

震災復興へ向けた取り組みを自分たちの手で

福島県福島市立渡利中学校 科学部

I. はじめに

東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故から6年が経過した。震災直後、地震や津波、放射線の影響から多くの生徒が他地区や他県へ流出した。現在も、自宅に帰れずに不自由な生活を強いられている人たちも多い。

これまで地元産業を支えてきた農業は、未だに放射線による風評被害の影響から脱しきれずにいる。学校でも校庭や敷地の除染を何度となく行った(図1・2)が、震災前のように校地に農作物を植え、自分で育てた野菜を食す機会はめっきりと減っている。

また、震災以降、家庭でも植物を育てたことがないと

いう生徒もいる。生徒に野菜や植物を育てる楽しさを伝えたい、安心・安全な環境を取り戻し、生徒が元気を取り戻せる活動がしたいと考えた。

「どうすれば、生徒たちが元気になる活動へとつなげられるか」を考えた時に、被災した多くの生徒たちが郷土の復興を強く願い、復興の手助けがしたいと思いつながら、どのように復興へ協力できるかがわからないというジレンマにぶつかっていた。「自分たちにもできる復興」を具現化すべく、復興をテーマとした研究活動を進めていくことを提案しながら、今後も長い時間を要するであろう復興への活動を支援したいと考え、本プログラムを計画した。

II 主な活動内容

1 家庭用植物工場の研究

(1) 研究の目的

地震と原発事故による放射線の影響で、震災直後はガスや電気、水道のライフラインの停止が2週間ほど続いた。物流面でも本県には食料品や生活用品などがまったく届かず、商店の棚が空になる不測の事態が続いた。他の地域に避難したいと望んでもガソリンすらない状況も続いた。

度重なる余震も続き、船酔いのような状態が寝ても覚めても続いた。しかし、余震の揺れより大きな衝撃であったのが、農産物への影響であった。これまで新鮮、安心・安全が売りの地元産の野菜が放射線の影響で出荷規制の対象となった。水や食べ物が十分でない状況で、地元産の農作物すら問題とされ、孤立した状態の生活が続いた。

現在、福島県の農産物は厳しい管理のもと検査が行われ、基準値を下回ったものだけが出荷されている。しかし、県外や国外への販売は、未だに規制や風評被害の影響を大きく受けている。そのため、野菜を栽培する農家数もだいぶ減少している。

そこで我々は、出荷規制がかかったハウレンソウを



図1 高圧洗浄機での校舎の除染



図2 表土を除去し、校庭に埋没させた

安心・安全に栽培し、風評被害も払拭できる方法がないかと模索した。震災直後、福島市の空間放射線量は $24\mu\text{Sv/h}$ に達する場所があったが、室内の空間線量は屋外ほど高くなかった。室内で家庭菜園のように手軽に栽培ができないかと考えたのが「家庭用植物工場の研究」である。

(2) 研究内容

①品種と栽培環境について

市販のホウレンソウ10品種を夏季に室内（平均気温均 30.6°C ）で100個播種し、発芽率を比較した。ホウレンソウは冬が旬の野菜であるが、夏季でも日本、次郎丸、ソロモンが高い発芽率を示した。

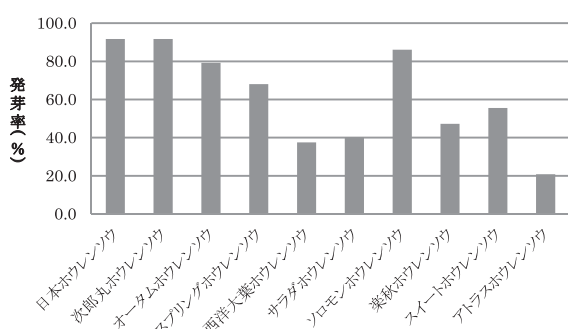


図3 品種による発芽率の違い

室内栽培は屋外と異なり、空間利用が必要となる。土耕や水耕栽培に比べ、軽量のバーミキュライトに液肥を加えた栽培方法で行った。



図4 バーミキュライトでの栽培方法

なお、ホウレンソウの生長の比較は、生長全重・調整重、草丈・葉身長・葉身幅・葉柄長・葉数・葉色 (SPAD) を測定した。

②室内栽培での補光について

ア 白色光の補光での生長の違い

ホウレンソウは光飽和点が 20000lux とそれほど高くないが、夏季の室内の太陽光だけでは不十分な時間

帯がある。そこで白色LED蛍光灯を使い、昼の補光（7:30～16:30）の有無と暗期（16:30～7:30に暗室へ移動）の有無で生長を比較した。

補光を行うことで葉身幅が大きくなる。また、暗期を設定すると葉身長が長くなるが、葉柄は暗期を設定しないときに比べ短くなることが確認できた。このことは、徒長を防止するのに役立っていると考えられる。室内での栽培では補光だけでなく、暗期の確保が必要であることがわかった。

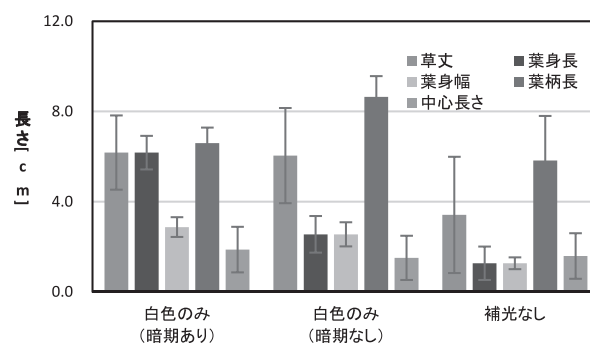


図5 暗期の有無での部位の長さの違い

イ 補光の色で生長に違いはあるか

太陽光を利用しながら、室内での効果的な補光が何かを補光の色と時間を変えて生長を比較した。時間はグループ1（6:00～18:00 1時間ごと照射）・グループ2（6:00～18:00 30分ごと照射）・グループ3（6:00～18:00の連続照射）でLEDの電球の色（赤・青・白色）を変えて成長の比較を行った。使用品種は、抽苔しにくいソロモンを使用した。

栽培期間は平成26年9月15日（播種）～10月26日（測定日）である。

各部位の長さは、太陽光と1時間ごとの赤色照射が、他の条件よりも葉身と葉柄が長くなる傾向にある。また、青色光は同じ時間に照射した光よりも葉数が少なくなる傾向にあることがわかった。

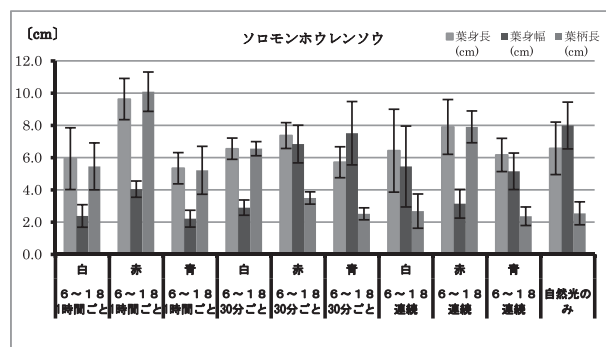


図6 補光の色と時間での生長の比較

ウ 短時間補光での生長の違い

[羽生広道・庄司和博] は、人工チャンバーで夜の開

始時に赤色光 (PPFDは $50\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) と夜の終了時に青色光を照射することで生長が促進されると報告している。

アの結果から、太陽光を併用した室内栽培でも暗期が必要であることがわかったため、暗室へ移動した時 (夜の開始時) と、暗室から窓際に移動させた時 (朝の開始時) に、白・青・赤色のLED電球をPPFDは $50\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ になるように時間を変えて、色別に照射した。なお、日中は白色光で補光し、暗室でも照射時間以外は暗期を設定した。

太陽光を併用しての室内での補光では、人工チャンバーを使用した場合と異なり、青色光の影響よりも赤色光の波長の入った光が夜の開始時に照射される条件の方が成長に影響することが草丈長の様子からわかった。



図7 暗室で周囲を覆っての補光

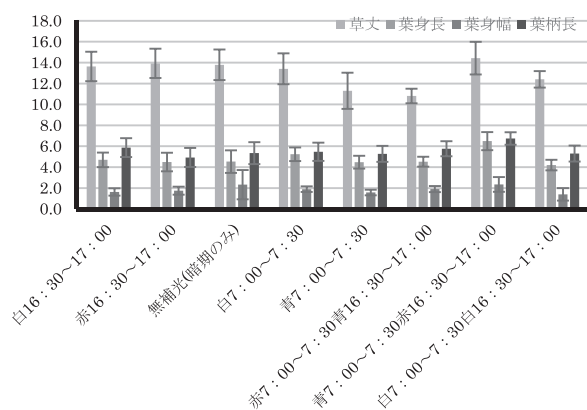


図8 補光色と照射時間と生長の違い

2 低硝酸野菜の開発を目指して

(1) 研究の目的

ホウレンソウは、シュウ酸・硝酸が、他の野菜に比べて多く含まれる【中原, 1974】。硝酸は、発がん性のニトロソアミン化合物を生成する可能性が指摘されている【王子ら, 1984】。原発事故以降、発がん性という言葉に我々も過敏になっていた。日本では、野菜に関する硝

酸の摂取基準は設定していないが、EUでは硝酸濃度の参考値を2000~3500 mg/kgFWに設定している。

そこで、ホウレンソウの硝酸濃度の低減化が図れば、がんに対する心配の軽減や風評被害の払拭にも繋がると考えた。

(2) 研究内容

ア 品種・部位での硝酸摂取の低減化

硝酸量の違いを品種と部位 (葉身・葉柄) で測定した。硝酸濃度が低い品種とされるサラダホウレンソウもEUの参考値を超えている。また、すべての品種で葉身に比べ、葉柄部の硝酸量が高いことがわかった。そのため、調理の際に葉柄を除去することで、硝酸の低減化が可能だと考えられる。

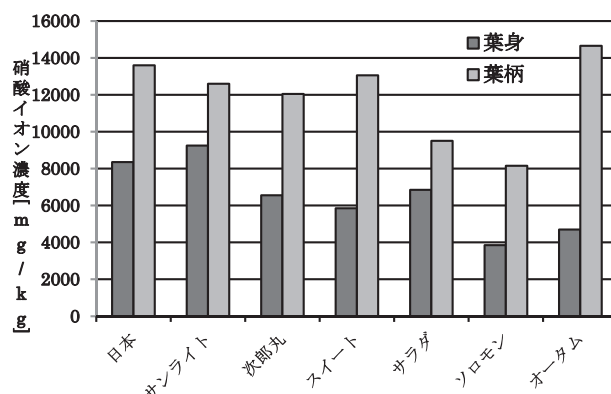


図9 品種と部位の硝酸イオンの違い

イ 栽培面からの硝酸摂取量の低減化

野菜等に蓄積される硝酸イオンは、基本的には施用窒素や土壤中から可給化される硝酸イオンに由来する。そこで液肥 (ハイポニカ) の希釈倍率と植物体に含まれる硝酸量を比較した。液肥の希釈倍率が高いほど、硝酸量は減ることがわかる。ただし、1000倍希釈では生長不良を起こすことから、500倍希釈が適当だと考えられる。



図10 液肥希釈倍率と硝酸量の違い

3 塩害土壌の克服の研究

(1) 研究の目的

福島県の沿岸部は放射線の影響で帰還困難区域に指定され、復興は他県に比べ大きく遅れ、いまだに震災の爪痕がそのままの地域も多い。津波被害の直後は田畑の形もなくぬかるんだ状態であった。本校にも津波で家族や家を失い、転校を余儀なくされた仲間が避難している。そうした仲間たちのためにも塩害土壌をどうしたら耕作地に戻せるかについて研究を進めた。

(2) 研究内容

ア 真水での除塩効果

初年度は、 Na^+ よりもイオン化傾向の高い Ca^{2+} （石灰）を土壌にまくことで、 Na^+ を土壌に吸着させないようにできないかなどの研究を進めた。その中で除塩の効果が最も高かったのは、真水の洗浄であることがわかった。海水と同濃度の食塩水を土壌に加え、天日乾燥させた後に水を入れ、攪拌すると約70%の塩分が水に溶出することがわかった。しかし、真水の洗浄は土壌の養分も失ってしまうため、ぬかるんだ土壌でも栽培が可能な植物（耐塩性の高い植物）に塩分を吸収できないかを模索した。

イ 植物を使っでの除塩効果

ぬかるみの状態でも栽培が可能な浮葉植物としてホテイアオイ、サルビニア・ミニマ、アオウキクサを使い、濃度の異なる食塩水で栽培を行い、塩分の吸収量を調べた。

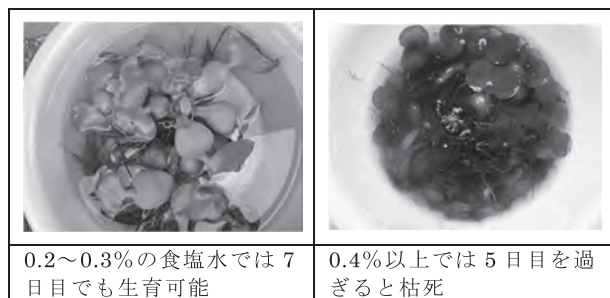


図11 供試したホテイアオイ

供試植物で最も耐塩性が高かったのが、ホテイアオイで0.3%の耐塩性が確認できた。観察した12日間でホテイアオイは1株（約30g）あたり、最大で0.98gの食塩を吸収することがわかった。

しかし、ホテイアオイは外来植物で繁殖力も強く、生態系に大きな影響を与えることが懸念され、水耕栽培が可能で、農作物としての利用できるアブラナ科植物の耐塩性を調べた（紙面の関係上コマツナのためのデータを表記する）。

コマツナは、地上部0.8%、地下部0.1%以上の塩分濃度の培地で生長が抑制される。

地上部と地下部の各部位に含まれる塩分濃度は、地下部よりも地上部の方が塩分濃度が高いことがわかる。つまり、根で吸収した塩分は地上部へ移動すること

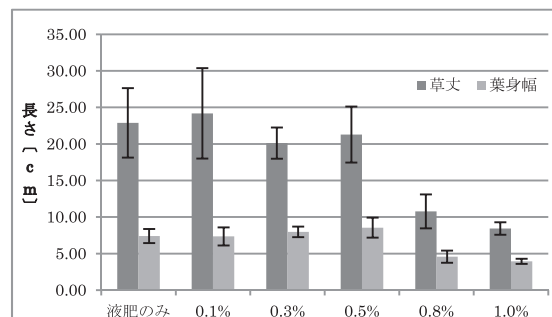


図12 コマツナの塩分濃度での草丈・葉身幅の違い

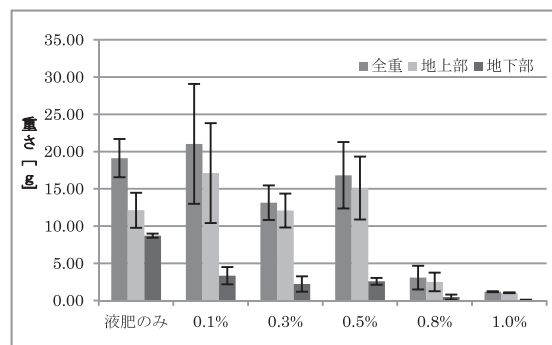


図13 コマツナの塩分濃度での部位の重さの違い



図14 塩分濃度の違いでの生長の違い

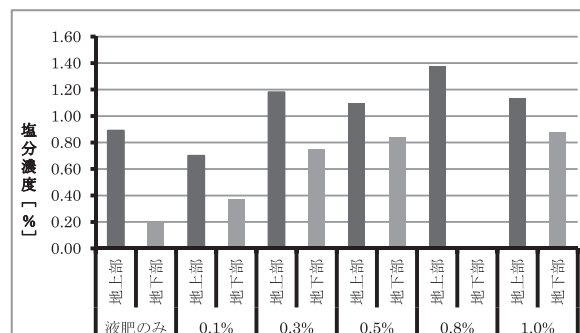


図15 コマツナの培地の塩分濃度と各部位の塩分濃度の違い

で耐塩性を保つのではないかと考えられる。コマツナやハダイコンは、ホテイアオイよりも耐塩性が高く、栽培後も農産物としての利用価値が高いことから、塩害土壌での栽培に適していると考えられる。

4 ヨーグルトから生分解性プラスチックを作る研究

(1) 研究の目的

「チェルノブイリの事故」の教訓から、県内産の牛乳は大きな風評被害を受けている。さらに近年、牛乳の好悪が理由で給食で残される量も多い。給食で残った牛乳は、水道場で処分されている。牛乳は、栄養価が高いため、下水に交じることで生態系への影響が心配される。影響がなくなるまでには、大量の水での希釈が必要である。

酪農家の方々のたくさんの苦労によって生産された牛乳を無駄にせず、有効活用ができないか研究を進めた。

(2) 研究内容

牛乳を破棄することなく、食品以外で活用する方法として、生分解性プラスチックを形成できないか考えた。発酵させてヨーグルト（ゲル化）にした後、ろ過した残渣からカゼインを取り出し、固形物として利用することを考えた。



図16 ヨーグルトから作った生分解性プラスチック

ア ヨーグルトを作るときの種菌と牛乳の割合

予備実験から、25℃で24時間「カスピ海」を発酵させ、性質（Brix, Acid, pH）や形状（凝固の有無）に違いがみられる比較を行った。25℃で24時間手作りヨーグルトの「カスピ海」を発酵させると、牛乳100gに種菌20g（牛乳：種菌＝5：1）が適切な割合であったため、以下の実験では、牛乳と種菌の比は、5：1を基準に研究を進めた。

イ ヨーグルトになりやすい種菌はどれか

市販のヨーグルトと、種菌を販売した手作りヨーグルトを牛乳（乳脂肪分3.6%）ヨーグルトの性質（Brix, Acid, pH）や形状（凝固の有無）に違いがみら

れるか比較した。

種菌は固形物を含まないプレーンヨーグルトを使用した。商品名は、「ブルガリア 明治（株）」、「恵 明治（株）」、「朝食 江崎グリコ（株）」、「ビヒダス 森永乳業（株）」、「生乳100% 小岩井乳業（株）」の計5種類と種菌を販売するヨーグルト「手作りカスピ海ヨーグルト フジッコ（株）」、「王様のヨーグルト 太田胃酸（株）」、「ダヒ・ヨーグルト（インドヨーグルト） レインピオ（株）」の3種類を使用した。

24時間の発酵後にヨーグルトの性質（糖度・酸度）は糖酸度計でBrix, Acid, 糖酸比を測定した。Brixは、シヨ糖液100gに含まれるシヨ糖の質量を測定した。Acidは、ヨーグルトに含まれる酸が主に乳酸であることから、測定器は総酸を検出し、乳酸に換算した値を示す。

種菌の種類と凝固との関係を見ると、pHは4.5以下、Acidは0.7～0.8以上になったときに凝固が確認できた（グラフ中の縦線が凝固の基準）。

また、種菌と凝固する時間と温度との関係は表1に示

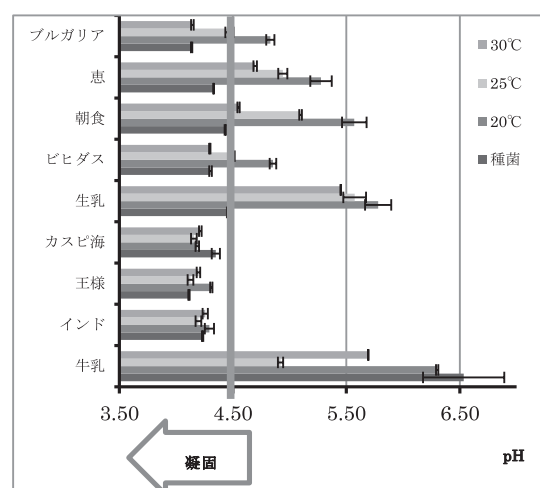


図17 種菌の種類と温度、pHの違い

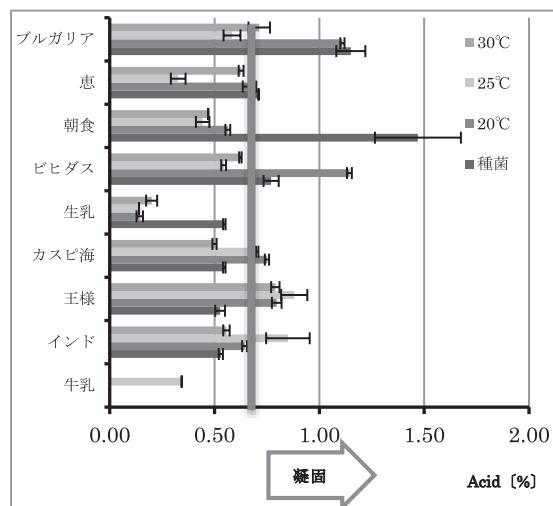


図18 種菌の種類と温度、Acidの違い

表1 菌種と温度による形状の違い

種菌	温度	4H	8H	12H	16H	20H	24H
ブルガリア	20℃						○
	25℃					△	○
	30℃		△	○	○	○	○
恵	20℃						固まらず
	25℃						△
	30℃				△	△	△
朝食	20℃						固まらず
	25℃						固まらず
	30℃			△	○	○	○
ビヒダス	20℃						○
	25℃				○	○	○
	30℃		△	○	○	○	○
生乳	20℃						固まらず
	25℃						固まらず
	30℃						固まらず
カスピ海	20℃		○	○	○	○	○
	25℃		○	○	○	○	○
	30℃		△	○	○	○	○
王様	20℃				○	○	○
	25℃		○	○	○	○	○
	30℃		△	○	○	○	○
インド	20℃					○	○
	25℃			○	○	○	○
	30℃		△	○	○	○	○
生乳	20℃						固まらず
	25℃						固まらず
	30℃						固まらず

した。

種菌の種類で発酵の適温があるが、ブルガリア、ビヒダス、カスピ海、王様、インドは20～30℃のどの温度でも凝固することがわかった。

ウ ゲル化した牛乳から生分解性プラスチックを取り出す。

凝固を確認した後、コーヒーフィルターを使ってろ過し、残渣とホエーに分離した。残渣は乾燥機で100℃、

12時間乾燥させた後、質量を測定した。

牛乳のゲル化は、種菌の発酵によって行う他に、酢酸や乳酸を使って化学変化として行う方法がある。酢酸、乳酸を1～20%溶液準備し、ヨーグルトを作ったときと同じ割合でゲル化させた後、残渣の量を比較した。結果として、牛乳に酸を加えるよりも、ヨーグルトを発酵させ、ろ過した方が残渣の量は10%以上、残渣の乾燥重量でも3%ほど多いことがわかった。つまり、一度ヨーグルト発酵させた後に残渣を取り出す方法のほうが、より効果的だと考えられる。

Ⅲ 研究を通しての成果と課題

今回のプログラムを実施しての研究成果は、「日本学生科学賞」へ論文として出品し、県審査で4年連続県知事賞・県議会議長賞、中央審査でも入選した。また、論文発表だけでなく、「日本微生物生態学会」高校生ポスター発表の部で優秀賞、平成基礎科学財団主催「小柴昌俊科学教育賞」奨励賞、日本理科教育学会や東北植物研究会での発表など、生徒たちの取り組みが全国規模のコンクールで評価され、多くの専門の方々からご指導を頂き、研究の価値を確認し、さらに今後の活動に生かしていきたいと意欲を持って研究活動に取り組んでいる。

また、地元の科学館でも一般市民を対象とした研究発表を行い、来場者からも「若い世代の頑張りが聞いている我々にも勇気や希望を与えてくれる」との意見も頂いている。

Ⅳ 謝辞

研究の推進にあたり、分析方法および論文作成についてご指導いただきました千葉大学大学院園芸研究科教授後藤英司先生、東北大学大学院農学研究科教授西尾 剛先生、福島県農業総合センター畜産研究所丹治利佳子氏に厚く御礼申し上げます。

また、これまで研究を進めるにあたり、薬品および実験器具等の支援をいただきました「公益財団法人 中谷医工計測技術振興財団」および「独立行政法人 科学技術振興機構」に深く感謝申し上げます。

福島県福島市立渡利中学校 科学部

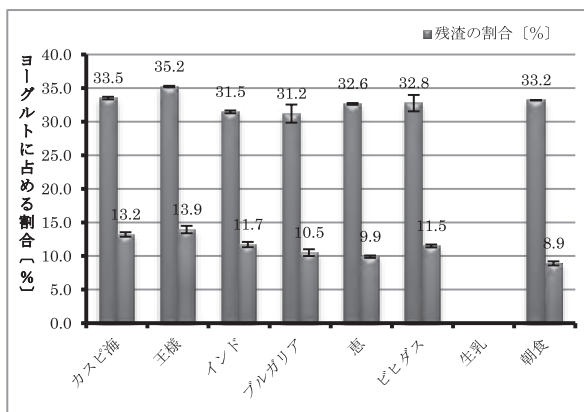


図19 種菌の種類による残渣量の違い

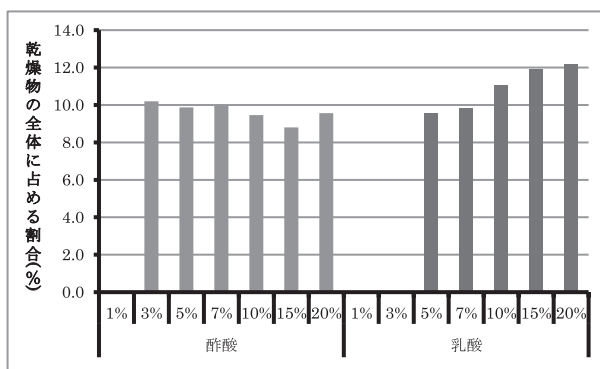


図20 酢酸・乳酸の濃度と残渣量の違い