

# 运用关联度分析硒镧复合作用下巴西蘑菇氨基酸含量与砷含量的关系\*

江枝和<sup>1</sup> 翁伯琦<sup>2\*\*</sup> 雷锦桂<sup>1</sup> 肖淑霞<sup>3</sup> 王义祥<sup>2</sup> 唐翔虬<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>福建省农业科学院土壤肥料研究所 福州 350013)

(<sup>2</sup>福建省农业科学院农业生态研究所 福州 350013)

(<sup>3</sup>福建省食用菌技术推广总站 福州 350003)

**摘要** 通过采用混合培养料试验、日立8810型氨基酸自动分析仪和原子吸收法测定氨基酸含量和砷含量以及灰色系统理论分析关联度,研究了硒镧复合作用下巴西蘑菇子实体氨基酸含量和砷含量的变化和关系,为栽培砷含量低的巴西蘑菇提供科学依据.各硒镧复合处理的关联度排序为:  $B_4 > B_1 > B_2 > B_0 > B_3$ , 其中 $B_4$ 处理关联度最大,为0.835 1,  $B_2$ 最小,为0.726 9,说明硒镧浓度对巴西蘑菇子实体各氨基酸含量与砷含量有一定影响.各氨基酸含量与重金属砷含量关联度顺序为:丙氨酸>酪氨酸>胱氨酸>苯丙氨酸>赖氨酸>组氨酸>天门冬氨酸>异亮氨酸>苏氨酸>缬氨酸>亮氨酸>甘氨酸>脯氨酸>精氨酸>丝氨酸>谷氨酸>甲硫氨酸.其中丙氨酸含量与砷含量关联度最大,为0.856 6,说明硒镧复合作用下巴西蘑菇子实体中丙氨酸含量与重金属砷含量的关系最为密切;关联度最小的是甲硫氨酸.表5 参21

**关键词** 巴西蘑菇; 氨基酸; 硒; 镧; 重金属砷; 灰色系统理论; 关联度

CLC S646.062

## Relational Grade Analysis on Relationship of Amino Acid Contents and Arsenic Content in *Agaricus brasiliensis* Under Interaction of Selenium and Lanthanum\*

JIANG Zhihe<sup>1</sup>, WENG Boqi<sup>2\*\*</sup>, LEI Jingui<sup>1</sup>, XIAO Shuxia<sup>3</sup>, WANG Yixiang<sup>2</sup> & TANG Xiangqiu<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Soil and Fertilizer Institute, Fujian Academy of Agriculture Science, Fuzhou 350013, China)

(<sup>2</sup>Institute of Agricultural Ecology, Fujian Academy of Agriculture Science, Fuzhou 350013, China)

(<sup>3</sup>Fujian General Station of Technology Popularization for Edible Fungus, Fuzhou 350003, China)

**Abstract** The mixed material culture experiment was conducted, and the amino acid and arsenic (As) contents were measured by Hitachi 8810 Automatic Amino acid Analyzer and Atomic Absorption Spectrometry (AAS). Then the relationship of amino acid contents and As content in the fruiting bodies of *Agaricus brasiliensis* under the interaction of selenium (Se) and lanthanum (La) was analyzed by grey system theory in order to provide a scientific basis for application of Se and La with reasonable amounts to produce mushroom with low As content. The order of relational grade of the treatments was  $B_4 > B_1 > B_2 > B_0 > B_3$ , among which,  $B_4$  obtained the highest relational grade with a value of 0.835 1, while  $B_2$  got the lowest grade with a value of 0.726 9. It indicated that the concentrations of Se and La had certain effects on As and amino acid contents in the fruiting bodies of *A. brasiliensis*. Under the interaction of Se and La, the order of relational grade of the 17 amino acids with As content was Ala > Tyr > Cys > Phe > Lys > His > Asp > Ile > Thr > Val > Leu > Gly > Pro > Arg > Ser > Glu > Met. The content of Ala had the highest relational grade with As content among the 17 amino acids with a value of 0.856 6, followed by Tyr and Cys and the lowest was Met. Tab 5, Ref 21

**Keywords** *Agaricus brasiliensis*; amino acid; selenium (Se); lanthanum (La); arsenic (As); grey system theory; relational grade

CLC S646.062

收稿日期: 2011-05-18 接受日期: 2011-06-08

\*国家科技支撑计划项目 (No. 2012BAD14B15) 和福建省农业科学院科技创新团队建设基金 (No. STIF-Y01) 资助 Supported by the National Science & Technology Pillar Program of China (No. 2007BAD89B13), and the Science and Technology Innovation Fund for Team Building of Fujian Academy of Agricultural Science and Technology of China (No. STIF-Y01)

\*\*通讯作者 Corresponding author (E-mail: boqiwen@yahoo.com.cn)

巴西蘑菇 (*Agaricus brasiliensis*) 又名姬松茸、太阳菇, 是一种食药兼用真菌。巴西蘑菇富含蛋白质、氨基酸、脂肪酸、微量元素及多糖复合体, 不仅味道鲜美, 有杏仁香味, 而且具有医疗保健作用, 对肿瘤特别是腹水癌、痔疮、糖尿病、高血压、神经痛均有疗效, 受到国内外消费者的喜爱, 尤其是美国和日本, 已成为巴西蘑菇制品的消费大国<sup>[1-9]</sup>。

然而, 最危险重金属元素之一的砷 (Arsenic, As) 含量普遍超标严重影响了巴西蘑菇的品质。砷能够通过消化道、呼吸道和皮肤侵入人体, 吸收后14 d左右到达皮肤、毛发、指甲, 然后分布到肝、肾、肺、骨骼蓄积, 甚至可在子宫、胎盘蓄积; 体内蓄积后发病主要表现为末梢神经引发四肢疼痛、行走困难, 手掌皮肤角化、皲裂、肝肾功能改变等, 还有致皮肤癌、肺癌、膀胱癌、肾癌和肝内血管肉瘤及致畸作用等等<sup>[10-11]</sup>, 直接影响人体健康。

本研究首次运用灰色系统理论对巴西蘑菇子实体中砷含量与17种氨基酸含量的关系进行关联度分析和评判以期为添加硒镧用量栽培砷含量低的巴西蘑菇提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试菌种为巴西蘑菇 J<sub>1</sub>, 由福建省农业科学院食用菌开发应用研究中心提供。试验用硒 (Selenium, Se)、镧 (Lanthanum, La) 分别为亚硒酸钠和氯化镧, 购于国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 培养料配方

稻草35.7%、棉子壳35.7%、麦皮13.29%、牛粪14.29%、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.02%、CaCO<sub>3</sub> 1%, pH调至8。

### 1.3 试验方法

试验共设5个处理, 分别为Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0 mg/kg + LaCl<sub>3</sub> 0 mg/kg (对照, B<sub>0</sub>)、Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 21.905 mg/kg + LaCl<sub>3</sub> 17.667 mg/kg (B<sub>1</sub>)、Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 43.810 mg/kg + LaCl<sub>3</sub> 35.335 mg/kg (B<sub>2</sub>)、Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 65.714 mg/kg + LaCl<sub>3</sub> 53.002 mg/kg (B<sub>3</sub>)、Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 87.619 mg/kg + LaCl<sub>3</sub> 70.670 mg/kg (B<sub>4</sub>)。将亚硒酸钠和氯化镧分别配制成相应浓度的水溶液, 每处理按1:1.8料水比分别加入培养料中拌匀后装入塑料袋, 每处理3个重复, 每重复18袋, 每袋料150 g, 高压灭菌。待料温度冷却至26℃左右接种。接种后置于23~26℃培养室培养, 菌丝走透塑料袋底后, 移入栽培室覆土, 覆土厚度3~4 cm。栽培室温度控制在22~23℃, 空气相对湿度控制在85%~95%之间。巴西蘑菇子实体长至菌盖刚离开菌柄, 菌膜未破裂时采收、经75℃烘干后, 粉碎作分析样品。

氨基酸的测定采用日立8810型氨基酸自动分析仪。砷含量测定采用原子吸收法<sup>[12]</sup>。所有数据处理应用Excel2003和DPS7.05软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 硒镧复合作用对巴西蘑菇子实体氨基酸含量与砷含量的影响

通过测定, 得到17种氨基酸含量和砷含量的原始数据, 见表1。

表1 各硒镧复合处理的砷含量 (w/mg kg<sup>-1</sup>) 与氨基酸含量 [w/g (100 g)<sup>-1</sup>]

Table 1 As content (w/mg kg<sup>-1</sup>) and amino acid contents [w/g (100 g)<sup>-1</sup>] under different Se-La treatments

| 氨基酸/砷<br>Amino acid/As | B <sub>0</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Asp (X <sub>1</sub> )  | 2.30           | 2.24           | 2.38           | 2.07           | 1.96           |
| Thr (X <sub>2</sub> )  | 1.20           | 1.20           | 1.32           | 1.08           | 0.96           |
| Ser (X <sub>3</sub> )  | 1.12           | 1.12           | 1.21           | 0.99           | 0.96           |
| Glu (X <sub>4</sub> )  | 3.28           | 4.20           | 4.01           | 3.16           | 2.96           |
| Gly (X <sub>5</sub> )  | 1.28           | 1.23           | 1.39           | 1.07           | 1.00           |
| Ala (X <sub>6</sub> )  | 2.27           | 2.10           | 2.52           | 1.88           | 1.37           |
| Cys (X <sub>7</sub> )  | 0.19           | 0.18           | 0.21           | 0.15           | 0.11           |
| Val (X <sub>8</sub> )  | 1.38           | 1.31           | 1.46           | 1.14           | 1.08           |
| Met (X <sub>9</sub> )  | 1.55           | 1.77           | 1.71           | 1.88           | 2.00           |
| Ile (X <sub>10</sub> ) | 0.94           | 0.86           | 0.99           | 0.74           | 0.72           |
| Leu (X <sub>11</sub> ) | 1.74           | 1.67           | 1.85           | 1.46           | 1.38           |
| Tyr (X <sub>12</sub> ) | 0.63           | 0.60           | 0.67           | 0.55           | 0.46           |
| Phe (X <sub>13</sub> ) | 1.27           | 1.17           | 1.32           | 1.05           | 0.96           |
| Lys (X <sub>14</sub> ) | 1.71           | 1.60           | 1.77           | 1.36           | 1.26           |
| His (X <sub>15</sub> ) | 0.57           | 0.56           | 0.62           | 0.48           | 0.41           |
| Arg (X <sub>16</sub> ) | 1.39           | 1.37           | 1.56           | 1.19           | 1.12           |
| Pro (X <sub>17</sub> ) | 1.12           | 1.06           | 1.20           | 0.96           | 0.94           |
| As (X <sub>0</sub> )   | 0.11aA         | 0.08bB         | 0.10 aA        | 0.08 bB        | 0.05cC         |

B<sub>0</sub>: Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0 mg/kg + LaCl<sub>3</sub> 0 mg/kg (Control); B<sub>1</sub>: Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 21.905 mg/kg + LaCl<sub>3</sub> 17.667 mg/kg; B<sub>2</sub>: Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 43.810 mg/kg + LaCl<sub>3</sub> 35.335 mg/kg; B<sub>3</sub>: Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 65.714 mg/kg + LaCl<sub>3</sub> 53.002 mg/kg; B<sub>4</sub>: Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 87.619 mg/kg + LaCl<sub>3</sub> 70.670 mg/kg

由表1砷可知, B<sub>1</sub>、B<sub>3</sub>和B<sub>4</sub>处理的巴西蘑菇子实体砷含量平均比对照分别低了23.81%、23.81%和52.38%, 与对照间的差异达极显著水平, 其中B<sub>2</sub>处理与对照间的差异不显著。由此可见, 硒镧浓度对巴西蘑菇子实体砷含量有一定效应, 砷含量达国家卫生标准。

### 2.2 硒镧复合作用下巴西蘑菇子实体氨基酸含量与砷含量的灰色关联分析

2.2.1 灰色关联分析原理和方法 根据灰色关联分析原理, 通过设立一条标准参考数据列曲线, 将各个参评的比较数据按一定的规则进行比较计算, 用关联度表示相似度, 曲线形状越相似, 关联度越大, 相似性越好。

运用灰色关联分析和评价硒镧复合作用下巴西蘑菇子实体氨基酸含量与金属砷含量的关系时, 具体条件要求确定参考序列, 参考函数砷含量X<sub>0</sub>(K); 比较函数天门冬氨酸X<sub>1</sub>(K)、苏氨酸X<sub>2</sub>(K)、丝氨酸X<sub>3</sub>(K)、谷氨酸X<sub>4</sub>(K)、甘氨酸X<sub>5</sub>(K)、丙氨酸X<sub>6</sub>(K)、胱氨酸X<sub>7</sub>(K)、缬氨酸X<sub>8</sub>(K)、蛋氨酸X<sub>9</sub>(K)、异亮氨酸X<sub>10</sub>(K)、亮氨酸X<sub>11</sub>(K)、酪氨酸X<sub>12</sub>(K)、苯丙氨

酸 $X_{13}(K)$ 、赖氨酸 $X_{14}(K)$ 、组氨酸 $X_{15}(K)$ 、精氨酸 $X_{16}(K)$ 、脯氨酸 $X_{17}(K)$ 。

2.2.2 硒铜复合作用下巴西蘑菇子实体氨基酸含量与砷含量的原始数据无量纲化(标准化) 将表1的数据按照参考函数砷含量 $X_0(K)$ 标准化,见表2。

表2 各硒铜复合处理数据标准化结果

Table 2 Data standardization under different Se-La treatments

| 氨基酸/砷<br>Amino acid/As | B <sub>0</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Asp ( $X_1$ )          | 0.6404         | 0.2911         | 1.1062         | -0.6987        | -1.3391        |
| Thr ( $X_2$ )          | 0.3508         | 0.3508         | 1.2279         | -0.5262        | -1.4033        |
| Ser ( $X_3$ )          | 0.3876         | 0.3876         | 1.2597         | -0.8721        | -1.1628        |
| Glu ( $X_4$ )          | -0.4412        | 1.2362         | 0.8897         | -0.6600        | -1.0247        |
| Gly ( $X_5$ )          | 0.5436         | 0.2275         | 1.2389         | -0.7838        | -1.2262        |
| Ala ( $X_6$ )          | 0.5549         | 0.1651         | 1.1282         | -0.3394        | -1.5089        |
| Cys ( $X_7$ )          | 0.5643         | 0.3078         | 1.0773         | -0.4617        | -1.4877        |
| Val ( $X_8$ )          | 0.6615         | 0.2246         | 1.1607         | -0.8362        | -1.2106        |
| Met ( $X_9$ )          | -1.3607        | -0.0704        | -0.4223        | 0.5748         | 1.2786         |
| Ile ( $X_{10}$ )       | 0.7553         | 0.0839         | 1.1749         | -0.9231        | -1.0909        |
| Leu ( $X_{11}$ )       | 0.6136         | 0.2557         | 1.1760         | -0.8181        | -1.2271        |
| Tyr ( $X_{12}$ )       | 0.5922         | 0.2221         | 1.0857         | -0.3948        | -1.5051        |
| Phe ( $X_{13}$ )       | 0.7745         | 0.1068         | 1.1084         | -0.6944        | -1.2953        |
| Lys ( $X_{14}$ )       | 0.7676         | 0.2709         | 1.0385         | -0.8127        | -1.2643        |
| His ( $X_{15}$ )       | 0.5067         | 0.3861         | 1.1100         | -0.5791        | -1.4237        |
| Arg ( $X_{16}$ )       | 0.3669         | 0.2522         | 1.3414         | -0.7796        | -1.1809        |
| Pro ( $X_{17}$ )       | 0.5872         | 0.0367         | 1.3212         | -0.8808        | -1.0643        |
| As ( $X_0$ )           | 1.1294         | -0.1737        | 0.6950         | -0.1737        | -1.4769        |

2.2.3 硒铜复合作用下巴西蘑菇子实体氨基酸含量与砷含量的绝对差值 按公式 $\Delta_{0i}(K) = X_i(K) - X_0(K)$ 列出绝对差数 ( $i = 1, 2, \dots, 17$ ),见表3。

2.2.4 硒铜复合作用下巴西蘑菇子实体氨基酸含量与砷含量的关联系数 1) 决定分辨系数:取 $P = 0.5$ 。2) 计算关联系数的公式为:

$$\varepsilon_{0i} = \frac{\Delta_{\min} + P \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(K) + P \cdot \Delta_{\max}}$$

将表3中的数据代入上式分别求出相应的关联系数,见表4。

由表4可知,5种硒铜浓度处理的关联度大小顺序为:  $B_4 > B_1 > B_2 > B_0 > B_3$ 。其中 $B_4$ 处理关联度最大,为0.835 1,  $B_2$ 处理关联度最小,为0.726 9。说明硒铜浓度对巴西蘑菇砷含量与各氨基酸含量有一定效应。

2.2.5 硒铜复合作用下巴西蘑菇子实体氨基酸含量与砷含量的

关联度及排序 关联度公式为  $r_{0i} = 1/N \sum_{K=1}^N \varepsilon_{0i}(K)$ 。将表4中的数据代入公式分别求出相应的关联度,见表5。

由表5可知,各氨基酸含量与砷含量的关联度顺序为:丙氨酸>酪氨酸>胱氨酸>苯丙氨酸>赖氨酸>组氨酸>天门冬氨酸>异亮氨酸>苏氨酸>缬氨酸>亮氨酸>甘氨酸>脯氨酸>精氨酸>丝氨酸>谷氨酸>甲硫氨酸。其中丙氨酸含量与重金属砷含量关联度最大,为0.856 6,关联度越大,相似程度就

表3 各硒铜复合处理砷含量与氨基酸含量的绝对差值

Table 3 Absolute differences between As content and amino acid contents under different Se-La treatments

| 氨基酸/砷<br>Amino acid/As | B <sub>0</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Asp ( $X_1$ )          | 0.4889         | 0.4649         | 0.4112         | 0.5249         | 0.1378         |
| Thr ( $X_2$ )          | 0.7785         | 0.5246         | 0.5329         | 0.3525         | 0.0736         |
| Ser ( $X_3$ )          | 0.7418         | 0.5614         | 0.5647         | 0.6984         | 0.3141         |
| Glu ( $X_4$ )          | 1.5706         | 1.4099         | 0.1948         | 0.4863         | 0.4522         |
| Gly ( $X_5$ )          | 0.5858         | 0.4013         | 0.5439         | 0.6100         | 0.2506         |
| Ala ( $X_6$ )          | 0.5744         | 0.3389         | 0.4332         | 0.1656         | 0.0320         |
| Cys ( $X_7$ )          | 0.5651         | 0.4815         | 0.3823         | 0.2879         | 0.0108         |
| Val ( $X_8$ )          | 0.4679         | 0.3984         | 0.4657         | 0.6624         | 0.2663         |
| Met ( $X_9$ )          | 2.4901         | 0.1034         | 1.1173         | 0.7485         | 2.7555         |
| Ile ( $X_{10}$ )       | 0.3741         | 0.2577         | 0.4799         | 0.7494         | 0.3859         |
| Leu ( $X_{11}$ )       | 0.5158         | 0.4294         | 0.4810         | 0.6443         | 0.2497         |
| Tyr ( $X_{12}$ )       | 0.5372         | 0.3958         | 0.3907         | 0.2210         | 0.0283         |
| Phe ( $X_{13}$ )       | 0.3548         | 0.2806         | 0.4134         | 0.5207         | 0.1815         |
| Lys ( $X_{14}$ )       | 0.3618         | 0.4447         | 0.3435         | 0.6390         | 0.2126         |
| His ( $X_{15}$ )       | 0.6226         | 0.5598         | 0.4150         | 0.4054         | 0.0532         |
| Arg ( $X_{16}$ )       | 0.7625         | 0.4260         | 0.6464         | 0.6059         | 0.2960         |
| Pro ( $X_{17}$ )       | 0.5422         | 0.2104         | 0.6262         | 0.7070         | 0.4126         |
| As ( $X_0$ )           | 1.0148         | -0.1384        | 0.7842         | -0.1384        | -1.5222        |

表4 各硒铜复合处理砷含量与氨基酸含量的关联系数

Table 4 Relational coefficients of As content and amino acid contents under different Se-La treatments

| 氨基酸/砷<br>Amino acid/As  | B <sub>0</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Asp ( $X_1$ )           | 0.7970         | 0.7730         | 0.8211         | 0.7215         | 0.8930         |
| Thr ( $X_2$ )           | 0.6853         | 0.7486         | 0.7670         | 0.7909         | 0.9307         |
| Ser ( $X_3$ )           | 0.6977         | 0.7343         | 0.7540         | 0.6630         | 0.8037         |
| Glu ( $X_4$ )           | 0.4955         | 0.5101         | 0.9389         | 0.7360         | 0.7453         |
| Gly ( $X_5$ )           | 0.7558         | 0.8008         | 0.7625         | 0.6915         | 0.8337         |
| Ala ( $X_6$ )           | 0.7604         | 0.8300         | 0.8108         | 0.8830         | 1.0000         |
| Cys ( $X_7$ )           | 0.7642         | 0.7660         | 0.8351         | 0.8205         | 0.9853         |
| Val ( $X_8$ )           | 0.8065         | 0.8021         | 0.7960         | 0.6743         | 0.8261         |
| Met ( $X_9$ )           | 0.3750         | 0.9628         | 0.5429         | 0.6694         | 0.3370         |
| Ile ( $X_{10}$ )        | 0.8520         | 0.8715         | 0.7897         | 0.6475         | 0.7723         |
| Leu ( $X_{11}$ )        | 0.7851         | 0.7882         | 0.7892         | 0.6802         | 0.8342         |
| Tyr ( $X_{12}$ )        | 0.7759         | 0.8033         | 0.8310         | 0.8536         | 0.9974         |
| Phe ( $X_{13}$ )        | 0.8620         | 0.8594         | 0.8201         | 0.7231         | 0.8691         |
| Lys ( $X_{14}$ )        | 0.8583         | 0.7816         | 0.8546         | 0.6819         | 0.8528         |
| His ( $X_{15}$ )        | 0.7412         | 0.7349         | 0.8193         | 0.7683         | 0.9433         |
| Arg ( $X_{16}$ )        | 0.6907         | 0.7897         | 0.7226         | 0.6930         | 0.8121         |
| Pro ( $X_{17}$ )        | 0.7738         | 0.8975         | 0.7302         | 0.6603         | 0.7612         |
| 关联度<br>Relational grade | 0.7339         | 0.7914         | 0.7874         | 0.7269         | 0.8351         |
| 排序 Order                | 4              | 2              | 3              | 5              | 1              |

越高,说明硒铜复合作用下巴西蘑菇子实体中17种氨基酸中丙氨酸含量与重金属砷含量的关系最为密切,其次是酪氨酸和胱氨酸。关联度最小的是甲硫氨酸。

### 3 讨论

目前,国内外有关运用关联度分析硒铜复合作用巴西蘑菇氨基酸含量与砷含量的关系少见报道。江枝和等对硒铜复



表5 各硒镧复合处理砷含量与各氨基酸含量的关联度及排序  
Table 5 Relational grade of As content and amino acid contents  
and its order under different Se-La treatments

| 氨基酸/砷<br>Amino acid/As | 关联度<br>Relational grade | 排序<br>Order |
|------------------------|-------------------------|-------------|
| Asp ( $X_1$ )          | 0.8007                  | 7           |
| Thr ( $X_2$ )          | 0.7841                  | 9           |
| Ser ( $X_3$ )          | 0.7301                  | 15          |
| Glu ( $X_4$ )          | 0.6847                  | 16          |
| Gly ( $X_5$ )          | 0.7684                  | 12          |
| Ala ( $X_6$ )          | 0.8566                  | 1           |
| Cys ( $X_7$ )          | 0.8339                  | 3           |
| Val ( $X_8$ )          | 0.7806                  | 10          |
| Met ( $X_9$ )          | 0.577                   | 17          |
| Ile ( $X_{10}$ )       | 0.7862                  | 8           |
| Leu ( $X_{11}$ )       | 0.775                   | 11          |
| Tyr ( $X_{12}$ )       | 0.8519                  | 2           |
| Phe ( $X_{13}$ )       | 0.8264                  | 4           |
| Lys ( $X_{14}$ )       | 0.8055                  | 5           |
| His ( $X_{15}$ )       | 0.801                   | 6           |
| Arg ( $X_{16}$ )       | 0.7412                  | 14          |
| Pro ( $X_{17}$ )       | 0.7642                  | 13          |

合作用下巴西蘑菇氨基酸数量性状进行了因子分析<sup>[20]</sup>, 结果表明, 硒镧复合作用下巴西蘑菇氨基酸的17个数量性状可提取为2个公因子, 其累积方差贡献率达93.66%, 具有较好地反映这些性状所包含的信息. 按照主因子所包含的性状及其所反映的营养学和药学含义, 可把2个主因子命名为芳香族氨基酸、支链氨基酸因子和鲜味氨基酸因子. 一个二因子的模型能够合理地解释氨基酸含量间的相关关系. 其因子得分可用于对硒镧复合作用下氨基酸质量的综合评价, 证实了氨基酸含量与硒镧复合作用下巴西蘑菇含量之间大部分存在着极显著相关性. 江枝和等采用混合培养料试验和电子显微技术, 观察了不同硒镧配施水平对巴西蘑菇子实体盖皮、菌褶表面形态及孢子和囊状体数量特征的影响<sup>[21]</sup>, 结果表明, 低浓度硒镧配施 ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  21.905 mg/kg +  $\text{LaCl}_3$  17.667 mg/kg) 处理时, 随着硒镧配施浓度升高, 孢子数极显著增加, 达到峰值后则极显著减少; 低浓度 ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  21.905 mg/kg +  $\text{LaCl}_3$  17.667 mg/kg) 和高浓度 ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  109.524 mg/kg +  $\text{LaCl}_3$  88.340 mg/kg) 处理后囊状体数极显著减少, 中浓度 ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  65.714 mg/kg +  $\text{LaCl}_3$  53.002 mg/kg) 处理囊状体数显著增加. 研究还发现硒镧配施对巴西蘑菇孢子长、宽、囊状体最大直径和最小直径以及菌盖皮菌丝最大宽度具有促进或抑制作用. 扫描电镜观察结果表明, 与对照相比, 中浓度硒镧配施 ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  65.714 mg/kg +  $\text{LaCl}_3$  3.002 mg/kg) 时, 孢子由正常椭圆形变成全部萎缩, 菌丝粗壮; 囊状体在较低硒镧配施浓度 ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  43.810 mg/kg +  $\text{LaCl}_3$  35.335 mg/kg) 处理时表面纹饰模糊、消失, 个别囊状体破裂表面带有藤蔓状的组织. 本研究结果表明, 随着硒镧浓度的增加, 氨基酸含量和砷含量变化明显, 通过灰色关联度分析可知: 丙氨酸、

酪氨酸和胱氨酸含量与砷含量关联度较大. 说明这几个氨基酸含量对砷含量影响较大. 因此, 今后在巴西蘑菇栽培上运用的硒镧浓度应进行合理的调控, 找出更能提高丙氨酸、酪氨酸和胱氨酸等氨基酸含量的处理; 并促进其协调一致, 最大限度发挥各氨基酸的重要作用, 降低砷含量. 本试验所用材料有一定的局限性, 仅为巴西蘑菇栽培提供参考. 至于不同地点、不同季节、不同培养料的巴西蘑菇氨基酸含量与砷含量的关系, 还需作进一步的研究.

## 4 结论

关联度分析表明: 硒镧浓度对巴西蘑菇子实体各氨基酸含量与砷含量有一定影响; 巴西蘑菇子实体17种氨基酸中丙氨酸含量与砷含量关联度最大, 酪氨酸含量与砷含量关联度位列第二, 甲硫氨酸含量与砷含量关联度最小. 了解17种氨基酸含量与砷含量的关系, 对添加硒镧栽培砷含量低的巴西蘑菇具有重要的指导意义.

## References

- 1 Takaku T, Kimura Y, Okuda H. Isolation of an antitumor compound from *Agaricus blazei* Murill and its mechanism of action. *J Nutr*, 2001, **131** (5): 1409~1413
- 2 Mizuno M, Minato K, Ito H. Anti-tumor polysaccharide from the mycelium of liquid-cultured *Agaricus blazei* Murill. *Biochem Mol Biol Int*, 1999, **47** (4): 707~714
- 3 Menoli RC, Mamovani MS, Ribeiro LR. Antitumor effects of the mushroom *Agaricus blazei* Murrill extracts on V 79 cells. *Mutat Res*, 2001, **496** (1/2): 5~13
- 4 Sorimachi KK, Ikehara YY, Maezato GG, Okubo AA, Yamazaki SS, Akimoto KK, Niwa AA. Inhibition by *Agaricus blazei* Murill fractions of cytopathic effect induced by western equine encephalitis (WEE) virus on VERO cells *in vitro*. *Biosci Biotechn Biochem*, 2001, **65** (7): 1645~1647
- 5 Sorimachi K, Akimoto K, Ikehara Y. Secretion of TNF- $\alpha$ , IL-8 and nitric oxide by macrophages activated with *Agaricus blazei* Murill fractions *in vitro*. *Cell Struct Funct*, 2001, **26** (2): 103~108
- 6 Ohno N, Furukawa M, Minra NN, Adachi Y, Motoi M, Yadomae T. Antitumor beta glucan from the cultured fruit body of *Agaricus blazei*. *Biolpharm Bull*, 2001, **24** (7): 820~828
- 7 Miyashita T, Reed JC. Tumor suppressor p53 is a direct transcriptional activator of the human bax gene. *Cell*, 1995, **80** (2): 293~299
- 8 Jiang ZH (江枝和), Weng BQ (翁伯琦), Wang YX (王义祥), Lin Y (林勇), Huang TJ (黄挺俊), Xiao SX (肖淑霞). Effect of irradiation with  $^{60}\text{Co}$  radiation on mycelial ultrastructure of *Agaricus blazei* Murill. *J Chin Electron Microsc Soc* (电子显微学报), 2006, **25** (5): 435~439
- 9 Jiang ZH (江枝和), Weng BQ (翁伯琦), Huang JM (黄俊民), Luo T

- (罗涛), Wang YX (王义祥), Lin Y (林勇). Effects of Co ray irradiation on the contents of Er, Dy, Tb, P, K and trace elements in fruitbodies of *Agaricus biazeti* Murill. *J Chin Electron Microsc Soc* (电子显微学报), 2005, **24** (3): 221~225
- 10 Xu CS (徐承水). Effects of pernicious trace elements on human health. *Trace Elements Sci* (广东微量元素科学), 1999, **6** (10): 1~3
- 11 Miao J (苗健), Gao Q (高琦), Xu SL (许思来). Trace Elements And Disease. Zhengzhou: Henan Medical University Press (郑州: 河南医科大学出版社), 1998. 1725
- 12 Liu WH (刘文涵), Hu W (胡伟), Zhou ZM (周执明). Determination of micro copper and magnesium in sweet potato by flame atomic absorption spectrometry. *J Zhejiang Univ Technol* (浙江工业大学学报), 2001, **29** (3): 264~267
- 13 Gong XM (工学萌), Zhang JZ (张继忠), Gong R (工荣). Gray System Analysis And Practical Calculation Program. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology (武汉: 华中科技大学出版社), 2001
- 14 Liu SF (刘思峰), Dang YG (党耀国), Fang ZG (方志耕). The Gray System theory and application. Beijing: Science Press (北京: 科学出版社), 2004
- 15 Yuan XZ (袁喜祖). The Gray System Theory and Application. Beijing: Science Press (科学出版社), 1991
- 16 Jiang ZH (江枝和), Weng BQ (翁伯琦), Lei JG (雷锦桂), Wang YX (王义祥), Luo T (罗涛). Effects of different k fertilizers on the yied and the contents of amino acids of *Pleurotus tuber-regium*'s sclerotium. *Chin J Eco-Agric* (中国生态农业学报), 2006, **14** (4): 165~167
- 17 Jiang ZH (江枝和), Weng BQ (翁伯琦), Lei JG (雷锦桂), Wang YX (王义祥), Tang XQ (唐翔虬). Effects of different N-sources on sclerotium yield and content of amino acids of *Peurotus tuber-regium*. *Chin J Trop Crops* (热带作物学报), 2007, **28** (2): 10~13
- 18 Yue YH (岳尧海), Zhou XH (周小辉), Yang XC (杨贤成), Ren J (任军). Analysis of grey correlated degree between yield trait and yield of summer maize. *J Maize Sci* (玉米科学), 2004, **12** (4): 21~22, 25
- 19 Liu TX (刘唐兴), Tu NM (屠乃美). Grey correlative degree analysis of main agronomic traits for fresh food waxy maize. *J Maize Sci* (玉米科学), 2006, **14** (4): 70~73
- 20 Jiang ZH (江枝和), Xiao SX (肖淑霞), Weng BQ (翁伯琦), Lei JG (雷锦桂), Tang XQ (唐翔虬), Wang YX (王义祥). Analysis on the factors affecting quantitative characters of animo acids in *Agaricus blazei* Murill under interaction of selenium and lanthanum. *Chin J Trop Crops* (热带作物学报), 2010, **18** (3): 542~547
- 21 Jiang ZH (江枝和), Weng BQ (翁伯琦), Wang YX (王义祥), Lei JG (雷锦桂). Multipie effects of Se and La on morphological and quantitative characters of *Agaricus brasiliensis* fruit bodies. *Mycosystema* (菌物学报), 2008, **27** (5): 680~687