

# 用关联度分析硒镧复合作用下 巴西蘑菇氨基酸含量与镉含量的关系

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>

(1.福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福州 350013; 2.福建省农业科学院农业生态研究所, 福州 350013; 3.福建省食用菌技术推广总站, 福州 350003)

**摘要:**用灰色系统理论分析硒镧添加栽培的巴西蘑菇子实体中 17 种氨基酸含量与重金属镉含量的关系,旨在为今后低镉巴西蘑菇的栽培提供科学依据。结果表明,在硒镧复合作用下巴西蘑菇子实体中的 17 种氨基酸中,组氨酸含量与重金属镉含量的关联度最大,为 0.79。关联度越大,相似程度就越高,说明硒镧复合作用下巴西蘑菇子实体中 17 种氨基酸中组氨酸含量与重金属镉含量的关系最为密切。其次是苏氨酸含量与重镉含量的关联度,第三是胱氨酸含量与重金属镉含量的关联度,最小是甲硫氨酸含量与金属镉含量的关联度。各处理的关联度及排序为  $B_4 > B_3 > B_1 > B_0 > B_2$ , 其中  $B_4$  处理的关联度最大,为 0.87,  $B_2$  处理的关联度最小,为 0.56,说明硒镧浓度对巴西蘑菇子实体镉含量与各氨基酸含量具有一定影响。

**关键词:**巴西蘑菇;氨基酸;镉;灰色系统理论;关联度

中图分类号:X836 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2012)06-1066-04

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

JIANG Zhi-he<sup>1</sup>, WENG Bo-qi<sup>2\*</sup>, LEI Jin-gui<sup>1</sup>, XIAO Shu-xia<sup>3</sup>, WANG Yi-xiang<sup>2</sup>

(1. Soil and Fertilizer Institute, Fujian Academy of Agriculture Science, Fuzhou 350013, China; 2. Institute of Agricultural Ecology, Fujian Academy of Agriculture Science, Fuzhou 350013, China; 3. Fujian General Station of Technology Popularization for Edible Fungus, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** The grey system theory was employed to analyze the relationships of 17 amino acids content and Cd content of *Agaricus brasiliensis* under interaction of selenium and lanthanum to study reasonable selenium and lanthanum amounts for producing low Cd-content mushroom. The results showed that, under the interaction of selenium and lanthanum, the relational grade of his content with Cd content was 0.79, which was the biggest among 17 amino acids. The Thr content was in the next relational grade with Cd content, the third position of grey relational grade was Cys and the lowest was Met. The high relational grade meant the more similarity, so the his content was the biggest relationship with Cd content. The order of relational grades in different treatments was  $B_4 > B_3 > B_1 > B_0 > B_2$ , among which,  $B_4$  got the biggest relational grade with the value of 0.87;  $B_2$  got the lowest grade with the value of 0.56. It meant the concentration of selenium and lanthanum had certain effects on Cd and amino acid contents in the fruit bodies of *Agaricus brasiliensis*.

**Keywords:** *Agaricus brasiliensis* S. Wasser; amino acid; Cd; grey system theory; relational grade

巴西蘑菇(*Agaricus blazei* Murrill)又名姬松茸等,是一种食药两用菌。该菇富含蛋白质、各类氨基酸、不饱

和脂肪酸及蛋白多糖的复合体,不仅味道鲜美,有杏仁香味,而且具有一定的医疗保健作用,对肿瘤特别是腹水癌、痔疮、糖尿病、高血压均有神奇的功效,因此备受国内外消费者的喜爱,尤其是美国和日本均为巴西蘑菇制品的消费大国<sup>[1-4]</sup>。

目前巴西蘑菇存在镉含量超标这一严重问题,抽样结果显示巴西蘑菇的镉含量在 16.35~35.2 mg·kg<sup>-1</sup>

收稿日期:2011-05-09

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2012BAD14B15)

作者简介:江枝和(1955—),男,福建福州人,研究员,从事食药两用菌育种、酶、品质与产业化栽培技术研究。

E-mail: zhihe10000@163.com

\* 通讯作者:翁伯琦 E-mail: boqi.weng@yahoo.com.cn

之间。镉是重金属中最危险的元素之一,它在人体和动物中的富集,不仅会引起贫血、高血压、肾损害、生殖细胞的选择性毒害,还使骨骼的生长代谢受阻,从而造成骨质疏松、萎缩、变形,还会引发肺水肿或化学性肺炎,表现出明显的呼吸困难、胸痛、咯大量泡沫血痰等可能诱发急性呼吸衰竭而死亡的现象,直接影响人体健康和生命<sup>[5-11]</sup>。鉴于国内外未见硒镉复合作用下巴西蘑菇氨基酸含量与镉含量关系的研究报道,作者就此问题首次利用硒镉复合作用下研究提高巴西蘑菇产质量,采用稻草、棉子壳、牛粪混合料试验,并用关联度分析探讨硒镉复合作用下巴西蘑菇氨基酸含量与镉含量的关系,就其 17 种氨基酸含量与镉含量进行灰色关联评判,为今后栽培镉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 J1,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、镉分别为亚硒酸钠和氯化镉,均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%、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.02%、 $\text{CaCO}_3$  1%、pH 调至 8(石灰)。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 试验设计

共设 5 个处理,分别为  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  0  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}+\text{LaCl}_3$  0  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (对照,  $B_0$ )、 $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  21.905  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}+\text{LaCl}_3$  17.667  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  ( $B_1$ )、 $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  43.810  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}+\text{LaCl}_3$  35.335  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  ( $B_2$ )、 $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  65.714  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}+\text{LaCl}_3$  53.002  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  ( $B_3$ )、 $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  87.619  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}+\text{LaCl}_3$  70.670  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  ( $B_4$ )。

将亚硒酸钠和氯化镉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。

#### 1.3.2 项目测定

将样品置于 6  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  盐酸浓液中于 110℃水解

24 h,用日立 8810 型氨基酸自动分析仪测定氨基酸含量。镉含量采用原子吸收法测定<sup>[12]</sup>。

### 1.3.3 数据分析

所有的数据处理应用 Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 硒镉复合作用下巴西蘑菇子实体的氨基酸含量与镉含量

由表 1 可知,镉含量的回归分析表明,硒镉处理的巴西蘑菇子实体镉含量与硒镉浓度呈极显著正相关关系( $R^2=0.998^{**}$ ),子实体镉含量随硒镉浓度的增高而减少。由此可知,硒镉浓度对巴西蘑菇子实体镉含量有一定效应。

### 2.2 硒镉复合作用下巴西蘑菇子实体氨基酸含量与镉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<sup>[13-19]</sup>。

运用灰色关联分析硒镉复合作用巴西蘑菇子实体氨基酸含量与金属镉含量的关系评价时,具体条件要求确定参考序列,参考函数镉含量  $X_0(K)$ ,比较函

表 1 各处理镉含量与各氨基酸含量

Table 1 Cd content and amino acid amounts in different treatments

| 指标 Index                                     | $B_0$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 天门冬氨酸 $X_1/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$   | 2.30  | 2.24  | 2.38  | 2.07  | 1.96  |
| 苏氨酸 $X_2/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$     | 1.20  | 1.20  | 1.32  | 1.08  | 0.96  |
| 丝氨酸 $X_3/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$     | 1.12  | 1.12  | 1.21  | 0.99  | 0.96  |
| 谷氨酸 $X_4/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$     | 3.28  | 4.2   | 4.01  | 3.16  | 2.96  |
| 甘氨酸 $X_5/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$     | 1.28  | 1.23  | 1.39  | 1.07  | 1.00  |
| 丙氨酸 $X_6/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$     | 2.27  | 2.10  | 2.52  | 1.88  | 1.37  |
| 胱氨酸 $X_7/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$     | 0.19  | 0.18  | 0.21  | 0.15  | 0.11  |
| 缬氨酸 $X_8/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$     | 1.38  | 1.31  | 1.46  | 1.14  | 1.08  |
| 甲硫氨酸 $X_9/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$    | 1.55  | 1.77  | 1.71  | 1.88  | 2.00  |
| 异亮氨酸 $X_{10}/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ | 0.94  | 0.86  | 0.99  | 0.74  | 0.72  |
| 亮氨酸 $X_{11}/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  | 1.74  | 1.67  | 1.85  | 1.46  | 1.38  |
| 酪氨酸 $X_{12}/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  | 0.63  | 0.6   | 0.67  | 0.55  | 0.46  |
| 苯丙氨酸 $X_{13}/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ | 1.27  | 1.17  | 1.32  | 1.05  | 0.96  |
| 赖氨酸 $X_{14}/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  | 1.71  | 1.6   | 1.77  | 1.36  | 1.26  |
| 组氨酸 $X_{15}/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  | 0.57  | 0.56  | 0.62  | 0.48  | 0.41  |
| 精氨酸 $X_{16}/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  | 1.39  | 1.37  | 1.56  | 1.19  | 1.12  |
| 脯氨酸 $X_{17}/\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  | 1.12  | 1.06  | 1.2   | 0.96  | 0.94  |
| 镉 $X_0/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$         | 10.50 | 9.50  | 7.95  | 6.65  | 4.70  |

数天门冬氨酸  $X_1(K)$ 、苏氨酸  $X_2(K)$ 、丝氨酸  $X_3(K)$ 、谷氨酸  $X_4(K)$ 、甘氨酸  $X_5(K)$ 、丙氨酸  $X_6(K)$ 、胱氨酸  $X_7(K)$ 、缬氨酸  $X_8(K)$ 、蛋氨酸  $X_9(K)$ 、异亮氨酸  $X_{10}(K)$ 、亮氨酸  $X_{11}(K)$ 、酪氨酸  $X_{12}(K)$ 、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 硒镉复合作用下巴西蘑菇子实体氨基酸含量与镉含量的关联系数

决定分辨系数:取  $P=0.5$ 。

$$\text{计算关联系数: } \varepsilon_{0i} = \frac{\Delta \min + P \cdot \Delta \max}{\Delta 0i(K) + P \cdot \Delta \max}$$

从表 2 可知,各处理镉含量与各氨基酸含量的关联度及排序为:  $B_4 > B_3 > B_1 > B_0 > B_2$ 。其中  $B_4$  处理关联度最大,为 0.87,  $B_2$  处理关联度最小,为 0.56,说明硒镉浓度对巴西蘑菇镉含量与各氨基酸含量有一定的影响。

### 2.2.3 镉复合作用下巴西蘑菇子实体氨基酸含量与镉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 2 中的数据代入公式分别求出相应的关联度,见表 3。

从表 3 可知,各处理氨基酸含量与镉含量的关联度顺序为:组氨酸>苏氨酸>胱氨酸>天门冬氨酸>苯

表 2 各处理镉含量与各氨基酸含量的关联系数  
Table 2 Relational coefficients of Cd contents and amino acid contents in different treatments

| 指标 Index             | $B_0$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 天门冬氨酸 Asp( $X_1$ )   | 0.72  | 0.76  | 0.55  | 0.89  | 0.97  |
| 苏氨酸 Thr( $X_2$ )     | 0.62  | 0.79  | 0.53  | 1.00  | 0.98  |
| 丝氨酸 Ser( $X_3$ )     | 0.64  | 0.80  | 0.52  | 0.79  | 0.86  |
| 谷氨酸 Glu( $X_4$ )     | 0.46  | 0.72  | 0.61  | 0.91  | 0.79  |
| 甘氨酸 Gly( $X_5$ )     | 0.69  | 0.73  | 0.53  | 0.84  | 0.90  |
| 丙氨酸 Ala( $X_6$ )     | 0.69  | 0.71  | 0.55  | 0.88  | 0.91  |
| 胱氨酸 Cys( $X_7$ )     | 0.69  | 0.77  | 0.56  | 0.95  | 0.92  |
| 缬氨酸 Val( $X_8$ )     | 0.73  | 0.73  | 0.54  | 0.81  | 0.89  |
| 甲硫氨酸 Met( $X_9$ )    | 0.35  | 0.63  | 0.74  | 0.55  | 0.33  |
| 异亮氨酸 Ile( $X_{10}$ ) | 0.77  | 0.68  | 0.54  | 0.77  | 0.82  |
| 亮氨酸 Leu( $X_{11}$ )  | 0.71  | 0.74  | 0.54  | 0.82  | 0.90  |
| 酪氨酸 Tyr( $X_{12}$ )  | 0.70  | 0.73  | 0.56  | 0.91  | 0.91  |
| 苯丙氨酸 Phe( $X_{13}$ ) | 0.78  | 0.69  | 0.55  | 0.89  | 0.94  |
| 赖氨酸 Lys( $X_{14}$ )  | 0.78  | 0.75  | 0.57  | 0.82  | 0.92  |
| 组氨酸 His( $X_{15}$ )  | 0.67  | 0.80  | 0.55  | 0.96  | 0.97  |
| 精氨酸 Arg( $X_{16}$ )  | 0.63  | 0.74  | 0.50  | 0.84  | 0.87  |
| 脯氨酸 Pro( $X_{17}$ )  | 0.70  | 0.66  | 0.51  | 0.79  | 0.81  |
| 关联度 Relationalgrade  | 0.67  | 0.73  | 0.56  | 0.85  | 0.87  |
| 排序 Order             | 4     | 3     | 5     | 2     | 1     |

表 3 各处理镉含量与各氨基酸含量的关联度及排序  
Table 3 Relational grade of Cd contents and amino acid contents and its order in different treatments

| 指标 Index             | 关联度 Relationalgrade | 排序 Order |
|----------------------|---------------------|----------|
| 天门冬氨酸 Asp( $X_1$ )   | 0.78                | 4        |
| 苏氨酸 Thr( $X_2$ )     | 0.78                | 2        |
| 丝氨酸 Ser( $X_3$ )     | 0.72                | 12       |
| 谷氨酸 Glu( $X_4$ )     | 0.70                | 15       |
| 甘氨酸 Gly( $X_5$ )     | 0.74                | 11       |
| 丙氨酸 Ala( $X_6$ )     | 0.75                | 8        |
| 胱氨酸 Cys( $X_7$ )     | 0.78                | 3        |
| 缬氨酸 Val( $X_8$ )     | 0.74                | 10       |
| 甲硫氨酸 Met( $X_9$ )    | 0.52                | 17       |
| 异亮氨酸 Ile( $X_{10}$ ) | 0.72                | 14       |
| 亮氨酸 Leu( $X_{11}$ )  | 0.74                | 9        |
| 酪氨酸 Tyr( $X_{12}$ )  | 0.76                | 7        |
| 苯丙氨酸 Phe( $X_{13}$ ) | 0.77                | 5        |
| 赖氨酸 Lys( $X_{14}$ )  | 0.77                | 6        |
| 组氨酸 His( $X_{15}$ )  | 0.79                | 1        |
| 精氨酸 Arg( $X_{16}$ )  | 0.72                | 13       |
| 脯氨酸 Pro( $X_{17}$ )  | 0.69                | 16       |

丙氨酸>赖氨酸>酪氨酸>丙氨酸>亮氨酸>缬氨酸>甘氨酸>丝氨酸>精氨酸>异亮氨酸>谷氨酸>脯氨酸>甲硫氨酸。其中组氨酸含量与重金属镉含量关联度最大,为 0.79,关联度越大,相似程度就越高,说明硒镉复合作用下巴西蘑菇子实体中 17 种氨基酸中组氨酸含量与重金属镉含量的关系最为密切,其次是苏氨酸和胱氨酸,关联度最小的是甲硫氨酸。

## 3 讨论

关于硒镉复合作用对食用菌作用机理的研究已有一些报道。江枝和等<sup>[20]</sup>研究表明,低浓度硒镉配施巴西蘑菇孢子数极显著增加,孢子长和菌盖皮菌丝最大宽度亦有不同程度的增加,并证实了巴西蘑菇子实体氨基酸含量与硒镉复合作用之间存在着显著的相关性<sup>[21]</sup>。但硒镉复合配施对食用菌对重金属吸收的影响还少见报道。本研究结果表明,随着硒镉浓度的增加,氨基酸含量和镉含量各指标变化明显,通过灰色关联度分析得知,组氨酸、苏氨酸、胱氨酸、天门冬氨酸和苯丙氨酸含量与镉含量关联度较大,说明这几个氨基酸含量对镉含量影响较大。因此,在今后巴西蘑菇栽培上硒镉浓度应进行合理的调控,选择出能更提高组氨酸、苏氨酸、胱氨酸等含量,并注意各氨基酸所起的重要作用,促进其协调一致,最大发挥降低镉含量的潜力。

本试验所用材料有一定的局限性,仅为巴西蘑菇

栽培上提供参考。至于不同地点、不同季节、不同材料栽培的巴西蘑菇氨基酸含量与镉含量的灰色关联度分析还需作进一步的研究。

## 4 结论

用灰色关联度分析表明, 巴西蘑菇子实体中 17 种氨基酸含量中组氨酸含量与重金属镉含量两者关联度最大, 苏氨酸含量与镉含量二者关联其次, 胱氨酸含量与镉含量二者关联度第三, 关联度最小的是甲硫氨酸。通过本研究了解了硒镉复合作用下巴西蘑菇子实体中 17 种氨基酸含量与镉含量的关系, 也进一步了解了不同硒镉浓度处理栽培巴西蘑菇镉含量与各氨基酸含量的关联度及排序大小, 故对今后栽培低镉的巴西蘑菇添加硒镉用量具有一定指导意义。

## 参考文献:

- [1] Takaku T, Kimura Y, Okuda H. Isolation of an antitumor compound from *Agaricus blazei* Murill and its mechanism of action[J]. *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[J]. *Biochem Mol Biol Int*, 1999, 47(4): 707-714.
- [3] Menoli R C, Mamovani M S, Ribeiro L R. Antitumor-genic effects of the mushroom *Agaricus blazei* Murrill extracts on V 79 cells[J]. *Mutat Res*, 2001, 496(1/2): 5-13.
- [4] Sorknachi Ikehara Y, Maezato G. Inhibition by *Agaricus blazei* Murill fractions of cytopathic effect induced by western equine encephalitis (WEE) virus on VERO cells in vitro[J]. *Biosci Biotechn Biochem*, 2001, 65(7): 1645-1647.
- [5] Sorhmachi K, Akimoto K, Ikehara Y. Secretion of TNF- $\alpha$ , IL-8 and nitric oxide by macrophages activated with *Agaricus blazei* Murill fractions in vitro[J]. *Cell Struct Funct*, 2001, 26(2): 103-108.
- [6] Ohno N, Furukawa M, Minra N N. Antitumor beta glucan from the cultured fruit body of *Agaricus blazei*[J]. *Biolpharm Bull*, 2001, 24(7): 820-828.
- [7] Miyashita T, Reed J C. Tumor suppressor p53 is a direct transcriptional activator of the human bax gene[J]. *Cell*, 1995, 80(2): 293-299.
- [8] 江枝和, 翁伯琦, 王义祥, 等.  $^{60}\text{Co}$  射线辐照对姬松茸菌丝体细胞超微结构的影响[J]. 电子显微学报, 2006, 25(5): 435-439.  
JIANG Zhi-he, WENG Bo-qi, WANG Yi-xiang, et al. Effect of irradiation with  $^{60}\text{Co}$  radiation on mycelial ultrastructure of *Agaricus blazei* Murill[J]. *Journal of Chinese Electron Microscop Society*, 2006, 25(5): 435-439.
- [9] 江枝和, 翁伯琦, 黄俊民, 等.  $^{60}\text{Co}$  射线辐照对姬松茸子实体中 Er、Dy、Tb 和 P、K 及微量元素含量的影响[J]. 电子显微学报, 2005, 24(3): 221-225.  
JIANG Zhi-he, WENG Bo-qi, HUANG Jun-min, et al. Effects of  $^{60}\text{Co}$  ray irradiation on the contents of Er, Dy, Tb, P, K and trace elements in fruitbodies of *Agaricus blazei* Murill[J]. *Journal of Chinese Electron Microscop Society*, 2005, 24(3): 221-225.
- [10] 徐承水. 环境中有害微量元素对人体健康的影响[J]. 广东微量元素科学, 1999, 6(10): 1-3.  
XU Chen-shui. Effects of pernicious trace elements on human health [J]. *Guangdong Trace Elements Science*, 1999, 6(10): 1-3.
- [11] 刘文涵, 胡伟, 周执明, 等. 原子吸收法测定甘薯中的微量铜镁[J]. 浙江工业大学学报, 2001, 29(3): 264-267.  
LIU Wen-han, HU Wei, ZHOU Zhi-ming, et al. Determination of micro copper and magnesium in sweet potato by flame atomic absorption spectrometry[J]. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2001, 29(3): 264-267.
- [12] 傅立. 灰色系统理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1992.  
FU Li. Grey system theory and its application[M]. Beijing: Scientific Press, 1992.
- [13] 易德生. 灰色理论与方法: 提要, 题解, 程序, 应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.  
YI De-sheng. Grey system theory and methods: Abstract, key, procedure and application[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992.
- [14] 江枝和, 翁伯琦, 雷锦桂, 等. 不同钾肥对虎奶菇菌核产量与氨基酸含量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 165-167.  
JIANG Zhi-he, WENG Bo-qi, LEI Jin-gui, et al. Effects of different K fertilizers on the yield and the contents of amino acids of *Pleurotus tuber-regium's* sclerotium[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(4): 165-167.
- [15] 江枝和, 翁伯琦, 雷锦桂, 等. 不同 N 源对虎奶菇菌核产量与各类氨基酸含量的影响[J]. 热带作物学报, 2007, 28(2): 10-13.  
JIANG Zhi-he, WENG Bo-qi, LEI Jin-gui, et al. Effects of different N-Sources on sclerotium yield and content of amino acids of *Pleurotus tuber-regium*[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2007, 28(2): 10-13.
- [16] 岳尧海, 周小辉, 杨贤成, 等. 夏玉米产量性状与产量的灰色关联度分析[J]. 玉米科学, 2004, 12(4): 21-22, 25.  
YUE Yao-hai, ZHOU Xiao-hui, YANG Xian-cheng, et al. Analysis of grey correlated degree between yield trait and yield of summer maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2004, 12(4): 21-22, 25.
- [17] 刘唐兴, 屠乃美. 糯玉米主要农艺性状与产量的灰色关联度分析[J]. 玉米科学, 2006, 14(4): 70-73.  
LIU Tang-xing, TU Nai-mei. Grey correlated degree analysis of main agronomic traits for fresh-food Waxy Maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(4): 70-73.
- [18] 胡丽慧, 潘安, 李铁松, 等. 灰色聚类法在升钟水库水体富营养化评价中的应用[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(6): 2407-2412.  
HU Li-hui, PAN An, LI Tie-song, et al. Application of the grey clustering method to assessing the eutrophication of Shengzhong Reservoir [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(6): 2407-2412.
- [19] 刘莉, 孙振钧, 刘成国, 等. 灰色理论 GM(1, 1) 模型在畜禽粪便产量预测中的应用[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 728-730.  
LIU Li, SUN Zhen-jun, LIU Cheng-guo, et al. Application of the GM(1, 1) model to forecast the total swine manure in Tanying Miyun Beijing[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(suppl): 728-730.
- [20] 江枝和, 肖淑霞, 翁伯琦, 等. 硒镉复合作用对姬松茸子实体形态和数量特征的影响[J]. 菌物学报, 2008, 27(5): 680-687.  
JIANG Zhi-he, XIAO Shu-xia, WENG Bo-qi, et al. Multiple effects of Se and La on morphological and quantitative characters of *Agaricus brasiliensis* fruit bodies[J]. *Mycosystema*, 2008, 27(5): 680-687.
- [21] 江枝和, 翁伯琦, 雷锦桂, 等. 硒镉复合作用下姬松茸氨基酸数量性状的因子分析[J]. 热带作物学报, 2010, 18(3): 542-547.  
JIANG Zhi-he, WENG Bo-qi, LEI Jin-gui, et al. Analysis on the factors affecting quantitative characters of amino acids in *Agaricus blazei* Murill under interaction of selenium and lanthanum[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2010, 18(3): 542-547.