

膨化血粉微生物学品质安全特征研究

马超, 夏成文¹ (1. 上海海洋大学, 上海 200090; 2. 四川省仁寿县三蕊饲料厂, 四川仁寿 612500)

摘要 [目的] 评价膨化血粉的感官、理化和微生物学品质及其安全特征。[方法] 按照鱼粉国家标准对6种膨化血粉的感官、理化、微生物学品质安全及残存细菌菌群进行定性和定量研究。[结果] 6种膨化血粉产品的感官品质良好; 水分含量(9.42 ± 1.01)%、盐分含量(2.28 ± 0.38)%、水分活度0.601 ± 0.02、pH值为6.94 ± 0.53、TVBN(64.29 ± 16.84) ng/100 g; 菌落总数4.39 × 10⁵ CFU/g, 霉菌数34.7 × 10³ CFU/g, 大肠菌群 < 30 MPN/100 g, 金黄色葡萄球菌未检出, 沙门氏菌未检出。分离获得612株细菌, 细菌菌群主要有芽孢杆菌(45.1%)、葡萄球菌(15.7%)、李斯特菌(7.8%)、玫瑰小球菌(4.4%)、棒状杆菌(4.1%)、马红球菌(2.8%)。[结论] 6种样品品质整体良好, 膨化血粉A品质最优, F品质最差; 产品中芽孢杆菌含量很高, 是否存在致病性蜡样芽孢杆菌有待进一步研究。

关键词 膨化血粉; 霉菌; 细菌菌群; 潜在危害

中图分类号 S816.17 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)24-10476-04

Study on Microbiological Quality and Safety Characteristics of Expanding Blood Meal

MA Chao et al (Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090)

Abstract [Objective] The study aimed to evaluate the sensory, chemical, microbiological quality and safe characteristics of expanding blood meal. [Method] Sensory, chemical, microbiological quality, safe and survival bacteria flora of 6 kinds of expanding blood meal were qualitatively and quantitatively analyzed according to national standard on fish meal. [Result] The sensory quality 6 products of expanding blood meal was well and their moisture content, salt concn. Aw, pH, TVBN were (9.42 ± 1.01)%, (2.28 ± 0.38)%, 0.601 ± 0.02, 6.94 ± 0.53, (64.29 ± 16.84) ng/100 g, resp. Microbiological indices showed that total colony counts was 4.39 × 10⁵ CFU/g, mold was 34.7 × 10³ CFU/g and coliform flora was less than 30 MPN/100g, except that latent pathogens of *Salmonella* and *Staphylococcus aureus* were not detected. 612 strains of bacteria were isolated from products in which the predominant bacterial flora were composed of *Bacillus* spp. (45.1%), *Staphylococcus* spp. (15.7%), *Listeria* spp. (7.8%), *Micrococcus rose* (4.4%), *Corynebacterium* spp. (4.1%), *Rhodococcus equi* (2.8%). [Conclusion] 6 samples of expanding blood meal had good quality as whole, among them the blood meal A was best and the blood meal F was worst. The content of *Bacillus* spp. was highest in the products and whether the pathogenicity *Bacillus cereus* was in the products should be studied further.

Key words Expanding blood meal; Mold; Bacterial flora; Latent hazard

血粉是一种重要的动物性蛋白质资源, 不仅蛋白质含量高(新鲜猪血的蛋白质含量达18.9%, 干燥血粉的粗蛋白含量达80.0%), 且含有其他丰富的营养物质如维生素、激素、矿物质、糖类和脂类等, 有些营养物质甚至超过进口鱼粉, 其中赖氨酸、亮氨酸、缬氨酸分别是进口鱼粉中同类氨基酸含量的1.79、2.65、2.79倍, 铁的含量为进口鱼粉的1.30倍^[1]。近年来, 随着人们对挤压膨化技术的研究与应用的深入, 膨化血粉的研究也越来越受到人们关注与重视。不少研究者生产工艺、动物营养需求等方面都取得了重要成果^[2]。但是相比对豆粕、菜粕的研究, 膨化血粉的研究进展缓慢, 特别是血粉质量安全方面的研究还未见报道。因此, 笔者对6种膨化血粉产品的感官、理化和微生物学品质进行分析评价, 着重分析产品的微生物生态和动态, 对残存细菌进行分离鉴定, 并作定性和定量分析, 旨在评价加工过程中温度、时间、水分活度(Aw)等栅栏因子对产品品质与安全的影响, 为进一步改进其加工工艺流程和技术参数提供科学数据。

1 材料与方法

1.1 试验样品 选购6种膨化血粉产品, 带回实验室进行样品处理^[3], 在标称保质期内对样品进行分析。

1.2 感官质量评价 由上海海洋大学实验室6名经过训练的评价员组成感官评价小组, 评价样品的外观、色泽、气味和手感。采用3点标度法, “2.0”表示产品初期, 为最好品质; “2.0~1.0”表示高品质期, 产品没有明显变化; “0.5”表示产品品质出现明显变化, 作为商品不良即货架期终点; “0”表示感官拒绝, 产品不可用。

1.3 测定方法 水分含量测定采用(105 ± 2) 常压干燥法^[4]。pH值测定: 称取10 g样品, 加蒸馏水100 ml, 浸泡30 min, 过滤后取滤液, 用酸度计(上海伟业PHS-3C型)测定^[4]。水分活度测定采用康威氏皿微量扩散法。NaCl含量测定按照GB/T 5009.44-2003, 采用炭化浸出法测定。挥发性盐基氮测定按照GB/T 5009.44-2003, 采用半微量定氮法测定。细菌总数测定按照GB/T 13093-1991 饲料中细菌总数的检验方法。霉菌测定按照GB/T 13092-1991 饲料中霉菌检验方法测定。大肠菌群测定按照GB/T 4789.3-2003测定。金黄色葡萄球菌检测参照文献[5]。沙门氏菌检测按照GB/T 13091-1991 饲料中沙门氏菌的测定方法。

1.4 菌相分析

1.4.1 菌株分离纯化。 挑选菌落总数合适的平板, 对整个平板或一定区域内的所有菌落(通常30~150个菌落), 依据菌落形态特征分组, 每组挑取所有菌落或若干菌落(至少2~3个菌落), (36 ± 1) 培养24~48 h, 重复纯化培养2~3代。

1.4.2 菌株鉴定。 参照《常见细菌系统鉴定手册》^[6], 综合菌落形态学、细胞形态学、生理生化等特征进行鉴定; 生理生化等特征采用传统方法与Sensitire细菌鉴定系统(TREK Diagnostic Systems LTD, 英国)结合进行鉴定。若同组出现相异鉴定结果, 则对该组再次进行分组、分离和鉴定。

2 结果与分析

2.1 膨化血粉制品感官品质 由表1可见, 膨化血粉A质量为最好, 外观较细, 气味纯正, 有烤肉香味, 略有一点血腥味, 手捏松软, 无杂质。膨化血粉D与A品质接近, 但气味稍差, E比D气味又差一点, D、A和E3种样品外观都较细。膨化血粉B、C和F, 外观都较粗, C是较粗的3种产品中气味最好的, B气味差一点, F是6种产品中气味最差的。膨化血

基金项目 四川省仁寿县三蕊饲料厂资助项目。

作者简介 马超(1980-), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向: 饲料微生物学安全。

收稿日期 2008-02-19

粉B和F手感有杂质,这2个产品可能掺杂有其他杂质,有待改进。膨化血粉的粗细对鱼的消化吸收有很大影响^[7],企业应尽量把产品做细,达到饲料标准^[8]。膨化血粉的气味在很大程度上说明了产品品质的好坏^[9],气味差,不仅说明产品的鲜度不佳、营养差,而且不利于鱼的消化吸收,甚至使鱼的生长受阻或发生疾病^[10]。对企业实地考察发现,气味差的原因主要有血粉原料很差,血液不新鲜;加工过程的卫生状况存在问题。

表1 膨化血粉制品感官品质

Table 1 Sensory quality of expanding blood meal

膨化血粉样品 Sample of expanding blood meal	外观 Appearance	色泽 Color	气味 Odr	手感 Feel	感官评分 Sensory grade
A	较细	暗土褐色	纯正	松软 无杂质	1.63
B	较粗	土褐色	稍有异味	粗糙 有杂质	1.36
C	较粗	深褐色	稍有异味	粗糙 无杂质	1.49
D	较细	暗土褐色	纯正	松软 无杂质	1.58
E	较细	土褐色	稍有异味	松软 无杂质	1.40
F	较粗	深褐色	有异味	粗糙 有杂质	1.15

注:A为四川仁寿三蕊饲料厂膨化血粉;B来自陕西;C、D来自河南;E来自河北;F来自山东。下同。

Note: A. Expanding blood meal in Renshou Sarrui feed factory of Sichuan Province. B came from Shaanxi, C and D came from Henan, E came from Hebei, F came from Shandong. The same as follows.

2.2 膨化血粉制品理化指标 由表1可见,膨化血粉A感官评分最高,与其挥发性盐基氮值最低相吻合。6种样品的挥发性盐基氮值在48.95~97.32 ng/100 g,有一定的差异性,根据新鲜鱼粉的挥发性盐基氮值一般不超过110 ng/100 g来看^[11],6种样品的品质总体良好,与样品感官评分都在1分以上相吻合。该试验6种样品盐分含量在2.06%~2.48%,差异不大,相比进口鱼粉盐分一般在3%~6%来看^[11],该试验样品的盐分含量控制在合理范围之内。水分含量在7.81%~11.58%,有一定差异性,根据鱼粉水分含量应低于12%来看^[11],6种样品水分含量控制良好。前人曾研究过鱼粉的水分含量(湿度)对鱼粉质量的影响^[12],结果显示,鱼粉含水量为8%时经过250 d氧化氮升高19.92%,挥发性氮升高24.41%,说明水分含量对鱼粉质量的影响颇大。血粉与鱼粉类似,可以推断水分含量对血粉质量的影响也非常大。由表2可见,6种样品水分活度为0.488~0.681,有一定差异性。微生物学方面的研究表明,霉菌和细菌等微生物的生长繁殖与产品的水分活度关系密切^[13],每种微生物都有最低生长水分活度:大多数霉菌、金黄色葡萄球菌Aw在0.80~0.87,耐旱霉菌Aw在0.65~0.75,当水分活度低于0.60时绝大多数微生物都无法生长。因此,控制好膨化血粉制品的水分活度可以抑制微生物的生长。膨化血粉A的水分活度0.488与D水分活度0.545都低于0.60,绝大多数微生物已经无法生长,很好地保证了产品的质量与安全,这与2种产品感官评分高,挥发性盐基氮值低相吻合。其余4种产品水分

表2 膨化血粉制品理化指标

Table 2 Physicochemical index of expanding blood meal

膨化血粉样品 Sample of expanding blood meal	pH	水分含量 % Misture content	盐分含量 % Content of NaCl	水分活度Aw Water activity	挥发性盐基 ng/100 g Volatile base
A	7.32	7.81	2.48	0.488	48.95
B	7.11	9.55	2.28	0.633	70.24
C	7.56	10.07	2.15	0.650	58.81
D	6.97	8.22	2.37	0.545	50.07
E	6.85	9.26	2.31	0.608	60.33
F	5.84	11.58	2.06	0.681	97.32
平均值±标准偏差 Mean value ± standard deviation	6.94 ±0.53	9.42 ±1.01	2.28 ±0.38	0.601 ±0.02	64.29 ±16.84

活度在0.608~0.681,有存在耐旱霉菌的可能。pH值对微生物活动的影响很大^[14],任何微生物的生长繁殖都需要一定的pH值条件,过高或过低的pH值环境都会抑制微生物的生长,大多数细菌的最适生长pH值为6.5~7.5,霉菌的最适生长pH值为5.0~6.0的酸性环境。膨化血粉F的pH值为5.84,主要是因为使用了新鲜的血液原料,其他5种产品pH值在7左右,说明原料没有很大问题。

2.3 膨化血粉制品微生物学品质 由表3还可见,该试验6种样品的菌落总数、大肠菌群、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌均符合饲料国家标准的要求^[8]。膨化血粉是低水分活度产品,对于低水分活度产品来说,影响其质量安全的主要微生物是霉菌^[15]。鱼粉、肉骨粉霉菌数的国家标准指标是 $< 20 \times 10^3$,霉菌数 $20 \times 10^3 \sim 50 \times 10^3$ 时限量饲用, $> 50 \times 10^3$ 时禁用^[8],

血粉与鱼粉和肉骨粉类似,可以参照鱼粉、肉骨粉的指标,对血粉的霉菌数进行评价。由表3可见,仅有膨化血粉A的霉菌数合格,B、C、D、E 4个产品的霉菌数在 $20 \times 10^3 \sim 50 \times 10^3$,属于限量饲用,膨化血粉F的霉菌数 $> 50 \times 10^3$,应该禁用。霉菌数的大小与水分活度的情况相吻合,能够说明膨化血粉制品中存在的一些问题。大肠菌群所包含的菌种主要是中温菌,膨化血粉产品在加工过程中,膨化温度一般在130~150,可以很好杀灭大肠菌群中的各种菌。该试验6种样品的大肠菌群 $< 30 \text{ MPN} / 100 \text{ g}$,说明膨化血粉产品加工过程中膨化温度控制良好。金黄色葡萄球菌在自然界中无处不在^[16],因此饲料受其污染的机会很多。金黄色葡萄球菌可通过以下途径污染饲料:饲料加工人员带菌;饲料原料带菌;加工器具设备、环境污染;制品包装不严,贮藏运输过程中受

到污染等。该试验6种样品均未检出金黄色葡萄球菌,说明生产厂家加工人员、加工器具设备、加工环境的卫生状况以及贮藏条件控制良好。沙门氏菌的最低生长水活度为0.94,兼性厌氧,对中等加热温度敏感。膨化血粉的膨化温度(130~150)可以有效杀死沙门氏菌。该试验6种样品的水分

活度值最高为膨化血粉F 0.681,而沙门氏菌的最低生长水活度为0.94,因此低水分活度值也可以抑制沙门氏菌的生长。定期对加工器具设备、加工及贮藏环境卫生进行检查,有利于对沙门氏菌的控制。

2.4 细菌菌群鉴定 参照《常见细菌系统鉴定手册》,综合

表3 膨化血粉制品微生物学品质

Table 3 Microbiological quality of expanding blood meal

样品 Sample	菌落总数TVC CFU g	霉菌数 Fungi count CFU g	大肠菌群 Coliform bacteria MPN 100 g	金黄色葡萄球菌 Staphylococcus aureus CFU g	沙门氏菌 Salmonella CFU g
A	1.26 ×10 ⁴	18.0 ×10 ³	<30	未检出 Not detected	未检出 Not detected
B	7.40 ×10 ⁵	43.0 ×10 ³	<30	未检出 Not detected	未检出 Not detected
C	6.80 ×10 ⁴	29.0 ×10 ³	<30	未检出 Not detected	未检出 Not detected
D	4.90 ×10 ⁴	25.0 ×10 ³	<30	未检出 Not detected	未检出 Not detected
E	1.32 ×10 ⁵	36.0 ×10 ³	<30	未检出 Not detected	未检出 Not detected
F	1.63 ×10 ⁶	57.0 ×10 ³	<30	未检出 Not detected	未检出 Not detected
平均值 ± 标准偏差 Mean value ± standard deviation	4.39 ×10 ⁵	34.7 ×10 ³	<30	未检出 Not detected	未检出 Not detected

表4 6组细菌细胞形态学、生理生化及营养特征鉴定结果

Table 4 Results of morphological, biochemical and nutritional characteristics in 6 groups

特征 Characteristics	组别 Group					
	1	2	3	4	5	6
细胞形态	球状	球状	球状	球状	杆状	杆状
革兰氏染色	G+	G+	G+	G+	G+	G+
尿素	-	+	-	-	-	+
山梨醇	+	-	-	-	+	-
七叶苷	ND	-	-	+	-	-
鼠李糖	-	-	-	+	-	-
海藻糖	+	+	-	+	+	-
葡萄糖	+	+	-	-	+	-
B 甲基葡萄糖苷	+	-	-	+	+	-
精氨酸	ND	+	-	-	-	+
乙二醇	+	-	ND	-	+	ND
蔗糖	+	-	-	-	+	-
甘露醇	+	+	-	-	+	-
麦芽糖	+	+	-	+	+	-
4MU-D 吡 半乳糖	ND	-	-	-	+	-
4MU-D 吡 葡萄糖	+	-	-	-	+	-
H 丙氨酸	-	-	+	+	+	+
4MU 呋 稀糖苷	-	+	-	-	-	-
4MU-D 吡 甘露糖	+	-	-	ND	-	-
H 鸟氨酸	+	-	+	+	+	-
H 精氨酸	+	-	+	-	+	+
4MU-D 葡萄糖醛	-	-	-	+	-	-
4MUC-D 吡 葡萄糖	+	-	-	-	+	-
H 半胱氨酸	-	-	+	-	-	-
H 苏氨酸	-	-	+	-	-	+
H 蛋氨酸	+	-	+	-	+	-
脯氨酸	-	-	+	-	-	+
H 丝氨酸	-	-	+	-	-	-
瓜氨酸	+	-	+	+	+	-
吡 烷酮焦谷氨	+	-	+	-	-	-
H 酪氨酸	+	-	+	+	+	+
H 缬氨酸	-	-	-	-	-	-
鉴定	马红	葡萄	玫瑰小	李斯	芽孢	棒状
结果	球菌	球菌	球菌	特菌	杆菌	杆菌

注:ND- 未检测。

Notes :ND means not detected.

菌落形态学、细胞形态学、生理生化等特征进行鉴定;生理生化等特征采用传统方法与Sensititre 细菌鉴定系统(TREK Diagnostic Systems LTD, 英国)结合进行鉴定。对6个样品菌落总数计数平板分离获得的612株细菌进行分类鉴定,主要分为6组,均呈革兰氏阳性,显微镜油镜观察发现第1~4组呈

球状,第5、6组呈杆状;形态学、生理生化、营养特征鉴定结果见表4。根据表4,可判定第1~6组依次为马红球菌(*Rhodococcus equi*)、葡萄球菌(*Staphylococcus spp.*)、玫瑰小球菌(*Micrococcus rose*)、李斯特菌(*Listeria spp.*)、芽孢杆菌(*Bacillus spp.*)和棒状杆菌(*Corynebacterium spp.*)。葡萄球菌广泛存在于人们的生存环境中,接触样品的环境因子越多,葡萄球菌的初始菌数就会越高,因此应该严格控制加工过程的卫生条件。芽孢杆菌是一种革兰氏阳性芽孢菌,对外界有害因子抵抗力强,分布广,存在于土壤、水、空气以及动物肠道等处。李斯特菌在环境中无处不在,肉类、蛋类、禽类、海产品、乳制品、蔬菜等都被证实是李斯特菌的感染源。李斯特菌中最具致病性的单增李斯特氏菌在一般热加工处理中能存活,热处理已杀灭了竞争性细菌群,使单增李斯特氏菌在没有竞争的环境条件下易于存活。即使产品已经过热加工处理充分灭活了单增李斯特氏菌,但有可能造成产品的二次污染。产品病原菌存在与否及其种类和数量与原料、工艺、操作卫生状况等相关。

2.5 膨化血粉细菌菌群定性和定量组成 由表5可见,芽孢杆菌在6种产品中含量最高,占45.1%,葡萄球菌占15.7%,李斯特菌7.8%,玫瑰小球菌4.4%,棒状杆菌4.1%,马红球菌2.8%,未鉴定细菌占20.1%。芽孢杆菌是耐热菌,虽然膨化温度可达130~150,但是,芽孢杆菌产生的孢子还有存活的可能,当温度适宜的情况下,芽孢杆菌就大量繁殖起来。

3 结论

按照鱼粉国家标准对6种膨化血粉制品进行评价,笔者认为,该试验的6种样品品质整体良好,膨化血粉A品质最优,F品质最差,有待对膨化血粉F的原料和加工过程的卫生状况进行改进。按照国家饲料卫生标准中鱼粉、肉骨粉对霉菌数指标的要求,仅有膨化血粉A的霉菌数合格,其余5种产品不合格,膨化血粉F应该禁用。产品菌相分析结果中芽孢杆菌含量很高,产品中是否存在致病性蜡样芽孢杆菌有待进一步研究。

表5 膨化血粉细菌菌群定性和定量组成

Table 5 Qualitative and quantitative composition of bacterial flora on expanding blood meal

组别 Group	细菌 Bacterium	A		B		C		D		E		F		综合分析 Integrated analysis	
		菌株 Strain	占比 % Proportion	菌株 Strain	占比 % Proportion										
1	葡萄球菌 Staphylococcus spp.	22	17.5	11	14.9	16	23.5	8	16.3	24	18.2	15	9.2	96	15.7
2	芽孢杆菌 Bacillus spp.	63	50.0	38	51.4	31	45.6	20	40.8	53	40.2	71	43.6	276	45.1
3	李斯特菌 Listeria spp.	8	6.3	-	-	5	7.4	-	-	6	4.5	29	17.8	48	7.8
4	玫瑰小球菌 Micrococcus rose	-	-	5	6.8	-	-	3	6.1	13	9.8	6	3.7	27	4.4
5	棒状杆菌 Corynebacterium spp.	10	7.9	-	-	3	4.4	2	4.1	10	7.6	-	-	25	4.1
6	马红球菌 Rhodococcus equi	-	-	3	4.1	-	-	5	10.2	-	-	9	5.5	17	2.8
	未鉴定 Not identified	23	18.3	17	23.0	13	19.1	11	22.4	26	19.7	33	20.2	123	20.1
	合计 Total	126	100.0	74	100.0	68	100.0	49	100.0	132	100.0	163	100.0	612	100.0

参考文献

- [1] 刘雪兰, 谢幼梅. 血粉的开发利用[J]. 饲料研究, 1999(10): 24-26.
- [2] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 130-133.
- [3] 佟建明, 萨仁娜, 张琪. 实用饲料检验手册[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001: 11-18.
- [4] 王加启, 于建国. 饲料检验手册[M]. 北京: 中国计量出版社, 2004.
- [5] 杨曙明. 饲料安全性检测与评价[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003: 75-82.
- [6] 东秀珠, 蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [7] 桂志成, 董初生. 饲用血粉的新生产工艺及采用膨化血粉喂养试验的效果[J]. 水产学报, 1995, 19(2): 159-165.
- [8] 国家质量监督检验检疫总局. 饲料卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版

- 社, 2001.
- [9] 刘运枫, 王洪斌, 李德军. 膨化血粉加工工艺的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2002(9): 60-61.
- [10] 刘澧津, 韩占江. 虹鳟饲料添加发酵血粉试验[J]. 饲料研究, 1993(5): 32-33.
- [11] 肖君霖. 鱼饲料工业综述(3)[J]. 渔业机械仪器, 1987, 14(5): 29.
- [12] 陈景川, 温惠美, 吴明昌, 等. 水产饲料及鱼粉品质之探讨[M]. 台湾水产饲料研究与发展 上册, 1986: 225-234.
- [13] 阚健全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 30-31.
- [14] 吴金鹏. 食品微生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 100-101.
- [15] 周华. 膨化猪血粉的研究[J]. 渔业现代化, 1998(3): 39-41.
- [16] 范宏刚, 王洪斌, 刘焕奇. 膨化血粉饲喂生长犬的效果试验[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2003(9): 8-9.

(上接第10453页)

样性指数则最高(1.900)。除地带性气候顶极群落外, 其他群丛则是由不同优势种群组成的地形顶级群落, 随生境条件的变化各群丛的多样性指数呈波动性。

(3) 采用Sorenson指数度量群丛间的群落物种相似性, 分析表明, 在混沟原始森林地区受特殊的地形和综合生态因子影响, 生境的异质性导致群丛的种类组成和结构差异, 10个群丛种类成分的相似性均小于0.5, 群落物种相似性较高。

参考文献

- [1] 陈北光, 张木明, 苏志尧, 等. 广东大东山常绿阔叶林物种多样性分析[J]. 生物多样性, 1997, 18(4): 59-63.
- [2] 张丽霞, 张峰, 上官铁梁. 芦芽山植物群落的多样性研究[J]. 生物多样性, 2000, 8(4): 361-369.
- [3] 马晓勇, 上官铁梁. 太岳山森林群落物种多样性[J]. 山地学报, 2004, 22(5): 606-612.
- [4] 刘天慰, 曾昭玢, 沙心琴, 等. 山西中条山72道混沟植物资源考察[J]. 武汉植物研究, 1984(2): 259-266.
- [5] 蒋世泽. 中条山混沟地区的原始森林[J]. 北京林业大学学报, 1986(4): 90-100.
- [6] 吴纪昌, 梁和印, 孙拖焕, 等. 山西中条山混沟原始森林植被[J]. 山西林业科技, 2005(2): 1-2.
- [7] 马子清, 上官铁梁. 山西植被[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001: 150

- 152.
- [8] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 143-156.
- [9] HILL MO. TWINSpana FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attribute. Ecology and Systematics[M]. New York: Ithaca Cornell University, 1979.
- [10] 马克平. 生物群落多样性测度方法(一)[C]// 钱迎倩, 马克平. 生物多样性的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141-165.
- [11] 路德维格J. 统计生态学[M]. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1988: 54-56.
- [12] 张峰, 上官铁梁. 山西翅油树群落的多样性研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 471-474.
- [13] 陈廷贵, 张金屯, 上官铁梁, 等. 山西关帝山神尾沟植物群落多样性研究[J]. 西北植物学报, 2000, 20(4): 638-646.
- [14] 程占红, 张金屯, 上官铁梁, 等. 芦芽山自然保护区旅游开发与植被环境的关系I. 植被环境质量分析[J]. 生态学报, 2002, 22(10): 1765-1773.
- [15] 谢晋阳, 陈灵芝. 暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征[J]. 生态学报, 1994, 14(4): 337-343.
- [16] 张峰, 张金屯, 上官铁梁. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植物多样性研究[J]. 植物生态学报, 2002, 22(S): 46-51.
- [17] SPREBSE T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analysis of the vegetation on Danish Commons[J]. Bol. Soc., 1948, 5(4): 1-34.
- [18] 李新容, 张景光, 刘立超, 等. 我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 257-261.