

令和3年3月31日

安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンス研究推進
委託事業のうち短期課題解決型研究
研究成果報告書

課題番号：3006

フキ中のピロリジジナルカロイド類の低減に関する調査研究

研究期間：平成30年度～令和2年度（3年間）

研究総括者名：等々力 節子

試験研究機関名：フキPA低減コンソーシアム

- ・ 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
- ・ 愛知県農業総合試験場
- ・ 愛知県経済農業協同組合連合会
- ・ 群馬県農業技術センター
- ・ 徳島県立農林水産総合技術支援センター
- ・ 東京家政学院大学

＜別紙様式３＞最終年度報告書

１ 研究目的

ピロリジジナルカロイド（PA）類は、一部のキク科、ムラサキ科等の植物に含まれる天然毒素で、PA類の一部には、肝毒性を示すものがあり、海外ではPA類を含む植物由来の食品の大量摂取や継続摂取による健康被害が報告されている。わが国では、農林水産省の先行調査において、キク科フキ属のフキにPA類が比較的高い濃度で含まれている場合があるが、伝統的なあく抜きによってPA類を減らせることが明らかにされている。しかし、フキの品種や部位の違いによるPA類の蓄積量の変動や、収穫時期や栽培条件等がPA類の蓄積に及ぼす影響の詳細は未解明で、調理によるPA類の動態についても詳細な検討はなされていない。

本研究では、フキ中のPA類の蓄積に影響を及ぼす要因を解明し、その結果から、PA類の蓄積を抑制する栽培方法の開発に資する情報を整理する。また、フキ中のPA類を低減する加工処理法を開発することを目的とする。開発した低減技術について、生産者、加工事業者、消費者向けの資料を作成し、フキの生産や加工・調理の方法、消費の改善のための指導・情報提供への活用を目指す。

2 研究内容

(1) 研究課題

1) フキ中のピロリジジナルカロイド類の蓄積に及ぼす要因の解明 ((国研) 農業・食品産業技術総合研究機構、愛知県農業総合試験場、愛知県経済農業協同組合連合会、群馬県農業技術センター、徳島県立農林水産総合技術支援センター)

各小課題単位で栽培したフキ試料について、PA類の濃度の部位、収穫時期及び品種間差を明らかにする。

(ア) 愛知県におけるフキの部位別、時期別PA類変動の調査と品種間比較

- フキの部位別PA類の調査：

生産農家圃場で愛知品種「2」を標準栽培し、葉柄の収穫適期にフキ植物体全体を採取し、葉、葉柄（上部、中部、下部）、地下茎に分け、PA類の濃度を調査する。（平成30—令和1）

- 収穫時期別のPA類の調査：

生産農家圃場において、県内品種2種（愛知品種「1」または「2」）を作型が異なる3圃場で、10月から翌5月まで栽培する。フキ（葉柄）が流通する時期（10月から翌5月）に一ヶ月おきにサンプリングし、時期別のPA類の濃度を調査する。（平成30—令和1）

- 品種によるPA類の比較：

全国から品種（19品種）を収集し、同一条件で栽培する。花穂および葉柄を採取し、PA類濃度を測定し、品種間差を調査する。平成30—令和1年度にかけてはプランターで栽培する。プランターでの試験結果を受けて令和1—2年度は5—10品種について現地試験圃場での栽培を行う。（平成30—令和2）。

(イ) 群馬県におけるフキの部位別、時期別PA類変動の調査と品種間比較

- フキの部位別PA類の調査：

現地農家圃場において栽培されている2品種（群馬品種「1」または「2」）を葉柄の収穫適期に、フキ植物体全体を採取し、葉、葉柄（上部、中部、下部）、地下茎に分け、PA類の濃度を調査する。（平成30—令和1）

- 収穫時期別のPA類の調査：

現地農家圃場において栽培されている2品種（群馬品種「1」または「2」）について、フキが流通する時期（4、5月）に葉柄をサンプリングするとともに、フキノトウ（花穂）が流通する時期（1—3月）に花穂をサンプリングし、時期別のPA類の濃度を調査する。（平成30—令和1）

- 品種によるPA類の比較：全国から収集した品種の中からフキノトウ用を主に10品種を選定し、同一条件で栽培する。花穂および葉柄を採取し、PA類濃度を測定し、品種間差を調査する。平成30年度に50 Lのポットで栽培を開始し、花穂のPA類濃度の比較を行う。（平成30—令和2）

(ウ) 徳島県におけるフキの部位別、時期別PA類変動の調査

- フキの部位別PA類の調査：

試験圃場において徳島品種「1」を標準栽培し、葉柄の収穫適期に、フキ植物体全体を採取し、葉、葉柄（上部、中部、下部）、地下茎に分け、PA類の濃度を調査する。（平成30—令和2）

- ・ 収穫時期別のPA類の調査：試験圃場において、徳島品種「1」を標準栽培する。フキ（葉柄）が流通する時期（4月）に葉柄、フキノトウ（花穂）は流通する時期（2、3月）に花穂をサンプリングし、時期別のPA類の濃度を調査する。（平成30ー令和2）

2）フキ中のピロリジジナルカロイド類の蓄積を抑制する栽培方法の開発（（国研）農業・食品産業技術総合研究機構、愛知県農業総合試験場、群馬県農業技術センター、徳島県立農林水産総合技術支援センター）

各小課題単位で施肥等の条件を変えて栽培したフキ試料について、PA類の濃度の変動を明らかにする。

（ア）愛知県におけるPA類を軽減する栽培技術の検証

愛知品種「1」について、以下の栽培条件を変え、フキ中のPA類濃度を調査し、最適な栽培条件を明らかにする。

- ・ 施肥条件：

愛知品種「1」についてN（窒素）、P（リン酸）、K（カリウム）の三成分の施肥条件を変えて栽培する。平成30ー令和1年度はプランターでの掛け流しの養液栽培試験を行う。収穫適期（1月および4月）に葉柄をサンプリングし、施肥条件によるPA類の濃度を分析、評価する。平成30ー令和1年度の結果を受け、令和2年度は試験圃場での栽培試験を行う。施肥条件：慣行施肥、N減肥（慣行の1/2倍量）、N過剰施肥（慣行の2倍量）、P無施肥、P過剰施肥（慣行の2倍量）、K無施肥、K過剰施肥（慣行の2倍量）
- ・ 土壌pH条件：

現地のフキ圃場の土壌（酸性土壌）を使用し、石灰を施用し土壌pHを酸性、中性、弱アルカリ性の3条件に設定し、平成30-令和1年度にプランターを用いて標準施肥条件で試験を行う。収穫適期に葉柄（1月および4月）をサンプリングし、土壌pH条件によるPA類の濃度を分析、評価する。
- ・ 灌水条件：

灌水条件を変えて栽培し、土壌水分をpF1.5、2.0、2.5の3条件で栽培する。令和1ー2年度に試験圃場での栽培試験を行う。収穫適期に葉柄（1月および4月）をサンプリングし、灌水条件によるPA類の濃度を分析、評価する。

※ 愛知県の試験品種では花穂のサンプリングは行わない。葉柄の収穫は初年度の経験から、1月、4月とする。

（イ）群馬県におけるPA類を軽減する栽培技術の検証

群馬品種「1」について令和1ー令和2年度に施肥条件を変えて圃場試験を行う。収穫適期に花穂（3月）および葉柄（5月）をサンプリングし、施肥条件によるPA類の濃度を分析、評価する。3条件：減肥（慣行の1/2倍量）、慣行施肥、過剰施肥（慣行の2倍量）

（ウ）徳島県におけるPA類を軽減する栽培技術の検証

徳島県内で栽培される2品種（徳島品種「1」および「2」）について施肥条件を変えて栽培する。徳島県のフキの栽培においても、群馬県同様に定植後3年程度、追肥をしつつ栽培が行われていることから、圃場を整備し定植後3年間、追肥条件を変えて栽培する。平成30年度に試験圃場に徳島品種「1」（生育不良のため、令和1年度に試験圃

場を別場所に新設) および徳島品種「2」を定植し、以降、適宜追肥条件を変えて令和2年度まで栽培する。収穫適期に花穂(2~3月)および葉柄(4月)をサンプリングし、施肥条件によるPA類の濃度を分析、評価する。3条件: 無施肥、慣行施肥、過剰施肥(慣行の2倍量)

3) フキ中のピロリジジナルカロイド類を低減できる加工処理法の開発(東京家政学院大学)

(ア) PA類を低減するあく抜き法の開発

標準栽培されたフキ(葉柄可食部位、新鮮なもの)を使用し、あく抜き条件を検討する。

- ① 切り方: 元の葉柄の長さを半分に切る、5 cmに切るなど
- ② ゆで処理後の水さらし時間の検討: 0 時間、0.5 時間、1~24 時間の間で数点
- ③ ゆで処理の有無: ゆで処理し水さらしする(対照はゆでずに水さらしのみ)
- ④ 塩、重曹、酢の添加の影響: ゆで処理後、塩、重曹、酢をそれぞれ添加した水にさらす(対照は水)
- ⑤ 塩ずりの有無: 塩ずりをしてゆでた後、水にさらす(対照は塩ずり無しでゆで処理後水にさらす)

あく抜き後、皮むきし可食部のPA類の含量を調査する。

添加物の効果が見られた場合は、添加物濃度も検討する。

上記試験での最適条件を組み合わせて、あく抜きの最適条件を明らかにする。

標準栽培されたフキノトウ(花穂可食部位、新鮮なもの)についても葉柄同様に、あく抜き条件を検討する。

(イ) 調理におけるPA類低減の可能性の検証

フキおよびフキノトウの各種調理前後のPA類の濃度を測定し、PA類が低減できるかどうか調査する。

フキ: 煮物、佃煮、油炒め、砂糖漬け、焼きなど

フキノトウ: 天ぷら、フキ味噌、おひたしなど

(ウ) フキ調理品中のPA類の含有量推計

小課題2(上記(イ))での検討結果を受け、主なフキ調理品の一人分の摂食量に起因するPA類の摂取量を推計し、日本人のPA類の暴露量評価に資する知見を取りまとめる。

(2) 達成目標

- ・ フキPA類の定量法を確立し、フキ中PA類の部位別、時期別、品種別による差を明らかにする。
- ・ フキの栽培条件(施肥、土壌pH、灌水条件)でフキ中PA類濃度が変動するかどうかを明らかにする。
- ・ PA類の低減に効果のあるあく抜き法や調理によるPA類の低減の可能性を見出し、フキ調理の摂食によるPA類の摂取量を推計し、日本人のPA類の暴露量評価に資する知見を得る。

(3) 研究成果の行政施策・措置への貢献

研究課題1) 2) の成果である、PA濃度の品種・系統間差、PA類蓄積を増加させないフ

キの栽培管理の要点、およびPA類濃度を低減する葉柄の出荷調整法についての情報は、論文文化が可能な範囲を検討して公表するとともに、消費・安全局を通じて、生産者団体や都道府県の関係者に周知する。研究課題3)の調理加工によるPA類の低減効果に関する情報は、論文公表するとともに、行政が作成する消費者向けの情報提供ツール等に反映して、周知することで、伝統的なあく抜き処理による喫食習慣がPA低減に役立っていることを周知するとともに、消費者のPA類摂取量のさらなる低減に役立てる情報として発信する。

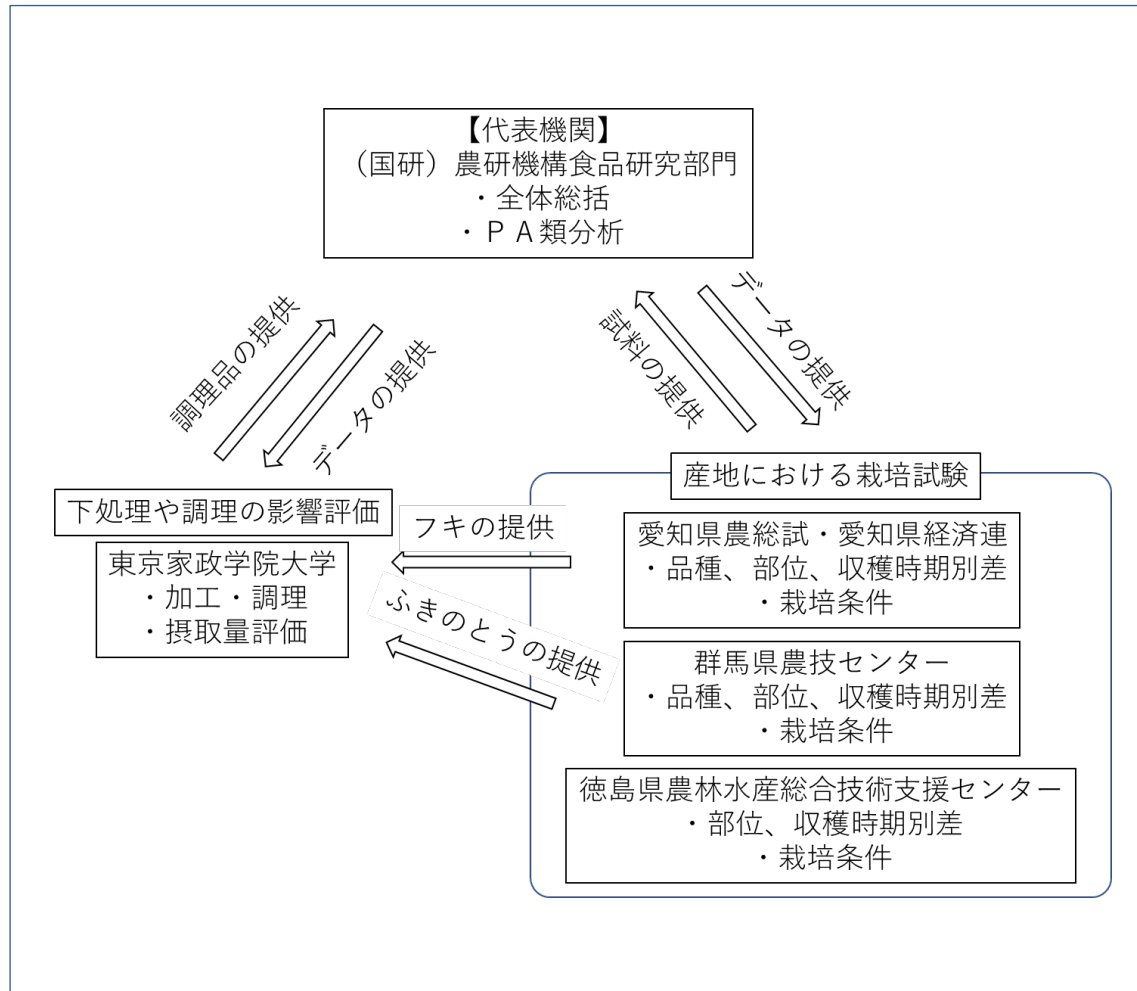
成果の知財化については、現時点において予定していない。

(4) 年次計画

項目	平成30年度	令和元年度	令和2年度
1. フキ中のピロリジジナルカロイド類の蓄積に及ぼす要因の解明	PA類濃度の定量と解析（農研機構）		
（1）愛知県におけるフキの部位別、時期別 PA 類変動の調査と品種間比較	部位・時期・品種間比較調査（愛知県農総試・愛知県経済連）		
（2）群馬県におけるフキの部位別、時期別 PA 類変動の調査と品種間比較	部位・時期・品種間比較調査（群馬県農業技術センター）		
（3）徳島県におけるフキの部位別、時期別 PA 類変動の調査	部位・時期別調査（徳島県立農林水産総合技術支援センター）		
2. フキ中のピロリジジナルカロイド類の蓄積を抑制する栽培方法の開発	PA類濃度の定量と解析（農研機構）		
（1）愛知県における PA 類を軽減する栽培技術の検証	施肥・土壌 pH 灌水条件の調査（愛知県農総・愛知県経済連）		
（2）群馬県における PA 類を軽減する栽培技術の検証	施肥条件調査（群馬県農業技術センター）		
（3）徳島県における PA 類を軽減する栽培技術の検証	施肥条件調査（徳島県立農林水産総合技術支援センター）		
3. フキ中のピロリジジナルカロイド類を低減できる加工処理法の開発	PA類濃度の定量と解析（農研機構）		
（1）PA 類を低減するあく抜き法の開発	あく抜き低減法の開発（東京家政学院大）		
（2）調理における PA 類低減の可能性の検証	調理法の検証（東京家政学院大）		
（3）フキ調理品中の PA 類の含有量推計	調理品におけるPA類の濃度推計（東京家政学院大）		

(5) 研究体制

フキPA類低減コンソーシアム



(6) 実施体制

項目	担当研究機関	研究担当者	エフォート (%)
研究総括者	農研機構食品研究部門	◎ 等々力 節子	10
1 フキ中のピロリジジアンアルカロイド類の蓄積に及ぼす要因の解明	農研機構食品研究部門	○ 木村 俊之	20
(1) 愛知県におけるフキの部位別、時期別PA類変動の調査と品種間比較	愛知県農業総合試験場 愛知県経済農業協同組合連合会	△ 番 喜宏 (～2019.3) 恒川靖弘 (2019.4～2020.3) 大川浩司 (2020.4～) 小澤美沙 (～2019.3) 田中久留美 (2019.4～) 伊藤 啓司 河野恒賢 (～2020.3)	20 20 20 10 10 10 5
(2) 群馬県におけるフキの部位別、時期別PA類変動の調査と品種間比較	群馬県農業技術センター	△ 野口英樹 (2019.4～) 上村 学 (～2019.3、2020.4～) 小泉丈晴(～2020.3)	20 10 10
(3) 徳島県におけるフキの部位別、時期別PA類変動の調査	徳島県立農林水産総合技術支援センター	△ 高木 和彦 栗原桜子 (2019.5～2020. 3) 日野 聖也 (2020.4～)	30 10 30
2. フキ中のピロリジジアンアルカロイド類の蓄積を抑制する栽培方法の開発	農研機構食品研究部門	○ 木村 俊之	前出
(1) 愛知県におけるPA類を軽減する栽培技術の検証	愛知県農業総合試験場	△ 嶋本千晶 佐藤広幸 (～2020.3) 西川航軌 (～2019.3) 加藤賢治 (2019.4～)	20 20 20 20

			安永美紗子 (2020.4～)	2 0
	愛知県経済農業協同 組合連合会		田中久留美 (2020.4～)	前出
			伊藤 啓司 (2020.4～)	前出
(2) 群馬県におけるPA類を軽減する栽培技術の検証	群馬県農業技術センター	△	野口英樹 (2019.4～)	前出
			上村 学 (～ 2019.3、 2020.4～)	前出
			小泉丈晴(～ 2020.3)	前出
(3) 徳島県におけるPA類を軽減する栽培技術の検証	徳島県立農林水産総合技術支援センター	△	高木和彦 栗原桜子 (2019. 5～ 2020.3)	前出 前出
			日野 聖也 (2020.4～)	前出
3. フキ中のピロリジジナルカロイド類を低減できる加工処理法の開発	東京家政学院大学	○	竹中真紀子	1 0
(1) PA類を低減するあく抜き法の開発	東京家政学院大学	△	竹中真紀子 三宅紀子 伊藤有紀 (2019.4～ 2020. 3)	前出 1 0 1 0
(2) 調理におけるPA類低減の可能性の検証	東京家政学院大学	△	竹中真紀子 三宅紀子 伊藤有紀 (2019.4～ 2020. 3)	前出 前出 前出
(3) フキ調理品中のPA類の含有量推計	東京家政学院大学	△	竹中真紀子 三宅紀子 伊藤有紀 (2019.4～ 2020. 3)	前出 前出 前出

(7) 各年度の研究費

平成30年度	6,593,481円
令和元年度	6,393,489円
令和2年度	7,100,000円

3 研究推進会議の開催状況

別添のとおり。

4 研究成果の概要

(1) 主な成果

1) 成果の内容

①フキ中の PA 類蓄積の変動要因（品種、収穫期、植物体の部位）について、以下を明らかにした。

- ・品種・系統においては、明確な差異が認められ、PA 蓄積性の低い品種と高い品種には PA 類濃度に 10 倍以上の差が認められた。
- ・部位については、地下茎>根>花穂（フキノトウ）>葉柄（フキ）下部>葉柄（フキ）中部>葉柄（フキ）上部>葉の順の PA 濃度が小さく、植物体内で大きな差が認められた。
- ・葉柄（フキ）は地際から葉にかけて明瞭に PA 濃度が減少する分布が認められ、一部品種を除き、葉にはほとんど PA 類は含まれていなかった。
- ・葉柄を細分化した濃度測定の結果、地際（地上 0 cm）から 5 cm までの葉柄中に葉柄全体の 25～50%（季節により変動）量の PA 類が含まれていた。（愛知県農総試験）
- ・葉柄の収穫時期による濃度変動では、秋期（10、11月）は PA 類濃度が高く、冬期（1、2、3月）に低下し、春期（4、5月）に再び上昇する地温と連動した変化が認められた。

②施肥条件や土壌条件の PA 類濃度への影響を検討した結果、現行の栽培条件の積極的な改良により、PA 類濃度を大幅に低減させる栽培法（施用条件、土壌条件）を見出すことはできなかった。ただし、PA 類濃度を変動させる要因について、以下の知見を得た。

- ・PA 類は、減肥>慣行>多肥の順に濃度低下する傾向が認められ、特に、栄養的なストレス大きく、成長に影響がみられる無施肥条件では、PA 類濃度が著しく増加した。
- ・土壌 pH については、pH 低>pH 中>pH 高の順に PA 類濃度が低下した。
- ・土壌水分は影響 PA 蓄積に影響しなかった。

③あく抜きや調理による葉柄および花穂中の PA 類の低減効果について以下を明らかにした。

- ・水さらしにより PA 類を溶出させるためには、「ゆで加熱」の工程が必須である。
- ・ゆで加熱後、葉柄については 3 時間以上、花穂については 24 時間の水さらしを行うことで、それぞれ生鮮物の 20%、30% 程度まで、PA 類濃度を低減できた。
- ・代表的な調理による PA 類の動態を検討した結果、ほとんどの調理においては調理（あく抜き工程を除く）の前後で PA 類濃度の大きな変化はなかったが、調味液への長時間の漬け込み工程のある調理では PA 類の漬け込み液への移行による低減が認められた。また、長時間の加熱工程のある調理においては、その過程で PA 類が低減される可能性を見出した。

2) 成果の活用

①研究開発に活用可能な成果：品種・系統間差

栽培段階における PA 類の蓄積の変動には、品種・系統（遺伝的要因）の影響が最も大きいことから、将来的に、栽培段階におけるフキ中の PA 類濃度低減技術を開発する場合には、品種・系統からのアプローチが有効であり、本課題で評価した品種試験の情報を低 PA 類蓄積性の新品種開発等に活用できる。

②生産・出荷・流通に活用可能な成果：葉柄の部位別差および施肥条件

フキ（葉柄）は地際に近い葉柄下部から葉に近い葉柄上部にかけて、明確な PA 類の濃度勾配が観測され、愛知県品種では、葉柄長約 80 cm に対して地際から 5 cm の除去によ

り葉柄全体の PA 類の 25～50%が低減できることを示した。この情報は、生産者の出荷時の調整や家庭調理における留意点として活用可能である。なお、実際の流通においては、生産者からの出荷時までの調整で、地際から 4 センチが切り取られており、家庭における調理段階で、さらに下部をカットすることでさらに PA 類を低減できると考えられる。

PA類の蓄積を施肥条件の変更で有意に低減させることは困難であるが、無施肥状態は PA類濃度を極端に上昇させ、施肥量を増加させると PA濃度が低下する傾向を見出した。この情報は、施肥が行われていない天然フキの採取・流通についての注意点として活用できる。

③消費者が活用可能な成果：あく抜き条件（茹で処理、水さらし時間）

本課題における”あく抜き調理“の研究成果は、消費者の家庭調理における、効果的なあく抜きの実施に活用可能である。特に、下茹で処理の必要性および PA類溶出に有効な水さらし時間の情報を、様々な公表媒体上の調理レシピや、その他の手段により消費者に伝えることにより、PA類の摂取量の低減に資することが出来る。

（２）各研究課題の成果

1）中課題名：フキ中のピロリジジナルカロイド類の蓄積に及ぼす要因の解明

（ア）研究目標

フキ PA類の定量法を確立し、フキ中 PA類の部位別、時期別、品種別による差を明らかにする。

（イ）研究内容

栽培試験の効率的な実施のため、凍結乾燥を導入した前処理法による葉柄および花穂の PA類（ペタシテニン、センキルキン、ネオペタシテニン）の分析法を開発し、精度確認を行った。また、愛知、群馬、徳島の 3 産地において、各産地の栽培品種と作型により、植物体の部位や収穫期の違いによる、PA類濃度の変動を調査した。特に可食する葉柄については、地上部の長さ方向の濃度分布を調査し、出荷物の PA類濃度の低減の可能性を検討した。また、全国から収集した 19 品種・系統を用い、PA類蓄積に対する品種間差を愛知県および群馬県において 2 年間にわたって検討した。

（ウ）研究結果

①分析法検討

多検体を効率的に処理できるよう、予め凍結乾燥したフキ葉柄試料に対して、前処理プロトコルをデザインした（図 1-1）。

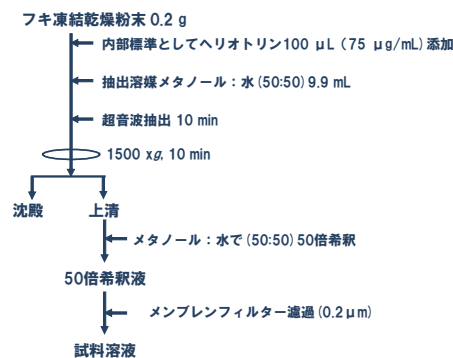


図 1-1 フキ（葉柄等）の分析手順

調製した試料をUHPLC-MS/MSシステムで分析した結果、良好な選択性を示し、3つの分析対象PA類について夾雑ピーク等の妨害の無い良好なクロマトグラムが得られた。内部標準（ヘリオトリン 15 ng/mL）含む1 ng/mL～250 ng/mLで10段階の濃度の標準溶液により作成した検量線の直線回帰の結果は、各化合物とも $r^2 > 0.995$ 以上であった。分析法について評価した結果は、良好であった(表 1-1)。

表 1-1 分析法の性能評価（葉柄）

	Petasitenine	Senkirkine	Neopetasitenine
測定限界			
検出限界(μg/kg FW)	42.3	80.1	91.3
定量限界(μg/kg FW)	116.9	221.2	252.3
真度 (回収率 n=21)			
添加濃度 (mg/kg FW)	2.5	2.5	2.5
回収率 平均値 (%)	89.9	103.7	99.8
RSD(%)	10.5	2.6	6.9
精度			
測定濃度 (mg/kg FW)	5.4	0.7	7.2
相対室内精度 RSDr(%)	4.9	3.3	3.7
HortRat r	0.22	0.15	0.17

②部位別試験

愛知県において、愛知品種「2」（生産農家圃場：施設栽培）、群馬県において群馬品種「2」（生産農家圃場：露地栽培）、徳島県において徳島品種「2」（試験圃場：露地栽培）を栽培し、それぞれ、葉柄の収穫適期（平成31（令和1）年5月、6月および4月）に株全体を掘り起こし、葉、葉柄（上部、中部、下部）地下茎(根茎)の部位別にサンプリングを行い、各部位のPA類濃度を測定した。愛知品種「2」及び群馬品種「2」および徳島品種「2」の各部位のPA類濃度を示す(図 1-2) (図 1-3) および(図 1-4)。

PA類の濃度は、（葉柄の基部）、地下茎、根、葉柄（下部、中部、上部）、葉の順にPA濃度が高かった。また、可食部である葉柄は、地下茎や根より濃度が低いが、葉柄を長さ方向に3等分して測定した場合、いずれの品種においても、地下茎に近い下部の濃度が高くなることが明らかとなった。

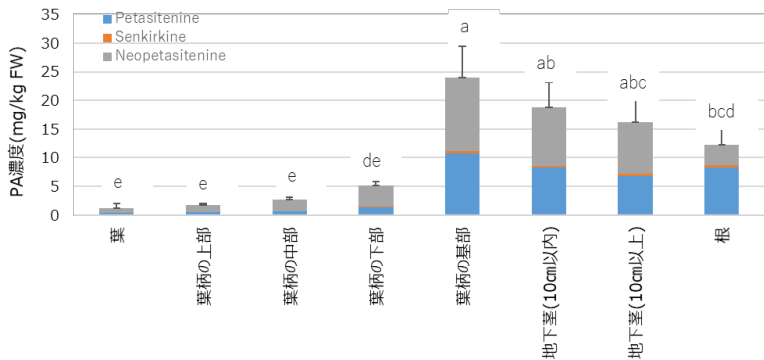


図 1-2 フキの部位の違いによるフキPA類濃度 (mg/kg FW) 愛知県 品種「2」
(平成30年度作 令和1年5月収穫)

平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Tukey検定)

葉柄の上部・中部・下部：葉柄を地際から刈り取り、3等分したものを葉に近い部位から上部、中部、下部とした。葉柄の基部：葉柄を地際で刈り取った後、地下茎から出た土壤中に残った葉柄部。
地下茎：葉柄の基部から10 cm以内の地下茎と10 cm以上離れた地下茎に分別した。

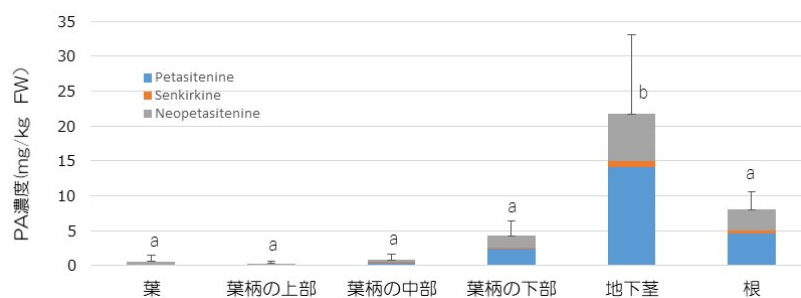


図 1-3 フキの部位の違いによるフキPA類濃度 (mg/kg FW) 群馬県 品種「2」
(平成30年度作 令和1年6月収穫)
平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Student-Newman-Keuls検定)

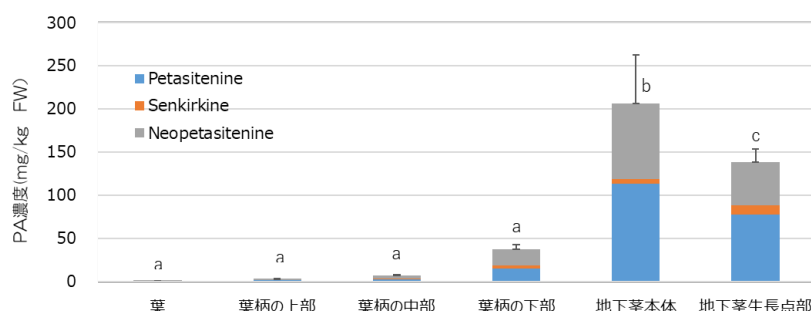


図 1-4 フキの部位の違いによるフキPA類濃度 (mg/kg FW) 徳島県 品種「2」
(令和1年度作 令和2年4月収穫)
平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Student-Newman-Keuls検定)

部位によるPA類の濃度変動は他の植物でも知られており、キク科植物においてはPA類が地下茎で生合成され、他部位へ広がるということが報告されている¹⁾。本研究により得られた、フキの植物体中の部位別の違いによる濃度差は、キク科植物と同様の生合成と転流の機構が関与していると推測された。葉柄では下部の濃度が高くなっていたことから、収穫時の刈り取り位置を工夫することによって生産物のPA類濃度を低減できる可能性が示唆された。そこで、葉柄下部のより詳細な濃度分布を調査するため、令和1年度に、愛知県の生産農家圃場で愛知品種「1」を栽培し、令和1年11月、令和2年3月、同5月に葉柄下部を地際（地面から0 cm）から5 cmまで採取し、PA類濃度を測定した。いずれの収穫時期においても地際から5 cm部位のPA類濃度が有意に高く、上部になるにつれてPA類濃度は減少した（図 1-5）。PA類濃度に各試料の重量を乗じ、分割採取した葉柄1本あたりに含まれるPA類濃度を求めた結果、地際から0～5 cmの部位には葉柄全体の25～50%のPA類が含まれていることが明らかになった（表 1-2）。

現在、愛知県の生産出荷体系では、葉柄長約80 cmに対し地際側から4 cm程度を切り落とす調整を行った後に出荷されていることから、市場流通しているフキ葉柄については、地上部にあるフキ葉柄部全体に比べ、かなりの量のPA類が低減されていると考えられる。さらに、消費者が家庭調理の際に、葉柄の端を切り落とすことを徹底することで、PA類の摂取量がさらに低減すると期待される。

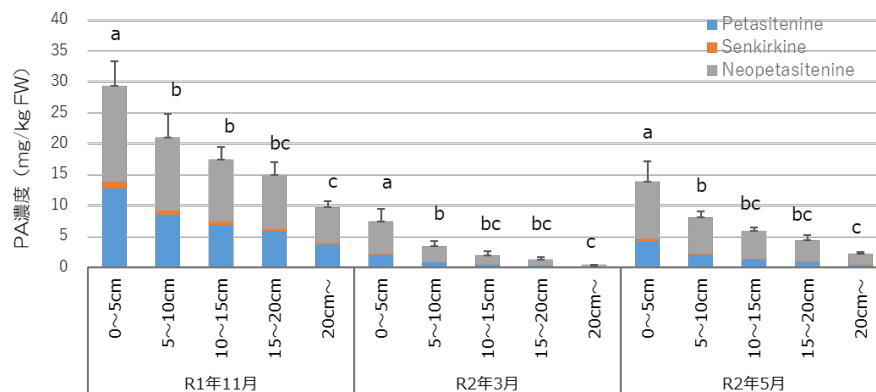


図 1-5 葉柄の部位別PA類濃度 (mg/kg FW) 愛知県 品種「1」
(令和1年作付け)

平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Tukey検定)
0-5 cm、5-10 cm、10-15 cm、15-20 cm、20 cm～：葉柄を地際から5 cm刻み
で20 cmまでに分割し、20 cm以上の部分と合わせて5部位に分けて採取した。

表 1-2 葉柄の各部位における重量およびPA類濃度分布 (令和1年度作)

部位	重量 (g/本)			PA含量分布 (%)		
	R1年11月	R2年3月	R2年5月	R1年11月	R2年3月	R2年5月
0～5cm	10.1	11.0	7.9	25	50	34
5～10cm	9.1	9.8	7.7	16	20	20
10～15cm	8.1	8.8	6.9	12	10	13
15～20cm	7.4	8.2	6.2	9	6	9
20cm～	45.6	60.0	36.5	38	14	25
葉柄全体	80.2	97.8	65.1	100	100	100

③収穫期試験

フキ葉柄および花穂の収穫時期によるPA類の濃度変動について調査した。愛知県では、夏期に冷蔵した地下茎秋期に定植した後、ハウス栽培により、同一の圃場で10月頃から翌年春までの間に、2～3度の収穫を行う作型で、継続的に葉柄を市場に供給している。生産農家圃場で、平成30年8月から愛知品種「1」および「2」を栽培し、収穫適期の葉柄を平成30年10～11月、平成31(令和1)年1～5月に月1回採取し、PA類濃度を測定した。その結果、10月のPA類濃度が18 mg/kg FWと最も高く、10月、11月のPA類濃度は、1～4月に比べ有意に高かった。10月から1月にかけてPA類濃度は減少し、5月になると、再び増加する傾向が見られた(図 1-6)。収穫した葉柄重量を勘案して、葉柄1本あたり含まれるPA類の濃度を計算した結果も同様の変動を示した。PA類の蓄積量の変動は、地温の変動と関連性があると推察される。

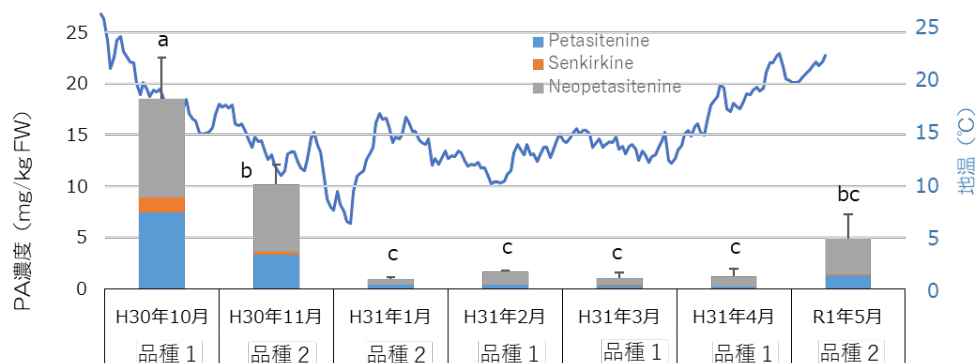


図 1-6 葉柄の収穫期によるPA類濃度の変動

愛知品種「1」、「2」（平成30年度作）

平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り（ $p<0.05$ Tukey検定）

群馬県および徳島県の作型では、葉柄の収穫は春期のみである。群馬県にて、2品種群馬品種「1」および「2」（生産農家圃場：露地栽培）の葉柄を令和1年5月および6月に収穫、徳島県にて、徳島品種「2」（試験圃場：露地栽培）を令和2年4月および5月に収穫し、PA類濃度を測定した結果では、それぞれ春期の収穫期が遅くなるとPA類の濃度（含量）が増加しており、愛知県と同様の傾向であった。

花穂の収穫期による、PA類濃度変動については、群馬県において群馬品種「1」および「2」について、平成30年度作及び令和1年度作の2ヵ年にわたり1～3月にかけて、同一の生産農家圃場の生産物について調査した。両品種において、初年度には、1月より3月のPA類濃度が高く、2年目には、1月、2月、3月の順に濃度が低くなるという矛盾した結果が得られている。徳島県において、令和1年度作の徳島品種「1」に対する収穫期影響を見た結果では、1月から3月にかけて収穫期によるPA類の濃度変動に明確な傾向は認められなかったが、個体重量の増加に伴い収穫期が遅くなるとPA類濃度が増加する傾向が認められた。時期による影響が明確に把握できない理由は、花穂の成長が早く、また、個体ごとのPA類濃度（含量）の差が大きいことによると考えられた。

④品種・系統試験

全国から、19の品種・系統を収集し、品種間比較試験に供した。

愛知県農業総合試験場において、プランターを用いて同県の慣行施肥量で平成30年10月から収集した19品種を栽培した。収集した品種・系統は株が地下茎もしくはポット苗で提供されており、地下茎については、定植時まで0℃で冷蔵し、ポット苗については、定植時まで施設内で管理した。愛知県の栽培に従い平成30年9月に定植後、平成31年1月及び4月に全品種の葉柄を採取し、葉柄長および葉柄重量とPA類濃度を測定した。

平成31年4月におけるPA類濃度は、品種「D」は76 mg/kg FW、品種「C」は49 mg/kg FWであり、他の品種より有意に高かった（図1-7）。1月収穫時の品種間差も、4月と概ね同様の結果であった。なお、平成31年4月収穫時の各品種の平均葉柄長は22 cm～74 cm、1本当たりの平均重量は、1.3 g～32.3 gまで、品種により大きな差があった。これには、元来の品種特性の差だけでなく、定植時の状態が異なること、及び、栽培方法が各々の品種にとっての最適条件になっていないこと等も影響していると考えられた。

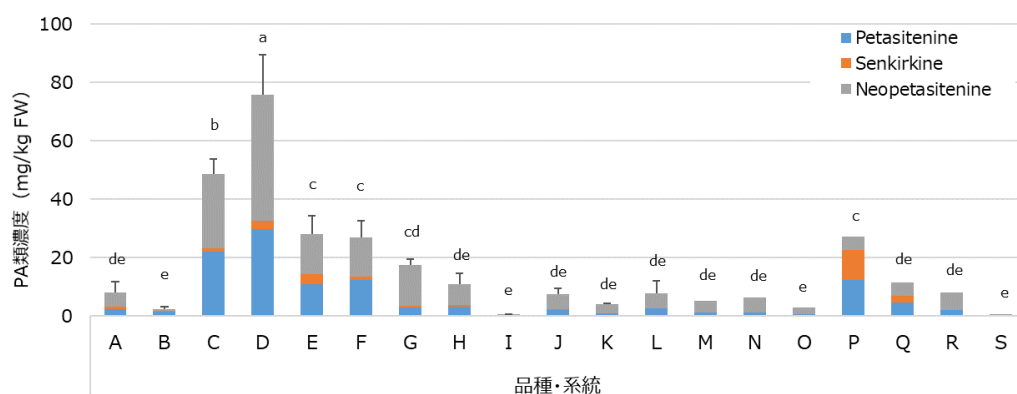


図1-7 フキ葉柄における品種別PA類濃度 愛知県プランター栽培
(平成30年作 平成31年4月収穫)
平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Tukey検定)

平成30年度作付けの試験においては、定植時の各品種の状態が異なっていたため、令和1年6月まで栽培した地下茎を掘り上げて9月の定植時まで0℃で株冷し、12品種（「A」、「B」、「C」、「D」、「E」、「F」、「G」、「J」、「K」、「P」、「Q」、「R」）を選んで、再度、プランターによる栽培試験を実施した。令和1年12月および令和2年4月に12品種の葉柄を採取し、葉柄長および葉柄重量とPA類濃度の測定を行った。その結果、令和1年12月における品種「C」および「D」、「E」のPA類濃度は、42～48 mg/kg FWと他の品種より高く、令和2年4月も品種「C」および「D」のPA類濃度は52～61 mg/kg FWと高い傾向を示した。プランター栽培による2ヵ年の試験において、PA類濃度の品種間差は概ね同様の傾向を示し、定植株の条件の違いは大きく影響しないと考えられた。

さらに、PA類の蓄積が特徴的な6品種（品種「B」、「D」、「E」、「J」、「P」、「R」）について、現地圃場（東海市および知多市）で令和1年9月から栽培試験を行った。令和2年1月と4月に葉柄を採取し、葉柄長および葉柄重量とPA類濃度を測定した。採取時の各品種の葉柄長および葉柄重量は、表1-3に示した。両圃場において、品種「D」および「E」のPA類濃度は他の供試品種より高く（図1-8）、供試した6品種のPA類濃度は、プランターを用いて栽培した場合と概ね同様の傾向を示した。

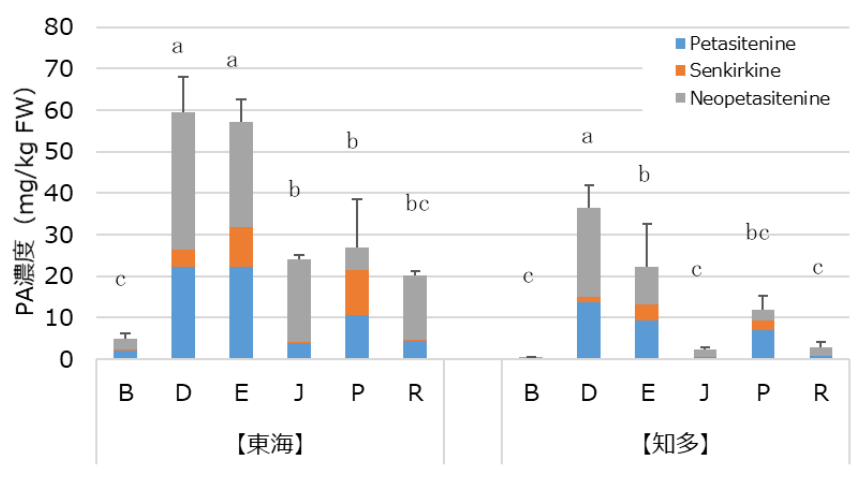


図 1-8 フキ葉柄における品種別PA類濃度 愛知県 現地圃場栽培
令和1年度作 令和2年4月収穫
平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Tukey検定)

表 1-3 現地圃場における供試品種の葉柄長および葉柄重量 (令和1年度作)

品種	葉柄長		葉柄重量	
	東海市圃場	知多市圃場	東海市圃場	知多市圃場
	(cm)	(cm)	(g/本)	(g/本)
B	34	39	13.5	18.5
D	44	46	17.0	19.6
E	54	69	36.5	58.0
J	36	70	19.7	88.7
P	63	67	40.1	34.7
R	43	67	22.4	73.2

収集品種のうち10品種（「A」、「B」、「C」、「D」、「F」、「G」、「H」、「I」、「J」、「K」）を、平成30年7月、群馬県農業技術センター高冷地野菜研究センターにおいて定植し、ハウス内で2ヵ年にわたり改植せずにプランター栽培した。葉柄について、令和1および令和2年の5月、花穂について、初年度は平成30年12月～31年2月、および、令和2年1月に収穫し、PA類濃度を測定した。令和2年5月収穫した、葉柄のPA類濃度を図1-9に示した。

葉柄中のPA類濃度は、品種「C」、「D」、「F」、「G」、「H」で、残りの品種と比較して高かった。この傾向は、栽培1年目の結果と同等であり、PA類濃度の低い5品種「A」、「B」、「I」、「J」、「K」は、1年目の「A」（14.0 mg/kg FW）および、「J」（10.7 mg/kg FW）を除き、その濃度は10 mg/kg FWを大きく下回った。

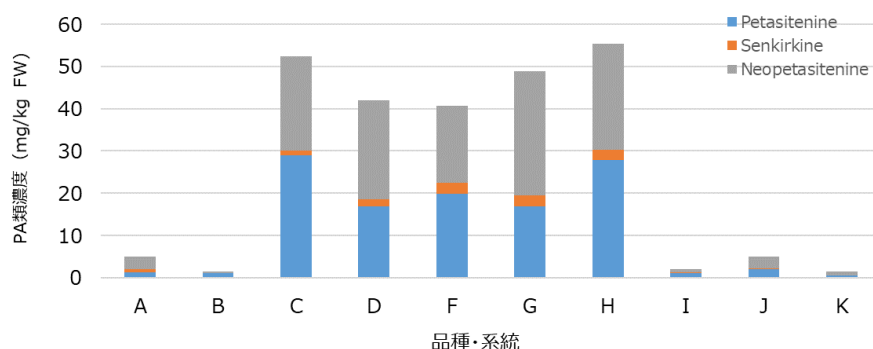


図 1-9 フキ葉柄における品種別PA類濃度 群馬県 プランター栽培
令和1年度作 令和2年5月収穫 反復無し

花穂については、総じて葉柄に比べてPA類濃度が高く、また、葉柄と同様に品種間に大きな差が認められた。令和1年度作では、品種「C」、「D」をはじめとして「F」、「G」、「H」の濃度が高かった（図1-10）。この、品種間差の特徴は、初年度の平成30年度作においても同様であった。

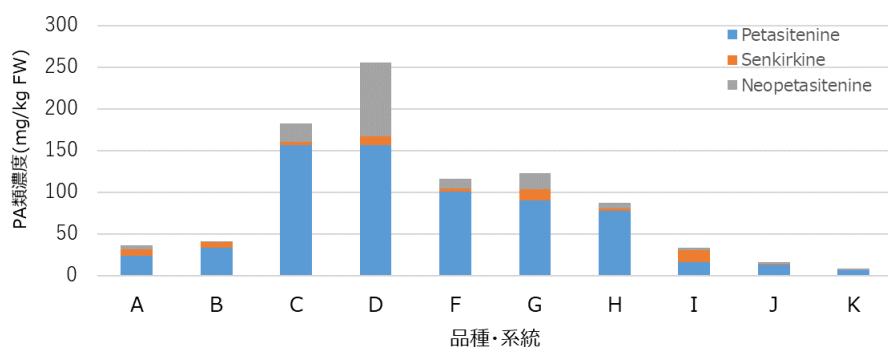


図 1-10 フキ花穂における品種別PA類濃度 群馬県 プランター栽培
令和1年度作 令和2年1月収穫 2反復平均値

以上の結果から、異なる作年、地域、栽培条件で実施した、各試験において観測された品種間差の特徴には再現性が有り、品種・系統の違いは、フキの葉柄および花穂のPA蓄積に大きく影響すると結論した。遺伝的背景によりPA濃度が異なることは他植物でも知られている²⁾。

(エ) 研究成果の活用における留意点

本研究で確認された品種・系統間差は、愛知県および群馬県での標準栽培条件で栽培したものであり、収集した品種の栽培地の作型や栽培条件によるものではないため、品種間の比較結果を考察することは可能だが、特定品種についての実際の流通品中のPA類濃度範囲を、正確に反映しているか否かについては留意する必要がある。また、品種試験の結果については、風評に留意した慎重な取り扱いが必要である。

(オ) 研究目標の達成に当たっての問題点

特になし

<引用文献>

- 1) T. Hartmann, A. Ehmke, U. Eilert, K. von Borstel, C. Theuring, Sites of synthesis, translocation, and accumulation of pyrrolizidine alkaloid N-oxides in *Senecio vulgaris* L., *Planta*, **177**, 98-107 (1989)
- 2) G. P. Gill, C. J. Bryant, M. Fokin, J. Huege, K. Fraser, C. Jones, M. Cao, M. J. Faville, Low pyrrolizidine alkaloid levels in perennial ryegrass is associated with the absence of a homospermidine synthase gene, *BMC Plant Biol.* 18: 56 (2018)

2) 中課題名：フキ中のピロリジジナルカロイド類の蓄積を抑制する栽培方法の開発

(ア) 研究目標

フキの栽培条件（施肥、土壌pH、灌水条件）でフキ中PA類濃度が変動するかどうかを明らかにする。

(イ) 研究内容

施肥や土壌pHや水分などの栽培条件の変更による、フキ中のPA類低減可能性を探るため、愛知、群馬、徳島の3県の品種と作型を基本とした栽培試験を実施した。愛知県においては、初年にプランター栽培により、窒素 (N)、リン酸 (P)、またはカリウム (K) 濃度を慣行施肥に対して増減させる試験を行い、PA類蓄積に影響する栄養素の絞り込み、最終年には、前年までの結果に基づき、PA類低減の可能性が見えた、K施肥条件について、圃場試験も含めた検証を行った。群馬県では、令和1年度よりNの施用量を、令和2年度作でKの施用量を慣行栽培に比べて増減させる試験を実施した。徳島県においては、慣行施用に対し、無施肥及び2倍施肥が、PA類蓄積に与える影響を検討した。さらに、愛知県においては、初年度に土壌pHの影響を調査し、2年目に灌水量の影響を検討した。

(ウ) 研究結果

①施肥条件

愛知県において、窒素 (N)、リン酸 (P)、カリウム (K) の三成分の施用量の違いによるPA類濃度への影響を調査するため、平成30年10月から愛知品種「1」を供試品種として、プランターを用いて栽培した。慣行区には、愛知県の施肥基準に基づき、10aあたりN-P₂O₅-K₂O=51-44-54 kg 施肥した。試験区には、窒素1/2倍 (N×1/2) 区、窒素2倍 (N×2) 区、リン酸無施用 (P×0) 区、リン酸2倍 (P×2) 区、カリウム無施用 (K×0) 区、カリウム2倍 (K×2) 区を設定し、慣行区における各成分の施用量をそれぞれ倍した量を施用した。平成31年4月に葉柄を採取し、葉柄長および葉柄重量、PA類濃度を測定した。

窒素施用量の違いでは、N×1/2区の葉柄長は慣行区よりも有意に短かったが、葉柄重量については試験区間で差は認められなかった。平成31年1月採取時には、N×2区のPA類濃度は他の試験区より有意に高かったが（データ省略）、平成31年4月採取時には差は認められなかった（図2-1）。

リン酸施用量の違いでは、P×0区の葉柄長は他の試験区よりも有意に短く、葉柄重量については慣行区が最も重く、P×0区が最も軽かった。平成31年4月採取時の、P×0区のPA類濃度は他の試験区より有意に高かった（図2-2）。

カリウム施用量の違いでは、初年度に実施した試験において、平成31年4月採取時に

は慣行区の葉柄長が最も長く、K×0区は慣行よりも有意に短かった。葉柄重量については試験区間で差は認められなかった。また、施用量の増加に伴いPA類濃度は低下したが有意差は認められなかった（図2-3）。令和2年度に実施したK施肥試験においては、試験場内における養液土耕栽培でカリウム無施用区、慣行区、2倍区を、現地圃場においてカリウム慣行区および2倍区を設定してそれらの影響を検討したが、いずれの栽培試験においてもPA類濃度に差は認められなかった。

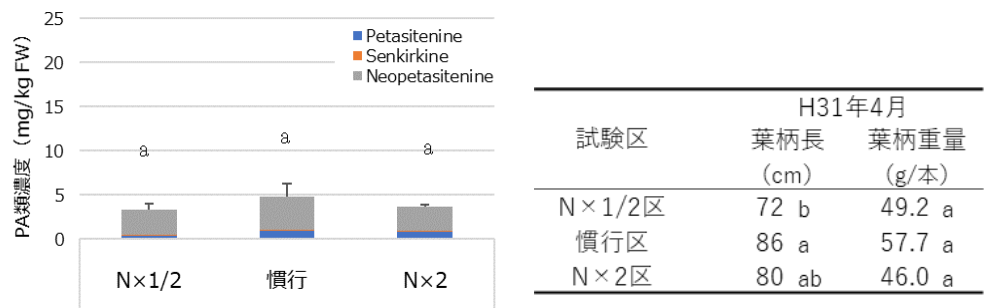


図2-1 窒素施用量の葉柄中PA類濃度(左)および生育への影響(右) 愛知県品種「1」
(平成30年度作 プランター栽培 平成31年4月収穫)
平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Tukey検定)

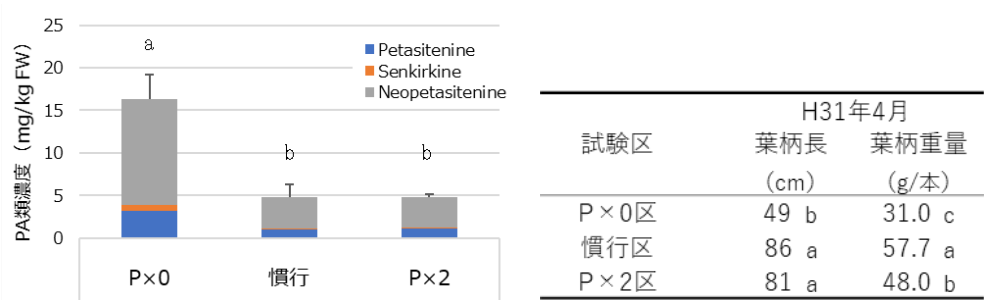


図2-2 リン施用量の葉柄中PA類濃度(左)および生育への影響(右) 愛知県品種「1」
(平成30年度作 プランター栽培 平成31年4月収穫)
平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Tukey検定)

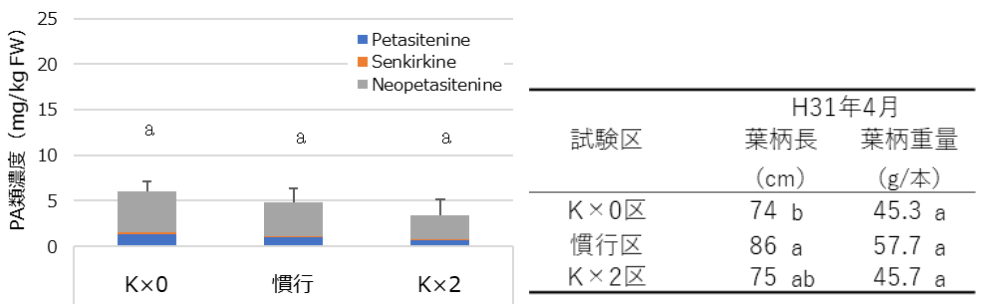


図2-3 カリウム施用量の葉柄中PA類濃度(左)および生育への影響(右) 愛知県品種「1」
(平成30年度作 プランター栽培 平成31年4月収穫)
平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Tukey検定)

群馬県において、窒素（N）のPA類蓄積への影響を検討するため、令和1年度から群馬品種「1」を試験圃場で栽培した。群馬県基準の標準施肥区に対して窒素量を調節し、N半減区、N倍量区を設定し、令和2年3月23日に花穂を、令和2年5月18日に葉柄をサンプリングし、PA類濃度を測定した。図2-4に花穂、図2-5に葉柄中のPA類濃度の分析結果を示す。反復が限られるため、施肥条件の影響を正確に評価できないが、葉柄、花穂ともに、窒素の減少に伴いPA類濃度は増加し、N倍量区、標準施肥区、窒素1/2区の順でPA類濃度が高い傾向が見られた。この時、生育にも差が見られ、個体当たりの重量は、花穂、葉柄ともにN倍量区が他の試験区より大きかったが、個体あたりの含量については、花穂では、標準施肥区、N倍量区、N1/2区の順に、葉柄では、N倍量区、N1/2区、標準施肥区の順にPA類含量が大きくなった（データ省略）。

カリウム施肥の影響について、K1/2区及びK倍量区を設けて、PA類濃度への影響を検討したところ、葉柄では施用量の増加に応じてPA類濃度がやや増加する傾向が認められたが、花穂については、施用量の違いによる明確な影響は認められなかった。

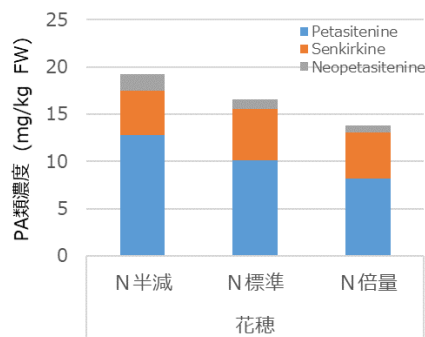


図2-4 窒素施量のPA類濃度への影響
群馬県 品種「1」 花穂

(試験圃場栽培 令和2年3月収穫) (2反復)

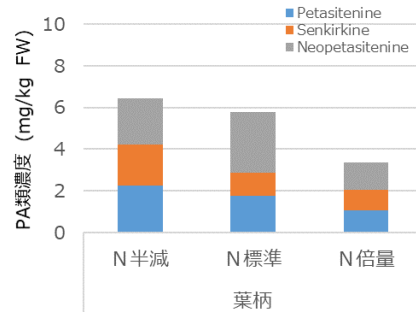


図2-5 窒素施量のPA類濃度への影響
群馬県 品種「1」 葉柄

(試験圃場栽培 令和2年5月収穫) (反復なし)

徳島県にて、徳島品種「2」を用い、無施肥、慣行施肥（県内主産地の施肥量）、慣行施肥量の2倍量の3段階の試験区で、試験圃場において栽培試験を行った。平成30年6月に地下茎を定植し、平成31年2月および令和2年1月に花穂を、平成31年および令和2年4月に葉柄を収穫しPA類濃度を測定した。令和1年度作の結果について、図2-6（花穂）および図2-7（葉柄）に示した。また、葉柄の出荷時の収量と長さサイズの分布について図2-8に示した。

無施肥の条件では、花穂、葉柄ともにPA類濃度が上昇し、施肥を慣行量、2倍量と増やすことによりPA濃度は低下した。葉柄の収量は施肥量を増やすことにより増加し、葉柄長も長くなった。施肥2倍区では、1本当たりの葉柄のサイズが大きくなったが、PA類濃度を葉柄1本あたりの含量に換算した結果では、慣行区の含量の方が2倍区に比べて高かった。

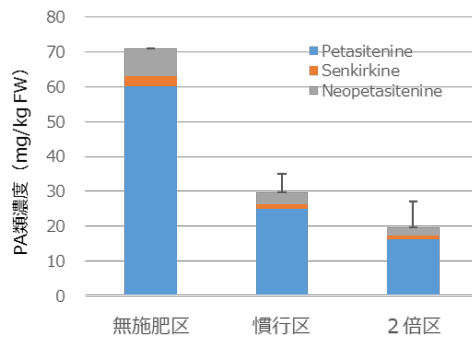


図2-6 施肥量のPA類濃度への影響
徳島県 品種「2」花穂
(試験圃場栽培 令和2年1月収穫)
(無施肥区について反復無し)

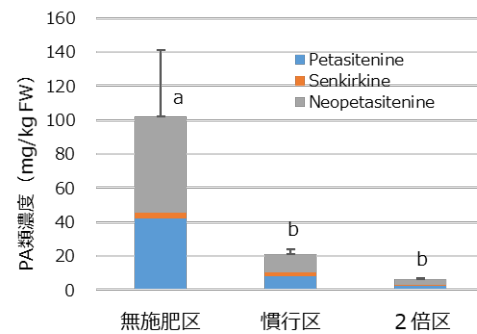


図2-7 施肥量のPA類濃度への影響
徳島県 品種「2」葉柄
(試験圃場栽培 令和2年4月収穫)

平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Student-Newman-Keuls検定)

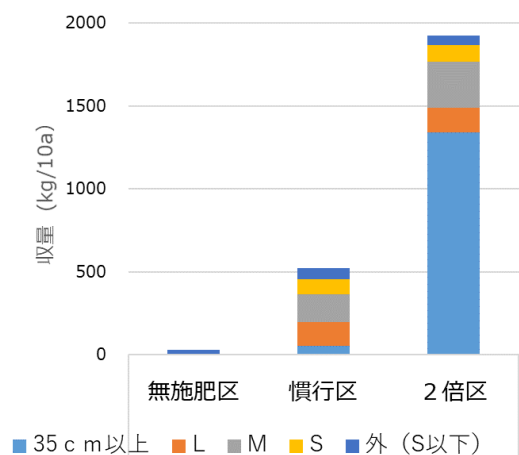


図2-8 葉柄の収量調査結果 徳島県 品種「2」令和2年4月
葉柄出荷規格： L：葉柄長31 cm以上35 cmまで S：18 cm以上21 cmまで
M：同24 cm以上27 cmまで 規格外：同18 cm未満

施肥の影響に関しては、ノボロギク、ヤコブボロギクなど他植物において栽培試験が行われており、施肥量を多くすることによるPA類濃度の低減が報告されている^{3,4)}。

本研究においては、愛知県はN（窒素）、P（リン酸）、K（カリウム）の3要素、群馬県はNについて、徳島県は肥料量自体を変更して行った。既報と同様に全体的に多肥にするとPA類が低減する傾向が認められたが、劇的な効果が期待出来るものではなかった。しかしながら、生育に影響がでる程の無施肥条件下では、PA類濃度の著しい上昇が見られた。このことから、PA類生合成は栄養ストレス条件によって惹起されることが推察され、天然で採取されたものの中にはPA類濃度が高いものがあると推察された。

②土壌pH条件

土壌pHの違いによるPA類濃度への影響を検討するため、平成30年10月から愛知品種「1」を供試品種として、プランターを用いて栽培した。現地圃場から採取した土壌に、炭酸苦土石灰を加え、定植時の土壌pHを4.7（pH低区）、5.6（pH中区）、6.6（pH高区）に調整した。平成31年4月に葉柄を採取し、葉柄長および葉柄重量、PA類濃度を測定した。pH中区の葉柄長は他の試験区より有意に長かった。葉柄重量に差は認められなかった。PA類濃度およびPA濃度はpHの上昇にともない低下し、pH高区では他の試験区より有意に低かった（図2-9）。

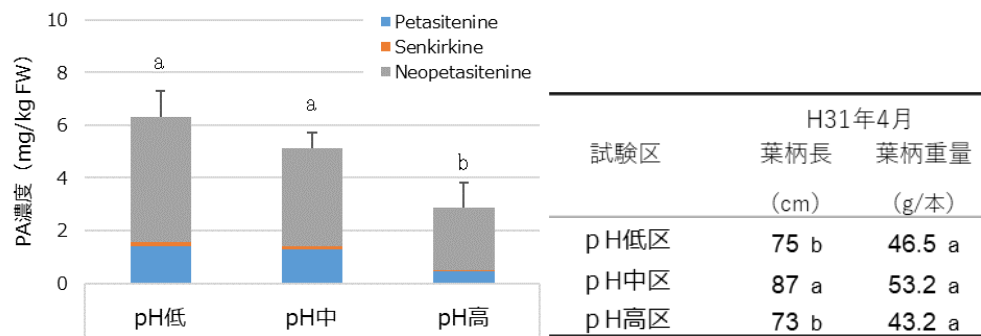


図2-9 土壌pHの葉柄中PA類濃度(左)および生育への影響(右) 愛知県 品種「1」
(平成30年度作 プランター栽培 平成31年4月収穫)
平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Tukey検定)

③灌水条件

灌水条件の違いによるPA類濃度への影響を検討するため、土壌水分量を3条件に設定し、令和1年10月から愛知品種「1」を供試品種として、養液土耕で栽培した。土壌水分量はpF値を用いて測定し、表2-1に示したpF値に設定し試験を行った。令和1年12月および令和2年3月に葉柄を採取し、葉柄長および葉柄重量、PA類濃度を測定した。その結果、葉柄長および葉柄重量、収穫本数、PA類濃度、PA濃度に試験区間で差は認められなかった（図2-10）。試験区におけるpF値の範囲では、PA類濃度に影響を及ぼさないと考えられた。

表2-1 各試験区におけるpF値

試験区	10/14～ 11/28	11/29～ 1/16	1/17～
pF低区	1.0	1.2	1.4
pF中区	1.3	1.8	2.0
pF高区	1.6	2.4	2.6

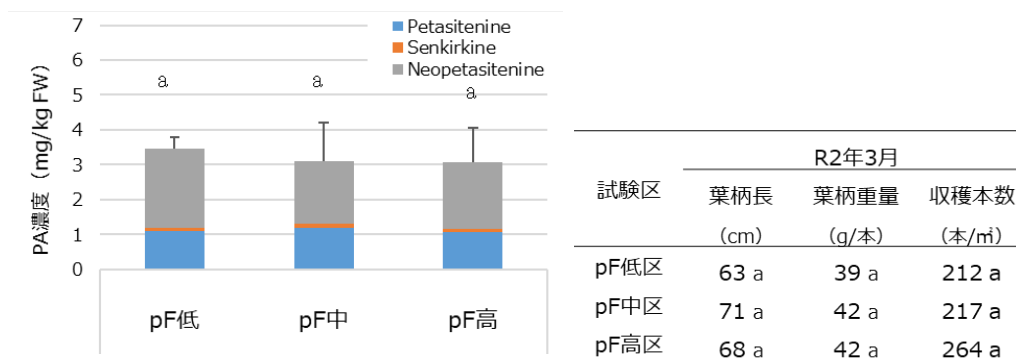


図2-10 土壌水分(pF値)の葉柄中PA類濃度(左)および生育への影響(右) 愛知県品種「1」
(令和1年度作 溶液土耕栽培 令和2年3月収穫)
平均値+標準偏差 n=3、異なる文字間に有意差有り (p<0.05 Tukey検定)

(エ) 研究成果の活用における留意点

特になし

(オ) 研究目標の達成に当たっての問題点

特に無し。

<引用文献>

- 3) W. H. G. Hol, The effect of nutrients on pyrrolizidine alkaloids in *Senecio* plants and their interactions with herbivores and pathogens, *Phytochem. Rev.* **10**, 119-126 (2011)
- 4) H. Kirk, K. Vrieling, E. Meijden, P. G. L. Klinkhamer, Species by environment interactions affect pyrrolizidine alkaloid expression in *Senecio jacobaea*, *Senecio aquaticus* and their hybrids, *J. Chem. Ecol.* **36**, 378-387 (2010)

3) 中課題名：フキ中のピロリジジナルカロイド類を低減できる加工処理法の開発

(ア) 研究目標

PA類の低減に効果のあるあく抜き法や調理によるPA類の低減の可能性を見出し、フキ調理の摂食によるPA類の摂取量を推計し 日本人のPA類の暴露量評価に資する知見を得る。

(イ) 研究内容

フキ葉柄および花穂の調理加工において、PA類を効果的に低減できるあく抜き法および調理法を明らかにし、一般的に喫食されているフキ調理品からのPA類の摂取量を見積もった。

(ウ) 研究結果

①あく抜きによるPA類の低減効果

あく抜き試験：フキ葉柄（春季および秋季に収穫された試料）を対象とし、あく抜き試験を実施した。あく抜きにおけるPA類の低減においてはゆで加熱と水さらし時間が重要であり、春ふきでは室温で30分以上、秋ふきでは室温で3時間以上の水さらしによりPA類を有意に低減できた（図3-1、-2）。葉柄を室温で水に浸けるだけでは、24

時間浸漬してもPA類はほとんど低減しないことを確認した（図3-3）。また、塩ずりの有無、ゆで加熱および水さらし時の添加物（食塩、酢、重曹）の使用、水さらし時のふきの長さ、水さらし時の温度についても検討したところ、PA類の保持にほとんど影響は認められなかった。

フキ花穂（2・3月に収穫された花穂品種）をあく抜き（1分間ゆで、0～24時間水さらし）し、総PA類はゆでただけで元の8割ほどに低減し、水さらし時間が長いほど低減率は大きくなり、総PA類の濃度は6時間以上の水さらしによって水さらしなし（1分間ゆでたのみ）のものよりも有意に低くなることを確認した（図3-4）。また、花穂を室温で水に浸けるだけでは、24時間浸漬してもPA類はほとんど低減しないことを確認した（データ省略）。

葉柄および花穂の調理においては、本調理前にゆで加熱と水さらし（葉柄、花穂の水さらし時間は、それぞれ概ね3時間以上、概ね24時間程度）の工程を含むあく抜き処理を施すことで、PA類を効果的に低減できること、また、あく抜き法としてしばしば採用される「葉柄の皮をむいて、ゆでずに水にさらすのみ」や「花穂をゆでずに水にさらすのみ」ではPA類は水にほとんど溶出しないことが明らかとなった。

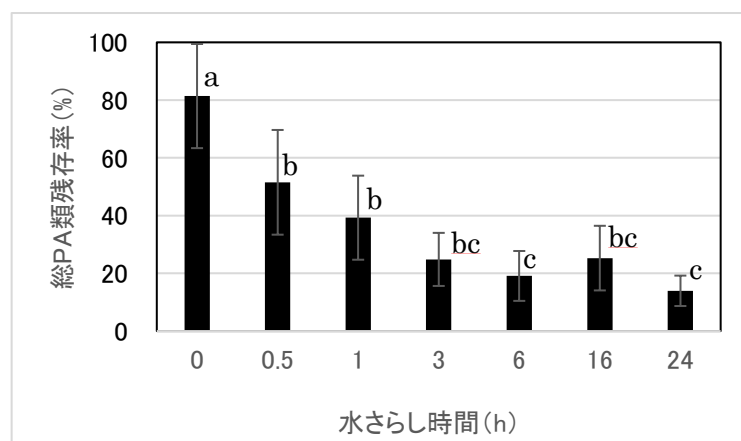


図3-1 室温でのフキ葉柄（春季収穫）のあく抜きにおける水さらし時間と総PA類残存率*（n=4）

* 供試品と同一ロットの新鮮葉柄(未処理)の含量に対する残存割合

葉柄3本を用いた4 試行の平均値

3分間ゆで加熱→皮むき→水さらし

一元配置分散分析 $F(6, 21)=13.165$ MSse=168.28, $p<0.001$

多重比較 ; Tukey HDS, $p<0.05$, 異なるアルファベット間に有意差あり

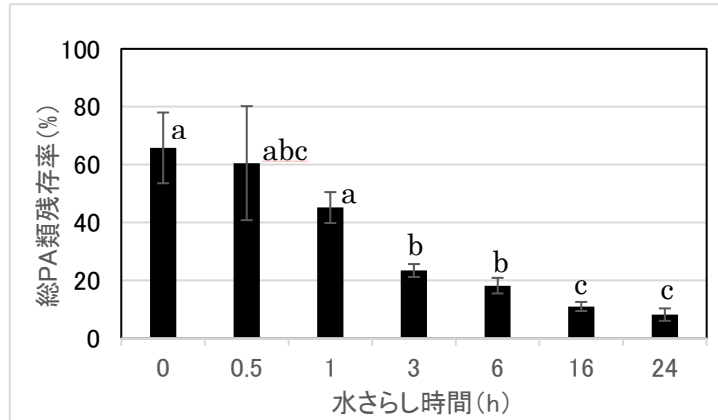


図3-2 室温でのフキ葉柄（秋季収穫）のあく抜きにおける水さらし時間と総PA類残存率*（n=4）

* 供試品と同一ロットの新鮮葉柄(未処理)の含量に対する残存割合

3分間ゆで加熱→皮むき→水さらし

Kruskal Wallis 検定、Kruskal-Wallis の $H(K)=25.21$, $p<0.001$

多重比較 ; Dunnett T3, $p<0.05$, 異なるアルファベット間に有意差あり

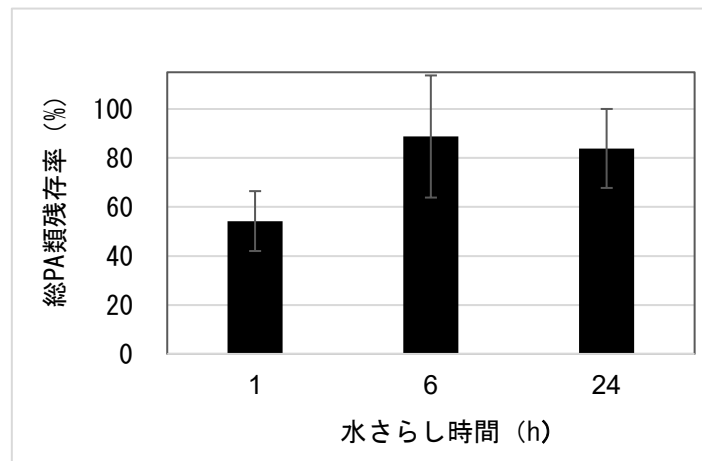


図3-3 フキ葉柄のゆで操作なしのあく抜きにおける水さらし時間と総PA類残存率（n=4）

* 供試品と同一ロットの新鮮葉柄(未処理)の含量に対する残存割合

皮むき→カット（5 cm）→水さらし

一元配置分散分析, n.s.

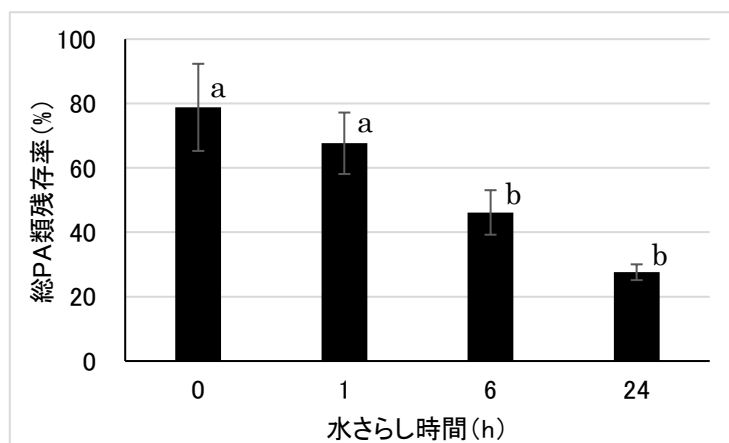


図 3-4 室温でのフキ花穂のあく抜きにおける水さらし時間と総PA類残存率 (n=4)

* 供試品と同一ロットの新鮮葉柄(未処理)の含量に対する残存割合

1 分間ゆで加熱→水さらし

一元配置分散分析 ; $F=25.285$, $p<0.001$

多重比較 ; Tukey, $p<0.05$, 異なるアルファベット間に有意差あり

嗜好性 (受容性) 評価: 30分(一般に採用されている平均的な方法)および6時間(平成30年度の研究成果でPA類を有意に低減できる方法)の水さらしを含むあく抜きのみを施したフキ葉柄、ならびに、30分および6時間の水さらしを含むあく抜きをした後青煮の調理をしたものについて、それぞれ水さらし時間による嗜好性の違いを評価したところ、「あく抜きのみ」、「青煮」のいずれにおいても、異なる水さらし時間のふきの間には嗜好性の違いはほとんどなく、喫食者側の受容性は高いことが明らかになった。併せて実施したアンケート調査により、6時間以上の水さらしがPA類を効果的に低減することを伝えた上でふきのあく抜きにおいて6時間以上の水さらしをすることについて尋ねたところ、7割が「手間がかかりすぎる」と回答し、調理をする側ではその受容性は低いことが明らかになった (図 3-5)。

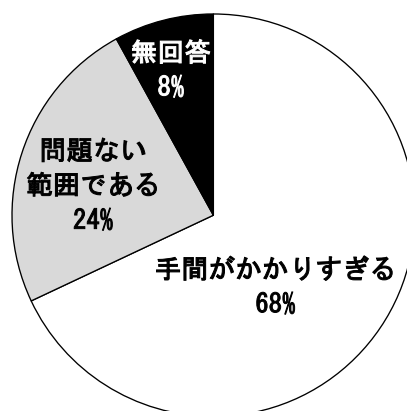


図 3-5 ふきのあく抜きにおいて「6時間以上水さらしをすること」についてのアンケート結果 (n=50)

②調理試験

フキ葉柄および花穂の一般的な調理における総PA類の変動について評価した。葉柄（秋季収穫）を用いた調理として「青煮」、「炒め煮」、「つくだ煮」および「天ぷら」、花穂（花穂品種）を用いた調理として「ふき味噌」および「天ぷら」を調製した。各調理品、未処理およびあく抜き試料のPA類濃度を図3-6および図3-7に示した。

葉柄については、基本のあく抜き処理（図3-6のキャプションを参照）を行うことで総PA類は2割ほどに低減し、これは令和1年度のあく抜き試験の結果（図3-2）とほぼ一致した。フキ葉柄の天ぷらのあく抜き法としてしばしば採用される簡便なあく抜き処理（図3-6）のキャプションを参照）ではPA類はほとんど低減されなかった。また、各調理に用いたあく抜きした葉柄中の総PA類に対する調理品中の総PA類の残存率は、「青煮」では86%、「炒め煮」では112%、「つくだ煮」では62%、基本のあく抜き処理をした「天ぷら」では118%、簡便なあく抜き処理をした「天ぷら」では93%であった。「青煮」においては調味液への4時間の漬け込みにより、葉柄中のPA類の約2割が漬け込み液に移行した。「つくだ煮」においては、80分の加熱により一部のPA類が変化した可能性と、PA類がメイラード反応生物などと付加体を作り検出できなくなった可能性が考えられる。

花穂については、1分間ゆでて1時間水さらしをすることで、総PA類は元の約7割に低減した（図3-4）。また、未処理の花穂中の総PA類含有量に対するふき味噌および天ぷら中の総PA類の残存率は、それぞれ30%、79%であった。「ふき味噌」（総加熱時間11分）については、上記の「つくだ煮」と同様にPA類がメイラード反応生物などの付加体を作り検出できなくなった可能性も考えられる。

葉柄および花穂の調理においては、あく抜き後、調味液への長時間の漬け込みによってPA類を効果的に低減でき、それ以外の短時間の加熱で仕上げる調理では、あく抜き後、PA類はほとんどそのまま保持されることが明らかとなった。比較的高濃度の味噌や醤油とともに比較的長時間加熱を行う調理において、PA類のメイラード反応生成の可能性やその生成物の生理作用については、詳細は不明である。

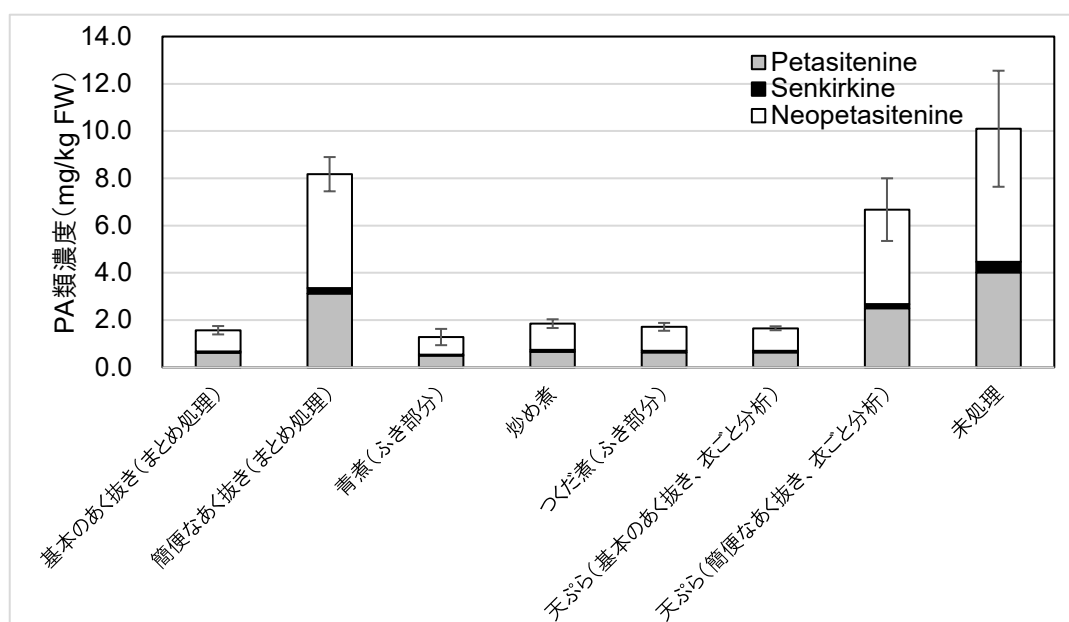


図 3-6 フキ葉柄（秋季収穫）の各種調理品中のPA類濃度

(未処理試料はn=8、その他はn=4)

基本のあく抜き：葉柄の長さを半分に切り、沸騰水中で3分ゆで、皮をむき、6時間水にさらした。

簡便なあく抜き：葉柄の皮をむき、5 cmに切り、10分間水にさらした。

青煮、炒め煮、つくだ煮は、基本のあく抜きを施してから調理した。

天ぷらは、基本のあく抜きと簡便なあく抜きの両方について検討した。

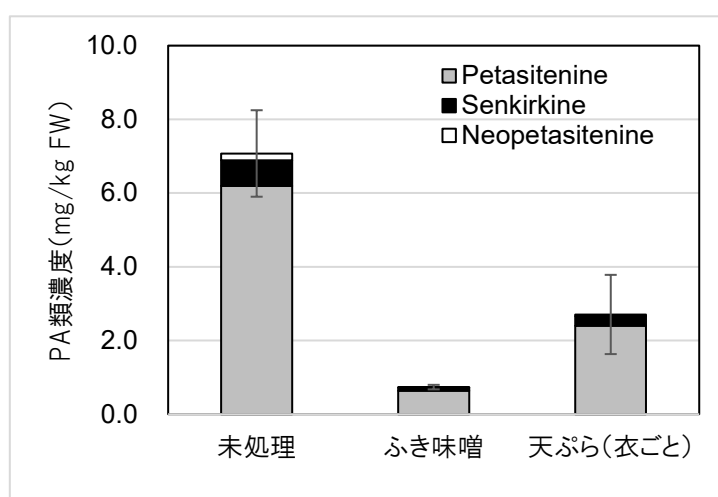


図 3-7 フキ花穂の各種調理品中のPA類濃度 (n=4)

ふき味噌には1分ゆで1時間水さらしのあく抜き処理を施した花穂を使用。

天ぷらはあく抜き処理なし。

③フキ調理品からのPA類摂取量の見積もり

葉柄を用いた調理について、上記のPA類含有量に1食あたり、1人分の調理品の平均的な喫食量に乗じてPA類の摂取量を見積もった。葉柄の「青煮」、「炒め煮」、「つくだ煮」、「天ぷら」の1食あたり、1人分の喫食量を求めた。即ち、葉柄については3人(1

人はふき（フキ葉柄）が「あまり好きではない」、2人は「好き」、花穂については4人（1人はふきのとう（フキ花穂）が「まあ好き」、3人は「好き」）が各調理品を皿に盛り付け、調理品の重さの平均値を求めた（表3-1）。花穂を用いた調理については喫食量を単純に重さで設定し、PA類の摂取量を見積もった（表3-2）。あく抜きを（ほとんど）しないフキ調理品を高頻度で食べる人は、フキ調理品から1年に数mgのPA類を摂取することもあると考えられる。

表3-1 フキ葉柄および花穂の各種調理品の1食あたり、1人分の重さの平均値
（葉柄についてはn=3、花穂についてはn=4）

使用部位	調理品	平均重量（最小値～最大値）[g]
葉柄	青煮	53.5 (38.2～77.6)
	炒め煮	48.6 (16.7～78.9)
	つくだ煮	15.9 (9.0～22.7)
	天ぷら（※）	29.5 (14.0～46.1)
花穂	ふき味噌	27.8 (14.1～35.1)
	天ぷら（※）	35.9 (22.8～49.0)

※天ぷらについては通常の家計調理を考慮し、さつまいもと大葉も組み合わせた3種の天ぷらとして摂取する際のフキ葉柄または花穂の天ぷらの重量を求めた。

表3-2 フキ葉柄および花穂の各調理品からのPA類摂取量の見積もり

部位	調理名	総PA類濃度 (mg/kg, FW)	1食あたりの 平均喫食量 (g)	1食あたりの総 PA類摂取量 (mg)	摂取頻度1*で の総PA類の年 間摂取量(mg)	摂取頻度2**で の総PA類の年 間摂取量(mg)
葉柄	青煮	1.28	53.5	0.069	0.137	1.375
	炒め煮	1.85	48.6	0.090	0.180	1.800
	つくだ煮	1.72	15.9	0.027	0.055	0.546
	天ぷら（基本の あく抜き）	1.66	29.5	0.049	0.098	0.977
	天ぷら（簡便な あく抜き）	6.68	29.5	0.197	0.394	3.938
花穂	ふき味噌	0.74	27.8	0.021	0.042	0.411
	天ぷら	2.71	35.9	0.097	0.195	1.946

*摂取頻度1：1年に2回食べる、**摂取頻度2：1年に20回食べる

（エ）研究成果の活用における留意点

調理試験における摂取量見積もりに用いた喫食量には、地域や個人の嗜好により大きな差があることに留意する必要がある。

（オ）研究目標の達成に当たっての問題点

特になし。

<引用文献>

なし。

5 研究成果の発表

別添のとおり。

6 目的の達成に当たっての現時点での問題点等

当初計画に従って研究を実施し、フキ PA 類の蓄積量の変動要因の解明や調理による PA 類の低減条件についての知見を得て目的を達成した。成果を活用した情報提供等を実施する際には、伝統的な喫食習慣において、健康被害等の問題が出ていない現状も踏まえ、風評等に留意した対応が必要と考える。

<研究総括者の自己評価>

項目		評価結果
試験研究全体		Ⓐ：順調 B：概ね順調 C：やや遅れている D：遅れている
研究 小 課 題	フキ中のピロリジジナルカロイド類の蓄積に及ぼす要因の解明	Ⓐ：順調 B：概ね順調 C：やや遅れている D：遅れている
	フキ中のピロリジジナルカロイド類の蓄積を抑制する栽培方法の開発	Ⓐ：順調 B：概ね順調 C：やや遅れている D：遅れている
	フキ中のピロリジジナルカロイド類を低減できる加工処理法の開発	Ⓐ：順調 B：概ね順調 C：やや遅れている D：遅れている
自己評価コメント		
3年間の限られた研究期間の中で、経験の少ないフキの栽培試験を現地農家や JA 関係者等の協力の下に実施し、品種、収穫期、部位等の PA 類蓄積に及ぼす影響について、3つの試験地で矛盾の無い試験結果を得ることができた。施肥条件などの栽培管理による決定的な低減手法開発には至らなかったが、施肥不足が PA 蓄積を誘起する可能性等を見出し、栽培管理の重要性を明らかにすることができた。調理に関しては、伝統的なあく抜きで実施されている、茹でや水さらし工程の重要性を説明する、科学的根拠を得ることができ、消費者への情報提供に資する成果を得ることができた。以上、コンソーシアム内の協力により順調に研究目的を達成した。		

研究推進会議の開催状況、研究成果の発表(論文、特許等)等

試験研究課題名	フキ中のピロリジジンアルカロイド類の低減に関する調査研究
---------	------------------------------

課題番号	(1) 研究推進会議等開催回数	(2) 行政が活用しうる成果の有無	(3) 学術論文数		(4) 口頭発表回数		(5) 出版図書数	(6) 国内特許権等数		(7) 国際特許権等数		(8) 報道件数	(9) 物品購入の有無
			和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得		
3006	8	有	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	無

※以下、(2)～(9)において、下線は平成29年度の実績

(1) 研究推進会議等の開催実績

区分: ①推進会議、②現地検討会、③その他

区分	推進会議の名称	年月日	開催場所	参加者数	消費・安全局担当官の出席有無	主な議題及び決定事項
①	「フキ中のピロリジジンアルカロイド類の低減に関する調査研究(課題番号3006)」H30計画検討会	H30年8月8日	農林水産省・消費安全局会議室	22名	有	H30 研究実施計画の討議決定。
①②	「フキ中のピロリジジンアルカロイド類の低減に関する調査研究(課題番号3006)」現地検討及びH30成果検討会	H31年2月25日、26日	JAあいち知多 東海営農センター 愛知県	22名	有	・JAあいち知多 現地サンプリング圃場見学 ・H30成果検討 ・H31計画検討
①②	「フキ中のピロリジジンアルカロイド類の低減に関する調査研究(課題番号3007)」令和元年第1回現地検討及び計画検討会	R1年6月27日、28日	徳島県立農林水産総合技術支援センター とくぎんトモニプラザ(徳島県青少年センター)	18名	有	・徳島県立農林水産総合技術支援センター試験圃場および名西郡神山町現地圃場視察 ・H30年度栽培試験結果総括検討 ・R1年度研究計画検討(栽培品種、部位(葉柄長さ試験等)サンプリング計画) ・成果扱い、外部発表時の研究コンソ内確認取り決め
③	愛知県、農研機構打ち合わせ	R1年2月23日	農研機構 食品研究部門	4名	無	・令和元年度 栽培試験状況報告 ・サンプリング方法 試料送付方法打ち合わせ
①②	「フキ中のピロリジジンアルカロイド類の低減に関する調査研究(課題番号3007)」令和元年第2回現地検討及び計画検討会	R2年2月25日	東京家政学院大学, 現代家政実習室(1) 第2多目的室	18名	有	・フキ調理、あく抜き処理試験状況の見学 ・令和元年度成果報告・討論 ・令和2年度研究計画 ・今後の成果発信等についての確認
①	「フキ中のピロリジジンアルカロイド類の低減に関する調査研究(課題番号3007)」令和2年第1回検討会	R2年7月3日	MS TeamsによるWEB会議	19名	有	・令和元年度 栽培試験分析結果報告・討論 ・令和2年度 栽培試験計画・ ・サンプリング方法 試料送付方法打ち合わせ
③	東京家政学院大学・農研機構打ち合わせ	R2年11月11日	農研機構 食品研究部門	3名	無	・あく抜き、調理試験の取りまとめ方向打ち合わせ
①	「フキ中のピロリジジンアルカロイド類の低減に関する調査研究(課題番号3007)」令和元年第2回検討会	R2年2月25日	MS TeamsによるWEB会議	22名	有	・フキ調理、あく抜き処理試験状況の見学 ・令和元年度成果報告・討論 ・令和2年度研究計画 ・今後の成果発信等についての確認

(2) 行政が活用しうる成果

区分: ①行政がすでに活用した成果、②行政が活用する目途がたった成果

区分	成果の内容	主な利用場面	活用状況
②	フキ葉柄および花穂における、PA類低減のためのあく抜き処理条件	消費者向け助言発信	農林水産省が、実態調査公表時に合わせて、消費者向け情報の更新を検討

(3) 学術論文

タイトル、著者名、学会誌名、巻、ページ、発行年月	機関名
-	

(4) 口頭発表

タイトル、発表者名、学会等名、発表年月	機関名
<i>Petasites japonicus</i> 葉柄の各種あく抜き処理がピロリジジンアルカロイド類の低減に及ぼす影響, ○竹中 真紀子、三宅 紀子、木村 俊之、漆山 哲生、等々力 節子、日本農芸化学会2020年度大会、2020年3月26日(コロナ禍で要旨のHP掲載を持って開催)	東京家政学院大学、農研機構、農林水産省

(5) 出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌、③年報、④広報誌、⑤その他

区分	著書名、(タイトル)、著者名、出版社名、発行年月	機関名
	-	

(6)国内特許権等

特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日	機関名
-							

(7)国際特許権等

特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日	機関名
-							

(8)報道件数

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映

区分	記事等の名称	掲載紙・放送社名	年月日	機関名	備考
	-				

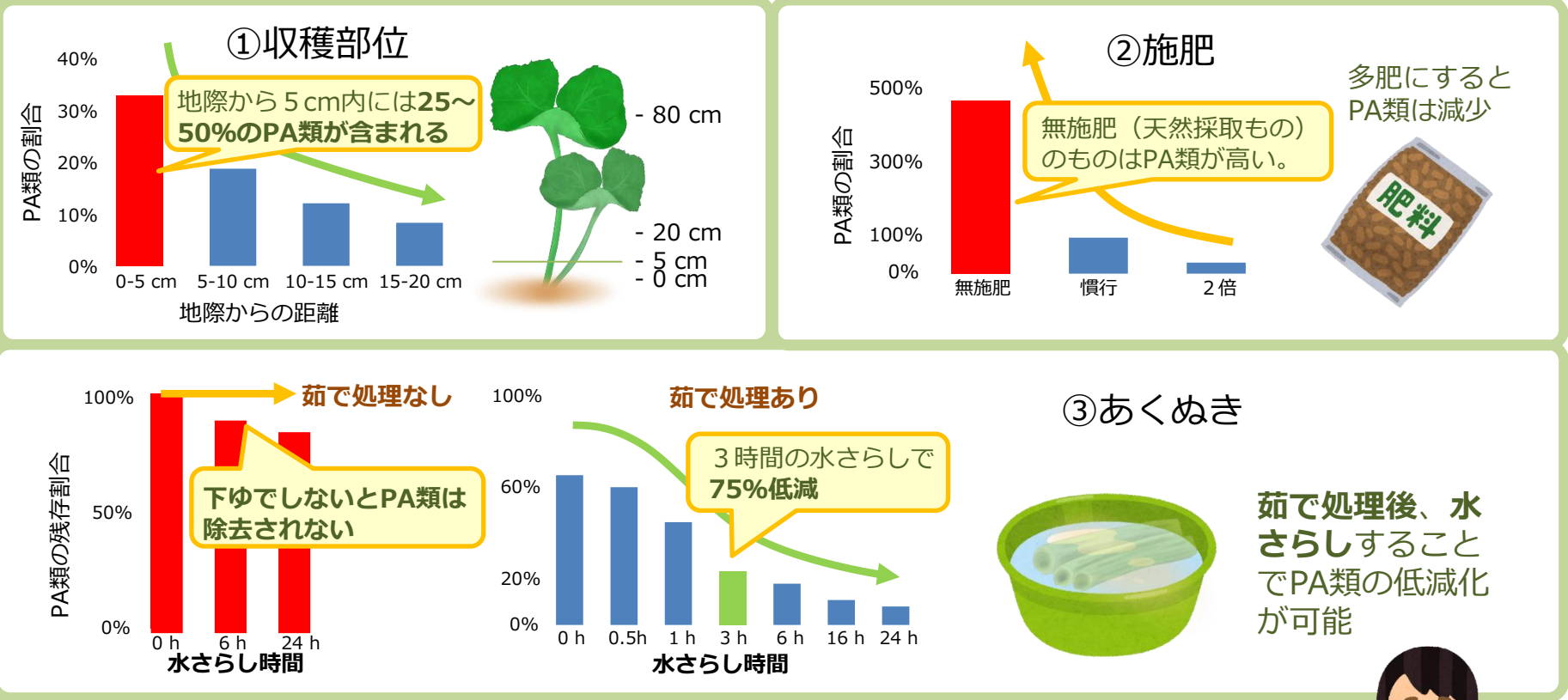
(9)購入物品

品名	規格	員数	購入実績(円)		使用目的	備考
			単価	金額		
-						

フキ中のピロリジジナルカロイド類の低減に関する調査研究

【研究の目的】 フキのピロリジジナルカロイド（PA）類を低減化させる栽培法、加工法を検討する

【主な成果】



【成果の活用】
フキPA類を低減するには栽培ものを用い、根元を切り落とし、茹で処理後、3 時間の水さらしする

