

动物毛发中克仑特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇和苯乙醇胺 A 的测定

1 前言

“瘦肉精”主要是一类叫做肾上腺素受体激动剂的物质，包括克仑特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇和苯乙醇胺 A 等物质，主要用于治疗支气管哮喘和慢性支气管炎等疾病，在养殖过程中使用，可以促进动物机制的新陈代谢，降低骨骼肌脂肪，增加瘦肉率并改善肉质色泽，长期食用残留瘦肉精的畜禽肉，药物在体内积蓄到一定程度时，会引起各种不良反应，如心律失常、过敏性丘疹、恶心呕吐等，严重还可能诱发冠心病、高血压，甚至恶性肿瘤。我国已明令禁止在牲畜喂养过程中使用任何瘦肉精，农业农村部颁布公告《动物毛发中克仑特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇和苯乙醇胺 A 的测定》用于检测动物毛发中瘦肉精残留量。

本实验参考以上标准，建立了使用超高效液相色谱-串联三重四极杆质谱（EXPEC 5210）测定动物毛发中“瘦肉精”残留的快速且高灵敏度的分析方法，为食品安全检测提供有效技术支持。

2. 实验部分

2.1 标准品、试剂和设备

标品：克仑特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇和苯乙醇胺 A 客户提供；内标克仑特罗-D9、莱克多巴胺-D6、沙丁胺醇-D3 和苯乙醇胺 A-D3 客户提供；

样品：为动物毛发，客户提供；

试剂：乙腈、甲酸均为色谱纯；

前处理设备：涡旋振荡器、高速离心机、恒温水浴、固相萃取装置、分析天平、超声清洗机。

仪器：ULC 510 超高效液相色谱仪（具体配有二元超高压输液泵、超高压自动进样器、柱温箱）、EXPEC 5210 三重四极杆串联质谱仪。



图 1 超高效液相色谱-三重四极杆串联质谱仪

2.2 液相和质谱条件

表 1 测试条件

LC 条件	流动相	有机相 A (乙腈) 和水相 B (0.1%甲酸水), 梯度洗脱		
	流速	0.3 mL/min		
	色谱柱	CNW C18 1.8 um, 2.1*100 mm		
	柱温	40 °C		
	进样量	3 μL		
	运行时间	10 min		
	梯度方法	Time (min)	A (%)	B (%)
	0	2	98	
	2	2	98	
	7	65	35	
	8	2	98	
	10	2	98	
MS 条件	运行模式	ESI+		
	雾化气流量	1 L/min		
	去溶剂气流量	6 L/min		
	反吹气流量	1 L/min		
	去溶剂气温度	450 °C		
	碰撞气流量	0.5 mL/min		

	毛细管高压	4.5 KV
--	-------	--------

监测模式为多反应监测(MRM), 标品及内标化合物监测离子对、锥孔电压、碰撞能量等参数见下图。

化合物名称	母离子质量	子离子质量	驻留时间(s)	锥孔电压	碰撞能量	分辨率
1 克仑特罗	277	203.1	0.02	50	17	Unit-Unit
2 克仑特罗	277	259.2	0.02	50	11	Unit-Unit
3 莱克多巴胺	302.1	107	0.04	50	17	Unit-Unit
4 莱克多巴胺	302.1	164.1	0.04	50	13	Unit-Unit
5 沙丁胺醇	240.1	148.1	0.04	50	20	Unit-Unit
6 沙丁胺醇	240.1	222.1	0.04	50	10	Unit-Unit
7 苯乙醇胺A	345	327	0.02	50	17	Unit-Unit
8 苯乙醇胺A	345	150	0.02	50	13	Unit-Unit
9 克仑特罗-D9	286	204.1	0.02	50	17	Unit-Unit
10 莱克多巴胺-D6	308.5	188.2	0.04	50	14	Unit-Unit
11 沙丁胺醇-D3	243.2	151.2	0.04	50	14	Unit-Unit
12 苯乙醇胺A-D3	348.2	153.1	0.02	50	17	Unit-Unit

图2 监测离子对等质谱参数

2.3 标准溶液配制

精密称取混合标准工作溶液和混合内标工作溶液适量, 用 0.1%甲酸乙腈溶解并定量稀释成浓度为 0.50 ng/mL、1 ng/mL、2 ng/mL、5 ng/mL、10 ng/mL、50 ng/mL 和 100 ng/mL 的系列标准工作溶液(含内标溶液均为 5 ng/mL), 供液相色谱-串联质谱仪测定。以待测物特征离子质量色谱峰的峰面积与内标物特征离子质量色谱峰的峰面积的比值为纵坐标, 相应浓度为横坐标, 绘制标准曲线, 相关系数大于 0.99。

2.4 灵敏度

精密称取混合标准工作溶液和混合内标工作溶液适量, 用 0.1%甲酸乙腈溶解并定量稀释成浓度为 0.50 ng/mL 的溶液, 测试各化合物信噪比(峰-峰)。

2.5 稳定性

精密称取混合标准工作溶液和混合内标工作溶液适量, 用 0.1%甲酸乙腈溶解并定量稀释成浓度为 1 ng/mL、2 ng/mL、5 ng/mL 和 10 ng/mL 的溶液, 重复进样 6 次, 计算相对标准偏差。

2.6 样品前处理

参考农业农村部公告第 600 号, 具体前处理步骤如下:

样品制备:

选取动物背部毛发, 根部剪断, 保存备用。取 2 g 毛发加入 50 mL 烧杯中, 加入 20 mL 十二烷基磺酸钠溶液, 于超声清洗器上超声清洗 30 min, 水洗净毛发, 40 °C 电热干燥箱中烘干, 烘干后将其制成粉末。

样品前处理:

称取试样 0.5 g 于 10 mL 离心管中, 加入混合内标工作溶液 25 uL, 0.1 mol/L 盐酸 5 mL, 涡旋混匀, 于 60 °C 水浴中水解 4 h, 7000 r/min 离心 10 min, 取上清液备用。固相萃取柱依次用甲醇 3 mL, 水 3 mL 预洗, 取全部备用液过柱, 依次用水 3 mL, 甲醇 3 mL 淋洗, 抽干, 用 5% 氨水甲醇溶剂 3 mL 洗脱, 收集洗脱液, 于 50 °C 氮吹吹干, 用 0.1% 甲酸乙腈溶液 0.5 mL 溶解, 过 0.22 um 滤膜, 供液相色谱-串联质谱仪测定。

2.7 加标回收

在试样中分别加入 100 ng/mL 的混合标准工作液 10 uL、25 uL、50 uL, 按照 2.6 前处理方法进行样品处理。

3. 结果

3.1 线性

按照 2.3 配置不同梯度浓度的标准溶液, 依次进样分析, 以待测物特征离子质量色谱峰的峰面积与内标物特征离子质量色谱峰的峰面积的比值为纵坐标, 相应浓度为横坐标, 绘制标准曲线, 标曲信息如下所示。

表 2 各化合物标准曲线信息

化合物	线性范围(ng/mL)	标准工作曲线	线性系数
沙丁胺醇	0.5-100	$y = 0.5888x - 0.0768$	$r = 0.9982$
莱克多巴胺	0.5-100	$y = 0.3122x + 0.0303$	$r = 0.9990$
克仑特罗	0.5-100	$y = 0.3685x + 0.0293$	$r = 0.9991$
苯乙醇胺 A	0.5-100	$y = 0.6528x + 0.2717$	$r = 0.9985$

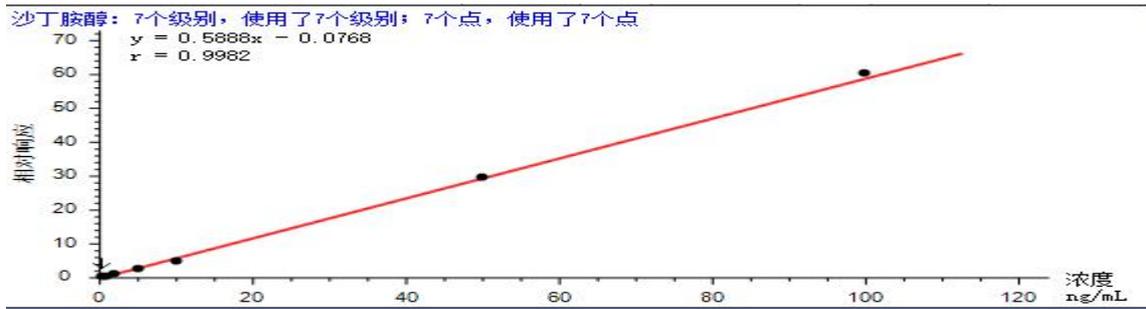


图3 沙丁胺醇标准曲线

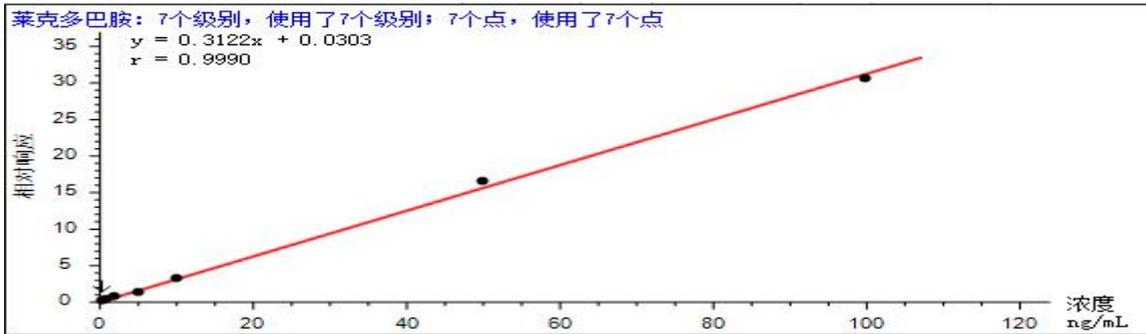


图4 莱克多巴胺标准曲线

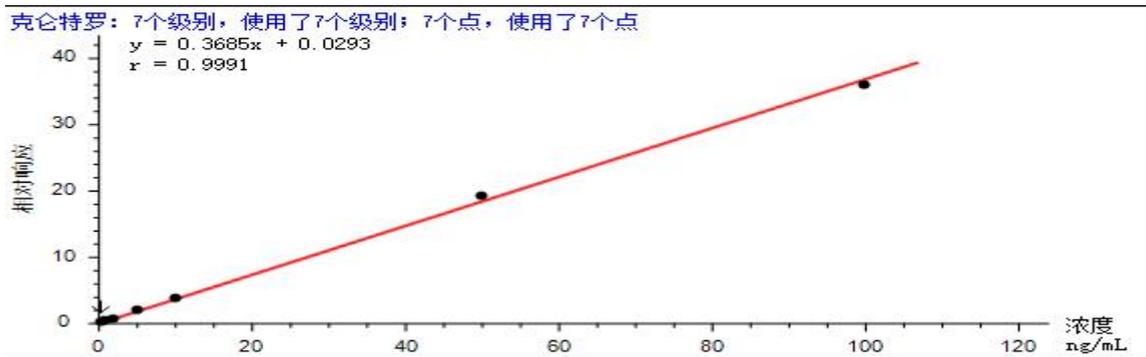


图5 克仑特罗标准曲线

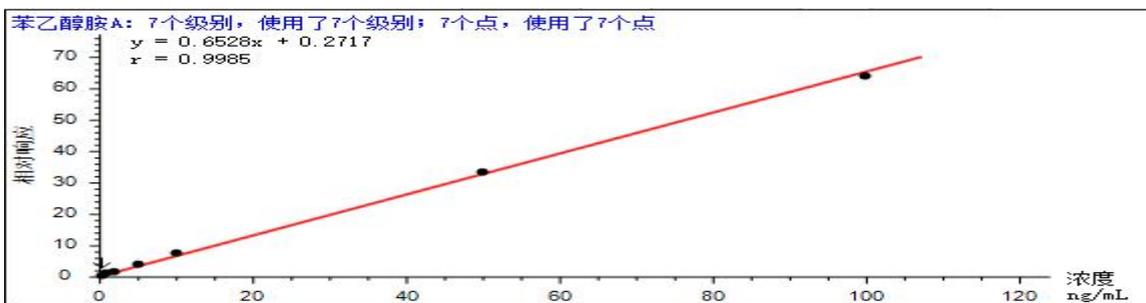


图6 苯乙醇胺 A 标准曲线

3.2 灵敏度

精密称取混合标准工作溶液和混合内标工作溶液适量，用 0.1%甲酸乙腈溶解并定量稀释成浓度为 0.50 ng/mL 的溶液，测试各化合物信噪比（峰-峰）。

表 3 各化合物信噪比

化合物	信噪比（峰-峰）
沙丁胺醇	27.5
莱克多巴胺	142.0
克仑特罗	62.1
苯乙醇胺 A	87.3

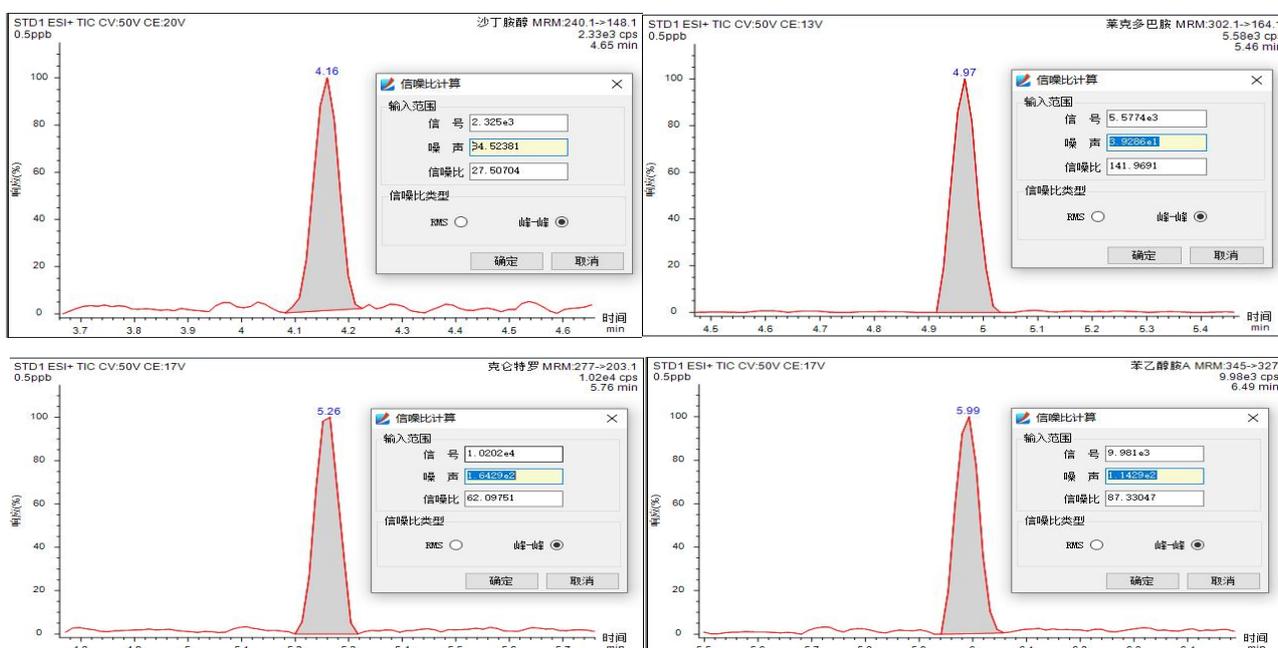


图 7 各化合物信噪比结果

3.4 稳定性

精密称取混合标准工作溶液和混合内标工作溶液适量，用 0.1%甲酸乙腈溶解并定量稀释成浓度为 1 ng/mL、2 ng/mL、5 ng/mL 和 10 ng/mL 的溶液，重复进样 6 次，计算相对标准偏差。测试结果如下表所示。1 ng/mL 的标准溶液连续 6 次进样，保留时间和相对峰面积 RSD 值分别为 0.09%~0.16%和 7.04%~9.78%。2 ng/mL 的标准溶液连续 6 次进样，保留时间和相对峰面积 RSD 值分别为 0.10%~0.16%和 4.34%~8.98%。5 ng/mL 的标准溶液连续 6 次进样，保留时间和相对峰面积 RSD 值分别为 0.11%~0.16%和 6.28%~9.36%。10 ng/mL 的标准溶液连续

6 次进样，保留时间和相对峰面积 RSD 值分别为 0.00%~0.14%和 4.86%~8.03%。

表 4 1 ng/mL 标准物质稳定性

样品信息	沙丁胺醇-03			沙丁胺醇			莱克多巴胺-06			莱克多巴胺			克仑特罗-09			克仑特罗			苯乙醇胺-A03			苯乙醇胺-A				
	数据名称	定量方法	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积
1	Rep1-2	定量曲线	4.15	21356.23	21356.23	4.16	13647.22	0.64	4.95	88955.36	88955.36	4.97	31159.17	0.35	5.24	166087.20	166087.20	5.27	69849.35	0.42	5.98	46437.90	46437.90	5.99	36051.07	0.78
2	Rep1-3	定量曲线	4.16	24612.73	24612.73	4.16	12906.69	0.52	4.97	93505.85	93505.85	4.98	28054.95	0.30	5.25	165681.40	165681.40	5.27	69226.66	0.42	5.99	45890.04	45890.04	6.01	34383.17	0.75
3	Rep1-4	定量曲线	4.16	23717.59	23717.59	4.17	15062.37	0.64	4.95	92398.51	92398.51	4.98	31291.03	0.34	5.25	161512.20	161512.20	5.27	66586.06	0.41	5.99	55816.48	55816.48	6.01	38109.53	0.68
4	Rep1-5	定量曲线	4.16	21153.80	21153.80	4.17	12419.65	0.59	4.97	84920.71	84920.71	4.98	31829.98	0.37	5.25	158044.80	158044.80	5.28	56075.55	0.35	5.99	61725.91	61725.91	6.01	38949.89	0.63
5	Rep1-6	定量曲线	4.16	25402.95	25402.95	4.17	14374.30	0.57	4.97	71798.14	71798.14	4.98	28128.83	0.39	5.25	183972.50	183972.50	5.27	69858.34	0.38	5.99	55375.69	55375.69	6.01	36415.82	0.66
6	Rep1-7	定量曲线	4.16	24977.20	24977.20	4.17	12539.19	0.50	4.97	85723.93	85723.93	4.98	32028.31	0.35	5.25	149208.60	149208.60	5.27	54984.48	0.37	5.99	52048.33	52048.33	6.01	36333.18	0.70
Min			4.15	21153.80	21153.80	4.16	12419.65	0.50	4.95	71798.14	71798.14	4.97	28054.95	0.30	5.24	149208.60	149208.60	5.27	54984.48	0.35	5.99	45890.04	45890.04	5.99	34383.17	0.63
Max			4.16	25402.95	25402.95	4.17	15062.37	0.64	4.97	93505.85	93505.85	4.98	31829.98	0.39	5.25	183972.50	183972.50	5.28	69858.34	0.42	5.99	61725.91	61725.91	6.01	38949.89	0.78
AVG			4.16	23336.75	23336.75	4.17	13491.07	0.58	4.96	86217.09	86217.09	4.98	30112.04	0.35	5.25	164084.50	164084.50	5.27	64430.41	0.39	5.99	52882.39	52882.39	6.01	36701.11	0.70
SD			0.01	1853.71	1853.71	0.01	1065.34	0.06	0.01	7857.02	7857.02	0.01	1649.96	0.03	0.01	11545.40	11545.40	0.01	7007.52	0.03	0.01	6068.83	6068.83	0.01	1615.71	0.05
RSD			0.13	7.88	7.88	0.16	7.90	9.78	0.14	9.11	9.11	0.11	5.48	8.98	0.10	7.04	7.04	0.10	10.88	7.19	0.09	11.48	11.48	0.09	4.40	7.86
IDL			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 5 2 ng/mL 标准物质稳定性

样品信息	沙丁胺醇-03			沙丁胺醇			莱克多巴胺-06			莱克多巴胺			克仑特罗-09			克仑特罗			苯乙醇胺-A03			苯乙醇胺-A				
	数据名称	定量方法	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积
1	Rep1-2	定量曲线	4.15	25823.59	25823.59	4.16	27799.66	1.08	4.97	101245.00	101245.00	4.98	54086.34	0.54	5.25	133790.50	133790.50	5.27	66216.49	0.70	5.99	66216.49	66216.49	5.99	71234.20	1.07
2	Rep1-3	定量曲线	4.16	21767.12	21767.12	4.17	28249.22	1.30	4.97	92466.30	92466.30	4.98	32519.19	0.58	5.25	172884.40	172884.40	5.27	137685.00	0.79	5.99	62736.20	62736.20	6.01	77561.78	1.24
3	Rep1-4	定量曲线	4.16	23216.16	23216.16	4.17	26344.05	1.13	4.97	98716.52	98716.52	4.98	40324.70	0.61	5.25	170351.20	170351.20	5.27	146379.60	0.86	5.99	63833.20	63833.20	6.01	76098.25	1.20
4	Rep1-5	定量曲线	4.15	22785.01	22785.01	4.16	24141.66	1.06	4.95	102557.10	102557.10	4.97	58861.27	0.57	5.24	182821.00	182821.00	5.25	134724.70	0.74	5.98	62407.48	62407.48	5.99	70056.13	1.12
5	Rep1-6	定量曲线	4.16	24122.04	24122.04	4.17	29211.49	1.21	4.97	98588.38	98588.38	4.97	56960.48	0.58	5.25	161803.70	161803.70	5.27	127038.00	0.79	5.99	62459.48	62459.48	6.01	70298.49	1.13
6	Rep1-7	定量曲线	4.16	24248.73	24248.73	4.17	25186.59	1.04	4.97	99158.51	99158.51	4.98	54225.84	0.55	5.25	169943.60	169943.60	5.27	120751.50	0.71	5.98	61959.92	61959.92	6.01	65614.62	1.06
Min			4.15	21767.12	21767.12	4.16	24141.66	1.04	4.95	92466.30	92466.30	4.98	32519.19	0.54	5.24	161803.70	161803.70	5.25	120751.50	0.71	5.98	61959.92	61959.92	5.99	65614.62	1.06
Max			4.16	25823.59	25823.59	4.17	29211.49	1.30	4.97	102557.10	102557.10	4.98	40324.70	0.61	5.25	182821.00	182821.00	5.27	146379.60	0.86	5.99	66216.49	66216.49	6.01	77561.78	1.24
AVG			4.16	23664.44	23664.44	4.17	26838.77	1.14	4.96	98788.63	98788.63	4.97	56479.64	0.57	5.25	171406.50	171406.50	5.26	133394.90	0.78	5.99	63235.46	63235.46	6.01	71793.93	1.14
SD			0.01	1399.06	1399.06	0.01	1953.63	0.10	0.01	3475.32	3475.32	0.01	2711.52	0.02	0.01	6856.17	6856.17	0.01	8822.67	0.05	0.01	1562.61	1562.61	0.01	4374.28	0.07
RSD			0.16	5.91	5.91	0.16	7.28	8.98	0.11	3.52	3.52	0.13	4.80	4.34	0.10	4.00	4.00	0.10	6.61	6.00	0.09	2.47	2.47	0.11	6.99	6.06
IDL			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 6 5 ng/mL 标准物质稳定性

样品信息	沙丁胺醇-03			沙丁胺醇			莱克多巴胺-06			莱克多巴胺			克仑特罗-09			克仑特罗			苯乙醇胺-A03			苯乙醇胺-A				
	数据名称	定量方法	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积	保留时间	峰面积	相对峰面积
1	Rep1-2	定量曲线	4.16	24799.20	24799.20	4.17	25822.98	2.57	4.97	94010.52	94010.52	4.98	143349.30	1.52	5.25	167297.20	167297.20	5.27	320585.20	1.92	5.99	58989.20	58989.20	6.01	160994.26	2.83
2	Rep1-3	定量曲线	4.15	21696.55	21696.55	4.16	22335.98	2.87	4.95	81393.07	81393.07	4.97	139611.60	1.72	5.24	174593.00	174593.00	5.25	294017.60	1.71	5.98	60732.34	60732.34	5.99	171126.60	2.82
3	Rep1-4	定量曲线	4.16	21669.52	21669.52	4.17	61854.98	2.85	4.97	83765.57	83765.57	4.98	146974.00	1.75	5.25	166075.20	166075.20	5.27	281938.70	1.70	5.99	42321.35	42321.35	6.01	112033.60	2.65
4	Rep1-5	定量曲线	4.16	26449.78	26449.78	4.17	71079.41	2.89	4.95	92902.73	92902.73	4.98	150644.40	1.62	5.25	172103.40	172103.40	5.27	320121.30	1.91	5.99	50718.84	50718.84	6.01	136834.40	2.70
5	Rep1-6	定量曲线	4.15	25181.34	25181.34	4.17	70394.74	2.89	4.97	98343.23	98343.23	4.98	153811.00	1.55	5.25	178677.70	178677.70	5.27	338184.10	1.89	5.99	55649.33	55649.33	6.01	183783.00	3.30
6	Rep1-7	定量曲线	4.15	18326.30	18326.30	4.16	61349.84	3.35	4.95	95234.37	95234.37	4.97	144033.80	1.52	5.24	169642.70	169642.70	5.25	259597.20	1.53	5.98	57879.76	57879.76	5.99	158868.20	2.69
Min			4.15	18326.30	18326.30	4.16	61349.84	2.57	4.95	81393.07	81393.07	4.97	139611.60	1.52	5.24	166075.20	166075.20	5.25	259597.20	1.53	5.98	42321.35	42321.35	5.99	112033.60	2.65
Max			4.16	26449.78	26449.78	4.17	71079.41	3.35	4.97	98343.23	98343.23	4.98	152811.00	1.75	5.25	178677.70	178677.70	5.27	338184.10	1.92	5.99	60732.34	60732.34	6.01	183783.00	3.30
AVG			4.16	22939.96	22939.96	4.17	64932.99	2.86	4.96	90941.58	90941.58	4.97	146282.50	1.61	5.25	170875.90	170875.90	5.26	303874.00	1.78	5.99	54315.14	54315.14	6.01	154258.40	2.83
SD			0.01	2852.33	2852.33	0.01	4520.83	0.27	0.01	6769.73	6769.73	0.01	4882.67	0.10	0.01	4474.14	4474.14	0.01	30417.02	0.16	0.01	6792.92	6792.92	0.01	26013.79	0.24
RSD			0.16	12.87	12.87	0.16	6.96	9.36	0.14	7.44	7.44	0.13	3.34	6.28	0.13	2.62	2.62	0.13	10.71	8.78	0.11	12.51	12.51	0.11	16.86	8.55
IDL			0.00	0.00	0																					

3.6 加标回收率结果

在试样中分别加入 100 ng/mL 的混合标准工作液 10 uL、25 uL、50 uL，按照 3.6 前处理方法进行样品处理，测试结果如下所示。沙丁胺醇加标回收率在 86.20%-103.11%，莱克多巴胺加标回收率在 80.64%-117.28%，克仑特罗加标回收率在 81.93%-109.23%，苯乙醇胺 A 加标回收率在 71.83%-98.40%。

表 10 各化合物加标回收率测试结果

样品信息	沙丁胺醇-D3				沙丁胺醇				莱克多巴胺-D6				莱克多巴胺										
	数据名称	定量方法	保留时间	峰面积	相对峰面积	计算浓度	回收率	保留时间	峰面积	相对峰面积	计算浓度	回收率	保留时间	峰面积	相对峰面积	计算浓度	回收率	保留时间	峰面积	相对峰面积	计算浓度	回收率	
1	回收率2-1	定量曲线	4.15	11900.58	11900.58	5.00		4.16	13535.80	1.14	2.06	103.11	4.95	26150.45	26150.45	5.00		4.97	17714.37	0.68	2.07	103.63	
2	回收率2-2	定量曲线	4.15	11135.44	11135.44	5.00		4.16	11210.65	1.01	1.84	92.01	4.95	23012.81	23012.81	5.00		4.97	14478.30	0.63	1.92	95.90	
3	回收率2-3	定量曲线	4.15	10261.19	10261.19	5.00		4.17	9997.47	0.97	1.79	89.26	4.95	20118.45	20118.45	5.00		4.97	15342.55	0.76	2.35	117.28	
4	回收率2-4	定量曲线	4.16	12110.44	12110.44	5.00		4.16	13338.01	1.10	2.00	100.05	4.95	22952.45	22952.45	5.00		4.97	15688.23	0.68	2.09	104.61	
5	回收率5-1	定量曲线	4.15	12291.51	12291.51	5.00		4.16	31838.42	2.59	4.53	90.59	4.95	28732.81	28732.81	5.00		4.97	37042.60	1.29	4.03	80.64	
6	回收率5-2	定量曲线	4.16	15015.94	15015.94	5.00		4.16	39761.46	2.65	4.63	92.55	4.95	29032.74	29032.74	5.00		4.97	45468.47	1.57	4.92	98.38	
7	回收率5-3	定量曲线	4.16	12361.15	12361.15	5.00		4.17	33186.24	2.68	4.69	93.80	4.95	27508.95	27508.95	5.00		4.97	45110.50	1.64	5.16	103.11	
8	回收率5-4	定量曲线	4.16	14057.65	14057.65	5.00		4.17	34593.95	2.46	4.31	86.20	4.95	24491.09	24491.09	5.00		4.97	36408.39	1.49	4.66	93.29	
9	回收率10-1	定量曲线	4.15	13788.33	13788.33	5.00		4.17	70439.63	5.11	8.81	86.07	4.95	21658.02	21658.02	5.00		4.97	73223.50	3.38	10.73	107.32	
10	回收率10-2	定量曲线	4.16	11945.23	11945.23	5.00		4.16	71558.50	5.99	10.30	103.04	4.95	24473.45	24473.45	5.00		4.97	73924.56	3.02	9.58	95.78	
11	回收率10-3	定量曲线	4.15	13209.40	13209.40	5.00		4.16	73573.55	5.57	9.59	95.90	4.95	23984.09	23984.09	5.00		4.97	70366.27	2.93	9.30	93.00	
12	回收率10-4	定量曲线	4.16	14052.08	14052.08	5.00		4.17	75035.13	5.34	9.20	91.99	4.95	23670.23	23670.23	5.00		4.97	75499.42	3.19	10.12	101.19	

样品信息	莱克多巴胺-D6				莱克多巴胺				克仑特罗-D9				克仑特罗				苯乙醇胺-A-D3				苯乙醇胺A									
	数据名称	定量方法	保留时间	峰面积	相对峰面积	计算浓度	回收率	保留时间	峰面积	相对峰面积	计算浓度	回收率	保留时间	峰面积	相对峰面积	计算浓度	回收率	保留时间	峰面积	相对峰面积	计算浓度	回收率	保留时间	峰面积	相对峰面积	计算浓度	回收率			
1	回收率2-1	定量曲线	158.45	26150.45	5.00		4.97	17714.37	0.68	2.07	103.63	5.24	78607.34	78607.34	5.00		5.27	64639.07	0.82	2.15	107.58	5.98	18496.73	18496.73	5.00	5.99	22372.09	1.21	1.44	71.83
2	回收率2-2	定量曲线	012.81	23012.81	5.00		4.97	14478.30	0.63	1.92	95.90	5.24	81836.93	81836.93	5.00		5.25	68288.73	0.83	2.18	109.23	5.98	17934.45	17934.45	5.00	5.99	23011.88	1.28	1.53	77.46
3	回收率2-3	定量曲线	118.45	20118.45	5.00		4.97	15342.55	0.76	2.35	117.28	5.24	84394.22	84394.22	5.00		5.25	64268.34	0.76	1.99	99.34	5.98	16461.73	16461.73	5.00	5.99	20393.30	1.24	1.40	74.07
4	回收率2-4	定量曲线	952.45	22952.45	5.00		4.97	15688.23	0.68	2.09	104.61	5.24	89230.22	89230.22	5.00		5.27	74942.50	0.83	2.17	108.60	5.98	14789.78	14789.78	5.00	5.99	18636.45	1.26	1.51	75.70
5	回收率5-1	定量曲线	732.81	28732.81	5.00		4.97	37042.60	1.29	4.03	80.64	5.24	93174.80	93174.80	5.00		5.27	172707.00	1.85	4.95	99.00	5.98	18061.57	18061.57	5.00	5.99	53122.62	2.88	4.00	79.99
6	回收率5-2	定量曲线	032.74	29032.74	5.00		4.97	45468.47	1.57	4.92	98.38	5.24	93223.08	93223.08	5.00		5.25	172021.70	1.85	4.93	98.55	5.98	18632.73	18632.73	5.00	5.99	57794.34	3.10	4.34	86.70
7	回收率5-3	定量曲线	508.95	27508.95	5.00		4.97	45110.50	1.64	5.16	103.11	5.24	92188.06	92188.06	5.00		5.25	141885.80	1.54	4.10	81.93	5.98	16374.44	16374.44	5.00	5.99	54369.76	3.32	4.67	93.40
8	回收率5-4	定量曲线	491.09	24491.09	5.00		4.97	36408.39	1.49	4.66	93.29	5.24	90359.36	90359.36	5.00		5.25	167341.70	1.85	4.95	98.91	5.98	15906.44	15906.44	5.00	5.99	55007.69	3.46	4.88	97.62
9	回收率10-1	定量曲线	658.02	21658.02	5.00		4.97	73223.50	3.38	10.73	107.32	5.24	88275.65	88275.65	5.00		5.27	294994.40	3.34	8.99	89.88	5.98	15494.16	15494.16	5.00	5.99	103741.90	6.70	9.84	98.40
10	回收率10-2	定量曲线	473.45	24473.45	5.00		4.97	73924.56	3.02	9.58	95.78	5.24	87621.94	87621.94	5.00		5.25	325143.30	3.71	9.99	99.89	5.98	14320.44	14320.44	5.00	5.99	78029.78	5.45	7.93	79.30
11	回收率10-3	定量曲线	984.09	23984.09	5.00		4.97	70366.27	2.93	9.30	93.00	5.24	83805.50	83805.50	5.00		5.25	321189.40	3.83	10.32	103.20	5.98	17850.87	17850.87	5.00	5.99	92713.29	5.19	7.54	75.49
12	回收率10-4	定量曲线	670.23	23670.23	5.00		4.97	75499.42	3.19	10.12	101.19	5.24	91035.37	91035.37	5.00		5.27	288784.10	3.17	8.53	85.28	5.98	18100.73	18100.73	5.00	5.99	95422.87	5.27	7.66	76.59

4 结论

本文使用谱育科技 EXPEC 5210 LC-MS/MS 对动物毛发中克仑特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇和苯乙醇胺 A 含量进行检测，考察方法的线性、灵敏度、稳定性、加标回收率。各化合物线性系数大于 0.998；0.5 ng/mL 的标准物质溶液信噪比（峰-峰）均大于 27；标准溶液在浓度为 1 ng/mL、2 ng/mL、5 ng/mL 和 10 ng/mL 时连续 6 次进样，保留时间 RSD 不超过 0.16%，相对峰面积 RSD 均小于 10%；各化合物在 100 ng/mL 浓度水平的加标回收率在 80%~120%之间。以上结果表明，该方法灵敏度高，精密密度良好满足农业农村部关于动物毛发中克仑特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇和苯乙醇胺 A 含量测定的要求。