

## 食品のカビ汚染と防止対策

諸角 聖<sup>\*</sup>, 藤川 浩<sup>\*</sup>, 和宇慶 朝 昭<sup>\*</sup>, 千葉 隆 司<sup>\*</sup>

### Fungal Contamination and its Control in Foods

Satoshi MOROZUMI<sup>\*</sup>, Hiroshi FUJIKAWA<sup>\*</sup>, Tomoaki WAUKE<sup>\*</sup>  
and Takashi CHIBA<sup>\*</sup>

**Keywords :** カビ mold, 酵母 yeast, 食品汚染カビ food born fungi, カビ汚染 fungal contamination, カビ制御 control of fungal contamination

#### はじめに

カビの発生による被害は穀類, 種実類およびそれらを原料に使用した加工品, 果物などで多く, 変質, 外観不良, 異物混入, マイコトキシン(カビ毒)汚染などの理由で廃棄される食品は膨大な量に上ると考えられる. Task Force Report No.116<sup>1)</sup>によれば, 米国においてマイコトキシン汚染が原因で廃棄される食料は生産量の約 25%にのぼり, 多大な経済的損失を招いていることが明らかにされている.

加工食品の場合は, カビの生育が肉眼で容易に識別可能であることからいわゆる「苦情(クレーム)」の原因となる場合が少なくない. 特に, 広域流通食品などでトラブルが生じた場合には製造者や販売者の信用失墜が懸念されることに加え, 食品の回収, 廃棄などによって被る経済的損失の大きいことも指摘されている. こうした加工食品の微生物による危害を防止するには, 汚染微生物すべてを対象に

した対策が必要なことは言うまでもない. 食品を微生物の危害から守る基本対策は, 微生物の「汚染防止」, 「増殖防止」および「殺菌処理」, すなわち食中毒予防の 3 原則と言われるものがそのまま当てはまる. 従って, 対象となる食品の特性を考慮し, この 3 つの方法のいずれか, あるいは相互に組み合わせることが適切な防除対策の構築につながる. しかし, 加工食品として取り扱われるものの中には, 単に乾燥しただけの原料に近いものから, 複雑な加工工程を経て製造されたものまで含まれ, その原材料もまた多種多様である. このような点からみても, 加工食品の品質保持対策を画一的に講ずることは困難である.

ここでは, 著者らが実施した都内流通食品のカビ汚染調査成績を述べるとともに, これまでの調査結果をもとにカビ汚染防止とカビ発生を防止するために考慮すべき留意点を概説する.

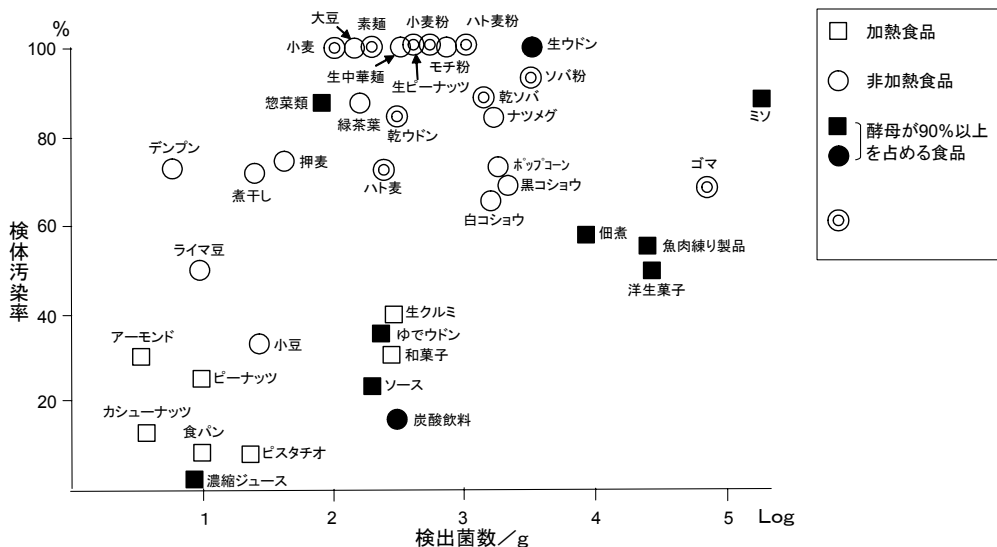


図 1. 各種市販食品からのカビ・酵母検出率と検出菌数

\* 東京都健康安全研究センター微生物部食品微生物研究科 169-0073 東京都新宿区百人町 3-24-1

\* Tokyo Metropolitan Institute of Public Health  
3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073 Japan

1. 加工食品のカビ汚染

1) 加工食品のカビ汚染調査結果

都内流通の加工食品 39 品目、約 3,000 検体を対象に実施したカビおよび酵母汚染調査の結果をもとに、各種食品におけるカビ・酵母の汚染率と検出菌数との関係を図 1 に示した。カビ・酵母による検体汚染率の高かった食品は小麦粉、ソバ粉、素麺などの 16 品目で、いずれも 80%以上の試料から菌が検出された。また、試料 1 g 当り 10<sup>4</sup> cfu (colony forming unit)以上の多数のカビ・酵母が検出された食品はミソ、洗いゴマ、魚肉練り製品および洋生菓子の 4 品目で、ゴマ以外は酵母中心の汚染であった。次いで佃煮、ソバ粉、生うどんなどの 7 品目から 10<sup>3</sup> cfu/g レベルの菌が検出されている。他方、検出菌叢についてみると、調査対象とした食品の大部分が乾燥食品および加熱加工品であったため、*Penicillium*、*Aspergillus*、*Eurotium*、*Wallemia*などのいわゆる貯蔵カビと *Cladosporium* が多くの食品から優勢に検出され、なかでも *Penicillium* が最も高頻度に分離

表 1. 各種食品から検出される主要なカビ

食品名	穀粒類	穀粉類	ナッツ類	香辛料	乾麺類	生麺類	豆類	ゴマ	乾燥果実	パスタ	菓子類	ジュース類	煎茶	味噌類	惣菜類
<i>Aspergillus</i>	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			△		◎	◎	
<i>Penicillium</i>	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△		△		◎	△	△
<i>Cladosporium</i>	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○		△	△	△
<i>Alternaria</i>	△	△		△	△	△	△	○							
<i>Wallemia</i>	○	◎	△	◎	◎	△	△	◎			○		○	○	
<i>Fusarium</i>	○	○	○	○											
<i>Aureobasidium</i>	△										△	○		△	
<i>Trichoderma</i>	△	△					△								
<i>Paecilomyces</i>	△	△		△	△		△							△	△
<i>Geotrichum</i>			△	△	△	△									
<i>Phoma</i>			△	△	△	△		△					△		
<i>Mucor</i>	○	○	△	○	○	○		△	○	△					
<i>Rhizopus</i>	○	○	○	○	○			△							
酵母	○	○	△	○	○	◎	△	△			◎	△		◎	◎

◎:検出頻度が高い。○:検出される。△:まれに検出される。

表 2. 苦情食品の内訳と原因となったカビ・酵母(属名で記載)

大分類	事例数	小分類	事例数	主要起因菌(事例数)	
菓子	184	和菓子	99	<i>Cladosporium</i> (37), <i>Wallemia</i> (32), <i>Penicillium</i> (27)	
		洋菓子	85	<i>Cladosporium</i> (30), <i>Penicillium</i> (22), <i>Eurotium</i> (18)	
	嗜好飲料	144	茶飲料	53	<i>Cladosporium</i> (25), <i>Penicillium</i> (11), <i>Aspergillus</i> (3)
			ミネラルウォーター	35	<i>Penicillium</i> (10), <i>Acremonium</i> (4), <i>Cladosporium</i> (3)
ジュース		27	<i>Penicillium</i> (10), <i>Cladosporium</i> (9), <i>Aureobasidium</i> (3)		
炭酸飲料		11	<i>Candida</i> (3), <i>Penicillium</i> (2), <i>Cladosporium</i> (1)		
穀類	59	その他	10	<i>Penicillium</i> (3), <i>Aureobasidium</i> (2), <i>Cladosporium</i> (1)	
		アルコール飲料	5	<i>Penicillium</i> (3), <i>Phoma</i> (1), <i>Cladosporium</i> (1)	
		コーヒー	3	<i>Aspergillus</i> (1), <i>Cladosporium</i> (1), <i>Monilia</i> (1)	
		米	20	<i>Penicillium</i> (9), <i>Eurotium</i> (7), <i>Aspergillus</i> (7)	
		パン	12	<i>Aspergillus</i> (7), <i>Penicillium</i> (3), <i>Pichia</i> (1)	
	水産物	40	麺類	8	<i>Penicillium</i> (3), <i>Cladosporium</i> (2), <i>Arthrinium</i> (1)
			米飯	7	<i>Penicillium</i> (3), 死菌(5:Penicillium, <i>Cladosporium</i> )
			モチ	7	<i>Cladosporium</i> (4), <i>Aspergillus</i> (2)
			寿司	5	<i>Hanseniaspora</i> (2), <i>Candida</i> (2), Other yeast(1)
			乾燥品	11	<i>Eurotium</i> (7), <i>Penicillium</i> (2), <i>Wallemia</i> (2)
野菜類	22	練り製品	10	<i>Penicillium</i> (6), <i>Cladosporium</i> (4), <i>Alternaria</i> (2)	
		生鮮品	4	<i>Cladosporium</i> (1), <i>Eurotium</i> (1), <i>Mucor</i> (1), <i>Candida</i> (1)	
		佃煮	3	<i>Penicillium</i> (1), <i>Eurotium</i> (1), <i>Pichia</i> (1)	
		海藻	3	<i>Candida</i> (2), <i>Aureobasidium</i> (1), <i>Phoma</i> (1)	
		その他	9	<i>Penicillium</i> (7), <i>Aspergillus</i> (1), <i>Pichia</i> (1)	
果物類	33	ジュース類	11	<i>Penicillium</i> (7), <i>Aspergillus</i> (1), <i>Alternaria</i> (1)	
		加工野菜	10	<i>Candida</i> (4), <i>Penicillium</i> (3), <i>Cladosporium</i> (1)	
		生野菜	1	<i>Alternaria</i> (1)	
乳製品	19	乾燥品	15	<i>Penicillium</i> (6), <i>Aspergillus</i> (4), <i>Wallemia</i> (2)	
		ジャム	11	<i>Aspergillus</i> (2), <i>Penicillium</i> (2), <i>Eurotium</i> (2)	
		生もの	5	<i>Penicillium</i> (2), <i>Fusarium</i> (1), <i>Botrytis</i> (1)	
複合調理食品	18	シロップ漬け	2	<i>Penicillium</i> (2)	
		チーズ	11	<i>Penicillium</i> (5), <i>Cladosporium</i> (5), <i>Aspergillus</i> (1)	
		ヨーグルト	8	<i>Penicillium</i> (3), <i>Cladosporium</i> (2), <i>Candida</i> (2)	
豆類・ナッツ類	14	総菜類	8	<i>Penicillium</i> (3), <i>Cladosporium</i> (3), <i>Rhizopus</i> (2)	
		バイ・トースト類	6	<i>Penicillium</i> (3), <i>Cladosporium</i> (3), <i>Wallemia</i> (1)	
		スープ・その他	4	<i>Penicillium</i> (2), <i>Cladosporium</i> (2), <i>Alternaria</i> (1)	
肉・卵	11	煮豆	6	<i>Penicillium</i> (4), <i>Candida</i> (2)	
		豆腐	5	<i>Cladosporium</i> (3), <i>Penicillium</i> (2), <i>Hanseniaspora</i> (1)	
		スナック等	2	死菌(2:Penicillium, <i>Aspergillus</i> )	
芋類	9	味噌	1	<i>Isstchenkia</i> (1)	
		加工品	9	<i>Penicillium</i> (3), <i>Cladosporium</i> (2), <i>Rhodotorula</i> (1)	
		生肉	1	<i>Rhodotorula</i> (1)	
調味料	8	卵	1	<i>Cladosporium</i> (1)	
		乾燥芋	9	<i>Wallemia</i> (6), <i>Eurotium</i> (6), <i>Cladosporium</i> (5)	
その他	1	キノコ抽出物	1	<i>Penicillium</i> (1)	

されている。また、*Aspergillus flavus* などのマイコトキシン産生菌は洗いゴマ、ソバ粉、ハト麦粉といったこれまでにマイコトキシン汚染の報告された食品から高頻度に検出された(表1)。

## 2) カビ発生による食品の苦情

カビの発生により廃棄される食品の実態はほとんど知られていない。その理由は食品にカビが生えても、捨てられたり、製造業者あるいは販売店で新しいものと取り替えることで解決する例が多く、その結果が公表されないためである。しかし、消費者がこのような異常食品を誤って食べてしまった時や、販売者・製造者とのトラブルが生じた場合には、その食品が苦情届出品として保健所や検査機関に持ち込まれることになる。ここでは、都内の保健所に届け出られた苦情食品にどのようなカビが発生し苦情の原因となっているかを述べる。

著者らが1987年から2002年までの16年間に取り扱った苦情事例562事例の検査結果<sup>2)</sup>を表2に示した。カビによる苦情は菓子類が184件と最も多く、次いで嗜好飲料144件、穀類59件、水産物40件、果実33件、野菜22件、乳・乳製品19件、複合調理食品18件、豆・ナッツ類14件、食肉・卵11件、調味料8件などの順で多く見られた。これら食品の種類と原因菌との間にはある程度の相関性が認められている。すなわち、菓子類や惣菜・佃煮類などのやや水分活性の低い食品では *Eurotium* や *Wallemia* などの好乾菌(やや乾燥した条件を好むカビ)および *Penicillium*, *Cladosporium* などのカビの発生が、清涼飲料水では *Penicillium*, *Cladosporium* および *Aureobasidium* の発生例が多いといった傾向が見られ、著者らのこれまでの調査成績とほぼ同様の傾向であった<sup>3,4)</sup>。

また、苦情の理由は異物として届け出られる例が約8割を占め、それ以外に異臭<sup>5,6)</sup>、異味、変色などが含まれる(図2)。また、一方、これらのうちで喫食された例は156例で、うち34例に嘔吐、一過性の下痢、悪心などの軽度な障害が認められている。このうち酵母の増殖に起因するい

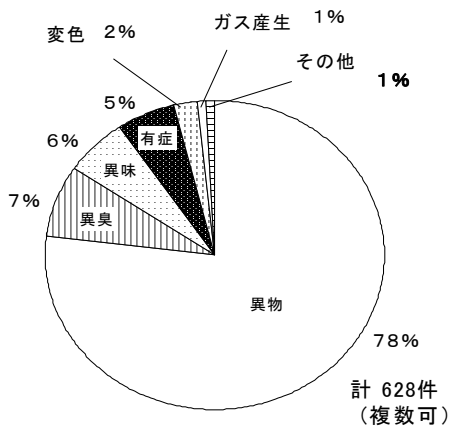


図2. 苦情内容による分類

くつかの事例では原因が特定されており、*Pichia anomala* の増殖した食品を喫食した例で認められた口腔内の痺れと

喉の痛みは、パンの中に産生蓄積された酢酸エチルにより、また、ガソリン臭の発生した煮豆による悪心は *Candida famata* によって煮豆中に添加されたケイヒ酸から生成されたスチレンによって起きたことを明らかにすることができた<sup>7)</sup>。また、喫食例のうち1例からはマイコトキシンが検出された。この例では、苦情品のチリメンジャコから155 ppb のオクラトキシンAが検出されている<sup>8)</sup>が、摂取量が少なかったため喫食者に異常は認められなかった。それ以外の例では当該食品に成分変化や既知のマイコトキシンによる汚染は認められていない。

カビ発生原因の多くは流通期間が長期間に及んだり、吸湿したためカビの発生につながったと推察されたが、脱酸素剤などを封入したものでは包装材料のピンホールや溶封不良が原因であった。

## 2. 加工食品のカビ汚染原因と汚染防止対策

### 1) 加工食品に危害を及ぼすカビの特定

苦情品はその食品に危害を及ぼす特定のカビを明らかにするための絶好の試料であり、これら苦情品の調査と、当該製品を保存する事により生育してくるカビを調べることが危害菌の特定に有効な方法といえる。

図3に苦情例の多い半生菓子について、それぞれ汚染カビ数と水分活性を測定後、包装状態のまま25℃で10日間

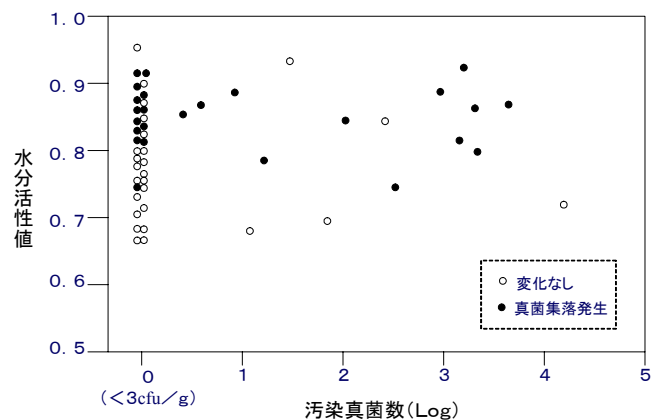


図3. 25℃で7日間培養後の和・洋菓子

における真菌集落発生状況

培養しカビ発生の有無を調べた結果を示した。カビの発生した試料を○で、発生しなかった試料を●で示したが、カビの発生は汚染菌数の高い試料ばかりでなく3 cfu/g以下の試料においても認められた。図には示していないが、集落を形成した菌種は菓子類苦情品から高頻度に分離される *Eurotium*, *Wallemia* などの好乾菌および *Cladosporium* であった。また、高い汚染菌数の試料であっても、水分活性が低いとカビの発生は見られていないことから、半生菓子におけるカビ発生は試料の水分活性に大きく影響され、生育可能なカビも好乾菌などの特定の菌に限定されることが明らかとなった。

この結果を踏まえて、これまでに著者らが調査した苦情食品の検査結果(表1)と各種食品のカビ汚染実態調査の

結果(図1)とを比較してみると、やはり食品のカビによる苦情はカビ検出菌数の多い乾燥食品より、むしろ汚染菌数が少なくとも水分活性がやや高めの食品で多く発生していることがわかる。これらの点からも、食品に付着するカビのすべてがその食品上で発育するわけではなく、カビが発生するか否かは汚染菌数に関係なく、むしろ食品側の水分活性、pH、保存量の有無、成分などの種々の条件下において生育可能な汚染菌が存在するかどうかによって依存していることが伺える。すなわち、当然ではあるが、保管・流通時の環境条件下でその食品上に速やかに生育可能な菌種が危害菌となる。しかし、カビ汚染の機会が増えることは、菌数の増加とともに生育可能な菌種の増加を招く場合が多く、早期のカビ発生につながるため、汚染を無くす、または減らす努力は重要である。

## 2) 加工食品のカビ汚染原因

加工食品のカビ汚染原因を明らかにするためには、その食品の製造工程の各サンプル、製造機器、作業員手指、作業場内の落下菌を対象にした汚染調査が不可欠である。

すでに述べたごとく、苦情品の検査や製造された製品を保存することによりその製品に生育する菌種をあらかじめ調べておく必要がある。その理由の第一は、同種の食品であっても、原料、製造環境、工程、作業員、包装材料などが異なり、汚染原因もそれにとまって相違するため。第二は食品の成分、水分、pHなどの影響で生育可能な菌種

表 3. 各種食品の製造工程におけるカビ汚染原因

食品名	汚染原因
加熱工程の存在する食品:	
チーズケーキ	落下菌
栗まんじゅう	落下菌
桃山	落下菌, 作業員手指
煮豆	落下菌, 作業員手指, 副原料
煎茶	配合時の落下菌, 機器の汚染
パウンドケーキ	落下菌, 作業台の汚染
ウインナーソーセージ	落下菌, 作業台の汚染
バウムクーヘン	落下菌, カッター刃
ドイツパン	作業員手指, スライサー刃
ロールカステラ	カッター刃
佃煮	器具, 作業員手指
ゆで麵	冷却用ボール, 計量用ボール
フルーツ砂糖煮	製造器具
生あん	さらし水
スポンジケーキ	クリーム汚染
冷凍ピラフ	作業員手指, 製造機器
加熱工程の無い食品:	
小麦粉	原料粒
ソバ粉	原料粒
冷凍ハンバーグ	原料
冷凍コロッケ*	原料
冷凍ピザ*	チーズカッター, トレー
ラムネ	分注機ノズル
サワー	分注機, 洗ビン不良

\*: 副原料が非加熱の食品

が限定されるためである。従って、製品のカビ汚染防除対策はこの調査結果に基づいて講ずることが最善と思われる。表3に示した著者らの調査結果<sup>9-12)</sup>では、カビの汚染原因は食品の種類毎である程度の共通性がみられ、加熱工程の無い食品では原料の1次汚染がそのまま、あるいは加工中の2次汚染によりさらに増幅されて製品に移行する場合と、加工工程中の加熱工程で1次汚染菌は死滅し、加熱後に落下菌、作業員手指、副原料、機器などにより汚染される場合とに大別できた。

一方、汚染菌についてみた場合にも、食品の種類毎である程度の共通性がみられる<sup>13)</sup>。農産物では土壌中の微生物などが、生鮮魚介類では海水や河川水中の微生物が1次汚染菌となるが、環境中に常在する微生物の特徴は環境毎である程度共通しているためである。たとえば、土壌由来菌は低温で発育し、熱や乾燥に対して強い抵抗性を持つものが多く、動物寄生菌は中温で発育し、通性嫌気性のものが多く、病原性を有するものも少なくない。また、空気や塵埃中の微生物は乾燥に耐えられる菌が多いなどの特徴を持っている。こうした理由で、食品から分離される汚染菌の特徴から汚染源を推定することもある程度可能である。

以下に著者らの食品製造工程を対象にした調査の結果から明らかとなったカビ汚染原因とその対策を列記する。

### (1) 食品原料や副原料に由来する汚染

カビ汚染レベルの高い小麦粉、とうもろこし粉、香辛料などの原料の使用は工場内の落下菌数の増加を招き、製品のカビ汚染の原因となる。特に、製パン工場や製菓工場においては小麦粉などの穀粉が秤量時や生地作製の際に飛散し、周囲の浮遊菌数の増加を招きやすい。生鮮魚介類、野菜、ナチュラルチーズ、生アン、生ケーキなどに使用されるイチゴやメロンなども高度な微生物汚染がみられる原料の1つである。これらは粉体と違い菌の飛散は少ないが、器具器材や作業員手指を介して、あるいは洗浄不十分なものを直接使用することにより製品を汚染する。また、実際に菓子類に使用されるクリーム類などの副原料の微生物汚染が製品のカビ発生や臭気発生の原因となった苦情事例も少なくない。

### (2) 製造環境からの汚染

食品工場はその性質上、大量の水が使用され、熱・水蒸気の発生量も多い。このため内部が高温高湿となりやすく、結露も発生し、有機物の付着した壁面や機器類には容易にカビが発生する。工場内に発生したカビは気流とともに浮遊し、落下菌数の増加を招き、直接的に、あるいはベルトコンベアーや機器類、作業員手指などを介して間接的に製品を汚染する。カビはカビの生えた環境に限らず、屋外、屋内の至るところの空気中に浮遊している。これまでの著者らの調査結果<sup>14,15)</sup>では空気1m<sup>3</sup>あたり60~70個のカビ胞子が浮遊しており、特にカビの生育した環境でなくてもカビの汚染源として注意を払うべき対象といえる(図4)。また、製造環境における粉体原料(小麦粉など)の飛散、エアコンフィルターの清掃不良、床や工場内突起物に集積

した塵埃の飛散, 段ボールや粉袋などの取り扱い不良, 施設内の清掃不良も落下菌の増加を招くため留意する必要がある。工程中に加熱工程が存在し中間製品が無菌となる場合には, 無菌空気による放冷やクリーンルームの設置により, 加熱後の工程を無菌化する事が最良の方法である。しかし, 経費面および技術面から完全無菌化は難しい。

一方, 表3に示したごとく落下菌による汚染のほかに冷却水, ベルトコンベアー, 裁断用カッターの刃, 包装機材の汚染が製品の汚染源となっている。また, コナダニなどの食品害虫もカビを伝播することが実験的に明らかにされている<sup>16)</sup>。

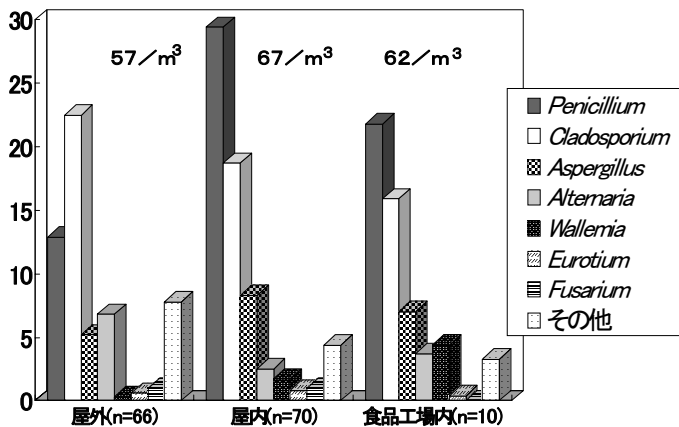


図4. 空気中のカビ分布

### 3) カビ汚染防止対策

#### (1) 食品製造施設における留意点

食品製造施設の構造面や管理面での基本的な留意点として 建築物内部に外部の汚染が侵入しないような構造,

建築物内部で汚染が発生しないようにする, 汚染が発生した場合にはそれが建物内の他の部分に拡散しないようにする, 汚染が発生したり持ち込まれた場合, それが速やかに排除されるようにする, の4項目がカビ汚染防止対策においては特に重要であろう<sup>17)</sup>。

具体的には, 原料を取り扱う汚染作業区域とそれ以外の区域を区画する。内装は発塵性が少なく, 表面がなめらかで塵埃や汚染が付着しにくいこと。清掃が容易で防水, 耐水性に富み, 消毒しても劣化しにくいこと。吸湿性がなくカビが生育しにくいこと。などが要求される。また, 壁面, 天井等に防カビ剤配合の塗料を塗布することはカビ発生防止に有効であるが, そこで生じた結露水が決して食品中に混入しないような場合に限って使用すべきである。食品工場には熱, 水蒸気発生の原因となる熱源上にフード付き局所排気装置を設置するなどして熱や水蒸気の排出に努める。エアコンの汚れもカビ汚染原因として重視すべき要因の1つである。フィルターの定期的な洗浄・交換と吹き出し空気中のカビチェックが不可欠である。製造機器および器具器材には食品の残さが付着し, 放置するとカビが増殖し汚染源となる。一度増殖したカビを取り除くことは極めて困難であることから, それを防止する意味でも洗浄しやすい構造, 材質のものを使用し, 作業終了後には除菌を兼ねた

洗浄を行うことが重要である<sup>18)</sup>。

また, 施設壁面に発生したカビを取り除くにはアルコールおよび次亜塩素酸の使用が一般的である。著者らも, 市販のカビ取り剤およびアルコール製剤の殺菌効果の比較を行い, 表面のカビにはいずれも十分な殺菌効果を示すが, その効果は深部にまで入り込んだカビにまでは及ばないことを確認した<sup>19)</sup>。また, カビ発生部分の殺菌に必要な次亜塩素酸濃度は漂白効果までを考慮しても1%程度で十分であろうと推察された。

#### (2) 作業における問題点

食品製造施設における微生物制御は容易でなく, すでに述べた施設面の衛生管理だけでなく, 従業員の衛生的な作業をはじめ, 原材料, 半製品および製品の適切な取り扱いと品質チェックが不可欠である。衛生的な食品製造環境を確保するためには各工程で適切な管理基準を設け, 日常的な点検, 確認を行う必要がある。

すでに前項で述べたごとく, カビ汚染源としては落下菌, 作業員手指およびベルトコンベアーなどの機器類が最も一般的である。作業員手指などの人為的な汚染の防止には衛生教育が不可欠であり, 原料や機器のスイッチに触れた手で製品を取り扱うときには必ず手指の殺菌, 消毒を行うなどの習慣を身につけさせるほか, 作業員自身の健康管理にも注意を払わせる必要がある。施設内のカビ発生を防止するには湿度管理を徹底し, 施設内の過湿と結露の発生防止につとめることが重要である。また, 発生が認められた場合には, 速やかに殺菌除去する。製品や施設内の衛生状態を定期的にチェックし, 記録を残しておくことも重要である。

#### (3) 製品の殺菌

対象は製品に限らず, 製品の微生物汚染の減少につながる原料や器具器材, 包装容器などである。食品に付着したカビを殺す方法としては, 湿熱, 乾熱, マイクロ波, 遠赤外線などによる加熱殺菌, 放射線, 紫外線などの冷殺菌, オゾンや次亜塩素酸などによる化学的殺菌をはじめ, 食品の種類によっては応用可能な濾過や遠心分離など, 多種多様な方法が知られている。食品への適用に際しては殺菌方法の特性と殺菌対象となる食品や器材の性質を十分考慮する必要がある。すなわち, 食品を対象に考えた場合, 加熱殺菌は蛋白やビタミンなどの成分変化を招き, 紫外線は殺菌効果が表面部分に限られ, 化学殺菌剤は食品添加物に指定されたもの以外使用できず, 濾過は液状食品でのみ応用可能, といったように応用可能なものは自ずから限定される。

加熱についてみた場合, カビの胞子は細菌芽胞などに比べれば易熱性といえる<sup>20,21)</sup>。蒸留水や生理食塩水中では通常100以下の温度で数分で死滅する。しかし, 表4に示したように, 汚染菌量が多い場合やカビの菌塊や菌核が混入した場合には加熱処理後も生残する 경우가多く<sup>20)</sup>, 注意が必要である。また, 食品成分も加熱による微生物の死滅に影響し, デンプン, 蛋白質および油分に富んだ食品では

表 4. 真菌胞子の耐熱性

菌種	胞子	熱死滅条件	
		温度(°C)	D値(分)
<i>Aspergillus niger</i> (アスペルギルス・ニガー)	分生子	50	4
"	"	47.4	60.3
<i>A.fumigatus</i> (アスペルギルス・フミガタス)	分生子	63	2.6
<i>Penicillium thomii</i> (ペニシリウム・トミー)	分生子	60	2.5
<i>A.flavus</i> (アスペルギルス・フラバス)	"	55	3.1~28.8
<i>A.parasiticus</i> (アスペルギルス・パラシチカス)	"	55	6.3~8.4
<i>Eurotium.chevalieri</i> (ユーロチウム・セバリエリ)	子のう胞子	65	50
"	"	80	3.3
<i>A.fisheri var. glaber</i> (アスペルギルス・フィシエリ)	分生子	80	10*
"	子のう胞子	100	10*
<i>Xeromyces bisporus</i> (ゼロミセス・ビスポルス)	"	80	2.7~3.6
<i>Byssoschlamys fulva</i> (ビソクラミス・フルバ)	"	88	4.8~11.3
"	"	93~100	1*
<i>B.nivea</i> (ビソクラミス・ニベア)	"	90	4~47
<i>Humicola fuscoatra</i> (フミコラ・フスコアトラ)	厚膜胞子	80	108
<i>Catenularia sp.</i> (カテヌラリア)	分生子	60	5*
<i>Penicillium sp.</i> (ペニシリウム)	子のう胞子	82.2	9.7*
"	菌核	82.2	1000*
<i>Fusarium solani</i> (フザリウム・ソラニ)	分生子	50	4.07

注 \* 死滅時間

微生物の耐熱性は高まる。したがって、殺菌条件は製品の種類、流通方法、保存期間などに応じて適当な方法を選択し、その効果を確認したうえで設定する必要がある。

#### (4) 保管および流通時におけるカビ汚染防止対策

これまで食品製造施設におけるカビ汚染防止対策について述べてきたが、食品の製造に当たってはその保管・流通条件に応じた対策を講ずる必要がある。

付着した菌の増殖を防止するための絶対条件は時間であり、食品製造後から食べるまでに時間をおかないことである。しかし、大量生産された食品においては、消費されるまでの間の時間経過がつきものであり、その間の微生物の増殖防止対策が不可欠となる。

カビの増殖は主に食品成分、水分活性、温度、酸素、pHの5因子に影響される。カビの増殖を防止または抑制するにはこの5つの内のいずれかをカビの生育できない条件にしなければならない。以下に、これら5因子のカビに及ぼす作用を概説する。

##### ア) 食品成分

食品に水分を添加後、カビ胞子を接種し、生育に適した温度条件下においてもカビが全く生育しないものが存在する<sup>22)</sup>(表5)。ニンニク、炒りコーヒー豆、シナモンなどがそれに該当するが、それらを調査したところ、その成分中には強い抗カビ作用を示す物質が含まれる<sup>23,24)</sup>ことが明らかとなった(表6)。しかし、このような食品は全体からみればごく一部に過ぎない。一般の食品はその成分中に様々な物質を含み、それが微生物の栄養源になる。他方、カビ抑制剤としては各種保存料<sup>25)</sup>をはじめ、食塩、砂糖、アルコール、有機酸などが添加され、活用されている。し

かし、消費者の嗜好の変化、自然食志向、成人病予防などの理由で、低い塩分・糖分の食品の増加し、保存量などの使用も忌避される傾向にあることから、食品成分によるカビの制御は益々困難になってきている。

##### イ) 水分活性

カビは細菌に比べ低い水分活性で生育可能であり、菌種によっては0.7レベルの低い水分活性(相対湿度70%に相当)まで生育する<sup>26)</sup>(表7)。生鮮食品など水分活性の高い食品では細菌が優勢となり、比較的乾燥した半生菓子や佃煮類でカビ発生の見られるのはこのためである。しかし、0.65以下の水分活性の食品では微生物の生育は不可能であり、乾燥は最も手軽で効果的な保存方法といえる。また、すでに述べたように、苦情事例の多い半生菓子を包装状態のまま<sup>25)</sup>で10日間培養しカビ発生の有無を調査した結果(図1)においても、高い汚染菌数の試料であっても、水分活性が低いとカビの発生は見られていないこと。汚染菌数がわずかであってもカビの発生が見られることなどから、カビ発生は汚染菌数よりむしろ試料の水分活性に大きく影響される結果が得られている。

しかし、カビが生育できない水分活性の食品であっても、一部分が高い水分活性となっている場合や、周囲の温度変化にともなって結露が発生すると、その部分でのカビが発生につながるため注意が必要である。なお、カビの生育可能な水分活性範囲は必ずしも一定でなく、食品成分、温度、pH、酸素分圧の影響を受ける<sup>27)</sup>ため(図5)、これらの条件を組合せることによりカビを抑制することも可能であろう。

表 5. 水分を添加した各種乾燥食品におけるマイコトキシン産生菌の発育と毒素産生

食品	<i>A. parasiticus</i>		<i>A. versicolor</i>		<i>A. ochraceus</i>		<i>F. graminearum</i>	
	発育	aflatoxin B1	発育	sterigmatocystin	発育	ochratoxin A	発育	T-2toxin
乾燥芋	+	+	+	+	+	+	+	+
ポップコーン	+	+	+	+	+	+	+	+
乾そば	+	+	+	+	+	+	+	+
乾うどん	+	+	+	+	+	+	+	+
大豆	+	+	+	+	+	+	+	+
ゴマ	+	+	+	+	+	+	+	+
小豆	+	+	+	+	+	+	+	+
干し柿	+	+	+	+	+	+	+	+
切り干し大根	+	-	+	+	+	+	+	+
鯉節	+	+	+	+	+	+	+	-
海苔	+	-	+	+	+	+	+	+
昆布	+	-	+	+	+	+	+	-
唐がらし	+	-	+	+	+	+	+	-
山しょう	+	-	+	+	+	+	+	-
アミ	+	-	+	-	+	+	+	-
煮干し	+	-	+	-	+	+	+	-
スキムミルク	+	+	+	-	+	-	-	-
緑茶	+	-	+	-	+	-	+	-
桜エビ	+	-	+	-	+	-	+	-
胡しょう	+	-	+	-	-	-	-	-
煎コーヒー豆	-	-	-	-	+	+	-	-
からし粉	-	-	-	-	-	-	-	-
カレー粉	-	-	-	-	-	-	-	-
乾燥ニンニク	-	-	-	-	-	-	-	-
シナモン	-	-	-	-	-	-	-	-

表 6. 抗菌物質を含む食品の特徴と有効成分

食品名	芳香	味			有効成分
		辛味	苦味	甘味	
オールスパイス					精油 (オイゲノール)
アニス					" (アネトール)
キャラウェイ					"
カルダモン					"
ガーリック					"
クローブ					" (オイゲノール)
コショウ					" (ピペリン、揮発成分)
シナモン					" (シンナムアルデヒド)
タイム					" (チモール)
マスタード					" (イソチオシアネート)
オニオン					チオプロパノール
コーヒー					カフェイン
柑橘類					テルペン、精油 (シトラール)

表 7. 微生物の生育と水分活性との関係

微生物	発育に必要な最低水分活性
普通の細菌	0.90
普通の酵母	0.88
普通のカビ	0.80
好塩性細菌	0.75
好乾性カビ	0.65
耐浸透圧性酵母	0.61

## ウ) 温度

カビの増殖可能な温度域に関する調査結果はわずかで、しかも正確なものが少ない。一般のカビの生育に適した温度は 15 から 30 で、菌種ごとで異なるが、それ以上あるいはそれ以下の温度での増殖速度は急激に遅くなる。食品から高頻度に検出されるカビのうち、これまで *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Penicillium* (subgenus *Penicillium*), *Mucor*, *Phoma*, *Rhizopus*, *Thamnidium*, *Trichoderma* などは 0 の環境で増殖可能であることが明らかにされており<sup>28-30)</sup>、これらは実際に冷蔵食肉などでの発生例も報告されている。また、酵母では *Candida frigida*, *Candida* sp., *Cryptococcus albidus*, *Trichosporon asahii*, *Torula* spp., *Torulopsis* spp., *Rhodotorula* spp. などの低温での生育が報告されている<sup>31)</sup>。著者らも我が国の市販食品から分離したカビについて、5 から 35 の温度範囲における生育状況について調査を行った。供試した 29 株の食品由来カビの至適生育温度はいずれも 20 から 30 の範囲であったが、培養 2 週間後の結果では、図 6 に示したごとく 10 において 25 菌種、5 でも 22 菌種の生育が認められている。しかし、培養 3 日後に 10 で生育した菌種は 16 種、5 では 11 種で、しかもその約半数はきわめて微細の集落を形成したにすぎなかった。また、*Aspergillus flavus*, *Aspergillus ochraceus*, *Penicillium citrinum* および *Wallemia sebi* は 2 週間後にも生育が認められていない。このことから、10 あるいは 5 といった低温下での流通・保管は一部のカビの食品における生育を阻止し、多くのカビ、特に好乾菌の発生を遅らせる効果がある。しかし、低温条件のみですべてのカビを制

御することは困難であり, *Penicillium*, *Cladosporium* など食品からきわめて高頻度に検出されるカビの多くが生育は遅いものの明確に識別できる集落を形成し, *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, *Arthrinium phaeospermum*, *Curvularia inaequalis*, *Ulocladium* sp., *Rhizopus* sp. および *Mucor* sp. は 5 の低温域においても速やかに集落を形成したことは, これらの菌が低温流通食品の劣化原因となる危険性が大きいことを示すものである。

エ) 酸素

大部分のカビは好気的な条件でないと増殖することができない。この性格を利用した脱酸素剤, ガス置換法や真空包装が効果的なカビ汚染防止法として活用されている。しかし, 包材のピンホールや溶封不良, 商品流通が長期に及んだことによる事故が多く, 酸素透過性を考慮した適正な包材の使用と厳重な工程管理が要求される。なお, 酵母は微量の酸素量で生育可能なため, この方法での防止は難しい。

オ) pH

カビや酵母の代謝活性は周囲の pH 環境により直接影響される。カビの生育に最適な pH は 4~6 の範囲のものが多い。生育可能域は一般に pH3.0 から 9.0 の範囲であるが,

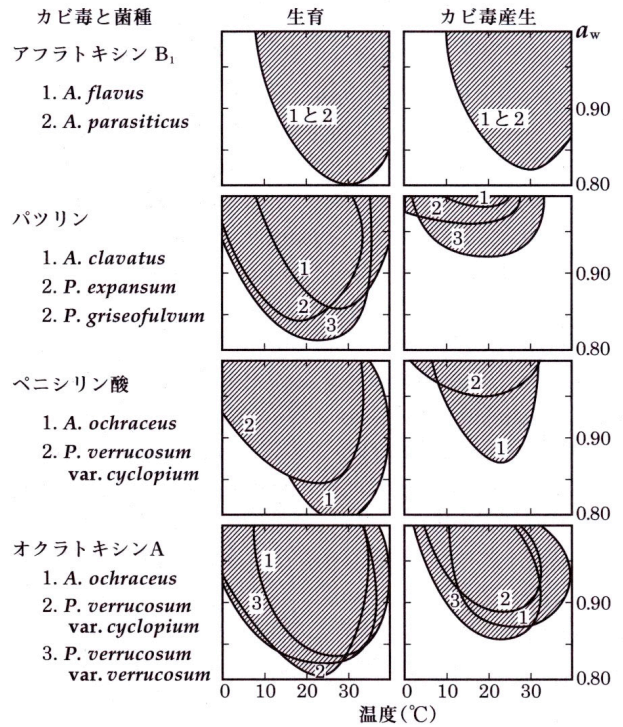


図 5. マイコトキシン産生菌の生育と毒素産生可能な温・湿度域

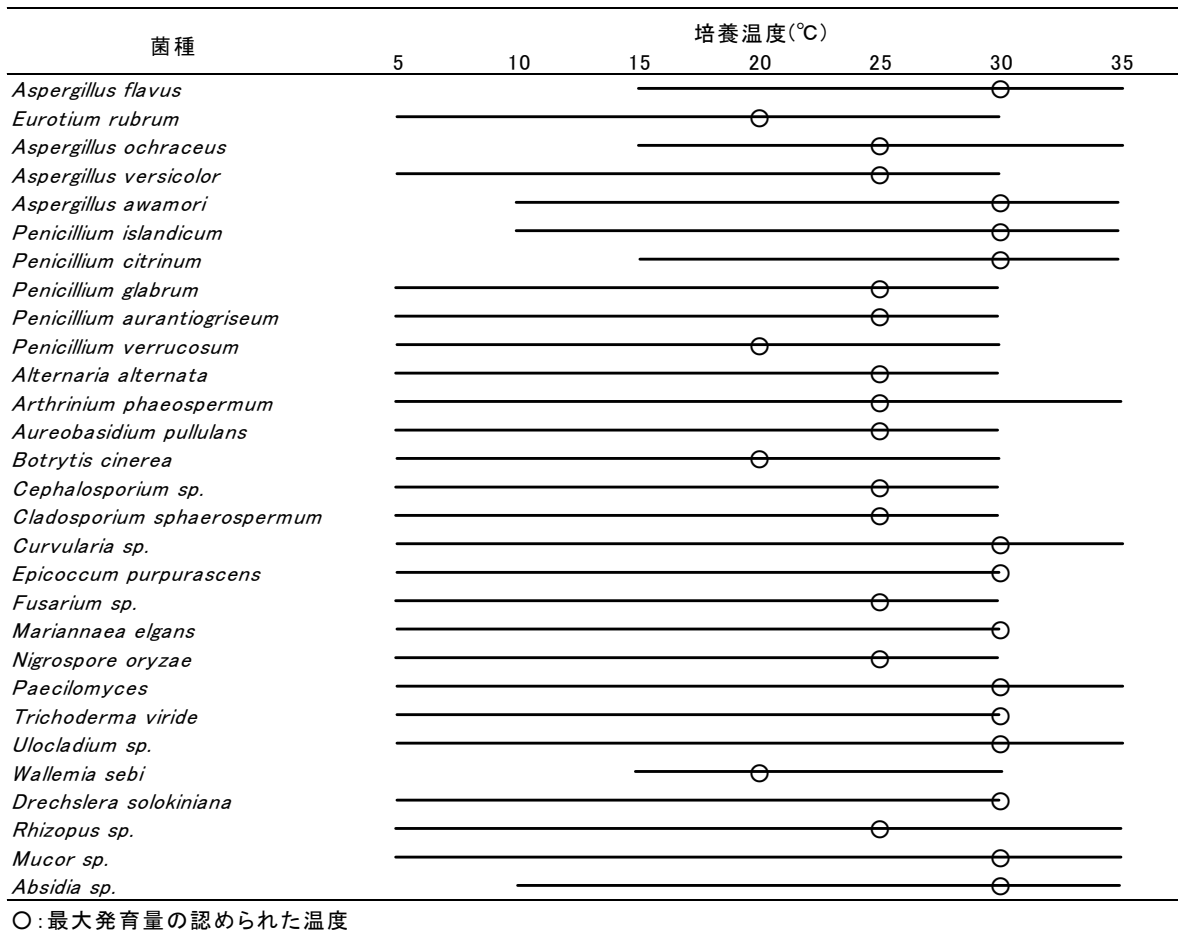


図 6. 食品から分離されたカビの至適発育温度



菌種によって異なり，周囲の水分活性や温度によっても影響される．カビの中には pH 3 程度の低い条件でも旺盛な生育を示す *Moniliella* などの好酸菌があり，ソース，マヨネーズ，食酢などの変質の原因となる<sup>32)</sup>．

以上に述べたごとく，食品側の特性から見た場合，水分活性が 0.7 以上（高い水分活性では細菌が優勢），pH 3.0 から 9.0 の範囲，35℃ 以下（冷凍を除く），好氣的に包装された食品がカビによる危害を受ける危険性の大きな食品といえる．したがって，こうした食品の流通時におけるカビ発生を防ぐには，前記のカビの特性を考慮したうえで，いずれかをカビの生育できない条件に設定する必要がある。

#### おわりに

近年，食品の生産技術や包装技術の進歩，低温流通システムの普及などにより保存性の著しく向上した食品が増加した反面，消費者の嗜好の変化，自然食志向，成人病予防などの理由で，低い塩分・糖分の食品や保存料などの添加物を使用しない食品が増え，微生物危害，ことにカビの発生しやすくなった食品はむしろ増加する傾向にある．加えて，PL法の制定や期限表示の導入などにより，食品製造業における自主的な衛生管理の必要性和重要性はさらに増大しつつある．

加工食品の微生物汚染防止対策を講ずるには，まずその食品に危害を及ぼす菌がどれかを特定し，同時に食品の微生物汚染原因の調査を実施する必要がある．さらに，この調査結果に基づいて汚染原因や汚染個所を割り出し，適切な汚染防止処置を施す．また，中間製品や施設内の管理ポイントと管理基準を設定し，検査により定期的に品質を確認するという手順がとられなければならない．この手順は，従来から食品衛生管理の場において行われてきたものであるが，近年食品製造現場での衛生管理に活用されるようになった HACCP（危害分析重要管理点方式）による食品の微生物汚染管理システムは，この基本概念をシステム化し，さらに計画性を持たせたものと言えよう．このシステムは製造現場における細菌汚染の防止ばかりでなく，カビの汚染が問題となる半生菓子類や各種乾燥食品などの衛生管理にも有用である．

#### 参考文献

- 1) Task Force Members : *Mycotoxins. Economic and Health Risks*, 43-52, 1989, Council for Agricultural Science and Technology, Iowa.
- 2) 和宇慶朝昭, 藤川 浩, 甲斐明美, 諸角 聖 : 東京都における最近 16 年間(1987-2002)の真菌による苦情事例, 第 24 回日本食品微生物学会学術総会, 2003.
- 3) 一言 広, 諸角 聖, 和宇慶朝昭, 他:食品と微生物, **4**, 149-155, 1987.
- 4) 諸角 聖 : 東京都予防医学協会年報, **30**, 213-217, 2001.
- 5) Fujikawa, H., Ibe, A., Wauke, T., Morozumi, S. and Mori, H. : *J. Food Hyg. Soc Japan*, **42**, 7-12, 2001.
- 6) Fujikawa, H., Ibe, A., Wauke, T., Morozumi, S. and Mori, H. : *J. Food Hyg. Soc Japan*, **43**, 160-164, 2002.
- 7) 諸角 聖, 和宇慶朝昭, 田村行弘, 他:食品と微生物, **9**, 113-119, 1992.
- 8) 諸角 聖, 和宇慶朝昭, 田端節子, 他:マイコトキシン, **37**, 7-12, 1993.
- 9) 東京都衛生局 : 各種食品におけるカビ及びカビ毒汚染防止対策に関する調査研究実施結果 (資料編), 1989. 東京都衛生局.
- 10) 一言 広, 諸角 聖, 和宇慶朝昭, 他:東京衛研年報, **25**, 17-21, 1974.
- 11) 諸角 聖, 和宇慶朝昭, 一言 広, 他:東京衛研年報, **32**, 121-127, 1981.
- 12) 藤川 浩, 和宇慶朝昭, 新井輝義, 他:食衛誌, **42**, 262-268, 2001.
- 13) 金子精一 : 食品の衛生微生物検査, 倉田 浩, 坂井千三編, 6-7, 1983, 講談社サイエンティフィク, 東京.
- 14) 一言 広, 諸角 聖, 和宇慶朝昭, 他:東京衛研年報, **29**, 86-94, 1978.
- 15) 諸角 聖 : フードケミカル, 1997-9, 24-28, 1997.
- 16) 諸角 聖, 吉川 翠, 和宇慶朝昭, 他:食品と微生物, **4**, 133-141, 1987.
- 17) 諸角 聖 : 防菌防黴誌, **25**, 355-361, 1997.
- 18) 吉良泰成・今川昌裕 : フードケミカル, 1987-3, 46-56, 1987.
- 19) 氏家昌行, 長谷川 誓, 諸角 聖, 他:防菌防黴誌, **17**, 473-481, 1989.
- 20) 芝崎 勲 : 防菌防黴誌, **13**, 569-580, 1985.
- 21) Fujikawa, H., Morozumi, S., Smerage, G. H. and Teixeira, A. A : *Biocontrol Science*, **6**, 17-20, 2001.
- 22) 一言 広, 諸角 聖, 和宇慶朝昭, 他:食衛誌, **19**, 266-272, 1978.
- 23) 諸角 聖, 和宇慶朝昭, 一言 浩:食品と微生物, **4**, 56-61, 1987.
- 24) Morozumi, S., Wauke, T., Kudoh, Y. and Hitokoto, H. : *Mycotoxins and Phycotoxins '88*, Natori, S., Hashimoto, K and Ueno, Y. ed., 155~160, 1989, Elsevier Science Publ., Amsterdam.
- 25) 諸角 聖, 和宇慶朝昭, 一言 浩 : 東京衛研年報, **36**, 143-150, 1985.
- 26) Corry, E. J. : *Food and Beverage Mycology*, Beuchat, R. ed., 45-82, 1978, Avi Publishing Co., Coneticut.
- 27) Northolt M.D. and Bullerman, L. B. : *J. Food Protection*, **45**, 519-526, 1982.
- 28) Hawker L. E. : *Microbiology of Food and Beverages, Microorganisms*, 649, 1971, Edward Arnold, London.

- 29) 宇田川俊一 : *New Food Industry*, **38**, 75-78, 1996.
- 30) Northolt M.D. et al : *Introduction to Food Born Fungi*, 212-213, 1981, Centraalbureau Voor Schimmelcultures, Baarn.
- 31) Jay, J. M. : *Food & Beverage Mycology*, 129-144, 1978, Avi Publishing Co., Coneticut.
- 32) 粟生武良 , 駒形和男 , 光木浩司 : *食衛誌*, **12**, 26-32, 1971.