

フード ケミカル

月刊

食品のおいしさと安心を科学する技術情報誌
A Technical Journal on Food Chemistry & Chemicals.

2018

6

398

特集1

HACCP制度化

特集2

まるごと調味料



最新技術情報

溶解・ゲル化温度が低下した新規ジェランガム

ifia
JAPAN
International
Food Ingredients
& Additives
Exhibition
and Conference



宮尾茂雄 Shigeo Miyao

東京家政大学家政学部 短期大学部 食品加工学研究室 教授

みやお・しげお

●略歴 東京農工大学農学部卒(1973年)，東京都立食品技術センターを経て東京家政大学教授
四川大学客員教授，全日本漬物協同組合連合会技術顧問。
●著書 「食品微生物学ハンドブック」，「漬物の機能と科学」，「漬物入門(改訂)」，「中国漬物大事典」，「漬物の絵本」，「絶品漬物ブック」，「日本の伝統食品事典」など

1. はじめに

もやしは，主にリョクトウ(*Vigna radiata*)，ブラックマッペ(*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，野菜炒めやめん料理の具材のほか，さまざまな料理の材料として幅広く利用されている。

もやしは芽出し野菜(sprout)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(ほんぞうわみょう)』(901～923年)に「毛也之(もやし)」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されていたようで，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の熱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散水を利用した大規模なもやし栽培が行われるようになり，その後，スーパーマーケットの拡大に合わせて消費者の間でももやし普及するようになった。その頃のもやしの原料豆の多くはブラックマッペ(ケツルアズキ)と呼ばれるもので，その多くはタイやミャンマーから輸入されてい

た。後にブラックマッペの種子から植物病原カビの発生が多数みられるようになったことや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，近年は中国のリョクトウ(緑豆)が多く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，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，そのほかにダイズもやし，ブラックマッ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。もやしの生産量は2016年現在で約41万6000t/年(農林水産省食料需給表)で，それにかいわれ大根やアルファルファもやし，ブロッコリー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。

2. もやし製造工程

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好まれる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グスを微量施用し、軸の肥大化を図ることが行われる。エチレンは、植物が自ら生成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生育するので、それを収穫する。

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、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 $10^3 \sim 10^5$ CFU/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。そのようななかで病原カビが付着している場合は、栽培中のもやしに腐敗などの被害をもたらすことになるため、栽培前に行われる殺菌は極めて重要な工程となっている。以前、種子の殺菌は高度サラシ粉を用いる塩素殺菌が行われていた。塩素殺菌の場合は有効塩素濃度、約200ppmで1時間ほど浸漬する

のが一般的な方法である。殺菌された種子は、漬込室で30～40℃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℃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、工場によって相違はみられるが、一般的に種子50kg/m³あたり600L/m³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/m³の散水でも可能ではないかと考えられる。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の状態では施用される。施用方法としては、原料種子の浸漬後約5日目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げ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。次にカメラによる異物の選別や金属検出機による金属異物の検査、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



図1 もやしの一般的な製造工程

管された後、保冷車によって出荷される。

3. もやし製造における病害

1999～2010年にわたって行われた市販生鮮青果物の衛生細菌学的調査によると、もやしを含む芽物野菜の細菌汚染は $10^6 \sim 10^8$ CFU/gに達しており、2006～2010年における芽物野菜の大腸菌汚染率は35.5%であったことが報告されている¹⁾。また、アルファルファスプラウトを原因食とした食中毒事故例として2007年にはスウェーデンで51名、2009年にはアメリカで228名のサルモネラ食中毒患者が発生したことが報告されている^{2,3)}。このように、もやし生産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病害の発生である。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損害を受けることになる。アルファルファスプラウトやカイワレ大根など、芽出し野菜の場合は食中毒に到ることもまれに生じるが、リョクトウもやしの場合は、通常、栽培前に殺菌が行われることから、処理後の衛生管理が適切に行われていれば、食中毒菌による被害を起こすことは少ないと思われる。

一方、栽培時における腐敗などの病害の発生は、もやし生産者にとっては経済的な被害を受けることから大きな問題となる。もやし種子に付着している感染力の高い植物病原微生物が栽培中に増殖した場合、感染が拡大し、大量のもやしが被害を受けることになり、もやし生産者にとって極めて大きな経済的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次亜塩素酸などによる殺菌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に潜んでいる植物病原カビの胞子である。これらは間に潜んでいるため、通常の塩素殺菌などの化学的な処理方法では死滅しない場合が多く、そのことが対策を困難にしている。

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である*Rhizopus oryzae*などが知ら

表1 もやし栽培における主な植物病原微生物

原因菌	腐敗の特徴
炭疽病菌 (<i>Macrophomina phaseolina</i>)	もやし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て生育が停止する
紫斑病菌 (<i>Cercospora kikuchii</i>)	種子および子葉に発生する。種子では表面に紫色の斑点を生じる。罹病種子をばらけ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>)	もやしに絹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>)	もやしに絹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

れている。また、ダイズもやしにおいては紫班病菌 (*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よしの栽培時に増殖し, 腐敗を引き起こす⁴⁾。

4. 熱水浸漬による種子殺菌

もやし生産業者はこれらの腐敗を防止するために, 先述したように高度サラシ粉や次亜塩素酸ナトリウムを原料の浸漬時に使用したり, 加熱を利用した殺菌を行っている。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に対しては殺菌効果が認められるが, もやし種子の表皮と胚乳との間隙に潜んでいるカビや胞子に対する殺菌効果はほとんど認められない。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。

表2 熱水浸漬によるリョクトウ種子の殺菌

処理方法	発芽率 (%)	カビ発生率 (%)
対照	100	26
65℃, 15分	99	8
75℃, 5分	95	0
85℃, 10秒	99	1

加熱処理を利用した殺菌方法は, 種子表皮を通過する熱により表皮と胚乳の間隙に潜んでいるカビや胞子を殺菌するものである。通常, 予備加熱として45℃で30分ほど加温した後, 65～85℃の熱水にもやし種子を投入し, 攪拌しながら一定時間, 加熱処理を行う。加熱処理後は発芽に影響を及ぼさないようにただちに冷水により冷却する。

そこで, もやし種子(緑豆)を加熱処理した場合の加熱温度, 処理時間および種子発芽に及ぼす影響について確認試験を行った。

リョクトウ種子100粒を予備加熱として45℃で30分ほど加温し, 一定温度にそろえた後, 65℃ 15分, 75℃ 5分, 85℃ 10秒, 熱水で加熱処理した後, ただちに流水にて30秒間急冷した。その後, 200ppmに調整した次亜塩素酸ナトリウム溶液に5分間浸漬し, 種子表面の付着微生物を殺菌処理し, そのままポテトデキストロース寒天培地(PDA培地)1枚あたり, 10粒ずつ載せ, 25℃にて5



写真1 無処理区(発芽と同時にカビの発生が認められる)



写真2 熱水処理区(発芽するが,カビの発生は認められない)

「温故知新プロジェクト」は生活科学全般にかかわる総合研究プロジェクトですが、本誌では食のテーマについて取り上げています。

日間培養し、発芽およびカビの発生を観察した。対照は加熱処理をせずに試験区と同様に次亜塩素酸ナトリウム溶液で処理後、培養した。その結果は、表2および写真1, 2に示すように対照区の種子では、26%の種子からカビの発生がみられたが、65℃ 15分処理では8%、75℃ 5分処理では0%、85℃ 10秒処理では1%のカビ発生率であった。一方、加熱処理による発芽率の低下が懸念されるが、65℃ 15分処理では99%、75℃ 5分処理では95%、85℃ 10秒処理では99%の発芽率であったことから、今回の加熱処理条件ではそれほど発芽率には大きな影響を及ぼすことがないことを確認することができた。

5. マイクロ波加熱を利用した種子殺菌

マイクロ波は、電磁波のなかでも波長が1mから1cm、周波数では、300MHzから30GHzの範囲にある非常に波長の短いものの総称である。このマイクロ波を利用した加熱方法がマイクロ波加熱で、通常は2450MHzの周波数を使用している。短時間で中心部まで加熱することが可能なことから多くの食品に利用されている。殺菌への応用に関しては、和洋菓子のカビ防止、カップ商品、かまぼこ、キノコ培地などの殺菌に利用されている。

種皮と胚乳部の間隙に潜むもやし病原カビの殺菌方法として、短時間の熱水を利用した加熱処理と急冷を行うことで、高い殺菌効果と発芽率の低下を防ぐことが可能であることを確認することができた。しかし、もやし製造工場内における栽培の前処理として行う場合は有効な手段であるが、殺菌処理後のもやし種子を大量に保管する必要がある場合には困難である。しかし、加熱蒸気を併用したマイクロ波加熱殺菌を利用することによって

表3 マイクロ波加熱によるリョクトウ種子の殺菌

速度	蒸気温度 (°C)	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4 マイクロ波加熱による小粒ダイズの殺菌

速度	蒸気温度 (°C)	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

大量の種子の殺菌および保管が可能となる。殺菌は、蒸気温度・マイクロ波出力・種子の厚さを一定にし、加熱コンベア速度を変化させた場合の殺菌効果およびモヤシ種子に及ぼす影響を調べた。その結果は、リョクトウについては表3に、小粒大豆については表4に示した。リョクトウの加熱殺菌は加熱コンベア速度を0.6m/分で処理した場合、カビ発生率は1%と未処理のもの20分の1に減少する一方で、発芽率は99%、胚軸長は22.78cmで未処理のものと比較しても遜色は無く、むしろ胚軸長は良好な値を示した。また、小粒ダイズにおいては、加熱コンベア速度1.0m/分で処理した場合が、発芽率、胚軸長などの点から考慮すると良好な結果を示した。

もやし種子の殺菌処理に用いられるマイクロ波加熱殺菌は種子を加熱コンベアで搬送し、加熱炉内を通過させることによって加熱殺菌を行い、その後、冷却コンベアで冷却機内に搬送され、強制冷却・乾燥するものである。したがって、加熱処理された種子は、そのままもやし生産に使用するか、あるいは小袋詰めして長期に保管することも可能となる。長期保管の事例として、マイクロ波加

表5 マイクロ波加熱殺菌したリュクトウ種子の保存日数と生育状態

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

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・生育状況を表5で示した。発芽率，胚軸長，生育状態をみても未処理のものとほとんど遜色が無く，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最大の利点は殺菌後に種子を保管できることにある。本装置は，栽培時におけるもやしの腐敗を防止するとともに，殺菌処理した種子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と思われる。

引用文献

- 1) 上原さとみら：東京都健康安全研究センター研究年報，**62**，51-156 (2011)
- 2) Werner.S. *et al*:*Eurosurveillance*, **12** (42), weekly (2007)
<https://www.eurosurveillance.org/content/10.2807/esw.12.42.03291-en>
- 3) Safranek.T. *et al*:*Morbidity and Mortality Weekly Report*, **58** (18), 500-503 (2009)
- 4) 宮尾茂雄ら：東京都農業試験場研究報告，**19**，103-119 (1986)