

风干牦牛肉氨基酸与脂肪酸组成分析评价

高媛¹, 黄彩霞¹, 冯岗², 衣文正³, 孙宝忠^{1,*}

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193;

2. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃兰州 730070;

3. 山东省农业管理干部学院, 山东济南 250100)

摘要:通过对风干牦牛肉原料及成品中氨基酸与脂肪酸的含量进行测定, 分析其组成变化, 并对风干牦牛肉的营养价值进行评价。结果显示: 原料肉和风干牦牛肉均含有十八种氨基酸和十四种脂肪酸, 且风干牦牛肉的氨基酸和脂肪酸总量分别高于原料肉 1.34g/100g 干物质和 0.62% ($p < 0.05$)。风干牦牛肉的氨基酸总量为 81.14g/100g 干物质, EAA/TAA 为 39.45%, EAA/NEAA 为 65.15%。脂肪酸总量为 97.97%, P:S 为 0.32, 接近理想模式, n-6:n-3 为 1.4, 处于理想范围。因此可以判断风干牦牛肉是一种具有独特风味的优质蛋白质来源, 也是具有均衡脂肪酸的高营养价值的肉制品。

关键词: 风干牦牛肉, 氨基酸, 脂肪酸, 气相色谱-质谱法

Amino acid and fatty acid composition assay of airing yak meat

GAO Yuan¹, HUANG Cai-xia¹, FENG Gang², YI Wen-zheng³, SUN Bao-zhong^{1,*}

(1. Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;

2. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

3. Shandong Agricultural Administrator's College, Jinan 250100, China)

Abstract: Amino acid and fatty acid composition assay were analyzed by comparing yak meat with airing yak meat, and the nutritional value of airing yak meat was evaluated. The results demonstrated that there were eighteen kind of amino acid and sixteen kind of fatty acid in both yak meat and airing yak meat, the total content of amino acid and fatty acid in airing yak meat is higher than yak meat by 1.34g/100g dry matter and 0.62% ($p < 0.05$). The content of amino acid in airing yak meat was 81.14g/100g dry matter, EAA/TAA was 39.45%, EAA/NEAA was 65.15%. The total content of fatty acid was 97.97%, P:S was 0.32, close to ideal pattern, n-6:n-3 was 1.4, in the ideal range. So airing yak meat was a great source of high quality with unique flavor, and a kind of meat product with balanced fatty acid nutritional value.

Key words: airing yak meat; amino acid; fatty acid; GC/MS

中图分类号: TS251

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2013)13-0317-04

牦牛生活在海拔 3000m 以上的高寒地带^[1], 风干牦牛肉是充分利用青藏高原地区特殊的自然气候资源, 即在低温和低气压下将牦牛肉进行切条、风干后形成的一种传统生食肉制品。罗章等人对西藏自然风冻干牦牛肉加工工艺和微生物菌相进行了分析, 研究结果表明: 生产的风冻干牦牛肉细菌总数显著下降, 有害菌减少; 理化性质也发生了一定的变化, 如总糖含量下降, 可溶性蛋白含量升高^[2]。通过对原料肉与风干牦牛肉的氨基酸和脂肪酸含量变化组成进行对比分析, 对风干牦牛肉的营养价值进行评价, 为风干牦牛肉的进一步研究与开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

牦牛肉 甘肃天玛生态食品科技股份有限公司。

L-8900 高速氨基酸分析仪 株式会社-日立高新技术; Agilent 7890A-5975C 气-质联用仪、色谱柱 美国安捷伦科技有限公司; W280 数控升降浴锅、RE-5205 旋转蒸发器 上海振捷实验设备有限公司; SHA-B 水浴恒温振荡器 金坛市金南仪器厂; XS105 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; 抽真空装置。

1.2 实验方法

1.2.1 实验条件

1.2.1.1 风干牦牛肉的制作 将 16 头牦牛肉的背最长肌, 随机分成四组, 即 4 个重复, 每个样品每次取 125g, 制成混合样。分别对原料肉和成品的氨基酸和脂肪酸进行测定。

收稿日期: 2012-11-22 * 通讯联系人

作者简介: 高媛(1987-), 女, 在读研究生, 研究方向: 畜产品加工与安全理论控制技术。

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203009); 国家现代农业(肉牛牦牛)产业技术体系建设专项(nycytx-38)。

1.2.1.2 氨基酸含量测定及氨基酸评分 用氨基酸自动分析仪按 GB/T 5009.124^[3] 方法测定,测定结果为干物质中所含氨基酸的量。

氨基酸评分(amino acid score, AAS),食物蛋白质中的必需氨基酸和理想模式中相应的必需氨基酸的比值,理想氨基酸模式采用 FAO 提出的模式。

AAS(%) = 被测蛋白质每克氮(或蛋白质)中某种氨基酸含量/理想模式中每克氮(或蛋白质)中该种氨基酸含量 × 100

1.2.1.3 脂肪酸含量测定 参考 GB/T 22223-2008 应用脂肪酸甲酯的气相色谱分析法,采用气-质联用仪对样品进行脂肪酸测定,再通过内标法计算出各脂肪酸的含量。色谱条件:以氦气为载气,起始柱温 100℃,持续 5min,以 5℃/min 的速度升至 170℃,持续 5min;以 5℃/min 的速度升至 200℃,持续 20min;以 5℃/min 的速度升至 230℃,持续 8min。进样器温度 250℃,检测器温度 260℃。分流进样 10:1,进样量为 1μL。质谱条件:EI 离子源,电子能量 70eV,质量扫描范围 33~450u,四级杆温度 140℃,离子源温度 240℃,GC/MS 接口温度 250℃。

1.2.2 工艺流程 原料肉→解冻→修割→风干→成品

1.2.3 操作要点 原料肉:选取健康的 3~4 岁的公牦牛,经屠宰分割后排酸 24h, -20℃ 冷冻保存,风干牦牛肉选取背最长肌;解冻:将冷冻的牦牛肉置于 0~4℃ 的环境中自然解冻,大约解冻 48h;修割:剔除肉表面的结缔组织和脂肪组织,切成 2 × 2cm 的条状;风干:模拟青藏高原地区冬季的风干环境,白天(8:00~17:00)晾挂于温度为 0~4℃,湿度为 70% ± 5% 的环境中;晚间(17:00~8:00)晾挂于温度为 (-14 ± 2)℃,湿度为 70% ± 5% 的环境中;成品:将风干好的肉摘下,真空包装后常温贮藏。

1.2.4 实验数据统计与分析 数据分析及处理采用 spss17.0 配对样本 t 检验法及单因素方差分析法。

2 结果与讨论

2.1 原料肉与风干牦牛肉氨基酸含量

从表 1 可知,风干牦牛肉含有十八种氨基酸,其中十七种氨基酸含量高于原料肉,氨基酸总量为 81.14g/100g,比原料肉高 1.34g/100g。从含量来看,赖氨酸、亮氨酸、门冬氨酸和谷氨酸是风干牦牛肉的主要氨基酸。

根据 FAO/WHO 的模式标准,质量较好的蛋白质组成中 EAA/TAA 应在 40% 左右,EAA/NEAA 应在 60% 以上。原料肉与风干牦牛肉的 EAA/TAA 分别为 39.6%、39.45%,EAA/NEAA 分别为 65.59%、65.15%,原料肉的结果与郭淑珍等^[4]对甘南牦牛肉的研究结果一致,同时可以判断风干牦牛肉保留了原料肉的营养成分,是优质蛋白质来源。

在非必需氨基酸中,组氨酸和甘氨酸变化差异显著($p < 0.05$),组氨酸对幼儿是必需氨基酸,也是尿毒症患者的必需氨基酸,组氨酸脱羧后形成组胺,具有很强的血管舒张作用;甘氨酸有独特的甜味,但摄入过多不利于人体的吸收利用。风干牦牛肉中鲜味氨基酸(甘氨酸,异亮氨酸,脯氨酸,丝氨酸,丙氨酸,

谷氨酸)总量为 32.87g/100g,这 6 种氨基酸是形成肉品香味所必需的前体氨基酸,与肉的风味有直接关系,其中谷氨酸含量最高,为 15.09g/100g,占鲜味氨基酸总量的 45.91%,是最主要的鲜味物质,具有形成肉鲜味和缓冲咸与酸等味道的特殊功效^[5]。

表 1 原料肉与风干牦牛肉氨基酸含量
($\bar{X} \pm SD$)(g/100g 干物质)

氨基酸种类	原料肉	风干牦牛肉
苏氨酸(Thr)	3.87 ± 0.08	3.90 ± 0.10
苯丙氨酸(Phe)	3.10 ± 0.09	3.13 ± 0.17
必需氨基酸		
赖氨酸(Lys)	7.54 ± 0.19	7.67 ± 0.14
缬氨酸(Val)	4.17 ± 0.15	4.26 ± 0.08
蛋氨酸(Met)	1.73 ± 0.05	1.79 ± 0.07
异亮氨酸(Ile)	3.66 ± 0.17	3.67 ± 0.21
亮氨酸(Leu)	6.70 ± 0.18	6.71 ± 0.35
色氨酸(Trp)	0.84 ± 0.26	0.87 ± 0.38
酪氨酸(Tyr)	2.60 ± 0.05	2.64 ± 0.08
组氨酸(His)	3.36 ± 0.12	3.49 ± 0.04 *
精氨酸(Arg)	5.18 ± 0.14	5.29 ± 0.08
非必需氨基酸		
脯氨酸(Pro)	2.67 ± 0.05	2.58 ± 0.05
门冬氨酸(Asp)	7.49 ± 0.17	7.57 ± 0.20
丝氨酸(Ser)	3.29 ± 0.08	3.31 ± 0.11
谷氨酸(Glu)	14.73 ± 0.35	15.09 ± 0.43
甘氨酸(Gly)	3.20 ± 0.10	3.40 ± 0.08 *
丙氨酸(Ala)	4.76 ± 0.09	4.82 ± 0.09
胱氨酸(Cys)	0.92 ± 0.03	0.94 ± 0.03
氨基酸总量 TAA	79.8	81.14
必需氨基酸总量 EAA	31.61	32.01
非必需氨基酸总量 NEAA	48.19	49.13
EAA/TAA	39.6%	39.45%
EAA/NEAA	65.59%	65.15%

注:表中同行间 * 代表差异显著($p < 0.05$),表 3 同。

2.2 原料肉与风干牦牛肉氨基酸评分

如表 2 所示,与 FAO/WHO 提出的理想蛋白质中必需氨基酸含量相比,原料肉的苏氨酸、赖氨酸、亮氨酸高于理想模式,异亮氨酸接近理想模式;风干牦牛肉苏氨酸、赖氨酸、亮氨酸和异亮氨酸高于理想模式,缬氨酸与色氨酸接近理想模式。而张永辉^[5]的研究结果为 18 月龄牦牛肉的苏氨酸、缬氨酸异亮氨酸及成年牦牛肉的缬氨酸、异亮氨酸都接近理想模式;18 月龄牦牛肉的亮氨酸、苯丙氨酸 + 酪氨酸、赖氨酸含量及成年牦牛肉中的苏氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸 + 酪氨酸、赖氨酸含量高于理想模式。

2.3 原料肉与风干牦牛肉脂肪酸组成

2.3.1 饱和脂肪酸 从表 3 可以看出,SFA 含量在脂肪酸构成中占最大的比例,其次是 MUFA 和 PUFA。风干牦牛肉的 SFA 含量 44.83% 低于原料肉的 44.93%。棕榈酸和硬脂酸含量尤为突出,这与李鹏对白牦牛肉^[6]刘勇对牦犊牛肉^[7]、丁凤焕对牦牛、犏牛及黄牛肉的研究结果一致^[8]。原料肉和风干牦牛肉的 SFA 含量均小于 UFA,这与李鹏、刘勇等人的研

究结果不同,可能与年龄、放牧强度有关。

表2 原料肉与风干牦牛肉必需氨基酸评分(mg/g pro)

Table 2 Essential amino acid scores in raw material and airing yak meat

必需氨基酸	原料肉含量	成品含量	FAO/WHO 推荐模式 (%)	原料肉氨基酸评分 (%)	风干牦牛肉氨基酸评分 (%)
苏氨酸	40.91	42.90	40	102.27	107.26
苯丙氨酸	32.77	34.43	60	54.62	57.39
赖氨酸	79.70	84.38	55	144.92	153.42
缬氨酸	44.08	46.86	50	88.16	93.73
蛋氨酸*	18.29	19.69	35	52.25	56.26
异亮氨酸	38.69	40.37	40	96.72	100.94
亮氨酸	70.82	73.82	70	101.18	105.45
色氨酸	8.88	9.57	10	88.79	95.71

注: * 第一限制氨基酸。

牦牛是反刍动物,饮食对反刍动物脂肪酸构成的影响与单胃动物不同,因为它们饮食中的低脂含量和瘤胃中脂肪的氢化^[9],尽管瘤胃中微生物有氢化效果,但饮食可以改变肉中脂肪酸的构成。已有研究关注操控必需脂肪酸,如人们熟知的对人体健康有益的 α -亚麻酸^[10]。Bas 和 Morand-Fehr^[11]检测了影响羊肉中脂肪酸含量的因素,结果表明草饲可提高肉豆蔻酸、硬脂酸和 α -亚麻酸含量。草饲育肥羊肉脂肪酸构成中,长链饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量高于育肥的动物^[12]。

2.3.2 单不饱和脂肪酸 风干牦牛肉的 MUFA 含量高于原料肉,其中十七碳烯酸和油酸差异不大,棕榈油酸差异显著($p < 0.05$)。MUFA 对降低心血管疾病有着重要意义,在 MUFA 中具有代表性的是油酸,它几乎存在于所有的植物油和动物脂肪中,也是在所检测出的脂肪酸中含量最高的。MUFA 可降低血浆总胆固醇的水平,增强抗氧化酶的活性,预防动脉粥样硬化以及降低患冠心病的危险性,还具有降低血压和降血糖以及防止记忆下降、促进生长发育的作用^[16]。

2.3.3 多不饱和脂肪酸 原料肉经风干后 PUFA 含量下降,亚油酸、 α -亚麻酸、二十碳三烯酸、花生四烯酸、二十碳五烯酸和 DHA 分别下降了 0.41、0.18、0.08、0.06、0.03、0.08,但差异不显著($p > 0.05$),总量下降了 0.85。多不饱和脂肪酸具有多种特殊的生物活性,在生物系统中有着广泛的功能,对于稳定细胞膜功能、调控基因表达、维持细胞因子和脂蛋白平衡、抗心血管疾病以及促进生长发育等方面起着重要作用。其中 n-3 族 PUFA 较有代表性的物质包括二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)等,与人体免疫、衰老发生、胎儿发育和基因调控等过程密切相关。n-6 族 PUFA 较有代表性的化合物有亚油酸(LA)和花生四烯酸(AA)等,是脑和视神经组织以及细胞膜的重要物质基础,具有促进婴儿生长发育等作用,且亚油酸、花生四烯酸均为人体必需脂肪酸,人体不能自行合成而必须从食物中摄取^[17-18]。

2.3.4 脂肪酸比例 M Ensterand J D Wood 等指出,

肉品中脂肪酸的营养价值一般是用多聚不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的比率(P:S)来衡量,认为 P:S 为 0.40 或稍微高于此值为佳,WHO 推荐 P:S 最好高于 0.4。另外,n-6:n-3 的比率也是衡量肉品营养价值的一个指标,该指标一般应为 1.0~2.0,不高于 2.0。原料肉和风干牦牛肉的 P:S 分别为 0.34 和 0.32,稍低于理想值。原料肉和风干牦牛肉的 n-6:n-3 分别为 1.39 和 1.4,处于理想值范围,且高于张永辉^[5],刘勇^[6]的研究结果。

表3 原料肉与风干牦牛肉脂肪酸组成(%)

Table 3 The composition of fatty acid in raw material and airing yak beef

	原料肉	风干牦牛肉
总计	97.39	97.97
饱和脂肪酸(SFA)	44.93	44.83
豆蔻酸(C14:0)	1.39 ± 0.37	1.45 ± 0.18
十五烷酸(C15:0)	0.26 ± 0.03	0.26 ± 0.01
棕榈酸(C16:0)	20.90 ± 2.13	21.52 ± 1.46
十七烷酸(C17:0)	0.83 ± 0.05	0.79 ± 0.07
硬脂酸(C18:0)	21.54 ± 0.72	20.82 ± 1.13
不饱和脂肪酸(UFA)	53.52	54.19
单不饱和脂肪酸(MUFA)	37.39	38.91
棕榈油酸(C16:1)	2.66 ± 0.42	2.97 ± 0.33 *
十七碳烯酸(C17:1)	0.76 ± 0.11	0.71 ± 0.06
油酸(C18:1)	33.98 ± 1.52	35.24 ± 1.79
多不饱和脂肪酸(PUFA)	15.07	14.23
亚油酸(C18:2, n-6)	6.47 ± 1.72	6.06 ± 1.2
α -亚麻酸(C18:3, n-3)	2.48 ± 0.65	2.30 ± 0.5
二十碳三烯酸(C20:3, n-3)	2.55 ± 0.67	2.47 ± 0.46
花生四烯酸(C20:4, n-6)	2.29 ± 0.58	2.23 ± 0.42
二十碳五烯酸(C20:5, n-3)	1.05 ± 0.23	1.02 ± 0.16
DHA(C22:6, n-3)	0.23 ± 0.08	0.15 ± 0.11
SFA/UFA	0.84	0.83
MUFA/PUFA	2.48	2.73
PUFA/SFA	0.34	0.32
n-6/n-3	1.39	1.4

3 结论

3.1 原料肉和风干牦牛肉均含有十八种氨基酸,氨基酸总量分别为(3.87 ± 0.08)、(3.90 ± 0.10)g/100g干物质。氨基酸评分中,原料肉的苏氨酸、赖氨酸、亮氨酸高于理想模式,异亮氨酸接近理想模式;风干牦牛肉苏氨酸、赖氨酸、亮氨酸和异亮氨酸高于理想模式,缬氨酸与色氨酸接近理想模式。

3.2 原料肉和风干牦牛肉均含有十四种脂肪酸,脂肪酸总量分别为 97.39% 和 97.97%,其中饱和脂肪酸 5 种,单不饱和脂肪酸 3 种,多不饱和脂肪酸 6 种。原料肉和风干牦牛肉的 P:S 分别为 0.34 和 0.32,稍低于理想值;n-6:n-3 分别为 1.39 和 1.4,处于理想值范围。

3.3 风干牦牛肉在风干过程中极大地保留了原料肉的营养成分,是一种富含多种氨基酸和脂肪酸且营养均衡的天然、绿色、有机肉制品。

参考文献

- [1] 梁春丰, 阎萍, 牛春娥. 甘南牦牛资源现状调查及开发对策研究[J]. 牛业进展, 2008: 199-202.
- [2] 罗章, 小巴桑, 米玛巴吉, 等. 西藏自然风冻干牦牛肉加工工艺与微生物菌相分析[J]. 西北农业学报, 2009, 18(6): 373-376.
- [3] GB/T 5009.124. 食品中氨基酸的测定[S].
- [4] 郭淑珍, 牛小莹, 赵君, 等. 甘南牦牛肉与其他良种牛肉氨基酸含量对比分析[J]. 中国草食动物, 2009, 29(3): 58-60.
- [5] 张永辉. 大通牦牛肉质特性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [6] 李鹏, 孙京新, 王凤舞, 等. 自牦牛肉脂肪酸分析及功能性评价[J]. 食品科学, 2008, 29(4): 106-108.
- [7] 刘勇, 余群力, 左丽娟, 等. 青海牦牦牛肉脂肪酸组成分析[J]. 食品工业科技, 2009, 30(12): 102-104.
- [8] 丁凤煊. 牦牛、犏牛及黄牛肉脂肪酸和风味物质测定及生产性能的比较分析[D]. 青海: 青海大学, 2008.
- [9] Wood J D, Richardson R I, Nute G R, *et al.* Effects of fatty acids on meat quality: a review [J]. Meat Science, 2003, 66: 21-32.
- [10] Rule D C, Broughton K S, Shellito S M, *et al.* Comparison of muscle fatty acid profiles and cholesterol concentrations of bison,

- beef cattle, elk and chicken[J]. Journal of Animal Science, 2002, 80: 1202-1211.
- [11] Bas P, Morand-Fehr P. Effect of nutritional factors on fatty acid composition of lamb fat deposits[J]. Meat Science, 2000, 64: 61-79.
- [12] Rowe A, Macedo F A F, Visentainer J V, *et al.* muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in dry lot or pasture[J]. Meat Science, 1999, 51, 283-288.
- [13] Vincent Rioux P L. The complex and important cellular and metabolic functions of saturated fatty acids[J]. Lipids, 2010, 45: 941-946.
- [14] Keys A, Anderson J T, Grande F. Serum cholesterol response to changes in the diet[J]. Metabolism, 1965, 14: 776-787.
- [15] 陈银基, 鞠兴荣, 周光宏, 等. 饱和脂肪酸分类与生理功能[J]. 中国油脂, 2008, 33(3): 5-38.
- [16] 袁书林, 经荣斌, 王宵燕, 等. 必需脂肪酸营养研究进展[J]. 养殖与饲料, 2002(5): 3-5.
- [17] Henry E G, Momin R A, Nairn G, *et al.* Antioxidant and cyclooxygenase activities of fatty acids found in food[J]. J Agric Food Chem, 2002, 50: 2231-2234.
- [18] Connor W E, Neurringer M, Reisbick S. Essential fatty acids: the importance of n-3 fatty acids in the retina and brain[J]. Nutr Res, 1992, 50(4): 21-29.

(上接第 263 页)

显著提高, 挥发性降低, 热损失明显较少, 在与 PLA 等材料经过挤压吹塑这一热加工处理后, 其热加工损失率从 98.77% 降低到 75.56%, 这为耐热性差的生物活性成分应用到工业化生产中提供了可行性。

3.2 组成中含有 β -CD_{ATTC} 复合物的抗菌包装膜具有缓慢释放的特性, 其释放的速率与环境的相对湿度 (RH%) 和温度有关系, 环境的湿度、温度升高可增加挥发性抗菌剂的释放速率。

3.3 缓释型抗菌包装通过缓释 AITC 形成长效杀菌, 且对细菌、霉菌和酵母等常见的食品微生物具有较强的抑制作用。

参考文献

- [1] 郭新华, 张子勇. 食品包装的抗菌保鲜膜的应用研究[J]. 包装工程, 2004, 25(5): 8-10.
- [2] Del Nobile MA, Conte A, Buonocore GG. Active packaging by extrusion processing of recyclable and biodegradable polymers [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93(1): 1-6.
- [3] 袁盛楠, 王金鹏, 金征宇, 等. 葡萄糖基 β -环糊精对面包品质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 153-156.
- [4] 金征宇, 徐学明, 陈寒青, 等. 环糊精化学—制备与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 230-320.
- [5] 钱亮亮. β -环糊精肉桂醛包合物在食品包装中的基础研究[D]. 江南大学食品学院硕士学位论文, 2008.
- [6] Wang Fangjing, Gerald MSaidel, Gao Jiming. A mechanistic model of controlled drug release from polymer millirods: Effects of excipients and complex binding[J]. Journal of Controlled Release, 2007, 119(1): 111-120.
- [7] He Qin, Wu Wei, Xiu Kemao, *et al.* Controlled drug release system based on cyclodextrin-conjugated poly(lactic acid)-b-

poly(ethylene glycol) micelles [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2013, 443(1-2): 110-119.

- [8] Cristina M, Aránzazu Z, José M. Critical factors in the release of drugs from sustained release hydrophilic matrices[J]. Journal of Controlled Release, 2011, 154(1): 2-19.
- [9] Bhandari BR, D'arcy BR, Bich LLT. Lemon oil to β -cyclodextrin ratio effect on the inclusion efficiency of β -cyclodextrin and the retention of oil volatiles in the complex [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(4): 1494-1499.
- [10] Li Xuehong, Jin Zhengyu, Wang Jing. Complexation of allyl isothiocyanate by α - and β -cyclodextrin and its controlled release characteristics[J]. Food Chemistry, 2007, 103(2): 461-466.
- [11] 邹俊, 舒友, 马腾, 等. 超细滑石粉填充聚乳酸共混薄膜的制备及性能研究[J]. 塑料工业, 2010, 38(11): 13-16.
- [12] Castellane J, Snow NH. Modeling flavor release using inverse GC-MS [J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2001, 49: 4296-4299.
- [13] Ikeda Y, Motoune S, Marumoto A. Effect of 2-Hydroxypropyl- β -cyclodextrin on Release Rate of Metoprolol from Ternary Metoprolol/2-hydroxypropyl- β -cyclodextrin/Ethylcellulose Tablets [J]. Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry, 2002, 44(1-4): 141-144.
- [14] Rehmann L, Yoshii H, Furuta T. Characteristics of modified β -cyclodextrin bound to cellulose powder [J]. Starch, 2003, 55(7): 313-318.
- [15] Isshiki K, Tokuoka K, Mori R, *et al.* Preliminary examination of allyl isothiocyanate vapor for food preservation. Bioscience [J]. Biotechnology and Biochemistry, 1992, 56: 1476-1477.