

報 告

鳩麦糠からの糠床調製および米糠床との比較

木村 洋^{1*}, 渡邊正一⁴, 波多野淳子^{1,2}, 矢野寿美子^{1,3},
木村康子¹, 三嶋真由美¹, 土井琴美⁵, 初見泰寛⁵,
河邊真也⁵, 宮崎泰幸⁵

¹ 北九州小倉・糠床糠炊き研究会

² 糠床専門店「槇乃家」

³ 糠炊き専門店「味処矢野」

⁴ 株式会社渡辺農産

⁵ 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産大学校

Preparation of Adlay Bran Beds for Vegetable Pickling, and Comparison of Characteristics of the Beds with Those of Rice Bran Beds

Hiroshi Kimura^{1*}, Shoichi Watanabe⁴, Junko Hatano^{1,2},
Sumiko Yano^{1,3}, Yasuko Kimura¹, Mayumi Mishima¹,
Kotomi Doi⁵, Yasuhiro Hatsumi⁵, Shinya Kawabe⁵
and Taiko Miyasaki⁵

¹ Kitakyushu Kokura NukaDoko Nukadaki Kenkyukai, 1019-1 Shii,
Oaza, Kokura-Minami-Ku, Kitakyushu, Fukuoka 802-0985

² 1-974-4 Osayuki-Nishi, Kokura-Minami-Ku,
Kitakyushu, Fukuoka 803-0272

³ 2-4-25 Asano, Kokura-Kitaku, Kitakyushu, Fukuoka 802-0001

⁴ Watanabe Nosan Ltd., 425-1 Koga, Chikushino,
Fukuoka, Fukuoka 818-0047

⁵ Dept. of Food Science and Technology,
National Fisheries University,
2-7-1 Nagatahonmachi, Shimonoseki,
Yamaguchi 759-6595

Detailed optimization of the preparation conditions for Adlay (*Coix lachryma-jobi L. var. ma-yuen Stapf*) bran pickling beds was performed to develop the corresponding aged bran beds successfully with sufficient acidity based on excellent fermentability for daily use. The beds showed higher acidity than rice bran beds, and also showed effective performance as a starter. These results were achieved by finding the optimum moisture (water content), 52.5%, to prevent the formation of the characteristic stickiness typical of Adlay bran beds. The beds did not produce any propionic acid odor typical of rice bran beds. Instead, formation of branched alcohols and acids with chain lengths of C₄ and C₅ was detected by gas chromatography-mass spectrometry analyses. These compounds formed by the amino acid metabolism of yeast might produce the characteristic odor of the fermented Adlay bran beds.

(Received Apr. 24, 2019; Accepted Jul. 4, 2019)

Keywords : Adlay, bran, pickling bed, lactic acid fermentation, yeast
キーワード : ハトムギ, 鳩麦糠, 糠床, 乳酸発酵, 酵母

北九州市には米糠に塩と水を混合し、野菜の漬け出しの下、長期間発酵させて調製する熟成米糠床を基本とする伝統食文化（季節野菜の糠漬け、青魚の糠炊き）があり細川家の史料の如く400年の歴史を持つ¹⁾²⁾。我々（北九州小倉・糠床糠炊き研究会）は米糠床を科学的視点で捉え、世界に通用する高品質糠炊きや特殊水使用新型糠床の開発、糠炊きの需要増に対応する熟成糠床の高速大量生産を目指す速醸床の研究をしている。今般、ハトムギ（Adlay : *Coix lachryma-jobi L. var. ma-yuen Stapf*）の白色子実（漢方：ヨクイニン）製造時副生する鳩麦糠からの糠床調製研究を行なった。先行事例としては、塩麴（米麴、鳩麦麴）使用の鳩麦糠床調製処方がインターネット公開¹⁾されているのみである。我々は従来米糠床での経験を踏まえ、日々の野菜の漬け出し作業が容易で且つ、室温で発酵が進行して十分な酸味のある糠漬けを作れる鳩麦糠床の開発を主目的に、糠床の詳細な調製条件、発酵過程、糠床の特性、そして従来米糠床との香気成分の比較につき詳細検討した。鳩麦糠はヨクイニンと同様に有用成分を含有しその薬効（疣贅治療、抗腫瘍作用、抗酸化作用、免疫賦活作用、抗炎症作用等）が報告されており³⁾、従来にない「薬効糠床」という新領域が誕生する可能性を秘めている。

1. 実験方法

(1) 糠床を調製するための材料

糠床調製用の鳩麦糠と米糠（参照床用）は共に株式会社渡辺農産（福岡県筑紫野市古賀）から提供された生糠をそのまま使用した。鳩麦糠は、穀実（原穀）の収穫後、金属成分除去、防虫の為に数10℃での乾燥後、硬い殻を脱皮して「むき実」にし、これを精白することで渋皮（一部薄皮混入）から成る鳩麦糠と白色子実が得られる。鳩麦糠は米糠にはない独特の強い香りを発し、米糠より甘味が強かった。鳩麦糠と米糠の嵩密度の実測値は夫々0.48, 0.34 g/m³で、鳩麦糠の嵩比重は米糠の1.4倍で重い粒子であった。米塩麴はイチビキ株式会社製の塩糶/万能調味料（塩分8.4%, 水分48.9%, 蛋白+脂質+炭水化物42.7%）を使用した。天然塩は伯方塩業株式会社製の伯方の塩（粗塩）、天然水はサントリーフーズ（株）製阿蘇の天然水を使用した。乾燥赤唐辛子と日高昆布は夫々、大地の恵み製、有限会社北前船物産製を使用した。

(2) 糠床充填容器

調製した糠床は岩崎工業株式会社製のラストロウエア

¹ 〒802-0985 福岡県北九州市小倉南区大字志井 1019-1, ² 〒803-0272 福岡県北九州市小倉南区長行西 1-974-4,

³ 〒802-0001 福岡県北九州市小倉北区浅野 2-4-25, ⁴ 〒818-0047 福岡県筑紫野市古賀 425-1, ⁵ 〒759-6595 山口県下関市永田本町 2-7-1

*連絡先 (Corresponding author), yasuko_kim66@yahoo.co.jp

NEO KEEPER (本体：ポリプロピレン；蓋：ポリエチレン) の容器 (4.3 ℓ) に充填し、発酵状態の観察と糠漬けに使用した。

(3) 糠床の調製法

本研究で調製した全糠床の調製処方と組成を Table 1 に一括して示し、米糠床系列は Rice-n, 鳩麦糠床系列は Adlay-n の如く 2 種の糠床を通し番号で識別して表記した。

i) スターター無添加糠床

鳩麦糠床を調製するにあたり、スターターとしての熟成鳩麦糠床、および最適仕込組成 (特に水分%) に関する知見を持たないため、まずは以下に示した我々の米糠床調製処方 (Table 1 の Rice-1) に従ってスターター無添加の鳩麦糠床 (Table 1 の Adlay-1) を調製した。鳩麦糠：1000 g, 塩：124 g, 搾り下ろし黄瓜：200 g, 水：1600 g, 昆布の微塵切り：5.0 g, 赤唐辛子の輪切り：2.5 g. 糠床の重量基準組成は以上の全材料の合計重量を基準に算出したが、すりおろし黄瓜は水 100% として組成計算した。上記の Adlay-1 と Rice-1 の糠床の水分, 糠, および塩の組成は夫々 61.4, 34.1, 4.2% である。糠床はまず、5 ℓ の容器に天然水と塩を添加し食塩水を調製した。次に鳩麦糠, 黄瓜の搾り下し, きざみにした赤唐辛子と昆布を加え (各添加量は上述), 室温下に数分間均等に洗浄した素手で混合し鳩麦糠床を調製した。これを糠床充填容器に充填し内側の汚れを綺麗に拭き取り, 蓋をして 20~25℃ で発酵実験に供した。参照床としての米糠床 (Rice-1) も同様に調製した。上記の鳩麦糠床と米糠床は一週間の観察 (この間, すりおろし黄瓜から糖質供給) の後, 日々の野菜の漬け出しの下に 47 日間以上発酵熟成させ, 次回からの夫々の新規糠床調製用

のスターターとして使用した。

ii) スターター添加糠床

スターター添加鳩麦糠床 (Adlay-2, Adlay-3) は無添加床の調製法に準拠し, 鳩麦糠の次にスターターとしての熟成鳩麦糠床 (Adlay-1, 150 g) を添加し, 同様の手順で残りの材料を添加して糠床を調製した。スターター添加米糠床 (Rice-2) も同様に調製した。

iii) 塩麴添加鳩麦糠床

博多薬膳 麴・味噌商店が公開している塩麴をスターターとする以下の調製処方¹⁾を参考に, 米塩麴添加鳩麦糠床を調製した。公開処方: 鳩麦糠 1000 g に対し水, 塩を夫々 850-900 g, 100-120 g, 塩麴 (鳩麦, 又は米) を 50 g 添加し, 更に昆布を 7 cm 角, 赤唐辛子と山椒の実を適量添加し, 数種類の野菜で毎日捨て漬けを一週間繰り返す。我々は水と塩の添加量を上記処方の下限値 (夫々, 850 g, 100 g) に設定し, ii) と同様の操作により米塩麴をスターターとする鳩麦糠床 (Adlay-4) を調製し, 熟成鳩麦糠床をスターターとする水分最適化組成の我々の鳩麦糠床 (Adlay-3) との発酵性の比較に供した。

iv) 糠床の分析法と分析器

糠床の塩分濃度と pH は糠床 5.0 g を秤量して水で 5 倍希釈し, これを 2 度濾過してその濾液を測定した。塩分は実測値を 5 倍にして記録し, pH の実測値はそのまま使用した。分析器は ATAGO 製の簡易型ポケット塩分計 (PAL-SALT: 電気伝導度法) と ATAGO 製のデジタル pH メーター (DPH-2) を使用した。熟成糠床と原料鳩麦糠の揮発性成分 (香气成分) の分析は Agilent 社製の 7690A 型 GCMS を使用した。GC 部のカラム充填剤: WAX UI, 昇

Table 1 The recipe for the preparation of the Adlay and rice bran beds

Bran bed No.	Rice-1	Adlay-1	Rice-2	Adlay-2	Adlay-3	Adlay-4	Adlay-5
Composition of bran beds, Wt%*	bran beds without using starters		bran beds using starters		our optimized bed	bran bed using salt-malted rice	prepared by bran-bed-shop
Water	61.4	61.4	60.4	49.2	52.6	43.6	46.9
Bran	34.1	34.1	34.7	45.7	42.6	49.8	46.9
Salt	4.2	4.2	4.7	4.9	4.5	5.2	6.1
Materials charged for bran beds, g							
Bran (rice bran or Adlay bran)	1000	1000	1000	1200	1200	1000	1000
Water	1600	1600	1600	1100	1300	850	1000
Salt	124	124	140	130	130	100	130
Grated cucumber**	200	200	200	200	200		
Starters							
1. Aged bran bed***			150	150	150		
2. Salt-malted rice****						50	
Additives							
Sliced dried red pepper	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
Chopped dried kelp	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
Total	2932	2932	3098	2788	2988	2008	2130

* Wt% vs Total; ** Regarded as water; *** Salt, 5.0%; moisture, 61.4%; **** Salt, 8.4%; moisture, 48.9%

温速度：5℃/min (40~240℃)，MSの検知器：5975C。測定試料としての熟成鳩麦糠床（2018年2月6日発酵開始，47日間発酵熟成させた）と熟成米糠床（糠床専門店 槇乃家製）は夫々糠床5.0gに20%塩化ナトリウム1.0gを添加し，20mlの容器に入れ，40℃で30分間保温して気相をGCMSに注入して分析した。また，渡辺農産製の原料鳩麦生糠は5.0gを20mlの容器に入れ同様の処理をして分析した。上記3種の試料のGCMS測定は夫々3回（ $n=3$ ）繰り返し測定しその平均強度が記録された。

v) 糠床の発酵過程の追跡と糠床の管理

常温で管理する糠床は乳酸発酵の進行により糠床のpHが次第に低下し酸味を呈していくが，日々pH測定をして発酵過程を追跡し，鳩麦糠床と米糠床の状態，発酵性，および香味の違いを比較した。野菜の漬け出しと共に野菜から糠床への出水により糠床の塩分濃度が低下するので4~5%に維持すべく追い塩した。追い糠は糠床上層表面の外観（水溜りの有無）と糠床混合時の手の感触から判断し，糠床初期調製時と同程度の状態になるよう実施した。

vi) 重量分析による野菜漬け出し時の糠床の水分算出法
野菜の漬け出し毎に，漬け込み前の野菜の重量と糠漬け取り出し時の重量（最大限，付着糠を除去）を測定し，その差分から野菜から糠床への出水量とその積算量の経日変化を求め，糠床の水分%（moisture）の増加傾向を追跡した。本法は塩麴添加鳩麦糠床調製処方¹⁾を参考に調製した鳩麦糠床（Adlay-4）の発酵試験の際に適用した。

2. 実験結果および考察

(1) スターター無添加の鳩麦糠床の状態観察と特徴

スターター無添加の鳩麦糠調製後の状態を米糠床と比較しFig.1に示した。鳩麦糠床は調製後1日で糠床上層に水相が形成され（Fig.1 (B) DAY 1 A），水相は糠床の垂直方向の20%にも達した（Fig.1 (D) DAY 3 side view A）。これに対し，米糠床は糠が均等に安定分散した。両床のこの状態の違いは既述の如く鳩麦糠の嵩比重が米糠の1.4倍であることに起因するのかもしれないが詳細は現在不明である。DAY 3の状態の鳩麦糠床は水分大過剰で上層が水溜まりである為，この状態のままでは野菜の漬け床として使用出来ず水分の低減が求められた。一方，米糠床はその必要はなく漬け床としてそのまま使用した。両糠床の初期設定水分は共に61.4%であるが，鳩麦糠で調製した糠床の状態は米糠床と大きく異なることが分かった。

(2) 鳩麦糠床の好適水分領域の探索（一次スクリーニング）

前節で61.4%の水分は鳩麦糠床には大過剰であることが確認されたので，この状態から好適水分領域へ移行すべく3つの水分低減法（①糠床上層の滞留水相の除去，②糠床スラリー部の濾過，③追い糠）を適用し，糠床の発酵維持の下，2ヶ月間掛けて糠床の水分%を5段階（[1] 61.4 → [2] 55.0 → [3] 50.6 → [4] 48.7 → [5] 47.0）でスクリー

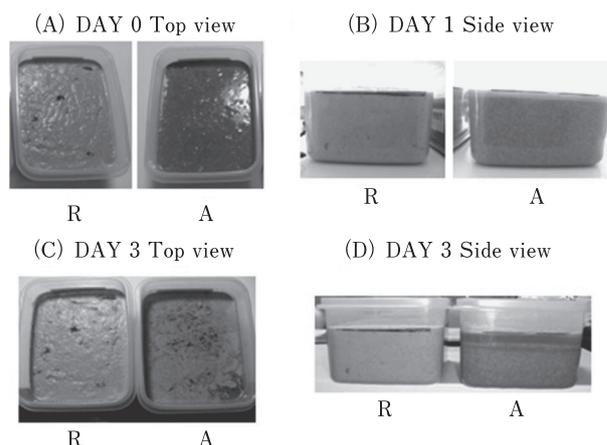


Fig. 1 States of the Adlay bran and rice bran beds after their preparation

A : Adlay bran bed (Adlay-1: moisture, 61.4%), R : Rice bran bed (Rice-1: moisture, 61.4%).

ニングし，各段階での糠床の状態（特に，糠床の柔らかさ）と発酵状態を観察した。この間の鳩麦糠床のpHの推移は次の通りであった。[1] 床作成後~12日目まで：7 → 4.1；[2] 12~14日目：4.1 → 3.9；[3] 14~30日目：3.9 → 3.5；[4] 30~37日目：3.5~3.6；[5] 37~60日目：3.6~3.7であった。経験的に野菜の漬け床としての好適pH領域は4.2~3.5であり，スターター無添加の鳩麦糠床でも好適pH領域に達することが確認された。鳩麦糠床は参照としての米糠床より0.2~0.3ほど低pHで発酵が進行し，舌で味わった時の評価も鳩麦糠床の方が酸味が強いことが確認された。これは，鳩麦糠が米糠より甘味が強いことがその要因の一つと考えられた。

鳩麦糠床の水分が50.6%と48.7%のときは糠床上層表面に水溜りが出来まだ水分過剰であったが，糠床の柔らかさからは後者が良かった。水分が47.0%にまで低下すると水溜りは無くなったが，今度は水分不足で糠床は漬け床としては硬かった。以上の観察から鳩麦糠床の好適水分領域は48.7%付近（±1%）に存在すると判断され，この時のpHは3.5~3.6で十分な酸味を発現した。

(3) 鳩麦糠床の最適水分の特定と糠床粘着現象の併発

前節で鳩麦糠床の好適水分領域が48.7%付近（±1%）に存在すると判断されたので，その領域における最適水分値を特定すべく以下の追加実験を行った。即ち，前節(2)の糠床調製後47日経過後の熟成鳩麦糠床（2018年4月14日）をスターターとし，好適水分領域での初期設定水分49.2%の鳩麦糠床（Adlay-2）を新規調製し，野菜の漬け床としての有効性を調べた。その際，再現性確認のため我々と株式会社渡辺農産の両者が同時並行して独立に上記と同一の鳩麦糠床を調製し，糠床の状態変化，発酵性（pHの低下），床を混ぜる時の作業性，および糠床の香味を両者で比較した。参照用の米糠床（Rice-2）も熟成米糠床をスター

ターとし同様に調製した。調製時の鳩麦糠床と米糠床の pH は夫々、5.8 と 6.0 であった。糠床調製後 2 日目迄は鳩麦糠床は米糠床より 0.2~0.3 単位低 pH で発酵が進行したが、3 日目、米糠床の pH 低下が顕在化し両糠床の pH 曲線が交叉して同一 pH 値、5.0 を与えた。特筆すべきは、鳩麦糠床を混ぜた時、手に糠床がべとつく粘着現象が発生しており（渡辺農産側も発生を確認）作業性が大きく低下したこと。このような糠床粘着現象は米糠床では全く発生せず、鳩麦糠床に特徴的な異常現象であることが分かった。この粘着現象は初期設定水分 49.2% の鳩麦糠床の水分不足を示すものであり、この状態のままでは拡散が阻害されて正常な発酵が得られないため、急遽、糠床の水分を増加さすべく 0.8~0.9% 刻みで 7 日間かけ 4 段階（49.2 → 50.1 → 50.9 → 51.8 → 52.6%）で糠床の水分を慎重に微増調整していった。渡辺農産側にも急遽、同様の対応をすべく伝えた。4 日目以降、遂に pH が逆転し米糠床の方が鳩麦糠床より 0.4~0.5 単位低 pH で発酵が進行した。その後も 30 日目まで同様に進行し、その後、鳩麦糠床の pH は低下傾向で米糠床に接近していき、52 日目以降は米糠床より低 pH になり、前節のスターター無添加糠床発酵の実験におけると同様、米糠床より酸味の強い鳩麦糠床になっていった。これは、糠床粘着現象の影響が水分調整により次第に消滅していったことに由来すると考えられた。最終的に鳩麦糠床の水分は糠床調製時の 49.2% から 52.6%（3.4% 増）まで増加したが、この最終水分% において糠床の粘着現象は消滅し、作業性の良い鳩麦糠床になった。以上の経緯により鳩麦糠床の最適水分（optimum moisture）を 52.6% としたが、米糠床（Rice-2, 60.4%）より約 8% も低水分であった。尚、70 日間の発酵実験に於いて、我々と渡辺農産側でスポット的に同日に試料を採取し、両者の分析値を比較した。即ち、鳩麦糠床（Adlay-2）調製後 52 日目の糠床の pH は我々の 3.5 に対し、渡辺農産側は 3.6 であった。同様に塩分濃度は夫々 4.7% と 4.5% であった。一方、52 日目の米糠床の pH は我々の 3.6 に対し、渡辺農産側は 4.0 であった。同様に、塩分濃度は夫々 5.0% と 4.5% であった。鳩麦糠床は両者の分析値が良く一致したが、米糠床は渡辺農産側の pH が 0.4 単位高く、塩分は 0.5% 低位であった。この差が分析上の問題か、糠床管理上の差によるのか定かではない。

(4) 鳩麦糠床の特徴的粘着現象の発現由来

渡辺等は鳩麦粉をクッキーやパンケーキ生地の原料にした場合、小麦粉の 1.5 倍の加水量が必要であることを報告⁴⁾している。鳩麦糠製造時の精白工程で、白色子実を覆う渋皮（鳩麦糠）の剥離と共に白色子実表面の一部が削り取られ、その結果、鳩麦糠にグリテリンとプロラミンという 2 種の複合蛋白前駆体が混入し、これが糠床の水と塩分の共存、更に混ぜるといった物理的操作により 2 種の前駆体からの粘着性複合蛋白の生成が一層促進され、鳩麦糠床の

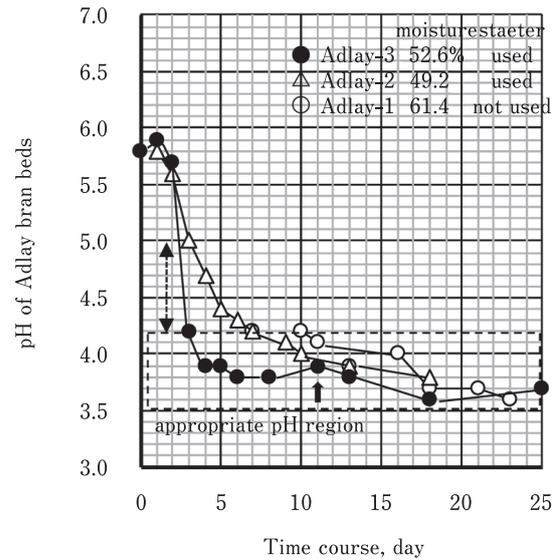


Fig. 2 Fermentation of the Adlay bran bed with the optimum moisture, 52.6% (Adlay-3)

Moisture indicates the water content of the bran beds.

●, Adlay bran bed (Adlay-3), prepared with the optimum moisture, 52.6%, using the aged Adlay bran bed (Adlay-1) as a starter; △, Adlay bran bed (Adlay-2), prepared with a moisture, 49.2%, using the aged Adlay bran bed (Adlay-1) as a starter; ○, Adlay bran bed (Adlay-1) with a moisture, 61.4%, prepared without using a starter. ↑ indicates the pickling of carrot on Day 11

特徴的粘着現象が発現したと推定された。

(5) 最適水分%で調製した鳩麦糠床の状態観察と発酵挙動

最適水分 52.6% で新規調製したスターター添加鳩麦糠床（●, Adlay-3）の発酵開始後の粘着現象発現の有無と pH 挙動を確認すべく、水分最適化前の鳩麦糠床（○, Adlay-1 水分 61.4% で調製したスターター無添加床; △, Adlay-2 水分 49.2% で調製したスターター添加床）と比較し結果を Fig. 2 に示した。水分 49.2% の鳩麦糠床（△）が調製後 3 日目に粘着現象が発現したのに対し、最適水分 52.6% で調製した鳩麦糠床（●）は Fig. 2 の全工程において糠床の粘着現象は全く観測されず、糠床調製後 3 日目の pH は 4.2 にまでも低下し、粘着現象が発生した水分 49.2% の時より 0.8 単位もの pH 低下を実現した。最適水分%での鳩麦糠床を調製することにより糠床粘着に起因する発酵阻害を回避出来ることが確認され、水分 49.2% と比較し最適水分の優位性が示された。11 日目、初めて野菜（●: DAY 11, 人参）を漬けたが、この糖質供給により pH 低下が更に進行し最終 pH は好適領域内の 3.6~3.7 に達した。以上の結果から、最適水分 52.6% で鳩麦糠床を調製することにより鳩麦糠床に特徴的な粘着現象を回避し、その結果、正常な発酵性を維持して米糠と同様に作業性が良く、且つ酸味が充分あり、家庭での日常的使用が可能な鳩麦糠床を

調製出来ることが確認された。これにより、本研究の第1目標（毎日使用出来る鳩麦糠床の実現）を達成することが出来た。

(6) 塩麴をスターターとする鳩麦糠床の発酵性

熟成鳩麦糠床をスターターとする我々の鳩麦糠床と塩麴をスターターする処方³⁾を比較し、塩麴の発酵促進能を把握するため、本稿の(3)のiii)に示した処方を参考に米塩麴をスターターとする鳩麦糠床を再設計し、これを調製処方 Adlay-4 として Table 1 に示した。即ち、天然水と天然塩の添加量を処方の下限値にし、米塩麴を使用、昆布を5 cm 角に変更、山椒の実無添加で赤唐辛子添加の鳩麦糠床を調製した。捨て漬け開始後の野菜漬け出し時の重量測定の下（野菜からの出水量の算出と糠床の水分増の把握ため：本稿の(3)糠床の調製法のv)と(vi)参照）、糠床のpH低下を観ながら9日間毎日捨て漬けをし、10日目から毎日本漬けを実施して発酵過程を追跡した。捨て漬けと本漬けを含む全工程における野菜の漬け出し毎の野菜から糠床への出水量、糠床の水分%とpHの推移、そして本漬時の温度の影響を Fig. 3 に示した。その結果、米塩麴をスターターとした初期水分43.6%の鳩麦糠床(Adlay-4)は米糠床(水分：Rice-1, 61.4%；Rice-2, 60.4%)と比較し、糠床は低水分で非常に硬い状態であった。野菜の種類を変えて9日間毎日捨て漬けを繰り返した結果、野菜からの出水により糠床は徐々に軟化し、9日目の水分は5.2%増加して48.8%になったが、米糠床での経験から漬け床としてまだ硬いものであった。なお、米糠床の場合、水分54%以下では乳酸発酵が進行しないので55%以上に設定する。Fig. 3 から捨て漬け時の糠床の水分増加傾向を明瞭に観ることが出来、10日目から野菜の本漬けを開始した。その際、鳩麦糠床を同重量で2分割し、常温(○)と冷蔵庫内(△, 6℃)で夫々本漬けをし、糠床の発酵に対する温度の影響を観た。この場合も捨て漬け時と同様、既述の方法で水分増を算出した。Fig. 4 で、捨て漬け終了時(9日目：大きな○)の米塩麴添加鳩麦糠床のpHは4.4であり、漬け床としてpHはまだ若干高目(好適pH領域：4.2~3.5)であった。10日目から1週間、異なる温度環境(○, 常温；△, 6℃)での本漬け時の糠床の水分は糠床調製時の43.6%から両温度環境で共に約8%増加し51.4~51.5%に達した。両温度での浸透圧比、 $(273+6)/(273+25)$ は0.94であったが、糠床の水分増への影響はみられなかった。本漬け1週間目(DAY 16)、常温の糠床のpHは本漬開始前の4.4から3.7まで低下し、漬け床としての十分な酸味を確認した。それに対し、6℃の冷蔵庫内の糠床のpHは4.2(好適pH領域の上限)であり、本漬直前の4.4から僅か0.2単位のpH低下であった。以上より、本漬け時の温度は鳩麦糠床の乳酸発酵の速度に大きく影響を与えることが確認された。

(7) 鳩麦糠床と米糠床へのスターター添加効果

本研究で使用した鳩麦糠床および米糠床用のスターター

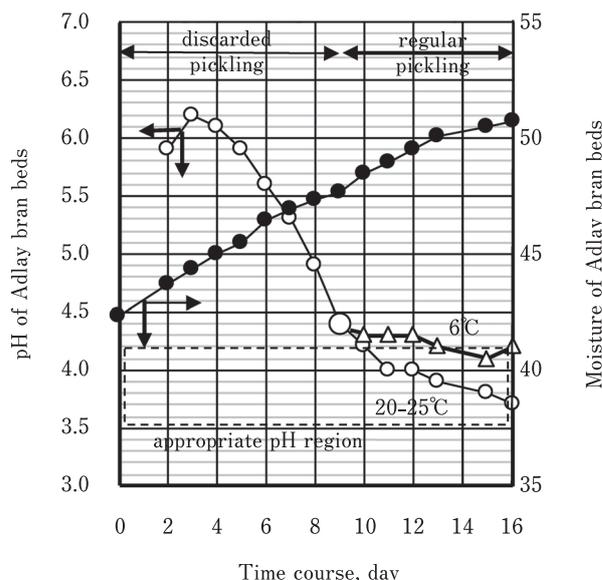


Fig. 3 Time course of the moisture and the pH in the discarded and the following regular pickling processes of the Adlay bran bed (Adlay-4) prepared using salt-malted rice as a starter

Moisture indicates the water content of the bran beds.

○, pH of the Adlay bran bed (Adlay-4) in the discarded and the following regular pickling processes performed at 20-25 °C; △, pH of the Adlay bran bed in the regular pickling process performed at 6 °C; Larger circle, ○, the beginning of the regular pickling at the two temperatures (6 °C, 20-25 °C); Moisture increase in the regular pickling processes performed at the two temperatures were comparable. ●, moisture (%) of the Adlay bran beds.

はスターター無添加で糠床を調製し(2018年2月26日)、日々の野菜漬けの下に長期間発酵を維持した夫々、熟成鳩麦糠床と熟成米糠床である。新規調製した鳩麦糠床(Adlay-3:最適水分52.6%適用)と米糠床(Rice-2)に夫々、上記熟成鳩麦糠床と米糠床を添加したときの効果を Fig. 5 に示した。比較のため、Table 1 に記載のスターター無添加の2つの床(△, Adlay-5; ●, Adlay-1)を示した。Fig. 5 の左図でスターター添加鳩麦糠床(○, Adlay-3)は、野菜の捨て漬けを一切することなく、2日間の誘導期間の後、急激なpH低下を発現し、3日目には好適pH領域に達した。以後、同領域内を安定推移し、スターターとしての熟成鳩麦糠床は極めて速効性であることが分かった。これに対し、スターター無添加の糠床専門店の試作鳩麦糠床(△: Adlay-5, 水分46.9%)は調製後、毎日捨て漬けを実施した。糠床調製8日目からpHが急低下し始めたが、最終pHは好適領域の上限付近(4.3~4.4)を推移し、酸味も低位であった。また、我々のスターター無添加鳩麦糠床(●, Adlay-1)は調整時の水分が61.4%と高水分のため増粘現象が全く発生せず、調製後8日目に好適pH領域の上限に達し、以後、緩慢に推移した。尚、Adlay-1は酵母の発生観察のため7日目まで糠床を攪拌せず、pHは未測定である。

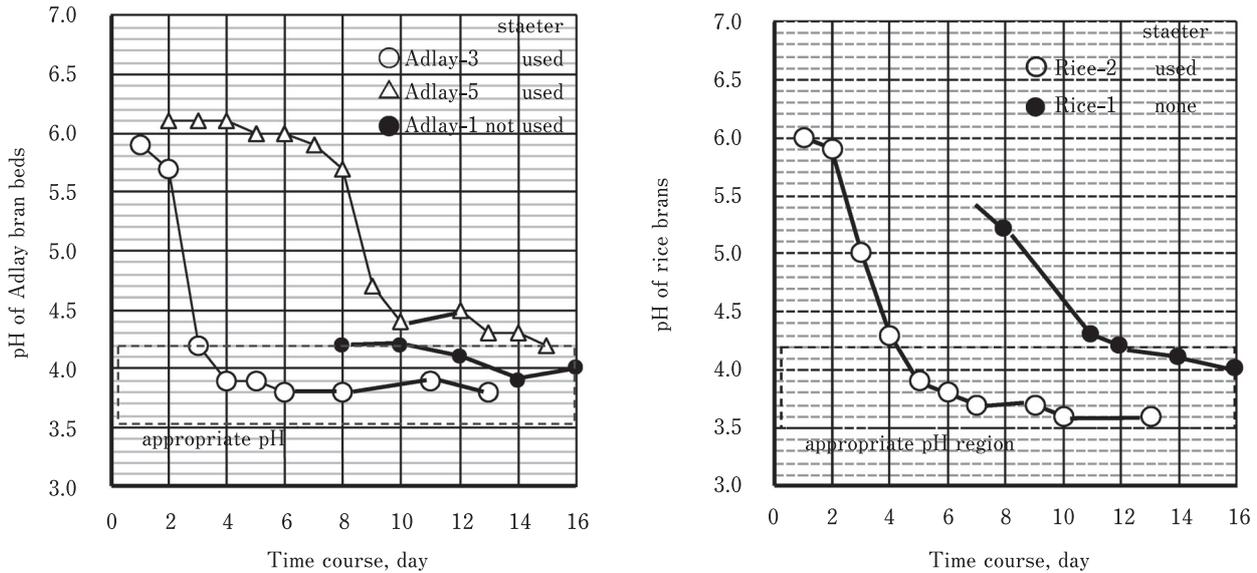


Fig. 4 Effect of starters on the fermentation of Adlay and rice bran beds

Left : Adlay bran beds; Right : Rice bran beds

Aged Adlay bran bed (Adlay-1) and aged rice bran bed (Rice-1) were used as starters for the fermentation of a newly prepared Adlay bran bed (Adlay-2) and a rice bran bed (Rice-2), respectively. Adlay bran bed (Adlay-5) was prepared by the bran-bed-shop, Makinoya, based on her recipe without using a starter.

以上より、新規調製鳩麦糠床へのstarterとしての熟成鳩麦糠床の添加は pH の急低下開始時期と定常 pH の両者に於いて発酵を大きく促進させることが分かった。Fig. 5 の右図は米糠床へのstarter添加効果である。starter無添加米糠床 (●, Rice-1) の pH 低下速度が 0.32 単位/日に対し、starter添加米糠床 (○, Rice-2) は 0.80 単位/日であり、好適 pH 領域への到達は後者の 5 日に対し前者は 14 日であり、米糠床も明確なstarter添加効果が観測された。

(8) 鳩麦糠床のstarterとしての熟成鳩麦糠床と米塩麴の違い

熟成鳩麦糠床と塩麴、この2つの全く異なるstarterの発酵性を比較することは鳩麦糠床の今後の更なる進化に対し極めて重要である。Table 1 に記載の水分を最適化した初期水分 52.6% の鳩麦糠床 (○, Adlay-3) と米塩麴をstarterとした鳩麦糠床 (●, Adlay-4) の発酵性 (pH 低下) を Fig. 4 に比較した。併せて、starter無添加の2つの鳩麦糠床として、本研究の共同研究者である糠床専門店 (槇乃家) の糠床 (△, Adlay-5) と我々の糠床 (□, Adlay-1) を参照として示した。図より、熟成鳩麦糠床をstarterとした Adlay-3 は調製後、早くも 2 日目に pH が急低下し (1.4 単位/日)、3 日目には漬け床としての好適 pH 領域の上限値 4.2 に達し、starterとしての熟成鳩麦糠床の速効性が示された。4 日目以降、pH は好適領域内を 4.0 以下 (3.8~3.9) で推移し、野菜の漬け床として十分な酸味が確認された。一方、米塩麴をstarterにした鳩麦糠床 (Adlay-4) は、熟成鳩麦糠床がstarterの時の

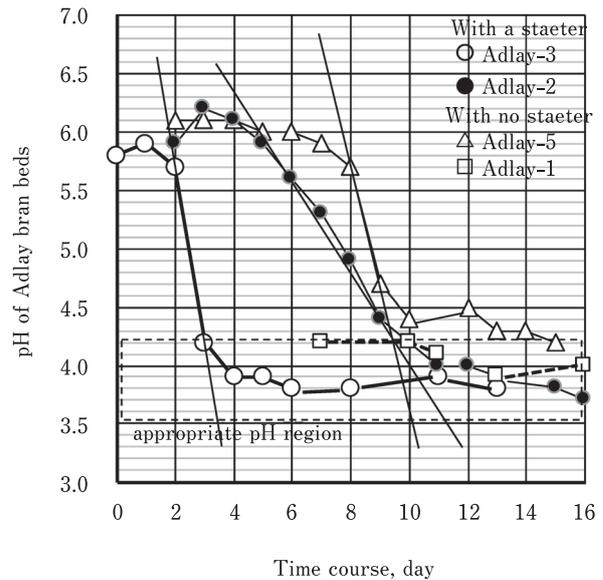


Fig. 5 Comparison of the aged Adlay bran bed and salt-malted rice as starters in the fermentation of Adlay bran beds

- (1) Adlay bran beds using starters
○, Adlay-3 (starter: aged Adlay bran bed); ●, Adlay-4 (starter: salt-malted rice)
- (2) Adlay bran beds using no starter
△, Adlay-5 (prepared by the rice-bran-bed shop); □, Adlay-1 (our bed)

ような急激な pH 低下を起こさず、Fig. 4 の如く調製後 4 日目から緩慢な pH 低下 (●, 0.4 単位/日) が進行した。特筆すべきは、Adlay-4 は 10 日目以降は pH が好適領域

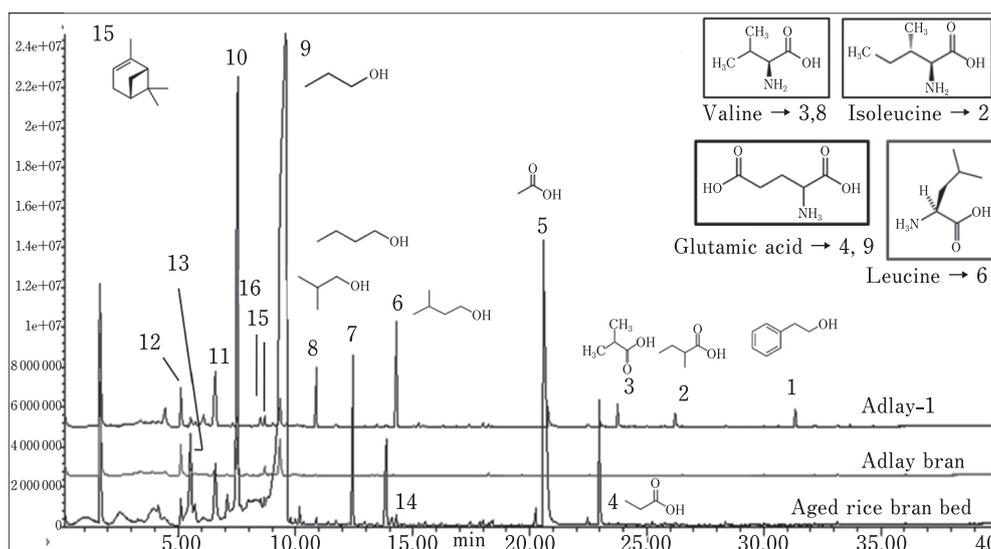


Fig. 6 GCMS analyses of volatile compounds of our aged Adlay bran bed (Adlay-1), starting Adlay bran, and aged rice bran bed

upper : Aged Adlay bran bed (Adlay-1); middle: Adlay bran; lower: Aged rice bran bed by Makinoya, a bran bed shop. Compound names, peak strength, and odor threshold of each peak in the GC charts are compared in Table 2.

内で推移し、漬け床として十分な酸味を発現したことである。これは、Fig. 4 の 16 日間の発酵試験に於いて、糠床専門店のスター無添加糠床 (Δ , Adlay-5) との大きな相違点である。即ち、Adlay-5 の pH が好適 pH 領域に於いて米塩麴添加の Adlay-4 より 0.4~0.5 も高 pH (好適 pH 領域に於いても味覚上の低酸味は大) で推移したことは、米塩麴が鳩麦糠床発酵のスターターとして機能していることを明確に示している。また、スター無添加の Adlay-5 は 8 日目以降、pH が急低下したが、これは乳酸菌数の増加と野菜捨て漬けによる床の水分増に起因すると考えられた。更に Fig. 4 から、熟成鳩麦糠床と米塩麴は異なるスターター発現機構を有することが分かった。即ち、熟成鳩麦糠床がスターターの場合は既に存在する乳酸菌の急増殖に 2 日要し、その後、急激な pH 低下を発現したと考えられる。

一方、米塩麴の場合は乳酸菌の増殖に長時間を要するものの、麴が生産するアミラーゼによる澱粉の糖化と連動して乳酸発酵が促進され、その結果 Fig. 4 の如く緩慢ではあるが明確に pH 低下が進行したと解釈している。これに関しては、鳩麦糠床に鳩麦甘酒を添加すると発酵が促進されて pH が 3.3 にまでも低下することが確認されている (未発表) ことから理解出来る。以上より、熟成鳩麦糠床と米塩麴の両者は鳩麦糠床の発酵促進に対し発現機構は異なるが共に有効、且つ相補うスターター系を構成すると結論した。しかし、糠床の管理温度が乳酸発酵に好適な 20~25℃であるのに対し、アミラーゼによる澱粉糖化の至適温度は 50~60℃と大きく差がある為、今後、更なる検討を要する。

(9) 熟成鳩麦糠床と米糠床の揮発性成分の GCMS 分析
淡い香を持つ米糠とは対照的に、鳩麦糠は独特の強い香気を発した。そして、熟成米糠床の発酵臭が一般にプロピオン酸が主成分⁵⁾であるのに対し、本研究の熟成鳩麦糠床はプロピオン酸臭を全く与えなかった。これは米糠床との最大の相違点であり、米糠床とは全く異質の強い香気を発した。関連文献としてハトムギ (焙炒前後) の揮発成分の分析事例⁶⁾が挙げられるが、鳩麦糠床の香气成分に関する研究例と報告例はない。両糠床の香气成分の違いを科学的に理解する為、本研究の熟成鳩麦糠床 (Adlay-1 2018 年 2 月 26 日調製) と糠床専門店 (槇乃家) の熟成米糠床の揮発成分の GCMS を測定し比較した。今回は専ら両糠床の揮発成分の違いを把握するための定性分析を目的とした。

Fig. 6 に両糠床の今回測定分の GC 部のチャート (上: 熟成鳩麦糠床; 中: 鳩麦糠; 下: 熟成米糠床) を示した。

Fig. 6 の各成分を Table 2 にまとめて相互比較し、主要成分の強度と JAOA (Japan Association on OdorEnvironment)ⁱⁱ⁾ と National Institute of Health Sciencesⁱⁱⁱ⁾ による嗅覚閾値を付記した。Fig. 6 で原料鳩麦糠は保持時間 10 分以下に原料由来成分として炭素数 3 の 1-Propanol (9) とそのエステルである Propylacetate (10), Ethyl alcohol (11), Ethylacetate (12), α -Pinene を与えたが、これらは鳩麦糠床にも検出された。ピーク (9) と (10) は米糠床にも検出されたがその強度は夫々鳩麦糠床の 33 倍, 156 倍と非常に大であった。更に、原料鳩麦糠と鳩麦糠床のピーク (15) は松脂の香气成分 (テルペン系炭化水素) で針葉樹の特有香の α -Pinene と推定された。ピーク (15) は米糠床にも検出されたが、その強度は鳩麦糠床の 1/4 であった。なお、

Table 2 Comparison of the volatile compounds shown in Fig. 6

Major peaks	Aged bran beds		Adlay bran	Oror	
	[Adlay] Int. $\times 10^{-6}$	[Rice]		Threshold ppm	ref
1 Phenylethyl alcohol	4.9	—		1.3×10^2	iii
2 2-Methylbutanoic acid	1.9	—		7.8×10^{-5}	ii
3 Isobutyric acid ○	7.2	—		1.5×10^{-3}	ii
4 Propionic acid	—	46		5.7×10^{-3}	ii
5 Acetic acid	7.2	350	0.13	6.0×10^{-3}	ii
6 Isopentyl alcohol ○	29.0	2.8		1.7×10^{-3}	ii
7 1-Butanol	0.2	50		3.8×10^{-2}	ii
8 Isobutyl alcohol ○	16.0	1.4		1.1×10^{-2}	ii
9 1-Propanol	11.0	360	15	9.4×10^{-2}	ii
10 Propylacetate	3.2	500	14	2.4×10^{-1}	ii
11 Ethyl alcohol (?)	5.1	1.2		5.2×10^{-1}	ii
12 Ethylacetate	3.4	36	2.5	8.7×10^{-1}	ii
13 2-Butanone	1.2	79		4.4×10^{-1}	ii
14 D-Limonene	0.6	41		3.8×10^{-2}	ii
15 α -Pinene*	3.4	0.9	?	1.8×10^{-2}	ii
16 Methyl-2-methylbutyrate	0.3	?		2.1×10^{-3}	ii

* mixed with isobutylacetat ○ indicates strong odor

亀岡等らはハトムギの揮発性成分の GCMS 分析をしたが⁵⁾ α -Pinene は検出していない。本研究で使用した原料鳩麦糠には微小な硬い破片が少量観察されたが、これはハトムギの硬い外殻の脱穀時に機械的に粉碎された小粒子が混入したものと考えられる。一方、熟成鳩麦糠床は上記の原料由来成分に加え、高保持時間側に次の特徴的成分を与えた。Phenylethyl alcohol (1), 2-Methylbutanoic Acid (2), Isobutyric acid (3), Acetic acid (5), Isopentyl alcohol (6) と Isobutylalcohol (8), Methyl-2-methylbutyrate (16)。これらは、炭素数 4 と 5 の分岐カルボン酸と分岐アルコールであり、原料鳩麦糠には検出されなかったことから鳩麦糠の発酵過程において、酵母による対応する分岐アミノ酸 (Isoleucine \rightarrow (2); Valine \rightarrow (3), (8); Leucine \rightarrow (6)) の代謝によって生成したと考えられる。特に、ピーク (2), (3), (6), (8) は不快臭で鳩麦糠床に高含量であった。ピーク (2) の 2-Methylbutanoic acid の閾値は最少で 7.8×10^{-5} であるⁱⁱ⁾。Table 2 の一覧表に示した如く、これら分岐 4 成分の強度は鳩麦糠床の方が米糠床より圧倒的に大であった。一方、熟成米糠床に検出された代表的発酵臭であるピーク (4) のプロピオン酸は Fig. 6 に示した如く鳩麦糠床には全く検出されなかったが、これは両糠床の香気上の最大の差異である。尚、プロピオン酸は酵母による直鎖アミノ酸のグルタミン酸の代謝によって生成する⁵⁾。GCMS 分析結果は両糠床の香気の本質的違いを示すもので、これは鳩麦糠床と米糠床の酵母の菌叢が全く異なることを示唆している。本件に関しては、揮発成分の更なる詳細な分析とともに菌叢分析の詳細な検討を進めるべく準備している。また、その他の特徴的成分として、米糠床のピーク (14)

は柑橘の果皮に特徴的な D-Limonene であるが、これは北九州市では柑橘系の柚子や橙の果皮を米糠床に添加して付加的香味付けをする習慣に由来する。

以上、現在のところは家畜用飼料とスキンケアオイル (JA いなば) として小規模にしか利用されていない鳩麦糠の一層の有効利用と高度利用を図るべく、北九州市の米糠床と同様に日々家庭で手軽に使用出来る鳩麦糠床を目標に本研究に着手した。その結果、鳩麦糠床の水分 % の最適化により、作業上問題となる鳩麦糠床の特徴的粘着現象を回避し、目標の鳩麦糠床を調製することに成功した。

3. 要約

鳩麦糠床の調製条件の最適化により、日々野菜を漬けるための十分な発酵性と酸味を持つ熟成鳩麦糠床の開発に成功した。熟成鳩麦糠床は米糠床より高い酸味を発現し、スターターとしても有効な性能を発現した。以上の結果は鳩麦糠床の最適水分 (52.6%) の追跡により、鳩麦糠床に特徴的な粘着性を抑制したことにより達成された。鳩麦糠床は米糠床に特徴的なプロピオン酸臭を発せず、代わって炭素数 4 と 5 の分岐のアルコールとカルボン酸が GCMS 分析で検出された。酵母によるアミノ酸代謝で生成したこれらの化合物が鳩麦糠床の特徴的臭いと関係しているであろう。今後は、鳩麦糠床と米糠床の菌数と菌叢の違いを明らかにし、両糠床の酸味と香気成分の違いの由来を解明し、鳩麦糠床の実用化を促進する。

水産大学の宮崎泰幸先生、河邊真也先生、および担当の学生さん方には鳩麦糠床の官能評価で大変お世話になりました。東京家政大学大学院の長尾慶子先生と佐賀大学大

学院の北垣浩志先生には数々の貴重なコメントを頂き感謝致します。金沢大学の鈴木信孝先生にはハトムギの薬効成分と臨床試験に関する文献を提供いただき感謝致します。福岡県工業技術センター（生物食品研究所）の黒田理恵子研究員にはグルテン関連の詳細情報を頂き感謝致します。

文 献

- 1) Dainippon Kinse Shiryou, Hosokawa-ke Shiryou II, 516 Dec. 12th. Letters, **179**, Historiographical Institute The University of Tokyo (1970). (Great Japan Early Modern historical records, Hosokawa family historical records, Historiographical Institute The University of Tokyo)
- 2) Dainippon Kinse Shiryou, Hosokawa-ke Shiryou III, Niccho, Historiographical Institute The University of Tokyo (1972).
- 3) Takimoto, Y., Suzuki, N., Kawabata, T., Tadano, T., Ota, T., Tokuda, H., Xu F., and Inoue, M. (2013). A study on the useful components of adlay. *Japanese Journal of Complementary and Alternative Medicine*, **10** (2), 69-74 (滝本裕子, 鈴木信孝, 川畑哲郎, 只野 武, 太田富久, 徳田春邦, 許鳳浩, 井上正樹. ハトムギ *Coix lachrymal-jobi* L. *Var. mayuen* Stapf の有用成分に関する研究, 日本補完代替医療学会誌).
- 4) Watanabe, H., Kobayashi (Awatsuhara), R., and Nagao, K. (2016). A study on the adaptability of job's tears flour as a substitute for wheat flour in prepared food products. *J. Cookery Sci. Jpn. (Nippon Chorikagaku Kaishi)*, **49** (2), 128-137 (渡辺裕子, 小林(粟津原)理恵, 長尾慶子. ハトムギ粉を用いた調理食品の小麦粉代替食品としての適応性の検討, 日本調理科学会誌).
- 5) Imai, M. (1995). Influence of microbe and temperature on producing of flavor components of "Nukamiso-Doko". *Food Preservation Science (Nippon Shokuhin Teion Hozougaku Kaishi)*, **21** (3), 161-178 (今井正武. 糠みそ床の香気成分の生成に関する微生物と温度の影響, 日本食品低温保蔵学会誌).
- 6) Kameoka, H., Matsui, K., Nakai, K., and Miyazawa, M. (1992). Volatile constituents of fruits of HATOMUGI. *J. Oleo Sci.*, **41** (1), 33-38 (亀岡 弘, 松井恵子, 中井勝久, 宮沢三雄. ハトムギの実の揮発性成分について, オレオサイエンス).

引用 URL

- i) <http://koujimisosyouten.net/> (2018.12.1)
 - ii) <http://orea.or.jp/about/ThresholdsTable.html> (2019.3.25)
 - iii) www.nihs.go.jp/hse/food-info/chemical/kanshi/table3.xls%20 (2019.3.25)
- (平成 31 年 4 月 24 日受付, 令和元年 7 月 4 日受理)