

〔報告〕 高松塚古墳・キトラ古墳石室内の微生物分離株の アルコール系殺菌剤資化性試験

木川 りか・佐野 千絵・喜友名 朝彦*・立里 臨*・杉山 純多*²

1. はじめに

高松塚古墳およびキトラ古墳では、彩色壁画が描かれている壁面などの消毒や、カビのコロニーの除去時に、顔料などへの影響が少ないことと、人体への毒性も比較的低いことから、アルコール系の殺菌剤（エタノール、イソプロパノール）が使用されてきた¹⁻⁷⁾。これらのアルコール系の殺菌剤は、濃度が十分に高いときには優れた殺菌効果を示し⁸⁾、また使い続けた場合の馴化も比較的起こりにくいという性質をもつ^{9, 10)}。一方で、うすまって低濃度になると、微生物の栄養源（炭素源）として利用される可能性も指摘された¹¹⁻¹³⁾。

この可能性について、高松塚古墳・キトラ古墳の石室内から近年分離された微生物の分離株（表1：カビ15株，酵母5株，細菌10株）を用い、両古墳において使用されてきた薬剤（エタノール，イソプロパノール）が低濃度になった場合，資化（栄養源として利用し，生育）するかどうかについて試験を行った。今回は，これらの菌株が，エタノールやイソプロパノールを炭素源として利用できるかどうかを知るために，エタノールやイソプロパノールが殺菌剤として生育を阻害しないように，ごく低濃度条件（0.5%，1%）で添加した場合について検討を行った。なお，この結果は，高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会（第7回）にて報告した¹⁴⁾。

2. カビ分離株の試験と結果

栄養源として炭素源が加えられていない液体培地（Bacto Yeast Nitrogen base (Becton Dickinson, MD, USA)），および，グルコース，エタノール，イソプロパノールを，それぞれ単一の炭素源として添加したものに供試菌株（表1，15株）をそれぞれ植菌し，生育の有無を確認した。グルコースは培地の0.5% w/vを添加したもので，エタノール，イソプロパノールについては，培地の0.5%，または1% v/vを添加して試験を行った。培養は，液体培地5mlを試験管に入れて，静置培養で行った。1週間ごとに生育の有無を確認しながら1ヶ月間観察し，最終的な結果を表2に示した。

炭素源無添加の場合は，いずれの供試菌株も生育がみられなかった（表2，対照，炭素源無添加）が，0.5%のグルコースを添加したものでは，すべての供試菌株で生育がみられた（表2，対照，グルコース0.5%）。

エタノールを単一炭素源として添加した場合には，0.5%，1%のいずれのエタノール濃度の場合でも，一部，生育が弱い菌株はあったものの，15株全ての分離株で生育がみられた。さらに，とくに1%のエタノールを加えた場合には，*Trichoderma* sp. 1-b (T4519-9-7株)などの一部の分離株で，グルコース0.5%相当を加えた場合よりも良好な生育性を示す場合が認められた（表2，エタノール添加の影付きの欄）。一方，イソプロパノールは *Acremonium* (sect. *Gliomastix*)，*Penicillium* および *Fusarium*，3属の分離株で資化される傾向が認められたが，*Acremonium* (sect. *Gliomastix*) 以外は弱い生育しか認められなかった。また，

* (株)テクノスルガ・ラボ *2 (株)テクノスルガ・ラボ 千葉分室

表1 資化性試験 供試菌株リスト

種名	菌株番号 ^{*1}	分離源
カビ		
<i>Acremonium (sect. Gliomastix) sp. 1</i>	T4519-5-1	高松塚古墳 石室内 床面 白色コロニー
<i>Acremonium (sect. Gliomastix) sp. 1</i>	T6517-1-1	高松塚古墳 石室内 西壁 女子 額の黒色部分 No. ①
<i>Acremonium (sect. Gliomastix) sp. 2</i>	K7511-1	キトラ古墳 石室内 北壁 東側 上方 黒ススカビ
<i>Penicillium paneum</i> ^{*2}	T5916-6-1	高松塚古墳 石室内 東壁 女子群像下 ゲル状
<i>Penicillium paneum</i> ^{*2}	T6517-1-2	高松塚古墳 石室内 西壁 女子 額の黒色部分 No. ①
<i>Penicillium paneum</i> ^{*2}	K5916-7-1	キトラ古墳 石室内 北壁 玄武下
<i>Fusarium sp. (FSSC クレード)</i> ^{*3, *4}	T4519-9-3	高松塚古墳 石室内 東壁
<i>Fusarium sp. (FSSC クレード)</i> ^{*3, *4}	T4716-1	高松塚古墳 石室内 西壁 白虎の爪の箇所 ゲル状 (高松粘菌)
<i>Fusarium sp. (FSSC クレード)</i> ^{*3, *4}	K5225-19-3	キトラ古墳 石室内 西 漆喰剥落片
<i>Trichoderma sp. 1-b</i> ^{*4}	T4519-9-7	高松塚古墳 石室内 東壁
<i>Trichoderma sp. 1-b</i> ^{*4}	K5916-7-3	キトラ古墳 石室内 北壁 玄武下
<i>Cylindrocarpon sp.</i> ^{*4}	TBT-1	高松塚古墳 石室内 北壁 玄武尾下 (2001.12.18)
<i>Cylindrocarpon sp.</i> ^{*4}	TBK-22	キトラ古墳 石室内 西壁 白虎前肢付近 褐色部分 (2005.12.17)
<i>Burgoa sp.</i>	K7316-1-1	キトラ古墳 石室内 天井石壁面 天文図 (北斗付近 (1)) “黒粒”
<i>Phialocephala phycomyces</i>	K5906-1-1	キトラ古墳 石室内 西壁 中央下部 茶とげ からの分離平板 (MA)
酵母		
<i>Candida takamatsuzukensis</i> ^{*5}	T4922-1-1 ^T	高松塚古墳 石室内 奥 (B-1 : 1a (落下菌 : CP 添加 PDA を10分間開放)
<i>Candida tumulicola</i> ^{*5}	T6517-9-5 ^T	高松塚古墳 石室内 東壁 右女子足元下 ゲル状部分 No. ⑨
<i>Candida sp. (新種)</i>	K5916-7-4	キトラ古墳 石室内 北壁 玄武下
<i>Pichia membranifaciens</i>	T4716-3	高松塚古墳 石室内 西壁 白虎の爪の箇所 ゲル状 (高松粘菌)
<i>Pichia guilliermondii</i>	T6517-3-4	高松塚古墳 石室内 西壁 左女子 頭部後方の黒色部分 No. ③
細菌		
<i>Gluconacetobacter sp. 1</i>	K5929-2-1b	キトラ古墳 石室内 西寄り天井 漆喰にあいた穴③ No. 4 中身の黒色
<i>Bacillus thuringiensis</i>	T5916-8-1b	高松塚古墳 石室内 東壁 青龍左 茶しみ中の黒カビ 跡 ベタベタ状
<i>Bacillus simplex</i>	K6203-10-3b	キトラ古墳 石室内南壁 下方 ゲル上の塊多数 (高松塚のものに酷似)
<i>Microbacterium sp. (M. phyllosphaerae に近縁)</i>	T6220-7-3b	高松塚古墳 石室内 西壁 女子群像 右肩の赤い着物 上のスポット
<i>Ochrobactrum sp. (O. grignonense に近縁)</i>	T6220-2-3b	高松塚古墳 石室内 西壁 女子群像 頭上
<i>Rhizobium radiobacter</i>	K5902-3-1b	キトラ古墳 石室内 北壁 濃緑色のしみ
<i>Stenotrophomonas sp. (新種)</i>	T5916-2-1b	高松塚古墳 石室内 西壁 白虎 後肢下 ゲル上
<i>Sphingobacterium sp. (S. thalophilum に近縁)</i>	T6220-7-2b	高松塚古墳 石室内 西壁 女子群像 右肩の赤い着物 上のスポット
<i>Stenotrophomonas sp. (S. rhizophila に近縁)</i>	K5916-3-1b	キトラ古墳 石室内 南壁 朱雀上のカビ
<i>Tetrathiobacter kashmirensis</i>	T6220-6-3b	高松塚古墳 石室内 東壁 青龍 後肢付近

^{*1} T : 高松塚古墳分離株, K : キトラ古墳分離株, TBT : 高松塚古墳分離株 (東文研), TBK : キトラ古墳分離株 (東文研), T (上付 T) : 基準株, ^{*2} An *et al.* (2009) 参考文献19)

^{*3} *Fusarium sp. (FSSC クレード)* : *Fusarium solani* species complex クレードに含まれる *Fusarium sp.*

^{*4} Kiyuna *et al.* (2008) 参考文献20), ^{*5} Nagatsuka *et al.* (2009) 参考文献12)

Trichoderma など、その他の分離株では、イソプロパノールを加えても殆ど生育しないことが明らかになった（表2、イソプロパノール添加）。

表2 カビ分離株の資化性試験結果

種名	菌株番号 ^{*1}	エタノール (%)		イソプロパノール (%)		対照	
		0.5	1	0.5	1	炭素源無添加	グルコース0.5%
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) sp. 1	T4519-5-1	+	+	+ w	+	-	+
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) sp. 1	T6517-1-1	+	+	+	+	-	+
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) sp. 2	K7511-1	+	+	+	+ w	-	+
<i>Penicillium paneum</i> ^{*2}	T5916-6-1	+	+	+ w	+ w	-	+
<i>Penicillium paneum</i> ^{*2}	T6517-1-2	+	+	+ w	+ w	-	+
<i>Penicillium paneum</i> ^{*2}	K5916-7-1	+	+	+ w	+ w	-	+
<i>Fusarium</i> sp. (FSSC クレード) ^{*3, *4}	T4519-9-3	+	+	+ w	+ w	-	+
<i>Fusarium</i> sp. (FSSC クレード) ^{*3, *4}	T4716-1	+	+	+ w	+ w	-	+
<i>Fusarium</i> sp. (FSSC クレード) ^{*3, *4}	K5225-19-3	+	+	+ w	+ w	-	+
<i>Trichoderma</i> sp. 1-b ^{*4}	T4519-9-7	+	+	-	-	-	+
<i>Trichoderma</i> sp. 1-b	K5916-7-3	+	+	-	-	-	+
<i>Cylindrocarpon</i> sp. ^{*4}	TBT-1	+	+	+ w	-	-	+
<i>Cylindrocarpon</i> sp. ^{*4}	TBK-22	+	+ w	-	-	-	+
<i>Burgoa</i> sp.	K7316-1-1	+ w	+ w	-	-	-	+
<i>Phialocephala phycomyces</i>	K5906-1-1	+	+	-	-	-	+

※1, ※2, ※3, ※4 表1の脚注参照

【凡例】 + : 生育陽性, + w : 弱い生育陽性, - : 生育陰性

3. 酵母分離株の試験と結果

栄養源として炭素源が加えられていない液体培地 (Bacto Yeast Nitrogen base (Becton Dickinson, MD, USA)), および、グルコース、エタノール、イソプロパノールを、それぞれ単一の炭素源として添加したものに、酵母の分離株 (表1, 5株) を供試菌株として植菌し、生育の有無を確認した。グルコースは培地の0.5% w/v, エタノール、イソプロパノールについては、培地の0.5%, または1% v/vで添加したものについて試験を行った。培養は、液体培地5mlを試験管に入れて、静置培養で行った。1週間ごとに生育の有無を確認しながら1ヶ月間観察し、最終的な結果を表3に示した。

炭素源無添加の場合は、いずれの供試菌株も生育がみられなかった (表3, 対照, 炭素源無添加) が、0.5%のグルコースを添加したものでは、すべての供試菌株で生育がみられた (表3, 対照, グルコース0.5%)。エタノールを0.5%, 1% v/vで添加した場合は5株全ての分離株で生育がみとめられたが、*Candida takamatsuzukensis* (T4922-1-1^T株¹²⁾) では2週間程度生育が遅れる傾向が見られた (表3, エタノール添加)。一方、イソプロパノールを0.5%, 1% v/vで添加した場合には、今回試験を行った分離株では生育はみられなかった (表3, イソプロパノール添加)。

表3 酵母分離株の資化性試験結果

種名	菌株番号 ^{※1}	エタノール (%)		イソプロパノール (%)		対照	
		0.5	1	0.5	1	炭素源 無添加	グルコー ス0.5%
<i>Candida takamatsuzukensis</i> ^{※2}	T4922-1-1 ^T	+ _s	+ _s	-	-	-	+
<i>Candida tumulicola</i> ^{※2}	T6517-9-5 ^T	+	+	-	-	-	+
<i>Candida</i> sp. (新種)	K5916-7-4	+	+	-	-	-	+
<i>Pichia membranifaciens</i>	T4716-3	+	+	-	-	-	+
<i>Pichia guilliermondii</i>	T6517-3-4	+	+	-	-	-	+

※1, ※2 表1の脚注参照

【凡例】 + ; 生育陽性, +_s; 試験開始後2週間以降に生育陽性, - ; 生育陰性

4. 細菌分離株の試験と結果

栄養源として炭素源が加えられていない液体培地 (M70培地)¹⁵⁾, および, グルコース, エタノール, イソプロパノールを, それぞれ単一の炭素源として添加したものに細菌の分離株 (表1, 10株) を供試菌株として植菌し, 生育の有無を確認した。グルコースは培地の0.5% w/v, エタノール, イソプロパノールについては, それぞれ培地の0.1%, 0.5%, または1% v/vで添加したのについて試験を行った。試験管に入れた液体培地5 mlで静置培養し, 3日後の結果を表4に示した。

炭素源無添加の場合は, いずれの供試菌株も生育がみられなかった (表4, 対照, 炭素源無添加) が, 0.5%のグルコースを添加したものでは, すべての供試菌株で生育がみられた (表4, 対照, グルコース0.5%)。

エタノール, イソプロパノールをそれぞれ培地の0.1%, 0.5%, または1% v/vで添加した場合は, *Microbacterium* sp. (T6220-7-3b株)を除く9株の細菌分離株において, 生育がみられ, 細菌分離株の多くはエタノールに加え, イソプロパノールも資化できることが明らかとなった (表4)。

5. 考察

今回の試験では, 高松塚古墳石室から分離された菌株が, エタノールやイソプロパノールを単一炭素源として利用できるかどうかを知るために, エタノールやイソプロパノールが殺菌剤として生育を阻害しないような, ごく低濃度 (0.5%, 1%)での検討を行った。どの程度高い濃度まで微生物の生育が可能であるかについては, 資化性の観点と, 抵抗性の観点の両方において重要な問題である。抵抗性の観点からは, 高鳥らによって検討が行われ, 薬剤以外の炭素源が加えられた培地にエタノールや, イソプロパノールを殺菌剤として加えた場合, 最大発育濃度はエタノールでは7.5%程度, イソプロパノールでは, 2.5%~5%であるという結果が報告された (9, 10)。エタノールやイソプロパノールを単一炭素源とした場合に, どの程度の濃度まで生育が可能かという問題については, 別途調査する必要があると考えられる。

表4 細菌分離株の資化性試験結果

種名	菌株番号 ^{*1}	エタノール (%)			イソプロパノール (%)			対照	
		0.1	0.5	1	0.1	0.5	1	炭素源 無添加	グル コース 0.5%
<i>Gluconacetobacter</i> sp. 1 (新種)	K5929-2-1b	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Bacillus thuringiensis</i>	T5916-8-1b	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Bacillus simplex</i>	K6203-10-3b	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Microbacterium</i> sp. (<i>M. phyllosphaerae</i> に近縁)	T6220-7-3b	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Ochrobactrum</i> sp. (<i>O. grignonense</i> に近縁)	T6220-2-3b	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Rhizobium radiobacter</i>	K5902-3-1b	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Stenotrophomonas</i> sp. (新種)	T5916-2-1b	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Sphingobacterium</i> sp. (<i>S. thalophilum</i> に近縁)	T6220-7-2b	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Stenotrophomonas</i> sp. (<i>S. rhizophila</i> に近縁)	K5916-3-1b	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Tetrathibacter kashmirensis</i>	T6220-6-3b	+	+	+	+	+	+	-	+

*1 表1の脚注参照

【凡例】+；生育陽性，-；生育陰性

6. 今後の課題

本報告において、エタノールやイソプロパノールを単一の炭素源として添加した培地に高松塚古墳石室より分離されたカビ、酵母、細菌を植菌し、生育を調査したところ、エタノールについては、1%容量の低濃度では、ほとんどの菌株が生育を示すことがわかった。これに対して、イソプロパノールでは、カビや酵母の菌株は生育しないか、生育が弱かったが、細菌では多くの菌株が生育することができた。

高松塚古墳では、パラホルムアルデヒド燻蒸が昭和50年代から石室で実施され、当時大発生した *Doratomyces* sp. のカビの対策として一定の効果をあげた¹⁶⁾ と考えられる。しかし、パラホルムアルデヒド燻蒸を行っても、分厚いコロニーが生じているような箇所では、コロニー内部までは効果が十分ではないことが知られており、このような場合は、物理的に殺菌しつつ、取り除くことを併用することが必要と考えられた。

絵画への影響が少なく、人体への毒性が比較的低いという点で、このようなカビのコロニーの殺菌と除去という用途にはアルコール系のものが候補となり、高松塚古墳では2001年以降2005年9月まで、キトラ古墳では2004年以降、適宜使用された。

しかし、本試験でエタノールが1%程度の低濃度になると、高松塚古墳から分離されたカビ、酵母、細菌などが炭素源として利用できることがわかった。また、イソプロパノールについて

は、今回調べた範囲では酵母の分離株は炭素源として使用できなかったが、カビの分離株の一部や細菌の分離株の多くが1%程度の低濃度で、炭素源として利用できることが示された。

薬剤については、壁画の色材や支持体に影響が及ぶにくく、人体への影響や、環境汚染などの懸念が少ないものを選ぶ必要がある。有機系の殺菌剤、抗菌剤のなかで、それら自身が栄養源となりにくいものは存在するが、今述べた制約を満たすかどうか、また薬剤が分解された場合に、分解産物が有機物として微生物の栄養源になる可能性についてはどうか、ということについて、慎重な検討を要する。このため、今回検討したもの以外の有機系の殺菌剤、抗菌剤についても、同様な高湿度環境においては、長いタイムスパンの中でどのように使用すべきか、あるいはそもそも使用が適当かどうかについて、十分に検証していく必要がある。現在、キトラ古墳においては、目に見える範囲の絵画の取り外しが終了しており、石室内では有機物を残さない微生物制御方法（間欠的な紫外線照射、局所的な次亜塩素酸による処置）に切り替えられている^{17,18)}が、今後、このような有機物を残さない方法についても、どのように応用していくべきかを検討すべき時期に来ていると考えられる。

参考文献

- 1) 木川りか, 佐野千絵, 石崎武志, 三浦定俊: 高松塚古墳の微生物対策の経緯と現状, 保存科学, 45, 33-58 (2006)
- 2) 木川りか, 佐野千絵, 石崎武志, 三浦定俊: 高松塚古墳における菌類等微生物調査報告 (平成18年), 保存科学, 46, 209-219 (2007)
- 3) 木川りか, 佐野千絵, 間瀬創, 三浦定俊: キトラ古墳の前室および石室における菌類調査報告, 保存科学, 44, 165-171 (2005)
- 4) 木川りか, 間瀬創, 佐野千絵, 三浦定俊: キトラ古墳における菌類等生物調査報告 (2), 保存科学, 45, 93-105 (2006)
- 5) 木川りか, 佐野千絵, 間瀬創, 三浦定俊: キトラ古墳における菌類等生物調査報告 (3), 保存科学, 46, 227-233 (2007)
- 6) 国宝高松塚古墳壁画恒久対策検討会 (第3回), 参考資料3, 高松塚古墳の微生物調査記録, 平成17年5月11日, (2005) 文化庁
- 7) 高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会 (第3回), 資料5, 高松塚古墳の劣化の経緯と生物的要因について, 平成20年9月30日, (2008) 文化庁
- 8) 国宝高松塚古墳壁画恒久対策検討会 (第7回), 資料4, 高松塚古墳分離カビ等に対する消毒薬試験結果, 高鳥浩介, 平成18年7月24日, (2006) 文化庁
- 9) 高鳥浩介, 久米田裕子, 木川りか, 佐野千絵: 高松塚古墳石室および周辺部由来カビの薬剤に対する馴化, 保存科学 49 239-242 (2010)
- 10) 高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会 (第12回), 参考資料1-7, 平成21年11月30日, (2009) 文化庁
- 11) 国宝高松塚壁画恒久保存対策検討会 (第5回), 資料3-2, 古田太郎, 平成18年2月9日, (2006) 文化庁
- 12) Nagatsuka, Y., Kiyuna, T., Kigawa, R., Sano C., Miura, S and J. Sugiyama: *Candida tumulicola* sp. nov. and *Candida takamatsuzukensis* sp. nov., novel yeast species assignable to the *Candida membranifaciens* clade, isolated from the stone chamber of the Takamatsu-zuka tumulus, International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 59, 186-194

(2009)

- 13) 木川りか, 佐野千絵, 間瀬創, 喜友名朝彦, 立里臨, 西島美由紀, 杉山純多: キトラ古墳の微生物等の状況報告 (2008), 保存科学, 48, 167-174 (2009)
- 14) 高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会 (第7回), 参考資料4, 平成21年3月12日, (2009) 文化庁
- 15) 坂崎利一, 吉崎悦郎, 三木寛二: 『新 細菌培地学講座・下 I(第二版, 第3刷)』, 近代出版 (1995)
- 16) 新井英夫: 高松塚古墳壁画の微生物学的環境とその対策, 『国宝高松塚古墳壁画 —保存と修理—』, 文化庁, pp.186-196 (1987)
- 17) 古墳壁画保存活用検討会 (第4回), 資料3, 古墳壁画保存活用検討会保存技術ワーキンググループから古墳壁画保存活用検討会への提案事項, 平成21年3月9日, (2009) 文化庁
- 18) 木川りか, 佐野千絵, 喜友名朝彦, 立里臨, 杉山純多, 高鳥浩介, 久米田裕子, 森井順之, 早川典子, 川野邊渉: キトラ古墳の微生物調査結果と微生物対策について (2009), 保存科学, 49, 253-264 (2010)
- 19) An, K.-D., Kiyuna, T., Kigawa, R., Sano, C., Miura, S. and J. Sugiyama: The Identity of *Penicillium* sp.1, a major contaminant of the sotome chambers in the Takamatsuzuka and Kitora tumuli in Japan, is *Penicillium paneum*, Antonie van Leeuwenhoek, 96, 579-592 (2009)
- 20) Kiyuna, T., An, K.-D., Kigawa, R., Sano, C., Miura, S. and J. Sugiyama: Mycobiota of the Takamatsuzuka and Kitora Tumuli in Japan, focusing on the molecular phylogenetic diversity of *Fusarium* and *Trichoderma*, Mycoscience, 49, 298-311 (2008)

キーワード: 古墳 (tumulus); 生物劣化 (biodeterioration); 殺菌剤 (disinfectant); エタノール (ethanol); イソプロパノール (isopropanol); 菌類 (fungi); カビ (molds); 酵母 (yeasts); バクテリア (bacteria)

Use of Ethanol and Isopropanol as Carbon Sources by Microorganisms Isolated from Takamatsuzuka and Kitora Tumuli

Rika KIGAWA, Chie SANO, Tomohiko KIYUNA*, Nozomi TAZATO*
and Junta SUGIYAMA*²

In Takamatsuzuka and Kitora Tumuli, para-formaldehyde fumigation had been used to kill microorganisms. But ethanol or isopropanol was also occasionally used for the removal of colonies of microorganisms which contaminated the murals as dense colonies survived even after para-formaldehyde fumigation. At high concentration, these alcohols are strong disinfectants that do not affect pigments of the mural paintings. Also, para-formaldehyde is presently known as a potent carcinogen, so lower toxic disinfectants were desired for use.

However, there was a concern that microorganisms might use such alcohols as carbon sources when the alcohols are diluted to a very low concentration. In order to test this possibility, we examined the growth of strains of microorganisms isolated from Takamatsuzuka and Kitora Tumuli. Strains were cultured in minimum liquid media containing low concentration of each alcohol (approximately 0.5% or 1% in volume) as a single carbon source.

All 15 fungal strains tested could utilize ethanol (approximately 0.5% and 1% in volume) as a single carbon source. On the other hand, fungal strains did not utilize isopropanol so effectively as ethanol except for strains of *Acremonium* (sect *Gliomastix*) sp.

All 5 yeast strains tested could utilize ethanol (approximately 0.5% and 1% in volume). But they did not utilize isopropanol.

Nine bacterial strains out of 10 could utilize both ethanol and isopropanol (approximately 0.5% and 1% in volume). Only one strain of *Microbacterium* sp. did not utilize either of them.

Ethanol and isopropanol were supposed to be mild disinfectants to pigments of murals, but when they are diluted to a very low concentration, they might act as carbon sources, ie. nutrients for microorganisms.