

网络出版时间:2013-09-22 17:04
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130922.1704.015.html>

不同碳氮源对红汁乳菇菌丝生长的影响

徐鸿雁,杜双田,孟胜楠,纪晓朋
(西北农林科技大学 生命科学学院,陕西 杨凌 712100)

[摘要] **【目的】**探讨不同碳、氮源对红汁乳菇菌丝生长的影响,为红汁乳菇的开发利用提供依据。**【方法】**以红汁乳菇 LH-1 菌株为供试材料,以菌落直径、菌丝生长速率和菌丝生长指数为测定指标,研究了 13 种碳源、22 种氮源对红汁乳菇菌丝生长的影响。**【结果】**红汁乳菇具有较广的碳源及氮源谱,在 13 种碳源中,以果糖为碳源时,红汁乳菇菌落长势最好,其菌落直径、菌丝生长速率和菌丝生长指数分别为 48.31 mm、8.37 mm/d 和 41.87;在 22 种氮源中,以酵母膏为氮源时红汁乳菇菌落长势最好,其菌落直径、菌丝生长速率和菌丝生长指数分别为 50.82 mm、7.84 mm/d 和 39.18;红汁乳菇对氨基酸及铵盐类物质利用较差。**【结论】**红汁乳菇菌丝生长的最佳碳源、氮源分别为果糖和酵母膏。

[关键词] 红汁乳菇;碳源;氮源;生长速率

[中图分类号] S646.901 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2013)10-0125-06

Effect of different carbon and nitrogen sources on the growth of
Lactarius hatsudake Tanaka

XU Hong-yan, DU Shuang-tian, MENG Sheng-nan, JI Xiao-peng
(College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The research studied the effects of different carbon and nitrogen sources on mycelia growth of *Lactarius hatsudake* Tanaka. **【Method】** With *L. hatsudake* Tanaka LH-1 as the tested materials, the effects of thirteen carbon sources and twenty-two nitrogen sources on diameter of colony, mycelia growth rate and the mycelia growth index of *L. hatsudake* Tanaka were investigated. **【Result】** *L. hatsudake* Tanaka had a broader spectrum of carbon and nitrogen sources. Among the thirteen carbon sources, the best was fructose, diameter of colony, mycelia growth rate and the mycelia growth index were 48.31 mm, 8.37 mm/d and 41.87, respectively. The best nitrogen sources among the studied twenty-two was yeast extract, diameter of colony, mycelia growth rate and the mycelia growth index were respectively 50.82 mm, 7.84 mm/d and 39.18, respectively. The utilization of inorganic nitrogen sources and amino acids was poor. **【Conclusion】** Fructose was identified to be the best carbon source and yeast extract was the best nitrogen source for the mycelia growth of *L. hatsudake* Tanaka.

Key words: *Lactarius hatsudake* Tanaka; carbon sources; nitrogen sources; growth rate

红汁乳菇(*Lactarius hatsudake* Tanaka)又名美味松乳菇、雁鹅菌,隶属层菌纲(Hymenomyces),伞菌目(Agaricales),红乳菇科(Russulaceae),乳菇属(*Lactarius deliciosus* Gray),在亚洲、欧洲和

[收稿日期] 2012-12-12
[基金项目] 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2011KTCL02-16)
[作者简介] 徐鸿雁(1988—),女,青海西宁人,在读硕士,主要从事微生物资源与利用研究。E-mail: V_hongyan@yahoo.com.cn
[通信作者] 杜双田(1961—),男,陕西扶风人,副教授,主要从事食用与药用真菌研究。E-mail: dst6107@126.com

北美洲均有分布,我国则在河北、辽宁、吉林、江苏、浙江、湖南、四川、青海和台湾等省均有分布^[1-2]。红汁乳菇主要生长于松树林中,是一种很有价值的外生菌根菌^[3]。有研究表明,红汁乳菇热水提取物对小白鼠肉瘤 180 和艾氏腹水瘤的抑制率分别为 100%和 90%,具有一定的防癌抗癌作用^[4];其乙醚萃取物和乙酸乙酯萃取物对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、沙门氏菌和啤酒酵母均有一定的抗菌作用^[5]。在红汁乳菇子实体中,必需氨基酸含量占氨基酸总量的 43.26%,粗蛋白、多糖含量分别为 29.12 和 6.99 mg/hg,每 100 g 鲜菇就含 0.26 mg 维生素 B₁,此外还含有较高含量的维生素 B₂ 和烟酸,是一种高蛋白、低脂肪的理想食品^[6-7]。

红汁乳菇由于其特殊的生态条件、营养方式和子实体分化发育条件,目前尚不能规模化人工栽培^[8-10],野生红汁乳菇子实体受季节影响较大,产量有限,致使其市场价格居高不下。因此,探索红汁乳菇的营养生理特性,对红汁乳菇进行开发利用及人工栽培具有十分重要的意义。本试验研究了不同碳源、氮源对红汁乳菇菌丝生长的影响规律,旨在为红汁乳菇的大规模人工栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌种 供试菌种由陕西杨凌西北农林科技大学生命科学院提供,菌株编号为红汁乳菇 (*L. hatsudake* Tanaka) LH-1。

1.1.2 培养基 1)基础培养基 I:葡萄糖 20 g,蛋白胨 2 g,磷酸二氢钾 2 g,硫酸镁 1 g,琼脂粉 10 g,去离子水 1 000 mL。

2)基础培养基 II:葡萄糖 10 g,蔗糖 10 g,蛋白胨 2 g,磷酸二氢钾 2 g,硫酸镁 1 g,琼脂粉 10 g,去离子水 1 000 mL。

1.2 菌种的制备

配制基础培养基 I,经高压蒸汽灭菌后制成平板培养基,于平板中央接入活化的斜面菌种红汁乳菇 LH-1,(25±1)℃条件下黑暗培养,待菌丝长满平板后备用。

1.3 方法

1.3.1 不同碳源对红汁乳菇菌丝生长的影响 供试碳源有果糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖、鼠李糖、阿拉伯糖、核糖、乳糖、麦芽糖、蔗糖、甘露醇、丙三醇和可溶性淀粉。分别用相同质量的供试碳源代替基础培养基 I 中的葡萄糖,以不加碳源为对照,研究不同

碳源对红汁乳菇菌丝生长的影响,每处理重复 3 次。

1.3.2 不同氮源对红汁乳菇菌丝生长的影响 供试氮源有硝酸铵、硫酸铵、碳酸铵、氯化铵、柠檬酸铁铵、柠檬酸三铵、磷酸二氢铵、磷酸氢二铵、色氨酸、异亮氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺、苯丙氨酸、酪氨酸、甘氨酸、麦芽浸膏、蛋白胨、尿素、酵母膏、牛肉膏、牛肉蛋白胨和胰蛋白胨。分别用相同质量的供试氮源代替基础培养基 II 中的蛋白胨,以不加氮源为对照,研究不同氮源对红汁乳菇菌丝生长的影响。每处理重复 3 次。

1.3.3 红汁乳菇培养条件及菌落长势评分标准 采用平板培养法,测定不同培养基上红汁乳菇的菌落直径并对菌落长势进行评分,研究供试碳、氮源对红汁乳菇菌丝生长的影响。所有试验均采用直径 90 mm 的培养皿,培养基用量 20 mL/皿,每个平板上定量接种直径 5 mm 的菌饼一块,在温度(25±1)℃、空气相对湿度 70%~75%条件下培养,采用划线法每隔 1 d 标记菌落直径,共培养 7 d,测量菌落直径,计算菌丝生长速率,并对其菌落长势进行评分。菌落长势评分标准为:5. 菌丝长势浓密,颜色为棕黄色;4. 菌丝长势较浓密,颜色为棕黄色;3. 菌丝长势较浓密,颜色为黄色;2. 菌丝长势较稀疏,颜色为深黄色;1. 菌丝长势稀疏,颜色深为黄色。

1.4 数据处理

本研究中,由于红汁乳菇对不同碳源、氮源有较强的选择性,故其不同碳源及氮源培养基上的菌丝长势及菌丝生长速率差异较大。为便于比较,本研究引入菌丝生长指数的概念,其计算公式为:

菌丝生长指数=菌丝长势评分×菌丝生长速率(mm/d)。

试验数据采用 DPS(Version7. 05)统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同碳源对红汁乳菇菌丝生长的影响 由表 1 可见,13 种碳源红汁乳菇均能利用,但在不同碳源培养基上,菌丝生长速率、长势及菌落特征有较大差异,其中以果糖为碳源时效果最佳,菌丝的生长速率最大,菌落直径较大,菌丝浓密,其菌丝生长指数最高(41.87),因此确定果糖为红汁乳菇菌丝生长的最优碳源;其次为葡萄糖和麦芽糖,其红汁乳菇菌丝生长指数分别为 30.97 和 30.09;乳糖的效果最差,其菌丝生长指数为 15.72。方差分析结果表明,以果糖为碳源时,红汁乳菇菌丝生长指数极

显著($P<0.01$)高于其他 12 种碳源;而以麦芽糖、显著,但均极显著($P<0.01$)高于其余 10 种碳源。葡萄糖为碳源时,红汁乳菇菌丝生长指数差异不显

表 1 不同碳源对红汁乳菇菌丝生长的影响

Table 1 Effect of different carbon sources on the growth of *L. hatsudake* Tanaka

碳源 Carbon source	菌落长势评分 Mycelium growth vigor	菌丝生长速率/ (mm·d ⁻¹) Growth rate	菌落直径/mm Diameter of colony	菌丝生长指数 Mycelium growth index	差异显著性 Difference	
					5%	1%
果糖 Fructose	5	8.37	48.31	41.87	a	A
麦芽糖 Maltose	4	7.52	45.17	30.09	b	B
甘露醇 Mannitol	4	7.65	49.11	29.60	c	C
半乳糖 Galactose	3	7.78	44.75	23.35	ef	E
甘露糖 Mannose	3	8.00	45.76	24.00	e	E
鼠李糖 Rhamnose	4	7.64	48.77	29.27	c	C
阿拉伯糖 Arabinose	3	7.25	42.10	21.76	g	F
核糖 Ribose	4	7.71	44.63	29.86	c	C
葡萄糖 Glucose	4	7.74	44.45	30.97	b	B
可溶性淀粉 Starch	3	6.96	40.27	20.88	h	F
蔗糖 Sucrose	3	7.67	44.30	23.00	f	E
丙三醇 Glycerin	4	6.86	50.13	27.43	d	D
乳糖 Lactose	2	7.86	45.76	15.72	i	G
对照 CK	1	7.75	49.71	7.75	j	H

经计算,不同碳源下红汁乳菇的累积生长曲线水平,生长曲线见图 1。
均符合 Gauss 生长模型,经检验其方程均达到显著

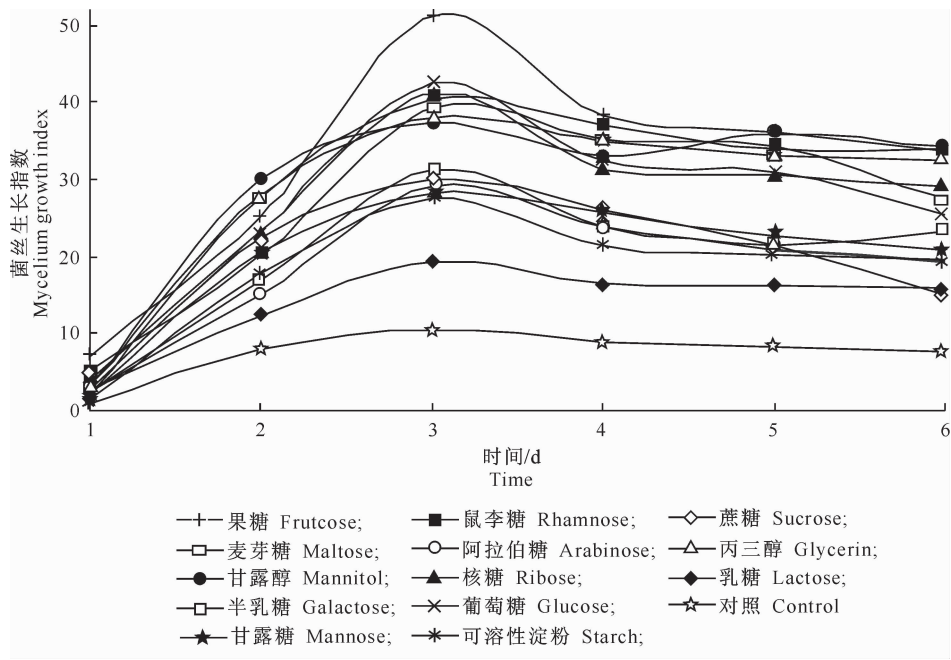


图 1 红汁乳菇菌丝在不同碳源上的生长曲线

Fig. 1 Growth curve of *L. hatsudake* Tanaka with different carbon sources

图 1 表明,13 种碳源的红汁乳菇菌丝生长曲线可分为 5 组;以果糖为碳源时,红汁乳菇菌丝生长曲线为第 1 组;以葡萄糖、核糖、鼠李糖、麦芽糖、丙三醇及甘露醇为碳源时,红汁乳菇菌丝生长曲线为第 2 组;以半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、蔗糖和可溶性淀粉为碳源时,红汁乳菇菌丝生长曲线为第 3 组;以乳糖为碳源时,红汁乳菇菌丝生长曲线为第 4 组;不加碳源时红汁乳菇菌丝生长曲线为第 5 组。从菌丝生长曲线的位置及变化趋势可以看出:第 1 组以果糖为碳源时,红汁乳菇菌丝生长最好,接种之后菌丝萌发快,菌丝生长指数几乎呈直线上升,因此果糖为最佳供试碳源;第 2 组中各碳源红汁乳菇的菌丝生长曲线非常接近,但对红汁乳菇的生长促进作用均低于果糖,但高于其他碳源,其中以葡萄糖为碳源时,

菌丝长势较好,因此葡萄糖也是红汁乳菇菌丝生长的适宜碳源;第 3 组中几种碳源对红汁乳菇菌丝生长的作用相对前 2 组较弱,但均高于后 2 组,其中以单糖半乳糖和甘露糖作为碳源时,红汁乳菇菌丝生长较好;第 4 组以乳糖为碳源时,红汁乳菇菌丝生长较差,可能是红汁乳菇合成乳糖酶的能力较弱;第 5 组不加碳源时,红汁乳菇菌丝生长速率最小,少量菌丝的生长可能是基础培养基中蛋白胨的作用。

2.2 不同氮源对红汁乳菇菌丝生长的影响

由表 2 可见,红汁乳菇具有较广的氮源谱,对

22 种供试氮源都可利用。在不同氮源培养基上,菌丝生长速率及菌落长势有较大差异。红汁乳菇对复合氮源利用最好,对无机氮源和氨基酸氮源的利用相对较差;以酵母膏为氮源时,红汁乳菇生长效果最好,菌丝生长旺盛,生长指数最高,为 39.18,且与其他氮源差异极显著;以蛋白胨和柠檬酸铁铵为氮源时效果次之。在无机氮源中,红汁乳菇对柠檬酸铁铵的利用较好;在氨基酸类氮源中,谷氨酰胺和谷氨酸对红汁乳菇菌丝的生长作用较为明显。

表 2 不同氮源对红汁乳菇菌丝生长的影响

Table 2 Effect of different nitrogen sources on the growth of *L. hatsudake* Tanaka

氮源 Nitrogen source	菌落长势评分 Mycelium growth vigor	菌丝生长速率/ (mm · d ⁻¹) Growth rate	菌落直径/mm Diameter of colony	菌丝生长指数 Mycelium growth index	差异显著性 Difference	
					5%	1%
谷氨酰胺 Glutamine	4	7.84	50.80	31.38	d	D
谷氨酸 Glu	4	7.67	46.33	30.69	e	E
苯丙氨酸 Phe	2	6.45	42.72	12.91	n	M
色氨酸 Try	3	6.08	41.47	18.24	l	K
酪氨酸 Tyr	2	7.31	48.87	14.62	m	M
异亮氨酸 Ile	4	7.84	49.36	31.35	d	D
甘氨酸 Gly	3	7.42	49.23	22.27	i	I
硝酸铵 Ammonium nitrate	4	6.83	46.96	27.30	h	H
酵母膏 Yeast extract	5	7.84	50.82	39.18	a	A
硫酸铵 Ammonium sulfate	4	7.03	47.17	28.11	fg	FG
碳酸铵 Salvolatile	3	6.47	43.81	19.41	k	JK
柠檬酸铁铵 Ferric ammonium citrate	5	6.75	45.50	33.75	c	C
麦芽浸膏 Malt extract	3	7.50	49.99	22.49	i	I
磷酸二氢铵 Ammonium dihydrogen	4	7.36	49.19	29.46	f	F
氯化铵 Ammonium chloride	4	6.87	46.23	27.49	h	H
蛋白胨 Peptone	5	7.37	49.21	36.84	b	B
柠檬酸三铵 Ammonium citrate tribasic	3	6.88	46.25	20.63	j	J
尿素 Urea	2	5.84	40.05	11.68	n	M
磷酸氢二铵 Ammonium dibasic phosphate	1	5.99	40.96	5.99	p	N
牛肉膏 Beef cream	4	6.87	45.79	27.49	h	GH
牛肉蛋白胨 Beef peptone	4	7.15	47.92	28.61	fg	FG
胰蛋白胨 Tryptone	3	7.48	49.87	22.43	i	I
对 照 CK	1	7.03	47.21	7.03	o	N

经分析,不同氮源下红汁乳菇的累积生长曲线符合 Gauss 生长模型,经检验其方程均达到显著水平,其生长曲线见图 2。由图 2 可以看出,以红汁乳菇生长曲线的位置和变化趋势可将氮源分为 5 组:酵母膏、蛋白胨为第 1 组;柠檬酸铁铵、异亮氨酸、磷酸二氢铵、谷氨酰胺、谷氨酸、硫酸铵、牛肉蛋白胨、牛肉膏、硝酸铵、氯化铵为第 2 组;胰蛋白胨、麦芽浸膏、柠檬酸三铵、碳酸铵、甘氨酸、色氨酸为第 3 组;酪氨酸、苯丙氨酸、尿素为第 4 组;磷酸氢二铵、对照

为第 5 组。第 1 组氮源的红汁乳菇菌丝生长效果最好,接种后菌丝萌发快,菌丝生长指数几乎呈直线上升;第 2 组氮源的红汁乳菇菌丝生长曲线非常接近,其中以磷酸二氢铵和谷氨酰胺为氮源时,菌落长势较好;第 3 组氮源中,胰蛋白胨和麦芽浸膏 2 种复合氮源的效果优于其他氮源;第 4 组氮源中,与尿素相比,酪氨酸和苯丙氨酸的效果较好;第 5 组氮源中磷酸氢二铵的作用效果与对照相差不大。红汁乳菇菌丝对供试氨基酸和供试铵盐的利用均较差。

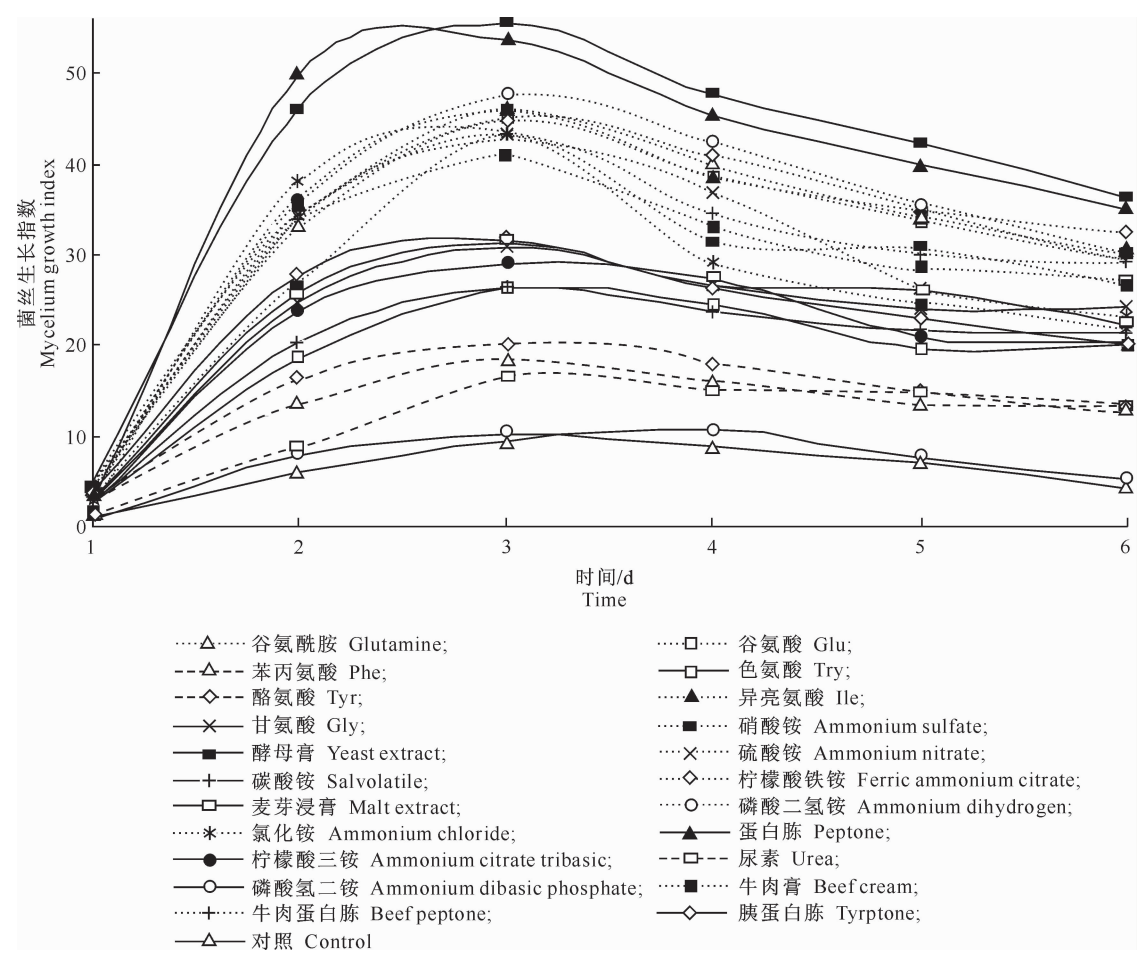


图 2 红汁乳菇菌丝在不同氮源上的生长曲线

Fig. 2 Growth curve of *L. hatsudake* Tanaka with different nitrogen sources

3 结论与讨论

在 13 种供试碳源中,红汁乳菇对单糖、双糖、糖醇及多糖均能利用,表明红汁乳菇对碳源的利用谱较广,其中以果糖为碳源时菌丝生长最好,葡萄糖次之,这与李文艺^[11]、赵洪等^[12]、谭著明^[13]的研究结论相同。红汁乳菇细胞对营养物质的吸收方式影响其对碳源的吸收利用,如单糖中的果糖、葡萄糖等小分子物质可被细胞直接吸收利用,而复杂的大分子物质(例如蔗糖、可溶性淀粉等),则需要细胞产生胞外酶将其降解为单糖后才能利用。因此,红汁乳菇菌丝对单糖的利用效果优于多糖。

在供试的 22 种氮源中,红汁乳菇对复合氮源、无机氮源、氨基酸氮源均可利用,但各氮源处理的菌丝生长指数差异显著,这表明红汁乳菇对不同氮源有较大的特异选择。红汁乳菇对氮源的利用表现出复合氮源最优,其次是无机氮源,对氨基酸利用较差。在有机氮源中,红汁乳菇在以酵母膏为氮源的

培养基上菌丝生长最好,蛋白胨次之,这与李文艺^[11]、赵洪等^[12]的结论相似。复合氮源含丰富的蛋白质、氨基酸、维生素等多种生长因子,可以满足菌丝对各种元素的需求,有利于酶的代谢,因此可促进红汁乳菇菌丝的生长;而无机氮源和氨基酸成分较为单一,难以完全满足菌丝对微量元素、生长因子等的需要,因而菌丝生长缓慢。所以,红汁乳菇菌丝对复合氮源的利用优于无机氮源和氨基酸。

在含有铵盐(磷酸氢二铵、柠檬酸三铵、硝酸铵、硫酸铵、氯化铵)的培养基上,红汁乳菇菌丝长势较弱,而且在生长后期,菌丝生长速率有明显降低趋势,可知红汁乳菇对铵根离子的利用较差。王志勇等^[14]研究认为,红汁乳菇菌丝对氨态氮、硝态氮、尿素、氨基酸的利用无显著差别,且大都生长良好,这与本试验结果存在差异,可能与菌株及基础培养基不同有关。

[参考文献]

[1] 刘建成,陈先玉,李文艺. 湘西红汁乳菇的分布及生态研究

[J]. 中国食用菌,2002,14(6):36-37.

Liu J C,Chen X Y,Li W Y. *Lactarius hatsudake* Tanaka distribution and ecological research in West-Hunan, Hunan, China [J]. Edible Fungi of China,2002,14(6):36-37. (in Chinese)

[2] 黄年来. 中国大型真菌原色图谱 [M]. 北京:中国农业出版社,1998.

Huang N L. The large fungal maps in China [M]. Beijing:China Agriculture Press,1998. (in Chinese)

[3] John W. Introduction to fungi [M]. London:Cambridge University Press,1989.

[4] 张光亚. 云南食用菌 [M]. 昆明:云南人民出版社,1984:196.

Zhang G Y. Yunnan edible fungi [M]. Kunming:Yunnan People's Press,1984:196. (in Chinese)

[5] 王 军,莫美华. 红汁乳菇子实体抗菌活性研究 [J]. 食品科技,2008(9):91-94.

Wang J,Mo M H. Study of antimicrobial activity of *Lactarius hatsudake* Tanaka [J]. Food Science and Technology, 2008 (9):91-94. (in Chinese)

[6] 柯丽霞. 红汁乳菇和多汁乳菇的化学成分及其开发利用前景 [J]. 安徽师范大学学报:自然科学版,2000,23(4):391-394.

Ke L X. The Chemical composition and opening up and utilizing prospect of *Lactarius hatsudake* and *Lactarius volemus* [J]. Journal of Anhui Normal University:Natural Science Edition, 2000,23(4):391-394. (in Chinese)

[7] 邓百万,杨海涛,李志洲,等. 红汁乳菇子实体营养成分的测定与分析 [J]. 食用菌学报,2004,11(1):49-51.

Deng B W,Yang H T,Li Z Z,et al. Determination and analysis of main nutrition components in *Lactarius hatsudake* fruitbodies [J]. Acta Edulis Fungi,2004,11(1):49-51. (in Chinese)

[8] 陈功锡,李 鸣,向小奇,等. 湘西低等植物野菜资源及其开发利用 [J]. 吉首大学学报:自然科学版,1999,20(3):9-16.

Chen G X,Li M,Xiang X Q,et al. Studies on the current situation for the research and exploitation of wild vegetable of lower plant in West-Hunan, Hunan,China [J]. Journal of Jishou University; Natural Science Edition,1999,20(3):9-16. (in Chinese)

[9] 郑稚莺,潘学仁,刘振钦,等. 食用菌栽培学 [M]. 哈尔滨:哈尔滨出版社,1995:6-11.

Zheng Z Y,Pan X R,Liu Z Q,et al. Edible fungus culture learning [M]. Harbin:Harbin Press,1995:6-11. (in Chinese)

[10] 莫美华,马红梅. 红汁乳菇生态习性及应用前景 [J]. 佛山科学技术学院学报:自然科学版,2003,21(1):56-59.

Mo M H,Ma H M. The general description of *Lactarius hatsudake* Tanaka [J]. Journal of Foshan University: Natural Science Edition,2003,21(1):56-59. (in Chinese)

[11] 李文艺. 红汁乳菇菌丝生长营养特性的初步研究 [J]. 山西师范大学学报:自然科学版,2004,18(3):72-75.

Li W Y. A preliminary study on the nutrition characteristics of the growth of *Lactarius hatsudake* mycelia [J]. Journal of Shanxi Teacher's University: Natural Science Edition,2004, 18(3):72-75. (in Chinese)

[12] 赵 洪,邓功成. 红汁乳菇菌丝体营养特性研究 [J]. 食用菌,2008(6):9-10.

Zhao H,Deng G C. *Lactarius hatsudake* mycelium nutrition characteristic research [J]. Edible Fungi,2008(6):9-10. (in Chinese)

[13] 谭著明. 红汁乳菇生物学特性及半人工栽培技术研究 [D]. 湖南长沙:湖南农业大学,2005.

Tan Z M. A study on the biological characters of *Lactarius hatsudake* Tanaka and its semi-artificial cultivation [D]. Changsha, Hunan: Hunan Agricultural University,2005. (in Chinese)

[14] 王志勇,李晓宏. 红汁乳菇菌丝对环境条件的适应性研究初报 [J]. 湖北林业科技,2004(4):22-24.

Wang Z Y,Li X H. Primary studying report on adaptation of *Lactarius hatsudake* Tanaka to environmental condition [J]. Hubei Forestry Science and Technology,2004(4):22-24. (in Chinese)

(上接第 124 页)

[20] 潘瑞炽,董恩得. 植物生理学 [M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,1995:319-320.

Pang R Z,Dong Y D. Plant physiology [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press,1995:319-320. (in Chinese)

[21] 贾 夏,周春娟,董岁明. 低含量 Pb²⁺ 对 Cd²⁺ 污染下冬小麦幼苗根系过氧化物同工酶的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(2):157-162.

Jia X,Zhou C J,Dong S M. Effects of the low dose of Pb²⁺ on the response of isozymes of POD of winter wheat seedlings roots to Cd²⁺ stress [J]. Journal of Northwest A&F University; Nat Sci Ed,2012,40(2):157-162. (in Chinese)

[22] Van Assche F V,Clijsters H. Effects of metals on enzyme activity in plants [J]. Plant Cell Environment,1990,13:195-206.

[23] 罗春玲,沈振国. 植物对重金属的吸收和分布 [J]. 植物学通报,2003,20(1):59-66.

Luo C L,Shen Z G. The mechanisms of heavy metal uptake and accumulation in plants [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2003,20(1):59-66. (in Chinese)