

我らホップ調査隊

～ルブリンの抗菌力とソーセージ開発に関する研究～

岩手県立花巻農業高等学校 食農科学科3年 千田 玲那

I はじめに

私は、高校1年生の令和4年2月下旬頃から先輩の研究に関心を持ち、先輩の研究に参加してきました。

私の家は、岩手県遠野市にあり、幼い頃からホップを身近なものに感じていました。毎年8月下旬から9月上旬にかけて恒例のホップの収穫があります。市内2箇所にあるホップ工場へたくさんの山積みになったホップがトラックで運ばれ、夜通し乾燥処理が行われます。その頃の市内の道路には、運送中にこぼれたホップが至る所に落ちている光景を見ていました。

収穫するホップは、毬花（きゅうか）と呼びます。これは、花や果実のようなもので専門的には萼片（がくへん）にあたります。

具体的に岩手県遠野市のホップについて紹介していきます。

遠野市のホップは、日本一の栽培面積を誇っており、その利用用途は、ビールの原料以外には使われていないことを小学校高学年の頃から自然と覚えていました。

「この地域資源をビール以外に有効活用できないものか？」

私は、先輩たちの考えに共感し先輩方が継続してきたホップをソーセージに練り込むことで今までとは違った長期保存可能なソーセージ製品を科学的に解明していきたいという気持ちにかき立てられ研究をしています。

そもそも、ホップ（学名：Humulus lupulus）はアサ科のつる性多年草植物の雌雄異株で、雌花のみが栽培されているといわれています。和名はセイヨウカラハナソウ（西洋唐花草）。その雌花は「毬花」と呼ばれビールの主要な原料の一つであり、ビールの苦



味、香り、泡にとって極めて重要で、雑菌の繁殖を抑え、ビールの保存性を高める働きがあります。私も生産者から頂いた毬花1粒のかけらを味見したところ、ストレートに苦みが感じ、後味が苦みの中にも爽やかさが若干残っていました。

また、ホップ農家さんは、収穫時、イガイガしている葉っぱや太く長い15m程ある蔓が腕や顔、首などに触れ切り傷をつけてしまうこともあると仰っていました。しかし、農家さんは、ホップによって、「私たちは守られている」と口を揃えて言います。その理由は、ホップの内部にある「ルプリン」という黄色い樹脂が抗菌剤として作用し傷口の化膿を抑えているのだと言うのです。

これをヒントに、この毬花にあるルプリンには、何らかの抗菌作用があることを予想していました。

これまでの毬花を使ったソーセージ開発では、以下のように抗菌力が有しているか検証してきました。

- ① 毬花を生のままソーセージに添加。
- ② 生の毬花を粉砕してソーセージに添加。
- ③ 殺菌温度や時間の条件を変え、生毬花を水で希釈し搾ってエキスの抽出として添加。

など多くの研究をしてきましたが、どれもソーセージにした際、毬花を入れていないソーセージと比較しても微生物が発生してしまい抗菌効果による確認が取れませんでした。

そこで私は、その失敗の原因は、毬花を包んでいる萼片に雑菌が付着していると想定し、「毬花本体ではなく内部の樹脂であるルプリンに抗菌力が存在するのではないか」と思い仮説を立てました。

この仮説を、立証するためには、これまで研究してきたことを180°C見直すことになりました。



この毬花の抗菌力を活用し、遠野市の「ホップ」、花巻市のブランド豚「白金豚」、北上市の規格外の「二子里芋」を使用して、市販にはない差別化商品をソーセージで開発することを目指して研究しています。

助言者として北上市農林部農業振興課園芸畜産係瀬川礼奈さんから、「畜産加工品で二子里芋を使ったソーセージは作られていません。新製品が増えることで地産地消に繋げることができ、地域の活性化に貢献するだけでなく生産者の意欲向上にもつながることができる」と仰っていました。

さらに私は、食品業界の課題となる肉を固くする乳酸菌や耐熱性芽胞菌のバチルス属（納豆菌）とクロストリジウム属（ボツリヌス菌）をホップで死滅させることで、食肉加工の安全性が広がると共に保存性を高めることで食品ロス軽減になると考え、研究をはじめることになりました。

私たちの代での研究目標を以下のように立てました。

II 研究目標（令和4～5年度）

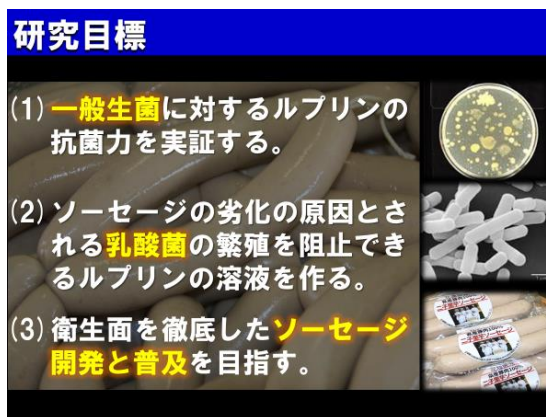
- 1 一般生菌に対するルプリンの抗菌力を実証する。
- 2 ソーセージの劣化の原因とされる乳酸菌の繁殖を阻止できるルプリン溶液を作る。
- 3 衛生面を徹底したソーセージ開発と普及を目指す。

この3つの目標を掲げて研究を始めました。

III 研究計画

研究計画は、右記の通り2年から3年にかけての計画を立てました。

研究1年目は、毬花の抗菌物質を最大限発揮させるための殺菌温度や時間、ルプリン末の抽出に重点をおきました。2年目は、企業と連携しルプリンの抗菌力の存在を検証することを計画しました。



研究計画	
月	R4年度（2年）
4	微生物検査①
5	開発1 先輩より技術指導
6	微生物検査②
7	開発2 毬花（抗菌物質） ソーセージ
8	微生物検査③
9	開発3 毬花エキスを 入ったソーセージの開発
10	微生物検査④
11	開発4 ルプリン入り ソーセージの開発
12	微生物検査⑤
1	開発5 ルプリン入り ソーセージの開発
2	研究まとめ・課題
3	
月	R5年度（3年）
4	後輩指導 ホップ農家訪問
5	開発5 ルプリン入りソーセージ 開発・配合割合
6	銀河フーズ訪問
7	ルプリン入りソーセージ 配合確定
8	開発6 ルプリン入りソーセージ
9	ルプリン入りソーセージ
10	二子里芋の収穫
11	花巻農産品化
12	学科発表・卒業論文制作
1	卒業論文制作
2	卒業論文完成
3	卒業

IV 研究内容

私は、はじめにソーセージの原料となる地域食材にこだわりました。今年で4年目となる北上市特産の「二子里芋」は、私たちも昨年10月に収穫体験させて頂きました。

その二子里芋の中の頭芋（かしらいも）は、毎年30トン以上も廃棄処分されている現状を知りました。

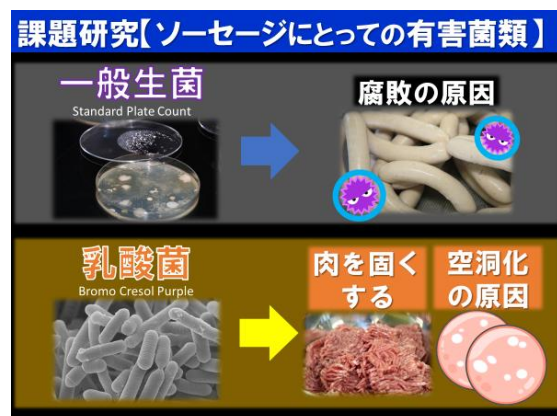
また、豚肉は花巻市特産の「白金豚ウデ肉」、肉の熟成を進める米麴は、童話作家で詩人の宮沢賢治先生が当時の農家に推奨した本校産の陸羽132号からできた「米麴」、これらの資源を有効利用することでオリジナルソーセージを目指すことにしています。

特に私は、ソーセージの賞味期限を延ばすためには、製造工程はもちろん重要ですが、出来上がった製品に雑菌が付着していないか、微生物検査について関心があったため、その検査を中心に研究を進めています。

ソーセージに対して有害菌とされる菌を学びたいと思い、微生物利用の授業や企業に訪問することで専門性を学んでいます。具体的には、畜産加工品に不利益をもたらす雑菌の総称である一般生菌や肉を固くし空洞化の原因になる乳酸菌について学習を深めてきました。

また、ソーセージの賞味期限を延ばすためには、微生物検査の結果が基準値以内であることが前提になければなりません。私は、連携企業である銀河フーズ株式会社の食品衛生検査指針を参考にしました。これによると一般生菌や乳酸菌の初菌は300個未満であることが必要であり、それ以上の菌が出てしまうと賞味期限を付けることができません。

また、その他の恐ろしい菌として、イーコリ（大腸菌群）やサルモネラ、黄色ブドウ球菌、そして耐熱芽胞菌であるバチルス属、クロストリジウム属などは1つでも陽性として検出されれば販売することができません。そのため衛生面に充分配慮して、エビデンスに基づいて菌体を抑えることが大前提にあります。その基準値内の



ソーセージの賞味期限(食品衛生検査指針)			
初菌判定	一般生菌 (SPC)	乳酸菌 (BCP)	
OK	300 ↓	300 ↓	賞味期限が付く
NG	300 ↑	300 ↑	賞味期限が付かない

安心安全を担保することができない
エビデンスに基づいて菌体を抑える

私は、ソーセージを製造する上で最も重要視しているのは一般生菌を抑える感染リスク管理の工夫です。その基盤になっているのが令和3年6月より食品衛生法が改定され、学校を含む一般の食品製造業者はハサップの衛生管理の手法に基づいて製造することを義務付けているため、これを参考に実践しています。

そこで私たちは、必ず、製造する前に、畜産加工実習室の清掃を念入りに行うと同時に、器具や機器の部品、前掛けなど熱消毒とアルコール殺菌してから製造をはじめています。このように微生物の感染リスクを極力抑えて製造に入ります。

- ① 食品の衛生的取扱（原料の受け入れ、冷凍冷蔵庫の温度、器具などの二次汚染の防止、食品製造機器の洗浄・消毒、機械釘の破損の確認）
- ② 食品従事者の衛生管理（健康管理、トイレの洗浄、整容身だしなみ、手洗いの実施）
- ③ 施設設備の衛生管理と保守点検（実習室や機器の清掃や洗浄）
その一般衛生管理計画を踏まえて、食肉製品製造業の重要管理計画（右記資料参照）を立てます。具体的に以下のように



重要管理實施記錄 NO5

[illegible]

なります。

- ① 煮沸等温度時間の確認（一次殺菌、二次殺菌）
- ② 真空パックの確認（パック前の製品のアルコール消毒）
- ③ 異物混入の確認（肉の練り上げ、充填、真空パック後の目視）
- ④ 微生物検査（一般生菌を検査キットで最低4週実施）

このような計画をしっかりと行い、それに基づいて実施記録を製造のたびに記録します。この資料（5 ページ右下表）を使い、それらの良否状況や冷蔵冷凍庫の温度、製品の練り上げ温度から工程中の肉の殺菌温度から時間に至るまで、私たちがその計画に定めたとおりに実施されているか記録していきます。

早速、ハサップの手法に基づいた衛生管理を取り入れながら製造することにしました。

はじめに行ったことは、毬花無添加、生毬花、殺菌毬花の3区のソーセージを製造しました。しかし、どの区も保存期間4日目の初菌でコロニーが形成され賞味期限が付かなかったため、次に毬花エキスの抽出に着目しました。

その毬花に煮沸した水を加え、1%毬花エキスをを使用してソーセージの製造を行った結果、初菌8日目でコロニーが形成されてしまい、再度ルプリンの抗菌力実験をやり直し検証することになりました。

これまで多くの失敗をしていたため、原点に立ち回りホップの特性について学び直すことにしました。

遠野産の毬花を活用し、抗菌力を持つとされているルプリンについて、改めて学習を深めました。担当の先生の紹介で世界に5人ほどしかいない我が国のホップ研究の第一人者であり、元麒麟ビール主任研究員の村上敦司ホップ博士からお話を伺うことにしました。



毬花無添加, 生毬花, 殺菌毬花の添加

検体種類	保存期間	一般生菌数			乳酸菌		賞味期限
		表面 (本校)	表面 (企業)	中心部	表面	中心部	
無添加	4日 (初菌)	<10	1.0×10 ¹	<10	5.0×10 ¹	<10	なし
生毬花	4日 (初菌)	<10	1.1×10 ¹	<10	4.0×10 ¹	<10	
殺菌毬花	4日 (初菌)	<10	1.0×10 ¹	<10	7.0×10 ¹	<10	
殺菌毬花	4日 (初菌)	<10	2.0×10 ¹	<10	3.9×10 ¹	<10	なし
生毬花	4日 (初菌)	1.0×10 ¹	7.0×10 ¹	<10	9.0×10 ¹	<10	
殺菌毬花	4日 (初菌)	1.0×10 ¹	4.0×10 ¹	<10	3.0×10 ¹	<10	
生毬花	4日 (初菌)	<10	3.0×10 ¹	<10	6.0×10 ¹	<10	なし
殺菌毬花	4日 (初菌)	3.1×10 ¹	4.1×10 ¹	<10	4.0×10 ¹	<10	
生毬花	4日 (初菌)	5.0×10 ¹	1.3×10 ¹	<10	8.0×10 ¹	<10	

そのまま添加が原因 → エキスの抽出

微生物検査(食衛検査指針<300個) 2022.7.24

検体種類	保存期間	一般生菌数				乳酸菌	賞味期限
		表面 (本校)	表面 (企業)	中心部	公定法		
毬花無添加	8日	<10	<10	<10	<10	<10	6日
エキス0.5%	8日	<10	<10	<10	1.0<10 ¹	<10	
エキス1%	8日	<10	<10	<10	2.0<10 ²	2.0<10 ²	

ルプリンの抗菌力の再検証



そのお話しの中には、毬花の成分であるルプリンは、苦味と香りに分けられます。特に抗菌力を有しているのは「苦み」であり、その成分には酸性領域で抗菌効果を発揮する「 α 酸」と中性領域で効果を発揮する「 β 酸」に分けられ、ソーセージはPH6.5の中性領域に入るため主に β 酸で抗菌力を発揮させます。

毬花は、遠野市で自家栽培している白岩さんから提供された品種マグナムと、遠野市で生産されているイブキがあります。それらの抗菌成分を比較したとき、マグナムの酸解離定数は、イブキの約2倍の α 酸を持ち、 β 酸は同等の量を持っていることを学びました。

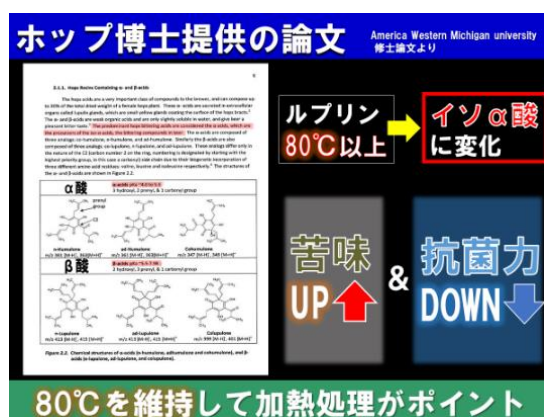
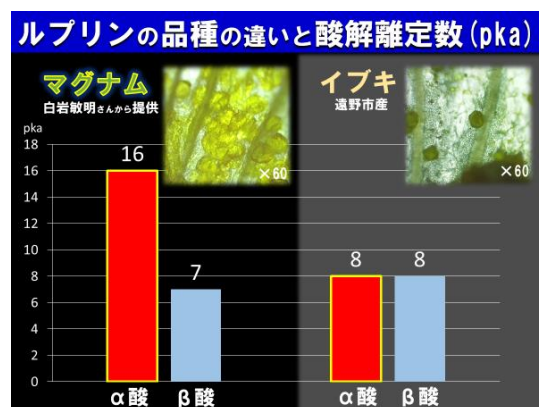
また、村上敦司ホップ博士から提供していただいた論文を翻訳すると、ルプリンは80℃以上になると、イソ α 酸に変化し苦みがより強くなり、それと共に抗菌力が下がることが読み取れるため、80℃を維持して処理することがポイントだと分かりました。

そこで私は、より抗菌力の安定性を引き出すために、生毬花である遠野産イブキを使って、毬花を篩にかけ、歩留まり4%のルプリン単体を抽出することに成功しました。そのルプリンを滅菌水と混合し80℃1分で殺菌します。

濃度が0%の対照区と0.1~0.3%ルプリン溶液をそれぞれ添加させました。その後空中落下菌を接種し、35℃で48時間培養した結果、濃度が上がるにつれて菌の数が減少傾向になっていることをつかめました。

この実験から、私は0.4%ルプリン溶液が菌を抑えられる境界線になるのではないかと考え、実験した結果、対照区と比べて0.4%ルプリン溶液の12検体は、全てコロニーが現れず、遂に抗菌作用が確認されました。

この結果から私は、0.4%ルプリン溶液を肉1500gに対して12%分の180g凍らせて添加し、ソーセージの製造を行いました。しかし、6日目でコロニーが形成され、賞味期限をつけることができず失敗、ホップ博士や銀河フーズ生産管理室長の河内さんに相談したところ「培地上では有効でもソーセージに入れるなら0.4%じゃ薄



微生物検査の結果

検体種類	ルプリン添加量ml					15検体中
	0.5ml	1ml	2ml	3ml	4ml	
対照区 ルプリン0%	1×10 ⁶ <10 3×10 ⁶	2×10 ⁶ 1×10 ⁶ <10	1×10 ⁶ <10 3×10 ⁶	1×10 ⁶ 1×10 ⁶ 1×10 ⁶	2×10 ⁶ 1×10 ⁶ 2×10 ⁶	12
ルプリン 0.1%	<10 <10 1×10 ⁶	2×10 ⁶ <10 1×10 ⁶	<10 1×10 ⁶ <10	<10 <10 1×10 ⁶	<10 <10 <10	5
ルプリン 0.2%	<10 <10 1×10 ⁶	1×10 ⁶ <10 <10	1×10 ⁶ <10 <10	<10 1×10 ⁶ <10	<10 <10 <10	4
ルプリン 0.3%	2×10 ⁶ <10 1×10 ⁶	<10 <10 <10	<10 <10 <10	<10 1×10 ⁶ <10	<10 <10 <10	3

濃度が上がるにつれて菌が減少傾向



い。」と教えていただきました。

このお話を踏まえ私たちは、里芋と米麴に土着菌などの雑菌が付着していると考え、それらを使わないソーセージと前回より6倍近く濃度を高くした2.2%ルプリン溶液を添加し製造したソーセージで抗菌力の再検証をしました。

しかし、初菌4日目でコロニーが形成され、またしても賞味期限をつけることができず失敗、振出しに戻ってしまい私は落ち込み、研究を諦めるか否かまで判断するところまでできました。

「もっと別の方法で確かめられるんじゃないか。」と班員からの声が上がリ、連携企業のもとへ相談、研修してきました。

この研修によって、ルプリンの抗菌力を可視化できる阻止円という実験方法を学んできました。

阻止円とは、ソーセージから出た有害菌を培地に混ぜ、中心部に置いたろ紙にルプリン溶液を添加し、48時間培養。その後、菌が培地全体に拡散するときに、ルプリン溶液が添加されたろ紙の周りにだけ、右記のようなサークル状に菌の繁殖を阻止することができれば抗菌力があることを証明できます。これまで実験を繰り返した結果、次のような方法が有効であるとわかりました。

実験手順は次の通りです。

一般生菌に対して有効なのか調べるために、保存テストの際に培養した菌を取り出し滅菌水で混合、それを標準培地に1ml添加。その後ろ紙に2.2%ルプリン溶液を0.2ml滴下し、35℃で48時間培養した結果、阻止円がはっきり現れました。

この結果から過去に製造したソーセージの賞味期限を、市販品以上の36日間までつけることができたのは、ルプリンの抗菌作用によるものだとわかりました。よって、14ヶ月の試行錯誤の末、ルプリンには抗菌力があることを仮説のとおり実証できました。

しかし、（初菌4日目でコロニー形成）

微生物検査（食品衛生検査指針＜300個）

検体種類	保存期間	一般生菌数			乳酸菌		賞味期限
		表面（本校）	表面（企業）	中心部	表面	中心部	
対照区	4日（標準）	41×10 ² 56×10 ² 185×10 ²	4.0×10 ² 6.0×10 ² 1.3×10 ²	5.0×10 ² 2.0×10 ² ＜10	8.3×10 ² 1.5×10 ² 2.3×10 ²	1.0×10 ² ＜10 2.0×10 ²	なし
ルプリンエキス 2.2%	4日（標準）	92×10 ² 187×10 ² 212×10 ²	3.7×10 ² 3.0×10 ² 6.9×10 ²	7.0×10 ² 3.0×10 ² ＜10	6.0×10 ² 1.8×10 ² 1.2×10 ²	1.1×10 ² 2.0×10 ² 2.0×10 ²	なし

賞味期限をつけることができなかった

阻止円の実験方法



阻止円実験の結果



微生物検査（食衛検査指針＜300個） 2022.8.30

検体種類	保存期間	一般生菌数			乳酸菌		賞味期限
		表面（本校）	表面（企業）	中心部	公定法	公定法	
毬花 無添加	8日	＜10 ＜10 ＜10	＜10 ＜10 ＜10	＜10 ＜10 1.0×10 ²	＜10 1.0×10 ² 2.0×10 ²	＜10 ＜10 2.0×10 ²	6日
エキス 1%	45日	— ＜10 ＜10	＜10 ＜10 ＜10	＜10 ＜10 ＜10	＜10 3.0×10 ² 1.0×10 ²	＜10 ＜10 1.0×10 ²	36日

市販品の賞味期限 30日間 → 25日間

14か月の試行錯誤の末に抗菌力が実証

しかし、毬花には季節性があり年中入手するのは難しいため、いつでも手に入りやすいホップペレットに着目しました。

ペレットを使うことによって、ルプリンを抽出する手間が省けるとともに、水溶液を抽出することでルプリン濃度に安定性が出ます。そこで私は、ソーセージから出た一般生菌と乳酸菌に対してペレットが有効なのか知りたいと思い、阻止円の実験を繰り返し行いました。

実験手順は右記の通りです。

菌が付着しているソーセージを滅菌水で 10 倍に希釈し、それぞれの培地に混ぜ、低濃度から高濃度のペレット抽出液を 65℃ 2 時間かけて殺菌、そのろ過液をシャーレ中心においてあるろ紙に滴下し培養しました。

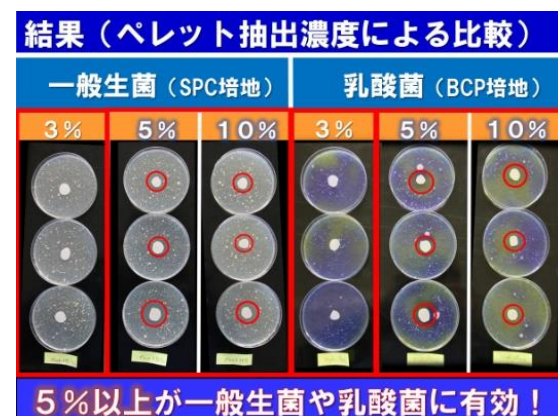
結果、3 % は、どちらの培地も阻止円が見られなかった反面、5 % 以上はどちらも阻止円が見られペレット抽出液は、一般生菌や乳酸菌にも有効だということが確認できたと同時に、企業のクロスチェックでも立証、私の検査技術も評価していただきました。

このことから私は、ペレット抽出液をソーセージに練りこむことで賞味期限を延ばせる手応えを感じています。

▼普及活動

私たち研究班が製造した二子芋ソーセージを市内の産直や北上市役所で試食販売し、私たちの研究を広めるとともに、地元にならな芋の利用用途の可能性を伝えてきました。

さらに、私たちの活動がイオン東北株式会社の目に止まり、盛岡市のベーカリーショップと連携し、ソーセージドッグとして 3 日間で 300 個の限定販売をしたことで即完売しました。このことから消費者の声を間近に感じ、今後の商品化に活かす活動もしています。



これまでの研究の評価として令和 5 年 2 月に東京で開催された第 8 回全国ユース環境活動発表大会全国大会で発表し優秀賞を受賞、食品開発を通して廃棄される資源の有効利用を評価して頂きました。

V 研究の成果

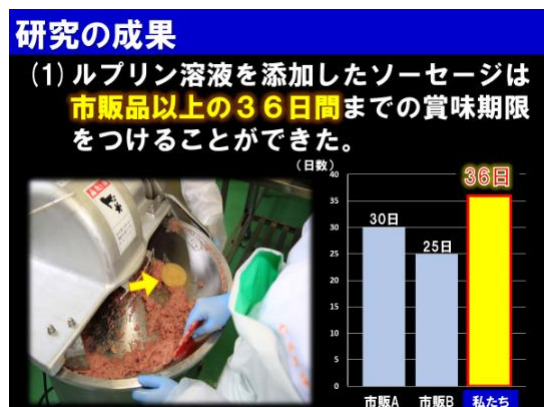
- 1 ルプリン溶液を添加したソーセージは、市販品以上の 36 日間まで賞味期限をつけることができた。
- 2 ルプリン抽出液は 2.2%、ペレット抽出液は 5 %以上の濃度で一般生菌と乳酸菌に対して抗菌力が有効であることを実証できた。
- 3 私たちの活動が外部で高く評価され、地域のみならず全国へ発信することができた。

VI 今後の課題

- 1 ペレットの抽出液を使用したソーセージで賞味期限を 30 日以上に延ばす。
- 2 バチルスやクロストリジウムに対応したホップの抗菌力の研究を継続する。

VII 自己評価

私は、昨年 2 年生で農業クラブ全国大会北陸大会の発表者として出場したことで、少しずつ班長としての自覚を持つようになってきました。また、部活動では鹿踊部のキャプテンとして活動し、毎日放課後の稽古後、研究に合流し微生物実験を中心に後輩の指導を行い後輩の育成にも努めてきました。さらに、ソーセージの製造研究や農家との交流、商品化に至るまで多くの経験をさせていただき今となれば、このような活動は貴重な体験であったと思います。このような機会を提供していただいた関係者の皆さんに感謝しています。



振り返ると地元産ホップのルプリンには、本当に抗菌作用があるのか疑心暗鬼になり諦めかけることもありました。その頃の私は、研究を信じることができなくなり、途中で投げ出したくなることもありました。しかし連携企業の生産管理室長である河内信明さんの助言や研究班そして担当の先生に助けられてお互い励みながら研究することができました。その抗菌力の裏付けを検証するための試行錯誤や失敗の連続を糧にできたことで、「毬花には抗菌力が存在する」ことを突き止めることができました。

あの時の阻止円形成は忘れられません。

班長として、共に切磋琢磨してお互いの意見を出し合いながら、活発に活動することができたことに大きなやりがいと研究に対して誇りを持つことができました。

この研究に携わったことで「諦めないことへの執念と仲間を信じることへの大切さ、そして1つの課題に向けて信じて立ち向かう探究心」などを学ぶことができたことに、私自身、成長を感じることができました。

この研究はまだ終わっていません。これまで多くの関係者の皆さんと連携したことで、私は、少し先を見通して考えられるようになりました。これからもこのプロジェクト研究から学んだ課題解決能力を将来の自分に役立てていきます。そして何より、人は一人で生きていくことができないため、出会った人への感謝の気持ちを忘れずに生活していきます。

VIII 最後に

私は、この地域資源を使うことでサステイナブルな商品開発の推進と普及ができるものと信じています。

これからも研究材料に活用するホップや二子里芋の活用方法を継続的に研究していきたいと思います。そして、この研究から食品ロスや廃棄物の減少のきっかけになることを信じていくと共に、さらなる地域の農業や食産業に貢献することを約束します。

