

## 異なる2株の糸状菌で作成した毛豆腐のポリアミン組成とポリアミン濃度

西堀尚良<sup>\*1</sup>、岡崎貴世<sup>2</sup>、相良剛史<sup>3</sup>

(令和7年12月27日受理)

### Polyamine composition and concentration in Mao-tofu made by two different strains of filamentous fungi.

Naoyoshi Nishibori<sup>1</sup>, Kiyo Okazaki<sup>2</sup>, Takefumi Sagara<sup>3</sup>

#### **Summary**

Polyamine is the generic term for putrescine and spermidine, as well as their precursor diamine putrescine, and it is known to be distributed by almost all living cells. Although the specific functions of polyamines are now not yet fully understood, it is known that they are essential for cell growth and are important for longevity. The polyamine contents in fermented foods, soybeans and shiitake mushrooms are known to be high. In this experiment, fermented tofu, or mao-tofu, was made using two strains of filamentous fungi (K and M), one of which is *Mucor*, which is usually used in the fermentation of mao-tofu. The polyamine content and the composition of the two mao-tofu fermented with different fungi differed significantly. The concentration of polyamines in both mao-tofu increased with fermentation, and the concentration of putrescine and cadaverine were much higher when fast-growing strain (K) was used. Mao-tofu made using fast growing fungi seemed to contain a high concentration of polyamines and could be useful for increasing polyamine uptake.

**Key words:** Mao-tofu, polyamine

**要旨:** ポリアミンは、スペルミジン、スペルミン、およびこれらの前駆体であるプトレッシン (PUT) などの総称であり、ほとんどすべての細胞に分布する低分子アミンである。ポリアミンの詳細な機能は不明であるものの、細胞の増殖に必須であることに加え、健康寿命の延伸に関与することなどが報告されている。ポリアミンは豆類やキノコ類の他、発酵食品に多く含まれることが知られている。そこで本実験では2株 (M株, K株) の糸状菌を用いた毛豆腐を作成し、そのポリアミン組成およびポリアミン量の変化を測定し、ポリアミン高含有食品としての毛豆腐開発の可能性を検討した。

糸状菌2株を用いて作成した毛豆腐のポリアミン組成は互いに大きく異なった。また、ポリアミン濃度は共に発酵の進行とともに増大したが、特にK株を用いた場合にはPUTおよびカダベリンの濃度が極めて高くなった。活発に増殖する糸状菌で発酵した毛豆腐は、ポリアミン高含有食品として、ポリアミン摂取量増大に有効だと考えられた。

キーワード: 毛豆腐, ポリアミン

---

\*連絡責任者 (Corresponding author, E-mail :n-nishibori@shikoku-u.ac.jp)

四国大学短期大学部(771-1192 徳島市応神町古川 123-1)

Shikoku University, Junior College, Ojin Tokushima 862-8678, Japan

<sup>1</sup> 四国大学短期大学部人間健康科 <sup>2</sup> 四国大学生生活科学部健康栄養学科 <sup>3</sup> 尚絅大学短期大学部食物栄養学科

## 緒言

ポリアミンは微生物から動植物にいたるほとんどすべての細胞に含まれる低分子アミンで、細胞の増殖および分化などに重要な役割を果たしている。ポリアミンの発見は核酸より早く、顕微鏡を發明したリューベンフックにより 1678 年に報告された<sup>1)</sup>。その後ポリアミンに関する研究はガンとの関連で大きく進展し、ガン細胞ではポリアミン合成が盛んであり、尿中に排出されるポリアミンが増大することが知られ、代謝産物の一つであるジアセチルポリアミンはガンの早期マーカーとして用いられている<sup>2)</sup>。ポリアミンの詳細な細胞内機能は不明な点が多いものの、活発に増殖する細胞ではポリアミン合成が盛んで細胞内濃度も上昇すること、酵母や大腸菌をはじめとする多くの細胞でポリアミンは増殖に必須の成分であることが明らかになっている。動物細胞から検出されるポリアミンはスペルミジン (SPD) およびスペルミン (SPM)、およびこれらの前駆体であるプトレッシン (PUT) である。一方、微生物からはこれらのポリアミンに加えカダベリン (CAD)、アグマチン (AGM)、および長鎖ポリアミンなど、極めて多様なポリアミンが検出される<sup>3,4)</sup>。

ポリアミンのうち特に SPD および SPM による抗炎症効果の他、動脈硬化の予防作用を有することなど様々な健康効果が明らかになっている<sup>5)</sup>。ポリアミンの合成活性は加齢とともに低下するため、加齢により体内のポリアミン濃度が減少し、このことが老化の原因の一つであると考えられている<sup>6)</sup>。食事や腸内細菌によるポリアミン生産などで得られる外因性のポリアミンが体内に取り込まれることが知られており<sup>7)</sup>、加齢により減少する体内ポリアミン濃度を上昇させるには、外因性のポリアミンを摂取し、腸管内のポリアミン濃度を上昇させることが有効である。そこで、食品中のポリアミン濃度の定量が盛んにおこなわれ、豆類、キノコ類および発酵食品などにポリアミンが多く含まれることが明らかになった<sup>8,9)</sup>。早田ら<sup>10)</sup>は、高濃度にポリアミンを含む餌をマウスに与えた結果、マウスの寿命が延伸したことを報告している。さらに、松本ら<sup>11)</sup>はプロバイオティクスの摂取により、腸管内ポリアミン濃度が上昇し、マウスの寿命が伸長したことを報告している。このように、食事あるいは腸内細菌により腸管内ポリアミン濃度を上昇させ、腸管からのポリアミン摂取により、体内のポリアミン濃度を上昇させることは、健康の維持増進に役

立つと考えられる。

ポリアミンの腸管からの吸収率は SPD や SPM では高いものの、腸内細菌によって消費されやすいことから PUT の吸収率は低いことが報告されている<sup>7)</sup>。そこで、SPD および SPM を多く含む食品の摂取が体内ポリアミン濃度の上昇に有効であると考えられた。発酵食品のうち味噌や醤油に含まれるポリアミンはほとんど PUT である<sup>9)</sup>。これら PUT の濃度は極めて高いことから、PUT の体内への吸収率は低いものの体内に取り込まれ体内のポリアミン濃度上昇に役立つと考えられるが、特に納豆などのように微生物細胞を含む発酵食品ではポリアミン濃度、特に SPD 濃度が高いことから、微生物細胞を含む食品の開発はポリアミン摂取量増加、体内のポリアミン濃度の上昇に重要であると考えられる。大塚らは納豆製造過程のポリアミン変動を調べ特に SPD と AGM が発酵時間の経過に伴って増加することを報告しており、ポリアミン濃度増加における納豆菌すなわち発酵に関わる微生物の役割の重要性を指摘している<sup>12)</sup>。

毛豆腐は豆腐に糸状菌などを繁殖させ、豆腐のタンパク質を分解してアミノ酸を増加させ風味やうまみを増した発酵食品である。また、毛豆腐製造によって、豆腐に含まれるイソフラボンがアグリコン化し吸収されやすくなること、GABA が増加することから、発酵により健康効果が増強することが報告されている<sup>13)</sup>。多くの糸状菌は PUT に加え SPD を主要なポリアミンとして含むことから<sup>14)</sup>、毛豆腐は SPD 摂取量の増加につながる健康効果を有する食品であると考えられる。そこで、本実験では 2 種の糸状菌を用いて毛豆腐を作成し、ポリアミンの組成とポリアミン量の経時的変化を測定して、ポリアミン高含有食品としての毛豆腐の開発の可能性を検討した。

## 実験方法

### 1. 毛豆腐の製造

毛豆腐製造に用いた糸状菌は *Mucor plumbeus* (M 株)、および市販の毛豆腐用スターキットより純粋分離した未同定真菌株 (K 株) である。市販の豆腐 (硬めの美味しい豆腐 さとの雪食品) を無菌的に 2 cm の厚さにカットしたのち、M 株または K 株の孢子懸濁液 ( $1.0 \times 10^7$  spores/mL) 0.5 mL を接種して 2 日、16 日発酵後にポリアミン分析に供した。なお、2 株の真菌の増殖至適温度は何れ

も 25℃であったものの、M 株の増殖は K 株に比較してゆっくりであったことから(データ未発表)、M 株は増殖至適範囲である 15℃で、K 株は 25℃で発酵を行った。

## 2. ポリアミン分析

蒸留水 0.5 mL を加えた発酵前の豆腐および発酵後の豆腐(毛豆腐)をポリエチレン製密封保存袋に入れ、ハンドローラーを用いて均質化した。毛豆腐試料 1-2 g を秤量して、9 倍量の 5%過塩素酸を加えてホモジナイズし遊離ポリアミンを抽出した。抽出後試料は-20℃で冷凍して保存し、解凍後 0.45 μm のシリントップフィルターで濾過してポリアミン分析試料とした。ポリアミン分析は Nishibori<sup>15)</sup>の方法に従い、イオン交換カラム(日立 2619F 2.6x50 mm)を用いたポストカラム OPA 法により行った。溶離液には A 液(45 mM クエン酸三ナトリウム, 63.3 mM 塩化ナトリウム, 60.9 mM クエン酸)および B 液(200 mM クエン酸三ナトリウム, 2 M 塩化ナトリウム, 5%プロパノール, 5%エタノール)を用いグラジエント溶出を行った。

## 3. タンパク質定量

ポリアミン分析のため 5%トリクロロ酢酸を加えて除タンパクした。この沈殿に 0.1 M 水酸化ナトリウムを 0.5-1.0 mL 加えて溶解し、10-30 μL を用いて Coomassie Protein Assay Reagent (Bio-Rad)にてタンパク質定量を行った。

## 4. 統計解析

2 株の糸状菌を用いてそれぞれ 3 個の毛豆腐を作成した。得られた分析値から平均値および標準誤差(SEM)を算出しエラーバーとして示した。また、一元配置分散分析(ANOVA)により有意差の検定を行った。

## 実験結果

### 1. 毛豆腐における糸状菌の増殖

M 株, K 株ともに豆腐表面で良好に増殖し、特に K 株では菌糸の増殖が旺盛で、発酵開始 2 日後には豆腐表面全体を菌糸が覆う状態にまで増殖した。一方、M 株の菌糸の増殖は K 株より抑制的であり、16 日後でも豆腐表面に薄く増殖したのみだった。Table 1 に 2 日後および 16 日後の毛豆腐 1 g あたりのタンパク質量を示した。糸状菌増殖前の豆腐のタンパク質量は 26 mg/g であった。こ

の値は今回の測定方法とは測定方法が異なる食品成分表の値(5-7 g/100 g)<sup>16)</sup>に比較して若干小さい値となった。両株で作製した毛豆腐のタンパク質量は 2 日後に 30 mg/g 程度、その後 16 日の発酵で M 株では 230 mg/g, K 株では 610 mg/g 程度増加し、K 株のタンパク質増加量は M 株のタンパク質増加量のおよそ 2.5 倍に達した。このことは、M 株より K 株の増殖が優勢だったことと一致している(Table 1)。

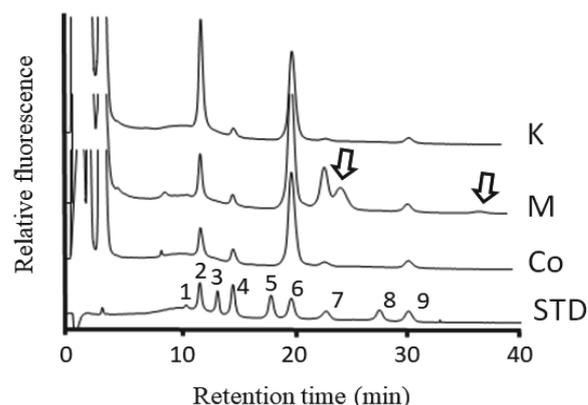


Fig. 1 HPLC profiles of polyamine analysis. STD (standard sample: 1.diaminopropane, 2.putrescine, 3.Histamine, 4.cadaverine, 5. norspermidine, 6. spermidine, 7. agmatine, 8. norspermine, 9. spermine), Co: control without fermentation. M: strain M, K: strain K. Arrows shows unknown peaks detected in strain M.

### 2. ポリアミン組成およびポリアミン量

発酵開始 2 日後の毛豆腐から抽出したポリアミンの分析結果を Fig. 1.に示した。2 株の糸状菌を用いて作成した毛豆腐のポリアミン組成は大きく異なり、M 株では豆腐で検出された PUT, SPD, SPM, カダベリン(CAD), アグマチン(AGM)に

Table 1. Protein contents in Mao-tofu

	Fermentation (days)	Protein (mg/g)
Co	0	26.1±2.0
Strain M	2	55.6±3.4
	16	257.9±11.2
Strain K	2	63.5±9.7
	16	634.7±25.2

加えて、AGM および SPM 溶出後にそれぞれ一つの未知ピークが検出された。また K 株では豆腐から検出されたポリアミン同様に PUT のほか CAD, SPD, AGM および SPM が検出された。微生物からしばしば検出されるジアミノプロパン(DAP), ノルスペルミジン(NSPD)およびノルス

ペルミン(NSPM)はどちらの菌株を用いた毛豆腐からも検出されなかった。

2日間の発酵で、M株を用いた場合には特にSPD, PUT および AGM のピーク面積が増大し、またK株を用いた場合には特にPUTのピーク面積が増大したことから、これらポリアミン濃度が発酵に伴って増加したことが示された。以上のように、用いる真菌の違いによって毛豆腐から検出されるポリアミン組成が異なること、また2日間の発酵でポリアミン濃度が上昇することが明らかになった。

そこで、16日間の発酵に伴うポリアミン濃度の変化を測定し Fig. 2 に示した。ポリアミンのうち、

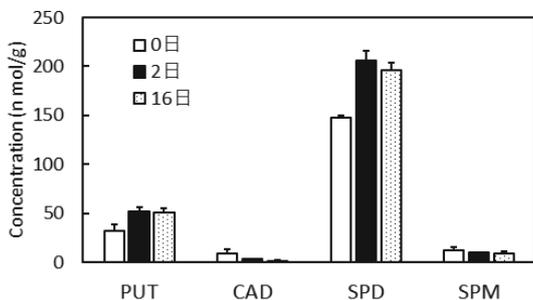


Fig. 2-1. Changes in polyamine concentrations during fermentation of mao-tofu made with filamentous fungi strain M. PUT:putrescine, CAD: cadaverine, SPD: spermidine, SPM: spermine. Values are shown as mean  $\pm$  S.E.

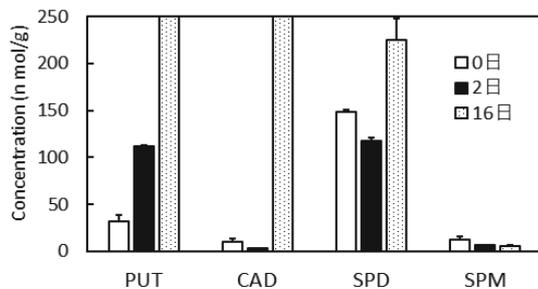


Fig. 2-2. Changes in polyamine concentrations during fermentation of mao-tofu made with filamentous fungi strain K. Values are shown as mean  $\pm$  S.E.

PUT, SPD, SPM は最も一般的に生物に分布するポリアミンである。また両株を用いた毛豆腐のポリアミンのうち Fig. 1 に示したようにPUTおよびSPD濃度は発酵の進行とともに増加すると予想された。そこで、PUT, SPD, に加えて、SPMおよびCADの濃度変化を、M株を用いた毛豆腐の場合を Fig. 2-1 に、K株を用いた毛豆腐の濃度変化を Fig. 2-2 および Fig. 2-3 に示した。M株では、未発酵豆腐である0日目のポリアミン濃度に比較してSPDおよびPUT濃度が発酵2日目以降に1.4倍

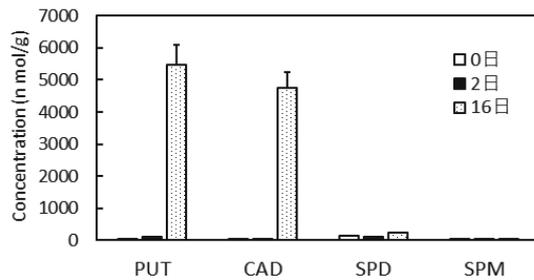


Fig. 2-3. Changes in polyamine concentrations during fermentation of mao-tofu made with filamentous fungi strain K. The vertical scale is different from Fig. 2-2. Values are shown as mean  $\pm$  S.E.

程度に有意に増加し、16日の発酵後にも同様のポリアミン濃度を示した。一方、CADおよびSPMの濃度は発酵期間中に大きく変化しなかった。なお、未知ポリアミンと思われるピークの面積は発酵の経過とともに増大せず、これらポリアミンと思われる物質の濃度は発酵期間を通じてほぼ一定であったと考えられた。一方、菌糸の増殖が盛んであったK株では発酵2日目には濃度増加がみられないポリアミンがあるものの、発酵16日目にはPUT, CAD, SPD濃度の極めて大きな増加が見られ、特にPUT, CADの量は5  $\mu$ mol/g程度にまで上昇した。

以上のように、毛豆腐のポリアミン組成は用いた真菌によって大きく異なること、また、これらポリアミンのうち発酵の進行に伴い顕著に濃度増加するポリアミンがあること、用いた糸状菌によって増加するポリアミン種が異なることが明らかになった。

## 考察

糸状菌2株(M株とK株)を用いて製造した毛豆腐のポリアミン組成は大きく異なった(Fig. 1)。糸状菌のみの場合のポリアミン組成を分析していないものの、2種毛豆腐のポリアミン組成の差異は、糸状菌に含まれるポリアミン組成の差を大きく反映していると考えられる。浜名は *M. musedo* および *Rizomucor pusillus*, *Rizopus azygosporus* など、毛かび綱糸状菌からPUT, SPD, SPMが検出されることを報告している<sup>14)</sup>。M株(*M. plumbeus*)を用いた毛豆腐からは、上記3種のポリアミンの他AGMが検出された。AGMは *Aspergillus oryzae* などの糸状菌からも検出されているアミンであり、M株からは検出されたものの、浜名ら<sup>14)</sup>が分析した毛かび綱糸状菌からは検出されていない。本実験で用いたM株からはこれらポリアミンに加え

て未知ポリアミンと思われるピークが検出された。標準物質として加えていないものの、保持時間とこれまでの分析から、これらポリアミンはホモスペルミジン (HSPD) およびカルドペンタミン (CPM) であると考えられた。浜名は多くの糸状菌から HSPD や CPM およびホモカルドペンタミンを検出している<sup>14)</sup>。先に述べたように、特に微生物に含まれるポリアミンは多様であり、ポリアミン組成は細菌や真菌の化学分類マーカーとして有用である<sup>3,17)</sup>。M株とK株のポリアミン組成は大きく異なっていたことから、それぞれ異なる分類群に属する糸状菌であると考えられるが、K株の同定に加え、実験に用いた2株の糸状菌のポリアミン組成についてさらに検討を行うことが必要である。

糸状菌2株(M株とK株)を用いて作成した毛豆腐のポリアミン濃度は、その濃度増加に必要な時間および増加の程度が異なったものの、何れの株を用いた場合でも発酵期間の経過によりポリアミン濃度が増加した(Fig. 2)。M株は15°Cで、K株は25°Cで発酵を行ったことから、作成した毛豆腐のポリアミン濃度の差は、発酵温度の違いにより生じている可能性がある。多くの細胞で増殖が盛んな場合にはポリアミンが盛んに合成され、ポリアミン濃度が高いことが報告されている。M株の増殖は増殖至適温度である25°CでもK株の増殖より遅かった(データ未発表)ことから、毛豆腐ポリアミン濃度の差異は各株のポリアミン量の差異を反映している可能性が考えられる。

M株ではPUTとSPD濃度が2日間の培養で培養開始時の1.4倍に増加し、その後16日目までほぼ一定の濃度を示した。この時のPUTおよびSPD濃度はそれぞれ50および200 nmol/g程度であり、この濃度はポリアミンを多く含むことで知られる納豆のPUTおよびSPD濃度、それぞれ170 nmol/g および230 nmol/g<sup>9)</sup>に匹敵する濃度であった。また、K株を用いた場合には16日目でSPD濃度が200 nmol/gに達し、さらにPUTおよびCADの濃度が5 μmol/gと極めて高くなることが明らかになった。K株を用いて製造した毛豆腐のPUT濃度は、PUTを多く含むことで知られる醤油のPUT濃度(700 nmol/mL)および味噌のPUT濃度(300 nmol/g)<sup>9)</sup>に比べ7~15倍高く、K株はPUTおよびCADを高濃度に生産すること考えられた。Bardocz<sup>7)</sup>によるとラットに経口投与したPUTの40%程度が、またSPDやSPMでは80%が体内に取り込まれる。したがって、K株を

用いて16日間発酵した毛豆腐10gを食べた場合、体内に取り込まれるPUT量は20 μmol、SPD量は1.6 μmolと算定でき、この濃度は日本人の1日あたりのポリアミン摂取量200 μmol<sup>9)</sup>の1/10を供給する極めて高い量である。

K株を用いて作製した毛豆腐から著量に検出されたPUTおよびCADは、腐敗により生じるアミンとしても知られ、特にPUTは肉類の初期腐敗指標としての有用性が示されている<sup>18)</sup>。したがって、毛豆腐から検出されたPUTおよびCADは毛豆腐の腐敗を示す可能性も考えられる。Li<sup>18)</sup>らは実験室で*Mucor*と*Lactobacillus*を用いて製造した毛豆腐から発酵過程で検出されるバイオジェニックアミンのうち、ヒスタミンが最も多く検出されるが、その濃度は腐敗基準である100 mg/kgを大きく下回ることを報告している。また、チラミンも検出され、PUT濃度は最大30 mg/kgに達している。本実験で製造した毛豆腐からヒスタミンやチラミンなど、PUT、CAD以外の腐敗に関連するアミンは全く検出されていない。さらに検出されたPUT濃度もLi<sup>19)</sup>の実験に比較して大幅に低いことから、本実験で生じたPUTおよびCADの増加は腐敗ではなく発酵の効果であると考えられた。本実験では糸状菌のみを用いて毛豆腐を製造したが、毛豆腐の発酵には糸状菌の他に酵母や*Lactobacillus*などの細菌が重要な役割を果たすことが報告されている<sup>19,20)</sup>。毛豆腐はこのように作られる発酵食品であり、複雑な発酵過程を経て極めて高濃度のポリアミンが生産されると考えられる。

微生物を用いた発酵食品はポリアミンを豊富に含むことが知られている。本実験では2株の糸状菌を用いて毛豆腐の製造を行った結果、用いる糸状菌によりポリアミン組成と濃度が大きく異なることが明らかになった。また、培養期間の経過により菌糸が増加し、ポリアミン量も増加することが示された。今後、SPDを含み、豆腐上で盛んに増殖する糸状菌を用いた毛豆腐の製造を行うことで、特にSPD量を増加させた毛豆腐の作成が可能であると考えられた。また、このような毛豆腐の摂取はポリアミン摂取量を増大させ、健康寿命の延伸に有効であると期待できる。

文献

- 1) 五十嵐一衛, 神秘の生命物質-ポリアミン. 東京: 共立出版.(1999)
- 2) Kawakita, M. and Hiramatsu K. Diacetylated derivatives of spermine and spermidine as novel promising tumor markers. *J Biochem.*, **139** (3), 315-22 (2006)
- 3) Hamana, K. and Matsuzaki S. Polyamines as a chemotaxonomic marker in bacterial systematics. *Crit. Rev. Microbiol.*, **18**, 261-283 (1992)
- 4) Nishibori, N., Niitsu, M., Fujihara, S., Sagara, T., Nishio, S. and Imai, I., Occurrence of the polyamines caldopentamine and homocaldopentamine in axenic cultures of the red tide flagellates *Chattonella antiqua* and *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae). *FEMS Microbiol. Lett.*, **298**, 74-78 (2009)
- 5) Soda, K., Kano, Y., Nakamura, T., Kasono, K., Kawakami, M. and Konishi, F., Spermine, a natural polyamine, suppresses LFA-1 expression on human lymphocyte. *J. Immunol.*, **175**, 237-45 (2005)
- 6) 早田邦康, 高ポリアミンによる哺乳類のアンチエイジング. 日食加工会誌, **61**, 607-624 (2014)
- 7) Bardocz, S., Duguid, T.J., Brown, D.S., Grant, G., Pusztai, G., White, A. and Ralph, A., The importance of dietary polyamines in cell regeneration and growth. *Br. J. Nutr.*, **73**, 819-28 (1995)
- 8) Nishimura, K., Shiina, R., Kashiwagi, K. and Igarashi, K., Decrease in polyamine with aging and their ingestion from food and drink. *J. Biochem.*, **139**, 81-90 (2006)
- 9) Nishibori, N., Fujihara, S. and Akatuki, T., Amounts of polyamines in food in Japan and intake by Japanese. *Food Chem.*, **100**, 491-497 (2007)
- 10) Soda, K., Dobashi, Y., Kano, Y., Tsujitaka, S. and Konishi, F., Polyamine-rich food decreases age-associated pathology and mortality in aged mice. *Exp. Gerontol.*, **44**, 727-732 (2009)
- 11) Matsumoto, M., Kurihara, S., Kibe, R., Ashida, H. and Benno, Y. Longevity in mice is promoted by probiotic-induced suppression of colonic senescence dependent on upregulation of bacterial polyamine production. *Plos One*, **6**, e23652 (2011)
- 12) 大塚恵美子, 浜名康栄. 納豆成熟過程でのポリアミンの変動. 栄養学雑誌. **64**, 185-188 (2006)
- 13) Zhao, X.H., Zhao, Y. and Liu, H.F., Enzyme production, phytochemical conversion, and formation in the *Mucor*-mediated fermentation of Mao-tofu. *ACS Food Sci. Technol.*, **5**, 2581-2585 (2025)
- 14) 浜名康栄, 真菌(きのこ, カビ, 糸状菌, 酵母, 微孢子虫)の網羅的ポリアミン分析-その 2-. 日本きのこ学会誌, **38**, 7-16 (2024)
- 15) Nishibori, N., Matsuyama Y., Uchida, T., Moriyama, T., Ogita, Y., Oda, M. and Hirota, H., Spatial and temporal variations in free polyamine distributions in Uranouchi Inlet, Japan. *Mar. Chem.*, **82**, 307-314 (2003)
- 16) 文部科学省, 日本食品標準成分表 2020 年版 (八訂). 東京: 文部科学省, (2020)
- 17) 大塚恵美子, 内田薫, 大西肇, 浜名康栄. カビ(黴)とコウボ(酵母)の化学分類マーカー. 群馬保健学紀要, **25**, 117-123 (2004)
- 18) 山中英明, 松本美鈴, 矢野幸男. 食肉の鮮度指標としてのポリアミンに関する研究. 食品衛生学雑誌. **30**, 401-405 (1989)
- 19) Li, D., Wan Y., Zhou, X., Cheng, J., Zhang, J., Cheng, J. and Xu Y., Dynamic Changes in Physicochemical Properties and Microbial Diversity During the Fermentation of Mao-Tofu. *Foods*, **14**. (2025). <https://doi.org/10.3390/foods14050775>
- 20) Benucci, G.M.N., Wang X., Zhang L., Bonito G., Fuqiang Y., Yeast and Lactic Acid Bacteria Dominate the Core Microbiome of Fermented 'Hairy' Tofu (Mao Tofu). *Diversity*, **14**, (2022) <https://doi.org/10.3390/d14030207>