

ISSN 1882-9481

**BULLETIN
OF
THE OKINAWA PREFECTURAL
AGRICULTURAL RESEARCH
CENTER**

No.17

March, 2024

沖縄県農業研究センター研究報告

第 17 号

令和 6 年 3 月

OKINAWA PREFECTURAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

820,MAKABE,ITOMAN-city,OKINAWA901-0336,JAPAN

沖縄県農研セ研報
Bull.OKINAWA
Agric.Res.Cent.
No.17 2024

沖縄県農業研究センター

沖縄県糸満市真壁 820

沖縄県農業研究センター 研究報告
第17号

目 次

【原著論文】

1. パクロブトラゾール粒剤処理による低アミロース米品種「ミルキーサマー」の倒伏軽減,
ならびに本剤の散布ムラが本品種の生育・収量等に及ぼす影響
.....大野 豪 1

【論文抄録】

1. ロジスティック曲線解析法に基づいたサトウキビの収量予測モデルの可能性
.....比屋根真一・野瀬昭博・伊禮信・寶川拓生・平良英三・鄭紹輝・上野正実・川満芳信 19
2. *Pectobacterium carotovorum subsp. brasiliense*によるトウガン軟腐病(新称)の発生および
銅水和剤の防除効果
.....澤岬哲也・安次富厚・河野伸二・川武恵梨子 20
3. *Gilbertella persicaria*によるアセロラ実腐病(新称)
.....澤岬哲也・山城麻希・河野伸二・松村まさと 20
4. *Podosphaera xanthii*によるニガウリうどんこ病(病原追加)
.....澤岬哲也・新崎千江美 20
5. Bacterial wilt of three *Curcuma* species, *C. longa* (turmeric), *C. aromatica* (wild turmeric)
and *C. zedoaria* (zedoary) caused by *Ralstonia solanacearum* in Japan
.....Atsushi Ajitomi, Yasuhiro Inoue, Mitsuo Horita, Kazuhiro Nakaho 21
6. *Botrytis cinerea* as the causal agent of grey mould on floral tissue of mango in Japan
.....Atsushi Ajitomi, Maki Yamashiro, Tetsuya Takushi, Atsushi Ooshiro 21
7. The preventing method of browning and γ -aminobutyric acid (GABA)
contained in *Luffa cylindrica* Roem. cultivated in Okinawa
.....Takashi Hanagasaki 21
8. In vitro pesticides susceptibility of *Erwinia* sp. causing papaya(*Carica papaya*) black rot in
Okinawa, Japan and captan effectiveness on papaya pot seedlings
..... Takashi Hanagasaki, Tetsuya Takushi, Shinji Kawano, Maki Yamashiro 22
9. Vinegar extraction from unripe shikuwasa (*Citrus depressa* L.), an Okinawan citrus fruit
..... Takashi Hanagasaki 22

原著論文

パクロブトラゾール粒剤処理による低アミロース米品種「ミルキーサマー」の倒伏軽減、ならびに本剤の散布ムラが本品種の生育・収量等に及ぼす影響

大野 豪

沖縄県農業研究センター石垣支所

要約

低アミロース米の良食味品種「ミルキーサマー」は、主として西表島の二期作栽培における二作目で栽培されており、地域特産品としてのブランド化が期待され、遊休水田の有効活用にも寄与しうる品種である一方で、倒伏しやすいという欠点をもつ。最近の研究から、植物成長調整剤の一種パクロブトラゾール粒剤の処理が、本品種の稈長を安定的に長く保つことが明らかにされ、倒伏軽減にも有効である可能性が示唆されている。そこで本研究では、石垣島の水田において、「ミルキーサマー」に対する本剤の倒伏軽減効果の実証を試みるとともに、本剤の普及を考慮する上で重要な情報として、本剤の散布ムラが本品種の生育・収量等に及ぼす影響についてのデータも同時に取得した。本剤の処理は、標準施肥量 (6.4 Nkg/10a) および多肥 (12.8 Nkg/10a) の双方の条件下において、無処理区と比べて有意に稈長を長く保つことが再確認されたとともに、倒伏率を低く、かつゼロに近い値にまで抑えた。本剤は同時に、出穂期や穂長等、いくつかの生育特性に影響を及ぼしたものの、成熟期や収量、食味に関するほとんどの項目に有意な影響を示さなかったため、本品種の倒伏軽減剤として有望であると考えられた。散布ムラを模して本剤を不均一に散布した試験区の中で、本剤が集中的に投下された範囲では、均一に散布した区と比べ、収量の有意な低下はみられなかったものの、かなりの短稈となることが判明した。このように、本剤の散布ムラは圃場内で局所的に短稈となる部分を生み出すため、たとえ圃場に存在する玄米量に変化がなかったとしても、機械による収穫・脱穀時に回収されない穂が占める割合が上がることで、減収につながる可能性も考えられる。このため、本剤の使用時にはできるだけ均一に散布することが推奨される。

キーワード：西表島、環境影響、二期作、植物成長調整剤、多面的機能、休耕地。

緒言

沖縄県の八重山地域と沖縄本島北部地域では、その温暖な気候を活かして水稻 (*Oryza sativa* L.) の二期作栽培が行われているが、その水田面積は、他県で減少しつつあるのと同様に年々減少しており、その減少程度は、二期作栽培の一作目 (以下、単に「一期作」と略) と比して、高温や台風等の影響によって低収となる二作目 (以下、「二期作」と略) でより大きい (沖縄県農林水産部, 2023)。水田は食糧生産の場であると同時に、洪水や土砂崩れ等の自然災害の防止、地下水の涵養、気候変動の緩和、生物多様性の保全、文化の継承等のさまざまな機能をもつため (Matsuno et al., 2006)、本県における水田の減少は、こうした多面的機能の損失という点からも問題視されている (大野・喜友名, 2024, およびその引用文献も参照)。このような、本県における水田面積の減少の阻止、特に二期作における遊休水田の有効活用に寄与しうる方策のひとつが、低アミロース米の良食味品種「ミルキーサマー」の栽培の普及である。低アミロース米品種は、炊飯後に冷めても固くなりにくいために、おにぎりや弁当等への

利用拡大が見込まれている。本品種は、良食味品種「ミルキークイーン」の遺伝的背景に、インド型品種「Kasalath」由来の出穂性遺伝子を含むゲノム領域を持たせたものであり、沖縄県の栽培条件下では、「ミルキークイーン」よりも多収となり、かつ食味は同等に優れる等の理由から、2011年に本県の奨励品種に採用された (山城ら, 2011; 竹内ら, 2013)。そして2014年から、八重山地域の西表島の二期作で、従来栽培されていた「ひとめぼれ」に代わって本品種が栽培されるようになり、地域特産品としてのブランド化が期待されている (沖縄県八重山農林水産振興センター, 2022)。しかしながら、本品種には、特に二期作において「ひとめぼれ」よりも倒伏しやすいという特性がある (山城ら, 2011; 竹内ら, 2013)。水稻の倒伏は一般に、登熟阻害や穂発芽の促進等によって収量や品質の低下をもたらす、さらには収穫作業の効率も低下させるため、この特性は本品種の安定生産や栽培面積拡大、ブランド化の障壁となっている。この問題の解決に寄与しうるのが、植物成長調整剤の一種であるパクロブトラゾールである。本剤は根から吸収され、ジベレリンの生合成を阻害することによって植物

体をわい化させる作用をもち、水稻では上位 3 節間の伸長を抑制することによって倒伏しにくくするとされる(上野, 1989; French et al., 1990). 安次富ら (2021) は、「ミルキーサマー」へのパクロブトラゾール (スマレクト®) 粒剤 (以下, PBZ と略) の利用を初めて検討し, 八重山地域 (石垣島) と沖縄本島北部 (名護市) の一期作において, 本剤が玄米収量には有意な影響を及ぼさず, かつ他の植物成長調整剤 2 種 (ウニコナゾール P 粒剤, プロヘキサジオンカルシウム塩水和剤) よりも安定して稈長を短く保つこと, および統計的有意差は示していないものの, 倒伏程度の値を無処理区よりも低く保つことを報告している. このため, 本剤は「ミルキーサマー」の倒伏軽減に有効である可能性があるものの, 現在の主要作期である二期作において倒伏軽減効果を示すかどうかはまだ明らかでなく, また収量構成要素や食味等の諸特性への影響についても不明な点が多い. そこで本研究では, PBZ 処理が本品種の倒伏程度と他の諸特性に及ぼす影響を, いくつかの異なる栽培環境下で明らかにすることを第一の目的として, 2021 年の二期作において, 試験圃場での標準施肥量および多肥条件下と, 農家圃場での慣行栽培条件下における試験を実施した.

また, 我々が 2021 年の一期作において「ミルキーサマー」の試験圃場に PBZ を処理した時の予備的観察から, 本剤の散布ムラが顕著な生育ムラ (外観上の, 草丈のばらつき) をもたらす可能性が示唆された. PBZ の散布ムラが生育ムラをもたらすことについては, 本剤の用法等を示したパンフレット (<https://ibj.iskweb.co.jp/wp/wp-content/uploads/2020/12/af9a11c2d330d85b6e422314d62e953>

7.pdf) にも記載されているが, その一方で, 本剤の散布ムラが水稻の生育・収量等の諸特性に及ぼす影響を詳しく調べた研究例は見当たらない. このため, この点を明らかにすれば, 今後の「ミルキーサマー」の栽培への本剤の普及を考慮する上で重要となるだけでなく, 水稻栽培全般にも有益となる情報を提供できる可能性がある. そこで本研究では, 本剤の散布ムラが「ミルキーサマー」の諸特性に及ぼす影響を明らかにすることを第二の目的として, 上述の試験圃場での効果試験では, 無処理区・PBZ 処理区と同時に, 本剤を局所的に散布することによって人為的に散布ムラを再現させた試験区も設けて栽培試験を実施した.

材料および方法

試験圃場における試験

育苗: 沖縄県農業研究センター石垣支所において, 2021 年 7 月 28 日に, 「ミルキーサマー」の種子を食塩水 (比重 1.06) で選別後, 表 1 に示した 3 種薬剤の混合液に 24 時間浸漬し, さらに 1 日間水に浸漬した. 育苗箱 (内寸 58cm×28cm×2.8cm) に水稻育苗用培土 (くみあい培土, JA おきなわ) を入れて十分量灌水し, これに 150g ずつ播種し, 殺菌剤 (表 1) を灌注したのち同じ培土で覆土し, 育苗用シート (シルバーラップ #90, 東洋興産 (株)) を被覆して日陰に 2 日間保管した. その後, 育苗箱を天井にビニール (農サクビ) を張った育苗ハウスに移し, 移植日まで毎日灌水した. 移植前日 (8 月 10 日) に, 病害虫被害予防のための箱処理剤 (表 1) を散布した.

表 1. 育苗・栽培期間中に使用した農薬の一覧 (2021 年)

処理日	農薬名	有効成分 (%)	処理量・方法
7 月 21 日	テクリード®C フロアブル	イプロナゾール (5.0), 水酸化第二銅 (4.6)	200 倍希釈液に 24 時間種子浸漬
	スターナ®水和剤	オキシリニック酸 (20.0)	同上
	スミチオン®乳剤	MEP (50.0)	1,000 倍希釈液に 24 時間種子浸漬
	タチガレエース M®液剤	ヒドロキシイソキサゾール (30.0), メトラキシル M (2.0)	1,000 倍希釈液を播種後 (覆土前) に育苗箱 1 箱あたり 1L 灌注
8 月 10 日	デジタルコラトッブアクタラ®箱粒剤	チアメトキサム (2.0), ピロキロン (12.0)	育苗箱 1 箱あたり 50g 散布
	8 月 17 日	スパークスター®1 キロ粒剤	エスプロカルブ (15.0), ジメタメトリン (0.6), ピラゾスルフロンエチル (0.3), プレチラクロール (4.5)
9 月 14 日	スケダチ®1 キロ粒剤	フルセトスルフロン (0.33)	5a 圃場全面に 750g を灌水散布
	キラップ®粒剤	エチプロール (2.0)	5a 圃場全面に 1.5kg を灌水散布
	パダン®粒剤 4	カルタップ塩酸塩 (4.0)	同上
	フジワロン®粒剤	イソプロチオラン (12.0)	5a 圃場全面に 2kg を灌水散布
9 月 16 日	スマレクト®粒剤	パクロブトラゾール (0.6)	均一・局所散布区のみ, 1 区 (18.6m ²) あたり 56g 散布
10 月 1 日	スタークル®豆つぶ	ジノテフラン (12.0)	5a 圃場全面に 125g を灌水散布

実験デザイン、栽培管理および PBZ 処理：沖縄県農業研究センター石垣支所内の試験用水田（5a, 沖積土壌）に、PBZ 処理に関する 3 試験区（無処理区、均一散布区、および散布ムラを模した局所散布区；図 1）と、施肥量 2 水準（標準：6.4 Nkg/10a；倍量：12.8 Nkg/10a）を組み合わせた計 6 試験区を、3 ブロックの乱塊法により配置して試験を実施した。標準施肥量および栽培管理法全般については、沖縄県水稲栽培指針（八重山地域版）（沖縄県農業研究センター石垣支所・沖縄県八重山農林水産振興センター農業改良普及課，2017）に準じた。8 月 6 日に、幅 30cm の畔波板を半分程度の深さまで埋め込んで各区の移植予定範囲（2.7m×6.9m）を囲むとともに、内外を仕切る畔波板の下に各区 1 個ずつ、硬質ポリ塩化ビニル管で作成した U 字管（内径 12 mm）を、開口部が水面と同じ高さになるように埋め込んだ。同日、それぞれの枠内に、試験区に応じて標準量（744g）または倍量（1,488g）の元肥一発型肥料セラコート R600（BC）（N:P:K = 16:10:10；セントラル化成（株））を散布し、枠外（各ブロックの周囲）には同肥料を標準量（6.4 Nkg/10a）となるよう散布した。8 月 11 日に、それぞれの枠内に、株あたり 3～4 葉齢の苗 4 本を株間 15cm・条間 30cm で 360 株（45

株×8 条）手植えし、枠外にも同じ密度で移植した。以降、落水時には U 字管の開口部を土表面まで下げ、再入水時には再び水面まで上げた。8 月 17 日に除草剤（表 1）を処理し、9 月 6 日から 13 日にかけて中干しのため落水し、9 月 14 日に再度入水したのち除草剤と殺虫・殺菌剤（表 1）を処理した。9 月 16 日に、PBZ を均一散布区と局所散布区に 56g（3kg/10a）ずつ散布した。各ブロック内では異なる試験区が 1 枚の畔波板で仕切られており、枠外から PBZ を均一に散布することが難しかったため、枠内に入って散布した。各区につき、14g の PBZ を入れた 50ml 遠沈管を 4 本ずつ準備し、枠内の 4 条間を歩行しながら、均一散布区では各条間に 14g を、歩いた後ろ側にできるかぎり均一に散布し、局所散布区では枠内の中間部分（15 株×8 条）の範囲だけに同量を散布した（図 1）。無処理区では、枠内の歩行のみ同様に行った。なお、今回処理を行った 1 試験区の面積は 18.6m²（1 区画 6.2m²）と狭いため、散粒器等を用いて散布を行った場合でも、この程度の散布ムラ（1 区画だけに集中的に粒剤が落下するような状況）は普通に生じうるとされる。10 月 1 日に殺虫剤（表 1）を処理し、収穫に向けて 10 月 15 日に落水し、10 月 26 日に各区を囲む畔波板を取り外した。

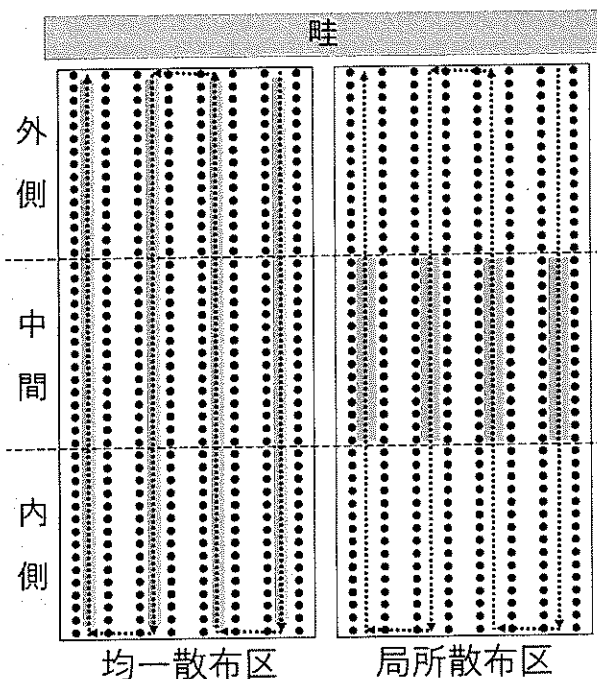


図 1. PBZ 散布方法を異にする 2 試験区と、調査対象とした 3 区画の模式図。黒丸は株、点線矢印は散布者の歩行軌跡、グレーの部分は散布範囲を示す。局所散布区では、均一散布区と同量の PBZ を中間の区画のみに集中的に散布し、歩行は均一散布区と同様に行った。「外側」は畦寄り、「内側」は圃場中央寄りの区画。

収穫前の調査：各区の枠内を便宜的に15株×8条の3区画(図1)に分け、それぞれの区画ごとに各特性の調査を行った(ただし、一部の項目については中間の区画のみ調査した;以下参照)。出穂については、9月24日に圃場の一部で初確認され、9月26日より全区画を、穂揃いまで毎日観察し、それぞれの区画の出穂始期(有効茎のうち10~20%で出穂がみられた日)、出穂期(同、50%)、および穂揃期(同、80~90%)を達観で判定した(一部の区画では9月26日が出穂期と判定され、その場合の出穂始期は9月25日とした)。移植日から出穂期までの期間を到穂日数、出穂始期から穂揃期までの日数を穂揃期間とした。10月中旬より、大陸からの高気圧の張り出しに伴って風雨が強まり、これをきっかけに倒伏し始めたため、10月15日・22日・29日の3回、全区画について、倒伏している部分の面積の割合(以下、倒伏面積比率)を、達観により10%刻みで記録した。ここで、倒伏している部分とは、作物調査基準(日本作物学会九州支部会、2013)の10頁に図示された、倒伏程度0から5の6段階区分のうち、3以上(倒伏角度にして約45°以上)の顕著な倒伏がみられる部分を指し、同基準における倒伏程度1~2に該当する、収穫作業に問題の生じない軽微な倒伏が認められる部分については、圃場の残りの部分すべてがそれに該当したため、倒伏面積には含めなかった。籾の成熟については、10月下旬から11月上旬にかけて週3回、2~3日間隔で圃場を観察し、青籾の残存率が達観で10%以下になったと判断された日を成熟期とした。11月4日に、各区画内の、外縁部(畔波板沿いに植えられていた株)を除く任意の5株を対象として、穂を含む全長が最も長い茎の稈長(地表から穂首節までの長さ)と全長(同、穂の先端までの長さ)を2mm単位で測定し、穂数を記録した。全長から稈長を引いた値を穂長とした。

収穫および収量構成要素等の調査：11月4日に、各区画の外縁部を除く範囲から、籾数・登熟歩合の調査のため任意の2株を刈りとったのち、玄米収量等の調査のため60株を刈りとった。食味官能評価の際の基準米として用いるため、枠外の株も、圃場外縁部および畔波板に隣接する株を除く全体から、合計250程度刈りとった。籾数・登熟歩合調査株については、乾燥舎で2週間乾燥させたのち室内に持ち込み、各区画について穂数(2株の合計)を記録したのち、12月中旬にかけて順次、籾をクシ等を用いてしごき、籾を外れたものと穂に残ったものに分け、双方を(後者は不稔籾として)計数した。外れたものについては、食塩水(比重1.06)に浸漬し、浮かんだものを不稔籾として除去したのち再計数し、これらの値から登熟歩合を算出した。収量調査用および食味基準用の株については、乾燥舎で32~34日間乾燥させたのち脱穀・唐箕・籾摺りに供した。前者から得た玄米についてはさ

らに、区画ごとに重量を記録した上、米麦水分計PB-1D2((株)ケツト科学研究所)を用いて水分含量を2回測定し、その平均値を記録した。屑米歩合と千粒重の調査には、各区内の3区画のうち中央の区画の玄米のみを供試した。100g前後の玄米を目合い1.8mmの篩にかけ、篩に残った米と落ちた米を計量し、後者が占める割合を屑米歩合とした。千粒重については、篩に残った米から、割れ米・欠け米を除去した上で25.0gを量りとり、これに含まれる粒を計数することによって算出した。玄米重・千粒重とも、米麦水分計による測定値を用い、水分含量15%の時の値に換算した。食味基準用を含む残りの玄米については、続く調査に供するまで10°C下で保存した。

食味官能評価：この調査においても、3区画のうち中央の区画の玄米だけを供試した。2022年3月2日に、玄米を、白度を「2」に設定した精米機VP-32((株)山本製作所)に2回通すことによって精米し、上述の米麦水分計を用いて再度水分含量を2回測定し、平均値を記録したのち、精米を4°C下に保存した。翌日から3月10日にかけて、6回(各ブロック2回×3ブロック)に分けて食味官能評価を行った。1回の評価においては、ブロック内の6試験区から、3区の精米を無作為に選び、以下のように炊飯・評価した。3区および食味基準用の精米の供試量をいずれも360gとし、これら4種を無作為順で手早く洗米した。洗米時には、水道水を注いで捨てる作業を3回繰り返したのち、水道水を注いで手で10回かき回してから捨てる作業を3回繰り返した。炊飯時には、精米の水分含量に応じて加水量を調整し、たとえば水分14.1%の場合には水量を498.0g(精米との合計重で858.0g)とし、水分含量が0.1%変わると水を0.96gずつ増減させた。炊飯にはIHジャー炊飯器SR-KA051(パナソニック(株))を用い、洗米後すみやかに「エコ炊飯」コースで炊飯した。炊飯終了後、10分間静置してからフタを開け、しゃもじで米粒を潰さないよう丁寧に攪拌し、釜に濡れ布巾を被せてさらに10分間静置してから評価者(1回につき14~20名)に供試した。この時、基準米を皿の中央に盛りつけ、3試験区の米をその周囲に無作為順で並べた。評価者には、香り、外観、味、粘り、固さ、および総合評価の6項目を、基準米との比較のもと、+3から-3の7段階で相対評価させた。ここで、粘り・固さを除く4項目については、「基準米よりかなり良い(悪い)」を+(-)3、「少し良い(悪い)」を+(-)2、「わずかに良い(悪い)」を+(-)1、「基準米と変わらない」を0とし、粘り・硬さについては、「良い」を「粘る・硬い」に、「悪い」を「粘らない・軟らかい」に読みかえて評価した。

データ解析(1) 共通：統計分析フリーソフトR version 4.0.3(R core team, 2020)およびいくつかのRパッケージ(以下参照)を用い、一般化線形混合モデル

(generalized linear mixed model ; 以下 GLMM と略) および関連する方法により、得られたデータの統計解析を行った。PBZ 処理の諸特性への影響評価においては、無処理区と均一散布区の間でデータの比較を行い、PBZ 散布ムラの諸特性への影響評価においては、均一散布区と局所散布区の間でデータの比較を行った。このように、これらの比較は双方とも均一散布区のデータを用いているため、統計的に独立ではなく、したがって個々の有意性検定においては、検定全体の有意水準を 0.05 とし、これを 2 で割った値 (0.025) よりも有意確率が小さければ有意であると判定した (Bonferroni 法)。倒伏面積比率については、平均値が大きいほどデータのばらつきも大きくなる傾向がみられたため (結果を参照)、GLMM あてはめの際のリンク関数に対数を使用したほうが好ましい可能性が考えられ、この点を検討するため、すべてのデータに 1 を足した上で解析した。いずれの場合においても、GLMM のあてはめには R パッケージ lme4 (Bates et al., 2015) の glmer 関数を用いた。倒伏面積比率や稈長、玄米重等の連続データについては、R パッケージ lmer (Zeileis and Hothorn, 2002) の ltest 関数を用いて、確率分布に正規分布を仮定してリンク関数を用いないモデル、正規分布を仮定しリンク関数を対数としたモデル、およびガンマ分布を仮定しリンク関数を対数としたモデルの対数尤度をそれぞれ算出し、尤度比検定によってこの値が他より有意に高かった組み合わせを採用した。穂数および籾数については、ポアソン分布を仮定したモデルと負の二項分布を仮定したモデル (リンク関数はどちらも対数) の間で同様な尤度比検定を行い、対数尤度が有意に高いほう (差がない場合は前者) を採用した。なお籾数については、穂あたりの数として比較するため、合計籾数を目的変数とし、調査穂数の対数をオフセット項としてモデルに加えた。登熟歩合に関しては、登熟籾・不稔籾の計数データに対し、二項分布を仮定し、リンク関数を logit としたモデルをあてはめた。屑米歩合については、屑米重を目的変数、リンク関数を対数とし、供試した合計玄米重の対数をオフセット項としてモデルに加えた。いずれの場合においても、R パッケージ car (Fox and Weisberg, 2019) の Anova 関数を用い、II 型の逸脱度分析によってモデルに含めた固定効果の有意性を検定した。食味官能評価に関する 6 項目 (以下、食味データ) については、順序データとして取得されているため、ランダム効果も扱うことができる順序ロジットモデルをあてはめが可能な、R パッケージ ordinal (Christensen, 2019) の clmm 関数を用いて解析した。この時、R パッケージ RVAideMemoire (Hervé, 2022) の Anova.clmm 関数を用い、II 型の逸脱度分析により、モデルに含めた固定効果の有意性検定を行った。

データ解析 (2) PBZ 処理の影響評価: 倒伏面積比率については、PBZ 処理、施肥量、観察日とそれらの総当たりの二元交互作用を固定効果、ブロックと調査区画 (PBZ 処理有無 \times 2 施肥水準 \times 3 ブロック \times 3 区画の計 36 区画) をランダム効果とした GLMM をあてはめ、各固定効果の有意性を検定した。いずれかの効果が有意だった場合、その結果に基づいて固定効果として含めるグループ変数を再検討した上で、R パッケージ multcomp (Hothorn et al., 2008) の ghlt 関数を用い、GLMM に適用可能な Tukey 型の多重比較を行った。食味データを除く他の諸特性については、PBZ 処理、施肥量とそれらの交互作用を固定効果、ブロックをランダム効果とした GLMM をあてはめ、各固定効果の有意性を検定し、いずれかの効果が有意だった場合、同じパッケージ・関数を用いて 4 試験区 (PBZ 処理有無 \times 2 施肥水準) を固定効果とした GLMM に基づく Tukey 型の多重比較を行った。食味データについては、PBZ 処理、施肥量とそれらの交互作用を固定効果とし、ブロック、評価者および調査日をランダム効果とした順序ロジットモデルをあてはめた (調査日もランダム効果に含めたのは、同一ブロック内の異なる試験区を 2 日に分けて調査しており、その影響を除去するためである)。いずれかの固定効果が有意だった場合、Mangiafico (2016) が示す手順に従い、R パッケージ emmeans (Length, 2022) と multcomp を用いて 4 試験区間での Tukey 型の多重比較を行った。

データ解析 (3) PBZ の散布ムラの影響評価: ここでは特に、PBZ 処理法 (均一散布・局所散布) と調査区画 (外側・中央・内側; 図 1) の交互作用に着目して検定を行った。これは、もし散布ムラを模した局所散布が倒伏面積比率や稈長、あるいは他の生育特性等のムラをもたらすのであれば、局所散布区では中央の調査区画とその両側の区画の間でこれらの値が異なってくるが、均一散布区ではそのような差は生じにくいために、上記の交互作用が有意になることが予想されるためである。解析に用いた R パッケージは上記と同様である。倒伏面積比率については、PBZ 処理法と調査区画に施肥量と観察日も加え、それらの総当たりの二元交互作用を固定効果、ブロックおよび上記と同様の 36 調査区画をランダム効果とした GLMM をあてはめ、II 型の逸脱度分析により各固定効果の有意性を検定した。他の諸特性について、3 区画すべてからデータが取得されている場合、PBZ 処理法、調査区画、施肥量およびすべての二元交互作用を固定効果、ブロックをランダム効果とした GLMM をあてはめ、II 型の逸脱度分析によって固定効果の有意性検定を行った。ここで、複数の効果が有意だった場合には、12 群 (2 処理法 \times 2 施肥水準 \times 3 区画) を固定効果とした GLMM に基づく Tukey 型の多重比較を行った。単一の効果が有意だった

場合、必要に応じて、GLMM に含めるグループ変数を再検討したのち同様な多重比較を行った。中央の区画だけから取得されているデータ（千粒重、屑米歩合および食味データ）については、PBZ 処理法、施肥量とそれらの交互作用を固定効果とした GLMM あるいは順序ロジットモデル（ランダム効果については、PBZ 処理の影響評価の時と同様）をあてはめ、II 型の逸脱度分析によって固定効果の有意性検定を行った。いずれかの効果が有意だった場合、必要に応じて上記と同様な多重比較を行った。

農家圃場における試験

沖縄県農業研究センター石垣支所において、2021 年 8 月 2 日に「ミルキーマー」種子を試験圃場の場合と同様に選別し、同じ薬液（表 1）に 1 日、水に 1 日浸漬した。これをロックウール育苗マット（D タイプ、岩谷マテリアル（株））をはめ込んで十分に灌水した育苗箱に 150g ずつ播種した。以降も試験圃場の場合と同様に、殺菌剤（表 1）を灌注して覆土し、育苗用シートを 2 日間被覆したのち、育苗ハウス内に保管して毎日灌水した。8 月 16 日に、クロラントラニプロロール・チアジニル（ブイグット®・フェルテラ®）粒剤を育苗箱あたり 50g ずつ散布したのち、石垣市宮良の農家圃場 10a（沖積土壌）のうち 2.5a に、株間 17.5cm・条間 30cm で機械植えし（残りの部分には別品種・系統を同様に移植し）、同時に元肥として塩化燐

安 1 号（N:P:K = 14:14:14；セントラル硝子（株））を圃場全面に 40kg 施用した。8 月 31 日に、圃場内の任意の 4 箇所において、隣接する 2 区（1 区 16 株 × 8 条；6.72m²）を、試験圃場と同様に畔波板を埋め込んで囲い、U 字管も同様に、各区 1 個ずつ埋め込んだ。2 区のうち無作為に選んだ片方を PBZ 処理区とし（4 ブロックの乱塊法）、9 月 22 日に PBZ を 20.2g（3kg/10a）ずつ、区外からできるだけ均一に散布した。病害虫対策として、出穂前にジノテフラン・トリシクラゾール水和剤（ビーム®エイトスタークル®ゾル）1,000 倍希釈液が、出穂後にエトフェンプロックス水和剤（トレボン®EW）1,000 倍希釈液が全面散布された。収穫作業およびその前後の調査については、各区を細分しない以外は試験圃場と同様に実施した（ただし、稈長・全長・穂数の記録は各区 7 株を対象とした）。食味官能評価については、試験圃場の場合と同じ手順で、2022 年 2 月 19 日に精米を行い、2 月 21 日と 22 日の二回に分けて 4 サンプル（2 試験区 × 2 ブロック）ずつ、評価者（15～18 名）に評価させた。データ解析については、試験圃場の場合と同じソフト・パッケージを用い、PBZ 処理を固定効果、ブロックをランダム効果とした GLMM（食味データには、評価者もランダム効果に含めた順序ロジットモデル）をあてはめ、II 型の逸脱度分析により PBZ 処理の効果を検定した。

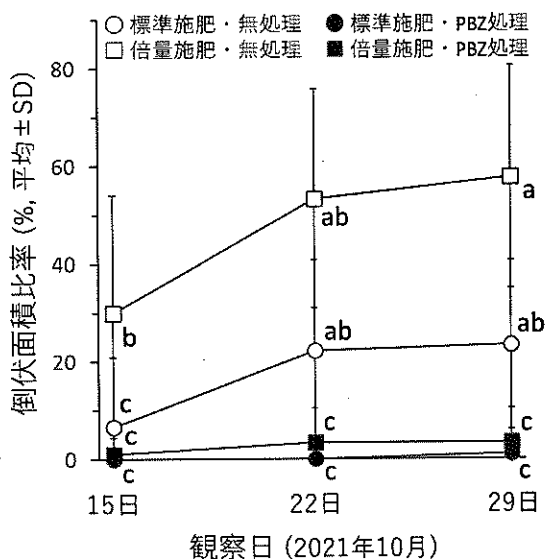


図2. 試験圃場における倒伏面積比率の推移とその4試験区間での比較。図中の英小文字は、全データに1を足した上で、ブロックと全調査区画をランダム効果とした GLMM（ガンマ分布，リンク=log）に基づき，図中の12群間で Tukey 型の多重比較を行った結果を示す（同一文字を共有しない群間に有意差あり， $p < 0.05$ ）。

表 2. 生育・収量等のデータに対する PBZ 処理と施肥量の効果の検定ならびに各試験区の平均値¹⁾

	出穂期 ²⁾	穂揃期間 (日) ³⁾	稈長 (cm) ⁴⁾	穂長 (cm) ⁵⁾	穂数/ 株 ⁶⁾	一穂粒 数 ⁷⁾	登熟歩合 (%) ⁸⁾	千粒重 (g) ⁹⁾	玄米収量 (kg/坪) ^{4,9)}	屑米歩合 (%) ¹⁰⁾
試験圃場										
効果の検定										
PBZ 処理	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns
施肥量	*	ns	*	ns	*	ns	ns	*	ns	*
PBZ 処理×施肥量	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
平均値										
標準施肥・無処理	9月27日 c	3.2 b	78.8 b	16.1 ab	15.7 b	64.4	49.7 a	20.2 a	0.95	5.72 b
標準施肥・PBZ 処理	9月28日 ab	4.2 a	64.2 d	15.6 c	16.4 b	63.0	41.9 c	20.4 a	0.88	6.02 ab
倍量施肥・無処理	9月28日 b	3.7 ab	83.6 a	17.2 a	20.1 a	69.5	43.8 b	20.1 a	0.96	6.64 ab
倍量施肥・PBZ 処理	9月29日 a	4.1 a	68.7 c	16.1 bc	19.1 a	62.1	45.7 b	19.0 b	1.02	7.93 a
農家圃場										
PBZ 処理の効果の検定	*	ns	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns
平均値										
無処理	10月6日	3.8	75.3	18.2	17.0	59.5	60.7	21.8	0.91	8.39
PBZ 処理	10月7日	3.5	67.8	18.5	16.8	57.3	54.1	21.9	0.91	7.75

1) *: $p < 0.05$, ns: $p > 0.05$ (ブロックをランダム効果とした GLMM および II 型の逸脱度分析による); 同一英小文字を共有しない試験区間に有意差あり (Tukey 型多重比較, $p < 0.05$). 2) ガンマ分布, リンク=log. 3) 正規分布, リンク=log. 4) 正規分布, リンク関数なし. 5) 正規分布, 試験圃場ではリンク=log, 農家圃場ではリンク関数なし. 6) ポアソン分布, リンク=log. 7) 目的変数は粒の合計数, 負の二項分布, リンク=log, オフセット項に $\log(\text{調査穂数})$. 8) 目的変数は登熟粒と不稔粒の実数, 二項分布, リンク=logit. 9) 水分含量 15% に換算した値 10) 幅 1.8mm 未満の玄米の重量比; 目的変数は屑米重, 試験圃場ではガンマ分布, 農家圃場では正規分布, いずれもリンク=log, オフセット項に $\log(\text{調$

結果

PBZ の倒伏軽減効果および諸特性に及ぼす影響

本剤の処理が「ミルクィーサマー」の倒伏および他の生育・収量等諸特性に及ぼす影響を施肥量と関連づけて調べた結果を、図 2、表 2 および表 3 に示した。GLMM においては、どの確率分布・リンク関数の組み合わせを採用したかについては、図の説明文あるいは表の脚注に示した(尤度比検定の結果は省略)。

試験圃場の倒伏面積比率については、PBZ 処理・施肥量・観察日の全効果および PBZ 処理と観察日の交互作用が有意だったため、固定効果を図 2 中の 12 群のみとした GLMM に基づいて、総当たりの多重比較を行った。倒伏面積比率は、無処理区の標準施肥条件下では 7 ~ 23%、同区の倍量施肥条件下では 30 ~ 58% の範囲で推移したのに対し、双方の施肥条件下において、PBZ 処理はほぼ一貫して、無処理区よりも倒伏を有意に少なく、かつゼロかそれに近い値 (3% 以内) に保つことがわかり (図 2)、本剤の倒伏軽減効果が実証された。倍量施肥・無処理区では、標準施肥・無処理区と比べ、数値の上では一貫して倒伏面積比率が高かったものの、これら 2 区間で有意差がみられたのは 10 月 15 日 (前者で 30%、後方で 7%) のみであり (図 2)、したがって多肥条件下でより倒伏抑制効果が高いといった傾向は検出されなかった。他の諸特性については、出穂期では逸脱度分析で PBZ 処理と施肥量の

双方が統計的に有意となり、それらの交互作用は有意でなく、多重比較により、標準施肥条件下では PBZ 処理は出穂を、9 月 27 日から 28 日へと 1 日遅らせ、倍量施肥条件下では、無処理区・PBZ 処理区とも標準施肥の場合より 1 日ずつ出穂が遅れる (それぞれ、9 月 28 日と 29 日になる) ことが判明した (表 2)。穂揃期間については、PBZ 処理の効果だけが有意となり、本剤の処理によって延長する傾向がみられたが、有意差がみられたのは標準施肥・無処理区の値 (3 日) と標準・倍量施肥双方の PBZ 処理区の値 (いずれも 4 日) の間だけだった (表 2)。成熟期については、試験区間や調査区画間に外観上明らかな差異は観察されず、圃場全体で 11 月 1 日に成熟したと判定された。稈長については出穂期と同様、PBZ 処理と施肥量の効果が有意となり、標準施肥条件下と倍量施肥条件下で、無処理区の値はそれぞれ 79cm と 84cm、PBZ 処理区ではそれぞれ 64cm と 69cm となり、PBZ 処理が稈長を短く保つ効果をもつことが再確認されたとともに、倍量施肥条件下では無処理区・PBZ 処理区の双方で有意に長稈となった (表 2、以下同様)。穂長については、PBZ 処理の効果だけが有意となり、標準・倍量施肥の双方の条件下で、PBZ 処理区の値 (16cm 前後) が、無処理区の値 (16 ~ 17cm) よりも有意に小さくなることが判明した。穂数については施肥量の効果だけが有意となり、PBZ 処理の影響は検出されず、倍量施肥によって 16 本前後から 20 本前後に増加した。一穂粒数については、PBZ 処理・

施肥量の効果がともに有意でなく、これらの影響は検出されなかった。登熟歩合については、PBZ 処理の効果、およびそれと施肥量との交互作用が有意となり、倍量施肥条件下ではいずれも 45% 前後であり、PBZ 処理の有意な影響はみられなかったものの、標準施肥条件下では、PBZ 処理により 50% から 42% へと有意に低下した。千粒重については、PBZ 処理の効果だけが有意となり、多重比較では、倍量施肥・PBZ 処理区の値 (19g) が、他の 3 区の値 (いずれも 20g) よりも有意に小さかった。玄米収量については、PBZ 処理・施肥量の効果のいずれも有意ではなく、いずれの区でも 1 坪あたり 1kg 前後 (1a あたり 30kg 前後) であった。屑米歩合については、施肥量の効果だけが有意となり、多重比較では標準施肥・無処理区の値 (6%) と倍量施肥・PBZ 処理区の値 (8%) の間にだけ有意差がみられた。また、玄米収量から屑米歩合の分を差し引いた値 (精玄米重) についても、PBZ 処理や施肥量による有意な変化は観察されなかった (データ省略)。食味データ 6 項目のうち、外観と香りでは PBZ 処理と施肥量の交互作用が有意となったが、多重比較では 4 試験区間に有意差はみられず、残り 4 項目については、PBZ 処理・施肥量の効果はともに有意ではなかった (表 3)。

農家圃場においては、無処理区・PBZ 処理区とも倒伏

は観察されなかったため、PBZ の倒伏抑制効果は評価できなかった。試験圃場と同様に、PBZ 処理は出穂を 10 月 6 日から 7 日へと 1 日遅らせたが、穂揃期間には有意差をもたらさなかった (表 2)。成熟期については、圃場全体で 11 月 5 日に成熟したと判定され、処理区間の差は観察されなかった。PBZ 処理区の稈長 (68cm) は無処理区の値 (75cm) よりも有意に小さかった (表 2、以下同様)。穂長と穂数は PBZ 処理によって有意に変化しなかった。一穂粒数と登熟歩合についてはそれぞれ、無処理区では 60 本と 61%、PBZ 処理区では 57 本と 54% となり、処理によって有意に減少あるいは低下した。千粒重・玄米収量・屑米歩合は PBZ 処理によって有意に変化しなかった (玄米収量は双方の区で 1kg / 坪あるいは 27kg/a)。食味データに関しては、PBZ 処理により、硬さが 0.1 から -0.3 へと有意に低下した一方で、他の 5 項目では処理の有意な効果はみられなかった (表 3)。

PBZ 剤散布ムラが諸特性に及ぼす影響

本剤の散布ムラが「ミルキーサマー」の倒伏面積比率に及ぼす影響を GLMM (ガンマ分布, リンク=log) によって調べた結果、PBZ 散布法 (均一散布・局所散布) と調査区画を含む 4 要因とそれらの二元交互作用の中で、5% 水準で有意になったものはなく (データ省略)、散布ムラ

表 3. 食味データに対する PBZ 処理と施肥量の効果の検定ならびに各試験区の平均値¹⁾

	外観	香り	味	粘り	硬さ	総合
試験圃場						
効果の検定						
PBZ 処理	ns	ns	ns	ns	ns	ns
施肥量	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PBZ 処理 × 施肥量	*	*	ns	ns	ns	ns
平均値						
標準施肥・無処理	0.02 a	-0.06 a	0.26	0.15	0.20	0.15
標準施肥・PBZ 処理	0.24 a	0.18 a	0.18	0.04	-0.02	0.20
倍量施肥・無処理	0.16 a	0.11 a	0.20	0.05	0.27	0.25
倍量施肥・PBZ 処理	-0.08 a	-0.02 a	0.11	-0.06	0.41	0.18
農家圃場						
PBZ 処理の効果の検定						
無処理	ns	ns	ns	ns	*	ns
平均値						
無処理	0.27	0.11	0.28	0.29	-0.33	0.31
PBZ 処理	0.15	0.12	0.08	0.26	0.08	0.16

1) *: $p < 0.05$, ns: $p > 0.05$ (ブロックと評価者を (試験圃場では調査日も) ランダム効果とした順序ロジットモデルおよび II 型の逸脱度分析による); 同一英小文字を共有する試験区間には有意差がない (Tukey 型多重比較, $p > 0.05$).

表 4. 生育・収量等のデータに対する PBZ 散布法 (均一散布・局所散布)・調査区画・施肥量の効果の検定¹⁾

	到穂日 数 ²⁾	穂揃期 間	稈長 ³⁾	穂長 ³⁾	穂数 ⁴⁾	一穂粒 数 ⁵⁾	登熟歩合 ⁶⁾	千粒重 3,7,8)	玄米収量 3,7)
PBZ 散布法	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
調査区画	*	ns	*	ns	ns	*	*	—	*
施肥量	*	ns	*	*	*	ns	*	ns	*
PBZ 散布法×調査区画	*	*	*	ns	ns	ns	*	—	ns
PBZ 散布法×施肥量	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
調査区画×施肥量	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	—	ns

1) 散布法と調査区画の詳細については図 1 を参照。*: $p < 0.05$, ns: $p > 0.05$ (ブロックをランダム効果とした GLMM および II 型の逸脱度分析による)。2) 移植から出穂期までの日数; 正規分布, リンク=log。3) 正規分布, リンク関数なし。4) ポアソン分布, リンク=log。5) 目的変数は穂の合計数, 負の二項分布, リンク=log, オフセット項に $\log(\text{調査穂数})$ 。6) 目的変数は登熟粒と不熟粒の実数, 二項分布, リンク=logit。7) 水分含量 15% に換算した値。8) 3 つの調査区画のうち中間の区画だけからデータを得たため, 調査区画に関連する要因は含まれない。

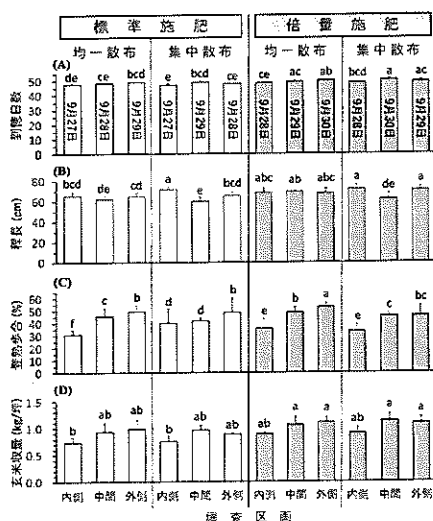


図 3. 標準・倍量施肥条件下における PBZ 均一散布・局所散布区画, および区内の調査区画間での到穂日数 (A), 稈長 (B), 登熟歩合 (C) および玄米収量 (D) の平均値の比較。エラーバーは標準偏差。(A) に示されている日付は出穂期の平均値。区画の位置については図 1 を参照。図中の英小文字は, ブロックをランダム効果とした GLMM (確率分布, リンク関数等の情報については表 4 を参照) に基づいて図中の 12 群間で Tukey 型の多重比較を行った結果を示す (同一文字を共有しない群間に有意差あり, $p < 0.05$)。

が倒伏のムラとして現れるという証拠は得られなかった。他の生育・収量等諸特性に及ぼす影響を施肥量と関連づけて調べた結果を, 採用された確率分布・リンク関数の組み合わせ等とともに, 主として表 4, 図 3 および表 5 に示した。

到穂日数, 穂揃期間および稈長においては, PBZ 散布法と調査区画の交互作用が有意となり (表 4), 散布ムラがこれらの特性のムラをもたらすことが示された。到穂日数と稈長では, 施肥量の効果も有意であり, 後者ではさらに調査区画と施肥量の交互作用も有意だった (表 4)。標準・倍量施肥の双方の条件下で, 局所散布区の中央の区画では, その両側の区画や均一散布区と比べて出穂が 1 ~ 2 日遅れ, 稈長がいずれも約 60cm と短く保たれた (図

3A, B; ただし一部の群間には有意差がみられない)。施肥量の効果に関しては, 倍量施肥のほうが長稈となり, かつ出穂が遅れる傾向があり, さらに施肥量によって, 局所散布による稈長への影響のしかたが異なる (たとえば, 標準施肥では, 内側の区画の値が均一散布区より局所散布区で有意に大きくなっているのに対し, 倍量施肥ではそのような差がみられない) 傾向がみられた (図 3 A, B)。穂揃期間については, 単一の効果だけが有意であったため, 元の GLMM からすべての交互作用項を除き, 固定効果を 6 試験区 (PBZ 散布法 2 処理 × 3 調査区画) と施肥量だけとしたモデルに基づき, 6 試験区間で Tukey 型の多重比較を行った。その結果, 数値の上では中央の区画の値が, その両側の区画や均一散布区と比べて大きかった

(すなわち、穂揃いにより時間を要していた)が、有意差がみられたのは局所散布区の中央の区画(平均4.8日)と同区の内側の区画(平均3.8日)の間だけであり(他区のデータは省略)、上記2特性において観察されたような明らかな傾向はみられなかった。穂長と穂数については、PBZ散布法に関連する効果は有意ではなく、施肥量の効果だけが有意であり(表4)、倍量施肥条件下でより長く(多く)なっていた(データ省略)。一穂初数については、調査区画の効果だけが有意だった(表4)ため、元のGLMMからすべての交互作用項を除き、固定効果を調査区画を含む3要因のみとしたモデルに基づき、3調査区画間でTukey型の多重比較を行った。その結果、内側の区画の値(平均60.7)が外側のそれ(67.2)より有意に小さく、中間の区画の値(62.0)はどちらも有意に異ならなかった。登熟歩合については、3要因およびすべての交互作用が有意となり(表4)、多重比較では多くの群間に有意差がみられた(図3C、以下同様)。標準・倍量施肥の双方の条件下において、均一散布区では3区画間に有意差がみられ、内側から外側にかけて値が大きくなってのに対し、局所散布区ではこのような明瞭な傾向はみられなかった。3区画のうち中間の区画の値に注目すると、標準・倍量施肥の双方の条件下において、局所散布区の値のほうが均一散布区よりも有意に小さかった。局所散布区だけの値に着目すると、標準施肥条件下では、中間の区画の値は内側の区画と有意に異ならず、外側の区画より有意に小さかったのに対し、倍量施肥条件下では、この値は内側の区画より有意に大きく、外側の区画とは有意に異ならなかった。これらの傾向が、3つの交互作用の有意性として検定結果に反映されたものと思われる。千粒重については、PBZ散布法、施肥量とそれらの交互

作用のいずれも有意でなかった(表4)。玄米収量については、調査区画と施肥量の効果だけが有意となり、PBZ散布法の効果は有意でなかった(表4)ため、散布ムラの収量への影響は認められなかった。実際のデータを見ると、内側の区画の収量が他の区画より少なく、倍量施肥のほうが標準施肥よりも全体的に多収となっているように見えるものの、多重比較の結果では多くの群間に有意差がなく、標準施肥の内側の区画と、倍量施肥の中間・外側の区画の間だけに有意差がみられた(図3D)。

屑米歩合については、PBZ散布法と施肥量の効果が有意であり、局所散布と倍量施肥の双方の影響によって平均値が上昇する傾向がみられたが、多重比較の結果では、標準施肥・均一散布区と他3区の間だけに有意差がみられた(表5)。食味データのうち、外観では施肥量の効果だけが有意となり、倍量施肥によって評価が低下する傾向がみられたが、有意差がみられたのは標準施肥・均一散布区と他3区の間だけであった(表5、以下同様)。香りについては、PBZ処理法の効果だけが有意となり、局所散布によって評価が低下する傾向がみられたものの、有意差がみられたのは標準施肥・均一散布区と倍量施肥2区の間だけであった。味と粘りについてはいずれの効果も有意ではなく、硬さについては、施肥量の効果が有意であったものの、多重比較では4区間に有意差はみられなかった。総合については、PBZ処理法と施肥量の効果が有意であり、局所散布と倍量施肥によって評価が低下する傾向がみられたものの、有意差がみられたのは標準施肥・均一散布区と倍量施肥・局所散布区の間だけであった。

表5. 屑米歩合と食味データに対するPBZ散布法(均一散布・局所散布)と施肥量の効果の検定ならびに各試験区の平均値¹⁾

	屑米歩合 (%) ²⁾	食味データ ³⁾					総合
		外観	香り	味	粘り	硬さ	
効果の検定							
PBZ散布法	*	ns	*	ns	ns	ns	*
施肥量	*	*	ns	ns	ns	*	*
PBZ散布法×施肥量	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
平均値							
標準施肥・均一散布	6.02 a	0.24 a	0.18 a	0.18	0.04	-0.02 a	0.20 a
標準施肥・局所散布	7.76 b	-0.11 b	-0.11 ab	0.09	0.00	0.02 a	0.13 ab
倍量施肥・均一散布	6.65 b	-0.08 b	-0.02 b	0.11	-0.06	0.41 a	0.18 ab
倍量施肥・局所散布	7.94 b	-0.12 b	-0.16 b	-0.02	0.12	0.24 a	-0.12 b

1) 散布法の詳細については図1を参照。数値は3つの調査区画のうち、中間の区画(図1)から得たデータに基づく。*: $p < 0.05$, ns: $p > 0.05$ (II型の逸脱度分析による); 同一英小文字を共有しない試験区間に有意差あり ($p < 0.05$)。均一散布区の平均値は、表2・表3に示された試験圃場のPBZ処理区のものと同じ。
2) 幅1.8mm未満の玄米の重量比; ブロックをランダム効果としたGLMM、目的変数は屑米重、ガンマ分布、リンク=log、オフセット項にlog(調査玄米重)。3) ブロックと評価者をランダム効果とした順序ロジットモデル。

考 察

本研究により、標準施肥量と多肥の双方の栽培条件下において、パクロブトラゾール粒剤 (PBZ) の処理が「ミルキーサマー」の稈長を短く保つだけでなく、実際に倒伏を軽減することが、本品種が主に栽培されている八重山地域の二期作において初めて実証された。本剤の処理は、出穂期や穂揃期間を含むいくつかの生育特性と収量構成要素にも影響を及ぼしたものの、成熟期については週 3 回の観察下では差が検出されず、玄米収量への有意な影響も示さず、また食味データについても、硬さを上昇させた場合があったことを除けば、有意に影響しなかった。これらの結果は、本剤が収穫期や収量、食味等にほぼ影響せず、本品種の倒伏を効果的に抑制できることを示しており、西表島を中心とした本品種の栽培地において、実際に倒伏が問題となっている圃場で本剤の使用を推奨するに足るものである。本剤の普及によってミルキーサマーの栽培が容易となり、その結果として本品種の栽培が拡大することにより、二期作の栽培面積の減少に歯止めがかかることを期待したい。

本研究はさらに、PBZ の散布ムラを模した局所散布が、玄米収量には有意な変化をもたらさないものの、稈長をはじめとしたいくつかの特性に明らかなムラをもたらすことを実証した。このように、本剤の散布ムラは圃場内で局所的に短稈となる部分を生み出すため、たとえ圃場に存在する玄米量に変化がなかったとしても、コンバイン等の機械による収穫・脱穀時に回収されない穂が占める割合が上がることで、減収をもたらす可能性も考えられる。また、本剤の局所散布により、屑米歩合の上昇や、いくつかの食味データの低下がみられる場合があり、これらの点でも散布ムラは好ましくない可能性が示唆される。これらの理由から、本剤の普及を今後進める場合、その使用時にはできるだけ均一に散布するよう指導することが推奨される。なお、本研究のように、PBZ の散布ムラが水稻の生育・収量等に及ぼす影響を詳しく調べた事例は、国内だけでなく海外にも見当たらないため、本研究の結果は、他地域における水稻栽培で本剤の利用が検討される際にも参照可能な、有用なものとなるであろう。本研究は、イネの倒伏や生育特性から収量構成要素、食味データに至る種々の特性に及ぼす PBZ 処理の影響を、適切な実験デザインと統計モデル解析に基づいて明らかにした数少ない例でもある。イネの諸特性に対する PBZ の影響を調べた研究例は、世界各地に多数あり(日本本土: 伊藤ら (1986), 上野 (1989), 佐藤ら (1993), 渡部 (1993), 小菅・木野田 (1999); 韓国: Oh et al. (1984), Pyon and Huh (1985), Kang et al. (1985), Im et al. (1987, 1988), Lee et al. (1987), Lee (1988), Lee and Kim (1988), Lee and Dedatta (1991), Kang et al. (1992); 中国: Goufo et al. (2011), Xie et

al. (2019), Xu et al. (2020), Xing et al. (2020), Wen et al. (2020), Cao et al. (2021); フィリピン: Mactal and Canare Jr. (2016), Magtalas et al. (2020), Azarcon et al. (2022); マレーシア: Sinniah et al. (2012), Syahputra et al. (2016); インドネシア: Wahyuni et al. (2002), Dewi et al. (2016), Dewi and Darussalam (2018), Syahputra et al. (2018), Silitonga and Nasution (2019), Sitepu1 et al. (2019), Darussalam and Dewi (2022); インド: Mukherjee (2020); スペイン: Bridgemohan and Bridgemohan (2014); 米国: Street et al. (1986); ブラジル: Alvarez et al. (2012, 2014)), ささまざまな品種や栽培条件において、PBZ が稈長を短く保つたり、倒伏を軽減することが報告されている。これらの研究では、収量とその構成要素を同時に調べている例が多いが、食味を含む米の品質への影響まで調べた例は少なく、その点で本研究では、新規性の高い知見も得られている。以下では本研究で調べられた、倒伏と稈長以外の諸特性への PBZ の影響について、他地域での研究の結果とも関連させながら議論する。

出穂に対する PBZ の影響を検討した研究例は少なく、韓国での数例に限られる。Im et al. (1987, 1988) では出穂期への影響がみられず、Kang et al. (1992) では、処理による 1~3 日の遅延がみられる。本研究では、標準施肥・多肥の双方の条件下において、PBZ 処理 (均一散布) は出穂を 1 日遅らせ (表 2)、本剤の濃度がより高くなっていることが想定される局所散布区の中央の区画では、出穂がさらに 1 日遅れた (図 3A)。Kang et al. (1992) では、PBZ 処理量と出穂期との関連については言及されていないもの、表に示されたデータからは処理量が増えると出穂が遅れる傾向が読みとれるため、本研究と類似した結果が得られている。一方、穂揃期間への PBZ の影響を調べた文献は見当たらないため、本研究がその影響を初めて示した例となるだろう。本研究では、試験圃場において PBZ 処理が穂揃期間を延長する傾向がみられており (表 2)、局所散布区における中央の区画ではこの値がより大きくなる傾向がみられた (結果を参照)。これらの結果は、本剤の処理が株間あるいは茎間での出穂のばらつきを増大させていることを示すとともに、局所的な処理濃度の上昇により、そのばらつきがさらに増大することを示唆している。出穂期の遅延については、PBZ による生育遅延作用が出穂にも反映されたものと解釈することができるが、出穂のばらつきの増大のメカニズムについては全く知見がない。ひとつの可能性として、均一散布区や、局所散布区の中央の区画においては、今回の処理方法 (人手による散布) では制御できない PBZ の散布ムラが生じており、これによって吸収される PBZ の量が散布範囲内の株間で異なり、こういった出穂のばらつきをもたらしていることも考えられる。この点については今後詳しく調べる必要があるだろう。

穂長については、PBZ 処理により短く保たれる（あるいは、その点に言及はないが、データからそのように読みとれる）例が多く（Oh et al., 1984; Kang et al., 1985; Pyon and Huh, 1985; Im et al., 1987, 1988; 上野, 1989; 渡部, 1993; Mukherjee, 2020）、他のいくつかの例では有意な影響がみられていない（Lee and Dedatta, 1991; Mactal and Canare Jr., 2016; Cao et al., 2021）。本研究においても、試験圃場では本剤の処理により穂長が短く保たれ、その一方で農家圃場では、有意な効果はみられなかった（表 2）。穂長短縮のメカニズムについては、PBZ による茎の生長抑制と同じメカニズム（上野, 1989）が働いたものと解釈できるだろう。Magtalas et al. (2020) だけが唯一、本剤の処理により、供試系統の一部で穂長が有意に伸長したことを報告しており、この現象は興味深い。

穂数については、PBZ 処理による影響はないとする（あるいは、そのような記述はないが、データからそう読みとれる）研究例が多く（Oh et al., 1984; Im et al., 1987; Lee, 1988; 上野, 1989; 遠藤ら, 1990; Lee and Dedatta, 1991; 渡部, 1993; Wahyuni et al., 2002; Sinniah et al., 2012; Xie et al., 2019; Xu et al., 2020; Cao et al., 2021）、本研究でも、試験圃場と農家圃場の双方において、穂数への本剤の影響は検出されなかった（表 2）。他の研究例では、本剤の処理によって穂数が減少する場合がある例（Lee and Kim, 1988; Pyon and Huh, 1985; Lee et al., 1987; Alvarez et al., 2012, 2014）と、増加がみられる場合がある例（Lee et al., 1987; Im et al., 1988; Syahputra et al., 2016; Sitepul et al., 2019; Magtalas et al., 2020; Azarcon et al., 2022）の双方がある。一穂粒数についても同様に、研究例によって結果が異なるが、PBZ 処理による有意な影響がない例（Im et al., 1987; Mactal and Canare Jr., 2016; Xie et al., 2019; Cao et al., 2021; 本研究（表 2））よりも減少する場合がある例（Oh et al., 1984; Kang et al., 1985; Pyon and Huh, 1985; 伊藤ら, 1986; Lee et al., 1987; Im et al., 1988; Lee, 1988; Lee and Kim, 1988; 上野, 1989; 遠藤ら, 1990; 渡部, 1993; Alvarez et al., 2012, 2014; Xu et al., 2020）のほうが多く、増加する場合がある例（Lee et al., 1987; Syahputra et al., 2016; Magtalas et al., 2020）はやや少ない。これらの研究例の間では、供試品種・系統や栽培条件、地域等いくつかの要因が異なるため、どの要因がこのような結果の差をもたらすのかについては、現時点では明らかでない。

緒言において言及した、PBZ の用法等を示したパンフレット中には、「スマレクトを散布したイネは止葉が直立し、受光態勢のよい草姿となります。その結果、登熟歩合・千粒重が向上することが、多くの試験を通して確認されています。」という記述がある。しかし、本研究ではそのような結果は得られず、むしろ逆の傾向がみられた。すなわち、登熟歩合については、試験圃場の標準施肥条件下と農家圃場では PBZ 処理区の値が小さく、千粒重につ

いては試験圃場の倍量施肥条件下で同区の値が小さかった（表 2）。本剤の農薬登録のために取得されたデータの一部を掲載している上野（1989）では実際に、本剤の処理により登熟歩合の値がやや上昇しているように思われるが、他の研究例では必ずしもそうではない。Pyon and Huh (1985), Lee et al. (1987), Lee (1988) および Alvarez et al. (2012, 2014) では、特定の品種なり施肥量、処理条件下においては、本剤の処理により登熟歩合が低下することが示されているか、あるいはそのような記述がないにしても、データからそういった傾向を読み取ることができる。Oh et al. (1984), Lee and Dedatta (1991), 渡部 (1993), Xie et al. (2019), Xu et al. (2020) および Cao et al. (2021) では、本剤の処理による登熟歩合への有意な影響は認められていない。その一方で、本剤によって登熟歩合が向上する場合があることを示した（あるいは、データからそのように読みとれる）例は多い（遠藤ら, 1990; Pyon and Huh, 1985; Lee et al., 1987; Im et al., 1987, 1988; Lee and Kim, 1988; Mactal and Canare Jr., 2016; Dewi et al., 2016; Syahputra et al., 2016; Magtalas et al., 2020）。千粒重についても、パンフレットに記載されているように、PBZ 処理によって増加する場合があることを示した（あるいは、データからそのように読みとれる）例は多い（Pyon and Huh, 1985; Im et al., 1987, 1988; Lee and Kim, 1988; 渡部, 1993; Wahyuni et al., 2002; Sinniah et al., 2012; Xu et al., 2020）が、影響がみられないとする例も同程度に多い（上野, 1989; 遠藤ら, 1990; Lee, 1988; Lee and Dedatta, 1991; Goufo et al., 2011; Alvarez et al., 2012; Mactal and Canare Jr., 2016; Xie et al., 2019; Cao et al., 2021）。それらと比べると、本研究のように千粒重の減少がみられる場合があることを示した（あるいは、データからそのように読みとれる）例は少ないものの、いくつかある（渡部, 1993; Alvarez et al., 2014; Mukherjee, 2020）。穂数等の場合と同様に、どのような要因がこうした結果の差をもたらすのかについては現時点では明らかでなく、今後追及する必要があるが、少なくともパンフレットに記載されたおりの結果が得られない場合があることは事実であるため、本剤の使用時にはその点にも留意する必要がある。

玄米収量については、本研究では試験圃場と農家圃場の双方で PBZ 処理の有意な影響がみられず、他の研究でもそのような例はあるものの（Pyon and Huh, 1985; 小菅・木野田, 1999; Goufo et al., 2011; Mactal and Canare Jr., 2016; Bridgemohan and Bridgemohan, 2014）、増加する場合があることを示した（あるいは、データからそのように読みとれる）研究例のほうがはるかに多い（Oh et al., 1984; Street et al., 1986; Im et al., 1987, 1988; Lee et al., 1987; 上野, 1989; 遠藤ら, 1990; Kang et al., 1992; Lee and Dedatta, 1991; 佐藤ら, 1993; Wahyuni et al., 2002; Sinniah et al., 2012; Syahputra et al., 2016; Sitepul

et al., 2019; Mukherjee, 2020; Xu et al., 2020; Cao et al., 2021; Xing et al., 2022; Magtalas et al., 2020; Azarcon et al., 2022). 本剤の収量構成要素への影響については、上で述べたとおり、穂数への影響がみられない例が多く、一穂粒数については減少する例がある例が多い一方で、登熟歩合と千粒重については向上・増加する例が多い。これら 2 つの特性の変化が増収の主な要因となっていると言えるだろう。これだけ多くの研究で、玄米収量を含むこれらの特性の増加・向上がみられていることを考慮すると、「ミルキーサマー」においても同様な増加・向上を実現できる余地は十分にあると思われる。今後は本品種の増収をめざして、本剤の使用により適した栽培条件（施肥量、移植時期等）や、処理時期・処理量等を検討する必要がある。その一方で、伊藤ら（1986）、Lee et al. (1987)、Lee (1988)、Lee and Kim (1988)、渡部（1993）、Alvarez et al. (2012, 2014) および Xu et al. (2020) では、本剤の処理により減収する例があることを示している。「ミルキーサマー」においても、本剤が増収ではなく減収をもたらすような栽培・使用条件がある可能性があり、こういった点を明らかにすることも、本剤の普及を考慮する上で重要となるので、今後同時に検討するのが望ましい。

すでに述べたとおり、収量およびその構成要素への PBZ の影響を調べた例は多数あるのに対し、食味を含むコメの品質への本剤の影響を調べた例は少ない。屑米歩合への影響については、言及している例が見当たらず、本研究が初めての事例となろう。本剤を均一に散布した場合、屑米歩合への有意な影響はみられなかったが（表 2）、局所散布区の中央の区画では、均一散布区と同じ区画よりも屑米歩合が高くなる場合があり（表 5）、この結果は本剤が高濃度になると屑米歩合を上昇させることを示唆する。これについては、処理量と屑米歩合とのより詳しい関係と、本剤が屑米を増やすメカニズムの解明が望まれる。食味については、Lee et al. (1987) は、韓国におけるいくつかのうるち米品種を対象に、PBZ 処理された米とされていない米の食味を官能評価によって比較し、“eating quality” においてはこれらの米を区別できないと述べている（ただし、統計検定はされていない）。現時点で、食味に関する特性への PBZ の影響を調べた研究例として信頼できるものは、Goufo et al. (2011) だけひとつである。彼らは、中国南部で栽培される香り米 2 品種に本剤を処理すると、いずれの品種においても香り成分（主に 2-acetyl-1-pyrroline）が減少し、官能評価における香りも低下することを明らかにしている。本研究の試験圃場の例では、無処理区と PBZ 処理区（均一散布区）の食味比較においては本剤の影響は明らかでなかったものの、均一散布区と局所散布区の中央の区画の間での食味の比較においては、PBZ 処理法の効果が「香り」と「総合」で

有意となっており、本剤がより高濃度で処理されたと想定される局所散布区において、これらの数値が低くなる傾向がみられている（表 5）。この結果は、Goufo et al. (2011) で観察されたような香り成分の減少によってもたらされた可能性もあるだろう。これまでに、PBZ が米の食味に及ぼす影響についてはあまり注目されてこなかったものと思われるが、Goufo et al. (2011) と本研究は、少なくとも香りについては影響があることを明確に示しており、また本研究では、農家圃場で栽培された米の「硬さ」が低下するという影響もみられている（表 2）。本剤の米の食味への影響の実態やそのメカニズムについてはまだほとんど研究が進んでおらず、不明な点が多いため、今後詳しく調べることの価値は高い。

最後に、本研究から得られたデータに基づく考察ではないが、世界自然遺産に登録されている西表島を中心として PBZ の使用を今後普及・指導する際の参考情報として、本剤の環境影響に関連するこれまでの知見を整理しておく。本剤の各種動物への毒性や、作物・環境への残留性は総じて低いとされている（French et al., 1990; 食品安全委員会, 2009; European Food Safety Authority, 2010）。また本剤は、水稻のバイオ肥料としても注目される藍藻類のいくつかの種の増殖を促すとする研究例（Zhang et al., 2011）もある。本剤の導入が藍藻類を増殖させ、それが化学肥料の使用量削減に結びつくのであれば、それは環境保全と農家所得の双方に好ましい状況をもたらすだろう（この点は今後詳しく追及される価値がある）。しかしながら、本剤は沖縄県に分布する、あるいは本県で養殖されている水生生物（魚類、甲殻類等）にマイナスの影響を及ぼす可能性もある。たとえば、本剤はコイ目コイ科の純淡水魚ゼブラフィッシュ *Danio rerio* (Hamilton) の胚発生を阻害する（Yetki et al., 2014; Wang et al., 2019）。沖縄県に分布する淡水魚の種の多くは通し回遊性であり（産卵・孵化とも海で行われる）、純淡水魚のほとんどは外来種であるものの（吉郷, 2018）、コイ目の純淡水魚であるフナ類 *Carassius* spp. (コイ科) とドジョウ類 *Misgurnus* spp. (ドジョウ科) については、主に DNA 情報から、沖縄県在来の個体群の存在も示唆されている（Takada et al., 2010; 高田ら, 2010; 清水ら, 2011; 岡ら, 2021）。甲殻類については、沖縄県を含む日本全国に分布する通し回遊性のモクズガニ *Eriocheir japonica* (de Haan) (モクズガニ科) の近縁種であり、中国・台湾等での重要な食用種でもあるチュウゴクモクズガニ *E. sinensis* (H. Milne-Edwards) において、本剤は個体の生存には影響しないものの、脱皮に関するいくつかの遺伝子の発現に影響することから、脱皮への悪影響が疑われている（Li et al., 2022）。Kamble et al. (2020) は、同じく重要な食用種で、東南アジア・南アジア各地で養殖されているバナメイエ

ビ *Litopenaeus vannamei* (Boone) (クルマエビ科) の幼体を用い、本剤の濃度の上昇に伴い、血球数の減少や食細胞の活性低下、血液凝固時間の延長等が起こることを明らかにし、養殖場付近での本剤の利用を制限すべきと述べている。沖縄県在来の淡水性甲殻類としては、サワガニ科、ヌマエビ科、テナガエビ科を中心として、八重山地域を含む地域に多数の固有種・希少種が分布している(成瀬, 2016)。これらの多くは河川の上流域に生息するが、たとえば石垣島に固有の純淡水性種イシガキヌマエビ *Neocaridina ishigakiensis* (Fujino & Shokita) (ヌマエビ科) は中流域にも生息するため、周辺の農耕地で使用された農薬による本種への悪影響が懸念されている(沖縄県環境部自然保護課, 2017)。また、沖縄県は養殖クルマエビ (*Marsupenaeus japonicus* Bate; クルマエビ科) の日本一の産地でもあり(松本, 2019)、石垣島においては、一部の養殖場は水田の近くにある(筆者による観察)。このため、養殖場付近の水田で PBZ を散布する場合には、本剤の飛散に注意すべきであろう。上述のように、PBZ が在来の水生生物に悪影響を及ぼす可能性もあることを考慮すると、本剤の無差別的な使用は避けるべきであり、実際に倒伏が問題となる圃場限定して使用されるべきである。今後は、本剤の使用時における注意点をより明確にするためにも、上記のような沖縄県に固有の水生動物の種・個体群や、主要な養殖品目への影響が解明されることが望まれる。

謝 辞

圃場や収穫物等の管理、サンプル調製ならびにデータ取得作業を手伝って下さった、喜友名栄輝氏をはじめとする沖縄県農業研究センター石垣支所職員の皆様、本稿を読んで有益なコメントを下さった、同支所の玉城盛俊支所長、前田剛希上席研究主幹、井上裕嗣元研究主幹および 2 名の匿名の査読者、ならびにいくつかのデータ解析法をご教示いただいた琉球産経(株)の本間 淳氏に厚くお礼申し上げます。本研究は沖縄振興特別推進交付金による「島嶼を支える作物生産技術高度化事業」(研究期間: 2018 ~ 2021 年度)の一環として行われた。

引用文献

- 安次富厚・伊禮風沙・田中洋貴 (2021) 水稻奨励品種「ミルキーサマー」に対する植物成長調整剤の倒伏軽減効果, 令和 2 年度沖縄県試験研究成果情報(沖縄県企画部, 那覇), p. 11-12.
- Alvarez, R. C. F, C. A. C. Crusciol and A. S. Nascente (2014) Produtividade de arroz de terras altas em função de reguladores de crescimento, *Revista Ceres*, 61, p.42-49.

- Alvarez, R. C. F, C. A. C. Crusciol, A. S. Nascente, J. D. Rodrigues and G. Habermann (2012) Gas exchange rates, plant height, yield components, and productivity of upland rice as affected by plant regulators, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, p.1455-1461.
- Azarcon, R. P., P. T. Vizmonte Jr. and A. M. L. Agustin (2022) Effects of paclobutrazol on growth, yield and water use efficiency of rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress condition, *Mindanao Journal of Science and Technology*, 20, p.38-60.
- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker and S. Walker (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4, *Journal of Statistical Software*, 67(1), p.1-48.
- Bridgemohan, P. and R. S. H. Bridgemohan (2014) Evaluation of anti-lodging plant growth regulators on the growth and development of rice (*Oryza sativa*), *Journal of Cereals and Oilseeds*, 5(3), p.12-16.
- Cao, F., T. Lei, j. Cao, J. Chen, M. Huang and Y. Zou (2021) Effects of spraying different biochemical regulators in different periods on yield and lodging resistance of high-quality rice, *China Rice*, 27, p.76-78 (in Chinese with English Abstract).
- Christensen, R. H. B. (2019) ordinal-Regression Models for Ordinal Data, R Package Version 2019.12-10, <https://CRAN.R-project.org/package=ordinal>.
- Darussalam and K. Dewi (2022) Paclobutrazol and cytokinin regulation on culm growth of black rice (*Oryza sativa* L. "Cempo Ireng"), *Bioeksperimen*, 8, p.121-128.
- Dewi, K., R. Z. Agustina and F. Nuralika (2016) Effects of blue light and paclobutrazol on seed germination, vegetative growth and yield of black rice (*Oryza sativa* L. "Cempo Ireng"), *Biotropia*, 2, p.84-95.
- Dewi, K. and Darussalam (2018) Effect of paclobutrazol and cytokinin on growth and source-sink relationship during grain filling of black rice (*Oryza sativa* L. "Cempo Ireng"), *Indian Journal of Plant Physiology*, 23, p.507-515.
- 遠藤昌幸・今野 周・芳賀静雄 (1990) 水稻における倒伏診断と生育調節, *日本作物学会東北支部会報*, 33, p. 15-16.
- European Food Safety Authority (2010) Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance paclobutrazol, *EFSA Journal*, 8(11), p.1-60.
- Fox, J. and S. Weisberg (2019) An R Companion to Applied Regression, Third Edition, Sage Publications, p.608.
- French, P., H. Matsuyuki and H. Ueno (1990) Paclobutrazol: control of lodging in Japanese paddy rice, *Pest*

- Management in Rice (B. T. Grayson et al. eds.), Elsevier Applied Science, p.474-485.
- Goufo, P., S. Wongpornchai and X. Tang (2011) Decrease in rice aroma after application of growth regulators, *Agronomy for Sustainable Development*, 31, p.349-359.
- Hervé, M. (2022) RVAideMemoire: Testing and Plotting Procedures for Biostatistics, R package version 0.9-81-2, <https://CRAN.R-project.org/package=RVAideMemoire>.
- Hothorn, T., F. Bretz and P. Westfall (2008) Simultaneous inference in general parametric models, *Biometrical Journal*, 50, p.346-363.
- Im, I. B., S. Y. Lee and M. S. Lim (1987) Growth and lodging of paddy rice as affected by paclobutrazol application under the different level of nitrogen fertilizer, *Korean Journal of Weed Science*, 7, p.171-178 (in Korean with English Abstract).
- Im, I. B., S. Y. Lee and J. H. Kim (1988) Effect of paclobutrazol application on the growth and characters related with lodging of paddy rice plant, *Korean Journal of Weed Science*, 8, p.324-329 (in Korean with English Abstract).
- 伊藤夫仁・前田光裕・前重道雅 (1986) 生育調節剤による水稻の稈長短縮と倒伏軽減効果について, *日本作物学会中国支部研究集録*, 28, p. 35-36.
- Kamble, S. N., H. B. Dhamagaye, S. J. Meshram, B. R. Chavan and G. N. Kulkarni (2020) Toxic effect of fungicide paclobutrazol on immunological parameters of juveniles whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, *Journal of Experimental Zoology, India*, 23, p.895-901.
- Kang, C. K., G. J. Ryu and K. H. Lee (1992) Effects of plant growth retardants on the growth and characters related with lodging in rice, *Korean Journal of Weed Science*, 12, p.31-38 (in Korean with English Abstract).
- Kang, K. K., Y. W. Kwon and C. Y. Yoo (1985) Effect of applied GA3 and paclobutrazol, an inhibitor of GA biosynthesis, on the growth of internodes and panicle of the rice plants, *Korean Journal of Crop Science*, 30, p.471-480.
- 片山直樹・馬場友希・大久保悟 (2020) 水田の生物多様性に配慮した農法の保全効果：これまでの成果と将来の課題, *日本生態学会誌*, 70, p. 201-215.
- 小菅孝一・木野田憲久 (1999) 水稻品種「つがるロマン」に対する倒伏軽減剤の利用基準, *東北農業研究* (52), p. 33-34.
- Lee, E. W., Y. W. Kwon and C. H. Soh (1987) Lodging liability and response to paclobutrazol application of high eating quality japonica rice varieties, *Korean Journal of Crop Science*, 32, p.224-223 (in Korean with English Abstract).
- Lee, S. C. and S. K. Dedatta (1991) Effect of plant growth regulators on lodging in rice, *Korean Journal of Weed Science*, 11, p.87-99.
- Lee, S. S. (1988) Lodging related traits and yield of two rice varieties as affected by paclobutrazol at different N levels and split rates, *Korean Journal of Weed Science*, 8, p.64-70 (in Korean with English Abstract).
- Lee, S. S. and T. J. Kim (1988) Lodging related traits and yield of rice as affected by time of paclobutrazol application, *Korean Journal of Crop Science*, 33, p.336-342 (in Korean with English Abstract).
- Length, R. V. (2022) emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means, R Package Version 1.7.3, <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
- Li, C., L. Huang, Y. Zhang, X. Guo, N. Cao, C. Yao, L. Duan, X. Li and S. Pang (2022) Effects of triazole plant growth regulators on molting mechanism in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*), *Fish & Shellfish Immunology*, 131, p.646-653.
- Mactal, A. G. and J. G. Canare Jr. (2016) Lodging resistance and yield performance of two traditional rice varieties applied with nitrogen and paclobutrazol, *Annals of Tropical Research*, 38, p.106-129.
- Magtalias, M. P., P. T. Vizmonte, Jr. and A. M. L. Agustin (2020) Promoting effects of paclobutrazol on the productivity of different rice (*Oryza sativa* L.) ecotypes under rainfed lowland condition, *Mindanao Journal of Science and Technology*, 18, p.157-173.
- Mangiafico, S.S. (2016) Summary and Analysis of Extension Program Evaluation in R, Version 1.19.10, <https://rcompanion.org/handbook/>.
- 松本源太 (2019) 不動のトップシェアを誇る沖縄県 県内認知向上と新しい疾病への対応, *養殖ビジネス*, 56(7), p. 12-15.
- Matsuno, Y., K. Nakamura, T. Masumoto, H. Matsui, T. Kato and Y. Sato (2006) Prospects for multifunctionality of paddy rice cultivation in Japan and other countries in monsoon Asia, *Paddy and Water Environment*, 4, p.189-197.
- Mukherjee, D. (2020) New approach to increasing rice (*Oryza sativa* L.) lodging resistance and biomass yield through the use of growth retardants, *Journal of Cereal Research*, 12, p.247-256.
- 成瀬 貫 (2016) 琉球列島の陸水無脊椎動物の特徴と最近の発見, *陸水学雑誌*, 77, p. 203-209.
- 日本作物学会九州支部会 (編) (2013) 作物調査基準, 日本作物学会九州支部, p. 181.
- Oh, S. M., H. K. Lee and K. H. Lee (1984) Effect of

- paclobutrazol and flurprimido application on characteristics related with lodging of paddy rice plant, *Korean Journal of Weed Science*, 4, p.163-168 (in Korean with English Abstract).
- 大野 豪・喜友名栄輝 (2024) 沖縄県八重山地域におけるインド型水稻品種「北陸 193 号」と「カーチパイ」の栽培に適した移植時期と施肥量の特定の試み, 沖縄県農業研究センター研究報告, (17) (印刷中).
- 岡慎一郎・笹井隆秀・花原 望・宮本 圭・小林大純・村田尚史・前田 健 (2021) 沖縄県におけるヒョウモンドジョウの遺伝的特性, *Fauna Ryukuana*, 59, p. 57-61.
- 沖縄県環境部自然保護課 (編) (2017) 改訂・沖縄県の絶滅のおそれのある野生生物 第3版 (動物編) —レッドデータおきなわ—, 沖縄県環境部自然保護課, p. 712.
- 沖縄県農業研究センター石垣支所・沖縄県八重山農林水産振興センター農業改良普及課 (編) (2017) 沖縄県水稻栽培指針 (八重山地域版), 沖縄県米穀種子協会, p. 17.
- 沖縄県農林水産部 (2023) 農業関係統計, 沖縄県農林水産部, p. 208.
- 沖縄県八重山農林水産振興センター (編) (2022) 令和 3 年度 八重山の農林水産業, 沖縄県八重山農林水産振興センター, p. 69.
- Pyon, J. Y. and Y. K. Huh (1985) Effect of paclobutrazol on anti-lodging characteristics and yields of rice, *Research Reports of Agricultural Science and Technology*, Chungnam National University, 12, p.183-190 (in Korean with English Abstract).
- R Core Team (2020) R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, <https://www.R-project.org/>.
- 佐藤 勉・林 恒夫・岩田忠寿 (1993) 画像解析を利用した水稻の生育診断技術 第2報 葉面積指数及び植被率を指標とした生育診断と制御技術, 福井県農業試験場報告, (30), p. 19-26.
- 清水孝昭・鈴木寿之・高木基裕・大迫尚晴 (2011) 沖縄島と西表島より得られたドジョウの形態的・遺伝的特徴, *日本生物地理学会会報*, 66, p. 141-154.
- 食品安全委員会 (2009) 農薬評価書 バクロブトラゾール, 食品安全委員会, 34p.
- Silitonga, R. S. and J. Nasution (2019) Pengaruh kotoran ayam dan paclobutrazol terhadap jumlah anakan dan tinggi batang padi hitam (*Oryza sativa* L.) kabupaten tapanuli selatan, *J-PEN Borneo: Jurnal Ilmu Pertanian*, 2, p.36-40.
- Sinniah, U. R., S. Wahyuni, B. S. A. Syahputra and S. Gantait (2012) A potential retardant for lodging resistance in direct seeded rice (*Oryza sativa* L.), *Canadian Journal of Plant Science*, 92, p.13-18.
- Sitepu1, F. R., J. Ginting and N. Rahmawati (2019) Response of growth and production of rice (*Oryza sativa* L) to paclobutrazol application with JajarLegowo 4: 1planting system, *The 3rd International Conference Community Research and Service Engagements*, p.409-418.
- Street, J. E., J. H. Jordan, M. W. Ebelhar and D. L. Boykin (1986) Plant height and yield responses of rice to paclobutrazol, *Agronomy Journal*, 78, p.288-291.
- Syahputra, B. S. A., U. R. Sinniah, M. R. Ismail, M. K. Swamy (2016) Optimization of paclobutrazol concentration and application time for increased lodging resistance and yield in field-grown rice, *Philippine Agricultural Scientist*, 99, p.221-228.
- Syahputra, B. S. A., M. Siregar, R. R. A. Tarigan and N. J. B Ketaren (2018) Modification vegetative of plant height in paddy after PBZ application with rice-oil palm planting system, *Proceeding International Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources Management*, 2, 44-47.
- Takada, M., K. Tachihara, T. Kon, G. Yamamoto, K. Iguchi, M. Miya and M. Nishida (2010) Biogeography and evolution of the *Carassius auratus*-complex in East Asia, *BMC Evolutionary Biology*, 10, p. 7. (<http://www.biomedcentral.com/1471-2148/10/7>).
- 高田未来美・立原一憲・西田 陸 (2010) 琉球列島におけるフナの分布と生息場所：在来フナと移殖フナの比較, *魚類学雑誌*, 57, p. 113-123.
- 竹内善信・安東郁男・根本 博・加藤 浩・平林秀介・太田久稔叫・石井卓郎・前田英郎・竹本陽子・井辺時雄・佐藤宏之・平山正賢・出田 収 (2013) ミルキークイーンの出穂性を改変した水稻品種「ミルキーマー」の育成, *作物研報*, 14, p. 77-95.
- 上野 博 (1989) バクロブトラゾールの作用特性と植物矮化剤としての実用性, *植物の化学調節*, 24, p. 127-141.
- Wahyuni, S., U. R. Sinniah, M. K. Yusop and R. Amarthalinga (2002) Effect of paclobutrazol and prohexadione calcium on growth, lodging resistance and yield of wet seeded rice, *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 21, p.24-30.
- Wang, W., C. Wu and B. K. Lonameo (2019) Toxic effects of paclobutrazol on developing organs at different exposure times in zebrafish, *Toxics*, 7, p.62 (<https://doi.org/10.3390/toxics7040062>).
- 渡辺 篤 (1968) 水田農業における藍藻類の窒素固定の利用, *科学と生物*, 6, p. 287-292.
- 渡部富男 (1993) 早期栽培地帯における水稻障害冷害に

関する研究 第3報 倒伏軽減剤による危険期深水
灌漑湛水深の低下, 日本作物学会紀事, 62,
p. 53-59.

Wen, T. W., Wang, W. Yang, X. Du, Z. Wang, Y. Jia, X. Qian,
N. Su, H. Shi and D. Gu (2020) Morphological
characteristics and lodging resistance of rice stems and its
response to exogenous plant growth regulators, *Journal of
Southern Agriculture*, 51, p.48-55 (in Chinese with
English Abstract).

Xie, Z., J. Zhang, Q. Lin, F. Liu, C. Zhang, F. Zhuo, Z. Jiang
and C. Zhuo (2019) Effect of plant growth regulators on
rice lodging resistance and grain production of main-crop
and ratooning rice, *Chinese Journal of Rice Science*, 33,
p.158-166 (in Chinese with English Abstract).

Xing, P., M. Duan, Y. Liu, Z. Mo, R. Lai and X. Tang (2022)
Enhancement of yield, grain quality characters,
2-Acetyl-1-pyrroline content, and photosynthesis of
fragrant rice cultivars by foliar application of
paclobutrazol, *Journal of Plant Growth Regulation*
(<https://doi.org/10.1007/s00344-022-10582-9>).

Xu, F., P. Jiang, X. Zhou, M. Liu, L. Zhang, H. Xiong, Y. Zhu
and X. Guo (2020) Effects of paclobutrazol on yield and
lodging resistance with different dense-fertilizer
population in mid-season hybrid rice, *Journal of Nuclear
Agricultural Science*, 34, p.1088-1096 (in Chinese with
English Abstract).

山城信哉・田部井大介・呉屋光一・田中洋貴・与那嶺要・
大城和久・照屋寛由・大工政信・安東郁男・竹内善
信 (2011) 沖縄県における奨励品種候補低アミロー
ス米品種「ミルキーサマー」の特性について, 沖縄
県農業研究センター研究報告, (5), p. 2-26.

Yekti, A. P. A., H. Hsu and W. Wang (2014) The effect of
paclobutrazol on the development of zebrafish (*Danio
rerio*) embryos, *Zebrafish*, 11, p.1-9.

吉郷英範 (2018) 琉球列島産陸水魚類相および文献目録,
Fauna Ryukyuana, 9, p.1-153.

Zhang, A., X. Xie and W. Liu (2011) Enantioselective
separation and phytotoxicity on rice seedlings of
paclobutrazol, *Journal of Agricultural and Food
Chemistry*, 59, p.4300-4305.

Zeileis, A. and T. Hothorn (2002) Diagnostic checking in
regression relationships, *R News*, 2(3), p.7-10.

A trial to determine the time of transplanting and the fertilizer rate suitable for cultivating indica-type rice cultivars, “Hokuriku 193” and “Kaachibai”, in the Yaeyama region, southwestern Japan

Suguru OHNO and Eiki KIYUNA

Ishigaki Branch, Okinawa Prefectural Agricultural Research Center

Abstract

As one of the measures for the utilization of idle rice paddies in the second crop of double cropping in the southwestern area of Okinawa (Yaeyama region), cultivation of indica-type rice cultivars as materials for Awamori (Okinawan traditional liquor) has recently been considered. We conducted field experiments on Ishigaki Island to determine the time of transplanting and the fertilizer rate suitable for the cultivation of two Indian cultivars, “Hokuriku 193” and “Kaachibai”, which have been grown in the northern part of the Okinawa Islands, as the first step to support cultivation in the Yaeyama region. The tested transplanting period was from the first half of July to the second half of August, and the results showed that many of the growth and yield characteristics of both cultivars varied significantly among the times of transplanting. In terms of grain yield, the second half of July and up to the first half of August seemed to be suitable for transplanting “Hokuriku 193” and “Kaachibai”, respectively. The fertilizer used was a one-shot slow-release type (LPBB2133; N:P:K = 21:13:13), and its application rate was varied around the standard fertilizer rate (4.8 Nkg/10a) for the second crop of non-glutinous rice cultivars in the Yaeyama region. In both indica-type cultivars, several growth characteristics varied with the fertilizer rate, whereas the grain yield did not. Therefore, a fertilizer rate of 4.8 Nkg/10a seemed to be adequate for both cultivars, and for “Kaachibai”, it was also suggested that half of the standard (2.4 Nkg/10a) may be sufficient. The present and previous studies showed that the grain yield of the indica-type varieties on Ishigaki Island was at most around 40kg/a, which is considerably lower than that in the northern part of the Okinawa Islands, mainland Japan, and the Philippines, which have achieved more than 50kg/a grain yield. However, the growth data obtained in the present study suggest that the suppression of non-productive tillers and/or improvement of the sink-filling rate lead to an increase in the yield, which should be examined in the future.

Key words: dual cropping, grain-filling rate, multi-functionality of paddy field, Ryukyus, sink capacity.

ロジスティック曲線解析法に基づいたサトウキビの収量予測モデルの可能性

比屋根真一^{1, 2}・野瀬昭博³・伊禮信⁴・寶川拓生⁵
平良英三⁶・鄭紹輝³・上野正実⁶・川満芳信^{6,*}

- 1 沖縄県農業研究センター宮古島支所 〒906-0012 沖縄県宮古島市平良西里 2071-40
- 2 鹿児島大学大学院連合農学研究科 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-24
- 3 佐賀大学農学部 〒840-0027 佐賀県佐賀市本庄町大字本庄 1
- 4 沖縄県農業研究センター 〒901-0336 沖縄県糸満市真壁 820
- 5 国際農林水産業研究センター 熱帯・島嶼研究拠点 〒907-0002 沖縄県石垣市宇真栄里川良原 1091-1
- 6 琉球大学農学部 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地

要 約

沖縄県農業研究センターで長期間実施された気象感応試験における調査データを活用して、サトウキビ収量予測モデルの開発を検討した。サトウキビの仮茎長はロジスティック曲線的に変化することを確認し、栽培型毎の変曲点出現時期を導き出し、その近傍の生育データに基づいて最終収量の早期予測を試みた。平年的な仮茎長のロジスティック曲線の変曲点は、春植え灌水区で植付け後 144 日目、同無灌水区で 153 日目、株出しは両処理区ともに株出し開始 134 日目に出現した。夏植えは、植付けから 220 日までと、それから収穫日までの 2 つのロジスティック曲線に分離でき、前者の変曲点は植付け後 87 日目、後者のそれは 293 日目に現れた。10 月以降の原料茎重の実測値にフィットさせたロジスティック曲線の変曲点は、春植えでは両処理区ともに植付け後 177 日目、株出し灌水区で 139 日目、同無灌水区で 154 日目、夏植え灌水区で 346 日目、無灌水区で 296 日目に出現した。これらの変曲点出現時期に近い生育データの内、春植えでは 9・10 月、株出しでは 8・9 月、夏植え無灌水区では 6～8 月における 3 形質の積（仮茎長 × 茎径 × 茎数）と収穫時の原料茎重との単相関係数が有意に高かった。一方、夏植え灌水区の原料茎重は 6・7 月の仮茎体積との単相関係数が有意に高かった。以上より、ロジスティック曲線に基づく変曲点の出現時期付近の生育データを用いることによって最終収量の早期予測の可能性がある。

キーワード サトウキビ, 仮茎長, 原料茎重, ロジスティック曲線, 変曲点, 早期予測

出典: 熱帯農業研究 15 (2): 101-109, 2022

責任編集者 朴 炳宰 2020 年 11 月 13 日受付 2022 年 3 月 2 日受理

* Corresponding author kawamitu@agr.u-ryukyu.ac.jp

Pectobacterium carotovorum subsp. *brasiliense* によるトウガン軟腐病（新称）の発生 および銅水和剤の防除効果

澤岬哲也・安次富厚・河野伸二・川武恵梨子

2006年に沖縄県宮古島市で出荷されたトウガン果実において、収穫時は健全であった果実が、貯蔵中に果実内部から液化して軟化・腐敗する病害が発生した。腐敗部からは、普通寒天培地上で白色、円形、全縁、湿光を帯びた細菌が高率に分離された。本細菌をトウガン果実に有傷接種すると腐敗症状が再現され、トウガン以外にカボチャ、スイカ、ハクサイを含む4科16植物にも病原性が認められた。圃場感染の有無を確かめるために、栽培中のトウガン雌花、幼果および収穫前の成熟果に分離菌の有傷接種を行った結果、収穫後の軟腐症状は成熟果接種のみで再現された。分離菌株はジャガイモ塊茎腐敗、インドール産生、5%NaCl下での生育、37℃下での生育は陽性で、39℃下での生育、フォスファターゼ活性、エリスロマイシン感受性、スクロースからの還元物質の生成はそれぞれ陰性であった。これらの性質は既報の*Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense* (Pcb)の記載と一致した。また、Pcbの特異的プライマー (BR1f / L1r)を用いたPCR検定により遺伝子の増幅が確認された。以上の結果から、分離菌を*P. carotovorum* subsp. *brasiliense*と同一し、新病害としてトウガン軟腐病 (Soft Rot)と命名した。また、本病に対する数種銅水和剤の防除効果について検討した結果、病原菌の幼苗接種による評価では塩基性硫酸銅水和剤に比べて水酸化第2銅水和剤で高い防除効果が認められ、圃場接種による評価でも、果実肥大期における本剤の2回散布により、収穫後の発病において無処理と比較して高い防除効果が確認された。以上より、水酸化第2銅水和剤の圃場散布は、本病の予防対策として有効と考えられた。

出典：九州病害虫研究会報 66：26-32, 2020.

Gilbertella persicaria によるアセロラ実腐病（新称）

澤岬哲也・山城麻希・河野伸二・松村まさと

2017年に沖縄県でアセロラ果実(品種:甘味系)の重篤な貯蔵病害が発生した。発病果実から高率に分離される糸状菌を、形態および培養学的特徴、rDNA-ITS遺伝子領域の塩基配列の類似性から*Gilbertella persicaria* (E. D. Eddy) Hesseltineと同一した。本菌は接種後にアセロラ果実に症状を再現し、その接種果実の病斑部から同菌が再分離された。本菌によるアセロラ果実の病害は国内外で初確認のため、病名をアセロラ実腐病 (Fruit rot)と命名する。

出典：日本植物病理学会報 86：102-107, 2020.

Podosphaera xanthii によるニガウリうどんこ病（病原追加）

澤岬哲也・新崎千江美

2012年3月、沖縄県でニガウリ葉(品種:汐風)に白色粉状のうどんこ病が発生した。葉上の糸状菌は、不完全世代の形態的特徴およびrDNA-ITS遺伝子領域の塩基配列の類似性から*Podosphaera xanthii* (Castagne) U. Braun & Shishkoffと同一された。また、発病葉では本菌の閉子のう殻は認められなかった。本菌は接種後にニガウリ葉に症状を再現し、その病斑部で同菌が再確認された。本菌によるニガウリうどんこ病は国内で初確認のため、本病に病原を新たに追加する。

出典：日本植物病理学会報 86：273-277, 2020.

**Bacterial wilt of three *Curcuma* species, *C. longa* (turmeric),
C. aromatica (wild turmeric) and *C. zedoaria* (zedoary) caused
by *Ralstonia solanacearum* in Japan**

Atsushi Ajitomi, Yasuhiro Inoue, Mitsuo Horita, Kazuhiro Nakaho

A new bacterial disease was observed on three *Curcuma* species, *C. longa* (turmeric), *C. aromatica* (wild turmeric) and *C. zedoaria* (zedoary) in Okinawa Prefecture, Japan in January 2014. At harvest, leaves suddenly wilted, curled and yellowed, and the whole plant finally died. The wilted plants had rotted rhizomes with internal discoloration. Creamy-whitish bacteria were isolated from the rhizomes of each *Curcuma* species. These bacteria were identified as *Ralstonia solanacearum* race 4, biovar 4 and phylotype I based on bacteriological characteristics, pathogenicity tests and DNA-based analyses. The names bacterial wilt of turmeric, wild turmeric and zedoary are proposed for the diseases.

出典 : Journal of General Plant Pathology 81:315-319 (2015)

***Botrytis cinerea* as the causal agent of grey mould on floral tissue of mango in Japan**

Atsushi Ajitomi, Maki Yamashiro, Tetsuya Takushi, Atsushi Ooshiro

In March 2016, grey mould disease was observed on mango (*Mangifera indica*) in Okinawa Prefecture, Japan. During the flowering period, the disease caused a brown coloration of the petals and peduncles accompanied by white aerial mycelium. As the disease symptoms progressed, the rot of panicle parts was accompanied by grey mould, resulting in fruit set failure. A fungus was isolated from the discoloured inflorescence into pure culture. Based on morphology and analyses of glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (g3pdh), heat-shock protein 60 (hsp60) and DNA-dependent RNA polymerase subunit II (rpb2) DNA sequences the fungus was identified as *Botrytis cinerea*. In an inoculation test, the isolate reproduced the symptoms observed on mango petals and peduncles and was reisolated from the flowers. This is the first report of *B. cinerea* as the causal agent of grey mould (haiirokabi-byo in Japanese) on floral tissue of mango in Japan.

出典 : Australasian Plant Disease Notes 17:18 (2022)

**The preventing method of browning and γ -aminobutyric acid (GABA)
contained in *Luffa cylindrica* Roem. cultivated in Okinawa**

Takashi Hanagasaki

Luffa (Luffa cylindrica Roem.) is a popular vegetable in Okinawa, and it has abundant nutrients, including γ -aminobutyric acid (GABA). We focused on GABA content in luffa, taking into consideration registering it as foods with functional claims in Japan. Besides, when selling cut luffa and frozen cut luffa at supermarkets, they are supposed to get browned due to air exposure and other causes. In the present study, we developed the prevention method of browning cut luffa and frozen cut luffa using 0.5, 1.0, 2.0, and 4.0 % ascorbic acid solution. It was found that 55 L of 4.0 % ascorbic acid solution could be used for soaking of 70 kg cut luffa to prevent browning, but GABA content decreased in food processing of luffa in the factory. Besides, GABA content in luffa fruits was found not to change during storage for seven days at room temperature after harvest.

出典 : Vietnamese Journal of Food Control 4(4): 251-258 (2021)

**In vitro pesticides susceptibility of *Erwinia* sp. causing papaya
(*Carica papaya*) black rot in Okinawa, Japan and captan effectiveness
on papaya pot seedlings**

Takashi Hanagasaki, Tetsuya Takushi, Shinji Kawano, Maki Yamashiro

Since 2002, papaya black rot has been spreading over several islands of Okinawa Prefecture. The pathogen of the disease was identified as *Erwinia* sp., genetically close to *E. mallotivora* and *E. papayae*. In terms of the disease transmission, it is probably carried by the wind or rain. In order to devise a prevention strategy for the disease, in vitro pesticides susceptibility of the pathogen and tests with papaya pot seedlings were conducted. A minimum inhibitory concentration assay demonstrated that copper (II) hydroxide, basic copper sulfate, and captan present in the papaya-registered pesticides inhibited the growth of the pathogen on nutrient agar plates. In addition, mancozeb that is non-papaya-registered pesticide also showed an inhibitory effect on the pathogen. Thus, there is a high possibility that even the existing papaya-registered or non-papaya-registered pesticides can prevent papaya black rot. In the test with papaya pot seedlings, copper (II) hydroxide exerted a relatively lower pesticide effect; however, captan exhibited a pesticide effect, although it is one of the fungicides not registered for use in the treatment of bacterial diseases of plants in Japan till date. Indeed, based on the result of the present study, the official registration of legal expansion for use of captan to control papaya black rot was approved in Japan on December 22, 2021.

出典 : Journal of General Plant Pathology 88: 178-186 (2022)

**Vinegar extraction from unripe shikuwasa (*Citrus depressa* L.),
an Okinawan citrus fruit**

Takashi Hanagasaki

Introduction. Nakamoto Seedless, a variety of shikuwasa (*Citrus depressa* L.) in Okinawa, can be used to produce vinegar extracts because it has no seeds causing bitter taste. However, Nakamoto Seedless is hardly cultivated commercially in Okinawa. This research was aimed to develop vinegar extract from Ogimi Kugani, another major variety of shikuwasa, and compare its characteristics with those of extracts from Nakamoto Seedless.

Study objects and methods. The study featured vinegar extracts from the whole shikuwasa of Nakamoto Seedless (20% fruit) and Ogimi Kunagi (5, 10, and 20% of fruit) varieties. The fruit was harvested in June, July, and August. We tested the samples for limonin and polymethoxyflavones content and sensory attributes, especially bitterness.

Results and discussion. Vinegar extracts with 20% of Ogimi Kugani harvested in June and July tasted bitter compared to those from Nakamoto Seedless harvested in August, but extracts from Ogimi Kugani harvested in August were not bitter. In addition, 5 and 10% vinegar extracts from Ogimi Kugani harvested in June had lower bitterness. The vinegar extracts from both shikuwasa varieties contained polymethoxyflavones – bioactive compounds – and similar flavor.

Conclusion. The whole shikuwasa fruit can be used to produce vinegar drinks, Ponzu soy sauce, salad dressings, etc.

出典 : Foods and Raw Materials 9(2): 310-316 (2021)

沖縄県農業研究センター研究報告
第17号

編集・発行

沖縄県農業研究センター

〒901-0336 沖縄県糸満市真壁 820 番地

電話 098-840-8500(代表) Fax098-840-8510

ホームページ：<http://www.pref.okinawa.jp/site/norin/noken/>

代表 E-mail:xx049400@pref.okinawa.lg.jp

印刷

印刷センターテル

〒901-0211 沖縄県豊見城市字饒波 500-1

電話 098-856-5512 Fax098-856-4330

**BULLETIN OF THE OKINAWA PREFECTURAL AGRICULTURAL
RESEARCH CENTER**

..... · Number17 February, 2024

Contents

Original paper

XX-XX Suguru OHNO and Eiki KIYUNA: A trial to determine the time of transplanting and the fertilizer rate suitable for cultivating indica-type rice cultivars, “Hokuriku 193” and “Kaachibai” , in the Yaeyama region, southwestern Japan