小麦粉の微生物が その加工食品の品質におよぼす影響

梶 原 景 光 Kagemitsu KAJIWARA

旭製粉株式会社

小麦粉の加工食品は熱処理して作られるので、含有する微生物（雑菌と呼ばれている）は無視する風潮があった。ところが、最近、発酵を基礎条件とする製パン工業においては、小麦粉の中に存在する雑菌が品質に悪影響を及ぼし、さらには食品衛生上も好ましくないと考えられるようになった。したがって、細菌数のきわめて少ない、いわゆる無菌的小麦粉、とくにパン用小麦粉の需要が増加している。

さて、小麦粉に存在する細菌の数* (Bacterial number) は、戦前には外国では数万台で、わが国でも数千に達したが、最近では製粉機械、とくに精撰機の改良と製粉技術の進歩により、著しく減少した。それでもなお、市販の一等粉でも 10^8 程度の細菌が存在する。このように細菌数が減った理由は、近代の小麦製粉が空気を媒体（製粉工程中の小麦ストックに対し数倍の空気を使用する）とする方式、つまりニューマシシステム (Pneumatic system) に代わり、粉体と接触する空気の純度が大きな無菌の要素になった事情による。

これまで、小麦粉をパン、生うどんあるいは生菓子などに加工する場合には、熱処理するために雑菌は死滅してその悪影響はないだろうと簡単に考えられていた。しかし、発酵を基本とする製パンや、保存性を望む生うどんまたは菓子類では、雑菌の存在が大きく影響し、これ

を生化学、細菌学あるいは酵素化学的に検討すると、手放して安心できない面がある。そこで、筆者は小麦粉が製造され、倉庫に貯蔵され、二次加工されて食品になるまでの工程を、熱処理以前の雑菌の有害性と、熱処理以後の耐熱性細菌の有害性とに分けて検討し、菌数の少ない小麦粉が、雑菌の多い小麦粉よりも二次加工性にすぐれていることを実験に基づいて述べてみたい。

I. 原料小麦に含まれる微生物

わが国で製粉に供せられる小麦の 85% は輸入に依存し、産地はカナダ、アメリカ、アルゼンチン、オーストラリア、フランス、ソビエトなど、広く世界に分布する。したがって、小麦に寄生または付着する微生物の種類は広範囲にわたり、総括してこれを雑菌と呼称する。これら雑菌の種類と試料 1g 中の細菌数の例を表 1 に掲げる。

表 1 にみられるように、輸入小麦の細菌数はきわめて多く、カナダ産マントバ種 4 号と 5 号において著しい。オーストラリア産小麦には、細菌は比較的少ない。かつて筆者が寒天培養法 ($32^{\circ}\text{C}/48\text{h}$, コロニー数 $\times 100$) で 1B (第 1 プレーキロール) 上の原麦の菌数を測定した結果を表 2 に、また表 3 にはカビについてアメリカ小麦の例を掲げておく⁽²⁾。未熟小麦や病害小麦には、カビの着生がきわめて多く、数千から数万に及ぶ。

カナダ、南アメリカ、オーストラリア、フランス、イギリス産の小麦

表 1 小麦 1g 中の細菌数⁽¹⁾

小麦の種類		Nutrient Agar 培養/37°C/blood heat microorg.	Nutrient Gelatin 培養/20°C/cool microorg.
Manitoba	3 号	1,260,000	3,000,000
Manitoba	4 号	7,850,000	13,000,000
Manitoba	5 号	7,950,000	43,250,000
Hard Winter		104,000	—
Australia		20,000	80,000
England		13,000	112,000

* Bacterial number は、検体 1g の培養基（通常は検体を希釈して測定する）に発生する Bacteria のコロニー数として規定されており、その測定法は後述する。

表 2 1B ロール上の原麦と上り粉の菌数

Mill の方式	1B ロール上	1B 上り粉	1 等粉	2 等粉	3 等粉
エレベーター方式	270,000	22,500	4,500	5,600	45,400
ニューマ方式	40,000	9,100	100	1,500	9,600

原料配合は Manitoba 2 号, 70/30 DHW であった。
DHW: アメリカ産小麦 Dark Hard Winter の略

表 3 アメリカ小麦のカビの含量⁽²⁾

試料生産地	年 度	小麦の 健全度	1g 中の カビ数
南ダコタ州	1945 年	正 常	2,040
〃	1946	〃	3,150
ミネソタ州	1945	〃	3,400
〃	1947	未熟粒	5,000
南西アメリカ	1946	正 常	2,600
〃	〃	病害粒	66,000

から抽出した細菌の種類には、次のものが報告されている⁽⁹⁾。

着生菌では *M. ureae liquifaciens*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Streptococcus lactis* など、好気性有孢子細菌として *Bac. mesentericus*, *Bac. cereus*, *Bac. megatherium*, 嫌気性有孢子細菌としては *Clostridium butyricum*, *Clostridium sporogenes* などがあり、ほとんどの小麦に共通に見られるのは、*Bac. subtilis* (枯草菌) であった。

原料小麦は、収穫と貯蔵の条件が悪い場合には、多くのカビが着生する。外国小麦の微生物で報告されているカビは次のようなもので、貯蔵庫の湿度と温度が高い場合に多く発生する。*Alternaria tenuis* が 60% を占めて最も多く、そのほか *Aspergillus flavus*, *Asp. glaucus*, *Penicillium glaucum*, *Mucor mucedo* が多く、*Fusarium*, *Rhizopus*, *Monilia*, *Curvularia*, *Hormodendrum*, *Streptomyces*, *Cephalosporium* などがある。

製粉工程中に、原麦の表面から粉のほうへ移動する細菌は着生微生物である。ある種の細菌 (たとえば *Bac. subtilis*)⁽⁹⁾ はほとんどの小麦粉に含まれており、これは原麦に付着性のものと二次汚染したものとがある。多くの細菌類は土壌に起因し、小麦に着生して輸入される。そのほかに収穫時に汚染する別のタイプの細菌もあって、小麦の輸送、貯蔵についてまわが、これら付随的な細菌は一般の細菌とは別種のものであると報告されている。これらの莫大な数の雑菌は、小麦の貯蔵中に著しく減少する。Kent-Jones の測定⁽³⁾ では、カナダ産マントパ5号で 8,000,000 のものが 632,000 に減少した例

がある。さらに、次項で述べる原麦の精撰工程において雑菌の大部分は除去される。

II. 原料小麦の精撰

さて、わが国における小麦粉の雑菌でもっとも優勢なものを次に掲げよう。

i) 初生的な優勢菌は、*Pseudomonas triforii*, *Pseud. lacunogenes*, *Pseud. cerealis* が多く、これらの菌属は単純な栄養で育つ桿菌で、孢子を作らず、熱に弱く、小麦粉の二次加工時の熱処理で、ほとんど死滅するものと考えてよい。

ii) 土壌に由来し、製粉時の汚染空気または dust による二次汚染菌としては、*Bac. subtilis* (枯草菌), *Bac. mesentericus* (馬鈴薯菌), *Bac. megatherium* (巨大菌) など、これらは孢子を形成する桿菌であり、好気性耐熱の孢子を作り、100°C で1時間以上も耐えるので、加熱や薬剤に対しても抵抗力が強い。健全な新麦の表面には *Pseudomonas* 属が着生するが、二次汚染とみられる *Bacillus* 属は少ない。ところが、原麦の貯蔵が1年以上に及ぶと、*Bacillus* 属が優勢となり、*Pseudomonas* 属は減少する。全体的に菌数の減少は望ましいが、害の少ない *Pseudomonas* 属が減少し有害な *Bacillus* 属が増殖することは、原麦の貯蔵とその後の製粉工程にとって好ましくない。

iii) カビの存在は細菌とは異なり、健全な原麦には *Alternaria* 属, *Helminthosporium* 属など無害に近いカビが優勢であり、精撰工程、とくに Washing (水洗) によりほとんど除去される。しかし、小麦粉中には *Aspergillus* 属, *Penicillium* 属が検出されることもあり、原麦に由来するのではなく、ロール機 スポート内部でカビの繁殖しやすい場所に発生し、粉体を汚染するものと考えられる。

そこで、貯蔵中の原麦や小麦粉に含まれるこれらの雑菌の繁殖条件を検討し、原麦の精撰を十分に行ない、本来の加工目的以外に除菌的操作を加味する必要がある。

雑菌の繁殖条件

a) 湿度

雑菌の増殖には水分を必要とし、とくに細菌や酵母は相当量の水分を要求する。一般に、細菌は 50% 以上、カビは 20% 以上が最適といわれるが、これ以下でも種類によっては繁殖する。原麦や小麦粉の貯蔵は、比較的

長期（4～6 週間）の場合、倉庫の湿度が 65％ 以下であれば、他の適当な条件要素と相まって、雑菌の繁殖はないといわれる。

b) 温度

雑菌の繁殖に最適の温度は菌種によって異なり、たとえば *Bacillus* 属や大腸菌などは 35℃ 前後、カビ、酵母、球状菌、乳酸菌、酢酸菌などは 20～30℃、*Pseudomonas* 属は 15～20℃ (35℃ 以上の高温に弱い)である。夏を越した原麦または小麦粉では、*Pseudomonas* 属は減少するが、秋に入ると厄介な有害細菌が繁殖しやすくなる。

c) 酸素

小麦粉の雑菌はその酸素要求量により、好気性、嫌気性に大別されるが、概してその環境において好気的なものが多い。*Bacillus* 属は 0.8％ (V) 程度が最低酸素要求量であるといわれ、*Pseudomonas* 属の繁殖の際の要求量はこれより少ないという。もとより、この要求量も養分、温度、水分などの条件によって変わる。カビは完全好気性菌であり、酸素の濃度が最低要求量以下に達すると発芽は停止する。

d) pH

小麦粉の雑菌の生育に最適の pH は種類により異なり、細菌は 7.0～8.0、カビは 4.0～7.5、酵母は 4.4～4.8 であって、細菌とカビは酵母よりややアルカリ性に近い側を好む。

以上述べた雑菌が小麦粉に導入され、菌数を高めないように、製粉に際して原麦の精撰を行なう。菌数減少の対策としては次の方法がある。

i) Washer の効果

精撰工程で最も効果のある方法は、水洗機 (Washer) を使用することである。この場合、水量を多くし、水切りを十分にしてお汚廃水を完全に除去し、金網に附着し

た dust をたえず洗滌する必要がある。筆者の実験例によると、菌数の減少は種々の原麦において、次のように 80～90％ であった。

原 麦	Washing 前	菌数	40～70 万
〃	後	〃	4～17 万 (減少率81～90%)
廃 水	前	〃	1～2 (ほとんど無菌の水道水)
〃	後	〃	63～69 万

なお、欧州の実験例⁹⁾を表 4 に示す。

ii) その他の精撰機の効果

スカーラー (Scourer) やアスピレーター (Aspirator) よりも gravity や polishing が効果が大きい。とくに効果的なのは、suction の効率をあげ、空中浮游の dust 中の雑菌を除去することである。

iii) 塩素水と次亜塩素酸ソーダによる水洗とテンパーリングの効果

塩素 (Cl⁻) は強力な殺菌剤であるが、直接大量に小麦粉にかけた場合、滅菌効果は著しいが、強力な酸化作用によりグルテンをこわし加工性を損ずるおそれがある。

そこで、希釈した塩素水でテンパーリングの加水を行ない、精麦の表面に最も多い着生菌を殺す方法をとれば、塩素の使用量も少なく済み、テンパー後に過剰の塩素は速やかに逸散し、製品の品質にはほとんど影響はない。筆者の実験では、原麦に 9 ppm の Cl⁻ 添加で菌数は半減した。

次亜塩素酸ソーダを含む塩素剤 (Cl 50～60％ 含有) を使用する場合は、あらかじめ発生機で水でうすめて濃度を規制した溶液を washer 用水に混ぜ、有効塩素 30 ppm 程度で滅菌効果をあげた。また、タンク熟成前のテンパーリング用水に混ぜ、一次、二次加水で 200 ppm/12h の有効塩素を添加して著しい効果をあげた。この塩類は Cl₂ に比べて取り扱いが簡単で、効果は緩慢であるが、接触機械の腐蝕がないよう処置しなければならない。

iv) ClO₂ ガス処理

耐熱性芽胞形成菌にはこのガスの効果は認められないが、他の雑菌の減少には効果がある。小麦粉は、製造の末端工程で ClO₂ ガスを微量添加し、麸質の改良と熟成ならびに漂白の効果をはかる場合があるが、結果的に滅菌効果を伴い、筆者の実験では、ClO₂ 10 ppm 程度で菌数 540

表 4 原料小麦の細菌数の精撰による減少

試 料 採 取 場 所	Nutrient Agar/37℃ 培養基	Nutrient Gelatin/20℃ 培養基
	↓	↓
[例 1] 水洗機の入口 (夾雑物を除去し、水洗する直前の小麦)	13,250,000	29,000,000
Bins of mill の出口 (水洗し、タンクでわけせ、mill のストックビンに入れた小麦)	3,250,000 (1/4 に減少)	10,750,000 (1/3 に減少)
[例 2] 水洗機の入口	10,000,000	27,000,000
Bins of mill の出口	3,000,000 (1/3 に減少)	12,500,000 (1/2 に減少)

から 350 程度に減少した例がある。

ⅴ) 二次汚染の防止処置

せっかく原麦を精撰しても、ニューマシシステムで利用する吸入空気が汚染していたり、精撰室の浮游 dust が工程中の小麦ストックを汚染したりしては意味がない。そこで、空気取入室を清潔にすると、空気導入部にフィルターをとり付けるなどして、細菌の二次汚染を防止しなければならない。

精撰してタンクでテンパーリングが終った精麦は、mill (製粉工場) の製粉機で最初のロール機 1B にかけられるが、欧州での実験 (表 4) の残存細菌数はまだ莫大な数であつ

て、多くは菌糸の形で製品小麦粉に含まれることになる。戦前、海外での実験⁽⁸⁾で、製粉機に付いているカビを測定したデータによると、リールのコンペアーで 88,000、1B ロールで 16,000 であった。

小麦粉の品質は含有灰分 (ash) の少ないものがよい。精撰度が十分であれば、含有灰分が少なくなり、粉歩留りも向上するので、戦後、内外の製粉業者は精撰機を完備することにつとめた。その二次効果として雑菌が著しく除去された。日本では、1B 上の精撰小麦の細菌数は、表 2 にみる通り、とくにニューマチックミルにおいて数万台に減少したものと推測される。海外では、Kent-Jones の報告⁽⁹⁾によると、衛生的に運転するロール製粉で、ストレート挽で 26 日貯蔵の小麦粉には 25,000/g の細菌を認めた。なお、カビ類は小麦を水洗することによって減少した。

このように、精撰の工程が細菌の減少にもきわめて重要であることがわかり、また菌数の少ない小麦粉の要求が高まるにつれ、わが国の製粉業界においてもその研究がより一層進められるであろう。

III. 小麦粉に含まれる細菌とカビの消長

一般に、小麦胚乳の中心部より抽出される高級粉は、胚乳の外部または皮部に近い部位から採った低級粉にくらべ、細菌数は少ない。それらの細菌は小麦粉の貯蔵中に減少することが、多くの実験で証明された。その減少

表 5 貯蔵小麦粉の細菌数の減少

粉の等級	貯蔵の場所	Organisms	貯蔵日数			26日間の減少率 (%)
			0	26	70(日)	
一等粉	Mill	Blood-heat	30,000	11,000	2,000	63
	〃	Cool	43,000	30,000	9,000	30
	Laboratory	Blood-heat	30,000	7,000	6,000	76.5
	〃	Cool	43,000	14,000	6,000	67.5
ストレート粉	Mill	Blood-heat	118,000	25,000	7,000	79
	〃	Cool	100,000	61,000	13,000	39
	Laboratory	Blood-heat	118,000	15,000	7,000	87
	〃	Cool	100,000	50,000	15,000	50
四番ブレーキ (4B) 粉	Mill	Blood-heat	150,000	53,000	24,000	64.5
	〃	Cool	480,000	215,000	—	55
	Laboratory	Blood-heat	150,000	40,000	19,000	73
	〃	Cool	480,000	131,000	—	71

貯蔵条件: mill (温度 15.5°C, 関係湿度 77.5%), laboratory (温度 20.0°C, 関係湿度 65.0%)

小麦粉の細菌数 (Bacterial number) の試験法: バクテリア (Blood heat microorganisms) の数は培養基, agar plates で 37°C/48 h, 繁殖したバクテリア (cool organisms) は gelatin plates で 20°C/48~72 h で行なった。

率は貯蔵条件によって異なるが、まず温度に支配され、さらに関係湿度が大きく影響する。Kent-Jones⁽⁹⁾ によれば、貯蔵条件を異にする小麦粉の細菌数の減少は次の通りであった (表 5)。

40 年前の 1930 年代には、精撰機械が完備していない英国の製粉事情もあって、表 5 でみるように、1 等粉の細菌数が 1g 当り 3~4 万台、ストレート挽粉 (2 等粉) で 10 万台、4 番ブレーキ粉 (裾粉) で実に 15~48 万台の細菌を数えた。これら多数の細菌は、約 1 カ月の通常の貯蔵条件 (温度 15~20°C, 湿度 65~77%) で、Blood-heat (37°C/agar) は 63~76% 減少し、Cool (20°C/gelatin) は 30~71% の減少を示した。つまり、貯蔵中に細菌の大半は小麦粉より消滅することがわかる。

一般に、小麦粉は用途に応じ長短はあるが、製造後、倉庫に貯蔵して aging を計って出荷されるが、その目的はもっぱら酸化による品質の改良ならびに安定化と考

表 6 等級別貯蔵小麦の細菌数

粉の等級	貯蔵の場所	下記の貯蔵日数における細菌数			30日間の減少率 (%)
		0	30	60(日)	
強力 1 等粉	製品倉庫	120	50	30	58
薄力 1 等粉	〃	110	40	25	63
強力 2 等粉	〃	500	110	70	78
薄力 2 等粉	〃	450	90	60	80

貯蔵条件は換気装置がととのった鉄筋コンクリート建の製品倉庫で、室温 28~30°C, 関係湿度 50~60% であった。測定は 30°C/agar の培養法で行なった。

表 7 10 週間貯蔵中の小麦粉の pH と細菌数の変化

	英 国 小 麦 粉 (B. Wright)		マニトバ小麦粉 (著者)		アメリカ強力小麦粉 (著者)	
	正常水分 (14%)	18%加湿	正常水分 (14%)	18%加湿	正常水分 (14%)	18%加湿
最 終 pH	5.6	4.9	6.1	5.3	6.0	5.3
細菌の減少率	64.6%	90%	62.6%	90.9%	61.9%	89.5%

えられていた。しかし、二次的に細菌の減少にも大いに役立つことを筆者は強調したい。

さらに筆者は、最近数年間に精撰機械が増設完備し、エレベータ方式からニューマシステムに代わったわが国の多くの製粉工場の中で、とくに利用する空気と使用する水が清潔である環境条件に恵まれた山工場の製品倉庫で採取した小麦粉の細菌数を調べた (表 6)。なお、同じ年に空気と水の純度が劣ると思われる都市工場の製品で、市販中の小麦粉 (製造日付により推定 30 日前後) の数点について細菌数を調べた結果は、1 等粉で 150～1,000, 2 等粉で 1,000～3,000 であった。

この数字と表 6 の測定値をみると、比較的菌数の少ない (100 前後) 小麦粉の生産工場はニューマチックミルで、工程中にストックが残留することのない清潔な工場であった。さらに、菌数の少ない (50 前後) 小麦粉の生産工場は、使用する空気と水が清潔である、いわゆる山工場であった。これに反し、菌数の多い (1,000 以上) 小麦粉の生産工場は古い型のバケットエレベーター方式で、エレベーターの下底ブーツに粉体がたまる、細菌学的には非衛生と思われる工場であった。

以上を総合して考察すれば、近年わが国の製粉工場の多くはニューマシステムに改造され、技術も進歩し、結果的に製品に含まれる菌数が著しく減少したことである。さらに、使用する水とニューマシステムに必然的に利用される空気などの細菌学的純度も、小麦粉の菌数に関係する要素の一つであろう。

パン用小麦粉など細菌数の少ない粉が要求される今日においては、空気と水を通して二次的に汚染する細菌を抑制または除去するために、用水は BOD (生物化学的酸素要求量) の少ないもの、または殺菌したものが望ましい。また、媒体として吸引使用する多量の空気は、清浄でない場合は種々の方法で濾過層を通すか、高周波で滅菌して使用するなどの工夫が必要となる。このことは、空気と水が汚染されやすい都市に存在するほとんどの製粉工場が、菌数の少ない小麦粉を製造しようとする場合

に重要な課題となるであろう。

さて、貯蔵中の小麦粉に含まれる細菌とカビの消長は、以下に述べる貯蔵条件に支配される。すなわち、まず小麦粉の水分に関係する。一般に水分が多くなると、バクテリアは

減少し、カビは増加することが実験で確かめられた。バクテリアは水分が 18% に上昇すると、その減少率は最大になることを Kent-Jones は報告⁽³⁾しているが、筆者もその傾向を認めた。しかし、正常の小麦粉は、品質的に水分が 13.5～15.0% 程度であることが望ましいので、過剰水分によるバクテリアの減少は期待できない。また、B. Wright⁽⁴⁾は、水分を 18% に上昇させた場合、小麦粉の pH は下がり、バクテリアの減少率が增大することを示したが、筆者はマニトバ種とアメリカ強力小麦についてその傾向を認めた (表 7)。

異状水分 (18%) で 10 週間貯蔵した小麦粉は、pH が 0.8 ほど低くなり、バクテリアは著しく減少した。しかし、実際にはこのような過剰水分と低 pH は小麦粉の品質をかなりおとすので、企業的に製粉する場合には適用できないが、バクテリアの生態を知るうえの参考となる。

ところが、小麦粉のカビと水分との関係は、バクテリアの場合と事情が違う。B. Wright⁽⁵⁾によれば、小麦粉の水分が 18% を越えると、カビ数は急激に増加した (表 8)。これはバクテリアの場合と相反する現象である。この場合のカビは、90% 以上は *Penicillium* 属で、そのほか *Botrylis*, *Aspergillus*, *Cladosporium* などであったという。

小麦粉の酸素の含量もバクテリアの消長に重要な関係があることはすでに述べた通りである。また、バクテリ

表 8 小麦粉の水分差におけるカビ数 (単位万)

小麦粉の水分	15%		16.5%		19.6%	
	15°C	20°C	15°C	20°C	15°C	20°C
貯蔵日数						
0 日	0.52	0.52	0.36	0.36	0.32	3.2
10	—	0.54	—	0.37	1.0	16.8
17	—	0.57	—	0.36	17.4	500.0
24	—	—	—	—	480.0	2,400.0
31	—	—	—	—	1,200.0	3,700.0
40	0.54	0.53	0.32	0.33	3,200.0	13,000.0
75	—	—	—	3.40	—	—
145	—	0.56	1.84	10.00	—	—
250	0.33	0.30	3.88	5.40	—	—

アの活性は水素イオン濃度、すなわち pH に著しく左右される。バクテリアの細胞が生存する pH の範囲は種類によって異なり、大部分のバクテリアは微アルカリ性 (pH 7.0~8.0) を好む。一般に、バクテリアは pH 4.5 以下ではほとんど発育できないので、二次加工で小麦粉の生地を pH 4.5 以下に調整できる食品では、細菌の繁殖を防止できる。また、栄養培体、とくに炭水化物を含む培養体では、多くのバクテリアは酸を生成する。

IV. パン発酵中の雑菌の影響

まず、バクテリアであるが、小麦粉に含まれる耐熱性の好気性芽胞菌 (たとえば *B. subtilis*) は、さきに述べたようにパン焼のオーブンで加熱しても製品パンの中に生き残り、悪臭を伴う酸敗が起こり、また嫌気性芽胞菌 (たとえば酪酸菌) による酸敗も予想される。

食パンや菓子パン類を腐敗させる有名な微生物は、通称ロープ菌 (*Bacillus subtilis*~*mesentericus*) である。この菌の起源は、小麦粉自体に含まれるものと、パン工場の用器具に付着しているものとの2つの経路に由来する。従前は、一般に多少なりともロープ菌の孢子を含まない小麦粉はないとされていた。したがって、細菌数 100/g 以上の場合にこの菌の存在が問題となる。この菌は製パン工程の温度では死滅せず、工程中の温・湿度に恵まれて繁殖し、パンの冷却が不適当な場合によく発生する。パンを温かいうちに包装したり、温、暗、密閉室に多数のパンを密着して保存したりすると増殖が著しい。パン工場の衛生管理が望まれるゆえんである。なお、パン生地の発酵管理で、ロープ菌の発生を抑制する方法として、酸の塩類 (プロピオン酸カルシウム) または有機酸 (食酢など) をイーストに対し 2~3%, または小麦粉に対し 0.2~0.5% 程度加えて、生地の pH を 5.0~5.2 ぐらいに調節すればよい。

以上の耐熱性孢子の死滅温度は、pH に関係があると考えられてきたが、筆者は実験によってこれを確かめた。製パンでは、生地ミキシング時に、pH 調整剤として計算量の食酢または乳酸を加水に添加すればよい。すなわち、pH を 3.5 にすれば 99°C の加熱で 1 分間、pH を 4.5 にすれば 110°C の加熱で 10 分間、pH 5~7 程度では 120°C 以上で 100 分以上の加熱を要する。したがって、小麦粉の加工生地の pH を測定し、これに応じた加熱を施せば、耐熱性孢子は死滅することになる。

Olsen⁽⁹⁾ は、パンを包装後マイクロ波のもとにおくと、微生物孢子を極端に減少させ、品質をおとさずに長期の貯蔵が可能となると報告している。マイクロ波による殺菌は、水の分子運動によって菌体の蛋白質、ポリペプチドの水素結合が部分的に切れて、蛋白や生理的活性物質が変性を起こす結果と考えられている。また、袋の缶詰といわれるレトルトパウチを利用した食品は、耐熱性フィルム製の袋で、120°C 前後の加熱殺菌が可能であるという。

次にカビ類について述べると、わが国の製パン時に問題となるカビ類には次の種類があり、多くはオープン (200°C 以上に加熱) で滅菌される。たとえば、*Aspergillus glaucus*, *Asp. niger*, *Asp. flavus*, *Asp. candidus*, *Rhizopus nigricans*, *Penicillium crustaceum*, *Mucor pusillus*, *Mucor mucedo*, *Monilia* などがある。

これらのカビ類がパンに繁殖した場合は、そのコロニーの着色でだいたい識別できる。すなわち、*Aspergillus* は黒、緑、白色など、*Penicillium* は青~緑色、*Mucor* は白色、*Monilia* はサーモンピンク色などである。これらカビ類の孢子は、オープンの温度では生存しにくいので、おそらく空気からか、製パン後の付着汚染に起因するものと思われる。

V. 小麦粉の品質におよぼす含有微生物の影響

小麦粉に含まれる細菌は、製粉の原料精撰工程において使用する水や粉碎工程に利用する空気によって二次的に汚染するものも若干あるが、多くは原料小麦に寄生する微生物に起因する。これらの微生物が小麦粉、またはその加工食品の品質に及ぼす影響を、国内産小麦に見られる 2, 3 の細菌について述べよう。

収穫前に降雨が多い場合によく発生する赤カビ病は、*Fusarium* 属および *Giberella* 属が寄生したもので、小麦の種皮に赤い着色や黒斑が見られる。この被害小麦を原料とした小麦粉は色が悪く、蛋白グルテンが弱化する。この菌には毒性があり、被害麦を飼料に使って家畜が中毒を起こした事例も報告されている。成熟期に雨が多い場合に発生する黒カビ病は、*Alternaria* 属、*Helminthosporium* 属などの寄生によるもので、小麦の種皮がスス状に黒く着色する。この被害麦を原料とした小麦粉は色が黒く、グルテンが弱化する。

さらに成熟期の降雨との関連において、ある細菌は蛋

白質中のシスチンに働らき、比較的低分子のペプチドに由来する SH 基の遊離化合物を増加させ、プロテアーゼを活性化して生地を軟弱化するなどの悪影響をもたらす⁽⁶⁾。この細菌に起因する小麦粒内の品質的变化は酵素にも作用する。これは温度の相違により異なり、温度がある程度高いとプロテアーゼの活性を高め、 β -アミラーゼ(糖化力)は敏感に活性を示し、逆に温度が低い場合は α -アミラーゼ(糊精化力)の増加が著しいことを認めた。

小麦または小麦粉の aging 中の変化として、成分が減少するものには種々の酵素やビタミン類があり、増加するものには非蛋白態の窒素がある。これらの成分の増減に影響する要因の一つは、含有する微生物であるといわれるが、その機作は明らかでない。aging において、最も鋭敏な変質の指標となるのは脂肪酸度であるが、これに関与する酵素はリパーゼであり、この酵素の活性化は微生物に関係があるとされている。一般に、小麦粉はある期間 aging して出荷されるが、その効果は二次加工性を向上させることにある。すなわち、酵素や各種成分の変化に合わせ、SH 化合物の含量が減少するなどの効果があるが、微生物のあるものはこの効果を阻害するといわれる。

パン発酵の過程において、微生物はグルテンを軟弱化する作用があり、ある程度雑菌は効果的に働く場合もあるが、多くは生地をだれさせる原因となる。パンの第二発酵(ホイロ)において、高い室温は雑菌の繁殖の原因となるので 38°C 以下で行ない、多くは 35°C 以下にとどめている。このことは、発酵時間を延長し、生地を軟弱にしてガスの包蔵性を弱め、パン特有の風味形成を阻害することになる。さらに、耐熱性の芽胞形成菌は、オープンでパンの焼上げ後においても生き残り、既述の腐敗を起こす有害微生物である。

発酵食品よりもさらに微生物を意識的にチェックする目的で加工される食品に、冷凍食品がある。その定義は、日本標準商品分類・第1巻によると、1) 前処理を施し、2) 急速凍結を行ない、3) 包装された、4) 規格商品で、5) -15°C 以下に保蔵し販売される食品、となっている。この範疇で小麦粉に関係ある調理食品は、シュウマイ、ギョーザ、麺類(天津麺)、カツ、フライ、チキンコロッケ、パイ、クッキー、ケーキ、デーニッシュパンの冷蔵生地などがある。これらの食品はいずれも $-30\sim-40^{\circ}\text{C}$

の低温で凍結され、その後 $-15\sim-25^{\circ}\text{C}$ で貯蔵して貯蔵中の物質代謝を抑制し、腐敗菌その他の雑菌の生育を阻止する。あるいは一部では殺菌もして保存目的を達することができる。従来は品質を維持する保存法として、乾燥(脱水)するか、保存剤や殺菌剤を添加するか、加熱殺菌して再汚染を防止するため密封遮断するなどしたが、微妙な品質を持つ献立食品には応用が困難であった。また、着想の優れた放射能利用の殺菌保存もいろいろの障害、たとえば照射臭の発生という欠点があり、利用が阻まれ、さらに細菌にコールドショックを与える目的で行なう液体窒素による超低温凍結は、品質保持に問題が残った。このように、最近低温工学の発展により、温度を下げるだけで品質保持と微生物対策が行なわれ、緩慢凍結から急速凍結へ、さらに超急速凍結へ、あるいは瞬間凍結へと進歩した。

細菌汚染を少なくし、品質を良くするために、高温充填法が効果的な場合もある。すなわち、缶詰と同様に、密閉のできる容器に調理加熱直後の熱い食品を詰めることにより菌数を減じ、急冷却後は容器内の減圧を来とし、さらに凍結、冷蔵、解凍を通じて、食品の酸化および細菌の繁殖を抑制する効果をあげ、解凍後の品質を維持できたものである。

また、小麦粉を濃厚材に使ってある gravy(肉汁ソース)やソース類は、解凍すると、加熱によって膨潤していた α -デンプンがもとの β -デンプンにもどる、いわゆる retrogradation をまねくことがある。デンプンのもどり現象はアミロースの多いデンプンのほうが速く⁽⁸⁾、また凍結がおそく冷蔵温度が高いほど速やかであることが知られている。そこで、これらの食品にはアミロペクチンの多いデンプン(もち、コーンスターチなど)の使用、リン酸デンプンのような化学的に加工したデンプンの利用、凍結速度を速め冷蔵温度を低くするなど、デンプンのもどりを緩和する方法が採られている。

小麦粉を使った冷凍食品の保存性を伸ばすためには、小麦粉の菌数が少なく、さらには耐熱性細菌の汚染を排除しなければならない。

一般に、原料粗麦は多数の雑菌を含有する。製粉の予備工程でこれらの粗麦を精撰すれば、大部分の細菌やほとんどのカビは除去することができる。とくに、菌数の

少ない小麦粉を作るためには、滅菌を加味した精撰法を行ない、さらには空気や水による二次汚染を防ぐとともに、製品小麦粉になお残存する雑菌に対しては、aging にあたりその繁殖を防ぐため適当な温・湿度で管理貯蔵をしなければならない。小麦粉に残留する細菌は、温・湿度の管理が適正であれば aging 中に細菌数は著しく減少する。

なお、aging は、種々の小麦粉がそれぞれ用途、適性に応じた内容成分の効果的变化を行なうように、あらかじめその期間を設定することが望ましい。小麦粉の細菌数が著しく多い場合は、プロテアーゼ、アミラーゼなどの酵素類が影響したり、あるいは SH 基の遊離化合物を増加させたりするなど、小麦粉の品質に及ぼす影響がある。小麦粉は加工食品に使用される場合、ほとんど加熱処理するために雑菌の多くは滅菌されるが、耐熱性の芽胞形成菌は、通常の加熱処理においてもその胞子は生き延びて繁殖し、食品の風味を損じ、さらには腐敗に導くものである。また、加熱前の加工工程、たとえばパン発酵生地加工工程において、細菌のあるものはグルテンをして生地を弱化せしめ、あるいは発酵温度が上昇すると、増殖するなどの弊害をもたらすことがある。したがって、良質の加工食品を製造するためには、小麦粉は細菌数の少ない、たとえば 10^2 以下の菌数の少ない小麦粉が要求される。とくにパンのような発酵食品および冷凍食品において、このような小麦粉の需要が多い。

文 献

- 1) Kent-Jones: *Modern Cereal Chemistry*, 5, 508 (1930).
- 2) Christensen-Gordon: *Cereal Chemistry*, XXV, 40 (1948).
- 3) Kent-Jones: *Modern Cereal Chemistry*, 5, 507~519 (1930).
- 4) B. Wright: *Modern Cereal Chemistry*, 5, 512 (1930).
- 5) B. Wright: *ibid.*, 5, 518 (1940).
- 6) 食糧研究会: 食糧技術普及シリーズ第六号, p. 17, (1968).
- 7) 行政管理庁統計基準局: 日本商品分類第一巻.
- 8) フードサイエンス, 9 (No. 7), 74 (1970).
- 9) C. M. Olsen: *Food Eng.*, 7 (No. 37), 51 (1965).

泡 の は な し (2)

野 口 駿

共立女子大学家政学部

泡 の 経 時 変 化

泡沫の形成⁽²⁸⁾

気泡が液中を上昇して液面に近づくと、液体の膜が気泡上に押し上げられる。泡立たない液ではこの膜はすぐ破れ、細かい霧になって飛散する。膜がしばらく安定であるときには重力と表面張力との作用を受ける。気泡が小さい場合には、その形はほぼ球状で、液中にほとんど潜っている。気・液界面が3つあるから、3つの表面圧* (次頁の脚註参照) を考える必要がある(図9)。気泡の天井

図 9 液体表面における気泡

面の下方へ向かう力は、気泡の床の上方へ向かう力とはほぼつり合う(気泡はほぼ球状で、天井と床との曲率がほとんど等しいから)。気泡の屋根の下方へ向かう力、すなわち、液体の彎曲した自由表面による下方へ向かう力は、浮力で相殺されるが、気泡が小さく、浮力も小さいから、屋根の曲率半径は大きなものとなる。

気泡が大きくなってその半径が 1cm 以上になると、気泡の床はほとんど平面になり、気泡は半球状となる。

気泡の接触

2個の気泡が液体表面で接触すると、一般には変形して図10のようになる。2個の泡がまったく同じ大きさであれば、その接触面(隔壁)はどちらかに凹まねばな