

羊肚菌的研究进展

朱林 程显好 田吉腾 (鲁东大学生命科学学院, 山东烟台 264025)

摘要 综述了羊肚菌种类、分布、生态环境、形态特征、人工栽培技术、液体培养、营养成分、食用药用价值以及开发利用等方面的研究进展。

关键词 羊肚菌; 生态环境; 人工栽培; 液体培养; 营养成分

中图分类号 S646 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)10-04054-04

Research Progress on *Morchella*

ZHU Lin et al. (College of Life Science, Ludong University, Yantai, Shandong 264025)

Abstract Research progress on *Morchella* about the species, distribution, ecotope, morphological characteristics, artificial cultivation, liquid culture, the nutrient compositions, the edible and medicinal value and development and utilization etc. were summarized.

Key words *Morchella*; Ecotope; Artificial cultivation; Liquid culture; Nutritional ingredient

羊肚菌(*Morchella esculenta* L.) 又名美味羊肚菌, 俗称羊雀菌、包谷菌等, 按 *Answorth* 分类系统隶属于子囊菌亚门(*Ascomycotina*)、盘菌纲(*Discomycetes*)、盘菌目(*Pezizales*)、羊肚菌科(*Morchellaceae*)、羊肚菌属(*Morchella*)。羊肚菌具有极高的营养价值和药用价值, 是一类大型的食用兼药用真菌。由于近年来国内外对羊肚菌的需求量和供应量不平衡, 价格连年攀升。为此, 笔者对近年羊肚菌的研究进展进行了综述。

1 种类与分布

据调查, 全球羊肚菌属共有30多个种, 分布于亚洲、欧洲、北美洲及大洋洲的一些地区, 所以羊肚菌的分布是世界性的。羊肚菌多分布在河边、山坡、峡谷、火烧林、公路边、树林中等生态位置。目前我国报道的羊肚菌种类有15种之多, 分布于我国的西北、西南、华中、华北、华东、华南等地^[1-5]。表1列出了我国羊肚菌属的种类与分布地区^[1-3]。

表1 中国羊肚菌属的种类及分布

Table 1 The species and distribution of *Morchella* in China

种类	学名	分布地区
Species	Scientific name	Distribution area
小顶羊肚菌	<i>M. angusticeps</i>	西北、西南、华中、华北、华南
开裂羊肚菌	<i>M. distans</i>	西南、华南
花园羊肚菌	<i>M. hortensis</i>	西北
高羊肚菌	<i>M. elata</i>	西北、华南
离柄羊肚菌	<i>M. semilibera</i>	华南
小羊肚菌	<i>M. deliciosa</i>	西北、西南、华中、华北、华东、华南
尖顶羊肚菌	<i>M. conica</i>	西北、西南、华中、华东、华南等
紫变羊肚菌	<i>M. purpurascens</i>	西南、华南
褐羊肚菌	<i>M. umbrina</i>	西南、华南
粗柄羊肚菌	<i>M. crassipes</i>	西北、西南、华中、华北、华东、华南
普通羊肚菌	<i>M. vulgaris</i>	华北
肋脉羊肚菌	<i>M. costata</i>	西南、华南
宽圆羊肚菌	<i>M. robusta</i>	华南等
硬羊肚菌	<i>M. rigida</i>	西南
羊肚菌	<i>M. esculenta</i>	西北、西南、华中、华北、华东、华南

2 生态环境

2.1 土壤及植被 羊肚菌多生长在阔叶林或针阔混交林的腐殖质层上。发生的土壤类型有黑壤土、山地灰褐森林土、

沙壤土、黄壤土等^[6]。羊肚菌也常发生在火烧地上。火烧林中, 在被火烧过的杨、桦、松等树桩旁均曾发现过羊肚菌, 而且火烧次年羊肚菌发生的旺期, 第3年则明显减少^[2,5]。这表明羊肚菌能够在短时间内耐受高温。羊肚菌在火烧次年的大量萌发和烧后第3年的锐减则表明火烧可能为其提供特殊的营养源。羊肚菌生长要求的适宜pH值为6.3~7.5。有研究表明, 羊肚菌对营养基质酸性的要求随培养基深度的增加而增大^[7]。

2.2 气候 羊肚菌子实体的生长季节在每年的3~5月和8~9月, 当时气温达10~20℃, 地表温度达12~24℃, 月降水量一般35~60 mm^[2-3]。所以, 羊肚菌是在低温、高湿条件下萌发子实体的。有研究表明, 羊肚菌的野外发生条件主要取决于上年度11月的降雨量, 而当年羊肚菌发生的迟早取决于当年春季5 cm表层土壤温度是否稳定通过11.5℃^[6]。

3 形态特征

羊肚菌的菌丝体呈白色, 有分隔, 分隔处有缢缩, 隔膜上有孔洞, 多核, 无锁状联合, 异宗接合, 常产生菌核(一种坚硬的、无性细胞团, 是羊肚菌的营养贮藏器官, 在休眠阶段可使其渡过不良的气候条件), 尚未发现有分生孢子或其他无性孢子出现。菌丝有短茸毛和颗粒状2种类型。颗粒状菌丝可能是营养衰竭或不良外界条件的应变形态。

羊肚菌子实体的菌盖近球形或圆锥形, 边缘全部与柄相连, 表面起伏成蜂窝状网棱纹, 因其形状像羊肚而被称作羊肚菌。菌柄内部空心, 外面平整或有凹槽, 颜色从灰白到深褐色, 子实体沿菌盖下陷部分生长。子囊呈圆柱形, 每个子囊含8个子囊孢子, 单行排列, 子囊之间有长的侧丝, 子囊孢子呈卵圆形^[2,8-10]。

4 人工栽培

4.1 纯种的分离和培养

4.1.1 用于羊肚菌母种的分离和移接的培养基。培养基1^[11]: 马铃薯200 g/L(煮汁), 蔗糖20 g/L, 琼脂20 g/L, 蛋白胨0.5 g/L, 牛肉膏0.5 g/L, 按常规制成斜面, 接种后置于18~22℃培养, 7 d左右菌丝可以长满斜面。

培养基2^[12]: 黄豆芽300 g/L(煮汁), 羊肚菌基脚土100 g/L(悬液), 玉米粉100 g/L, 麸皮40 g/L, 蔗糖20 g/L, 苹果50 g/L, 磷酸二氢钾1 g/L, 硫酸镁1 g/L, 琼脂20 g/L。

培养基3^[13]: 小麦50 g/L, 苹果渣50 g/L(煮汁), 磷酸二

作者简介 朱林(1982-), 男, 山东龙口人, 硕士研究生, 研究方向: 菌物生态。

收稿日期 2008-01-11

氢铵2 g/L, 氯化钾0.5 g/L, 葡萄糖20 g/L, 硝酸钾0.1 g/L, 硫酸亚铁0.01 g/L, 琼脂20 g/L, 硫酸镁0.05 g/L, pH 值7.0 ~ 7.5。

4.1.2 用于羊肚菌原种、栽培种的培养基。培养基 A^[12]: 杂木屑75%, 黄豆粉5%, 麸皮10%, 玉米粉5%, 石膏1%, 糖1%, 林下腐殖质土2%, 过磷酸钙1%, pH 值自然。培养基 B^[14]: 棉籽壳70%, 玉米芯20%, 麸皮5%, 羊肚菌渣2%, 葡萄糖1%, 过磷酸钙1%, 石灰1%, 维生素B₁ 10 ng/kg。培养基 C^[13]: 杂木屑65%, 麸皮20%, 松针粉10%, 腐殖质土2%, 葡萄糖1%, 石膏1%, 过磷酸钙1%, 磷酸二氢钾0.1%, pH 值6.5 ~ 7.0。

4.2 影响羊肚菌菌核形成的因素 许多研究者认为, 羊肚菌的生活史中有一个菌核阶段。它是形成子实体的必经阶段。但并不是羊肚菌属中所有种都有菌核这一阶段^[9]。赵永昌等曾以羊肚菌、尖顶羊肚菌等5个菌种10个菌株为材料, 在11种培养基中培养, 观察其菌核的形成, 结果表明不同种菌核形成能力之间差异较大, 其中以羊肚菌在11种培养基中长势较好, 菌核形成能力也较强^[15]。从人工栽培的实际应用来看, 目前分布最广、数量最多、应用最多的就是羊肚菌。既然菌核是形成子实体的必经阶段, 在人工栽培中促进菌核的形成就显得非常重要。

4.2.1 促进菌核形成的物质。氮源中磷酸氢二铵、酒石酸铵(浓度均为0.2%), 碳源中葡萄糖、甘露糖、甘露醇(浓度均为5%), 羊肚菌产地的土壤浸出液加木薯粉(浓度为5%), 都有利于菌核的形成^[15]。陈慧群等报道, 采用香樟油的樟渣块也能促进羊肚菌菌丝生长和菌核形成^[16]。

4.2.2 有利于菌核形成的生态条件。一般, 羊肚菌在10 ~ 30 均能产核, 但15 ~ 20 是其产核的最适温度范围^[17-18]。培养基pH 值在5 ~ 7 时最有利于菌核的形成^[18]。在培养基中使用碱性的氮源有利于菌核的形成^[15]。光照会影响菌核的形成, 避光培养有利于菌核的形成, 因此在人工栽培中应覆土^[19]。

4.3 羊肚菌子实体的栽培

4.3.1 栽培场所。李素玲等分别以苹果园、杨树林地以及平菇房作为栽培场所进行对比试验, 结果表明栽培效果以杨树林地最好, 苹果园次之, 平菇房最差^[14]。杨树林地效果最好可能是因为它最接近羊肚菌的自然生长条件; 苹果园也较为适合, 与杨树林地一样都具有半阴半阳的光照条件、较充足的水源、较好的通气性。平菇房内难以形成半阴半阳的光照条件且通风不好。因此, 选择栽培羊肚菌的栽培场所一定要考虑光照、水分、通气等条件。

4.3.2 栽培原料及配方。李素玲等采用不同栽培料的配方对羊肚菌 M₄₁ 菌株和黑脉羊肚菌 M₄₃ 菌株进行对比试验, 结果表明能形成菌核和长出子实体的配方有添加草木灰的配方、添加北芪渣的配方和添加杨树根土的配方3种^[14]。在3种配方中, 以添加北芪渣的配方作为培养料最为理想。

4.3.3 覆土栽培措施。覆土栽培有利于羊肚菌菌核和子实体的形成。张宗周曾对羊肚菌根际土壤和根外土壤进行微生物区系的分析, 结果表明羊肚菌根际土壤的微生物数量明显低于根外, 但放线菌的数量却比根外多^[19]。这说明放线

菌的某些产物及羊肚菌的根际其他产物可抑制多种微生物的生长, 有利于羊肚菌形成菌核和子实体。在人工栽培中覆盖一层林下腐殖质土或肥土有利于子实体的形成。此外, 人工栽培羊肚菌还应注意栽培季节和气候条件, 最好采用浅层播撒的方式, 覆土后最好覆盖一层塑料薄膜用以保温、保湿。

5 羊肚菌菌丝体的液体培养

羊肚菌的人工栽培既要保证菌丝体充分的营养生长, 形成原基产生的营养生理条件, 又要采取有效的诱导措施, 诱导有性生殖过程(子实体发生)。而目前对子实体的发生机制还缺乏深入研究。所以, 目前羊肚菌子实体的人工栽培尚不能实现商业化大规模生产。羊肚菌子实体的获得受多种条件的限制, 但是羊肚菌菌丝体的获得相对比较容易。菌丝体不仅含有子实体的各种营养成分, 还具有子实体独特的风味, 而且液体发酵可以进行工业化的连续生产, 具有规模大、菌丝体产量高、发酵周期短、生产效益高等优点^[20-21]。

5.1 液体培养基的优化 赵桂云等对羊肚菌菌丝体的液体培养基配方进行了研究^[22]。研究表明, 以黄豆芽300 g、玉米面250 g、维生素B₁ 0.002 0 g、水1 000 ml 为配方的培养基是适合羊肚菌生长的液体培养基配方。张松等发现羊肚菌在麦麸酵母膏液体培养基中培养, 尖顶羊肚菌在麦麸黄豆粉液体培养基中培养, 高羊肚菌在黄豆芽玉米粉液体培养基中培养, 可获得菌丝球多、大小较均匀、质量较高的液体菌种, 并且可缩短制种周期。张松等对尖顶羊肚菌液体培养基质的研究表明, 葡萄糖和蛋白胨最适浓度分别为200 和10 g/L, 菌丝在黑暗环境下生长良好。用胡萝卜酵母膏培养基振荡培养形成的菌丝球多, 菌丝生长量大^[23-25]。

赵春燕等研究表明, 羊肚菌在多种碳源上均能生长, 说明羊肚菌菌丝生长对碳源的要求并不严格, 其中以葡萄糖和玉米粉作为碳源的培养基中生长最好^[26-27]。赵春燕认为, 供试羊肚菌菌丝在5种氮源的培养基中均可生长, 其中菌丝在以硝酸铵为氮源的培养基中生长最好, 蛋白胨次之。而欧超等认为, 酵母粉和黄豆粉是很好的氮源。

5.2 培养条件对菌丝体生长的影响 李洁等研究表明, 供试羊肚菌菌丝在10 ~ 30 温度范围内均可生长^[28]。其中, 菌丝在低于15 或高于30 时生长很慢, 在18 ~ 27 时生长较快, 在24 ~ 25 时菌丝生长最快。因此, 羊肚菌菌丝生长的最适温度为24 ~ 25 。

光照强度对菌丝生长影响很大。羊肚菌菌丝适宜在黑暗中生长。肖峰等认为, 羊肚菌液体培养条件最优组合是温度25 , pH 值6 ~ 8, 光照65 ~ 310 lx, 最佳的碳氮比为18 1^[29]。根据不同的研究文献, 不同种的羊肚菌菌株所要求的最适条件是不同的, 但大体的适宜范围基本一致。

5.3 羊肚菌菌丝体和多糖的深层发酵 1958年Zuccs首次在发酵罐内培养出羊肚菌菌丝体。20世纪60年代以后, 美、法等国开始大规模生产菌丝体^[30]。近年来, 不断有羊肚菌菌丝体深层发酵工艺条件的研究报道。欧超等研究表明, 在250 ml 三角瓶中装液量为100 ml 时, 胞外多糖质量浓度最高, 但在装液量为120 ml 时菌丝体生物量最高^[26]。装液量太高时, 虽然胞外多糖质量浓度较高, 但单位体积的得率反而减少。考虑到菌丝体生物量和胞外多糖的质量浓度, 故装液量

选择 100 ml。而 Xu Hi 等的研究表明,在 4.71 d, 24.82 和 62.64 ml 装瓶量的条件下,发酵羊肚菌的菌丝体胞外多糖产量最高。李晓明等试验结果表明,随着瓶装量的增加,羊肚菌的生物量也增加;瓶装量少,生物量也少,但装量过多,生物量不会成比例增加,反会影响其振荡培养。对于这一问题,刘士旺也曾报道过^[31-32]。欧超等研究还发现,羊肚菌的深层发酵在 24 h, 140 r/min 的摇床转速, 108 h 的发酵时间下最有利于羊肚菌菌丝量的增加^[26]。李晓明等都认为,培养基的氧化还原电位及其黏度都会对菌丝体产量产生影响^[31-32]。

6 羊肚菌的化学成分

据报道,羊肚菌的营养成分很丰富,含有多糖、酶类、氨基酸、吡啶酮抗生素、脂肪酸类等^{3,10,30]}。从羊肚菌中分离纯化出 6 种多糖,分别是 MEP-SP1 多糖(分子量为 1115 万 Da,是由木糖、葡萄糖、阿拉伯糖和半乳糖残基为重复单元组成的杂多糖,主链包括 β -吡喃糖苷键,三者摩尔比 29:24:61:39)、MEP-SP2 多糖(分子量为 213 万 Da,由甘露糖、葡萄糖、阿拉伯糖和半乳糖通过 β -吡喃糖苷键连接的杂多糖,其摩尔比 1:175:4:113:171:168)、MEP-SP3 多糖(分子量为 414 万 Da,由木糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、阿拉伯糖和半乳糖残基构成,其摩尔比 3:158:14:190:3:185:1:177:51:130:153)、杂多糖(由葡萄糖、甘露糖和果糖 3 种单糖和海藻糖组成)、发酵液糖蛋白、半乳甘露聚糖(分子量为 100 万 Da,由甘露糖和半乳糖残基构成)。从羊肚菌中还分离出了 β -谷氨酰转氨酶、羧甲基纤维素酶、微晶纤维素酶、 β -葡萄糖苷酶、1,4-葡聚糖裂解酶、Cl 纤维素酶、CX 纤维素酶、木聚糖酶、漆酶、多酚氧化酶、过氧化物酶等多种酶类。羊肚菌除了含有常见的氨基酸外,还含有顺-3-氨基-L-脯氨酸、 β -氨基异丁酸、2,4-二氨基异丁酸等稀有氨基酸,并且发现了一种新的氨基酸 $C_5H_{10}N_2O_2 \cdot HI$, 记为 Morchelline。羊肚菌脂肪酸类化合物有甘油酯、亚油酸、油酸脂、棕榈酸、硬脂酸、十七烷酸、麦角甾醇和 5,7-二烯麦角甾醇等。羊肚菌中含有 Zn、Na、As、Se、Mn、Ca 等一些微量元素。此外,羊肚菌中还含有色素类、醇和皂苷类等一些物质。

7 羊肚菌产品的开发和利用

7.1 食用价值 羊肚菌肉质脆嫩,风味独特,营养丰富,是一种高营养的美味食用菌。研究发现,羊肚菌的粗蛋白、粗脂肪和灰分的含量都很高^[34-36]。羊肚菌总氨基酸含量大大高于一般食用菌,其中人体必需氨基酸含量很高,必需氨基酸占总氨基酸的 49%,且每种必需氨基酸基本接近 FAO/WHO 推荐的模式,是优质的蛋白源。羊肚菌的不饱和脂肪酸含量也较高。此外,羊肚菌中还发现抗氧化剂,能起到一定的抗氧化作用。羊肚菌的矿物元素含量丰富、种类齐全,人体必需的钾、磷、钙等常量元素含量很高,人体必需的微量元素 Fe、Mn、Zn 等含量也很高。因此,羊肚菌具有较高的营养价值。

7.2 药用价值 中医认为,羊肚菌性平,味甘寒,无毒,具有益肠胃、消化助食、化痰理气、补肾、壮阳、补脑、提神之功能,主要用来治疗脾虚滑泻、气虚多痰、消化不良、体虚等症。现代医学研究发现,羊肚菌有降血脂、调节免疫、抗疲劳、抗辐射、抗肿瘤作用,能减轻癌症患者化疗所引起的毒副作用。

在免疫调节方面,羊肚菌是一种有效的免疫调节剂,能增强小白鼠体液免疫功能,增强小鼠腹腔巨噬细胞吞噬功能^[37-39]。羊肚菌具有抗心血管疾病及抗肿瘤药物活性。从子实体纯化出比阿司匹林高 2~3 倍的血小板集落抑制因子,还发现羊肚菌有 3 种多糖具有比较明显的抗细菌、抗放线菌活性^[40-41]。吴映明等试验结果表明,羊肚菌提取液既能加强正常小鼠胃肠蠕动,有类似胃肠促动药的作用,又能抑制小鼠因新斯的明负荷引起的胃肠功能亢进,有助消化和止泻的作用^[42]。

7.3 羊肚菌产品的开发 屠雅铎等对羊肚菌的食品毒理学安全性进行了研究,发现羊肚菌作为保健食品的原料或辅料是安全可行的^[43]。这为羊肚菌作为原料在保健食品中应用提供了依据。孙晓明等开发了具有免疫调节和抗疲劳双重功效的羊肚菌胶囊^[34]。龙正海报道了以羊肚菌为调味品,将其菌丝体加工成食品,以及用羊肚菌在麦芽汁、大豆汁中发酵后制成保健饮料^[40]。日本学者发现从羊肚菌中可得到黑色素形成的抑制剂,据此开发出具有美白效果的化妆品。羊肚菌的色素成分还可以用于医药、化工、纺织等行业^[20]。

8 研究展望

由于羊肚菌具有较高的食用药用价值,其子实体栽培技术尚不成熟,而天然资源有限,导致供需不平衡,市场价格居高不下。为解决这一问题,除了要合理保护、利用、开发天然资源,如调查新的羊肚菌资源,对国内羊肚菌进行资源调查、分类方面的研究,开展羊肚菌的分子分类学研究和分子地理学的研究等,还需要深入研究羊肚菌的人工栽培技术,实现其工业化和商业化的生产。另外,对羊肚菌活性成分的研究还有待深入。羊肚菌化学成分和药理作用的深入研究有助于提取、开发和利用羊肚菌的有效成分,特别是其中的抗癌、抗肿瘤物质,开发系列食品、保健食品和药品、化妆品。

参考文献

- [1] 李树森, 陈文强, 邓百万, 等. 秦巴山区羊肚菌种类和生境调查初报[J]. 食用菌学报, 2007, 14(1): 30-31.
- [2] 任桂梅, 张少刚. 羊肚菌的研究进展[J]. 延安大学学报: 自然科学版, 1999, 18(1): 57-64.
- [3] 谢占玲, 谢占青. 羊肚菌研究综述[J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2007, 25(2): 36-40.
- [4] KELLNER, HARALD, CARSIEN RENKER, et al. Species diversity within the *Morchella esculenta* group (Ascomycota: Morchellaceae) in Germany and France[J]. *Organisms Diversity & Evolution*, 2005, 5(2): 101-107.
- [5] HILZDAM, NANCY S W, CAROL MC, et al. Productivity and diversity of north mushrooms in healthy, burned, and insect-damaged forests of northeastern Oregon[J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 198(1/3): 367-386.
- [6] 谈峰, 胡加如, 汪凯华. 羊肚菌野生生态条件调查研究[J]. 食用菌, 1999(6): 2.
- [7] 邹方伦, 潘高潮, 周庆珍. 羊肚菌种类、生态及成份的初步研究[J]. 贵州农业科学, 1996(1): 29-32.
- [8] 董爱荣, 吴庆禹, 何力, 等. 羊肚菌的生物学特性[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(4): 28-30.
- [9] 金若忠. 羊肚菌研究进展综述[J]. 林业科技通讯, 1997(4): 21-24.
- [10] 李华, 包海鹰, 李玉. 羊肚菌研究进展[J]. 菌物研究, 2004, 2(4): 53-60.
- [11] 朱斗锡, 何荣华. 羊肚菌人工与野生营养成分化验比较[J]. 中国食用菌, 2002, 21(2): 33.
- [12] 杨绍彬, 牛志涛, 吴林凤. 羊肚菌菌种营养基质的研究[J]. 食用菌, 1998(1): 6-7.
- [13] 李峻志, 雷萍, 孙悦迎. 羊肚菌子囊果栽培工艺研究[J]. 食用菌, 2001(4): 23-26.
- [14] 李素玲, 尚春树, 刘虹. 羊肚菌子实体培育研究初报[J]. 中国食用菌, 2000, 19(1): 8-10.
- [15] 赵永昌, 王芳, 吴毅歆. 羊肚菌菌核的形成研究[J]. 中国食用菌,

1998,17(1):5-7.

- [16] 陈惠群, 刘洪玉, 杨晋, 等. 羊肚菌子实体生理特性研究(二)——菌丝发育成子实体的条件[J]. 食用菌, 1997(2):6-7.
- [17] 王秀云. 羊肚菌的菌核形成初探[J]. 食用菌, 1997(6):4.
- [18] 刘兴蓉, 陈芳草, 谭方河, 等. 羊肚菌产核条件研究[J]. 四川林业科技, 2004,25(3):43-47.
- [19] 张宗舟. 羊肚菌根际根外微生物区系分析[J]. 中国食用菌, 1999,18(2):25-26.
- [20] 李焯, 温鲁. 羊肚菌的研究与开发[J]. 中国食用菌, 2004,23(1):6-8.
- [21] 彭璐, 常继东. 羊肚菌菌丝体培养特性的研究[J]. 食用菌, 2006(5):10-12.
- [22] 赵桂云, 马庆斌. 羊肚菌液体培养基配方的研究[J]. 食用菌, 2002(6):15-16.
- [23] 张松. 高羊肚菌菌丝球液体培养的研究[J]. 中国野生植物资源, 1996(1):25-26.
- [24] 张松. 羊肚菌液体菌种培养配方的研究[J]. 食用菌, 1996(3):15.
- [25] 张松, 胡虾妹, 谢海燕. 尖顶羊肚菌液体培养基质与条件的研究[J]. 菌物研究, 2004,2(4):11-15.
- [26] 欧超, 王娣, 张兆轩, 等. 羊肚菌液体深层发酵条件[J]. 食品与生物技术学报, 2007,26(2):80-86.
- [27] 赵春燕, 孙军德, 李敏, 等. 培养条件对羊肚菌菌丝生长的影响[J]. 中国食用菌, 2005,24(1):15-17.
- [28] 李洁, 张云霞, 邱德江. 不同因素对羊肚菌孢子萌发和菌丝生长的影响[J]. 河北林业科技, 2004(2):1-2.
- [29] 肖锋, 王得贤, 杨冬梅. 温度、pH值、光照对羊肚菌菌丝生长的影响[J]. 中国食用菌, 2000,19(5):13-15.
- [30] 陈向东, 朱戎, 兰进. 羊肚菌研究进展[J]. 食用菌学报, 2002,9(2):56-61.

- [31] 李晓明, 赵嘉平, 唐周斌. 羊肚菌液体发酵的研究[J]. 西北林学院学报, 2004,19(3):116-118.
- [32] 刘士旺, 梁宗琦, 刘爱英. 羊肚菌液体培养研究初报[J]. 食用菌学报, 1998,5(3):31-37.
- [33] TSAI, SHU YAO, CHEN CHING WENG, et al. Volatile taste components of *Gifda frondosa*, *Morchella esculenta* and *Ternitozyces albuminosus mycelia* [J]. *Food Science and Technology*, 2006,39(10):1066-1071.
- [34] 孙晓明, 张卫民, 吴素玲, 等. 新型保健食品——羊肚菌胶囊的研究[J]. 中国食用菌, 2001,20(1):38-40.
- [35] 徐永强, 张明生, 张丽霞. 羊肚菌的生物学特性、营养价值及其栽培技术[J]. 种子, 2006,25(7):97-99.
- [36] MAU, JENG-LEUN, CHEH-NO CHANG, et al. Antioxidant properties of methanolic extracts from *Gifda frondosa*, *Morchella esculenta* and *Ternitozyces albuminosus mycelia* [J]. *Food Chemistry*, 2004,87(1):111-118.
- [37] 余群力. 羊肚菌发酵液对小鼠免疫功能的影响研究[J]. 卫生研究, 1997,26(4):287-289.
- [38] 孙晓明, 张卫明, 吴素玲, 等. 羊肚菌免疫调节作用研究[J]. 中国野生植物资源, 2001,20(2):12-14.
- [39] 建民. 羊肚菌发酵液对小鼠抗疲劳作用试验研究[J]. 卫生研究, 1997,26(5):5-7.
- [40] 龙正海. 羊肚菌的研究及其应用开发前景[J]. 中国生化药物杂志, 1997,18(3):160-162.
- [41] 龙正海, 纪其雄, 周惠燕. 羊肚菌多糖体外抗菌活性研究[J]. 时珍国医国药, 2006,17(6):6-7.
- [42] 吴映明, 陈奋, 林建新, 等. 羊肚菌对小鼠小肠推进功能的研究[J]. 广东教育学院学报, 2005,25(3):80-82.
- [43] 屠雅铄, 孙晓明, 张卫明, 等. 羊肚菌食品毒理学安全性评价[J]. 中国野生植物资源, 2001,20(6):38-42.

(上接第4029页)

土壤元素的富集能力。王果等(2005)提出了以土壤元素有效态为基础的转移系数,该转移系数可以较好地克服土壤元素有效性差异对元素吸收富集的影响,因而能较好地反映植物对该土壤元素的富集能力^[8]。以土壤有效态铜为基础的土壤-糙米铜转移系数见表2。从图5可知,有效态铜

表2 土壤—糙米铜转移系数

Table 2 The transfer coefficient of Cu between soil and brown rice

转移系数	最大值	最小值	中位值	标准差
Transfer coefficient	Max.	Mn.	Median	SD
全量基	0.232	0.024	0.094	0.044
有效基	1.283	0.086	0.554	0.383

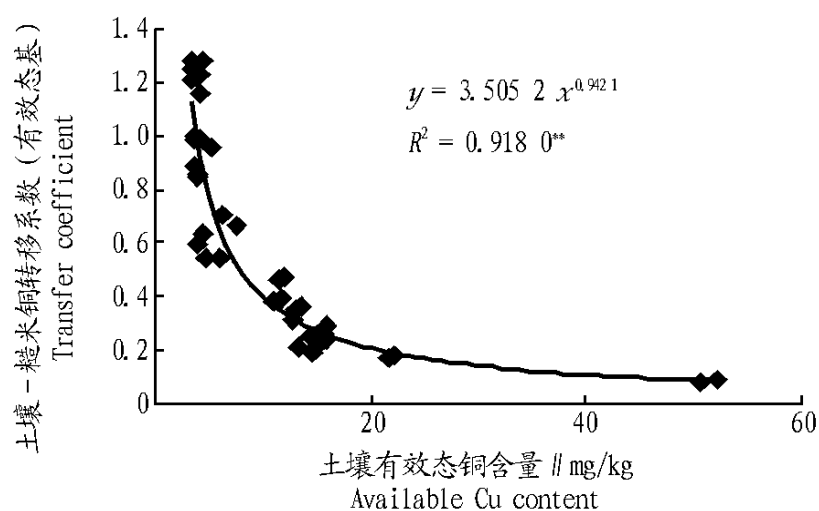


图5 土壤有效态铜与土壤—糙米铜转移系数(有效基)的关系

Fig.5 Relationship between available Cu content and transfer coefficient of Cu in soil

转移系数与有效态铜的回归关系达极显著乘幂负相关($R^2 = 0.9180^{**}$, $n = 39$),即随着土壤有效态铜含量的增加,有效态铜转移系数逐渐降低,这说明水稻对土壤中铜的吸收

富集量除了与土壤中铜的有效供应量有关外,还与其自身的需求量和体内的累积量有关。当土壤有效态铜含量逐渐升高时,水稻体内累积的铜含量逐渐升高,水稻对铜的需求量逐渐降低,因而对土壤中铜的吸收率逐渐降低。另一方面,随着根际土壤有效态铜含量的逐渐升高,根系对铜的吸收能力逐渐下降。上述因素综合作用最终导致以土壤有效态铜为基础的铜转移系数降低。

3 小结与讨论

漳州和泉州被污染水稻田土壤中铜污染比较严重,采样区土壤全铜超标率为36%,但其生产的糙米都没有超过国家食品卫生标准。结果表明,糙米中铜的含量与土壤全铜和有效态铜之间的相关性都不显著,这与韩爱民等在一定范围内,水稻籽实中重金属的含量与土壤中重金属的含量呈正相关^[9]的研究结果不一致。该研究在取样时没有考虑作物基因遗传特性对根系吸收重金属的影响,此外灌溉用的污水中重金属的形态和含量也需作进一步的研究。

参考文献

- [1] 土壤质量Cd、Pb的测定火焰原子吸收分光光度法. GB/T17141-1997[S]. 1997.
- [2] 中国土壤学会编. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [3] 土壤环境质量标准. GB15618-1995[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [4] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [5] 食品卫生质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [6] 徐从. 青长乐紫色土中铜对水稻生长发育的影响及其临界指标的研究[J]. 农业环境保护, 2006,9(4):13-17.
- [7] 李应学, 曹仁林, 周毅, 等. 天津市农用污泥和土壤中有害物质安全控制标准的研究[J]. 农业环境保护, 2005,7(1):14-15.
- [8] 王果, 苏苗育, 陈炎辉, 等. 土壤锌向白菜的转移能力[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2005(1):135-136.
- [9] 韩爱民, 蔡继红, 屠锦河, 等. 水稻重金属含量与土壤质量的关系[J]. 环境检测管理与技术, 2002,14(3):27-28.