

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82410

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K12893

研究課題名(和文) 麺の加工工程における風味形成メカニズムの解明

研究課題名(英文) Elucidation of the Mechanism of Flavor Formation During the Noodle Making Process

研究代表者

成澤 朋之(Narisawa, Tomoyuki)

埼玉県産業技術総合センター・食品プロジェクト担当_北部・主任

研究者番号：60642676

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、麺の加工工程における揮発性成分の変化が加水時に大きいことを見出し、それがLOXによる不飽和脂肪酸の酸化によることを見出した。LOX活性は、長い期間国産小麦の代表品種であった「農林61号」において顕著に高く、生地とゆで麺の揮発性成分にアルデヒド類やケトン類が多かった。以上のことから、農林61号にみられた地粉としての独特な風味の形成は、LOXが生成するアルデヒド類やケトン類に由来することを明らかにした。本研究において対象とした食品はうどんであったが、小麦粉を使用した製品全般で同様の反応は起きていることが考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国産小麦を使用した麺においてみられた独特な風味は、以前は製粉性の悪さからくる小麦ふすまの切れ込みによるものと一般的に考えられてきた。しかし、本研究の結果、小麦中に含まれる不飽和脂肪酸酸化酵素であるリポキシゲナーゼの活性の高さに起因するものと解明された。本研究では麺を研究対象にしているが、同様の反応は小麦粉製品全般で起きているものと推測され、小麦粉製品の新商品開発などに有益な情報をもたらすものと考えられる。また、独特な風味を持つ小麦品種の開発においても、リポキシゲナーゼに関連する遺伝子領域に着目した育種を行うという新たな視点を提供するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, I found that the change in volatile components during the noodle processing process was significant during the addition of water, and that this was due to the oxidation of unsaturated fatty acids by LOX. LOX activity was significantly higher in Nourin 61, and aldehydes and ketones were abundant in the volatile components of dough and boiled noodles. These results indicate that the formation of the unique flavor of the ground flour in Nourin 61 is due to the aldehydes and ketones produced by LOX. Although the target food in this study was udon, it is likely that the same reaction occurs in all products using wheat flour.

研究分野：食品化学

キーワード：揮発性成分分析 製麺工程 国産小麦 GC/MS リポキシゲナーゼ

1. 研究開始当初の背景

麺用の国産小麦は、オーストラリア産小麦「**ASW**」と比較して、その麺に独特な甘みや香りを有することから、製麺業者などから根強い需要がある。しかし、近年の麺用小麦新品種には「農林 **61** 号」に代表される従来品種にあったような風味が感じられないとの意見が出ており、麺にした際の風味が良好な小麦粉および小麦品種の開発が望まれている。

小麦粉製品の風味については、これまでにパンやパスタなどでは研究例があり、揮発性成分を中心として多くの知見がある。その一方で、うどんの風味成分に関する研究は非常に少なかった。特に国産小麦を使用したうどんの独特な風味については、上記のように実需者からその根強い支持があるものの、その成分特性などについては未解明な点が多かった。

うどんの原材料は、主として小麦粉と食塩水という単純な構成であるために、麺の味・香りは原材料である小麦粉の影響を強く受ける。この小麦粉由来の味・香りの要因としては、小麦粉自体がもつ揮発性成分や呈味成分だけでなく、加水、混捏、熟成などの製麺工程において新たに生成する成分も含まれる。

これまでの当センターでの研究において、一般消費者に **ASW** と農林 **61** 号で作ったうどんを試食してもらい、どちらが好きかをアンケート調査したところ、味・香りの違いを有意に認識できることを確認した(成澤 *et al.*, 2015)。さらに、県産小麦や外国産小麦のうどんの官能評価を行った。その結果、農林 **61** 号では草の香りなどの評点が高く、一方で **ASW** や「さとのそら」、「きたほなみ」等の品種で甘みなどの評点が高い結果となり、品種間の差異が有意に感じられていることを確認した(成澤 *et al.*, 2016a, 成澤 *et al.*, 2016b)。しかしながら、これらの風味に関する評価の違いを生み出している原因は未だに不明であった。

2. 研究の目的

このような背景に基づき本研究は、農林 **61** 号に代表されるような国内産小麦を使用した麺の風味の中でも、特に香りを形成する揮発性成分の生成メカニズムを解明することで、国内産小麦を使用した麺の風味を向上させる成分指標を明らかにすることを旨とするものである。

3. 研究の方法

(1) 麺の加工工程における揮発性成分生成とその形成要因

農林 **61** 号、さとのそら、**ASW** の 1 等粉、2 等粉、およびあやひかりの 1 等粉の市販麺用粉を購入して使用した。小麦粉、生地、ゆで麺の揮発性成分はガスクロマトグラフ質量分析装置 (**Gas Chromatograph/Mass Spectrometry: GC/MS**) を用いて分析した。リテンションインデックス (**RI**) は、**C₈ ~ C₂₀** の直鎖アルカンのリテンションタイム (**RT**) を基準として、各ピークの **RT** から算出した。検出化合物について、**AMDIS** (バージョン **2.71: NIST 製**) を用いてデコンボリューション処理を行い、**NIST** ライブラリとの照合および **RI** の文献値との比較により、その推定を行った。小麦粉、生地、ゆで麺毎に **GC/MS** により推定された揮発性成分の乾燥重量換算したターゲットイオン (**TI**) 面積値を各種統計解析に供した。各種統計解析は **JMP 13.1.0 (SAS Institute 製)** および **R ver. 3.1.3 (<http://www.R-project.org>)** を用いて行った。

(2) LOX 活性の品種間差と揮発性成分生成への影響

農林 61 号, さとのそら, あやひかり, および関東 139 号の 3 品種 1 系統を用いた。これらの小麦品種は農業・食品産業技術総合研究機構(茨城県つくば市)の同一圃場において栽培されたものを使用した。各小麦粒は農業・食品産業技術総合研究機構保有の Bühler 社製のラボラトリーミル MLU-202 により製粉し, プレーキ粉(1B, 2B, 3B)およびミドリング粉(1M, 2M, 3M)の計 6 種類のストリーム粉と小ぶすま(Sh)および大ぶすまを得た。これら 6 種類のストリーム粉と小ぶすまを GC/MS による揮発性成分分析に供した。各種小麦粉試料の LOX 活性は Lulai ら(1976)の方法により測定した。

(3) カロテノイド含有量測定

各種小麦粉試料からカロテノイドを抽出し(Hussain *et al.*, 2015)、高速液体クロマトグラフ(HPLC)により分析を行った(Hentschel *et al.*, 2002)。

4. 研究成果

(1) 麵の加工工程における揮発性成分生成とその形成要因

GC/MS による揮発性成分測定の結果, 炭化水素類 4 種類, アルコール類 16 種類, アルデヒド類 17 種類, ケトン類 8 種類, フラン類 2 種類, アミン類 1 種類, 有機酸類 2 種類の計 50 化合物が検出された(表 1)。

全化合物の TI 面積値を主成分分析(PCA)に供した結果, 63 主成分が算出され, 第 1~2 主成分(PC1-2)でそれぞれ 39.5%, 22.6%の寄与率を示し, PC2 までの積算寄与率は 62.1%となった。

PC1 と PC2 をプロットした結果を図 1 に示す。各加工工程に寄与している化合物は, 小麦粉では炭化水素類やアルコール類であったのに対し, 生地やゆで麵ではアルデヒド類やケトン類であった。アルデヒド類とケトン類は, 小麦粉から生地になる際に増加し, ゆで時に減少するものと, ゆで時に増加しているも

表 1 GC/MS 測定において同定された化合物とそれらの分散分析(ANOVA)の結果

No.	Compound	Target Ion (m/z)	RT (min)	Calculated Kovats RI	Kovats RI literature ^{a,h,c,d}	ANOVA		
						Flour	Dough	Noodle
1	Octane	114	5.45	800	800	***	**	***
2	3-Methylbutanal	44	7.74	916	912	***	***	***
3	Pentanal	44	10.09	987	979	***	***	***
4	Decane	142	10.82	1009	1000	*	NS	ND
5	Hexanal	44	14.48	1114	1094	***	***	***
6	2-Butylfuran	81	16.07	1156	1123	***	***	***
7	Dodecane	170	17.71	1201	1200	***	NS	***
8	Heptanal	70	17.97	1209	1197	***	***	***
9	2-Heptanone	43	18.05	1211	1202	***	***	***
10	1-Penten-3-ol	57	18.27	1218	1204	***	***	***
11	2-Pentylfuran	81	18.99	1239	1240	***	***	***
12	(E)-2-Hexenal	42	19.27	1248	1247	ND	***	***
13	2-Methyl-1-butanol	57	19.85	1265	1227	***	***	***
14	3-Methyl-1-butanol	55	19.97	1269	1247	***	***	***
15	3-Octanone	72	20.04	1271	1266	**	***	***
16	Octanal	84	20.95	1298	1300	**	***	***
17	2-Octanone	58	21.01	1300	1297	***	***	***
18	1-Pentanol	42	21.10	1303	1280	NS	***	***
19	2,3-Octanedione	43	21.81	1328	1342	ND	***	***
20	3-Heptanol	59	21.87	1330	1306	NS	NS	***
21	(E)-2-Heptenal	83	22.13	1340	1318	***	***	***
22	6-Methyl-5-hepten-2-one	69	22.43	1350	1342	*	**	***
23	(E)-2-Penten-1-ol	57	22.67	1359	1321	ND	***	***
24	Tetradecane	85	22.88	1366	1400	***	*	**
25	Nonanal	98	23.49	1388	1400	***	***	***
26	1-Hexanol	55	23.53	1389	1359	**	***	***
27	3-Octanol	59	24.19	1414	1401	***	***	***
28	(E)-3-Octen-2-one	55	24.37	1422	1388	***	***	***
29	(E)-2-Octenal	70	24.75	1437	1408	***	***	***
30	1-Octen-3-ol	57	25.42	1463	1456	***	***	***
31	1-Heptanol	70	25.70	1474	1467	***	***	***
32	6-Methyl-5-hepten-2-ol	95	25.84	1480	1488	***	***	***
33	Acetic acid	60	25.93	1484	1477	***	NS	*
34	Decanal	70	26.08	1490	1502	***	***	***
35	2-Ethyl-1-hexanol	57	26.36	1501	1515	**	***	***
36	(E,E)-2,4-Heptadienal	81	26.45	1505	1497	***	***	***
37	Pyrrrole	67	26.98	1528	1526	NS	***	***
38	(E,Z)-3,5-Octadien-2-one	95	27.01	1530	1529	***	***	**
39	(E)-2-Nonenal	70	27.13	1529	1527	***	***	***
40	Benzaldehyde	77	27.17	1531	1529	***	***	***
41	1-Octanol	56	27.84	1562	1565	***	***	***
42	(E,E)-3,5-Octadien-2-one	95	28.20	1579	1569	**	***	***
43	(E,Z)-2,6-Nonadienal	70	28.26	1582	1575	***	***	***
44	(E)-2-Octen-1-ol	71	29.06	1620	1618	***	**	**
45	1-Nonanol	55	29.90	1660	1666	***	***	***
46	(E,E)-2,4-Nonadienal	81	30.81	1703	1708	***	***	***
47	(E,Z)-2,4-Decadienal	81	32.01	1765	1758	ND	***	***
48	(E,E)-2,4-Decadienal	81	33.01	1816	1819	ND	***	***
49	Hexanoic acid	60	33.78	1856	1849	***	NS	**
50	Benzyl alcohol	108	34.27	1881	1886	*	NS	**

a: www.chemspider.com, b: www.flavornet.org, c: www.pherobase.com, d: webbook.nist.gov
 ND: Not Detected, NS: Not Significant, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001

のがあった。アルデヒド類とケトン類は、直鎖状のものが主であることから、不飽和脂肪酸の酸化分解生成物であると推定された。また、小麦粉に比べて生地が増加していることから、加水に伴う酵素による脂肪酸の酸化に起因して生成したことが示唆された。

(2) LOX 活性の品種間差と揮発性成分生成への影響

各種ストリーム粉の LOX 活性および灰分値との相関を図 2 に示す。農林 61 号がすべてのストリーム粉において他の品種より LOX 活性が高いという結果となった ($p < 0.01$)。LOX 活性は灰分値と比例関係にあり、その灰分あたりの LOX 活性も農林 61 号が他の品種と比較して約 2 倍高かった(図 2b)。

各ストリーム粉から生地を調製し、揮発性成分を GC/MS で分析したところ、農林 61 号において多くのアルデヒド類やケトン類の TI 面積値は他の 3 品種よりも大きかった。以上より、生地およびゆで麺で増加した揮発性成分は LOX による不飽和脂肪酸酸化分解生成物であることが示唆された。また農林 61 号は他の品種に比べて高い LOX 活性を有することが示された。

(3) カロテノイド含有量測定

HPLC により検出されたカロテノイドは lutein、zeaxanthin、 β -cryptoxanthin、 β -carotene の 4 種であった(図 3)。Lutein は検出された 4 種のカロテノイドの

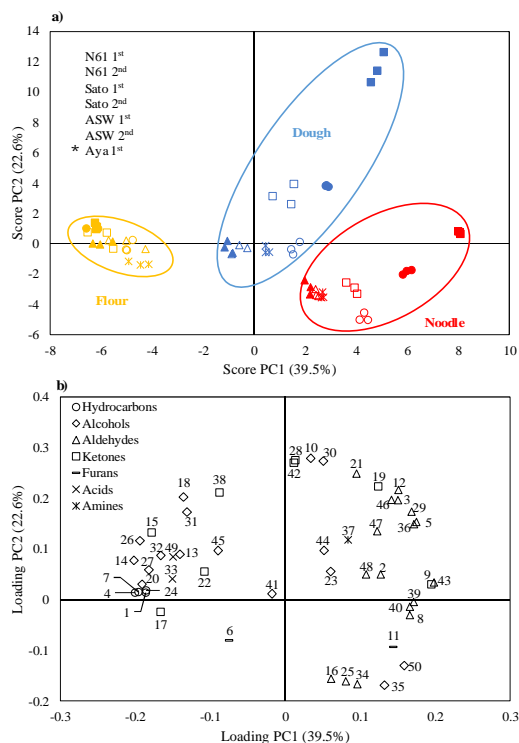


図 1 全製麺工程での PCA 結果 (PC1, PC2)

a) スコアプロット, b) ローディングプロット。n=3。図中の数字は表 1 の化合物番号を表す。各 PC の寄与率は、それぞれの軸のカッコ内に示す。1st と 2nd は小麦の等級を示す。ASW, Australian standard white; N61, 農林 61 号; Sato, さとのそら; Aya, あやひかり。

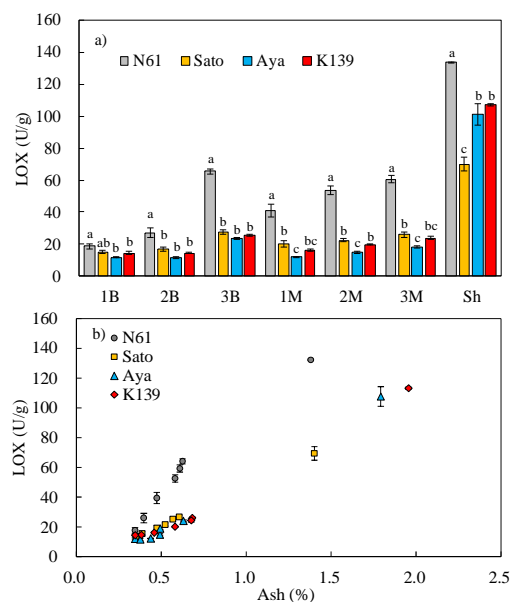


図 2 各種ストリーム粉の LOX 活性および灰分含有量と LOX 活性の相関

a) ストリーム毎の活性値の品種間比較, b) 品種毎の灰分値との関係性。エラーバーは標準偏差を示す (n=3)。グラフ上の異なる文字は有意差があることを示す ($p < 0.01$)。N61, 農林 61 号; Sato, さとのそら; Aya, あやひかり; K139, 関東 139 号。

中で最も含有量が多かった。この **lutein** は品種間ではさとのそらで最も多く、農林 **61** 号で最も少なかった。あやひかりと関東 **139** 号は同程度の含有量であった。これらのカロテノイドは抗酸化物質として作用することが知られている。よって農林 **61** 号は、さとのそらと比較して **LOX** 活性が高く、さらに **lutein** 含有量が低いことから、不飽和脂肪酸の酸化分解に由来する揮発性成分の生成能力が高いことが、うどんの風味の強さにつながったものと考えられた。

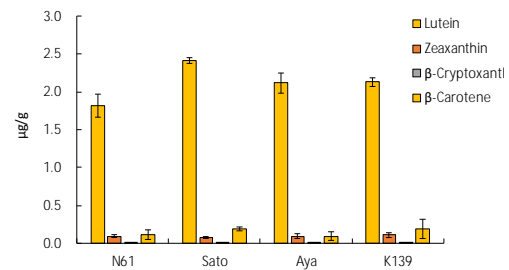


図 3 各種小麦粉のカロテノイド含有量
N61,農林 **61** 号; **Sato**, さとのそら; **Aya**, あやひかり; **K139**, 関東 **139** 号。

本研究は、麺の加工工程における揮発性成分の変化が加水時に大きいことを見出し、それらの化合物は **LOX** による不飽和脂肪酸の酸化分解生成物であることが示唆された。また、小麦粉中の **LOX** 活性は農林 **61** 号において顕著に高かった。以上のことから、農林 **61** 号にみられた地粉としての独特な風味の形成は、**LOX** が生成するアルデヒド類やケトン類に由来することを明らかにした。本研究の成果は、農林 **61** 号のふすまから抽出された **LOX** 含有画分を利用して、風味に特徴を出した麺用小麦粉製品や麺製品の開発などに活用することが可能である。

参考文献

- 成澤朋之, *et al.*, (2015) フレーバー評価技術の確立による製品の高付加価値化と品質管理への応用 - 埼玉県産小麦粉について -. 埼玉県産業技術総合センター研究報告. **13: 28-32**.
- 成澤朋之, *et al.*, (2016a) フレーバー評価技術の確立による製品の高付加価値化と品質管理への応用(第2報) - 埼玉県産小麦粉について -. 埼玉県産業技術総合センター研究報告. **14: 27-31**.
- 成澤朋之, *et al.*, (2016b) 食品素材としての小麦・小麦粉の研究開発動向 埼玉県産小麦利用技術の開発動向とその課題について. *Foods & Food Ingredients Journal of Japan* **221**, 205-213
- Hussain A., *et al.*, (2015) Carotenoid Content in Organically Produced Wheat: Relevance for Human Nutritional Health on Consumption. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **12**: 14068-14083
- Hentschel V, *et al.*, (2002) Spectrophotometric determination of yellow pigment content and evaluation of carotenoids by high-performance liquid chromatography in durum wheat grain. *J. Agric. Food Chem.* **50**: 6663-6668.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Narisawa Tomoyuki, Nakajima Hideo, Umino Marie, Kojima Tokiko, Yamashita Haruyuki, Kiribuchi-Otobe Chikako, Yamada Masaharu, Asakura Tomiko	4. 巻 87
2. 論文標題 Cultivar differences in lipoxygenase activity affect volatile compound formation in dough from wheat mill stream flour	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Cereal Science	6. 最初と最後の頁 231 ~ 238
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jcs.2019.04.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T Narisawa, H Nakajima, M Umino, T Kojima, T Asakura, M Yamada	4. 巻 8
2. 論文標題 Volatile Compounds from Japanese Noodles, "Udon," and their Formation during Noodle-Making	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Food Processing & Technology	6. 最初と最後の頁 700-700
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4172/2157-7110.1000700	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 成澤朋之
2. 発表標題 埼玉県産小麦を使用した麺の風味形成要因の解明による高付加価値化
3. 学会等名 日本食品科学工学会第66 回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 成澤朋之, 酒井孝一朗, 仲島日出男, 山下治之, 杉山健二郎, 乙部千雅子, 椎葉究, 山田昌治, 朝倉富子
2. 発表標題 小麦生地中の揮発性成分生成におけるLOXアイソザイムの影響
3. 学会等名 日本農芸化学会2020年度大会（大会中止, 要旨集発行）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 成澤朋之, 仲島日出男, 杉山健二郎, 山田昌治, 朝倉富子
2. 発表標題 うどん製造工程における呈味成分の変化
3. 学会等名 日本食品科学工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 成澤朋之, 海野まりえ, 仲島日出男, 小島登貴子, 杉山健二郎, 朝倉富子, 山田昌治
2. 発表標題 国内産小麦を使用した麺の風味形成要因の解明
3. 学会等名 日本食品科学工学会 第64回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小麦ストリーム粉の揮発性成分に影響する酵素活性
2. 発表標題 成澤朋之, 海野まりえ, 仲島日出男, 小島登貴子, 乙部 千雅子, 金子 成延, 杉山健二郎, 朝倉富子, 山田昌治
3. 学会等名 日本農芸化学会 2018年度大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------