均得率分别为 67.3%、64.5%和 59.3%,不同 pH 处理之间差异较小。即加热可克服物料酸度过大对发酵的抑制作用,促进微生物生长繁殖,使微生物对底物的消耗增加,菌体蛋白大量增加,故在产物纯蛋白质含量提高的同时,产物得率大幅度下降。纯果渣发酵也反映出同样的规律。

表 4 不同处理发酵产物得率

Table 4 Recovery percent of fermented product in different treatments %									
原料 Material	N 源 Nitrogen source	不灭菌 Without sterilization				灭菌 With sterilization			
		pH = 3	pH = 5	pH = 6	均值 Average	pH = 3	pH = 5	pH = 6	均值 Average
混合原料 Mixed pomace	NH ₄ NO ₃	88.0	78.6	69.6	78.8	66.3	63.2	56.5	62.0
	(NH ₄) ₂ SO ₄	88.1	78.7	64.5	77.1	76.2	68.9	63.0	69.4
	NH ₄ Cl	87.6	76.8	59.7	74.7	67.2	67.5	61.8	65.5
	CO(NH ₂) ₂	74.1	73.7	59.5	69.1	59.5	58.3	55.7	57.9
	均值 Average	84.4	76.9	63.3	74.9	67.3	64.5	59.3	63.7
纯果渣 Pure pomace	无 N Without N	85.7	82.8	80.8	83.1	66.5	63.7	60.6	63.6
	有 N With N	72.4	70.1	66.5	69.7	58.6	58.2	56.1	57.6
	均值 Average	79.0	76.4	73.6	76.4	62.6	61.0	58.4	60.7

2.3.2 N 素种类 由表 4 可以看出,加入不同 N 素时,混合原料发酵产物得率相差不明显。在不灭菌条

件下,NH₄NO₃、(NH₄)₂SO₄、NH₄Cl 和 CO(NH₂)₂ 处理的平均得率分别为 78.8%、77.1%、74.7%和

69.1%;灭菌条件下,其平均得率分别为 62.0%,69.4%,65.5%和 57.9%,其中 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 处理的得率略高于 NH_4Cl 和 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 处理。由此可知,氮素种类对发酵产物得率影响不大。

2.3.3 灭菌处理 由表 4 可以看出,不灭菌条件下发酵产物得率普遍高于灭菌条件。不灭菌与灭菌条件下,混合原料发酵的平均得率分别为 74.9%与 63.7%,即不灭菌条件下,发酵产物得率相对较高。纯果渣发酵也反映出相同的规律。这是因为灭菌条件下微生物的生长状况优于不灭菌处理,微生物生长繁殖较快,发酵产物中菌体数目多,消耗的碳源、能源物质多,故发酵产物得率较低。

3 结 论

(1)利用鲜苹果渣发酵,pH 值影响发酵产物中纯蛋白质含量,微酸性环境更有利于菌体生长,发酵产物中纯蛋白质含量较高,果渣发酵的适宜 pH 为 5~6。

(2)加入 N 素发酵,能大幅度提高发酵产物中纯蛋白质含量,N 源种类对发酵产物中纯蛋白质含量也有一定影响,用鲜苹果渣不灭菌直接发酵时, NH_4NO_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 效果较好;灭菌发酵时, NH_4NO_3 和 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 效果较好。

(3)加热灭菌有利于提高发酵产物中纯蛋白质含量,表明灭菌更有利于微生物的生长及发酵产物中纯蛋白质含量提高。

(4)pH 和灭菌影响发酵产物得率。随发酵物料 pH 值增高,发酵产物得率降低;鲜果渣不灭菌发

酵产物得率较高。

[参考文献]

- [1] 孙攀峰,高腾云,肖 杰. 苹果渣饲用价值的研究进展[J]. 中国畜牧兽医,2004,31(6):13-16.
- [2] 杨福有,祁周越,李彩凤,等. 苹果渣营养成分分析及饲用价值评估[J]. 甘肃农业大学学报,2000,35(3):330-334.
- [3] 陈锦屏,田呈瑞. 果品蔬菜加工学[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1994.
- [4] 王晋杰,尚文博,叱干宁. 苹果渣饲料的加工与应用[J]. 饲料研究,2000(6):21.
- [5] 曹日亮,胡广英,梁兴龙. 利用果渣生产蛋白质饲料[J]. 农产品加工,2003,(1):31-32.
- [6] 籍保平,尤希风,张博润. 苹果渣发酵生产饲料蛋白培养基[J]. 中国农业大学学报,1999,4(6):53-56.
- [7] 陈五岭,段东霞,高再兴. 微生物发酵果渣蛋白饲料研究——菌种选育及理化性质测定[J]. 西北大学学报:自然科学版,2003,33(1):91-93.
- [8] 籍保平,尤希风,张博润. 苹果渣发酵生产饲料蛋白的菌种筛选[J]. 微生物学通报,1999,26(6):390-393.
- [9] 籍保平,尤希风,张博润. 苹果渣发酵生产饲料蛋白的工艺条件[J]. 生物工程进展,1999,19(5):30-33.
- [10] 徐抗震,宋纪蓉,黄 洁,等. 激光选育混合菌发酵苹果渣生产饲料蛋白[J]. 粮食与饲料工业,2002(12):17-19.
- [11] 贺克勇,薛泉宏,司美茹,等. 苹果渣发酵饲料蛋白质含量的影响因素研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2004,32(4):83-87.
- [12] 贺克勇,薛泉宏,来航线,等. 氮素及原料对比对苹果渣发酵饲料纯蛋白质含量和氨基酸组成的影响[J]. 饲料工业,2004,25(8):34-37.
- [13] 常显波,薛泉宏,来航线,等. 鲜苹果渣发酵生产饲料蛋白研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2004,32(1):40-46.