

炭素安定同位体比分析による小麦加工品の 原料小麦の原産地判別法の検討

寺田 昌市¹, 一色 摩耶²

TERADA Shoichi, ISSHIKI Maya

要約

小麦加工品は、消費者の国産志向や品質の優れた新品種の普及により、「国産小麦使用」と表示した商品が近年増加している。表示の真正性を確認する科学的手法が必要であり、多様な種類の小麦加工品に対応できる原料小麦の原産地判別法を開発したので報告する。小麦加工品からでん粉を抽出することで、製粉、加熱、副原料の混合などの加工による安定同位体比への影響をわずかに抑えることに成功した。これにより、小麦粉試料で作成した1つの判別モデルでめん、パン、菓子類などの小麦加工品に適用できる判別法となった。国産（日本産）101点及び外国産72点の小麦粉試料（原産地は小麦加工品の原料小麦の原産地を示す。以下同じ。）の炭素安定同位体比を用いた判別モデルは、誤判別率が最小になる判別基準値を設定した場合、国産101点中99点（98%）、外国産72点全て（100%）を正しく判別した。

1. はじめに

「国産」、日本で生産されたことを表すこの言葉には、「安心」、「安全」、「おいしい」など優れたイメージを持たれる方も多いのではないだろうか。これは、もはや「国産ブランド」とも言える状況である。しかし、ブランドには偽物が出回るのが常であり、偽物は買いたくないと思う消費者がいることで、原産地表示の判別技術の必要性が生じている。消費者の原産地表示への関心の高さを受けて、食品表示法（平成25年法律第70号）に基づき定められた食品表示基準（平成27年内閣府令第10号）が平成29年9月に改正され、それまで原産地表示は生鮮食品と一部の加工食品に限られていたが、輸入品を除く全ての加工食品に原料原産地表示が義務づけられた。

農林水産消費安全技術センター（以下「FAMIC」という。）では、消費者の関心の高い「原産地」を中心に食品の表示が正しく表示されているかどうか科学的手法により検査している。FAMICが用いる科学的手法には、主にDNA分析、元素分析（元素組成分析）、安定同位体比分析がある。FAMICでは判別法の開発も行っており、これまでタマネギ、のり、りんごジュース等の原産地判別法を開発している^{2)~4)}。

小麦加工品は、うどん、中華めん、食パン、洋菓子等多種多様で日本の食生活になくなくてはならないものである。しかし、原料となる小麦の国産流通量は、平成27年度～令和元年度の平均で年間80万トンであり、同時期の外国（アメリカ、カナダ及びオーストラリア）からの年間輸入量493万トンに対してわずか16%にすぎない⁵⁾。一方で、国産小麦使用と表示された小麦加工品は市場で多く見られ、近年は増加傾向にある。これは、消費者の国産志向や外国産小麦に負けないうどんやパンへの加工適性をもつ新品種（「きぬあかり」、「せときらら」等）の普及の影響が

¹ 独立行政法人農林水産消費安全技術センター横浜事務所

² 独立行政法人農林水産消費安全技術センター本部

考えられる。また、平成 28 年以降の国産小麦の取引価格は、概ね外国産小麦と同水準であったが、ここ数年は流通量の多い「きたほなみ」や「ゆめちから」等の国産小麦が外国産小麦より高値で取引されている⁵⁾。このような状況の中、小麦加工品の原料小麦の産地表示の真正性を確認する原産地判別法が必要とされている。

小麦加工品の原産地判別法は、小麦粉を対象とした軽元素安定同位体比分析による原産地判別法が報告されており、炭素安定同位体比で国産が外国産よりも有意に低い値をもつことが示されている⁶⁾。しかし、この報告では小麦粉以外の小麦加工品への適用が検討されていない。小麦加工品には加工の方法や副原料の配合の様々な組合せがあるため、幅広い小麦加工品（特に加工度の高い商品）を適用対象とするには、加工による安定同位体比への影響を抑えることが非常に重要である。これまでに、FAMIC では、加工度の高いうなぎ蒲焼きの原産地判別法に軽元素安定同位体比を用いたことがあり⁷⁾、うなぎ表面に付着したたれの洗浄によって、加工による安定同位体比への影響を抑えることができた。そこで本研究では、炭素安定同位体比分析における加工の影響を軽減する試料調製の方法を検討し、幅広い小麦加工品を対象とした原料小麦の原産地判別法の開発を行った。

2. 実験方法

2.1 小麦の製粉、試料調製及び安定同位体比測定

2.1.1 小麦（玄麦）の製粉

判別モデル構築用の試料を小麦（玄麦）の形状で入手した場合は、異物を取り除いた小麦約 50 g に、霧吹きで水を加えて袋に密封した状態で一晚放置した後、石臼製粉機（Fidibus21 KoMo、家庭用電動石臼製粉機）により製粉し、150 μm のふるいにかけて通過した小麦粉とし、以降の検証に供した。全ての試料は小麦粉の状態以降の調製及び測定を行った。

2.1.2 試料調製

試料調製は、下記のとおり 3 種類の方法で行った。

一般的な方法	粉砕した小麦加工品を水で洗浄後、ヘキサソノイソプロパノール（3+2）により脱脂した。
簡易でん粉抽出法	粉砕した小麦加工品に 10 g/L ドデシル硫酸ナトリウム及び 0.15 mol/L 亜硫酸ナトリウムを含む溶液を加え、45℃で 15 分間加温後、遠心（14000 ×g、3 分間）した。得られた沈殿を 200 mL/L エタノールで洗浄後、ヘキサソノイソプロパノール（3+2）により脱脂した。
改良でん粉抽出法	粉砕した小麦加工品に 10 g/L ドデシル硫酸ナトリウム、0.15 mol/L 亜硫酸ナトリウム及び 10 mg/L プロテアーゼ K を含む溶液を加え、45℃で 15 分間加温後、遠心（14000 ×g、3 分間）した。得られた沈殿を 200 mL/L エタノールで洗浄、ヘキサソノイソプロパノール（3+2）により脱脂した。脱脂した試料に 16 mg/L α-アミラーゼ溶液を加え、45℃で 15 分間加温後、遠心（14000 ×g、3 分間）し上清を得た。

2.1.3 炭素安定同位体比測定

炭素安定同位体比の測定には、元素分析計（Flash 2000, Thermo Fisher Scientific）を接続した安定同位体比質量分析装置（Delta V Advantage, Thermo Fisher Scientific）を使用した。測定条件は、燃焼管温度 1000℃、還元管温度 750℃、GC カラム温度 65℃とした。

炭素安定同位体比は δ 値を使って国際測定標準からの偏差として表し、単位は‰とした。すなわち、

$$\delta^{13}\text{C} = \text{R}_{\text{試料}} / \text{R}_{\text{標準}} - 1$$

である。

ここで R は炭素の同位体比 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) を表し、標準は国際測定標準を表す。国際測定標準は、Vienna PeeDee Belemnite (VPDB) とした。

2.2 加工による安定同位体比への影響の検証

2.2.1 副原料、加熱による影響

小麦加工品及びそれに用いた原料小麦粉の炭素安定同位体比を比較して、副原料及び加熱による影響を確認した。試料調製の方法が「一般的な方法」と「簡易でん粉抽出法」の場合は、ゆでうどん、生中華めん及び食パンを製作して用いた。「改良でん粉抽出法」の場合は、ホットケーキ、ドーナツ及びクッキー（以下「菓子類」という。）を製作して用いた。これらの小麦加工品に使用した副原料及びその製作方法を表 1 に示す。加工による影響が許容範囲内か否かを判断するための検定は、JISZ8402-6 8.4.9.3.2 の平均値の差の検定を用い、その際の併行標準偏差は 0.10 ‰ とした。

表1 加工による影響の検証に用いた小麦加工品の副原料及び製作方法

小麦加工品	副原料	製作方法
ゆでうどん	塩	小麦粉に副原料を加えて練り合わせた後、製めんしたものを沸騰水中で約10分間加熱した。
生中華めん	卵、塩／かんすい	小麦粉に副原料を加えて練り合わせた後、製めんした。
食パン	砂糖、バター、スキムミルク、塩、ドライイースト	小麦粉に副原料を加えて、ホームベーカリーにより製した（焼成時の最高温度約170℃）。
ホットケーキ	牛乳、卵、砂糖、塩／膨張剤	小麦粉に副原料を加えてよく混ぜた後、180℃のフライパンで両面を中心に火が通るまで焼いた。
ドーナツ	卵、砂糖、牛乳、サラダ油／膨張剤	小麦粉に副原料を加えて練り合わせた後、厚さ10 mmのドーナツ状に成型して、170℃の油で3分間揚げた。
クッキー	バター、砂糖、卵	小麦粉に副原料を加えて練り合わせた後、厚さ5 mmに成型して、180℃のオーブンで12分間焼成した。

2.2.2 製粉による影響

ロール式製粉機（ビューラー社製試験用小型製粉機）又は石臼製粉機で同一ロットの小麦を製粉した。それぞれの小麦粉から「簡易でん粉抽出法」により調製し、これらの炭素安定同位体比を比較して製粉による影響を確認した。製粉による影響が許容範囲内か否かの検定は、2.2.1 と同様に行った。

2.3 判別モデルの構築

判別モデル構築用に、国産は 25 品種、101 点、外国産は 6 銘柄、72 点（米国産：3 銘柄、24 点、カナダ産：1 銘柄、23 点、豪州産：2 銘柄、25 点）の小麦（玄麦）又は小麦粉を用いた。国産は農業協同組合等から、外国産は製粉会社等からそれぞれ入手した。判別モデル構築用試料の詳細な産地を表 2 に示す。

表2 判別モデル構築用試料の産地内訳

国産試料		外国産試料	
北海道	51点	米国	24点
埼玉県	5点	カナダ	23点
群馬県、茨城県、長野県	各4点	豪州	25点
福岡県、愛知県、滋賀県、熊本県、栃木県、大分県、香川県	各3点		
岩手県、宮城県、兵庫県	各2点		
佐賀県、三重県、青森県、静岡県、秋田県、京都府	各1点		

3. 結果及び考察

3.1 加工による安定同位体比への影響の検証

3.1.1 副原料、加熱による影響

小麦加工品にはめん、パン、菓子等幅広い種類がある。これらは小麦粉に塩、卵、牛乳等の副原料を加え、ゆで、焼き、揚げ等の加熱をして作られる。この加工が炭素安定同位体比に与える影響を確認するため、「一般的な方法」で調製した、ゆでうどん、生中華めん及び食パンとそれに用いた原料小麦粉の炭素安定同位体比を測定し、その値を比較した。この結果を表3に示す。原料小麦粉との差は、ゆでうどんで0.20%、生中華めんで0.52%、食パン（クラム：柔らかい部分）で1.13%であり、いずれも許容差を超えていた。このように「一般的な方法」による調製には、副原料や加熱による影響があることが分かった。これは、ゆでうどんはゆでの工程によるでん粉の流出の影響、生中華めんは副原料の卵の影響、食パンは副原料の牛乳が加熱により変性した影響が主にあると推測される。加工による影響がある場合は、加工の種類ごとに判別モデルを作成する必要が生じるため、同一の方法を幅広い小麦加工品に対応することが困難となる。

そこで、副原料や加熱による影響は、小麦成分の流出又は小麦以外の成分の流入によって生じると予想して、小麦の主成分であるでん粉を抽出し、これを測定することでその影響を抑える方法を検討した。しかし、でん粉をそのまま抽出しようとすると、抽出液の粘度が高く、他の成分と分離することが難しかった。このため、小麦以外の成分（たんぱく質、水溶性成分、脂質等）を除去して、でん粉を残す方法として「簡易でん粉抽出法」を設計した。「簡易でん粉抽出法」で調製したゆでうどん、生中華めん及び食パンとその原料小麦粉の値を比較したところ、原料小麦粉との差は、ゆでうどんで0.02%、生中華めんで0.11%、食パン（クラム）で0.03%であり、「一般的な方法」と比べて大幅に小さくなり、いずれも許容差を下回っていた（表3）。これにより「簡易でん粉抽出法」が副原料や加熱による影響を抑えることが確認できた。これは、ゆでうどんのゆで工程で流出するでん粉が、「簡易でん粉抽出法」のたんぱく質を除去する過程で小麦及び他の小麦加工品でも同様に流出したためと考えられる。

一方、原料小麦粉との差が食パン（クラスト：「みみ」の部分）では0.15%であり、食パン（クラム）より大きく、許容差をわずかに上回っていた（表3）。この違いは、食パンのクラムとクラストの加工時の違いである焼成時に達する最高温度が原因と考えられる。クラムの最高温度が約

100℃で平衡に達するのに対して⁸⁾、クラストは170℃近くまで達していると予想される。高温で加熱することにより、メイラード反応等で変性した副原料が「簡易でん粉抽出法」では除去できなくなったものと推察される。

表3 小麦加工品における炭素安定同位体比への加工による影響

試料調製方法	試料	併行 点数	炭素安定同位体比(‰)		原料小麦粉 との差(‰)	許容差 (‰)
			平均値	標準偏差		
一般的な 方法	ゆでうどん	2	-24.16	0.02	0.20	0.20
	— 原料小麦粉	2	-24.36	0.04	—	—
	生中華めん	2	-24.72	0.03	0.52	0.20
	食パン	2	-24.11	0.04	1.13	0.20
	— 原料小麦粉	2	-25.24	0.00	—	—
簡易 でん粉 抽出法	ゆでうどん	3	-24.00	0.04	0.02	0.16
	— 原料小麦粉	3	-24.02	0.03	—	—
	生中華めん	2	-24.86	0.01	0.11	0.15
	食パン(クラム)	20	-24.78	0.04	0.03	0.06
	食パン(クラスト)	2	-24.60	0.04	0.15	0.15
— 原料小麦粉	20	-24.75	0.07	—	—	
改良 でん粉 抽出法	ホットケーキ	2	-27.23	0.08	0.14	0.20
	ドーナツ	2	-27.28	0.00	0.08	0.20
	クッキー	2	-27.25	0.01	0.12	0.20
	— 原料小麦粉	2	-27.37	0.07	—	—

この結果を受けて、変性したたんぱく質を除去しやすくするため、除去時にプロテアーゼを追加し、また、でん粉以外の不溶性成分を除くため、アミラーゼによってでん粉を溶液化し精製する工程を追加した「改良でん粉抽出法」を設計した。検証は、食パンに比べて副原料に卵、牛乳を多く使用し、高温で加熱した菓子類の褐変部分を避けてサンプリングして用いた。「改良でん粉抽出法」で調製した菓子類とその原料小麦粉の炭素安定同位体比を比較したところ、原料小麦粉との差は0.08~0.14‰であり、いずれも許容差を下回っていた(表3)。これにより「改良でん粉抽出法」が、より多くの副原料やより高温の加熱による影響を抑えられることが確認できた。

3.1.2 製粉による影響

3.1.1において、ゆでうどんでは、でん粉の流出による小麦粉の成分割合の変化が炭素安定同位体比に影響を与えると推測された。このことから予想すると、製粉方法により得られる小麦粉の成分割合が異なることで、同一ロットの小麦からでも様々な炭素安定同位体比の小麦粉を作製することができる。

そこで、成分割合の異なる小麦粉が調製されるロール式製粉機と石臼製粉機により同一ロットの小麦を製粉して、「簡易でん粉抽出法」により製粉による影響を抑えることができるかを検証した。試料ごとに各製粉機による小麦粉の炭素安定同位体比を比較したところ、製粉による差は0.06‰及び0.08‰であり、いずれも許容差を下回っていた(表4)。これにより「簡易でん粉抽出法」により製粉による影響を抑えられることが確認できた。

表4 製粉による炭素安定同位体比への影響

試料	併行 点数	炭素安定同位体比 (‰)		製粉による 差 (‰)	許容差 (‰)
		平均値	標準偏差		
試料 1 (ロール式製粉機)	4	-25.03	0.01	0.08	0.14
	4	-24.95	0.03		
試料 2 (ロール式製粉機)	4	-22.97	0.04	0.06	0.14
	4	-23.03	0.06		

3.2 判別モデルの構築

3.2.1 判別モデルの炭素安定同位体比の分布と判別精度

3.1 において、でん粉抽出により製粉、加熱、副原料等の加工による影響を抑えることに成功し、小麦粉試料で作成した1つの判別モデルをめん、パン、菓子等の幅広い小麦加工品に適用できる判別法となることが分かった。次に、小麦加工品のモデル試料として、国産101点及び外国産72点の小麦粉の炭素安定同位体比を測定した結果を図に示す。国産が -26.7 ± 0.6 ‰（平均値±標準偏差、以下同じ。）に対して、米国産が -24.4 ± 0.4 ‰、カナダ産が -24.5 ± 0.4 ‰、豪州産が -23.2 ± 0.4 ‰であった。これらは、鈴木ら（2019）の報告と同様、国産が外国産よりも低い炭素安定同位体比を示す傾向であった⁶⁾。なお、鈴木らの報告値よりも平均値で0.6~1.6‰低いのは、でん粉を抽出したことによる測定成分の違いから生じたと考えられる。

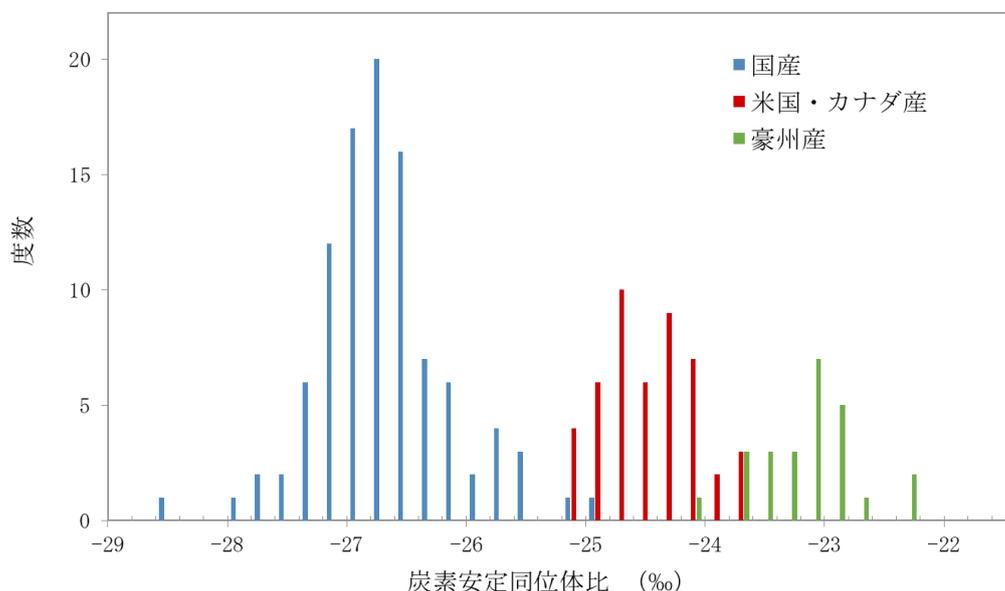


図 判別モデルの炭素安定同位体比のヒストグラム

国産小麦の栽培環境の特徴は、外国産小麦の栽培環境に比べて年間降水量が多く、水田作が多いことが挙げられる。小麦産地付近⁹⁾¹⁰⁾の年間降水量(平年値)¹¹⁾は、北海道帯広市が920 mm(国内では比較的少ない降水量)に対して、米国ワシントン州東部(Spokane)が421 mm、カナダアルバータ州南東部(Medicine Hat)が327 mm、豪州西オーストラリア州パース近郊(Wongan Hills)が395 mmであり、国産小麦の方が湿潤な栽培環境であることがわかる。また、日本の小麦の作付面積の64%が水田作であり、その割合は北海道以外の都府県では94%(北海道は26%)になる。水田は土壌の保水力が高く、小麦では湿害が出やすい程であるので、湿潤な栽培環境になりやすい。これまでの報告では、鈴木ら(2009)がコメの水田作と畑作での炭素安定同位体比への影響について報告しており、水田作の方が低い炭素安定同位体比となる傾向であった¹²⁾。また、炭素安定同位体比は植物の水利用効率の指標として使われることがあり、水利用効率が小さい場合、すなわち湿潤な栽培環境にある場合は、炭素安定同位体比は低くなる傾向にあることが知られている¹³⁾。これは、湿潤な栽培環境では、葉の気孔が開いた状態になりやすく、蒸散が増えて水利用効率が下がるとともに、気孔内の二酸化炭素も入れ替わりやすくなり、取り込みにくい重い二酸化炭素(¹³CO₂)の濃度が上がらなくなるため、軽い二酸化炭素(¹²CO₂)がより多く取り込まれることで、炭素安定同位体比(¹³C/¹²C)は低くなると説明できる。このように、国産小麦が外国産小麦よりも低い炭素安定同位体比を示す傾向は、国産小麦の方が湿潤な栽培環境であることがその要因のひとつとして考えられる。

炭素安定同位体比を用いた判別モデルは、誤判別率が最小になる判別基準値(-25.4%)を設定した場合、国産101点中99点(98%)、外国産72点(100%)全てを正しく判別し、小麦加工品の原料小麦の原産地判別法としてFAMICでの検査に使用できる判別精度があることが分かった。なお、今回の判別モデルは50gと少量の小麦を製粉した小麦粉試料を多数用いているが、市販の小麦粉は数百倍以上の多量な小麦から製粉されているため、各原産国の炭素安定同位体比は平均化されておりその範囲より狭いものと予想できる。

また、小麦加工品は複数原産国の小麦粉を混ぜて使うことも想定されるが、その場合でも小麦加工品の炭素安定同位体比は、配合割合に応じて各原産国の値の間の値を示す。このため、多少異なる産地の小麦を配合した場合でも、主に配合された原産国を推定することが可能である。

3.2.2 判別モデルにおける炭素安定同位体比の品種間差の検証

モデル試料の国産及び米国産について、同一品種(米国産では銘柄)で5点以上測定している小麦の品種に対して産地ごとに一元配置分散分析を行い、品種間差があるかを検証した。その結果、国産6品種の平均値が-26.8~-26.6% (国産の平均値:-26.7%)、米国産3銘柄の平均値がいずれも-24.4% (米国産の平均値:-24.4%)であり、国産、米国産ともに有意水準5%で有意な品種間差は認められなかった(表5)。

表5 判別モデルにおける炭素安定同位体比の品種間差

品種・銘柄	主な栽培地域	点数	炭素安定同位体比 (‰)		一元配置分散分析によるp値
			平均値	標準偏差	
きたほなみ	北海道	32	-26.6	0.5	0.93
ゆめちから	北海道	8	-26.7	0.2	
春よ恋	北海道	9	-26.8	0.6	
さとのそら	関東北部	7	-26.8	0.6	
チクゴイズミ	九州北部	7	-26.7	0.2	
農林61号	近畿・東海	5	-26.6	0.7	
DNS	米国北部平野※	8	-24.4	0.4	0.98
HRW	米国中部平野※	8	-24.4	0.4	
WW	米国北西部※	7	-24.4	0.4	

※ DNS、HRW、WWの主な栽培地域は、判別モデルに使用した試料の栽培地域ではなく、一般的な栽培地域を示す。具体的には、米国北部平野（モンタナ州、ノースダコタ州、サウスダコタ州、ミネソタ州）、米国中部平野（カンサス州、ネブラスカ州、コロラド州、テキサス州、モンタナ州、オクラホマ州）、米国北西部（ワシントン州、オレゴン州、アイダホ州）である。

また、各品種は主な栽培地域が異なることから、各栽培国内での地域差も大きくはないことが読み取れる。このように、小麦粉の炭素安定同位体比は、原料小麦の品種や国内地域差の影響は大きくないことが分かった。

4. まとめ

本研究では、多様な種類の小麦加工品に対応できる原料小麦の原産地判別法を検討した。小麦加工品から除たんぱく質、200 mL/L エタノール洗浄、脱脂、アミラーゼ抽出によりでん粉を抽出することで、製粉、加熱、副原料の混合等の加工による安定同位体比への影響をわずかに抑えることが可能となった。これにより、小麦粉試料で作成した1つの判別モデルをめん、パン、菓子等の幅広い小麦加工品に適用可能とした。また、国産（日本産）101点及び外国産72点の小麦粉試料の炭素安定同位体比を用いた判別モデルを作成し、誤判別率が最小になる判別基準値を設定した場合、国産101点中99点（98%）、外国産72点全て（100%）を正しく判別した。

以上の結果から、多様な種類の小麦加工品の原料小麦の原産地表示の真正性を検証するための方法を確立した。

なお、今後、原料小麦の栽培環境や栽培地域の変化等により判別モデルの判別能力が変化していくことがあるため、定期的に原産地の確かな試料を用いて、判別モデルの妥当性の確認を行うことが望ましい。

謝辞

本研究を実施するにあたり、試料の提供にご協力いただきました農業協同組合、製造業者、試験・研究機関、行政機関等の皆様に心より御礼申し上げます。

文献

- 1) 日本政策金融公庫, 消費者動向調査 (令和3年7月調査) 食の志向等に関する調査結果 (令和3年9月)
- 2) 有山薫, 門倉雅史: 無機分析によるタマネギの原産国 (日本-外国) 判別法の開発, 農林水産消費安全技術センター食品関係等調査研究報告, **32**, 1-5 (2008)
- 3) 澤田桂子, 井口潤, 浪越充司: DNA分析によるのりの原産地判別法の検討, 農林水産消費安全技術センター食品関係等調査研究報告, **38**, 16-22 (2014)
- 4) 渡邊彩乃, 寺田昌市: 炭素・酸素安定同位体比分析によるりんごジュースの原料りんごの原産地判別法の検討, 農林水産消費安全技術センター食品関係等調査研究報告, **40**, 25-32 (2017)
- 5) 農林水産省, 麦をめぐる最近の動向 (令和3年9月)
- 6) 鈴木彌生子: 軽元素安定同位体比分析及び微量元素分析による食品の産地判別, 分析化学, **68** (9), 671-682 (2019)
- 7) 一色摩耶, 中村哲, 高嶋康晴, 寺田昌市, 鈴木彌生子: 安定同位体比分析によるうなぎ加工品の原料原産地判別, 日本食品科学工学会誌, **61** (2), 54-61 (2014)
- 8) 相良泰行: 食パン焼成プロセスにおける熱及び物質移動のメカニズム, 冷凍, **80** (932), 23-29 (2005)
- 9) 関根久子: 米国における小麦生産の現状と課題, 関東東海北陸農業経営研究, **108**, 33-42 (2018)
- 10) 関根久子, 齋藤陽子, Matt Yamamoto: 豪州における小麦生産の実態と特徴, 関東東海北陸農業経営研究, **109**, 33-41 (2019)
- 11) 各種データ・資料, 気象庁, 2021-9-30, <<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>>
- 12) 鈴木彌生子, 中下留美子, 赤松史一, 伊永隆史: 安定同位体比分析による国産米の産地及び有機栽培判別の可能性, 分析化学, **58** (12), 1053-1058 (2009)
- 13) 半場祐子: 光合成研究のための安定同位体測定法, 低温科学, **67**, 73-82 (2009)