

## 稻曲病菌厚垣孢子脂肪酸组成的研究

任佐华 毛莹 虞选杰 李媛 刘二明\*

(湖南农业大学 生物安全科学技术学院 湖南 长沙 410128)

**摘要:**【目的】为探明细胞壁和细胞内脂肪酸成分及含量与细胞抗逆性的关系,【方法】采用酸热法、索氏提取法、有机溶剂法对稻曲病菌的厚垣孢子壁进行脂肪酸提取,并采用气相色谱检测其脂肪酸的组成和含量。【结果】采用酸热法提取脂肪酸效果最好,以该方法提取测定稻曲病菌黄色、黄绿色、黑色厚垣孢子壁饱和脂肪酸相对含量分别为 26.92%、17.23%、23.71%,其不饱和脂肪酸相对含量分别为 60.46%、61.52%、70.64%;厚垣孢子总(沉淀孢子壁和上清液)饱和脂肪酸相对含量分别为 28.87%、21.00%、24.04%,厚垣孢子总不饱和脂肪酸相对含量分别为 55.43%、55.87%、63.89%。硬脂酸在厚垣孢子壁中的含量:黄色>黄绿色>黑色;不饱和脂肪酸中顺式-5,8,11,14,17 二十碳五烯酸(EPA)在厚垣孢子壁的含量:黑色>黄绿色>黄色。【结论】在 3 种颜色厚垣孢子中,黑色休眠型厚垣孢子孢子壁、总不饱和脂肪酸含量均最高,表明不饱和脂肪酸的含量提高,有利于厚垣孢子的休眠越冬。

**关键词:** 稻曲病菌, 厚垣孢子, 脂肪酸

## Research on the composition of the fatty acids in chlamydospores of *Ustilagoidea virens*

REN Zuo-Hua MAO Ying YU Xuan-Jie LI Yuan LIU Er-Ming\*

(College of Bio-Safety Science and Technology, Hunan Agricultural University,  
Changsha, Hunan 410128, China)

**Abstract:** [Objective] In order to investigate the relationship between the fatty acid composition and content and cell stress resistance in intracellular and cell wall. [Methods] In this

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 30871615); 转基因生物新品种培育科技重大专项(No. 2009ZX08001-016B)

\*通讯作者: ✉: emliu08@126.com

收稿日期: 2011-10-13; 接受日期: 2012-02-06

study, three methods had been used for extracting the fatty acid from walls of chlamydo spores, which were acid-heat method, soxhlet extraction and organic solvent, respectively. The fatty acid composition and content were detected by GC afterwards. **[Results]** Acid-heat extraction presented the best performance, by which the relative contents of saturated fatty acids in yellow, yellowish green and black chlamydo spore walls were 26.92%, 17.23%, 23.71%, respectively, while unsaturated ones were 60.46%, 61.52%, 70.64%, separately. Further determination with the above same method, the relative total contents of 3 types of chlamydo spores saturated fatty acids (precipitating wall plus supernatant) were 28.87%, 21.00%, 24.04%, separately and unsaturated ones with 55.43%, 55.87%, 63.89%, respectively. The content of stearic acid in saturated fatty acids in chlamydo spore wall were yellow > yellowish green > black; the content of cis-5,8,11,14,17 eicosapentaenoic acid (EPA) methyl ester in unsaturated fatty acids in chlamydo spore wall: black > yellowish green > yellow. **[Conclusion]** In all three colors of chlamydo spore, either the total content of unsaturated fatty acids in spore or spore wall, the black showed the highest, which indicated that improving the content of unsaturated fatty acids in chlamydo spores contributes to their dormancy and overwintering.

**Keywords:** *Ustilaginoidea virens*, Chlamydo spore, Fatty acids

脂肪酸是细胞壁和生物膜的重要组成成分,生物膜是生物体能感受外界环境因素变化的受体,生物膜上的生理、生化及物理性质的改变最快最明显的反应了环境对生物的影响<sup>[1]</sup>,不同种类脂肪酸组成和含量的变化与生物的抗逆性有密切关系<sup>[2]</sup>。脂肪酸根据其饱和度不同,可分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。不饱和脂肪酸又可分为一价不饱和脂肪酸如油酸,棕榈油酸等,和多价不饱和脂肪酸如亚油酸、花生四烯酸(AA)、二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)等<sup>[3]</sup>。多价不饱和脂肪酸是生物膜的重要组成成分,可以调节动态平衡、细胞构型、细胞膜的渗透性;具有调节某些基因表达的作用,如调节编码脂肪酸合成酶;同时还可以参与膜相关的生理过程,如细胞识别、脂代谢、免疫调节等<sup>[4]</sup>,此外,还可用作食品添加剂、营养配方、健康辅料以及保健品等<sup>[5]</sup>。研究还表明微生物细胞脂肪酸的种类与数量构成与微生物的分子特征、遗传变异、致病性及其耐药性有密切的关系<sup>[6]</sup>。

稻曲病是由真菌稻绿核菌 [*Ustilaginoidea virens* (Cooke) Takahashi]引起的水稻穗部重要病

害<sup>[7]</sup>。稻曲病以菌核或厚垣孢子的形式越冬,水稻病粒上的稻曲球外围的厚垣孢子,在病情发展过程中厚垣孢子渐渐由黄色转变为黄绿色:黑色为休眠型、黄色为非休眠型,绿色为休眠与非休眠过渡态<sup>[8]</sup>。在真菌脂肪酸研究中,戴传超通过研究环境因子对乌柏内生真菌生长及脂肪酸的影响发现在内生菌生长受到抑制的情况下,其脂肪酸不饱和指数增加<sup>[9]</sup>。陆合等研究逆境对真菌膜脂肪酸成分的影响时发现不同逆境胁迫条件下,真菌中膜的脂肪酸含量不一样<sup>[10]</sup>。黄大庆通过检测球孢白僵菌脂肪酸种类和含量,揭示了脂肪酸与毒力存在的相关性<sup>[11]</sup>。然而,稻曲病厚垣孢子在不同颜色转变过程中,休眠型与非休眠型的厚垣孢子脂肪酸的组成和含量有何变化,迄今还未见报道,本文为了揭示稻曲病菌厚垣孢子的内源性休眠机制,运用气相色谱检测了不同颜色厚垣孢子脂肪酸的组成和含量。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

2009年9月于怀化市洪江市湾溪乡和丰村采

集水稻品种两优 396 上的典型黄色、黄绿色和黑色稻曲病菌厚垣孢子,  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温冰箱中保存备用。脂肪酸标准品 SupelcoTM 37 Component fatty acid methyl ester mixture catalog NO.47885-U 购买于 Sigma 公司, 其它药品均为国产分析纯。

## 1.2 破壁与厚垣孢子壁的提取

3 种不同颜色稻曲病菌厚垣孢子粉各称取 1 000 mg, 分别采用液氮研磨-超声破处理方法破壁<sup>[9]</sup>, 15 000 r/min 离心 5 min, 将上清液和沉淀分别  $-0.1\text{ Pa}$ 、 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  真空干燥 24 h<sup>[12]</sup>。

## 1.3 脂肪酸的提取

**1.3.1 酸热法:** 称取 450 mg 破壁后的厚垣孢子壁, 加入 6 mL 4 mol/L 的 HCl 振荡 2 min, 室温放置 30 min, 沸水浴 3 min,  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  速冷, 加入 12 mL 氯仿: 甲醇(1:1, V/V)提取液, 振荡 5 min, 10 000 r/min 离心 5 min, 取氯仿层, 加入 12 mL 0.1% NaCl 溶液, 混匀, 10 000 r/min 离心 5 min, 取氯仿层挥发除去氯仿即得油脂<sup>[13]</sup>。

**1.3.2 索氏提取法:** 称取 450 mg 破壁后的厚垣孢子壁, 用滤纸包裹后装入索氏提取器, 石油醚加热回流提取 6 h, 旋转蒸发去除石油醚即得油脂<sup>[13]</sup>。

**1.3.3 有机溶剂法:** 称取 450 mg 破壁后的厚垣孢子壁, 加入 3 mL 氯仿: 甲醇(1:2, V/V)提取液, 振荡 2 min, 再加入 1 mL 氯仿, 振荡 5 min, 再加入 5 mL 水, 振荡 5 min 后 10 000 r/min 离心 5 min, 取氯仿层, 加入 4 mL 0.1% NaCl 溶液, 混匀, 10 000 r/min 离心 5 min, 取氯仿层, 挥发除去氯仿即得油脂<sup>[13]</sup>。

## 1.4 脂肪酸甲酯化

称取 20 mg 粗脂置于试管中, 加入 1 mL 1 mol/L KOH-甲醇溶液, 在  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  水浴中反复振荡 30 min, 静置 15 min, 置入  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  水浴中将其蒸干, 加入 2 mL 5%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  甲醇溶液, 在  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  水浴中振荡 6 min, 加入 2 mL 正己烷, 静置 10 min,

取上清液, 加入少许无水硫酸钠<sup>[12]</sup>。

## 1.5 粗脂提取率测定

孢壁粗脂提取率 $= (b/a) \times 100\%$

*a*: 干燥孢壁重 450 mg; *b*: 450 mg 厚垣孢子壁中的粗脂含量(mg)。

孢壁内粗脂提取率 $= (c/t) \times 100\%$

*c*: 上清液中粗脂含量(mg); *t*: 1 000 mg 厚垣孢子粉(mg)。

## 1.6 脂肪酸的种类及其含量测定

采用气相色谱-质谱(GC-MS)法<sup>[12]</sup>。气相色谱条件: Agilent 气相色谱仪; HP-5 毛细管柱(30.0 m $\times$  0.32 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ); 进样口温度:  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; FID 温度:  $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 柱温: 初始温度  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温至  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 保持 40 min; 线速度: 33 cm/s; 分流比: 5:1,  $\text{H}_2$  30 mL/min、 $\text{N}_2$  30 mL/s, 尾吹 30 mL/min、air 30 mL/min、进样量: 1  $\mu\text{L}$ 。

## 2 结果

### 2.1 不同提取脂肪酸的方法比较

有机溶剂法与酸热法相比较操作更为简单, 但提取得到的两种形态厚垣孢子的饱和脂肪酸含量以及不饱和脂肪酸的含量均低于酸热法; 索氏提取法操作耗时较长, 黑色厚垣孢子不饱和脂肪酸的提取含量均低于其它两种方法(表 1)。在 3 种方法中, 以酸热法提取最佳。

### 2.2 不同颜色厚垣孢子粗脂提取率

用酸热提取方法测定 3 种不同颜色厚垣孢子壁和细胞总脂肪酸组成与含量。因为要测定整个厚垣孢子的脂肪酸的组成及其含量, 离心后沉淀中的主要成分是厚垣孢子壁的提取物, 而离心后的上清液中还含有厚垣孢子壁的内容物, 所以对离心后上清液的脂肪酸含量一并进行检测。不同颜色厚垣孢子的脂肪酸含量不同, 即得到的粗脂含量也有差异, 其平均粗脂提取率: 黄色厚垣孢子 > 黄绿色厚垣孢子 > 黑色厚垣孢子(表 2)。

表 1 不同方法提取两种颜色厚垣孢子脂肪酸的含量  
Table 1 The content of fatty acid in two kinds of the different color chlamydo spores extracted by the different methods

提取方法 Extraction method	孢子种类 Chlamydo spores types	饱和脂肪 Saturated fatty acids (%)	不饱和脂肪 Unsaturated fatty acids (%)
酸热法 Acid-heat	YH	29.33	58.00
	BH	23.55	55.72
索氏提取法 Soxhlet-extraction	YH	35.31	48.82
	BH	28.14	30.60
有机溶剂法 Organic solvent	YH	28.78	56.17
	BH	22.86	53.96

注: YH: 黄色厚垣孢子; BH: 黑色厚垣孢子.

Note: YH: Yellow chlamydo spores; BH: Black chlamydo spores.

表 2 3 种颜色厚垣孢子粗脂提取率  
Table 2 Extraction rate of fatty acid in three kinds of the different color chlamydo spores

类型 Type	BH-W	BH-S	YGH-W	YGH-S	YH-W	YH-S
提取率 Extraction rate(%)	7.50	3.01	15.00	3.60	15.00	4.50

注: YH: 黄色厚垣孢子; YGH: 黄绿色厚垣孢子; BH: 黑色厚垣孢子; YH-W: 黄色厚垣孢子壁; YGH-W: 黄绿色厚垣孢子壁; BH-W: 黑色厚垣孢子壁; YH-S: 黄色厚垣孢子上清液; YGH-S: 黄绿色厚垣孢子上清液; BH-S: 黑色厚垣孢子上清液.

Note: YH: Yellow chlamydo spores; YGH: Yellowish green chlamydo spores; BH: Black chlamydo spores; YH-W: Cell wall of the yellow chlamydo spores; YGH-W: Cell wall of the yellowish green chlamydo spores; BH-W: Cell wall of the black chlamydo spores; YH-S: Supernatant of the yellow chlamydo spores; YGH-S: Supernatant of the yellowish green chlamydo spores; BH-S: Supernatant of the black chlamydo spores.

### 2.3 不同颜色厚垣孢子脂肪酸的组成及其含量差异比较

以优选的酸热法提取脂肪酸测定出: 黄色厚垣孢子壁有 20 种脂肪酸, 饱和脂肪酸有 9 种, 不饱和脂肪酸有 11 种, 其中主要成分是十八油酸、亚麻油酸, 分别占总脂肪的 25.24%、27.38%。整个黄色厚垣孢子有 20 种脂肪酸, 饱和脂肪酸有 9 种, 不饱和脂肪酸有 11 种(表 3)。黄色厚垣孢子壁饱和脂肪酸相对含量 26.92%, 不饱和脂肪酸相对含量 60.46%; 黄色厚垣孢子饱和脂肪酸相对含量 28.87%, 黄色厚垣孢子不饱和脂肪酸相对含量 55.43%(表 4)。

黄绿色厚垣孢子壁有 19 种脂肪酸, 饱和脂肪

酸有 9 种, 不饱和脂肪酸有 10 种, 其中主要成分是: 十八油酸、亚麻油酸酯, 分别占总脂肪 26.71%、25.26%。黄绿色厚垣孢子有 19 种脂肪酸, 饱和脂肪酸有 9 种, 不饱和脂肪酸有 10 种(表 3)。黄绿色厚垣孢子壁的饱和脂肪酸相对含量 17.23%, 不饱和脂肪酸相对含量 61.52%; 厚垣孢子饱和脂肪酸相对含量 21.00%, 不饱和脂肪相对含量 55.87%(表 4)。

黑色厚垣孢子壁有 20 种脂肪酸, 饱和脂肪酸有 9 种, 不饱和脂肪酸有 11 种, 其中主要成分是十八油酸、亚麻油酸, 分别占总脂肪的 25.67%、20.78%。黑色厚垣孢子有 22 种脂肪酸, 饱和脂肪酸有 11 种(表 3)。厚垣孢子壁饱和脂肪酸相对含

量是23.71%，不饱和脂肪酸相对含量70.64%；厚垣孢子饱和脂肪酸相对含量24.04%，不饱和脂肪酸相对含量63.89%。不饱和脂肪酸有11种，其中饱和脂肪酸十三酸、二十三酸是黑色厚垣孢子

内容物所特有的脂肪酸(表4)。

各种颜色厚垣孢子均不含饱和脂肪酸 C6、C8、C10、C11 和不饱和脂肪酸顺式-4, 7, 10, 13, 16, 19 二十二碳六烯酸(DHA) (表3)。

表3 不同颜色厚垣孢子脂肪酸的组成  
Table 3 The composition of fatty acid in three kinds of the different color chlamydo spores

种类 Type	名称 Name	YH-W (W%)	YGH-W (W%)	BH-W (W%)	YH-S (W%)	YGH-S (W%)	BH-S (W%)
饱和 Saturated acids							
C4:0	丁酸甲酯 Methyl butyrate	—	—	—	—	—	—
C6:0	己酸甲酯 Methyl hexanoate	—	—	—	—	—	—
C8:0	辛酸甲酯 Caprylic acid methyl ester	—	—	—	—	—	—
C10:0	癸酸甲酯 Methyl decanoate	—	—	—	—	—	—
C11:0	十一酸甲酯 Methyl undecanoate	—	—	—	—	—	—
C12:0	月桂酸甲酯 Methyl laurate	0.01	—	0.01	—	—	6.00
C13:0	十三酸甲酯 Methyl tridecanoate	—	0.14	—	—	—	1.17
C14:0	十四酸甲酯 Methyl myristate	0.18	0.14	0.30	—	—	—
C14:1	肉蔻酸甲酯 Meat Kou acid methyl ester	0.02	0.08	0.09	—	5.32	6.89
C15:0	十五烷酸甲酯 Methyl pentadecanoate	0.03	0.04	0.02	—	—	—
C15:1	顺式 10-十五烷酸甲酯 Cis-10 - pentadecanoic methyl ester	—	—	—	—	—	—
C16:0	十六烷酸甲酯 Methyl hexadecanoate	20.95	16.57	17.95	21.98	25.33	14.83
C16:1	棕榈油酸甲酯 Methyl palmitoleate	3.31	2.64	3.75	—	—	2.70
C17:0	十七烷酸甲酯 Methyl heptadecanoate	0.03	0.04	0.03	—	—	—
C17:1	顺式 10-十七烷酸甲酯 Cis-10 - methyl heptadecanoate	0.41	0.37	0.5	—	—	—
C18:0	硬脂酸甲酯 Methyl octadecanoate	5.45	5.24	5.02	18.59	18.42	7.83
不饱和 Unsaturated acids							
C18:1n9t	反十八碳烯酸甲酯 Trans-18-octadecenoic acid methyl ester	—	—	—	—	—	—

(待续)

(续表 3)							
C18:1n9c	十八油酸甲酯 18 Octadecenoic acid methyl ester	25.24	25.24	25.67	5.92	7.62	13.81
C18:2n6t	反亚麻油酸甲酯 Trans -methyl linoleate	0.02	-	-	-	-	-
C18:2n6c	亚麻油酸甲酯 Methyl linoleate	27.38	25.26	30.78	4.45	9.05	-
C20:0	二十烷酸甲酯 Arachidic acid methyl ester	0.16	0.12	0.10	-	-	-
C18:3n6	r-亚麻酸甲酯 Gamma-linolenic acid methyl ester	-	-	-	-	-	-
C18:3n3	亚麻酸甲酯 Linolenic acid methyl ester	0.05	0.05	0.06	-	-	-
C20:1	顺式 11-二十碳烯酸甲酯 Methyl cis-11 - eicosenoate	0.08	0.12	0.10	-	-	-
C21:0	二十一烷酸甲酯 Methyl heneicosanoate	-	0.05	-	-	-	-
C20:2	顺式-11,14 二十一碳二烯酸甲酯 Cis-11,14 -twenty-one diene acid methyl ester	-	0.17	0.13	14.94	-	-
C22:0	二十二碳烷酸甲酯 Benenic acid methyl ester	0.09	0.07	0.05	-	-	-
C20:3n6	顺式-8,11,14 二十碳三烯酸甲酯 Cis -8,11,14 20 eicosatrienoic methyl ester	-	-	-	-	-	-
C20:3n3	顺式 11,14,17 二十碳三烯酸甲酯 Cis -11,14,17 20 eicosatrienoic methyl ester	0.008	0.04	-	-	-	-
C22:1n9	芥酸甲酯 Erucic acid methyl ester	-	-	-	-	-	-
C20:4n6	二十碳四烯酸甲酯 Arachidonic acid methyl ester	-	-	-	-	-	-
C23:0	二十三酸甲酯 Methyl tricosanoate	-	-	-	-	-	1.87
C22:2	顺式-13,16 二十二碳烯酸甲酯 Cis -13,16 22 erucic acid methyl ester	0.05	-	0.03	-	-	-
C20:5n3	顺式-5,8,11,14,17 二十碳五烯酸甲酯 Cis-5,8,11,14,17 20 eicosapentaenoic acid methyl ester	3.89	7.55	9.47	-	-	-
C24:0	二十四酸甲酯 Lignoceric acid methyl ester	0.02	0.06	0.23	-	-	-
C24:1	二十四碳烯酸甲酯 Nervonic acid methyl ester	-	-	0.06	-	-	-
C22:6n3	顺式-4,7,10,13,16,19 二十二碳六烯酸甲酯 Cis -4,7,10,13,16,19 22 docosa-hexaenoic acid methyl ester	-	-	-	-	-	-

注: -: 相对含量为零.

Note: -: Relative content is zero.

表4 3种不同颜色厚垣孢子中饱和与不饱和脂肪酸的含量

Table 4 The content of saturated and unsaturated fatty acid in hree kinds of the different color chlamydo spores

种类 Type	饱和脂肪酸 Saturated fatty acids (%)	不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acids (%)
YH-W	26.92	60.46
YH	28.87	55.43
GH-W	17.23	62.99
GH	20.96	58.78
BH-W	23.71	62.63
BH	24.04	49.80

### 3 讨论

(1) 在酸热法、有机溶剂法、索氏提取法对稻曲病菌厚垣孢子壁脂肪酸进行的提取中, 有机溶剂法较为简单且易操作; 酸热法提取下, 两种形态厚垣孢子的饱和脂肪酸含量以及不饱和脂肪酸的含量均高于有机溶剂提取下的含量。其原因可能是有机溶剂未能有效的破坏脂肪酸与其它大分子物质之间的共价键。索氏提取法是较为常见的方法, 但其耗时较长, 而且, 黑色厚垣孢子不饱和脂肪酸的含量较之其它两种方法低。酸热法在有机溶剂法的基础上加入沸水浴及速冻处理, 使得脂肪酸与其它大分子物质的共价键遭到破坏, 因此, 能检测出更多的脂肪酸。

(2) 长链多不饱和脂肪酸是生物膜组成成分, 起到维持细胞正常功能和增加机体抗逆性的作用<sup>[2-14]</sup>。不饱和脂肪酸例如十八油酸和亚麻油酸的含量在厚垣孢子颜色转变的过程中逐渐增多, 并且不饱和脂肪酸二十四碳烯酸只存在于黑色厚垣孢子壁中, 推测原因可能是不饱和脂肪酸是细胞膜和线粒体膜的组成成分, 而厚垣孢子在休眠过程中为了适应低温环境, 必须通过提高壁中脂肪酸的不饱和程度来增加孢子膜的流动性, 进而保证整个孢子进行正常的生理活动。

(3) 在真菌中不饱和脂肪酸是以饱和脂肪酸

硬脂酸为底物, 经碳链的延长和脱饱和 2 个反应而来<sup>[15-16]</sup>。饱和脂肪酸硬脂酸在黄色厚垣孢子壁中的含量最多, 黄绿色厚垣孢子壁中的含量较少, 黑色厚垣孢子壁中的含量最少, 原因可能是: 1) 黄色厚垣孢子萌发率较高, 而萌发时在油脂的环境中, 需要消耗能量<sup>[13]</sup>; 2) 不饱和脂肪酸的产生对饱和脂肪酸产生抑制调节, 从而导致饱和脂肪酸的含量逐渐降低<sup>[17]</sup>。

(4) 休眠型的黑色厚垣孢子与非休眠型的黄色厚垣孢子和介于休眠和非休眠中间型的黄绿色厚垣孢子相比, 无论是孢子壁, 还是孢子总的不饱和脂肪酸含量均含量最高; 李博等人通过生长温度对内陆土壤冷适应细菌膜脂的脂肪酸组分影响研究发现一些嗜冷细菌可通过快速增加脂肪酸的不饱和度来适应低温环境<sup>[18]</sup>。由此可推断不饱和脂肪酸的含量提高, 有利于厚垣孢子的休眠越冬。

### 参考文献

- [1] Nichols DS, Nichols PD, Mcmeekin TA. Ecology and physiology of psychrophilic bacteria from Antarctic saline lakes and sea ice[J]. Science Progress, 1995, 78(4): 311-347.
- [2] Kyle DJ, Ratledge C. Industrial Applications of Single Cell Oils[M]. Champaign: American Oil Chemists' Society, 1992: 29-51.

- [3] 唐传核, 徐建祥, 彭志英. 脂肪酸营养与功能的最新研究[J]. 中国油脂, 2000, 25(6): 20-23.
- [4] 殷梦华, 何东平, 陈涛. 产多不饱和脂肪酸微生物的研究[J]. 粮油加工与食品机械, 2005(9): 52-55.
- [5] Uauy R, Hoffman DR, Peirano P, et al. Essential fatty acids in visual and brain development[J]. Lipids, 2001, 36(9): 885-895.
- [6] 龚文波, 何林, 吴劲松, 等. 结核分枝杆菌全细胞C9-C20脂肪酸成份分析[J]. 中国人兽共患病学报, 2006, 22(8): 761-763.
- [7] 黄世文, 余柳青. 国内稻曲病的研究现状[J]. 江西农业学报, 2002, 14(2): 45-51.
- [8] Ou SH. Rice Disease[M]. Kew: Commonwealth Mycological Institut, 1985: 307-309.
- [9] 戴传超, 余伯阳, 徐增莱, 等. 环境因子对乌桕内生真菌生长及脂肪酸的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1525-1528.
- [10] 陆合, 张学昆, 李加纳, 等. 逆境对真菌膜脂肪酸成分的影响[J]. 微生物学杂志, 2005, 25(2): 1-3.
- [11] 姚剑, 黄大庆. 球孢白僵菌脂肪酸、酯酶、脂肪酶及其与毒力的关系[J]. 中国生物防治, 2005, 21(3): 167-171.
- [12] 唐芳, 李小元, 吴卫国, 等. 山茶油脂肪酸甲酯化条件研究[J]. 粮食与油脂, 2010(8): 36-39.
- [13] 燕玮婷, 刘二明, 邓林伟, 等. 稻曲病菌厚垣孢子不同破壁方法的比较[J]. 微生物学杂志, 2010, 30(2): 65-69.
- [14] 吴时敏. 功能性油脂[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [15] 张鹏, 杨培林, 戴美学. 微生物多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 微生物学杂志, 2006, 26(1): 101-105.
- [16] 朱路英, 张学成, 宋晓金, 等. n-3多不饱和脂肪酸DHA、EPA研究进展[J]. 海洋科学, 2007, 31(11): 78-83.
- [17] Clarke SD, Jump DB. Polyunsaturated fatty acid regulation of hepatic gene transcription[J]. Lipids, 1996, 31(1): S7-S11.
- [18] 李博, Dietrich M, 李艳, 等. 内陆土壤冷适应细菌的筛选分类与细胞膜脂肪酸的适冷机制[J]. 微生物学通报, 2010, 37(8): 1110-1116.

## 稿件书写规范

### 论文中有关正、斜体的约定

物种的学名: 菌株的属名、种名(包括亚种、变种)用拉丁文斜体。属的首字母大写, 其余小写, 属以上用拉丁文正体。病毒一律用正体, 首字母大写。

限制性内切酶: 前3个字母用斜体, 后面的字母和编码正体平排, 例如: *Bam*H I、*Hind* III、*Sau*3A I等。

氨基酸和碱基的缩写: 氨基酸缩写用3个字母表示时, 仅第一个字母大写, 其余小写, 正体。碱基缩写为大写正体。

基因符号用小写斜体, 蛋白质符号首字母大写, 用正体。