

# 醸造酢におけるショウジョウバエ誘引物質

誌名	日本醸造協会誌 = Journal of the Brewing Society of Japan
ISSN	09147314
著者名	藤原, 伸介 石井, 友理 佐古田, 久雄 赤坂, 直紀
発行元	日本醸造協会
巻/号	114巻1号
掲載ページ	p. 18-26
発行年月	2019年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 醸造酢におけるショウジョウバエ誘引物質

食酢にはコバエなど飛翔昆虫を誘引する性質があり、様々なコバエ捕虫器には食酢が使われている。欧米では有害昆虫であるオウトウショウジョウバエの発生をモニターするために、リンゴ酢を誘引剤として用いている。コバエの誘引性で評価するならば、玄米酢の方が高い。誘引性を高めるには既知の成分に加え、ポリアミン含量の最適化が重要であり、これによりリンゴ酢の誘引性も高めることができる。ポリアミンは全ての生物が持つ塩基性物質であり、最近の研究から、細胞活性や生物個体の活動に関係することが明らかになった。本稿では、食べ物としての食酢ではなく、虫をおびき寄せる誘引剤としての食酢の性質とポリアミンの関与について紹介いただいた。

藤原伸介<sup>1\*</sup>・石井友理<sup>1</sup>・佐古田久雄<sup>2</sup>・赤坂直紀<sup>2</sup>

## 1. 危険なショウジョウバエ

夏場になるとゴミ集積場の生ゴミに、ハエが集まっているのを目にする。コバエの多くはショウジョウバエであり、不衛生環境の指標になっているが、ショウジョウバエ自体が毒性物質を作るわけではない。ただし家屋内に紛れ込んだショウジョウバエは非常に目障りである。家庭用品店やドラッグストアでは、たくさんの種類のコバエ捕虫器具が販売されている。米国でもドラッグストアに捕虫器具が並べられている。最近では我が国のコンビニでも捕虫器を見かけるようになったのも、コバエを不快に感じる方が増えたためであろう。ただ、ショウジョウバエを不快に感じるのは、寒冷地に住む人々の傾向だと思える。熱帯気候に暮らす人々はあまり気に留めないように感じる。タイやインドネシアの学会でショウジョウバエの誘引性を高める研究を紹介する機会があったが、「日本人は神経質すぎる」と揶揄されたこともある。実際に現地のドラッグストアや日用品雑貨店では、粘着シートの上に餌を置く簡易的な捕虫器は販売されているが、バリエーションは多くない。

ところがショウジョウバエの中には、甚大な農業被

害をもたらすものがある。Spotted-Wing Drosophila (SWD) とよばれる飛翔昆虫であり、オスの羽には特徴的な黒い模様がある(第1図)。このショウジョウバエは東アジア地域が原産とされ、和名をオウトウ(黄桃)ショウジョウバエ(学名では *Drosophila suzukii*) という。日本でも各地で生息し、山形県のさくらんぼ、福島県の黄桃、ブルーベリー、千葉県のブルーベリー等に被害が出ている<sup>1)</sup>。ショウジョウバエはもともと安全なモデル生物として認知され、繁殖も容易なことから遺伝学実験に使われてきた。その多くは、古くなって痛んだり腐ったりした果実に産卵するのに対し、オウトウショウジョウバエは新鮮な果実(健全果)に産卵する<sup>2-4)</sup>。これは、メスの産卵管(導入突起)がノコギリのような形状をしているため、この鋸歯状産卵管により表面が硬い果実を傷つけ、卵を産むことができる。幼虫は果実の中を這い回って成長するため、健全果は数日で破壊されてしまう。このユニークな生物学的特徴は1939年に、当時山形県の職員であった神沢恒夫氏により明らかにされた。欧米ではその被害は大きく、2008年に米国カルフォルニア州、欧州ではイタリア、スペインで最初の被害報告があった。それ以降、被害は北米、欧州で急速に広が

\*責任著者

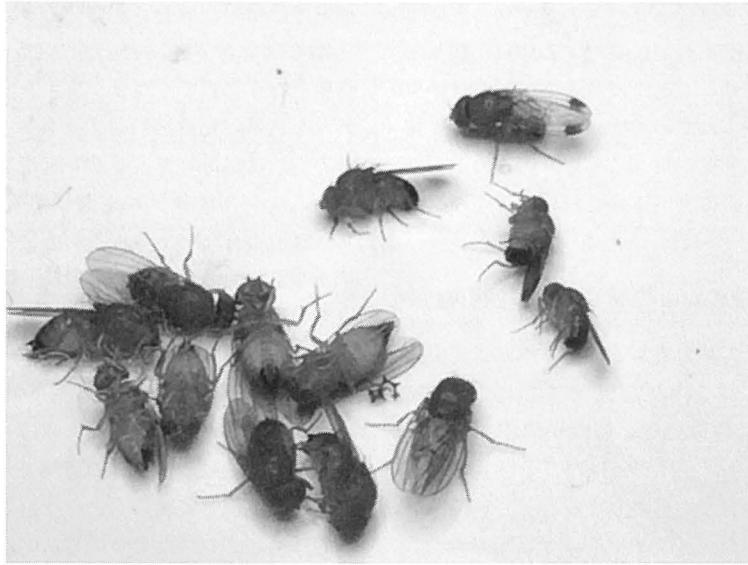
Attractants for Fruit Flies contained in Rice Vinegar

Shinsuke FUJIWARA (Department of Bioscience, School of Science and Technology, Kwansei-Gakuin University)

Yuri ISHII (Department of Bioscience, Graduate School of Science and Technology, Kwansei-Gakuin University)

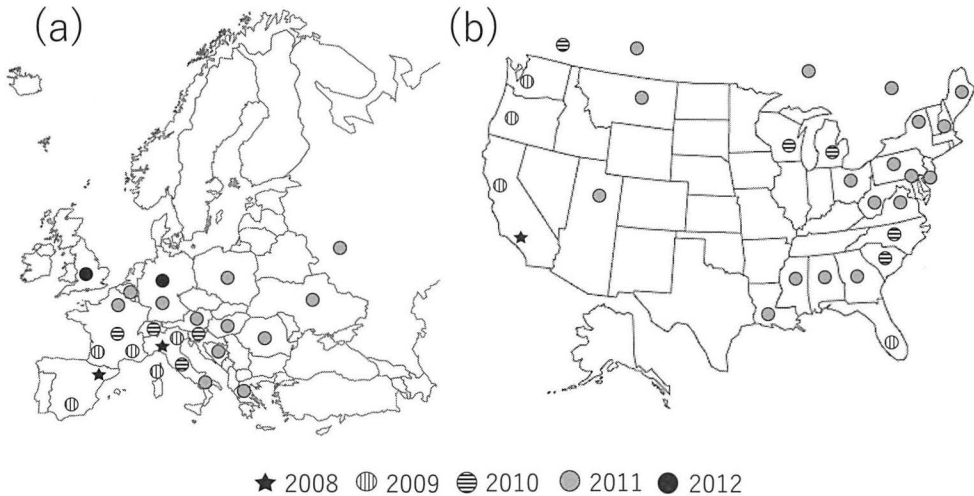
Hisao SAKODA (Marukan Vinegar Co. Ltd.)

Naoki AKASAKA (Marukan Vinegar Co. Ltd.)



第1図 オウトウショウジョウバエの特徴

オウトウショウジョウバエ (*Drosophila suzukii*) は暗黄褐色で、オスは翅端付近の黒斑を持つ。メスは黒斑を持たないが、産卵管の下縁に鋸歯状の突起を有する。



第2図 オウトウショウジョウバエの欧米における拡散状況

(a) 欧州。(b) 北米。2008年から2012年にかけての拡がりを記号で示す。文献<sup>7)</sup>を一部改変。

った。特に米国における農業被害は深刻で、2013年の統計で5億ドル(約600億円)にもものぼる<sup>5,6)</sup>。第2図には2008年から2012年度にかけての拡散速度を示した<sup>7)</sup>。オウトウショウジョウバエの活動性は、もともと暑い地域では低く、30℃を超えるような高温下

ではあまり動かない。北米や欧米の比較的涼しい地域は、オウトウショウジョウバエの繁殖に適していたのかもしれない。米国では7月以降にWEB上でオウトウショウジョウバエの拡散情報を提供しており、その年の発生が確認されるやいなや、ただちに大量発生に

備える。アウトウシヨウジョウバエの対策サイトは、各州にあり、発生状況を互いに共有する体制が整っている。ベストモニタリングとよばれるこの対応はアウトウシヨウジョウバエにおいて極めて重要である。初期モニタリングを高感度に行うことは、農薬の散布量を抑え、被害を最小限に食い止めるための重要なステップになっている<sup>4,5)</sup>。

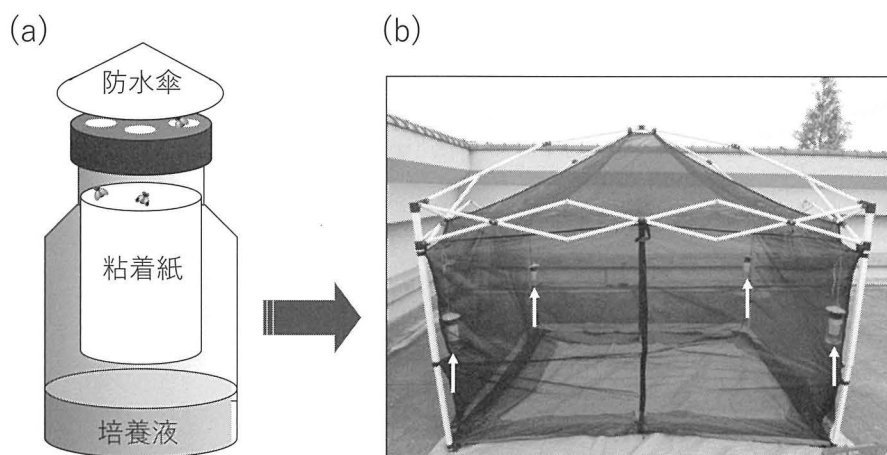
## 2. 酢酸菌発酵液のシヨウジョウバエ誘引性

食酢及びワインは、強力なシヨウジョウバエ誘引作用を有する事が知られている<sup>8)</sup>。これらに含まれる誘引作用を有する揮発性成分もいくつか同定されている<sup>9,10)</sup>。特にアウトウシヨウジョウバエの触覚が反応する物質のうち、誘引に不可欠な物質として酢酸、アセトイン、エタノール、メチオノールが特定された<sup>6)</sup>。非常に強い誘引作用を示すのが、酢酸<sup>6,8,11)</sup>とアセトイン<sup>6,10)</sup>である。アセトインは多くの発酵食品に含まれ、チーズ或いはバター様の重い臭気を放つ<sup>13)</sup>。特にシヨウジョウバエにとっては、餌及び産卵場所を伝達するシグナル分子であると考えられている<sup>12)</sup>。食酢にはこれらの成分が含まれているため、安価な誘引剤として使われている。米国ではアウトウシヨウジョウバエのモニタリングに、リンゴ酢とワインを使った

捕虫器の使用が推奨されている<sup>11)</sup>。

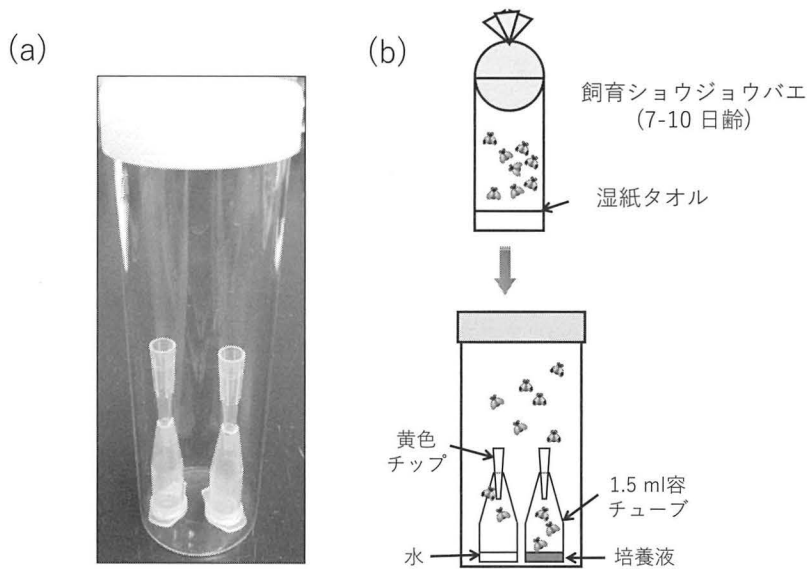
我々は酢酸菌 *Komagataeibacter europaeus* の分子育種を行う過程で、ウラシル生合成系の機能相補システムを利用した遺伝子のノックアウト技術を確立した。この方法は酵母等で古くから利用されてきた技術であり<sup>14)</sup>、5-フルオロオロト酸に感受性を示す微生物であれば適用可能である。この方法により、まずアセトイン生合成能を高めた変異株を構築した<sup>15)</sup>。この変異株を用いて培養液（酢酸発酵液）を調製し、野生株の培養液を対照にシヨウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) に対する誘引性を比較した。

シヨウジョウバエの捕虫実験は、試行錯誤の連続であった。小学生の夏休みの宿題をやっている気分になったが、生物学実験の面白さを再認識させられた。最終的にたどりついた2つの方法を紹介したい。シヨウジョウバエは化学的な誘引物質の他に、温度、湿度、光の照射強度に活動が支配される。個体の日齢 (age)、性差によっても影響を受ける。客観的な評価データは重要だが、発酵液を実際に利用することを考えると、自然環境に近い状態で捕虫効果の評価データを取ることが重要だと判断した。第3図に、今回行った捕虫実験の概要を示す。発酵液をプラスチックボトルに入れ、上部の穴から入ってきたシヨウジョウバエを粘着シ-



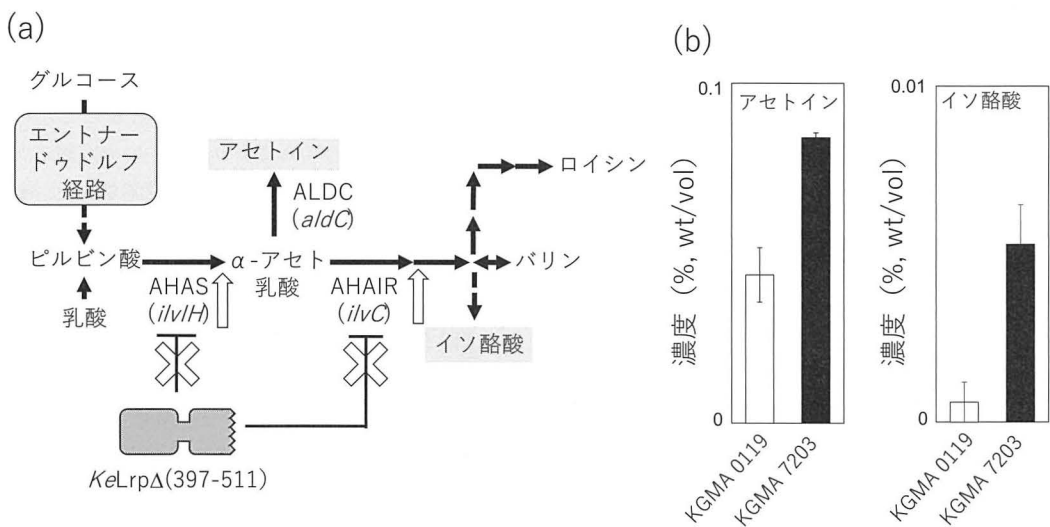
第3図 誘引性試験に使用した捕虫器

(a) 本研究で使用した捕虫器。WOODSTREAM社のVICTOR FLY MAGNETを改造して使用した。容器内側に粘着紙を装着し、入り込んだ飛翔昆虫を粘着紙上に固定し、個体数を数える。(b) 捕虫実験。捕虫器は防虫ネットの張られたテントの角に1mの高さで設置し、テントの中心で飼育したシヨウジョウバエを放つ。捕虫器に捕えられた個体数を経時的に測る。



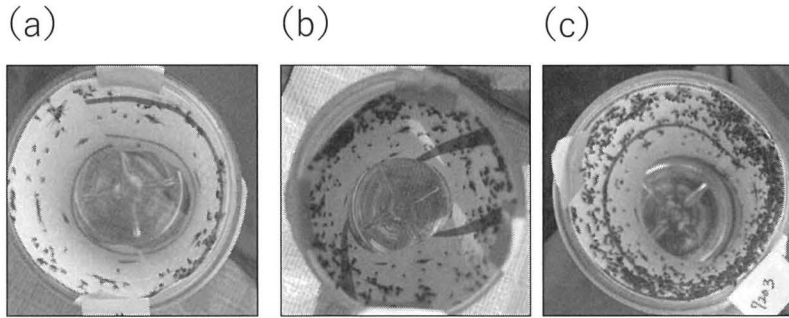
第4図 捕虫速度の評価

(a) 実験用ガラス筒。エッペンドルフチューブを逆さにし、フタ部分に培養液試料を入れ、底部分に黄色チップを差し込む。誘引されたショウジョウバエは黄色チップから入り、エッペンドルフチューブ内に捕らえられる。培養液試料の対照として水を加えたものを用意し、比較する。(b) 評価実験の概要。ショウジョウバエ成体を7日齢まで飼育し、20時間暗所(20℃)で飢餓状態とする。20匹を実験用ガラス筒の中で放ち、20℃暗所の環境で、経時的に捕らえられた個体数を計測する。



第5図 転写因子 Lrp の変異による誘引性物質生産性の変化

(a) 転写因子 *KeLrp* による転写調節。 *KeLrp* Δ (397-511) はリガンド感受性を失い、 *ilvIH*, *ilvC* 遺伝子の転写を完全に抑制しない。その結果、AHAS, AHAIR が高発現し、アセトイン、イソ酪酸の生合成量が増えると考えられる。(b) 野生株 KGMA0119 および変異株 KGMA7203 (Δ*pyrE KeLrp* Δ (397-511)::*pyrE*) のアセトイン、イソ酪酸の蓄積量。 Lrp, Leucine responsive regulatory protein; ABA, α-aminobutyric acid; AHAS, Acetohydroxyacid synthase; AHAIR, Acetohydroxyacid isomeroreductase. 文献(15)を一部改変



第6図 代謝改変酢酸菌培養液のショウジョウバエ誘引性

(a)野生株 KGMA0119 の培養液。(b)変異株 KGMA7203 の生産するアセトイン量(0.13%)とイソ酪酸量(0.007%)と等しくなるように、野生株 KGMA0119 の培養液に両者を添加したもの。(c)変異株 KGMA7203( $\Delta pyrE$ , *Kelrp* $\Delta$  (397-511)::*pyrE*)の培養液。プラスチックボトルに培養液を入れ、第3図に示す方法で誘引性を評価した。30分間に粘着シートに捕らえられたショウジョウバエを示す。正確な経時変化は文献<sup>15)</sup>に示す。

トで捕らえ、計数する。防虫ネットの張られたテントの角に捕虫器を同じ高さで配置する。ショウジョウバエは別途飼育し、テントの中心部で放つ。配置場所を変えつつ、複数回評価することで、客観的な傾向をみることができた。この方法で極めて実際的な評価データが得られたが、実験にショウジョウバエの個体を多く必要とする欠点があった。そこで第4図に示す捕虫速度で評価する実験も併用した。エッペンドルフチューブを逆さまにし、蓋のところに培養液を入れる。エッペンドルフチューブの底に穴を空け、黄色チップの先端を切って差し込む。対照として発酵液ではなく水を入れる。これらをガラス製の筒の底に入れ、上部から別途飼育したショウジョウバエを放つ。黄色チップから中に入ったショウジョウバエは出られない。経時的に捕らえられた個体数を計測し、放った個体数に対する割合で評価する。この方法は閉鎖系で自然環境を模したものではないが、先の方法と同じ捕虫傾向を示すデータが得られた。本研究では主にこの2つの方法で捕虫活性を評価した。本解説では、前者の方法を開放系評価法、後者を閉鎖系評価法として記す。

開放系評価法を用いて、アセトイン含有量の高い酢酸菌変異株の発酵液を調べたところ、野生株の発酵液に比べて多くのショウジョウバエが集まった<sup>15)</sup>。我々は過去に、分岐鎖アミノ酸の生合成経路を強化した変異株を、ランダム変異導入及びアミノ酸アナログに対する耐性を指標として取得していた<sup>16)</sup>。分岐鎖アミ

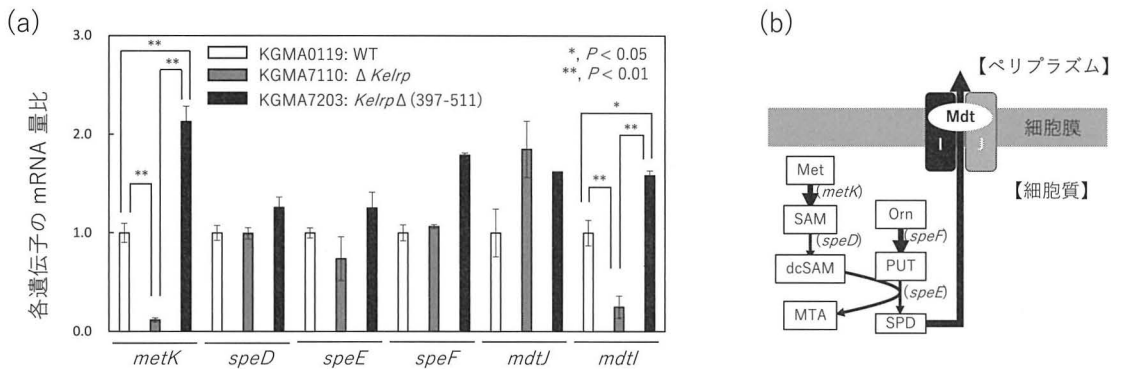
ノ酸およびイソ酪酸の生合成系は一部代謝経路を共有しており、この変異株ではイソ酪酸の合成能が高まっていることが予想された。吉草酸等の短鎖脂肪酸はショウジョウバエ誘引能を有する事が知られている<sup>17)</sup>。そのためイソ酪酸も誘引性に相乗効果をもたらすと期待した。同変異株培養液の成分分析を行うと、著量のイソ酪酸の蓄積がみられた。変異株の遺伝子解析を行ったところ、分岐鎖アミノ酸およびイソ酪酸産生能を付与する変異は転写因子 Lrp (Leucine responsive regulatory protein) 内の点変異であることが明らかになった<sup>15)</sup>。この変異により、Lrpは分岐鎖アミノ酸リガンドに対する感受性を失うと推測された(第5図)。実際にその支配下にあるいくつかの遺伝子の発現が変動し、結果として、アセトインとイソ酪酸両方の合成量が向上していた。第6図に開放系評価法での粘着紙の状況を示すが、変異株(KGMA7203)の培養液のショウジョウバエ誘引性は、驚異的に向上した(第6図c)。設置場所を変え、異なる場所、異なる温度で、評価を行ったところ、変異株の発酵液は常に高い誘引性を示した。そこで野生株酢酸菌の培養液に、アセトイン、イソ酪酸を変異株培養液と同じ濃度になるように添加したところ、予想通り誘引性は向上した。しかしながら、変異株培養液の誘引性には及ばなかった(第6図b)。この結果は、変異株の培養液には、まだ明らかにされていない誘引成分があることを示唆する。質量分析法を利用し、比較成分分析を試みたが、候補

成分は多く、同定は困難であろうと思われた。過去の研究論文を調べるうちに、未知の誘引性物質は、ポリアミンではないかという推察に至った。ポリアミンは発酵食品に多量に含まれる塩基性低分子物質であり、その機能は謎が多い。ポリアミンのひとつ、プトレッシンは腐敗臭を放ち、南米で果樹に食害を引き起こす害虫コバエを誘引すると報告されている<sup>19,20)</sup>。そこで今回、ショウジョウバエ誘引性の高まった変異株培養液のポリアミンを分析したところ、スベルミジンが増加していた<sup>18)</sup>。前述した通り、この変異株(KGMA7203)の転写因子 Lrp はリガンドに対して非感受性(*KeLrpΔ* (397-511))である。そこで新たに *Kelrp* 遺伝子の完全欠損変異株(KGMA7110)を構築した。KGMA7110 株の培養液では、スベルミジンの著量蓄積はなく、開放系評価法を用いても誘引性の向上はみられなかった。野生株、2つの変異株でポリアミンの生合成経路と分泌経路の遺伝子の転写量を調べた(第7図)。KGMA7203 株ではオルニチンからのポリアミンの生合成経路にある *speF* 遺伝子、*metK* 遺伝子及び分泌タンパク質 MdtI の遺伝子発現が上昇していた。特に、KGMA7203 株培養液におけるスベルミジン量の増加は、MdtI の高発現に起因すると考えられる。過剰合成されたスベルミジンは他の誘引成分

(酢酸, エタノール, アセトイン, イソ酪酸)とともに相乗効果を発揮したと思われた。

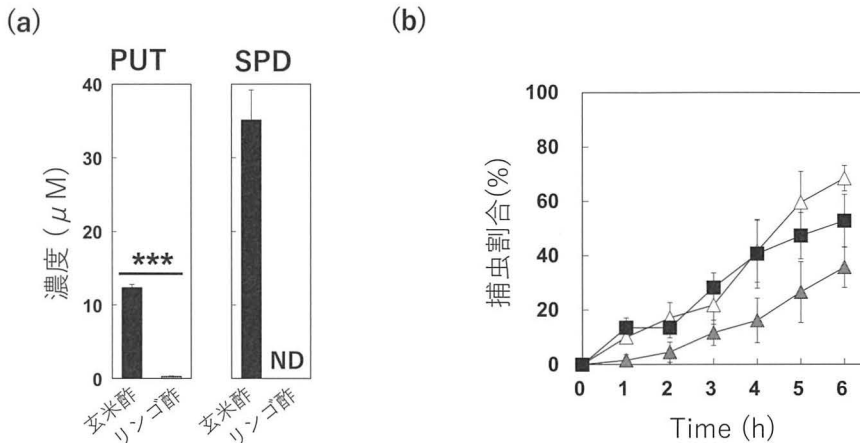
### 3. 玄米酢かリンゴ酢か

前述したようにリンゴ酢は、オウトウショウジョウバエのモニタリングで推奨される誘引剤である。しかし我々の分析結果を見る限り、他の醸造酢の方が、誘引効果は高いように思えた。一般的に発酵食品はポリアミン含量が高い<sup>21,22)</sup>。そこで、国内外で購入可能な食酢を用いて、ショウジョウバエの誘引性を評価してみた。もっとも誘引性が高かったのは、玄米酢である。玄米酢は黒酢を中心に様々な名前のブランド商品が販売されている。玄米を原料として製造された酒を酢酸発酵させた発酵液には、確実にアセトイン, イソ酪酸, プトレッシン, スベルミジンが含まれていた。興味深いことにリンゴ酢にはプトレッシンやスベルミジンなどのポリアミンがほとんど含まれていなかった(第7図a)。そこで閉鎖系評価法により、リンゴ酢と玄米酢の、飼育したオウトウショウジョウバエに対する誘引性を解析した。誘引速度で比較すると玄米酢の方がリンゴ酢よりも明らかに高かった。特に単位時間あたりの捕虫数で比較すると、その差は顕著だった。リンゴ酢にプトレッシンとスベルミジンを添加し、それら



第7図 転写因子 Lrp の変異がポリアミン合成分泌系遺伝子発現に与える影響

(a) *Kelrp* 遺伝子の変異によるポリアミン生合成系、分泌系遺伝子の転写量変動。野生株 KGMA0119, 変異株 KGMA7110( $\Delta$ *Kelrp*), 変異株 KGMA7203( $\Delta$ *pyrE KelrpΔ* (397-511)::*pyrE*)での各遺伝子の mRNA 量を、KGMA0119 を基準として示した。*speD*, S-adenosylmethionine(SAM) decarboxylase; *speE*, SPD synthase; *speF*, Orn decarboxylase; *mdtI*, multi-drug resistance family of transporters. (b) 酢酸菌 *K. europaeus* のポリアミン合成経路。 *KelrpΔ* (397-511) 変異により、強化されると考えられる経路を太い矢印で表示した。Met, methionine; MTA, 5-methylthioadenosine; Orn, Ornithine; PUT, Putrescine; SPD, Spermidine, dcSAM, decarboxylated SAM; *metK*, SAM synthetase.



\*\*\*,  $P < 0.001$ ; ND, not detected.

第8図 リンゴ酢および玄米酢中のポリアミンが捕虫効果に及ぼす影響

(a)リンゴ酢および玄米酢中のポリアミン濃度。PUT, Putrescine; SPD, Spermidine.(b)リンゴ酢および玄米酢の捕虫効果。▲, リンゴ酢; ■, 玄米酢; △, リンゴ酢にプトレッシン(12 μM)とスペルミジン(35 μM)を玄米酢と同濃度になるよう添加したもの。

濃度を玄米酢と同じにしたところ、この外部添加ポリアミンを含むリンゴ酢は玄米酢と同程度の誘引性を示した<sup>23)</sup>。玄米酢の誘引性は明らかにポリアミン(プトレッシンとスペルミジン)の有無に起因していると考えられた(第7図b)。

#### 4. ポリアミンがもつ機能

ポリアミンは古くから活発に増殖する細胞に多いことが知られており、特にガン細胞ではポリアミン生成が亢進していることから、腫瘍マーカーのひとつとして利用されている。ところが最近の研究で、ポリアミンが健康長寿に関係する機能性分子としても認識されるようになった。ポリアミンには、抗炎症作用、核酸安定化効果、腸管バリア機能の充実化、オートファジー促進作用が認められている<sup>24-27)</sup>。ポリアミンの前駆体でもあるアグマチンにも、抗酸化活性や脂肪酸代謝(β酸化)促進効果があることが報告されている<sup>27,28)</sup>。発酵食品に着目すると、並行複発酵によって製造された日本酒や、その日本酒を原料にした米酢のアグマチン含量は高いことが知られている。最近の我々の研究で、麹菌を酸性条件下で固相培養すると、アグマチン量が増えることが明らかにされている<sup>29)</sup>。日本酒造りの酒母製造工程では、乳酸菌の増殖を巧み

に誘導したり、乳酸を添加したりすることで、雑菌の繁殖を防止しながら酵母を優先的に生育させるが、この操作でアグマチンが多く作られていたのであろう。健康長寿の代表食である地中海食と日本食は、ポリアミンの含量が高い。両者の共通点は原料に豆、魚が多く、そして発酵食品を多く含むことである。動物実験では、ポリアミン高含有食餌を与えたマウスは毛並みがよく<sup>30)</sup>、歳を取っても高い運動能力を維持することが示されている<sup>24,26)</sup>。日本の発酵食品では、納豆が高ポリアミンの代表である。これは原料大豆のポリアミン含量が高いことに加え、納豆菌がポリアミンを生産するためである。ヒトの場合、経口摂取の他に腸内細菌にポリアミンを生産させても、その健康増進効果が発揮される。実はポリアミンの運動性維持や寿命延長効果は、ショウジョウバエでも認められている<sup>24)</sup>。ショウジョウバエは、ポリアミンを摂取するために発酵液を目指していたのかもしれない。食酢以外にも、ヨーグルトや納豆の空容器にもコバエはよく集まる。これらの酢酸含有量は少ないが、著量のポリアミンやアセトインが含まれる。最近、ショウジョウバエで遂にポリアミンの受容体が、複数特定された<sup>31)</sup>。今後の研究が楽しみである。



## 5. おわりに

アセトインやポリアミンの濃度が高い酢酸菌発酵液は、野生株の発酵液に比べてコバエに対する誘引性が高まることを述べた。この発酵液をサラダ（トマト、きゅうり、玉ねぎ）の近くに置いておくと、多くのコバエはサラダよりも発酵液に群がってくる。ただ、腐ったトマトをまるごと誘引物質として置くと、コバエは腐ったサラダや発酵液よりも腐ったトマトにまっしぐらに飛んで行く。誘引は複数の因子の相互作用であり、まだ明らかにされていない成分や条件があるように思える。pH、蒸気圧、気温による成分自体の揮発性の違いも変動要因である。実際に、玄米酢のpHを上げていくと、昆虫の誘引性に違いがみられるようになり、コバエ以外の飛翔昆虫（カゲロウなど）が捕獲される割合が高まってくる。我々はタイ・カセサート大学と共同で捕虫効果の評価を行った。タイにおいても玄米酢は高いコバエ誘引性を示した。興味深いことはpHを上げた玄米酢で、蚊が多く捕獲されたことである。発酵液に含まれる成分のうち高pHで揮発しやすい成分が効果を示していると推察される。

今回、ショウジョウバエが酢酸発酵液に誘引される際の特徴を紹介させていただいたが、微生物の発酵液には昆虫に限らず、生物の活動に影響を与える成分が多く含まれる。最近の研究から、腸内細菌が我々の人間の健康状態や思考まで支配していることが明らかになっている<sup>32)</sup>。ポリアミンはその機能を司る重要な分子のひとつである。興味深いことに、ショウジョウバエの腸管には酢酸菌が生息している。酢酸菌の発酵液はショウジョウバエを誘引し、酢酸菌は彼らの体内に入ることによって腸内に常在し、酢酸に加えポリアミンを生産することでショウジョウバエの運動性や寿命に影響を与えているではなからうか。これは我々が乳酸菌を摂るのに似て興味深い。

## 謝 辞

本研究は、関西学院大学理工学部生命科学科の微生物生化学研究室とマルカン酢株式会社の共同研究として行われたものです。関西学院大学で共同研究いただいた皆さん（東久保遥さん、合田慈子さん、Wiwik Astutiさん、繁宥樹さん、加藤彩織さん、加藤紗也さん）に深く感謝申し上げます。研究の遂行に際し、

多大なご支援をいただきましたマルカン酢株式会社取締役社長笹田傳左衛門氏に厚く御礼申し上げます。ショウジョウバエの飼育に際しては、首都大学東京の井出俊和先生にご教授をいただきました。餌作りから管理方法までご指導いただき、誠にありがとうございました。

本研究の一部は、兵庫県COEプログラム推進事業、兵庫県科学技術振興助成金、池田泉州銀行第9回コンソーシアム研究開発助成金による支援をいただきました。また、タイにおける捕虫実験では、独立行政法人日本学術振興会の「研究拠点形成事業（A.先端拠点形成型）」の助成を受けて行われました。実験にご協力いただいたカセサート大学理学部教授Gunjana Theeragool先生、およびカセサート大学大学院生の皆様に感謝申し上げます。

<sup>1)</sup> 関西学院大学理工学部生命科学科、  
<sup>2)</sup> マルカン酢株式会社

## 引用文献

- 1) 内野 憲 関東東山病害虫研究会法 52, 95 (2005)
- 2) Hauser, M. *Pest Manag. Sci.* 67, 1352 (2011)
- 3) Lee, J.C. *et al.*, *Pest Manag. Sci.* 67, 1358 (2011)
- 4) Lee, J.C. *et al.*, *Environ. Entomol.* 42, 1348 (2013)
- 5) Beers, E.H. *et al.*, *Pest Manag. Sci.* 67, 1386 (2011)
- 6) Cha, D.H. *et al.*, *Pest Manag. Sci.* 70, 324 (2014)
- 7) Rota-Stabelli, O. *et al.*, *Curr. Biol.* 23, R8-R9 (2013)
- 8) Landolt, P.J. *et al.*, *J. Appl. Entomol.* 136, 148 (2012)
- 9) Zhu, J. *et al.*, *J. Chem. Ecol.* 29, 899 (2003)
- 10) Becher, P.G. *et al.*, *J. Chem. Ecol.* 36, 599 (2010)
- 11) 瀬戸昌宣 他 *植物防疫* 69, 77 (2015)
- 12) Cha, D.H. *et al.*, *J. Chem. Ecol.* 38, 1419 (2012)
- 13) García-Quintáns, N. *et al.*, *Appl. Environ. Microbiol.* 74:1988-1996 (2008)
- 14) Boeke, J.D. *et al.*, *Methods Enzymol.* 154, 164 (1987)
- 15) Ishii, Y. *et al.*, *Appl. Environ. Microbiol.* 81, 2265 (2015)
- 16) 赤坂直紀 他 *日本生物工学会誌* 90, 374 (2012)
- 17) Kleiber, J.R. *et al.*, *Environ. Entomol.* 43, 439

- (2014)
- 18) Ishii, Y. *et al.*, J. Biosci. Bioeng. **125**, 67 (2018)
- 19) Kendra, P.E. *et al.*, Environ. Entomol. **38**, 1259 (2009)
- 20) Leblanc, L. *et al.*, Environ. Entomol., **39**, 989 (2010)
- 21) Galgano, F. *et al.*, Front. Microbiol. **3**, 199 (2012) .
- 22) Okamoto, A. *et al.*, Biosci. Biotechnol. Biochem. **61**, 1582 (1997)
- 23) Akasaka, N. *et al.*, J. Biosci. Bioeng. **123**, 78 (2017)
- 24) Eisenberg, T. *et al.*, Nature Cell Biol., **11**, 1305 (2009)
- 25) 栗原新 生物工学会誌 **89**, 555 (2011)
- 26) Soda, K. *et al.*, PLoS ONE **8**, e64357 (2013)
- 27) Battaglia, V. *et al.*, Amino. Acids. **38**, 431 (2010)
- 28) Nissim, I. *et al.*, J. Biol. Chem. **4**, 9710 (2014)
- 29) Akasaka *et al.*, Appl. Environment. Microbiol. (2018) 印刷中
- 30) Sode K., Exp. Gerontology **44**, 727 (2009)
- 31) Hussain, A. *et al.*, PLoS Biol., **14**, e1002454 (2016)
- 32) Tillisch, K. *et al.*, Psychosom. Med. **79**, 905 (2017)

#### 執筆者紹介 (順不同・敬称略)

##### 藤原伸介 < Shinsuke FUJIWARA >

昭和38年3月17日生まれ<勤務先と所在地>関西学院大学理工学部生命科学科 〒669-1337 兵庫県三田市学園2-1 <略歴>平成2年広島大学大学院生物圏科学研究科博士後期課程単位取得退学, 平成2年日本食品化工株式会社, 平成4年イリノイ大学シカゴ校博士研究員, 平成6年大阪大学工学部応用生物工学科助手, 平成13年大阪大学大学院工学研究科応用生物工学専攻助教授, 平成14年関西学院大学理工学部生命科学科助教授, 平成18年同大学教授, 平成25年日本生物工学会理事, 現在に至る, 学術博士<抱負>研究できる間に, 興味のあることは全てやっておきたい<趣味>野菜づくり, 異分野文献の探索

##### 石井友理 < Yuri ISHII >

平成3年11月5日生まれ<勤務先と所在地>関西学院大学大学院理工学研究科生命科学専攻 〒669-1337 兵庫県三田市学園2-1 <略歴>平成26年関西学院大学理工学部生命科学科卒業, 平成28年同大学大学院博士前期課程修了, 平成28年同大学大学院博士後期課程進学, 平成29年日本学術振興会特別研究員, 現在に至る<抱負>研究活動から学んだ“起き上がり小法師精神”を忘れず, 成長しつづける人でありたい<趣味>パイプオルガン奏楽, お酒

##### 佐古田久雄 < Hisao SAKODA >

昭和31年4月5日生まれ<勤務先と所在地>マルカン酢株式会社 〒658-0033 神戸市東灘区向洋町西5丁目6番<略歴>昭和54年大阪大学工学部卒業, 平成7年マルカン酢(株)本社工場長, 平成28年マルカン酢(株)研究所長, 平成30年マルカン酢(株)参与, 現在に至る, 博士(理学)<抱負>酢酸菌に関する新たな知見が明らかにされるとともに, 付加価値として機能性を有する食酢が開発されている。一方, 代表的な和食「すし」に見られるように多彩で豊かな日本の食文化の形成に食酢が果たしてきた役割も大きい。最近は, 酢に関する浮世絵などの図像資料や古文書・古記録に興味を持っている。<趣味>囲碁, 観劇

##### 赤坂直紀 < Naoki AKASAKA >

昭和55年12月9日生まれ<勤務先と所在地>マルカン酢株式会社 〒658-0033 神戸市東灘区向洋町西5丁目6番<略歴>平成18年北海道大学大学院農学研究科博士前期課程修了, 平成18年北海道製糖株式会社, 平成21年マルカン酢株式会社, 現在に至る, 博士(工学)<抱負>醸造微生物の新たな可能性を探索し, それらを利用してヒトの健康増進に貢献したい<趣味>おいしいお酒, 料理