

宮古島の命の源である地下水を化学農薬汚染から守る研究

沖縄県立宮古総合実業高校 環境班 (沖縄県)

I 研究の動機

私達は、「宮古島の水と農を守り農業を活性化しよう」を合言葉に、国が推進する「みどりの食料生産システム戦略」がスタートする2030年までに飲料水源の地下水に含有される化学農薬成分ゼロ(0)を目指します。

宮古島は、飲料水のすべてを地下水に依存する小さな島で、地下水汚染は島民の命に関わります。宮古島に生活する者は、いつの時代でも、またどの世代でも地下水保全の責務があります。しかし、宮古島の基幹産業は農業であり、島面積の約六割は畑として利用され、病虫害防除目的で散布される浸透性化学農薬ネオニコチノイド系、フェニルピラゾール系及びジアミド系化学農薬成分によって地下水は汚染されています(図1)。

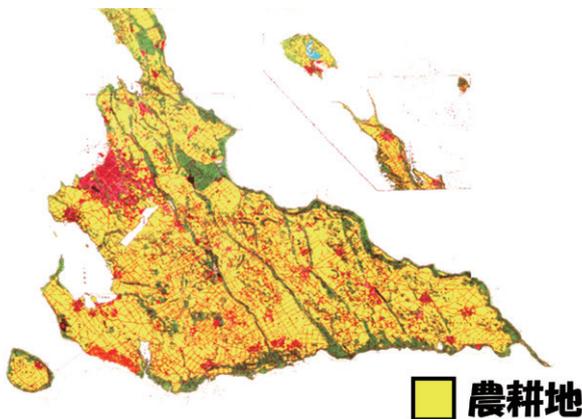


図1 宮古島の土地利用状況

そのため、宮古島の命の源である地下水保全対策は喫緊の課題です。

農業が地下水汚染の原因になることは、「農業を学び、将来農業を志す者」として大変悲しい事です。

私たちの目標は、IPM総合的病虫害防除管理を実践(図2)し、さらに難溶性リン酸の再利用技術を駆使し、宮古島の命の源である地下水を化学農薬汚染から守る地域貢献です(写真1)。



図2 IPM総合的病虫害管理

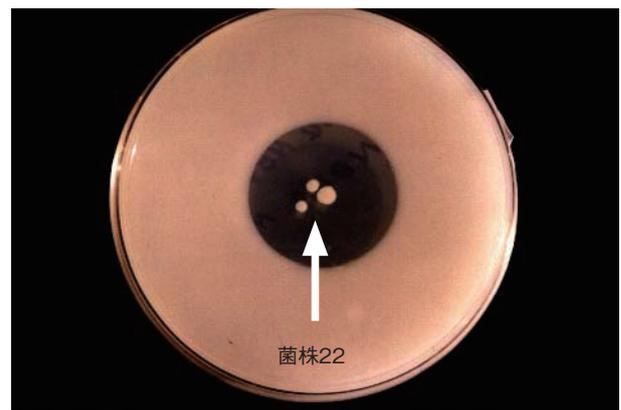


写真1 菌株22の合成ヒドロキシアパタイト溶解試験

II 研究計画

前期宮古地区サトウキビ生産量は31万7130トン、甘蔗代金は78億円あり、宮古地域に及ぼす経済波及効果は4倍の312億円との試算があり島民の生活を支えています。しかし、宮古地域の耕地面積の約8割でサトウキビが栽培され、その広大な農地に害虫防除目的で使用される殺虫剤ネオニコチノイド系、フェニルピラゾール系及びジアミド系化学農薬の使用量は、沖縄県全使用量の約36%に当たる年間約206トンで、その使用量の多さに驚かされます(図3)。2030年までに化学農薬に依存しない地下水保全型農業に移行しなければ、宮古島の水と農業は守れない、島民の命と生活は守れない、との想いで研究がスタートしました。

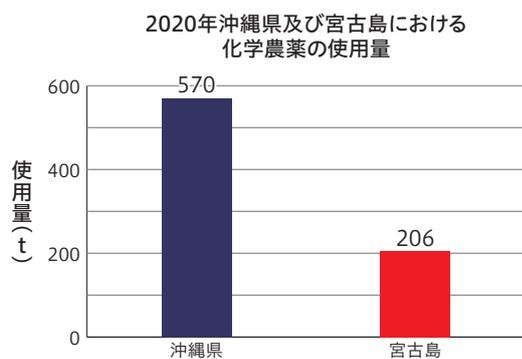


図3 化学農薬ネオニコチノイド系、フェニルピラゾール系及びジアミド系殺虫剤使用量

Ⅲ 研究内容

(1) 地下水に含有される化学農薬成分定量分析

私たちは、宮古島の地下水に含有される化学農薬成分について日吉さんへ依頼分析し、現状把握に努めました。それは、今後サトウキビ農家に対し化学農薬汚染の説明をする時、化学的根拠に基づいたデータを持っていなければ、説得力を持たないと考えたからです。私たちは学校の水道水、水道水源の地下水を採水しました(写真2)。

分析の結果、水道水でクロチアニジン42.4 (ng/L)、ジノテフラン40.6 (ng/L) を認め、水道水源の地下水でクロチアニジン94.7 (ng/L)、ジノテフラン55.1 (ng/L)、クロラントラニプロール18.0 (ng/L)、フィプロニル3.2 (ng/L) を検出しました(図4)。検出した化学農薬成分は、EUの水道水質管理目標値に近づきつつあり、宮古島島民の健康被害が心配です。



写真2 化学農薬成分分析の為の水道水及び地下水の採水

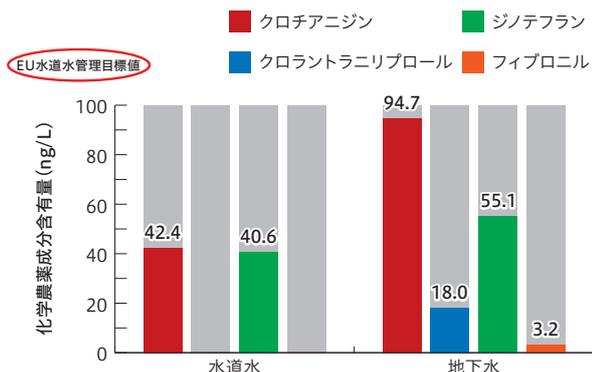
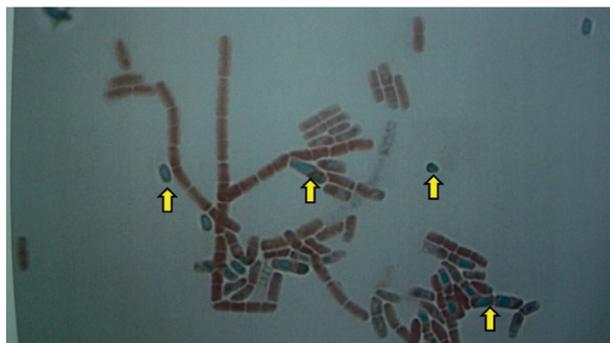


図4 水道水および地下水に含有される化学農薬成分定量分析結果

(2) リン溶解菌 菌株22の同定試験

分子生物学的試験の結果、菌株22はBacillus thuringiensis と同定(写真3)し、菌学的性状試験の結果、菌株22は、結晶タンパクを生成することを認めたことから、菌株22は有機酸を生成し難溶性リン酸可溶化機能に加え、病害虫に対する生物防除の可能性を示唆しました(表1)。



菌株22の栄養細胞(赤色)および胞子(青色)の顕微鏡写真
写真3 リン溶解菌菌株22の顕微鏡写真(同定試験)

表1 菌株22の相同性検索結果

菌株22の相同性検索結果	
菌種	相同性(%)
→ <i>Bacillus thuringiensis</i> ATCC=10792	99.85
<i>Bacillus thuringiensis</i> DSM=6091	99.72
<i>Bacillus thuringiensis</i> ATCC=33679	99.44
<i>Bacillus thuringiensis</i> DSM=6025	99.44
<i>Bacillus anthracis</i>	99.42
<i>Bacillus cereus</i>	99.42
<i>Bacillus thuringiensis</i> DSM=6110	99.33
<i>Bacillus thuringiensis</i> DSM=6099	99.18
<i>Bacillus thuringiensis</i> DSM=6054	99.13
<i>Bacillus pseudomycolides</i>	98.74
<i>Bacillus mycolides</i>	98.58
<i>Bacillus weihenstephanensis</i>	98.58
<i>Bacillus herbersteinensis</i>	92.95
<i>Bacillus acidicola</i>	92.38
<i>Bacillus niabensis</i>	92.20
<i>Bacillus idriensis</i>	92.18
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	92.04
<i>Bacillus altitudinis</i>	91.88
<i>Bacillus aerophilus</i>	91.88
<i>Bacillus shackletonii</i>	91.38

(3) バガス炭の形態および物理性試験

リン溶解菌 菌株22のキャリアーとして用いた炭化物であるバガス炭の表面構造を電子顕微鏡を用いて観察した結果、規則正しく配列されたハニカム構造を認めました(写真4)。また、バガス炭の含水比について木炭と比較したpF-水分曲線から、バガス炭は木炭に比べ保水性が大きく、多量の水分を空隙に保持することが確認できました(図5)。この結果は、サトウキビの害虫防除目的で土壤に処理した化学農薬成分が雨

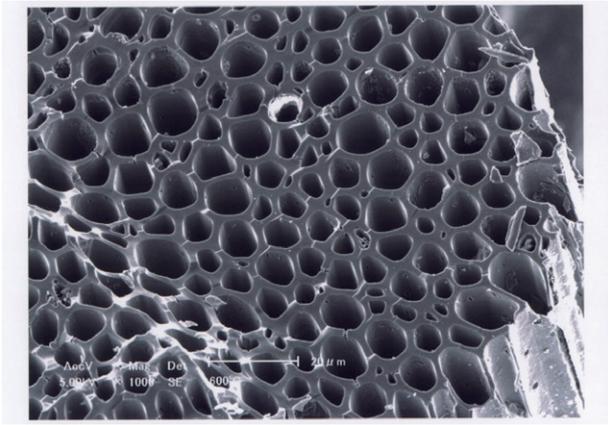


写真4 バガス炭のSEM顕微鏡写真

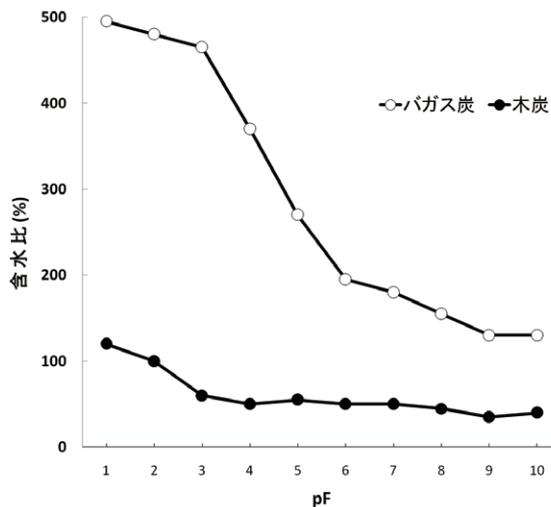


図5 バガス炭及び木炭のpF水分曲線

などの水分に溶解され、水に溶けだした化学農薬成分を含水比の高いバガス炭は吸着、保持する可能性を示唆しました。

(4) サトウキビ栽培試験

栽培試験は、令和2年12月1日、農林33号のサトウキビ2節苗120本をプリンスベイト剤を処理した化学農薬区とリン溶解菌 菌株22を接種したバガス炭とバガスを混合した有機質肥料区、両資材を処理しない無処理区に定植しました(写真5)。化学農薬区の殺虫剤プリンスベイト剤および有機質肥料処理後、100日後に萌芽率を調査しところ、無処理区は43.3%を認め



写真5 バガス炭入り有機質肥料の土壌処理及びサトウキビ苗の定植

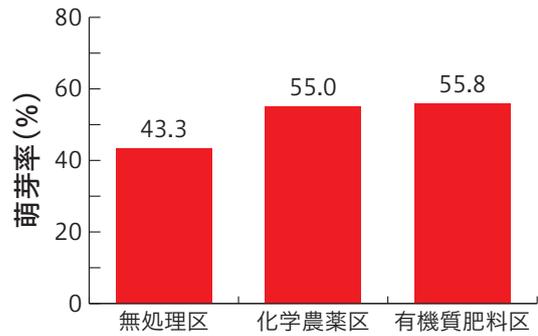


図6 サトウキビの萌芽率に及ぼす化学農薬及び有機質肥料の影響

たのに対し、化学農薬区は55.0%、有機質肥料区は55.8%の萌芽率を認めました(図6)。品質および収量調査は、サトウキビ2節苗定植後、1年4ヶ月後の令和4年4月1日に糖度・草丈・茎長および茎生体重を測定しました。糖度は無処理区および化学農薬区に比べ有機質肥料区は、23.3%の高い値を認めました。生育促進の指標として、草丈・茎長および茎生体重を測定した結果(図7)、無処理区に対し化学農薬区および有機質肥料区の高い値を認め、サトウキビ無農薬栽培の可能性を示唆しました(写真6)。

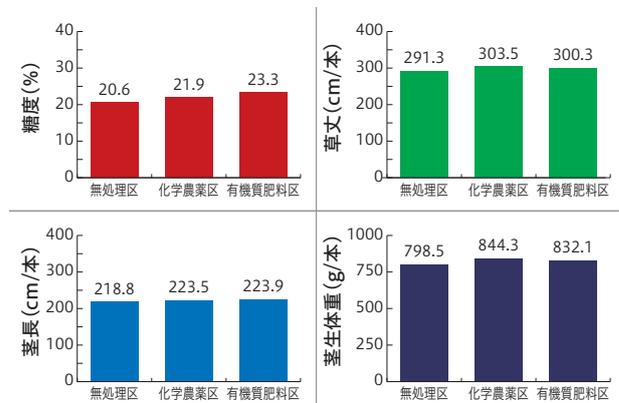


図7 サトウキビの生育・品質に及ぼす化学農薬及び有機質肥料の影響



写真6 サトウキビの生育状況

サトウキビ無農薬栽培の根拠は、有機質肥料に添加しているリン溶解菌 菌株22の機能にあります。16SrDNA領域増幅による塩基配列相同性同定試験の結果、芽胞形成時に菌体の中に細胞内結晶性の殺虫性タンパクを作る細菌であり、病害虫の幼虫がこのタンパクを食下すると、幼虫の働きを抑制する生物防除、バイオコントロールを目指しました(表2)。

収穫時における土壌中バイオマスリンおよび可給態リンは、菌株22含有有機質肥料区では無処理区および化学農薬区に比較して高い値を示す傾向を認めました(表3)。

表2 菌株22の性状

試験項目	試験結果
グラム染色性	+
孢子	+*
形	亜端立
位置	非膨出
運動性	+
酸素に対する態度	通性好気性
カタラーゼ	+
結晶タンパク質	+*

表3 サトウキビ栽培土壌のバイオマスリン及び可給態リンの増加や難溶性無機リン酸減少に及ぼす菌株22含有有機質肥料の影響

処理区	バイオマスリン	可給態リン酸	難溶性無機リン酸
	(P ₂ O ₅ /100g乾土)	(P ₂ O ₅ /100g乾土)	(P ₂ O ₅ /100g乾土)
無処理区	3.56	13.52	792.6
化学農薬区	5.13	20.25	785.9
有機質肥料区	21.68	32.86	773.2

(5) リン溶解菌 菌株22の担体であるバガス炭が化学農薬成分を吸着・保持する流出防止試験

ろ過液中に含有される化学農薬成分定量分析の結果、化学農薬成分を添加しない試験区1の土壌は化学農薬成分不検出でした。試験区2は、試験区1の土壌に化学農薬成分を定量添加(クロチアニジン16mg/L、ジノテフラン1mg/L、クロラントラニプロール0.5mg/L、フィプロニル0.5mg/L)し、攪拌後、蒸留水を用いてろ過液を採取し分析した結果、高い濃度で化学農薬成分が検出されました。特に、ネオニコチノイド系化学農薬成分は高い値を認め、農地に害虫防除目的で処理された殺虫剤ネオニコチノイド系、フェニルピラゾール系及びジアミド系化学農薬成分は、高濃度で地下水に流出することが推測されます。試験区3は、有機質肥料の主成分であるバガスに試験区2と同量の化

学農薬成分を添加、攪拌後、ろ過液を採取した分析結果は、土壌に比べ僅かですが、バガスが化学農薬成分を吸着・保持する可能性を認めました。試験区4は、有機質肥料に添加している菌株22の担体であるバガス炭に試験区2および3と同量の化学農薬成分を添加、攪拌後、ろ過液を採取し、ろ過液中に含有されている化学農薬成分を分析した結果、バガス炭は化学農薬成分を吸着・保持することを認めました(表4)。その結果は、バガス炭を含有した有機質肥料を化学農薬と同時に土壌処理することで、害虫防除目的で土壌処理された化学農薬成分の地下水への流出を防ぎ、大切な地下水を化学農薬汚染から守る可能性を示唆しました。

表4 土壌およびバガス、バガス炭由来ろ過液に含有される化学農薬成分定量分析結果

試験区	化学農薬成分(μg/L)			
	クロチアニジン	ジノテフラン	クロラントラニプロール	フィプロニル
試験区 1	不検出	不検出	不検出	不検出
試験区 2	30.8	2.07	0.00763	0.123
試験区 3	7.26	0.805	0.00613	0.0173
試験区 4	0.0365	0.00373	不検出	0.0000307

#1:検査方法(LC/MS/MS)

(6) バガス炭に定着した菌株22の生存に及ぼす化学農薬成分処理の影響

バガス炭に接種したリン溶解菌 菌株22の生存に及ぼす化学農薬成分処理の影響について調査した結果、バガス炭に接種した菌数の経時変化は、0日と30日目では菌数が減る傾向にはあるが、大きな差はないものと考えます(表5)。そのことは、害虫であるハリガネムシの幼虫の成長を阻害する結晶タンパクを生成するリン溶解菌 菌株22をバガス炭に接種、バガスと混合有機質肥料として、化学農薬と同時に土壌処理することで、殺虫剤などの化学的防除と微生物の機能を活用した生物的防除を併用することで、徐々にではあるが化学農薬に依存しない地下水保全型農業が実践で

表5 バガス炭に接種した菌株22の菌数の変化に及ぼす化学農薬成分の影響

処理日数	菌数
	(個/gバガス炭)
0日	8×10 ³
10日目	5×10 ³
20日目	4×10 ³
30日目	2×10 ³

き、飲料水源の地下水を化学農薬汚染から守ることに繋がる可能性が見えてきました。

IV 地域との連携

宮古島市民の方々へネオニコチノイド系等の化学農薬成分が水道水に含有されている現状についての情報公開や、化学農薬成分が人への健康被害について理解して頂くことを目的に宮古島地下水研究会 友利直樹先生を講師に勉強会の開催をお手伝いしています(写真7)。

また、環境教育の一環として、宮古島の地下水汚染(写真8)について、小・中学校の生徒たちに、水質調査を通して説明(写真9)し、地下水を守り環境を大切にすることを共に学んでいます(写真10)。

私たちは総合実習を通して、年間6,000袋～9,000袋の有機質肥料を製造し、地下水保全型農業の実践を目的に地域の農家へ普及しています(写真11)。

V まとめ

リン溶解菌 菌株22をバガス炭に接種、土壌処理することでサトウキビの無農薬栽培の可能性を確認。

バガス炭と化学農薬を土壌処理することでバガス炭が化学農薬成分を吸着・保持、化学農薬成分の地下水への流出を防ぐ可能性を確認。

VI 今後の課題

水道水や地下水のモニタリングおよびバガス炭に定着した菌株22がバガス炭が吸着・保持した化学農薬成分を分解できるのか検証します。

VII 謝辞

・水・地域イノベーション財団(理事長 野村喜一殿)様からは、研究資金のご支援を頂き、地道な研究を進めることができました。

・株式会社 日吉(中村昌文様、中田俊芳様、久保明日香様)様にはお忙しい中、化学農薬成分の分析をご協力頂きました。

ここに感謝の意を表します。本当にありがとうございました。

沖縄県立宮古総合実業高校 環境班 (沖縄県)



写真7 宮古島地下水研究会主催化学農薬地下水汚染と人の健康に関する勉強会
講師：友利直樹 先生



写真10 28年間で約8000人の宮古島の小・中学生が地下水保全を目的にした環境学習に参加



写真8 環境教育の一環で地下水汚染について学ぶ宮古島の中学生



写真9 水質調査の方法について環境班の生徒達から学ぶ宮古島の小学生たち



写真11 環境班の生徒全員で力を合わせ、協力しながら有機質肥料を製造