

ISSN 2185-0437

山口県農林総合技術センター研究報告

第14号

令和5年（2023年）3月

BULLETIN OF THE YAMAGUCHI PREFECTURAL
AGRICULTURE & FORESTRY GENERAL TECHNOLOGY CENTER

No.14

March, 2023

Yamaguchi Prefectural Agriculture & Forestry General Technology Center

Ouchi Hikami, Yamaguchi City, Yamaguchi Prefecture, Japan

山口県農林総合技術センター

山口県山口市大内氷上一丁目1番1号

山口農林総技セ研報

Bull. Yamaguchi Agri.

& For. Gen. Tech. Ctr.

目 次

1401	包装資材・予冷および収穫月が山口県産イチゴ「かおり野」の長距離輸送後の 果実品質に与える影響 村田 翔平	1
1402	パン用小麦品種「せときらら」における緩効性肥料を用いた中間追肥の省略 陣内 暉久・村田 資治・有吉 真知子	10
1403	メッシュ農業気象データを利用した「はなっこりー」出荷予測技術の開発 重藤 祐司・荊木 康臣・藤井 宏栄・宇佐川 恵	20
1404	二ホンナシ新品種「甘太」の袋掛けによる外観品質の向上 岡崎 仁・大崎 美幸・村上 哲一・日高 輝雄	31
1405	水田における堆肥連用が土壌化学性と水稻収量に与える影響 有吉 真知子・河野 竜雄・原田 夏子	38
	山口県農林総合技術センター研究報告投稿規程	47

包装資材・予冷および収穫月が山口県産イチゴ「かおり野」の 長距離輸送後の果実品質に与える影響

村田 翔平

Effect of packaging materials, pre-cooling, and harvest month on the quality of Yamaguchi Prefecture strawberry "Kaorino" after long-distance transportation

MURATA Shohei

Abstract: In this study, the effects of pre-cooling and packaging on Yamaguchi Prefecture strawberry "Kaorino" harvested during different seasons and transported by land and air were examined for quality. The transport trials were held in January, February, and March. Strawberry fruits were pre-cooled for 24 h or 30 min and packed in flat or Hammock-type packages. Packaged strawberries were transported between Yamaguchi and Tokyo in two days both through land and air. Fruit quality was examined at departure, arrival, and after four days of storage at 5 °C. Fruits transported in March had lower skin firmness and Brix at departure than those in January and February. Fruits pre-cooled for 24 h had lower skin firmness than those pre-cooled for 30 min. The effect of packaging material on fruit quality at arrival was small. However, during March trial, the Hammock-type packages significantly reduced post-storage damage. The results of this study indicate that when strawberries "Kaorino" are transported long distances, the packaging materials with high cushioning performance are necessary especially in March.

Keywords: Skin firmness, Impact acceleration

キーワード：果皮硬度、衝撃加速度

緒言

山口県において、人口減少や高齢化により農林水産物の消費の減少が見込まれる中で、農業の生産基盤を維持していくためには、大都市圏や海外への販路確保が重要である。

そのため、山口県では、県産農林水産物の大都市圏や海外への販路拡大を「やまぐち農林水産業成長産業化行動計画」の重点項目に掲げ、取り組みの強化を図っている（山口県農林水産部，2018）。

山口県産農産物の輸出品目の中で注目されるひとつとしてイチゴが挙げられる。アジア圏における日本産イチゴの認知度の高まりから、日本のイチゴ輸出数量は2019年の962 tから2021年には1776 tに拡大している（財務省，2022）。さらに、イチゴは山口県に

おいて、農業産出額が米、鶏卵、肉用牛、ブロイラーに次いで5番目に多い重要な品目である（農林水産省，2022）。そのため、イチゴの販路拡大による生産者の経営基盤強化は、山口県の農業の持続的発展に寄与すると考えられる。

イチゴの販路拡大のためには、適切なマーケティングの実施とともに、品質を維持できる高度な鮮度保持技術が求められる。イチゴの鮮度保持技術に関しては、これまでに予冷技術や包装資材などに関する数多くの研究が行われてきた。パック詰め前の予冷は、イチゴの果実硬度を増加させ、傷みを低減することが示されている（大竹と田中，1988）。イチゴの長距離輸送用の包装資材は、伸縮性フィルム包装型容器や宙吊り型容器などが開発され、高い緩衝性能によって、輸送後の果実品質低下を防ぐことが示されている（馬場ら，

2012) (江嶋ら, 2012) (遠藤ら, 2017)。これらの技術を組み合わせることで、軟弱なイチゴ果実の長距離輸送が可能となる。

一方で、これらの技術の導入は過剰な投資となる可能性もある。Eumら(2014)は、輸送における予冷の効果は品種によって異なると報告している。さらに、緩衝性能が高い伸縮性フィルム包装型容器と宙吊り型容器の長距離輸送における傷み低減効果も、品種によって異なることが報告されている(遠藤ら, 2017)。そのため、ユーザーがこれらの技術を使用すべきか否かは、目的とする品質低下防止効果が栽培品種においてどれほど期待できるかという情報に基づいて判断する必要がある。

加えて、収穫時期はイチゴの輸送耐性の指標となる果実硬度に影響することから、到着時の果実品質にも影響を与えると考えられる。しかし、収穫時期が必要な輸送技術に与える影響は不明な点が多く残されている。そこで本研究では、航空便を用いて山口県産イチゴ「かおり野」を輸送し、予冷と包装資材が到着時の果実品質に与える影響を、収穫時期ごとに調べた。

なお、本研究はやまぐちの農林水産物需要拡大協議会の支援を受けて実施した。

材料および方法

1 イチゴ果実と包装資材

航空便を用いた輸送試験を2022年の1月、2月、3月に1回ずつ実施した。イチゴ果実は、すべて株式会社ベリーロード(山口県山口市)で収穫された9分~10分着色の「かおり野」を供試した。収穫された果実は、予冷時間の効果を比較するため、底に新聞紙を敷いた収穫コンテナに平置きして24時間もしくは30分間原料貯蔵庫で予冷した。24時間予冷では1月24日、2月21日、3月21日に収穫された果実を、30分間予冷では1月25日、2月22日、3月22日に収穫された果実を供試した。原料貯蔵庫の温度と湿度は1月8.4℃97%、2月7.4℃96%、3月5.2℃94%であった。予冷完了後、18.2g~26.0gの果実について、明らかな損傷があるものおよび奇形果を除いた後、ただちに平詰めトレイに12果、ハンモック型トレイ(商品名:ゆりかーごCタイプ,大石産業株式会社)には11果詰めた(第1図)。1パック当たりの重量は、平詰めトレイは250g~280g、ハンモック型トレイは225g~255gであった。それらをそれぞれの包



第1図 供試した包装資材の形態

上段:平詰めトレイ、下段:ハンモック型トレイ

装資材の専用段ボールに詰めた。さらに、約250gの粘土が入った平詰めトレイを詰めた専用段ボールを事前に用意しておいた。加えて、輸送中の衝撃加速度、温度、湿度を記録するために、データロガー(G-MEN GP100、株式会社スリック)を底面に設置した専用段ボールも事前に用意しておいた。専用段ボールは5段積みとし、最下段にイチゴ試料の段ボールを、2~4段目に粘土が入った平詰めトレイの段ボールを、最上段にデータロガーを設置した段ボールを積んだ。これらをポリプロピレン製バンドで結束した後、輸送試験に供した。

2 輸送方法

イチゴ果実は、梱包完了からおおよそ30分間原料貯蔵庫で保管した後に、第1表に示す輸送経路および手段で輸送した。イチゴ果実はクールボックスチャーター便(ヤマトボックスチャーター株式会社、第2図)で福岡空港まで輸送した後、翌日の航空便(株式会社ANA Cargo)で東京羽田空港まで空輸し、その翌日に再びクールボックスチャーター便(陸輸)で山口県農林総合技術センター(山口県山口市)に輸送した。実際の輸送形態を再現するために、ダミーの段ボール箱(40×28×31cm)10箱も同時に発送した。輸送にかかった時間は、いずれの月の試験においても約50時間であった。

第1表 供試したイチゴ果実の輸送経路と品質評価のタイミング

月日	時間	内容
1月 2月 3月		
24日 21日 21日	9時頃	24時間予冷用果実冷蔵
25日 22日 22日	9時頃	30分間予冷用果実冷蔵
	10時頃	選果および包装
	11時頃	発送
		陸輸
	14時頃	(果実品質評価：出発時)
26日 23日 23日	10時頃	福岡空港到着
		空輸
	14時頃	羽田空港到着
		陸輸
27日 24日 24日	14時頃	山口県農技セ着
	14時頃	(果実品質評価：到着時)
		5℃で貯蔵
31日 28日 28日	14時頃	(果実品質評価：貯蔵後)



第2図 クールボックスチャーター便内部の様子

3 果実品質調査

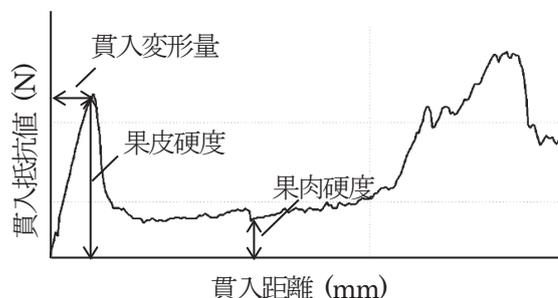
果実品質調査は、出発時、到着時、貯蔵後に実施した。出発時の果実品質調査は、発送作業後、予冷24時間と予冷30分間の果実を1パックずつハンモック型トレイに詰めて山口県農林総合技術センターに持ち帰り、直ちに実施した。調査項目は硬度(5果/パック)と糖度(5果/パック)とした。果皮硬度、果肉硬度は、果実の肩の瘦果を避けた位置でレオメーター(RE-3305S、YAMADEN)を用いた貫入試験により測定した。果皮硬度は、第1のピーク、果肉硬度は次のボトムとした(第3図)。さらに、遠藤ら(2020)に従い、貫入開始から果皮硬度までの変位を貫入変形量(第3図)とし、以下の式により貫入変形量、果皮硬度、果径、プランジャー断面積から見かけ弾性率を算出した。

見かけ弾性率(MPa)=(果皮硬度(N)×果径(mm))/(貫入変形量(mm)×プランジャー断面積(mm²))

硬度測定後の果実は一且冷凍し、後日解凍し糖度をBrix糖度計(株式会社アタゴ)で計測した。

到着時の調査は、輸送完了後直ちに、各包装資材につき予冷24時間と予冷30分間の果実各1パックを評価した。残りの果実は5℃で4日間貯蔵後、各包装資材につき予冷24時間と予冷30分間の果実1パ

ックを評価した。到着時と貯蔵後の調査項目は傷み面積割合(全果/パック)、果皮硬度(5果/パック)、糖度(5果/パック)とした。傷み面積割合は遠藤ら(2017)を参考に、果実全面におけるカビ、オセ(果実の自重により果実同士または果実と容器の接触面に生じる傷)、スレの発生面積割合の合計とし、目視により評価した。果皮硬度と糖度は出発時と同様の方法で調査した。



第3図 貫入試験におけるイチゴ果実の硬度および貫入変形量

4 統計解析

統計解析にはR version 3.6.1 (R Core Team, 2019)

を用いた。出発時の果実品質は、収穫月および予冷の効果についての2 要因分散分析を行った。輸送試験後の果実品質は、収穫月、予冷および包装資材の効果についての3 要因分散分析を行った。

結 果

1 出発時の果実品質

出発時の果皮硬度は、1 月をピークに収穫月の経過とともに低下した(第2 表、第4 図)。特に3 月に収穫し24 時間予冷した果実は最も低い値を示した。予冷時間による有意な差が認められ、30 分間予冷した果実の方が、24 時間予冷した果実よりも果皮硬度が高かった。果肉硬度と見かけ弾性率における、実施月と予冷の効果は認められなかった。出発時の糖度は1 月をピークとし、収穫月が進むにつれて大きく低下した。1 月は24 時間予冷した果実で11.8%、30 分間予冷した果実で10.5%であったが、3 月は24 時間予冷した果実で7.5%、30 分間予冷した果実で8.8%まで低下した。

2 輸送環境

輸送中に発生した衝撃加速度の強さとタイミングおよび温度、湿度は、3 回の輸送試験で類似していた(第5 図)。

陸路(山口市内~福岡空港および羽田空港~山口市内)では断続的に衝撃が発生していたものの、大半は5 G 未満の弱い衝撃であった。一方、10 G を超える強い衝撃は福岡空港到着から羽田空港出発までの時間帯に集中して発生した。特に、離陸前の飛行機への積み込み作業時(11 時~12 時)と着陸後の飛行機からの積み下ろし作業時(14 時~15 時)に強い衝撃が発生した(第6 図)。一方で、いずれの収穫月においても、飛行機が動いている時間帯には強い衝撃は一度も発生しなかった。

陸路における気温は2~8 °C、湿度は40~60%で安定していた(第5 図)。一方で、福岡空港到着から羽田空港出発までの時間帯は温度変化が大きく、いずれの収穫月においても福岡空港到着後から温度は急激に上昇し、羽田空港到着後に急激に低下した。

3 収穫月および包装資材が果実品質に与える影響

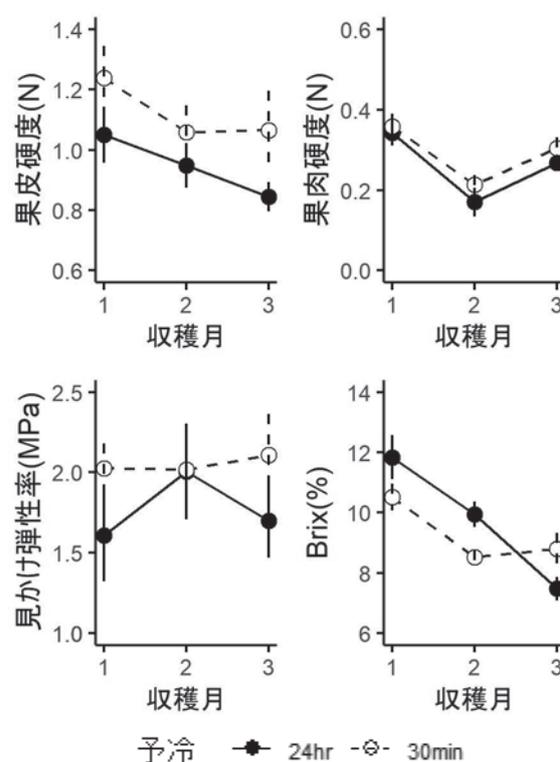
到着時の傷みは、ハンモック型トレイが平詰めトレイよりも有意に小さかったものの(第3 表)、両者と

第2表 出発時のイチゴ果実品質に与える収穫月と予冷の効果¹

	果皮硬度	果肉硬度	見かけ弾性率	Brix
収穫月	* ²	n.s.	n.s.	***
予冷	*	n.s.	n.s.	n.s.
収穫月 × 予冷	n.s.	n.s.	n.s.	*

¹n=5

²***, **, *およびn.s.はそれぞれ0.1%, 1%, 5% 水準で有意差ありおよび有意差なし

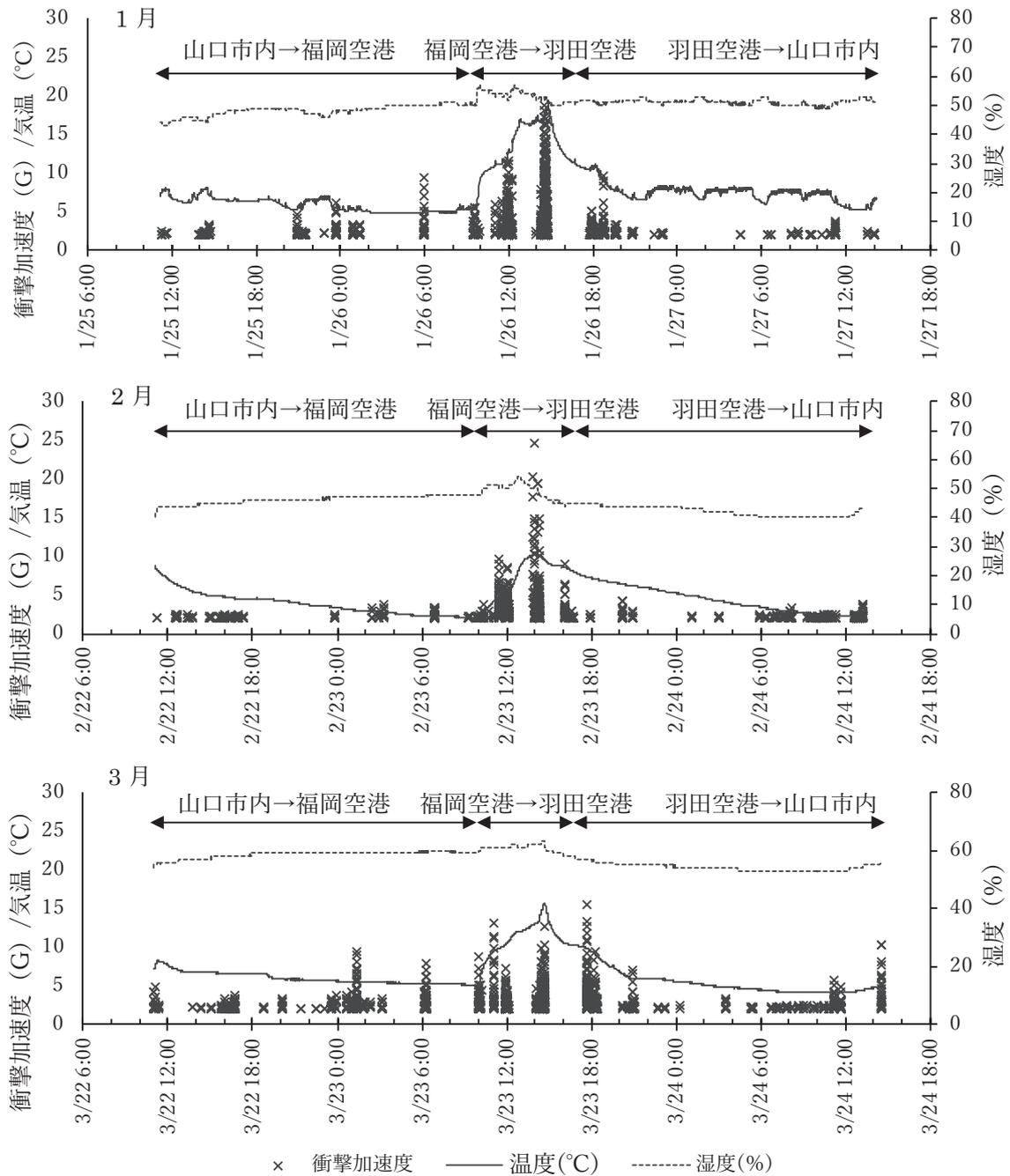


第4 図 出発時の果実品質¹

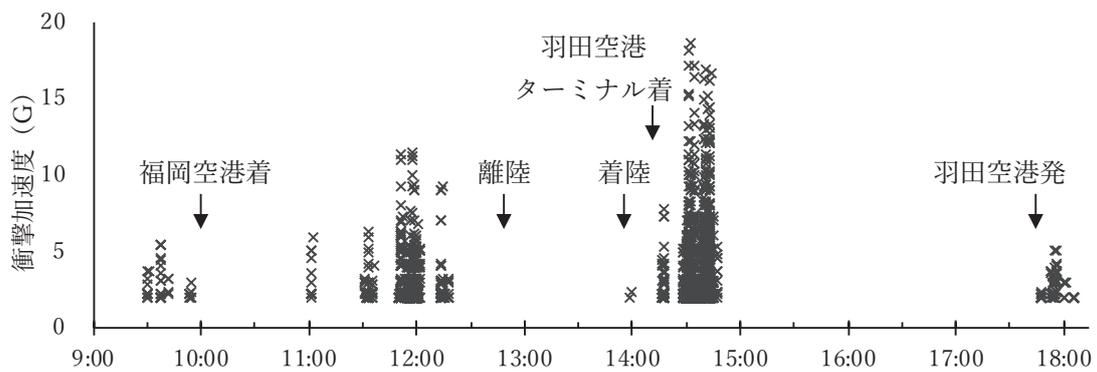
¹グラフは平均値および標準誤差を示す

もいずれ月の試験においても傷みの程度は小さかった(第7 図)。5°C 4 日間貯蔵後の傷み面積割合は平詰めトレイで大きく増加した。特に、3 月の輸送試験における24 時間予冷し平詰めトレイに詰めた果実は、傷み面積割合が20%まで上昇し、商品価値を喪失するほど激しかった。一方で、ハンモック型トレイに詰めた果実は貯蔵前後で大きな変化は見られず、貯蔵後の傷み面積割合は、平詰めトレイよりも有意に小さかった(第3 表)。収穫月と包装資材の交互作用が認められ、収穫月の効果は包装資材によって異なった。さら

包装資材・予冷および収穫月が山口県産イチゴ「かおり野」の長距離輸送後の果実品質に与える影響



第5図 調査した輸送工程における衝撃加速度、温度、および湿度



第6図 1月の輸送試験において福岡空港到着から羽田空港出発の時間帯に発生した衝撃

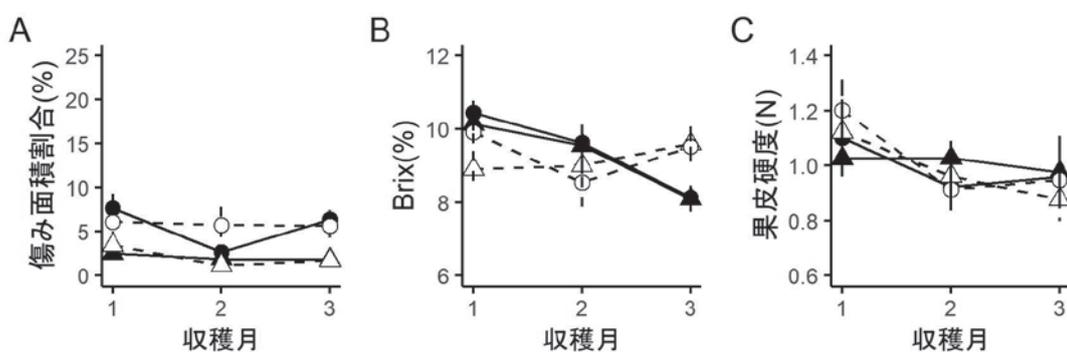
第3 表 到着時および貯蔵後のイチゴ果実品質に与える包装資材、収穫月と予冷の効果

	傷み面積割合	Brix	果皮硬度
到着時			
包装資材	***	n. s.	n. s.
収穫月	n. s.	**	*
予冷	n. s.	n. s.	n. s.
包装資材×収穫月	n. s.	n. s.	n. s.
包装資材×予冷	n. s.	n. s.	n. s.
予冷×収穫月	n. s.	**	n. s.
包装資材×収穫月×予冷	n. s.	n. s.	n. s.
貯蔵後			
包装資材	***	n. s.	n. s.
収穫月	**	***	**
予冷	n. s.	n. s.	n. s.
予冷×収穫月	*	n. s.	n. s.
包装資材×収穫月	*	n. s.	*
包装資材×予冷	n. s.	n. s.	n. s.
包装資材×収穫月×予冷	***	n. s.	n. s.

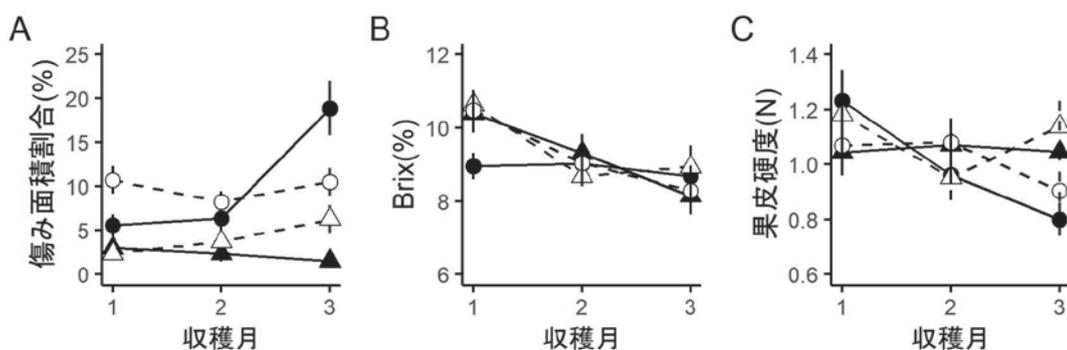
¹傷み面積割合：n=5、Brix：n=12もしくは11、果皮硬度：n=5

²***, **, *およびn.s.はそれぞれ0.1%, 1%, 5%水準で有意差ありおよび有意差なし

到着時



5°C 4日間貯蔵後



包装資材と予冷 ● 平詰めトレイ予冷24時間 ○ 平詰めトレイ予冷30時間
 ▲ ハンモック型トレイ予冷24時間 △ ハンモック型トレイ予冷30時間

第7 図 到着時および5°C4日間貯蔵後のイチゴ果実品質¹

¹グラフは平均値および標準誤差を示す。A: 傷み面積割合、B: BRIX(%), C: 果皮硬度

包装資材・予冷および収穫月が山口県産イチゴ「かおり野」の長距離輸送後の果実品質に与える影響

に、予冷と収穫月においても交互作用が認められ、収穫月の効果は予冷によって異なった。また、包装資材と収穫月および予冷の交互作用が認められた。

到着時および貯蔵後の糖度は出発時と同様に、月が進むにつれて低下した。さらに予冷と収穫月の間には交互作用が認められた。

到着時の果皮硬度は、1月が高く、3月が低かった(第7図)。貯蔵後の果皮硬度は、包装資材と実施月は交互作用が認められ、包装資材の効果は3月実施の試験において顕著で、平詰めトレイとハンモック型トレイの果皮硬度の差は、0.24 Nまで拡大した。

考 察

本研究の結果は、イチゴ「かおり野」を航空便で長距離輸送する際に、使用するべき包装資材が収穫月によって異なることを示している。さらに、24時間の予冷は、30分間の予冷よりも「かおり野」の品質を低下させることが示唆された。

出発時のイチゴ果実は収穫時期が進むにつれて果皮硬度は低下したが、果肉硬度、見かけ弾性率は有意な変化が認められなかった。これらの指標は、イチゴ果実の輸送耐性を示す重要な指標である。遠藤ら(2019)は、イチゴ46品種10系統を用いた輸送試験を行い、果皮硬度、果肉硬度および見かけ弾性率と損傷発生の関係性を明らかにした。この試験において、ホールトレイでの輸送では、果皮硬度はオセ発生面積割合とスレ発生面積割合と、果肉硬度はスレ発生面積割合と、見かけ弾性率はオセ発生面積割合と負の相関を示した。ハンモック型トレイでの輸送では、見かけ弾性率はオセ発生面積割合と負の相関を示した。本研究において、春先以降の「かおり野」は果皮硬度が低下するため、オセやスレが発生しやすくなると考えられる。

出発時の果皮硬度は30分間予冷した果実の方が、24時間予冷した果実よりも高かった。予冷技術は、果実温度を下げることで、果実硬度を高めることが期待できる(大竹と田中, 1988)。通常、予冷の時間が長いほど、果皮、果肉が十分冷えるので、傷みにくいと考えられる。しかし、本研究の結果では、予想に反して24時間の予冷は却ってイチゴの果皮硬度を低下させた。上述の、予冷が果皮硬度を高めるとする報告(大竹と田中, 1988)を踏まえると、「かおり野」の果皮硬度を高める最適な予冷時間は、24時間よりも短い時間であると考えられる。予冷時間と果皮硬度

や、果肉硬度、見かけ弾性率の関係は今後も検討する必要がある。

陸路(山口市内～福岡空港および羽田空港～山口市内)で発生した断続的な弱い衝撃はトラック走行中における道路の轍や継ぎ目によるものと考えられた。Luら(2008)によると、現在の日本国内の道路環境では、トラックの走行中に5G以上の衝撃が発生することはほとんどない。また、3月23日1時頃に発生した衝撃を除いて、陸路における強い衝撃が発生した時間帯は、前後の時間帯に全く衝撃が発生していないことから、輸送が停止している時間帯であると考えられる。以上より陸路における強い衝撃のほとんどは、宅配業者の積荷の中継時などにおいて発生したと推察される。一方で、いずれの月においても、強い衝撃は福岡空港到着から羽田空港を出発するまでの時間帯に集中して発生した。以上のように、トラック走行中や飛行機の衝撃は小さく、積荷の中継時に強い衝撃が発生していた点は過去の研究と一致した(北澤ら, 2010)。

本研究の輸送環境における気温は、陸路では低く安定していた一方で、福岡空港到着から羽田空港を出発するまでの時間帯の温度は激しく変化した。気温はイチゴの果実品質に最も強い影響を与える環境要因の一つである(CollinsとPerkins-Veazie, 1993)。積荷中継が長くなると、容器内温度が上昇し、イチゴ果実の軟化や糖度の低下といった品質の低下と貯蔵可能期間の短縮につながる(Layら, 2011)。本研究の輸送環境では、空港滞在時間の温度変化が激しかったことから、航空便を用いて輸送する場合は、輸送後の果実品質の低下を防ぐために、可能な限り空港滞在時間が短くなる輸送方法を選択することが好ましい。

本研究の輸送環境調査の結果を踏まえると、航空便を用いた長距離輸送は、以下の点がイチゴ果実の品質低下に影響を及ぼすと考察できる。

陸路：積荷の中継回数の増加によるやや強い衝撃の発生回数の増加、長距離の走行による微細な振動の蓄積

空路：積み込みおよび積み下ろし作業による強い衝撃の発生、急激な温度変化

果実輸送後の傷みは、到着時には全ての収穫月、予冷、包装資材において小さかったが、5°C4日間貯蔵後は、試験区ごとの差が大きかった。特に3月の輸送試験における24時間予冷した果実の平詰めトレイとハンモック型トレイの差は大きかった。果皮硬度も、傷みと同様に到着時の差は小さく、貯蔵後に差が広がっ

た。3月の輸送試験における24時間予冷した果実は、平詰めトレイでの輸送でオセやスレが生じ、軟化が進行したと考えられる。

3月の輸送において、24時間予冷した果実を平詰めトレイで輸送した場合に、果実品質の低下が顕著に認められた原因は、出発時の果皮硬度が低いことで、長距離輸送に耐えられなかったためと考えられる。つまり、緩衝性能の高い包装資材を使用すべきか否かは、出発時の果実品質をもとに判断すべきである。

さらに、24時間の予冷は、春先の傷みやすいイチゴ果実の貴重な1日を予冷に充てることになる。このことにより、5°C4日間の貯蔵後には、品質調査までの日数が30分間予冷した果実よりも1日多い24時間予冷した果実で、傷みが顕れたのだと推察する。最適な品質保持方法を検討するため、今後は予冷による果実の硬化速度および貯蔵期間中の果実の軟化速度、軟化に寄与する酵素（ペクチナーゼ）活性、呼吸量の推移などについて、収穫時期ごとに調査する必要がある。

出発時、到着時、貯蔵後の糖度は、いずれも収穫月が進むにつれて有意に低下した。糖度はイチゴの嗜好性を決定づける最も重要な指標である（曾根ら、2000）。過去に行われたイチゴの嗜好型官能評価では、日本人とシンガポールの一般消費者はどちらも糖度が高いイチゴを好んだ（Ikegayaら、2011）。さらに、日本の女性消費者は糖度が高く甘いイチゴを好み、高い金額を支払う（中島と西村、2018）。長距離輸送されるイチゴ果実の販売価格は、輸送コストが上乗せされ、近隣で販売される果実よりも高価になる。購入者は高い金額を払うため、イチゴに対する期待も高くなる。低糖度の果実は高い期待に応えられず、満足度は得られないと考えられる。つまり、糖度が低下した春先のイチゴ果実は、長距離輸送することで消費者の期待に応えられずリピーターを獲得する確率が小さくなる。

以上のように、「かおり野」は収穫月が進むにつれて、果皮硬度が低下し輸送耐性が低くなる点と、糖度が低下する点を踏まえると、長距離輸送に適しているのは1月、2月の早い時期の果実である。春先の果実を輸送する場合は、糖度の低下による消費者満足度が低下するリスクを認識した上で、高い緩衝性能を持つ包装資材を使用すべきである。

本研究の結果は、イチゴ「かおり野」を長距離輸送する際に、必要となる包装資材は収穫時期によって異なることを示している。「かおり野」の最適な予冷時

間は今後、明らかにする必要がある。

摘要

本研究では、航空便を用いて山口県産イチゴ「かおり野」を輸送し、予冷と包装資材が到着時の果実品質に与える影響を、収穫時期ごとに調べた。3月の果実は1月と2月の果実よりも果皮硬度が低下し、長距離輸送後の果実は、傷みが激しかった。本研究の結果から、イチゴ「かおり野」を航空便を用いて長距離輸送する際には、果皮硬度が低下する3月は緩衝性能の高い包装資材が必要であることが示された。

引用文献

- 馬場紀子・江嶋亜祐子・大石高也・折野太陽・車政弘・安武正剛・宮崎良忠・樺島勝・渡邊健太郎. 2012. 宙吊り型イチゴ用出荷容器の開発(2). 福岡農総試研報. 31: 27-31.
- Collins, J. K., and Perkins - Veazie, P. 1993. Postharvest changes in strawberry fruit stored under simulated retail display conditions. *Journal of food quality*, 16: 133-143.
- 江嶋亜祐子・馬場紀子・大石高也・折野太陽. 2012. 宙吊り型イチゴ用出荷容器の開発(2). 福岡農総試研報. 31: 32-35.
- 遠藤（飛川）みのり・曾根一純. 2017. 航空便および船便輸送において新型包装容器およびMA包装がイチゴ果実にもたらす損傷低減効果の評価. 園芸学研究, 16: 95-104.
- 遠藤（飛川）みのり・曾根一純. 2019. 輸送による損傷発生との関係性および遺伝的特性からみた見かけ弾性率のイチゴの選抜指標としての利用可能性. 育種学研究, 21: 20-27.
- 遠藤（飛川）みのり・曾根一純・大石高也・小林俊裕・松下孝一・文美玲・佐藤優介・田中慎司. 2020. 香港への輸出において船舶・航空複合一貫輸送が九州産イチゴ‘恋みのり’の果実品質に及ぼす影響. 植物環境工学. 32: 122-131.
- Eum, H. L., Bae, S. J., Hwang, D. K., Yeoung, Y. R., and Hong, S. J. 2014. Effects of shipping temperature and precooling treatment of everbearing strawberry cultivars 'Goha' and 'Flamenco' grown on highland through export

- simulation. *Horticultural Science & Technology*. 32: 202-209.
- Ikegaya, A., Ohba, S., Toyozumi, T., and Arai, E. 2021. Quality evaluation of strawberries grown in various regions by Singaporeans and Japanese. *International Journal of Fruit Science*. 21: 883-895.
- 北澤裕明・石川豊・路飛胡耀華・中村宣貴・椎名武夫. 2010. イチゴ輸送中の衝撃解析と損傷発生予測. *園芸学研究*. 9: 221-227.
- Lai, Y., Emond, J. P., and Nunes, M. D. N. 2011. Environmental conditions encountered during distribution from the field to the store affect the quality of strawberry ('Albion'). In *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 124: 213-220.
- Lu, F., Ishikawa, Y., Shiina, T., and Satake, T. 2008. Analysis of shock and vibration in truck transport in Japan. *Packag. Technol. Sci.* 21: 479-489.
- 中島亨・西村峻. 2018. イチゴの諸特性に対する支払意思額の推定: 香気成分や試食・食料消費行動による消費者選好の変化. *食料経済研究*. 64: 39-46.
- 農林水産省中四国農政局. 2022. 令和2年農業産出額及び生産農業所得(中国地域・四国地域)
- 大竹良知・田中喜久. 1988. パック詰め前予冷によるイチゴ果実の鮮度保持. *愛知県農総試研報*. 20: 260-268.
- 曾根一純・望月龍也・野口裕司. 2000. イチゴ果実の糖・有機酸の含量・組成およびその収穫期間を通じた安定性と食味官能評価との関係. *園学雑*. 69: 736-743.
- 山口県農林水産部. 2018. やまぐち農林水産業成長産業化行動計画.
- 財務省関税局. 2022. 普通貿易統計
<https://www.customs.go.jp/toukei/srch/index.htm?M=01&P=0>.

パン用小麦品種「せときらら」における緩効性肥料を用いた

中間追肥の省略

陣内 暉久^{*}・村田 資治・有吉 真知子

Controlled-Release Fertilizer for Bread Wheat at Sowing to Skip Topdressing with Regular Nitrogenous Fertilizers

JINNOUCHI Teruhisa, MURATA Motoharu and ARIYOSHI Machiko

Abstract: In Yamaguchi Prefecture, nitrogenous fertilizers are applied the conventional application consists of one basal dose at sowing and a few topdressing during vegetative period in the bread, wheat cultivar “Setokirara”. This involves heavy labor requirement for the producers. This study was conducted on labor-saving fertilization using controlled-release fertilizer. In Setokirara cultivar, the controlled-release fertilizer consisting of fast-acting nitrogen and linear 20day-type and 25day-type or the controlled-release fertilizer consisting of only sigmoid 20day-type coated urea was applied at sowing and compared with the conventional fertilizer application. Application of controlled-release fertilizer consisting of fast-acting nitrogen and linear-type coated urea resulted in the same yield as the conventional fertilization, but the yield varied from year to year. Application of controlled-release fertilizer consisting of only sigmoid-type coated urea increased yield from 5% to 15% over conventional fertilization. These results indicate that the application of controlled-release fertilizer in the bread wheat cultivar “Setokirara” at sowing can ensure equivalent yields compared to top dressing by conventional fertilization. In addition, it was found that the efficacy of controlled-release fertilizers efficacy consisting of with only sigmoid-type coated urea stably increased yield.

Key Words: Additional nitrogen at later growth stages, Labor saving, Grain protein content

キーワード：後期重点型施肥、省力化、子実タンパク質含有率

緒言

パン用小麦品種「せときらら」は農研機構近畿中国四国農業研究センター(現 西日本農業研究センター)において育成され、山口県では 2013 年度に奨励品種に採用された。その後、全国的な国産硬質小麦需要の高まりを受けて、山口県での作付けが増加している。

これまでの試験結果から「せときらら」は従来のパン用コムギ品種「ニシノカオリ」より収量性や製パン性が優れるが、子実タンパク質含有率が低下しやすいことが報告されている(村田・内山, 2017)。また、小麦粉のタンパク質含有率の増加に伴い、製パン性が向上し(奥村, 2004)、「せときらら」では11%未満になると製パン性が低下することが報告されている(高

^{*}現 岩国農林水産事務所

田, 2017)。そのため、実需者からは子実タンパク質含有率が12%以上であることが求められている。

「せときらら」において、子実タンパク質含有率の向上には開花期の窒素追肥(以下、開花期追肥)が有効である(村田・金子, 2021)。そのため、生産現場では必ず開花期に追肥作業が行われており、「せときらら」を栽培するためには、3回の追肥作業(分けつ肥、穂肥、開花期追肥)が必要となっている。これは生産農家の大きな負担であることから、省力化が求められている。

これまでの研究から開花期追肥省略のための被覆尿素肥料の穂肥同時施用は硫安表面施用による分施と比べて子実タンパク質含有率が低くなることが報告されている(村田ら, 2017)。そのため、開花期追肥の省略は難しく、省略できる可能性があるのは中間追肥(分けつ肥と穂肥)であると考えられる。

そこで本試験では、パン用小麦「せときらら」において、被覆尿素入り複合肥料(以下、緩効性肥料)を全量基肥施用することで中間追肥の省略を図った。

市販されている速効性窒素とリニア型の被覆尿素を組み合わせた緩効性肥料と多収技術として注目される後期重点型施肥(水田ら, 2019、渡邊ら, 2016)に近い肥効になることを期待してシグモイド型の被覆尿素のみの緩効性肥料を供試した。これらの緩効性肥料と慣行の分施体系の収量、子実タンパク質含有率を比較し、「せときらら」の中間追肥省略に適した緩効性肥料を選定したので、報告する。

なお、本試験は、全国農業協同組合連合会の2018年度および2019年度肥料委託試験として実施した。

材料および方法

1 耕種概要

試験は、2018年/2019年(2019年産)および2019年/2020年(2020年産)の2か年、山口県農林総合

技術センター農業技術部(山口市大内)の水田転換畑(24号田、礫質灰色化低地水田土)で行った。2か年とも同一圃場で前作は水稻であった。2019年産は播種日まで耕起しなかった。2020年産では前作の水稻の中干しが不十分で、土壌水分が高かったため、播種前13日にチゼルプラウ(MSC5FRK、スガノ農機株式会社)で耕起した。2019年産、2020年産とも播種6日前に粒状苦土石灰を100 gm²施用した。供試品種はパン用小麦「せときらら」を用いた。播種直前にロータリーで事前耕転を行い、播種はスライドロール式施肥播種機をトラクタでけん引し、耕転および畝立てと同時にいった。2018年11月21日、2019年11月21日に畝幅1.5m、1畝4条で6 gm²播種した。除草剤散布は2019年産では播種直後にジフルフェニカン・フルフェナセット水和剤(80ml/10a)とグリホサートカリウム塩液剤(200ml/10a)、播種後70日(1月30日)にチフェンスルフロンメチル水和剤(10g/10a)を散布した。2020年産では播種直後にジフルフェニカン・フルフェナセット水和剤(80ml/10a)、播種後61日(1月21日)にチフェンスルフロンメチル水和剤(10g/10a)、播種後92日(2月27日)にアイオキシニル乳剤(100ml/10a)を散布した。病害虫防除は2019年産、2020年産とも開花期にプロピコナゾール乳剤(1000倍希釈)とMEP乳剤(1000倍希釈)を100L/10a散布した。

2 試験区の設定

試験区は分施肥区、速効+リニア区、シグモイド区の3水準を設け、各24 m²(8 m×3 m)、4反復乱塊法で配置した。各区の窒素、リン酸、カリウムの施用量は第1表に示したとおりとした。分施肥区の基肥は2019年産、2020年産ともに播種時(11月21日)に施用した。分けつ肥は2019年産では播種後64日(1月24日)、2020年産では播種後61日(1月21日)に表面

第1表 各処理区の窒素、リン酸及びカリウムの施用量

年産	処理区	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O (gm ⁻²)				総施用量 (gm ⁻²)
		基肥	分けつ肥	穂肥	開花期追肥	
2019	速効+リニア	10 ² :2:2	-	-	6:0:0	16:2:2
	シグモイド	10:2:2	-	-	6:0:0	16:2:2
	分施	4:3:4	2:1:3	4:1:5	6:0:0	16:5:12
2020	速効+リニア	10 ² :2:2	-	-	-	10:2:2
	シグモイド	10:2:2	-	-	-	10:2:2
	分施	4:3:4	2:1:3	4:1:5	-	10:5:12

²速効+リニア区の窒素成分の内6gm²が被覆尿素

施用した。穂肥は2019年産では播種後97日(2月26日)、2020年産では播種後92日(2月21日)に表面施用した。速効+リニア区は2019年産、2020年産ともに播種時(11月21日)に速効性の窒素が38%、リニア型の20日タイプの被覆尿素が31%およびリニア型の25日タイプの被覆尿素が31%含まれる緩効性肥料を施用した。シグモイド区は2019年産、2020年産ともに播種時(11月21日)にシグモイド型の20日タイプの被覆尿素が100%含まれる緩効性肥料とPK化成40号を施用した。2019年産では開花期追肥として播種後149日(4月19日)に表面施用した。2020年産では分施区の穂肥時期までの追肥や緩効性肥料が子実タンパクに与える影響を調査するため、開花期追肥を施用しなかった。また、いずれの区も基肥は播種直前に施用し、播種時に耕起することで、全層施用とした。

3 播種前土壌の化学性および被覆尿素肥料の溶出量の調査

播種前に圃場の5か所から作土(地表下0cm~15cm)を採取した。pH、EC、CEC、交換性塩基(CaO、MgO、K₂O)、可給態リン酸および可給態窒素を測定した。各項目の分析は「土壌環境分析法」(土壌環境分析法編集委員会, 1997)に準じて行った。

被覆尿素的窒素溶出量はリニア型20日タイプおよびリニア型25日タイプ、シグモイド型20日タイプの被覆尿素それぞれ1gをポリエステル製メッシュ袋に入れて、播種と同じ日に地表から深さ2cm~3cmに埋め込んだ。約1か月おきに埋め込んだメッシュ袋を取り出し、回収した肥料を水洗し、セミマイクロケルダール法(土壌標準分析・測定法委員会, 1986)により残存窒素量を求めた。1か月ごとの残存窒素量の差から期間別の窒素溶出量を算出した。

4 茎数、SPAD値、収量、穂相、子実タンパク質含有率および植物体の窒素含有率調査

苗立ち数は播種後30日頃(12月中旬)に調査し、茎数は播種後60日頃(1月中旬)から播種後125日頃(3月中旬)まで約30日おきに各反復1.5m²(1m×4条)を調査した。

SPAD値の調査は2019年産では播種後96日(2019年2月25日)、播種後124日(2019年3月25日)、播種後145日(2019年4月15日)の3回行った。2020年産では播種後92日(2020年2月21日)、播種後125日(2020年3月25日)、播種後135日

(2020年4月4日)の3回行った。2019年産の播種後96日調査、2020年産の播種後92日調査は完全展開第2葉を測定し、それ以降は止葉を測定した。SPADの値は各区15株測定し、その平均値とした。

収量調査は2019年6月11日、2020年6月5日に各区3m²(2m×4条)を刈り取り、「小麦調査基準第1版」(農業研究センター, 1986)に準じて行った。整粒歩合は2.2mmの篩を用い、収量は水分12.5%で換算した。穂相調査は2020年産でのみ行った。収量調査日と同じ日に刈り取り、各反復50本の穂において一穂の小穂数、不稔小穂数、未発達小穂数および粒数を調査した。稔実していない小穂の内、芒があるものを不稔、芒がなく、痕跡だけのものを未発達とした。

子実タンパク質含有率は、成熟期に採取した子実を乾燥、粉碎後にNCアナライザー(SUMIGRAPH NC-22 F, 住化分析センター)による乾式燃焼法で窒素含有率を測定し、タンパク換算係数5.83を乗じて算出した。水分率は13.5%とした。植物体の窒素含有率は成熟期に採取した植物体を乾燥、粉碎した後、NCアナライザー(SUMIGRAPH NC-22 F, 住化分析センター)による乾式燃焼法で測定した。地上部窒素蓄積量は、地上部乾物重に窒素含有率を乗じて算出した。

結果

1 生育期間中の気象

山口市山口地点の平均気温、積算降水量および積算日照時間を第2表に示した。2018年/2019年(2019年産)の播種後から出穂期(播種後130日頃)までにあたる12月から3月末までは平年に対して、平均気温が1.3°C高く、積算降水量と積算日照時間は平年並みであった。登熟期間にあたる4月から6月上旬までは平年に対して、平均気温が0.9°C高く、積算降水量は15%少なく、積算日照時間は21%長かった。2019年/2020年(2020年産)は12月から3月末までは平年に対して、平均気温が2.0°C高く、積算降水量が39%多く、積算日照時間は平年並であった。特に1月下旬や2月中旬は気温が高く、降水量が多かったことから、小麦は湿害気味であった。4月から6月上旬までは平年に対して、平均気温が0.3°C高く、積算降水量が27%低く、積算日照時間が16%長かった。すなわち、2か年ともに播種後から出穂期までは平年と比べて平均気温が高く、さらに播種後から出穂期までの平均気温は2019年/2020年が2018年/2019年と比べ高かつ

た。

2 播種前土壌の化学性及び供試した緩効性肥料の期間窒素溶出量

播種前土壌の化学性を第3表に示した。概ね「主要作物の土壌診断基準」(宮崎県, 1997)の基準値内で、地力中庸な圃場であった。

速効+リニア区、シグモイド区で供試した緩効性肥料の窒素溶出量を第1図に示した。速効+リニア区では速効性の窒素を含むことから播種時の窒素溶出量は分施肥区と同等であった。分けつ肥施用時期に相当する播種後61日～90日の窒素溶出量は2019年産が0.8

gm²、2020年産が0.5 gm²で分施肥の分けつ肥2.0 gm²より少なかった。2019年産では穂肥施用時期に相当する播種後91日～120日に溶出のピークがあったが、2020年産では播種後121日～150日に溶出のピークがあり、年次によって溶出量のピークが異なった。開花期追肥施用時期に相当する播種後180日以降も少量の窒素溶出があった。

シグモイド区では播種時から播種後60日までの窒素溶出量の合計は2019年産が0.7 gm²、2020年産が0.9 gm²であり、この時期までに施用された分施肥の基肥4.0 gm²、分けつ肥2.0 gm²に対して非常に少なかった。穂肥施用時期に相当する播種後91日～120日

第2表 山口市山口地点の平均気温、積算降水量および積算日照時間

月	旬	2018/2019年			2019/2020年			平年 ²		
		平均気温 ℃	降水量 ³ mm	日照時間 ³ h	平均気温 ℃	降水量 ³ mm	日照時間 ³ h	平均気温 ℃	降水量 ³ mm	日照時間 ³ h
11	上	14.1	19.0	72.3	13.6	0.0	67.1	13.6	28.5	53.6
	中	11.6	2.5	47.3	12.3	5.5	50.0	11.3	27.0	46.7
	下	9.4	2.0	45.3	10.9	2.5	46.4	9.5	26.5	45.8
12	上	10.4	33.5	22.2	7.8	29.0	34.5	7.4	22.7	42.7
	中	6.2	44.0	24.0	8.6	7.5	46.0	6.0	16.8	37.4
	下	6.1	8.5	37.2	7.2	42.0	21.4	5.3	19.2	41.7
1	上	4.6	2.0	44.4	7.2	25.0	54.7	4.5	21.5	36.4
	中	6.1	13.0	47.0	5.3	6.5	23.9	4.2	24.9	35.6
	下	4.9	42.5	57.7	8.4	86.5	25.7	3.6	26.0	42.1
2	上	6.3	20.5	32.4	5.0	0.5	36.6	4.5	22.7	41.4
	中	6.1	47.0	29.6	8.1	39.5	40.3	5.6	30.7	44.1
	下	8.2	22.5	40.6	8.9	37.0	43.2	6.2	31.3	35.3
3	上	8.8	102.0	44.2	9.0	129.5	35.7	6.8	43.8	47.2
	中	8.6	27.0	64.8	9.3	20.0	79.6	8.7	51.4	46.9
	下	11.5	12.5	64.0	12.2	92.0	56.1	10.0	58.4	52.9
4	上	11.7	47.5	78.0	11.5	17.0	87.4	12.1	58.9	58.0
	中	14.0	0.5	76.3	12.7	99.0	52.8	13.8	58.4	60.7
	下	16.9	115.5	30.9	13.1	0.0	90.4	15.5	54.8	63.6
5	上	17.4	0.5	92.8	19.4	73.0	65.6	17.5	63.1	60.3
	中	20.9	37.0	76.2	19.2	105.5	61.1	18.1	80.0	61.5
	下	20.8	17.0	97.3	20.4	9.5	74.8	19.5	57.6	73.1
6	上	22.5	143.5	74.0	23.5	3.5	70.3	21.4	50.3	57.7

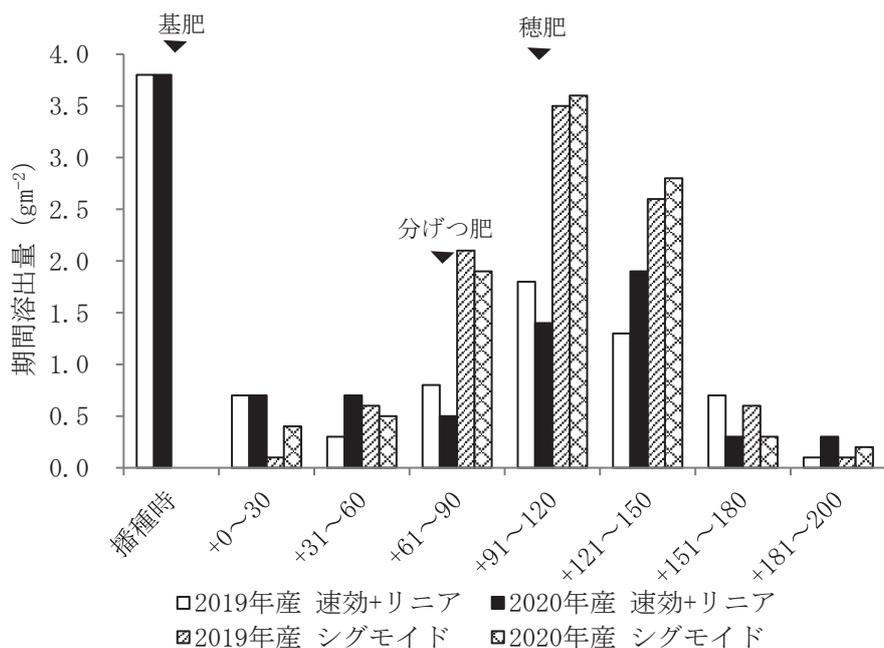
値は山口市山口地点のアメダスデータから算出した

²平年の値は1991年～2020年の30年の平均値を示す

³降水量と日照時間は各月旬の積算値を示す

第3表 播種前土壌の化学性

年産	pH	EC ms/cm	CEC meq/100g	交換性塩基(mg/100g)			可給態 リン酸 mg/100g	可給態 窒素
				CaO	MgO	K ₂ O		
2019	6.0	0.07	9.1	155	28.5	7.1	21.1	8.0
2020	5.8	0.05	8.8	113	18.9	8.2	21.1	9.6



第1図 供試した緩効性肥料の期間窒素溶出量
速効+リニア区の速効性窒素は施用した時期に計上した
2019年に施用した開花期追肥は計上しなかった

に窒素溶出のピークがあり、2か年とも同様の傾向であった。開花期追肥施用時期に相当する播種後180日以降も少量の窒素溶出があった。

3 緩効性肥料が茎数とSPAD値に及ぼす影響

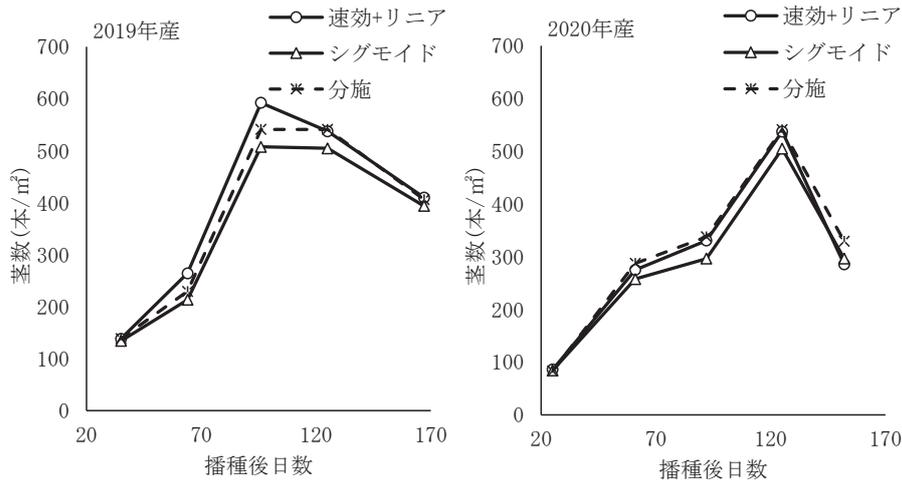
苗立ち数、茎数及び穂数の推移を第2図に示した。2か年とも速効+リニア区の茎数は分施肥区と同等以上に推移し、2019年産の最高茎数は分施肥区よりも多かった。シグモイド区では苗立ち数に差はなかったが、茎数は常に低く推移した。この傾向は2か年とも同様であった。

SPAD値の推移を第3図に示した。2か年とも速効+リニア区では出穂期に相当する播種後125日頃のSPAD値は分施肥区より低かった。播種後日数が経過してもSPAD値が分施肥区より低下しにくかったが、播種後135日~145日のSPAD値は分施肥区と同等以下であった。シグモイド区では出穂期に相当する播種後125日頃のSPAD値は分施肥区より低かったが、播種後それ以降、日数が経過してもSPAD値が分施肥区より低下しにくく、出穂期以降の播種後135日~145日のSPAD値は分施肥区より高かった。この傾向は2か年とも同様であった。

4 緩効性肥料が収量および収量構成要素に及ぼす影響

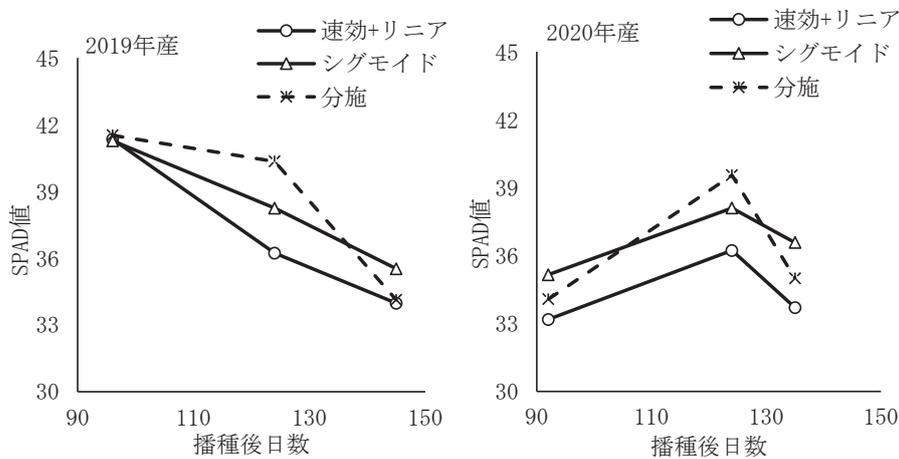
収量および収量構成要素を第4表に示した。2019年産では速効+リニア区は分施肥区と比較して、収量および収量構成要素に差は見られなかった。2020年産では速効+リニア区は分施肥区より千粒重が有意に増加したが、穂数が有意に少なく、8%減収した。2019年産ではシグモイド区は分施肥区と比較して収量および収量構成要素に有意な差はなかったが、穂数が少なく、一穂粒数と千粒重が増加する傾向にあり、5%増収した。2020年産ではシグモイド区は分施肥区より穂数が少ない傾向にあったが、一穂粒数と千粒重が有意に増加し、15%増収した。シグモイド区は2か年とも同様の傾向を示し、分施肥区よりも一穂粒数と千粒重が増加することで増収した。

シグモイド区で一穂粒数が増加した要因を明らかにするため、2020年産において穂相調査を行った(第5表)。シグモイド区は分施肥区と比較して、一穂小穂数に有意な差はなかったが、稔実小穂数が有意に多く、未発達小穂数が有意に少なく、不稔小穂数が少ない傾向にあった。また、一小穂当たりの粒数が多い傾向にあった。すなわち、シグモイド区による一穂粒数の増加



第2図 「せときらら」の茎数の推移

播種後30日頃の値は苗立ち数、播種後125日以降



第3図 「せときらら」のSPAD値の推移

第4表 「せときらら」の収量と収量構成要素

年産	処理区	収量 ^z	分施対比	穂数	有効茎歩合	一穂粒数	千粒重 ^z
		g/m ²	%	本/m ²	%	粒	g
2019	速効+リニア	541	97	410	70.7	29.4	44.8
	シグモイド	583	105	394	77.8	33.4	45.0
	分施	556	<u>100</u>	406	75.1	30.7	44.6
2020	速効+リニア	413	92	286 ^x	56.6	34.1	42.5 [*]
	シグモイド	512	115	297	59.1	40.2 ^{**}	43.0 ^{**}
	分施	447	<u>100</u>	330	61.5	33.2	40.8
分散分析 ^y	処理	**	-	ns	ns	**	**
	年次	***	-	***	**	**	***
	交互作用	ns	-	ns	ns	ns	*

^z収量と千粒重は水分12.5%換算^y***、**、*：0.1%、1%、5%水準で有意差あり、ns：有意差なし^x***、**、*：0.1%、1%、5%水準で分施区と有意差あり(ダネット検定)

パン用小麦品種「せときらら」における緩効性肥料を用いた中間追肥の省略

第5表 2020年産「せときらら」の一穂ごとの稔実小穂数、不稔小穂数、未発達小穂数および一穂粒数

処理区	一穂小穂数	稔実小穂数	不稔実小穂数	未発達小穂数	一穂 ^z 粒数
	個/穂	個/穂	個/穂	個/穂	個/小穂
速効+リニア	14.0	12.2	0.63	1.17 ^{**}	2.8
シグモイド	14.3	13.5 [*]	0.48	0.32 ^{**}	3.0
分施	14.2	12.6	0.84	0.83	2.7
分散分析 ^y	ns	*	ns	***	ns

数値は生育中庸な50穂×4反復の平均値

^z一穂粒数は一穂粒数を稔実小穂数で除して求めた

^y***、**、*：0.1%、1%、5%水準で有意差あり、ns：有意差なし

^x***、**、*：0.1%、1%、5%水準で分施区と有意差あり(ダネット検定)

第6表 「せときらら」の生育ステージと成熟期の諸形質

年産	処理区	出穂期	成熟期	稈長 cm	遅れ ^z 穂率 %	倒伏 程度 0-5
		月・日	月・日		%	
2019	速効+リニア	3.30	5.27	94.4	9.4	0.0
	シグモイド	3.30	5.28	94.8	5.3	1.1
	分施	3.30	5.27	96.1	1.8	0.8
2020	速効+リニア	3.28	5.31	86.2	11.5 ^{**}	0.6
	シグモイド	3.29	5.31	91.6	7.6	0.8
	分施	3.28	5.30	90.3	1.0	0.9
分散分析 ^y	処理	-	-	**	**	-
	年次	-	-	***	ns	-
	交互作用	-	-	*	ns	-

^z遅れ穂率はアーク・サイン変換を行ってから分散分析した

^y***、**、*：0.1%、1%、5%水準で有意差あり、ns：有意差なし

^x***、**、*：0.1%、1%、5%水準で分施区と有意差あり(ダネット検定)

は一穂小穂数の増加ではなく、小穂がより多く有効化し、稔実小穂数が増加したことと、一穂当たりの粒数が増加したことが要因であった。

5 緩効性肥料が生育ステージと成熟期の諸形質に及ぼす影響

生育ステージ時期と成熟期の諸形質を第6表に示した。出穂期および成熟期はシグモイド区が分施区より1日遅かった。稈長は速効+リニア区が分施区よりも有意に低かった。遅れ穂率は速効+リニア区、シグモイド区が分施区よりも有意に高かった。外観品質は充実不足により速効+リニア区、シグモイド区が分施区より劣った。

6 緩効性肥料が成熟期の窒素吸収量および子実タンパク質含有率に及ぼす影響

成熟期の窒素吸収量および子実タンパク質含有率を第7表に示した。開花期追肥を施用しなかった2020年産では成熟期の穂の窒素吸収量は速効+リニア区、シグモイド区が分施区より高い傾向にあり、子実タンパク質含有率は速効+リニア区、シグモイド区が分施区より有意に高かった。開花期追肥を施用した2019年産では成熟期の窒素吸収量や子実タンパク質含有率に有意な差はみられなかった。

考 察

第7表 「せときらら」の成熟期の窒素吸収量、子実タンパク質含有率および容積重

年産	処理区	窒素吸収量			子実タンパク質含有率 %	容積重 g/L	外観品質 ² 1-6
		わら	穂 gm ⁻²	合計			
2019	速効+リニア	3.34	10.57	13.91	13.6	796	2.2
	シグモイド	3.16	10.95	14.11	13.2	795	2.5
	分施	2.98	10.61	13.59	13.3	794	1.6
	分散分析 ^y	ns	ns	ns	ns	ns	-
2020	速効+リニア	1.18	7.84	9.02	10.7****	812**	2.3
	シグモイド	1.36	7.77	9.12	9.7*	800	3.3
	分施	1.21	6.70	7.92	9.3	796	1.8
	分散分析 ^y	ns	ns	ns	***	**	-

²概ね1~3が検査等級の1等、4~5が2等相当となるようにした

^y***、**、*:0.1%、1%、5%水準で有意差あり、ns:有意差なし

^x***、**、*: 0.1% 1%、5%水準で分施区と有意差あり(ダネット検定)

本研究では、「せときらら」において2種類の緩効性肥料を供試し、全量基肥処理することで分けつ肥と穂肥の施用を省略しつつ、慣行施肥体系と同等以上の収量を達成できるかどうかを検討した。

まず、速効性肥料とリニア型の被覆尿素肥料を組み合わせた速効+リニア区について考察する。2019年産において、速効+リニア区の収量および収量構成要素は分施区と同等であった(第4表)。期間別の肥料溶出量を見ると、播種時と幼穂形成期を含む播種後91日~120日にピークがあり、分けつ期に相当する播種後61日~90日の溶出は少なかった。これは播種時の基肥と幼穂形成期の穂肥の施肥量が多い分施区の施肥パターンと類似していた(第1図)。これらのことから、2019年産の「せときらら」では速効+リニア区でも、分施区と同じ時期に肥効があったため、分施区と同等の収量が得られたと考えられた。一方、2020年産では速効+リニア区の収量、穂数および有効茎歩合が分施区よりも少なく、千粒重は重かった(第4表)。期間別の肥料溶出量を見ると、溶出のピークは基肥時と播種後121日~150日であり、2019年産よりも2回目のピークが遅かった(第1図)。すなわち、2020年産では速効+リニア区の肥料溶出パターンは分施区とは異なっていた。小麦の穂数は幼穂形成期ごろの穂肥で高まることが知られている(土谷, 2012)。2020年産の「せときらら」において播種後121日~150日は幼穂形成期を過ぎ、節間伸長~穂前期であった。このことから、2020年産では速効+リニア区の窒素の溶出が遅かったため、穂数が減少し、分施区よりも減収したと考えられた。ただし、2020年産では播種後から出穂期(播種

後130日)までの平均気温は2019年産よりも高かったにもかかわらず(第2表)、窒素の溶出が遅かった理由については明らかではなかった。これらのことから、速効性窒素と20日および25日タイプの被覆尿素を組み合わせた緩効性肥料を基肥施用することで、追肥を省略しつつ、分施と同等の肥効を実現できる可能性は示されたものの、その効果は年次によって変動することが明らかとなった。また、速効性窒素とリニア型20日および25日タイプの被覆尿素を組み合わせた緩効性肥料においても速効性窒素の割合を減らし、被覆尿素の割合を増やすことで播種後121日~150日頃の窒素溶出量を増加させることができ、有効茎歩合の向上によって穂数が増加し、安定して分施と同等の収量が確保できると考えられる。

次にシグモイド型の被覆尿素のみを全量基肥施用したシグモイド区について考察する。渡邊ら(2016)は、小麦「さとのそら」において基肥を減らし、分けつ期以降の追肥を増量することで一穂粒数、千粒重の増加により増収すること、その要因の一つとして登熟後期まで葉色が維持されることを報告している。本研究において、シグモイド区では、2019年産および2020年産ともに分施区と比べて、穂数はやや少ないが一穂粒数が多く千粒重が重く、多収であった(第4表)。シグモイド区の期間別の肥料溶出量を見ると、穂肥施用時期に相当する播種後91日~120日にピークがあった。一方、分施区では播種後60日までに基肥と分けつ肥が施用されたが、シグモイド区ではこれらに相当する播種後0日~60日の溶出量は非常に少なかった(第1図)。さらに、シグモイド区では出穂期前後の

SPAD 値は低下しにくく、播種後 135 日～145 日の SPAD 値は分施肥区よりも高かった(第 3 図)。これらの傾向は 2 か年とも同様であった。これらのことから、本研究のシグモイド区の生育および収量は、渡邊ら(2016)と同様であり、シグモイド型の被覆尿素のみを全量基肥施用することで、渡邊ら(2016)が提示した分施肥による後期重点型施肥と同等の肥効を「せときらら」において実現できると考えられる。島崎・関(2020)はもち性大麦において止葉抽出期の追肥によって登熟後半まで葉色が維持されたことで、下部不稔小穂率が低下したと報告している。本研究においても播種後 135 日～145 日の SPAD 値が高く維持され(第 3 図)、登熟後半まで光合成が維持されたことで、不稔小穂数が減少し(第 5 表)、稔実小穂数が増加したと考えられる。

「せときらら」において、子実タンパク質含有率は収量と負の相関関係にあることが明らかにされている(村田・金子, 2021)。しかし、水田ら(2019)は「せときらら」において基肥を省略した後期重点型施肥を行うことで、基肥を含む慣行分施肥体系と比べて収量は増加しても子実タンパクは低下しないこと、その要因として後期重点型施肥では成熟期の地上部窒素蓄積量が慣行分施肥体系よりも高まることを報告している。本研究においても、後期重点型の肥効が見られたシグモイド区では分施肥区と比べて収量が増加したにもかかわらず(第 4 表)、成熟期の地上部窒素蓄積量が多く子実タンパクは低下しなかった(第 7 表)。シグモイド区では開花期に相当する播種後 151 日以降もわずかに窒素の溶出が認められた(第 1 図)。「せときらら」の子実タンパクは開花期以降の窒素追肥で向上することから(村田・金子, 2021)、シグモイド区では 151 日以降の窒素の溶出が子実タンパクの維持に寄与したと考えられる。

以上のことから、「せときらら」においてシグモイド型の被覆尿素を全量基肥施用することで、追肥作業を省略しつつ、分施肥体系よりも多収を得られることが明らかとなった。速効性肥料とリニア型の被覆尿素を組み合わせた体系は、分施肥体系と同等の肥効を実現できる可能性はあるものの、その効果は年次で変動する可能性があると考えられる。

また、出穂期および成熟期はシグモイド区が分施肥区より 1 日遅かった程度で(第 6 表)、緩効性肥料施用によって分施肥区より出穂期や成熟期が大きく遅れることはなかった。しかし、遅れ穂率は速効+リニア区、シグモイド区が分施肥区よりも有意に高く(第 6 表)、緩効性

肥料施用によって遅れ穂が増加する可能性があった。生産現場において、遅れ穂の増加が外観品質の低下や収穫の遅れにどの程度影響を与えるかは今後検討していく必要がある。

摘 要

パン用小麦「せときらら」において、窒素の溶出パターンが異なる 2 種類の緩効性肥料を用いて「せときらら」を栽培し、生育および収量を慣行栽培と比較し、追肥作業の省力化に有効な緩効性肥料を明らかにした。速効性肥料と 20 日および 25 日タイプの被覆尿素を組み合わせた肥料を基肥施用することで、追肥(分けつ肥、穂肥)を省略しつつ、分施肥と同等の肥効を再現することが可能であったが、その効果は年次によって変動した。一方、シグモイド型の被覆尿素のみの緩効性肥料の基肥施用は分施肥よりも穂数が少なくなるが、一穂粒数と千粒重が増加し、5%～15%増収した。緩効性肥料を用いて「せときらら」を栽培する場合、シグモイド型の被覆尿素のみの緩効性肥料を使用する方が分施肥よりも安定的に増収することが明らかになった。

引用文献

- 土壤標準分析・測定法委員会 1986. 土壤標準分析・測定法. 土壤標準分析・測定法委員会編. 博友社, 東京. 94-101.
- 宮崎県農政水産部営農指導課. 1997. 主要作物の土壤診断基準:7.
- 水田圭祐・荒木英樹・高橋肇. 2019. 穂肥重点施肥による多収パン用品種「せときらら」の高品質多収化. 日作紀. 88:98-107.
- 村田資治・内山亜希. 2017. 山口県におけるパン用小麦品種「せときらら」の普及と品質向上の取り組みについて. JATAFF ジャーナル 5 (7):12-16.
- 村田資治・金子和彦. 2021. パン用コムギ品種「せときらら」における収量と開花期追肥量に基づく子実タンパク質含有率の推定. 日作記. 90:72-77.
- 農業研究センター. 1986. 収量関係調査. 小麦調査基準第 1 版:36-49.
- 奥村理. 2004. 北海道産春まきコムギの品質と製パン性に及ぼす窒素施肥量と収穫時期の影響. 土肥誌. 75:307-312.
- 島崎由美・関昌子. 2020. 後期重点施肥が新潟県で栽

培したもち性オオムギの収量, 品質に及ぼす影響.

日作紀. 89:245-251.

高田兼則・谷中美貴子・石川直幸・池田達哉・船附雅子. 2017. 製パン性に優れ多収の硬質小麦新品種「せときらら」の育成. 農研機構報告 西日本農研. 17:13-30.

日本土壤肥料学会監修. 土壤環境分析法編集委員会編. 1997. 土壤環境分析法:195-259.

土谷大輔. 2012. 硬質小麦品種「ミナミノカオリ」の収量向上および子実タンパク質含有率制御技術. 長崎農林技セ研報. 3:13-26.

渡邊和洋・中園江・中村大輔・西谷友寛・西村奈月・松島弘明・谷尾昌彦・江原宏. 2016. 生育後期重点施肥がコムギの生育と収量に及ぼす影響. 日作紀. 85:373-384.

メッシュ農業気象データを利用した

「はなっこりー」出荷予測技術の開発

重藤 祐司・荊木 康臣[※]・藤井宏栄・宇佐川 恵^{※※}

Yield Prediction for “Hanakkori”
Using Agro-Meteorological Grid Square Data System

SHIGEFUJI Yuuji, IBARAKI Yasuomi, FUJII Kouei and USAGAWA Megumi

Abstract: A two-stage Hanakkori growth model was created considering the day of the apical bud picking as a boundary. This model can predict the apical flower bud picking from the "average temperature at the planting time". This was followed by development of an effective accumulative temperature model from the date of apical flower bud picking to the date of harvesting each flower stalk. The Agro-Meteorological Grid Square Data were linked to the Microsoft Excel sheet incorporating these prediction model formulae. In order to correct the predicted value of yield according to the growth condition, a regression analysis of the vegetation cover and the yield was performed. By combining these, the "Hanakkori Yield Predict Tool" was created. Additionally, to improve the prediction accuracy, multiple effective temperature models were created and verified. Although the upper temperature setting was not clear, high prediction accuracy was obtained by setting the lower temperature limit to 1 °C or less as invalid.

Keywords: Effective accumulation temperature, vegetation coverage, prediction accuracy
キーワード：有効積算気温、植被率、予測精度

緒 言

「はなっこりー」は1999年8月に山口県農林総合技術センター（以下；センター）が品種登録したなばな類に分類される野菜である。センターではそれ以降も、早晚性や収量性の異なる3つの品種・系統「E2」、「ME」、「L」を育成し（藤井ら、2012, 2019）、それらすべてが、「はなっこりー」として県内で栽培されている。「はなっこりー」の2020年度栽培面積は11 ha、出荷量77.7 tであるが（2021, 山口県農業協同

組合）、出荷時期や出荷量が気象に影響されやすく不安定であるため、販売計画が立てにくいことが問題となっている。一方で、2016年より、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下；農研機構）が「農研機構メッシュ農業気象データ」を一定の条件で農研機構外部への提供を開始したため、多くの農作物で精度の高い出荷予測技術が開発されつつある。野菜の例を挙げると、キャベツやレタスでは葉齢増加モデルのシミュレーションにより、推定された結球葉数から圃場ごとの収穫開始可能日を予測するプログラムが

※山口大学大学院創成科学研究科、※※現在：山口農林水産事務所

開発され (2019, 岡田・菅原)、冬春ブロッコリーでは、「活着～花芽分化」と「花芽分化～収穫日」の2段階に分けた予測モデルが開発されている(2021, 浅尾)。ブロッコリーは花蕾形成において、低温が主要因として働き、長日条件は低温に対する花成反応を促進する副次要因と考えられる(1988, 藤目)。「はなっこりー」についても、主に低温条件を要因に花成反応すると考えられ、分化した花芽が伸長することで頂花蕾が出蕾する。栽培基準では、それを摘心することで頂芽優勢が崩れ、収穫部位となる複数の側枝(以下;花茎)が伸長を開始することから、頂花蕾摘心日は出荷時期予測をする上で、極めて重要なポイントとなる。したがって、1段階目として頂花蕾摘心日予測モデルを作成し、2段階目に頂花蕾摘心日を起点とした各花茎収

モニタリング技術の開発のため、群落の端から撮影した画像によって「はなっこりー」の植被率推定を試みた。その結果、支柱に高さ1.4～1.5 m、俯角約60°で設置した定点カメラ画像による植被率の違いが、「はなっこりー」の収量を反映する可能性を示唆した。

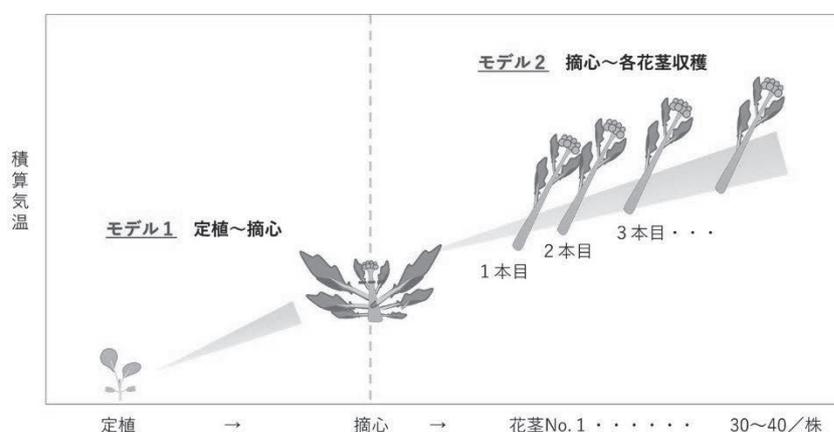
本研究は、農研機構メッシュ農業気象データ(The Agro-Meteorological Grid Square Data, NARO)を利用した。

材料および方法

1 予測モデルの作成

(1) データセットの作成

過去9年間(2012～2020年度)計62作のセンタ



第1図 出荷予測の模式図

花茎No. は、収穫花茎の株あたり収穫順

穫までの有効積算気温モデルを作成することで、出荷時期予測が可能と考えた(第1図)。

「はなっこりー」は早生品種「E2」の定植が8月下旬頃から始まり、中生品種「ME」と晩生品種「L」は厳寒期を経過して4月下旬頃まで収穫が続くため、定植時期の長雨、定植後の干ばつ、病虫害、台風、厳寒期の凍霜害など様々な気象災害を受けて生育状況が変化しやすい。生育状況を表す指標として、植被率を利用した研究が数多く実施されているため、今回の試験においても撮影画像から植被率を算出する簡易なソフトを作成し、出荷量予測精度の向上に取り組んだ。「はなっこりー」の戸当たり栽培面積は極めて小さいため、キャベツやレタスで実施されているようなドローン撮影には向かないと判断し、手軽に撮影可能なスマートフォンやデジタルカメラ利用を前提とすることとした。中村ら(2019)は、より簡便で普及しやすい植物

一内における栽培記録のうち、「はなっこりー栽培マニュアル(平成31年版)」に示された定植時期に適合し、出荷量も基準(103～230 kg/a)を満たした22作について、データセットとして整理した(第1表)。

(2) 摘心日予測 [モデル1]

データセットより、定植時期の平均気温と摘心までの積算気温の線形回帰分析を実施した。定植時期の平均気温は、定植日を1日目として26日目までの日平均気温の平均値を利用した。その理由としては、メッシュ農業気象データシステムで26日先までの予測値が提供されており、説明変数として適当と考えたためである。積算気温については、センター内に設置されている気象観測機データにより算出した。目的変数は、定植日～平均頂花蕾摘心日までの0°C以上有効積算気温とし、メッシュ農業気象データの日平均気温予測値から頂花蕾摘心日が予測可能な形とした。

第1表 生育モデル作成用データセット^zの概要 (2019年)

No.	品種・系統 ^y	定植日	平均頂花蕾摘心日	合計出荷量 kg/a
1	E 2	2019/9/5	2019/9/25	164
2	E 2	2019/9/5	2019/9/25	159
3	E 2	2019/9/15	2019/10/11	144
4	E 2	2019/9/15	2019/10/11	132
5	E 2	2020/9/8	2020/9/30	158
6	E 2	2020/9/8	2020/10/2	148
7	E 2	2020/9/8	2020/10/2	132
8	ME	2012/9/5	2012/10/24	124
9	ME	2012/10/17	2012/12/19	131
10	ME	2014/9/17	2014/11/4	127
11	ME	2019/10/5	2019/11/16	163
12	ME	2019/10/15	2019/11/27	205
13	ME	2019/10/15	2019/11/29	228
14	ME	2020/9/24	2020/11/3	103
15	ME	2020/9/24	2020/11/7	210
16	ME	2020/10/5	2020/11/19	190
17	L	2012/9/5	2012/11/1	140
18	L	2012/10/17	2013/1/28	144
19	L	2013/9/18	2013/11/21	132
20	L	2013/9/25	2013/12/2	124
21	L	2013/10/5	2013/12/30	130
22	L	2014/10/1	2014/12/1	121

^zモデル作成用データ絞り込み条件

定植時期：「E2」9/1～9/20、「ME」9/20～10/20、「L」10/1～10/20

出荷量：103～230kg/a

花茎1本重：7g以上

^y表に記載された項目以外についても、以下の通り整理した

- ・各花茎No. (花茎収穫順にナンバリング) の1本重
- ・定植日～26日後の日平均気温の平均 (モデル1説明変数：X₁)
- ・定植日～平均頂花蕾摘心日までの有効積算気温、有効気温0℃以上 (モデル1目的変数：Y₂)
- ・平均頂花蕾摘心日～各花茎No.収穫までの有効積算気温

また、定植時期の気温と花芽分化の影響を確認するため、人工気象室を利用した育苗試験を実施した。「はなっこりー」品種「E2」、「ME」、「L」を2020年8月4日、10月7日、11月25日、2021年1月13日に培地(与作N150、ジェイカムアグリ株式会社)を充填した72穴セルトレイに播種し、人工気象室内(グロースキャビネット、三洋電機株式会社)に入庫し、照明光(ビオルックスHG、NEC)を明期時間12h、温度設定を15℃、20℃、23℃として育苗した。1区あたり各6株について、経過日数に伴う展開葉数、未展開葉数および花芽分化ステージを調査した。

(3) 出荷予測[モデル2]と精度検証

出荷時期および出荷量の予測モデルを作成するために、「頂花蕾摘心日から各花茎収穫日までの有効積算気温」および「各花茎No.ごとの1本重」について平均値を求めた。なお、花茎No.とは、株あたりで花茎

の収穫順に番号を付したものである。「はなっこりー」は低温および高温で生育が停滞する(データ省略)ため、有効気温については第2表に示す条件とし、それぞれで出荷時期予測モデルを作成した。なお、有効気温の計算方法を例示すると、下限温度～上限温度が1～18℃の場合、日平均気温(T)が1～18℃では(T-1)、18℃以上は(18-1)、1℃以下は0となる。

また、岩国市、山口市、長門市3か所の現地生産ほ場について、品種、定植日、面積、画像データ(定植後積算気温650℃、1000℃、1月20日の3段階)をそれぞれ収集し、2に示す「はなっこりー出荷予測ツール」を利用して出荷予測を行った。得られた日出荷量予測データと、各生産ほ場の日出荷量を半旬ごとに集計し、予測精度(二乗平均平方根誤差:RMSE)を算出した。有効気温については、第2表の条件で作成したモデルをすべて当てはめて検証した。

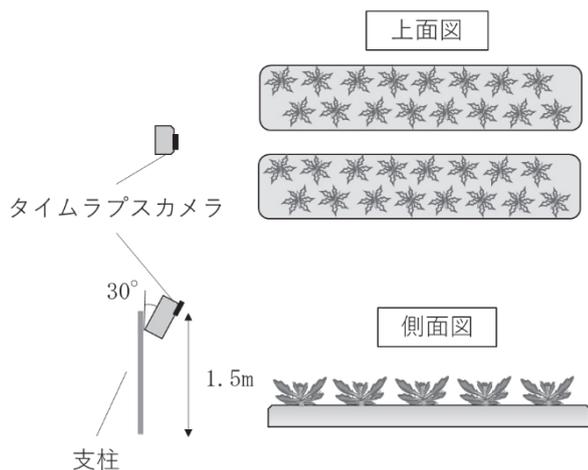
第2表 有効気温の上限および下限温度設定 (°C)

	試験区										
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
有効気温の下限	0	1	2	3	4	5	0	0	0	0	0
有効気温の上限	18	18	18	18	18	18	20	22	24	26	なし

2 「はなっこりー出荷予測ツール」の作成

(1) 画像による出荷量補正

センター内において、2019～2020 年度に「E2」を9 反復、「ME」を10 反復栽培して植被率および出荷量 データを得た。栽植密度は、「はなっこりー栽培マニ ュアル (平成31 年版)」に従い、「E2」は357 株/ a、「ME」と「L」は313 株/aとした。植被率算出用の 画像を撮影するために、各試験区1 台のタイムラプ スカメラ (TLC200、Brinno) を、高さ約1.5 m、俯角約 30° で設置し、群落の画像を1 時間間隔で記録した



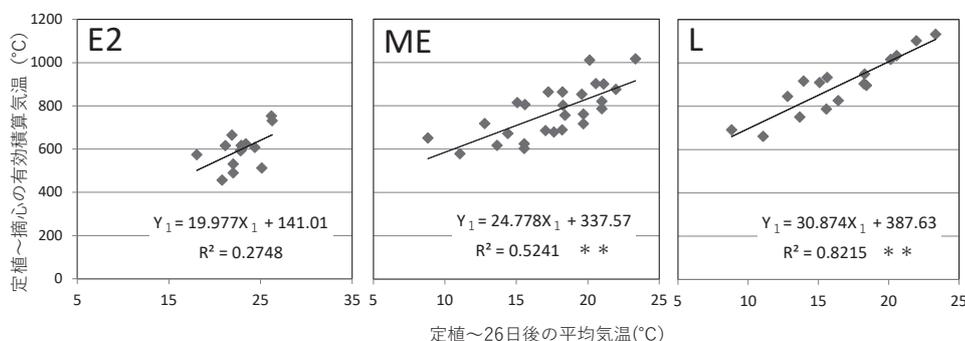
第2図 画像撮影方法

スマートフォンやタブレットを利用して撮影する場合も、同様の位置から撮影

(第2 図)。山口大学荊木研究室の作成したプログラ ムを利用して、定植以降の植被率推移を調査した。最 も生育の良い状態を表す指標として、品種ごとにすべ ての植被率推移グラフを重ねた時の最大値を標準植被 率とし、同様に出荷量推移の最大値を標準出荷量とし た。各品種について、相対植被率 (実測植被率/標準 植被率) と相対出荷量 (実測出荷量/標準出荷量) の 線形回帰分析を実施した。植被率を当てはめる時期と しては3 段階設定し、定植後の有効積算気温 650°C、 1000°Cおよび1 月20 日とした。凍霜害については、 「ME」を中心に1 月頃に発生することから、調査日を 1 月20 日に固定し、2 月以降の「ME」出荷量を補正 する形とした。

(2) メッシュ農業気象データシステムと連動したエクセルツール作成

マイクロソフトエクセルにモデル1 および2 を組み 込んだシートを作成し、メッシュ農業気象データシス テムより提供されている「メッシュ気象組み込みモジ ュール (2019, 根本)」を利用して、メッシュ農業気 象データと連携させた。



第3図 摘心時期予測モデル(2019年)

説明変数X₁: 定植日～26日後までの日平均気温の平均

目的変数Y₁: 定植～摘心までの0°C以上有効積算気温

**は1%水準で有意であることを示す

結果および考察

1 予測モデルの作成

(1) 摘心日予測[モデル1]

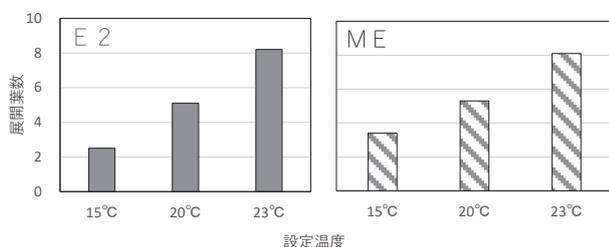
回帰分析の結果、すべての品種において、定植時期の平均気温 (X_1) と定植から摘心までの有効積算気温 (Y_1) の間に正の相関が認められた (第3 図)。

$$\text{「E2」} : Y_1 = 19.977X_1 + 141.01$$

$$\text{「ME」} : Y_1 = 24.778X_1 + 337.57$$

$$\text{「L」} : Y_1 = 30.874X_1 + 387.63$$

決定係数は「E2」で0.27と低く、有意ではなかったものの、「ME」で0.52、「L」で0.82と比較的高く、1%水準で有意であった。また、人工気象室内で、温度設定を15℃、20℃、23℃として育苗し、花芽分化ステージ2 (7段階中の2段階目:花芽分化期)を超えた時の展開葉数を調査した結果、温度設定が高いほど展開葉数が多かった (第4 図)。このことは、定植時期の気温と着花節位の関係を裏付けるものである。奥田 (2000) によると、カイランは花成に対して量的低温要求性を持つものと考えられ、着花節位は低温になるほど低下することを確認しており、今回も同様の結果となった。



第4 図 気温が着花節位に与える影響 (2020年)

実体顕微鏡で花芽分化が確認できた時点の展開葉数をカウント

(2) 出荷予測[モデル2]と精度検証

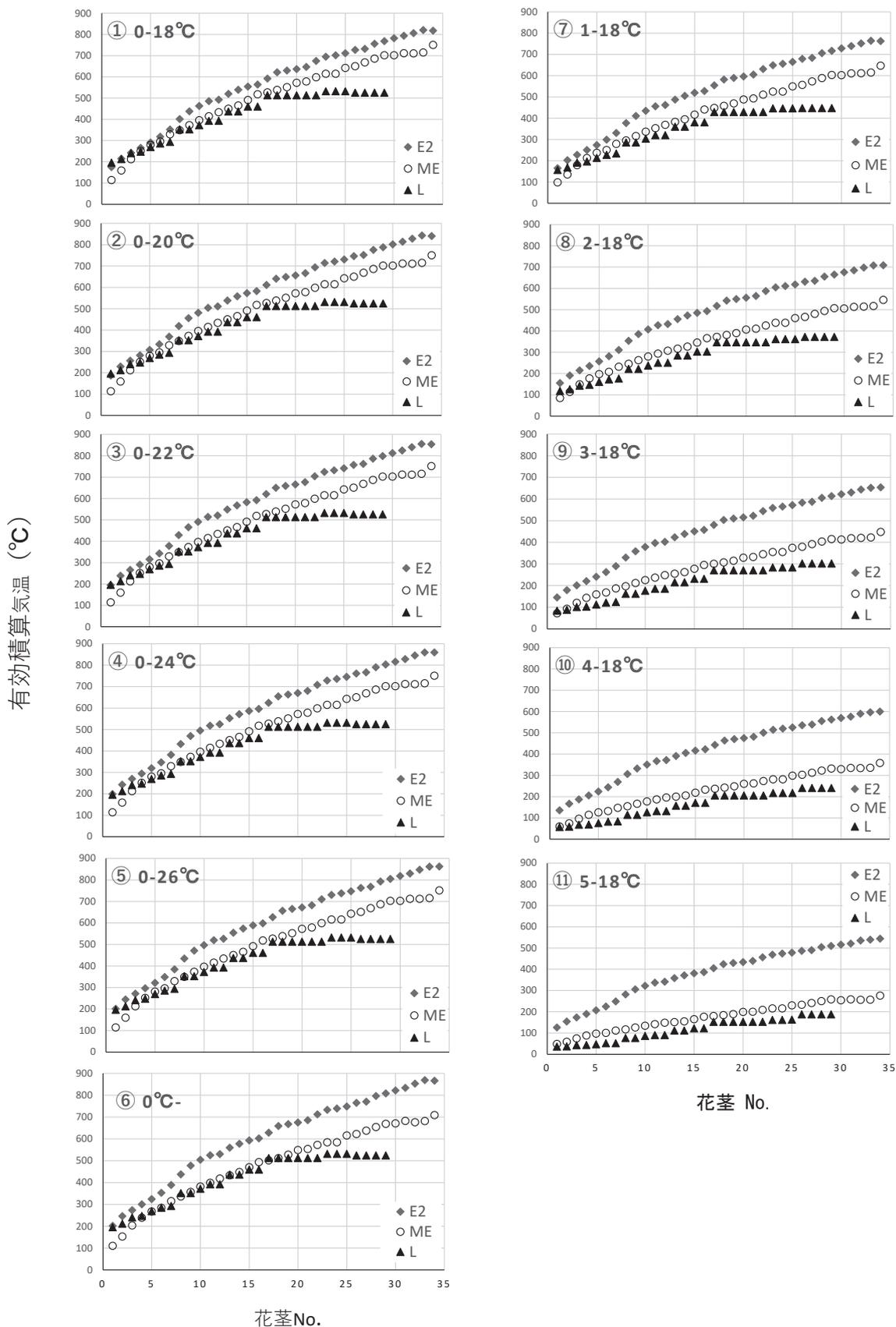
各品種における、頂花蕾摘心日から各花茎収穫までの有効積算気温を算出した結果、第5 図のモデルが得られた。また、各花茎 No. ごとに平均1本重を計算した結果、第3 表のモデルが得られた。各モデルを組み合わせて精度検証した結果、有効気温の上限については、日平均気温 18℃および 24℃以下を有効とした場合で、平均RMSEが最も低かった (第4 表)。ただし、今回得られたデータでは一定の傾向は見られなかったため、有効気温の上限設定による大幅な予測精度改善は望めないと考えられた。一方、有効気温の下限

については1℃以上を有効とした場合で、平均RMSEが最も低かった (第5 表)。これらの結果から、有効気温1℃以上の積算気温を利用することで予測精度が向上すると考えられた。有効気温1~18℃条件における、現地試験ほ場の出荷量予測値と実績値の半旬別推移をグラフに表した (第6 図)。予測値と実績値は概ね同様の推移をしているが、出荷時期によっては気象 (降雨で収穫を控えるなど) 等の影響により乖離も見られる。

第3 表 花茎No.重量モデル (2019年) (g)

花茎No. ^z	E2	ME	L
1	10.4	17.9	22.5
2	12.1	17.4	24.9
3	12.6	19.9	24.4
4	12.5	20.3	23.1
5	12.9	19.3	23.6
6	12.3	19.4	23.0
7	12.6	19.4	22.8
8	12.0	18.2	20.2
9	11.4	16.2	20.2
10	11.1	14.8	18.4
11	10.7	16.8	15.0
12	10.7	16.7	15.0
13	11.1	15.3	13.1
14	10.9	14.9	13.1
15	10.5	15.8	11.4
16	10.5	14.2	11.4
17	11.0	13.6	10.3
18	10.6	14.2	10.3
19	10.1	13.5	10.3
20	10.1	13.1	10.3
21	9.5	12.8	10.3
22	10.7	13.8	10.3
23	10.6	12.8	9.7
24	10.2	12.8	9.7
25	9.8	12.6	9.7
26	9.6	12.5	8.4
27	9.5	11.1	8.4
28	9.2	11.2	8.4
29	9.3	11.4	8.4
30	9.1	11.2	
31	9.2	11.1	
32	9.3	12.2	
33	9.4	11.7	
34	9.2	11.4	

^z 株あたり1本目の収穫花茎をNo.1とし、それ以降降順に番号を付した



第5 図 出荷時期予測モデル (2020年)

各図の左肩は、試験区番号と下限～上限の有効気温（日平均気温）
 各プロットは、それら有効気温条件における、定植～各花茎No. 収穫に要する積算気温

第4表 有効気温による高温時出荷量（10～11月末）予測精度の違い（2021年）

有効気温	RMSE ²			
	Aほ場（岩国市）	Bほ場（山口市）	Dほ場（長門市）	平均値
0-18°C ^y	15.6	19.3	18.5	17.8
0-20°C	21.1	17.9	24.7	21.2
0-22°C	21.6	16.1	18.9	18.9
0-24°C	20.2	14.7	18.4	17.8
0-26°C	22.2	14.7	18.4	18.4
0°C以上	22.2	15.0	19.6	18.9

²3か所の実証ほ場における、収穫開始から11月30日までの10aあたり半旬別出荷量について、予測値と実績値の二乗平均平方根誤差を比較

数値が低いほど予測精度が高いことを示す

^y有効気温の下限を0°Cに固定し、上限の有効気温設定を18°C～上限なしの6段階に変えて比較

第5表 有効気温による低温時出荷量（12～3月末）予測精度の違い（2021年）

有効気温	RMSE ²			
	Aほ場（岩国市）	Bほ場（山口市）	Dほ場（長門市）	平均
0-18°C ^y	39.0	22.2	21.8	27.7
1-18°C	38.1	23.0	18.1	26.4
2-18°C	38.1	24.1	21.8	28.0
3-18°C	44.9	29.6	30.5	35.0
4-18°C	58.7	30.4	34.1	41.1
5-18°C	67.9	32.9	36.7	45.8

²3か所の実証ほ場における、12月1日から3月31日までの10aあたり半旬別出荷量について、予測値と実績値の二乗平均平方根誤差を比較

数値が低いほど予測精度が高いことを示す

^y上限の有効気温を18°Cに固定し、下限の有効気温設定を0～5°Cの6段階に変えて比較

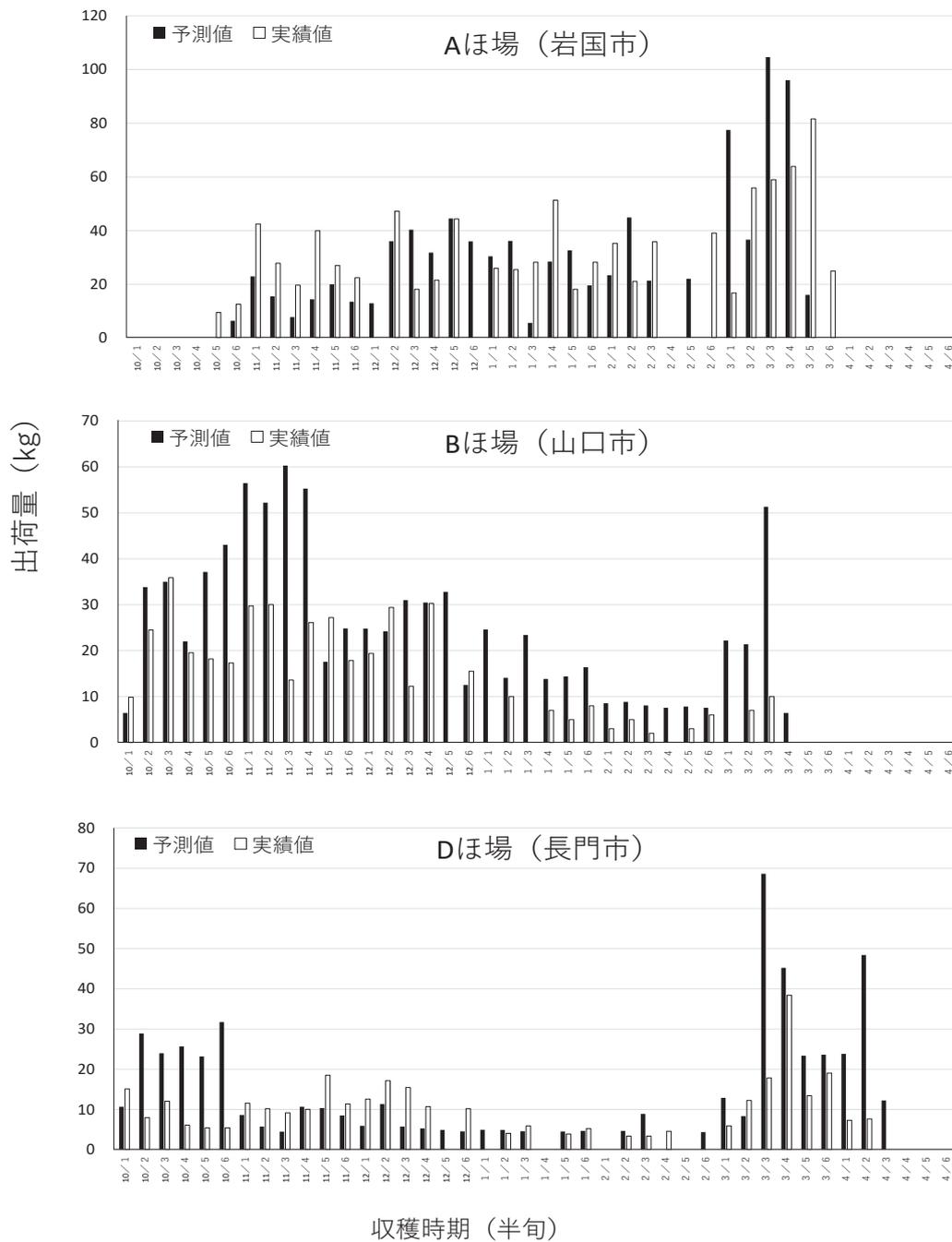
尾崎ら（2021）によると、キャベツは生育適温を超えると生育が遅延・停滞することから、既存モデルの葉齢と積算気温の回帰式に上限温度を22°Cとする有効積算気温法を導入すると、葉齢に対する積算気温の寄与率が高まるとしている。今回の手法ではメッシュ農業気象データの日平均気温を利用したことから、細かな気温変化から予測精度を向上させることは困難であったが、将来的には1時間ごとの気温データ利用により改善を図ることが可能と思われる。また、天候不良等により定植が遅れた場合や、極端に栽植密度が基準と異なる場合は予測精度が低下しやすいため、そのような場合の補正機能もあれば、より予測精度が向上す

と思われる。

2 「はなっこりー出荷予測ツール」の作成

(1) 画像による出荷量補正

相対植被率（実測植被率／標準植被率）と相対出荷量（実測出荷量／標準出荷量）の線形回帰分析を実施した結果、「E2」は、定植後積算気温約650°Cにおいて頂花蕾摘心後の有効積算気温1000°Cまでの相対出荷量と相対植被率に正の相関が認められ、定植後積算気温1000°Cにおいて頂花蕾摘心後の有効積算気温1300°Cまでの相対出荷量と相対植被率に正の相関が認められた（第6表）。「ME」についても概ね同様



第 6 図 有効気温1~18℃条件における出荷量子測値と実績値の違い (2021年)

半月別に出荷量データを集計して比較

第6表 植被率による出荷量の補正 (2021年)

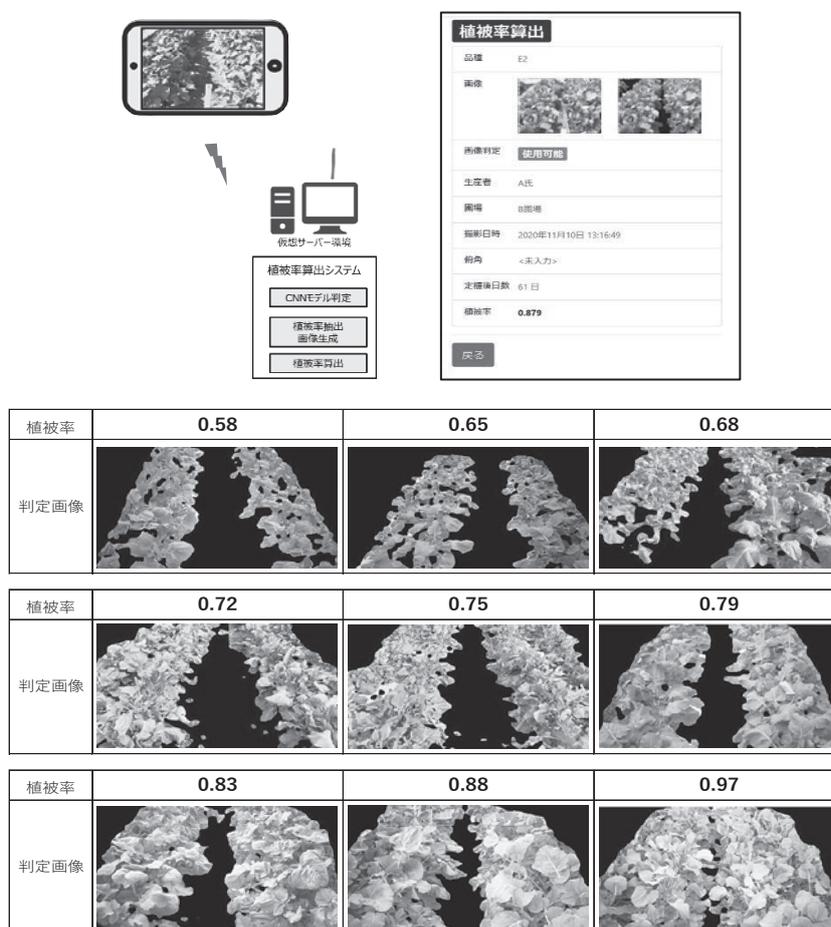
品 種	撮影時期	標準植被率 ^z	出荷量補正式	利用データ、算出条件など
E2	650°C ^y	0.77	$y=1.49x-0.667^x$	2019年定植「E2」、「ME」 2020年定植「E2」、「ME」 定植後の有効積算気温1000°Cまでの収量
	1000°C	0.90	$y=1.5x-0.526$	2019年定植「E2」 2020年定植「E2」 定植後の有効積算気温1300°Cまでの収量
ME	650°C	0.80	$y=1.49x-0.667$	2019年定植「E2」、「ME」 2020年定植「E2」、「ME」 定植後の有効積算気温1050°Cまでの収量
	1000°C	0.90	$y=0.912x$	2020年定植「ME」 定植後の有効積算気温1400°Cまでの収量
	1月20日 ^w	0.91	$y=3.02x-1.89$	2019年定植「ME」 2020年定植「ME」 1/20以降の収量

^z 2020年に複数作型栽培した中で、各撮影時期において最も高い植被率

^y 植被率算出用の画像撮影時期を有効気温0°C以上の積算気温で指定した
650°Cは葉数10枚程度、1000°Cは収穫開始時期頃

^x x：相対植被率（実測植被率/標準植被率）、y：相対収量
得られたy値と出荷量予測値との積が各撮影時期における補正出荷量となる

^w 凍霜害確認時期として最適と考えられる日を指定した



第7図 植被率算出アプリ (上) と画像サンプル (下) (2021年)



第8 図 はなっこりー出荷予測ツール (2021年)

水色セルに作型ごとの数値を入力して「気象データ取得」ボタンを押すことで出荷予測できる

の傾向が認められ、凍霜害の影響を評価する1月20日においても、それ以降の相対出荷量と相対植比率に正の相関が認められた。なお、「L」については反復数が少なかったため正確な解析は困難と判断し、「ME」と同様の一次式を使用することとした。「はなっこりー」は初期生育が収量に与える影響が極めて大きいため、1回目(定植後積算気温650°C)の植比率判定で概ね予測値の補正が可能と考えたが、実際には途中で生育が回復して出荷量も増加するパターンなども確認された。そのため、今回のように複数回に渡り植比率を確認することで、予測精度の向上を図ることできると考えられる。

植比率算出ソフトについては、山口大学作成のプログラムを利用して開発し、Windows パソコン内の仮想サーバー上にスタンドアローン型として搭載した。第2図の位置から撮影した画像をアップロードすることで、植物体だけを抽出した画像を生成するとともに、植比率が算出される。現地における実用性も考慮し、

達観評価も可能なサンプル画像も作成した(第7図)。将来的には、クラウド上で利用可能なWEBアプリケーションやスマートフォン用のモバイルアプリケーションの開発が望まれる。

(2) メッシュ農業気象データシステムと連動したエクセルツールの試作

エクセルツールは基本項目として、栽培地点、栽培面積、品種、定植年月日を入力し、メッシュ気象データを更新することで日出荷量予測値が算出される形とした(第8図)。複数作型を組み合わせ、産地全体を予測することも可能である。任意項目として、表示された撮影予定日に、ほ場画像を撮影し植比率を入力することで出荷量予測値が補正される。

摘 要

「はなっこりー」について、頂花蕾摘心日を境にし

た2段階の生育モデルを作成した。まず、「定植時期の平均気温」から頂花蕾摘心日を予測できるモデルを作成した。次に、頂花蕾摘心日～各花茎収穫日までの有効積算気温モデルを作成した。これらの予測モデルを組み込んだエクセルシートに、メッシュ農業気象データを連携させた。また、生育状況に応じた出荷量予測値の補正を行うため、植被率と出荷量の回帰分析を実施した。これらを組み合わせて「はなっこりー出荷予測ツール」を試作した。また、予測精度を高めるために、複数の有効気温モデルを作成し検証した結果、上限温度の設定では判然としなかったが、下限温度は1°C以下を無効とすることで高い予測精度が得られた。

尾崎将太・猿渡真・上村拓也. 2021. 葉齢増加モデルの改良による平坦地のキャベツ収穫日予測精度向上. 九州農業研究発表会専門部会要旨集. 84: 7.
佐々木華織・西森基貴・根本 学. 2022. メッシュ農業気象データ利用マニュアル Ver. 5. 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境研究部門: 1-84.
https://amu.rd.naro.go.jp/wiki_open/lib/exe/fetch.php?media=wiki:docs:メッシュ農業気象データ利用マニュアル_ver5.pdf

引用文献

- 浅尾悠介・森田香利・石原俊幸・森本康史・白岩裕隆. 2021. 秋冬どりブロッコリーにおける平均気温を用いた収穫予測. 園芸学研究: 20(別2): 173.
- 藤井宏栄・岡藤由美子・陶山紀江. 2012. 新系統「はなっこりーME」と「はなっこりーL」の育成および特性. 山口県農林総技セ研報. 3: 25-30.
- 藤井 宏栄・日高 輝雄・重藤 祐司・片川 聖. 2019. 早生系省力型「はなっこりーE2」の育成と栽培 ～初代はなっこりーの改良～. 山口農林総技セ研報. 10: 7-15.
- 藤目幸擴・斎藤良光・中山恭伸. 1988. ブロッコリーの花蕾形成における温度と日長の相乗作用. 園学雑. 57: 70-77.
- 中村郁也・荊木康臣・重藤祐司・宇佐川恵. 2019. 収量予測に向けた画像解析による作物の植被率評価. 中国・四国の農業気象. 32: 30-31.
- 根本 学. 2019. メッシュ農業気象データ Excel 用組み込みモジュール利用マニュアル. 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター: 1-11.
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/excel_module_manual.pdf
- 岡田邦彦・菅原幸治. 2019. 加工業務用露地野菜生産・出荷におけるデータ駆動型生産支援システム～葉齢増加モデルを用いた出荷調整支援システムを例として～. 農研機構研究報告. 1: 43-45.
- 奥田延幸. 2000. カイラン (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* L.H.Bailey) の花芽形成に関する研究. 香川大農紀要. 63: 1-97.

ニホンナシ新品種「甘太」の袋掛けによる外観品質の向上

岡崎 仁[※]・大崎 美幸[※]・村上 哲一[※]・日高 輝雄

Bagging of new Japanese pear variety 'Kanta' to improve appearance

OKAZAKI Hitoshi, OSAKI Miyuki, MURAKAMI Norikazu and HIDAKA Teruo

Abstract: The new pear variety "Kanta" bred at the National Agriculture and Food Research Organization has excellent fruit quality and is a promising alternative to the late maturing variety "Niitaka". However, the yellowish-brown color of the rind and the high incidence of russet (corky cell on the surface of fruit and around calyx) will be a challenge for future distribution and marketing. Therefore, in order to improve the appearance of the fruit, we studied different types of fruit bag and the timing of bagging. The results revealed that covering the fruit with a double bag with a high degree of light shading at 80 days after full bloom made the pear look red. In addition, the bagged fruits had sufficient weight, sugar content, and hardness of rind meeting consumer preferences.

Key Words: fruit bag, late maturing variety, russet, fruit cork, cork around calyx

キーワード：果実袋、晩生品種、さび、果点コルク、果点間コルク

緒言

ナシ生産者の高齢化に伴い、経営面積の縮小や廃業が増える中、山口県では関係機関・団体による園地承継の支援もあり新規就農者も増えつつある。そのような中、既存の生産者や新規就農者が安定的な経営を行うためには、市場出荷、直販、観光農園等の各産地の販売方法に応じて、長期連続出荷を可能にする品種構成が重要である。

これまでは晩生品種として「新高」や「新興」等が導入され、収穫労力の分散と所得向上を図ってきた。しかし、これらの品種は「幸水」や「豊水」に比べて果肉が硬く食味が劣ることや消費者が求める果実サイ

ズより大きいことなどから需要が停滞している。また、近年では「王秋（壽ら，2004）」が導入され、果実品質は優れるものの「新高」より熟期が2週間程度遅く、コルク状果肉障害果が発生しやすい問題がある（中村，2011）。

このような中、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構が「王秋」に「あきづき」を交配して「甘太」を育成した（齋藤ら，2019）。「甘太」は「新高」と比較して、糖度は高く、酸味もあり、食味が濃厚、果肉の硬度は有意に軟らかい。一果重は530g程度で小さく、熟期は同等、樹勢が強く、花芽の着生も容易で収量性も高いことから、「新高」や「新興」の代替品種として有望である（渡邊ら，2015、齋藤ら，

※ 現 下関農林事務所

2019)。

「甘太」は青ナシ系統であるが果皮は黄褐色を呈し、果面のさびの発生が多く、外観品質が劣ることが今後の普及上の課題となると考えられる(齋藤ら, 2019)。有袋栽培では、果面のさびがまだらに生じ外観を著しく損うが、無袋栽培では果実全体にさびが発生し赤ナシ様の外観となる(渡邊ら, 2015)。一方、藤丸ら(2016)は渡邊らと同様な結果を得たが、遮光二重袋にした場合、地色の着色が進んだ年には、さびは目立たなかったことを報告している。田辺(1997)は青ナシの「二十世紀」において、果実袋の種類により果実面の汚れや糖含量が異なることを報告しており、「甘太」についても適切な果実袋の選定により外観品質が向上する可能性がある。

本県では、防蛾灯や防虫ネットが導入されていないナシ園が散在するので、ヤガ対策として有袋栽培を前提に技術確立する必要がある。さらに、小袋+大袋被袋の2回処理より、労力面から開花後50~60日頃の大袋の1回処理が望ましい。そこで、2016年に予備試験で数種の果実袋を試用したところ、青ナシ慣行の白色パラフィン一重袋に対し、赤ナシ用の遮光性の高い二重袋において外観品質が向上することを見出した。これを踏まえて、新品種「甘太」の外観品質の向上を図るため、好適な袋掛け方法について検討したところ、一定の成果が得られたので、以下に報告する。

材料および方法

山口県農林総合技術センター果樹試験圃場1号園の「甘太」6樹(植付10年目5本、植付9年目1本 2017年時点)を供試した。施肥や栽培管理は山口県果樹栽培指導指針(山口県農業振興課, 2019)に準じて行った。果実品質については育成系統適応性検定試験の特性検定試験調査方法(独)農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所 2007)に準じて調査した。

1 小袋被袋の有無、大袋の種類と被袋時期が「甘太」の外観品質に及ぼす影響

2017年に小袋被袋(満開後20日)の有無、大袋3種(白色パラフィン一重袋、晩生赤ナシ向け二重袋、青ナシ向け二重袋)、大袋被袋時期2処理(満開後50日、80日)を組み合わせて処理を行った(第1表)。1処理区当たり6樹を用い、1樹当たり5果を処理し、

合計30果を供試した。小袋被袋後の調査は5月26日~30日の摘果時に行った。大袋の種類等によって外観が異なり、同一の色基準での収穫期判断はできなかったため、10月4日に一斉収穫した。外観品質について、当センター職員22名(果樹担当者以外の職員)にアンケート調査を行った。

第1表 被袋処理による「甘太」の外観品質向上試験(2017)

小袋被袋 (満開後20日)	大袋種類	大袋被袋時期
有	A	6月上旬 (満開後50日)
	B	
	C	
無	A	7月上旬 (満開後80日)
	B	
	C	
	無	

A: 白色パラフィン一重袋 遮光性弱 主に「豊水」、「あきづき」等で使用

B: 晩生赤ナシ向け二重袋 遮光性強 主に「新高」、「新興」で使用

C: 青ナシ向け二重袋 特大サイズ

1区1樹当たり5果、1処理区30果処理

注) 実際の処理は、満開後20日は22日、満開後80日は88日に実施

2 大袋の種類が「甘太」の外観品質に及ぼす影響 [2018年度]

2017年度の試験で、早期に小袋被袋処理を行っても果点コルクがまだらに発生した。また、大袋の被袋時期では満開後50日より80日が果面のさびの発生が多く、果点間コルクが発達し、赤ナシ様を呈した。そこで、2018年は、小袋被袋は不要と判断し、遮光程度の異なる5種類の大袋を満開後80日に処理する区および無袋区を設け、比較検討した(第2表)。なお、クロロフィルに吸収されやすい赤色光の透過を阻害することで、クロロフィルの合成活性を抑制し、地色の発色を抑えられることを期待して赤パラフィンを使用した大袋を試験区に加えた。大袋の被袋は供試樹7樹にランダムに処理し、1種類当たり30果を供試した。前年と同様に10月4日に一斉収穫し、外観品質を第1図を基準に評価した。

[2019年度]

第2表 供試した大袋の種類と特徴
(2018～2019)

大袋の種類	赤パラフィン 使用	遮光性 ^{注)}
晩生赤梨向け二重	-	強 75～95%
新聞赤パラ合わせ二重	有	強
赤茶パラ合わせ二重	有	中 50%程度
赤パラ一重	有	弱 33%程度
白色パラフィン一重	-	弱
無袋	-	無 -

晩生赤梨向け二重：撥水加工された茶色の外袋の内側に茶色パラフィン紙をあわせた二重袋

新聞赤パラ合わせ二重：撥水加工された新聞の外袋の内側に赤色パラフィン紙をあわせた二重袋

赤茶パラ合わせ二重：撥水加工された茶色の外袋の内側に赤色パラフィン紙を合わせた二重袋

赤パラ一重：赤色パラフィン紙のみの一重袋

白色パラフィン一重：白色パラフィン紙のみの一重袋

注) メーカーから遮光程度を聞き取り、分類した

前年の試験で最も外観品質が優れた遮光性の強い晩生赤梨向け二重袋と糖度向上効果が認められた遮光程度の弱い白色パラフィン一重袋の2種類を供試し、3樹を用い半樹毎に処理区を設け、1種類当たり250果以上を処理した。10月10日に一斉収穫し、果実品質を調査した。

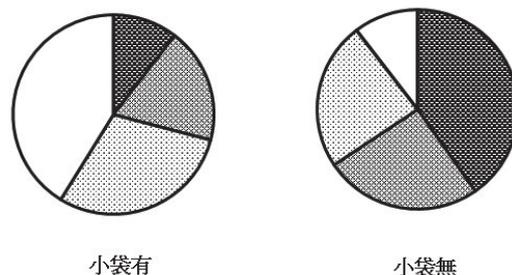
結果および考察

1 小袋被袋の有無、大袋の種類と被袋時期が「甘太」の外観品質に及ぼす影響

「甘太」は早期(満開20日後)の小袋の被袋の有無にかかわらず、果点コルク(気孔痕のコルク)が目立つ外観となった。特に、気孔が密集するていあ部では、果点コルクがリング状のアザに見える外観となり、被袋により程度は軽くなるものの、60%程度にリング状のアザが発生した(第2図、第3図)。従って、外観品質向上効果が小さいこと、および被袋にかかる労力面から小袋の早期被袋は不要と判断した。

白色パラフィン一重袋(A袋)と青ナシ向け二重袋(C袋)では、果皮色が寒色系(緑色)の仕上がりとされたため、果皮色と色合いの異なる果点コルクや部分的に発生した果点間コルクが、まだら模様やアザに見える外観となった(第4図)。岩谷ら(2020)や加川ら(2022)は、本報と同様に一重袋の被袋により果

■甚 ■中 ■小 □無



第3図 小袋被袋の有無と「甘太」のていあ部のリング状のアザの発生程度(2017)

面にさびがまだらに生じ、外観を損ねたと報告している。

晩生赤ナシ向け二重袋(B袋)では果皮色が暖色系の仕上がりとされたため、果点間コルクの茶色と果皮色の境界が目立ちにくくなり、赤ナシ様の外観となった。さらに、満開後50日に被袋したものよりも、満開後80日に被袋した果実の方が、果点間コルクが発生しやすく、コルク化部分と未発達部分との色合いの境界が不鮮明となり、アザとして認識されるのではなく、色むらとして認識される外観になった(第5図)。満開後80日・晩生赤ナシ向け二重袋(B袋)の一果重、糖度および硬度を他の被袋区と比べても、実用上十分な水準であった(第3表)。

岩谷ら(2018)は「甘太」において白一重袋の被袋時期がコルク(さび)発生に及ぼす影響を調査したところ、被袋時期が遅くなるほど果実表面のコルクが発達したことを報告している。本報においても、満開後50日処理よりも80日処理でコルク(さび)の発生が多く、岩谷らと同様な結果が得られ、特に晩生赤ナシ向け二重袋(B袋)では、外観品質の向上につながった。

無袋では果面全体にコルクが発生し、外観上の問題のない、やや赤黒い赤ナシ状になった。しかし、シンクイムシ類やヤガ類による被害が多発し、防蛾灯や防虫ネットが導入されていないナシ園では無袋栽培は実用上困難と考えられる。

当センター職員による外観評価では、晩生赤ナシ向け二重袋(B袋)と無袋(D)の評価が高く、外観が一様であったことが評価されたものと思われる。ただ

し、無袋 (D) は、評価する者と赤ナシとしては青黒い果色を低く評価する者とに分かれた (データ省略)。

以上のことから、外観品質の向上のためには、小袋の早期被袋は行わず、満開後 80 日頃に遮光程度の強い大袋を被袋し、赤ナシ様に仕上げる方法が良いと考えられる。

ところで、満開後 50 日の白色パラフィン一重袋 (A 袋) の果実品質は、無袋果実や他の袋と比較して、有意に糖度が高くなったが、果実重は小玉傾向であった (第 3 表)。ニホンナシやリンゴの有袋栽培では無袋栽培に比べ、果汁の糖度が低下することが知られている (田辺賢二, 1997, 工藤仁郎, 1983)。一方、岩谷ら (2018, 2020) は「甘太」において青ナシ向け二重袋 (C 袋) と同様な遮光率 30% 程度の一重袋を満開後 40 日程度の早期に被袋した場合、無袋より糖度が有意に高くなること、これが「甘太」特有の品種特性であることを報告している。そこで、「甘太」の品種特性を活かした高糖度果実生産の技術シーズとして、白色パラフィン一重袋 (A 袋) も引き続き検討することとした。

2 大袋の種類が「甘太」の外観品質に及ぼす影響

小袋かけで気孔跡の果点コルクを目立たなくすることができなかつたため、果点間コルクを入れ、果皮色

が暖色系 (赤色系) で仕上がる大袋を選定することとした。満開後 80 日に遮光程度の異なる数種の大袋被袋処理が果実品質に及ぼす影響を検討したところ、遮光程度が強いほど外観品質が優れた (第 2 表、第 4 表)。すなわち、遮光程度の強い晩生赤梨向け二重袋、新聞赤パラ合わせ二重袋がさびの均一性、さびの濃淡ともに他区より有意に優れ、赤ナシ様に仕上がった。遮光程度が弱い赤パラ一重袋と白色パラフィン一重袋の外観品質は同等であり、かつ他区より有意に劣っていた。このことから、外観品質の向上は、遮光程度の強さが主に影響しており、赤色パラフィン紙による影響はほとんどないと考えられる。

無袋に比べ被袋処理区の一果重は多い傾向にあり、中でも晩生赤梨向け二重袋は有意に優った。また、糖度と果実硬度は同等であった。

遮光程度の弱い白色パラフィン一重袋と赤パラ一重は、外観品質は劣るものの、糖度が高く、岩谷ら (2018, 2020) の報告と一致している。これらの果実は、直売所等の対面販売で「外見は劣るが糖度は高い」ことを説明すれば、消費者に受け入れられる可能性がある。そこで、2019 年は外観品質向上効果の高い晩生赤梨向け二重袋と白色パラフィン一重袋との比較調査を行い、2017 年産と 2018 年産は既存データを抽出して比較検討した。

第 3 表 大袋の種類と被袋時期が「甘太」の果実品質に及ぼす影響 (2017)

被袋時期	袋の種類	一果重 (g)	糖度 Brix	硬度 (lb)
満開後 50 日	A	482 b	15.8 a	5.9 a
	B	531 ab	14.0 cf	5.7 ab
	C	517 ab	14.7 be	5.5 abc
満開後 80 日	A	546 ab	14.4 def	5.5 abc
	B	525 ab	14.0 cd	5.1 bc
	C	569 ab	13.7 c	5.2 bc
無袋	-	580 a	14.1 bcd	5.0 c

A: 白色パラフィン一重袋 主に「豊水」、「あきづき」等で使用

B: 晩生赤ナシ向け二重袋 低光透過率 主に「新高」、「新興」で使用

C: 青ナシ向け二重袋 特大サイズ

小袋被袋無し、1区 1 樹当たり 5 果、1 処理区 30 果処理、17~19 果調査

注) 満開後 80 日処理は 88 日後に実施

Tukey の多重比較検定により異なる小英文字間には 5%水準の危険率で有意差あり

3 年間の結果から白色パラフィン一重袋は晩生赤梨向け二重袋に比べ、外観はまだら模様が目立ち、一果重が小さいが、糖度は有意に高かった(第6図、第5表)。岩谷らは(2020)一重袋の被袋果実は無袋果に比べ、重量減少が著しかったことと同時に、糖度が無袋果に比べ上昇していたことについて、蒸散量が増加したことによって果汁が濃縮されたためと考察している。さらに、被袋時期が早いほど糖度上昇効果が高く、遅くなるほど効果は減少することを報告している。従って、白色パラフィン一重袋の糖度上昇効果に着目した生産・販売方法を選択する場合、岩谷ら(2020)が言うように、被袋時期を前進化し、満開後50日頃に行う必要がある。ただし、晩生赤梨向け二重袋において

も実用上十分な糖度が確保されている結果を踏まえると、白色パラフィン一重袋の利用については、加川ら(2020)が指摘しているように販売条件等を考慮して慎重に検討する必要があると考える。

果実硬度については、年次間差があり、2019年のみ晩生赤梨向け二重袋の果実が有意に軟らかくなっていたが(第5表)、著者らの官能検査ではいずれの年も晩生赤梨向け二重袋の果実が軟らかく感じられており(データなし)、食味評価に大きく関わることから再検討が必要と考える。

以上、「甘太」の外観品質の向上のためには、遮光程度の強い晩生赤梨向け二重袋や新聞赤パラ合わせ二

第4表 異なる果実袋が一果重および果実品質に及ぼす影響(2018)

大袋の種類	一果重 (g)	糖度		硬度		外観品質	
		Brix		(lb)		さび均一	さび濃淡
晩生赤梨向け二重	510 a	15.5 b		4.3 bc		1.0 a	1.1 a
新聞赤パラ合わせ二重	459 ab	15.5 ab		4.5 ab		1.0 a	1.1 a
赤茶パラ合わせ二重	458 ab	15.6 ab		4.1 bc		3.9 b	2.3 b
赤パラ一重	474 ab	16.1 a		4.1 bc		4.7 c	4.5 d
白色パラフィン一重	465 ab	15.9 ab		4.0 c		4.7 c	5.0 d
無袋	425 b	16.0 ab		4.4 bc		4.8 c	3.8 c

晩生赤梨向け二重：撥水加工された茶色の外袋の内側に茶色パラフィン紙をあわせた二重袋
 新聞赤パラ合わせ二重：撥水加工された新聞の外袋の内側に赤色パラフィン紙をあわせた二重袋
 赤茶パラ合わせ二重：撥水加工された茶色の外袋の内側に赤色パラフィン紙を合わせた二重袋
 赤パラ一重：赤色パラフィン紙のみの一重袋
 白色パラフィン一重：白色パラフィン紙のみの一重袋
 注) 外観品質は第1図の基準により評価 各処理区30果調査

Tukeyの多重比較検定により異なる小英文字間には5%水準の危険率で有意差あり

第5表 異なる果実袋が「甘太」の一果重および果実品質に及ぼす影響(2017~2019)

大袋の種類	一果重(g)			糖度(Brix)			硬度(lb)		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
晩生赤梨向け二重	545	510	664	14.0	15.5	14.6	5.1	4.3	4.1
白色パラフィン一重	525	465	639	14.4	15.9	15.0	5.5	4.0	4.4
有意性	n. s.	*	-	*	*	*	n. s.	n. s.	*

晩生赤梨向け二重：撥水加工された茶色の外袋の内側に茶色パラフィン紙をあわせた二重袋
 白色パラフィン一重：白色パラフィン紙のみの一重袋

注) t検定により*は5%水準、**は1%の危険率で有意差あり。n. s.は有意差なし。

晩生赤梨向け二重：2017年は19個、2018年は30個、2019年は190個調査

白色パラフィン一重：2017年は17個、2018年は30個、2019年は35個調査

ニホンナシ新品種「甘太」の袋掛けによる外観品質の向上

均一	均一+まだら	まだら
1	3	5
		
淡		濃
1	3	5
		

第1図 「甘太」のさびの濃淡、まだらの評価基準

注) 1に近いほど果面は赤ナシ様になり、外観品質が優れる。



第2図 「甘太」のていあ部に発生したリング状のアザ(小袋区)

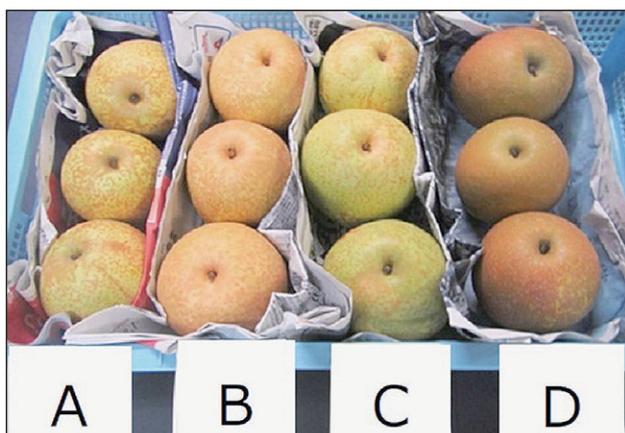


満開50日後被袋

満開80日後被袋

第5図 「甘太」の被袋時期別の外観品質

注) 晩生赤梨向け二重袋区



第4図 大袋の種類が「甘太」の外観品質に及ぼす影響(2017)

A: 白色パラフィン一重袋 B: 晩生赤ナシ向け二重袋

C: 青ナシ向け二重袋 D: 無袋

小袋被袋処理無し、大袋被袋満開50日後



晩生赤梨向け二重袋

白色パラフィン一重

第6図 「甘太」の収穫時の外観品質

(2019)

重袋等の二重袋（遮光率概ね80 %程度）を満開後80日頃に被袋処理を行うとよいと考えられる。なお、二重袋は地域で入手しやすく、低コストのものを選択することを推奨する。

「甘太」を無袋や遮光率の高い二重袋を用いて栽培すると、果面がサビで覆われるため、果皮色を見て収穫時期を判断することが難しかった。本報においても収穫日を決めて一斉収穫する手法を取らざるを得なかった。戸谷ら（2020）も同様に収穫適期の判断の難しさが課題であることを指摘している。今後の普及のために、収穫適期を簡易に判断できる手法を確立する必要がある。

摘 要

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構で育成されたナシ新品種「甘太」は、果実品質に優れ、晩生品種「新高」の代替品種として有望である。しかし、果皮は黄褐色を呈し、果面のさびの発生が多いことが今後の普及上の課題となると考える。そこで、外観品質の向上を図るために、果実袋の種類と被袋時期について試験を行った。その結果、満開後80日に遮光程度の強い（80 %前後）二重袋を被袋することで、赤ナシ様の果実に仕上がった。また、一果重、糖度、硬度も実用上十分な品質が得られた。

引用文献

- 藤丸治・岩谷章生. 2016. 果実袋がニホンナシ「甘太」の果実品質に及ぼす影響. 農研機構研究発表会果樹部会発表要旨:24.
https://www.naro.affrc.go.jp/org/karc/qnoken/yoshi/no79/524_KAJYU.pdf
- 岩谷章生・藤丸治・宮田良二・北村光康. 2018. ニホンナシ「甘太」における果実袋の被袋時期が糖度に及ぼす影響と被袋による果実蒸散量の変化. 園学研17別2: 125.
- 岩谷章生・藤丸治・平本恵・宮田良二・北村光康. 2020. ニホンナシ「甘太」はパラフィン処理した遮光率30%程度の果実袋を早期に被袋することにより糖度が上昇する. 熊本農研セ研究報告. 第27号: 32-39.
- 加川敬祐・市毛秀則・寺門 巖・清水 明. 2022. ニホンナシ新品種「はつまる」、「凜夏」、「ほしあか

- り」、「なるみ」および「甘太」の茨城県笠間市における生育特性. 茨城農総セ研報. 4号: 7-14.
- 工藤仁郎. 1983. 袋かけ. 農業技術大系果樹編1(Ⅱ). 農山漁村文化協会. 東京. 43-44.
- 齋藤寿広・澤村豊・高田教臣・壽和夫・平林利郎・佐藤明彦・正田守幸・西尾聡悟・加藤 秀憲・櫻村芳記・尾上典之・鈴木勝征・内田誠巻. 2019. ニホンナシ新品種「甘太」. 農研機構研究報告. 果樹茶業研究部門. 3号: 1-9.
- 壽和夫, 齋藤寿広・町田裕・梶浦一郎・佐藤義彦・増田亮一・阿部和幸, 栗原昭夫, 緒方達志, 寺井理治・西端豊英・正田守幸・櫻村芳記・小園照雄, 福田博之・木原武士・鈴木勝征. 2004. ニホンナシ新品種「王秋」. 果樹研報3: 41-51.
- 中村ゆり. 2011. ニホンナシ「あきづき」王秋「における果肉障害発生調査報告. 果樹研究所研究報告12: 33-63.
- 田辺賢二. 1997. 袋かけ. 農業技術大系果樹編3 基本技術編. 農山漁村文化協会, 東京, p. 47-52.
- 戸谷智明・鈴木健・藤井義晴. 2020. ニホンナシ新品種「はつまる」、「凜夏」、「ほしあかり」、「なるみ」及び「甘太」の千葉県における適応性. 千葉農林総研研報. 12号: 19-28.
- 渡邊辰彦・石坂晃・松本和紀・牛島孝策・桑原実巻. 2015. ニホンナシ新品種「凜夏」および「甘太」の福岡県における適応性. 福岡農林総試研報. 1号: 27-32.
- 山口県農林水産部農業振興課. 山口県果樹栽培術指針.
<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/soshiki/103/22347.html>

水田における堆肥連用が土壌化学性と水稻収量に与える影響

有吉 真知子・河野 竜雄・原田 夏子*

Continuous use of compost on soil chemistry and rice yield in paddy fields

ARIYOSHI Machiko, KAWANO Tatsuo and HARADA Natsuko

Abstract: We investigated 46 years of application of rice straw cow manure compost and 24 years of cow manure bark compost on soil chemistry and rice yield in skeletal fluvial alluvial soil widely distributed in the prefecture. It was observed that humus, CEC, exchangeable bases and available nutrient increased by the amount applied and its components. Yield was about 10% higher in area continuously applied with rice straw cow manure at 0.5 t/10a/year from the sixth year and 1.5 t/10a/year from the first year than the chemical fertilizer applied area. But in the area where 1.5 t/10a was continuously applied, excess spikelet number was recorded, resulting in a decrease in thousand-kernel weight and yield. Based on the results obtained, it is desirable to apply 0.5 t/10a of compost every year in order to maintain soil fertility and stabilize yield. In the case of short-term fertility enhancement, it is recommended to apply 1.5 t/10a for several years and followed by continuous application of 0.5 t/10a.

Key words: organic matter applications, cow manure compost, spikelet number, percentage of ripeness, fertilizer reduction

キーワード: 有機質資材、牛糞堆肥、籾数、登熟歩合、減肥

緒言

2021年5月に策定されたみどりの食料システム戦略では、2050年までに炭素排出量ゼロを目指す取り組みや化学肥料使用量を3割削減することが目標に掲げられている。その中において、農地土壌は有機物を腐植成分として蓄積する炭素吸収源であることから、地球温暖化対策の観点からも注目され、炭素蓄積の推移などの調査が進んでいる。また、水田では、地力が作物に与える影響が大きいことから、地力(土壌生産力)の維持が不可欠であり、有機物施用による養分供給に加えて、土壌の物理性、化学性の改善が、生産性の向上に有効であることが古くから知られている。しかし、

近年は、高齢化や大規模経営に伴う省力化に伴い、労力のかかる有機物施用が敬遠され、本県においても、堆肥の施用量減少による地力低下が懸念される状況にある。一方で、化学肥料が高騰し、生産者の肥料代の増加も深刻な問題となっている。

そこで、堆肥由来の養分を活用することで、化学肥料の使用量削減、更には肥料代軽減にも寄与できることから、改めて有機物の施用効果について考えてみたい。

本県では1976年より有機物連用試験を開始し、稲わら牛糞堆肥を46年、牛糞バーク堆肥を24年にわたり連年施用してきた。これまで、稲わら堆肥3t(1.5t×2回)を14年連用した土壌において無窒素で栽培した場合、移植後から窒素の発現が始まり、収量で

* 現 山口農林水産事務所

64.7 kg/a を得るだけの窒素供給力がある一方で、生育後半の窒素供給が不足して登熟歩合が低下すること（久保・福田，1990）が報告された。また、堆肥の連用により過繁茂、籾数過剰となるため、基肥を減量した方が良いとの報告もある（望月ら，2006）（住居・徳永，2009）。このため、本県においても、稲わら牛糞堆肥については、連用12年目となる1987年から基肥窒素を4割程度減量、牛糞バーク堆肥については、施用開始当初から基肥を施用しない条件で、作付体系や品種を変更しながら、水稻栽培を継続してきた。

有機物資材の連用については、数年から十数年程度の連用による作物の生育・収量や土壌に及ぼす影響に関する研究は見られるものの、長期にわたる試験は数が少ない。この度、当センターの移転に伴い、栽培を終了することとなった堆肥連用ほ場の試験結果には、数多くの研究者とそれを支える関係者が収集した貴重なデータが潜んでいる。そこで、県内に広く分布する河成沖積の礫質土壌水田を対象に、長期の堆肥連用が土壌の化学性に与える影響について整理し、それと水稻の収量や品質との関係を明らかにする視点からデータ解析を試みたので、ここに報告する。

材料および方法

1 耕種概要

試験は山口県農林総合技術センター（山口県山口市）の水田ほ場91号田（礫質灰色化低地水田土、粘礫質）において、1976年から2021年の46年間実施した。1998年までは水稻の裏作として麦を栽培し、わらはは全量持ち出した。1999年以降、水稻のみを栽培し、稲わらを全量還元する管理に変更した。品種と管理方法の推移は第1表に示した。

2 処理区の設置

試験開始当初は、10aほ場を5区画に仕切り、無窒素区、化学肥料区、堆肥施用区、堆肥多量区および冬期休閑区を設けた。堆肥施用区および堆肥多量区では、

稲わら牛糞堆肥を水稻および麦作付前の年2回施用した。その他の区では堆肥無施用とし、冬期休閑区では、麦は栽培しなかった。

1999年以降は、堆肥施用区と堆肥多量区では、稲わら牛糞堆肥を水稻作付前の年1回施用し、その他の区では施用しなかった。また、冬期休閑区を堆肥のみ区に切り替え、水稻作付前に牛糞バーク堆肥3t/10aおよびミネラルG100kg/10aを施用した。各試験区の構成と堆肥施用量は第2表に示した。

化学肥料については、窒素として硫酸、リン酸としてよう磷、カリとして塩化カリを施用し、施用量は品種や生育によって調整した（第3表）。各試験区を3分割し、1区あたり3カ所において調査を行った。各調査区の面積は60.3～96.6㎡であった。

3 調査方法

供試堆肥の各成分は、施用前に堆積から数カ所採取し、風乾後、「堆肥等有機物分析法」（財団法人日本土壤協会，2000）に記載された手法に基づいて測定した。

成熟期の調査は、各区連続10株の2条分、合計20株の穂数を調査した。総籾数（以下、籾数）は、この20株の中から穂数が中庸な代表株3株について全籾を計測して一穂籾数を算出し、一穂籾数に成熟期の穂数を乗じて求めた。登熟歩合は、前述の全籾を籾摺りし、1.85mmの篩上に残った粒数の割合から算出した。

成熟期調査付近の60株を刈り取り、風乾後に脱穀、籾摺りした後、玄米を1.85mmの篩で選別し、収量と千粒重を求めた。玄米を粉碎した後、NCアナライザー（SUMIGRAPH NC-22F、住化分析センター）による乾式燃焼法で窒素含有率を測定し、変換係数5.95を乗じて玄米タンパク質含有率を算出した。

稲体の養分吸収量を算出するため、代表株3株を除いた17株の中から、穂数が中庸な3株を刈取り、分析用サンプルとした。同サンプルを穂軸から穂とわらに分離したのち、75℃で72時間以上通風乾燥させ、乾物率を算出した。各サンプルの養分含有率を「土壤機

第1表 供試ほ場の品種と管理方法の推移

年次	1976～1998	1999～2000	2001～2006	2007～2021
連用年数	1～23	24～25	26～31	32～46
作付品種	水稻	日本晴	日本晴	コシヒカリ
	麦	二条大麦	無し	無し
わらの処理	全量持出	全量還元	全量還元	全量還元

第2表 試験区の構成と堆肥施用量 (t)

試験区	23年間 1976~1998	23年間 1999~2021	総堆肥 投入量
1 無窒素区	なし	なし	0
2 化学肥料区	なし	なし	0
3 堆肥施用区	1 (0.5×2回)	0.5 (0.5×1回)	35
4 堆肥多量区	3 (1.5×2回)	1.5 (1.5×1回)	104
5 冬期休閑区 →堆肥のみ区	なし	3 (3×1回)	69

堆肥施用区と堆肥多量区では、稲わら牛糞堆肥を施用

堆肥のみ区 (1999年以降) では、牛糞パーク堆肥3 tに加え、ミネラルGを100 kg/10a 施用

第3表 供試ほ場 (91号田) の化学肥料施用量 (kg/10a) の推移

試験区	成分 (kg/10a)	品種 年度	日本晴 (1976~2000)			コシヒカリ (2001~2006)		ひとめぼれ (2007~2021)	
			1976~1982	1983~1986	1987~1998	1999~2000	2001~2004	2005~2008	2009~2021
無窒素区	P ₂ O ₅	基肥		8			6		
		基肥		3			3		
		穂肥		6			3		
化学肥料区	N	基肥	8~12	3	3	2		2.5	
		穂肥		5~7	6	3		3	
	P ₂ O ₅	基肥		8			6		
		基肥		3			3		
	K ₂ O	基肥		6			3		
		穂肥							
堆肥施用区	N	基肥	8~12	3	3	1	2	1	
		穂肥		5~7	6	3	3	3	
	P ₂ O ₅	基肥		8			6		
		基肥		3			3		
	K ₂ O	基肥		6			3		
		穂肥							
堆肥多量区	N	基肥	8~12	3	0	1	2	1	
		穂肥		5~7	6	2	3	3	
	P ₂ O ₅	基肥		8			6		
		基肥		3			3		
	K ₂ O	基肥		6			3		
		穂肥							
冬期休閑区 →堆肥のみ区	N	基肥	8~12	3	3				
		穂肥		5~7	6		0		
	P ₂ O ₅	基肥		8			0		
		基肥		3			0		
	K ₂ O	基肥		6			0		
		穂肥							

化学肥料は、窒素として硫酸、リン酸としてよう燐、カリとして塩化カリを用い、品種や生育に応じて施用量を調整した。上記の他に、第2表のとおり堆肥施用区、堆肥多量区では稲わら牛糞堆肥を施用、堆肥のみ区 (1999年以降) では、牛糞パーク堆肥およびミネラルGを100 kg/10a 施用

能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析」(財団法人 日本土壌協会, 2001) に記載された手法に従って分析した。わらの養分吸収量は、収量調査のわら重に乾物率とわらの養分含有率を乗じ、穂の養分吸収量は、収量調査の粗粒重に乾物率と穂の養分含有率を乗じて算出した。わらと穂の養分吸収量を加えて、稲全体の養分吸収量とした。

土壌の化学性については、水稻を収穫した後、耕起前に各調査区の5カ所から地表下0~15cmの作土を採取し、「土壌環境分析法」(土壌環境分析法編集委員会, 1997) に記載された手法に従って分析した。

気象データは、農研機構メッシュ農業気象データ(大野ら, 2016) に、供試ほ場の緯度、経度を入力して取

得した。

4 統計処理

データ解析は、統計ソフト JMP5.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) を用いた。各試験区について、一元配置分散分析で平均値を比較し、5%水準で有意であった項目については、Tukey-Kramer のHSD法によって多重検定を行った。2変数の関係にはノンパラメトリック検定を適用し、スピアマンの順位相関係数を求めた。

結果

第4表 供試堆肥の成分

種 類	水分 (%)	pH (1:10)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	SiO ₂ (%)
稲わら牛糞堆肥	65.9	9.0	29.6	1.9	15.5	1.0	3.9	2.5	0.74	25.2
(±標準偏差)	10.3	0.2	3.0	0.12	1.8	0.19	0.90	0.50	0.18	5.1
牛糞パーク堆肥	69.1	8.4	42.7	1.9	23.2	0.78	2.3	2.3	0.59	6.5
(±標準偏差)	1.7	0.3	1.0	0.19	2.4	0.12	0.60	0.49	0.14	0.95

直近10年(2012~2021年)に供試した堆肥の平均値

pHは堆肥:水の重量比1:10で計測

T-C、T-N、P、K、Ca、Mg、SiO₂は乾物当り%

稲わら牛糞堆肥は堆肥施用区と堆肥多量区に供試、牛糞パーク堆肥は堆肥のみ区に供試

1 供試堆肥の成分

本試験で供試した堆肥の成分について、直近10年間の平均値を第4表に示す。稲わら牛糞堆肥はケイ酸含有率(SiO₂)が25.2%と高く、牛糞パーク堆肥は全炭素含有率(T-C)が42.7%と高かった。

2 土壤養分の推移

(1) 腐植、全窒素および塩基置換容量(CEC)

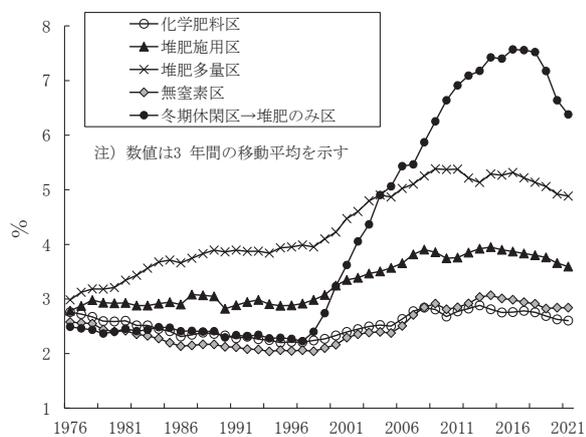
試験期間中の腐植、全窒素、CECの推移を第1図、第2図および第3図に示す。各項目とも、わらを持ち出した試験開始年から1998年までは、無窒素区、化学肥料区および冬期休閑区では減少したのに対し、堆肥施用区では増加後一定レベルを維持し、堆肥多量区では増加した。稲わら全量還元を開始した1999年からはいずれの区においても増加傾向となったが、2008年以降はそれぞれの水準を維持した。また、1999年から牛糞パーク堆肥を施用した堆肥のみ区では、連用開始直後から腐植、全窒素およびCECが急増して最も高くなったが、2015年以降は減少した。いずれの項

目も、2010年頃から試験終了年には堆肥のみ区、堆肥多量区、堆肥施用区の順となり、化学肥料区、無窒素区より高く推移した。

(2) 交換性塩基

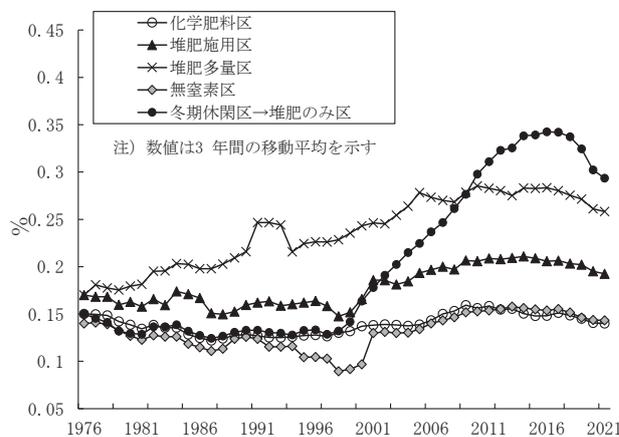
交換性塩基の推移を第4図に示す。土壤中交換性カルシウムおよびマグネシウムは、わらを持ち出した1998年までの期間は、すべての区で増加した後、堆肥多量区で高い水準を維持した。堆肥施用区は、連用11年目をピークにやや減少したが、化学肥料区より常に高い水準を維持した。稲わら還元を開始した1999年からは、牛糞パーク堆肥の施用を開始した堆肥のみ区で急激に増加し、その他の区ではそれぞれの水準を維持した。土壤中交換性カリウムは、試験開始当初から堆肥多量区で高く推移し、堆肥施用区は化学肥料区より高い水準で推移した。1999年以降、堆肥のみ区は急増し、その後横ばい傾向となったため、試験終了年は堆肥多量区、堆肥のみ区、堆肥施用区の順となり、化学肥料区、無窒素区より高かった。

(3) 可給態養分(リン酸、ケイ酸、窒素)



第1図 堆肥連用による腐植の推移

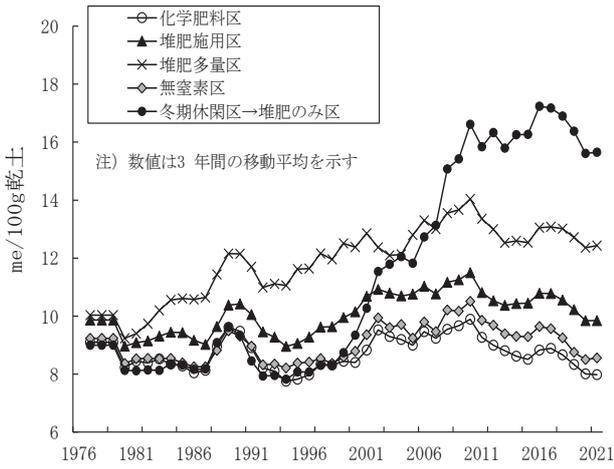
乾式燃焼法で全炭素を測定し、全炭素に1.724を乗じて腐植とした



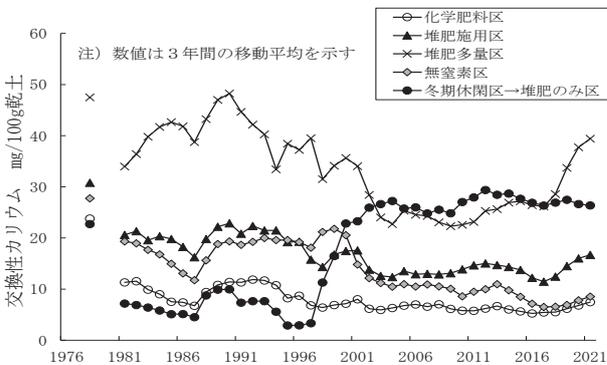
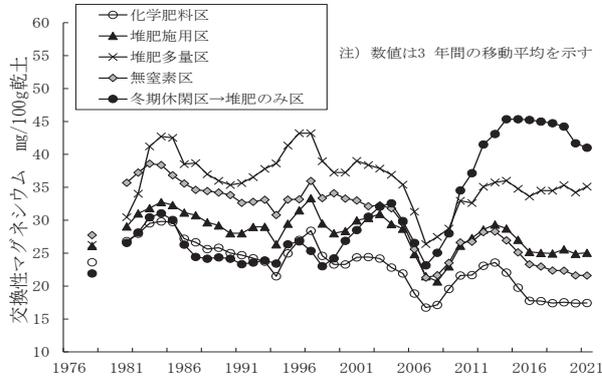
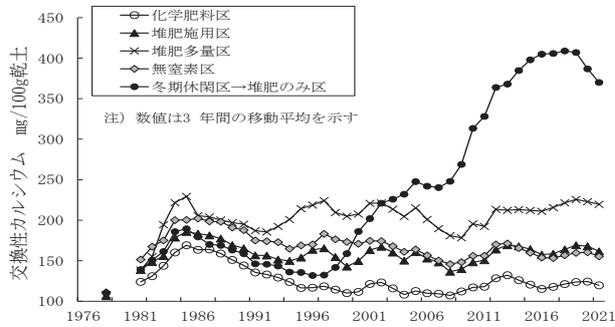
第2図 堆肥連用による全窒素の推移

乾式燃焼法で測定

水田における堆肥連用が土壤化学性と水稻収量に与える影響

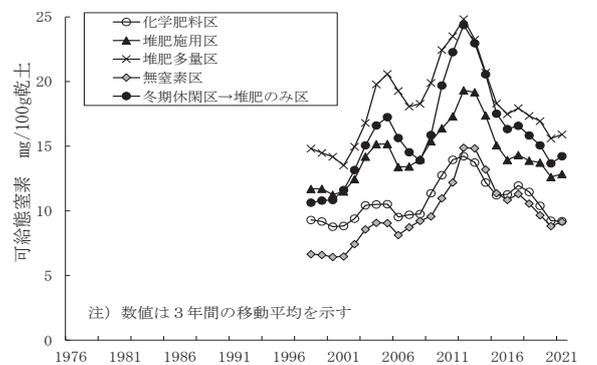
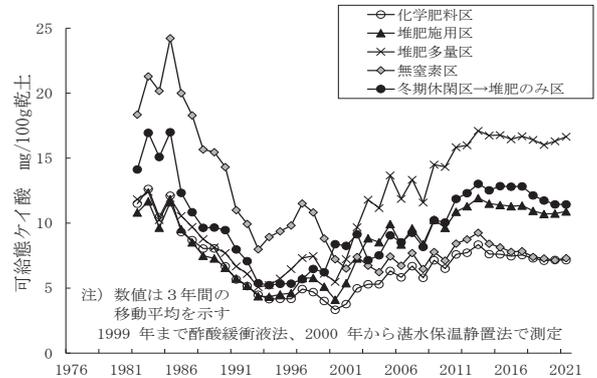
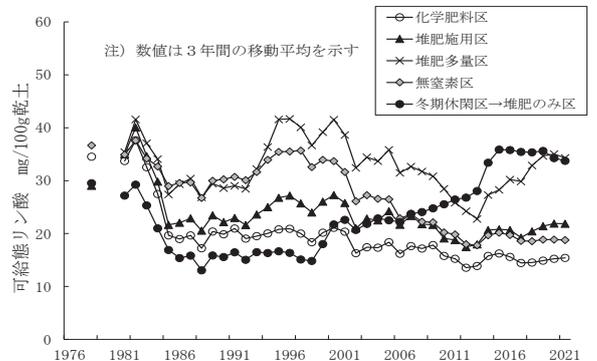


第3図 塩基置換容量 (CEC) の推移

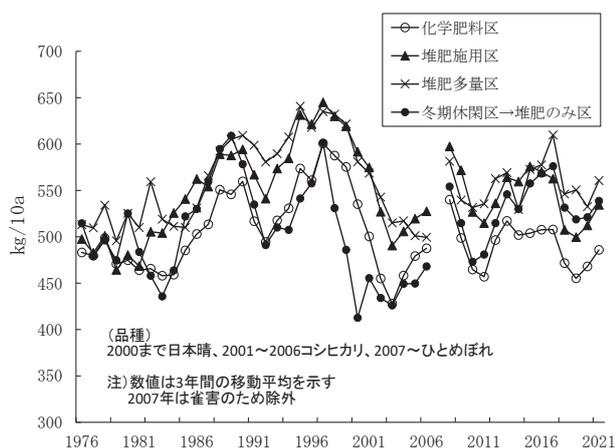


第4図 交換性塩基の推移

可給態養分の推移を第5図に示す。可給態リン酸は、堆肥多量区では試験開始年の水準を維持したが、その他の区は減少傾向となった後、それぞれの水準を維持した。堆肥のみ区は、牛糞バーク堆肥の連用を開始した1999年以降に増加し、2015年には最も高くなり、その後も高い水準を維持した。試験終了年は、堆肥多量区と堆肥のみ区で高く、次いで堆肥施用区の順となり、化学肥料区、無窒素区より高かった。可給態ケイ酸は、試験開始から1999年までは酢酸緩衝液法により、2000年からは湛水保温静置法により測定した。試験終了年は、堆肥多量区で最も高く、次いで堆肥のみ区と堆肥施用区となり、化学肥料区、無窒素区より高かった。酢酸緩衝液法により測定していた期間は、無窒素区で最も高く推移したが、湛水静置法によ



第5図 可給態養分の推移



第6図 収量の推移

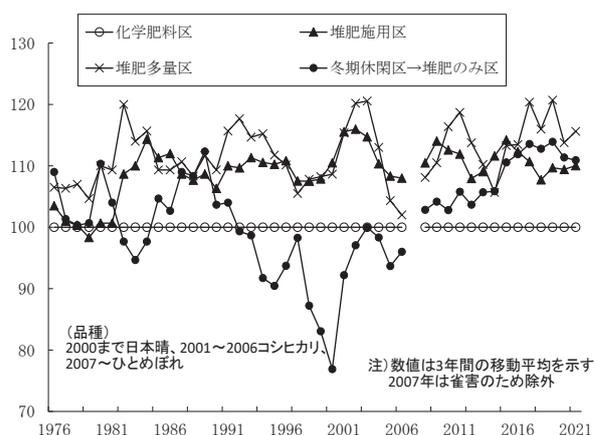
り測定した期間は、稲わら牛糞堆肥を施用した堆肥多量区で最も高く推移した。可給態窒素は、稲わら全量還元を開始した1999年から全区で増加傾向であったが、2012年以降は減少傾向に転じた。堆肥を施用した区では、化学肥料区、無窒素区より高く推移した。

3 水稻の収量、品質への影響

収量および収量指数の推移を第6図、第7図に示す。水稻収量は、堆肥多量区では試験開始後間もなくから、堆肥施用区では6年目以降に化学肥料区よりも多収の傾向を示し、年次変動はあるものの毎年1割程度の増収を継続した。堆肥のみ区は、初めて牛糞パーク堆肥を施用した1999年は無窒素区並の低収であったが、その後増収傾向となり、連用4年目には化学肥料区よりも多収となった。その後は年次差があるものの、連用から10年以降は化学肥料区よりも多収を維持した。

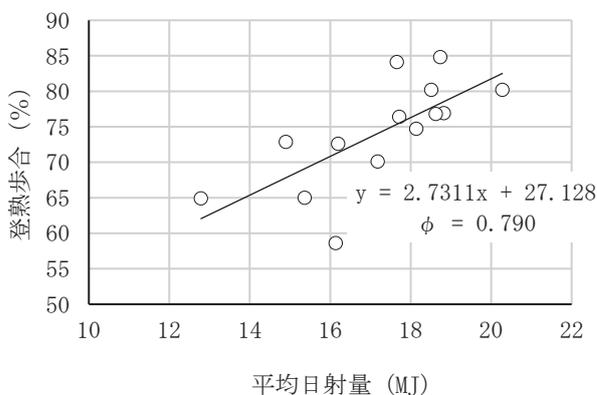
2008年以降、土壌養分が概ね平衡状態に達した条件で栽培した「ひとめぼれ」について、各区の収量、収量構成要素および品質に関する各年平均値を第5表に示す。収量は、堆肥施用区および堆肥多量区は化学肥料区と比較して有意に高く、堆肥のみ区は高い傾向となった。籾数は、堆肥多量区で最も多く、次いで堆肥のみ区と堆肥施用区となり、いずれの区も化学肥料区よりも有意に多かった。千粒重は、堆肥施用区は化学肥料区と比較して有意差はなかったが、堆肥多量区、堆肥のみ区では有意に低かった。登熟歩合は、堆肥施用区、堆肥のみ区は化学肥料区と比較して有意差はなかったが、堆肥多量区では有意に低かった。玄米タンパク質含有率は、無窒素区以外では有意差はなく、検査等級はいずれの区でも有意差はなかった。

それぞれの区において、気象条件と収量および収量



第7図 収量指数の推移

構成要素の相関関係を確認したところ、出穂から収穫期にあたる7月26日から9月5日の平均日射量と登熟歩合との間に、堆肥多量区では0.1%水準で相関関係が見られた(第8図)。同期間の積算日照時間と登熟歩合については、堆肥多量区について1%水準で相関関係が見られた。しかし、平均気温については、いずれの期間においても、収量および収量構成要素との相関関係は認められなかった(データ省略)。



第8図 堆肥多量区における平均日射量と登熟歩合の関係

4 養分吸収量と収量構成要素との関係

前述の「ひとめぼれ」について、各区の養分吸収量の各年平均値を第6表に示す。窒素吸収量は、堆肥多量区、堆肥施用区の順に高い傾向があり、これらと比べて化学肥料区は有意に低かった。リン吸収量は、堆肥多量区で最も高く、化学肥料区との間に有意差が認められたが、堆肥施用区、堆肥のみ区と化学肥料区との間には有意差はなかった。カリウム吸収量は、堆肥多量区で最も高く、次いで堆肥のみ区と堆肥施用区と

水田における堆肥連用が土壌化学性と水稻収量に与える影響

第5表 堆肥連用が「ひとめぼれ」の収量品質に及ぼす影響 (2008年～2021年)

調査項目	無窒素区	化学肥料区	堆肥施用区	堆肥多量区	堆肥のみ区
収量 ^{注1)}	384.7 ^c	491.7 ^b	545.9 ^a	556.0 ^a	530.8 ^{ab}
穂数	256.5 ^d	306.9 ^c	339.5 ^{bc}	391.4 ^a	543.3 ^b
籾数 (×100/m ²)	189.0 ^d	229.4 ^c	277.0 ^b	333.9 ^a	283.0 ^b
千粒重 ^{注1)}	22.7 ^b	23.9 ^a	23.3 ^{ab}	22.4 ^b	22.5 ^b
登熟歩合 ^{注1)}	86.6 ^a	85.9 ^a	82.2 ^a	74.2 ^b	81.4 ^a
玄米タンパク質含有率 ^{注1)}	6.34 ^c	6.94 ^{ab}	7.13 ^a	7.28 ^a	6.57 ^{bc}
検査等級	1.67 ^a	1.54 ^a	1.58 ^a	1.83 ^a	1.58 ^a

年次を反復として、一元配置分散分析で平均値を比較

それぞれの項目について、異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり (Tukey法)

注1) 1.85mm以上、収量(精玄米重)、千粒重、玄米タンパク質含有率は水分14.5%に補正

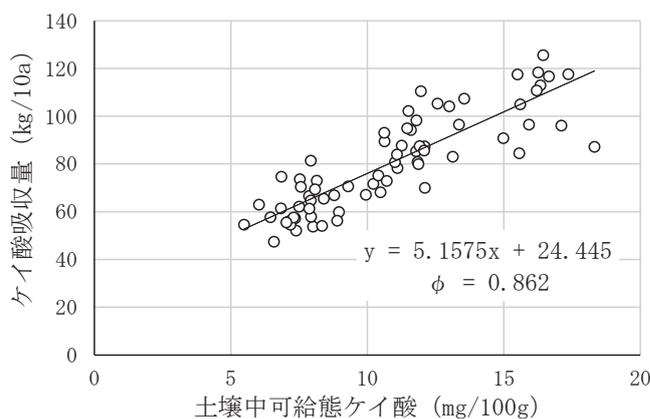
第6表 堆肥連用が「ひとめぼれ」の養分吸収量に及ぼす影響 (2008年～2021年)

養分吸収量(kg/10a)	無窒素区	化学肥料区	堆肥施用区	堆肥多量区	堆肥のみ区
窒素吸収量	6.71 ^d	9.19 ^c	10.7 ^{ab}	12.0 ^a	9.64 ^{bc}
リン吸収量	1.87 ^c	2.39 ^b	2.59 ^{ab}	2.75 ^a	2.33 ^b
カリウム吸収量	8.72 ^d	11.0 ^c	14.2 ^b	17.8 ^a	14.3 ^b
カルシウム吸収量	1.74 ^b	2.05 ^{ab}	2.06 ^a	2.07 ^a	2.19 ^a
マグネシウム吸収量	0.98 ^b	1.18 ^a	1.27 ^a	1.35 ^a	1.29 ^a
ケイ酸吸収量	62.3 ^c	60.2 ^c	80.2 ^b	104.6 ^a	94.0 ^a

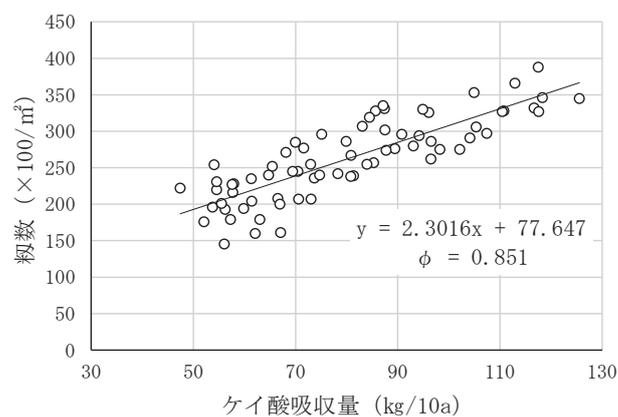
年次を反復として、一元配置分散分析で平均値を比較

それぞれの項目について、異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり (Tukey法)

いずれも乾物換算し、わらと穂の含有率に乾物重を乗じて算出した



第9図 土壌中可給態ケイ酸と稲体のケイ酸吸収量の関係



第10図 籾数と稲体のケイ酸吸収量の関係

なり、これらと比べて化学肥料区は有意に低かった。カルシウム吸収量とマグネシウム吸収量は、堆肥を施用した各区と化学肥料区との間に有意差は認められなかった。ケイ酸吸収量は、堆肥多量区、堆肥のみ区で有意に高く、次に堆肥施用区が高く、これらと比べて化学肥料区は有意に低かった。

土壌中養分と稲体の各養分吸収量の関係を見ると、窒素、カリウム、ケイ酸について0.1%水準、リン、マグネシウムについて5%水準で正の相関関係が認められ、中でも土壌中可給態ケイ酸と稲体のケイ酸吸収量の相関係数は0.862と高かった(第9図)。また、各養分吸収量と収量構成要素については、いずれの養分

も収量及び籾数と 0.1%水準で正の相関関係が認められ、中でも、籾数とケイ酸吸収量の相関係数が 0.851、籾数とカリウム吸収量の相関係数が 0.888 と高かった(第 10 図)。

考 察

本試験において、土壌中の腐植や全窒素は稲わら還元により維持され、加えて堆肥を施用すると、施用量に応じて高まることが明らかとなった。しかし、連用を継続していくと増加量は停滞し、稲わら牛糞堆肥では連用 33 年頃、牛糞バーク堆肥では連用 16 年頃に平衡状態に達したことが推察される。有機物連用の場合の炭素集積率、毎年の窒素放出率の内田の式による予測値によると、炭素集積率は稲わら堆肥に比べてバーク堆肥で高く推移すること、10 年目では毎年施用する堆肥中窒素の約 50%、20 年後では約 70%、50 年後では約 90%が放出されることが示されている(志賀, 1984)。また、施用する有機物の種類や量の違いにより平衡に達する土壌全炭素含量が異なることが知られる(加藤, 2003)。本試験では、牛糞バーク堆肥の連用を始めた時期は稲わら牛糞堆肥より遅かったが、全炭素含量が高いことに加え、施用量が多かったため、短期間で腐植が増加したものと考えられる。

土壌中の養分については、当初の養分量に関わらず、堆肥無施用で栽培を継続すると、一定濃度まで徐々に低下するが、堆肥を連用すると、その量に応じて高まる傾向にあることが明らかとなった。また、交換性カルシウムについては、堆肥のみ区で他の区より高く推移しているが、これは、堆肥から供給されるカルシウムに加えて、堆肥のみ区にのみ施用したミネラルGも影響したことがうかがえる。一方で、可給態ケイ酸については堆肥多量区で最も高く推移したが、これは、牛糞バーク堆肥に比べて、稲わら牛糞堆肥のケイ酸含有率が高いためと考えられる。

これらの土壌中養分の蓄積により、堆肥を施用した各区では、稲体の養分吸収量も多い傾向となったが、カルシウム吸収量およびマグネシウム吸収量は、堆肥を施用した各区と化学肥料区との間に有意差は認められなかった。一般に CaO、MgO は土壌中に多量に存在しても吸収に差が出にくいとされており、栃木県の灰色低地土水田における有機物連用試験においても、同様の報告がされている(小林ら, 2007)。

収量については、稲わら牛糞堆肥 0.5 t の施用では

6 年目から、1.5 t では初年度、牛糞バーク堆肥 3 t の施用では 4 年目から増収効果が確認され、年次変動はあるものの毎年 1 割程度の増収が継続した。窒素については、過繁茂を回避するため、堆肥施用区では連用 26 年後、堆肥多量区では連用 12 年後から基肥を削減したが、その条件下でも増収効果は継続した。しかし、愛知県の洪積土壌で報告された堆肥連用効果が年次経過につれ増加する(籾井・井澤, 2007)現象は認められなかった。これは、土壌条件や施用量、供試品種の違いによるものと推察される。

気象条件については、収量と 7-8 月の平均気温および 8-9 月の日照時間との間に強い正の相関があると報告されている(望月ら, 2006)。本試験では、気温と収量の関係については判然としなかったが、登熟期の日射量および日照時間と堆肥多量区の登熟歩合に相関関係が認められた。この区は籾数が多いため、登熟を進めるためには日照条件が重要となる。梅本ら(1999)も、堆肥の連用により、籾数が増加して収量が増加する半面、登熟期が低温・寡日照年の場合は登熟に不利な条件となると報告している。このような気象条件の場合、高品質米を安定的に生産する観点からは、更なる施肥削減や堆肥の中断などの対処が必要となる。なお、堆肥連用を停止した場合、2 年間(4 作)の T-C 含量の減少率は、稲わら堆肥の連用を開始後、土壌が平衡に達するまでの 1 作あたりの平均増加率の 1/2~1/3 で、減少率の方が小さい(加藤, 2003)ことから、短期的な堆肥施用の中断により地力が低下する可能性は低いと考えられる。

土壌中の可給態ケイ酸と稲体のケイ酸吸収量には正の相関関係が認められ、稲体のケイ酸吸収量と収量、籾数にも正の相関関係が認められた。これまでに、ケイ酸質肥料の施用により、追肥窒素利用率が高まり、窒素吸収量が多くなることで総籾数が向上し、また光合成活性が高く維持されることで収量が向上することが報告されている(森・藤井, 2009)。本試験ではケイ酸質肥料は施用していないが、稲わら還元に加えて、堆肥からケイ酸が供給された区において、同様の効果があったことが推察される。

以上のことから、水稻へ稲わら牛糞堆肥を利用する場合、効果の発現まで年数を要するものの、堆肥施用区と同様に 0.5 t 程度を連年施用する方法が望ましい。短期的に地力を高める場合は、堆肥多量区と同様に 1.5 t 程度の施用を数年継続し、以降 0.5 t 程度を連用する方法が良いと考えられる。なお、窒素肥料に

については、堆肥 1.5 t 施用では、品種や地力によっては連用当初から減肥する必要があるが、0.5 t 程度の連用では直ちに過繁茂や倒伏等が問題となる可能性は低い。一方、堆肥に含まれるリン酸およびカリの大部分は作物が直ちに利用できる形態で存在しており、リン酸の代替量は 80%、カリの代替量は 90% であると推定される（渡辺，2007）。本試験で供試した稲わら牛糞堆肥の場合、0.5 t 施用では、リン 1.4 kg/10a、カリ 6 kg/10a、また、1.5 t 施用ではその 3 倍が供給されるため、リン、カリ肥料の削減や L 型肥料（低 PK）の利用により、肥料代を低減することが可能となる。

本試験では、稲わら牛糞堆肥と牛糞バーク堆肥を使用してきたが、近年稲わら牛糞堆肥の製造は減少し、牛糞バーク堆肥など木質を副資材に使用した堆肥が増加している。しかし、本試験では牛糞バーク堆肥と化学肥料と併用した試験区を設置していない。このため、稲わら牛糞堆肥を牛糞バーク堆肥に置き換えた時に同様の効果が得られるのか検証する必要がある。また、労力軽減や効率的な作業体系の観点からも効果的な施用方法を確立する必要があり、エリアを分けて数年に一度ローテーション散布したり、可給態ケイ酸の低いほ場に優先的にケイ酸資材を施用したりするなど、実現可能な方法で土づくりを行うことも望まれる。地域ぐるみで畜産農家と耕種農家の連携が進めば、輸送コストや袋詰め作業の削減につながり、堆肥をより身近に利用することが可能となるため、これらの取組を推進することも重要であると考えられる。

摘 要

県内に広く分布する河成沖積の礫質土壤水田において、稲わら牛糞堆肥 46 年、牛糞バーク堆肥 24 年の施用が、土壤化学性や水稻の収量に与える影響を調査した。堆肥の連用により、腐植や CEC、交換性塩基や可給態養分は、施用量や成分量に応じて高まることが認められた。収量については、稲わら牛糞堆肥を連用すると、0.5 t/10a/年では 6 年目、1.5 t/10a/年では初年目から、化学肥料区より 1 割程度高く推移したが、1.5 t/10a を連用した区では籾数過多となり、千粒重と登熟歩合が低下した。以上のことから、地力の維持および収量の安定化を図るためには、0.5 t/10a 程度の堆肥を連年施用する方法が望ましく、短期的に地力を高める場合は、1.5 t/10a 程度を数年継続し、以降 0.5 t 程度を連用する方法が良いと考えられる。

引用文献

- 土壤環境分析法編集委員会. 1997. 第 V 章 土壤化学. 土壤環境分析法 編集委員会編. 土壤環境分析法. 博友社. 東京. 195-278.
- 加藤保. 2003. 有機物施用を中心とした土壤管理による土壤への炭素蓄積—愛知県における調査成績から—. 土肥誌. 74: 99-104.
- 小林靖夫・鈴木聡・渡邊修孝・吉沢崇・植木与四郎・鈴木智久・金田晋平. 2007. 栃木県の二毛作水田における有機物連用が土壤および作物生育に及ぼす影響. 栃木農試研報. 59: 11-23.
- 久保喜昭・福田和正. 1990. 有機物連用水田における土壤窒素発現が水稻の生育収量に及ぼす影響. 山口農試研報. 42: 20-27.
- 望月証・青山喜典・津高壽和. 2006. 気象要因が堆肥連用水田の水稻収量に及ぼす影響. 兵庫農技総研報（農業）. 54: 1-8.
- 初井隆志・井澤敏彦. 2007. 77 年間継続した四要素無施用区と堆肥施用区にみられる水稻玄米収量の経年推移と各要素の施用効果. 日作紀. 76: 288-294.
- 森静香・藤井弘志. 2009. 水稻におけるケイ酸資材の幼穂形成期施用の有効性. 土肥誌. 80: 136-142
- 大野宏之・佐々木華織・大原源二・中園江. 2016. 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象. 16: 71-79.
- 志賀一一. 1984. 水田の有機物施用基準について. 土肥誌. 55: 374-380
- 住居丈嗣・徳永哲夫. 2009. 水稻の堆肥連用栽培における化学肥料の削減. 山口農試研報. 57: 43-49.
- 梅本英之・宮川修・島田義明・塩口直樹. 1999. 有機物連用圃場における水稻の変動要因の解析. 石川農研研報. 22: 27-33.
- 渡辺卓弘. 2007. 山口県で生産される堆肥の肥料成分的特徴およびその代替量の推定方法. 山口農試研報. 56: 100-108.
- 財団法人 日本土壤協会. 2000. II 成分分析法. 堆肥等有機物分析法. 大雄社. 東京. 18-171.
- 財団法人 日本土壤協会. 2001. III 作物体分析法. 土壤機能モニタリング調査のための土壤、水質及び植物体分析法. 大雄社. 東京. 245-266.

山口県農林総合技術センター研究報告投稿規程

平成 21 年 6 月 1 日制定

平成 25 年 2 月 1 日改正

平成 26 年 7 月 16 日改正

令和元年 7 月 8 日改正

令和 4 年 6 月 16 日改正

1 目 的

山口県農林総合技術センター研究報告（以下「研究報告」という。）および山口県農林総合技術センター特別研究報告（以下「特別研究報告」という。）に係る投稿の取り扱いについては、この規程に定めるところによる。

2 著 者

(1) 著者は、山口県農林総合技術センターの研究職員または当センターの研究職員であった者に限る。ただし、前記以外の者であっても共同研究者を著者に含むことは差しつかえない。

(2) 著者として掲載されるためには、日本学術振興会「科学の健全な発展のために」の中で例示された四つの基準を満たさなければならない。

ア 研究の構想・デザインや、データの取得・分析・解釈に実質的に寄与していること。

イ 論文の草稿執筆や重要な専門的内容について重要な校閲を行っていること。

ウ 出版原稿の最終版を承認していること。

エ 論文の任意の箇所の正確性や誠実さについて疑義が指摘された際、調査が適正に行われ疑義が解決されることを保証するため、研究のあらゆる側面について説明できることに同意していること。

3 論 文

(1) 著者は「研究活動における不正行為への対応等に関するガイドライン（文部科学省平成 26 年 8 月 26 日）」の主旨をよく理解し、公正な研究活動で得られた研究成果を研究報告に取りまとめるものとする。

(2) 研究報告に投稿できる論文は、山口県農林総合技術センター試験研究評価実施要領に規定する中間内部評価または事後内部評価において成果の取り扱いを研究報告とされた課題（以下「研究報告課題」という。）および受託試験事業で受託した課題（以下「受託課題」という。）についてとりまとめた報文または短報とする。論文は未発表のものに限り、2重投稿は厳に禁止する。

ただし、学会などにおいて口頭・ポスター発表したもので、別途発表していないものはこの限りでない。

(3) 投稿できる期限は原則として、研究報告課題については評価を受けた年度の翌々年度、受託課題については課題が終了した年度の翌々年度までとする。

(4) 短報は、報文にまとめ得ないが速やかに発表すべき内容を持つもので、分割報告の形式はとらない。研究が完成した場合の再掲載は妨げない。

(5) 特別研究報告に投稿できる論文は、完了した試験研究課題の成果を総合的にとりまとめた報文一編で博士論文相当のものとする。

4 原稿の作成及び提出

- (1) 研究報告に投稿する論文は、別途定める作成要領に基づいて作成するものとする。その論文のページ数は、図表を含め原則として原稿 10 ページ以内とし、短報は 2 ページとする。
- (2) 研究報告に投稿する論文は、担当編集委員の校閲を受けた上で、編集委員会で定めた日までに編集委員会事務局に提出しなければならない。
- (3) 特別研究報告に投稿する論文は、別途定める作成要領に基づいて作成するものとする。
- (4) 特別研究報告に投稿する論文は、随時編集委員会事務局へ提出できる。

5 投稿された論文の掲載採否及び順位

- (1) 研究報告は、編集委員会において投稿された論文の掲載採否及び順位の案を作成し、農林総合技術センター所長（以下「所長」という）が決する。
- (2) 特別研究報告は、編集委員会において投稿された論文の採否の案を作成し、所長が決する。

6 校正及び印刷

- (1) 研究報告または特別研究報告に投稿された論文は、編集委員会が必要と認めた場合、著者に原稿または図・表の校正を要求し、あるいは説明を求めることができる。
- (2) 研究報告または特別研究報告に投稿された論文の著者による校正は原則として初校のみとし、文章、図・表の変更や追加は原則として認めない。
- (3) 研究報告に投稿された論文は、編集委員会でその内容に基づき報文と短報の区分替えを行うことができる。

7 その他

この規程に定めるもののほか、研究報告および特別研究報告について必要な事項は編集委員会で別に定める。

附則

- 1 平成 25 年 2 月 1 日改正は平成 25 年 4 月 1 日から施行する。
- 2 平成 25 年 7 月 16 日改正は平成 26 年 8 月 1 日から施行する。
- 3 令和元年 7 月 8 日改正は令和元年 8 月 1 日から施行する。
- 4 令和 4 年 6 月 16 日改正は令和 4 年 7 月 1 日から施行する。

山口県農林総合技術センター研究報告編集委員会
Editorial Board

編集委員長
Editor in Chief

品川 吉延
SHINAGAWA Yoshinobu

編集委員
Editors

高光 尚
TAKAMITSU Hisashi

白石 一剛
SHIRAIISHI Kazuyoshi

金子 和彦
KANEKO Kazuhiko

中川 浩二
NAKAGAWA Koji

増富 義治
MASUTOMI Yoshiharu

村上 正徳
MURAKAMI Masanori

大谷 研文
OHTANI Akifumi

秋友 一郎
AKITOMO Ichiro

田戸 裕之
TADO Hiroyuki

山口県農林総合技術センター研究報告
第 14 号

発行日 令和5年（2023年）3月

発行 山口県農林総合技術センター
〒753-0231 山口県山口市大内氷上一丁目1番1号
TEL 083-927-0211 FAX 083-927-0214

BULLETIN OF THE YAMAGUCHI PREFECTURAL
AGRICULTURE & FORESTRY GENERAL TECHNOLOGY CENTER
No.14

CONTENTS

1401	Effect of packaging materials, pre-cooling, and harvest month on the quality of Yamaguchi Prefecture strawberry "Kaorino" after long-distance transportation MURATA Syouhei	1
1402	Controlled-Release Fertilizer for Bread Wheat at Sowing to Skip Topdressing with Regular Nitrogenous Fertilizers JINNOUCHI Teruhisa, MURATA Motoharu and ARIYOSHI Machiko	10
1403	Yield Prediction for ‘Hanakkori’ Using Agro-Meteorological Grid Square Data System SHIGEFUJI Yuuji, IBARAKI Yasuomi, FUJII Kouei and USAGAWA Megumi	20
1404	Bagging of new Japanese pear variety ‘Kanta’ to improve appearance OKAZAKI Hitoshi, OSAKI Miyuki, MURAKAMI Norikazu and HIDAHA Teruo	31
1405	Continuous use of compost on soil chemistry and rice yield in paddy fields ARIYOSHI Machiko, KAWANO Tatsuo and HARADA Natsuko	38