

アサマ NEWS

パトナ

2013-5 NO. 154

食品微生物の制御

Sofos, J..N. の総説を振り返ってみよう (2)

「化学的保存」

新たな病原体が発生した時、その病原体に対する適当な食品保存料の効果を試す研究が行われる。最近報告された実験は *L.monocytogenes* が安息香酸、ソルビン酸、プロピオン酸、あるいはフェノール性化合物により阻害されることを示している (Buazzi and Marth, 1991; El-Shenawy and Marth, 1988, 1989a and b, 1991, 1992; Tsay and Chen, 1989; Payne et al., 1989)。しかし幾つかの報告は、かなり高濃度の食塩存在下にも生育し、食塩の低い製品での安全性上の懸念を膨らませるものであった (Shahamat et al., 1980)。亜硝酸は、食塩と組み合わせ、低い pH で低温下では *L.monocytogenes* の生育を阻止出来ると期待された (Junttila et al., 1989; Buchanan et al., 1989)。

乳酸ナトリウムとカリウムは、最近香味剤あるいは香味促進剤として注目を集めているが、特に抗菌剤として調理加熱され、再包装された肉製品に使用されている。過去には、燻製はあまじり使われていなかったが、液燻が *L.monocytogenes* に阻害的だと報告されて、使用されたはじめた (Messina et al., 1988)。

特注の栄養素の追加や生育成分を施用すると、食品は各種の天然の抗菌作用を持つ化合物を持つようになることは、注意すべきことであろう (Beuchat and Golden, 1989)。天然に存在する抗菌物質は食品保存上に実用的であると注目されていて、香辛料 (Ting and Deibel, 1992)、リゾチーム (Hughes et al., 1989)、ラクトパーオキシダーゼ-チオシアネート-ハイドロゲンパーオキシド系 (Shiragusa and Johnson, 1989; Denis and Rammet, 1989; Kamau et al., 1990)、ラクトフェリン (Payne et al., 1990)、脂肪酸 (Wang and Johnson, 1992) など。加工食品の他の添加成分で、牛乳やカゼイン、シロ糖、ココア粉末、カラギーナンなどを含む食品成分中で有毒な *L.monocytogenes* に有効な阻害作用を示すか、好ましい阻止作用をもつものに注意が払われている (Pearson and Marth, 1990a,b; Rosenow and Marth, 1987)。生のニンジンで検出された抗リステリア作用はニンジンを加熱調理すると喪失するの除去された (Beuchat and Brackett, 1990)。このような作用は、多種類の成分を使って食品の組成を組み合わせる時には多分有効だろう。

「発酵およびバイオフィバレーション」

微生物-微生物間の交互作用は微生物の生育、保存期間、及び各種の食品の安全性に影響する。このことは伝統的な食品の発酵に特に顕著にみられる。乳酸菌のスターターカルチャーは、短い発酵期間ではあっても、発酵乳製品、肉製品、植物性食品に使用され、食品を望ましい、しかし際立って特徴的な、しかし一定の品質を保ち、保存期間を大きいものに、安全性を保証する (Smith and Palumbo, 1981)。スターターカルチャーのユニークな試用は、ベーコン中に使用するとき pH を低下させ、亜硝酸の残量を低下させ、フライ時のニトロサミン形成を低下させる。製品の保存温度が常温になった時には、*Lactobacillus plantarum* の様なスターターカルチャーが添加されていると、食品中の糖質によって生育し、pH の低下によって *C.botulinum* の生育が阻止される (Tanaka et al., 1985)。

発酵食品は数千年にわたり存在していたものであるが、最近の興味は、乳酸菌や他の微生物の代謝活性、バクテリオシンの生産のような活性、この活性に基づいた食品保存システムの構築に焦点が向けられている (Daeschel, 1989; Ahn and Stiles, 1990; Schillinger et al.; Grinstead and Barefoot, 1989; Berry et al., 1991; Motlagh et al., 1991; Hansen et al., 1989; Gombas, 1989; Degan et al., 1992)。バクテリオシンはペプチド分子で、微生物の特定のサイトを攻撃し、特にグラム陽性細菌の感受性菌を不活化する。研究は抗菌活性の強い菌株の探索、活性の発生する条件、バクテリオシンの活性と生産を促

進する遺伝的な改良に集中した。細菌の拮抗やバイオフィバレーションの食品保存の長期間を通じての目的は、培養法の確立、抽出物とか精製された化合物あるいは、天然物として食品保存に有用な調整品の用意であった。

「ガス置換と包装」

保存期間延長のためにガス置換包装し、冷蔵保存することは極めて有効と評価されている (Genigeorgis, 1985; Gill, 1988; Hintlian and Hotchkiss, 1986; Eagan and Shay, 1988; Lambert et al., 1991b; Reddy et al., 1992; Farber, 1991b)。ガス置換あるいは制御された内部ガスには、無酸素ガスや富炭酸ガス、富酸素ガス、あるいは無酸素ガス等がある。一般にこれらのガス類は完全に微生物の生育を阻害するものではない。しかし、変敗の臭気や、異臭を発生する細菌を阻害する。腐りやすい冷蔵食品の保存期間をガス置換は炭酸ガス置換下では酸素の欠乏のために延長される (Blicks and Molin, 1983)。ガス置換包装が食品の保存性を延長するとはいえ、通性あるいは嫌気性の病原菌に対する作用には多少の懸念が起こる、現在開発され、販売されているガス置換包装された食品の安全性と保存性を確認し研究する必要性が残っている。

「放射線照射」

イオン化放射線照射は食品保存方法としては、まだ広く使用されているわけではないが、1940年から1990年にわたる科学的な研究は、その有用性を証明し、広く使用しても大丈夫だと云う段階に至らせた (Hall, 1989; Poole et al., 1990; Pszczola, 1990; Urbain, 1989; Thayer et al., 1986; Lambert et al., 1991a)。このプロセスは細菌汚染を低下させ、食品保存を進める。そして国連の WHO から許可されていて、30カ国以上の国で使用されている。また、約20カ国である程度の範囲で使用されている。米国では、幾つかの植物及び動物製品に使用が許可され、例えば新鮮な七面鳥肉から芽胞形成性の非病原菌を除く方法も含まれる。最近の研究は、*L.monocytogenes* の D 値は、菌株の差に依るが、また培地や他の条件にもよるが、0.2から2.0kGy であることが示された (El-Shenawy et al., 1989; Hashinaga et al.; Huhtanen et al., 1989; Faraq et al., 1990)。これらの事実に基づいて、10kGy 以下の照射量は多量の菌数 (5-10log) の *L.monocytogenes* を含む病原体や芽胞非形成性の、を食品から除去するのに有効であることが分かったが、殊に免疫不全状態の患者の食品には適している。しかし、表示が必要であること、品質の懸念、消費者の受け取り方、取り扱い施設、及び経済性などの懸念が残る。

食品照射に伴うもう一つ懸念されることは、10kGy 以下のような低い照射量で細菌を殺菌すると、その様な殺菌は正常な *C.botulinum* のような病原菌を阻害していた菌を選択的に殺菌しているかも知れず、その場合消費者に対しこの食品は汚染されていると警告しなければならない。冷蔵下ボリリス菌の芽胞の形成はゆっくりにしており、最近の Huhtanen (1990b) の研究は、放射線抵抗性の *Enterococcus* 株が発見されており、低線量の照射を *C.botulinum* のような病原菌の毒素形成を阻止するために実施すると、照射によって発生する懸念があるかもしれないことを示している。

米国における商業的な照射利用の範囲では、1992年初頭のフロリダにおけるイチゴの0.3kGy 照射のテスト販売は好評だと云う。報告によると1000パイントの照射イチゴは6日で販売されたと云う (Marcotte, 1992)。また、Illinois 州、Northbrook のもう一軒の乾物屋では、同じく照射イチゴを販売し、第一日目の1992年3月12日には1,200パイントの照射イチゴを販売し、第一週の週末には、その店で172ケースの照射イチゴをさばき、非照射のイチゴはわずかに6ケースの販売量だったという (Pszczola, 1992)。

「加熱処理」

熱による微生物の破壊は、近年注意を払って受け取られている。これは、多分加熱プロセスの有利な点、及び食品で発生する有害微生物の未知のものが多いこと、並びに熱抵抗性が未知の事が多いこと、熱抵抗性が次第に高まっていることであろう。最近の食品加工操作が挑んでいるものは、静菌的な加熱処理と静菌的な包装方法による低酸性の食品で、特に微粒状の食品静菌処理であろう。このような処理の目的はその製品の商業上の静菌性を保証しようとするので、品質を適切に保ちながら、即ち、連続的な加工プロセスによる微生物的安全性を保証しながら、過剰な加工プロセスは避けようというものである。このプロセスのチャレンジするところと懸念は適切なプロセス、

充填や包装設備を清浄化し滅菌し、静菌的な作業と静菌的な包装するようにデザインすることである (Heldman, 1989; Dignan et al., 1989)。

最近懸念される病原体は *Salmonella* Enteritidis である。この微生物による感染の証拠は1980年に、米国の北東地域のある地域で6倍に増加しているし、英国でも同様である (Bradshaw et al., 1990)。疫学的な研究の結果、グレードAの全卵は感染した産卵鶏から直接の感染が起こり、次に感染した卵から卵を使用した食品に感染したと結論された。このことは、幾つかの米国内の州に条例を公布させることになり、卵殻は危険性を持った危害原因であることを理解させ、卵の保存方法と調理方法に対する指示勧告が出されることとなった。FDA は次のように勧告した。(a) 小売店頭の生の卵は、7℃以下の温度に保存しなければならない。(b) レストランと食品支給サービス業者は生卵を加熱調理しないで、ready-to-eat メニューの料理に使用してはならない。(c) 熱殺菌された卵や卵製品はレシピ中の生卵と置き換えるべきである。(d) 短時間内を別として、生卵を大きい貯蔵設備でミキシングしたり長時間プールしてはならない。卵の冷却方法に関するもう一つの勧告は、以下の様である：ストープで保温 (121℃) 1つ、1分間攪拌 (中温)、サーバイ121℃で7分間、あるいは121℃で4分間以上、over-easy 法、3分間121℃一方側面を、次いでもう一方側面を2分間を加熱、porched は沸騰水中5分、次いで沸騰させるあるいは7分間沸騰水中浸漬。

L.monocytogenes が乳製品の病原体と認められてから、病原体を駆除するのにミルクの滅菌に中温殺菌に適しているかどうか極めて精力的な研究が行われた。ミルク中の D 値は、63.3℃で31-46.1秒であり、71.1℃では1.5-2秒であったし、菌株による違いはあるが、Z 値は5.3-6.2℃であった (Bradshaw et al., 1991; Lovett et al., 1990)。幾つかの研究と討議の末、高温短時間 (HTST) プロセスが *L.monocytogenes* のミルクに適していると結論された。

幾つかの研究が異なった基質中での *L.monocytogenes* の耐熱性について検討された (表4)。一般的にこの微生物は、サルモネラのような非孢子形成菌よりは少し耐熱性であった。それ故、卵の様な食品の殺菌、これはサルモネラの殺菌に適しているのだが、高レベルの *L.monocytogenes* の除去には適さない (Foegeding and Stanley, 1990; Foegeding and Leasor, 1990)。 *L.monocytogenes* の熱抵抗性をビーフひき肉中で、最近注目されている病原性菌の *E.coli* O157:H7、あるいは既に表5で示した *Salmonella* と比較すると、 *L.monocytogenes* は明らかに強い (Boyle et al., 1990; Fain et al., 1991; Gaze et al., 1989; Glass and Doyle, 1989; Goodfellow and Brown, 1978; Harrison and Huang, 1990; Line et al., 1991; Mackay and Bratchell, 1989; Zaika et al., 1991)。

熱抵抗性は細菌の種や株によって変化し、加熱媒体によっても変わり、細菌の生殖過程の間に変化して、条件に依り変る。生残数を測定する方法によっても変化している。加熱障害を受けた細菌芽胞の回収は培養液中の固形分の濃度に影響されて高い回収率を示す。そして寒天培地は低い回収率を通常培地と比べて示す (Kallender et al., 1992; Zechman and Pflug, 1991)。加熱後に嫌気的な培養を行うと *L.monocytogenes* の生存数は高い検出率を示す (Knabel et al., 1990)。 *L.monocytogenes* の熱抵抗性に関連して注目をしている因子は、培養生殖時の温度；加熱処理を受ける前の半致死的なヒートショック；加熱速度；塩斥物質の存在、または食肉製品の様な食品の加熱中の溶剤成分などを含む物質である (Bhaduri et al., 1991; Farber, 1989; Farber and Brown, 1990; Fedio and Jackson, 1989; Holsinger et al., 1992.; Linton et al., 1992; Mackey and Derrick, 1987; Quintavalla and Campanini, 1991; Smith and Marmer, 1991; Smith et al., 1991; Yen et al., 1991, 1992a, b)。

細菌の熱抵抗性は生殖が進むような温度では低下する。 *L.monocytogenes* の10℃で増殖した細胞の牛肉スラリー中の60℃での D 値は0.8分、これに対し37℃で生育した細胞の60℃の D 値は1.6分、この値は約2倍である (Bhaduri et al., 1991)。これらの結果から、冷蔵肉中で生育した *L.monocytogenes* の細胞は、ずっと効果的に熱で不活化されること明らかである。またさらに低温の冷蔵状態では *L.monocytogenes* は低い生殖力に置かれることになる (Buchanan and Klawitter, 1991)。また、低温で生育させられた細胞の熱感受性の増加は、加熱前に37℃で1-5時間置くと喪失する。このことは、冷蔵処理された製品が短時間でも加熱処理前に高温にさらされていれば、 *L.monocytogenes* のような病原体細胞は熱による破壊に抵抗性を持つように変化する可能性を示している。従って、肉製品の様な製品は、加熱直前でも、常時冷蔵状態に保持することが重要である。低温で生育した細胞の熱抵抗性の低下は、細胞膜質中の不飽和脂肪酸の濃度が増加し、細胞質膜の液状性を高め、粘性を低下させ、熱抵抗性を低下させる。37℃の保温に移行する前に、19℃での細胞増殖におけるタンパク合成の阻止剤のクロラムフェニコールを添加すると、温度上昇によって導かれる熱抵抗性の高まりが阻止ないし阻害されることを示している (Smith et al., 1991)。このことは、ポリブチドやタンパク質の合成は少なくとも温度上昇に伴う熱抵抗性の上昇に、少なくとも部分的に対応していることを示唆している。

細菌細胞が致死的な、しかし最適な生育速度よりは高い温度での生育、あるいは熱による菌体の破壊を超える連続的な加熱は熱抵抗性を上昇させることを幾つかの研究結果が示している (Mackay and Derrick, 1987)。この現象は致死的な加熱ショックに続く熱抵抗性の増大は、一般的な現象のように、サルモネラに続いて、多くのバクテリア、酵母類、ドロソヒラ、人細胞の組織培養で認められている。 *L.monocytogenes* 細胞のヒートショック後の強まる熱抵抗性は、培地中や塩斥肉中で、48℃でのヒートショックの様な適当な温度で確認されている (Farber and Brown, 1990; Linton et al., 1992)。半致死

的加熱 sublethal heat shocking と嫌気的生育は、これも同様に培地中で55℃で加熱した *E.coli* O157:H7 の D 値の増大に貢献することを報告されている (Murano and Pierson, 1992)。

原核細胞あるいは真核細胞でも、加熱の様な半致死的なストレスに出会った時、熱ショックタンパク質と知られるものを合成し、このものはストレスに対する防御作用を誘導産生し、ストレスの除去の後の生理状態から細胞の生理を元に戻すようなことに関係していると考えられている。熱ショックが熱抵抗性を高めることから、その影響は肉製品の加熱プロセスの設計にはその影響を考慮しなくてはならない。しかし、加熱加工における熱抵抗性は高温で加熱 (> 65℃) する場合より、低温で加熱する場合の方が気がかりな製品を作り出す。ヒートショックの条件は、最少の加工、例えば、sous vide のようなゆっくり加熱し冷蔵した食品、肉製品で加熱前に温かく保たれた後に加熱するか再加熱する食品、加熱プロセスがありながら調理中に加熱を失敗し、加熱プロセスを中断した場合などである。

溶質や食品成分を添加すると熱抵抗性が增大することはよく知られたことである (Holsinger et al., 1992)。このことに基づいて、病原菌を殺菌するようなプロセス (例えば、アイスミックスと他の食品の混合物中の *L.monocytogenes*) は、組成自体の変更を含めた変更をしなければならない。 *L.monocytogenes* の熱抵抗性は食塩と亜硝酸塩のような塩斥塩を含む肉製品では、単なる肉製品より高い (Farber, 1989; Yen et al., 1991)。しかしながら、65-70℃の加熱、殆どの加熱肉製品が加熱されている温度であるが、塩斥塩の *L.monocytogenes* に対する保護効果は無くなってしまふ (Yen et al., 1991, 1992a,b)。70℃では菌体破壊には差は無く、塩斥肉と無塩斥肉では6log 以上の菌数でも差は認められない (Sofos et al., 1992)。

ダイエットを気にする消費者から低カロリーの肉製品が好まれるので、 *L.monocytogenes* の熱殺菌に対する高レベルと低レベルの脂肪の豚肉の影響を調べ、(表6) 製品が求められる温度まで加熱されるなら、熱殺菌の効果は、脂肪の量に関らず同じであった (Sofos et al., 1992)。かして、低脂肪組成は早く加熱されるので、熱による *L.monocytogenes* の除去は高脂肪食では少なくとも広範囲になるのである。

肉製品中で脂肪レベルが低くされる時には、通常水が添加される。この理由で、我々は *L.monocytogenes* の熱抵抗性を豚肉スラリーに水を加えて測定した (表7)。低脂肪の豚肉スラリー水の添加は、設定時間に達する平均時間は低下し、期待通り菌体破壊時間は同様になった (Sofos et al., 1992)。かして水の添加は調理時間を短縮させたが、菌破壊時間は60℃以上であった。

[相関関係 / ハードル]

食品保存はしばしば幾つかの準最適であるが、微生物の生育には最低レベルより少し上の様なレベルが存在し、これに基づいて保存がなされている。1970年代に食品保存のこの考えはハードル概念として集約された (Leistner, 1985, 1987; Leistner and Roedel, 1976)。それから、幾つかの研究所が、違った形式の食品保存における異なった因子の、異なった強さの貢献度を予言し、数学的なモデルをテストし、開発し始めた (Robinson et al., 1982; Griffiths and Phillips, 1988; Bratchell et al., 1989; Buchanan, 1991; Zwietering et al., 1990; Baker and Genigeorgis, 1990; Buchanan and Phillips, 1990; Gibson et al., 1988; Palumbo et al., 1991)。その様なモデルは将来の安全な食品をデザインするのに有用であることを約束している。

ハードル概念、あるいはマルチプル障害の考えは、多くの場合、他因子相互関連を通じて食品保存に関係していて、製品が数種のダイナミックなシステム組み合わせ変換が行われている (Hechelmann and Kasproiwak, 1992)。図1は、ハードル概念のダイナミックな性質の説明のために空想的な食品の保存に関連して数種のハードルを提出したものである。たとえば、食品が亜硝酸ナトリウムの様な添加物を含む場合、この物質は食品保存中に分解されるが、亜硝酸の微生物抑制力の強さは保存と共に減少するが、残留している亜硝酸に抗菌活性は頼っていることになる。乳酸菌は乳酸の生産に伴い pH を低下させるので亜硝酸の消失は、pH の低下に伴い増加する。しかし酸度の強さはハードルとして微生物の生育にハードルとして作用し、酸度と共に菌に阻害は増大する。製品の配送分配時に食品の保存温度が変化したとする。すると製品保存中の低温というハードルは変動してしまい、多分これは乳酸菌の生育を招き、すると pH の低下を招き…そして亜硝酸は…食品保存のオーバーオール相互関連とダイナミックなシステムが、全効果が製品の期待した保存期間の微生物的な拡大の阻止に働く時には成功といえるだろう。

要約

食品保存の方法の研究は、過去にもそうであったように、将来ともに重要であろう。食品の特質を変更しようとするチャレンジや必要性更の要求、あるいは食品の安全性に関する変更は進め、また実行されなければならない。このことは、新規な将来の適切な利用法を導くための利点を追加するであろう。

訳者注

Sofos の総説は、提出された時期は古い、非常に示唆に富んでいる。特に、米国とわが国では、食品保存に関連する幾つかの事項について、研究の掘り下げられた深さが違っている。

特に、このことは食塩濃度、加熱、加熱操作の違い、pH の調整など、それだけでは単純な操作や作業が、結果に影響することが実例を挙げて示され、食品製造や保存の安全性の保持に、並びに安全な保存条件の設定に影響していることが理解できる。

また、随所に示されている僅かの条件の変更と設定によって、革新的な食品製造法や保存方法を提供出来るであろう。

食品加工と微生物

乳酸ナトリウム (60%水溶液)	最初の毒素形成のあった日
0	3
2.0	4
2.5	4
3.0	6
3.5	7

Maas らの報告から転出

表3. 袋詰め加熱調理された七面鳥胸肉中で *Clostridium botulinum* による毒素生産に対する乳酸ナトリウムの効果

基質	温度 (°C)	D 値 (分)	引用文献
ビーフスラリー	60	2.54	Boyle et al (1990)
	70	0.23	
チキン肉	60	5.29	Gaze et al (1989)
	70	0.20	
カニ肉	55	12.00	Harrison and Huang (1990)
	60	2.60	
液卵	60	1.70	Foegeding and Leasor (1990)
	66	0.20	
ニンジン	60	7.76	Gaze et al (1989)
	70	0.44	

表4. 各種の基質中での *L.monocytogenes* の熱抵抗性 (D-値)

温度 (°C)	<i>L.monocytogenes</i>	<i>E.coli</i> O157 : H7	<i>Salmonella</i> spp
57.2	5.8	5.3	5.4
62.3	1.2	0.5	0.7

GoodfellowとBrown (1978), DoyleとSchoeni (1984), Fain et al, (1991)およびLine et al (1991)より転載

表5. ビーフミンチ肉中での3種の微生物の熱抵抗性 (D 値)

脂肪 (%)	最終製品の温度 (°C)	温度に達した時間 (分)	<i>L.monocytogenes</i> の菌数減少 (log CFU/g)
5.7	50	24.8	0.57
	60	36.4	4.65
31.1	50	29.0	0.57
	60	40.0	4.72

70°Cのウオータバスで加熱、初期 pH : 6.15 ± 0.06、初期接種サイズ : 6.49logCFU/g Sofos et al (1992) より引用

表6. 異なった脂肪レベルのミンチ豚肉中の *Listeria monocytogenes* の熱殺菌

水添加量 (%)	ウオータバス (°C)	最終製品の温度 (°C)	温度に達した時間 (分)	<i>L.monocytogenes</i> の減少 (logCFU/g)
0	62	60	51.2	4.75
	68	66	54.5	>7.00
25	62	60	46.4	4.77
	68	66	50.6	>7.00

初期 pH6.14 ± 0.04、初期接種サイズ8.00logCFU/g Sofos et al (1992) より引用

表7. 水添加ミンチ豚肉 (脂肪6.2%) 中の *L.monocytogenes* の熱による破壊

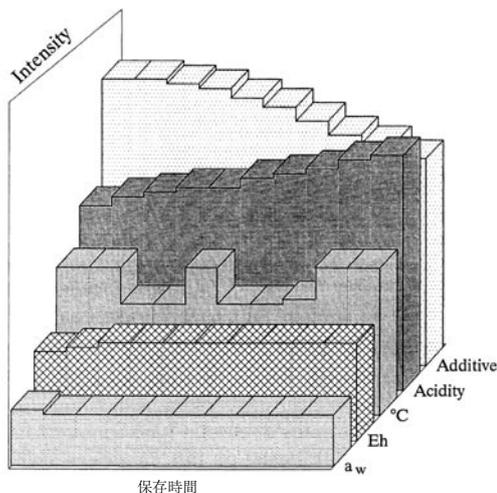


図1. 食品保存のハードル概念のダイナミック側面の想像上の提出

(松田敏生 フードスタップ研究所)

もやしの製造と病原菌対策

もやしは、主にリョクトウ (*Vigna radiata*)、ブラックマツペ (*Vigna mungo*)、ダイズ (*Glycine max*) などの豆類の種子を水に浸漬して発芽させたもので、野菜炒めやラーメンの具の他、さまざまな料理の材料として現在幅広く利用されている。

もやしは芽出し野菜 (スプラウト) の一種で、アジアでは古くから食べられていた。中国では秦の時代から栽培されていたといわれている。日本では、平安時代に書かれた日本最古の薬草に関する書物である『本草和名』に「毛也之」との記述があり、その後、江戸時代には全国で栽培されるようになった。特に、東北の雪国では野菜の少ない冬季の食物として盛んにもやし栽培が栽培されていたように、栽培には温泉が利用されていた。現在でも山形県の小野川温泉や青森県の大鰐温泉では温泉を利用したもやし栽培が行われている。

江戸時代は、土や砂を使ったもやし栽培が一般的に行われていたようであるが、1960年代、もやし料理に盛んに利用されるようになると、現在のようにならぬ大規模なもやし栽培が行われるようになり、その後のスーパーマーケットの拡大に合わせて消費者の間でもやし栽培が普及するようになった。そのころのもやしの原料豆の多くはブラックマツペ (毛豆小豆 (ケツルアズキ)) と呼ばれるもので、タイやミャンマーから輸入されていた。

後にブラックマツペの種子から植物病原カビの発生が多くなり、また、中国では黒い種皮の残渣が商品の包装もやしに混入することによる外観上の問題もあって中国のリョクトウ (緑豆) が使用されるようになった。現在市販されているリョクトウもやしの原料の多くは、中国の吉林省や陝西省などから輸入されている。

現在、市場で流通しているものはリョクトウもやしほとんどであるが、その他にダイズもやし、ブラックマツペもやしなどがある。また、そばやひまわりの種子を用いたもやしなどもみられる。もやしの年産量は、近年、35万t前後 (農林水産省推定値) で、それにかいわれ大根やアルファルファもやし、プロコリーヌスプラウトなどのいわゆる芽出し野菜を加えると生産量は80万t/年に達するといわれている。

もやしの製造工程

もやしの製造は、日本国内でも地方によって多少の相違がみられる。一般的に東日本では豆類の種子を水に浸漬した後、栽培工程で散水した水の除去を早める目的から高床式の生育箱を用い、上部から定期的に散水して生育させる場合が多いのに対し、西日本では「じか作り」といわれる方法で浸漬と生育を同じ生育箱内で行うこともある。また、東日本では太いもやし、西日本では細長いもやしが多い傾向がみられることからそれに合わせた栽培法が行われている。太いもやしを栽培する場合は、植物ホルモンの一種であるエチレンガスを微量施用し、軸の肥大化を図ることが行われる。エチレンは、植物が生育している植物ホルモンの一つで野菜や果物の成熟、老化を促進する働きを有している。そこで、もやしにエチレンを意図的に施用することにより軸の伸長が抑制され、太いもやしになる。一方、細いもやしの場合は酸素の供給量を多くして生育を早めている。

山形県には、温泉を利用したもやし栽培で知られている小野川温泉のもやしがある。通常のもやしよりも長く、軸が約20cmまで生長する。栽培は冬期に限られ、木製の生育箱の下に温泉を通して保温しながら栽培される。生育箱の底に砂を敷いて一晩浸漬した豆類の種子を撒き、その上に種子が見えなくなるまで砂をかけ、ムシロなどで被う。約1週間保温するともやしが発育するのを収穫する。このようにもやしの栽培は、地域によってさまざまな形で行われている。

全国で最も一般的に製造されているのがリョクトウもやしである。そこで、リョクトウもやしの原料から出荷までの製造工程の概略を図1に示した。原料倉庫から出されたもやし種子を精選分別し、よく洗浄した後、栽培の前処理として種子の殺菌が行われる。種子には $10^3 \sim 10^6$ 個/g の細菌や少数のカビが付着しているのが一般的である。そのような中で病原菌が付着している場合は、栽培中のもやしに腐敗等の被害をもたらす。もやしの栽培は密生して行われることから、もやしの一部が腐敗すると栽培箱全体に拡大することになるので被害が甚大となることが多い。したがって、もやし栽培において、殺菌は重要な工程となっている。殺菌された種子は、漬込室で30 ~ 40°Cの温水を用い、約4~8時間浸漬することによって種皮の一部に亀裂が入って割れ、白い胚乳部が見える状態になる。次に光を遮った暗い栽培室に浸漬した種子を移動させ、25 ~ 30°Cに保った状態で約8日間、定期的に散水しながら発芽・生育させる。散水には種子に水を供給するだけでなく、発芽によって発生する発芽熱を低下させ適正な生長を促す役割も有している。散水は、工場によって相違がみられるが、一般的に種子50kg/m²当たり600ℓ/m²の散水が必要といわれている。しかし、省資源の観点からは300 ~ 450ℓ/m²の散水でも可能ではないかと考えられている。近年は、生長に応じて最適な栽培条件となるようコンピュータを用いて環境を制御しながら栽培を行うことができるシステムが開発されている。太いもやしを栽培する場合は、植物ホルモンの一つであるエチレンを濃度が1~2ppmの状態に施用される。施用方法としては、原料種子の浸漬後約5日より施用するのが良く、また、1日1時間程度の施用で十分であるとされている。近年は、エチレンの施用もコンピュータで制御されるようになった。生育したもやしは次に洗水槽で洗浄され、種子の殻や細かいひび

根などが除去される。その後、脱水が行われ、余分な水分を除去する。なお、この脱水によってもやしの保存性が向上することが知られている。次に異物の選別や金属異物の検査、除去が行われ、ウェイトチェッカー、目視検査を経て包装される。包装されたもやしは保冷庫に一時的に冷却保管された後、保冷車によって出荷される。



図1. もやしの一般的な製造工程

もやし製造における微生物被害

先述したように、もやし生産業者にとって最大の問題は、病原大腸菌などの食中毒菌対策やもやし栽培時における腐敗対策である。食中毒が発生した場合は、社会的な影響が大きいことから、企業にとっては致命的なダメージを受けることになる。近年、芽出し野菜による食中毒事件が発生しているが、もやしの場合は、先述したように加熱殺菌が行われるようになったことから、処理後の衛生管理が適切に行われていけば、食中毒菌による被害を起こすことは少ない。一方、栽培時における腐敗の発生は、もやし生産業者にとって大きな問題となる。工場内において感染力の高い植物病原微生物が増殖した場合、栽培途中の大量のもやし被害を受けることになり、もやし生産業者にとって大きな打撃を受けることになる。もやし種子の表面に付着している微生物は加熱処理により殺菌することが可能であるが、問題は種皮と胚乳部の間隙に潜んでいる植物病原カビの胞子である。これらは通常の塩素殺菌では死滅しない場合が多いことから、問題を難しくしている。

もやし栽培中に発生し、もやしを腐敗させる主な植物病原菌（カビおよび細菌）を表1に示した。リョクトウもやしにおいては、主に多犯性炭疽病菌（*Colletotrichum gloeosporioides*）、ブラックマツペ（ケツルアズキ）もやしにおいては炭腐病菌（*Macrophomina phaseolina*）、また、両者に共通するものとしては、根腐病菌（*Fusarium solani*）、苗立枯病菌（*Rhizoctonia solani*）、クモノスカビの一種 *Rhizopus oryzae* などが知られている。また、ダイズもやしにおいては紫斑病菌（*Cercospora kikuchii*）、根腐病菌（*Fusarium solani*）、子葉黒点病菌（*Alternaria alternata*）が腐敗の原因菌となる場合が多い。一方、細菌が原因となる場合は、軟腐病菌（*Erwinia carotovora*）や茎腐細菌病菌（*Pseudomonas fluorescens*）が主で、リョクトウもやしやブラックマツペもやしの栽培時に増殖し、腐敗を引き起こす。

腐敗防止対策

もやし栽培中の腐敗防止対策として、以前は高度サラシ粉や次亜塩素酸ナトリウムを用いた種子殺菌が行われていた。塩素殺菌は有効塩素濃度が約200ppmで1時間ほど浸漬することによって行われるのが一般的である。しかし、塩素殺菌による方法は、もやし種子の表面に付着している細菌やカビの殺菌に対しては一定程度の効果があるが、もやし種子の表皮と胚乳との間隙に潜んでいる病原カビに対してはほとんど効果がみられない。したがって、内部に潜んでいる病原カビやそれらの胞子は浸漬時に殺菌されることなく、栽培時において増殖し、もやしが生長してくるにつれて病原カビの影響が顕著になってくるという問題があった。

そこで、近年は加熱殺菌が行われるようになってきた。加熱による殺菌は、80℃以上の熱水や過熱蒸気を利用した殺菌が行われている。熱水による加熱殺菌は、予備加熱として45℃で30分ほど加温した後、80～85℃の熱水にもやし種子を投入し、攪拌しながら5～10秒の加熱殺菌が行われる。殺菌後はただちに冷却される。また、マイクロ波を利用した過熱蒸気による殺菌では、65～75℃で6～13分間処理された後、冷却することによって行われている。マイクロ波を利用した加熱殺菌装置は、栽培時におけるもやしの腐敗を防止するとともに、殺菌処理した原料を長期間貯蔵することを可能としたもので、もやし種子にとどまらず、その他の多くの種子殺菌にも応用が期待できるものである。リョクトウとダイズを用いたマイクロ波加熱殺菌を行った結果を表2と表3に示した。リョクトウの場合、加熱殺菌処理によりカビ発生率は1%となり、未処理のもの20分の1に減少する一方で、発芽率は99%と良好であり、胚軸長は未処理のものと比較して問題のないことがわかる。また、小粒ダイズの場合も良好な結果を示している。さらに、マイクロ波加熱殺菌した種子を常温で1年間にわたって保存した場合の発芽率・生育状況をみると、表4に示すように生育状態は未処理のものとはほとんど変わらず1年間経過しても良好な状態を保っている。このようにマイクロ波加熱殺菌の利点は殺菌後、種子を保管できることである。マイクロ波加熱殺菌時に熱源として蒸気を併用し、冷却コンベアを通過させることによって、種子の表面に付着した水分を除去することにより、長期間保存した後も、カビの発生や発芽率及び発芽勢に影響を与えることが少ないことから、優れたもやし種子殺菌の方法と考えられる。

原因菌	腐敗の特徴
炭疽病菌 (<i>Macrophomina phaseolina</i>)	もやしの全体が炭のように黒色を呈する。
根腐病菌 (<i>Fusarium solani</i>)	もやしの根部に腐敗が発生し茶褐色を呈する。
苗立枯病菌 (<i>Rhizoctonia solani</i>)	もやしの全体に腐敗が発生し茶褐色を呈する。
多犯性炭疽病菌 (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>)	もやしの茎のほぼ中央に腐敗が発生し茶褐色を呈する。
豆類炭疽病菌 (<i>Colletotrichum truncatum</i>)	もやしの根部に発生し黒褐色を呈し、生育が停止する。
紫斑病菌 (<i>Cercospora kikuchii</i>)	種子及び子葉に発生する。種子では表面に紫色の斑点を生じる。罹病種子を播種すると子葉に褐色ないし紫紅色の斑点を生じる。
子葉黒点病菌 (<i>Alternaria alternata</i>)	ダイズもやしの子葉部分が黒色を呈する。
ユミケカビの一種 (<i>Absidia corymbifera</i>)	もやしに糸糸が絡んだように菌糸が生長し、団子状になる。もやし業界では、通称「だんご」と呼んでいる。
クモノスカビの一種 (<i>Rhizopus oryzae</i>)	もやしに糸糸が絡んだように菌糸が生長し、団子状になる。もやし業界では、通称「だんご」と呼んでいる。
軟腐病菌 (<i>Erwinia carotovora</i>)	もやしの全体が侵され腐敗する。異臭を発生し、茶褐色を呈する。
茎腐細菌病菌 (<i>Pseudomonas fluorescens</i>)	もやしの茎の途中が褐色ないし黒変し、くびれが生じて正常に生長しなくなる。

表1. もやし栽培における主な植物病原微生物

速度	蒸気温度 (℃)	マイクロ波 (Kw)	発芽率 (%)	カビ発生率 (%)	胚軸長 (mm)
未処理	-	-	100	20	219
1.0m/分	150	3.0	99	14	219
0.8m/分	150	3.0	100	13	216
0.6m/分	150	3.0	99	1	228

表2. マイクロ波加熱によるリョクトウ種子の殺菌³⁾

速度	蒸気温度 (℃)	マイクロ波 (Kw)	発芽率 (%)	カビ発生率 (%)	胚軸長 (mm)
未処理	-	-	99	12	189
1.3m/分	140	3.0	96	10	192
1.2m/分	140	3.0	96	4	174
1.0m/分	140	3.0	96	2	182

表3. マイクロ波加熱による小粒ダイズの殺菌³⁾

項目	処理方法	保存日数				
		30	60	90	210	365
発芽率 (%)	未処理	97	98	100	98	98
	加熱	97	97	98	98	98
胚軸長 (mm)	未処理	223	171	176	142	152
	加熱	239	188	196	155	154
生育状態	未処理	良好	良好	良好	良好	良好
	加熱	良好	良好	良好	良好	良好

表4. マイクロ波加熱殺菌したリョクトウ種子の保存日数と生育状態³⁾

(宮尾茂雄 東京家政大学教授)

参考文献

- 1) 青木睦夫・沼田邦雄・宮尾茂雄: 東京都農業試験場研究報告, 19, 103 (1986)
- 2) 沼田邦雄・青木睦夫・宮尾茂雄・佐藤 匡: 東京都立食品技術センター研究報告, 1, 21 (1992)
- 3) 宮尾茂雄・青木睦夫: フードケミカル, 11, 59 (2001)

アサマ化成株式会社

E-mail: asm@asama-chemical.co.jp
http://www.asama-chemical.co.jp

●本社 / 〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町20-3 TEL (03)3661-6282 FAX (03)3661-6285
●大阪営業所 / 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-6-13 御幸ビル TEL (06)6305-2854 FAX (06)6305-2889
●東京アサマ化成 / 〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町16-5 TEL (03)3666-5841 FAX (03)3667-6854
●中部アサマ化成 / 〒453-0063 名古屋市千代田区東宿町2-28-1 TEL (052)413-4020 FAX (052)419-2830
●九州アサマ化成 / 〒811-1311 福岡市南区横手2-3-2-11 TEL (092)582-5295 FAX (092)582-5304
●桜陽化成 / 〒006-1815 札幌市手稲区前田五条9-8-18 TEL (011)683-5052 FAX (011)694-3061