

食品企業の品質管理担当者が誤解しがちな食品微生物の基礎知識

東京家政大学大学院 客員教授 藤井 建夫

1 はじめに

食品の品質管理において腐敗と食中毒は最重要の問題であり、その対策には微生物の正しい基礎知識が必須である。先日、筆者は日本食品工業倶楽部主催の講演会において表題のようなタイトルで、教科書・参考書の記述や関係者の理解が間違いがちな事項について話題提供を行ったところ、本誌編集部よりその概要を掲載したいとの依頼を受けた。記事とともに、関連の拙著も文末に挙げておくので併せてご参考にして頂ければ幸いである。

2 腐敗と発酵では微生物や生成物が違う？

食品が微生物の働きによって次第に味やにおい、テクスチャー、外観などが変化していく現象はあるときは腐敗と呼ばれ、あるときは発酵と呼ばれる。いずれも食品がおかれた環境や食品成分に適した微生物が増殖して食品成分を分解することで生じる現象である。

発酵は、ヨーグルトや酒のように、糖類が分解されて乳酸やアルコールなどが生成されるような場合が分かりやすい。一方、魚や肉でみられるように、タンパク質やアミノ酸などの食品

成分が分解され、硫化水素やアンモニアのような腐敗臭を生成し、最後には食べられなくなってしまふ現象は腐敗と呼ばれる。

しかし、タンパク質やアミノ酸が分解される場合が腐敗で、糖類が分解される場合が発酵かという、そうではない。腐敗はタンパク質を多く含む食品で顕著であるが、それだけでなく、米飯や野菜、果実類などでもふつうにみられる。また原料が同じでも、蒸した大豆に枯草菌を生やして納豆が作られる場合には発酵とよばれるが、煮豆を放っておいて枯草菌が生え、ネトやアンモニア臭がしたときは腐敗と呼ばれる。

また、代謝産物の違いで腐敗と発酵が区別されるのかということもそういうわけでもない。牛乳に乳酸が蓄積して凝固したものはある時は腐敗、ある時は発酵と呼ばれる。

それでは特定の菌群の違いによって区別されるのかということもそうでもない。同じ乳酸菌でもヨーグルトや味噌が作られる場合は発酵であるが、これが清酒中で増殖する場合は火落ちといって腐敗を意味する。また乳酸菌は包装ハムではネトや膨張の原因となるので、この場合には腐敗菌ということになる。

腐敗と発酵の区別は、食品や微生物の種類、生成物の違いによるのではなく、人の価値観に

基づいて、微生物作用のうち人間生活に有用な場合を発酵、有害な場合を腐敗と呼んでいるのである。したがって、臭いの強いくさややふなずしなども、微生物の有用性が認められるのであれば発酵食品と呼ぶことができる。納豆はそれが好きな人にとっては発酵食品であるが、嫌いな外国人にとっては腐敗品に過ぎないということになる。

品質管理において、腐敗細菌の場合はなるべく菌数の少ないことが品質的に好ましいが、発酵細菌の場合には逆に一定数以上の細菌が存在することが求められることがある。たとえば、同じ乳製品でありながら、発酵乳では菌数が 10^7 /ml以上、乳飲料では 3×10^4 /ml以下という基準はこのような理由による。

3 腐ったものを食べると食中毒になる？

われわれはよく日常的に、「腐ったものを食べて食中毒になった」というようなことを言うが、これは間違いである。

腐敗は上にも述べたように、食品に微生物が増殖した結果、食品本来の味や香り、色などが損なわれ食べられなくなる現象で、微生物の種類が特に限定されるわけではない。食品の成分や微生物の種類によって様々ではないが、このような変化が現れるためには普通は食品1g当たり $10^7 \sim 10^8$ 程度の菌数が必要である。一般に腐敗した食品を食べても下痢、嘔吐など特定の症状はみられない。

これに対して、食中毒（微生物性食中毒）は食品衛生上問題となる特定の病原微生物が食品中で増殖、または毒素を生産し、それを食べた人にその微生物特有の症状をおこすもので、その発症菌数は菌種によって違うが、中にはごく少ない菌数で食中毒を起こす場合もあり、カン

ピロバクターや腸管出血性大腸菌 O157、リステリアや従来伝染病菌と言われていた赤痢菌、コレラ菌などでは、場合によっては100個ぐらいが口から入れれば症状が表れるが、この程度の菌数では食品は全く影響を受けない。

図1は腸炎ビブリオと腐敗細菌の増殖を対比して示したものであるが、腸炎ビブリオは3時間後に食中毒発症菌数（10g食べたと仮定）の 10^5 /gに達しているが、この時点では食品（イカ）の菌数は 10^3 /g、揮発性塩基窒素も5mg/100g程度でまだ十分可食の状態にあり、気づかずに食べてしまうことになる。

4 K値が60%になると初期腐敗？

魚は鮮度低下が速いため、品質評価の上で特に鮮度が重要視される。しかし、一口に鮮度といっても、刺身の鮮度とアジの一夜干しの鮮度ではまったく意味がちがう。刺身で問題となる鮮度はいわゆる活きの良さで、生鮮度ともいわれる。一方、アジの一夜干しの場合には食べられるかどうか（腐敗の程度）という意味での鮮度で、鼻で臭いを嗅いで見分けることができ

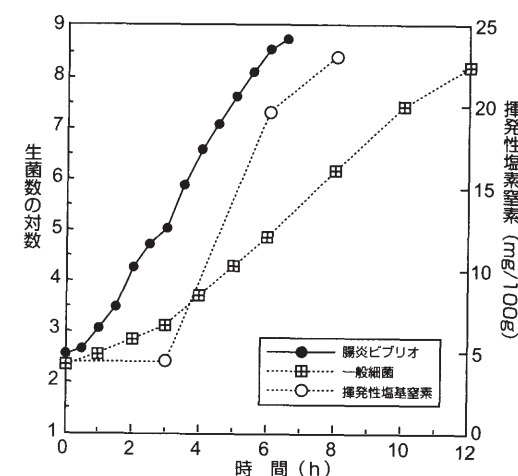


図1. ゆでだこホモジネート中での腸炎ビブリオの増殖 (30°C) (加藤, 1965)

る。

魚の死後の変化は、硬直、解硬、軟化、腐敗という順に進行するが、そのうち、硬直、解硬、軟化までの比較的初期の変化は魚介類自身が元々持っている筋肉や内臓の酵素によって起こり、細菌は関係しない。腐敗は細菌によって起こるが、それはふつう大分後で起こる変化である。

したがって鮮度低下の物差しも両者で異なり、生鮮度（活きの良さ）の目安としてはATPの分解の程度を指標にしたK値が最もよく用いられている。

魚肉のATPは魚自身が持っている酵素の作用で、ATP → ADP → AMP（アデニル酸）→ IMP（イノシン酸）→ HxR（イノシン）→ Hx（ヒポキサンチン）という順に変化していく。この分解の経路はすべての魚に共通であり、一連の反応はIMPの分解速度で律速される。したがってATPからIMPまでが魚肉中の主成分である間は生鮮度が良好であるが、時間経過とともにHxR、Hxが増加すると生鮮度は低下

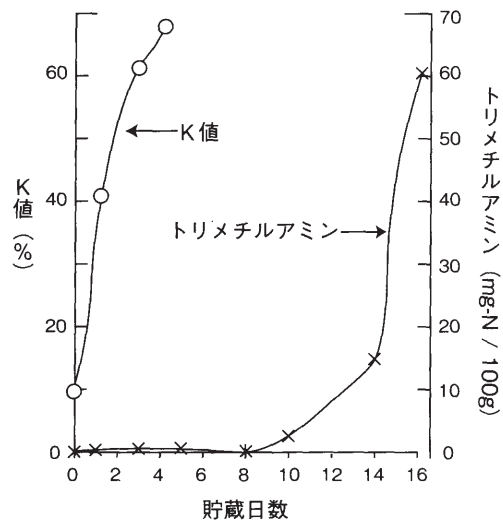


図2. 即殺スケトウダラの氷蔵中のK値とトリメチルアミン量の変化（内山，1978）

したことになる。これらのATP関連化合物の総量はほぼ一定であることから、次式のようにこの総量に占めるHxR+Hxの百分率（モル%）を求め、これをK値と呼んでいる。

$$K \text{ 値} = (HxR+Hx) \times 100 / (ATP+ADP+AMP+IMP+HxR+Hx)$$

K値は低いほど生鮮度の良いことを意味し、即殺魚では10%以下、刺身用には20%以下が適当であり、20~60%は調理加工向けの鮮度とされている。

K値が極めて初期の鮮度低下を示しうることから、鮮度指標としてアンモニアやトリメチルアミンよりも優れているかということ、そうとは言えない。なぜなら、それらは活きの良さや腐敗という全く要因の異なる鮮度の指標だからである。K値は活きの良さを表すことはできるが、腐敗の指標にはならず（たとえK値が100%であっても腐敗しているとは限らない）、逆に、アンモニアやトリメチルアミンは細菌の腐敗産物であり、生鮮度を表すものではないからである。

食品関係の教科書では、K値が60%以上を初期腐敗としている場合が多いが、これが間違いであることは図2の結果からも明らかである。この結果ではK値が60%を超えた時点でも、トリメチルアミンの増加はみられない。両者の違いを区別して、混乱のないようにして鮮度管理をしたい。

5 ヒスタミンは優れた鮮度指標である？

管理栄養士や薬剤師の国家試験向け受験参考書で、ヒスタミンを鮮度指標として用いることができるか書いてあるものを見かけるが、これも間違いである。

ヒスタミンはアレルギー様食中毒の原因物質

として食品衛生の面で重要であり、このヒスタミンはヒスタジン脱炭酸酵素をもった細菌（ヒスタミン生成菌）によって、赤身魚の遊離ヒスタジンから生成されるが、腐敗の指標とはならない。腐敗の指標になるには、腐敗細菌数とヒスタミン生成菌（ヒスタミン量）の間にある程度相関があることが必要であるが、魚に付着しているヒスタミン生成菌の種類や数は試料によって大きく異なり、さらにヒスタミンの蓄積量はヒスタミン分解細菌によっても影響を受けるからである。その結果、魚の貯蔵中のヒスタミン量変化は、図3のように、魚種や貯蔵温度などには関係なく、試料によって大きく異なることになる。ヒスタミンのほか、カダベリンやアグマチンのようなポリアミン類も、同じ理由で腐敗の指標にはならない。

6 辛子れんこん事件は辛子れんこんだから起こった？

わが国でボツリヌス中毒というほとんどが、いずし（魚の発酵食品）でE型菌によるものであったが、近年はそれ以外の事例が増えてお

り、最近では真空包装のあずきばっとうによる事例（2012年、患者2名）が起っている。

1984年6月に発生した辛子れんこんによるボツリヌス中毒事件（11名が死亡）は、常温で販売・貯蔵されていた真空包装（および脱酸素剤封入包装）の製品によって起こったものである。真空包装しただけでは腐敗細菌の増殖はそれほど防止されるわけではなく、むしろ嫌気性菌の増殖にはお誂え向きとなるのに、そのことが十分理解されないまま製造・販売されたために起こった事件と考えられる。消費者もレトルト製品と同様に長持ちすると思い込んだようで、長い例では購入後10日以上も経ってから食べたという。真空包装や脱酸素剤によって起こりうる危害と防止法（要冷蔵など）についての知識があれば防げた事件である。この事件は一般に「辛子れんこん事件」と呼ばれるが、辛子れんこんだから起こったわけではなく、真空包装（脱酸素剤封入）をしたために起こったのである。メーカーや消費者への注意喚起の意味でも「真空包装（脱酸素剤封入）食品事件」とでも呼ぶべきであろう。

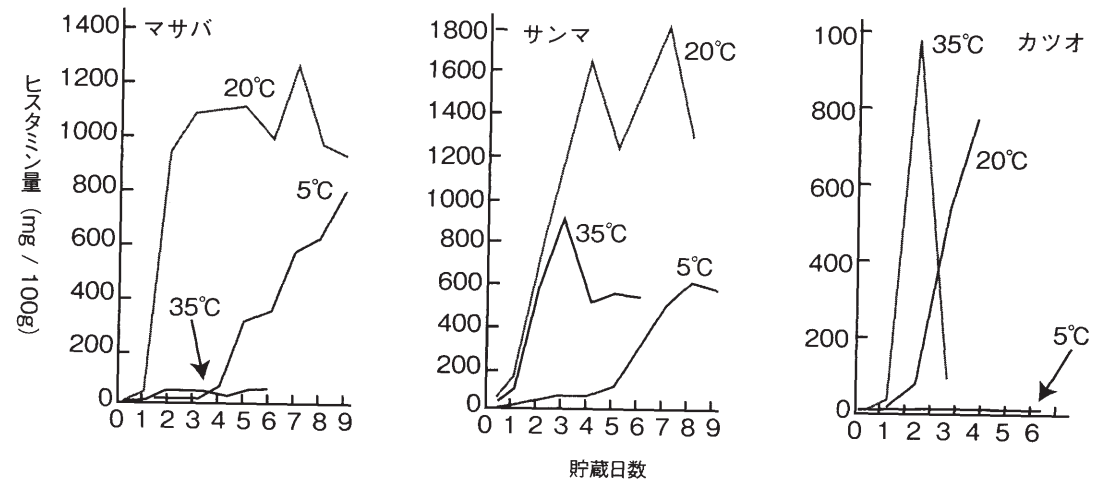


図3. 各種赤身魚の5, 20, 35°C貯蔵中のヒスタミン量の変化（山中ら，1984）

7 生菌数測定は公定法の35℃培養で行うべきである？

スーパーやコンビニなどで販売されている食料品には、原材料名や消費期限（または賞味期限）、殺菌方法、保存方法、メーカー名、栄養・アレルギー関係などの表示があるが、そのうち、消費者が最も気にする項目は消費期限であろう。特に陳列時間の短い弁当や惣菜類は時間単位で表示されていて、消費者はできるだけ期限の先のものを選び、少しでも期限を過ぎればクレームの対象となるので、取扱者も期限には神経を使っている。しかしこの期限が確とした根拠を持って決められているかという点、どうも怪しい場合が少なくない。

例えば、惣菜類や生鮮食品のような要冷蔵食品の消費期限をどのようにして設定するかというと、ふつうは冷蔵庫温度で保存試験を行い、その際の菌数変化を調べて、自社基準値に達するまでの日数をもとに決めるのであろう。その際、貯蔵温度は冷蔵温度域の高めの値である10℃とし、生菌数測定は食品衛生法（公定法）に定められている一般生菌数測定法（標準寒天培地を用い、35℃、24または48時間培養）が無難と考える。その結果、自社基準値の $10^5/g$ に達するのが貯蔵100時間後であったとすると、安全性をみてこの8割程度の期間（80時間）を消費期間として設定するようなことが行われるのではなかろうか。

食品衛生法の生菌数測定法は、もともと規格基準の決められている食品について定められたものであるが、当初はまだ常温貯蔵が一般的であったため、腐敗微生物の生菌数測定も中温細菌を相手にしていればよく、また当時知られていた食中毒菌も中温細菌が主であったため、低温微生物は考慮されていなかったであろう。

したがって、この方法は常温下での食品の微生物汚染や中温腐敗菌の増殖程度を知るような場合には有用であり、また食中毒細菌も多くが中温菌であることからそれらによる汚染の可能性を示す目安ともなる。

しかしこの方法を鶏呑みにして、低温貯蔵の食品に用いると、とんでもないことになってしまう。事実、表1.に示すように、低温で腐敗した刺身などの生菌数は、20℃培養では $10^8\sim 10^9/g$ であるのに、35℃培養では $10^4\sim 10^5/g$ にしかならず、実際には腐敗しているにもかかわらず、それを見落とすことになる。低温腐敗した食品に限らず、鮮魚のようにもともと低温菌が優勢な食品でも、35℃培養では20℃培養に比べて生菌数が著しく低いことになる。要冷蔵食品の生菌数は低温細菌の増殖できる20～25℃以下の培養温度で求めないと、間違った結果を得ることになるのである。

この例からも分かるように、食品の生菌数測定に当たっては、その食品の性質（pH、水分活性、塩分など）や貯蔵条件（温度、気相など）を考慮して、想定される優勢微生物に適した培

表1. 公定法と改変法による生菌数（1gあたり）の比較（藤井，1985）

試料	公定法* (35℃培養)	改変法** (20℃培養)
マイワシ(鮮魚)	8.6×10^3	2.5×10^4
マイワシ(5℃腐敗)	5.7×10^5	1.2×10^9
マイワシ(5℃腐敗後冷凍)	2.9×10^4	1.7×10^7
カツオ(鮮魚)	1.8×10^3	5.7×10^3
カツオ(冷凍)	8.0×10^2	1.2×10^3
イカ(冷凍)	8.0×10^2	1.2×10^3
イカ(5℃腐敗)	5.9×10^4	1.8×10^8
みりん干し	3.3×10^4	6.8×10^4
すじこ	2.6×10^2	3.1×10^3
ちくわ(室温腐敗)	1.3×10^8	1.3×10^8

*標準寒天培地

**2.5%食塩添加BPG寒天培地

地や培養条件を用いることが重要である。優勢菌群の増殖し得ない培地・培養条件で得られた結果をもとにして消費期限設定をするのは不合理なことである。食品検査の現場では、マニュアル通りに日常的作業をこなすことに追われがちであるが、用いている方法が適正であるかどうかにも留意することが重要であろう。

8 十分加熱をするから大丈夫？

鮮度の落ちたサバはそのままでは売れないので、味噌煮や味りん干しにすることがあるようだ。味噌煮の場合、多少のにおいはマスキングされてしまい、また少々鮮度が落ちてでも十分煮こむので微生物は大丈夫という安心感があるのかもしれないが、これではアレルギー様食中毒が起こってもおかしくない。この食中毒は上述のように、ヒスタミン生成菌が増殖してヒスタミンを作るために起こるものである。味噌煮では加熱をするので大丈夫ではないかと思いがちである。確かにヒスタミン生成菌は調理加熱によって死滅するが、原料の保管中にいったん作られてしまったヒスタミンはふつうの調理加熱では破壊されないで食中毒の原因となる。

2000年に起きた加工乳によるブドウ球菌食中毒事件の場合も、原料や中間段階で多少の品質問題があっても、最終段階で加熱殺菌をするので大丈夫という過信があったようである。この例では、原料の脱脂粉乳の製造工程で長時間の停電が起こり、その際に濃縮脱脂乳の貯蔵タンク中でブドウ球菌が増殖し、毒素が作られたが、この毒素は耐熱性が強く、普通の殺菌条件では失活しないので食中毒の原因となったわけである。この事件では全国で13,000人以上もの患者が出た。

このような、ちょっとした微生物の知識があ

ると無いとでは、現場の衛生対策がずいぶんと違うことになるだろう。

9 120℃ 4分の加熱ですべての微生物が死滅する？

缶詰、瓶詰、レトルト食品（容器包装詰め加熱加圧殺菌食品と総称される）は保存性の極めて高い食品である。これらの殺菌条件（pH5.5および水分活性0.94を超える場合）は食品衛生法で120℃、4分相当以上とすることが決められている。ただしこの殺菌条件はボツリヌス菌の殺滅を目的としたもので、すべての微生物が死ぬわけではない。

コーヒー缶詰では耐熱性の強い孢子形成菌を殺すため120℃、30分程度の加熱殺菌が行われている。それでも原料の砂糖の中には *Geobacillus stearothermophilus* ($D_{120^\circ\text{C}} = 4\sim 5$ 分) や *Moorella thermoacetica* ($D_{120^\circ\text{C}} = 5\sim 46$ 分) のように極めて耐熱性の強いものが出て、加熱後も生残することがある。これらの菌は高温菌で40℃以下の温度では増殖しないので、生き残ってもふつうの状態では問題を起ささない。この菌が問題になったのは、わが国で1974年から加温式自動販売機（ホットベンダー）でコーヒーやしるこの缶詰が加温販売されるようになってからである。コーヒーのpHは6.0～6.5で、ホットベンダーの温度がちょうどこの菌の最適増殖温度（55～65℃付近）であるので、変敗を起こすことになったのである。この変敗を加熱だけで防ぐことはできないので、現在は糖脂肪酸エステルを併用して増殖を防止する方法がとられている。ホットベンダーは外国では使われていないのでこの変敗はわが国だけのものではなかった。便利さの追求が予期せぬ結果を招いたわけである。

一方、果汁缶詰のようにpHが3.7以下の高

酸性缶詰では、孢子形成菌が生残しても低 pH のために発芽・増殖しないだろうということで、加熱条件が緩和されている。しかし最近では果実・野菜飲料缶詰などで耐熱性細菌 *Alicyclobacillus acidoterrestris* などによる変敗が発生しており注意が必要である。原因菌の *Alicyclobacillus* は増殖最適 pH が 3.5~5.0 にあるので、果汁缶詰の低 pH がちょうど適するわけである。日常的には問題になることは少ないが、缶詰やレトルト食品も完全な無菌とは限らないことを一応知っておく必要がある。

10 塩辛の熟成には微生物作用が重要?

いか塩辛は最もよく知られている水産発酵食品である。イカの筋肉、肝臓に高濃度（一般に 10% 以上）の食塩を加えて腐敗を防ぎながら、その間に自己消化酵素（魚介類自身の酵素）の作用によって原料を消化して旨みを醸成させるのが本来の製造法である。熟成中に呈味成分が急増し、たとえばグルタミン酸は食用適期には約 600~700mg/100g と仕込み開始時の 10 倍以上に増加する（図 4）。塩辛の熟成（アミノ酸生成）には細菌の作用も大きいと書いている教科書もあるが、これは適切ではない。抗生物質を添加して微生物の増殖を抑制した塩辛とふつ

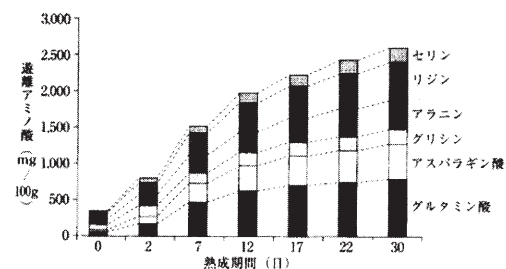


図 4. 熟成中のいか塩辛における遊離アミノ酸量の変化（藤井ら，1994）

うの塩辛を作って、熟成中のアミノ酸量の変化を比較した結果では、アミノ酸量の増加傾向にはほとんど差がみられないことから、アミノ酸生成における細菌の役割は小さいといえる。

最近では食塩 10% 以上の伝統的塩辛は少なく、代わって塩分が 2~7% 程度の低塩分塩辛が主流となってきた。低塩分塩辛では腐敗細菌の増殖を抑えきれないため、長期間の仕込みはできず、熟成による旨みの生成ができない。そのため、調味料で味付けをし、また保存性を維持するため、pH・水分活性の調整や種々の保存料の添加が行われており、製品は発酵食品というより和えものに近いといえる（表 2）。

2007 年 9 月に「いかの塩辛」で腸炎ビブリオによる大規模食中毒（患者数 620 名）が発生したが、食中毒の原因となった塩辛は食塩濃度が 1.8~2.4% であった。近年、多くの食品が低塩化の傾向にあるが、塩辛の場合には、単に塩分濃度が薄くなっただけでなく、製造原理自体が別物になったといえる。伝統塩辛との違いを十分理解して品質・衛生管理を行う必要がある。

11 魚醤油は塩分が高いので腐敗しない?

魚介類を高濃度の食塩で 1 年間以上漬けた

み、液化したものを液体調味料として用いるのがしょっつる、いしるなどの魚醤油である。魚醤油も塩辛の場合と同様、漬け込み中に食塩で腐敗が防止され、自己消化によってタンパク質の液化が行われる。製造原理は普通の醤油と似ており、ともにタンパク質を分解してできるアミノ酸の味を調味料として用いている。異なる点は普通の醤油では大豆のタンパク質を麴の酵素で分解するのに対し、魚醤油では魚介類のタンパク質を自己消化酵素で分解する点である。

魚醤油の食塩濃度は 25~30% 程度で、醤油の 17~18% よりはるかに高く、一般には長期保存の可能な調味料と考えられているが、貯蔵中に 1~2 週間で白濁して悪臭を放つようになることがある。このような高塩分食品の変敗は珍しい現象であるが、腐敗品では揮発性塩基窒

素、トリメチルアミン、揮発酸などが正常品に比べて増加し、生菌数も $10^7 \sim 10^8 / \text{ml}$ に達する。主要な腐敗菌は高度好塩細菌の *Halobacterium* である。貯蔵温度 20℃ 以上、pH 6 以上の製品で腐敗が起こりやすい。東南アジアの魚醤油では一般に pH が 5.0 程度のものが多く、これらでは腐敗は起こりにくい。

参考図書（拙著）

- ・「食品微生物学の基礎」（編著，講談社，2013）
- ・「食品衛生学第 3 版」（共著，恒星社厚生閣，2012）
- ・「食品の腐敗と微生物」（編著，幸書房，2012）
- ・「加工食品と微生物—現場における食品衛生」（中央法規出版，2007）
- ・「増補 塩辛・くさや・かつお節」（恒星社厚生閣，2001）
- ・「魚の発酵食品」（成山堂書店，2000）
- ・「微生物制御の基礎知識—食品衛生のための 90 のポイント」（中央法規出版，1997）

表 2. 伝統的塩辛と低塩分塩辛の比較

	伝統的塩辛	低塩分塩辛
食塩濃度	約 10%~15%	約 2%~7%
仕込期間	約 10~20 日	約 0~3 日
旨味の生成	自己消化によるアミノ酸等の生成	調味料による味付け
腐敗の防止	食塩による防腐	保存料・水分活性調整による防腐
保存性	高（常温貯蔵可）	低（要冷蔵）
製品の特徴	保存食品	和え物風