



# 啤酒的营养与安全

王金晶

江南大学

[jjwang@jiangnan.edu.cn](mailto:jjwang@jiangnan.edu.cn)



酿酒科学与工程研究室

Lab of brewing science and technology



江南大学  
JIANGNAN UNIVERSITY

# 啤酒中的内源性营养物质研究

## 啤酒酿造过程中食品安全和质量控制

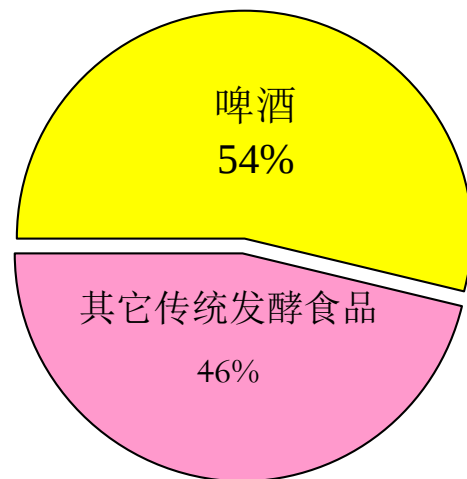
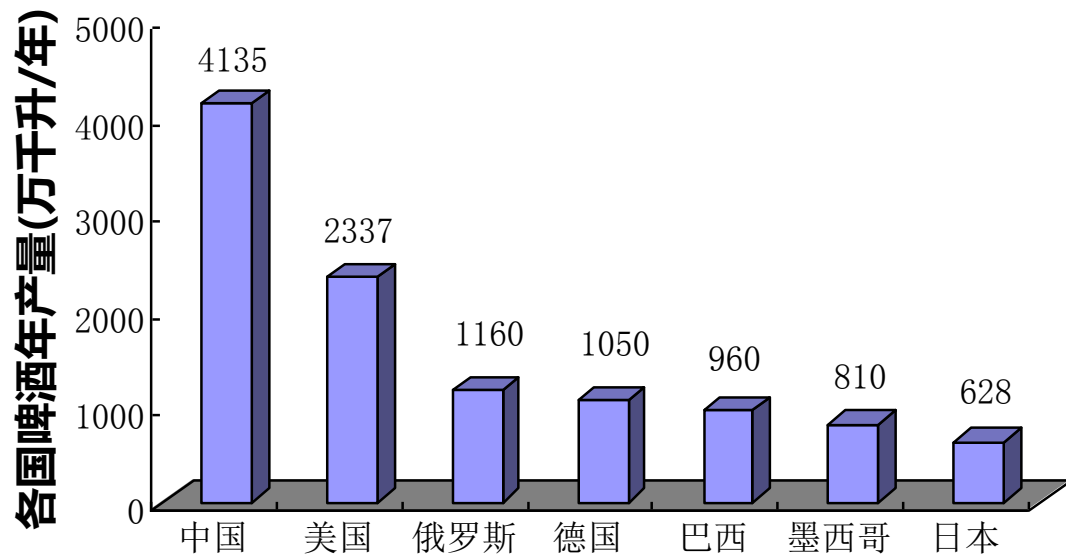


## 关系国计民生

- 与百姓日常生活密切相关
- 传统优势产业

## 产业规模和经济总量大

- 我国啤酒产量为全球第一，占全球19%，相当于2个杭州西湖储水量
- 年产值1500 多亿，占我国传统发酵食品54%，产业带动面广

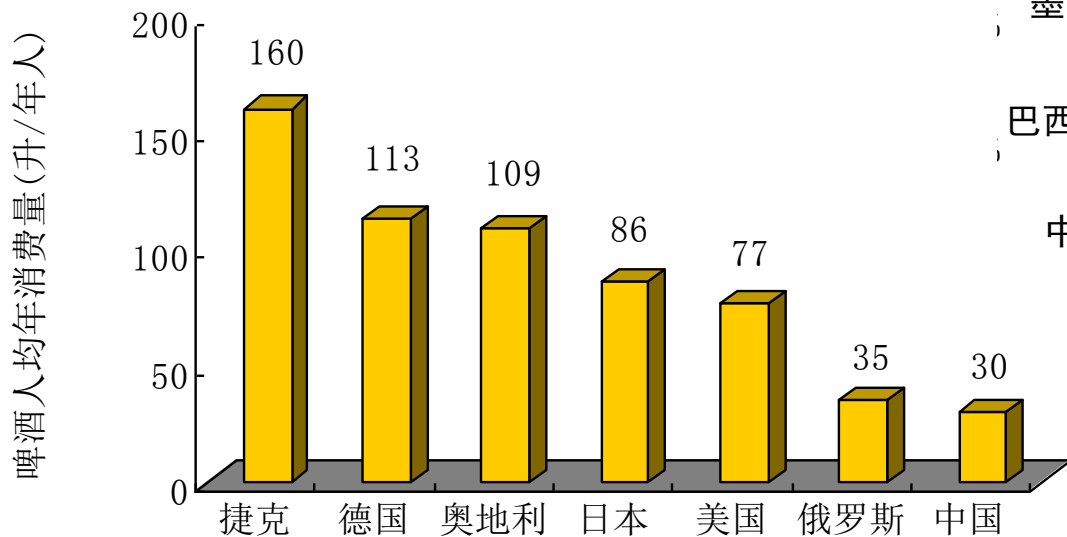


啤酒占传统发酵食品产值的比例

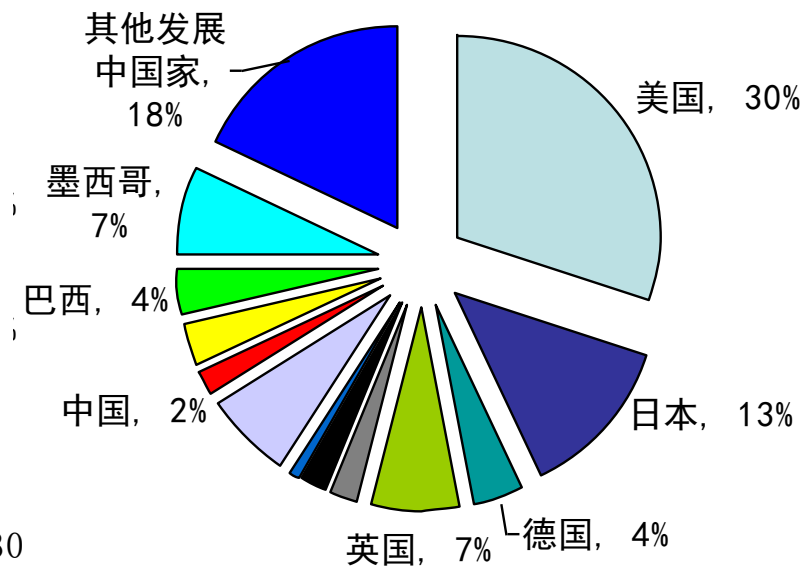
# 我国啤酒发酵产业

我国是啤酒生产大国，但不是啤酒强国

- 利润率低，出口量少、国际竞争力弱
- 缺乏核心技术竞争力和技术创新体系
- 环境成本效益低
- 人均年消费量偏低



世界啤酒生产国利润率



# 啤酒中的营养物质

④啤酒营养丰富，素有“液体面包”之称。

④1972年7月1日在墨西哥召开的第九次世界营养食品会议上，把啤酒正式列为营养食品。





# 啤酒中的营养物质





江南大学  
JIANGNAN UNIVERSITY

# 黑啤酒与小麦啤酒



酿酒科学与工程研究室

Lab of brewing science and technology



江南大学  
JIANGNAN UNIVERSITY

# 水果啤酒



酿酒科学与工程研究室

Lab of brewing science and technology

# 啤酒中的新星-青稞啤酒



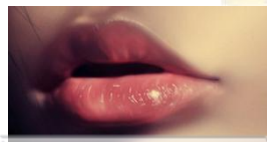
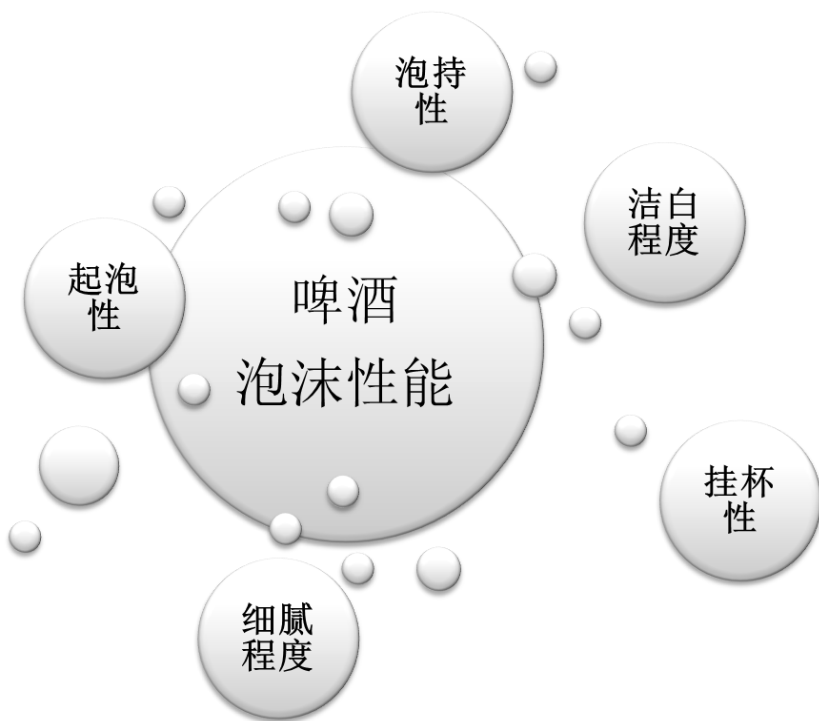
西藏青稞啤酒具有“水质天然、无污染、原料上乘”三大自然优势。啤酒汁液清澈透明，泡沫洁白细腻，口感纯正，具有独特的青稞香味。

水 经过多岩层过滤的冰雪融水，水质上等，富含有益人体健康的微量元素及矿物质。

青稞 其 $\beta$ -葡聚糖含量远远高于普通的麦类，在降低人体胆固醇、防止心血管病方面有积极的作用，还可以降低人体肿瘤LDL-C的水平，有抗肿瘤等独特的保健作用。

# 啤酒的泡沫

啤酒泡沫是啤酒的重要特征之一，泡沫性能是评价啤酒的重要标志。



唇、口触觉



新鲜、清爽



啤酒特有风味物质香气





# 啤酒酿造的灵魂——酵母



## 益生菌





原浆啤酒





## 酒花和大麦中多酚物质种类



| 指标\品种         | 小麦    | 大米    | 麦芽     | 酒花      |
|---------------|-------|-------|--------|---------|
| 总多酚 (mg/L萃取液) | 24.60 | 28.70 | 149.24 | 2976.60 |



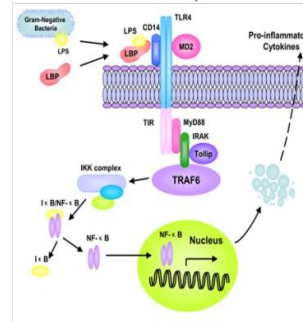
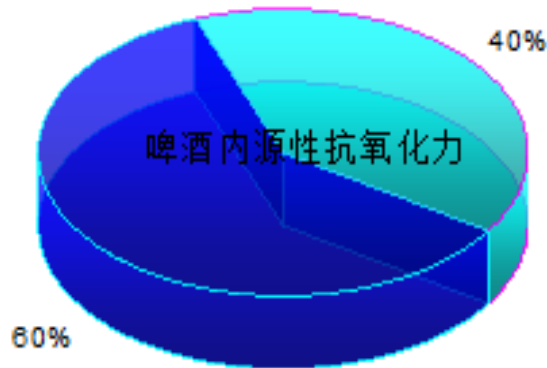
# 酒花中的多酚物质

## 多酚物质功能

抗氧化作用

保健功能

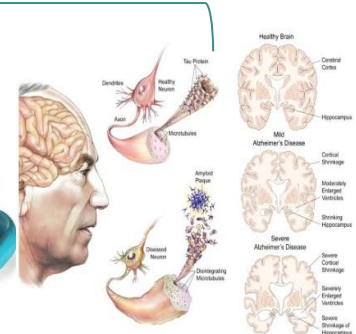
多酚还原力  
其他



抗炎作用



心血管保护



预防神经退  
行性疾病



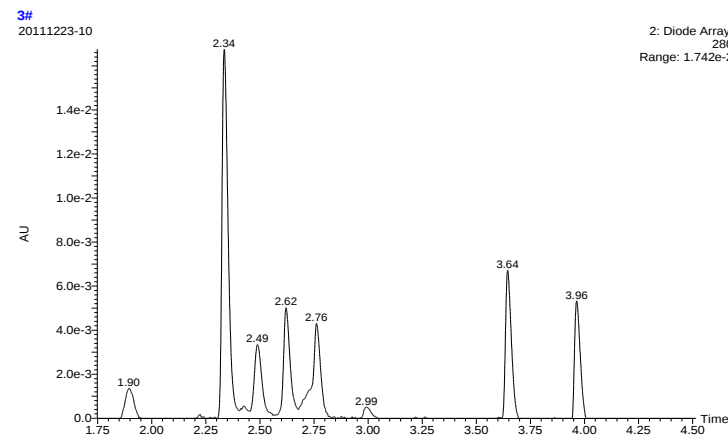
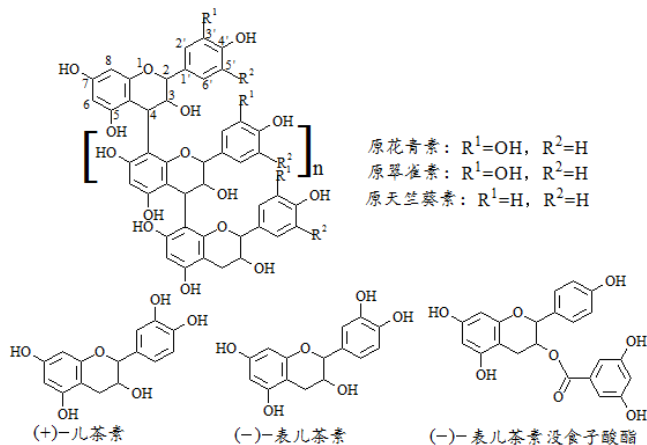
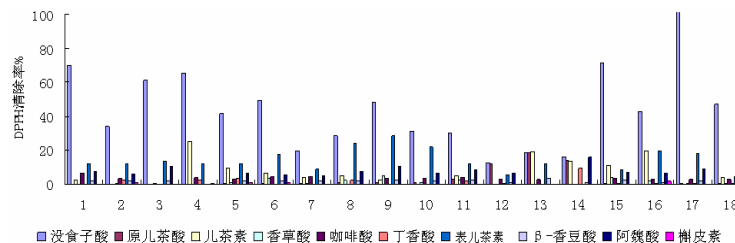
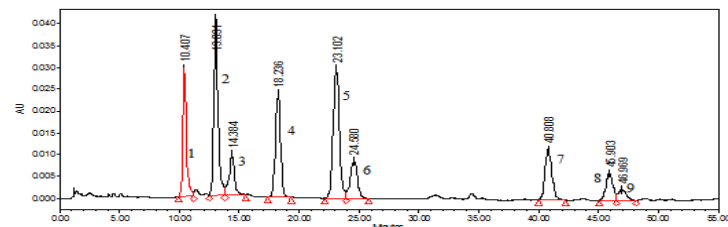
# 酒花中多酚物质的抗氧化研究

酒花的  
抗氧化  
机理研究

酒花中的酚酸及儿茶酸类  
化合物

酒花中的原花青素、黄腐酚

酒花抗氧化酶体系初探



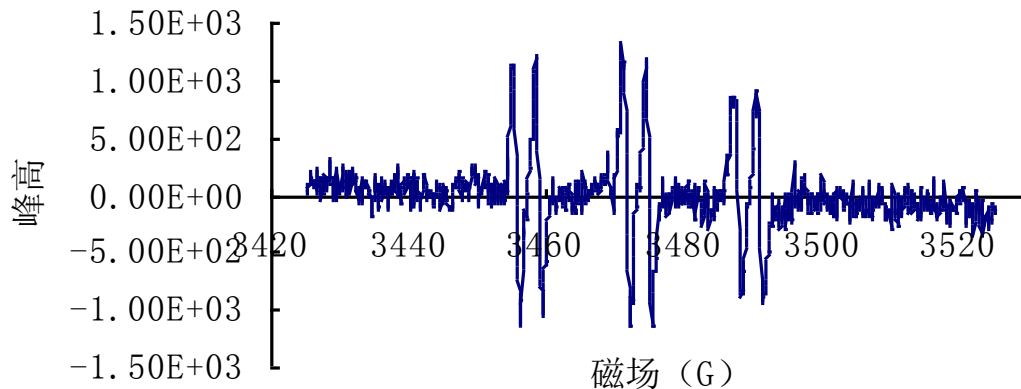
## 1. 酒花中单酚物质种类及含量

酒花中的酚酸含量 (μg/g)

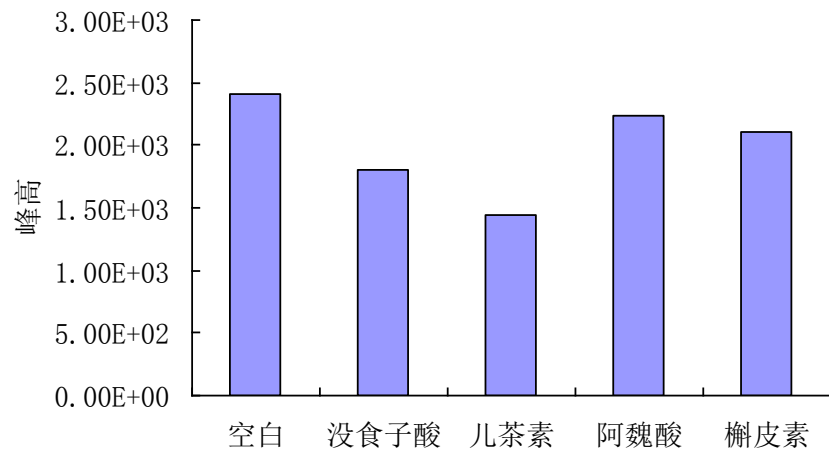
| 样品   | 没食子酸 | 原儿茶酸  | 儿茶素    | 香草酸   | 咖啡酸   | 丁香酸   | 表儿茶素   | P-香豆酸 | 阿魏酸   |
|------|------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 斯丹纳  | 7.22 | 30.83 | 263.99 | 8.02  | 11.69 | 3.61  | 152.78 | 6.34  | 5.10  |
| 哈拉道  | 2.66 | 31.61 | 364.23 | 6.65  | 11.50 | 20.10 | 68.09  | 8.93  | 5.03  |
| 札一   | 5.17 | 28.00 | 439.12 | 10.92 | 26.27 | 3.18  | 33.34  | 7.31  | 3.11  |
| 青岛大花 | 2.57 | 48.91 | 122.43 | 36.67 | 16.87 | 12.75 | 104.95 | 11.85 | 18.65 |
| 马可波罗 |      |       |        |       |       |       |        | 90    | 4.67  |

斯丹纳中的没食子酸和表儿茶素含量较高，札一香花中的儿茶素含量最高，青岛大花中的原儿茶酸、香草酸和阿魏酸含量较高，马可波罗酒花中的咖啡酸、丁香酸与P-香豆酸含量较高。

## 2. 单酚抗氧化能力-羟基自由基清除能力



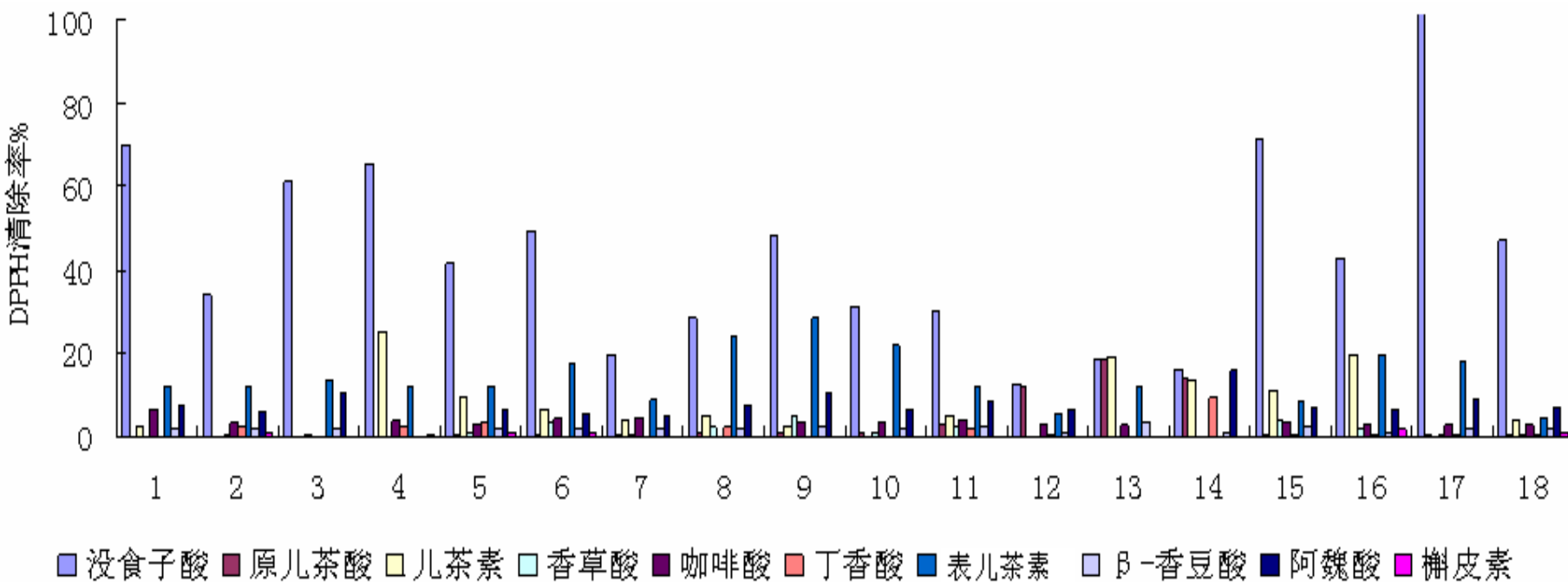
啤酒PBN-ESR图谱 ( 培育90min )



单酚对羟基自由基的清除能力

**儿茶素清除羟基自由基的能力最强，没食子酸和槲皮素次之，阿魏酸最弱。**

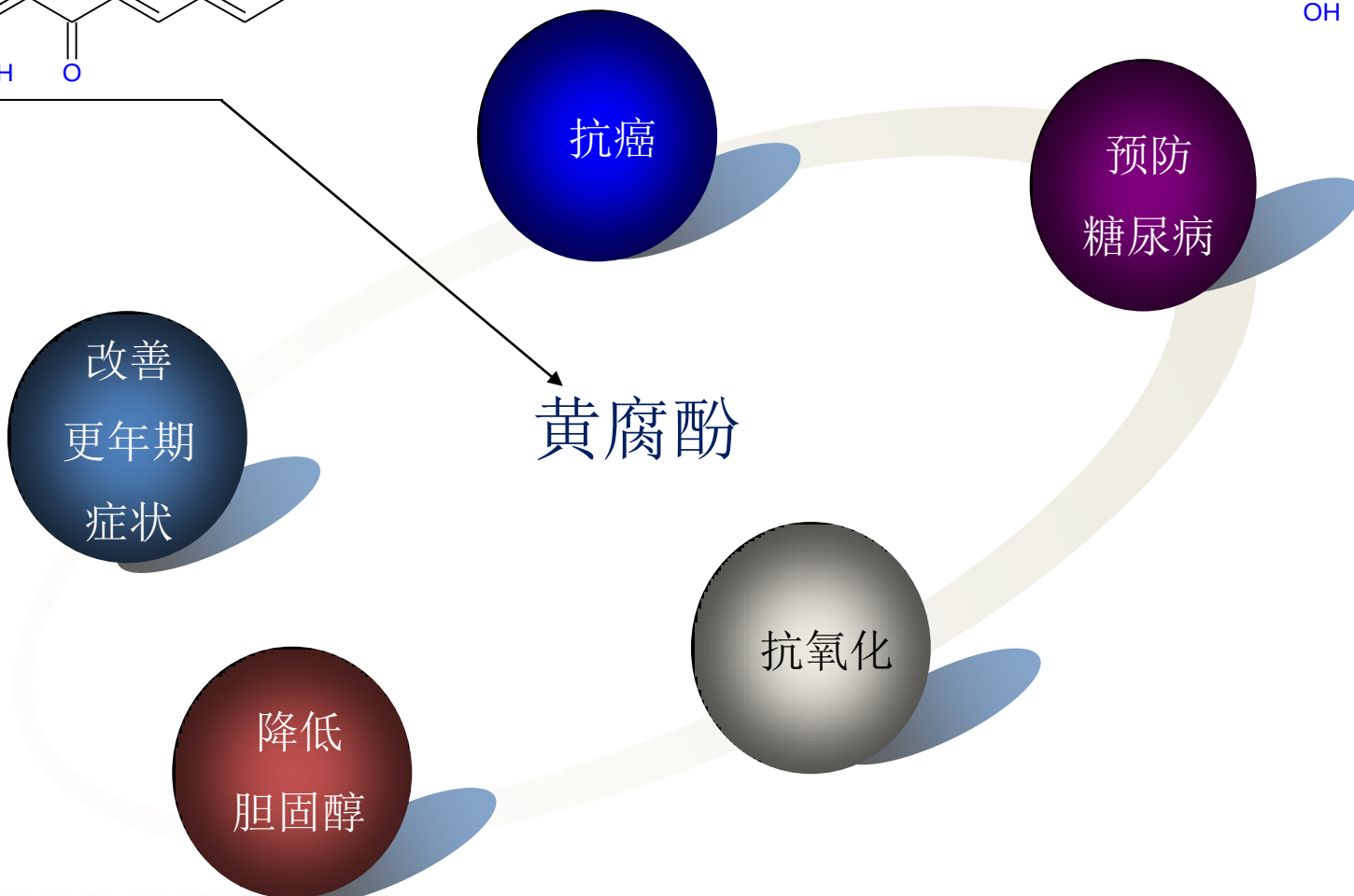
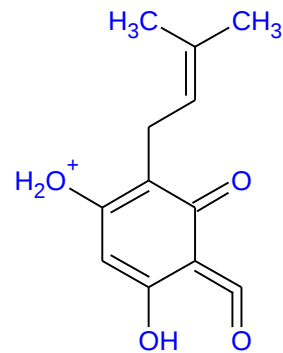
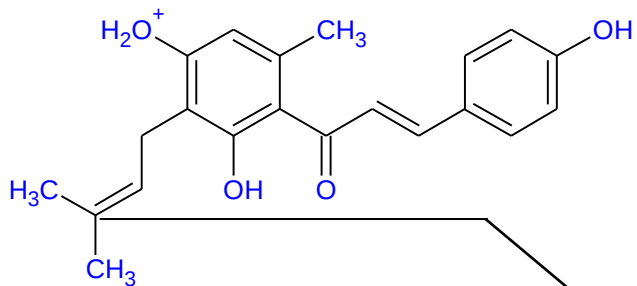
# 啤酒中营养价值较高的单酚物质种类



啤酒中抗氧化能力贡献较大的单酚有没食子酸、  
表儿茶素、阿魏酸、儿茶素、咖啡酸。



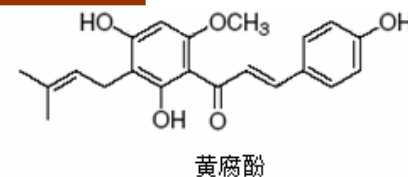
# 黄腐酚



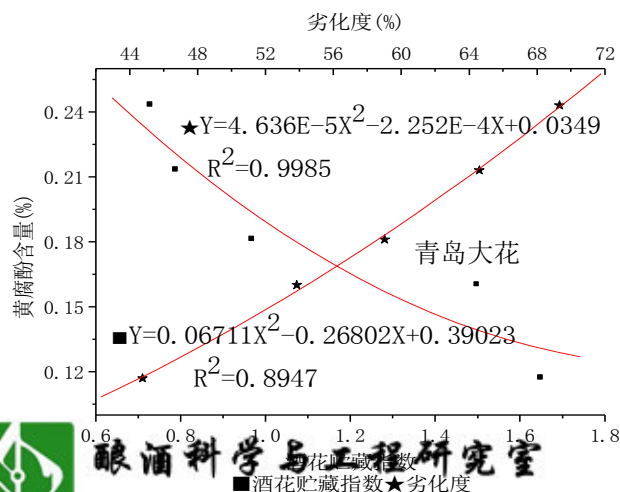
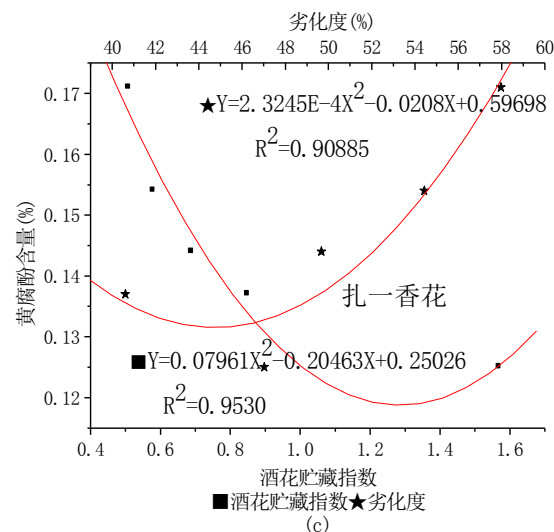
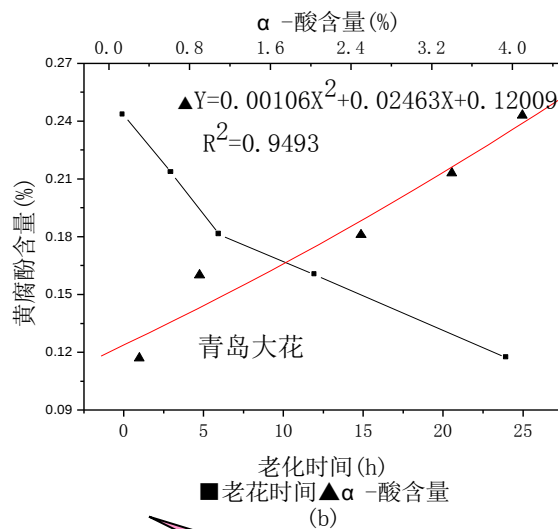
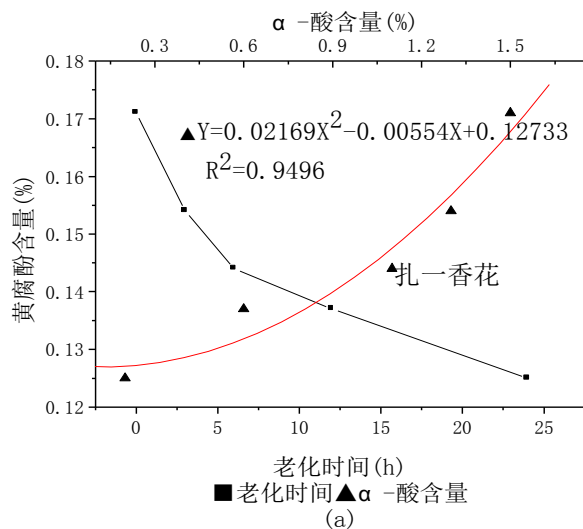
## 1. 不同酒花制品中的黄腐酚含量

| 酒花品种 | 含量(%) | 酒花品种                   | 含量(%) |
|------|-------|------------------------|-------|
| 斯丹纳  | 0.20  | 萨兹香花                   | 0.20  |
| 纳盖特  | 0.33  | 拓扑多酚颗粒                 | 0.01  |
| 札一香花 | 0.15  | CO <sub>2</sub> 酒花浸膏   | 0.02  |
| 青岛大花 | 0.22  | 异构CO <sub>2</sub> 酒花浸膏 | 0.02  |
| 马可波罗 | 0.29  | 美国哈斯酒花浸膏               | 0.03  |

► 酒花浸膏中黄腐酚含量几乎只有颗粒酒花中的 1/10



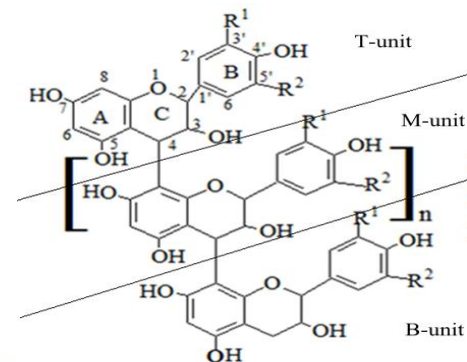
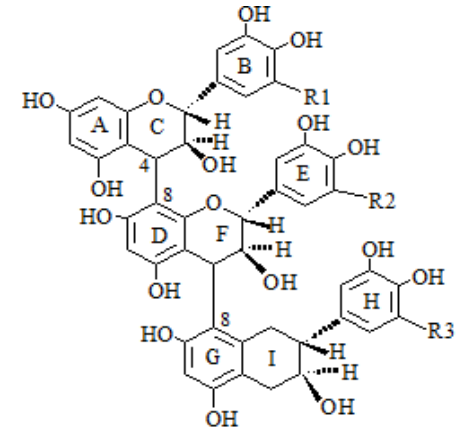
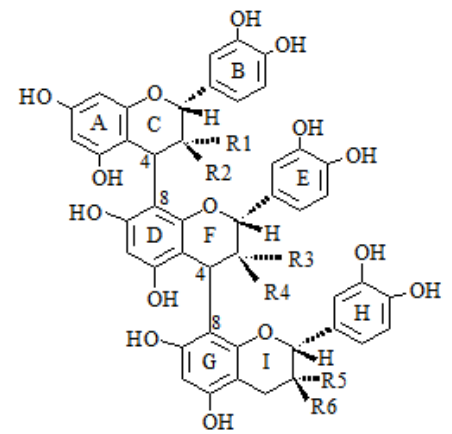
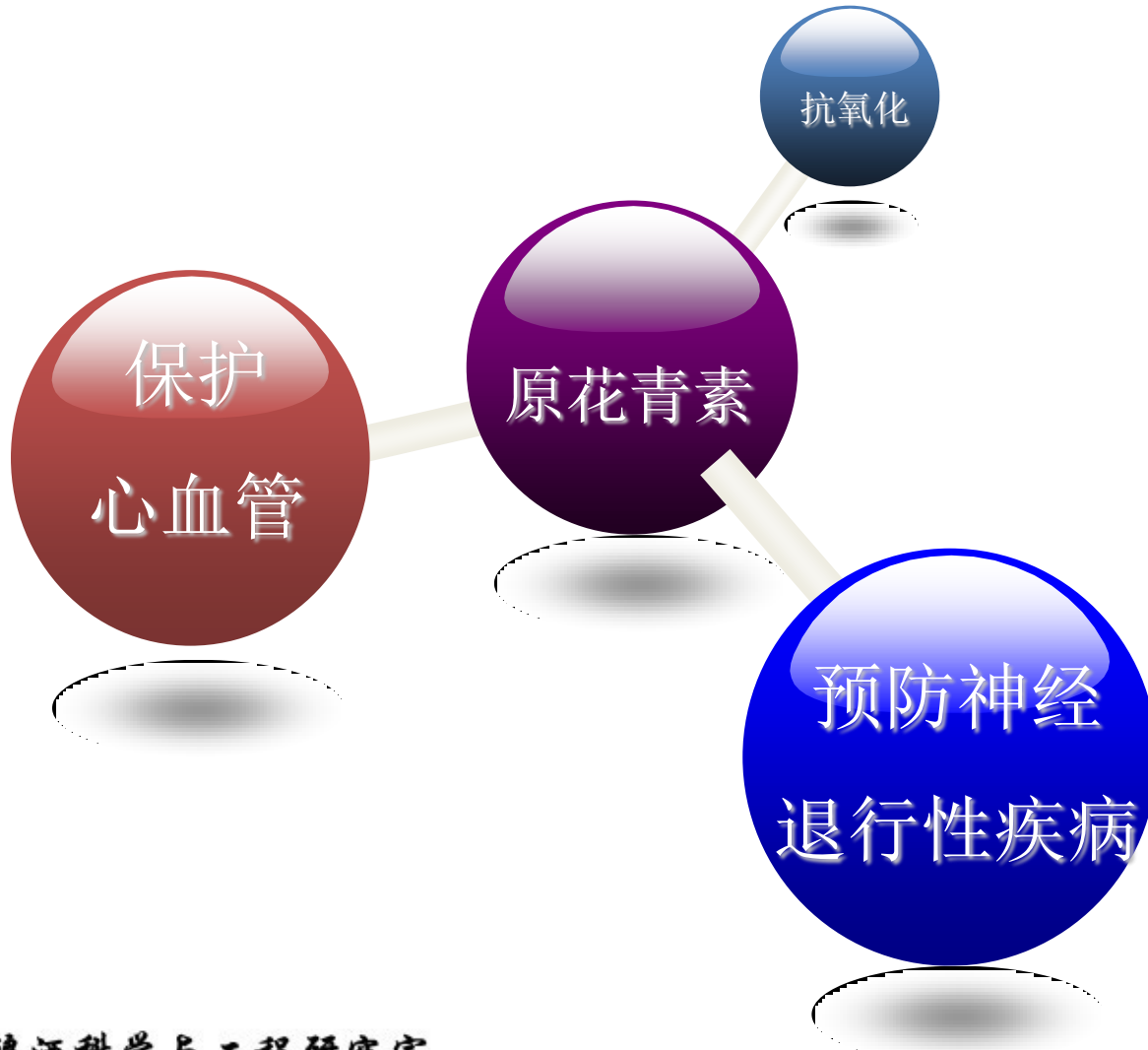
## 2. 酒花老化过程中黄腐酚的含量变化



酒花老化过程中，黄腐酚含量下降明显，香花与苦花变化趋势一致，酒花中黄腐酚含量变化与α-酸含量相关性良好( $R^2$ 分别为0.9496和0.9493)

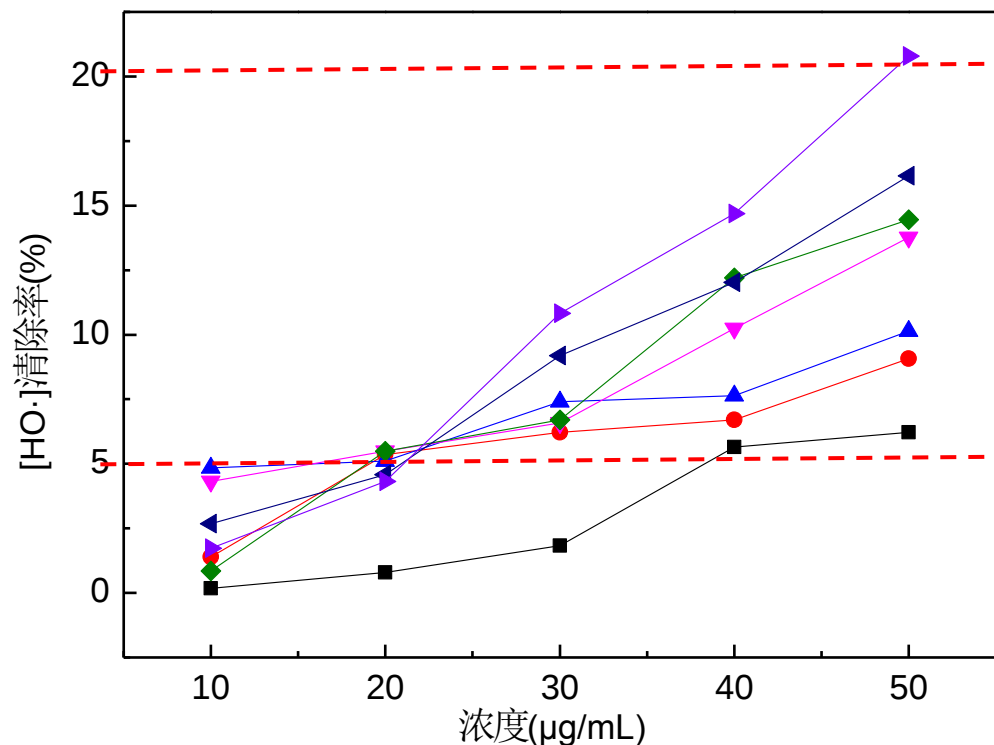


# 原花青素



# 原花青素抗氧化活性研究

## 酒花原花青素抗氧化活性研究-自由基清除能力



■ ● ▲ ▼ ◆ ▲ 聚合度分别为1.51,2.01, 2.56,2.97,3.50,3.83和5.55的原花青素;

原花青素聚合度越低，清除[HO·]能力越弱。



# 饮料安全隐患

## 主要问题

卫生条件

添加剂

安全吗



# 酒精类饮料



多菌种发酵

微生物污染

红酒

原料带入污染

啤酒呢？





江南大学  
JIANGNAN UNIVERSITY

# 啤酒的品质保证



纯种酿造

现代化工艺设备

天然酒花防腐

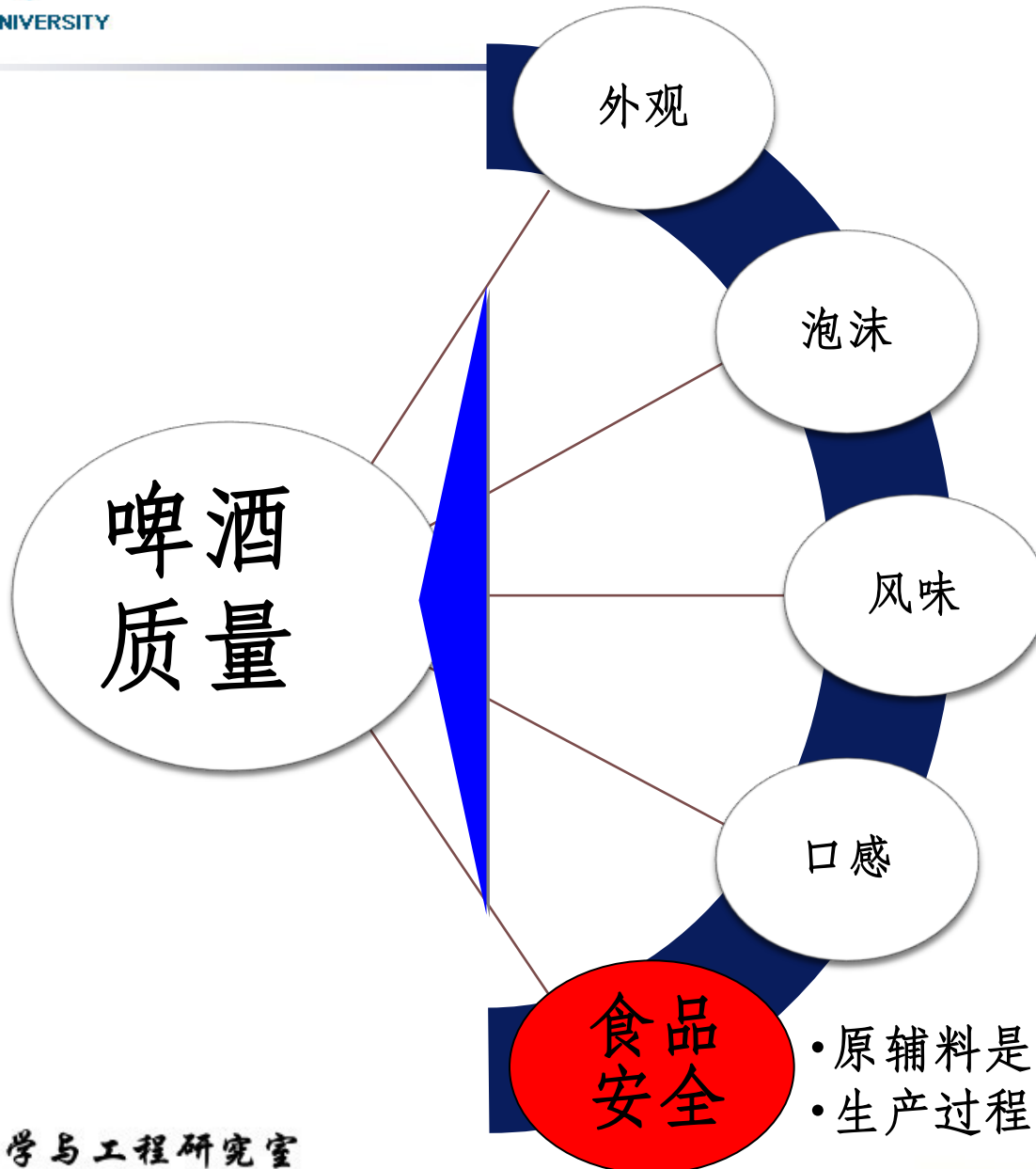


酿酒科学与工程研究室

Lab of brewing science and technology



啤酒酿造过程中食品安全和质量控制



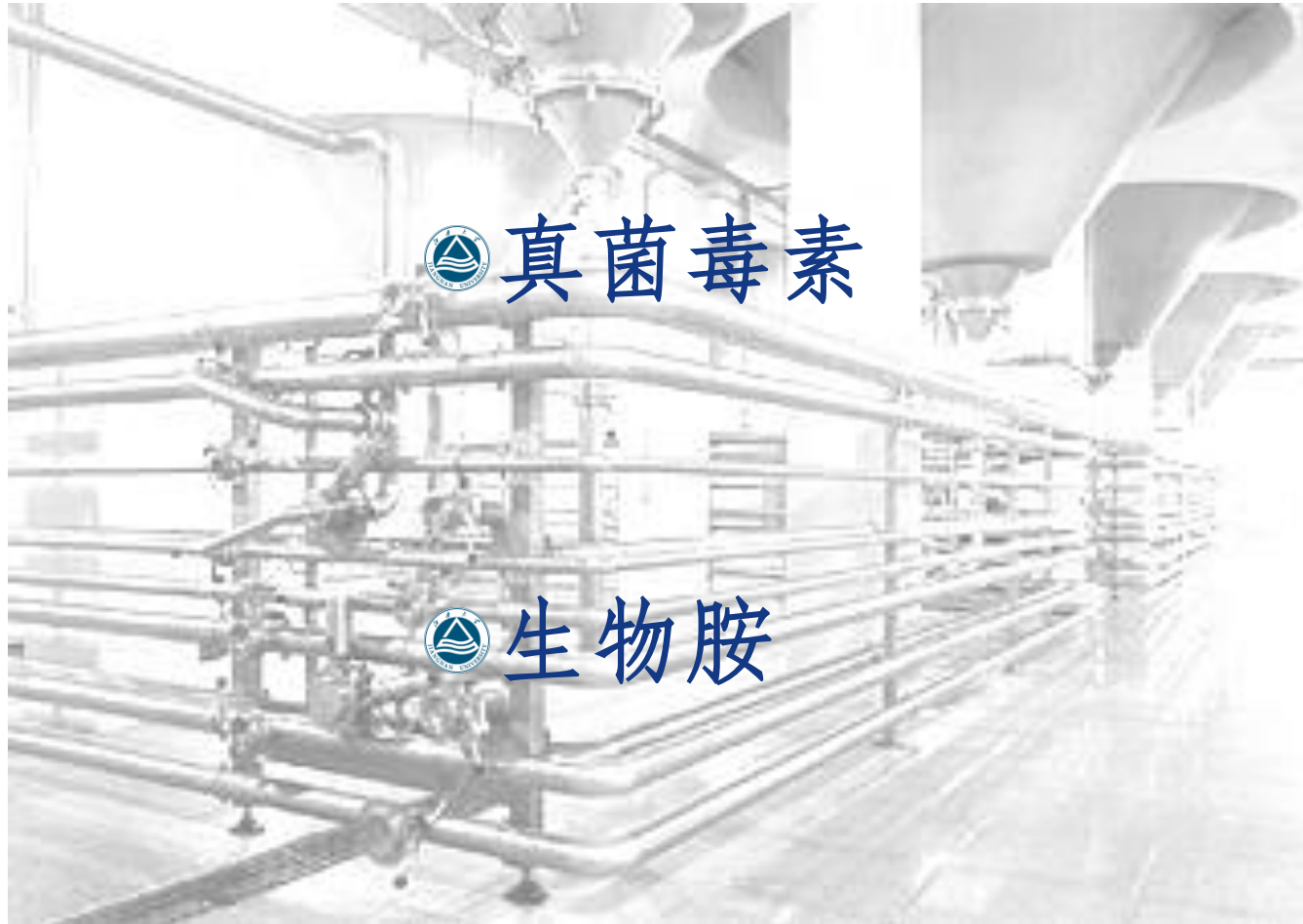
- 原辅料是否受致病微生物污染
- 生产过程的微生物控制





江南大学  
JIANGNAN UNIVERSITY

# 内 容



酿酒科学与工程研究室

Lab of brewing science and technology

# 啤酒生产的最初步骤——制麦



清洗、精选  
↓  
分级



浸麦  
↓  
发芽



干燥去根过程  
←





# 1、真菌毒素



啤酒主要酿造原辅料生长、贮藏和加工过程中容易被某些真菌污染，最重要的产毒真菌是镰刀菌。

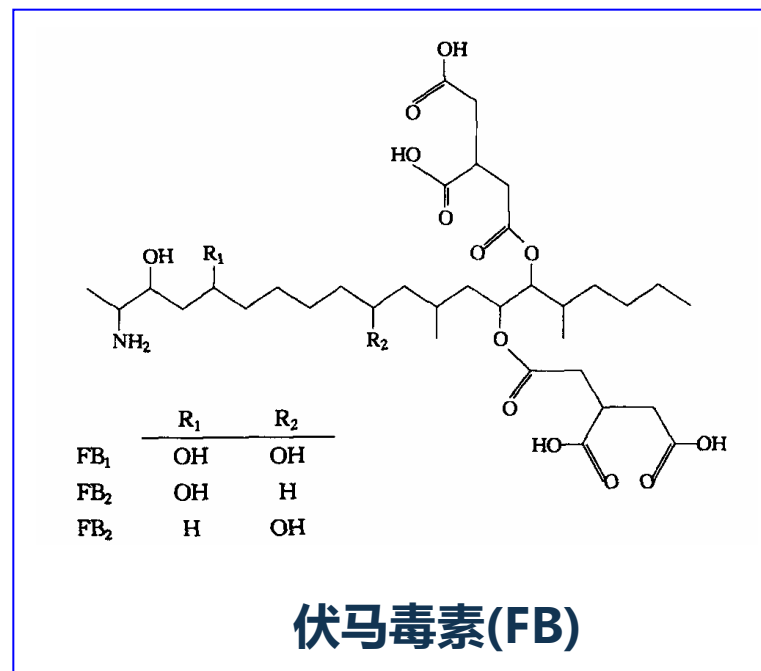
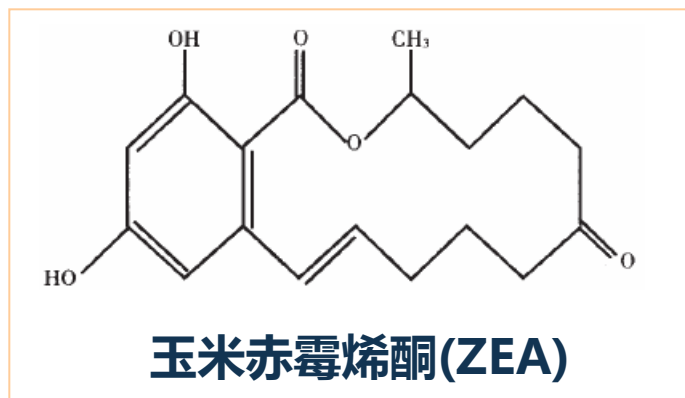
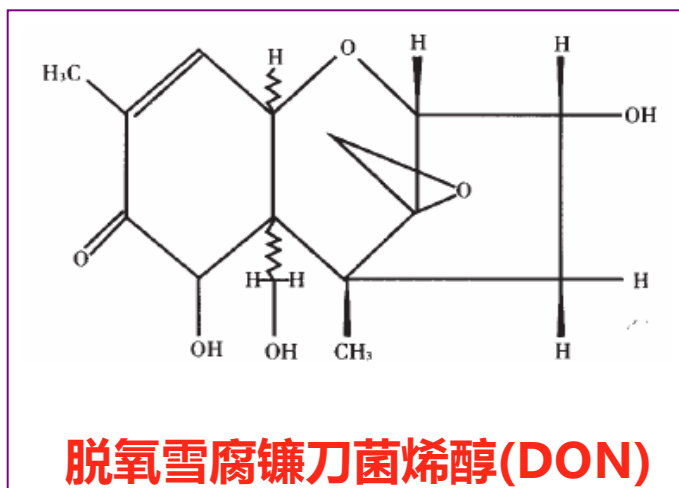
危害

感染镰刀菌的大麦制成麦芽后，**麦芽**得率↓，麦汁中可溶性氮、色度与浊度↑，导致酒体浑浊；由感染镰刀菌属的麦芽制成啤酒后，可使CO<sub>2</sub>不受控制，诱发啤酒泡沫喷涌。所以麦芽中的镰刀菌及镰刀菌毒素严重影响啤酒品质。



# 1.1 镰刀菌毒素种类

① DON、ZEA和FB是对啤酒酿造原料影响最大的镰刀菌毒素

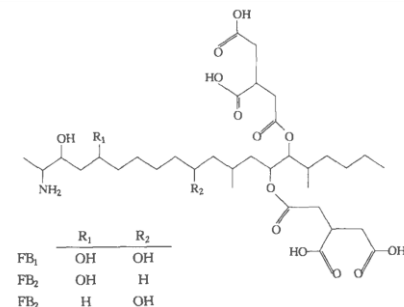
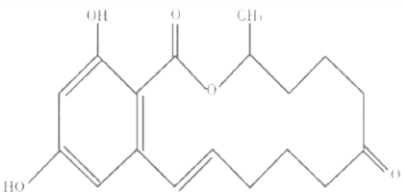




## 1.1 镰刀菌毒素种类-ZEA和FB

**ZEA**主要污染玉米、小麦、大米、大麦、小米和燕麦等，在玉米中最普遍，玉米和玉米制品中含量**1-2900**  $\mu\text{g/kg}$ 。在酿造过程中，大部分的**ZEA**通过麦糟除去。

**FB**主要感染玉米、高粱、小麦、和大麦等。2004年，**Samuel** 等人在肯尼亚市售啤酒中发现 75个啤酒样品中，呈 **FB<sub>1</sub>**阳性的占 72%，平均含量为 **0.32ng/mL**和 **0.28ng/mL**。

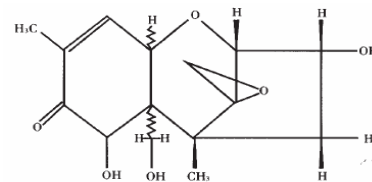


## 1.1 镰刀菌毒素种类-DON

►最常见，感染范围大，主要存在于大麦、小麦、玉米中，由禾谷镰刀菌、黄色镰刀菌、雪腐镰刀菌等产生，能够引起动物呕吐，所以又称为呕吐毒素。

►物理性质：含高易溶于水,甲醇、氯仿、二氯甲烷,不溶于己烷和正戊烷。

►最近研究表明其可能与人类食管癌和IgA(免疫球蛋白) 肾病有关，对人类及动物的健康构成威胁。FAO/WHO食品添加剂委员会规定DON临时每日最大摄入量是 $1\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重。美国FDA建议食品和饲料中的最大量是 $500\mu\text{g}/\text{kg}$ 。





## 1.2 制麦和酿造过程中的呕吐毒素

◆DON污染是酿造业的一个严重问题，因其具有热稳定性和水溶性，很容易从谷物中进入麦汁，并存在于酿造过程。

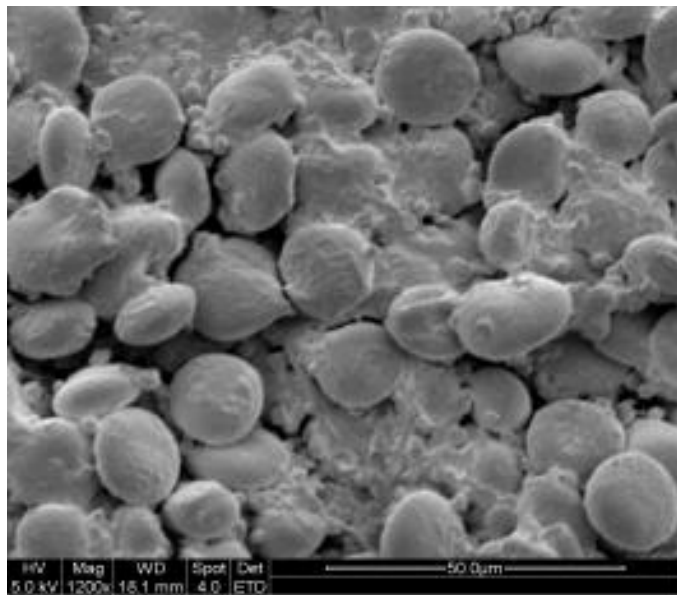
◆受真菌毒素污染的大麦，质量参数会有部分改变，制麦前已经被弃用。浸麦时大部分DON可以洗去，而发芽和干燥初期会产生新的毒素，干燥温度不足以将其破坏。

研究显示：在麦汁煮沸时发现DON的含量增加了3倍，在最终啤酒中的量与麦芽中的量接近。

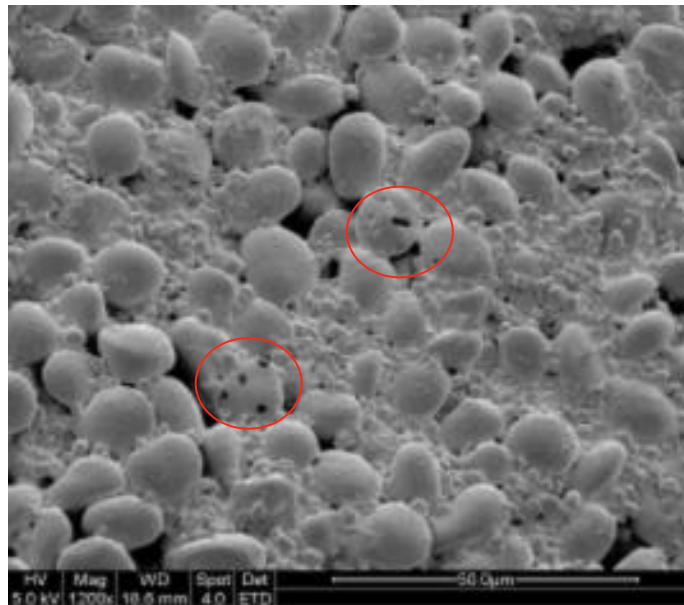




## 1.2.1 制麦过程中的呕吐毒素



正常麦芽的扫描电镜图



染菌麦芽的扫描电镜图

► 染菌麦芽的胚乳细胞壁上孔洞明显比正常的多，表明染菌后的麦芽细胞壁受到酶水解作用要强于正常的麦芽，从而导致的麦汁中许多理化指标有别于正常的麦芽。





## 1.2.2 大麦和麦芽中的呕吐毒素

本实验室以感染镰刀菌的麦芽为主要研究对象，建立了大麦、麦芽与啤酒中呕吐毒素反相高效液相色谱检测方法。

表 不同大麦与麦芽中呕吐毒素的含量

| 名称    | DON含量(mg/kg) | 名称    | DON含量(mg/kg) |
|-------|--------------|-------|--------------|
| 污染大麦1 | 1.12         | 污染麦芽1 | 4.03         |
| 污染大麦2 | 0.88         | 污染麦芽2 | 1.39         |
| 普通大麦1 | < 0.20       | 普通麦芽1 | 0.30         |
| 普通大麦2 | < 0.20       | 普通麦芽2 | < 0.20       |
|       |              | 普通麦芽3 | < 0.20       |

► 正常麦芽中DON含量很低或没有检出，而染菌麦芽中毒素含量较高。



## 1.2.3 成品啤酒中的呕吐毒素

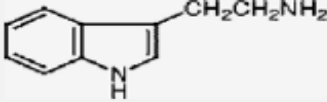
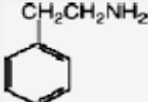
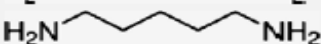
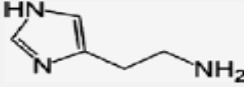
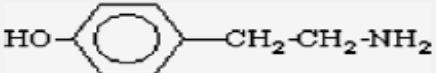
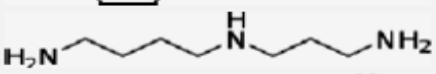
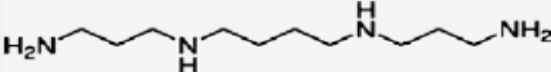
表 不同啤酒中呕吐毒素含量

| 名称    | DON含量(mg/L) | 名称    | DON含量(mg/L) |
|-------|-------------|-------|-------------|
| 污染啤酒1 | 0.43        | 市售啤酒3 | <0.06       |
| 污染啤酒2 | 0.79        | 市售啤酒4 | <0.06       |
| 市售啤酒1 | 0.10        | 市售啤酒5 | <0.06       |
| 市售啤酒2 | 0.07        | 市售啤酒6 | <0.06       |

除由染镰刀菌麦芽酿制啤酒中呕吐毒素的含量相对较高，目前国内普通市售啤酒中呕吐毒素含量很低或者未检出。

## 2、生物胺

① 生物胺（biogenic amines）是一种具有生物活性的含氮低分子量有机化合物的总称。属于有机碱，在动植物体内及许多食品中普遍存在。

| Compound name       | Structure                                                                            | Molecular weight | Precursor         |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|
| Tryptamine          |     | 160.2            | Tryptophan        |
| 2-Phenyl-ethylamine |     | 121.2            | Phenylalanine     |
| Putrescine          |     | 88.2             | Orthine, agmatine |
| Cadaverine          |     | 202.2            | Lysine            |
| Agmatine            |     | 130.2            | Arginine          |
| Histamine           |    | 111.1            | Histidine         |
| Tyramine            |  | 137.3            | Tyrosine          |
| Spermidine          |  | 145.3            | Arginine          |
| Spermine            |  | 348.1            | Arginine          |

- 微量生物胺在生物体中具有重要的生理功能。但当摄入过量时，会引起头痛、恶心、血压变化等过敏反应，甚至危及生命。其中**组胺**和**酪胺**影响最大。
- 许多国家对组胺含量都有控制：
  - FDA：50mg/kg（食品）
  - 意大利、南非：100mg/kg（鱼类）
  - 澳大利亚、德国：200mg/kg（食品）
  - 德国：2 mg/L(酒精饮料)
  - 中国：没有相关限量法规！



## 2.1 啤酒中的生物胺

### 啤酒质量监控方面：

- 希望能够建立一种基于生物胺含量的啤酒质量预警机制

优势1：代谢产物的检测比菌体本身检测灵敏度高

优势2：检测速度快

- 文献：

- 胺的形成和乳酸菌有明显的正相关性
- 有人认为酪胺是啤酒发酵过程中受小球菌污染的一个可靠指标

- 其他行业：

- 鱼类、肉制品、香肠均有生物胺相应指标，判断其新鲜程度

## 2.2 生物胺检测方法的建立

表 液相方法的线性关系及稳定性

| 生物胺          | 线性方程                                    | RSD/% |
|--------------|-----------------------------------------|-------|
| 组胺(HIS)      | $y = 10536x - 2382.6$<br>$R^2 = 0.9971$ | 0.75  |
| 色胺(TRY)      | $y = 38956x - 23370$<br>$R^2 = 0.9969$  | 0.77  |
| 腐胺(PUT)      | $y = 41597x + 3558.1$<br>$R^2 = 0.9988$ | 0.87  |
| 酪胺(TYR)      | $y = 16105x - 11262$<br>$R^2 = 0.9915$  | 0.84  |
| 精胺(SPM)      | $y = 17996x + 21962$<br>$R^2 = 0.9824$  | 1.35  |
| 亚精胺<br>(SPD) | $y = 22104x + 12949$<br>$R^2 = 0.995$   | 1.77  |
| 苯乙胺<br>(PHE) | $y = 29773x - 14838$<br>$R^2 = 0.9993$  | 1.54  |
| 尸胺(CAD)      | $y = 43154x + 14581$<br>$R^2 = 0.9986$  | 1.58  |

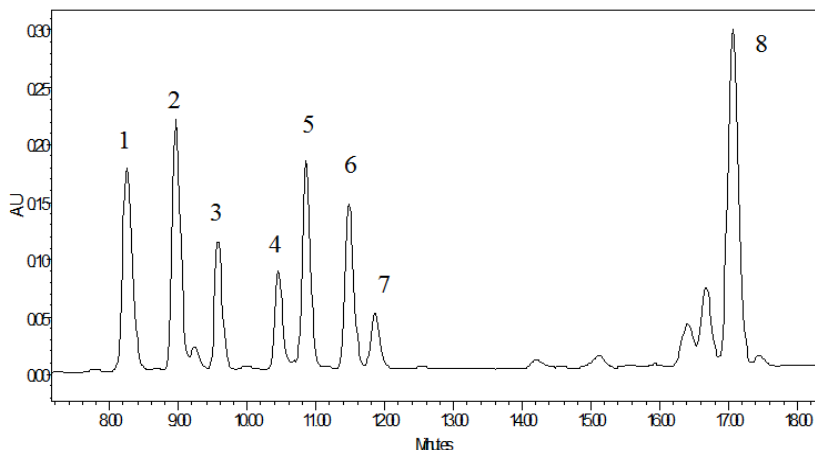


图 生物胺液相分离图谱

1: 腐胺, 2: 尸胺, 3: 亚精胺, 4: 精胺,  
5: 色胺, 6:  $\beta$ -苯乙胺, 7: 组胺, 8: 酪胺

分离度、线性关系及方法稳定性均较为理想，  
线性范围为0.1-40mg/L

## 2.3 成品啤酒中的生物胺

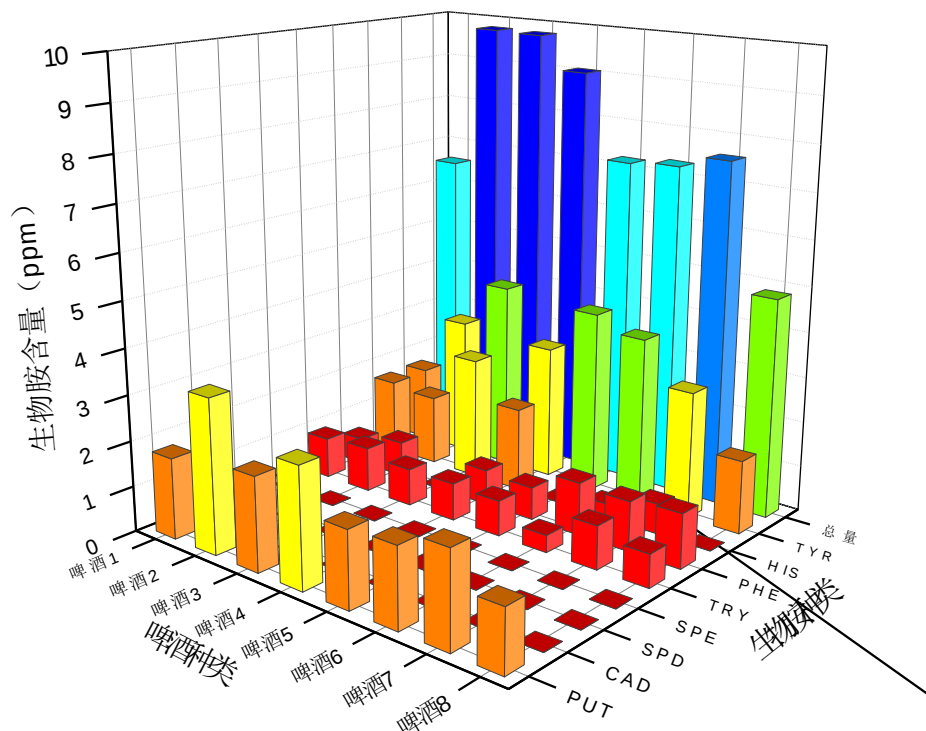


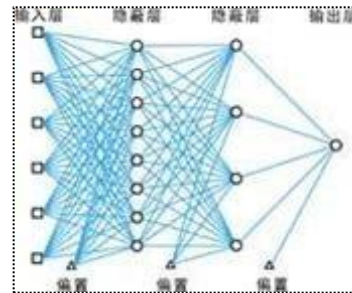
图2 几种市售啤酒的生物胺含量

◆啤酒中几种生物胺总量均<10mg/L

◆啤酒中不同生物胺含量各异，个别含量甚微（CAD\SPD\SPM等）

## 2.4 基于生物胺含量的ANN模型

- 人工神经网络（Artificial Neural Network）是模拟生物神经网络进行信息处理的一种**数学模型**。
- 它以对大脑的生理研究成果为基础，其目的在于模拟**大脑**的某些机理和机制。



## 2.4 基于生物胺含量的ANN模型

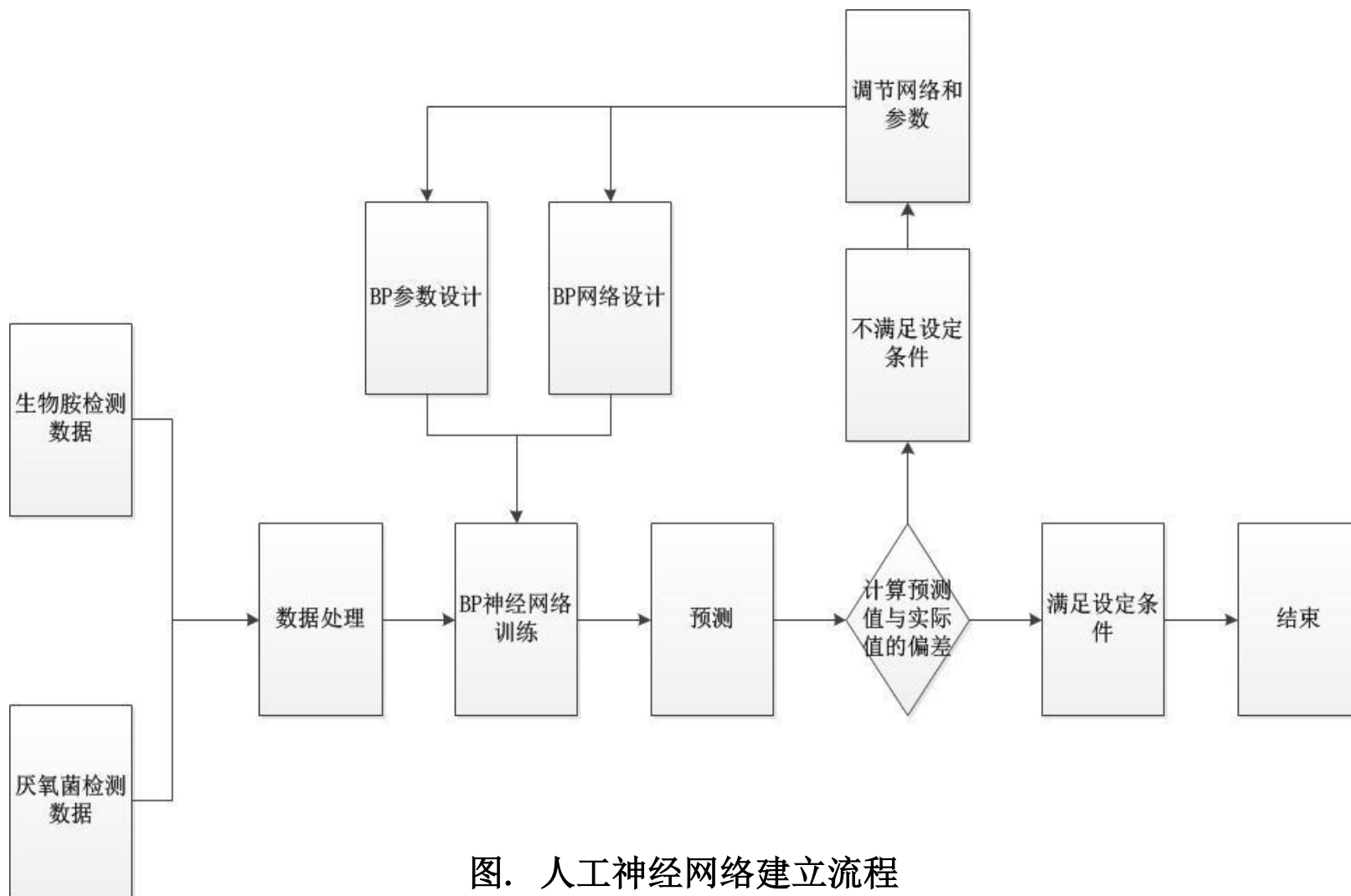
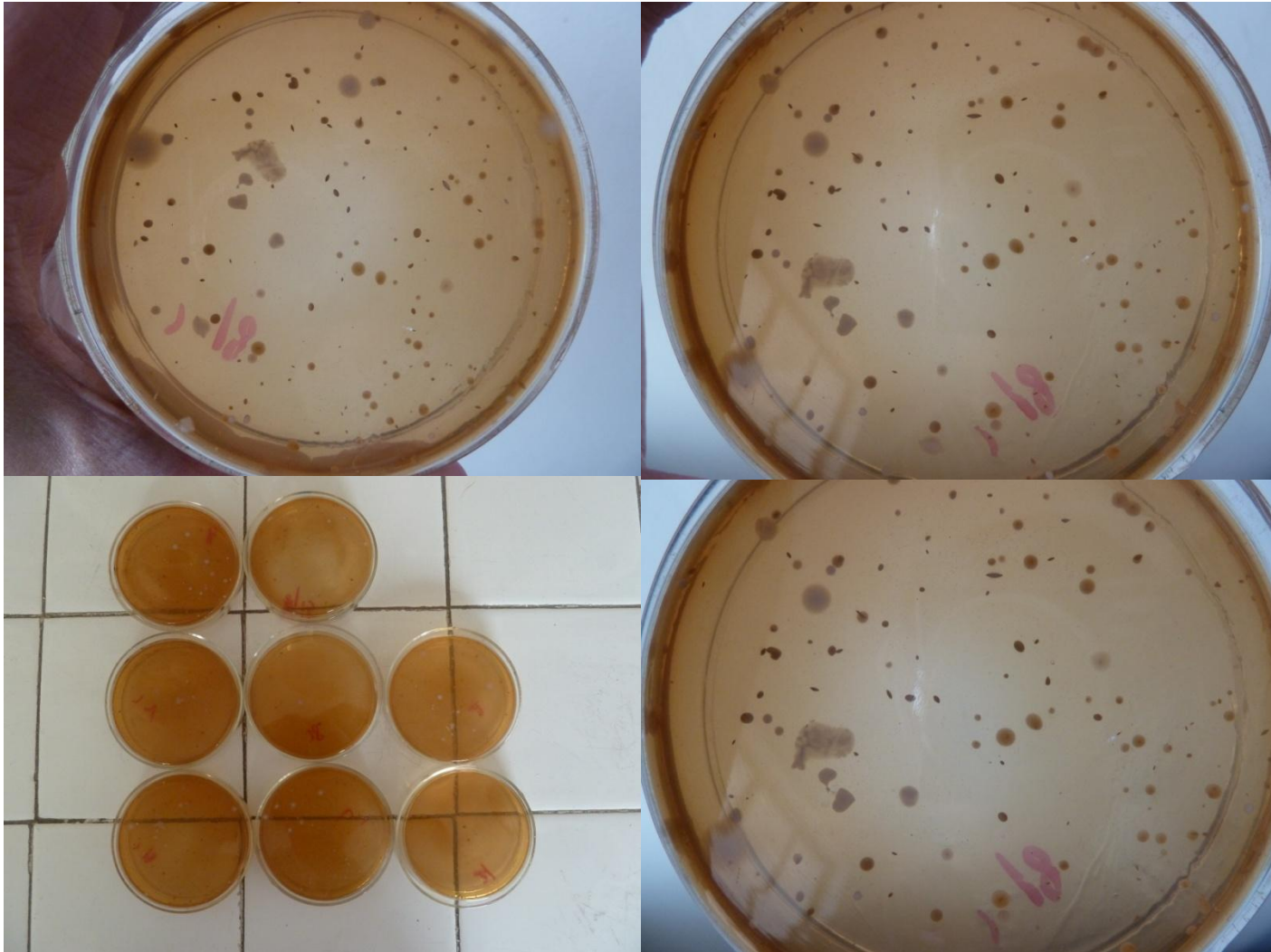


图. 人工神经网络建立流程



## 2.4 基于生物胺含量的ANN模型



## 2.4 基于生物胺含量的ANN模型

### ANN模型的预测

| Level | CFU/mL | No. | Prediction |
|-------|--------|-----|------------|
| 2     | 28     | '4  | 2.0000     |
| 2     | 44     | '8  | 2.0000     |
| 1     | 6      | '11 | 1.0000     |
| 2     | 22     | '21 | 2.0000     |
| 2     | 67     | '22 | 2.0000     |
| 2     | 12     | 1   | 2.0000     |
| 1     | 3      | 26  | 1.0000     |
| 1     | 1      | 30  | 1.1510     |
| 3     | >300   | '9  | 3.0000     |
| 2     | 56     | 2   | 2.0000     |
| 2     | 12     | 3   | 2.2019     |
| 3     | 130    | 12  | 3.0000     |
| 1     | 2      | 21  | 1.0000     |
| 3     | >300   | '9  | 3.0000     |
| 1     | 4      | '20 | 1.0000     |
| 1     | 0      | 6   | 1.0000     |
| 1     | 0      | 10  | 3.2715     |
| 1     | 0      | 31  | 1.0000     |

- ◆ 菌落数 $\leq 10$  CFU，模型预测值为1；
- ◆  $10 \text{ CFU} < \text{菌落数} < 300 \text{ CFU}$ ，模型预测值为2；
- ◆ 菌落数 $\geq 300 \text{ CFU}$ ，模型预测值为3；



谢 谢!



青島啤酒



燕京啤酒  
YANJING BEER



拍摄于二零一二



酿酒科学与工程研究室

Lab of brewing science and technology

王金晶, Ph.D  
江南大学生物工程学院  
[jjwang@jiangnan.edu.cn](mailto:jjwang@jiangnan.edu.cn)