

# 泰山蛹虫草多糖对免疫抑制小鼠血清蛋白含量和体内抗氧化能力的影响

张圣方,赵龙玉,王 雪,赵凤春,杨正友\*

(山东农业大学生命科学学院微生物系,农业微生物重点实验室,山东泰安 271018)

**摘要:**目的:研究泰山蛹虫草多糖(*Cordyceps taishanensis* polysaccharide, CTP)对免疫抑制小鼠血清蛋白含量和抗氧化能力的影响。方法:通过对小鼠灌服多糖实验,观察 CTP 对小鼠血清总蛋白、白蛋白及球蛋白含量和抗氧化能力的影响。结果:与环磷酰胺(Cyclophosphamide, CY)模型组比较,三个 CTP 组的血清总蛋白、球蛋白和白蛋白含量均极显著增高( $p < 0.01$ );三个 CTP 组的红细胞 SOD 活性和血清 CAT 活性均显著提高( $p < 0.01$  或  $p < 0.05$ ),红细胞 MDA 含量均极显著减少( $p < 0.01$ )。结论:CTP 能显著提高 CY 所致的免疫损伤小鼠的血清蛋白含量,在一定程度上 CTP 能减轻 CY 对小鼠肝脏的损害作用;CTP 也能改善 CY 所致免疫损伤小鼠的抗氧化能力。

**关键词:**泰山蛹虫草多糖,环磷酰胺,免疫损伤小鼠,血清蛋白,体内抗氧化

## Effect of *Cordyceps taishanensis* polysaccharide on protein content in serum and antioxidant activity in immunosuppressive mice

ZHANG Sheng-fang, ZHAO Long-yu, WANG Xue, ZHAO Feng-chun, YANG Zheng-you\*

(Department of Microbiology, College of Life Science, Key Laboratory for Agriculture Microbiology, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

**Abstract:** Objective: To study the effects of *Cordyceps taishanensis* polysaccharide (CTP) on protein content in serum and antioxidant activity in immunosuppressive mice. Methods: Through gavage experiments in mice, the effects of CTP on the amount of total proteins (TP), albumin (ALB) and globulin (GLO) in serum and antioxidant activity were analyzed. Results: Compared with the CY model group, the amount of TP, ALB and GLO in serum were increased significantly ( $p < 0.01$ ), the activities of superoxide dismutase (SOD) in erythrocytes and catalase (CAT) in serum were significantly increased ( $p < 0.05$  or  $p < 0.01$ ) and the content of malondialdehyde (MDA) in erythrocytes were decreased significantly ( $p < 0.01$ ) in the three CTP treatment groups. Conclusion: CTP could significantly increase protein content in serum and reduce the damage at some level to liver function of immunosuppressive mice induced by CY. CTP could also improve antioxidant activity of CY-induced immunosuppressive mice to a certain extent.

**Key words:** *Cordyceps taishanensis* polysaccharide; cyclophosphamide; immunosuppressive mice; serum proteins; antioxidant activity *in vivo*

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)11-0332-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.11.059

泰山虫草(*Cordyceps taishanensis*)是一种自然野生的蛹虫草,隶属于子囊菌门(*Ascomycota*)、核菌纲(*Pyrenomycetes*)、麦角菌目(*Clavioipitales*)、麦角菌科(*Clavicipitaceae*)、虫草属(*Cordyceps*)中的子囊真菌<sup>[1]</sup>。蛹虫草多糖是从蛹虫草子实体或菌丝体中提取的具有多种生物学和免疫学活性的真菌多糖。它具有抗肿瘤、抗氧化、抗病毒、提高免疫力等功能,近年来已引起人们的广泛关注<sup>[2-8]</sup>。一些研究也发现

多糖能使血清蛋白浓度升高<sup>[9]</sup>。但是泰山蛹虫草多糖(CTP)是否在生物体内具有明显的抗氧化功能,是否能够提高血清蛋白含量并具有护肝解毒的作用,目前仍无相关文献报道。

肝脏是蛋白质合成的重要器官之一,是合成血浆白蛋白的器官<sup>[10]</sup>。血清总蛋白主要来自肝脏的合成和肠道的吸收,主要包括白蛋白和球蛋白。肝脏损伤时,蛋白质合成障碍可导致总蛋白和白蛋白含

收稿日期:2014-08-25

作者简介:张圣方(1989-),男,硕士研究生,研究方向:食品质量与安全。

\*通讯作者:杨正友(1971-),男,博士,教授,研究方向:食品质量与安全,及食品微生物学。

基金项目:国家自然科学基金(30972050,31271873);山东省自然科学基金(ZR2010CM015)。

量减少。研究发现注射环磷酰胺(CY)会致使小鼠总蛋白、球蛋白、白蛋白降低<sup>[11]</sup>,还会对小鼠正常组织细胞造成了损伤,在实验动物氧化和抗氧化方面有很大的影响<sup>[12]</sup>。CY是目前应用的免疫抑制剂中作用最强的药物之一,研究认为CY可广泛作为免疫抑制模型的造型剂<sup>[13-16]</sup>。

本研究通过小鼠灌服多糖实验,检测小鼠血清蛋白含量,血液SOD、CAT活性和MDA含量的变化,旨在探究CTP对CY所致的免疫抑制小鼠肝脏功能恢复和体内抗氧化能力的影响,为CTP制剂的应用推广提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

泰山蛹虫草菌(药乡-3)由山东省泰安市农业科学院食用菌研究所提供。

总蛋白(TP)试剂盒、白蛋白(ALB)试剂盒 上海荣盛生物技术有限公司;超氧化物歧化酶(SOD)试剂盒、丙二醛(MDA)试剂盒、过氧化氢酶(CAT)试剂盒 南京建成生物工程研究所;柠檬酸钠(分析纯) 天津市凯通化学试剂有限公司;注射用环磷酰胺(优级纯) 江苏恒瑞医药股份有限公司;ICR清洁级昆明小鼠,雄性,体重(20±2)g,由泰山医学院动物实验中心提供。

TGL-16B型台式离心机 上海安亭科学仪器厂;WSZ-160A型漩涡振荡器 上海一恒科技有限公司;RXZ-300B型人工气候箱 宁波江南仪器厂;751G型紫外分光光度计 美国Amersham Biosciences公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 制备泰山蛹虫草多糖制剂 本实验室采用高效提取和纯化蛹虫草子实体多糖的方法<sup>[17-18]</sup>获得的CTP(子实体多糖含量测定为5.10%)。对本实验室栽培出的泰山蛹虫草子实体进行水提醇沉提取粗多糖,然后先后经过sevage法脱蛋白、活性炭除色素、透析除小分子杂质和SephadexG-75柱过滤层析,最后得到CTP(苯酚-硫酸法测定多糖质量分数为66.94%)。

1.2.2 动物分组和给药 60只昆明小鼠随机平均分为五组:正常对照组(C组)、CY模型组和三个不同剂量的CTP组。饲养期间小鼠自由摄食、饮水。依照表1的给药方案每天进行定时灌胃,每次每只小鼠灌胃相应浓度的CTP溶液或蒸馏水,连续灌胃19d;第20d,对每只小鼠腹腔注射CY或等体积的生理盐水。

1.2.3 血样采集与处理 腹腔注射CY 24h后,所有小鼠摘眼球采血,每10mL血样加1mL 2.6%的柠檬酸钠溶液来抗血凝,分装于Eppendorf管中,-4℃保存,待测。随后颈椎脱臼处死小鼠。

1.2.4 小鼠免疫器官指数的测定 小鼠颈椎脱臼处死后,摘取脾脏和胸腺,除去表面的结缔组织,分析天平称重。在处死小鼠前要同条件称量每只小鼠的重量。计算免疫器官指数:胸腺指数=胸腺重量(mg)/小鼠活重(g);脾脏指数=脾脏重量(mg)/小

鼠活重(g)。

表1 实验小鼠分组和给药方案

Table 1 Animal grouping and drug administration of experimental mice

组别	灌胃处理 (1~19d)	腹腔注射 (第20d)
C组	蒸馏水	生理盐水
CY模型组	蒸馏水	CY 100mg/kg·bw
低剂量+CY组	CTP 100mg/kg·bw	CY 100mg/kg·bw
中剂量+CY组	CTP 200mg/kg·bw	CY 100mg/kg·bw
高剂量+CY组	CTP 300mg/kg·bw	CY 100mg/kg·bw

1.2.5 指标的测定 分别按试剂盒说明书测定,血清总蛋白(TP)测定采用双缩脲法,血清白蛋白(ALB)测定用溴甲酚绿法,血清球蛋白(GLO)含量为血清总蛋白含量与血清白蛋白含量的差值;SOD活性测定采用氮蓝四唑比色法,MDA含量测定采用硫代巴比妥酸比色法,CAT活性测定采用钼酸铵比色法。用紫外分光光度计测得对应OD值。

### 1.3 数据统计处理

采用SPSS17.0软件对所有实验数据进行统计分析,结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。LSD法比较显著性, $p < 0.05$ 认为具有统计学意义。

## 2 结果与讨论

### 2.1 实验小鼠的胸腺指数和脾脏指数

实验小鼠的胸腺指数和脾脏指数见表2,对于胸腺指数,与C组相比,CY模型组和低剂量CTP组小鼠胸腺指数极显著降低( $p < 0.01$ ),中剂量和高剂量CTP组小鼠胸腺指数与C组差异均不显著( $p > 0.05$ );与CY模型组相比较,中、高剂量CTP组小鼠胸腺指数显著增加( $p < 0.05$ 或 $p < 0.01$ )。

对于脾脏指数,与C组相比较,CY模型组小鼠脾脏指数极显著降低( $p < 0.01$ ),高剂量CTP组小鼠脾脏指数显著提高( $p < 0.05$ ),低、中剂量CTP组小鼠脾脏指数与C组差异均不显著( $p > 0.05$ );与CY模型组对比,三个不同剂量的CTP组小鼠脾脏指数均极显著提高( $p < 0.01$ )。

表2 实验小鼠胸腺、脾脏指数的影响( $\bar{x} \pm s, n = 12$ )

Table 2 The effect of thymus and spleen indexes of mice( $\bar{x} \pm s, n = 12$ )

组别	胸腺指数 (mg/g)	脾脏指数 (mg/g)
C组	4.040 ± 0.059 <sup>##</sup>	3.170 ± 0.055 <sup>##</sup>
CY模型组	3.084 ± 0.355 <sup>**</sup>	2.154 ± 0.242 <sup>**</sup>
低剂量+CY组	3.163 ± 0.064 <sup>**</sup>	3.011 ± 0.144 <sup>##</sup>
中剂量+CY组	3.855 ± 0.089 <sup>##</sup>	3.147 ± 0.105 <sup>##</sup>
高剂量+CY组	3.632 ± 0.389 <sup>#</sup>	3.476 ± 0.119 <sup>###</sup>

注:与C组比较,\* $p < 0.05$ ,\*\* $p < 0.01$ ;与CY模型组比较,<sup>#</sup> $p < 0.05$ ,<sup>##</sup> $p < 0.01$ ,表3、表4同。

胸腺是T淋巴细胞发育成熟的场所,为中枢免疫器官,其细胞增殖分化受抑制会使机体白细胞总数尤其是淋巴细胞总数降低,使机体免疫功能下

表3 实验小鼠血清总蛋白、球蛋白和白蛋白的含量(g/L,  $\bar{x} \pm s, n = 12$ )Table 3 Contents of TP, GLO and ALB in the serum of experimental mice(g/L,  $\bar{x} \pm s, n = 12$ )

组别	总蛋白	球蛋白	白蛋白
C组	76.51 ± 1.11 <sup>##</sup>	34.96 ± 3.96 <sup>##</sup>	41.55 ± 2.63 <sup>##</sup>
CY模型组	52.91 ± 0.27 <sup>**</sup>	24.71 ± 1.88 <sup>**</sup>	28.20 ± 0.15 <sup>**</sup>
低剂量 + CY组	73.80 ± 2.92 <sup>##</sup>	35.59 ± 0.38 <sup>##</sup>	38.21 ± 3.00 <sup>##</sup>
中剂量 + CY组	79.00 ± 2.39 <sup>##</sup>	36.29 ± 1.85 <sup>##</sup>	42.71 ± 4.57 <sup>##</sup>
高剂量 + CY组	72.92 ± 1.75 <sup>##</sup>	36.13 ± 2.46 <sup>##</sup>	36.79 ± 3.12 <sup>##</sup>

表4 实验小鼠血液抗氧化指标测定结果( $\bar{x} \pm s, n = 12$ )Table 4 Antioxidant index of the blood in experimental mice( $\bar{x} \pm s, n = 12$ )

组别	SOD活性(U/mL)	MDA含量(nmol/mL)	CAT活性(U/mL)
C组	213.72 ± 3.38 <sup>##</sup>	4.83 ± 0.80 <sup>##</sup>	68.52 ± 7.23 <sup>##</sup>
CY模型组	168.10 ± 2.29 <sup>**</sup>	9.69 ± 0.46 <sup>**</sup>	40.28 ± 2.09 <sup>**</sup>
低剂量 + CY组	187.54 ± 7.89 <sup>###</sup>	5.81 ± 0.25 <sup>###</sup>	52.48 ± 6.17 <sup>**</sup>
中剂量 + CY组	194.42 ± 4.36 <sup>###</sup>	4.46 ± 0.52 <sup>##</sup>	56.39 ± 3.27 <sup>**</sup>
高剂量 + CY组	190.66 ± 4.87 <sup>###</sup>	4.52 ± 0.06 <sup>##</sup>	59.84 ± 9.16 <sup>##</sup>

降<sup>[19]</sup>。脾脏是动物体内最大的外周免疫器官,是T、B淋巴细胞定居和对抗原物质产生免疫应答及免疫效应物质(如抗体等)的重要场所。脾脏指数能反映脾脏的发育和功能状况,间接反映机体的免疫水平<sup>[20]</sup>。检测胸腺和脾脏指数的变化可以直观综合地反映药物对机体免疫功能的影响。与C组相比较,CY模型组小鼠脾脏指数和胸腺指数都极显著降低( $p < 0.01$ ),在一定程度上可以表征注射剂量为100mg/kg·bw的CY 24h后对小鼠起到了构造免疫抑制模型的作用。

通过表2可知,CTP能够提高小鼠脾脏和胸腺指数,对CY的抑制有正调节作用。免疫器官指数的增加,说明CTP可在一定程度上促进小鼠机体的细胞免疫,为血清蛋白含量的提高提供了条件。

## 2.2 实验小鼠血清蛋白含量的变化

实验小鼠血清蛋白含量的变化见表3,对于总蛋白含量,与C组比较,CY模型组小鼠血清总蛋白含量极显著降低( $p < 0.01$ ),低、中、高剂量的CTP组与C组差异均不显著( $p > 0.05$ ),不过中剂量CTP组的总蛋白含量已超过C组;与CY模型组比较,三个不同剂量的CTP组血清总蛋白含量均极显著增高( $p < 0.01$ )。

对于球蛋白含量,与C组比较,CY模型组小鼠血清球蛋白含量极显著降低( $p < 0.01$ ),三个不同剂量的CTP组与C组差异均不显著( $p > 0.05$ ),其中,低、中、高剂量的CTP组球蛋白含量均已超过了C组;与CY模型组比较,三个不同剂量的CTP血清球蛋白含量均极显著增高( $p < 0.01$ )。

对于白蛋白含量,与C组比较,CY模型组小鼠血清白蛋白含量极显著降低( $p < 0.01$ ),三个不同剂量的CTP组与C组差异均不显著( $p > 0.05$ ),不过中剂量CTP组的白蛋白含量已高于C组;与CY模型组比较,三个不同剂量的CTP组血清白蛋白含量均极显著增高( $p < 0.01$ )。

通过以上结果可知,中剂量的CTP在促进小鼠血清蛋白含量的增加上效果最为明显。

肝脏受损伤时,蛋白质发生合成障碍可导致血

浆球蛋白和白蛋白含量减少。临床上以检测血浆蛋白的含量来协助诊断肝脏疾患,并作为疗效观察,预后判断的指标<sup>[21]</sup>。有研究表明给大鼠腹腔注射一定量的CY,其能与大鼠组织细胞中功能基团如DNA,蛋白质分子中氨基、巯基、羟基等作用,发生烷化作用,造成大鼠肝功能抑制,总蛋白、白蛋白、球蛋白降低及外周血白细胞、红细胞、血小板数减少<sup>[22]</sup>。李树鹏等认为,多糖能使血清白蛋白浓度升高可能是由于多糖促进TNF的分泌,TNF能作用于肝脏,使血清白蛋白合成增加<sup>[23]</sup>。同时,血清蛋白含量的升高与机体免疫功能增强也有很大的关系,血清蛋白主要由白蛋白和球蛋白组成,球蛋白比重很大,由单核巨噬细胞系统产生。本实验结果表明,与CY模型组比较,三个不同剂量的CTP均能提高免疫抑制小鼠血清中总蛋白、白蛋白、球蛋白的含量,在一定程度上改善CY对肝脏的损伤,促使机体恢复正常。CTP的作用机制可能是多糖调节细胞免疫,血清球蛋白数量增加而引起总蛋白浓度上升;还有可能是因为多糖的护肝解毒的作用。

## 2.3 实验小鼠血液抗氧化指标测定结果

实验小鼠血液抗氧化指标结果见表4,对于SOD活性,与C组比较,CY模型组和低、中、高剂量的CTP组的红细胞SOD活性均极显著降低( $p < 0.01$ );与CY模型组比较,三个不同剂量的CTP组的红细胞SOD活性均极显著提高( $p < 0.01$ )。

对于MDA含量,与C组比较,CY模型组小鼠红细胞MDA含量极显著增加( $p < 0.01$ ),低剂量CTP组的MDA含量显著增加( $p < 0.05$ ),中、高剂量CTP组的MDA含量与C组差异不显著( $p > 0.05$ );与CY模型组比较,三个不同剂量的CTP组的红细胞MDA含量均极显著减少( $p < 0.01$ )。

对于CAT活性,与C组比较,CY模型组小鼠血清CAT活性极显著降低( $p < 0.01$ ),低、中剂量CTP组血清CAT活性显著降低( $p < 0.05$ );与CY模型组比较,三个不同剂量的CTP组的血清CAT活性均显著提高( $p < 0.01$ 或 $p < 0.05$ ),且CAT活性随着多糖



浓度的增大而增高。

生物在长期进化过程中,自身形成了防御过氧化损伤系统。正常状态下,促氧化与抗氧化之间保持着一定的平衡状态,如果活性氧自由基的产生超过了机体的清除能力,或机体抗氧化系统受损时,体内自由基蓄积,会引起脂质氧化,产生过量脂质过氧化物,损伤核酸、蛋白质等细胞成分。研究表明,许多多糖对物理、化学及生物来源的多种活性氧具有清除作用,提高抗氧化酶活性及机体抗氧化能力。据报道,油菜花粉多糖能拮抗环磷酰胺,降低小鼠血清中 MDA 含量,使血清 SOD 活性恢复至正常水平<sup>[24]</sup>。猴头菇多糖可以明显提高小鼠血清的 SOD 和 CAT 的活性以及降低血清 MDA 的含量,具有良好的抗氧化能力<sup>[25]</sup>。Li 等研究发现蛹虫草子实体多糖(CMP)能抑制线粒体损伤,清除活性氧,增加体内 SOD、谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)以及 CAT 的活性,从而具有抗衰老的功效<sup>[26]</sup>。本实验结果显示,CTP 能显著提高小鼠血液 SOD 和 CAT 的活性,并降低 MDA 的含量,表明其能提高机体抗氧化能力,有效预防机体的脂质过氧化,与上述文献报道结果相似。

研究表明<sup>[27-28]</sup>多糖对免疫抑制状态下的小鼠可通过抗氧化作用调节细胞内氧自由基水平,保护免疫系统细胞免受损伤,从而增强机体的免疫功能;本研究中 CTP 提高血清球蛋白含量进而增强小鼠免疫调节作用可能与抗氧化功能的增强相关,其机理有待进一步研究。

### 3 结论

本研究初步证实泰山蛹虫草多糖能显著降低环磷酰胺对小鼠的免疫抑制作用,提高环磷酰胺所致的免疫损伤小鼠的血清蛋白含量,对肝脏具有一定的保护作用,剂量为 200mg/kg·bw 的泰山蛹虫草多糖的促进作用最为明显;抗氧化研究表明,泰山蛹虫草多糖可以通过提高一些抗氧化酶的活性和降低体内氧化反应产物的含量来提高机体的抗氧化能力。本研究为泰山蛹虫草的开发利用及其多糖制剂的应用推广提供理论依据和参考,同时多糖结构及构效关系方面的研究有待于进一步开展。

### 参考文献

[1] 李翠新,张国庆,何永珍,等.野生蛹虫草的分离与高产菌株的筛选[J].中国食用菌,2007,26(2):20-21.  
 [2] Yu R M, Wei Y, Song L Y, et al. Structural characterization and antioxidant activity of a polysaccharide from the fruiting bodies of cultured *Cordyceps militaris* [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 70: 430-436.  
 [3] Chen C, Luo S S, Li Y, et al. Study on antioxidant activity of three *Cordyceps* sp. by chemiluminescence [J]. Shanghai Journal of Traditional Chinese Medicine, 2004, 38(7): 53-55.  
 [4] Shih I L, Tsai K L, Hsieh C. Effects of culture conditions on the mycelial growth and bioactive metabolite production in submerged culture of *Cordyceps militaris* [J]. Biochemical Engineering Journal, 2007, 33: 193-201.  
 [5] Lin Y W, Chang B H. Anti-tumor activity of the fermentation broth of *Cordyceps militaris* cultured in the medium of *Radix*

*astragali* [J]. Process Biochemistry, 2008, 43: 244-250.

[6] Mao X B, Zhong J J. Significant effect of  $\text{NH}_4^+$  on cordycepin production by submerged cultivation of medicinal mushroom *Cordyceps militaris* [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2006, 38: 343-350.  
 [7] Das S K, Masuda M, Sakurai A, et al. Medicinal uses of the mushroom *Cordyceps militaris*: Current state and prospects [J]. Fitoterapia, 2010, 81: 961-968.  
 [8] Zhou X W, Yi Y. Unexpected nephrotoxicity in male ablated rats induced by *Cordyceps militaris*: The involvement of oxidative changes [J]. Evidence - Based Complementary and Alternative Medicine, 2013, 1: 1-9.  
 [9] 李树鹏,赵献军.黄芪多糖、益生菌合生元对雏鸡生长和免疫的作用[J].中国农学通报,2005,21(6):51-57.  
 [10] 刘立昌,张磊,邓毅峰,等.愈肝片对 D-氨基半乳糖小鼠急性肝损伤的保护作用[J].广州中医药大学学报,2003,20(1):57-58.  
 [11] 江南,刘翠霞,但汉雄,等.甘草酸二铵对大鼠环磷酰胺损伤的保护作用[J].中国临床药理学与治疗学,2004,9(3):326-328.  
 [12] 叶明霞,陶迎红,周顺长,等.环磷酰胺致 BALB/c 小鼠肝损伤的组织学研究[J].实验动物科学,2008,25(2):7-9.  
 [13] 赵戈清,罗霞,陈东辉.不同剂量环磷酰胺诱导正常小鼠免疫抑制的对比研究[J].免疫学杂志,2005,21(6):122-123.  
 [14] 雷志明,于芳,邹梅,等.环磷酰胺对小鼠免疫功能的影响[J].卫生毒理学杂志,1989,3(2):108-109.  
 [15] 周莲娣,张起辉,李建春.吴茱萸对小鼠肠道黏膜相关淋巴组织影响的实验研究[J].中医药学刊,2005,23(10):1848-1849.  
 [16] 张大鹏,周联,张志敏,等.四君子汤复方总多糖对小鼠肠上皮间淋巴细胞的免疫调节作用[J].中药新药与临床药理,2009,20(3):204-206.  
 [17] 朱凯.蛹虫草多糖分离纯化及其对大鼠肾小球系膜细胞增殖的影响[D].长春:吉林大学,2007:24-33.  
 [18] 蒋宁.蛹虫草多糖及虫草素提取分离技术研究[D].南京:南京农业大学,2009:20-23.  
 [19] 陈慰峰.医学免疫学(第4版)[M].北京:人民卫生出版社,2004:148-152.  
 [20] 刘源,陆平成.中药复方顽痲净对小鼠免疫器官重量和淋巴细胞转化的影响[J].湖北中医学院学报,2006,8(1):25-26.  
 [21] 刘立昌,张磊,邓毅峰,等.愈肝片对 D-氨基半乳糖小鼠急性肝损伤的保护作用[J].广州中医药大学学报,2003,20(1):57-58.  
 [22] 于震,王军,李更生,等.地黄苷 A 对环磷酰胺小鼠白细胞减少症的影响[J].中草药,2001,32(11):1002-1004.  
 [23] 李树鹏,赵献军.黄芪多糖及益生菌合生元对雏鸡肠道微生态区系的影响[J].家畜生态学报,2005,26(3):21-24.  
 [24] 杨晓萍,罗祖友,吴谋成.油菜花粉多糖的制备及其对荷瘤小鼠的影响[J].食品科学,2005,26(12):202-204.  
 [25] 杜志强,杨晨晨,王建英.猴头菇多糖对小鼠血清抗氧化能力的影响[J].食品研究与开发,2011,32(9):56-58.

(下转第 340 页)

[25] Liu L F, Purushotham A, Wendel A A, et al. Regulation of adipose triglyceride lipase by rosiglitazone [J]. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 2009, 11 (2): 131-142.

[26] 鞠大鹏, 詹丽杏. 脂肪细胞分化及其调控的研究进展 [J]. *中国细胞生物学学报*, 2010, 32 (5): 690-695.

(上接第 295 页)

脂肪酸含量高低顺序为: 多不饱和脂肪酸 > 饱和脂肪酸 > 单不饱和脂肪酸。接种乳酸菌腌干鱼与非接种组鱼肉的游离脂肪酸主要成分变化表现在: 饱和脂肪酸成分变化表现为棕榈油酸 (C16:0) 和十八酸 (C18:0) 的含量减少, 其不饱和脂肪酸成分变化主要体现在花生四烯酸 (C20:4) 和二十碳五烯酸 (C20:5) 含量增加, 这在一定程度上提升了鱼肉的营养食用价值, 为进一步改进腌干鱼类加工工艺提供参考。

### 参考文献

[1] 田国军, 尚艳艳, 黄泽元. 腊鱼中优势乳酸菌的分离, 纯化及性质鉴定 [J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37 (6): 78-81.

[2] Hammes W P, Bantleon A, Min S. Lactic acid bacteria in meat fermentation [J]. *FEMS Microbiology Letters*, 1990, 87 (1): 165-173.

[3] Kerjean J, Condon S, Lodi R, et al. Improving the quality of European hard - cheeses by controlling of interactions between lactic acid bacteria and propionibacteria [J]. *Food Research International*, 2000, 33 (3): 281-287.

[4] Møller K K, Rattray F P, Ardö Y. Application of selected lactic acid bacteria and coagulant for improving the quality of low-salt Cheddar cheese: Chemical, microbiological and rheological evaluation [J]. *International Dairy Journal*, 2013, 33 (2): 163-174.

[5] 章慧莺, 李萌, 张宁, 等. SDE-GC-MS 分析柴沟堡熏肉挥发性风味成分 [J]. *精细化工*, 2014, 31 (2): 212-217.

[6] 张大革, 徐艺青, 王宗义, 等. 中式发酵干香肠挥发性风味成分分析 [J]. *北京农学院学报*, 2013, 28 (4): 70-72.

[7] Tian H, Yang X, Ho C, et al. Development of a solid phase microextraction protocol for the GC-MS determination of volatile off-flavour compounds from citral degradation in oil-in-water emulsions [J]. *Food chemistry*, 2013, 141 (1): 131-138.

[8] Tsevdou M, Soukoulis C, Cappellin L, et al. Monitoring the effect of high pressure and transglutaminase treatment of milk on the evolution of flavour compounds during lactic acid fermentation using PTR-ToF-MS [J]. *Food chemistry*, 2013, 138 (4): 2159-2167.

[9] 李来好, 叶鸽, 郝淑贤, 等. 2 种养殖模式罗非鱼肉品质的

(上接第 335 页)

[26] Li X T, Li H C, Li C B, et al. Protective effects on mitochondria and anti-aging activity of polysaccharides from cultivated fruiting bodies of *Cordyceps militaris* [J]. *The American journal of Chinese medicine*, 2010, 38 (6): 1093-1106.

[27] 陈灵然, 胡庭俊, 程富胜, 等. 鬼臼多糖对免疫功能低下

[27] 孙玉茹, 杨泽. 核转录因子 PPAR $\gamma$ 2 的研究进展 [J]. *遗传*, 2003, 25 (6): 713-717.

[28] Brun R P, Spiegelman B M. PPAR gamma and the molecular control of adipogenesis [J]. *Journal of endocrinology*, 1997, 155 (2): 217-218.

比较 [J]. *南方水产科学*, 2013, 9 (5): 1-6.

[10] 赵晨, 卢君, 陈桂平, 等. 草鱼冷藏过程中脂类的变化 [J]. *食品与机械*, 2013 (2): 151-153.

[11] 江津津, 黎海彬, 陈丽花, 等. 不同原料鱼酿造鱼酱油的挥发性风味差异 [J]. *食品科学*, 2013, 34 (4): 195-198.

[12] Shang X L, Liu A J, Zheng J, et al. Effect of High Pressure Processing on Color, Fatty Acids, and Volatile Compounds of Sea Bass Skeletal Muscle [J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2014, 23 (4): 358-367.

[13] 吴燕燕, 游刚, 李来好, 等. 低盐乳酸菌法与传统法腌干鱼制品的风味比较 [J]. *水产学报*, 2014, 38 (4): 600-611.

[14] 张婷, 吴燕燕, 李来好, 等. 咸鱼品质的质构与感官相关性分析 [J]. *水产学报*, 2013, 37 (2): 303-311.

[15] 黄艳青, 龚洋洋, 陆建学, 等. 不同加工方式的南极大磷虾粉营养品质评价 [J]. *南方水产科学*, 2013, 9 (6): 58-65.

[16] 欧阳杰, 谈佳玉, 沈建, 等. 浸渍冻结大黄鱼贮藏期间品质变化研究 [J]. *南方水产科学*, 2013, 9 (6): 72-77.

[17] 沈慧星, 武华, 阴晓菲, 等. 腌制鳙鱼片在冷藏过程中品质变化规律的研究 [J]. *南方水产科学*, 2013, 9 (4): 70-75.

[18] 周飘苹, 金敏, 吴文俊, 等. 不同养殖模式, 投喂不同饵料及不同品系大黄鱼营养成分比较 [J]. *动物营养学报*, 2014, 26 (4): 969-980.

[19] Ubhayasekera S J, Staaf J, Forslund A, et al. Free fatty acid determination in plasma by GC-MS after conversion to Weinreb amides [J]. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 2013, 405 (6): 1929-1935.

[20] 焦弘弘. 乳酸菌在肉制品加工过程中的应用 [J]. *畜牧兽医科技信息*, 2008 (2): 1-2.

[21] 于长青, 张丽娜. 发酵牛肉香肠中菌相变化和理化特性的研究 [J]. *食品科学*, 2009, 30 (3): 58-61.

[22] 李来好, 丁丽丽, 吴燕燕, 等. 咸鱼中的挥发性风味成分 [J]. *水产学报*, 2012, 36 (6): 979-988.

[23] 褚永康, 胡静, 朱亚俊, 等. 脂肪酸营养生理作用及其在动物生产中的应用 [J]. *饲料研究*, 2012 (11): 75-77.

[24] Jacome-Sosa M M, Parks E J. Fatty acid sources and their fluxes as they contribute to plasma triglyceride concentrations and fatty liver in humans [J]. *Current opinion in lipidology*, 2014, 25 (3): 213-220.

小鼠自由基产生酶活性的影响 [J]. *动物医学进展*, 2005, 26 (8): 41-44.

[28] 帅学宏, 胡庭俊, 陈灵然, 等. 鬼臼多糖对小鼠免疫功能和抗氧化能力的影响 [J]. *畜牧兽医学报*, 2008, 39 (7): 1000-1004.