

北海道立総合研究機構農業試験場資料 第45号
Misc. Pub. of Hokkaido Agri. Exp. Stn.
No.45 p.1-123 November 2024

北海道立総合研究機構農業試験場資料 第四十五号

「無加温パイプハウスを利用した北海道における葉根菜類周年生産技術の開発」成果集

道総研上川農業試験場

北海道立総合研究機構農業試験場資料 第 45 号

Miscellaneous Publication of Hokkaido Research Organization

Agricultural Experiment Stations

No.45, November 2024

「無加温パイプハウスを利用した 北海道における葉根菜類周年生産技術の開発」成果集 The Collection of the Studies about Year-round Vegetable Production in Unheated Plastic Greenhouses in Hokkaido

令和 6 年 11 月

北海道立総合研究機構農業研究本部

上川農業試験場

Hokkaido Research Organization Agricultural Research Department

Kamikawa Agricultural Experiment Station

(Pippu, Hokkaido, 078-0397, Japan)

転載・複製について：本刊行物から転載・複製する場合は、北海道立総合研究機構農業研究本部の許可を得てください。

Reproduction of articles in this publication is not permitted without written consent from Hokkaido Research Organization Agricultural Research Department.

発刊にあたって

北海道の野菜全体の農業産出額は2,228億円（令和4年）と全国1位であるが（農林水産省「生産農業所得統計」）その生産は夏秋季に集中しており、それ以外の時期は道内の需要分すら十分に供給されているとはいえない。特に冬季（12月～2月）は道内での生産量が激減するため、生鮮野菜市場取扱量は夏秋季の約5割となり、そのうちの8割を府県産が占める。野菜は天候によって作柄が変動しやすく、近年は府県産の冬季生産が不安定になることが多いことに加え燃油代などの生産コストの増加もあって、冬場の葉菜類の価格が高騰するケースが増えている。さらに、いわゆる物流の「2024年問題」により、物流のコストや体制に影響が出ており、保存性に乏しい生鮮食品の物流体系の維持や、災害が発生した場合の物流の混乱は大きな問題となっている。このように道内で消費される野菜の安定的供給は不安定要因を多く含み、特に冬季の著しい野菜の供給不足や府県依存状態の解消は、道内消費者や市場からもニーズの高い重要な課題である。

そこで、道総研農業研究本部では冬季に燃料による加温を用いない野菜類の生産技術の開発に取り組み、「無加温ハウスを利用した葉菜類の冬季生産技術」（平成30年普及推進事項）と「無加温パイプハウスを用いた野菜の周年生産技術」（令和3年普及奨励事項）を提案した。これらの技術は道内において厳冬期に暖房を用いず野菜類を生産することを可能にし、早春作や夏作と組み合わせ野菜を周年生産する画期的なものである。この技術は施設園芸が従来から盛んな地域に加え、畑作地帯や酪農専業地帯においても導入が進んでおり、燃料価格高騰の影響を受けにくい経営への転換と相まって道内各地で期待が高まっている。また、新たな品目の検討や病害虫対策、不耕起栽培の導入などの研究も進められており、技術の進化が期待される。

本資料では、上記二つの技術成績を中心に令和6年現在における「無加温パイプハウスにおける野菜の周年生産技術」に関する知見をまとめること、今後、関連する生産技術に取り組む研究者や生産者、農業関係者が技術開発あるいは技術導入による営農を行う際の参考とすることを目的とする。

本資料の具体的な内容を説明する。最初に第一章「葉根菜類の厳冬期無加温生産技術の開発」として燃料による加温設備を用いないパイプハウスでの、厳冬期における野菜（以下、冬野菜）生産技術の基本的な内容についてコマツナを対象に解説した後、他の品目の安定栽培技術について述べる。続く第二章「冬野菜の品質とその管理技術」では、第一章の技術で生産された冬野菜の品質、生育・養分吸収特性と栽培管理上発生が懸念される病害、虫害について得られた知見を紹介する。第三章「早春作の導入による周年生産技術の完成」では冬野菜を加えた周年生産技術を確立するため、早春への葉菜類栽培の導入、その生育・養分吸収、および周年生産技術をより省力的に行うための不耕起栽培への試みについて紹介する。最後に第四章「周年生産技術のための資材、施設とその経済性」では、道内各地で周年生産を効率よく行うための資材、必要なパイプハウス強度や装備、さらに周年生産を導入することによる収益性や経済的効果について紹介する。

これら北海道における野菜の生産技術の普及により、冬季～早春季の道産野菜の安定供給の他、生産者の所得向上、ハウスや関連施設の通年での有効活用および雇用創出による地域経済活性化への寄与や、新鮮かつ個性的な道産野菜の供給により府県産野菜への依存を減らし、道民の食生活がさらに豊かになることを期待する。

最後に、今回紹介した野菜の周年栽培技術は現在普及途中であり、新たな研究や技術開発も進められている。本技術に関しては、生産者、農業関係者の皆さまと今後さらに情報を共有し、ご不明な点、お気づきの改善すべき点についてフィードバック頂ければ、より実用的な技術へとバージョンアップが可能になる。今後とも新しく発信される技術についてご関心をお寄せ頂ければ幸いである。

令和6年11月8日

北海道立総合研究機構農業研究本部
上川農業試験場

場長 吉村 康弘

編者及び筆頭著者、および共著者(筆頭著者として名を掲載した者は除く)

編者

岡元 英樹 (酪農試験場天北支場)

古山 真一 (上川農業試験場)

筆頭著者

第一章①、第三章①、第四章①、③

地子 立 (花・野菜技術センター、現：株式会社サカタのタネ)

第一章②～⑤、第二章①

高濱 雅幹 (上川農業試験場、現：株式会社ベジロー・ジャパン)

第一章⑥

古山 真一 (上川農業試験場)

第二章②、③、第三章②、③

岡元 英樹 (酪農試験場天北支場)

第二章④

三澤 知央 (道南農業試験場)

第二章⑤

佐々木 大介 (上川農業試験場)

第四章②

下ノ菌 慧 (建築研究本部建築性能試験センター、現：厚生労働省国立保健医療科学院)

共著者

古林 直太 (中央農業試験場)

藤倉 潤治 (道南農業試験場)

大久保 進一 (花・野菜技術センター)

立松 宏一 (道総研本部)

堤 拓哉 (建築研究本部、現：北海道教育大学旭川校)

月舘 司 (元：建築研究本部北方建築総合研究所)

「無加温パイプハウスを利用した北海道における 葉根菜類周年生産技術の開発」 成果集

目 次

発刊にあたって

編者及び筆頭著者、および共著者

第一章 葉根菜類の厳冬期無加温生産技術の開発

第一節 厳冬期無加温生産技術（コマツナを用いて）	.....	1
第二節 品目選定	.....	7
第三節 リーフレタス、結球レタス	.....	12
第四節 小カブ、チンゲンサイ	.....	17
第五節 紫ミズナ、カラシナ類	.....	23
第六節 ボーレコール	.....	32

第二章 冬野菜の品質とその管理技術

第一節 冬野菜の品質	.....	39
第二節 冬野菜の生育・養分吸収特性 1. コマツナ	.....	47
第三節 冬野菜の生育・養分吸収特性 2. ボーレコール	.....	55
第四節 冬野菜の病害	.....	63
第五節 冬野菜の虫害	.....	68

第三章 早春作の導入による周年生産技術の完成

第一節 道北における早春野菜の導入	.....	75
第二節 早春野菜の生育・養分吸収特性、品質	.....	80
第三節 周年生産技術における不耕起栽培の導入の試み	.....	88

第四章 周年生産技術のための資材、施設とその経済性

第一節 無加温パイプハウスの保温性向上	.....	95
第二節 無加温パイプハウスの保温装備マップと耐雪強度マップ	.....	101
第三節 周年生産技術の経済性と総括	.....	108

要約		116
----	-------	-----

Summary		119
---------	-------	-----

第一章 葉根菜類の厳冬期無加温生産技術の開発

第一節 厳冬期無加温生産技術(コマツナを用いて)

1. はじめに

冬の寒さが厳しい北海道では多大な加温コストが必要とされる冬期間の野菜生産は導入が難しいと考えられてきた。それゆえ、北海道では冬期間に消費する野菜の大部分を道外産に依存している。2018年の札幌市中央卸売市場における葉茎菜類の取扱数量の道外割合を夏(7月～9月)と冬(1月～2月および12月)とで比較すると、夏が3.7%であったのに対して冬は67.7%であった(北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会, 2018)。このような状況では、異常気象等により道外産が不作に陥ると北海道への供給量が減少し、冬場の野菜価格が上昇する。さらに近年は原油価格の高騰による輸送費の増加が冬場の野菜価格を押し上げる傾向にある。そのため、道内の市場や小売業者からは周年供給が必要な野菜に関しては冬場であっても道内で安定生産してほしいとの要望が年々強まっている。そこで北海道立総合研究機構では暖房機を使用しない無加温パイプハウス内において12月～1月の厳冬期に葉菜類を生産する技術開発を進めることとなった。

耐寒性の高い葉菜類としてはハウレンソウやコマツナが知られており、1990年代初めには東北農業試験場(現;東北農業研究センター)においてその特性を活かした「寒締め栽培」と呼ばれる栽培方法が開発された(岡田ら, 2005)。無加温パイプハウス内で比較的温暖な秋の間に収穫可能なサイズまで生育させた後、初冬からパイプハウスの側窓を開放して植物体を人為的に外気にさらすことにより糖含量や栄養価を高める栽培方法で、現在では平取町、北見市、名寄市、旭川市など、北海道の各地でハウレンソウの寒締め栽培が行われている。一方、コマツナの耐寒性はハウレンソウよりも低いと報告されており(濱寄ら, 2005)、北海道内ではコマツナの寒締め栽培の導入は一部の地域に限られた状況にある。そこで本研究では、北海道北部の積雪地域でのハウレンソウ以外の葉菜類の厳冬期生産を目標に、植物体を外気にさらす寒締め処理は行わずに、低温時の夜間は農業用資材の被覆処理を行うことで植物体を保温し、12月～1月の厳冬期にコ

マツナ (*Brassica rapa* L. *Perviridis* Group) を収穫する栽培方法について検討したので報告する。

2. 試験方法

1. 栽培条件と管理

3か年の試験はすべて上川農業試験場(上川郡比布町;以下,上川農試)の無加温パイプハウス内で実施した。本試験に用いたパイプハウスの保温装備を図1-1-1にまとめた。保温性を向上させるため本研究では外張りの天井に空気膜二重構造のフィルムを採用した。

コマツナの品種には「陽翠」(渡辺農事(株))を供試し、直播の無マルチ栽培とした。畝間15cm, 株間5cmに設定して1cm程度の深さに2～3粒播種し、第1本葉展開時に1個体に間引きした。施肥量(kg/10a)はN:P₂O₅:K₂O=15:15:15とし、全量を耕起時に全面全層施用した。積雪までのハウス内の温度管理は外張りの側窓フィルムに設置した自動巻き上げ機で行い、ハウス内の地上20cm高の気温が25℃に達したら側窓フィルムが開くように制御した。積雪後は自動巻き上げ機の制御を停止し、側窓フィルムは閉め切り管理とした。ハウスの倒壊を防ぐためにハウス周辺部に雪が積もった場合はその都度除雪した。灌水は作土層が乾燥しない程度に11月上旬まで適宜行った。すべての試験において殺菌剤および殺虫剤の散布は行わなかった。

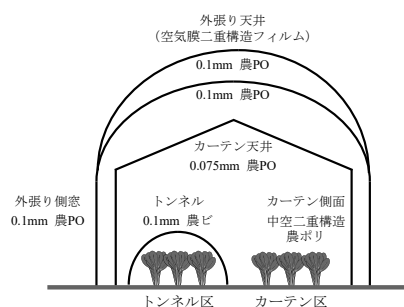


図1-1-1 無加温パイプハウスの保温装備

農PO: ポリオレフィン系特殊フィルム,

農ビ: 塩化ビニルフィルム, 農ポリ: ポリエチレンフィルム

2. 試験A(パイプハウスA;2014～2015年試験)

長さ30.0m, 幅6.0m, 軒高1.8m, 棟高3.3mのパイプハウスAを供試した。試験処理は図1-1-1に示した保温処理の2水準(トンネルの有無,以下トンネル区およびカーテン区と表記)と播種時期の3水準(2014年9月29日,10月6日,10月14日)

を組み合わせた 6 水準とした。トンネル区の支柱には高さ 0.6 m、幅 1.5 m のアーチを使用した。試験規模は 1 区 1.35 m² (幅 1.5 m×長さ 0.9 m) の 2 反復とし、保温処理を主区にした分割区法の試験配置とした。2014 年 12 月 4 日から 2015 年 2 月 24 日の夜間 (夕方 16 時から翌朝 9 時までの時間帯) は、外張りフィルムとカーテンを閉め切り、トンネルフィルムを被覆して多重被覆条件で保温した。

各処理区の中央には地上 20 cm 高の気温を測定するためにセンサー内蔵タイプの温度データロガー (おんどり Jr. RTR-51A, (株) ティアンドデイ) をそれぞれ 1 個ずつ設置し、無風条件で 1 時間ごとに記録して 2 地点 (2 反復) の 1 時間ごとの平均気温を算出した。なお、ハウスの外気温については上川農試内に設置された気象観測装置のデータを用いた。

収穫調査は保温処理 18 日後の 2014 年 12 月 22 日、保温処理 54 日後の 2015 年 1 月 27 日、保温処理 82 日後の 2015 年 2 月 24 日に実施した。各処理区から 12 株をサンプリングし、葉先枯れや葉柄の亀裂などの低温障害や病害、老化葉の発生状態を株ごとに観察して健全株率を算出した。また、健全株については調製後の最大葉長と株重を測定した。収量 (t/10 a) は株重に健全株率と栽植密度 (133, 333 個体/10 a)、ハウスの面積利用率 (75%) を乗じて算出した。さらに、処理区ごとに調製後の健全株の最外葉をポリエチレン袋に集め、フリーザーで凍結させた後、常温で解凍しながら木槌で粉砕し、得られた搾汁液の糖度 (Brix) をデジタル糖度計 (PR-101a, (株) アタゴ) で測定した。

3. 試験 B (パイプハウス B; 2015～2016 年および 2016～2017 年試験)

試験 A で用いたパイプハウス A に隣接する長さ 18.0 m、幅 6.0 m、軒高 1.6 m、棟高 3.1 m のパイプハウス B を供試した。試験 A と同じ保温資材 (図 1-1-1) を新たに準備し、2 か年にわたって使用した。試験方法や調査方法は試験 A と同様に行った。

2015～2016 年の試験では 2015 年 9 月 28 日、10 月 8 日、10 月 16 日に、2016～2017 年の試験では 2016 年 9 月 28 日、10 月 7 日、10 月 14 日にそれぞれ播種した。

外張りとカーテン、トンネルを用いた保温処理は 2015 年 12 月 17 日から 2016 年 2 月 25 日と 2016 年 11 月 10 日から 2017 年 2 月 6 日の夜間 (夕方 16 時から翌朝 9 時までの時間帯) に実施した。

2015～2016 年の収穫調査は保温処理 5 日後の 2015 年 12 月 22 日、保温処理 41 日後の 2016 年 1 月 27 日、保温処理 69 日後の 2016 年 2 月 24 日に、2016～2017 年の収穫調査は保温処理 44 日後の 2016 年 12 月 22 日、保温処理 70 日後の 2017 年 1 月 26 日にそれぞれ行った。

3. 結果および考察

1. 農業用資材の多重被覆による保温効果

本研究では、農業用資材の多重被覆条件下の保温性を評価するために、夕方 17 時～翌朝 8 時までの時間帯の処理区内の最低気温を日最低気温と定義し、同時間帯の最低外気温と比較した。なお、今回使用した温度データロガーはセンサー内蔵タイプの仕様であり、日中は日射による測定誤差が生じている可能性が高かったため、日平均気温や日最高気温に関する解析は行わなかった。

試験 A および試験 B における最低気温の推移を図 1-1-2 にまとめた。試験 A では夜間の外気温が 2015 年 2 月 4 日と翌日の 2 月 5 日にそれぞれ -25.5℃まで低下したが、その時のカーテン区の最低気温は -9.5℃、-9.8℃となり、空気膜二重構造の外張りフィルムとカーテンの利用により 15.7℃以上の保温効果が生じた (図 1-1-2, A)。さらにトンネルフィルムを追加すると保温効果はより一層向上し、トンネル区の気温は -2.8℃と -3.0℃で、カーテン区と比較して 6.7℃以上高かった。外気温と比較すると、22.5℃以上の気温差となり、空気膜二重構造の外張りフィルムとカーテン、トンネルフィルムの多重被覆処理により極めて高い保温効果が得られた。

同様な結果は試験 A と異なるサイズのパイプハウスを供試した試験 B でも確認された。すなわち、2015～2016 年試験において夜間の外気温が 2016 年 1 月 25 日に -26.2℃まで低下した時、カーテン区の最低気温は -8.1℃、トンネル区の最低気温は -2.8℃となり、外気温よりもそれぞれ 18.1℃、23.4℃高かった (図 1-1-2, B1)。また、同じパイプハウスを供試した 2 年目の試験 (2016～2017 年試験) でも、2017 年 1 月 24 日に -26.8℃まで低下した時のカーテン区の最低気温は -9.1℃、トンネル区の最低気温は -3.3℃となり外気温との差はそれぞれ 17.7℃、23.5℃となった (図 1-1-2, B2)。

以上の結果から、パイプハウスの大きさや試験年次に関わらず、夜間に農業用資材を多重被覆するだけで、暖房機を使用することなく、極めて高い保温効果が得られることが明らかとなった。

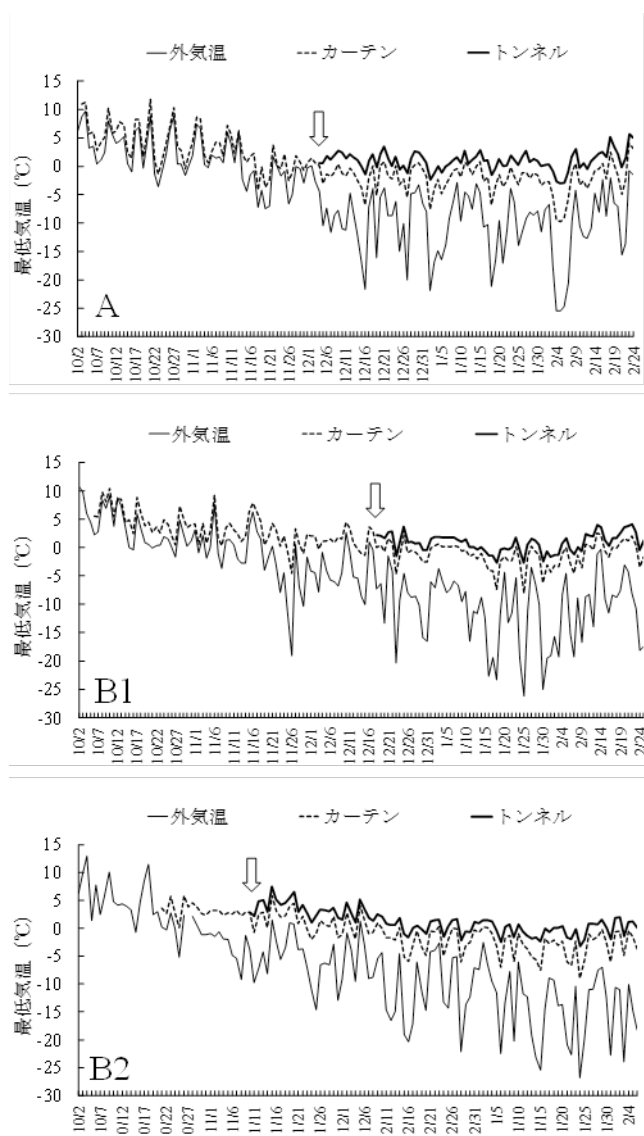


図 1-1-2 最低気温の推移

A：パイプハウス A 2014～2015 年試験、

保温期間は 2014 年 12 月 4 日から 2015 年 2 月 24 日

B1：パイプハウス B 2015～2016 年試験、

保温期間は 2015 年 12 月 17 日から 2016 年 2 月 25 日

B2：パイプハウス B 2016～2017 年試験、

保温期間は 2016 年 11 月 10 日から 2017 年 2 月 6 日

矢印は保温処理開始日を示す

空気膜二重構造フィルムの導入により保温性が高まること（岩崎ら，2011；勝山ら，2010；岡田・林，1983；漆山ら，2006）が報告されているように，農業用資材の多重被覆，もしくは多層化により温室内の保温性を向上させる研究は以前から行われてきた（小倉ら，1987；岡田，1981）。しかしながら，これまで外気温が -26.8°C から -25.5°C まで低下する極低温環境下において，暖房機で加温することなく，農業用資材を多重被覆するだけの条件で無加温パ

イプハウス内の気温を測定した事例がなかったため，本研究で確認された現象（無加温での極めて高い保温効果）に関する知見がなかった。今後はハウス内外の熱の出入りも詳細に調査し，本現象の解析を進める必要がある。

次にハウス内の最低気温と最低外気温との関係を明らかにするために各試験年次において処理区内の最低気温を目的変量，最低外気温を説明変量として単回帰分析を行った。本研究では保温処理の時期が各試験年次で異なったことから，可能な限り条件を揃えるために，3 か年で共通して処理を行った 12 月 17 日から 2 月 6 日の測定データを用いて解析を実施した。

試験 A ではカーテン区において $y=0.400x+1.815$ の一次回帰式が見出され，その寄与率は 0.903 であった。一方，トンネル区の一次回帰式は $y=0.221x+2.925$ となり，その寄与率は 0.820 であった（図 1-1-3，A）。ともに高い寄与率が得られ，回帰式への当てはまりが良好であることから，カーテン内とトンネル内の最低気温は夜間の最低外気温によって説明できることが示唆された。2つの回帰式を比較すると，トンネル区回帰式の傾きがカーテン区の傾きよりも小さいことから，トンネル区ではより温度が下がりにくいことが示され，トンネルフィルムを追加するだけで保温性が大きく向上していることが改めて確認できた。

試験 A と異なるパイプハウスを用いた試験 B においてもほぼ同様の解析結果となった。すなわち，2 か年ともにカーテン区，トンネル区においてそれぞれ 0.745 から 0.902 の高い寄与率を示す一次回帰式が得られた（図 1-1-3，B1，B2）。カーテン区とトンネル区における各試験年次の寄与率がそれぞれ安定して高いことから，試験 B においてもカーテン内とトンネル内の最低気温は夜間の最低外気温によって予測できることが示唆された。しかしながら，得られた一次回帰式が 2 か年で完全には一致しておらず，解析結果には年次間差が生じていることから，より高い精度の予測式を得るには同じ調査時期での複数年の測定値を用いて解析する必要があると考えられた。

試験 A と試験 B ではハウスの大きさや試験年次が異なったにもかかわらず，それぞれの処理区の寄与率が安定して高かった。このことから，北海道の厳冬期のような極低温環境下では，日射のない夜間の外気温とハウス内の気温との関係は複雑なもの

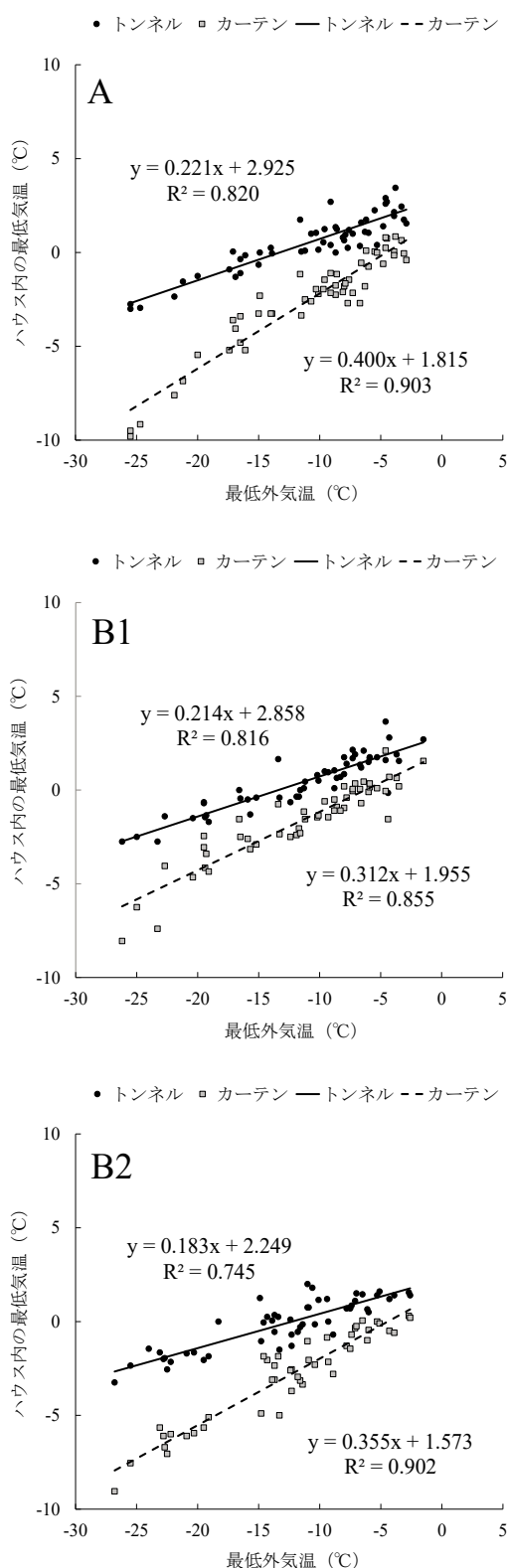


図 1-1-3 農業用資材の多重被覆により保温した
ハウス内の最低気温と最低外気温との関係
A：パイプハウス A 2014~2015 年試験
B1：パイプハウス B 2015~2016 年試験
B2：パイプハウス B 2016~2017 年試験

ではなく、夜間の最低外気温からハウス内の最低気温を予測できると考えられた。

岡田 (1981) は無加温温室の保温性を評価するためには地温の影響を考慮すべきであると指摘している。本研究ではハウス内の地上 20 cm 高の気温のみを測定したが、今後は同様の環境下で地温の測定も行い、より精度の高いハウス内最低気温の予測式の構築を目指したい。

2. 厳冬期無加温栽培でのコマツナの収量性

3 か年の試験を通して夜間の外気温が -20°C 以下となった日の朝に植物体を観察すると、明らかに植物体の表面が凍結した状態にあることが確認できた (図 1-1-4, A)。しかしながら、日中にハウス内の気温が上昇すると凍結状態から回復し (図 1-1-4, B), その後も栽培期間を通して凍結に起因する障害は発生しなかった。収穫時においても一部の調査株で老化葉の発生により健全株率が低下することはあったが (表 1-1-1, 表 1-1-3), 低温障害による健全株率の低下は確認できなかった。田村 (2002) はコマツナの耐凍性を評価し、評価前 7 日間の平均最低気温が 2°C 以下になるとコマツナの耐凍性が急激に向上することを報告している。本研究のハウス内の最低気温の推移を見ると、3 か年ともに 10 月下旬、もしくは 11 月上旬以降から 2°C 以下の低温に遭遇しており (図 1-1-2), 本研究で栽培したコマツナは収穫時には無加温パイプハウス内において十分な耐凍性を獲得していたと考えられた。

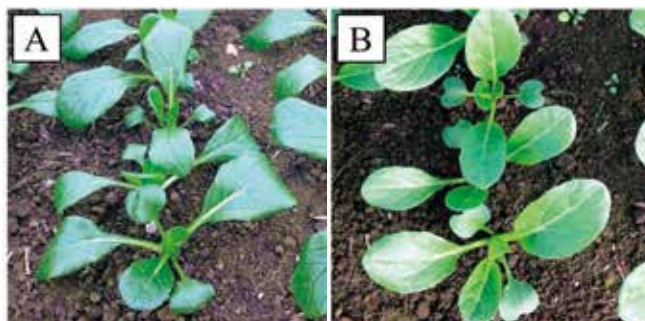


図 1-1-4 厳冬期の早朝に発生したコマツナの凍結とその後の回復
A：早朝に観察された凍結， B：その後の回復

表1-1-1 保温処理と播種期がコマツナの収量性に与える影響（パイプハウスA；2014～2015試験）

保温処理	播種期	12月22日収穫（保温処理後18日目）					1月27日収穫（保温処理後54日目）				
		調製時			健全 株率	収量 ^z (t/10a)	調製時			健全 株率	収量 ^z (t/10a)
		最大葉長 (cm)	株重 (g)	最外葉糖度 (Brix)			最大葉長 (cm)	株重 (g)	最外葉糖度 (Brix)		
カーテン	9月29日	28.9	36.9	5.5	100	3.7	26.7	43.6	5.8	88	3.8
	10月6日	24.6	25.3	5.6	100	2.5	25.1	35.0	5.8	100	3.5
	10月14日	18.8	12.7	5.4	100	1.3	22.0	30.8	6.1	100	3.1
トンネル	9月29日	30.2	46.5	3.9	100	4.6	29.9	76.4	4.6	100	7.6
	10月6日	26.8	32.7	4.4	100	3.3	27.8	53.4	4.6	100	5.3
	10月14日	21.3	17.0	4.9	100	1.7	24.9	40.8	4.5	100	4.1
保温処理 ^y		NS	**	NS		**	NS	NS	NS		NS
播種期 ^y		**	**	NS		**	**	**	NS		**
保温処理×播種期 ^y		NS	*	NS		*	NS	**	NS		**

^z収量は株重に健全株率、栽植密度（133,333株/10a）、パイプハウスの面積利用率（75%）を乗じて算出した

^y保温処理を主区、播種期を副区とした分割区法の分散分析により、**は1%水準で、*は5%水準で有意差あり、NSは有意差なし

表1-1-2 保温処理と播種期がコマツナの収量性に与える影響（パイプハウスB；2015～2016試験）

保温処理	播種期	12月22日収穫（保温処理後5日目）					1月27日収穫（保温処理後41日目）				
		調製時			健全 株率	収量 ^z (t/10a)	調製時			健全 株率	収量 ^z (t/10a)
		最大葉長 (cm)	株重 (g)	最外葉糖度 (Brix)			最大葉長 (cm)	株重 (g)	最外葉糖度 (Brix)		
カーテン	9月28日	28.1	49.0	3.7	100	4.9	24.7	28.0	4.8	100	2.8
	10月8日	24.5	27.3	4.0	100	2.7	24.0	28.7	6.4	100	2.9
	10月16日	19.1	15.3	4.2	100	1.5	19.3	21.2	7.1	100	2.1
トンネル	9月28日	28.3	48.7	3.4	100	4.9	26.9	48.5	4.6	100	4.8
	10月8日	24.8	29.6	3.9	100	3.0	24.8	37.2	5.2	100	3.7
	10月16日	19.5	15.3	3.8	100	1.5	21.4	25.3	5.8	100	2.5
保温処理 ^y		NS	NS	NS		NS	NS	NS	NS		NS
播種期 ^y		**	**	NS		**	**	**	**		**
保温処理×播種期 ^y		NS	NS	NS		NS	NS	**	NS		**

^z収量は株重に健全株率、栽植密度（133,333株/10a）、パイプハウスの面積利用率（75%）を乗じて算出した

^y保温処理を主区、播種期を副区とした分割区法の分散分析により、**は1%水準で、NSは有意差なし

表1-1-3 保温処理と播種期がコマツナの収量性に与える影響（パイプハウスB；2016～2017試験）

保温処理	播種期	12月22日収穫（保温処理後44日目）					1月26日収穫（保温処理後70日目）				
		調製時			健全 株率	収量 ^z (t/10a)	調製時			健全 株率	収量 ^z (t/10a)
		最大葉長 (cm)	株重 (g)	最外葉糖度 (Brix)			最大葉長 (cm)	株重 (g)	最外葉糖度 (Brix)		
カーテン	9月28日	29.1	38.8	6.1	92	3.6	25.8	26.9	6.6	96	2.6
	10月7日	19.4	16.0	6.0	96	1.5	20.0	19.4	7.5	100	1.9
	10月14日	13.5	6.0	6.6	96	0.6	15.6	13.3	7.8	96	1.3
トンネル	9月28日	29.5	47.9	4.8	100	4.8	29.1	42.9	4.6	96	4.1
	10月7日	23.0	22.3	5.2	100	2.2	24.1	29.5	5.6	100	3.0
	10月14日	17.6	10.7	5.5	100	1.1	21.0	22.2	5.7	100	2.2
保温処理 ^y		NS	NS	NS		NS	NS	NS	*		NS
播種期 ^y		**	**	NS		**	**	**	*		**
保温処理×播種期 ^y		NS	NS	NS		NS	NS	NS	NS		NS

^z収量は株重に健全株率、栽植密度（133,333株/10a）、パイプハウスの面積利用率（75%）を乗じて算出した

^y保温処理を主区、播種期を副区とした分割区法の分散分析により、**は1%水準で、*は5%水準で有意差あり、NSは有意差なし

北海道内の各野菜品目の栽培体系がまとめられた北海道野菜地図（その 41）（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2018）によると，上川農試が位置する比布町を含む道北地域のコマツナの作型別基準収量は収穫期が 10 月 25 日から 11 月 15 日となる秋まきハウス作型において 1.2 t/10 a，収穫期が 4 月 20 日から 6 月 25 日となる早春まきハウス作型において 1.5 t/10 a と設定されている。そこで本研究ではより高い収量水準を目標に早春まきハウス作型の 1.5 t/10 a を厳冬期生産時の収量基準とした。加えて，北海道野菜地図（その 41）（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2018）には全作型を通じて葉長が概ね 22 cm から 27 cm であることがコマツナの品質目標に掲げられていることから，最大葉長の平均値を収穫調査時のもう 1 つの評価基準とし，本研究ではその目標値を 24 cm 以上に設定した。

試験 A で実施した 2014～2015 年の結果を表 1-1-1 にまとめた。12 月 22 日収穫および 1 月 27 日収穫において最大葉長と株重には播種時期による有意差が認められ，播種時期が遅いほど，最大葉長は短く，株重は軽かった。また，健全株率を用いて算出した収量も播種時期が遅いほど有意に低下した（表 1-1-1）。カーテン区，トンネル区ともに 9 月 29 日播種および 10 月 6 日播種では 12 月 22 日収穫および 1 月 27 日収穫において各々 2.5 t/10 a 以上の収量が得られ，最大葉長も 24.6 cm 以上となり十分な葉長が確保された。一方，10 月 14 日播種では最大葉長が短く，トンネル区の 1 月 27 日収穫においてのみ 2 つの評価基準を満たした（最大葉長：24.9 cm，収量：4.1 t/10 a）。なお，2 月 24 日に行った収穫調査ではすべての処理区において全個体で抽苔が認められ，収量が得られなかった。

試験 B で実施した 2 か年（2015～2016 年，2016～2017 年）の結果も試験 A と概ね同様の傾向を示し，播種時期の違いにより最大葉長，株重および収量に有意差が認められた（表 1-1-2，表 1-1-3）。2015～2016 年試験の 9 月 28 日播種および 10 月 8 日播種では保温処理にかかわらず 12 月 22 日収穫および 1 月 27 日収穫において各々 2.7 t/10 a 以上の収量が得られ，最大葉長も 24.0 cm 以上となった（表 1-1-2）。10 月 16 日播種では保温処理や収穫時期にかかわらず，収量は 1.5 t/10 a 以上であったものの，最大葉長が短く，評価基準を満たさなかった。また，2 月 24 日に行った収穫調査では前年の試験 A と同様にすべての処理区において全個体で抽苔が認められ，今

回の試験条件では 2 月下旬まで収穫時期を延長できないと考えられた。2016～2017 年試験のカーテン区，トンネル区では 9 月 28 日播種において最大葉長が十分に確保されるとともに 2.6 t/10 a 以上の収量が得られた（表 1-1-3）。一方，この試験年次ではトンネル区であっても 10 月 7 日播種の 12 月 22 日収穫では最大葉長が 23.0 cm と短く，1 月 26 日収穫においてのみ 2 つの評価基準を満たした（最大葉長：24.1 cm，収量：3.0 t/10 a）。

3 か年を通して 12 月下旬収穫の最外葉の糖度には保温処理，播種時期ともに処理間差は認められなかった（表 1-1-1，表 1-1-2，表 1-1-3）。一方，1 月下旬収穫の最外葉の糖度には年次変動が認められ，試験 A では有意差がなく，試験 B では 2015～2016 年の播種時期に，2016～2017 年の保温処理と播種時期に有意差が認められた。しかし，3 か年を通して 1 月下旬収穫の最外葉の糖度は 12 月下旬収穫と比較して大きく低下する傾向になく，1 月下旬まで収穫を延期しても品質上の問題はないと判断した。田村（2004）は日本海側の日射量が少ない地域であっても低温処理によりコマツナの糖とビタミン C 含量が増加することを報告している。本研究では最外葉の糖度のみを調査対象としたが，今後は糖やビタミン C 含量などの品質調査も実施する必要がある。

以上の結果から北海道北部の積雪地域においてパイプハウス内に 9 月下旬から 10 月上旬に播種することにより，暖房機等で加温しなくとも農業資材を多重被覆する保温処理のみで 12 月下旬から 1 月下旬にかけてコマツナを収穫できることが明らかとなった。寒締め栽培では低温条件下の管理で生育が止まるため，長期間の収穫が可能と言われている（岡田ら，2005）。本研究で行った栽培管理でも適期播種により少なくとも 1 か月間程度の収穫期間（在圃性）を確保できたため，本栽培方法の導入による出荷調整により冬場の道内市場へのコマツナの安定供給が可能になると考えられた。

本研究での最低外気温は -26.8℃であったが，北海道の中には年間最低気温が -30℃以下となる地域がある。また，冬期間の積雪が少なくパイプハウス周辺部の土壌が凍結する地域もあるため，今後は本研究に供試したパイプハウスの保温装備（空気膜二重構造フィルム，内張りカーテンおよびトンネルによる多重被覆）によって，上記の地域においてコマツナの厳冬期無加温栽培が可能であるかどうかの検討を進め，本栽培法が導入できるエリアの把握に努

めたい。

4. 摘要

空気膜二重構造のフィルムと内張りカーテンおよびトンネルを被覆したパイプハウス内では無加温条件でも厳冬期において極めて高い保温効果が得られ、夜間の最低外気温が-26.8℃まで低下した際のトンネル内最低気温は-3.3℃であった。また、単回帰分析によりハウス内の最低気温は夜間の最低外気温を用いて予測できると考えられた。コマツナを多重被覆パイプハウス内へ9月下旬から10月上旬に播種すると、12月下旬から1月下旬にかけて収穫可能となり、2.6 t/10 a以上の収量を得ることができた。以上の結果から、多重被覆を施したパイプハウスを利用することにより北海道北部の積雪地域においてコマツナの厳冬期無加温生産が可能であることが明らかとなった。

5. 引用文献

- 1) 濱寄孝弘・佐藤睦人・岡田益己 (2005), 寒締め野菜の栽培地域・品目の拡大. 農業技術. 60, 544-549
- 2) 北海道野菜地図 (その 41). 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会. 2018, p.79-80.
- 3) 岩崎泰永・吉田千恵・宍戸良洋 (2011), 空気膜二重構造ハウスの利用による施設内環境変化が半促成栽培キュウリの生育および収量に及ぼす影響. 園学研. 10, 49-54
- 4) 勝山直樹・福田富幸・越川兼行 (2010), 冬春キュウリ栽培における空気膜利用技術による省エネ効果. 岐阜農技セ研報. 10, 16-22
- 5) 小倉祐幸・向井隆司・加藤哲也 (1987), 一重四層被覆ハウスの保温性. 生物環境調節. 25, 165-172
- 6) 岡田益己 (1981), 無加温温室におけるカーテンの保温性の解析. 農業気象. 37, 221-230
- 7) 岡田益己・林 勇 (1983), 空気膜ハウスの簡易試作例とその特徴. 農業および園芸. 58, 57-60
- 8) 岡田益己・井上めぐる・濱寄孝弘・青木和彦・荒川市郎 (2005), 寒締め野菜の環境調節シナリオ. 農業技術. 60, 507-511
- 9) 札幌市中央卸売市場. 札幌市中央卸売市場年報. <<http://www.sapporomarket.gr.jp/market/year/indexf.htm>>.

- 10) 田村 晃 (2002), 無加温パイプハウス栽培におけるハウレンソウとコマツナの秋から早春にかけての耐凍性の変化. 園学雑. 71, 74-81
- 11) 田村 晃 (2004), 栽培期間中の気温がハウレンソウおよびコマツナの糖とビタミン C 含量に及ぼす影響. 園学研. 3, 187-190
- 12) 漆山喜信・吉田千恵・岩崎泰永 (2006), 空気膜二重構造によるパイプハウスの保温性向上 [1] 設置方法と特徴について. 農業および園芸. 81, 824-828

6. 付記

本節の大意は北海道立総合研究機構農業試験場集報第 105 号に掲載したものである。

第二節 品目選定

1. はじめに

耐寒性の高い葉菜類としてはハウレンソウやコマツナが知られており、1990 年代初めには東北農業試験場 (現東北農業研究センター) においてハウレンソウの耐寒性を活かした「寒締め栽培」と呼ばれる栽培方法が開発された (岡田ら, 2005)。

「寒締め栽培」とは無加温パイプハウス内で比較的温暖的な秋の間に収穫可能なサイズまで生育させた後、初冬からパイプハウスの側窓を開放して植物体を人為的に外気にさらすことにより糖含量や栄養価を高める栽培方法である。北海道においても同様の栽培が可能であることが報告され (濱寄ら, 2005a), 現在では旭川市, 北見市, 名寄市, 平取町など、北海道の各地でハウレンソウの寒締め栽培が行われている。また、濱寄ら (2005b) は植物体を人為的に外気にさらす「寒締め」を前提にした品目拡大に関する研究を行い、コマツナ, タアツアイ, チンゲンサイは耐寒性が高く、寒締め栽培の品目として有望であると報告している。一方、寒締め処理のように低温期に植物体を人為的に外気にさらすことなく、且つ灯油ボイラー等の加温を一切行わずに、農業用資材の被覆のみで保温処理を行い、コマツナを栽培する技術が北海道でも 報告された (地子・高濱, 2021)。この技術は他の野菜にも応用可能と思われるが、コマツナ以外の葉根菜類については知見が見られない。

そこで本研究では寒締め処理を行わない無加温

パイプハウス内で冬季間（12月～2月）に収穫可能な葉根菜類の品目を選定するために、道総研道南農業試験場（北斗市；以下、道南農試）と上川農試において栽培試験を実施したので報告する。

2. 試験方法

1) 2014 および 2015 年度試験

(1) 道南農試

外張りフィルムを装備したパイプハウス内に内張りを設置して試験を実施した（無処理区、図 1-2-1, A）。供試品目と耕種概要は表 1-2-1 の通りとし、2 反復の試験設計とした。

各品目の品種は株張シュンギク「株張中葉春菊」、カラシナ「わさび菜」、チンゲンサイ「青武」、リーフレタス「アーリーインパルス」とした。なお、タアツアイは品種名が不明であった。前述品目に加え、地子・高濱（2021）が報告しているコマツナ「陽翠」を参考として供試した。

施肥量は $N:P_2O_5:K_2O=15:15:15$ kg/10a とした。播種・定植後はハウス内気温が $20\sim25^{\circ}C$ で自動巻き上げ機により外張りの側窓フィルムを開閉するように設定したが、降雪後の 11 月 28 日以降は自動巻き上げ機の使用を停止するとともに内張りフィルムは常時閉め切り管理とした。なお、日中の気温 $15^{\circ}C$ を目安にハウス妻面の扉を開閉し換気した。2015 年 1 月 27 日、2016 年 1 月 25 日に各処理区の

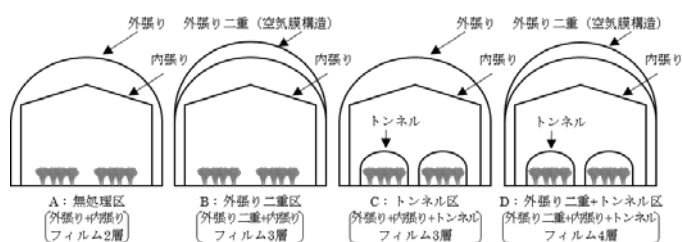


図 1-2-1 供試ハウスの保温装備処理区一覧

15～20 株を対象に低温障害、病害発生、抽だいの有無などを調査して可販率（%）を算出した。栽培期間中の最低気温を把握するため、温度データロガーを用いて処理区中央（地上 20 cm 高）で測定した。

(2) 上川農試

外張り天井部分に空気膜構造の二重フィルムを装備したパイプハウス内に内張りを設置して試験を実施した（外張り二重区、図 1-2-1, B）。供試品目と耕種概要は表 1-2-1 の通りとし、2 反復の試験設計とした。その他試験設計や栽培管理、ハウス内気温の測定は前述の道南農試に準じて行った。

播種・定植後は自動巻き上げ機によりパイプハウス内が $25^{\circ}C$ 以上に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように設定したが、12 月の積雪以降は閉め切り管理とした。さらに 12 月 4 日以降は夕方（16 時前後）から翌朝（9 時前後）にかけて内張りフィルムを閉め切った。1 月 27～28 日に各処理区 10～16 株の可販率（%）を道南農試と同様の方法で算出した。

2017 年度試験

(1) 道南農試

異なる温度条件で生育させるために、無処理区および外張り二重区に加え、それぞれの処理区にトンネルフィルム保温を追加したトンネル区（図 1-2-1, C）および外張り二重+トンネル区（図 1-2-1, D）を設け、供試品目と耕種概要は表 1-2-2 の通りとし、反復なしの試験設計とした。

各品目の品種は結球レタス「春 P」、小カブ「玉里」、パクチー「コマンダー」、ミズナ「早生千筋京水菜」、紫ミズナ「紅法師」、紫カラシナ「コーラルリーフフェザー」とした。なお、スイスチャードとパクチョイは品種名が不明であった。施肥量は $N:P_2O_5:K_2O=15:15:15$ kg/10a とし、灌水は土壌の水

表 1-2-1 供試品目および耕種概要（2014 および 2015 年度）

品 目	道南農試				上川農試		育苗 方法	黒 マルチ	栽植様式		1区
	2014年度		2015年度		2014年度				株間 (cm)	条間 (cm)	面積 (m ²)
	播種	定植	播種	定植	播種	定植					
株張シュンギク	9/24	—	9/24	—	9/8	—	—	無	5	15	0.9～1.4
カラシナ	10/4	—	9/24	—	9/17	—	—	無	15	30	1.8
タアツアイ	10/4	—	10/6	—	9/17	—	—	無	30	30	3.2
チンゲンサイ	10/15	11/9	10/6	10/25	9/29	10/28	セルトレイ	有	15	15	1.4
リーフレタス	9/14	10/7	9/24	10/15	8/27	9/17	セルトレイ	有	30	30	3.2
コマツナ（参考）	10/24	—	10/15	—	9/29	—	—	無	5	15	0.9～2.7

表 1-2-2 供試品目および耕種概要 (2017 年度)

品目	道南農試		上川農試		育苗 方法	黒 マルチ	栽植様式		1区 面積 (m ²)
	播種	定植	播種	定植			株間 (cm)	条間 (cm)	
結球レタス	9/5	9/26	9/7	9/29	セルトレイ	有	30	30	2.3
小カブ	10/3	—	10/3	—	—	無	15	15	0.9
スイスチャード	10/3	—	10/3	—	—	無	7.5	15	0.9
パクチー	9/26	—	9/22	—	—	無	2	15	0.9
パクチョイ	10/6	10/25	9/14	10/2	セルトレイ	有	15	15	0.9
ミズナ	10/13	—	10/3	—	—	無	7.5	15	0.9
紫ミズナ	10/13	—	10/3	—	—	無	7.5	15	0.9
紫カラシナ	10/13	—	10/3	—	—	無	7.5	15	0.9

分状態を確認しながら適宜行った。播種・定植後はハウス内気温が 20～25℃以上に到達すると自動巻き上げ機により外張りの側窓フィルムを開閉するように設定したが、12 月 25 日に自動巻き上げ機の使用を停止するとともに内張りフィルムは常時閉め切り管理とし、ハウス妻面の扉を開閉し換気した。12 月 2 日以降夕方 (15～16 時前後) から翌朝 (7～9 時前後) にかけてトンネル被覆を実施した。日中の換気管理は 2014 年度に準じて実施した。1 月 31 日に各処理区の 15～20 株を対象に 2014 年度と同様の調査を実施し、可販率 (%) を算出した。また、各処理区の最低気温も 2014 年度と同様に調査した。

(2) 上川農試

外張り二重区 (図 1-2-1, C) および外張り二重+トンネル区で試験を実施した (図 1-2-1, D)。供試品目と耕種概要は表 1-2-2 の通りとし、反復なしの試験設計とした。その他の試験設計や栽培管理は前述の道南農試に準じた。

播種・定植後は自動巻き上げ機によりパイプハウス内が 25℃以上に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように設定したが、11 月の積雪以降は閉め切り管理とした。さらに、11 月 20 日以降は夕方 (16 時前後) から翌朝 (9 時前後) にかけて内張りフィルムを閉め切り、トンネル被覆も実施した。1 月 29 日に各処理区の 10～12 株を対象に可販率 (%) を算出した。

3. 結果

1) 2014 および 2015 年度試験

道南農試では 2014 年度は-5.4℃、2015 年度は-8.0℃までハウス内気温が低下した。2014 年度の上川農試のハウス内最低気温は-6.5℃であった (表 1-2-3)。

表 1-2-3 1 月下旬の可販率 (2014 および 2015 年

品目	道南農試 (無処理)		上川農試 (外張り二重)
	2014年度 (-5.4℃) ²	2015年度 (-8.0℃)	2014年度 (-6.5℃)
株張シュンギク	0	13	0
カラシナ	81	100	100
タアツアイ	86	100	97
チンゲンサイ ³	100	78	100
リーフレタス	97	95	0
コマツナ (参考)	100	100	97

²括弧内の温度は調査時までに遭遇した最低気温を示す。

³道南農試 2015 年度において抽だいが発生した。

栽培期間を通してハウス内気温が氷点下となった日の早朝はほとんどの品目で葉の凍結による萎凋症状がみられたが、日中に気温が上昇すると葉が融解し、通常の草姿に戻った (図 1-2-2)。

各品目の 1 月下旬の可販率は以下の通りであった。

- ・株張シュンギク：低温遭遇により葉先枯れ症状が多発し、2014 年度は両試験場ともに可販率が 0% となった。さらに、道南農試では 2015 年度も同様の症状が発生し、可販株率が 13% となった。
- ・カラシナ：両試験場ともに 81% 以上の高い可販率を示した。
- ・タアツアイ：両試験場ともに 86% 以上の高い可率を示した。
- ・チンゲンサイ：2014 年度は両試験場とも可販率は 100% を示した。2015 年度の道南農試では 1 月中旬以降抽だいが見られ、可販率が 78% に低下した (図 1-2-3)。
- ・リーフレタス：道南農試では 2 か年ともに 95% 以上の高い可販率を示した。一方、上川農試では 12 月中旬以降、葉先枯れが徐々に発生し、1 月



図 1-2-2 早朝および日中のリーフレタスの様子
左:2018 年 1 月 24 日 7 時 46 分 (-0.8℃),



図 1-2-3 抽だいしたチンゲンサイ



図 1-2-4 結球レタス外葉表皮の剥離症状

表 1-2-4 1 月下旬の可販率 (2017 年度)

品 目	道南農試				上川農試	
	無処理 (-6.6℃)	トンネル (-2.2℃)	外張り二重 (-3.7℃) ²	外張り二重+ トンネル (-1.2℃)	外張り二重 (-5.9℃)	外張り二重+ トンネル (-3.1℃)
結球レタス ¹	27	63	0	0	30	80
小カブ	100	100	100	97	0	90
スイスチャード	100	100	100	100	100	100
パクチー	100	100	100	100	100	100
パクチョイ ³	83	42	15	0	0	0
ミズナ ⁴	97	99	100	96	17	33
紫ミズナ ⁵	100	100	100	100	42	50
紫カラシナ	100	100	100	100	100	83

¹括弧内の温度は調査時までには遭遇した最低気温を示す。

²道南農試の外張り二重区および外張り二重+トンネル区で腐敗症状が発生した。

³いずれの試験場および処理区においても抽だいが発生した。

⁴上川農試の外張り二重区および外張り二重+トンネル区で腐敗症状が発生した。



図 1-2-5 腐敗症状の発生したミズナ

下旬には可販率が 0%となった。

- ・コマツナ：両試験場ともに 97%以上の高い可販率を示した。

2) 2017 年度試験

道南農試では無処理区で-6.6℃まで、上川農試では外張り二重区で-5.9℃まで気温が低下した（表 1-2-4）。

各品目の 1 月下旬の可販率は以下の通りであった。

- ・結球レタス：道南農試の無処理区および上川農試の外張り二重区では、表皮剥離（図 1-2-4）などの凍害の発生により可販率がそれぞれ 30% 以下に低下したが、道南農試のトンネル区および上川農試の外張り二重+トンネル区ではそれぞれ 63%以上となった。一方、道南農試の外張り二重区および外張り二重+トンネル区では凍害はほとんど見られなかったが、腐敗症状が多発したため可販率が 0%となった。
- ・小カブ：道南農試では全処理区で 97%以上の高い可販率を示した。加えて、上川農試では外張り二重+トンネル区において 90%の可販率を示した。

- ・スイスチャード：両試験場ともに全処理区で 100% の可販率を示した。
- ・パクチー：両試験場ともに全処理区で 100% の可販率を示した。
- ・パクチョイ：11 月下旬に抽だいが発生したため上川農試では両処理区ともに可販率が 0% となった。道南農試においても抽だいが発生し、無処理区以は低い値を示した。
- ・ミズナ・紫ミズナ：道南農試では 96% 以上の極めて高い可販率を示した。一方、上川農試では病害と思われる腐敗症状が発生したため可販率は低かった（図 1-2-5）。
- ・紫カラシナ：両試験場ともに全処理区で 83% 以上の高い可販率を示した。

4. 考察

今回の試験結果から、カラシナ、紫カラシナ、コマツナ、タツアエ、小カブ、スイスチャード、パクチー、チンゲンサイ、リーフレタス、ミズナ、紫ミズナは-5℃程度の低温であれば植物体を維持できる耐寒性を有しており、冬季無加温栽培に適する可能性が高いと考えられた。特にコマツナ、タツアエ、チンゲンサイは濱寄ら（2005b）が寒締め栽培に有望であると報告した品目でもあり、その可能性が極めて高いと思われた。試験圃場での観察によると、前述の耐寒性が高いと評価した品目はハウス内気温が氷点下に遭遇すると植物体が凍結するものの、日中に気温が上昇すると融解し、元の状態に戻る性質を有していた。一方、株張シュンギクでは葉先枯れ症状が発生した。植物細胞の凍害は、大別すると初期症状である細胞外凍結とそれに続く細胞内凍結に由来するが、細胞内凍結では細胞が完全に破壊される（藤川、1996）。このため、今回の試験で耐寒性が強いと評価された品目は、軽度の細胞外凍結にとどまっていた一方、株張シュンギクでは細胞内凍結にまで至ったと推察される。結球レタスでは細胞内凍結までは至っていなかったと考えられるが、重度の細胞外凍結により細胞内で著しい脱水作用が引き起こされた結果表皮剥離症状が発生したと推察された。このため、結球レタスの耐寒性は、株張りシュンギクより優れたものの、前述の冬期無加温栽培に適すると評価した品目より劣ると判断した。今後、本試験のような厳冬期に新たな品目を試作・導入を検討する際には、秋季から初冬季の生育に加えて、低温遭遇時に一旦凍結した後の植

物体の回復程度に特に注目して評価することが重要と考えられる。

冬季無加温栽培の適性には低温以外に抽だい性や耐病性も大きく関与する。11 月に抽だいが多発したパクチョイは、今回想定している無加温パイプハウス内での冬季収穫には不適な品目であると判断した。チンゲンサイについても道南農試で 1 月以降に抽だいが発生したことから安定生産のためには冬季収穫可能な期間を十分に把握する必要がある。また、上川農試で発生したミズナと紫ミズナの病害は、その発生時期と症状から、三澤ら（2019）の報告した *Rhizoctonia* 属菌による病害と推定される。結球レタスについても保温処理により凍害軽減効果の可能性は見いだせたものの腐敗を誘発した。このため、今回冬季無加温栽培に適していると判断された品目に対しても、病害対策も含めた栽培技術の提案が求められる。

5. 摘要

秋から冬にかけて無加温パイプハウス内で栽培を行い、12 月～2 月に収穫可能な葉根菜類を選定した。ワサビナ、紫カラシナ、コマツナ、タツアエ、小カブ、スイスチャード、パクチー、チンゲンサイ、リーフレタス、ミズナ、紫ミズナは耐寒性に優れ、パイプハウス内の気温を-5℃以上に確保できれば、厳冬期の無加温条件でも可販率を維持し、収穫可能と考えられた。

6. 参考文献

- 1) 藤川清三（1996），凍結に植物細胞はどのように適応するか，化学と生物，34（10），656-666.
- 2) 濱寄孝弘・鮫島良次・廣田知良（2005a），道央の温度条件とハウレンソウの寒締め作型，平成 17 年度新しい研究成果－北海道地域－，121-124.
- 3) 濱寄孝弘・佐藤睦人・岡田益己（2005b），寒締め野菜の栽培地域・品目の拡大，農業技術 60，544-549.
- 4) 地子 立・高濱雅幹（2021），北海道北部の積雪地帯における無加温パイプハウスを利用したコマツナの厳冬期生産，北海道立総合研究機構農業試験場集報，105，81-88.
- 5) 三澤知央・長濱 恵・地子 立（2019），北海道で冬期に収穫する数種葉菜類で発生した *Rhizoctonia* 菌による病害，北日本病害虫研報 70，

42-48.

- 6) 岡田益己・井上めぐる・濱寄孝弘, 木和彦, 荒川市郎 (2005), 寒締め野菜の環境調節シナリオ, 農業技術 60, 507-511.

7. 付記

本報の概要は北農第 88 巻第 3 号に掲載したものである。

第三節 リーフレタス, 結球レタス

1. はじめに

近年全国的に野菜の消費量が減少傾向にある中, サラダ需要の増加によりレタス類は過去 10 年間で消費量および生産量の増加が認められる数少ない品目である (農林水産省, 2019)。またオードブルなどで利用されるレタスは 12 月に需要が増加する。しかし近年は全国的に冬季向けのレタス類の生産が安定せず, 十分な量が供給されていない (農畜産業振興機構, 2016)。冬季の道産レタスは, 石狩, 胆振, 日高地域で加温ハウス栽培が行われているものの, 札幌卸売市場の 12 月~2 月のシェアは全体の 1%未達であった (札幌卸売市場, 2020)。そのためレタスは冬季において特に生産強化が求められる品目である。

冬季のレタス栽培について, 東北地方では無加温栽培が可能であるものの (伊東ら, 2012), 北海道においてはこれまで栽培法に関する知見が存在しない。しかし前報 (高濱・地子, 2021) において, リーフレタスは, 無加温栽培による冬季収穫に適する可能性が高いことが判明した。また結球レタスについても, リーフレタスより耐寒性は劣るものの, 保温の組合せによっては冬季に無加温栽培できる可能性が示唆された。そこで本研究では, より導入が容易と思われる温暖な道南地域においてリーフレタスおよび結球レタスの冬季無加温栽培のための定植時期および栽培時の保温管理方法について検討したのでその結果を報告する。

2. 試験方法

1) リーフレタス

2015 および 2016 年度に, 道南農試の外張り一重 (以下, 外張り) パイプハウスにて試験を実施した。品種には「アーリーインパルス」(グリーンリーフ)

を供試し, セル育苗 3~4 葉苗を利用した。施肥量は $N:P_2O_5:K_2O=15:15:15$ kg/10a を基準とし, 窒素については「北海道施肥ガイド 2015」(北海道農政部, 2015) のレタスの施肥対応にもとづき, 土壌中の硝酸態窒素含有量を考慮して調整した。1.5 m 幅の黒マルチベッドを準備し, 株間および条間 30 cm の 5 条植えとした。定植時期は 10 月上旬 (2015 年 10 月 6 日および 2016 年 10 月 7 日) および 10 月中旬 (2015 年 10 月 15 日および 2016 年 10 月 17 日) の 2 水準, 試験規模は 1 区 35 株, 2 反復とした。定植後はハウス内気温が 20~25°C に到達すると自動巻き上げ機により外張りの側窓フィルムを開放するように設定したが, 2015 年 12 月 25 日および 2016 年 12 月 1 日以降は原則外張りとは内張りフィルムを閉め切り, ハウス内気温 15°C 以上を目安に内張りおよび両妻面の扉を開閉し換気した。2016 年 1 月 4 日以降および 2016 年 12 月 7 日以降, ハウス内にトンネル保温を行う区 (図 1-3-1, A; 以下, トンネル区) と保温を行わない区 (図 1-3-1, B; 以下, 無処理区) を準備し, トンネル区では夕方 (16 時前後) から翌朝 (7~8 時前後) にかけてフィルムを被覆した。栽培期間を通して処理区中央の気温 (地上 20 cm 高) を温度データロガーで 1 時間ごとに測定した。

大半の処理区が収穫適期とされる草丈 25~30 cm に達した 11 月下旬~12 月下旬を「収穫始」として収穫調査を実施し, その後 2 か年ともに 1 月中旬 (2016 年 1 月 14 日および 2017 年 1 月 17 日) と 2 月上旬 (2016 年 2 月 3 日と 2017 年 2 月 7 日) にも調査を行った。収穫時には各処理区から 20 株をサンプリングし, 低温障害および病害発生にもとづき可販率を調査した。可販としたもののうち 10 株について調製時の草丈および株重を調査し, 収量を算出した。

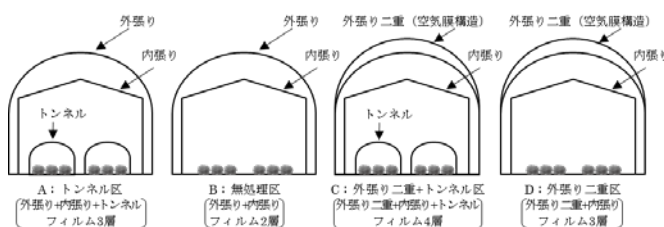


図 1-3-1 供試ハウスの保温装備処理区一覽

2) 結球レタス

2018 および 2019 年度に道南農試の外張りパイプハウスおよび天井部分に空気膜構造の二重フィルムを装備した (外張り二重) パイプハウス内で試験を実施した。品種には「春 P」を供試した。定植時

期は9月下旬（2018年9月25日および2019年9月24日）および10月上旬（2018年10月5日および2019年10月4日）の2水準とした。2018年12月5日および2019年12月5日以降は原則外張りとし、内張りフィルムを閉め切り、ハウス内気温15℃以上を目安に両妻面の扉を開閉し換気した。2018年12月9日および2019年12月9日以降、ハウス内一部にトンネル保温を行う区（トンネル区、図1-3-1, A；外張り二重+トンネル区、図1-3-1, C）と行わない区（無処理区、図1-3-1, B；外張り二重区、図1-3-1, D）を準備した。栽植様式、施肥量、定植後のハウス側窓およびトンネル保温管理、試験規模ならびに気温の測定は前述のリーフレタスに準じて実施した。

収穫適期とされる球径14cmを目安に11月～12月に最初の収穫調査を実施し、その後2か年ともに1月中旬（2019年1月15日および2020年1月16日）と2月上旬（2019年2月7日と2020年2月6日）にも調査を行った。収穫時期には各処理区から20株をサンプリングし、低温障害および病害発生にもとづき可販率を調査した。可販としたもののうち

10株について調製時の球径および株重を調査し、収量を算出した。

3. 結果

1) リーフレタス

2015年度は12月下旬以降の月旬平均外気温が0℃以下であったが、トンネル区および無処理区では平均気温が2.6～4.9および1.2～3.2℃で推移した（図1-3-2, A）。最低外気温は1月16日に-14.4℃となったが、同日のトンネル区および無処理区で記録した最低気温はそれぞれ-4.6および-9.2℃であった。

2016年度は11月下旬以降の月旬平均外気温が概ね0℃以下であったが、無処理区およびトンネル区では平均気温が5.6～2.4および6.9～3.7℃で推移した（図1-3-2, B）。最低外気温は1月23日および2月2日に-12.4℃となったが、トンネル区および無処理区の最低気温はそれぞれ1月23日に記録した-4.2および-7.1℃であった。

10月上旬定植では、収穫始および1月中旬の収量が、北海道野菜地図その43（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会、2020）の基準

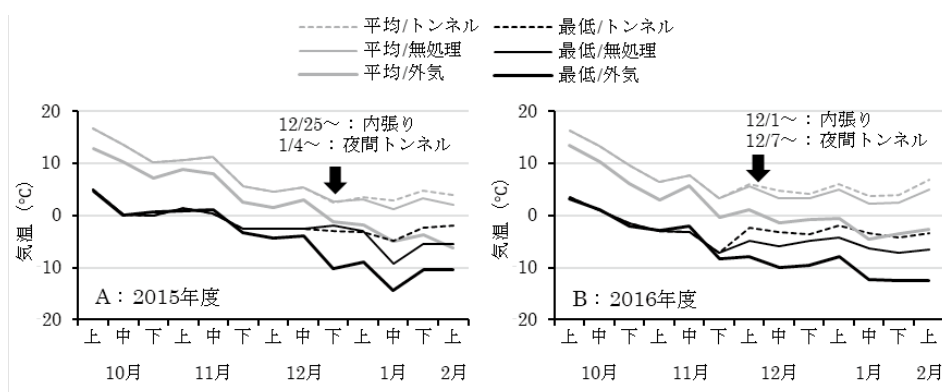


図1-3-2 リーフレタス栽培期間中のハウス内月旬気温推移
外気はAMeDAS（北斗）を利用した。矢印は保温開始時期を示す。

表1-3-1 定植時期、保温管理および収穫時期の違いがリーフレタス収量に及ぼす影響

試験 年度	処理		調査日	収穫始			1月中旬収穫			2月上旬収穫		
	定植	保温		収量 ² (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)	収量 (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)	収量 (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)
2015	10月上旬トンネル	トンネル	11/26	2.6²	32.3	100	3.8	37.6	100	2.7	35.1	95
		無処理	11/26	2.7	33.6	100	3.4	37.0	100	1.4	35.9	50
	10月中旬トンネル	トンネル	12/8	1.8	29.5	100	2.8	32.3	100	2.4	31.3	98
		無処理	12/8	1.6	27.9	100	2.6	29.9	100	1.9	29.8	90
2016	10月上旬トンネル	トンネル	12/15	2.6	25.6	100	3.4	31.1	100	3.1	29.2	98
		無処理	12/15	2.3	24.1	98	2.7	28.5	95	1.5	24.0	88
	10月中旬トンネル	トンネル	12/28	1.3	21.8	100	2.1	24.0	100	2.7	23.3	98
		無処理	12/28	1.2	20.3	100	1.6	20.9	100	1.7	18.4	100

²栽植密度8,333株/10a（北海道野菜地図その43参照、ハウス占有率75%で算出）。

³基準収量1.8t/10a以上、草丈25cm以上の場合はボールドアンダーラインで示した。

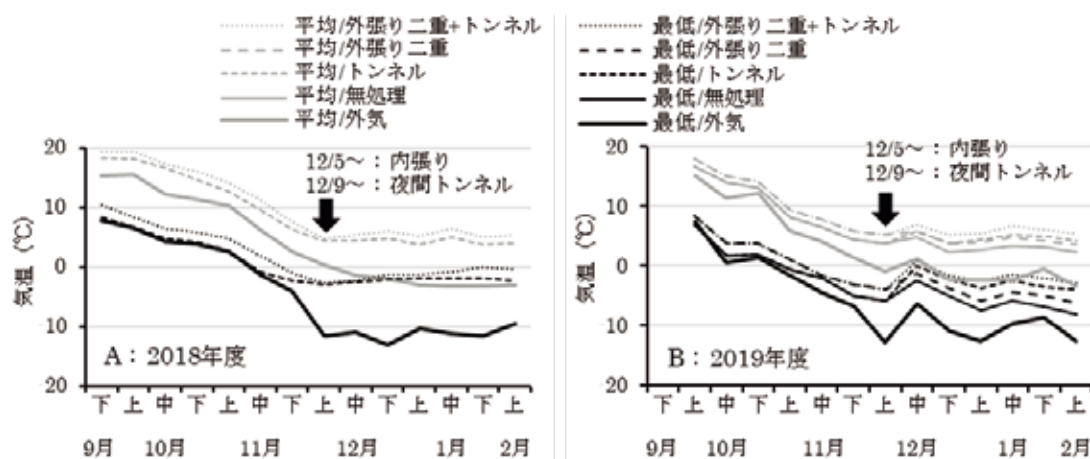


図 1-3-3 結球レタス栽培期間中のハウス内月旬気温推移
2019 年度 9 月 24 日～10 月 2 日はデータ欠測外気は AMeDAS（北斗）を利用した。矢印は保温開始時期を示す。

表 1-3-2 定植時期、保温管理および収穫時期の違いが結球レタス収量に及ぼす影響

試験 年度	処理		調査日	収穫始			1月中旬収穫			2月上旬収穫		
	定植	保温		収量 [*] (t/10a)	球径 (cm)	可販率 (%)	収量 (t/10a)	球径 (cm)	可販率 (%)	収量 (t/10a)	球径 (cm)	可販率 (%)
2018	9月下旬	外張り二重+トンネル	12/3	2.9 [†]	14.0	80	0.0	—	0	0.0	—	0
		トンネル	12/3	<u>5.1</u>	15.9	97	0.2	10.4	10	0.0	—	0
	10月上旬	外張り二重+トンネル	12/11	<u>3.8</u>	14.8	100	0.3	10.5	13	0.0	—	0
		トンネル	12/11	<u>3.5</u>	15.3	100	2.0	10.8	77	0.0	—	33
2019	9月下旬	外張り二重+トンネル	11/19	<u>5.4</u>	17.3	100	0.0	10.5	7	0.0	—	0
		外張り二重	11/19	<u>5.3</u>	16.7	93	0.3	11.7	7	0.0	—	0
		トンネル	11/19	<u>5.8</u>	17.2	100	1.9	11.1	57	0.5	14.0	10
		無処理	11/19	<u>5.2</u>	17.0	100	2.7	12.2	66	0.7	11.3	20
	10月上旬	外張り二重+トンネル	12/18	<u>4.3</u>	15.7	100	<u>3.3</u>	13.5	97	0.2	13.0	5
		外張り二重	12/18	<u>3.8</u>	15.4	93	2.7	14.0	67	1.2	11.8	40
		トンネル	12/18	<u>3.5</u>	15.4	100	<u>4.0</u>	16.3	100	2.8	13.1	78
		無処理	12/18	<u>3.5</u>	15.2	100	<u>3.9</u>	16.4	93	2.8	12.3	80

^{*}栽植密度8,333株/10a（北海道野菜地図参照その43，ハウス占有率75%で算出）。

[†]基準収量3.0t/10a以上の場合はボールドアンダーラインで示した。



図 1-3-4 マルチとの接触による結球下部の腐敗

収量である 1.8 t/10a を上回った（表 1-3-1）。特に 11 月の気温が高く推移した 2015 年度は 11 月下旬より 2.6 t/10a 以上の収穫が可能であった。

10 月中旬定植では、一部の処理区を除き、1 月中旬に 1.8 t/10a 以上となり、基準収量を上回った。

2 か年とも、2 月上旬には低温障害による腐敗により、1 月中旬より減収するケースが多くみられた。しかしトンネル区は無処理区より可販率の低下を抑える傾向がみられ、2 月上旬まで基準収量を維持できた。

2) 結球レタス

2018 年度は 12 月上旬以降の月旬平均外気温が 0℃以下であったが、外張り二重+トンネル区およびトンネル区では平均気温が 4.9～6.3 および 3.7～4.9℃で推移した（図 1-3-3，A）。最低外気温は 12 月 28 日に-13.1℃となったが、保温期間において、外張り二重+トンネル区およびトンネル区で記録した最低気温はそれぞれ 12 月 25 日の-2.4 および -2.6℃であった。

2019 年度は 12 月上旬以降の月旬平均外気温が概ね 0℃以下であったが、外張り二重区および無処理区では平均気温が 3.7～6.0 および 2.3～4.8℃で推移

した（図 1-3-3, B）。各処理区にさらにトンネル保温を行うと平均気温はそれぞれ 5.2～7.0 および 3.8～5.9℃となった。最低外気温は、保温期間外である 12 月 5 日に -12.7℃となり、ハウス内気温も -4.0～-5.6℃に低下した。保温期間中の 2 月 6 日に外気温が -12.5℃に低下したが、同日の外張り二重区および無処理区で記録した最低気温はそれぞれ -6.3 および -8.1℃であった。さらにトンネル処理を行うと最低気温は -2.8 および -3.9℃に上昇した。

9 月下旬定植では一部の処理区を除き、収穫始の収量が 5.1 t/10a 以上となり、北海道野菜地図その 43（北海道農業協同組合中央会、・ホクレン農業協同組合連合会、2020）の基準収量である 3.0 t/10a を上回った。特に 2019 年度の収穫始は 11 月中旬となった。一方、10 月上旬定植では概ね 12 月中旬が収穫始となった。また、いずれの定植時期においても収穫始以降結球部がマルチと接触した箇所を中心に腐敗が生じ、可販率が低下した（図 1-3-4）。2019 年度において、無処理区に対して保温性の高い外張り二重区やトンネル区では収穫始における収量が同等の値を示したが、前述の腐敗の発生も早まり、1 月中旬および 2 月上旬の可販率は低い傾向を示した。一方、外張り二重+トンネル区では低温による障害は一切認められなかったが、その他の処理区では 2 月の低温期において一部の収穫物で外葉表皮の剥離（高濱・地子、2021）や結球内部の凍結などの低温障害が発生した。

4. 考察

一般に北海道での生鮮野菜の取引量は 11 月以降減少する一方、販売単価は上昇する。レタスにおいても同様の傾向を示し、札幌市中央卸売市場における 12 月、1 月および 2 月の単価（2016～2020 年度

平均）はそれぞれ 331, 340 および 278 円/kg であり、7 月の 144 円/kg と比べ高い。このことから冬季は需要が供給を上回っており、生産者サイドとしては高収益が期待できる時期でもある。そこで低温障害リスクの少ない比較的温暖な道南地域において、リーフレタスおよび結球レタスの冬季無加温栽培に関する試験を実施した結果、以下のことが明らかとなった。

12 月以降に収穫するためのリーフレタスの定植時期は 10 月上旬が適しており、10 月中旬定植でも 1 月以降であれば収穫可能であると考えられた（表 1-3-1）。一方、2 月上旬収穫になると、基準収量は満たすものの、収量や可販率が減少する傾向がみられた。特に 2015 年度においては、道内で比較的温暖な道南地域でも最低外気温が -14℃程度まで低下するなか、外張り内張り保温併用（フィルム 2 層）では 1 月下旬以降に低温障害を抑えきれず枯死する株が散見された。一方、外張り内張りに加えトンネル保温を併用（フィルム 3 層）すると枯死株の発生がほぼみられず、フィルムの多層化が低温障害対策として有効と考えられた。このことから、リーフレタスを 2 月上旬まで収穫するには、トンネルによる保温処理は必要と結論づけられた。なお、外張り内張り保温併用時および外張り内張り+トンネル保温併用時の最低気温は、2015 年度では -9.2 および -4.6℃、2016 年度では -7.1 および -4.2℃であったことから、-5℃前後の低温であれば障害は発生しないと考えられた（図 1-3-2, A, B）。

結球レタスにおいては、9 月下旬～10 月上旬に定植すれば概ね 11 月下旬～12 月中旬に収穫可能と考えられた（表 1-3-2）。しかしリーフレタスとは異なり、収穫始以降に結球部がマルチと接触し腐敗した。この症は、横転し外葉がマルチに押しつぶされ

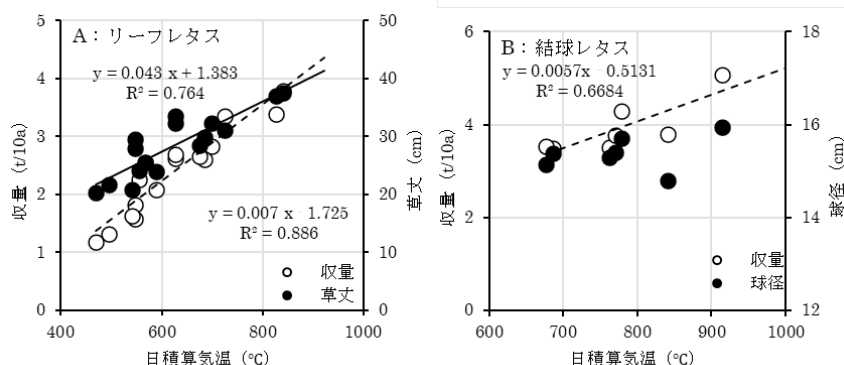


図 1-3-5 リーフレタスおよび結球レタスの生育量および収量と日積算気温の関係
収穫始および 1 月中旬収穫時において、可販株率 90% 以上のデータを利用した。
実線は草丈を、点線は収量との近似直線を現わす。

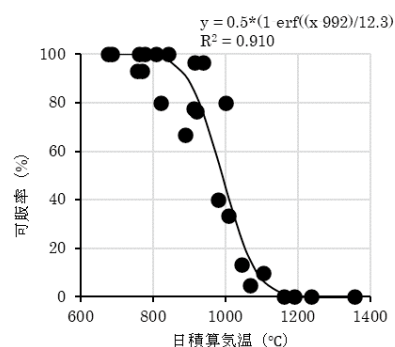


図 1-3-6 結球レタスの可販率と日積算気温の関係

たことが要因の一つと考えられた。前報（高濱・地子，2021）においても1月下旬の可販率の低下は、外張りハウスより外張り二重パイプハウスで顕著であり、保温による球肥大促進の影響が大きいと考えられた。このため結球レタスはリーフレタスより在圃性が短く、収穫適期に達したら早めに収穫する必要がある。また、同じ保温装備でも結球レタスではリーフレタスより低温障害が発生しやすい傾向が認められた。外葉の低温障害は調製作業で除去できるため可販率には影響を及ぼさないが歩留まりが低下する。結球内部での凍結は、外観からは判断できないうえ、長期間にわたって解凍しない場合は内部腐敗を引き起こすリスクがある。このため低温障害回避の観点からは外張り二重パイプハウスで内張りとトンネルを併用（フィルム4層）する必要がある。前述の保温時の最低気温が-2.8℃であった（図1-3-3，B）。伊東ら（2012）はハウス内気温を-2℃以上に維持することでレタスの低温障害の発生を抑制できると報告しており、本試験の結果とも概ね一致した。以上のことから-2℃前後が結球レタスの生育限界気温と考えられた。

葉菜類では収量と収穫までの日積算気温に相関がみられることが報告されている（小田・大野，1980，稲子・酒井，1969）。そこで、リーフレタスと結球レタスについて、生育・収量と日積算気温の関係について解析を行った。その結果、リーフレタスの収量と草丈は定植後の日積算気温を説明変量とした一次回帰式で説明できると考えられた（図1-3-5，A）。このことから、リーフレタスの基準収量1.8 t/10aおよび草丈25 cm以上を満たす日積算気温は概ね550℃と推定され、12月の収穫開始までにこの日積算気温を確保するための定植時期および保温が重要と考えられた。

結球レタスでは、球径と日積算気温との間には明確な関係性（ $R^2=0.1192$ ）はみられなかったものの、収量は定植後の日積算気温を説明変量とした一次

回帰式で説明できると考えられた（図1-3-5，B）。基準収量を満たす日積算気温は、回帰式の範囲外となるものの、およそ620℃と推定され、リーフレタスの収穫開始の目安となる日積算気温550℃より70℃高かつ道南地域では、結球レタスの定植時期である9月下旬のハウス内平均気温について、2018年の試験結果より19.6℃であることを考慮すると

（図1-3-3，A），結球レタスとリーフレタスと同時期に収穫するには、結球レタスをリーフレタスより約4日早く定植すべきである。また結球レタスでは日積算気温の増加に伴い可販率がロジスティック関数的に低下する傾向がみられた（図1-3-6）。この曲線より、可販率が90%未満となるのは日積算気温およそ900℃と推定できるため、収穫終了の目安できると考えられた。収穫開始と収穫終了の目安となる日積算気温620と900℃の差が280℃であり、外張り二重パイプハウスで内張りとトンネル保温併用時において、2018および2019年度12月～1月の日平均気温は5.7℃であることから（図1-3-3，A，B），収穫開始よりおよそ50日以内に収穫を終わらせることで可販率90%以上を確保できると考えられる。

以上をもとにリーフレタスおよび結球レタスの栽培体系を表1-3-3に示した。本体系は道南地域にもとづく結果であるが、生育限界気温や日積算気温のデータを準用することで他の地域での栽培の可否を判断できる。

5. 摘要

道南地域の無加温ハウスでリーフレタスは10月上旬～中旬定植、結球レタスは9月下旬～10月上旬定植で12月以降の出荷となった。ハウス外張りの二重構造化や内張りとトンネル保温の併用で低温障害が軽減した。リーフレタスおよび結球レタスで低温障害を生じない最低気温は-5および-2℃、定植から収穫に必要な日平均気温の積算は550および620℃であった。結球レタスでは日平均気温の積算900℃以上で腐敗が生じやすくなり可販率が低下した。

6. 引用文献

- 1) 北海道農業協同組合中央会，ホクレン農業協同組合連合会編（2020）レタス．北海道野菜地図43，136．

表 1-3-3 道南地域におけるリーフレタスおよび結球レタスの栽培体系

品目（供試品種）	リーフレタス（アーリーインパルス）	結球レタス（春P）
定植期	10月上旬～10月中旬	9月下旬～10月上旬
収穫期	12月上旬～2月上旬	11月下旬～1月中旬
基準収量（t/10a）*	1.8	3.0
生育量（cm）	草丈25	球径15
生育限界気温（℃）	-5	-2
播種・定植～収穫の目標日積算気温（℃）	550	620～900
保温装備例	外張り＋内張り＋トンネル（フィルム3層）	外張り二重＋内張り＋トンネル（フィルム4層）
備考	黒マルチ栽培	黒マルチ栽培 在圃性はリーフレタスに劣る

*可販率90%以上を想定した。

- 2) 北海道農政部(2015) レタス＜ハウス(冬まき, 夏まき)＞. 北海道施肥ガイド 2015, 154.
- 3) 稲子幸元・酒井俊昭(1969) レタスの生育および収量と温度に関する試験, 千葉県暖地園芸試験場研究報告, 1, 17-25.
- 4) 伊東かおる・二階堂英行・佐藤正武・加藤義明, 佐藤睦人・佐久間秀明(2012) 無加温ハウスを利用した 12 月ー 3 月どりレタス新作型開発, 東北農業研究, 65, 163-164.
- 5) 農林水産省(2019) 野菜の生産・消費動向レポート, <https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/yasai/attach/pdf/index-67.pdf>
- 6) 農畜産業振興機構(2016) 需給動向 1 東京都・大阪市中央卸売市場の需給動向(平成 28 年 10 月), 野菜情報, 12, https://vegetable.alic.go.jp/yasaijoho/jyukyu/1612_jyukyul.html
- 7) 小田雅行・大野元(1980) コマツナの生育に及ぼす積算温度および積算日射量の影響, 野菜試験場報告, 7, 183-195.
- 8) 札幌市中央卸売市場(2020) 令和 2 年札幌市中央卸売市場月報, <http://www.sapporo-market.gr.jp/fruits-month/index.php>
- 9) 高濱雅幹・地子立(2021) 葉根菜類の冬季無加温生産技術ー第 1 報ー品目選定, 北農, 88, 214-219.

7. 付記

本報の大意は北農第 88 巻第 3 号に掲載したものである。

第四節 小カブ、チンゲンサイ

1. はじめに

アブラナ科野菜は日本において最もなじみ深い野菜であり, 日本国内の野菜の生産量の 38% を, 葉根菜類に限定すると 59% を占める(農林水産省, 2020)。品目によって可食部は異なり, 葉を主とするキャベツやハクサイ, 根を主とするダイコン, 花蕾を主とするブロッコリーなど多様である。

これらアブラナ科野菜は他の野菜品目と比較すると冬に栽培されることが多く(澤井・玉城, 2020) 耐寒性が高い品目が多い。前報の結果(高濱・地子, 2021)においても, 北海道の冬季無加温栽培に適用

可能な多くのアブラナ科野菜が見いだされ, コマツナについては栽培法が報告されている(地子・高濱, 2021)。そこで本研究では, アブラナ科野菜のうち根菜類に分類される小カブと主要な葉菜類のひとつであるチンゲンサイについて, 道南および道北地域で無加温栽培により 12 月以降の冬季に出荷するための播種・定植時期, および栽培時の保温管理方法を検討したのでその結果を報告する。

2. 試験方法

1) 小カブ

2018 および 2019 年度に道南農試の外張りパイプハウスにて試験を実施した。品種には「玉里」を供試し, 直播栽培とした。施肥量は $N:P_2O_5:K_2O=15:15:15\text{ kg}/10a$ を基準とし, 窒素については「北海道施肥ガイド 2015」(北海道農政部, 2015) のカブの施肥対応にもとづき, 土壌中の硝酸態窒素含有量を考慮して調整した。1.5 m 幅の黒マルチベッドを準備し, 株間および条間 15 cm の 10 条植えとした。播種時期は 10 月上旬(2018 年 10 月 5 日および 2019 年 10 月 8 日) および 10 月中旬(2018 年 10 月 12 日および 2019 年 10 月 13 日) の 2 水準, 試験規模は 1 区 100 株, 2 反復とした。播種後はハウス内気温が 20~25℃ に到達すると自動巻き上げ機により外張りの側窓フィルムを開放するように設定したが, 降雪後の 2018 年 12 月 5 日および 2019 年 12 月 5 日以降は原則外張り・内張りフィルムを常時閉め切り管理とした。なお, 日中の気温 15℃ を目安にハウス妻面の扉を開閉し換気した。積雪後の 2018 年 12 月 9 日以降および 2019 年 12 月 14 日以降, ハウス内にトンネル保温を行う区(トンネル区, 図 1-4-1, A) と保温を行わない区(無処理区, 図 1-4-1, B) を準備し, トンネル区では夕方(16 時前後) から翌朝(7~8 時前後) にかけてフィルムを被覆した。栽培期間を通して処理区中央の気温(地上 20 cm 高) を温度データロガーで 1 時間ごとに測定した。大半

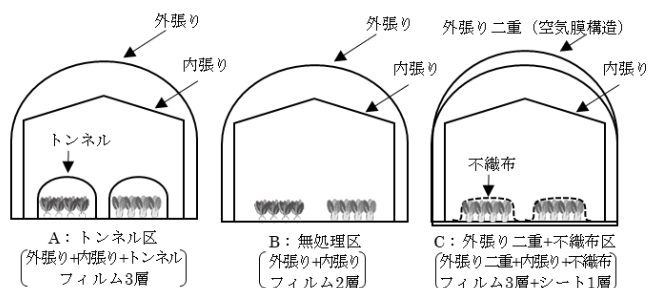


図 1-4-1 供試ハウスの保温装備処理区一覧

穫始」として収穫調査を実施し、その後2か年ともに1月中旬（2019年1月16日および2020年1月17日）と2月上旬（2019年2月7日および2020年2月3日）にも調査を行った。収穫時には各処理区から20株をサンプリングし、低温障害、病害発生および裂根にもとづき可販率を調査した。可販としたもののうち10株について調製時の根径および株重を調査し収量を算出した。

2) チンゲンサイ

道南農試では2018および2019年度に外張りパイプハウスを用いて試験を実施した。一方、道総研上川農業試験場（比布町；以下、上川農試）では、2015および2016年度に天井部分に空気膜構造の二重フィルムを装備した（外張り二重）パイプハウスを準備して試験を行った。品種には「青武」を供試し、セル育苗3〜4葉苗を利用した。1.5 m幅の黒マルチベッドを準備し、株間および条間15 cmの10条植えとした。

道南農試では、定植時期は10月中旬（2018年10月12日および2019年10月13日）および10月下旬（2018年10月22日および2019年10月25日）の2水準、試験規模は1区120株、2反復とし、施肥量、保温処理、栽培管理および気温の測定は前述の小カブと同様に行った。大半の処理区が収穫適期となった11月中旬〜12月下旬を「収穫始」として収穫調査を実施し、その後2か年ともに1月中旬（2019年1月16日および2020年1月17日）と2月上旬（2019年2月7日および2020年2月3日）にも調査を行った。収穫時には各処理区から20株をサンプリングし、低温障害、病害発生および抽だいにもとづき可販率を調査した。可販としたものの

うち10株について調製時の草丈および株重を調査し収量を算出した。

上川農試において、施肥量は土壌中の硝酸態窒素、トルオーグリン酸および交換性カリの含有量を考慮して $N:P_2O_5:K_2O=15:15:15$ kg/10aとした。定植時期は10月上旬（2015年10月8日および2016年10月9日）および10月中旬〜下旬（2015年10月22日および2016年10月20日）の2水準、試験規模は1区120株、2反復とした。定植後は自動巻き上げ機によりパイプハウス内が25℃以上に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように設定したが、11月の積雪以降は外張りの側窓フィルムは閉め切り管理とし、2015年11月4日および2016年11月1日以降は夕方（16時前後）から翌朝（9時前後）にかけて内張りフィルムを閉め切った。さらに2015年12月17日および2016年11月10日以降は前述の時間帯に不織布をべたがけ被覆した（外張り二重+不織布区、図1-4-1、C）。気温の測定は前述の小カブと同様に行った。収穫調査は2か年ともに12月中旬〜下旬（2015年12月24日および2016年12月20日）と1月下旬（2016年1月25日および2017年1月25日）の2回実施した。収穫時には各処理区から12株をサンプリングし、低温障害、病害発生および抽だいにもとづき可販率を調査した。うち全ての可販株について調製時の草丈および株重を調査し収量を算出した。

3. 結果

1) 小カブ

2018年度は12月上旬以降の月旬平均外気温が0℃以下であったが、トンネル区および無処理区では平均気温が3.3〜5.3および2.4〜3.9℃で推移した

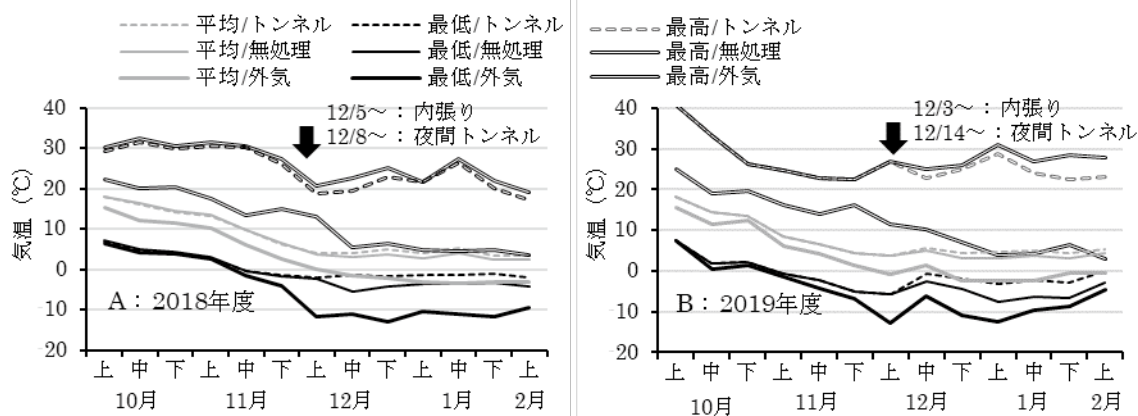


図1-4-2 小カブおよびチンゲンサイ栽培期間中のハウス内月旬別気温推移（道南農試）
外気は AMeDAS（北斗）を利用した。矢印は保温開始時期を示す。

表 1-4-1 播種時期、保温管理および収穫時期の違いが小カブ収量に及ぼす影響（道南農試）

試験 年度	処理		調査日	収穫始				1月中旬収穫				2月上旬収穫			
	播種	保温		収量 [*] (t/10a)	根径 (cm)	可販率 (%)	裂根率 (%)	収量 (t/10a)	根径 (cm)	可販率 (%)	裂根率 (%)	収量 (t/10a)	根径 (cm)	可販率 (%)	裂根率 (%)
2018	10月上旬トンネル		12/13	6.1 [†]	6.0	97	0	10.0	8.0	92	0	11.1	8.2	88	5
		無処理	12/13	6.5	6.2	100	0	8.2	7.6	88	5	6.2	7.6	78	8
	10月中旬トンネル		12/26	4.8	5.7	93	5	6.3	6.6	90	8	6.4	6.8	90	6
		無処理	12/26	4.4	5.4	100	0	5.5	6.2	100	0	5.9	6.7	98	0
2019	10月上旬トンネル		12/23	6.4	6.3	100	0	7.3	6.7	100	0	5.2	6.9	67	25
		無処理	12/23	5.3	5.9	100	0	6.2	6.5	100	0	6.7	6.9	82	13
	10月中旬トンネル		12/27	2.9	4.5	100	0	4.4	5.7	100	0	6.4	6.6	100	0
		無処理	12/27	2.3	4.2	100	0	3.9	5.5	100	0	5.2	6.3	97	0

*栽培密度44,444株/10a（北海道野菜地図参照，ハウス占有率75%で算出）。

†基準収量4.5t/10a以上の場合はボールドアンダーラインで示した。

（図 1-4-2，A）。最低外気温は 12 月 28 日に-13.1℃となったが，保温処理期間において，トンネル区および無処理区で記録した最低気温はそれぞれ-2.1 および-5.4℃であった。最高外気温は，12 月中旬以降は 10℃以下であったが，トンネル区および無処理区では 1 月以降に最高気温が 27.4 および 26.4℃となった。

2019 年度も 12 月上旬以降は月平均外気温が概ね 0℃以下であったが，トンネル区および無処理区では平均気温が 3.6～5.6 および 3.0～4.9℃で推移した（図 1-4-2，B）。最低外気温は 12 月 5 日に-12.7℃となったが，保温処理期間において，トンネル区および無処理区で記録した最低気温はそれぞれ-3.2 および-7.5℃であった。最高外気温は，12 月下旬以降は 10℃以下となったが，トンネル区および無処理区では 1 月以降でも最高気温が 31.0 および 28.9℃となった。

10 月上旬播種では，収穫始となる 12 月中旬～下旬の収量が 5.3～6.5 t/10a となり，北海道野菜地図（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020）の基準収量である 4.5～5.0 t/10a を上回った（表 1-4-1）。その後も根径が徐々に増加し，1 月中旬および 2 月上旬の収量は 5.2～11.1 t/10a となり，ほとんどの区で収穫始を上回った。2018 年度の無処理区では 1 月下旬以降に葉先枯れや葉柄

の萎れ・裂け等の障害が発生し，可販率が低下した。一方，トンネル区では低温障害は認められず，根の肥大が促進する傾向が認められた。2019 年度の 2 月上旬収穫では過肥大が原因と思われる裂根が発生したため可販率が低下し，特にトンネル区で裂根率が高かった。

10 月中旬播種では，2018 年度 12 月下旬の収量は 4.4～4.8 t/10a となり，1 月中旬および 2 月上旬の収量はいずれの区においても基準収量を上回った。

2019 年度においてはトンネル区で 1 月中旬以降に，無処

理区では 2 月上旬以降に収量が 4.4 t/10a 以上となり，概ね基準収量を上回った。また，2 月上旬においても，裂根はほぼ見られず，可販率も 9 割以上であった。

2) チンゲンサイ

(1) 道南農試

栽培期間中のハウス内気温の推移は小カブと同様の結果であった（図 1-4-1，A，B）。

10 月中旬定植では，収穫始である 11 月下旬の収量が 4.9 t/10a 以上となり，北海道野菜地図（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020）の基準収量である 5.0 t/10a を概ね上回った（表 1-4-2）。一方，10 月下旬定植の収穫始における収量

表 1-4-2 定植時期、保温管理および収穫時期の違いがチンゲンサイ収量に及ぼす影響（道南農試）

試験 年度	処理		調査日	収穫始				1月中旬収穫				2月上旬収穫			
	定植	保温		収量 [*] (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)	抽だい率 (%)	収量 (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)	抽だい率 (%)	収量 (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)	抽だい率 (%)
2018	10月中旬トンネル		11/27	5.5 [†]	25.8	89	0	4.1	21.4	92	0	0.0	—	0	0
		無処理	11/27	5.5	25.9	86	0	1.8	19.9	52	0	0.0	—	0	0
	10月下旬トンネル		12/13	2.8	24.1	74	0	3.0	21.0	73	6	0.0	—	0	0
		無処理	12/13	3.4	23.8	85	0	2.0	18.4	77	6	0.0	—	0	0
2019	10月中旬トンネル		11/20	4.9	26.2	100	0	4.8	25.1	50	50	0.0	—	0	100
		無処理	11/20	5.1	26.4	100	0	6.0	23.5	68	15	0.7	20.1	6	92
	10月下旬トンネル		12/23	4.8	25.0	100	0	6.2	25.2	95	0	0.0	—	0	100
		無処理	12/23	4.1	23.7	100	0	4.7	23.4	100	0	4.4	23.4	80	20

*栽培密度44,444株/10a（北海道野菜地図参照，ハウス占有率75%で算出）。

†基準収量5.0t/10a以上の場合はボールドアンダーラインで示した。

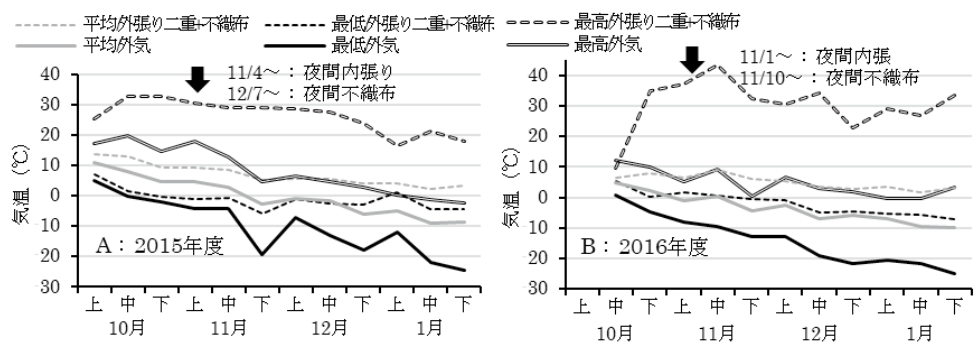


図 1-4-3 チンゲンサイ栽培期間中のハウス内月別気温推移（上川農試）

2016 年度 10 月 19 日以前は欠測。外気は AMcDAS（比布）を利用した。矢印は保温開始時期を示す。

は 2019 年度では 4.1 t/10a 以上であったものの、2018 年度では 3.4 t/10a 以下で、いずれも基準に達しなかった。

2018 年度は 11 月下旬以降に尻ぐされ症状や腐敗症状の発生により可販率が低下し、2 月上旬には可販率が 0% となった。2019 年度において症状はほとんど発生しなかったものの、1 月中旬以降抽だいが確認された。1 月中旬の抽だいは 10 月下旬定植より 10 月中旬定植で、また無処理区よりトンネル区において多発する傾向が見られた。

(2) 上川農試

2015 年度は 11 月下旬に月平均外気温が 0℃を下回り、その後徐々に低下した（図 1-4-3, A）。1 月中旬～下旬において平均外気温は -8.8～-9.9℃であったのに対し、外張り二重+不織布区では平均気温が 2.1～3.2℃に維持された。最低外気温は 1 月 25 日に -24.4℃であったが、同日の外張り二重+不織布区の最低気温は -4.3℃であった。最高外気温は、11 月下旬以降は 10℃以下であったが、外張り二重+不織布区では 1 月以降に 21.3℃となった。

2016 年度は 11 月上旬に月平均外気温が 0℃を下回り、その後徐々に低下した（図 1-4-3, B）。1 月中旬以降は -9.6～-9.7℃であったのに対し、外張り二重+不織布区では最も低い 1 月中旬の平均気温が

1.8℃であった。最低外気温は 1 月 24 日に -25.1℃となったが、同日の外張り二重+不織布区の最低気温は -7.2℃であった。最高外気温は、10 月下旬以降は 10℃以下となったが、外張り二重+不織布区では 1 月以降に 33.0℃となった。

10 月上旬定植では、12 月下旬の収量が 2 か年とも 4.3 t/10a 以上となり、基準収量をやや下回るものの概ね出荷可能であった（表 1-4-3）。2016 年度においては 1 月下旬の収量が 4.8 t/10a となり、ほぼ基準収量を満たした。10 月中旬～下旬定植では、2 か年とも収量が 3.4 t/10a 以下で、基準収量を大きく下回った。

12 月以降腐敗症状が見られ、特に 2015 年度では 1 月下旬収穫時には著しく可販率が低下し、減収した。

4. 考察

カブ、チンゲンサイは、ともに北海道では主にハウスでの栽培が行われている葉根菜類である。チンゲンサイは北海道においてハウレンソウ、コマツナ、ニラに次ぐ生産量を誇るハウス葉菜類であり（農林水産省, 2020）、カブは根菜類に分類されるものの、茎葉も食することができるため葉菜類としての側面も持ち合わせている。北海道野菜地図（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会編, 2020）によると、いずれの品目も 12 月～3 月は北海道ではほとんど生産されておらず、市場流通している生産物は府県から輸送されている。このためこれらの品目が冬季の北海道で無加温栽培により低コストで生産できれば、府県産から地場産への置き換えが進むと期待される。そこで本報告では、作物が 12 月頃に収穫適期を迎えるための播種・定植時期を検討するとともに、その後低温で生育を停止させて出荷期間を延長するための保温処理および出荷期

表 1-4-3 定植時期および収穫時期の違いが外張り二重+不織布保温処理時のチンゲンサイ収量に及ぼす影響（上川農試）

試験年度	定植	12 月下旬収穫		1 月下旬収穫	
		収量 ^a (t/10a)	可販率 (%)	収量 (t/10a)	可販率 (%)
2015	10 月上旬	4.5 ^y	83	3.8	75
	10 月下旬	3.4	100	2.9	67
2016	10 月上旬	4.3	96	4.8	92
	10 月中旬	0.7	100	1.8	100

^a栽植密度 44,444 株/10a（北海道野菜地図参照，ハウス占有率 75% で算出）。

^y基準収量は 5.0 t/10a で、いずれの定植時期および収穫時期においても未達。

間を明らかにした。

道南地域において小カブを12月～2月に収穫するには、10月中旬播種では生育遅延によるリスクがあることから、10月上旬播種が適していると考えられた(表1-4-1)。外張りとし内張りのフィルム2層による保温で10月上旬播種した場合、2018および2019年度の1月中旬までの最低気温は-5.4および-7.5℃を記録したが、植物体には葉部、根部のいずれにも低温障害は見られなかった。一方、基準収量に到達した約1ヶ月後(1月下旬以降)に、生育が進み成熟した外葉で低温障害が発生し、その時期の最低気温は2018年度において-4.4℃、2019年度において-6.6℃であった(図1-4-2, A, B)。すなわち、1月下旬以降は1月中旬よりも最低気温が高いにもかかわらず低温障害が発生したこととなる。コマツナやホウレンソウでは上位葉より下位葉の耐寒性が低いことが報告されており(田村, 2005)、葉の成熟度合いが耐寒性に影響を与える可能性がある。今回得られた結果から、小カブは生育が進むと外葉の耐寒性が低下しやすい特性を有すると推察され、冬季無加温栽培においてリーフレタス(高濱, 2021)と比較すると収穫適期に達してからの在圃期間が短い品目であると考えられた。なお、適期収穫を想定すると、小カブの生育限界温度は概ね-5℃程度と思われた。

低温期のトンネル保温処理は低温障害抑制や生育促進に有効であった一方、カブは初期の生育より後期の生育が旺盛になると裂根を生じやすいことが知られている(花光, 1958)。本試験でも2019年度においてトンネル保温を併用することで2月上旬の裂根発生頻度が高かった。このことからトンネル保温処理は必ずしも常に有益ではないため、生育が遅れている場合や著しい低温が予想される場合に限定し、特に2月収穫を計画している場合は保温処理を必要最小限にとどめる必要がある。

チンゲンサイの場合、道南地域では10月中旬定植で11月下旬以降に、道北地域では10月上旬定植で、概ね12月下旬以降に収穫可能と考えられた(表1-4-2, 表1-4-3)。道南地域では厳冬の最低外気温は-10℃前後であったが、外張りに内張りとしトンネルの保温処理を組み合わせること(図1-4-1, A)でハウス内の最低気温を-3℃程度に維持することが可能であった(図1-4-2, A, B)。一方、道北地域では厳冬の最低外気温は-25℃を下回った(図

1-4-3, A, B)。そこで外張りを空気膜二重構造にし、さらに内張りとし不織布の保温処理を組み合わせること(図1-4-1, C)でハウス内の最低気温を-4℃程度に維持することが可能となり、道南地域における外張りに内張りとしトンネル保温処理を併用した場合と同等の保温効果を確保できた。前述の保温処理により、道南地域では1月中旬まで、道北地域では1月下旬までチンゲンサイを収穫できる収穫可能性が示唆された。道南農試の2019年度試験における10月中旬定植では、保温処理開始前の12月5日に-5.6℃の低温に遭遇したが低温障害は発生しなかった(図1-4-2, B)。また、外張りとし内張りに加えトンネル保温併用の有無により、1月4日に-3.2および-7.5℃の低温に遭遇したが、前者では低温障害は認められなかったものの、後者では低温障害により可販率が80%にまで低下した。以上のことから、チンゲンサイの生育限界温度は-5℃前後と考えられた。なお、今回道北地域での試験結果では、チンゲンサイは基準収量とされる5.0 t/10aを上回ることにはなかった。しかし、12月および1月の札幌市場におけるチンゲンサイの単価(2016～2020年度平均)は458および511円/kgであり、取扱量の多い4月および10月の371および364円/kgと比べ高い。このことから他時期に基準収量を得た場合と比較しても同等以上の収益が得られることから、道北地域においても十分推奨しうる技術と考えられる。

厳冬期に認められたチンゲンサイの可販率低下には低温障害以外にも抽だいも大きく関与していた。チンゲンサイの抽だいに関しては、野中(1986)は13℃以下の低温に一定期間遭遇することで花芽が形成され、その後高温長日条件下で抽だいが促進されると報告している。また、月時ら(1994)は育苗41日間の夜温10℃以下で抽だいが促進されることも報告している。本試験における道南農試の気温推移を見ると、定植時期の早い10月中旬区では年内に花芽形成の環境条件をほぼ満たしていたと考えられた。また、両試験場ともハウス内の温度管理によっては厳冬期でも20℃以上となる時間帯が見られた。このことから、抽だいを促進させる条件が揃っていたのではないかと考えられた。以上のことから、ハウス内温度が過剰に上昇しないように管理する必要がある、場合によっては小カブ同様、トンネルや不織布などの保温処理は栽培状況に応じて利用すべきである。

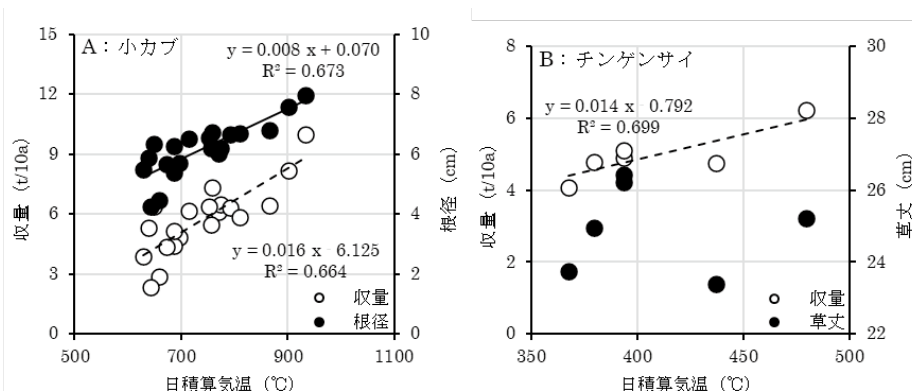


図 1-4-4 小カブおよびチンゲンサイの収量および草丈と日積算気温の関係
道南農試における収穫始および 1 月中旬収穫時において、可販株率 90%以上のデータを利用した。

また、道南農試および上川農試で尻ぐされとそれに伴う腐敗症状が確認された。観察された症状から三澤ら (2019) が報告した *Rhizoctonia* 属菌によるものと推定される。このためチンゲンサイの冬期無加温栽培においては病害対策も重要と考えられた。

小カブとチンゲンサイについて、道南農試における収量、根径および草丈と日積算気温の関係について解析を行った。いずれの品目も収量を目的変数、定植後の日積算気温を説明変数とした寄与率 R^2 は 0.7 程度であり、一次回帰式で説明できると考えられた (図 1-4-4, A, B)。このことから、小カブの基準収量 4.5~5.0 t/10a およびチンゲンサイの基準収量 5.0 t/10a を満たす日積算気温はそれぞれ 660~700 および 410°C と推定された。本試験では上川農試で小カブの試験は実施していない。また、チンゲンサイについても上川農試では基準収量を上回ることにはなかった。しかし、上述の日積算気温を目安に播種・定植時期や保温管理を行うことで、道北地域でも両品目の冬季安定生産が期待できる。小カブについては収穫時の根径についても定植後の日積算気温を説明変数とした一次回帰式で説明できると考えられ (図 1-4-4, A)、日積算気温 660~700°C

表 1-4-4 道南および道北地域における小カブ
およびチンゲンサイの栽培体系

品目(供試品種)	小カブ(玉里)	チンゲンサイ(青武)	
地域	道南	道南	道北
播種期	10月上旬		
定植期		10月中旬	10月上旬
収穫期	12月中旬~2月上旬	11月下旬~1月中旬	12月下旬~1月下旬
基準収量(t/10a)*	4.5~5.0	5.0*	
生育量(根径cm)	5.6~5.8		
生育限界気温(°C)	-5	-5	
播種・定植~収穫の 目標日積算気温(°C)	660~700	410	
保温装備例	外張り+内張り+ トンネル (フィルム3層)	外張り+内張り+ トンネル (フィルム3層)	外張り二重+内張り+ 不織布 (フィルム3層+シート1層)
備考	トンネル保温処理により裂 根を誘発する場合がある	トンネル保温処理により抽だいを誘発する場合がある	

*可販率90%以上を想定した。

*道北地域においては4.3t/10aとした。

における根径は北海道野菜地図(北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会, 2020)によると、S規格相当の5.6~5.8 cmとなった。一方、チンゲンサイにおいては収穫時の草丈と定植後の日積算気温には明確な関係性が見られなかった(図 1-4-4, B: $R^2=0.004$)。この結果は、チンゲンサイの株重が、草丈の長さではなく、生育後半に起こる葉柄部の肥大(葉重の増加)により強い影響を受けることを意味しているのではないかと考えられた。このためチンゲンサイの生育量の推定には、草丈ではなく、葉柄部の肥大を把握できる株径などの別のパラメーターを用いて再度検討する必要がある。

以上をもとに小カブおよびチンゲンサイの栽培体系を表 1-4-4 に示した。本体系は道南または道北地域にもとづく結果であるが、耐寒性や日積算気温のデータを活用することで他の地域の栽培の可否を判断できる。

5. 摘要

道南地域において小カブを、道北・道北地域においてチンゲンサイを無加温ハウスで 11 月下旬以降に収穫するための播種・定植時期を明らかにした。二重外張りや内張りとトンネルまたは不織布被覆の併用により生育が促進され低温障害は軽減したが、裂根や抽だいを誘発した。両品目とも低温障害を生じないハウス内最低気温は-5°Cと考えられ、播種・定植~収穫に必要な日平均気温の積算は小カブが 660~700°C、チンゲンサイが 410°Cであった。

6. 引用文献

- 1) 花光長一郎 (1958) 根菜類の裂根に関する研究 (第 5 報), 千葉大学教育学部研究紀要, 7, 111-118.

- 2) 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会編（2020）8 チンゲンサイ，かぶ，9 野菜標準全道統一規格．北海道野菜地図 43，89-90，105-108，153-157.
- 3) 北海道農政部（2015）チンゲンサイ＜ハウス＞，3-5a) かぶ＜ハウス＞．北海道施肥ガイド 2015，137・143.
- 4) 地子 立・高濱雅幹（2021），北海道北部の積雪地帯における無加温パイプハウスを利用したコマツナの厳冬期生産，北海道立総合研究機構農業試験場集報，105，81-88.
- 5) 三澤知央・長濱 恵・地子 立（2019）北海道で冬期に収穫する数種葉菜類で発生した *Rhizoctonia* 菌による病害，北日本病害虫研報 70，42-48.
- 6) 野中民雄（1986）春出し中国野菜の抽苔問題と対策（第2報），農業技術研究 40（2），43-45.
- 7) 農林水産省（2020）野菜出荷統計，平成 30 年産野菜生産出荷統計，56.
- 8) 澤井祐典・玉城盛俊（2020）アブラナ科カラシナに含まれる遊離アミノ酸，シニグリン，アリルイソチオシアネートの遮光栽培による影響，日本食品科学工学会誌，67（6），203-208.
- 9) 高濱雅幹（2021）葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術—第2報—道南地域におけるレタス類，北農，88，220-226.
- 10) 高濱雅幹・地子立（2021）葉根菜類の冬季無加温生産技術—第1報—品目選定，北農，88，214-219.
- 11) 田村晃（2005）積雪寒冷地における冬期葉菜類栽培に関する研究：特に，ハウレンソウとコマツナの耐凍性，糖およびアスコルビン酸に注目して，秋田県農業試験場研究報告，45，2-131.
- 12) 月時和隆・山本幸彦・豆塚茂実（1994）チンゲンサイの節間伸長に関する研究（第1報），福岡県農総試験報，B-13，21-24.

7. 付記

本報の大意は北農第 88 巻第 3 号に掲載したものである。

第五節 紫ミズナ、カラシナ類

1. はじめに

ミズナおよびカラシナはアブラナ科に属するツケナの仲間であり，それぞれ古くから関西，九州地方で栽培されてきた地方野菜の一つである。ミズナの全国生産量はハウレンソウの約 20%，コマツナの約 40%であるが（農林水産省，2018），現在ではチンゲンサイと共に主要葉菜類として全国的に栽培が行われている。カラシナに関しては全国的統計データは存在しないものの，カラシナの変種であり，辛味を有しフリル状の葉が特徴的なワサビナ（図 1-5-1，A）は九州地方の他，滋賀県や茨城県などでサラダ野菜として栽培が行われている。また近年はアントシアニンを含んだ紫ミズナ（図 1-5-1，B）や欠刻葉タイプのカラシナである紫カラシナ（図 1-5-1，C）のような特徴的な葉色を持つ品目の種子も販売され始め（新井，2011；井手，2014），今後の生産増加が期待される。

ミズナは栽植密度や施肥方法に関する栽培体系が既に確立されており（木村，2009），道内では主に春季～秋季に生産されている（札幌卸売市場，2020）。しかし，紫ミズナについては栽培事例も少なく，冬季無加温栽培についてはこれまで検討されていない。一方，紫カラシナやワサビナについては全国的にも栽培技術に関する報告が皆無である。そこで本研究では，冬季無加温栽培に適し（高濱・地子，2021），新しい品目として導入が見込める紫ミズナならびにカラシナの仲間である紫カラシナおよびワサビナについて，道南および道北地域で冬季無加温栽培のための定植時期または保温管理方法を検討したのでその結果を報告する。



図 1-5-1 本試験で供試したワサビナ，紫ミズナおよび紫カラシナ

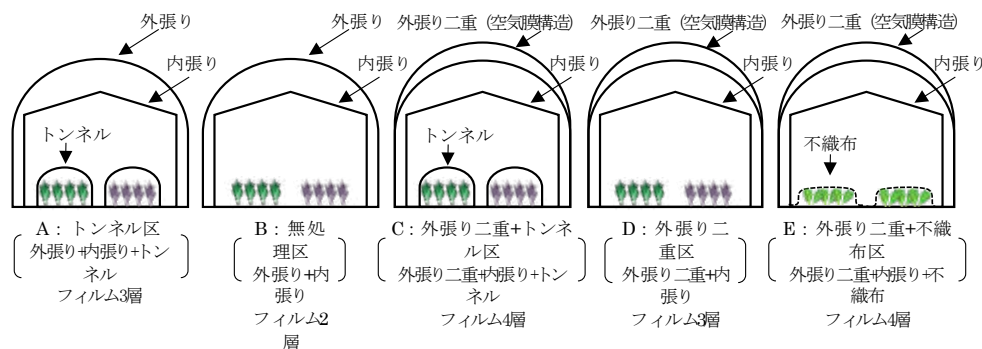


図 1-5-2 供試ハウスの保温装備処理区一覧

2. 試験方法

1) 紫ミズナ

2018 および 2019 年度に道南農試の外張りパイプハウスにて試験を実施した。品種には「紅法師」を供試し、直播栽培とした。施肥量は $N:P_2O_5:K_2O=15:15:15 \text{ kg}/10a$ を基準とし、窒素については「北海道施肥ガイド 2015」（北海道農政部，2015）のミズナの施肥対応にもとづき、土壌中の硝酸態窒素含有量を考慮して調整した。1.5 m 幅の無マルチベッドを準備し、株間 7.5 cm および条間 15 cm の 10 条植えとした。

播種時期は 10 月上旬（2018 年 10 月 5 日および 2019 年 10 月 4 日）および 10 月中旬（2018 年 10 月 12 日および 2019 年 10 月 13 日）の 2 水準，試験規模は 1 区 80 株，2 反復とした。定植後はハウス内気温が 20～25℃に到達すると自動巻き上げ機により外張りの側窓フィルムを開放するように設定したが、降雪後の 2018 年 12 月 5 日および 2019 年 12 月 5 日以降は原則外張りとは内張りフィルムを常時閉め切り管理とした。なお、ハウス内気温 15℃を目安にハウス妻面の扉を開閉し換気した。2018 年 12 月 9 日以降および 2019 年 12 月 9 日以降、ハウス内にトンネル保温を行う区（トンネル区，図 1-5-2，A）と保温を行わない区（無処理区，図 1-5-2，B）を準備し、夕方（16 時前後）から翌朝（7～8 時）にかけてトンネルフィルムを被覆した。栽培期間を通して処理区中央の気温（地上 20 cm 高）を温度データロガーで 1 時間ごとに測定した。

大半の処理区が収穫適期とされる草丈 35～45 cm に達した 11 月下旬～12 月中旬を「収穫始」として収穫調査を実施し、その後 2 か年ともに 1 月中旬（2019 年 1 月 17 日および 2020 年 1 月 15 日）と 2 月上旬（2019 年 2 月 6 日と 2020 年 2 月 4 日）にも調査を行った。収穫時には各処理区から 20 株をサン

プリングし、低温障害および病害発生にもとづき可販率を調査した。可販としたもののうち 10 株について調製時の草丈および株重を調査し収量を算出した。

2) 紫カラシナ

2018 および 2019 年度に道南農試の外張りパイプハウスおよび上川農試の外張り天井空気膜構造二重パイプハウス（外張り二重）で試験を実施した。品種には「コーラルリーフフェザー」を供試し、直播栽培とした。1.5 m 幅の無マルチベッドを準備し、株間 7.5 cm および条間 15 cm の 10 条植えとした。

道南農試では、試験規模は 1 区 120 株，2 反復とし、施肥量，試験処理，栽培管理および気温の記録は前述の紫ミズナと同様に行った。

上川農試において、施肥量は土壌中の硝酸態窒素、トルオーグリン酸および交換性カリの含有量を考慮して $N:P_2O_5:K_2O=7.5:7.5:7.5 \text{ kg}/10a$ とした。播種時期は 9 月下旬（2018 年 9 月 25 日および 2019 年 9 月 24 日）および 10 月上旬（2018 年 10 月 4 日および 2019 年 10 月 4 日）の 2 水準，試験規模は 1 区 120 株，2 反復とした。播種後は自動巻き上げ機によりパイプハウス内が 25℃以上に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように設定したが、11 月の積雪以降は外張りの側窓フィルムは閉め切りとし、2018 年 11 月 22 日および 2019 年 11 月 15 日以降は夕方（16 時前後）から翌朝（9 時前後）にかけて内張りフィルムを閉め切った。さらに同日よりハウス内にトンネル保温を行う区（外張り二重+トンネル区，図 1-5-2，C）と保温を行わない区（外張り二重区，図 1-5-2，D）を準備し、前述の時間帯にフィルムを被覆した。気温の記録は前述の紫ミズナに準じて行った。

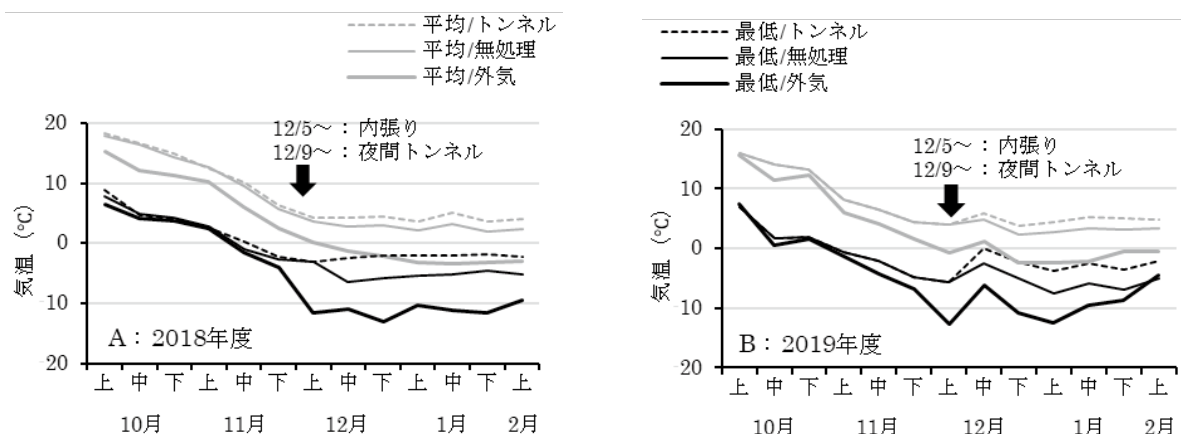


図 1-5-3 紫ミズナおよび紫カラシナ栽培期間中のハウス内月旬別気温推移（道南農試）
外気は AMeDAS（北斗）を利用した。矢印は保温開始時期を示す。

収穫調査は 2 か年ともに 12 月下旬（2018 年 12 月 20 日および 2019 年 12 月 25 日）と 1 月下旬（2019 年 1 月 29 日および 2020 年 1 月 24 日）の 2 回実施した。収穫時には各処理区から 12 株をサンプリングし、低温障害および病害発生にもとづき可販率を調査した。うち全ての可販株について、調製時の草丈および株重を調査し収量を算出した。

3) ワサビナ

2015 および 2016 年度に道南農試の外張りパイプハウスおよび上川農試の外張り二重パイプハウスで試験を実施した。品種には「わさび菜」を供試し、直播栽培とした。施肥量は道南農試、上川農試ともに $N:P_2O_5:K_2O=15:15:15$ kg/10a を基準とし、土壌中の硝酸態窒素、トルオーグリン酸および交換性カリの含有量を考慮して調整した。1.5 m 幅の無マルチベッドを準備し、株間 15 cm および条間 30 cm の 5 条植えとした。

道南農試では、播種時期は 9 月下旬（2015 年 9 月 24 日および 2016 年 9 月 28 日）および 10 月上旬（2015 年 10 月 6 日および 2016 年 10 月 5 日）の 2 水準、試験規模は 1 区 20 株、2 反復とした。播種後は自動巻き上げ機によりパイプハウス内が 20～25℃で外張りの側窓フィルムを開放するように設定したが、2015 年 12 月 25 日および 2016 年 12 月 5 日以降は原則外張りとは内張りフィルムを常時閉め切り管理とした（図 1-5-2, B）。なお、ハウス内気温 15℃を目安にハウス妻面の扉を開閉し換気した。

上川農試では、播種時期は 9 月中旬（2015 年 9 月 16 日および 2016 年 9 月 16 日）および 9 月下旬

（2015 年 9 月 28 日および 2016 年 9 月 28 日）の 2 水準、試験規模は 1 区 20～30 株、2 反復とした。播種後は自動巻き上げ機によりパイプハウス内が 25℃以上に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように設定したが、11 月の積雪以降は外張りの側窓フィルムは閉め切り管理とした。2015 年 11 月 14 日および 2016 年 11 月 1 日以降は夕方（16 時前後）から翌朝（9 時前後）にかけて内張りフィルムを閉め切った。また 2015 年 12 月 17 日および 2016 年 11 月 10 日以降は前述の時間帯に不織布をべたがけ被覆した（外張り二重+不織布区、図 1-5-2, E）。気温の記録は両試験場とも前述の紫ミズナと同様に行った。

植物体が収穫可能なサイズに到達した後各処理区の 6～12 株を対象にして 1～2 週間おきに収穫調査を行った。長さが 20～25 cm に達した葉を葉柄の付け根から摘み取り、低温障害と病害の発生程度を確認後、販売可能と判断した収穫物の葉重を計測した。後作を考慮して道南農試の 2016 年度試験では 2 月上旬まで、それ以外の試験では 2 月下旬まで調査を継続し、収量を算出した。

3. 結果

1) 紫ミズナ

2018 年度は 12 月上旬以降の月旬平均外気温が 0℃以下であったが、トンネル区および無処理区では平均気温が 3.6～5.1 および 1.9～3.1℃で推移した。最低外気温は 12 月 28 日に -13.1℃となったが、トンネル区および無処理区の最低気温は 12 月 15 日に記録した -2.4 および -6.5℃であった（図 1-5-3, A）。

表 1-5-1 播種時期、保温管理および収穫時期の違いが紫ミズナ収量に及ぼす影響（道南農試）

試験 年度	処理		調査日	収穫始			1月中旬収穫			2月上旬収穫		
	播種	保温		収量 ² (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)	収量 (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)	収量 (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)
2018	10月上旬	トンネル	11/21	3.6 ^y	46.3	100	— ^x	—	93	—	—	38
		無処理	11/21	3.7	46.4	100	—	—	65	—	—	21
	10月中旬	トンネル	12/12	2.6	41.5	100	4.6	48.6	95	5.3 _w	48.4	90
		無処理	12/12	2.1	40.4	100	2.6	43.6	85	—	—	—
2019	10月上旬	トンネル	11/28	2.8	37.3	100	—	—	100	—	—	95
		無処理	11/28	2.6	38.2	100	—	—	100	—	—	97
	10月中旬	トンネル	12/19	2.7	37.0	100	5.1	43.4	100	7.6	45.3	100
		無処理	12/19	2.3	35.2	100	2.8	34.7	100	5.2	36.8	100

²栽植密度88,889株/10a(北海道野菜地図その43, ハウス占有率75%で算出)。

^y基準収量2.5t/10a以上の場合はボードアンダーラインで示した。

^x10月上旬播種について、1月中旬および2月上旬は収穫調査を実施せず、圃場で可販率のみ調査した。

^w2018年度10月中旬播種無処理区の2月上旬は鼠害のため収穫調査を実施しなかった。

表 1-5-2 播種時期、保温管理および収穫時期の違いが紫カラシナ収量に及ぼす影響（道南農試）

試験 年度	処理		調査日	収穫始			1月中旬収穫			2月上旬収穫		
	播種	保温		収量 ² (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)	収量 (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)	収量 (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)
2018	10月上旬	トンネル	11/27	2.6 ^y	43.6	100	— ^x	—	98	—	—	93
		無処理	11/27	2.4	43.4	100	—	—	98	—	—	63
	10月中旬	トンネル	12/12	0.6	37.6	100	2.5	43.8	100	4.7	49.0	100
		無処理	12/12	1.3	35.8	100	2.3	40.5	100	2.4	38.6	100
2019	10月上旬	トンネル	11/28	1.1	31.4	100	—	—	100	—	—	100
		無処理	11/28	1.6	35.7	100	—	—	100	—	—	100
	10月中旬	トンネル	12/19	1.3	34.5	100	2.7	43.1	100	4.6	49.3	100
		無処理	12/19	1.2	32.1	100	1.8	35.4	100	3.2	37.8	95

²栽植密度88,889株/10a(ハウス占有率75%で算出)。

^y基準収量1.5t/10a以上の場合はボードアンダーラインで示した。

^x10月上旬播種について、1月中旬および2月上旬は収穫調査を実施せず、圃場で可販率のみ調査した。

2019年度は12月上旬以降の月旬平均外気温が概ね0℃以下であったが、トンネル区および無処理区では平均気温が3.8～5.3および2.4～3.4℃前後で推移した。保温処理期間中の最低外気温は1月5日の-12.5℃であったが、トンネル区および無処理区の最低気温はそれぞれ同日に記録した-3.8℃および-7.5℃であった（図 1-5-3, B）。

10月上旬播種では、収穫始となる11月下旬の収量が、北海道野菜地図（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020）の基準である2.5 t/10aを上回った（表 1-5-1）。2019年度試験では2月上旬まで95%以上の可販率を維持した。しかし2018年度試験では無処理区では1月中旬に、トンネル区では2月上旬に低温障害と思われる葉先枯れが発生し可販率がそれぞれ65%、38%に低下した。

10月中旬播種では、トンネル区では12月中旬より基準収量に達し、その後も収量および草丈が増加し、2月上旬の収量は5.3 t/10a以上となった。一方、無処理区の収量および草丈はトンネル区より低く推移し、12月中旬においては基準をやや下回り、1月中旬以降基準を上回った。いずれの保温処理および収穫時期においても可販率は85%以上の高水準を維持した。

2) 紫カラシナ

(1) 道南農試

栽培期間中のハウス内気温推移は紫ミズナと同様の結果であった（図 1-5-3, A, B）。

10月上旬播種では、一部の処理区を除き、11月下旬の収量が1.6 t/10a以上となった（表 1-5-2）。2018年度試験の無処理区では1月中旬以降に外葉の葉先

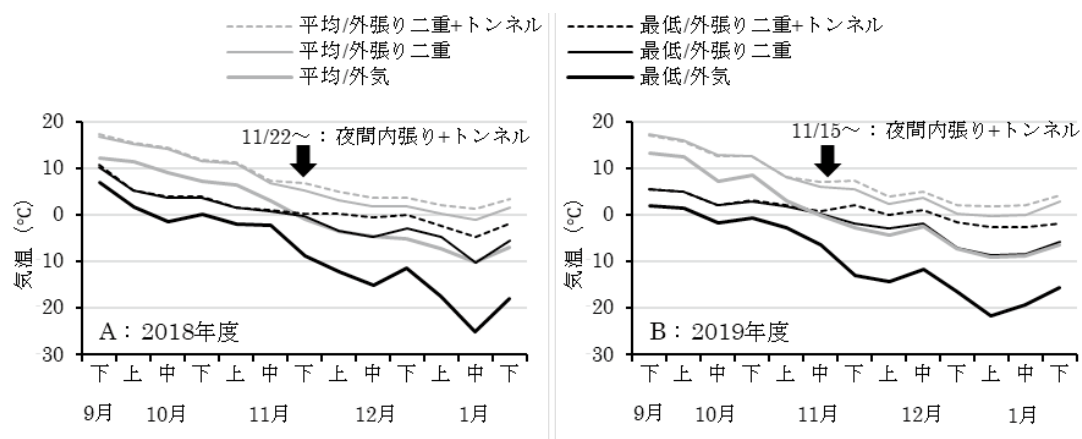


図 1-5-4 紫カラシナ栽培期間中のハウス内月旬別気温推移(上川農試)
外気は AMeDAS (比布) を利用した。矢印は保温開始時期を示す。

表 1-5-3 播種時期、保温管理および収穫時期の違いが紫カラシナ収量に及ぼす影響 (上川農試)

試験 年度	処理		12月下旬収穫			1月下旬収穫		
	播種	保温	収量 ^z (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)	収量 (t/10a)	草丈 (cm)	可販率 (%)
2018	9月下旬	外張り二重+トンネル	<u>2.8</u>	47.8	100	1.3	43.8	67
		外張り二重	<u>2.3</u>	47.3	96	0.6	40.5	50
	10月上旬	外張り二重+トンネル	1.2	38.9	96	<u>2.1</u>	42.7	96
		外張り二重	1.4	38.8	100	1.0	36.8	96
2019	9月下旬	外張り二重+トンネル	<u>4.0</u>	50.8	100	<u>3.2</u>	50.3	92
		外張り二重	<u>3.3</u>	49.9	100	0.9	43.2	54
	10月上旬	外張り二重+トンネル	<u>2.1</u>	43.9	100	<u>1.9</u>	42.4	100
		外張り二重	<u>1.5</u>	38.4	100	0.9	34.5	100

^z栽植密度88,889株/10a(ハウス占有率75%で算出)。

^y1.5t/10a以上の場合はボールドアンダーラインで示した。

枯れや葉柄の表皮剥離などの低温障害が認められたため、2月上旬の可販率は63%に低下した。しかし、その他の保温処理または収穫時期における可販率は93%以上であった。

10月中旬播種では、12月中旬の収量は1.3 t/10a以下となったが、1月中旬以降の収量は1.8 t/10a以上となった。トンネル区の収量および草丈は無処理区より高く推移する傾向が見られた。2019年度試験の無処理区では低温障害が若干見られたものの、2か年の可販率はいずれの保温処理区および収穫時期においても95%以上であった。

(2) 上川農試

2018年度は11月下旬に月旬平均外気温が0℃を下回り、その後徐々に低下した(図 1-5-4, A)。1月中旬において平均外気温は-10.1℃に対し、外張り二重+トンネル区および外張り二重区では平均気温が1.4℃および-1.0℃であった。最低外気温は1月14日に-25.1℃となったが、同日の外張り二重+トンネル区および外張り二重区の最低気温は-4.9℃お

び-10.4℃であった。

2019年度は11月中旬以降に月旬平均外気温が0℃以下となり、その後徐々に低下した(図 1-5-4, B)。1月上旬において平均外気温は-9.1℃であったのに対し、外張り二重+トンネル区および外張り二重区では平均気温が1.7℃および-0.3℃であった。最低外気温は1月10日に-21.7℃となったが、同日の外張り二重+トンネル区および外張り二重区の最低気温は-2.6℃および-8.4℃であった。

9月下旬播種では、12月下旬の収量が2.3 t/10a以上となった。10月上旬播種では、2018年度においては12月下旬の収量は1.4 t/10a以下であったが、2019年度においては1.5 t/10a以上となった(表 1-5-3)。

1月下旬の収量は、一部の区を除き、12月下旬より低い傾向を示した。特に9月下旬播種では低温障害により可販率が低下した。しかし、外張り二重+トンネル区は外張り二重区より収量、草丈および可販率が高く推移する傾向を示した。

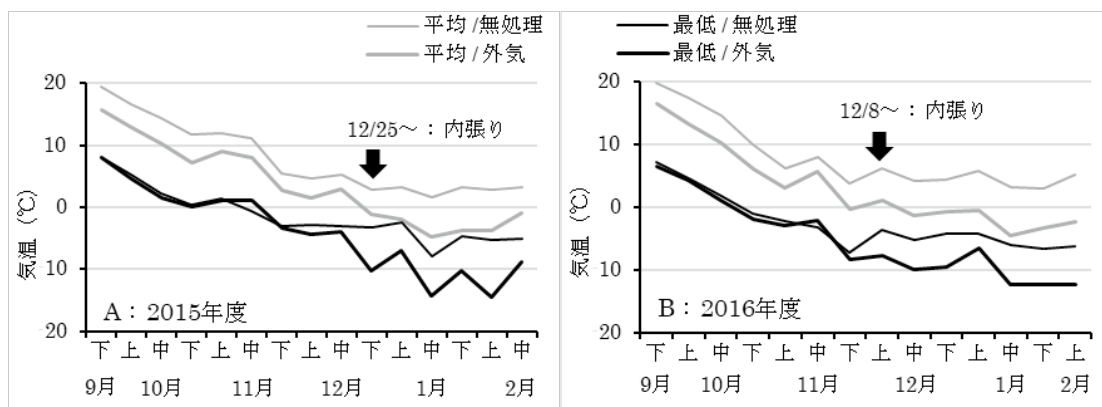


図 1-5-5 ワサビナ栽培期間中のハウス内月別気温推移(道南農試)
外気は AMeDAS（北斗）を利用した。矢印は保温開始時期を示す。

表 1-5-4 播種時期がワサビナの収量に及ぼす影響（道南農試）

試験 年度	播種	収穫期間	収量(t/10a) ²						
			10月	11月	12月	1月	2月	12月～2月累計	総計
2015	9月下旬	10/28～2/24	0.2	3.1	0.9	0.3	0.4	1.6	4.9
	10月上旬	11/26～2/24	0.0	0.9	1.0	0.2	0.3	1.5	2.4
2016	9月下旬	11/17～2/8	0.0	1.4	0.9	0.5	0.2	1.6	3.0
	10月上旬	11/22～2/8	0.0	0.3	1.2	0.5	0.3	1.9	2.2

²栽植密度22,222株/10a(ハウス占有率75%で算出)。

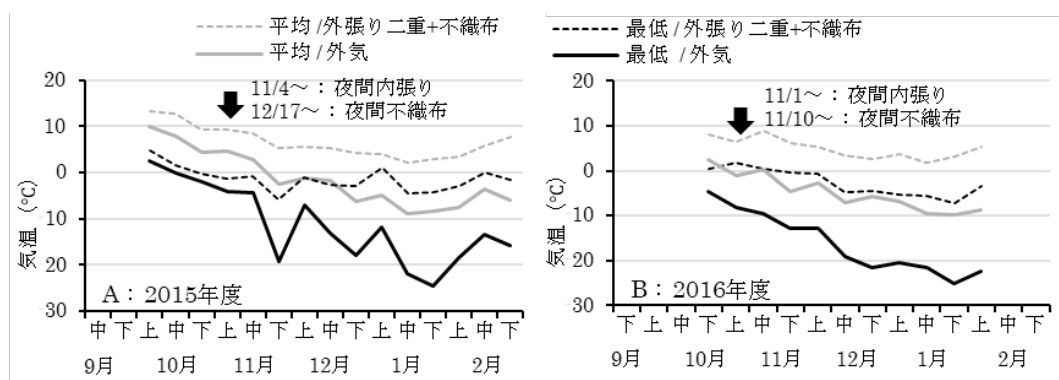


図 1-5-6 ワサビナ栽培期間中のハウス内月別気温推移(上川農試)
2015 年度 10 月 5 日以前, 2016 年度 10 月 20 日以前および 2 月 7 日以降は欠測。
外気は AMeDAS（比布）を利用した。矢印は保温開始時期を示す。

3) ワサビナ

(1) 道南農試

2015 年度は 12 月下旬以降の月平均外気温が 0℃以下であったが, 無処理区では最も気温の低い 1 月中旬において 1.6℃, 2 月以降は 2.9～3.3℃で推移した(図 1-5-5, A)。最低外気温は 1 月 17 日に-14.4℃となり, 同日に記録した無処理区の最低気温は-8.0℃であった。

2016 年度は 11 月下旬以降の月平均外気温が概ね 0℃以下であったが, 無処理区では最も気温の低い 1 月中旬において 3.0℃, 2 月上旬は 5.3℃であっ

た(図 1-5-5, B)。最低外気温は 1 月中旬～2 月上旬に-12℃以下まで低下する日が数日見られたが, 同日の無処理区の最低気温は-6.6℃であった。一方, 内張り保温開始前の 11 月 24 日にハウス内最低気温-7.3℃を記録した(図 1-5-5, B)。

9 月下旬播種では 10 月下旬～11 月中旬より収穫が可能となり, 11 月に収量が最も多かった(表 1-5-4)。10 月上旬播種では 11 月下旬より収穫が可能となり, 12 月に収量が最も多かった。1 月以降に葉先枯れが発生したものの, その発生量はごくわずかであった。総計収量は 2.2 t/10a 以上となった。また 9 月下旬播種では 10 月上旬播種より収量総計が

表 1-5-5 播種時期がワサビナの収量に及ぼす影響（上川農試）

試験年度	播種	収穫期間	収量(t/10a) ²						
			10月	11月	12月	1月	2月	12月～2月累計	総計
2015	9月中旬	11/5～2/25	0.0	1.2	0.8	0.4	1.1	2.3	3.5
	9月下旬	12/10～2/25	0.0	0.0	0.8	0.2	1.1	2.2	2.2
2016	9月中旬	10/28～2/24	0.2	0.8	0.4	0.2	1.2	1.8	2.8
	9月下旬	11/25～2/24	0.0	0.1	0.4	0.2	1.1	1.7	1.7

²栽植密度22,222株/10a(ハウス占有率75%で算出)。

多かった。12月～2月の累計収量は1.5～1.9 t/10aとなった。

(2) 上川農試

2015年度は11月下旬に月平均外気温が0℃を下回り、その後徐々に低下した(図1-5-6, A)。外張り二重+不織布区では最も気温の低い1月中旬において2.1℃、2月以降は3.5～7.7℃で推移した。最低外気温は1月25日に-24.4℃となったが、外張り二重+不織布区では、保温処理期間中の11月26日に記録した-5.8℃が最も低かった。

2016年度は11月上旬に月平均外気温が0℃を下回り、その後徐々に低下した(図1-5-6, B)。1月中旬～2月上旬は-8.6～-9.8℃であったのに対し、外張り二重+不織布区では最も気温の低い1月中旬において1.8℃、2月上旬において5.4℃であった。外張り二重+不織布区では1月中旬の平均気温が最も低く、1.8℃であった。最低外気温は1月24日に-25.1℃となったが、同日の外張り二重+不織布区の最低気温は-7.2℃であった。

9月中旬播種では10月下旬～11月上旬より、9月下旬播種では11月下旬～12月上旬より収穫が可能となった(表1-5-5)。9月中旬播種では11月に、9月下旬播種では12月に収穫のピークが見られ、さらに2月に再び収穫のピークを迎えた。厳冬期である12月以降においても、明確な低温障害は認められなかった。収穫時期間を通じて葉先枯れが確認されたものの、急速に被害が拡大することはなかった。9月中旬播種では9月下旬播種より総計収量が多かった。12月～2月の累計収量は1.7～2.3 t/10aとなった。

4. 考察

近年、調理時間が短縮でき必要量だけ使えるサラダ用カット野菜が増えつつある(藤村, 2016)。そのようなサラダ野菜の中には、特徴的な外観や食味を有する野菜や機能性成分を多く含む野菜に対す

る一定の需要が存在する。そこで本報告では、ともにサラダ需要が期待され、食味に特徴のあるカラシナと、抗酸化作用や脂質改善効果が報告されている機能性成分のアントシアニン(五十嵐, 2008)を含む紫色を呈した葉菜類(紫ミズナ、紫カラシナ)を対象に栽培技術を検討した。

紫ミズナを12月以降に収穫するには、道南地域における播種時期は10月上旬から10月中旬が適していると考えられた(表1-5-1)。保温装備について、外張り二重パイプハウスは必須ではなく、通常の外張りハウスに内張りのみ(図1-5-2, B)または内張りトンネル被覆の(図1-5-2, A)で越冬可能であると考えられた。特に内張りトンネルの併用により、日平均気温が高く維持され、生育促進および増収効果が期待できるだけでなく、低温障害による可販率低下抑制にも有効と考えられた。2019年度の試験では1月5日にハウス内気温が-7.5℃まで低下したにもかかわらず(図1-5-3, B)、障害はほとんど確認されなかった。一方、2018年度の試験において、外張りトンネルの併用で12月15日に-6.5℃の低温に遭遇した後(図1-5-3, A)、1月中旬および2月上旬には低温障害により可販率が低下した。両年の結果は矛盾しており、低温遭遇のみで可販率低下を説明するのは困難であるが、圃場での観察状況も含め-5℃前後であれば著しい低温障害は発生しないと判断した。

紫カラシナの基準収量はこれまで存在しないものの、同様の草姿をした紫ミズナと同時期に播種しても収穫時の一株重が小さくボリュームが少ないことから、紫ミズナの基準収量2.5 t/10aではなく、より基準収量の低い主要葉菜類のコマツナ(1.5 t/10a)を参考とした。道南地域では10月上旬播種で、生育の個体間差の大きかった一部の処理区を除き、11月下旬から基準収量を上回った。また、12月以降の収量については未調査であるものの高い可販率を維持しているため、2月上旬まで収穫可能であると考えられた(表1-5-2)。10月中旬に播種す

れば概ね1月以降に収穫が可能であり、トンネルの併用により増収効果が期待できた。上川農試が立地する道北地域では9月下旬播種で12月以降、10月上旬播種で1月以降の収穫に適しており、外張り二重パイプハウスに内張りとトンネルを併用（図1-5-2, C）すれば1月下旬まで収穫が可能と考えられた（表1-5-4）。上川農試では2018年度試験では1月中旬に-10.4℃、2019年度試験では1月上旬に-8.4℃の低温に遭遇し（図1-5-4, A, B）、その後に可販率が低下した。一方、道南農試の2018年度試験で12月上旬に-6.5℃まで低下した処理区（10月上旬播種の無処理区、図1-5-3, A）において低温障害が確認されなかったことから、紫カラシナの生育限界気温は-7℃前後と考えられた。しかし、同処理区では12月上旬の-6.5℃の低温遭遇に耐えた後、2月上旬に-5.3℃の低温に遭遇した際には可販率が著しく低下した。コマツナやハウレンソウでは上位葉より下位葉の耐寒性が低いことが報告されている（田村, 2005）。また前報においても生育が進んだ小カブの外葉では耐寒性が低下する可能性が示唆された（高濱ら, 2021）。本報の紫カラシナについても、在圃期間が長い個体では生育の進んだ外葉の老化症状が観察されており、老化による耐寒性の低下が前述の2月上旬に発生した著しい可販率低下の主要因であったと考えられた。

ワサビナは道南地域で10月上旬、道北地域で9月下旬に播種すれば12月前からの収穫が可能となった（表1-5-4, 表1-5-5）。道南地域であれば外張りに内張りのみ（図1-5-2, B）で、道北地域であれば外張り二重に内張りと不織布べたがけを併用（図

1-5-2, E）すれば低温障害は発生しなかった。ワサビナは、同じ仲間である紫カラシナと異なり、ハウス内気温が-7.3℃まで低下しても（図1-5-5, B）低温障害の発生がみられなかった。これは、ワサビナでは収穫適期の葉を随時摘み取るため、紫カラシナのように低温障害の発生しやすい老化した外葉が存在しないためと考えられた。また、上川農試では2月以降に再び増収した（表1-5-5）。気温データが一部欠失しているものの、上川農試では外張り二重に内張りと不織布を併用することで日平均気温が上昇し（図1-5-6, A, B）、同時期の道南農試の日平均気温と同等以上となった（図1-5-5, A, B）。このことから、ハウス内気温の上昇により、生育が促進され収量性が増加したと考えられた。なお、小規模であったが、前報（高濱ら, 2021）同様に本試験でも三澤ら（2019）が報告した *Rhizoctonia* 属菌によると推定される葉先枯れ症状が上川農試で観察され、道南農試でも類似した症状が発生したことから、同じ病害である可能性が高い。このことから、今後病害発生時の防除対策が求められる。

ワサビナも基準収量は存在しないものの、同じ摘み取り収穫を行うシュンギクの基準収量が8月以降3～4か月間で2.3 t/10aであることや、主要葉菜類のコマツナの基準収量が1.5 t/10aであることを考慮すると、12月～2月の厳冬期3か月間において1.5 t/10aに設定した。その結果、いずれの試験場においても厳冬期に基準収量を達成することができた。今回は後作の関係上、2月で栽培を打ち切ったが、ワサビナは抽だいするまで摘み取り可能と考えられ、その際にはさらなる増収が期待できる品目である。ハウ

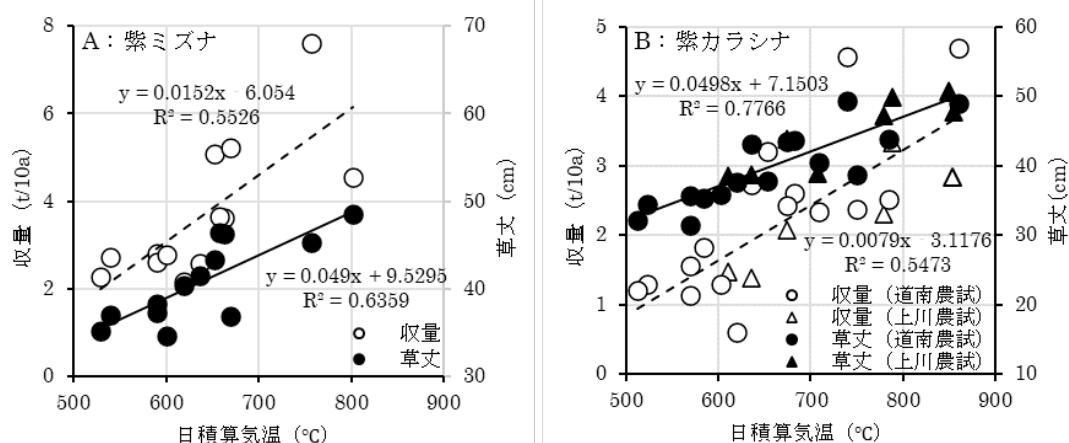


図1-5-7 紫ミズナおよび紫カラシナの収量および草丈と日積算気温の関係
収穫始および1月中旬収穫時において、可販率90%以上のデータを利用した。
実線および破線はそれぞれ草丈および収量の近似線を示す。

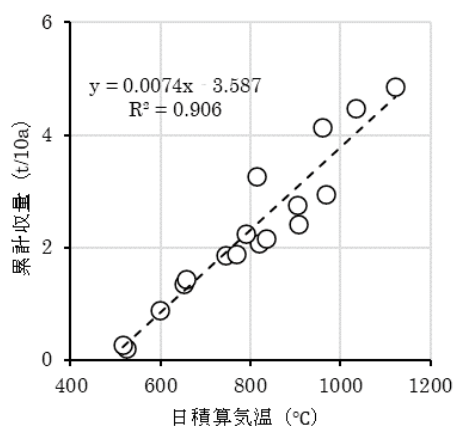


図 1-5-8 ワサビナの累積収量と日積算気温の関係
道南農試の2か年データを利用した。

スの管理事情にあった収穫体系で多収を目指すことができる。

紫ミズナと紫カラシナについて、収量、草丈と日積算気温の関係について解析を行った。その結果、収量と草丈を目的変数、定植後の日積算気温を説明変数とした一次回帰式で説明できると考えられた（図 1-5-7, A, B）。このことから、紫ミズナおよび紫カラシナの基準収量 2.5 t/10a および 1.5 t/10a を満たす日積算気温はそれぞれ 560°C および 580°C と推定され、ここから推定すると紫ミズナおよび紫カラシナの収穫時の草丈目標はそれぞれ 37 cm および 36 cm とほぼ等しいと考えられた。また、北海道野菜地図におけるミズナの目標草丈 35～45 cm（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会 2020）および新井（2011）の報告にある「コーラルリーフフェザー」の目標草丈 20～40 cm と一致した。以上、レタス類（高濱, 2021）、小カブおよびチンゲンサイ（高濱ら, 2021）と同様に、日積算

気温によって目標とする収量と草丈を確保できると考えられたため、両品目で冬季無加温栽培を実施する際には定植時期を遵守し、適切な保温管理を行うことが重要である。

一方、収穫方法が異なり長期間の摘み取り収穫を行うワサビナについては、その累計収量を、定植後の日積算気温を説明変数とした一次回帰式で説明できると考えられた（図 1-5-8）。すなわち、道南農試での試験結果を用いると、播種後収穫始までに 480°C の確保が必要であり、以降は収量 1.0 t/10a あたり 140°C 確保すれば良いと推定された。小規模であったが、前報（高濱ら, 2021）同様に 12 月以降に紫カラシナと同じ基準収量 1.5 t/10a を想定するのであれば、12 月以降 2 月までに約 200°C の日積算気温を確保する必要がある、播種から収穫終了までに最低 690°C の日積算気温が必要と判断された。また、上川農試のように保温装備を強化し十分な気温を確保できれば、冬季でも安定した収量が得られ、厳冬期に限っても同じ摘み取り収穫タイプのシュンギク並みの収量が期待できる。

以上をもとに紫ミズナ、紫カラシナおよびワサビナの栽培体系を表 1-5-6 に示した。本体系は道南または道北地域の結果にもとづいているが、生育限界気温や日積算気温のデータを準用することで他の地域の栽培の可否を判断できる。これらの品目の冬季無加温技術の導入により、道民に馴染みのない新たな野菜の導入が進み、北海道の冬季の自給率向上と食生活の多様化が図られることを期待したい。

5. 摘要

道南・道北地域の冬季無加温栽培において、紫ミズナ、紫カラシナの 11 月下旬～2 月上旬収穫、なら

表 1-5-6 道南および道北地域における紫ミズナ、紫カラシナおよびワサビナの栽培体系

品目(供試品種)	紫ミズナ(紅法師)	紫カラシナ(コーラルリーフフェザー)		ワサビナ(わさび菜)	
地域	道南	道南	道北	道南	道北
播種期	10月上旬～10月中旬	10月上旬～10月中旬	9月下旬～10月上旬	9月下旬～10月上旬	9月中旬～9月下旬
収穫期	11月下旬～2月上旬	11月下旬～2月上旬	12月下旬～1月下旬	10月下旬～2月下旬	
基準収量(t/10a) ²	2.5	1.5		1.5	
生育量 (草丈または葉長cm)	37	36		20～25	
生育限界気温(°C)	-5	-7		-7	
播種・定植～収穫の 目標日積算気温(°C)	560	580		690	
保温装備例	外張り+内張り+ トンネル (フィルム3層)	外張り+内張り+ トンネル (フィルム3層)	外張り二重+内張り+ トンネル (フィルム4層)	外張り+内張り (フィルム2層)	外張り二重+内張り+ 不織布 (フィルム3層+シート1層)

²可販率90%以上を想定した。

びにワサビナの 10 月下旬～2 月下旬収穫のための播種時期と保温方法について明らかにした。紫ミズナ、紫カラシナおよびワサビナの低温障害を生じないハウス内最低気温はそれぞれ-5、-7 および-7℃で、10a あたり基準収量は 2.5、1.5 および 1.5 t、播種～収穫に必要な日平均気温の積算は 560、580 および 690℃であった。

6. 引用文献

- 1) 新井真琴 (2011) 新発表！鮮やかな赤紫に色づく切葉カラシナ！タキイ育成「コーラルリーフ フェザー」「コーラルリーフ プルム」、園芸新知識タキイ最前線, 24, 7-9.
- 2) 藤村亮太郎 (2016) カット野菜の品質技術, 野菜情報, 148, 34-40.
- 3) 北海道農業協同組合中央会, ホクレン農業協同組合連合会編 (2020) 8 こまつな, しゅんぎく, みずな. 北海道野菜地図 43, 79-80, 85-86, 87-88.
- 4) 北海道農政部 (2015) みずなくハウス直播・小株栽培, 移植・中株栽培>. 北海道施肥ガイド 2015, 136.
- 5) 井手一夫 (2014) 葉と葉柄のコントラストが美しい赤紫ミズナ！新発表 タキイ育成ミズナ「紅法師」, 園芸新知識タキイ最前線, 36, 5-6.
- 6) 五十嵐喜治 (2008) 食品素材によるアントシアニンの成分特性と機能・利用, 日本調理科学会誌, 41 (3), 167-175.
- 7) 木村文彦 (2009) 北海道におけるみずな直播・小株栽培の栽培体系, 農業および園芸, 84 (11), 1100-1105.
- 8) 三澤知央・長濱 恵・地子 立 (2019) 北海道で冬期に収穫する数種葉菜類で発生した *Rhizoctonia* 菌による病害, 北日本病害虫研報 70, 42-48.
- 9) 農畜産業振興機構 (2011) 野菜のいろいろ わさび菜, 野菜情報, https://vegetable.alic.go.jp/yasaijoho/iroiro/1101_iroiro.html
- 10) 札幌市中央卸売市場 (2020) 令和 2 年札幌市中
- 11) 央卸売市場月報, <http://www.sapporo-market.gr.jp/fruits-month/index.php>
- 12) 高濱雅幹 (2021) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術―第 2 報―道南地域におけるレタ

ス類, 北農, 88, 220-226.

- 13) 高濱雅幹・地子立 (2021) 葉根菜類の冬季無加温生産技術―第 1 報―品目選定, 北農, 88, 214-219.
- 14) 高濱雅幹・地子立・岡元英樹 (2021) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術―第 3 報―道南および道北地域における小カブおよびチンゲンサイ, 北農, 88, 227-234.
- 15) 田村晃 (2005) 積雪寒冷地における冬期葉菜類栽培に関する研究：特に、ハウレンソウとコマツナの耐凍性, 糖およびアスコルビン酸に注目して, 秋田県農業試験場研究報告, 45, 2-131.

7. 付記

本報の要約は北農第 88 巻第 3 号に掲載したものである。

第六節 ポーレコール

1. 緒言

北海道では、無加温パイプハウスを用いて厳冬期においても葉菜類が生産可能な技術が提案され、これまでにコマツナ, レタス, チンゲンサイ, 小かぶ, カラシナの無加温での栽培法が示されてきた。無加温での品目拡大を目指す上で、ケールの一種であるポーレコールは期待される作目の一つである。ケールはアブラナ科アブラナ属の野菜の中では最も低温に強いとされ (Altinok・Karakaya, 2003), ヨーロッパ北部では秋から冬にかけて露地で栽培されることが多い。ポーレコールはケールの一種であり、葉がカールする独特の外観からカーリーケールとも呼ばれる (Dixon, 2006)。ポーレコールはヨーロッパでは古くから一般的に食べられている野菜であり (Laska・Zelenkova, 1988), 機能性が高いことからスーパーフードとして認識されている (Sikorska-Zimny・Beneduce, 2020)。近年国内でも、

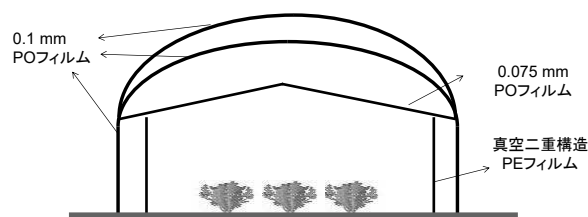


図 1-6-1 供試した無加温パイプハウスの模式図

栄養価が高く食味が良好なことからボーレコールの栽培が増えている。

Jurkow ら (2019) はポーランドの無加温ハウス内で秋冬期にボーレコールの栽培試験を行ったところ、最低気温-5℃に遭遇させることで、ボーレコールの葉の糖含量や機能性成分含量は高まることを示した。我が国では甘い野菜に価値が置かれることから、出荷するボーレコールの糖含量は、商品価値として重要であり、糖含量の高いボーレコールを安定出荷する方法が求められる。しかし、Jurkow ら (2019) は糖含量の調査を 0℃程度の低温に遭遇してから開始しており、温暖な作型との比較も未検討である。また、ボーレコールは個葉を出荷することが多いので葉位別の糖含量調査も必要である。

そこで本研究では、ボーレコールに注目し、北海道の冬期無加温ハウス内で糖含量の指標である Brix 値を秋期から経日調査した。また、苦みの強さと相関があることが報告されている硝酸濃度 (野田・幕田, 2015) の推移も調査した。ボーレコールは個葉を選択出荷するため、葉位による Brix 値の違いについても調査した。また、温暖な春期に生産されたボーレコールと比較することで、生育環境がボーレコールの Brix 値に及ぼす影響について明らかにし、冬期の低温遭遇による高付加価値化の可能性について検討した。

2. 材料と方法

(1) 実験施設の概要

実験は道総研上川農試に設置されたパイプハウス (間口 6.0 m, 奥行 30 m, 軒高 1.8 m, 棟高 3.3 m, 南北棟) で行った。本研究に用いたパイプハウスの保温設備を図 1-6-1 に示した。なお、ハウスの保温性向上のため、ハウスの屋根面のフィルムは二重に展開し、その間にブローアで常時空気を送り込んだ (Roberts, 1978)。2017 年と 2018 年の冬作, 2018 年の春作は葉位による Brix 値の違いを調査した。2018 年と 2019 年の冬作は葉の乾物率と Brix 値の推移を調査した。2017 年 11 月 4 日, 2018 年 11 月 23 日, 2019 年 11 月 15 日に内張りカーテンを設置した。内張りカーテンは 8:30 に開き, 16:30 に閉じた。外張りの側窓は自動換気装置により 25℃一定の設定とした。ハウス内気温は処理区中央の地上 20 cm 高の位置において 1 時間毎に気温センサ (RTR-502, 株式会社 T&D) で測定した。屋外気温は気象庁比布町アメダス (緯度 43.53, 経度 142.28) を用いた。



図 1-6-2 葉位ごとに分けたボーレコールの植物体
葉位は最上葉を第一位とする。

(2) 栽培条件

ボーレコール ‘ウィンターボー’ (ベジヨー・ジャパン) を供試した。2017 年の冬作は 2017 年 8 月 26 日 (育苗期間 19 日間) に, 2018 年の春作は 2018 年 4 月 6 日 (育苗期間 21 日間) に, 2018 年の冬作は 2018 年 8 月 24 日 (育苗期間 21 日間) に, 2019 年の冬作は 2019 年 8 月 24 日 (育苗期間 25 日間) に, それぞれ育苗培土を充填した 128 穴セルトレイに播種し育苗した。本葉が 2~3 枚程度に展開した苗をハウス内に定植した。定植時の栽植密度は 6,250 株/10 a (畝間 40 cm, 株間 40 cm) とした。肥料は, N:P₂O₅:K₂O = 18:14:16 kg/10 a とした。

(3) 収穫調査

収穫調査は 2017 年の冬作では 10 月 31 日から 2018 年 1 月 4 日まで合計 7 回行った。2017 年の冬作と同程度の葉数の個体調査を行うため, 2018 年の春作では, 5 月 22 日から 6 月 11 日までの合計 4 回調査した。それぞれの収穫調査では 6 個体を圃場から無作為にサンプリングした。葉長が 10 cm 以上の生葉を調査対象とし, 葉数ならびに葉位 (葉位は最上葉を第一位とする) 別の葉長, 生体重および Brix 値を調査した (図 1-6-2)。Brix 値は葉位ごとにポリエチレン袋に集め, フリーザーで凍結させた後, 常温で解凍しながら木槌で粉碎し, 得られた搾汁液の Brix 値をデジタル糖度計 (PR-101 α, 株式会社アタゴ) で測定した。葉位ごとに Brix 値と葉の生体重を乗じ, 得られた値を加えたものを全葉重で除すことで葉の平均 Brix 値を算定した。

2018 年の冬の調査は 10 月 29 日から 12 月 26 日まで合計 3 回, それぞれ 6 個体を圃場から無作為にサンプリングした。葉数, Brix 値, 硝酸濃度および葉の乾物率を調査した。葉数, Brix 値の調査は 2017 年の実験と同様に行った。乾物率は, 70℃に設定した恒温乾燥機に生体重を秤量した植物体の葉を入

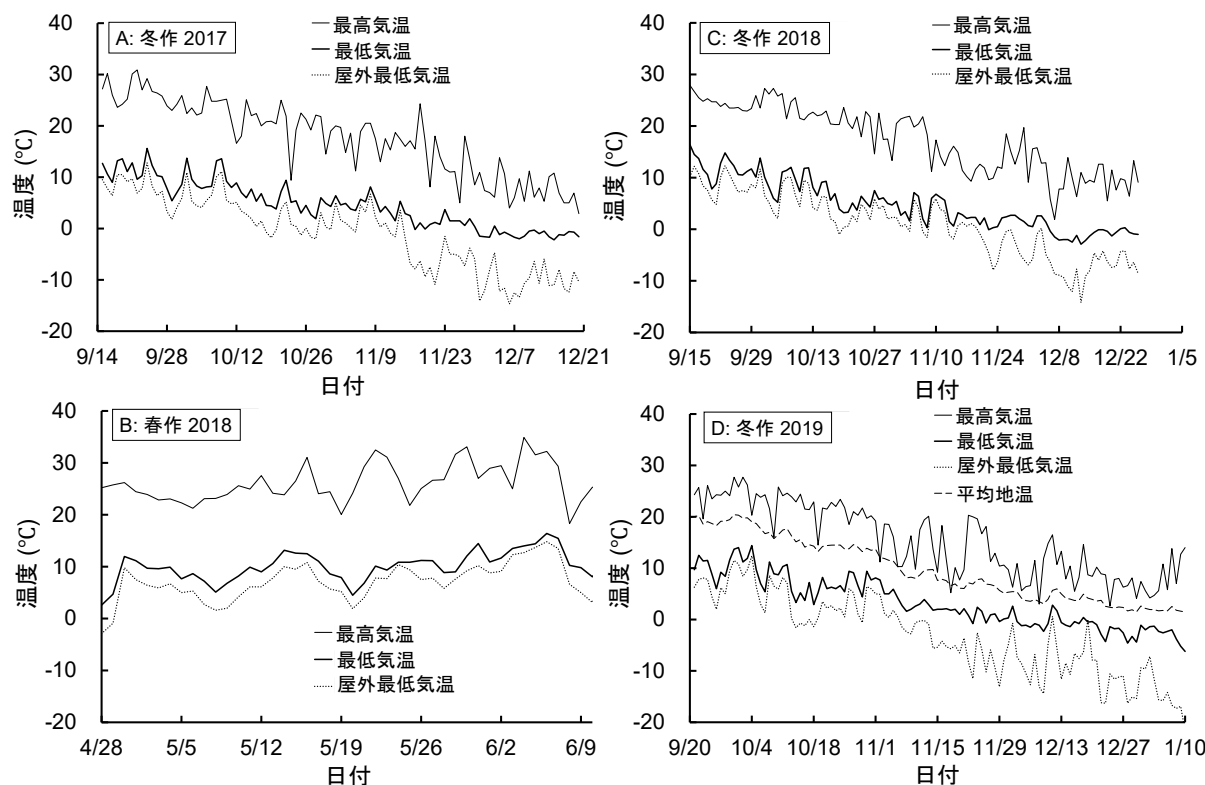


図 1-6-3 ハウス内の日最高気温 (A, B, C, D),
日最低気温 (A, B, C, D), 日平均地温 (D), 屋外最低気温 (A, B, C, D) の推移。

れ 72 時間以上経過した後、室温になるまで放冷させた後、得られた値を生葉の生体重で除すことで算定した。硝酸濃度は、乾物率測定と同様にして調整した乾燥サンプルを用いて測定した。硝酸濃度の測定法は粗飼料の測定法（岡元ら，2007）にならない、乾燥、粉碎した試料 2 g に蒸留水 100 ml を加えて 30 分振とう抽出した後、ろ液を用いて RQ-フレックス（メルク株式会社）により測定した。

2019 年の冬の収穫調査は 10 月 25 日から 1 月 10 日まで合計 7 回、それぞれ 6 個体を圃場から無作為にサンプリングした。葉数、葉の生体重、硝酸濃度および乾物率を 2018 年冬の実験と同様の手法で調査した。Brix 値を高めるのに適した環境条件を明らかにするため、2017 年と 2018 年に冬季栽培された植物を用いて、収穫前 10 日間の平均最低気温と Brix

値の関係を調査した。

(4) 統計解析

統計解析には統計ソフト（Excel 統計 ver.7.0，株式会社エスミ）を用いて、Tukey-Kramer 法，もしくは Dunnett 法を用いて検定を行った ($P < 0.05$)。なお、乾物率については統計処理前に逆正弦変換を行った。

3. 結果

(1) 気象の推移について

各年ともに冬のハウス内の気温は日ごとに低下する傾向だった（図 1-6-3）。2017 年では 11 月 30 日以降，2018 年では 11 月 20 日以降，2019 年では 12 月 3 日以降，ハウス内の最低気温はほとんどの日で 0°C を下回った。それぞれの年のハウス内最低気温は -2.4°C ， -2.9°C ， -6.2°C だった。温室内の最高気温は毎日 0°C を上回った。冬の栽培では，温室内の最低気温が 0°C 以下になった日の朝は植物体の凍結が観察されたが，日中，温室内の気温が高まると融解した（図 1-6-4）。2018 年春の温室内の気温は日ごとに上昇する傾向だった。期間中の最低気温は，2018 年 5 月 20 日の 4.5°C だった（図 1-6-3）。

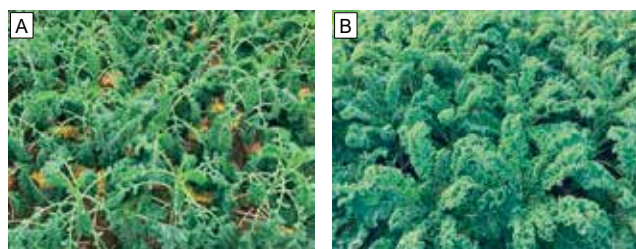


図 1-6-4 ボーレコールの葉の凍結と融解
A, 2019 年 12 月 20 日午前 7 時; B, 同日正午。

(2) 冬作 (2017 年)

2017 年冬の葉全体の平均 Brix 値は 11 月 14 日以降有意に高まり、1 月 4 日では 11 月 14 日の 235% だった (図 1-6-5, A)。葉数は 11 月 28 日まで有意に増加したが、それ以降は 16 枚程度で調査日に有意差はみられなかった。下位の葉ほど Brix 値は低くなった (図 1-6-6, A)。葉位に関わらず Brix 値は高まったが、下位葉は上中位葉より Brix 値が小さく、値のばらつきは大きかった。

(3) 春作 (2018 年)

2018 年春の葉全体の平均 Brix 値は緩やかに減少する傾向だった (図 1-6-5, B)。葉数は増加し続け、6 月 5 日に 2017 年冬と同程度の葉数である 16.5 枚になった。下位葉は上中位葉より Brix 値が小さくなった (図 1-6-6, B)。

(4) 冬作 (2018 年)

2018 年冬の葉数は下位葉が黄化、枯死したため 12 月 26 日で、10 月 29 日および 11 月 28 日より少なかった (図 1-6-5, C)。葉全体の平均 Brix 値、乾物率は経日的に増加し 12 月 26 日では 10 月 28 日のそれぞれ 205%, 187% だった。2017 年の実験と同じように下位の葉ほど Brix 値は低くなったが、ばらつきが大きくなる傾向は見られなかった (図 1-6-6, C)。葉全体の硝酸濃度は経日的に低下し 12

月 26 日では 10 月 28 日の 24% だった (図 1-6-7)。

(5) 冬作 (2019 年)

2019 年冬の葉数、生葉重は 11 月 5 日以降有意差はみられず、葉数は 2017 年と同様に 16 枚程度だった (図 1-6-5, D)。乾物率は 11/14 以降著しく増加した。葉全体の硝酸濃度は 2018 年の実験と同じように経日的に低下し、1 月 10 日では 10 月 25 日の 16% だった (図 1-6-7)。

4. 考察

本試験では北海道でも厳冬期に無加温でポーレコールを栽培できること、厳冬期に栽培することで糖濃度の指標である Brix 値は上昇することが示された (図 1-6-5, 図 1-6-6)。これは Jurkow ら (2019) がポーランドで見出した結果と一致した。Jurkow ら (2019) は糖濃度や乾物率の上昇には最低気温 -5°C 以下に遭遇することが必要と報告しているが、Jurkow ら (2019) より保温設備が充実している本研究では、2017～2019 年の 3 か年で -5°C 以下に到達したのは 2020 年 1 月 9 および 10 日の 2 日間だった (図 1-6-3)。

よって、Jurkow ら (2019) より高い最低気温で Brix 値や乾物率が高まることが示された。Brix 値を高める最低気温については、田村 (2005) がホウレンソウとコマツナの糖含量と気温の関係を調査し、

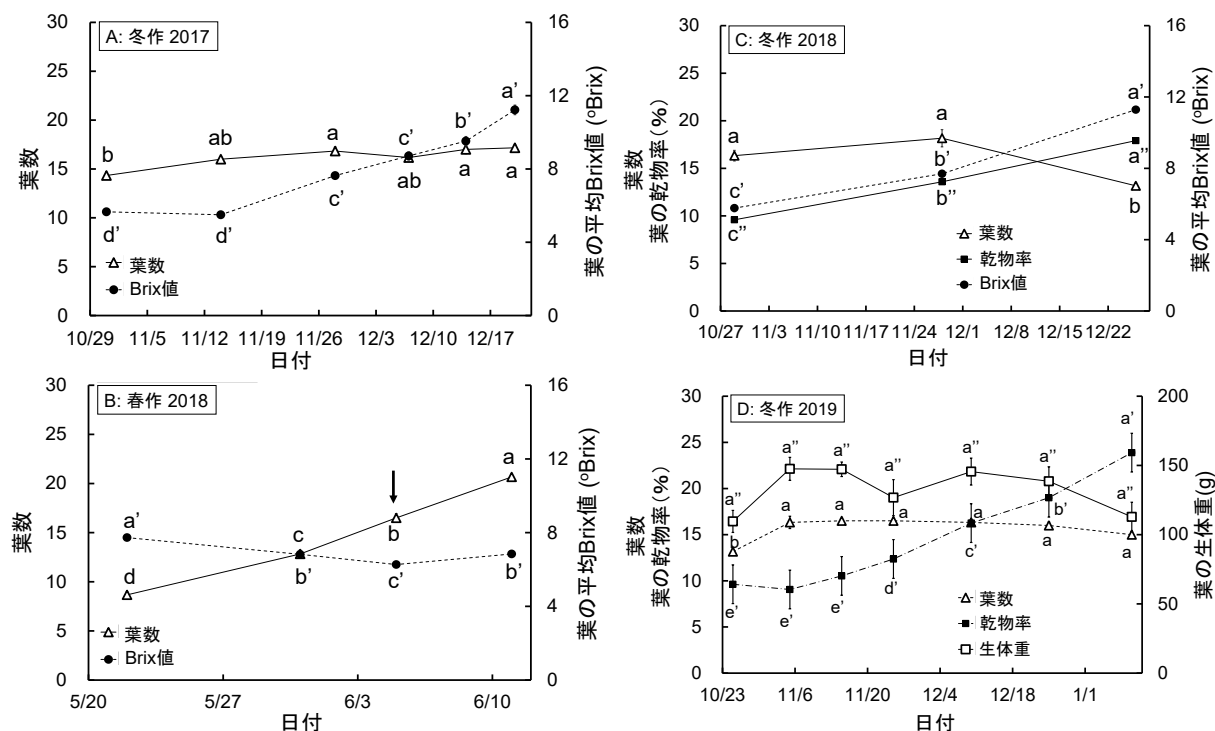


図 1-6-5 ポーレコールの葉数 (A, B, C), 平均糖度 (A, B, C), 乾物率 (C, D), 生体重 (D) の推移。
異なる英小文字は Tukey-Kramer 法により 5% 水準で有意差があることを示す (n=6)。

収穫前10日間の最低気温と密接な関係にあること、最低気温 5℃以下で糖含量は高まることを見出した。そこで本研究でも田村（2005）と同様に収穫前 10 日間の日最低気温と Brix の関係を調査したところ（図 1-6-8）、収穫前 10 日間の平均最低気温が 1.3℃以下のものは、2.5～5.0℃より Brix 値が有意に高まった。そのため本試験の範囲では、収穫前 10 日間の日最低気温が 1.3℃以下で Brix 値は増加すると考えられた。

本試験では 2017 年では 11 月 30 日以降、2018 年では 11 月 20 日以降、2019 年では 12 月 3 日以降、ハウス内の最低気温はほとんど毎日 0℃を下回り、ハウス内気温が氷点下の日には早朝に植物体の凍結が観察された（図 1-6-4）。植物のなかには氷点下の気温に遭遇した際には細胞内の水をその外側に氷として析出する応答である細胞外凍結を示すものがある（Steponkus, 1984）。本研究では日最高気温

はほとんどの日で 0℃以上であり日中に葉は融解したことから、細胞外凍結による脱水が繰り返して生じていたと考えられる。また、岡田ら（2005）は、ホウレンソウの試験において地温が 10℃以下の場合には根の活性が低くなるために植物体の脱水が生じ、乾物率や糖含量は上昇することを示した。

本試験では 1 年のみのデータではあるが、2019 年の試験では乾物率の急上昇が見られた 11 月 7 日以降の地温は 10℃未満であった。本試験の範囲ではボーレコールの根の活性を低くする気温帯は特定できないが、低地温により根の活性は低下したと推察される。以上から、細胞外凍結と根の活性の低下による脱水が Brix 値と乾物率の増加の一因と考えられる。

また、2017 年の結果では葉数に差が見られなくなる 11 月 14 日から Brix 値は上昇した（図 1-6-5, 図 1-6-6）。2019 年は Brix 値の測定はしていないが葉数が増加しなくなってから生葉重に差はなく乾物率が増加した。一般に低温により新葉の展開は遅くな

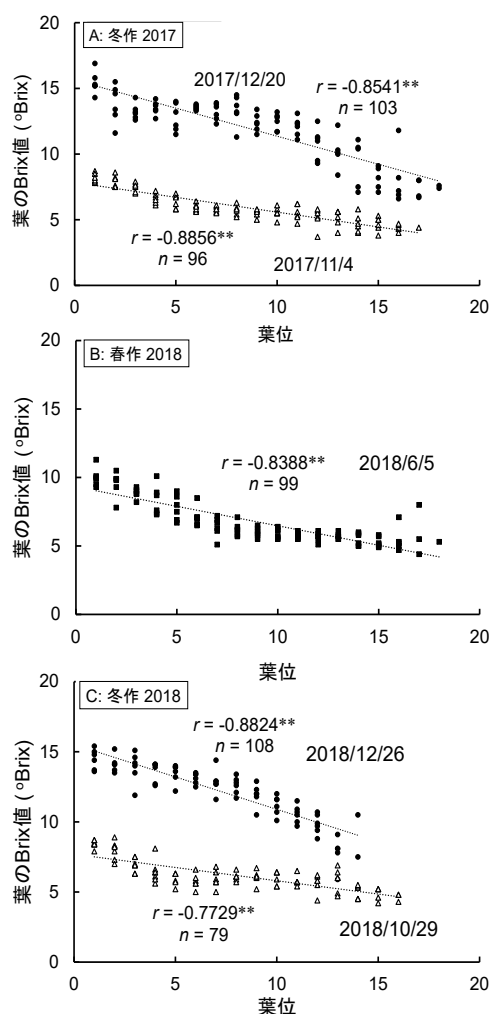


図 1-6-6 ボーレコールの葉位と葉の Brix 値の関係。葉位は最上葉を第一位とする。異なる英小文字は Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差があることを示す (n=6)。

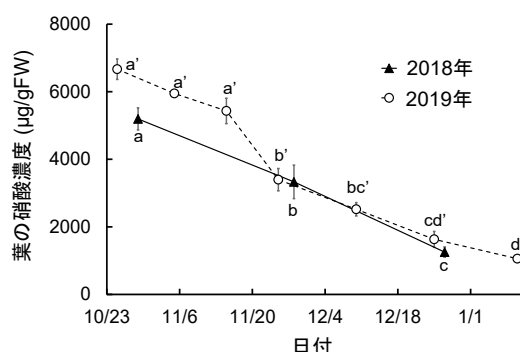


図 1-6-7 ボーレコールの葉の硝酸濃度の推移。異なる英小文字は Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差があることを示す (n=6)。a-c: 2018 年, a'-d': 2019 年

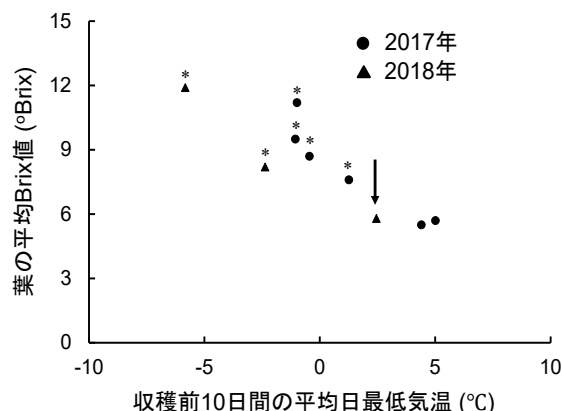


図 1-6-8 葉の平均 Brix 値と収穫前 10 日間の日最低気温の関係。
*は Dunnett 法により矢印で示した値との間で 5%水準で有意差があることを示す (n=10)。

る (Cao・Moss, 1989) ため、現在ある組織に光合成産物が蓄積されたと考えられた。本試験で見出した現象の詳細な機作を理解するためには人工気象室などを用いた試験が望まれる。

また、本研究では Jurkow ら (2019) にない葉位別の Brix 値の調査を行った。収穫時期にかかわらず、ボーレコールの Brix 値は下位の葉ほど低くなること、冬期は葉位に関わらず Brix 値は高まったが、下位葉で上中位葉より Brix 値が小さいことが示された。田村 (2005) は、ほうれんそうとコマツナを葉位別に調査したところ、糖含量は下位葉で上位葉より高くなり、中位葉で最も糖含量は高かったと報告した。

本研究では上位葉と中位葉で Brix 値に差はみられず、下位葉で低い点が田村 (2005) と異なった。傾向が異なる理由に植物体の組織構造的な違いが挙げられる。ハウレンソウやコマツナはロゼット型であるがボーレコールはそうではない。そのため、ボーレコールでの下位葉は上位葉の陰になり、上位葉と比べて光合成速度が低かったと推察される。

糖は光合成によって生産されるので、各葉に到達する光の強度の違いが Brix 値の高い葉位の傾向が異なった一因と考えられた。また、2017 年の冬期に下位葉のばらつきが大きい理由に、下位葉では相互遮蔽によって個葉ごとに葉面に到達する光の割合の差が大きいことが挙げられる。ダイズでは個体の一部の葉を被陰すると、被陰された葉の窒素量は減少し、光合成活性の低下は促進された (Pons・Pearcy, 1994)。また、被陰の程度が強くなるほど、被陰された葉で顕著な老化の促進が起こる (Ono ら, 2001; Weaver・Amasino, 2001)。そのため、下位葉では被覆の程度が個葉によって異なるので光合成量に差が生じ、Brix 値のばらつきが大きくなった可能性がある。

一方、2018 年の冬期は、葉数が少ないため相互遮蔽による被覆の程度のムラが少なく、Brix 値のばらつきが小さかった可能性が考えられる。また、栽植密度によって被覆の程度は異なるので、本試験より高い栽植密度で栽培した場合、下位葉の Brix 値のばらつきが大きくなる可能性があり、今後は栽植密度などについて検討が必要である。

本研究の範囲では、成長点から数えて第 1～12 葉の葉では 10 月または 11 月に収穫されたとの葉よりも高 Brix 値だった (図 1-6-6)。そのため、上位葉と中位葉を収穫すれば一定の Brix 値を保証した高品

質なボーレコールが安定的に収穫できると考えられた。

また、冬作において硝酸濃度は経日的に低下した (図 1-6-7)。硝酸は根から植物体内に吸収され、吸収された硝酸は酵素の働きにより亜硝酸、アンモニアへと還元され、各種のアミノ酸へと変換される (木場ら, 2021)。通常の栽培条件では野菜が吸収する硝酸の量は亜硝酸へと還元される量よりも多く、余った硝酸は野菜中に蓄積される。

前述の通り本試験では栽培後半は低温によって根の活性は低下したと推察される。そのため、蓄積された硝酸が各種のアミノ酸へと変換され、硝酸濃度が低くなったと推察された。硝酸濃度は他の葉菜類で苦みの強さと相関があることが示されており (野田・幕田, 2015)、ボーレコールにおいても苦みが少なくなったと考えられた。

以上から、低温遭遇により苦みが少なく甘みの強いボーレコールの生産が可能と考えられた。低温遭遇により高 Brix 値や低硝酸濃度を示すボーレコールは冬期無加温ハウスを利用した栽培品目として有望で、高付加価値な商品として経済栽培できる可能性が高いと考えられる。

5. 摘要

北海道の多重被覆を施したパイプハウスにおいて、秋冬期にボーレコール (カーリーケール) を無加温で栽培したところ、ハウス内気温が -6.2°C まで低下しても枯死せず、収穫できた。また、収穫前 10 日間の最低気温の平均値が 1.3°C 以下で葉の Brix 値は高まると考えられた。葉の Brix 値が高まったのは、最低気温が氷点下以下になることで植物体の凍結が起こり細胞外凍結が誘導されたことに加え、低地温により根の活性が低くなったために植物体の脱水が生じたためと考えられた。葉位によらずに低温で Brix 値は高まったが、下位葉は上中位葉より Brix 値は小さく、年によっては値のばらつきが大きかった。また、苦みの強さと相関があることが報告されている硝酸濃度は低温で少なくなった。以上から、上中位葉のみを選択することで、高 Brix 値で低硝酸濃度の葉を安定的に生産できると考えられた。

6. 補足

本項の研究に引き続いて実施した研究課題において、ボーレコールの冬季無加温栽培では 9 月上旬

定植で 12 月下旬まで収量 2 t/10a を得られること、
収穫前 2 週間の最低気温の平均を 1℃以下に管理す
ることによって上位葉 Brix 糖度 12%以上を得られること、
収穫後の雪中貯蔵により 42 日間品質を維持可能で
あることなどを示し、2024 年度北海道農業試験会議
(成績会議)において、「葉根菜類ボーレコールの冬
季無加温栽培法と加工・貯蔵特性」として指導参考
事項に認定された。HP アドレスを以下に記す。
[https://www.hro.or.jp/upload/assets/list/agricultural/cente
r/kenkyuseika/gaiyosho/r7/f2/12.pdf](https://www.hro.or.jp/upload/assets/list/agricultural/center/kenkyuseika/gaiyosho/r7/f2/12.pdf)

7. 引用文献

- 1) Altinok S, Karakaya A. 2003. Effect of growth season on forage yields of different Brassica cultivars under Ankara conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 27:85-90.
- 2) Cao, W. and D. N. Moss. 1989. Temperature effect on leaf emergence and phyllochron in wheat and barley. *Crop Science*. 29: 1018-1021.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1989.0011183X002900040038x>
- 3) Dixon, G. R. 2006. Vegetable brassicas and related crucifers. 1-33. CABI North American Office. Massachusetts, USA. ISBN: 978 0 85199 395 9.
- 4) Jurkow, R., A. Wurst, A. Kalisz, A. Sękara and S. Cebula. 2019. Cold stress modifies bioactive compounds of kale cultivars during fall-winter harvests. *Acta Agrobotanica*. 72(1): 1761. DOI: 10.5586/aa.1761
- 5) 木羽隆敏・西美稲子・澤修一 (2021) 植物における窒素の輸送機構. *日本土壌肥科学雑誌* 92 : 76-91
- 6) Laska, P. and I. Zelenkova. 1988. Comparison of *Aleyrodes proletella* in borecole and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera, Aleyrodidae) in common bean and gerberas as hosts of *Encarsia formosa* (Hymenoptera, Aphelinidae). *Acta entomologica bohemoslovaca*. 85(6): 473-474. issn 0001-5601.
- 7) 野田博行・田武広 (2015) 味覚センサーで測定したコマツナおよびハウレンソウの味覚値に及ぼす硝酸イオン含量の影響. *科学・技術研究* 4 (2) 177-181
- 8) 岡田益己・上めぐる・寄孝弘・青木和彦・荒川市郎 (2005) 寒締め野菜の環境調節シナリオ. *農業技術* 60 : 507-511
- 9) 岡元英樹・奥村正敏・古館明洋 (2007) 天北地方の採草用ペレニアルライグラス単播草地における最適窒素施肥量. *日本草地学会誌* 52 (4) 243-249
- 10) Ono, K., Y. Nishi, A., Watanabe, I., Terashima. 2001. Possible mechanisms of adaptive leaf senescence. *Plant Biology*. 3: 234-243.
- 11) Pons, T.L. and R.W. Pearcy. 1994. Nitrogen reallocation and photosynthetic acclimation in response to partial shading in soybean plants. *Physiologia Plantarum*. 92: 636-644.
- 12) Roberts, W. J. 1978. Designs and considerations for greenhouses in the United States now and in the future. *Acta Horticulturae*. 76: 373-377, 10.17660/ActaHortic.1978.76.59
- 13) Sikorska-Zimny, Kalina and Luciano Beneduce. 2020. The glucosinolates and their bioactive derivatives in Brassica: a review on classification, biosynthesis and content in plant tissues, fate during and after processing, effect on the human organism and interaction with the gut microbiota. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. DOI: 10.1080/10408398.2020.1780193
- 14) Steponkus, P. L. 1984. Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation. *Annual Review of Plant Physiology*. 35: 543-584. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.35.060184.002551>
- 15) 田村 晃 (2005) 積雪寒冷地域における冬期葉根菜類栽培に関する研究 : 特に、ハウレンソウとコマツナの耐凍性、糖およびアスコルビン酸に注目して. *秋田県農業試験場研究報告第 45 号* 1-131
- 16) Weaver, L.M., and R.M. Amasino. 2001. Senescence is induced in individually darkened *Arabidopsis* leaves, but inhibited in whole darkened plants. *Plant Physiology*. 127: 876-886.

8. 付記

本報の要約は *The Horticultural Journal* 第 92 巻第 2 号に掲載したものである。

第二章 冬野菜の品質とその管理技術

第一節 冬期菜の品質

1. はじめに

前報において、コマツナ、レタス類、小カブ、チンゲンサイなど主要葉根菜類について、冬季の北海道においてもハウスの保温装備を充実させることにより無加温栽培が可能なることを示した（地子・高濱, 2021；高濱, 2021；高濱ら, 2021b）。これら様々な葉根菜類の無加温栽培技術はすでに北海道で栽培が普及している「寒締めホウレンソウ」の栽培技術を基本としている。「寒締めホウレンソウ」がいち早く道内に普及した背景のひとつに、無加温栽培で低温にさらすことにより糖度（Brix 値）や栄養価が上昇し（濱寄ら, 2005）、市場から高品質野菜として高く評価されたことが挙げられる。これまでに冬季無加温栽培技術が確立した他の葉根菜類についても冬季はハウス内気温が氷点下となるような場合もあり、「寒締めホウレンソウ」同様品質の向上が期待できるが、知見のある品目は限られている。一方、機能性成分であるポリフェノールの一種、アントシアニンを含んだ紫ミズナや紫カラシナについても栽培可能であることが判明した（高濱ら, 2021a）。しかしこれらの葉根菜類に含まれるポリフェノールの含有量についても北海道での無加温冬季栽培による影響は知見がほとんど存在しない。本研究では異なる保温装備で栽培された冬季葉根菜類の Brix 値およびポリフェノール含有量について経時的に調査を行い、栽培条件との関係について明らかにした。

2. 試験方法

1) コマツナ

2015 および 2016 年度に道南農試の外張り・内張り・トンネルを備えたパイプハウスにて試験を実施した。品種には「陽翠」を供試し、直播栽培とした。施肥量は $N:P_2O_5:K_2O=15:15:15$ kg/10a を基準とし、窒素は「北海道施肥ガイド 2015」（北海道農政部, 2015）のコマツナの施肥対応にもとづき、土壌中の硝酸態窒素含有量を考慮して調整した。1.5 m 幅の無マルチベッドを準備し、株間 5 cm および条間 15 cm の 10 条植えとした。

栽培時期は冬季のほかに、比較対象として夏季を追加した。冬季の播種時期は 10 月中旬（2015 年 10

月 15 日および 2016 年 10 月 14 日）とし、試験規模は 1 区 180 株、2 反復とした。定植後はハウス内気温が 20～25℃に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように自動巻き上げ機を設定したが、降雪後の 2015 年 12 月 25 日および 2016 年 12 月 1 日以降は原則外張り・内張りフィルムを常時閉め切り管理とした。また、2016 年 1 月 4 日以降および 2016 年 12 月 7 日以降、夕方（16 時前後）から翌朝（7～8 時）にかけてハウス内にトンネルを設置し 3 層のフィルムで保温を行う区（トンネル区、図 2-1-1, A）とトンネルを設置せず外張り・内張りの 2 層のフィルムで保温を行う区（無処理区、図 2-1-1, B）を準備した。なお、ハウス内気温 15℃を目安にハウス妻面の扉を開閉し換気した。栽培期間を通して処理区中央の気温（地上 20 cm 高）を温度データロガー（TR-71 シリーズ、株式会社ティアンドデイ）で 1 時間ごとに測定し、収穫前 2 週間の平均気温（以下、平均気温）および日最低気温平均（以下、最低気温）を算出した。

大半の処理区が収穫適期とされる草丈 25 cm に達した 12 月（2015 年 12 月 22 日および 2016 年 12 月 26 日）を「収穫始」として収穫調査を実施し、その後 2 か年ともに 1 月（2016 年 1 月 14 日および 2017 年 1 月 17 日）と 2 月（2016 年 2 月 3 日および 2017 年 2 月 7 日）にも調査を行った。

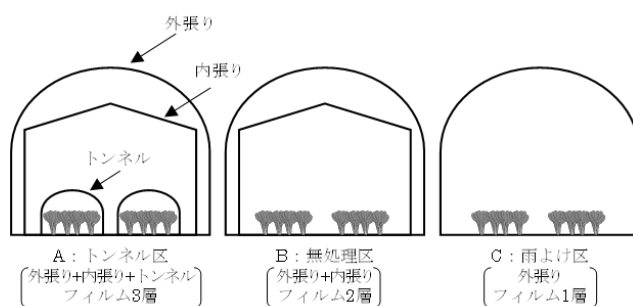


図 2-1-1 供試ハウスの保温装備処理区一覧

夏季の播種は 2015 年 8 月 3 日および 2016 年 7 月 17 日に行い、栽培期間中側窓は原則常時開放して外張りのみの雨よけ栽培とした（雨よけ区、図 2-1-1, C）。栽植密度および施肥量は冬季栽培に準じた。収穫適期に達した 2015 年 8 月 26 日および 2016 年 8 月 8 日に調査を行った。

収穫・調製済サンプル 5 株についてまとめて細断し、搾汁の Brix 値を糖度計（PAL-1、株式会社アタゴ）で測定した。

2) リーフレタス

2015 および 2016 年度に道南農試の外張りと内張りを備えたパイプハウスにて試験を実施した。品種には緑色系の「アーリーインパルス」を供試し、セル育苗 3~4 葉苗を利用した。施肥量は $N-P_2O_5-K_2O=15-15-15$ kg/10a を基準とし、窒素は「北海道施肥ガイド 2015」（北海道農政部，2015）のレタスの施肥対応にもとづき、土壌中の硝酸態窒素含有量を考慮して調整した。1.5 m 幅の黒マルチベッドを準備し、株間および条間 30 cm の 5 条植えとした。

栽培時期は冬季のほかに、比較対象として春季を追加した。冬季の定植時期は 10 月中旬（2015 年 10 月 15 日および 2016 年 10 月 17 日）とし、試験規模は 1 区 50 株，2 反復とした。2016 年 1 月 4 日以降および 2016 年 12 月 7 日以降、トンネル区（図 2-1-1, A）と無処理区（図 2-1-1, B）を準備した。定植後のハウス管理は前述のコマツナに準じた。収穫適期とされる草丈 25 cm に達した 12 月（2015 年 12 月 8 日および 2016 年 12 月 15 日）を「収穫始」として収穫調査を実施し、その後 2 か年ともに 1 月（2016 年 1 月 14 日および 2017 年 1 月 17 日）と 2 月（2016 年 2 月 3 日および 2017 年 2 月 7 日）にも調査を行った。

春季の定植は 2015 年 3 月 16 日および 2016 年 3 月 28 日に行い、外張りと内張りフィルムを設置したパイプハウスに夕方（16 時前後）から翌朝（7~8 時）にかけてトンネルフィルムを被覆した（トンネル区，図 2-1-1, A）。ハウス内気温 20~25℃を目安に外張りおよび内張りの側窓フィルムを開放した。栽植密度、施肥量は冬季栽培に準じた。2015 年 5 月 1 日および 2016 年 4 月 28 日以降はトンネルフィルムを撤去し、収穫適期に達した 2015 年 5 月 11 日および 2016 年 5 月 9 日に調査を行った。

Brix 値の測定については前述のコマツナに準じて実施した。

3) 小カブ

冬季栽培試験は 2018 および 2019 年度に、夏季栽培試験は 2019 および 2020 年度に道南農試の外張りと内張りを備えたパイプハウスにて試験を実施した。品種には「玉里」を供試し、直播栽培とした。施肥量は $N-P_2O_5-K_2O=15-15-15$ kg/10a を基準とし、窒素は「北海道施肥ガイド 2015」（北海道農政部，2015）のカブの施肥対応にもとづき、土壌中の硝酸態窒素含有量を考慮して調整した。1.5 m 幅の黒マルチベッドを準備し、株間および条間 15 cm

の 10 条植えとした。

栽培時期は冬季のほかに、比較対象として夏季を追加した。冬季の播種時期は 10 月上旬（2018 年 10 月 5 日および 2019 年 10 月 8 日）とし、試験規模は 1 区 120 株，2 反復とした。定植後はハウス内気温が 20~25℃に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように自動巻き上げ機を設定したが、積雪後の 2018 年 12 月 9 日以降および 2019 年 12 月 14 日以降は原則外張りと内張りフィルムを常時閉め切り管理とした。また、2018 年 12 月 9 日以降および 2019 年 12 月 14 日以降、トンネル区（図 2-1-1, A）と無処理区（図 2-1-1, B）を準備した。ハウス内の気温管理は前述のコマツナに準じて実施した。根径が約 6 cm に達した 12 月（2018 年 12 月 13 日および 2019 年 12 月 23 日）を「収穫始」として収穫調査を実施し、その後 2 か年ともに 1 月（2019 年 1 月 16 日および 2020 年 1 月 17 日）と 2 月（2019 年 2 月 7 日および 2020 年 2 月 3 日）にも調査を行った。

夏季の播種は 2019 年 7 月 17 日および 2020 年 6 月 4 日に行い、雨よけ区（図 2-1-1, C）で栽培を行った。ベッドは無マルチとし、その他の栽植密度、施肥量は冬季栽培に準じた。収穫適期に達した 2019 年 9 月 7 日および 2020 年 7 月 20 日に調査を行った。

Brix 値の測定については調製後の収穫物を葉部と根部に分け、それぞれ前述のコマツナに準じて実施した。

4) 紫ミズナ

冬季栽培試験は 2018 および 2019 年度に、夏季栽培試験は 2019 および 2020 年度に道南農試の外張りと内張りを備えたパイプハウスにて試験を実施した。品種には「紅法師」を供試し、直播栽培とした。施肥量は $N-P_2O_5-K_2O=15-15-15$ kg/10a を基準とし、窒素は「北海道施肥ガイド 2015」（北海道農政部，2015）のミズナの施肥対応にもとづき、土壌中の硝酸態窒素含有量を考慮して調整した。1.5 m 幅の無マルチベッドを準備し、株間 7.5 cm および条間 15 cm の 10 条植えとした。

栽培時期は冬季のほかに、比較対象として夏季を追加した。冬季の播種時期は 10 月中旬（2018 年 10 月 12 日および 2019 年 10 月 13 日）とし、試験規模は 1 区 80 株，2 反復とした。定植後はハウス内気温が 20~25℃に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように自動巻き上げ機を設定したが、2018, 2019 年度ともに降雪後の 12 月 5 日以降は原則外張りと内張りフィルムを常時閉め切り管理とした。ま

た、2018, 2019 年度ともに 12 月 9 日以降、トンネル区（図 2-1-1, A）と無処理区（図 2-1-1, B）を準備した。ハウス内気温管理は前述のコマツナに準じて実施した。草丈が 35～45 cm に達した 12 月（2018 年 12 月 12 日および 2019 年 12 月 18 日）を「収穫始」として収穫調査を実施し、その後 2 か年ともに 1 月（2019 年 1 月 17 日および 2020 年 1 月 15 日）と 2 月（2019 年 2 月 6 日と 2020 年 2 月 4 日）にも調査を行った。

夏季の播種は 2019 年 7 月 17 日および 2020 年 6 月 4 日に行い、雨よけ区（図 2-1-1, C）で栽培を行った。栽植密度、施肥量は冬季栽培に準じた。収穫適期に達した 2019 年 8 月 27 日および 2020 年 7 月 20 日に調査を行った。

Brix 値の測定については前述のコマツナに準じて実施した。また、細断されたサンプルのうち約 50 g を凍結乾燥機 (FDU-1200, 東京理化工機株式会社) で乾燥させた後、ミルサー (IFM-800, 岩谷産業株式会社) で粉砕した。粉末サンプルを 80% エタノールで抽出後、フォーリンチオカルト法でポリフェノール含有量を測定し、没食子酸当量で算出した (Folin・Ciocalteu 1927)。

3. 結果

1) 冬季無加温栽培における気温および品質推移

(1) コマツナ

2015 年度において、収穫時期間中の平均気温はトンネル区で 3.6～5.1℃、無処理区で 2.7～5.1℃であり、1 月が最も低かった（図 2-1-2, A）。最低气温はいずれの処理区も 12 月は 0.0℃であったが、2 月にはトンネル区で -0.8℃、無処理区で -3.4℃となった。2016 年度において、平均気温はトンネル区で 4.7～5.8℃、無処理区で 3.4～4.2℃で、ともに 1 月が最も低かった（図 2-1-2, B）。最低气温はトンネル区で -1.2～0.2℃、無処理区 -3.6～-1.6℃となり、ともに 2 月が最も低かった。

2015 年度冬季栽培の Brix 値はトンネル区で 5.6～

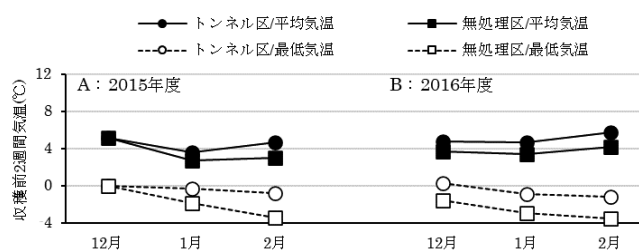


図 2-1-2 コマツナ冬季栽培時における収穫前 2 週間の平均気温および日最低气温平均推移

6.1°Bx であり収穫時期による大きな差は認められなかったが、無処理区で 4.9～7.5°Bx であり、収穫時期が遅いほどより高かった（図 2-1-3, A）。またいずれの処理区および収穫時期も夏季雨よけ (3.7°Bx) より高かった。2016 年度においても冬季栽培の Brix 値はトンネル区で 4.4～5.0°Bx、無処理区で 5.6～6.9°Bx で、いずれの処理区および収穫時期も夏季雨よけ区 (3.9°Bx) より高かった（図 2-1-3, B）。

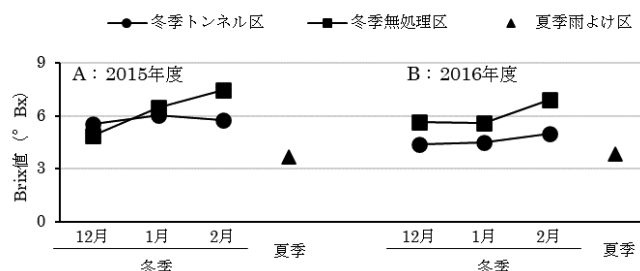


図 2-1-3 コマツナ冬季無加温栽培時の Brix 値推移との夏季栽培時との比較

(2) リーフレタス

2015 年度において、収穫時期間中の平均気温はトンネル区で 3.6～4.7℃、無処理区で 2.7～4.7℃であり、ともに 1 月が最も低かった（図 2-1-4, A）。最低气温はいずれの処理区も 12 月は -0.2℃であったが、2 月にはトンネル区で -0.8℃、無処理区で -3.4℃となった。2016 年度において、平均気温はトンネル区で 4.7～5.8℃、無処理区で 3.4～4.7℃であり、ともに 1 月が最も低かった（図 2-1-4, B）。最低气温はトンネル区で -1.2～-0.3℃、無処理区で -3.6～-1.7℃となり、ともに 2 月が最も低かった。

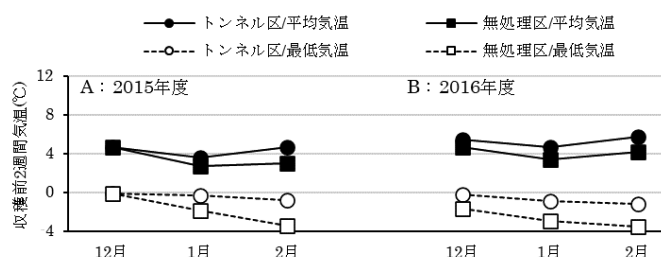


図 2-1-4 リーフレタス冬季栽培時における収穫前 2 週間の平均気温および日最低气温平均推移

2015 年度冬季栽培の Brix 値はトンネル区で 4.6～6.1°Bx、無処理区で 4.9～6.8°Bx であり、ともに収穫時期が遅いほどより高かった（図 2-1-5, A）。またいずれの処理区および収穫時期も夏季雨よけ区 (4.6°Bx) と同等以上であった。2016 年度冬季栽培の Brix 値はトンネル区で 4.4～5.7°Bx、無処理区で

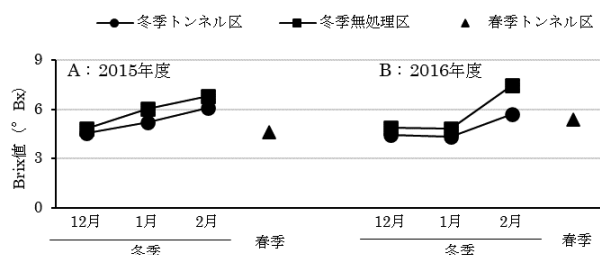


図 2-1-5 リーフレタス冬季無加温栽培時の Brix 値推移との春季栽培時との比較

4.8～7.5°Bx であった (図 2-1-5, B)。いずれの処理区も 2 月の Brix 値が最も高く春季トンネル区 (5.4°Bx) と同等以上であった。

(3) 小カブ

2018 年度において、収穫時期間中の平均気温はトンネル区で 3.5～5.1℃、無処理区で 2.7～3.8℃であり、ともに 2 月が最も低かった (図 2-1-6, A)。最低気温はトンネル区で -0.5～0.3℃、無処理区で -2.5～-0.4℃となり、ともに 2 月が最も低かった。2019 年度において、平均気温はトンネル区で 4.5～5.8℃、無処理区で 3.4～5.0℃であり、収穫時期が遅いほど低かった。最低気温はトンネル区で -0.4～0.8℃、無処理区で -3.4～-0.7℃であり、寒波の影響で 1 月が最も低かった (図 2-1-6, B)。

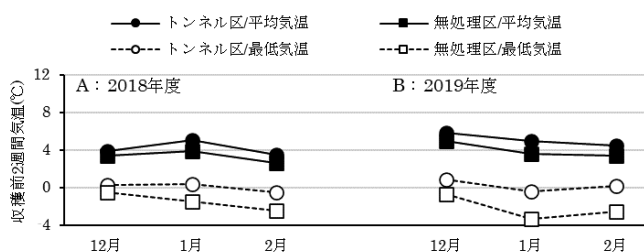


図 2-1-6 小カブ冬季栽培時における収穫前 2 週間の平均気温および日最低気温平均推移

2018 年度冬季栽培の葉部 Brix 値はトンネル区で 3.8～5.2°Bx、無処理区で 4.4～6.5°Bx であり、ともに収穫時期が遅いほどより高かった (図 2-1-7, A)。また 1 月以降の Brix 値は 2019 年度夏季雨よけ区 (4.3) と同等以上となった。一方で根部 Brix 値はトンネル区で 4.2°Bx 前後、無処理区で 4.3～4.6°Bx でいずれの処理区も収穫時期間中ほとんど変化がみられず、夏季雨よけ区 (4.8°Bx) よりやや低かった。2019 年度冬季栽培の葉部 Brix 値はトンネル区で 4.3～4.8°Bx、無処理区で 4.7～5.9°Bx であり、ともに最低気温が最も低かった 1 月に最も高かった (図 2-1-7, B)。また、無処理区の 1 月の Brix 値は 2020 年度夏季雨よけ区 (5.0°Bx) を上回った。一方

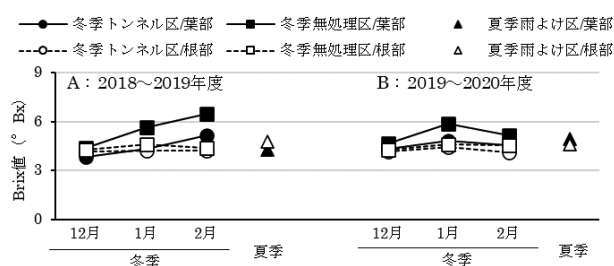


図 2-1-7 小カブ冬季無加温栽培時の部位別 Brix 値推移との夏季栽培時との比較

で根部 Brix 値はトンネル区で 4.1～4.4°Bx、無処理区で 4.3～4.6°Bx でいずれの処理区でも収穫時期間中ほとんど変化がみられず、夏季雨よけ区 (4.6°Bx) と同等以下であった。

(4) 紫ミズナ

2018 年度において、収穫時期間中の平均気温はトンネル区で 3.9～4.7℃、無処理区で 2.2～3.3℃であった (図 2-1-8, A)。最低気温はトンネル区で -0.8～-0.3℃、無処理区で -3.3～-0.9℃となり、特に無処理区で収穫時期が遅いほど低かった。2019 年度において、平均気温はトンネル区で 4.7～5.5℃、無処理区で 3.0～4.8℃であった (図 2-1-8, B)。最低気温はトンネル区で -1.0～0.1℃、無処理区 -3.7～-1.1℃であった。平均気温、最低気温ともに寒波の影響で 1 月が最も低かった。

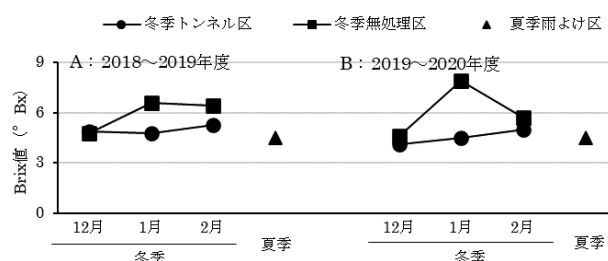


図 2-1-8 紫ミズナ冬季栽培時における収穫前 2 週間の平均気温および日最低気温平均推移

2018 年度冬季栽培の Brix 値はトンネル区で 4.8～5.3°Bx、無処理区で 4.8～6.6°Bx であり、特に無処理区で 1 月以降に高かった (図 2-1-9, A)。またいずれの処理区および収穫時期も 2019 年度夏季雨よけ区 (4.5°Bx) と同等以上であった。2019 年度冬季栽培の Brix 値はトンネル区で 4.1～5.0°Bx、無処理区で 4.6～7.9°Bx であった (図 2-1-9, B)。特に無処理区の Brix 値は収穫時期間を通じて 2020 年度夏季雨よけ区 (4.5°Bx) 同等以上であった。

2018 年度冬季栽培のポリフェノール含有量はトンネル区で 1,261～1,384 mg/kgFW、無処理区で

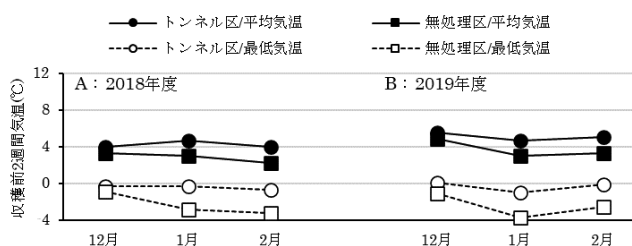


図 2-1-9 紫ミズナ冬季無加温栽培時の Brix 値推移との夏季栽培時との比較

1,655～2,120 mg/kgFW であり、特に無処理区で収穫時期が遅いほど高かった (図 2-1-10, A)。しかしいずれの処理区および収穫時期も 2019 年度夏季雨よけ区 (2,215 mg/kgFW) と同等以下であった。2019 年度冬季栽培のポリフェノール含有量はトンネル区で 1,158～1,720 mg/kgFW、無処理区で 2,007～2,516 mg/kgFW であった (図 2-1-10, B)。特に無処理区のポリフェノール含有量は収穫時期間を通じて 2020 年度夏季雨よけ区 (1,576 mg/kgFW) より高かった。

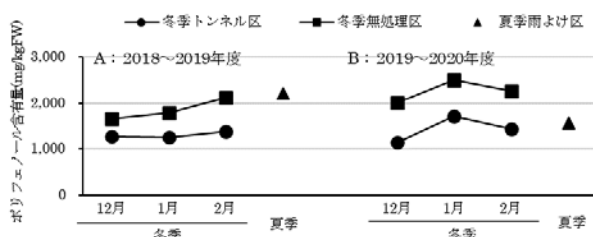


図 2-1-10 紫ミズナ冬季無加温栽培時のポリフェノール含有量推移との夏季栽培時との比較

4. 考察

これまで北海道では冬季無加温ハウス栽培はほとんど行われていなかった。しかし、コマツナ、レタス類、チンゲンサイ、小カブ、紫ミズナ、紫カラシナおよびカラシナ (ワサビナ) などでは低温障害または抽だいが発生しない保温管理を実施すれば、外観については著しく商品性を損なわず生産性を確保できることが明らかになっている (地子・高濱, 2021; 高濱, 2021; 高濱ら, 2021 b; 高濱ら, 2021a)。一方で、冬季に北海道で収穫された葉根菜類の品質面については十分に検討されていなかった。

一般に植物体は低温順化に伴い組織中の水分が減少し、体内成分が濃縮される (森山・青木, 2004)。これまでにハウレンソウやコマツナでは Brix 値を利用して糖含有量が推定できることが報告されており (矢戸, 2008; 田村・田口, 2001), Brix 値が低温処理で上昇することが明らかになっている (岡田ら, 2006; 田村, 2005)。さらに赤色系リーフレ

タスについては低温で栽培管理するとポリフェノールの一種であるアントシアニンも増加することが明らかとなっている (二階堂・佐藤, 2009)。このため今回供試したリーフレタス、小カブ、紫ミズナも同様のメカニズムで品質が向上すると推察される。葉茎菜類の品質と気温との関係について、岡田ら (2006) はハウレンソウの糖度 (Brix 値) は収穫前 5 日間の 10 cm 深平均地温との関係が高いことを示した。一方田村 (2005) はハウレンソウおよびコマツナの糖含有量は収穫前 10 日の日最低気温または日平均気温の影響を受けると報告している。今回の試験では栽培期間中の気温推移と田村の報告 (2005) を参考に収穫前 2 週間の平均気温および最低気温が各種品目の Brix 値およびポリフェノール含有量に及ぼす影響を調査した。

その結果、調査したいずれの品目においても収穫前 2 週間の平均気温および日最低気温平均は、12 月に対して 1 月または 2 月で低く、また夜間にトンネル保温を実施することで上昇した (図 2-1-2, 図 2-1-4, 図 2-1-6, 図 2-1-8)。この気温条件に対応して、コマツナ、リーフレタス、小カブ葉部および紫ミズナの Brix 値は 12 月より 1 月または 2 月で高く、トンネル保温処理を実施すると低下した (図 2-1-3, 図 2-1-5, 図 2-1-7, 図 2-1-9)。このことから、各品目の 2 か年の冬季栽培のデータをもとに、収穫前 2 週間の平均気温および最低気温と Brix 値またはポリフェノール含有量についてピアソンの相関係数 r を算出した。コマツナ Brix 値においては平均気温および最低気温に対して $r=-0.691$ および -0.734 を示し、ともに負の相関が認められ (図 2-1-11, A), 田村の報告 (2005) と同様の傾向を示した。リーフレタス Brix 値においては平均気温および最低気温に対して $r=-0.387$ および -0.686 を示し、最低気温との間に負の相関が認められた (図 2-1-11, B)。小カブ葉部 Brix 値においては平均気温および最低気温に対して $r=-0.596$ および -0.842 , また紫ミズナにおいても $r=-0.774$ および -0.902 となった (図 2-1-11, C～E)。このことから今回調査した 4 品目の結果にもとづいて評価すると、Brix 値は平均気温より最低気温との関係が高いと考えられる。このことから Brix 値を上昇させるには、一日のうちで最も気温が低下する早朝にトンネル保温をせず、できる限り低温に遭遇させることが重要であると推察される。しかし一方で、低温障害を発生させないためには適切な保温管理が必要である。これらのことを踏まえて、

道南地域において品目ごとに品質を高めるための栽培管理について以後考察する。

コマツナは低温耐性が高く、 $-8\sim-7^{\circ}\text{C}$ でも栽培可能であること（高濱・地子，2021）から，トンネル保温の必要性は小さい。このような品目では保温設備を必要最小限に抑えて植物体を十分な低温に遭遇させることで Brix 値の向上が期待でき，慣行の夏季雨よけ栽培より明らかに Brix 値の高い生産物を消費者に提供できる。一方でリーフレタス，小カブおよび紫ミズナはコマツナより低温耐性が劣り，冬季栽培で低温障害を発生させないためにはトンネル保温が推奨されている（高濱，2021；高濱ら，2021 b；高濱ら，2021a）。このためトンネル栽培では十分な低温に遭遇させることができないため著しい Brix 値の向上は期待できず，慣行の春季および夏季栽培と比べても Brix 値に関する優位性は小さいと考えられた。しかし，トンネル保温をしなかった場合の収穫前 2 週間の日最低気温平均 $4\sim-3^{\circ}\text{C}$ であり（図 2-1-11），この最低気温はリーフレタス，小カブ，紫ミズナの生育限界温度 -5°C （高濱，2021；高濱ら，2021 b；高濱ら，2021a）より高い。そのため低温障害が懸念される -5°C を目安に，厳寒日のみトンネル保温しそれ以外の日は極力トンネル保温を避ければ，最低気温をより低く維持することも可能であり，それにより Brix 値の上昇が期待できる。

一方で，小カブ根部 Brix 値においても最低気温との間のピアソンの相関係数を求めたところ， $r=-0.849$ となり有意な負の相関が認められた（図 2-1-11，D）。しかしその増加幅は 12%程度であり，コマツナ（69%，図 2-1-11，A），リーフレタス（71%，図 2-1-11，B），小カブ地上部（69%，図 2-1-11，C）および紫ミズナ（92%，図 2-1-11，E）と比較すると保温処理や収穫時期の影響はほとんどみられなかった（図 2-1-7）。また夏季栽培と比べても差はみられず，逆にやや劣る場合もみられた（図 2-1-7）。カブでは収穫 11 日間前より夜温を段階的に 0°C まで下げると，根部の糖含有量が 10%増加する（Shattuck ら，1991）。また西洋カブ（ルタバガ）の根部全糖量は 10 月収穫（平均気温 8.1°C ）より 11 月収穫（平均気温 0.9°C ）で増加する傾向はみられたものの，最大でも 20%の上昇であった（Suzuki・Cutcliffe，1981）。さらに佐藤ら（1967）は雪下越冬した飼料用カブでは 12 月以降全糖量が低下することを報告している。いずれの報告についても，冬季のカブ根部において著しい糖度上昇はみられない

という点では本試験の結果と概ね一致した。また，カブは葉部より根部が可食部として重視される野菜であるため，ハウレンソウやコマツナのように冬季栽培で品質は向上しないと判断された。土壌－植物－大気連続体（SPAC）モデルにおいて，水の移動は水ポテンシャル勾配の影響を受け，植物体において根部は茎葉部より水ポテンシャルが高い（堀江，1994）とされることから，根部は乾物率が変化しにくいと考えられる。また，根部の一部は地面に埋まっているため，気温の他に地温の影響も受けやすいと考えられる。田村らの報告（2003）では地温は変動しにくく気温に比べ最低気温が下がらないことが示されており，根部は強度の低温に遭遇していないと考えられる。さらに球状の形体をした根部は，体積あたりの表面積が小さいことから，低温による冷却効率が低いと考えられる。このため根部そのものが低温の影響を受けにくかったと考えられる。一方で，佐藤ら（1967）は 12 月以降に飼料用カブ根部の全糖含有量の低下原因として呼吸による消耗を挙げている。以上のような物理的・生理的な要因

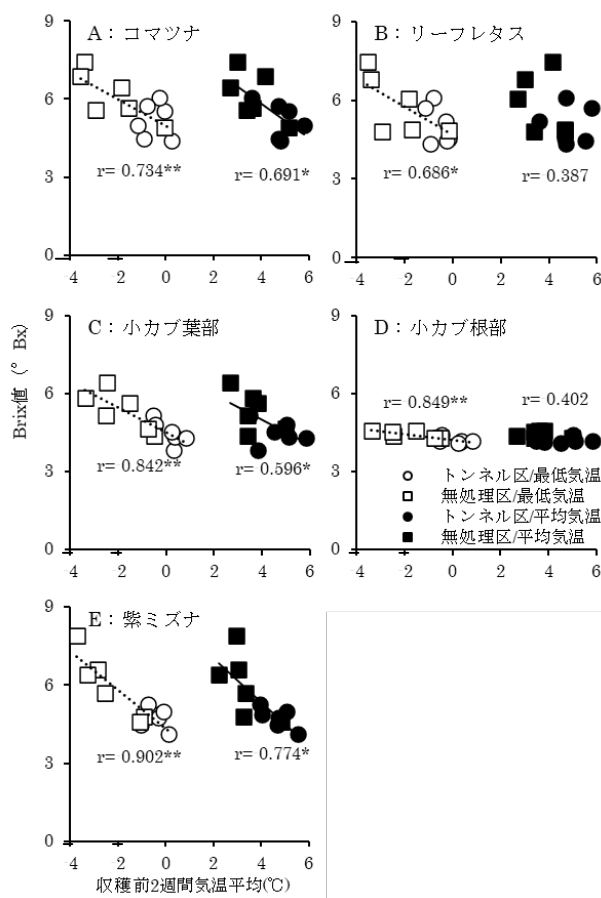


図 2-1-11 冬季栽培時の気温推移と Brix 値との関係
**，*：1%，5%水準で有意に相関。

が複合的に作用した結果、Brix 値の上昇が生じにくかったと考えられる。

紫ミズナのポリフェノール含有量についても Brix 値と同様の傾向を示し、1 月または 2 月で高く、トンネル保温処理を実施すると低下した（図 2-1-10）。収穫前 2 週間の平均気温および日最低気温平均に対してピアソンの相関係数を求めたところ、 $r=-0.645$ および -0.886 となり負の相関が認められた（図 2-1-12）。本試験においてもトンネル保温しない場合には、トンネル保温した場合と比べて葉色の外観が濃い赤紫色となった（図 2-1-13）。ペニタデではポリフェノールの一種で赤色の色素成分であるアントシアニンが低温条件で増加する（三浦・岩田，1983）ため、紫ミズナで増加したポリフェノールにアントシアニンが含まれると考えられた。またアントシアニン生成は糖代謝と密接な関係を持つ（Faust, 1965）が、Brix 値とポリフェノール含有量の間に正の相関が認められる点（ $r=0.733$ ，図 2-1-14）もアントシアニン含有量増加を示唆していると考えられる。アントシアニンは抗酸化作用や脂質改善効果などの機能性が注目されており（五十嵐，2008），外観からも認識しやすいことから、低温によりアントシアニン含有量が増加し赤紫色が濃くなった冬季野菜については、高付加価値野菜としての販売が期待される。一方で夏季のポリフェノール量は年次変動が大きく、特に 2018～2019 年度においては冬季栽培より高い含有量となった（図 2-1-10，A）。アントシアニンは低温以外にも紫外線による増加が明らかとなっており（Guo ら，2008），また干ばつ耐性に対しても重要な機能を果たしている（Cirillo ら，

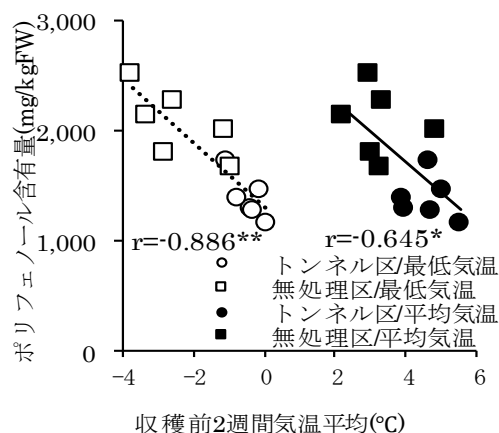


図 2-1-12 紫ミズナ冬季栽培時の気温推移とポリフェノール含有量との関係
**，*：1%，5%水準で有意に相関。



図 2-1-13 トンネル保温処理が紫ミズナ葉色に及ぼす影

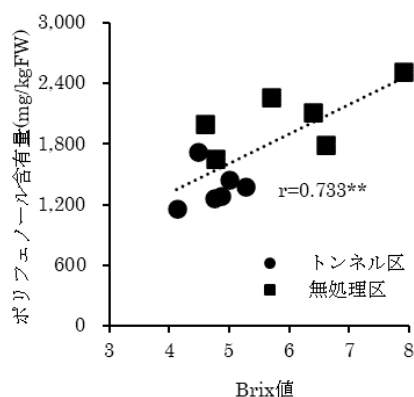


図 2-1-14 紫ミズナ冬季栽培時の Brix 値とポリフェノール含有量との関係
**：1%水準で有意に相関。

2021)。一般に夏季は冬季と比べて、日照時間が長く紫外線量も多いうえ高温で土壌も乾燥しやすいため、これらの環境がアントシアニンを増加させた可能性が考えられる。このため冬季栽培のみならず、夏季栽培においてもポリフェノール含有量が高くなる場合があることも認知しておくべきである。

本研究により、冬季無加温栽培された葉根菜類について Brix 値およびポリフェノール含有量と気温との関係について明らかになった。今回の結果が品目選定や栽培管理に活用され、冬季に北海道で流通していた野菜の品質改善に貢献することを期待する。

5. 摘要

冬季（10～2 月）無加温ハウス栽培においてコマツナ、リーフレタス、小カブ葉部および紫ミズナの Brix 値ならびに紫ミズナのポリフェノール含有量は、1 月以降の収穫で、またはトンネル保温未実施

で増加し、収穫前2週間の平均気温または日最低気温平均と負の相関がみられた。特にコマツナの Brix 値は夏季(7~8月)栽培時より高かった。一方小カブ根部の Brix 値は冬季栽培期間中ほとんど変化せず、夏季栽培(6~9月)と差がなかった。

6. 引用文献

- 1) Cirillo V, D'Amelia V, Esposito M, Amitrano C, Carillo P, Carputo D, Maggio A (2021) Anthocyanins are key regulators of drought stress tolerance in tobacco, *Biology*, 10 (2) : 139
- 2) Faust M (1965) Physiology and anthocyanin development in McIntosh apple. I. Participation of pentose phosphate pathway in anthocyanin development, *Proc Amer Soc Hort Sci*, 87 : 1-9
- 3) Folin O, Ciocalteu V (1927) On tyrosine and tryptophane determinations in proteins, *J Biol Chem*, 73 : 627-650
- 4) Guo J, Han W, Wang M (2008) Ultraviolet and environmental stresses involved in the induction and regulation of anthocyanin biosynthesis : a review, *Afr J Biotechnol*, 7 (25) : 4966-4972
- 5) 濱寄孝弘・鮫島良次・廣田知良 (2005), 道央の温度条件とホウレンソウの寒締め作型, 平成 17 年度新しい研究成果ー北海道地域ー, 121-124
- 6) 北海道農政部 (2015) こまつなくハウス早春まき, 秋まき>こまつなく春まきトンネル, ハウス雨よけ, 露地>, みずなくハウス直播・小カブ栽培, 移植・中株栽培>, かぶ<ハウス>, レタス<春まきトンネル, 初夏まき, 夏まき>, レタス<ハウス(冬まき, 夏まき)>, 北海道施肥ガイド 2015, 132・133・136・143・154・155
- 7) 堀江 武 (1994) 生産と環境, p133-170, 星川清親編著, 植物生産学概論, 文永堂出版, 東京
- 8) 五十嵐喜治 (2008) 食品素材によるアントシアニンの成分特性と機能・利用, 日本調理科学会誌, 41 (3), 167-175
- 9) 地子 立・高濱雅幹 (2021), 北海道北部の積雪地帯における無加温パイプハウスを利用したコマツナの厳冬期生産, 北海道立総合研究機構農業試験場集報, 105, 81-88
- 10) 三浦周行・岩田正利 (1983) ベニタデのアントシアニン生成に及ぼす温度の影響, 園学雑, 51 (4), 412-420
- 11) 森山真久・青木和彦 (2004) 寒冷地の気候立地条件を活用した野菜の高品質化技術, 野菜茶研集報, 1, 23-26
- 12) 二階堂英行・佐藤睦人 (2009) レタスの寒締め処理による内容成分の変化, 東北農業研究, 62, 145-146
- 13) 岡田益己・井上めぐる・青木和彦・村井麻理 (2006) 寒締めホウレンソウの糖濃度上昇機構とその定量化, 日本農業気象学会 2006 年春季大会講演要旨, 43
- 14) 佐藤徳雄・酒井 博・藤原勝見・大場義昭 (1967) 飼料用カブの生育経過と養水分の変化, 日本草地学会誌, 13 (4), 215-220
- 15) Shattuck V I, Kakuda Y, Shelp B J, Kakuda N (1991) Chemical-composition of turnip roots stored or intermittently grown at low-temperature, *J Amer Soc Hort Sci*, 116 : 818-822
- 16) 宍戸貴洋 (2008) 流通中の岩手県産寒締めホウレンソウの糖含量と簡易推定法, 東北農業研究, 61, 185-186
- 17) Suzuki M, Cutcliffe J A (1981) Sugars and eating quality of rutabagas, *Can J Plant Sci*, 61 : 167-169
- 18) 高濱雅幹 (2021) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術ー第2報ー道南地域におけるレタス類, 北農, 88, 220-226
- 19) 高濱雅幹・地子立 (2021) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術ー第1報ー一品目選定, 北農, 88, 214-219
- 20) 高濱雅幹・地子 立・古山真一 (2021a) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術ー第4報ー道南および道北地域における紫ミズナおよびカラシナ類, 北農 88 : 235-245
- 21) 高濱雅幹・地子立・岡元英樹 (2021b) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術ー第

- 3 報一 道南および道北地域における小カブおよびチンゲンサイ, 北農, 88, 227-234
- 22) 田村 晃 (2005) 積雪寒冷地における冬期葉菜類栽培に関する研究：特に、ホウレンソウとコマツナの耐凍性, 糖およびアスコルビン酸に注目して, 秋田県農業試験場研究報告, 45, 2-131
- 23) 田村 晃・篠田光江・田口多喜子 (2003) 冬期寡日射地域におけるハウス内での保温とハウス内への外気導入がホウレンソウとコマツナの生育, 耐凍性および糖とビタミン C 含量に及ぼす影響, 秋田県農業試験場研究報告, 43, 19-44
- 24) 田村 晃・田口多喜子 (2001) 糖度計による冬季栽培ホウレンソウ, コマツナの糖, ビタミン C 含量の推定, 東北農業研究, 54, 175-176

7. 付記

本報の太要は北農第 88 巻第 4 号に掲載したものである。

第二節 冬野菜の生育・養分吸収特性 1. コマツナ

1. はじめに

無加温パイプハウスを用いて行われる葉根菜類の冬季無加温栽培（以下、冬作）については、コマツナ（地子・高濱, 2021）に関して報告があり、さらに新たな品目の選定（高濱・地子, 2021）や選定された品目の安定栽培技術（高濱, 2021a；高濱ら, 2021a, 2021b）について報告されている。しかし、これらの報告で示された冬作は気象条件と栽培環境が特異であり、既存の作型とは異なる生育、養分吸収パターンを示すことが想定され、場合によっては施肥量についても冬作のために新しく検討、設定が必要となる可能性も考えられる。そこで本報で

表 2-2-1 供試したハウスの耕起前における土壌化学性

	pH	EC	熱抽出性窒素	無機態窒素	可給態リン酸	交換性カリ
2017年度冬作	5.5	0.1	2.0	6.3	19	30
2018年度冬作	5.2	0.4	2.2	4.9	41	31
夏作	5.0	0.6	5.3	14.1	62	51
土壌診断基準 ²⁾	6.0~6.5	0.4以下	-	5~10	15~30	15~30

1) pHは無単位, ECはmS/cm, それ以外はmg/100g。

2) 土壌診断基準は北海道施肥ガイド2020(北海道農政部2020)にもとづく。

は、平成 30 年普及推進事項「無加温ハウスを利用した葉菜類の冬季生産技術」（道南農試・上川農試, 2018）で道北地域における栽培法が示されたコマツナを用いて、無加温パイプハウスを用いた冬作での生育と養分吸収の特性を調査し、既存の作型である初夏播き作型（以下、夏作）のコマツナと比較することにより、冬季無加温栽培時の適切な肥培管理方法について検討した。

2. 試験方法

試験は 2017 および 2018 年度に、上川農試内に設置した長さ 30.0 m, 幅 6.0 m, 軒高 1.8 m, 棟高 3.3 m のパイプハウスで実施した。空気膜二重フィルムを被覆し、適宜内張とトンネルによる保温を行い、無加温栽培を行った。栽培時のパイプハウスの気温は温度データロガー「おんどり Jr. RTR-502 (株式会社 T&D)」を用いて地上 20 cm 高の位置で 1 時間毎に測定した。コマツナの品種は「陽翠」を用いて、2017 年度は 10 月 3 日、2018 年度は 10 月 2 日に株間 5 cm, 畦間 15 cm に設定して 1 cm 程度の深さに 2, 3 粒播種し、第 1 本葉展開時に 1 個体に間引きした。

試験開始前のそれぞれの土壌化学性を表 2-2-1 に示す。pH6.5 に矯正するための炭酸カルシウムと各肥料は、耕起時に全量を全層施用した。「北海道施肥ガイド 2020」におけるコマツナの標準施肥量は窒素 (N) : リン酸 (P_2O_5) : カリ (K_2O) として 12 : 10 : 12 kg/10a であり（北海道農政部, 2020）、2017 年度冬作は標準施肥量を施用したが、2018 年度冬作はリン酸が、後述する「夏作」は全要素が土壌診断基準を大きく上回っていたため、それぞれ施肥対応にもとづき減肥した。

播種後 15 日と 30 日、ならびにその後 2017 年度は播種後 119 日、2018 年度は播種後 120 日にあたる 1 月 30 日まで 7~8 日ごとに生育調査を行った。生育調査では無作為に選んだ 10 個体を対象に草丈、葉数（枯死葉を含む）を測定し、その後地上部を採取して水道水で洗浄後、2 個体ずつ 5 つの組（播種後 15 日は 3 個体ずつ 5 組）として新鮮重を測定し、その後 70℃で 48 時間以上通風乾燥した後に水分含量を求め、乾物重を算出した。乾燥試料をミルで粉碎し、硫酸と過酸化水素を用いて分解し（水野・南, 1980）、分解液を用いて各養分を測定した。窒素はフローインジェクション法（中島, 1987）により定量した。リン酸はバナドモリブデンを用いた比色法

で、カリは塩化ランタン溶液で希釈した後に原子吸光法（後藤，1990）で分析した。

また、生育調査と同時に作土（土壌深度 0～20 cm）をコマツナの株間から検土杖で 15 地点採取し、それらを混和し 30℃で 24 時間以上風乾した後粉碎した試料を用いて、以下の土壌化学性を調査した。pH および EC は定法でそれぞれ pH メーターおよび EC メーターを用いて行い、可給態リン酸はトルオーグ溶液で抽出後バナドモリブデンを用いたトルオーグ法（南條，1997）で測定し、交換性カリは酢酸アンモニウムで抽出後、塩化ストロンチウム溶液で希釈した試料を原子吸光法（山崎，1997）を用いて分析した。無機態窒素は風乾土を塩化カリウム水溶液で振とう抽出したものを、BRAN+LUEBBE 社 AACS-II 型のオートアナライザーで測定した。熱水抽出性窒素は、風乾土に脱塩水を加えて 105℃で 60 分間オートクレーブ抽出後、ろ液を硫酸と過酸化水素で分解した液を用いてアンモニウム態窒素をインドフェノール青法で定量して算出した（坂口ら，2010）。

さらに、前述の 2 か年の冬作の試験結果と比較するために、2018 年にパイプハウスを用いて夏作の栽

培試験を冬作と同じ品種である「陽翠」を供試して実施した。2018 年 5 月 25 日に播種し、播種後 10 日にあたる 6 月 4 日以降、6 月 29 日まで 5 日毎に生育調査および地上部採取を冬作試験と同様に行った。また、採取した植物試料を用いて新鮮重、乾物重および各養分含量を同様に調査した。

3. 試験結果

試験期間中のハウス内の最低気温、平均気温の推移を図 2-2-1 に示した。冬作は 2 か年とも播種時の 10 月上旬の平均気温が約 16℃、最低気温が約 10℃であったが、その後徐々に低下し、2017 年度では 12 月上旬に、2018 年度では 12 月中旬に平均気温が 5℃を、最低気温が 2℃を下回った。その後も平均気温は 2～4℃前後、最低気温は 2℃以下で推移した。一方、夏作では播種時の 5 月下旬は平均気温が 18.5℃、最低気温が 10.4℃と冬作よりやや高い程度であったが、その後は上昇し、収穫時の 6 月下旬には平均気温が 20.4℃、最低気温 15.7℃になった。

冬作栽培期間について近傍のアメダス地点（日時は比布，全天日射量は旭川）から取得したそれぞれ 1 日あたりの日照時間と全天日射量をみると、い

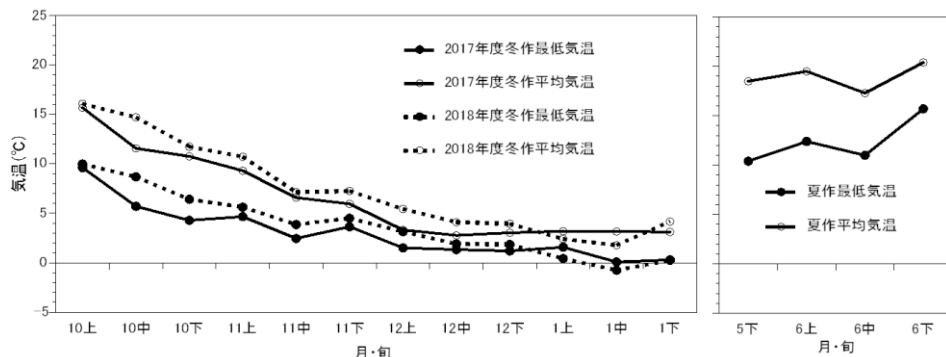


図 2-2-1 各作型の栽培期間中のハウス内部（トンネル内の栽培箇所）の最低気温、平均気温の推移（左：冬作，右：夏作）

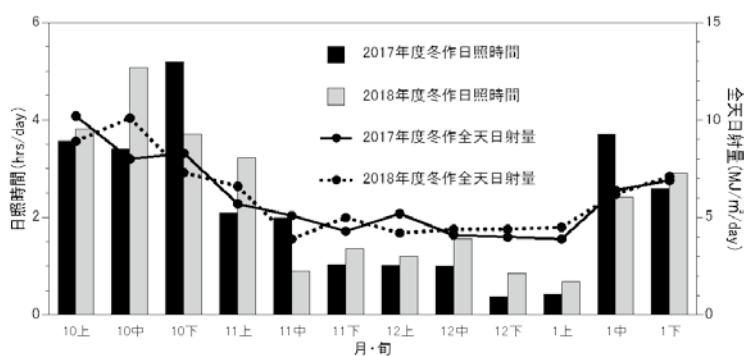


図 2-2-2 冬作の栽培期間中の 1 日あたり日照時間、全天日射量の推移

* 日照時間は試験地点最寄りの比布のアメダスデータを、全天日射量は比布では測定していないため、近傍の旭川のアメダスデータを使用。日照時間は旬ごとのデータを、1 日あたりに換算。

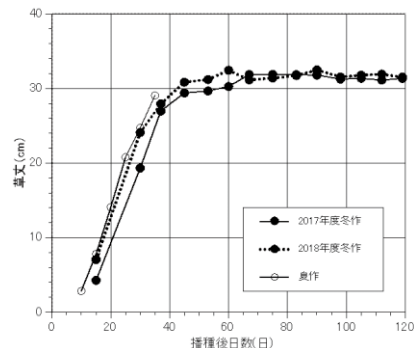


図 2-2-3 各作型における草丈の推移

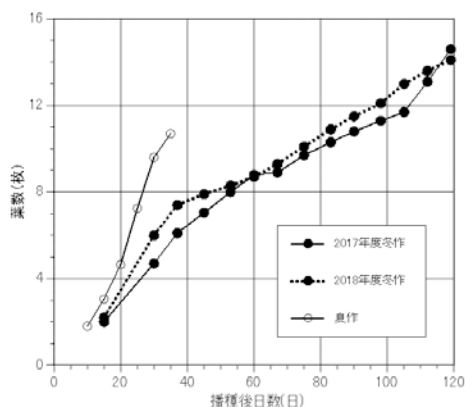


図 2-2-4 各作型における葉数の推移
1) 枯死葉も含む。

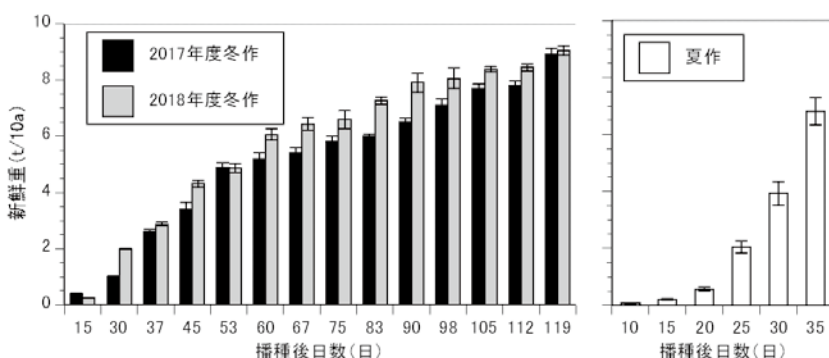


図 2-2-5 各作型における新鮮重の推移
1) バーは標準誤差を示す。

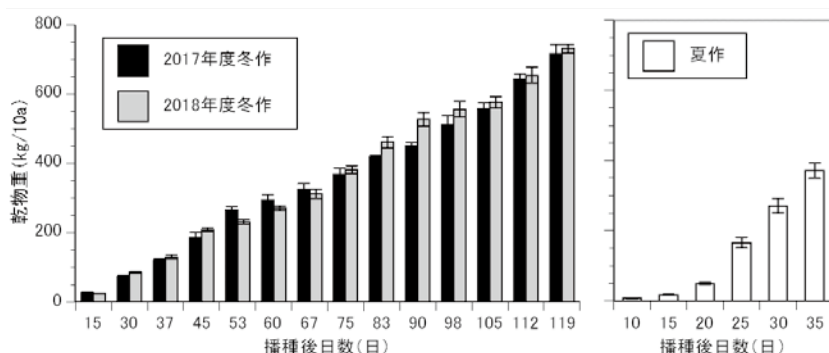


図 2-2-6 各作型における乾物重の推移
1) バーは標準誤差を示す。

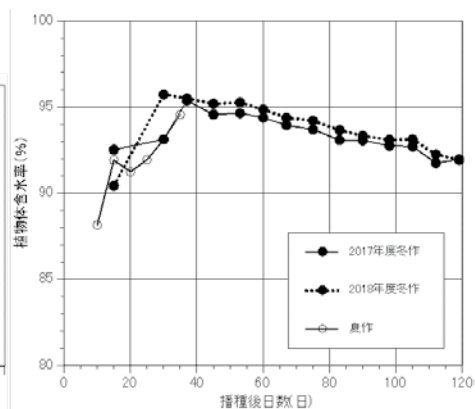


図 2-2-7 各作型における植物体の含水率

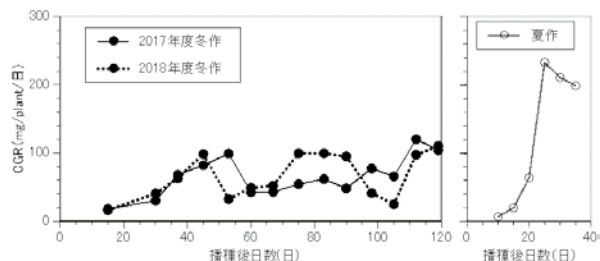


図 2-2-8 各作型における個体群生長速度 (CGR) の推移

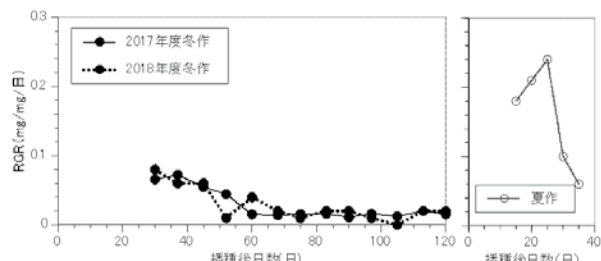


図 2-2-9 各作型における相対生長率 (RGR) の推移

ずれも播種時以降 11 月中下旬まで減少を続けた(図 2-2-2)。その後 1 月上旬までは日照時間は約 1.5 時間以下、全天日射量は約 4~5 MJ/m²で推移したが、1 月中下旬以降は日照時間は 2.4~3.7 時間、全天日射量が 6.2~7.1 MJ/m²とそれぞれ増加する傾向を示した。

冬作のコマツナの草丈は 2017 年度は播種後 37 日、2018 年度は播種後 30 日で出荷基準である 22~27 cm に達した(図 2-2-3)。その後播種後 45 日で 30 cm 程度となり、以降はほぼ変動することなく 30 cm 程度で推移した。一方、夏作は播種後 30 日で草丈 24 cm に達した。冬作の葉数は栽培期間中増加し続け、播種後 80 日で 10 枚前後、播種後 119 日には約

15 枚まで増加した(図 2-2-4)。これに対し、夏作は播種後 30 日で葉数が 10 枚近くに達した。冬作の播種後 37 日までの生育を夏作と比較すると、草丈は同様もしくはやや短く推移し、葉数は少なく推移した。地上部の新鮮重および乾物重についてみると、冬作は 2 か年とも栽培期間を通して増加したが、夏作と比較して生育は緩慢であった(図 2-2-5、図 2-2-6)。新鮮重は 2017 年度は播種後 90 日(1 月 1 日)、2018 年度は播種後 75 日(12 月 16 日)で、乾物重は 2 か年とも播種後 75 日(12 月 17 日および 16 日)で夏作の播種後 35 日とほぼ同様になり、それ以降は夏作を上回った。また、特に新鮮重において増加度合いは 2017 年度は播種後 53 日(11 月 24

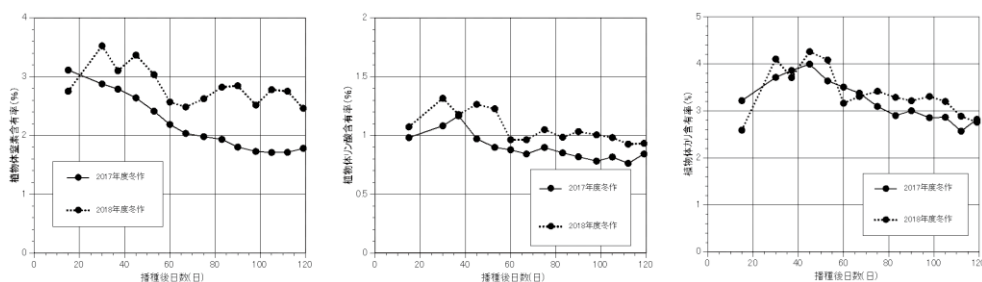


図 2-2-10 各作型における植物体内窒素, リン酸, カリ含有率の推移

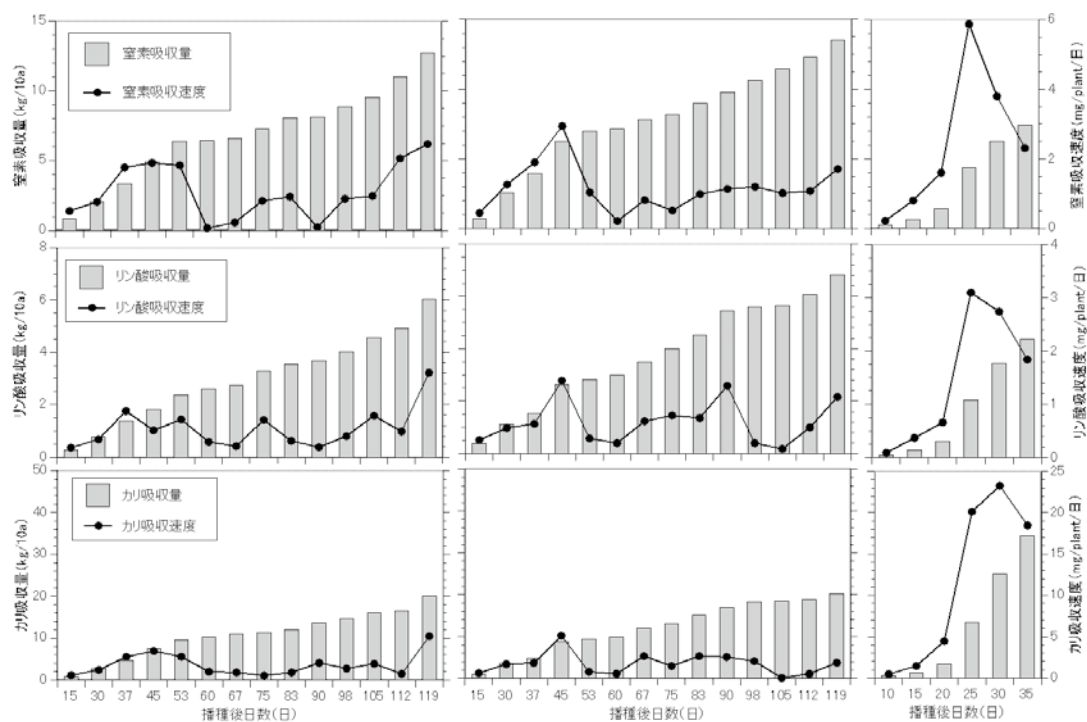


図 2-2-11 各作型における窒素, リン酸, カリの吸収量, 吸収速度の推移

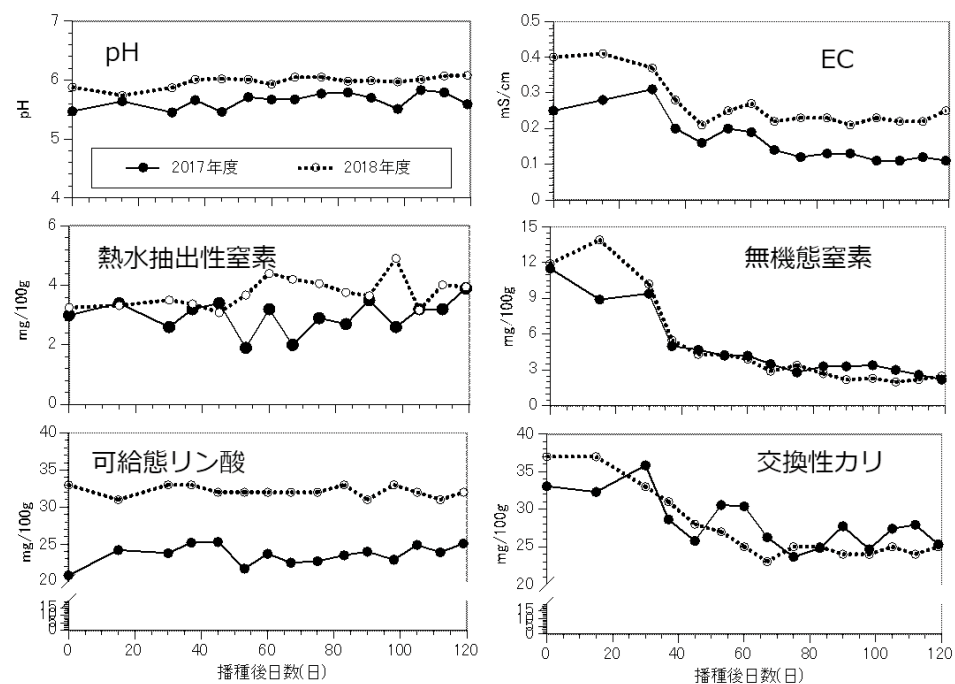


図 2-2-12 冬作期間中の土壌化学性の推移

日), 2018 年度は播種後 60 日 (12 月 1 日) 以降鈍化した, 乾物重においてはその傾向はみられなかった。冬作の植物体内の含水率は播種後 30~37 日までは増加し 95~96% になったがその後は徐々に低下し, 播種後 120 日には約 92% になった (図 2-2-7)。夏作は冬作の播種後 30~37 日までと同様の傾向を示した。

地上部乾物重から個体群生長速度 (CGR) および相対生長率 (RGR) を算出した (図 2-2-8, 図 2-2-9)。冬作の CGR は 2017 年度は播種後 53 日 (11 月 25 日), 2018 年度は播種後 45 日 (11 月 16 日) 以降低下したが, 2017 年度は播種後 90 日 (1 月 1 日), 2018 年度は播種後 75 日 (12 月 16 日) からは再度上昇傾向にあった。冬作の RGR は, 2017 年度では播種後 53 日 (11 月 25 日), 2018 年度では播種後 45 日 (11 月 16 日) までは 0.04~0.08 mg/mg と高めに推移したが, それ以降は 0.04 mg/mg 以下で, ほぼ 0.02 mg/mg を下回った。播種後 15~37 日の期間で比較すると, 冬作の CGR および RGR は, どちらも夏作より低かった。

窒素, リン酸およびカリのそれぞれについて, 含有率, 吸収量および吸収速度を算出した (図 2-2-10, 図 2-2-11)。2017 年の窒素含有率以外は, 播種後 30~50 日にかけて含有率を上昇させ, 窒素は 3% 以上, リン酸は 1.2% 以上, カリは約 4% に達したが, その後は生育日数の経過と共に緩やかに含有率は低下した。養分吸収量については各成分とも乾物重と同様に推移し, 夏作と比較すると上昇が緩やかであった。一方, 吸収速度では各成分とも 2017 年度は CGR と同様に播種後 53 日 (11 月 24 日), 2018 年度は播種後 45 日 (11 月 16 日) 以降低下した。その後 2 か年とも播種後 119 日, 120 日 (1 月 30 日) まで再度ゆるやかな上昇傾向を示した。夏作と比較すると, 冬作の播種後 15 日以降の吸収速度は大幅に低かった。

2 か年とも冬作では最終的に窒素が約 13 kg/10a, リン酸が 6~7 kg/10a, カリが約 20 kg/10a 吸収された。夏作と比較すると, 冬作は窒素およびリン酸の吸収量が多く, カリの吸収量が少なかった。

各時期に株間より採取した土壌 (深さ 0~20 cm) の化学性についてみると, 2 か年とも播種後 30~45 日 (2017 年度は 11 月 2~17 日, 2018 年度は 11 月 1~16 日) にかけて EC と無機態窒素, 交換性カリが徐々に低下し, 無機態窒素についてはその後も緩やかに低下傾向であった (図 2-2-12)。EC と交換性カ

リのそれ以降, およびその他の成分については, 傾向は判然としなかった。

4. 考察

1) 冬作の生育・養分吸収パターンから見出された 3 つの生育ステージ

今回の試験では, 少々の時期のずれはあるものの, 12 月以降の CGR の動向をのぞいては 2 か年の冬作試験のデータはほぼ同じ傾向を示した。この 2 か年の結果から, 10 月上旬に播種して 1 月末まで栽培する厳冬期の作型では, ステージ I として播種後 45~53 日 (11 月中下旬) までの「生育期」, ステージ II として播種後 53~60 日 (11 月下旬) から播種後 98 日 (1 月上旬) までの「低温馴化期」, ステージ III として播種後 98 日 (1 月上旬) 以降の「生育相転換期」の 3 つの時期に分けることができ, それぞれのステージで異なる生育, 養分吸収を示すことが明らかとなった。

まず, 播種後 45~53 日 (11 月中下旬) までが該当するステージ I の「生育期」だが, これは, 気温が確保されて生育, 養分吸収が比較的速やかに行われ, 草丈が出荷基準程度に達するまでの時期である。10 月上旬に播種したコマツナ草の草丈, 葉数および新鮮重からみた生育は, 夏作と比較して緩慢であったが (図 2-2-3, 図 2-2-4, 図 2-2-5), これは播種後の気温や地温が夏作よりも低いことが原因として考えられた。さらに, 播種後 30 日 (11 月上旬) 以降はハウス内の平均気温が 10℃を下回るため (図 2-2-1), 夏作と比較してさらに生育が緩慢になった。

この時点のコマツナはまだ生育途中の段階で多くは出荷基準の草丈には達しておらず (図 2-2-3), 達していても収量, 品質ともに通常の作型のコマツナと大きな差は無い。さらにこの時期の札幌市場における平均単価 (以下, 市場価格) も 400 円/kg 台前半 (北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会, 2020) と低いことから, この時期のコマツナには冬作としての価値は低いと考えられる。

続いてのステージ II である, 播種後 53~60 日 (11 月下旬) から播種後 98 日 (1 月上旬) の「低温馴化期」は, 気温が低下し, 日照時間が短くなることで生育, 養分吸収が比較的停滞する時期となる。播種後 53~60 日 (11 月下旬) になるとハウス内平均気温が 5℃程度となり (図 2-2-1), 日照時間も短くなることから (図 2-2-2), RGR が大きく減少し (図

2-2-9), CGR および新鮮重の増加度合いも低下し (図 2-2-5, 図 2-2-8), 草丈の伸長も頭打ちとなる (図 2-2-3)。さらに土壌化学性の結果 (図 2-2-12) からみると, この時期までに土壌の窒素やカリ濃度, および EC の減少が止まることから, 大幅な養分吸収自体はこの時期までに休止することが示唆される。一方で, 乾物重の増加度合いは新鮮重ほど低下せず (図 2-2-6), 含水率が低下し, 乾物率が上昇する傾向にあり (図 2-2-7), 葉数も増加し続けた (図 2-2-4)。(田村, 1999) は秋田県の無加温パイプハウスで冬場に栽培するコマツナにおいて, 低温遭遇により糖とアスコルビン酸含有量が増加することを報告している。低温に対する耐性機構として, 浸透圧調整のための糖類およびソルビトールの集積や, 細胞外への水分排出による細胞の凍結防止, さらにそもそもの水分含有率の低下などが指摘されている (酒井・吉田, 1983)。今回の結果でも水分含有率の低下がられ (図 2-2-7), さらに本特集の事例でも道南地域で 12 月に収穫したコマツナは慣行の雨よけ栽培と比較して Brix 値が高かった (高濱, 2021b)。しかし, この耐性機構によって今回の試験状況下でも生育が完全に停止するわけではなく, CGR は一定以上の値を保ち (図 2-2-8), 乾物重は増加し続けることが明らかとなった (図 2-2-6)。

この時期のコマツナは株が充実し, 品質も向上し, また市場価格も 12 月は 491 円/kg と上昇するため, 冬作のメリットが活かされた状態になっていると言える。

その後, ステージⅢとして再び日照時間が長くなり, さらに徐々に生殖成長への生育相の切り替わりがみられる播種後 98 日 (1 月上旬) 以降の「生育相転換期」に入る。この時期はその前の「低温馴化期」と比較して再び CGR (2017 年度, 2018 年度は 1 月下旬から) や窒素吸収速度, 葉数の増加度合いが大きくなる (図 2-2-4, 図 2-2-8, 図 2-2-11)。この時期は冬至を過ぎて日照時間が長くなり, 全天日射量も徐々に増加する (図 2-2-2) ことが, 生育に有利に働くと考えられる。ただし, これらの原因は気象的要因以外にも考えられる。本試験の収穫物では, 葉数の推移に示されるように 1 月以降新たに多くの葉が展開したが (図 2-2-4), それらはこれまでの葉とは形状がやや異なり小さく内向きに巻いている場合が多かった。コマツナは低温遭遇により花芽が分化し, その後の長日と高温で抽だいし, 開花する品

目である (高尾, 2001)。生長点の検鏡を行っていないため花芽分化時期の特定はできないものの, 過去に実施した試験栽培では 2 月にかけて全調査個体で抽だいが確認されている (地子・高濱, 2021) ことから, この時期の展開葉の変化は生殖生長への生育相の変化を表しているものと推察された。Yasari ら (2008) はナタネがロゼッタ状態を脱し, 花芽分化が始まる時期には CGR が上昇すると報告しており, 本試験のコマツナでみられた CGR の上昇も生育相の変化と関連している可能性が高いと考えられる。

この時期の市場価格は 608 円/kg とさらに高騰し, Brix 値も 12 月と比較してさらに上昇する (高濱, 2021b) ことからメリットはさらに高まるが, この時期は前述の抽だいリスクに加えて老化葉の発生が増加する時期である。したがって, 冬作のメリットを活かすためには低温管理に留意しつつ, 製品歩留まりを下げないように出荷期を見極める必要がある。

以上のように, 厳冬期栽培のコマツナの生育, 養分吸収パターンは気温や生育相の変化に伴い, ①通常作と同様に生育するステージⅠの「生育期」, ②低温馴化機能が働くステージⅡの「低温馴化期」, ③花芽形成へ向けて生殖生長に相が変わっていくステージⅢの「生育相転換期」と経過していくことが明らかになった。

なお, 2017 年度と 2018 年度を比較すると, 2018 年度の方が特に 12 月にかけてハウス内の気温は高く推移していた (図 2-2-1)。12 月の CGR や新鮮重, 乾物重の推移について 2 か年を比較すると 2018 年度の方が高めであること (図 2-2-5, 図 2-2-6, 図 2-2-8), また, 養分吸収量も 2018 年度の方がやや高めであること (図 2-2-11) はこのハウス内の気温差が原因であると考えられる。しかし, 2 か年を比較しても, 基本的な 3 つのステージや生育, 養分吸収特性の傾向は大きく変わるものではなかった。

2) 冬作における無機養分の吸収とそれに基づく施肥量

今回得られた冬作の養分吸収特性を夏作と比較すると, カリは夏作の耕起前土壌における交換性カリが 51 mg/100 g と高かったため, 夏作の吸収量は冬作の最終的な吸収量よりも大幅に高く, 比較は困難であった (図 2-2-11)。一方で, 窒素, リン酸は前述のステージⅡ「低温馴化期」に該当する播種後

67～83 日に夏作の 35 日と同様の吸収量となり（図 2-2-11），約 2 倍の期間を要した。吸収速度をみても，初期のごくわずかな時期を除いて冬作は夏作よりも低めに推移した（図 2-2-11）。このように，冬作の生育，養分吸収は夏作と比較しても緩慢に進むことが示されたが，生育期間が長いことから，最終的な収量，養分吸収量では夏作を上回った（図 2-2-5，図 2-2-6，図 2-2-11）。

冬作の最終的な養分吸収量をみると，窒素は約 13 kg/10a，リン酸は 6～7 kg/10a，カリは約 20 kg/10a であった（図 2-2-11）。一方，現行の施肥量は窒素：リン酸：カリで 12:10:12 kg/10a であり，窒素は施肥量と吸収量がほぼ同等で，リン酸は施肥量よりも吸収量はやや少なかった。本試験は 2 か年とも試験前の土壌が交換性カリ含量（30.1，31.4 mg/100 g）とも標準（15～30 mg/100 g）よりわずかに高めの圃場であったが（表 2-2-1），その差は小さいと判断し，カリの減肥は行わなかった。そのため，吸収量がやや高めとなった可能性は否定できない。肥料成分の中でもカリは植物に速やかに吸収されやすい養分であり，土壌中にカリが多いと植物のカリ含量は高くなる傾向にある（高橋，1993）。本報で検討した冬の作型においては，コマツナのカリ栽培期間が 119～120 日間と他の作型と比較しても長く，経時的にカリの吸収が続いたため，最終的なカリ吸収量が高くなったものと推察される。

しかしながら，前述の「生育相転換期」への変化がみられる前の 12 月下旬（播種後 83 日）の時点におけるカリ吸収量は 2017 年度では約 12 kg/10a で（図 2-2-11），2017 年度より新鮮重，乾物重が高めに推移した 2018 年度では約 15 kg/10a とほぼ既存作型の施肥量と同等であった。さらに，最終的な新鮮重（可販部収量では無いが）は 8.4～8.9 t/10a と北海道施肥ガイド 2020（北海道農政部，2020），北海道野菜地図（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020）の基準収量と比較して大幅に収量が高かったものの，窒素，リン酸吸収量は施肥標準量とほぼ同等か下回った（図 2-2-11）。さらに，生育期間を通してカリ欠乏症状をはじめ，養分欠乏のような症状もみられなかった。露地園芸や畑作物と異なり，施設園芸の生産現場においては養分の流亡は起こりやすく，むしろ養分の過剰な集積が問題となることが多いことから，吸収量に見合った施肥を行うことは重要である。このことも含め考慮すると，今回の結果からは冬作のコマツナに対しても，

現行（他の作型）のコマツナのカリ施肥標準を大きく変更する必要はないと考えられる。

ただし，「北海道施肥ガイド 2020」（北海道農政部，2020）に示された「土壌診断に基づく施肥対応」，「有機物施用に伴う施肥対応」については，春～秋の作型の試験から制定されたものであり，地温が低い厳冬期の栽培を想定していない。このため，冬作では有機物の肥効やそれに伴う土壌養分の可給化が想定を下回ることも考えられるため，コマツナに限らず厳冬期栽培に対しての検討を行う必要がある。

一方で，低温に対する耐性機構としては，前述した糖の蓄積の他に，カリウムなどの無機塩を蓄積して浸透圧を調整する機構も報告されており（Wang ら，2013），Webster・Ebdon（2005）は寒地型牧草のペレニアルライグラスにおいて，カリ施肥が多く土壌のカリ含量が高い状況では，低温障害が軽減されると報告している。しかし，今回の結果をみる限りでは，2 か年とも「生育期」ではカリや窒素の含有率は上昇したが，「低温馴化期」以降においては低下していく傾向にあり（図 2-2-10），コマツナでは低温耐性機構として無機塩類が集積することはないことが示唆された。ただし，本研究でみられた傾向はあくまで生育途中の変化を調査したものであるため，低温ストレス処理と施肥処理を組み合わせた試験を実施し，確認を行う必要がある。

3) 他の葉根菜類の冬季栽培時における施肥量の検討

本報では厳冬期の無加温ハウスにおいて導入が進んでいるコマツナを対象に検討を行ったが，本特集ではコマツナに加え新たな品目の選定を行っている（高濱・地子，2021）。ここではこれらの他品目にも今回のコマツナの知見を適用しつつ考察したい。

レタス類の花芽分化，抽だいについては，積算気温 1700℃，20℃以上の高温により促進される（岩田ら，1998）ことから，コマツナと異なり本作型では 1 月末においても抽だいのリスクはないと考えてよい。また，冬作の結球レタスの基準収量は 3.0 t/10a で（高濱，2021a），北海道施肥ガイド 2020（北海道農政部，2020）の基準収量と同一であるため，施肥量も既存作型と同様で問題ないと考えられる。ただし，非結球レタスについては基準収量が 1.8 t/10a と結球レタスと比べても明確に収量が低いにもか

かわらず、春夏播き作型での窒素施肥量の減肥（花野技セ・中央農試，2017）以外、非結球レタス向けの施肥量は暫定的に結球レタスに準ずるとされており（道南農試，2018），過剰な量が設定されている可能性が高いため、当作型に限らず非結球レタスについては、今後適正施肥量の詳細な検討と設定が課題である。

次に、チンゲンサイと小カブ、ミズナ（紫ミズナも含む）については、コマツナと学名も同一（*Brassica rapa*）であり極めて近縁な種である。このことから、ミズナ、小カブがコマツナよりやや耐寒性が低いなど若干の差はあるものの、基本的な生育特性はいずれもほぼ変わらないと考えられる。さらに、それぞれの冬作の収量（高濱ら，2021a, 2021b）からみても、北海道野菜地図（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020）で示された基準収量（チンゲンサイ 5.0 t/10a；小カブ 4.5～5.0 t/10a；ミズナの晩秋播きハウス作型 2.0～2.5 t/10a，他作型 2.5～2.7 t/10a）を概ね満たし、大きく乖離もしないため、施肥については他作型に対して設定されている既存の施肥量で問題ないと考えられる。

最後に、カラシナ類については同じアブラナ科であり、養分吸収などはほぼ同一と考えられるが、日本で栽培される品種は播種時期が秋から冬であれば、4月以降にならないと開花しない（Rabbani ら，1997）とされ花芽形成条件が若干異なるため、1月末においても抽だいリスクは低いと考えられる。一方、施肥量については窒素：リン酸：カリで 15：15：15 kg/10a で実施しているが（高濱ら，2021a），これは他の葉菜類を参考に近似の値を用いた暫定値であり、精密な試験による検証を行っていないことから、高品質なカラシナ類の安定生産のためには適正な施肥量について今後詳細な検討が求められる。

4) まとめ

このように、冬季に無加温ハウスで栽培した野菜の生育・養分吸収特性について、コマツナを対象として調査を実施し、その生育ステージは大きく3つに分かれることと、養分吸収量からみた施肥量は既存作型と同様で問題ないことが示された。さらに今回得られた知見から、これまで無加温ハウスで栽培した葉根菜類についてもそれぞれ言及した。ただし、無加温ハウスと一言で言ってもその気象条件、

設備、土壌などの栽培環境は多種多様であり、個々の圃場により事情は大きく異なる。そのため、それぞれの状況にあった肥培管理を行う上で、定期的な土壌分析とそれに基づいた施肥、および栽培期間中の植物の観察や病害虫の発見が重要であることは言うまでも無い。

5. 摘要

コマツナを対象に冬季無加温栽培時の生育および養分吸収特性を調査した結果、①生育期、②低温馴化期、および③生育相転換期の3つの時期に大きく分けられた。11月下旬以降草丈の伸長が止まり、生長速度および養分吸収速度は低下するものの、生育および養分吸収は1月下旬まで継続された。また、各養分の吸収量は概ね他作型の現行施肥量と同等またはそれ以下であったため、冬季栽培の施肥量も他作型と同等でよいと考えられた。

6. 参考文献

- 1) 道南農業試験場・上川農業試験場（2018）無加温ハウスを利用した葉菜類の冬季生産技術．平成30年普及奨励ならびに指導参考事項，北海道農政部，札幌，p25-27
- 2) 後藤重義（1990）原子吸光法．植物栄養実験法（日本土壤肥料学会監修），博友社，東京，p134-142
- 3) 花・野菜技術センター・中央農業試験場（2017）春夏播きレタスの品種特性および窒素施肥技術と食感評価法の開発．平成30年普及奨励ならびに指導参考事項，北海道農政部，札幌，p72-74
- 4) 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会（2020）北海道野菜地図 43，p79-80
- 5) 北海道農政部（2020）IV園芸作物．北海道施肥ガイド2020，p77-178
- 6) 岩田 均・小林尚司・時枝茂行（1998）レタスの2-3月どり栽培におけるセル冷蔵苗の利用．兵庫農技研報（農業）46：39-44
- 7) 地子 立・高濱雅幹（2021）北海道北部の積雪地域における無加温パイプハウスを利用したコマツナの厳冬期生産．道総研農試集報 105：81-88
- 8) 水野直治・南 松雄（1980）硫酸-過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量

- のための迅速前処理法. 土肥誌 51 : 418-420
- 9) 中島秀治 (1987) フローインジェクション分析法による耕地土壌及び畑作物体ケルダール分解液中の全窒素定量. 東北農試研究資料 7 : 37-44
 - 10) 南條正巳 (1997) 12.可給態リン酸. 土壌環境分析法 (日本土壌肥料学会監修), 博友社, 東京, p267-273
 - 11) Rabbani MA, Iwabuchi A, Fukuda N, Takayanagi K (1997) Flowering Response of Mustard (*Brassica juncea* L.) to Temperature and Photoperiod under Field Conditions. Jpn J Trop Agr 41: 195-202
 - 12) 坂口雅己・櫻井道彦・中辻敏朗 (2010) 土壌熱水抽出性窒素の簡易測定法の比較とトリプトファンを指標物質とした紫外外部吸光度法の確立. 土肥誌 81 : 130-134
 - 13) 酒井 昭・吉田静夫 (1983) 5.低温馴化にともなう物質の変動, 植物と低温, 東京大学出版会, 東京, p47-59
 - 14) 高濱雅幹・地子 立 (2021) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術―第 1 報―品目選定, 北農 88 : 214-219
 - 15) 高濱雅幹 (2021a) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術―第 2 報―道南地域におけるレタス類, 北農 88 : 220-226
 - 16) 高濱雅幹・古林直太 (2021) 冬季に無加温パイプハウスで栽培した葉根菜類の Brix 値およびポリフェノール含有量, 北農 88 : 300-308
 - 17) 高濱雅幹・地子 立・古山真一 (2021a) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術―第 4 報―道南および道北地域における紫ミズナおよびカラシナ類, 北農 88 : 235-245
 - 18) 高濱雅幹・岡元英樹・地子 立 (2021b) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術―第 3 報―道南および道北地域における小カブおよびチンゲンサイ, 北農 88 : 227-234
 - 19) 高橋英一 (1993) 3.必須元素. 植物栄養・肥料学, 朝倉書店, 東京, p73-101
 - 20) 高尾保之基 (2001) コマツナの栽培 温度管理, 農業技術体系野菜編 7 <追録第 26 号> 第 7 巻, 56 の 3 の 13・
 - 21) 田村 晃 (1999) 寡日射条件における低温処理がコマツナ (*Brassica campestris* L.) の糖およびアスコルビン酸含有率に及ぼす影響. 園芸学会雑誌 68 : 409-413
 - 22) Wang M, Zheng Q, Shen Q, Guo S (2013) The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. Int J Mol Sci 14: 7370-7390
 - 23) Webster DE, Ebdon JS (2005) Effects of Nitrogen and Potassium Fertilization on Perennial Ryegrass Cold Tolerance During Deacclimation in Late Winter and Early Spring. Hortscience 40: 842-849
 - 24) 山崎慎一 (1997) B.原子吸光法. 土壌環境分析法 (日本土壌肥料学会監修), 博友社, 東京, p176-179
 - 25) Yasari E, Patwardhan AM, Ghole VS, Omid GC, Ahmad A (2008) Relationship of Growth Parameters and Nutrients Uptake with Canola (*Brassica napus* L.) Yield and Yield Contribution at Different Nutrients Availability. Pak J Boil Sci 11: 845-853

7. 付記

本報の概要は北農第 88 巻第 4 号に掲載したものである。

第三節 冬野菜の生育・養分吸収特性 2. ボーレコール

1. はじめに

北海道の冬期は積雪・低温下にあることから、野菜生産はほとんど行われてこなかった。このような状況の中、無加温パイプハウスの保温性を向上させて冬期に葉菜類を栽培し、価格の高騰する 12 月、1 月 (北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合, 2020) に収穫する技術が確立された (地子・高濱, 2021)。この技術では、低温下でも栽培可能な品目の選定 (高濱・地子, 2021) やそれらの安定栽培技術 (高濱, 2021 ; 高濱ら, 2021a ; 高濱ら, 2021b) について検討されており、道内の市場、小売業者、生産現場からの期待も高い。現在、この技術に対応できる新たな品目の選定を検討しており、本報で供試するボーレコール (*Brassica oleracea* var. *acephala* L.) も有望な品目の一つである。

ボーレコールはケールの一種であり、ヨーロッパ北部では秋から冬にかけて露地栽培されることが多く、低温に強い品目の一つとされている (Altinok・Karakaya, 2003)。また、機能性成分の一つであるグルコシノレート類を多く含み (Sikorska-Zimm・Beneduce, 2021)、カリウム、カルシウム、鉄分などの各ミネラルやビタミン類が豊富である (香川, 2005)。さらに、冬期に低温遭遇させることにより、糖やカロテノイド、アントシアニン等の機能性成分が増加することが明らかになっている (Jurkow ら, 2019)。これらのことから、冬どり栽培の品目として今後の普及が期待できる。

Furuyama ら (2023) は、実際に道内の無加温パイプハウスでボーレコールを冬どり栽培に供試し、低温遭遇により Brix 値が上昇することと、そのための気象条件について明らかにした。しかしながら、安定した栽培技術を確認するためには、生育と養分吸収についての詳細な知見が必要である。

そこで本報では、冬どり栽培したボーレコールにおいて生育、無機養分 (以下、養分と略記) 吸収特性を明らかにし、栽培法確立の一助とすることを目的とする。

2. 材料と方法

試験栽培は、Furuyama ら (2023) における 2019 年冬作と同一である。上川農試の圃場に南北方向に設置されたパイプハウス (間口 6.0 m、奥行 30 m、軒高 1.8 m、棟高 3.3 m、表面積 235 m²、容積 365 m³) を供試した。本試験に用いたパイプハウスの被覆を図 2-3-1 に示す。ハウスの保温性向上のため、天井面に PO フィルムを二重に展張し、2 枚のフィルム間に屋内の空気を小型ファンで常時送気した。2019 年 11 月 15 日に内張フィルムを設置し、8:00~9:00 に巻き上げて、16:00~17:00 の間に展張した。外張りの側窓は自動換気装置によりハウス内の地上 20 cm 高の気温が 25℃を上回ると開く設定とした。

ハウス内の気温および地温は、それぞれ地面より 20 cm 高および 10 cm 深で温度データロガー (おん

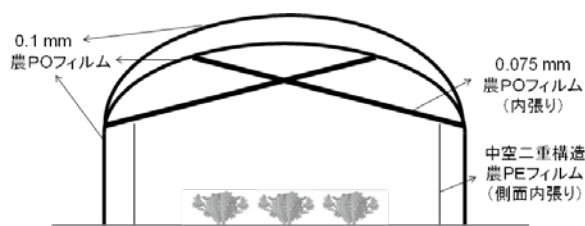


図 2-3-1 供試した無加温パイプハウスの模式図

表 2-3-1 供試ハウスの土壌化学性 (0-20 cm)。

	pH	EC (mS/cm)	有効態リン酸 (トルオーグ法) (mg/100g)	交換性塩基			硝酸態 窒素 (mg/100g)
				CaO	MgO	K ₂ O	
栽培前	5.5	0.22	49.8	260	41	31	4.9

どとり Jr. RTR-502, 株式会社 T&D) を用いて 1 時間毎に測定した。屋外気温は試験地近傍のアメダス地点「比布」の値を用いた。

供試品種は「ウィンターボー」 (ベジヨー・ジャパン株式会社) とした。2019 年 8 月 24 日に育苗培土「ポット培土 (ホクサン)」を充填した 128 穴セルトレイに播種し、25 日間育苗した個体を 9 月 20 日に定植した。定植時の栽植密度は 6.25 株/m² (畝間 40 cm, 株間 40 cm) とした。

試験開始前の土壌化学性を表 2-3-1 に示す。土壌は中粗粒褐色低地土であり (北海道立中央農業試験場, 2008)、土壌診断によると、有効態リン酸 (トルオーグ法) は高く、交換性カリはやや高かった (北海道農政部, 2020)。ボーレコールは北海道における施肥基準がないため、ボーレコールと同じアブラナ科野菜で施設栽培を行っているチンゲンサイの「北海道施肥ガイド 2020」 (北海道農政部, 2020) における施肥標準および土壌診断に基づく施肥対応を参考に、苦土尿素入り複合硝加燐安 (S555) と硫酸、硫加を組み合わせて窒素、リン酸、カリとして、18.0、5.0、7.5 kg/10a をそれぞれ施肥した。なお、リン酸は 1.0 kg/10a、カリは 0.5 kg/10a、「北海道施肥ガイド 2020」 (北海道農政部, 2020) における施肥対応の値とは乖離している。各肥料および土壌 pH を 6.5 に矯正するための防散タンカルは、耕起時に 250 kg/10a を全層施用した。

植物体の調査は 10 月 25 日から 1 月 10 日まで合計 7 回実施した。毎回 6 個体の地上部をサンプリングし、個体毎に葉数を測定後、主茎、生葉、黄化・枯死葉の各部位に分別し、さらに生葉については葉身と葉柄に切り分けた。今回の調査では葉身の一部もしくは全体が黄変したため可販と判断されない葉 (葉身と葉柄) と枯死がみられる未脱落葉を「黄化・枯死葉」とし、完全枯死して個体から脱落した葉は調査対象から除外した。各部位の新鮮重を測定し、一部を 70℃で 72 時間以上通風乾燥した後水分率を求め、乾物重を算出した。乾燥試料をミルで粉碎し、硫酸と過酸化水素を用いて湿式分解し (水野・南, 1980)、窒素、リン酸、カリ、石灰、苦土含有率を「土壌・作物栄養診断のための分析法 2012」

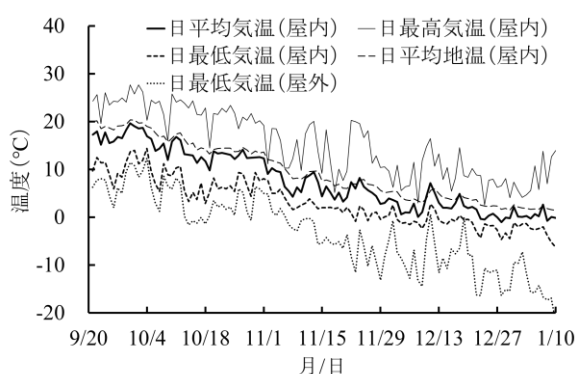


図 2-3-2 試験期間中における気温および地温の推移

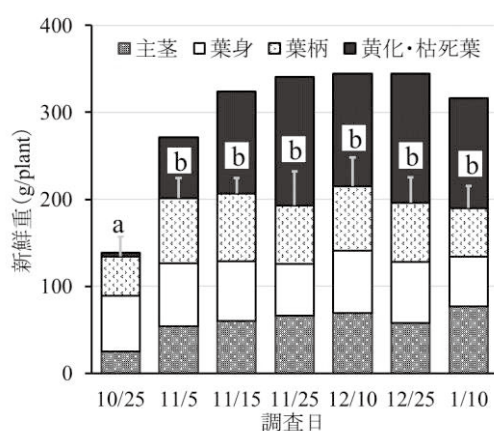


図 2-3-3 ポーレコールの時期、部位別新鮮重
1) パーは可販部（主茎、葉身、葉柄の合計）の標準誤差を表わす（n=6）。
可販部の各調査日間において、異文字で有意差あり（Tukey-Kramer 法、 $P<0.05$ ）。

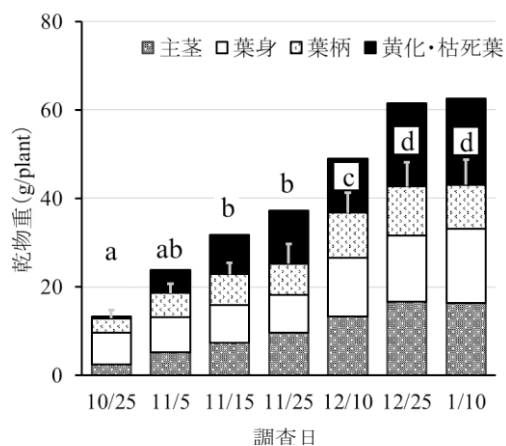


図 2-3-4 ポーレコールの時期、部位別乾物重
1) パーは可販部（主茎、葉身、葉柄の合計）の標準誤差を表わす（n=6）。
可販部の各調査日間において、異文字で有意差あり（Tukey-Kramer 法、 $P<0.05$ ）。

（北海道立総合研究機構農業研究本部，2012）に記載された手法により測定した。

また、生育調査と同時に作土（20 cm 深までの土壌）をボーレコールの株間から検土杖で 15 箇所採取し、それらを混和し 30℃で 24 時間以上乾燥した後 2 mm 篩別して、pH，EC，有効態リン酸（トルオーグ法）含量，交換性塩基（カリ，石灰，苦土）含量を「土壌・作物栄養診断のための分析法 2012」（北海道立総合研究機構農業研究本部，2012）に記載された手法により測定した。無機態窒素は、固液比 1:10 として 1.3 mol/l 塩化カリウム水溶液で 30 分振とう抽出したものを，BRAN+LUEBBE 社 AACS-II 型のオートアナライザーでアンモニア態窒素と硝酸態窒素を測定した。

各時期の可販部全体の新鮮重と乾物重それぞれについて、Tukey-Kramer（有意水準 5%）の多重比較検定を行った。統計解析は、解析ソフト「エクセル統計」を用いた。個体群成長速度（CGR）および相対成長率（RGR）は以下の式により算出した。ここで、 W_1 と W_2 はそれぞれある測定日 t_1 と t_2 における乾物重（g）である。

$$\text{CGR (g/plant/day)} = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{RGR (g/g/day)} = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)$$

3. 結果

試験期間中のハウス内の平均気温、最高気温、最低気温、平均地温、屋外の最低気温の推移を図 2-3-2 に示した。気温、地温は栽培日数の経過に伴い低下する傾向にあり、ハウス内の平均気温は 11 月上旬以降に 10℃，12 月上旬以降に 5℃を下回り，12 月下旬には 0℃近くまで低下した。ハウス内の最高気温は 0℃を下回る日はなかった一方で、最低気温は 12 月上旬以降 0℃以下の日が多かった。平均地温は定植時の 9 月下旬が 20℃近くであったものの、徐々に低下し，12 月 14 日以降では 5℃を上回る日はなかった。

黄化・枯死葉を除いた可販部全体（以下、可販部）の新鮮重は、11 月 5 日に 1 個体あたり約 200 g に達した後ほぼ増減がなかった（図 2-3-3）。部位別にみると、葉身は調査期間を通してほぼ増加しなかったが、葉柄は 11 月 5 日、主茎は 11 月 25 日まで増加傾向にあった。黄化・枯死葉の新鮮重は 11 月 25 日まで増加した。可販部乾物重は新鮮重と異なる傾向を示し、可販部全体でみると 12 月 25 日まで増加し続け、それ以降は 1 個体あたり約 40 g で推移した

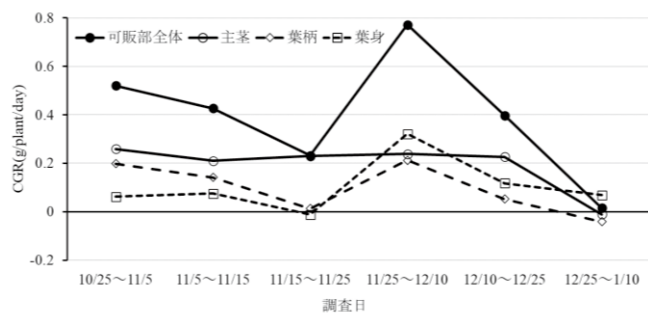


図 2-3-5 ポーレコールの部位別個体群成長速度（CGR）の推移

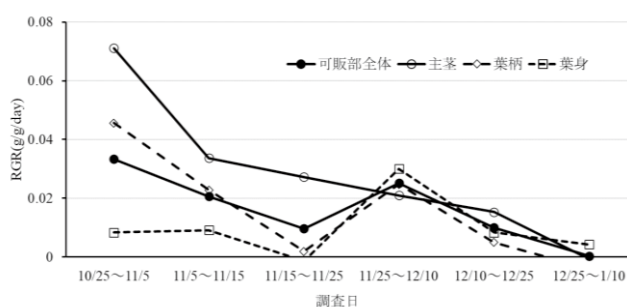


図 2-3-6 ポーレコールの部位別相対成長率（RGR）の推移

表 2-3-2 ポーレコールの可販部葉数の推移。

	10月25日	11月5日	11月15日	11月25日	12月10日	12月25日	1月10日
葉数(枚)	13.2	16.3	16.5	16.5	16.3	16.0	15.0

(図 2-3-4)。部位別にみると、特に主茎は 12 月 25 日までに 10 月 25 日の 6 倍以上に増加し、他の部位も 12 月 25 日まで増加傾向にあった。黄化・枯死葉の乾物重は継続的に増加傾向にあった。可販部の葉数は 10 月 25 日に 13.2 枚であったが、それ以降は 15.0-16.5 枚であり、ほぼ増減はなかった(表 2-3-2)。

個体群成長速度 (CGR) および相対成長率 (RGR) をそれぞれ図 2-3-5、図 2-3-6 に示した。CGR は 12 月 25 日まで概ね正の値を示し、特に 11 月 25 日～12 月 10 日の値が高かった。部位別にみると主茎は成長速度が概ね一定であったが、葉身、葉柄は変動が大きく、両者の CGR を比較すると 11 月 25 日までは葉柄の方が高く、それ以降は葉身の方が高く推移した。RGR をみると 10 月 25 日～11 月 5 日の主茎は約 0.07 g/g/day であったが、それ以降の主茎および他の部位は 0.04 g/g/day 以下と低く推移した。

主茎、葉柄、葉身における各養分含有率の推移を図 2-3-7 に示した。各部位、各養分とも時期が進むにつれて低下したが、その低下度合いは養分別に異なった。すなわち、窒素、リン酸は経時的な低下度合いが比較的小さい一方で、カリ、石灰、苦土は一部の部位（カリは葉身、石灰は主茎）を除くと低下

度合いが大きく、1 月 10 日の各含有率は 10 月 25 日の半分以下であった。

主茎、葉柄、葉身、可販部および黄化・枯死葉の各養分吸収量(図 2-3-8)をみると、12 月 10 日までには緩やかな増加傾向にあったが、12 月 10 日以降では葉身の窒素吸収量のみ増加傾向で、可販部全体の石灰、苦土、葉柄のカリ、石灰、葉身の石灰のそれぞれの吸収量は減少する傾向にあった。一方、黄化・枯死葉の各養分吸収量は石灰で 12 月 10 日以降減少した以外は、調査期間を通していずれも増加した。これらを合わせた合計吸収量は窒素とリン酸は調査期間を通して、カリと苦土は 12 月 25 日まで概ね増加を続けたが、石灰吸収量は 12 月 10 日以降に減少傾向であった。

可販部全体の窒素、リン酸、カリの最大吸収量はそれぞれ 5.4、1.9、8.8 kg/10a であり、黄化・枯死葉を加えた合計吸収量はそれぞれ 8.0、2.6、14.9 kg/10a であった。

定植後 35 日目(10 月 25 日)以降の土壌化学性をみると、硝酸態窒素は 5.3～3.6 mg/100 g、無機態窒素は 5.4～3.7 mg/100 g へとそれぞれ期間を通して緩やかに低下した以外は、顕著な変動は見られなかった(表 2-3-3)。

表 2-3-3 試験中の土壌化学性 (0-20 cm) の推移。

調査日	pH	EC (mS/cm)	有効態リン酸 (トルオグ法) (mg/100g)	交換性塩基			硝酸態 窒素 (mg/100g)	アンモニウム 態窒素 (mg/100g)	無機態 窒素 (mg/100g)
				CaO	MgO	K ₂ O			
9月20日	5.1	0.47	53.3	263	49	50	6.4	1.4	7.8
10月25日	5.3	0.23	52.4	257	45	40	5.3	0.1	5.4
11月5日	5.1	0.31	48.2	255	45	44	5.2	0.1	5.3
11月15日	5.0	0.26	46.3	279	46	41	4.9	0.1	4.9
11月25日	5.2	0.25	49.7	267	46	37	4.6	0.1	4.7
12月10日	5.2	0.28	51.3	263	49	46	4.5	0.1	4.6
12月25日	5.1	0.29	50.8	256	46	40	3.7	0.1	3.8
1月10日	5.1	0.35	52.3	271	49	47	3.6	0.1	3.7

1) 無機態窒素は硝酸態窒素とアンモニウム態窒素の合計。

4. 考察

1) 冬どり作型における生育

今回の栽培方式で冬どり栽培したポーレコールでは、ハウス内の平均気温が 10℃前後となる 11 月上旬に新鮮重(図 2-3-2、図 2-3-3)の増加がほぼ停止したが、それ以降でも乾物重(図 2-3-4)は増加し続けた。

無加温パイプハウスを用いた冬どり作型では、これまでコマツナを対象とした生育の解析を行って

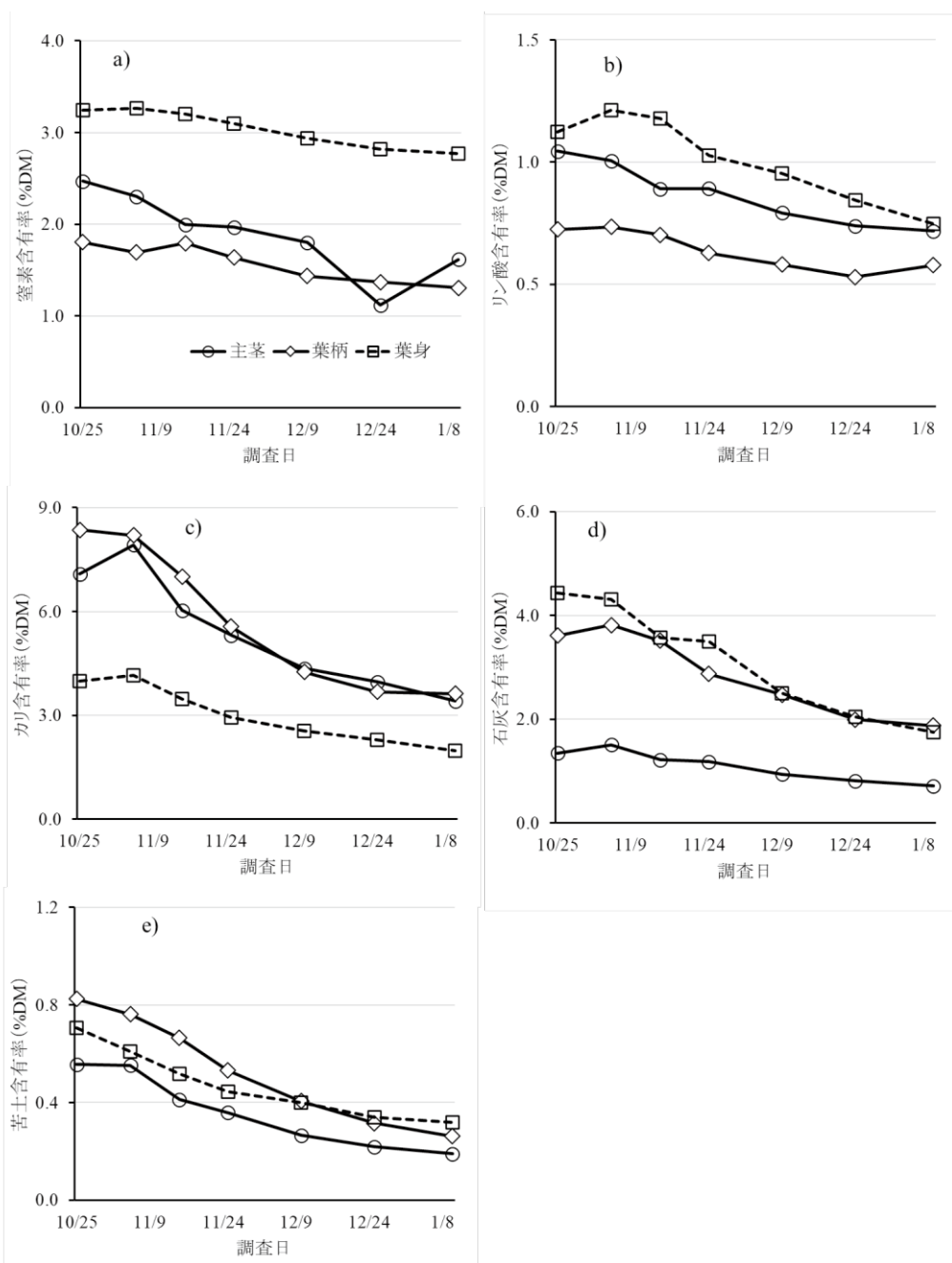


図 2-3-7 ボーレコール各部位における養分含有率の推移
a) は窒素, b) はリン酸, c) はカリ, d) は石灰, e) は苦土.

いる（岡元ら，2021）。このコマツナの結果と今回のボーレコールを比較すると、乾物重が増加し、水分が低下している点は共通しているが、コマツナは乾物重のみならず新鮮重、葉数が増加しているのに対し、ボーレコールでは新鮮重、葉数はほぼ停止しており（図 2-3-3, 表 2-3-2），RGR も 11 月 5 日以降は 0.04 g/g/day 以下と低く推移した（図 2-3-6）。この原因については栽培条件と生育限界温度の違いが考えられる。

栽培条件については、コマツナ（岡元ら，2021）ではトンネルも含めた 4 重被覆で栽培していたのに対し、ボーレコールは植物体が大きくトンネルを被覆できないために 3 重被覆で栽培していた。このため、栽培期間の気温がコマツナよりやや低く推移したこととなり（図 2-3-2），この違いが乾物重、新鮮重、葉数の反応に影響を与えた可能性が考えられる。ただし、本試験で示された試験期間内ならば 3 重被覆であっても、収穫は期待できることが示された。

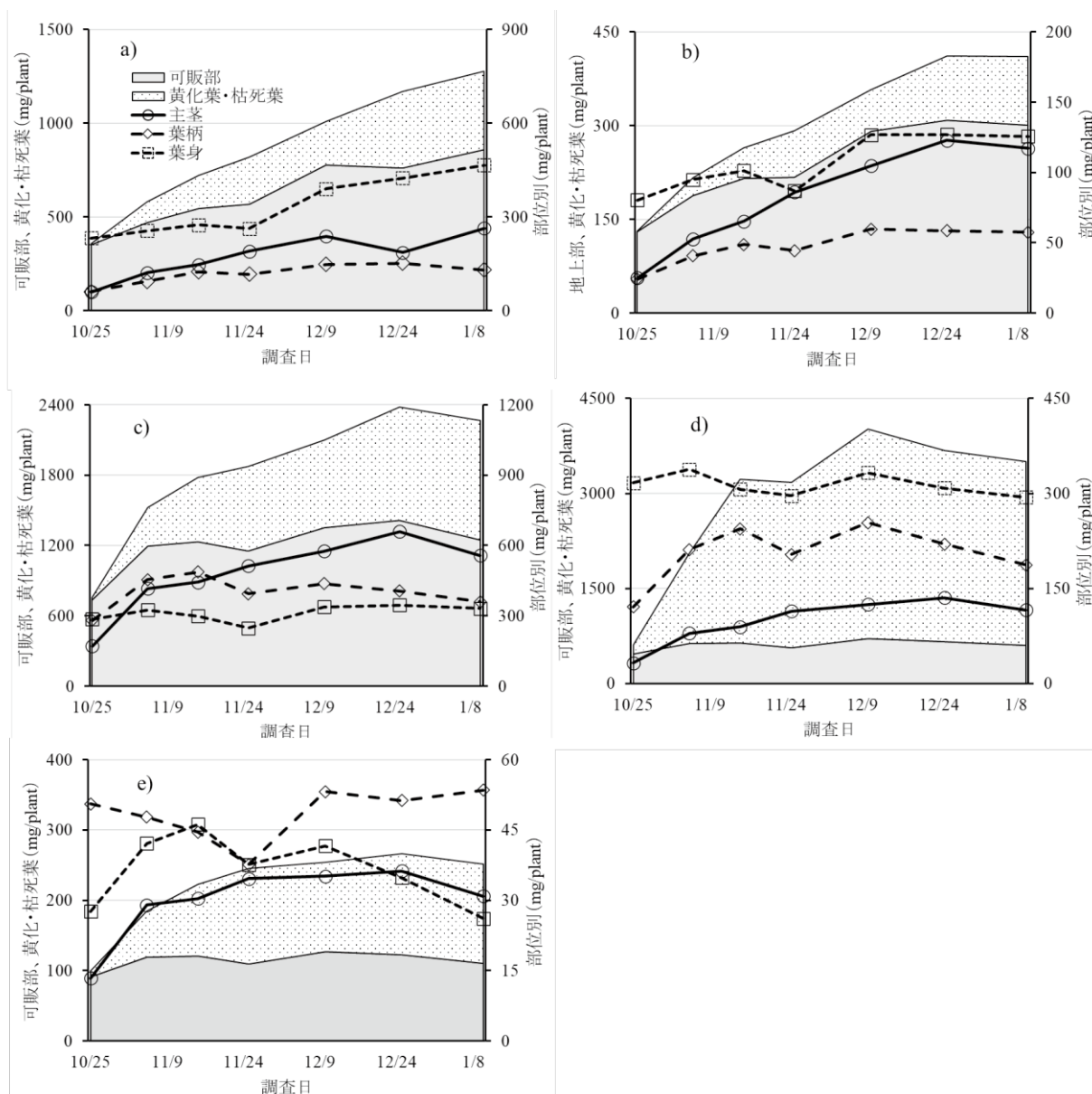


図 2-3-8 ボーレコールの各部位における養分吸収量の推移

1)a) は窒素, b) はリン酸, c) はカリ, d) は石灰, e) は苦土。

ボーレコールの生育限界温度については、5℃で一株重の増加が停止するとされており（高濱・古山，2022），本試験でも最高気温が5℃未満になった12月後半以降はCGRが極めて低かった（図2-3-5）。一方、コマツナはさらに低温でも生育を続けており（岡元ら，2021），冬作に用いられる事が多いキャベツについては5℃以下でも生育が継続され（佐々木，2003），-4～-6℃までは生育障害が生じずに生存が可能である（青柳ら，1991）。これらのことから、ボーレコールはコマツナやキャベツよりも生育限界温度が高く、耐寒性が弱い可能性がある。したがって、本試験よりも遅い時期に収穫する場合には

被覆を増やすなど低温期の気温管理に留意する必要があると考えられる。

ボーレコールは他のアブラナ科品目と同様に低温に遭遇することにより花芽が形成され、その後気温が上昇し成長することにより抽だいと考えられるが、1月10日までの今回の調査や1月下旬もしくは2月上旬まで栽培した事例（高濱・古山，2022；高濱ら，2022）においても花芽分化やそれに伴う葉の新規発生などは見られなかったことから、冬どり栽培する際には抽だいのリスクは低いであろう。

2) 冬どり作型における養分吸収

本作における養分吸収特性をみると、全般に可販部の養分含有率（図 2-3-7）は新鮮重の増加が頭打ちとなる 11 月上旬以降経時的に低下し、可販部の養分吸収量（図 2-3-8）はハウス内の平均気温が 5℃前後となる 12 月上旬に概ね頭打ちとなったが、養分ごとに傾向は異なっていた。窒素，リン酸については含有率の低下が緩やかで全体の吸収量も増加が続くのに対し、カリ，石灰，苦土は低温遭遇後の含有率低下が速やかで、吸収量も可販部ではほぼ横ばいか減少傾向で、黄化・枯死葉への分配が窒素，リン酸に比べて多く見られた。特に、その傾向は石灰で顕著であった。

カリ，石灰，苦土において可販部の養分含有率が低下し、養分吸収量が横ばいか減少傾向を示した理由は、Furuyama ら（2023）が報告した糖などの浸透圧調整物質の集積により相対的に含有率が低下した他に、次のことが考えられた。すなわち、低温遭遇後も乾物重の増加が見られる一方で、根からの養分吸収や作物体内の転流が低温遭遇によって鈍化したために、可販部の含有率低下を招き、吸収量が横ばいか減少傾向を示したものと推察される。

特に石灰は蒸散に伴い受動的に吸収され、植物体内を移行しにくい養分であることから（高橋，1993）、低温により蒸散が低下し吸収されにくくなるとともに、蒸散が盛んな時期に展開した葉に吸収された石灰が転流せずそのまま留まったために、黄化・枯死葉への分配が多くなり、可販部（特に葉身，葉柄）の含有率が低下し吸収量も減少傾向を示したものと推察される。さらに、石灰吸収量の減少には、黄化・枯死葉が生育の進展とともに完全枯死して個体から脱落して損失した影響も大きいと考えられる。

また、土壌化学性の変化（表 2-3-1，表 2-3-2）をみると、pH と石灰は他の養分と異なり、資材を施用してもほぼ上昇しなかった。これは石灰質資材として粒状の防散タンカルを用いたことと、もともとハウス土壌は露地に比べて土壌水分が少ないこと、試験期間中が低温に推移したことなどから、施用した石灰が十分溶解しなかったためと考えられる。このことから、今回施用した石灰質資材はボーレコールの石灰吸収にも寄与しなかったものと推察される。

石灰質資材を施用するには方法，時期について留意する必要がある。

本試験ではチンゲンサイの施肥量を準拠したが、黄化・枯死葉を加えた吸収量（図 2-3-8）は、カリ以外はチンゲンサイの標準施肥量より大幅に少なかったことから、少なくとも冬どり作型においては、施肥量を削減できる可能性が高い。今後、適正施肥量を設定する際には、枯死後脱落した葉に含まれていた養分の損失も含めた、詳細な施肥量試験による解析が求められる。

3) ボーレコールの耐寒性機構

植物の耐寒性機構として、糖類やアミノ酸の集積や、水分含有率の低下により浸透圧調整を高めて細胞の凍結を防ぐ機構がある（酒井・吉田，1983）。ボーレコールにおいても、Brix 値や乾物率の上昇が見られた（Furuyama ら，2023）。このような糖類の集積は同じアブラナ科のキャベツ（佐々木，2003）やコマツナ（高濱・古林，2021），キク科のリーフレタス（高濱・古林，2021）でも見られることから、葉菜類では普遍的な耐性機構と考えられる。また、他の養分と異なり窒素吸収量が調査期間中に増加し続けたこと（図 2-3-8）から、吸収された窒素がアミノ酸集積に寄与していた可能性もある。

他の耐寒性機構としては、電解質としてカリウムを蓄積して浸透圧を調整する機構も報告されており（Wang ら，2013），寒地型牧草のペレニアルライグラスにおいては、カリ施肥量が多く土壌の交換性カリ含量が高い状況では、低温障害が軽減されたとの報告もある（Webster・Edbon，2005）。しかし、本報の結果をみる限りでは、ボーレコールでは調査期間において可販部のカリ，石灰，苦土の含有率が低下しており、コマツナ（岡元ら，2021）と同様に耐寒性機構として無機塩は集積しないことが示唆された。ただし、本研究で見られた傾向はあくまで単一処理での生育を調査したものであるため、明確な結論を出すためには今後さらに詳細な検討を行う必要がある。

4) 今後の展望

Furuyama ら（2023）は Brix 値や硝酸イオンが栽培時期によって変化することを示したが、今回の結果から無機養分についても生育期間中に含有率が変動し、主として低下することが明らかとなった。ボーレコールは北海道で冬どり栽培が可能な野菜というだけではなく、栄養分や機能性成分を豊富に含む利点も有しており、今後北海道の特産品となり

うる品目である。栽培法については、本報の栽培環境よりも低温にさらすことで糖の向上を促す試みが行われている(高濱・古山, 2022; 高濱ら, 2022)。今後はさらに、今回調査対象としなかったグルコシノレート類やアントシアニンなどの機能性成分についても栽培、施肥による変動を把握する事が求められる。

本結果では平均気温が 5℃前後となる 12 月上旬以降 CGR, RGR が著しく低下し(図 2-3-5, 図 2-3-6)、成長が止まることから収量の面では 12 月から収穫を開始できると判断されるが、前述した糖、カリウム、カルシウムなどのミネラル、機能性成分の変動も踏まえてボーレコールの価値を向上させる栽培法を確立させることが、今後の普及のためには必要であると考えられる。

今後の北海道の施設園芸では、夏作の野菜に加え、ボーレコールをはじめとする耐寒性を有する葉菜類の冬どり作型と 2~4 月の葉菜類早春まき作型(地子・岡元, 2022)を適切に組み合わせることにより、無加温ハウスで野菜の周年生産を実施できる。この無加温ハウスの周年利用体系の普及は、生産現場にとっては施設の有効活用に加え、冬季の労働力需要の創出をもたらす(地子, 2022)、道内の消費者にとっては冬季に新鮮な野菜が入手可能となること期待される。このことから、今後、栽培技術のさらなる検討と進歩が望まれるであろう。

5. 摘要

冬どり葉菜類の無加温ハウス栽培技術を普及させるため、栽培に適した品目の拡大を検討中である。ボーレコールは冬どり栽培に適し、今後の普及が期待される。そこで本報では冬どりボーレコールの生育と養分吸収を経時的に調査し、可販部各部位(主茎、葉身、葉柄)および黄化・枯死葉の新鮮重、乾物重、各養分を測定した。その結果、可販部において新鮮重の増加は 11 月上旬(日平均気温 10℃前後)まで、多くの無機養分の吸収は 12 月上旬(同 5℃前後)までにほぼ止まるが、それ以降も乾物重は 12 月下旬(同 0℃前後)まで増加した。養分吸収特性は養分ごとに異なり、窒素、リン酸は含有率の減少も緩やかで全体の吸収量が増加し続けるのに対し、カリ、石灰、苦土は低温遭遇後の含有率低下が速やかで、黄化・枯死葉への分配が多かった。また、ボーレコールは無機塩ではなく、糖類などを集積して

浸透圧を高めることによって耐寒性を獲得していると考えられた。

6. 参考文献

- 1) Altinok S, Karakaya A (2003) Effect of growth season on forage yields of different Brassica cultivars under Ankara conditions. Turk. J. Agric. For. 27, 85-90
- 2) 青柳森一・神保信幸・所重雄・村井正和(1991) 冬春キャベツの灌漑防止に関する研究 第 1 報 産地における干害の発生実態とその発生条件の解明. 千葉農試研報 32 : 19-29
- 3) Furuyama S, Okamoto H, Jishi T (2023) Effect of cold exposure on Brix value of borecole leaves grown in an unheated greenhouse in Hokkaido, subarctic region. Hort. J. 92, 171-177
- 4) 北海道立中央農業試験場(2008) 北海道土壌区一覧(改訂版). 北海道立農業試験場資料 37, 1-188
- 5) 北海道立総合研究機構農業研究本部. 土壌・作物栄養診断のための分析法(2012) 北海道立総合研究機構農業研究本部. 長沼, <https://www.hro.or.jp/list/agricultural/center/bunseki2012/index.html> [2023 年 11 月 22 日参照]
- 6) 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会(2020) 北海道野菜地図 43, 札幌, p79-80
- 7) 北海道農政部(2020). IV園芸作物. 北海道施肥ガイド 2020. 札幌, p77-178
- 8) 地子立・高濱雅幹(2021) 北海道北部の積雪地域における無加温パイプハウスを利用したコマツナの厳冬期生産. 道総研農試集報. 105 : 81-88
- 9) 地子立・岡元英樹(2022) 無加温パイプハウスの周年利用体系に対応した葉菜類の早春まき作型. 北農. 89 : 25-31
- 10) 地子立(2022) 道北地域における無加温パイプハウスを用いた野菜の周年栽培技術の収益性. 北農. 89 : 43-50
- 11) Jurkow R, Wurst A, Kalisz A, Sękara A, Cebula S (2019) Cold stress modifies bioactive compounds of kale cultivars during fall-winter harvests. Acta. Agrobot. 72, 1761

- 12) 香川芳子 (2005) 野菜類. 五訂食品成分表 2005. 科学技術庁資源調査会編. 女子栄養大学出版部, 東京, p80-127
- 13) 水野直治・南松雄 (1980) 硫酸-過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法. 土肥誌. 51 : 418-420
- 14) 岡元英樹・地子立・古山真一・藤倉潤治 (2021) 冬季無加温栽培におけるコマツナの生育および養分吸収特性. 北農. 88 : 309-319
- 15) 酒井昭・吉田静夫 (1983) 5.低温馴化にともなう物質の変動. 植物と低温. 東京大学出版会, 東京, p.47-59
- 16) 佐々木英和 (2003) キャベツの耐凍性獲得及び消失に関する研究. 野菜茶業研究所研究報告. 2, 213-244
- 17) Sikorska-Zimny K, Beneduce L (2021) The glucosinolates and their bioactive derivatives in Brassica: a review on classification, biosynthesis and content in plant tissues, fate during and after processing, effect on the human organism and interaction with the gut microbiota. Crit. Rev. Food. Sci. Nutr. 61, 2544-2571
- 18) 高濱雅幹・地子立 (2021) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術―第 1 報―品目選定. 北農. 88 : 214-219
- 19) 高濱雅幹 (2021) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術―第 2 報―道南地域におけるレタス類. 北農. 88 : 220-226
- 20) 高濱雅幹・古林直太 (2021) 冬期に無加温パイプで栽培した葉根菜類の Brix 値およびポリフェノール含有量. 北農. 88 : 300-308
- 21) 高濱雅幹・古山真一 (2022) 定植時期および温度管理がボーレコールの生育および Brix 値に及ぼす影響. 北海道園芸研究談話会報. 55 : 20-21
- 22) 高濱雅幹・地子立・古山真一 (2021a) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術―第 4 報―道南および道北地域における紫ミズナおよびカラシナ類. 北農. 88 : 235-245
- 23) 高濱雅幹・岡元英樹・地子立 (2021b) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術―第 3 報―道南および道北地域における小カブおよびチンゲンサイ. 北農. 88 : 227-234
- 24) 高濱雅幹・岡本結香・古山真一・加藤淳 (2022) 北海道での冬期栽培管理がボーレコールの Brix 値, 乾物率および糖組成に及ぼす影響, 園芸学研究. 21 別, 2, 166
- 25) 高橋英一 (1993) 3.必須元素. 植物栄養・肥料学. 朝倉書店, 東京, p73-101
- 26) Wang M, Zheng Q, Shen Q, Guo S (2013) The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. Int. J. Mol. Sci. 14, 7370-7390
- 27) Webster DE, Ebdon JS (2005) Effects of Nitrogen and Potassium Fertilization on Perennial Ryegrass Cold Tolerance During Deacclimation in Late Winter and Early Spring. HortScience. 40, 842-849

7. 付記

本節の概要は北海道立総合研究機構農業試験場集報第 108 号に掲載したものである。

第四節 冬野菜の病害

1. はじめに

冬季無加温で栽培する品目であるレタスの北海道における春～秋の栽培では軟腐病・灰色かび病, ホウレンソウでは萎凋病・べと病等が主要な病害であるが, 冬季無加温栽培における主要病害は明らかになっていない。また, チンゲンサイ・ターサイ等では春～秋の栽培においても北海道における主要病害が明らかになっていない。そこで, 冬季無加温栽培において各作物に発生する病害について整理した。

2. 発生病害の調査および分離菌の同定

(1) 上川農試

2017 年 11 月～2018 年 3 月に上川農試の試験ハウス内の 8 種類の葉菜類, カラシナ (*Brassica juncea* Cernua Group), キョウナ (ミズナ: *B. rapa* Japonica Group), ノラボウナ (ナバナの関東在来系統: *B. napus*), ユキナ (*B. rapa* Narinosa Group), ハクサイ (*B. rapa* Pekinensis Group), コマツナ (*B. rapa* Perviridis Group), チンゲンサイ (*B. rapa* Chinensis Group) およびホウレンソウ (*Spinacia oleracea*) において葉腐症状・尻腐症状等の生育異常が発生した。罹病植物からの菌の分離, 分離菌の同定および病原性試験を実施した。

1) 病徴・発生状況と分離菌

カラシナでは、2017 年 11～12 月、2018 年 1 月に葉身と葉柄基部腐敗症状が発生した(図 2-4-1, a,b)。ミズナ(キョウナ)では 2018 年 1 月に異なる 2 つのハウスで葉身と葉柄基部の腐敗症状が発生した(図 2-4-1, c)。ノラボウナでは、2018 年 1 月に葉柄基部の腐敗症状が発生した(図 2-4-1, d)。ユキナでは、2017 年 11 月に葉身と葉柄基部の腐敗症状が発生した(図 2-4-1, e)。ハクサイでは、2018 年 1 月に葉柄基部の腐敗症状が発生した(図 2-4-1, f)。コマツナでは 2018 年 2 月に葉柄基部の腐敗症状が発生した(図 2-4-1, g)。チンゲンサイでは、2017 年 11 月に葉身と葉柄基部の腐敗症状が発生した(図 2-4-1, h)。ホウレンソウでは、2018 年 3 月に異なる 2 つのハウスで苗立ち枯れ症状、葉身と葉柄基部の腐敗症状が発生した(図 2-4-1, i)。病変部からは単一の糸状菌が高率に分離され、カラシナの葉柄基部由来 2 菌株(A1-1 株, B1 株)・葉身由来 1 菌株(K1 株)、ミズナの葉身由来 1 菌株(D1 株)・葉柄基部由来 1 菌株(F1 株)、ノラボウナの葉柄基部由来 1 菌株(C1 株)、ユキナの葉身由来 1 菌株(E1 株)、ハクサイ葉身由来 1 菌株(H1 株)、コマツナの葉柄基部由来 1 菌株(J1 株)、チンゲンサイの葉身由来 1 菌株(L1 株)およびホウレンソウ

ウの葉柄基部(苗立枯症状)由来 1 菌株(M2 株)・葉身由来 1 菌株(M6 株)の合計 12 菌株について、以降の試験に供試した(表 2-4-1)。

各作物の栽培面積は 10～20 m² であり、これらの症状の発生は栽培面積の 10～100%で認められた。

2) 分離菌の同定

分離 12 菌株の菌糸はいずれも分岐を有し、分岐部がくびれ、分岐部付近に隔壁を有した。分岐は菌糸先端の隔壁の直下に生じた。菌糸幅は 5.6～10.9 (平均 8.0～8.9) μm, 1 細胞あたりの核数は 3～16 (平均 7.6～9.6) 個であった(表 2-4-1)。以上の形態的特徴および核数より 12 菌株をいずれも *Rhizoctonia solani* と同定した。

R. solani は種複合体であり、菌糸融合群(AG)に分割されている。分離菌の菌糸融合群を同定するため PCR 検定を実施した。PDA 平板培地で培養した分離菌から DNA を抽出し(抽出キット DNeasyPlant Mini Kit, Qiagen 使用), *R. solani* AG-2-1 を特異的に増幅するプライマー(Carling et al. 2002)を用いて PCR 反応を行った。PCR 産物は 2%アガロースゲル電気泳動後、臭化エチジウムで染色し、紫外線を照射して増幅産物の有無およびサイズを観察した。

供試した全 12 菌株から抽出したゲノム DNA から約 500 bp の増幅産物が得られた(図 2-4-2)。増

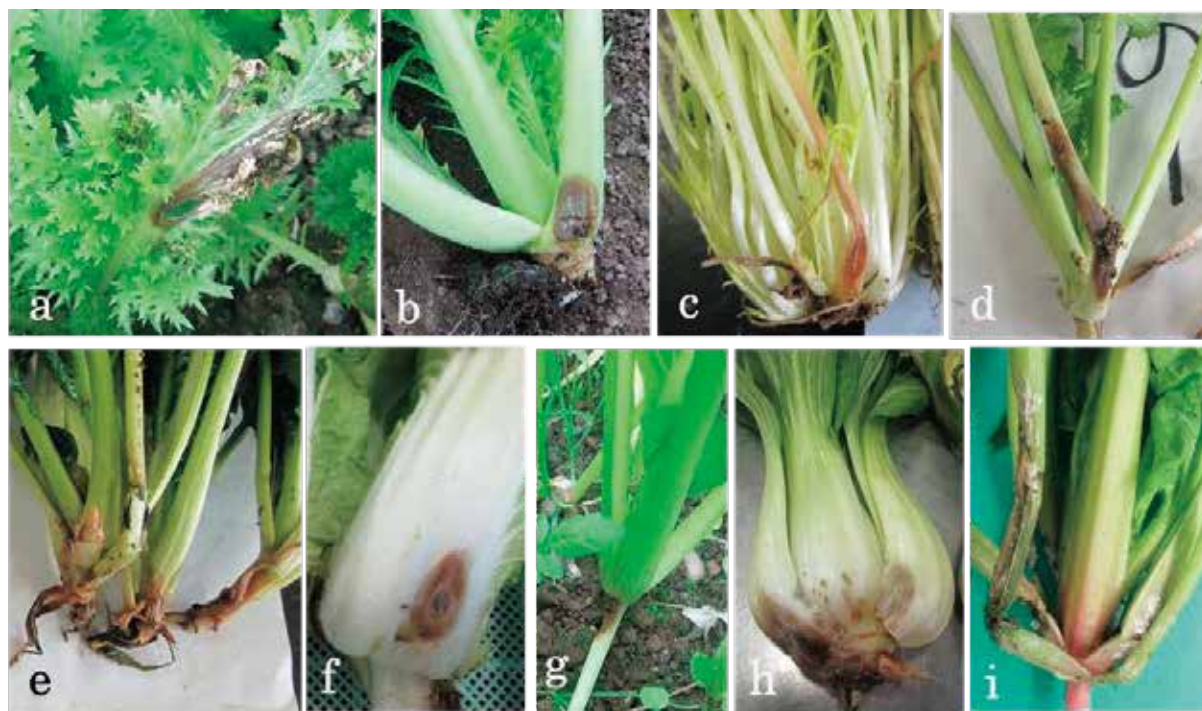


図 2-4-1 カラシナの葉身腐敗症状 (a), 基部腐敗症状 (b), ミズナの葉柄基部腐敗症状 (c), ノラボウナの葉柄基部腐敗症状 (d), ユキナの葉柄基部腐敗症状 (e), ハクサイの葉柄基部腐敗症状 (f), コマツナの葉柄基部腐敗症状 (g), チンゲンサイの葉柄基部腐敗症状 (h), ホウレンソウの葉柄基部腐敗症状 (i), いずれも上川農業試験場・長浜原図。

幅産物の長さは Carling ら (2002) の記載と一致した。PCR 反応の結果から、全 12 菌株を *R. solani* AG-2-1 と同定した。

3) 分離菌の病原性検定

分離菌の病原性を検定するために接種試験を3回に分けて行った (試験 1~3)。いずれも菌株を分離した作物と同一種の作物に対する病原性を調査した。試験 1~3 とともに、分離菌のフスマ培地培養物を接種源として用いた (フスマ接種)。さらに、試験 1 および試験 2 では、フスマ接種に加えて含菌寒天接種も実施した。含菌寒天接種は、分離菌株を PDA 培地で 25℃・4 日間培養した菌叢を直径 5 mm のコルクボーラで打ち抜き接種源とした。

試験 1, 2, 3 では、接種株を平均気温 16.5℃, 11.5℃, 15.9℃のガラス温室内で管理した。試験 1~3 のいずれの試験においても、無接種区を設定するとともに、

接種発病個体から菌の再分離を試みた。

試験 1~3 で供試した 12 菌株について、分離源である 8 作物に対する病原性を確認した。いずれの試験においても、無接種株では発病が認められなかった。また、発病株からは PDA 培地上で接種菌と同様の菌叢を示す菌が再分離された。

4) 病名と既往の知見との比較

以上の結果からいずれの作物に発生した症状も *R. solani* AG-2-1 による病害であることが明らかとなった。ミズナ (キョウナ) リゾクトニア病、ハクサイ尻腐病、コマツナリゾクトニア病については、すでに北海道内で発生が報告されている (三澤・泉, 2012; 三澤, 2013)。

ハウレンソウ株腐病については、国内では AG-1, 2-1, 2-2, 4 および 5 が病原として報告されており (Naiki・Nanoh, 1978)、北海道内では AG-1 IB と AG-4 HG-I が病原として確認されているが (三澤ら, 2016)、今回道内で初めて AG-2-1 による株腐病の発生を確認した。チンゲンサイ尻腐病は国内では発生報告があるが (前川ら, 1999)、北海道内では未報告である。ノラボウナは、日本植物病名目録上ではナタネ・ナバナに分類されるため、本研究で同定したノラボウナ病害の病名はナバナ立枯病となる (窪田ら, 2009)。本病も北海道内では未報告である。

R. solani によるカラシナ病害として、日本植物病名目録には AG-1 IB による葉腐病 (Yang ら, 2005) と AG-1 IC による苗立枯病 (瓦谷ら, 2007) が記載されているが、葉腐病は中国雲南省での発生記録である。本研究では、葉身の腐敗症状だけでなく、葉柄基部の腐敗症状も確認されたが、農業試験場内の

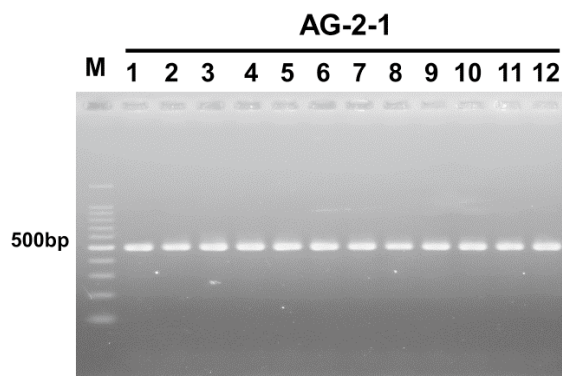


図 2-4-2 PCR 産物のアガロースゲル電気泳動像。
R. solani AG-2-1 特異的プライマー使用。
レーン M: 100-b ラダー・マーカ、
レーン 1: A1-1 株, レーン 2: B1 株, レーン 3: K1 株,
レーン 4: D1 株, レーン 5: F1 株, レーン 6: C1 株,
レーン 7: E1 株, レーン 8: H1 株, レーン 9: J1 株,
レーン 10: L1 株, レーン 11: M2 株, レーン 12: M6 株

表 2-4-1 冬季栽培で発生した病害と病原菌の形態

発生時期	宿主植物	病徴	菌株名	菌糸幅(μm)	核数
2017 11月	カラシナ	葉柄基部腐敗	A1-1	6.0-10.2(8.2)	3-12(8.1)
2018 1月	カラシナ	葉柄基部腐敗	B1	7.1-10.5(8.9)	4-13(7.9)
2017 12月	カラシナ	葉腐れ, 葉柄基部腐敗	K1	6.8-10.9(8.9)	4-16(9.6)
2018 1月	ミズナ	葉腐れ, 葉柄基部腐敗	D1	6.6-10.2(8.4)	4-14(8.6)
2018 1月	ミズナ	葉腐れ, 葉柄基部腐敗	F1	5.9-10.0(8.5)	4-15(8.5)
2018 1月	ノラボウナ	葉柄基部腐敗	C1	7.2-10.4(8.7)	4-14(9.4)
2017 11月	ユキナ	葉腐れ, 葉柄基部腐敗	E1	5.6-10.8(8.4)	4-16(9.1)
2018 1月	ハクサイ	葉腐れ, 葉柄基部腐敗	H1	6.4-10.5(8.4)	3-12(7.6)
2018 2月	コマツナ	葉柄基部腐敗	J1	6.5-10.5(8.4)	4-12(8.0)
2017 11月	チンゲンサイ	葉腐れ, 葉柄基部腐敗	L1	6.4-10.2(8.4)	4-14(9.2)
2018 3月	ハウレンソウ	苗立ち枯れ	M2	6.0-10.3(8.1)	4-13(8.8)
2018 3月	ハウレンソウ	葉腐れ, 葉柄基部腐敗	M6	6.0-10.4(8.0)	4-12(7.9)

試験栽培中の発生であるため、病名は変更せず、葉腐病の病原として AG-2-1 を追加することを提案した（三澤ら，2019）。

R. solani によるユキナの病害は国内で未報告であるために、病名をユキナ（キサラギナ）・リゾクトニア病と呼称することを提案した（三澤ら，2019）。

(2)道南農試

2015～2018 年の栽培試験中に道南農試で以下の生育異常を確認した。

1)2015 年・リーフレタス

2015 年 12 月 10 日、リーフレタスで以下の 4 つの症状が発生した。栽培面積は 20 m² の 20% で発生。

症状 1) 主に葉の縁から軟化・褐変し、病斑部は直径 2～6 mm で葉が薄くなる（図 2-4-3, a）。発生は病変株全体の 30%。罹病部を顕微鏡観察すると菌泥が確認された。罹病組織からは King B 培地上で均一なコロニーを示す細菌が高率に分離された。わが国では、レタスに発生する細菌病として、斑点細菌病、腐敗病、軟腐病の 3 病害が報告されている。病徴から斑点細菌病である可能性が高いと推定したが、分離細菌の同定と病原性について、さらに検討が必要である。

症状 2) 病斑直径は 1～4 mm の淡褐色の斑点を外葉に形成（図 2-4-3, b）。発生は病変株全体の 5%。

顕微鏡観察で低率で菌糸・胞子が確認されたが、罹病組織から糸状菌は分離されなかったため、病害ではないと判断した（原因不明）。

症状 3) 下位葉に V 時に淡灰色の病斑を形成し、やがて株全体が軟化・腐敗し、立ち枯れた。地際部に黒色の菌核を形成した（図 2-4-3, c）。発生は 2 株のみであった。罹病部から培地上で黒色の菌核を形成する糸状菌が分離されたことから菌核病と同定した。

症状 4) 葉身に最大 30 mm の褐色斑点を形成し、下位葉の地際部で発生すると立ち枯れた（図 2-4-3, d）。発生は病変株全体の約 1%。罹病葉を湿室に放置すると *Botrytis* 属菌の胞子を形成したことから灰色かび病と同定した。

2)チンゲンサイ・ターサイ・リーフレタス

2016 年 1 月 4 日、チンゲンサイでは、葉身の先端部は淡褐色で乾燥し、葉身中央部から基部は水浸状に軟化し、軟化は葉柄基部まで達した。発生は、栽培 230 株中 30% で認められた（図 2-4-4, a）。ターサイでは、葉身・葉柄が水浸状に軟化・腐敗した。発生は、栽培 70 株中 15% で発生認められた（図 2-4-4, b）。

2016 年 1 月 27 日、収穫時期近く of リーフレタスで株全体が萎れた。発病株率は、10 月上旬定植の赤系品種で 80～100%、緑系品種で 70～100% とい



図 2-4-3 リーフレタスの細菌病 (a)、葉身の淡褐色斑点 (b)、菌核病 (c)、灰色かび病 (d)



図 2-4-4 腐敗したチンゲンサイ (a)、ターサイ (b)、リーフレタス (c)、チンゲンサイ(d)

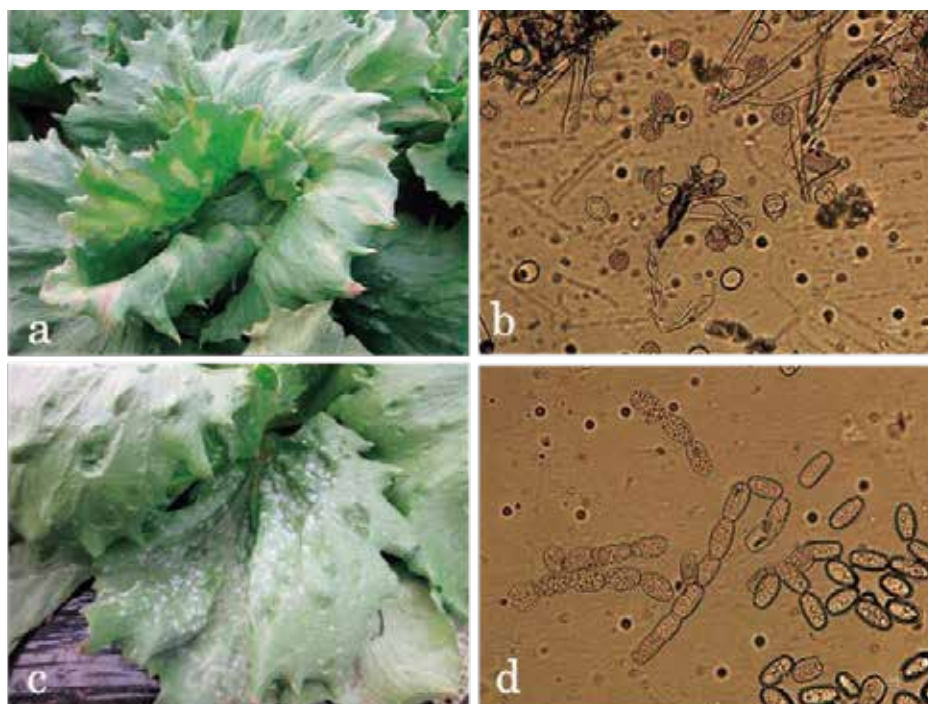


図 2-4-5 リーフレタスべと病 (a), リーフレタスべと病菌の分生子と分生子柄 (b: スケールバー30 μm), リーフレタスうどんこ病 (c), リーフレタスうどんこ病の分生子 (d: スケールバー30 μm)

れも壊滅的な被害が発生 (図 2-4-4, c)。同一ハウス内で隣接した栽培していた 10 月中旬定植の赤系品種では、発病株率が 10~20%と明らかに発病が少なかった。発病株の地際部付近の葉柄が水浸状に軟化・腐敗していた。

2017 年 11 月 24 日、チンゲンサイで外葉には淡褐

色の斑点を形成し、中心葉が腐敗する症状が発生した (図 2-4-4, d)。発生は、160 株中 3 株であった。

これら罹病部を顕微鏡で観察するといずれも菌泥が確認され、罹病組織からは細菌が高率に分離された。King B 培地上で蛍光を示す菌だけが分離される場合と、蛍光を示さない菌も混在して分離される

場合があった。分離した細菌の病原性については未検討である。これらの症状が細菌の感染による病害であるか、低温による負傷後に細菌が感染したかについては今後検討が必要である。

3)2018 年・リーフレタス

2018 年 12 月 10 日、栽培面積 1a のハウス内の 20% 株で葉身部に病斑を形成した。

葉身が退緑する症状（図 2-4-5, a）は、顕微鏡観察で球形～楕円形で、径約 20 μm の分生子と分生子柄（図 2-4-5, b）が確認されたことから、べと病と診断した。発病株の 9 割がべと病であった。

残り 1 割は、葉身に白色の粉を噴く症状であり（図 2-4-5, c）、顕微鏡観察により樽形で連鎖し、長径約 30 μm の分生子（図 2-4-5, d）が確認されたことからうどんこ病と診断した。

3. 摘要

冬季無加温で葉菜類に発生する病害として、各種野菜の *R. solani* AG-2-1 による病害、リーフレタスの菌核病・灰色かび病・べと病・うどんこ病の発生を確認した。また、チンゲンサイ・ターサイ・リーフレタスでは、一次的または低温による凍害のあとに二次的に細菌が感染する事例が認められた。

4. 引用文献

- 1) Carling, D. E., Kuninaga, S. and Brainard, K. A. (2002) Hyphal anastomosis reactions, rDNA-internal transcribed spacer sequences, and virulence levels among subsets of *Rhizoctonia solani* anastomosis group-2 (AG-2) and AG-BI. *Phytopathology* 92 : 43-50
- 2) 瓦谷光男・中曽根 渡・岡田清嗣・田中 寛・西濱絢子 (2007) カラシナ, ミズナ, コマツナ, レタスに同時発生した *Rhizoctonia solani* Kühn AG-1IC による苗立枯れ症状. *日植病報* 73 : 21-24
- 3) 窪田昌春・東 貴彦・西和文 (2009) *Rhizoctonia solani* 菌糸融合群 AG-2-1 によるナバナ立枯病 (新称). *日植病報* 75 : 170-172 (講要)
- 4) 前川和正・長田靖之・相野公孝・岩本 豊 (1999) *Rhizoctonia solani* Kühn AG-2-1 によるチンゲンサイしり腐病 (新称). *日植病報* 65 : 680 (講要)
- 5) 三澤知央・泉 咲子 (2012) *Rhizoctonia solani* AG-2-1 によるキョウナとコマツナの葉腐れ症

状および立枯れ症状. *北日本病虫研報* 63 : 87-91

- 6) 三澤知央 (2013) 北海道で発生した園芸作物の新病害・その 9 ハクサイしり腐病. *北農* 80 : 255-260
- 7) 三澤知央・萩原淳史・大平 誠・山口泰輔 (2016) ホウレンソウ株腐病菌の亜群同定および病原菌と関連亜群菌株のホウレンソウに対する病原性比較. *北日本病虫研報* 67 : 94-99
- 8) 三澤知央・長浜 恵・地子 立 (2019) 北海道で冬期間に収穫する数種葉菜類で発生した *Rhizoctonia* 菌による病害. *北日本病虫研報* 70 : 42-48
- 9) Naiki, T. and Nanoh, M. (1978) Grouping of *Rhizoctonia solani* Kühn causing root disease of spinach in plastic house cropping. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 44 : 554-560
- 10) Yang, G. H., Chen H. R., Naito, S., Wu J. Y., He X. H. and Duan C. F. (2005) Occurrence of foliar rot of pak choy and Chinese mustard caused by *Rhizoctonia solani* AG1-IB in China. *J. Gen. Plant Pathol.* 71 : 377-379

5. 付記

本節の一部は北日本病害虫研究会報第 70 号に掲載したものである。

第五節 冬野菜の虫害

1. はじめに

冬季無加温栽培（以後、本栽培）で発生する害虫として「葉根菜類冬どり栽培マニュアル 2021 年改訂版」（道南農試・上川農試, 2021）ではナメクジ、アブラムシ、ネキリムシが挙げられている。本稿では本栽培における害虫の種類や生態、防除法について解説する。ただし、本栽培で発生する害虫はこれまで体系的に調査されたことが無いため、利用可能な知見に乏しい。そのため、本栽培以外の道内における一般的な栽培環境での知見を基にした推測的な記述も多くなることを予めご承知おきいただきたい。

各害虫の解説に移る前に、多くの害虫ではハウス内に侵入させないことが最も重要な防除対策となる。そのため、共通する対策として作付け前から初

期にかけて、1) ハウス裾部のビニールを埋め込む、2) 苗で害虫を持ち込まない、3) 雑草や作物残渣を撤去する、等といった基本的な対策を実施するのが望ましい。

2. ナメクジ類

(1) 冬季無加温栽培で発生するナメクジ類

本栽培では秋季の気温が低下する時期にナメクジ類がハウス内に侵入し、作物の柔らかい葉を中心に食害する（図 2-5-1, A）。こうした食害痕だけでなく、歩行時に粘液を付着させ、これが乾燥しても白く光沢のある歩行痕として残るため、商品性が低下する。ナメクジ類の侵入を一度許すと、作物に直接散布して殺虫できる薬剤の選択肢が少ない（後述）ために防除が困難となる。

農作物を加害するナメクジ類として、道内ではナメクジ *Meghimatium bilineata*、およびノナメクジ *Deroceras varians* の2種のみが記録されている（北海道植物防疫協会、2014）。しかし、道内には近年、多数の外来ナメクジ類が侵入している（浅川、2022；興野、2020）。中でもチャコウラナメクジ類（図 2-5-1, B、チャコウラナメクジ *Lehmannia valentiana* およびニヨリチャコウラナメクジ *L. nyctelia* は府県において農作物を加害するナメクジ類の代表的存在である。したがって、道内でも上記2種にとどまらず、多くの種類のナメクジ類が農作物害虫となっている可能性がある。

本栽培で発生するナメクジ類の種類は残念ながら現時点で全く知見がない。ナメクジ類は同定のために体を解剖し、生殖器などの内部構造を観察する必要がある。この同定の困難さゆえに本栽培にとどまらず、道内での調査が進んでいないと考えられる。今後は本栽培における生態を調査する前段階として、発生する種類が何であるかを把握し、各種の生態を解明していく必要がある。

(2) ナメクジ類の防除法

ナメクジ類の防除は圃場内での生息に好適な場所を減らすことに加えて、圃場内に侵入させないことが重要である。ナメクジ類は一般に湿気のある場所を好み、未熟有機物を摂食する。作物や雑草の残渣をハウス内に放置すると、ナメクジ類にとって格好の生息・繁殖場所となるため、速やかに処分する。また、マルチやビニール等の資材下も湿気の多い好

適な生息場所となるので、不要な資材はハウス内から撤去する。ハウス外からの侵入を防ぐためにはハウス裾部のビニールを土中に埋め込む等、地面に近い部分の開口部をできるだけ減らすことが重要と考えられる。

ナメクジ類に使用できる農薬として、燐酸第二鉄粒剤（商品名：「スラゴ」等）、メタアルデヒド粒剤（商品名：「ナメククリーン3」等）、メタアルデヒド水和剤（商品名：「マイキラー」等）、銅水和剤（商品名：「クプロシールド」等）がある。これらのうち粒剤は毒餌でナメクジ類を誘引して殺虫するベイト剤であり、作物周囲や株元の土壌表面にばら撒いて処理する。燐酸第二鉄はメタアルデヒドのような即効性は無いものの、日本農林規格（JAS）の有機農産物栽培でも使用でき、適用作物も野菜類等と比較的広い場合が多い（表 2-5-1）。メタアルデヒド水和剤はレタス・非結球レタスのような一部の作物

表2-5-1「スラゴ」のナメクジ類に対する登録内容

作物名	使用方法	適用場所
ナメクジ類、カタツムリ類、アフリカマイマイ、ヒメリンゴマイマイが加害する農作物等	ナメクジ類、カタツムリ類、アフリカマイマイ及びヒメリンゴマイマイの発生あるいは加害を受けた場所又は株元に配置	温室、ハウス、圃場、花壇

表2-5-2「ナメククリーン3」のナメクジ類に対する登録内容

作物名	使用方法
非結球あぶらな科葉菜類	株元散布
レタス	株元散布

表2-5-3「マイキラー」のナメクジ類に対する登録内容
（冬野菜関連部分を抜粋）

作物名	使用方法	適用場所
レタス	散布	
非結球レタス	散布	
ナメクジ類、カタツムリ類が加害する農作物等	作物にかからないように土壌表面散布する。	ほ場周辺雑草地の生息地

※上の2-5-3表は本稿執筆時点での情報に基づいているが、実際の使用にあたっては最新の登録内容をラベルやメーカーHPでよく確認する。

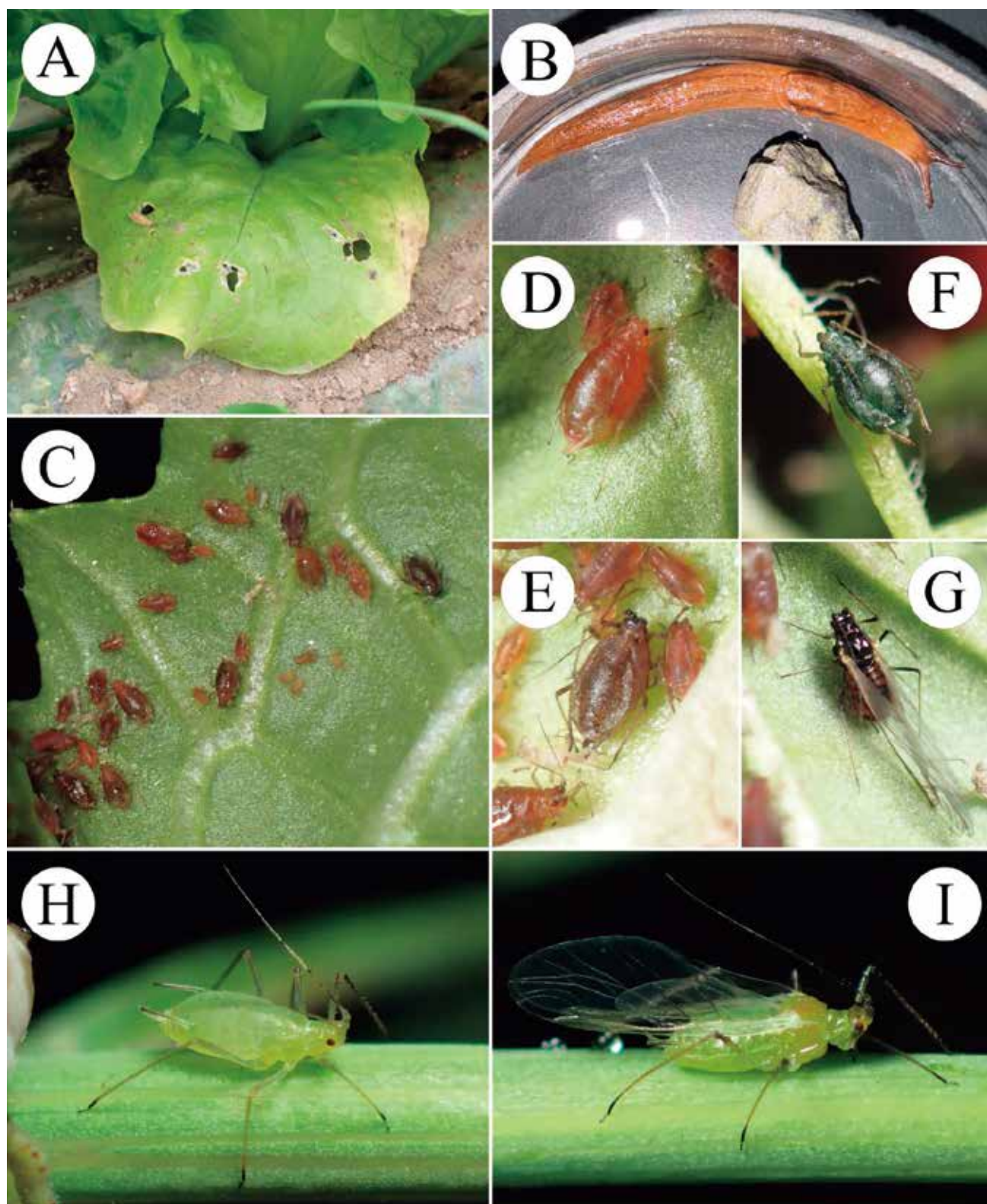


図 2-5-1 冬季無加温栽培で発生するナメクジ類 (A-B) およびアブラムシ類 (C-I) : ナメクジ類の食害を受けたレタス (A), チャコウラナメクジ類の一種 (B) ; モモアカアブラムシのコロニー (C), 無翅胎生雌成虫 (D-F) および有翅胎生雌成虫 (G) ; チューリップヒゲナガアブラムシの無翅胎生雌成虫 (H) と有翅胎生雌成虫 (I)

では直接散布することができるが、これら以外の作物にかからないように土壌表面散布する必要がある。銅水和剤は野菜類全般のナメクジ類に対して登録があり、作物に直接散布できるが、ナメクジ類の

銅イオンに対する忌避効果を利用したもので、殺虫効果は主では無いため予防的な散布が必要である。

本栽培は多品目を同一ハウス内で栽培する事例が多いと考えられる。したがって、適用範囲が燐酸第二鉄粒剤や銅水和剤と比較して狭いメタアルデヒド剤を使用できる場面は限られる。例えば、「ナメクリーン3」はレタスに使用できても、非結球レタスには使用できない（表 2-5-2）。また、「マイキラー」はレタス・非結球レタスに直接散布できるが、これら以外の本栽培品目（例えば、こまつな、チンゲンサイ）には直接散布できない（表 2-5-3）。これら薬剤は登録内容を十分に理解し、注意して使用することが重要である。本栽培におけるナメクジ類の化学防除においては、燐酸第二鉄粒剤や銅水和剤を利用して、ナメクジ類を作物やその周囲に寄せ付けないような予防的な対策が重要となるだろう。

作物体上への侵入を許した場合には、暖かい日中に葉の上で活動するところを狙って捕殺する。ただし、ナメクジ類には広東住血線虫のような寄生虫がいる可能性があるため（浅川，2022），ビニール袋を装着して作業し素手で触れないようにする。

3. アブラムシ類

(1) 冬季無加温栽培で発生するアブラムシ類

本栽培におけるアブラムシ類の発生は、直接の吸汁害およびウイルス媒介による被害を生じさせることはあまり無いものの、収穫物にアブラムシが混入することによる商品性の低下が問題となる。これまで道内における本栽培で確認されているのはモモアカアブラムシ *Myzus persicae*（図 2-5-1, C～G）とチューリップヒゲナガアブラムシ *Macrosiphum euphorbiae*（図 2-5-1, H～I）の2種である。両者はともに様々な種類の草本植物に寄生する広食種のアブラムシである。

アブラムシ類では基本的に無翅胎生雌成虫^{注1}に基づいて識別・同定される。両者の無翅胎生雌成虫における形態的差異は次の通りである：モモアカアブラムシでは触角瘤がよく発達して内側に突出し、頭部背面はざらつく（図 2-5-2, A-1）。角状管は中央部でやや膨れ、角状管先端部付近に網状部を欠く（図 2-5-2, A-2）。これに対して、チューリップヒゲナガアブラムシでは触角瘤は発達するが内側には突出せず、頭部背面は平滑である（図 2-5-2, B-1）。角状管は中央部で膨れず、角状管先端部付近には網状部を有する（図 2-5-2, B-2）。

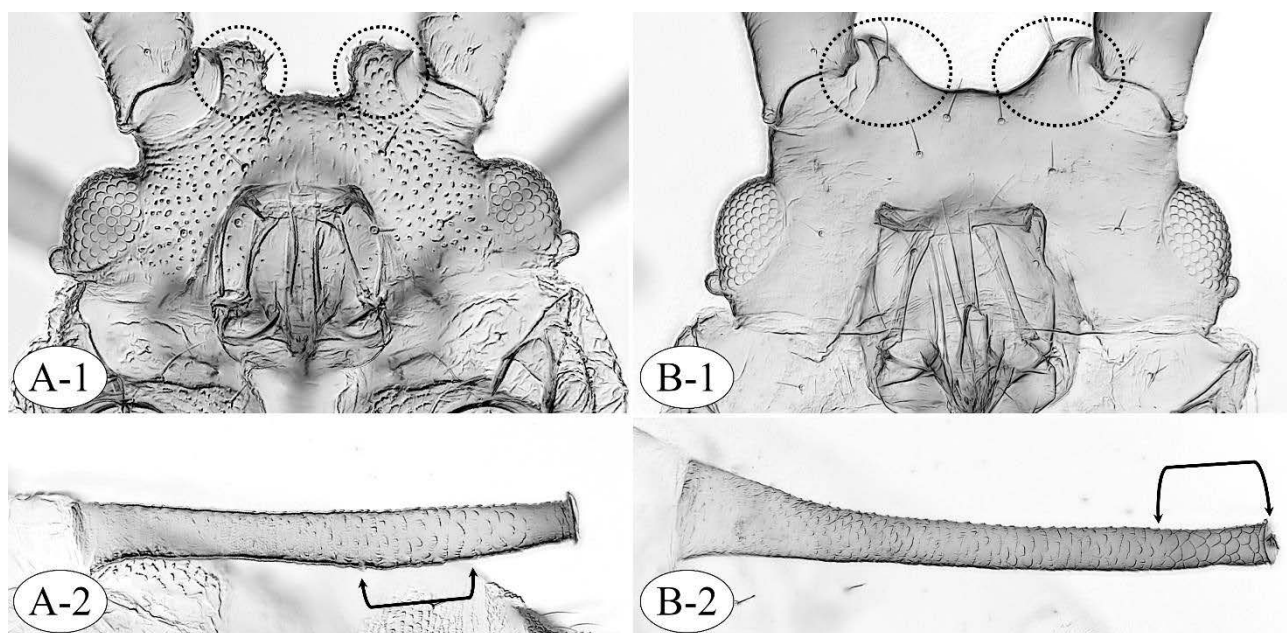


図 2-5-2 モモアカアブラムシ（A）とチューリップヒゲナガアブラムシ（B）の無翅胎生雌成虫：
頭部（-1）：破線内が触角瘤；角状管（-2）：矢印で示した範囲が膨れ（A-2）および網状部（B-2）

(2)モモアカアブラムシの生態

本種は世界的に著名な害虫種であり、道内ではテンサイやジャガイモ等の畑作物を中心に吸汁害やウイルス媒介による被害が問題となる。本種の生活環型は2種類に大別される。一方は完全生活環型(以後、完全型)であり、夏は様々な草本植物上で無性世代の胎生雌が単為生殖を繰り返す。秋になると有翅虫がバラ科木本に移住し、そこで有性世代の卵生雌と雄が交尾し、卵で越冬する。春に卵から胎生雌が孵化し、この子孫が有翅虫となって再び草本植物に移住する。本型は秋になると草本植物からは姿を消してしまうため、冬季無加温栽培ではほとんど問題にならないはずである。もう一方は不完全生活環型(以後、不完全型)であり、秋になっても有性世代が発生せず、胎生雌のまま越冬し、一年中単為生殖を繰り返す。冬季無加温栽培で問題となるのは本型である。

アブラムシは通常、寒冷地では卵越冬による完全型が主体となる。これは胎生雌よりも卵の方が高い耐寒性を示すためである。しかし、モモアカアブラムシの場合では、道内では完全型は少数派で、不完全型が主体である(三宅ら, 2017; Sasaki, 2021; Takada, 1986)。したがって、ハウス内に侵入してきた本種の多くはそのまま作物や雑草上で越冬と繁殖を繰り返すと考えられる。本栽培のハウス内に本種が秋季のいつ頃まで飛来してくるかは不明である。しかし、上川農業試験場内のニンニク圃場で2020年に実施した調査では、11月上旬頃までアブラムシ類の飛来が確認されている(佐々木・古川, 2021)。したがって、本栽培生育初期の作物に本種が飛来してくる可能性は高く、初期の防除対策は重要と考えられる。

冬季無加温栽培のハウス内では厳寒期であっても、低温による本種の死滅を期待することは難しい。三宅ら(2017)の報告では、十勝において -20°C にまで冷え込む無加温ハウス内で本種の胎生雌の越冬が確認されている。著者による道北(比布町、美深町、猿払村)の調査では、アブラナ科作物が栽培されている無加温ハウス内で各種雑草や同科作物上での越冬が確認されている(佐々木, 2023)。以上から本栽培のハウス内で本種が越冬することは十分に可能である。また、本種の発育可能な最低気温(発育零点)は報告により幅があるが $1.4\sim 5.6^{\circ}\text{C}$ と低い(桐谷 2012)。したがって、日中の昇温時には発育することも可能と考えられる。特にト

ンネル等による数々の保温処理が施された作物上では、本種の越冬や増殖はさらに容易となるだろう。

(3)チューリップヒゲナガアブラムシの生態

本種は北米原産で国内では1964年に横浜ではじめて記録された(梅谷, 2012)。道内における本種の発生は1974年に初めて確認された(梶野, 1976)。道内ではジャガイモの害虫とされるものの(北海道植物防疫協会, 2014)、その発生は多くないようである。冬季無加温栽培においては、北斗市のリーフレタスで2月に発生した記録があるが(道総研中央農試病虫部予察診断グループ, 2017)、著者による道北での調査では確認されなかった。本種は世界的に不完全型が主体と考えられている(梅谷, 2012)。先の北斗市における発生事例も不完全型によるものだろう。本種の発育零点は $2.8\sim 3.6^{\circ}\text{C}$ (桐谷, 2012; 梶野, 1976)と低い、モモアカアブラムシのように -20°C にまで冷え込むような環境下で越冬できるかは不明である。

(4)アブラムシ類の防除法

モモアカアブラムシおよびチューリップヒゲナガアブラムシのいずれも広食性であるために、ハウス内の雑草や作物残渣が生息場所となり得る。したがって、本栽培開始前にはこれらを撤去し、発生源を減らすことが重要である。ハウス外からの侵入、特に有翅虫の飛来を防ぐためには作物への防虫ネット被覆が有効であろう。ただし、被覆によって気温環境も変化し、生育への影響が出る可能性があり、今後の検討を要する。また、移植する品目では育苗時の管理に注意し、苗による本圃への持ち込みを避ける。

本栽培で発生するアブラムシ類に効果の見込まれる農薬は多数あるものの、多品目が栽培される条件でいずれの品目にも使用可能なものは多くない。例えば、スルホキサフロル水和剤(商品名:「トランスフォームフロアブル」)はレタス・非結球レタスに加えて、非結球アブラナ科葉菜類にも登録がある。この非結球アブラナ科葉菜類の群には本栽培品目のうち、コマツナ、チンゲンサイ、カラシナ、ミズナ、ワサビナが含まれるが、カブは根菜類に分類されるため使用できない。アセタミプリド水溶剤(商品名:「モスピラン顆粒水溶剤」)はカブを含めた上の全ての品目に使用できるが、作物により希釈倍数が異なっている(例:カブのアブラムシ類には

2,000 倍、非結球レタスのアブラムシ類には 4,000 倍)。したがって、ナメクジ類と同様、登録内容を十分に理解して使用する必要がある。野菜類、非結球アブラナ科葉菜類のような作物群に何の作物が含まれるかを知るためには、農林水産省のホームページより「農薬登録における適用作物分類表」(https://www.acis.famic.go.jp/shinsei/6281_20240401.pdf)を参照する。

浸透移行性や残効性は無いものの、気門封鎖剤の多くは、上の全ての品目が含まれる野菜類に対して登録を有しており、中には有機 JAS で使用可能な剤もある。気門封鎖剤はアブラムシ類の体に直接薬液がかかると効果を発揮しないため、作物が大きくなってからでは、作物体の隙間に入り込んだようなアブラムシ類を防除することは困難となる。生育の小さい時期から作物上でのアブラムシ類の発生をよく注意し、その発生初期のうちに上記の剤で発生を抑えることが重要である。

3. ネキリムシ類

(1) 冬季無加温栽培で発生するネキリムシ類

ネキリムシ類は幼虫が作物の地際を食害し、枯死や著しい生育遅延を生じさせる。本栽培で発生するネキリムシ類の種類は不明であるが、道内の主要ネキリムシ類であるタマナヤガ *Agrotis ipsilon* やカブラヤガ *Agrotis segetum* 等の可能性が高い。他に道内で発生するネキリムシ類として、センモンヤガ *Agrotis exclamationis informis*, シロモンヤガ *Xestia c-nigrum* 等がいる（北海道植物防疫協会, 2014）。

(2) ネキリムシ類の生態

タマナヤガは5～10月まで成虫が連続的に発生するが、道内では越冬できないと考えられている。カブラヤガは年2回発生で、第1回成虫は6月上旬～7月上旬、第2回成虫は8月中下旬より発生し、幼虫で越冬する（北海道植物防疫協会, 2014）。これらの種の成虫が秋季にハウス内に侵入し、地際に産卵、孵化した幼虫が作物を加害すると考えられる。若齢幼虫は茎葉部を食害するが、齢が進むと昼間は土中に隠れ、夜間に食害するようになる。両種とも幼虫は様々な植物を加害する広食性である（北海道植物防疫協会, 2014）。

(3) ネキリムシ類の防除法

広食性であり幼虫は雑草でも生育できるので、除

草とその残渣を撤去した上で本栽培を開始するのが理想である。幼虫の齢が進むほど摂食量が多く被害も大きくなるので、注意して観察し、食害の早期発見に努める。食害を見つけた場合は、被害株周辺の土を掘って幼虫を捕殺する。

4. コナガ

(1) コナガの生態

幼虫がアブラナ科植物を加害する。本栽培では11月上旬に幼虫が確認された。成虫は融雪後の4月上中旬頃から降雪の見られる11月下旬頃まで継続的に発生する（北海道植物防疫協会, 2014）。したがって、本栽培の生育初期は成虫の飛び込みに注意が必要と考えられる。

本種が道内で露地越冬可能な気象条件は道南等のごく一部の地域に限られる（下間・丸山, 2023）。一方、北海道植物防疫協会（2014）にはハウス内や施設などでは十分可能との記述がある。しかし、札幌市の無加温ハウス内における調査では、冬季の気温条件によって、越冬できる年とできない年があった（斉藤, 1994）。したがって、本栽培ハウス内でコナガが安定的に越冬できるかは今後の検討が必要である。しかし、保温処理が施された作物上では十分に越冬できる可能性がある。

(2) コナガの防除法

コナガは多くの薬剤に対して抵抗性を発達させている。道内でも合成ピレスロイド系、キチン質合成阻害剤（IGR）、およびジアミド系の薬剤に対する抵抗性個体群が確認されている（下間・丸山, 2023；水越, 1994）。そのため、本種の薬剤防除においては、複数系統の剤によるローテーション防除が必要となる。また、先述のように剤の適用作物が何であるかを十分に注意して使用する。本種に効果の見込める剤の1つにスピネトラム水和剤（商品名：「ディアナ SC」）があり、本剤は非結球あぶらな科葉菜類やかぶに対して使用可能である。

5. まとめと留意点

本稿では道内での一般的な栽培環境での知見を交えつつ、本栽培で発生する害虫の種類や生態、防除法について解説した。本栽培における害虫の知見は非常に少なく、コナガのように本栽培における生態が明らかでないものもあれば、ナメクジ類やネキリムシ類のように具体的な加害種さえ不明なもの

さえある。今後は本栽培で発生する害虫の種類、生態、および防除法について体系的に調査していく必要があるだろう。

6. 摘要

北海道における冬季無加温栽培の葉根菜類に発生する主要害虫について、既往の知見と著者の調査結果に基づき、その概要を報告する。ナメクジ類は種の同定に至っていないが、葉を食害し、また、這うことで作物体表面に粘液の痕を残すことによって、作物の商品性を低下させた。アブラムシ（主にモモアカアブラムシ）は冬季にも生存し、作物に混入することで商品性を低下させた。ネキリムシ類（おそらくタマナヤガ、カブラヤガ、およびその他の近縁種）は作物の地際を食害し、作物の枯死や著しい生育遅延を生じさせた。コナガはアブラナ科作物において葉の食害が問題となった。本栽培における害虫の種類、生態、防除法については、十分な調査・検討がされていないため、今後の研究が必要と考えられた。

7. 注

注1) アブラムシ類はその生活環における多くの期間を無性世代である胎生雌で過ごす。胎生雌の成虫は単為生殖により自らのクローンである雌の仔虫を産む。胎生雌成虫には無翅と有翅があり、環境条件によって表現型が変化する。胎生雌に対して、有性世代の雄や卵生雌がある。

8. 引用文献

- 1) 浅川満彦 (2022) 北海道に生息するナメクジ類の現状と諸問題. 北海道獣医師会雑誌, 66(10) : 9-10
- 2) 道総研中央農試病虫部予察診断グループ (2017) 平成 28 年度の発生にかんがみ注意すべき病害虫. 北農, 84(2) : 186-195
- 3) 北海道植物防疫協会 (2014) 北海道病害虫防除提要. 北海道植物防疫協会, 札幌, p895
- 4) 北海道立総合研究機構道南農業試験場・上川農業試験場 (2021) 葉根菜類冬どり栽培マニュアル 2021 年改訂版.
https://www.hro.or.jp/upload/42739/fuyuyasai_manual_2021.pdf
- 5) 梶野洋一 (1976) チューリップヒゲナガアブラムシの繁殖におよぼす温度の影響. 北海道立農業試験場集報, 35 : 64-69
- 6) 桐谷圭治 (2012) 日本産昆虫, ダニの発育零点と有効積算温度定数. 農業環境技術研究所報告, 31 : 1-74
- 7) 興野昌樹 (2020) 北海道の外来なめくじの「多様性」. モーリー, 55 : 28-31
- 8) 三宅規文・安岡眞二・上田重文・高篠賢二 (2017) テンサイ西部萎黄病の発生生態と発病抑制方法 1 北海道東部における媒介虫の特定. 北日本病害虫研究会報, 68 : 179-184
- 9) 水越亨 (1994) 1993 年に北海道渡島地方でみられたコナガのキチン質合成阻害剤に対する感受性低下. 北日本病害虫研究会報, 45 : 163-167
- 10) 斉藤修 (1994) 札幌市の野外と無加温ハウスにおけるコナガの越冬実態. 北日本病害虫研究会報, 45 : 160-162
- 11) Sasaki D (2021) First record of *Myzus* (*Nectarosiphon*) *persicae* (Sulzer, 1776) (Homoptera: Aphididae) occurring on *Valeriana fauriei* (Caprifoliaceae). Russian Entomological Journal, 30(3): 247-251
- 12) 佐々木大介・古川勝弘 (2021) 北海道内ニンニク圃場における有翅アブラムシの飛来消長. 北日本病害虫研究会報, 72 : 125-129.
- 13) 佐々木大介 (2023) 道北地方におけるアブラムシの胎生越冬事例. 北日本病害虫研究会報, 74 : 137-138 (講演要旨)
- 14) 下間悠士・丸山麻理弥 (2023) 北海道におけるコナガのジアミド系薬剤感受性低下に対応した防除対策. 植物防疫, 77(10) : 549-555
- 15) Takada H (1986) Genotypic composition and insecticide resistance of Japanese populations of *Myzus persicae* (Sulzer)(Hom., Aphididae). Journal of Applied Entomology, 102(1-5), 19-38
- 16) 梅谷献二 (2012) 原色図鑑 外来害虫と移入天敵. 全国農村教育協会, 東京, p386

9. 付記

本報の一部は第 76 回北日本病害虫研究発表会で発表したものである

第三章 早春作の導入による周年生産技術の完成

第一節 道北における早春野菜の導入

1. はじめに

「北海道野菜地図」（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020，以降「野菜地図」と記載）によると平成 30 年に道内で野菜生産に利用されたパイプハウスのうちボイラー等の加温設備がない無加温ハウスは 80%以上を占めている。また，冬の厳しい寒さと降雪のため，これらのハウスの多くは冬季には使用されない状況にある。一方，加温設備のあるパイプハウスであっても冬季の野菜生産では加温コストが生産上の制限要因となるため，道内で野菜の冬季生産が可能な場所は地理的優位性がある一部の温暖な地域に限定されてきた。

このような状況の中，北海道立総合研究機構では葉根菜類の冬季無加温栽培に関する研究を行い，灯油ボイラーなどの加温機を使用しない無加温条件であっても一般的な農業用フィルムを四重被覆したパイプハウス内では厳冬期に極めて高い保温効果が得られること（地子・高濱，2021），この保温効果を利用すると耐寒性の比較強い葉根菜類品目（コマツナ，チンゲンサイ，リーフレタス，小カブ等）を冬季に無加温生産できることを明らかにした（地子・高濱，2021；高濱，2021；高濱ら，2021a；高濱ら，2021b）。

10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
葉根菜類			未使用期間			トマト					

図 3-1-1 道北地域の無加温パイプハウスにおける葉根菜類の冬作とトマトの夏秋作の組合せ

道北地域においてトマトの夏秋作と前述した葉根菜類の冬季無加温栽培技術を組合せると4月下旬から1月下旬まで無加温パイプハウスを使用できる（図 3-1-1）。さらに冬季無加温栽培終了後から春の作付けまでの期間内に野菜をもう1作導入できれば，パイプハウスを利用した野菜の無加温周年栽培技術が成立することとなり，生産現場での収益性の向上が期待できる。

そこで本研究では無加温パイプハウスを利用した野菜の周年栽培技術の確立に向け，葉根菜類の冬季無加温栽培終了後のパイプハウスの利用法として，葉根菜類の早春播きハウス作型について検討を行ったので報告する。

2. 試験方法

2 か年ともに上川農試で試験を実施した。空気膜構造二重フィルム，内張りフィルムを装備した幅 6.3 m，長さ 30.4 m の無加温パイプハウス（図 3-1-2）を 2019 年に 2 棟（ホウレンソウ用に 1 棟，アブラナ科野菜用に 1 棟），2020 年に 1 棟準備した。それぞれのパイプハウスでは冬作として1月末までコマツナ，小かぶ，紫カラシナなどを栽培し，収穫終了後，速やかに施肥と耕起を行い，供試品目の播種，定植を行った。耕種概要と試験処理を表 3-1-1 にまとめた。

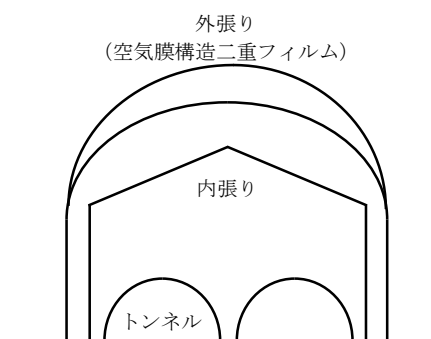


図 3-1-2 供試ハウスの保温装備

供試品種はホウレンソウが「ハンター」，コマツナが「浜美 2 号」と「陽翠」，ミズナが「早生千筋京水菜」，チンゲンサイが「フーロン」と「冬大賞」とした。ホウレンソウには 2 月上旬の直播以外に，2 水準の紙筒育苗を設定した。コマツナとミズナは 2 月上旬の直播，チンゲンサイは 2 月上旬播種－2 月下旬定植の紙筒育苗のみとした。本試験の直播では 1 cm 程度の深さに 2，3 粒を播種し，第 1 本葉展開時にそれぞれ間引きした。ホウレンソウの育苗にはペーパーポット CP303，チンゲンサイの育苗にはペーパーポット SM2300（ともに日本甜菜製糖株式会社の製品）をそれぞれ使用し，播種後は育苗トレイを 25℃に設定した農電マット（日本ノーデン株式会社）上に置き，供試ハウス内のトンネル被覆条件下で育苗した。施肥量（N:P₂O₅:K₂O）は土壌分析結果を考慮して，2019 年のホウレンソウハウスを 9:15:8 kg/10a，アブラナ科野菜ハウスを 12:7:12 kg/10a，2020 年のハウスを 11:7:12 kg/10a に設定した。灌水は土壌の水分状態を確認しながら適宜行った。

表 3-1-1 耕種概要と試験処理

品目	播種・育苗方法	2019年		2020年		栽植様式		1区	
		播種日	定植日	播種日	定植日	株間 (cm)	畦間 (cm)	面積 (m ²)	反復
ハウレンソウ	1月下旬播種・2月上旬定植・紙筒育苗	1/28	2/13	1/24	2/7	5	20	2.3-4.5	2
	2月上旬播種・2月下旬定植・紙筒育苗	2/6	2/21	2/5	2/21	5	20	2.3-4.5	2
	2月上旬直播	2/6	-	2/5	-	5	20	3.0-4.5	2
コマツナ	2月上旬直播	2/6	-	2/5	-	5	15	3.0	2
ミズナ	2月上旬直播	2/7	-	2/6	-	5	20	3.0	2
チンゲンサイ	2月上旬播種・2月下旬定植・紙筒育苗	2/7	2/19	2/6	2/21	15	15	2.3-3.0	2

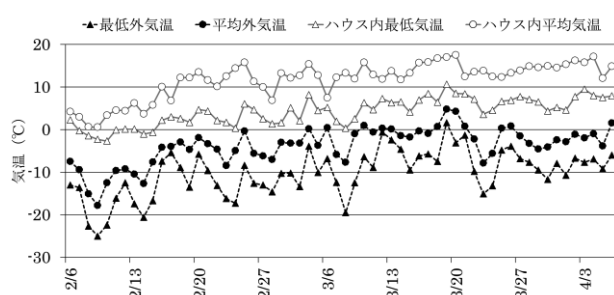


図 3-1-3 2019 年の気温の推移（ハウレンソウハウ）

2019 年の試験では 2 月 6 日から 21 日までトンネルフィルム(図 3-1-2, トンネルサイズ: 高さ 60 cm, 幅 1.5 m) を常時被覆し, 2 月 22 日以降は夕方 (16 時前後) から翌朝 (9 時前後) にかけて夜間のみ被覆した。2 月 26 日以降, 朝 (9 時前後) から夕方 (16 時前後) まで内張りフィルムを開放した。また, 3 月 3 日以降, 自動巻き上げ機によりパイプハウス内が 28℃以上に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように設定した。2020 年の試験では 2 月 5 日から 13 日まで前年同様のトンネルフィルムを常時被覆し, 2 月 14 日～21 日の期間は快晴の日のみ 9 時前後から 16 時前後まで被覆資材を除去した。2 月 22 日以降は夕方 (16 時前後) から翌朝 (9 時前後) にかけて夜間のみ被覆した。2 月 26 日以降, 朝 (9 時前後) から夕方 (16 時前後) まで内張りフィルムを開放し, 外張りの側窓フィルムも前年同様の設定で管理した。

2 か年ともに温度データロガーおんどり Jr.RTR-502 (株式会社ティアンドデイ) を用いて処理区中央の地上 20 cm 高の位置でトンネル内気温を 1 時間毎に記録した。外気温については温度データロガー「おんどり Jr.RTR-507 (株式会社ティアンドデイ)」を用いてハウス近傍の地上 3.5 m 高の位置で 10 分毎に記録した。

各作目とも, 目標草丈に達した時期に収穫を行っ

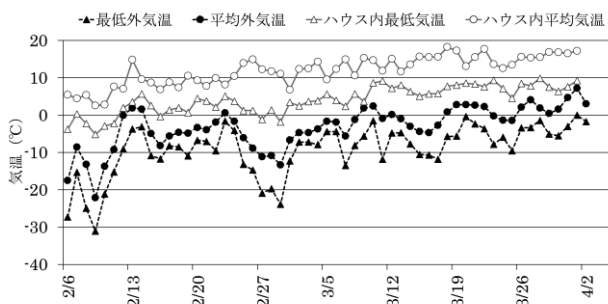


図 3-1-4 2020 年の気温の推移

た。収穫時には各処理区から 20 個体をサンプリングし, 収穫時の最大葉長, 株重ならびに調製株重を調査した。

3. 結果

1) 気温条件

(1) 2019 年

2019 年に供試した 2 棟のパイプハウス内の気温はほぼ同様に推移したため, ハウレンソウハウスの結果のみを図 3-1-3 に示す。ハウス内最低気温は播種直後の 2 月上旬に氷点下となり, 2 月 9 日に最低外気温が-25.0℃となった際には-2.7℃まで低下した。しかしながら, 2 月中旬になるとハウス内最低気温が氷点下となることはなく, ハウス内平均気温も概ね 10℃前後で推移した。

(2) 2020 年

2020 年の最低外気温は 2 月 9 日に-31.1℃まで低下したが (図 3-1-4), その際のハウス内最低気温は-5.2℃であった。前年同様に播種直後の 2 月上旬にハウス内最低気温が氷点下となり, 2 月 27 日と 2 月 29 日にもそれぞれ-1.2℃, -1.8℃まで低下した。3 月以降はハウス内最低気温が氷点下となることはなく, ハウス内平均気温も概ね 10℃以上で推移した。

表 3-1-2 2019 年の収量性

品目	品種	播種・育苗方法	収穫日	生育	収穫時		調製 株重 (g/株)	可販 率 (%)	収量 ^y (t/10a)
				日数 ^z (日)	最大葉長 (cm)	株重 (g/株)			
ハウレンソウ	ハンター	1月下旬播種・2月上旬定植・紙筒育苗	3/26	57	26.5	26.8	25.0	100	1.9
		2月上旬播種・2月下旬定植・紙筒育苗	3/28	50	27.4	26.6	24.4	100	1.8
		2月上旬直播	4/1	54	28.9	25.9	23.5	100	1.8
コマツナ	浜美2号	2月上旬直播	3/25	47	28.8	30.1	26.6	100	2.7
	陽翠		4/2	55	28.0	53.9	48.7	100	4.9
ミズナ	早生千筋京水菜	2月上旬直播	4/2	54	40.6	57.7	50.3	98	3.7
チンゲンサイ	フーロン	2月上旬播種・2月下旬定植・紙筒育苗	4/5	57	24.8	205.8	173.4	100	5.8
	冬大賞		4/5	57	25.2	180.7	160.7	100	5.4

^z) 播種から収穫までに要した日数とした。

^y) 収量は調製株重に栽植密度と可販株率、ハウス面積利用率（75%に設定）を乗じて算出した。

2)収量性

(1)2019 年

ハウレンソウの収穫日は1月下～2月上旬定植の紙筒育苗が3月26日、2月上～下旬定植の紙筒育苗が3月28日、2月上旬の直播が4月1日となり、全試験処理で4月1日までに収穫可能となった（表3-1-2）。また、栽培期間を通して明らかな低温障害は認められず、1.8 t/10a以上の収量が得られた。

アブラナ科野菜の収穫日はコマツナの「浜美2号」が3月25日、「陽翠」が4月2日、ミズナが4月2日、チンゲンサイの「フーロン」と「冬大賞」が4月5日となり、全品目が4月5日までに収穫可能と

なった。また、ハウレンソウ同様に全品目で低温障害が認められず、それぞれの収量はコマツナの「浜美2号」が2.7 t/10a、「陽翠」が4.9 t/10a、ミズナが3.7 t/10a、チンゲンサイの「フーロン」が5.8 t/10a、「冬大賞」が5.4 t/10aであった。

(2)2020 年

ハウレンソウの収穫日は1月下～2月上旬定植の紙筒育苗が3月23日、2月上～下旬定植の紙筒育苗が3月25日、2月上旬の直播が3月27日となり、全試験処理で3月27日までに収穫可能となった（表3-1-3）。また、前年同様に低温障害は認められず、1.7 t/10a以上の収量が得られた。

表 3-1-3 2020 年の収量性

品目	播種・育苗方法	収穫日	生育	収穫時		調製	可販	収量 ^y	
			日数 ^z (日)	最大葉長 (cm)	株重 (g/株)	株重 (g/株)	率 (%)		(t/10a)
ハウレンソウ	ハンター	1月下旬播種・2月上旬定植・紙筒育苗	3/23	59	27.7	29.1	24.9	98	1.9
		2月上旬播種・2月下旬定植・紙筒育苗	3/25	49	26.7	25.4	23.1	100	1.7
		2月上旬直播	3/27	51	26.5	25.1	22.7	98	1.7
コマツナ	浜美2号	2月上旬直播	3/23	47	27.8	30.3	27.6	95	2.6
	陽翠		3/25	49	25.8	33.4	27.2	88	2.6
ミズナ	早生千筋京水菜	2月上旬直播	4/2	56	40.3	87.9	82.4	75	4.6
チンゲンサイ	フーロン	2月上旬播種・2月下旬定植・紙筒育苗	4/3	57	23.6	213.2	177.3	100	5.9
	冬大賞		4/3	57	23.0	166.3	150.6	100	5.0

^z) 播種から収穫までに要した日数とした。

^y) 収量は調製株重に栽植密度と可販株率、ハウス面積利用率（75%に設定）を乗じて算出した。

表 3-1-4 日積算気温

品目	品種	播種・育苗方法	日積算気温(℃)		
			2019	2020	2か年平均
ハウレンソウ	ハンター	1月下旬播種・2月上旬定植・紙筒育苗	(485)	(500)	(493)
		2月上旬播種・2月下旬定植・紙筒育苗	(459)	(427)	(443)
		2月上旬直播	608	573	591
コマツナ	浜美2号	2月上旬直播	513	517	515
	陽翠		628	544	586
ミズナ	早生千筋京水菜	2月上旬直播	626	666	646
チンゲンサイ	フーロン	2月上旬播種・2月下旬定植・紙筒育苗	(538)	(557)	(548)
	冬大賞		(538)	(557)	(548)

^z) 播種から収穫までの日積算気温を算出した。()内の数値は定植から収穫までの日積算気温とした。

アブラナ科野菜の収穫日はコマツナの「浜美2号」が3月23日、「陽翠」が3月25日、ミズナが4月2日、チンゲンサイの「フーロン」と「冬大賞」が4月3日となり、全品目が4月3日までに収穫可能となった。コマツナとミズナでは発芽不良による欠株や三澤らが報告したリゾクトニアの発生（三澤ら、2019）により可販率が低下したものの、ハウレンソウ同様に低温障害は認められず、収量はコマツナの「浜美2号」と「陽翠」がともに2.6 t/10a、ミズナが4.6 t/10a、チンゲンサイの「フーロン」が5.9 t/10a、「冬大賞」が5.0 t/10aであった。

3) 収穫までの日積算気温

直播については播種から収穫まで、紙筒育苗については定植から収穫までを対象とした日積算気温を算出した（表3-1-4）。

日積算気温の2か年平均は、ハウレンソウ2月上旬定植で概ね493℃、2月下旬定植で443℃、2月上旬直播で591℃であった。コマツナは品種により異なり、「浜美2号」が515℃、「陽翠」が586℃、ミズナは646℃と算出された。また、チンゲンサイは2品種ともに定植後の日積算気温が548℃であった。

4. 考察

1) 道北地域における無加温パイプハウスの周年利用に向けた葉菜類の早春播きハウス作型

冒頭で示したように道北地域で葉根菜類の冬作とトマトの夏秋作との間に葉菜類の春作を導入する場合（図3-1-1）、前作の後片付けと後作の準備作業のために10日間程度の猶予期間が必要であることが想定される。野菜地図では冬作の終了日が1月25日、トマトの定植日が4月15日（半促成長期どり作型）と設定されているため、圃場の後片付けおよび準備期間を考慮した無加温パイプハウスの未使用期間は「2月5日～4月5日」となる。したがって、この期間内での葉菜類の栽培の可否が周年栽培の可能性を判断する決め手となる。

(1) ハウレンソウ

野菜地図に記載されているハウレンソウの栽培技術体系をみると、前述の未使用期間に最も近い作型は「早春播きハウス作型」であり、道北地域での最も早い播種時期は2月15日、最も早い収穫時期は4月15日と記載されている。しかし、この播種時期では収穫時期が遅く、後作（トマト作）の定植時期に影響を与えるため、ハウレンソウの収穫時期の前進化を検討する必要がある。そこで今回の試

験では保温装備を強化したパイプハウスで2月上旬の直播と2水準の紙筒育苗により4月5日までにハウレンソウが収穫できるか否かを調査した。その結果、2019年の試験では4月1日、2020年の試験では3月27日までに収穫可能となり、得られた収量も野菜地図での早春播きハウス作型の基準収量（1.2 t/10a）を上回った。したがって、後作の定植時期に影響を与えることなく、余裕を持って「2月5日～4月5日」の期間内にハウレンソウを栽培できることが明らかとなった。

2月上旬の直播と比較すると、1月下旬播種の紙筒育苗では4～6日、2月上旬播種の紙筒育苗では2～4日早く収穫できた。しかしながら、2月上旬の直播であっても目標としていた4月5日以前に収穫が可能であり、紙筒育苗ではペーパーポットや育苗培土などの追加コストが生じることを考慮すると、紙筒育苗は「2月5日～4月5日」の期間内で行う栽培には必須の技術ではないと考えられた。ただし、3月下旬から確実に収穫を行いたい場合や、2月上旬直播では圃場の準備が間に合わない等の理由により2月下旬から圃場を使いたい場合などは、紙筒育苗が有効な対策となりうる。生産現場の条件により紙筒育苗の利点が十分に発揮できる場合は、生産現場の実状にあわせて導入の可否を検討いただきたい。

(2) コマツナ

野菜地図に記載されている栽培技術体系をみると、コマツナについても該当する作型は「早春播きハウス作型」であり、道北地域での最も早い播種時期は2月20日、最も早い収穫時期は4月20日と記載されている。ハウレンソウ同様にこの播種時期では収穫時期が遅く、同様の問題が生じるため、コマツナについても保温装備を強化したパイプハウスでの収穫時期の前進化を検討した。その結果、播種時期を約2週間早め2月上旬に播種すると2019年の試験では4月2日、2020年の試験では3月25日までに収穫可能となり、得られた収量も野菜地図での早春播きハウス作型の基準収量（1.5 t/10a）を上回った。したがって、コマツナに関しても2月上旬の直播によって後作の定植時期に影響を与えることなく、余裕を持って「2月5日～4月5日」の期間内に栽培できることが示された。

今回の試験では2品種を供試したため収穫時期には明瞭な品種間差が認められ、「浜美2号」の収穫時期が「陽翠」よりも2～8日早かった。葉菜類で

は日積算気温が収量（収穫時期）の目安として利用できることが報告されているため（小田・大野，1980；稲子・酒井，1969），日積算気温を算出したところ，「浜美 2 号」が 515℃，「陽翠」が 586℃となり，「浜美 2 号」の日積算気温が 71℃低かった。また，「浜美 2 号」はハウレンソウ（「ハンター」）やミズナ（「早生千筋京水菜」）と比べても日積算気温が低く，できる早く収穫をしたい場合は「浜美 2 号」が有望であると考えられた。

(3)ミズナ

野菜地図に記載されているミズナの栽培技術体系においても「2 月 5 日～4 月 5 日」の期間に最も近い作型は「早春播きハウス作型」であったが，道北地域での最も早い播種時期が 3 月 25 日，最も早い収穫時期が 5 月 25 日と記載されており，ともに 50 日程度の前進化が必要であった。そこで保温装備を強化したパイプハウスで 2 月上旬播種を検討した結果，2 か年ともに 4 月 2 日までに収穫可能となり，得られた収量も野菜地図での早春播きハウス作型の基準収量（2.5～2.7 t/10a）を上回った。したがって，ミズナに関しても 50 日間の播種時期の前進化により，後作の定植時期に影響を与えることなく栽培できることが明らかとなった。

(4)チンゲンサイ

野菜地図に記載されているチンゲンサイの栽培技術体系では「2 月 5 日～4 月 5 日」の期間は既存の「早春播きハウス作型」に含まれており，その基準収量は 5.0 t/10a であった。今回，チンゲンサイについては，この期間に栽培し，基準収量を確保できることを再確認したことに加え，既存の作型では定植が 3 月上旬以降であるのに対し，保温装備を強化することで 2 月下旬に定植が可能となることも新たに示した。今回示した作型によって，育苗設備が半促成長期どりトマトの育苗と競合せず，周年利用体系がよりスムーズに可能にあると思われる。また，今回の試験では「フーロン」と「冬大賞」の 2 品種を供試し，2 月 6～7 日に播種したが，2 か年ともに目標である 4 月 5 日前に収穫できた。また，前述のように得られた収量も基準収量を上回り，チンゲンサイの栽培技術体系にある早春播きハウス作型は葉根菜類の冬季無加温栽培終了後のパイプハウスの利用法として活用できることを確認した。

以上から，道北地域では，ハウレンソウ，コマツナ，ミズナは 2 月上旬の直播によって，チンゲンサイは 2 月上旬播種一下旬定植の紙筒育苗によって 4

10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
冬作（葉根菜類）				春作（葉菜類）			夏秋（トマト）				

図 3-1-5 道北地域の無加温パイプハウスにおける野菜の周年栽培体系

月上旬収穫が可能であり，葉根菜類の冬作，葉菜類の春作，トマト等の夏秋作の組合せにより 1 年を通じて野菜を無加温で生産できると考えられた（図 3-1-5）。

2)道内広域の無加温パイプハウスで実施可能な野菜の無加温周年栽培技術

下ノ菌ら（2021）らが作成した保温装備マップをみると，上川農業試験場のある比布町は道内でも冬季が寒冷で，十分な保温設備が必要な地域であることが示されている。本試験における栽培期間（2 月 5 日～4 月 5 日）においても他の地域より気象条件は厳しいと想定され，実際，2 月上旬中旬において最低気温が -5.1℃を示した日もあった。ただし，今回供試した品目の生育限界気温はハウレンソウが -10℃（岡田ら，2005），コマツナが -7℃（道南農試・上川農試，2018），ミズナ，チンゲンサイは -5℃（高濱ら，2021a；高濱ら，2021b）であり，これらの品目は問題なく生産できることが実証できた。それゆえ，今回比布町で無加温パイプハウスを用いた野菜の周年栽培が成立することを明らかにできたことは，各地域に必要なパイプハウスの装備を揃えさえすれば道内広域で 1 年を通して野菜を無加温で生産できることを意味すると考えられる。

北海道農業において積雪期間は農閑期となり，特に周年雇用者を抱える農業生産法人では仕事が少なく，収益が得られないことが問題となっている。1 年を通して野菜を周年栽培できる技術は北海道の野菜自給率を向上させるだけでなく，農閑期の雇用対策にもなりうるため，本技術が道内広域に広く普及することを期待している。

5. 摘要

道内における無加温パイプハウスの周年利用体系の確立に向け，葉根菜類の冬季無加温栽培終了後から春の作付けまでの期間内に導入可能な葉菜類の早春作型を検討した。ハウレンソウ，コマツナ，ミズナは 2 月上旬の直播によって，チンゲンサイは 2 月上旬播種一下旬定植の紙筒育苗によって 4 月上旬までの収穫が可能となり，葉根菜類の冬作，葉菜

類の春作，トマト等の夏秋作の組合せにより 1 年を通じて野菜を無加温で生産できる。

6. 引用文献

- 1) 道南農業試験場・上川農業試験場（2018）無加温ハウスを利用した葉菜類の冬季生産技術．平成 30 年普及奨励ならびに指導参考事項，北海道農政部，札幌，p25－27
- 2) 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会編（2020），4 施設野菜の動向，8 ほうれんそう，こまつな，みずな，チンゲンサイ，冬季葉菜類栽培技術体系，北海道野菜地図 43，p7，71－74，79－80，87－88，89－90，152
- 3) 稲子幸元・酒井俊昭（1969）レタスの生育および収量と気温に関する試験．千葉県暖地園芸試験場報告，1：17－25
- 4) 地子 立・高濱雅幹（2021）北海道北部の積雪地域における無加温パイプハウスを利用したコマツナの厳冬期生産．北海道立総合研究機構農業試験場集報 105：81－88
- 5) 三澤知央・長濱 恵・地子 立（2019）北海道で冬期に収穫する数種葉菜類で発生した *Rhizoctonia* 菌による病害，北日本病害虫研報 70：42－48
- 6) 小田雅行・大野 元（1980）コマツナの生育に及ぼす積算気温および積算日射量の影響，野菜試験場報告 7：183－195
- 7) 岡田益己・井上めぐる・濱寄孝弘・青木和彦，荒川市郎（2005）寒締め野菜の環境調節シナリオ．農業技術 60：507－511
- 8) 下ノ蘭慧・立松宏一・堤 拓哉・月館 司（2021）保温装備マップと耐雪強度マップ．北農 88：328－334
- 9) 高濱雅幹（2021）葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術－第 2 報－道南地域におけるレタス類．北農 88：220－226
- 10) 高濱雅幹・地子 立・古山真一（2021a）葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術－第 4 報－道南および道北地域における紫ミズナおよびカラシナ類．北農 88：235－245
- 11) 高濱雅幹・岡元英樹・地子 立（2021b）葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術－第 3 報－道南および道北地域における小カブおよびチンゲンサイ．北農 88：227－234

7. 付記

本報の要は北農第 89 巻第 1 号に掲載したものである。

第二節 早春野菜の生育・養分吸収特性，品質

1. はじめに

これまで本特集では，平成 30 年に普及推進事項となった「無加温ハウスを利用した葉菜類の冬季生産技術」（道南農試・上川農試，2018）と令和 3 年に普及奨励事項となった「無加温パイプハウスを用いた野菜の周年生産技術」（上川農試・道南農試，2021）をもとに，無加温パイプハウスを用いて行われる葉根菜類の冬季無加温栽培について，品目選定と各品目の栽培法（高濱・地子，2021；高濱，2021；高濱ら，2021a，2021b），生育・養分吸収特性（岡元ら，2021），品質（高濱・古林，2021）および設備（地子ら，2021；下ノ蘭ら，2021）について報告を行っている。これらの検討により確立された冬季無加温栽培は，トマトなどの夏季に栽培する作目と組み合わせ，無加温パイプハウスを周年利用するための技術の一つとして大いに期待される。

一方で，前述の冬季栽培技術においては，9 月下旬～10 月上旬に播種，定植を行い，1 月で栽培を終了する作目がほとんどであり，夏季に栽培する品目の定植を行う 4 月上旬まで遊休期間が生じる。そこで（地子・岡元，2022）は収益性向上を目指し，道北においてコマツナ，ハウレンソウをはじめとした葉菜類を 2 月上旬に播種し，4 月上旬に収穫する作型について検討し，十分栽培可能であることを示した。

「北海道野菜地図」（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020）によると，道北においてこれまでコマツナの一番早い作型は播種を 2 月 20 日から行う「早春播きハウス作型」で，ハウレンソウの一番早い作型も播種を 2 月 15 日から行う「早春播きハウス作型」である。周年利用体系では 2 月上旬からハウスが利用可能となることから，コマツナでは 2 週間程度，直播のハウレンソウでは 10 日程度，それぞれの播種が前進化することになる。栽培期間にあたる 2 月～3 月にかけてはハウス内気温も上昇し，日照時間も長くなり，ハウス内の気象条件が大きく変化する時期と想定されることから，この時期の作型の前進化が栽培期間

中の生育や養分吸収、および収穫物の品質におよぼす影響について、検討する必要性が高い。

そこで本報では、前報（地子・岡元，2022）で供試した葉菜類のうち主要な葉菜であるコマツナとホウレンソウを用いて、今回提案した「早期作型」に対し、既存の早春播きハウス作型の中でも比較的早めの時期の作型を「既存作型」と定義し、両作型の栽培期間中の生育と養分吸収特性、および収穫物の品質を調査し、比較検討したので報告する。

2. 試験方法

試験は2019 および 2020 年に、上川農試で試験を実施した。空気膜構造二重フィルム、内張りフィルムを装備した幅 6.3 m、長さ 30.4 m の無加温パイプハウスを 2019 年に 2 棟（コマツナ用に 1 棟、ホウレンソウ用に 1 棟）、2020 年に 1 棟準備した。それぞれのパイプハウスでは冬作として 1 月末までコマツナ、小かぶ、紫カラシナなどを栽培し、収穫終了後、速やかに施肥と耕起を行い、コマツナ、ホウレンソウの播種を行った。栽培時のパイプハウスの気温は温度データロガー「おんどとり Jr. RTR-502（株式会社ティアンドデイ）」を用いて地上 20 cm 高の位置で 1 時間毎に測定した。

コマツナとホウレンソウの栽培法については、前報（地子・岡元，2022）と概ね同一である。「早期作型」については 2019 年は 2 月 6 日、2020 年は 2 月 5 日に、「既存作型」については 2019 年は 2 月 21 日、2020 年は 2 月 20 日に播種を行った。コマツナは品種「陽翠」を用いて、株間 5 cm、畦間 15 cm に設定して 1 cm 程度の深さに 2、3 粒播種し、第 1 本葉展開時に 1 個体に間引きした。ホウレンソウは品種「ハンター」を用いて、畦間が 20 cm である以外はコマツナと同様の条件で播種、間引きを行った。

試験開始前のそれぞれの土壌化学性を表 3-2-1 に示す。各ハウスとも pH は低く、EC は高かった。2019 年にコマツナを栽培したハウスと 2020 年に両品目を栽培したハウスは、可給態リン酸がやや高かった。pH6.5 に矯正するための炭酸カルシウムと各肥

表 3-2-1 供試したハウスの耕起前における土壌化学性

	pH	EC	熱抽出性 窒素	無機態 窒素	可給態 リン酸	交換性 カリ
2019年 コマツナ	5.0	0.6	2.0	3.7	40	23
2019年 ホウレンソウ	5.5	0.4	2.7	5.0	23	26
2020年 両品目	5.1	0.7	2.2	5.1	35	30
土壌診断基準 ²⁾	6.0~6.5	0.4以下	-	5~10	15~30	15~30

1) pHは無単位、ECは mS/cm、それ以外は mg/100g。

2) 土壌診断基準は北海道施肥ガイド2020（北海道農政部2020）に基づく。

料は、耕起時に全量を全層施用した。「北海道施肥ガイド2020」におけるコマツナとホウレンソウの標準施肥量は窒素（N）：リン酸（P₂O₅）：カリ（K₂O）としてそれぞれ 12:10:12 kg/10a、9:15:8 kg/10a であり（北海道農政部，2020），この標準施肥量に対し各供試圃場の土壌分析値を反映し、施肥量を増減した。具体的には 2019 年のコマツナハウスが 12:7:12 kg/10a、ホウレンソウハウスが 9:15:8 kg/10a、2020 年のハウスが 11:7:12 kg/10a であった。なお、作業の関係上、前述の通り、耕起、施肥は両作型とも冬作収穫終了後に行っている。

2019 年は早期作型が 2 月 28 日、既存作型が 3 月 15 日、2020 年は早期作型が 2 月 27 日、既存作型が 3 月 13 日とそれぞれ播種後 22 日にあたる日から 7～8 日ごとに生育調査を行い、早期作型は播種後 60 日（2019 年は 4 月 7 日、2020 年は 4 月 5 日）、既存作型では 2019 年は播種後 53 日にあたる 4 月 15 日、2020 年は播種後 52 日にあたる 4 月 12 日まで生育調査を行った。生育調査では無作為に選んだ 10 個体を対象に草丈、葉数（枯死葉を含む）を測定した。その後地上部を採取して水道水で洗浄後、2 個体ずつ 5 つの組（播種後 22 日は 3 個体ずつ 5 組）として新鮮重を測定した。さらにその後 70℃で 48 時間以上の通風乾燥により乾物重と水分含量を算出した。乾燥試料をミルで粉碎し、硫酸と過酸化水素を用いて分解し（水野・南，1980），分解液を用いて各養分を測定した。窒素はフローインジェクション法（中島，1987）により定量した。リン酸はバナドモリブデンを用いた比色法で、カリは塩化ランタン溶液で希釈した後に原子吸光法（後藤，1990）で分析した。

また、両作型の内部品質を比較するために、収穫時期の植物体の Brix 値と硝酸イオン濃度を測定した。Brix 値は 2019 年に測定し、各品目の品質目標に示されたコマツナは草丈 22～27 cm、ホウレンソウは草丈 20～26 cm（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020）に達した段階（早期作型は播種後 45 日の 3 月 23 日、既存作型は播種後 38 日の 3 月 31 日）の健全株を 6 反復採取して供試した。調製したサンプルを葉柄と葉身に分けて凍結保存した後に、常温で解凍しながら木槌で粉碎して得られた搾汁を用いて、糖度計（PAL-1、株式会社アタゴ）で測定した。硝酸イオン濃度は、2019、2020 年の両年において、それぞれ収穫時期付近（早期作型は播種後 45、52 日目、既存作型は播

種後 38, 45 日目) の乾燥サンプルを用いて測定した。硝酸イオン濃度の測定法は粗飼料の測定法にならない(宮崎, 2001), 乾燥, 粉碎した試料 2 g に蒸留水 100 ml を加えて 30 分振とう抽出した後, ろ液を用いて Merck 社の RQ-フレックスにより測定した。

2019 年は生育調査と同時に作土(土壌深度 0~20 cm)をコマツナの株間から検土杖で 15 地点採取し, それらを混和し 30 °C で 24 時間以上風乾した後粉碎した試料を用いて, 土壌化学性を調査した。EC は定法で EC メーターを用いて行い(道総研農研本部, 2012), 可給態リン酸はトルオーグ溶液で抽出後バナドモリブデンを用いたトルオーグ法(南條, 1997)で測定し, 交換性カリは酢酸アンモニウムで抽出後, 塩化ストロンチウム溶液で希釈した試料を原子吸光法(山崎, 1997)を用いて分析した。無機態窒素は風乾土を塩化カリウム水溶液で振とう抽出したものを, BRAN+LUEBBE 社 AACS-II 型のオートアナライザーで測定した。

3. 試験結果

試験期間中のハウス内平均気温の推移を図 3-2-1 に示した。早期作型では 2019 年は播種後 10 日, 2020 年は播種後 5 日までそれぞれ 5°C 近くで推移した。一方, 既存作型は 2 か年とも播種直後から約 10°C, もしくはそれ以上であり早期作型より高かった。その後の生育期間も, 若干の変動はあるものの早期作型は既存作型より両年とも概ね 3°C 程度低く推移した。2019 年は早期作型の播種後 10 日までは日照時間が短かったが, その後は両作型とも徐々に増加した(図 3-2-2)。全天日射量は早期作型では播種後 55 日, 既存作型では播種後 40 日から増加傾向にあった。一方, 2020 年の日照時間は両作型とも栽培期間を通して変動が大きく, 全天日射量は両作型とも栽培期間中に徐々に上昇を示したが, 上昇は既存作

型の方が早かった。

草丈の推移について播種後日数でみると, 両年, 両品目とも早期作型は既存作型より低く推移した(図 3-2-3)。コマツナは早期作型では播種後 45 日程度で「北海道野菜地図」(北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会, 2020)における品質目標である草丈 22~27 cm となった。一方, 既存作型では 2019 年は播種後 35 日程度に, 2020 年は播種後 40 日程度に品質目標の草丈に達した。ホウレンソウの草丈についてみると, 早期作型では 2019 年は播種後 45 日程度で, 2020 年は播種後 47 日程度で品質目標(北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会, 2020)である草丈 20~26 cm に達した。既存作型では, コマツナと同様に 2019 年は播種後 35 日程度で, 2020 年は播種後 40 日程度で品質目標の草丈に達した。葉数はコマツナ, ホウレンソウとも栽培期間中増加し続けたが, 両年とも早期作型では播種後 30 日以降はコマツナでは 2~3 枚, ホウレンソウでは 3~5 枚程度, 既存作型より葉数が少なく推移した(図 3-2-4)。両年とも, 早期作型はコマツナでは播種後 55 日程度, ホウレンソウでは播種後 53 日程度で葉数が 10 枚に達したが, 既存作型では両年, 両品目とも播種後 45 日で葉数が 10 枚以上となった。

地上部の新鮮重でみると, いずれも早期作型の方が少なく推移した(図 3-2-5)。両年, 両品目とも早期作型では播種後 37 日までは低く推移したが, 45 日にかけて大きく増加した。一方, 既存作型では播種後 30 日までは比較的緩慢な生育であったが, それでも早期作型より多く, その後播種後 38 日にかけて大きく増加した。なお, 2019 年は両品目とも早期作型では播種後 45 日以降, 既存作型では播種後 38 日以降は増加が鈍化した。

地上部乾物重から個体群生長速度(CGR)および相対生長率(RGR)を算出した(図 3-2-6, 図 3-2-7)。CGR は両年, 両品目とも, 播種後 30~38 日において早期作型が既存作型より大幅に低かったが, その後は上昇を示し, 播種後 45 日以降は既存作型と比較して同等か上回る値を示した。なお, 2019 年のコマツナにおいて, 早期作型は播種後 53 日以降, 既存作型では播種後 45 日以降 CGR は 100 mg/plant/day 以下の低い値を示した。RGR についてみると, 早期作型では両年とも播種後 30~45 日で高かったが, その後徐々に低下した。一方, 既存作型では両年とも播種後 30, 38 日がもっとも高く, その後は低下

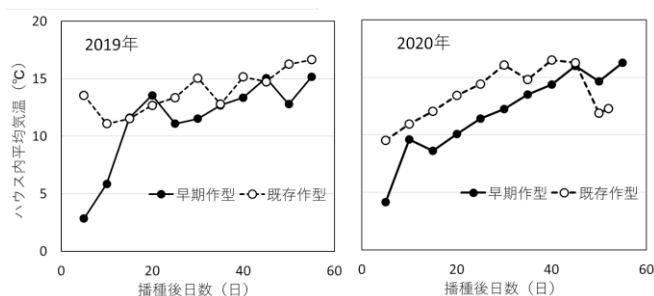


図 3-2-1 各作型の栽培期間中のハウス内平均気温の推移
* 播種後日数 5 日毎の平均値を示す

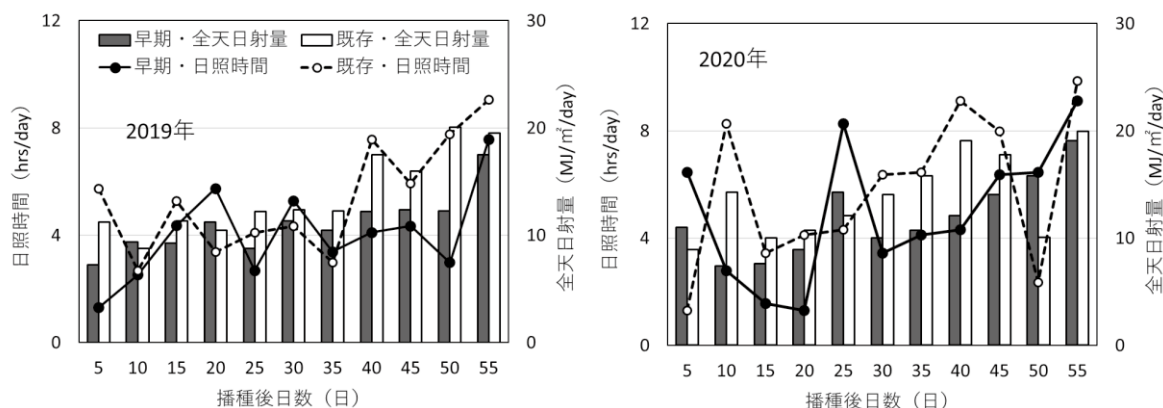


図 3-2-2 栽培期間中の 1 日あたり日照時間、全天日射量の推移

* 日照時間は試験地点最寄りの比布のアメダスデータを、全天日射量は比布では測定していないため、近傍の旭川のアメダスデータを使用。それぞれ播種後日数 5 日毎の平均値を示す。

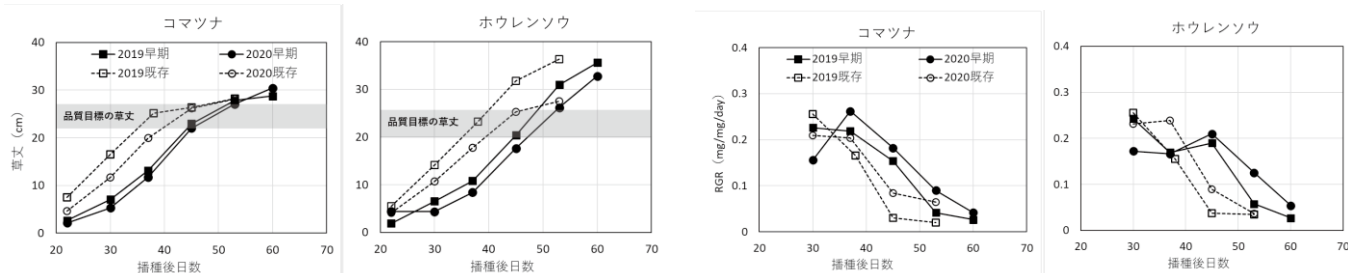


図 3-2-3 各作型における草丈の推移

図 3-2-7 各作型における相対生長率（RGR）の推移

* 播種後 30 日は 22 日に対する、それ以降はそれぞれ前の調査日から本調査日（プロットしてある日）までの RGR を示す。

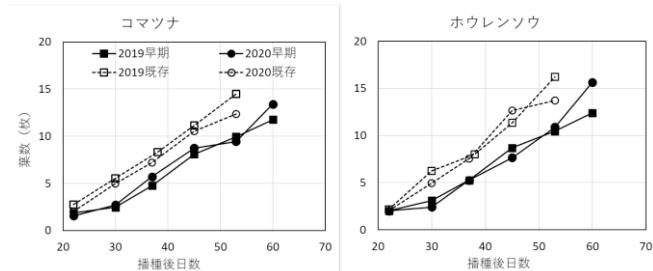


図 3-2-4 各作型における葉数の推移 * 枯死葉も含む。

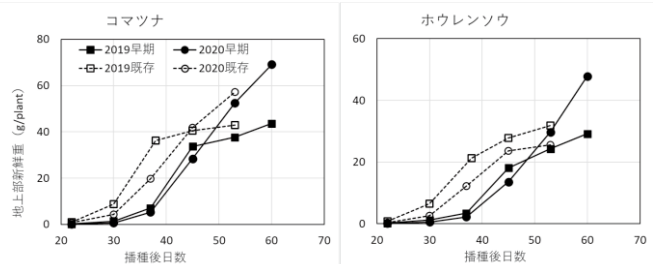


図 3-2-5 各作型における地上部新鮮重の推移

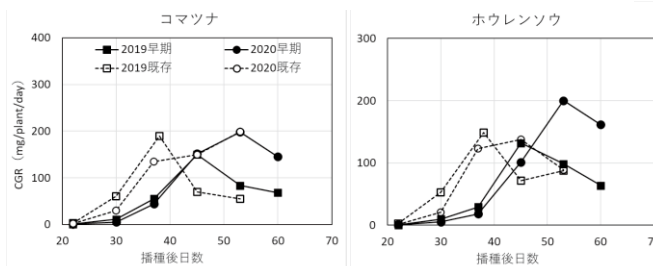


図 3-2-6 各作型における個体群生長速度（CGR）の推移

* 播種後 22 日は 0 日からの、それ以降はそれぞれ前の調査日から本調査日（プロットしてある日）までの CGR を示す。

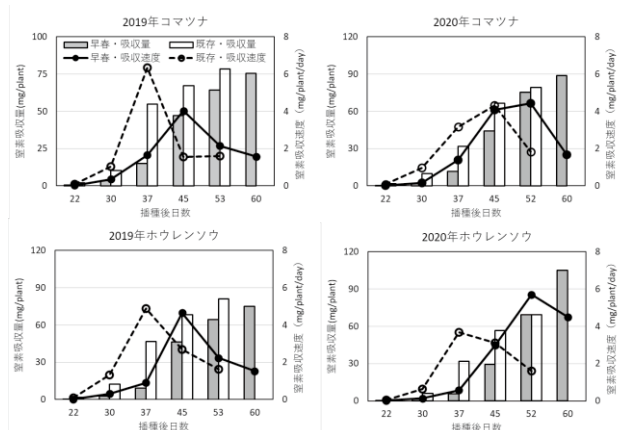


図 3-2-8 各作型における窒素の吸収量、吸収速度の推移

* 播種後 22 日は 0 日からの、それ以降はそれぞれ前の調査日から本調査日（プロットしてある日）までの窒素吸収速度を示す。

を示した。播種後日数で比較すると、早期作型の RGR の低下は既存作型より 7、8 日程度遅かった。

2019、2020 年の両年とも、両品目、両作型とも各養分吸収量、吸収速度は生育に対応して、いずれも新鮮重、CGR と概ね同様に推移した（図 3-2-8、図 3-2-9、図 3-2-10）。すなわち播種後日数で比較すると、早春作型は既存作型よりも吸収量が少なく、吸

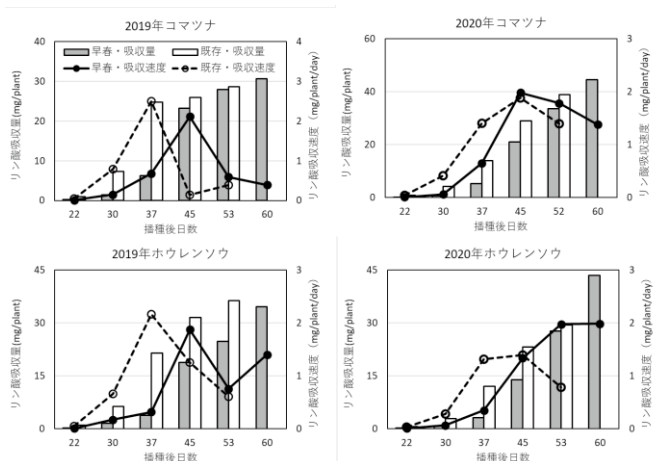


図 3-2-9 各作型におけるリン酸の吸収量、吸収速度の推移
* 播種後 22 日は 0 日からの、それ以降はそれぞれ前の調査日から本調査日（プロットしてある日）までのリン酸吸収速度を示す。

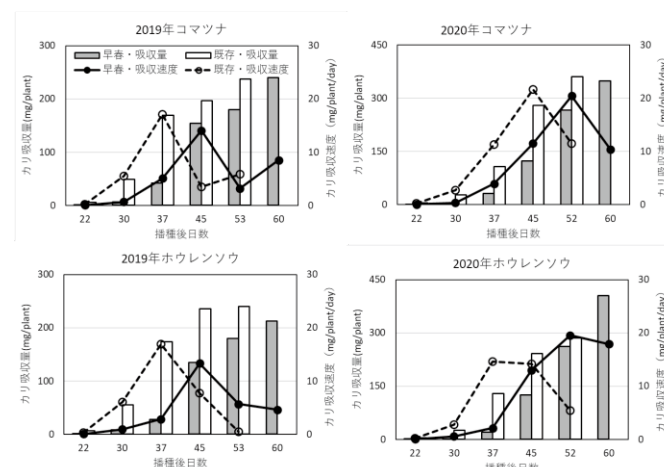


図 3-2-10 各作型におけるカリの吸収量、吸収速度の推移
* 播種後 22 日は 0 日からの、それ以降はそれぞれ前の調査日から本調査日（プロットしてある日）までのカリ吸収速度を示す。

表 3-2-2 各作型の可食部における部位別 Brix 値

作型	コマツナ		ホウレンソウ	
	葉身	葉柄	葉身	葉柄
早期作型	6.90	3.31	7.08	4.70
既存作型	5.99	3.00	5.46	4.31

* 各品目の品質目標である草丈

(コマツナ 22~27 cm、ホウレンソウ 20~26 cm) に達した段階のものを供試した。

表 3-2-3 各品目、作型の硝酸イオン濃度（新鮮重あたり ppm）

品目	作型	播種後日数	2019年	2020年
コマツナ	早期作型	45日	4056	5180
		52日	5387	4138
	既存作型	37日	4452	4696
		45日	4919	3996
ホウレンソウ	早期作型	45日	1998	2746
		52日	3764	3185
	既存作型	37日	2827	4164
		45日	4974	5339

* 同日に収穫したサンプルを乾燥して供試し、新鮮重あたりに換算した。

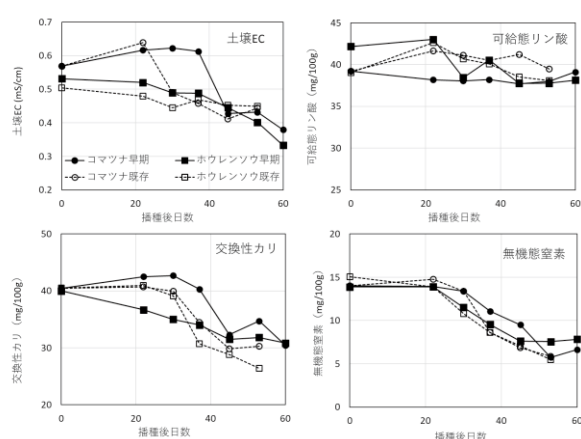


図 3-2-11 各作型における土壌化学性の推移（2019 年）

収速度も低く推移し既存作型と同等もしくはそれ以上となった。

収穫物の Brix 調査ではコマツナは葉身が 6.0~6.9, 葉柄が 3.0~3.3 で、ホウレンソウは葉身が 5.5~7.1, 葉柄が 4.3~4.7 であり、両品目、両作型とも、葉身の Brix 値は、葉柄よりも高かった（表 3-2-2）。早期作型は葉身の Brix 値がコマツナでは約 1.0, ホウレンソウでは約 1.5 近く既存作型のものより高く、葉柄においても 0.3~0.4 程度高かった。硝酸イオン濃度はコマツナが 3,996~5,387 ppm, ホウレンソウが 1,998~5,339 ppm であり、2020 年のコマツナ以外は両年、両作型とも播種後日数が多い方が高まる傾向にあった（表 3-2-3）。作型間を比較すると、コマツナでは年次や播種後日数により傾向が異なり、その差は判然としなかった。一方ホウレンソウにおいては、両年とも早期作型は既存作型より硝酸イオン濃度が低い傾向がみられた。

2019 年に株間より採取した土壌（深さ 0~20 cm）の化学性についてみると、可給態リン酸は栽培期間を通して大きな推移はみられなかったが、EC、無機態窒素、交換性カリは播種後日数が進むにつれて低下する傾向を示した。作型間を比較すると、特にコマツナにおいて、早期作型においてこれらの低下が始まる時期が、生育に対応して既存作型より遅かった（図 3-2-11）。

4. 考察

1) 生育、養分吸収について

今回両作型で播種を行った 2 月~3 月は、徐々に日射量が増加し（図 3-2-2）、それと連動してハウス内の気温も上昇する（図 3-2-1）時期である。コマツナの発芽適温は 15~35℃で最低発芽気温は 6℃（北

海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020），ハウレンソウの発芽適温，生育適温は15～20℃で最低発芽適温は4℃である（伊東ら，1999）が，両年とも早期作型の播種直後の気温は，最低発芽気温並もしくはそれ以下であった。この播種後の低温は，早期作型における留意点とも考えられる。一方で既存作型の播種直後の気温は，10～15℃近くであり，十分気温，地温が上昇してからの播種であったため，早期作型よりも発芽に適していたと考えられる。

その後の生育（図 3-2-3，図 3-2-4，図 3-2-5）や，CGR や窒素吸収のピークの時期（図 3-2-6，図 3-2-8），RCG の低下（図 3-2-7）が早期作型は既存作型より播種後日数で1週間程度遅い事を考えると，暦日で2週間遅く播いた既存作型は発芽，生育環境が有利なことから，既存作型の生育は早期作型に1週間ほど追いついていたと考えられる。

ただし，暦日でみると早期作型は品質目標の草丈には両年，両品目とも1週間以上早く到達し，収穫可能となった（表 3-2-4）。ハウレンソウに関しては，200 g あたり 7～12 株，つまり一株あたり 16.7～28.6 g という品質目標（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020）もあるが，両作型とも草丈が目標に達した段階でこの目標にも達しており（表 3-2-4），栽培期間は長くなるものの，早期作型でも品質目標を満たす収穫物を生産できることが示された。

また，早期作型では収穫を暦日で1週間以上早めることが可能なため，後作への作業も暦日で1週間以上早く開始できることが示唆された。ここまで検討してきた無加温パイプハウスを用いた周年利用技術においては，夏作はトマトの夏秋どりを想定している。冬季無加温栽培を導入する場合，道内の他地域と比較して寒冷な道北では，直播であれば9月中旬～10月上旬，苗の定植であれば9月下旬～10月上旬までに行わなくてはならない。このことを考慮すると，トマトの作型の中で周年利用技術への導

入に適した作型は4月上中旬に定植し，6月中旬～9月中下旬まで収穫を行う「半促成の作型」であると考えられる。今回検討した早期作型は，既存作型より1週間早く収穫できることから，より速やかにトマトの定植に移行でき，後作のトマトにおいても安定した初期生育と十分な栽培期間を確保できる，望ましい作型と言えるであろう。

また，養分吸収量の推移についてみると，早期作型は既存作型と比較して養分吸収がやや遅めに推移するものの，収穫時期における最終的な吸収量はいずれも同程度の肥沃度に大きく影響を受けるカを除き，両年，両品目とも差はみられなかった（図 3-2-8，図 3-2-9，図 3-2-10）。このことから，本試験の早期作型の施肥量は，既存作型と同等で問題ないと考えられる。土壌化学性の推移の結果も，それを支持するものである（図 3-2-11）。

2) 各品目の内部品質について

早期作型の収穫物の Brix 値はコマツナ，ハウレンソウとも既存作型のものより高かった（表 3-2-2）。また，ハウレンソウについては，早期作型の硝酸イオン濃度は，既存作型より顕著に低かった（表 3-2-3）。ハウレンソウについては，葉柄糖度が 3.0 以上，硝酸イオン濃度が 3000 ppm 以下という品質目標（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2020）がある。葉柄の Brix 値は両作型とも 4.0 を越えており，硝酸イオンは既存作型では全て 3000 ppm を超過した一方で，早期作型では概ね 3000 ppm と同等か下回った。

森山・青木（2004）によると，コマツナ・ハウレンソウは 0℃近くの寒さにあてることにより，糖度が上昇し，硝酸イオンが低下する。また，埼玉県の露地ハウレンソウとコマツナは2月以降気温，地温が上昇すると共に硝酸含量が上昇することが（山崎，2005）によって明らかにされている。さらに，コマツナとハウレンソウの糖含量は低温処理により高まり（田村，1999；加藤ら，1995），収穫前 10

表 3-2-4 各作型の品質目標の草丈に到達した日数，暦日，および新鮮重

品目	コマツナ				ハウレンソウ			
	2019年		2020年		2019年		2020年	
年次								
作型	早春	既存	早春	既存	早春	既存	早春	既存
播種後日数	45	38	45	45	45	38	52	45
暦日	3月23日	3月31日	3月21日	4月5日	3月23日	3月31日	3月28日	4月5日
新鮮重 (g/plant)	34	36	28	41	18	21	30	hyou

日間のハウス内気温と負の相関を示すことが示されている（田村，2004）。道内でも，無加温パイプハウスを用いて厳冬期に栽培を行うことにより，Brix 値の高いコマツナ（地子・高濱，2021；高濱・古林，2021）やリーフレタス，紫ミズナ（高濱・古林，2021）が生産されることが明らかになっている。これらのことから，早期作型が既存作型より Brix 値が高く硝酸イオン含量が低かった理由は，栽培期間中の気温が既存作型より低く推移したことが原因と推察される。さらに，（森山・青木，2004）は低地温で硝酸含量が低下する原因について，土壤の硝酸化成が進みにくいことと，植物による吸収が抑制されることを考察している。本試験では，土壤の無機態窒素はむしろ早期作型の方がやや高めであるのに対し（図 3-2-11），窒素吸収量は早期作型の方が少なく推移していることから（図 3-2-8），早期作型の植物による窒素吸収が既存作型より急激ではなかったために，植物体内における窒素同化との均衡が取れていたことが原因と推察できる。

味覚センサーを用いた研究（野田・幕田，2015）では，コマツナとハウレンソウ双方で，硝酸イオン含量は塩味，苦味雑味，苦味など不味いとされる呈味との正の相関と，Brix 値との負の相関が示された。さらに，葉柄の Brix 値は可食部全体の糖含量とビタミン C 含量と高い正の相関関係にあること（田村・田口，2001）から，既存作型より硝酸イオンが低く，Brix 値が高い早期作型は，内部品質の面ではコマツナでは同等以上であり，ハウレンソウでは優れていると評価できる。ただし，これらの品質は施肥や土壤肥沃度によって大きく変化することから，周年利用栽培を通して適切な施肥管理を実施することにより初めて担保されるといえる。

3) 今後の展望，およびまとめ

下ノ菌ら（2021）によると，道内の他地域と比較して，道北では多くの地域で葉根菜類の冬季無加温栽培を導入するにあたり，保温設備，耐雪強度の双方においてより重層，かつ堅牢な設備が必要となる。これらの装備にかかる追加投資を回収するためにも，今回提案した 2 月上旬に播種する早春播きの早期作型を組み込み，1 年を通してハウスを有効活用して収益の向上を図ることは，経営上有利な戦略であると思われる。一方で，前述の通り早期作型は播種後必ずしも発芽に適した気象条件ではないため，さらなる保温資材の導入により地温を上げ発芽

を促し，早期収穫を確実にする手法についても，今後検討をする余地があるであろう。

また，今回示した早期作型の播種時期は厳冬期かつ積雪も多い時期にあたることから，耕起や施肥のために農機をハウスに搬入することは，やや煩雑で手間がかかる。そこで，冬作から早春播き作型にかけての，耕起・施肥作業の省略などの試みも行っており，チンゲンサイとリーフレタスについては望ましい結果が得られている（地子・岡元，2021）。今後の展望としては，直播栽培する他品目への応用や，緩効性肥料などと組み合わせた省力型の不耕起栽培などの確立により，より省力的かつ多収益な周年利用体系を普及，導入していくことが望ましい。

最後に本報の結論をまとめると，2 月上旬に播種を行う早期作型では播種後しばらくは低温により生育が緩慢であるが，既存作型より暦日で 1 週間以上早く，収量，品質の両面からみても既存作型と同等以上の生産物が収穫可能であることが示された。また，養分吸収量や土壤化学性からみて，施肥量は既存作型と同様でよいと考えられた。周年利用体系における収益性の向上のためにも，道北においては本作型の積極的な導入が望まれる。

5. 摘要

周年利用体系に対応した早春播き葉菜類の作型は，道北において既存の早春播き作型よりコマツナでは 2 週間，ハウレンソウでは 10 日ほど早く播種を行う。この作型の生育と養分吸収を比較したところ，既存作型より生育，養分吸収が緩慢なため播種から収穫までの期間は長かったが，暦日で 1 週間以上早く収穫できた。また，施肥量は既存作型と同様でよいことが示された。収穫物の内部品質についてみると，既存作型と同等以上であった。

6. 引用文献

- 1) 道南農業試験場・上川農業試験場（2018）無加温ハウスを利用した葉菜類の冬季生産技術。平成 30 年普及奨励ならびに指導参考事項，北海道農政部，札幌，p25-27
- 2) 後藤重義（1990）原子吸光法。植物栄養実験法（日本土壤肥料学会監修），博友社，東京，p134-142
- 3) 加藤忠司・青木和彦・山西弘泰（1995）冬期ハウス栽培ハウレンソウのビタミン C， β -カロテン，トコフェロールおよびシュウ酸含有量

- に対する外気低温の影響. 土肥誌 66 : 563-565
- 4) 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会 (2020) 北海道野菜地図 43, p71-74, 79-80
 - 5) 北海道農政部 (2020) IV園芸作物. 北海道施肥ガイド 2020, p77-178
 - 6) 北海道立総合研究機構農業研究本部 (2012) IV土壌化学性 1.3 電気伝導度 (EC) . 土壌・作物栄養診断のための分析法 2012, p61
 - 7) 伊東 正・篠原 温・青木宏史・高野邦治・生方和廣・増淵賢一・中戸川啓二 (1999) 第 5 章 葉や茎を利用する野菜の栽培 5. ホウレンソウ, 基礎シリーズ そ菜入門, 実教出版, 東京, p156-159
 - 8) 地子 立・岡元英樹 (2021) 葉菜類の冬春連続無加温栽培における 2 作目不耕起定植の試み. 北園談会報 54 : 28-29
 - 9) 地子 立・岡元英樹 (2022) 無加温パイプハウスの周年利用体系に対応した葉菜類の早春まき作型. 北農 89 : 25-31
 - 10) 地子 立・高濱雅幹 (2021) 北海道北部の積雪地域における無加温パイプハウスを利用したコマツナの厳冬期生産. 道総研農試集報 105 : 81-88
 - 11) 地子 立・高濱雅幹・古山真一・大久保進一 (2021) 北海道の無加温パイプハウスにおける保温性に関する研究. 北農 88 : 320-327
 - 12) 上川農業試験場・道南農業試験場 (2021) 無加温パイプハウスを用いた野菜の周年生産技術. 令和 3 年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 札幌, p24-26
 - 13) 宮崎 茂 (2001) 硝酸態窒素. 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック (自給飼料品質評価研究会編), 日本草地畜産種子協会, 東京, p33-35
 - 14) 水野直治・南 松雄 (1980) 硫酸-過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法. 土肥誌 51 : 418-420
 - 15) 森山真久・青木和彦 (2004) 寒冷地の気候立地条件を活用した野菜の高品質化技術. 野菜茶業研究集報 1 : 23-26
 - 16) 中島秀治 (1987) フローインジェクション分析法による耕地土壌及び畑作物体ケルダール分解液中の全窒素定量. 東北農試研究資料 7 : 37-44
 - 17) 南條正巳 (1997) 12. 可給態リン酸. 土壤環境分析法 (日本土壤肥料学会監修), 博友社, 東京, p267-273
 - 18) 野田博行・幕田武広 (2015) 味覚センサーで測定したコマツナおよびホウレンソウの味覚値に及ぼす硝酸イオン含量の影響. 科学・技術研究 4 : 177-181
 - 19) 岡元英樹・地子 立・古山真一・藤倉潤治 (2021) 冬季無加温栽培におけるコマツナの生育および養分吸収特性. 北農 88 : 309-319
 - 20) 下ノ菌慧・立松宏一・堤 拓哉・月館 司 (2021) 保温装備マップと耐雪強度マップ, 北農 88 : 328-334
 - 21) 高濱雅幹・地子 立 (2021) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術—第 1 報—品目選定, 北農 88 : 214-219
 - 22) 高濱雅幹 (2021) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術—第 2 報—道南地域におけるレタス類, 北農 88 : 220-226
 - 23) 高濱雅幹・古林直太 (2021) 冬季に無加温パイプハウスで栽培した葉根菜類の Brix 値およびポリフェノール含有量, 北農 88 : 300-308
 - 24) 高濱雅幹・地子 立・古山真一 (2021a) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術—第 4 報—道南および道北地域における紫ミズナおよびカラシナ類, 北農 88 : 235-245
 - 25) 高濱雅幹・岡元英樹・地子 立 (2021b) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術—第 3 報—道南および道北地域における小カブおよびチンゲンサイ, 北農 88 : 227-234
 - 26) 田村 晃 (1999) 寡日射条件における低温処理がコマツナ (*Brassica campestris* L.) の糖およびアスコルビン酸含有率に及ぼす影響. 園学雑誌 68 : 409-413
 - 27) 田村 晃 (2004) 栽培期間中の気温がホウレンソウおよびコマツナの糖とビタミン C 含量に及ぼす影響. 園学研 3 : 187-190
 - 28) 田村 晃・田口多喜子 (2001) 糖度計による冬期栽培ホウレンソウ, コマツナの糖, ビタミン C 含量の推定. 東北農業研究 54 : 175-176
 - 29) 山崎晴民 (2005) ホウレンソウ, コマツナの硝酸含量の時期別実態と施肥管理による低減化. 埼玉農総研報 4 : 25-31
 - 30) 山崎慎一 (1997) B. 原子吸光法. 土壤環境分析法 (日本土壤肥料学会監修), 博友社, 東京, p176-179

7. 付記

本報の概要は北農第 88 巻第 4 号に掲載したものである。

第三節 周年生産技術における不耕起栽培の導入の試み

1. はじめに

北海道では、無加温パイプハウスを用いて厳冬期においても葉根菜類が生産可能な技術（地子・高濱，2021）が提案されたことにより、野菜の周年栽培が広がりつつある。各作の収穫から次作型の開始の間には、トンネルやマルチの設置・撤去作業、耕起や整地などの作業を伴うが、冬作型から早春作型への移行期となる 1 月下旬は北海道では積雪状態にあり、春や夏と比較すると農機の移動や農業資材の運搬がしづらい時期である。また、今後の生産労働人口の減少による慢性的な人手不足を考慮すると、早春作型から夏作型への移行期になる 4 月上旬は水稻の育苗や他の多くの品目の育苗、準備、管理が立て込む繁忙期であり、生産現場において作業競合が発生する可能性が高い。このような背景から、周年栽培の普及のためには省力化技術の提案が必須と考えられる。

こうした中、著者らは周年作付け体系において、マルチフィルムを張ったまま耕起、整地等の作業を省略し、多品目を植え替える「連続不耕起栽培」の検討を行い、冬作型と早春作型の間に行う耕起・施肥作業の省略が可能であること（地子・岡元，2020）、6 月どりスイートコーンまで連続不耕起栽培法が導入可能であること（岡元ら，2021）を示した。本報では 6 月どりスイートコーン作の後にさらに不耕起を 1 作（8 月どりスイートコーン作）追加した際の各作型の生産性、土壌物理性、土壌化学性、根系発達を調査し、連続不耕起栽培導入の可能性を検討した。

なお、「不耕起」は省力化や地力維持の観点から、

露地畑（長坂ら，2016）、水田（大谷ら，1997）、水田転換畑（篠遠ら，2018）、施設園芸（川上ら，2012）など多く実施されているが、その定義は定まっておらず、全くの攪拌作業を行わない形式からプラウ耕を省略し、表層攪拌は行う形式も含めて「不耕起栽培」と扱われている（林，2011）。本報では、通常作型間に行うロータリハローを用いた作業を「耕起」、それを省略し一切の表層処理を行わずに栽培する処理を「不耕起」と定義する。

2. 試験方法

試験は上川農試内に設置した長さ 30.0 m、幅 5.4 m、軒高 1.5 m、棟高 2.8 m のパイプハウスを用いて、2021 年 9 月～2022 年 8 月にかけて実施した。

圃場の土壌は褐色低地土に分類される。冬作型（リーフレタス「アーリーインパルス」、9～1 月）から早春作型（チンゲンサイ「ニイハオ新 1 号」、2～4 月）、夏作型 2 連作（スイートコーン「ゴールドラッシュネオ」、4～6 月と 6～8 月）で構成した年 4 作の周年作付け体系を導入した。各作型の播種日、定植日、収穫日を表 1 に示す。冬作型と早春作型は条間、株間とも 30 cm、各夏作型は条間は 60 cm、株間は 30 cm とした。空気膜二重フィルムを被覆し、冬作型と春作型においては適宜内張とトンネルによる保温を行い、試験期間を通して無加温で管理した。

処理区としては冬作型以降に不耕起栽培を実施した「不耕起区」を設置した。不耕起区は試験期間を通してマルチを設置し続け、冬作型の株間の中央に新たにマルチに穴を開けて早春作型を定植、栽培し、早春作型後、冬作型の株跡に夏作型を定植した（図 3-3-1）。一方、「耕起区」としては同様の体系で毎回作型間にロータリーによる耕起、整地やマルチ等農業資材の撤去、設置を実施した「4 回耕起区」、冬作型後 3 か月強休閑した後に各夏作型前に耕起をはじめとする前述の作業を行い連作した「3 回耕起区」をそれぞれ 2 反復設けた（表 3-3-1）。栽培時のパイプハウスの気温は温度データロガー「おんどと

表 3-3-1 各区の各作型における栽培品目および栽培期間

区	2021～2022年冬作型				2022年早春作型				2022年夏作型1作目				2022年夏作型2作目			
	品目	播種日	定植日	収穫日	品目	播種日	定植日	収穫日	品目	播種日	定植日	収穫日	品目	播種日	定植日	収穫日
不耕起区	リーフレタス	9/13	10/7	11/20	チンゲンサイ	1/17	2/10	4/9	スイートコーン	3/24	4/13	6/29	スイートコーン	6/3	6/30	8/24
4回耕起区	リーフレタス	9/3	9/30	11/22	チンゲンサイ	1/17	2/10	4/9	スイートコーン				スイートコーン			
3回耕起区	リーフレタス	9/13	10/7	11/20	休閑				スイートコーン				スイートコーン			

2) 不耕起区は冬作型前に、黒マルチを設置しそのままマルチングを継続。耕起両区は夏作型1までその都度マルチを撤去し耕起後設置。

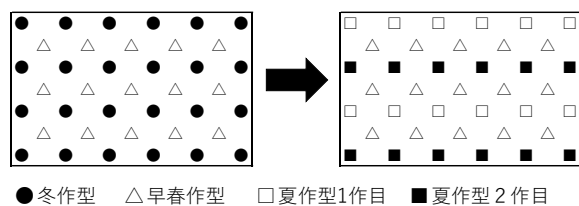


図 3-3-1 不耕起区における各作型の栽植位置の位置関係の概略図

* 冬作型、早春作型は株間、条間とも 30 cm、両夏作型は株間は 30 cm、条間は 60 cm である。

り Jr. RTR-502(株式会社 T&D)」を用いて地上 20 cm 高の位置で 1 時間毎に測定した。全区共通で、9 月上旬に基肥で $N:P_2O_5:K_2O = 15:15:15 \text{ kg}/10a$ 、各夏作型の追肥で 4 月下旬と 7 月上旬に $N:P_2O_5:K_2O = 5:5:5 \text{ kg}/10a$ をそれぞれマルチ穴から土壌表面に粒状肥料を施肥した。各作型において収穫時に収量を調査し、根、土壌を採取した。

試験期間中のハウス内と近接のアメダス地点の旬平均の気温推移を図 3-3-2 に示した。冬作時をみると 12 月下旬にアメダスでは平均気温で -7.9°C 、日最低気温で -13.0°C まで低下したが、ハウス内は平均気温が 1.4°C 、日最低気温でも -2.2°C であった。また、作付け時期ではないものの、1 月上旬が最も低温であり、アメダスでは平均気温で -11.3°C 、日最低気温で -18.6°C まで低下したが、ハウス内は平均気温が

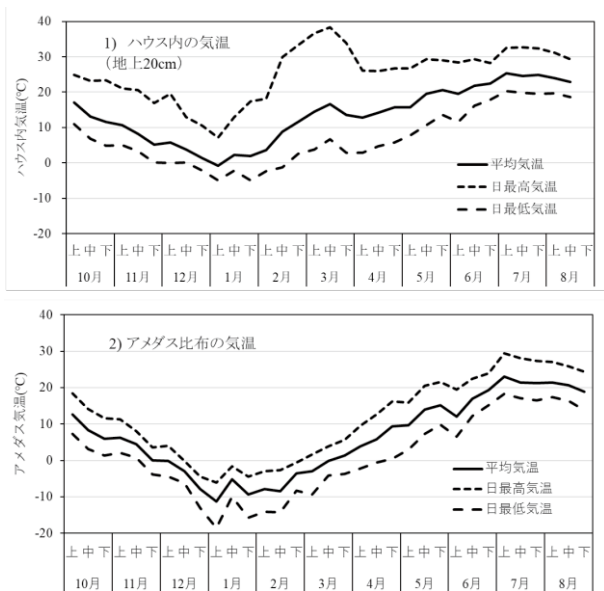


図 3-3-2 各作型の栽培期間中の気温の推移
(上：ハウス内の気温、下：アメダス比布の気温)

された。早春作型時にはハウス内の平均気温は $8.8 \sim 16.7^\circ\text{C}$ で推移したが、日最高気温は $26.2 \sim 38.4^\circ\text{C}$ とかなり高く推移した。夏作型時の平均気温は 1 作

目では $14.2 \sim 22.4^\circ\text{C}$ 、2 作目では $22.9 \sim 25.3^\circ\text{C}$ で推移した。

冬作型、早春作型については各区から 10~14 個体をサンプリングし、調製後の株重（枯葉や外葉を除去した出荷時の株重）から収量を算出した。一方、夏作型のスイートコーンについては各区から 10 個体の充実した雌穂（皮付き）をサンプリングし、調査した。

土壌物理性として株元と株間で表層（0~10 cm）を採土管（100 ml 容、以下同じ）で 3 反復採取しち密度（pF3.0 時）、気相率（pF1.5 時）、飽和透水係数、易有効水分量（pF1.5~3.0）を測定した。一方、土壌化学性として作土（土壌深さ 0~20 cm）をコマツナの株間から検土杖で 15 地点採取し、それらを混和し 30°C で 24 時間以上風乾した後、2 mm 以下に粉碎した試料を用いて、pH、硝酸態窒素、可給態リン酸、交換性塩基（ K_2O 、 CaO 、 MgO ）を測定した。pH は定法で pH メーターを用いて行い（道総研農研本部、2012）、可給態リン酸はトルオーグ法（南條、1997）で抽出後にバナドモリブデン法で測定し、交換性塩基は 1 mol/l 酢酸アンモニウムで抽出後、塩化ストロンチウム溶液（ Sr^{2+} で 1053 mg/l）で希釈した試料を用いて、原子吸光法（山崎、1997）で分析した。硝酸態窒素は風乾土を固液比 1:10 として 1.3 mol/l 塩化カリウム水溶液で振とう抽出したものを、ろ液を用いて Merck 社の RQ-フレックスにより測定した。

根系の評価は株からの距離別に採土管を用いて表層の根系を測定する方法と、株を掘り取って株全体の根系を測定する方法の、二つの方法を用いて実施した。前者は早春作型と夏作型収穫時に株元と株間で表層（0~5 cm）を採土管で 3 反復採取し、前述の土壌物理性測定後に根を洗い出し、後者は各夏作型の収穫翌日に各区の株を 3 個体ずつ掘取り、根を洗い出した。なお、早春作型のチンゲンサイの根系は夏作型のスイートコーンより浅いことから、早春作型では採土管による表層採取のみとした。洗い出した根は根系解析ソフト（Winrhizo Pro, Regent Instruments 社）を用いて根長を直径別（0.5 mm 未満、0.5~1.0 mm、1.0 mm 以上）に測定後、 70°C で 48 時間以上通風乾燥して根重を測定した。

3. 試験結果

1) 収量

収量をみると、冬作型のリーフレタスは 2.6～3.7 t/ha で、各区とも「北海道野菜地図」（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2024）の基準収量である 2.0 t/ha を大きく上回った（表 3-3-2）。一方、早春作型のチンゲンサイでは不耕起区が 4.2 t/ha，4 回耕起区が 3.8 t/ha であり，いずれも「北海道野菜地図」（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会，2024）の基準収量である 5.0 t/ha をやや下回った。夏作型におけるスイートコーンについてみると，1 作目では 1.1～1.4 t/ha，2 作目では 1.2～1.3 t/ha であり，基準収量である 1.2 t/ha と比較するとほぼ同等であり，処理別にみると

表 3-3-2 各作型，各品目における収量

作型 品目	冬作型 リーフレタス	早春作型 チンゲンサイ	夏作型1 スイートコーン	夏作型2 スイートコーン
不耕起区	2.6 ^{a)}	4.2	1.4	1.3
4回耕起区	3.7	3.8	1.1	1.3
3回耕起区	3.4	-	1.2	1.2
基準収量 ^{b)}	2.0	5.0	1.2	1.2

^{a)} 収量はいずれも，規格内収量を示す。

^{b)} 基準収量は北海道野菜地図その47

（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会2020）から。

表 3-3-3 不耕起栽培が各作型栽培後の土壌化学性に及ぼす影響

処理	採取位置 ^{a)} 作型	pH ^{b)}	硝酸態 窒素	可給態 リン酸	交換性塩基		
					K ₂ O	CaO	MgO
不耕起区	早春作型	5.8	0.0	17.9	29.0	291	34.2
	夏作型1	5.8	0.0	17.1	22.0	339	40.0
	夏作型2	5.9	0.0	15.8	24.6	351	41.5
4回耕起区	早春作型	5.7	0.0	18.0	32.8	344	39.5
	夏作型1	5.9	0.0	16.8	33.2	471	40.8
	夏作型2	5.7	0.0	17.9	27.9	377	41.9
3回耕起区	早春作型 ^{c)}	5.5	7.5	18.1	24.1	326	37.0
	夏作型1	5.8	0.0	16.8	23.3	348	38.6
	夏作型2	5.4	0.0	17.2	27.5	340	38.3

^{a)} 土壌は各作型後に株間から表層0～20cmを採取した。

^{b)} pHは無単位，それ以外はmg/風乾土100g。

^{c)} 早春作型の耕起3区は休閑中。

1 作目において不耕起区の収量が 4 回耕起区よりやや高かった。

2) 土壌

土壌化学性を表 3-3-3 に示した。pH は 5.4～5.9，硝酸態窒素が 0.0～7.5 mg/100 g，可給態リン酸が 15.8～18.1 mg/100 g であり，硝酸態窒素は早春作型の時期に休閑した 3 回耕起区で検出された以外は，作型，処理に関わらず検出されなかった。「北海道施肥ガイド 2020」（北海道農政部，2020）の土壌診断基準と比較すると，pH はやや低く，可給態リン酸は基準値内であった。交換性塩基は K₂O が 22.0～33.2 g/100 g，CaO が 291～471 mg/100 g，MgO が 34.2～41.9 mg/100 g であり，「北海道施肥ガイド 2020」（北海道農政部，2020）の土壌診断基準と比較すると，K₂O は基準値内かやや高く，CaO は高く，MgO は基準値内であった。全体として作型間，処理区間で一定の傾向はみられなかった。

土壌物理性をみると，株間と株元のち密度は早春作型後では 8.3～15.0 で，早春を休閑していた 3 回耕起区は 15.0 と他区より高かった（表 3-3-4）。株元と株間の夏作型 1 後のち密度は 18.6～22.7，夏作型 2 後のそれは 14.1～21.8 の範囲内であり，夏作型 1 後の株間は不耕起区が耕起両区よりやや低く，夏作型 2 後の株間，株元は逆に不耕起区が耕起両区よりやや高かった。株元と株間の気相率は早春作型後では 12.2～23.6%の範囲内で，休閑していた 3 回耕起区は 8.1%と他区より低かった。夏作型 1 後は 7.3～14.7%，夏作型 2 後は 10.7～22.4%であり，不耕起区は早春作型と夏作型 1 後の株元，および夏作型 2 後の株元，株間において気相率が他区より低かった。飽和透水係数は作型を通して 10²～10³ オーダーであったが，夏作型 2 後は耕起両区が株元，株間とも 10² オーダーなのに対し，不耕起区が 10³ オーダーと

表 3-3-4 不耕起栽培が各作型栽培後の土壌物理性に及ぼす影響

処理	採取位置 ^{a)} 作型	株元				株間			
		ち密度	気相 (%)	飽和透水係数 (cm/S)	易有効水分量 (pF1.5-3.0, %)	ち密度	気相 (%)	飽和透水係数 (cm/S)	易有効水分量 (pF1.5-3.0, %)
不耕起区	早春作型	8.3	12.2	1.7× 10 ⁻³	7.3	12.0	13.4	1.1× 10 ⁻³	11.8
	夏作型1	20.5	7.3	2.5× 10 ⁻³	4.8	18.6	14.6	5.0× 10 ⁻³	7.8
	夏作型2	20.9	10.7	6.1× 10 ⁻³	9.2	21.8	12.6	6.6× 10 ⁻³	8.7
4回耕起区	早春作型	9.9	23.6	2.2× 10 ⁻³	11.3	12.5	15.0	5.4× 10 ⁻³	12.3
	夏作型1	20.3	14.7	1.3× 10 ⁻²	7.2	21.2	10.2	2.6× 10 ⁻³	7.7
	夏作型2	14.1	22.1	1.1× 10 ⁻²	18.1	15.1	20.2	1.4× 10 ⁻²	17.6
3回耕起区	早春作型 ^{b)}	15.0	8.1	2.3× 10 ⁻³	13.4	-	-	-	-
	夏作型1	21.1	13.9	1.9× 10 ⁻³	6.9	22.7	14.4	1.3× 10 ⁻³	8.1
	夏作型2	15.3	22.4	1.4× 10 ⁻²	14.8	15.3	20.9	1.4× 10 ⁻²	14.4

^{a)} 採土管は各夏作型後に各区，各位置の表層0～5 cmを採取した。

^{b)} 早春作型の耕起3区は休閑中。

表 3-3-5 不耕起栽培が各作型の表層における採取位置別の根密度（直径別根長，根重）に及ぼす影響²⁾

处理	作型	株元					株間				
		直径別根長 (m/100 ml)				根重 (mg/100 ml)	直径別根長 (m/100 ml)				根重 (mg/100 ml)
		< 0.5 mm ^{y)}	0.5～1.0 mm	≥ 1.0mm	合計		< 0.5 mm	0.5～1.0 mm	≥ 1.0mm	合計	
不耕起区	早春作型	3.06	0.39	0.18	3.63	203.3	1.40	0.08	0.04	1.53	5.2
	夏作型1	5.52	0.57	0.21	6.31	103.1	2.89	0.24	0.10	3.22	16.8
	夏作型2	2.93	0.54	0.27	3.75	59.2	0.70	0.13	0.04	0.87	5.1
4回耕起区	早春作型	3.76	0.50	0.32	4.59	203.0	1.74	0.15	0.08	1.97	15.0
	夏作型1	2.68	0.21	0.11	3.00	21.0	0.68	0.08	0.08	0.84	3.9
	夏作型2	3.46	0.56	0.17	4.19	61.6	2.59	0.37	0.14	3.10	33.8
3回耕起区	夏作型1	1.73	0.31	0.11	2.15	50.8	0.84	0.09	0.09	1.02	5.6
	夏作型2	2.83	0.60	0.20	3.63	65.1	3.06	0.38	0.12	3.56	31.8

²⁾ 土壌の表層5 cmから採土管を用いてサンプルを採取し，供試。³⁾ 根の直径(mm)を示す。

低かった。株元と株間の易有効水分量は早春作型後では7.3～12.3%の範囲内で，休閑していた3回耕起区は13.4%と他区よりやや高かった。夏作型1後は4.8～8.1%，夏作型2後は8.7～18.1%であり，不耕起区の易有効水分量は早春作型と夏作型1後の株元，および夏作型2後の株元，株間において他区より低かった。

3) 根系

採土管を用いた表層10 cmにおける根系調査の結果を表3-3-5に示した。合計の根長密度についてみると，早春作型後は株元が3.63～4.59 m/100 ml，株間が1.53～1.97 m/100 mlの範囲内で，株元，株間とも不耕起区の根長密度は4回耕起区と比較して低かった。直径別の根長密度でも同様の傾向であった。夏作型1後の全体の根長密度は株元が2.15～6.31 m/100 ml，株間が0.84～3.22 m/100 mlの範囲内で，株元，株間とも不耕起区の根長密度は耕起両区と比較して高かった。直径別にみると，ほぼ全体と同様の傾向であったが，株間における直径0.5 mm以上の根長密度については処理の影響は小さかった。夏作型2後の全体の根長密度は株元が3.63～4.19 m/100 ml，株間が0.87～3.56 m/100 mlの範囲内で，株元では概ね処理間で同等であったが，株間においては不耕起区の根長密度は耕起両区と比較して低かった。直径別にみると，ほぼ全体と同様の傾向であったが，株元における直径1.0 mm以上の根長密度は不耕起区が耕起両区より高かった。表層の根重は早春作型後では株元が203.0～203.3 mg/100 ml，株間が5.2～15.0 g/100 mlの範囲内で，株間における不耕起区の根重は4回耕起区と比較して軽かった。夏作型1後の根重は株元が21.0～103.1 g/100 ml，株

表 3-3-6 不耕起栽培が各夏作型の一株あたりの根量（直径別根長，根重）に及ぼす影響

処理 ²⁾	作型	根長 (m/株)				根重 (g/株)
		< 0.5mm ³⁾	0.5～1.0mm	≥ 1.0mm	合計	
不耕起区	夏作型1	21.8	3.1	3.2	28.1	2.8
	夏作型2	12.0	4.0	3.0	19.0	1.1
4回耕起区	夏作型1	17.1	3.3	3.5	23.9	2.4
	夏作型2	16.2	4.9	4.0	25.1	2.4
3回耕起区	夏作型1	18.8	5.8	4.1	28.7	2.8
	夏作型2	22.3	5.0	4.1	31.4	2.1

²⁾ 各区から3個体ずつ掘り取って分析に供試した。³⁾ 根の直径(mm)を示す。

間が3.9～16.8 g/100 mlの範囲内で，株元，株間とも不耕起区の根重は耕起両区と比較して重かった。夏作型2後の根重は株元が59.2～65.1 g/100 ml，株間が5.1～33.8 g/100 mlの範囲内で，株元では処理の影響は小さかったが，株間においては不耕起区の根重は耕起両区と比較して軽かった。

各夏作型において株全体を掘り取った根系調査の結果を表3-3-6に示した。合計の根長は夏作型1が23.9～28.7 m/株，夏作型2が19.0～31.4 m/株の範囲内で，夏作型2において不耕起区は耕起両区より根長が低かった。直径別にみると，直径0.5 mm未満の根長は夏作型1が17.1～21.8 m/株，夏作型2が12.0～22.3 m/株の範囲内で，不耕起区の根長は夏作型1ではやや高く，夏作型2では低かった。直径0.5～1.0 mmの根長は夏作型1が3.1～5.8 m/株，夏作型2が4.0～5.0 m/株の範囲内で，夏作型1では3回耕起区が他区より高く，夏作型2では不耕起区が他区より低かった。直径1.0 mm以上の根長は夏作型1が3.2～4.1 m/株，夏作型2が3.0～4.1 m/株の範囲内で，両夏作型とも不耕起区が他区より低かった。根重は夏作型1が2.4～2.8 g/株，夏作型2が1.1～2.4 g/株の範囲内で，夏作型2では不耕起区が耕起両区より軽かった。

4. 考察

森田ら（2012）は露地畑では耕起を行わないことにより、土壌硬度や土壌密度、粒度分布が上がり、トウモロコシの苗立ちが悪化することを報告している。本試験の土壌物理性は不耕起により悪化する傾向を示し、これは特に後の作型になるにつれて顕著であった。「北海道施肥ガイド 2020」（北海道農政部, 2020）の土壌物理性の診断基準値と比較すると、不耕起区は気相率と易有効水分量で診断基準値を下回る場合が多くみられた。今回の不耕起区は各作型の植え付け位置をそれぞれずらしているが、それでも夏作型 2 では株元、株間ともに明確な土壌物理性の差が生じた。

一方で、不耕起による土壌化学性への影響は小さかった（表 3-3-3）。これは本試験がハウスで実施され、適宜灌水がされていることにより養分の表層集積が発生しなかったことに加え、夏作型 1 では不耕起区においてスイートコーンが根を表層に発達させたことにより（表 3-3-5, 表 3-3-6）、表層の養分を集中的に吸収した可能性も考えられる。いずれにしても、今回の土壌や作型であれば不耕起による土壌養分の集積や不均等が生じる可能性は小さい。

根系発達についてみると（表 3-3-5, 表 3-3-6）、早春作型や夏作型 2 において不耕起によって根系の発達は抑制された。これは不耕起区の気相率が多く、の作物において根の伸長を抑制し始める 15%（森・小川, 1968）を下回っていることに起因していると思われる、気相率の低下による土壌物理性の悪化が根系発達に影響を阻害したと考えられる。一方、夏作型 1 においては、株全体では耕起の影響は顕著ではないが（表 3-3-6）、表層では株間、株元とも根長密度、根重密度とも不耕起区では高まる（表 3-3-5）ことから、不耕起区では下層まで根系が発達せず、表層に集中する傾向がみられた。これは辻ら（2002）が露地畑でトウモロコシを供試した報告と一致した。この原因としては、不耕起によって気相率、易有効水分量が減少し下層への根系発達が阻害されたためと推察されるが、特に直径 0.5 mm 未満の根に顕著であったことは、前述したように表層の養分をより効率的に吸収するように適応したことが示唆される。なお、夏作型 1 と夏作型 2 の傾向の違いについては、前作型の地中の残渣が考えられる。すなわち、夏作型 2 は前作で根系が比較的深いスイートコーンを栽培しており、植え付け時には不耕起区にその根系の残渣が地中に残存していたことから、

根系発達が制限されたと推察できる。

収量の結果（表 3-3-2）をみると、冬作型のリーフレタスは基準収量を大きく上回り、夏作型の収量は基準収量と概ね同等であった一方、早春作型のチンゲンサイは基準収量を下回った。耕起等の処理の有無でみれば、各作型とも大きな差はなく、不耕起による生産性への負の影響は認められなかった。早春作型のチンゲンサイについては栽培時期の日が長く、日射により最高気温が極端に高まったことが影響して低収となったと考えられる。月時ら（1996）はチンゲンサイの適温は昼温 20～25℃で、30℃以上では生育が抑制され徒長気味になると報告しているが、本試験では栽培期間を通して最高気温が 30℃以上であったことから、結果として株が充実しなかったと考えられる。なお、同様の早春作型では地子・岡元（2022）がチンゲンサイを供試し 5.0～5.6 t/10a の収量を得ていることから、外張りフィルムの開閉などにより適切な気温管理を行えば、同時期でのチンゲンサイでの不耕起栽培における基準収量達成は可能であると考えられる。

これらの結果をまとめると、連続不耕起栽培により土壌物理性や根系発達には負の影響が現れた項目があったものの、各作型の収量をみると不耕起による生産性への負の影響は認められなかった。このことから、本試験の土壌、作型において連続不耕起栽培は実用的な技術として利用できる可能性が高いと判断した。

本試験で供試した土壌は「比布東区」に属し、農耕地土壌分類第二次案改訂版による分類（道立中央農試, 1993）では中粗粒褐色低地土である。土性は壤質で透水性も良好であり、道内の台地土、低地土の中では物理性も比較的良好であるため（道立上川農試, 1997）、不耕起によって物理性が悪化しても生育に影響を与えなかったものと推察される。今後、連続不耕起栽培を普及させるためには、排水性、保水性といった土壌物理性が不良な土壌において試験を実施し、土壌物理性と生育への影響を調査することが望ましい。

また、今回は夏作型としてスイートコーンの連作を行ったが、道内の施設園芸においてはトマトやメロンなどが夏作型の作目として主流であり（北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会, 2024）、これらを夏作型として組み込んだ連続不耕起栽培の実証も必要と考えられる。さらに、臼木ら（2005）は連続不耕起によりトウモロコシやエンバ

クのアースキュラー菌根菌の感染が高まり、養分吸収が促進されると報告している。本試験ではレタスとスイートコーンは宿主だが、チンゲンサイは宿主ではないため、早春作型でも宿主となる品目を選べば、養分吸収や水吸収、生育を増強させることが可能となるかもしれない。

さらに、筆者らは冬作型（岡元ら，2021），早春作型（岡元ら，2022）における生育、養分吸収を調査しているが、これらの作型に対する施肥標準量はまだ確立していない。施設園芸の窒素施肥については、堆肥連用時（林・日笠，2017）や下層土診断（林ら，2010）により窒素施肥量を削減できることが報告されているが、周年作付け体系を行う上では、各作型、施用時期によって肥効が異なることが想定されるため、今後は各作型別の有効な施肥時期についても解析した上で、冬作型、早春作型も含めた施肥法の確立が求められる。

なお、今回の試験では適宜防除を行ったこともあり目立った病害虫の発生はなかったが、表層の土壌が攪拌されないことにより病害虫リスクが高まる可能性が想定される一方で、不耕起によって根の健全度が上がり病気への耐性が高まったという報告（成田ら，2001）もある。今後は、周年作付け体系における病害虫の発生リスクとその防除法、さらに連続不耕起栽培が病害虫に及ぼす影響についても検証が必要である。

以上のことから、本試験のような土壌、作型、品目での周年作付け体系においては連続不耕起栽培は実用技術として利用できる可能性が高いと考えられた。しかしながら、土壌条件や品目によっては導入が難しい場面が否定できないため、今後は他土壌、他品目でも適用できるか、慎重に見極めることが求められる。また、土壌物理性、土壌化学性への影響の詳細な調査を行い、不耕起栽培に適した施肥方法を提案することが求められる。

5. 摘要

無加温パイプハウスを用いた野菜周年作付け体系において、冬作型（リーフレタス）から早春作型（チンゲンサイ）、夏作型（スイートコーン2連作）と1年間耕起を行わない連続不耕起栽培の導入を試みた。不耕起区は後の作型になるにつれ、耕起区と比較して根系発達が阻害され、土壌物理性が悪化する傾向を示したが、耕起区と同等の生産性を示した。本試験の土壌と作目においては、連続不耕起栽培法

の導入は可能と考えられる。

6. 引用文献

- 1) 川上知子・浅井信一・末留 昇・三村 裕 (2012) ミズナの不耕起連続栽培. 京都農林セ研報 35 : 11-24
- 2) 林 拓 (2011) 北海道における不耕起栽培. 日草誌 57 : 162-166
- 3) 林 哲央・日笠裕治・中住晴彦 (2010) ハウス土壌の下層土診断による窒素施肥改善. 土肥誌 75 : 617-621
- 4) 林 哲央・日笠裕治 (2017) 北海道の施設トマト栽培における牛糞堆肥施用時の窒素施肥量の削減. 土肥誌 88 : 234-237
- 5) 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会 (2024) 北海道野菜地図 47. p1-2, 39-42, 89-90, 133-136
- 6) 北海道農政部 (2020) IV園芸作物. 北海道施肥ガイド 2020, p77-178
- 7) 北海道立中央農業試験場 (1993) 上川支庁. 道立農試資料 21 : 39-49
- 8) 北海道立総合研究機構農業研究本部 (2012). 土壌・作物栄養診断のための分析法 2012. 北海道立総合研究機構農業研究本部. 長沼, <https://www.hro.or.jp/list/agricultural/center/bunseki2012/index.html> [2024年8月11日参照]
- 9) 北海道立上川農業試験場 (1997) 地力保全基本調査による北海道の耕地土壌図. 北海道立総合研究機構農業研究本部. 長沼, <https://www.hro.or.jp/upload/20517/HAF19T.pdf> [2024年8月7日参照]
- 10) 地子 立・岡元英樹 (2020) 葉菜類の冬春連続無加温栽培における2作目不耕起定植の試み. 北園談 54 : 28-29
- 11) 地子 立・高濱雅幹 (2021) 北海道北部の積雪地域における無加温パイプハウスを利用したコマツナの厳冬期生産. 道総研農試集報 105 : 81-88
- 12) 地子 立・岡元英樹 (2022) 無加温パイプハウスの周年利用体系に対応した葉菜類の早春まき作型. 北農 89 : 25-31
- 13) 森 哲朗・小川和夫 (1968) 土壌空気と作物の生育. 土壌の物理性 19 : 13-19
- 14) 森田総一郎・中尾誠司・菅野 勉 (2012) トウモロコシ (*Zea mays* L.) 不耕起播種栽培におけ

る土壌物理性が播種精度および初期生育に及ぼす影響. 日草誌 57 : 185-189

- 15) 長坂克彦・渡辺 淳・山崎修平・馬場久美子・加藤知美 (2016) 山梨県富士山麓地域におけるスイートコーンを期間とした3作1回施肥法の確立. 山梨総農セ研報 8 : 21-27
- 16) 南條正巳 (1997) 12.可給態リン酸. 土壌環境分析法 (日本土壌肥料学会監修), 博友社, 東京, p267-273
- 17) 成田久夫・藤本豊秋・津田薫 (2001) 夏秋トマトの隔年不耕起栽培法. 岐阜中山間農研報 1 : 19-29
- 18) 岡元英樹・地子 立・古山真一・藤倉潤治 (2021) 冬季無加温栽培におけるコマツナの生育および養分吸収特性. 北農 88 : 309-319
- 19) 岡元英樹・地子 立・高濱雅幹 (2021) 野菜の無加温周年栽培体系における不耕起定植導入の試み. 北園談 55 : 22-23
- 20) 岡元英樹・地子 立・古山真一・藤倉潤治 (2021) 無加温パイプハウスの周年利用体系に対応した早春まき葉菜類の生育, 養分吸収と内部品質. 北農 89 : 32-42
- 21) 大谷隆二・西崎邦夫・柴田洋一・横地泰宏 (1997) 無代かき水稻直播栽培に関する研究 (第3報) —不耕起播種技術の開発—. 農業機械学会誌 59 : 73-81
- 22) 篠遠善哉・丸山幸夫・松波寿典・大谷隆二 (2018) 黒ボク土の水田転換畑におけるブラウ耕がトウモロコシの根の出液速度および根系分布に及ぼす影響. 根の研究 27 : 10-16
- 23) 高濱雅幹 (2021) 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術—第2報—道南地域におけるレタス類. 北農 88 : 220-226
- 24) 辻 博之・山本泰由・松尾和之・臼木一英 (2002) 火山性土壌畑におけるラッカセイ, トウモロコシ, ダイズの根系に及ぼす不耕起栽培の影響. 根の研究 11 : 43-49
- 25) 月時和隆・山本幸彦・渡辺幸恵 (1996) 夏秋季採りチンゲンサイの生育に及ぼす温度, 遮光の影響. 福岡農総試研報 15 : 45-48
- 26) 臼木一英・山本泰由・田澤純子・辻 博之・松尾和之 (2005) 耕起法の違いがアーバスキュラー菌根菌の感染およびトウモロコシとエンバクの生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 74 : 417-421

- 27) 山崎慎一 (1997) B.原子吸光法. 土壌環境分析法 (日本土壌肥料学会監修), 博友社, 東京, p176-179

7. 付記

本報の概要は北農第 91 巻第 4 号に掲載したものである。

第四章 周年生産技術のための資材、施設とその経済性

第一節 無加温パイプハウスの保温性向上

1. はじめに

厳冬期に外気温が -26.8°C まで低下しても一般的な農業用フィルムを四重被覆したパイプハウス内では最低気温が -3.3°C で下げ止まり、灯油ボイラーなどの加温機を使用しない無加温条件であっても極めて高い保温効果が得られることが明らかとなった（地子，高濱 2021）。これにより耐寒性の強い品目を選定すれば、寒さの厳しい北海道であっても冬季に野菜を無加温生産できる可能性が示され、チンゲンサイ，リーフレタス，小カブ等，種々の葉根菜類の冬季無加温栽培技術が開発された（高濱，2021；高濱ら，2021a；高濱ら，2021b）。

北海道には陸別町，和寒町等，年間最低気温が -30°C に達する地域がある（国土交通省気象庁，2021）。そこで本研究では道内広域での葉根菜類の冬季無加温栽培実施に向けて，無加温パイプハウスに対して保温性の向上が期待できる3つの手法（1）トンネルの被覆資材および被覆方法，2）水蓄熱資材，3）ハウス周辺部への断熱資材の埋設処理）について検討を行ったので報告する。

2. 試験方法

1) トンネルの被覆資材および被覆方法

2か年の試験を上川農試で実施した。

(1) 2017年度試験

空気膜構造二重フィルム，内張りフィルムを装備した幅 6.3 m，長さ 30.4 m のパイプハウスを供試した（図 4-1-1）。供試したトンネル被覆資材を表 4-1-1 にまとめた。トンネルの被覆方法は一重被覆を基本としたが，「ハイホット」のみ二重被覆処理も実施

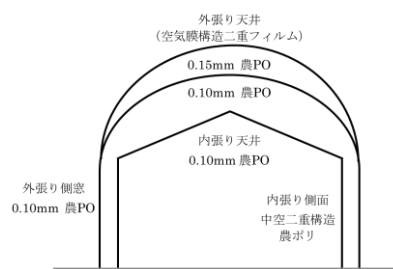


図 4-1-1 供試ハウスの保温装備

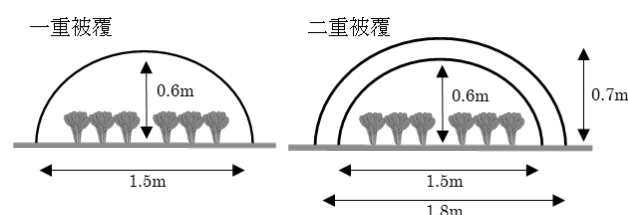


図 4-1-2 トンネルの被覆方法

した（図 4-1-2）。なお，全ての処理区には 2017 年 10 月上旬にコマツナを直播し，2018 年 1 月下旬まで栽培した。

試験規模は 1 区 4.5 m^2 （長さ 3 m，幅 1.5 m），反復なしとした。播種後は自動巻き上げ機によりパイプハウス内の気温（20 cm 高）が 25°C 以上に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように設定したが，11 月の降雪後からは閉め切り管理とした。11 月 20 日以降は 2018 年 1 月 9 日まで夕方（16 時前後）から翌朝（9 時前後）にかけて内張りフィルムを閉め切り，各処理区のトンネル資材を被覆した。さらに一部の処理区のみ 1 月 26 日まで試験処理を延長した。

トンネル内の気温は温度データロガー「おんどとり Jr.RTR-502（株式会社 T&D）」を処理区中央の地上 20 cm 高に設置し，1 時間毎に記録した。外気温は温度データロガー「おんどとり Jr.RTR-507（株式会社 T&D）」をハウス近傍の地上 3.5 m 高に設置し，10

表 4-1-1 トンネル被覆資材

資材名	種類	取扱メーカー	重量 (g/m^2)
ハイホット (0.10mm) ^{a)}	農ビ	タキロンシーアイ (株)	139
パールメイト ST (0.075mm)	農ビ (散乱光タイプ)	タキロンシーアイ (株)	107
アグリスター (0.10mm)	農PO	三菱ケミカルアグリドリーム (株)	113
スカイコート5エアプラス (0.10mm)	農PO	タキロンシーアイ (株)	104
Luxous 1243D	遮光・遮熱・保温資材	(株)誠和 (スウェーデンSvensson社製)	67
Tempa 6562D	保温資材	(株)誠和 (スウェーデンSvensson社製)	73
ホカホカサンシート	多層構造資材	カネコ種苗 (株)	142
エナジーキーパーR	多層構造資材	東京インキ (株)	218
エナジーキーパー	多層構造資材	東京インキ (株)	398

a) () 内は厚さを示す。

分毎に記録した。

(2) 2018 年度試験

前年度と同じハウスを供試し、試験処理は3水準（「ハイホット」の一重被覆および二重被覆処理、「エナジーキーパー」の一重被覆処理）とした。11月22日以降は2019年1月29日まで夕方（16時前後）から翌朝（9時前後）にかけて内張りフィルムを閉め切り、かつ各処理区にトンネル資材を被覆した。気温の測定方法も前年度と同様に実施した。また、各処理区では前年度と同様にコマツナを栽培した。

2) 水蓄熱資材

道南農試にある外張りフィルムと内張りフィルムを装備した幅6.3m、長さ30mのパイプハウス内で試験を実施した。試験規模は1区4.5m²（長さ3m、幅1.5m）、2反復とした。各処理区には2018年10月上旬にリーフレタスを定植し、2019年2月上旬まで栽培した。

定植後は自動巻き上げ機によりパイプハウス内の気温（20cm高）が25℃以上に到達すると外張りの側窓フィルムを開放するように設定した。11月5日に内張りフィルムを設置し、閉めきり管理とした。

供試した水蓄熱資材を表4-1-2にまとめた。折径や色の異なる資材3種類のほか、水蓄熱資材無設置区（無処理区）を準備した。資材に封入する水量は折径に応じて最大容量の80%の充填率となるように調整した（例：折径200mmの場合、円周400mmで、最大断面積は真円として127cm²となり、資材1mあたりの容量は12.7Lとなるため充填率80%の水量をおよそ10Lと算出した）。

12月10日にベッド両サイドに水蓄熱資材を設置し、その外側に水蓄熱資材と被覆する農ビフィルムが直接触れないようにトンネルを準備した（図4-1-3）。12月12日～2019年2月7日の夕方（15時過ぎ）から翌朝（8時前後）にかけてトンネル資材を被覆した。処理区中央の気温をデータロガー

「TR-71（（株）T&D）」をそれぞれ地上20cm高に設置し、1時間毎に記録した。外気温はアメダス（北斗）のデータを用いた。

表 4-1-2 供試した水蓄熱資材

資材名	種類	取扱メーカー	規格（厚さ×折径） （mm）	水量 （L/m）	資材色
ハウスの枕	非公表	北一化学（株）	0.2×200	10	黒
ホットマルチ	農PO	タキイ種苗（株）	0.07×200	10	透明（天面）/黒（底面）
TS温水フロー	非公表	シーアイ化学（株）	0.2×140	5	黒

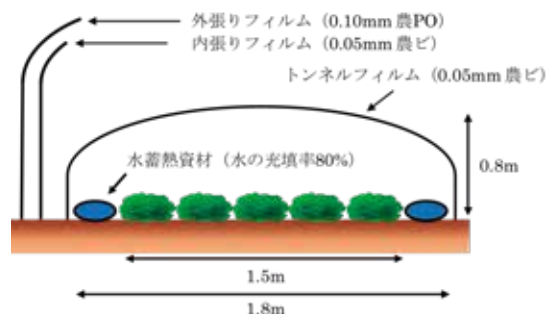


図 4-1-3 水蓄熱資材の設置方法

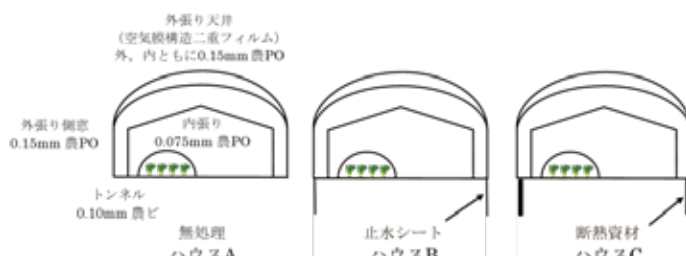


図 4-1-4 パイプハウスの保温装備と供試資材の埋設位置

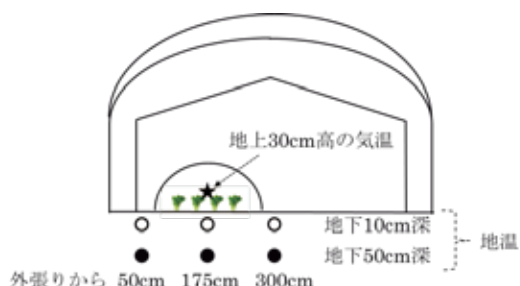


図 4-1-5 地温および気温の測定位置

3) ハウス周辺部への断熱資材の埋設処理

2か年の試験を花・野菜技術センター（滝川市）で実施した。

(1) 2017 年度試験

空気膜構造二重フィルム、内張りフィルムを装備した幅6.0m、長さ20mの3つの同型パイプハウスを供試した（図4-1-4）。ハウスBの周辺部には厚さ0.15mmの止水シート（三菱ケミカルアグリドリーム（株））を、ハウスCの周辺部には厚さ30mmの断熱資材（「カネライトフォームスーパーE-I」、（株）カネカ）を地下45cmまで埋設した。なお、前述の試験処理とは別に、共通の止水対策として全ての供試ハウスの裾（周辺部）に厚さ0.15mmの農POフィルムを地下20cmまで埋設した。

試験規模は1区4.5m²（長さ3m、幅1.5m）、反復なしとし、2017年10月上旬に各処理区へコマツナを直播し、2018年1月下旬まで栽培した。11月23日にトンネルを設置し、農ビフィルム（厚さ0.1

mm) の開閉作業を適宜行った。播種後は自動巻き上げ機により内張り内の気温（地上 150 cm 高）が 25℃以上に到達すると外張りおよび内張りの側窓フィルムを開放するように設定したが、12 月 9 日以降は閉め切り管理とした。

外張りフィルムから 50 cm (内張りフィルムの端)、175 cm (トンネル中央)、300 cm (ハウス中央) の地下 10 および 50 cm 深に T 型熱電対を設置し、2017 年 11 月 25 日～2018 年 1 月 23 日の各地点の地温を 1 時間毎に記録した (図 4-1-5)。また、トンネル内の気温も外張りから 175 cm の地点において、地上 30cm 高に T 型熱電対を設置して 1 時間毎に記録した。

(2) 2018 年度試験

年次反復試験のため前年度と同じパイプハウスを供試し、同様の試験処理を実施した。トンネルは前年よりも早い 10 月 29 日に設置し、開閉作業を適宜行った。コマツナの播種後は自動巻き上げ機により内張り内気温（150 cm 高）が 25℃以上に到達すると外張りおよび内張り側窓フィルムが開くように設定したが、外張りフィルムについては 11 月 20 日以降閉め切り管理とした。前年度と同様の方法で 2018 年 10 月 27 日～2019 年 1 月 23 日の地温とトンネル内気温を測定した。また、各処理区内にも前年度と同様にコマツナを栽培した。

3. 結果

1) トンネルの被覆資材および被覆方法

2017 年度の 11 月 20 日～1 月 9 日の夜間最低気温の平均値を表 4-1-3 に示した。既報 (地子・高濱, 2021) で用いた農ビフィルム「ハイホット」の一重被覆処理 (1.9℃) よりも夜間の平均最低気温が 1.0 度以上高く、効果があると判断できた処理は「エナジーキーパー」の一重被覆処理 (3.2℃) と「ハイホット」の二重被覆処理 (2.9℃) の 2 処理のみであった。そこで 2017 年度はこれら 2 処理と「ハイホット」の一重被覆のみを残し、2018 年 1 月 26 日まで気温の

測定を継続した。

2017 および 2018 年度の 2 か年で得られた 3 処理 (「ハイホット」の一重被覆および二重被覆処理、「エナジーキーパー」の一重被覆処理) における夜間の最低外気温とトンネル内最低気温の関係を解析したところ、「ハイホット」の二重被覆処理の結果を代表して図 4-1-6 に示したように、夜間の最低外気温を説明変数 x 、トンネル内最低気温を目的変数 y とした単回帰式がそれぞれ得られ、その寄与率 R^2 は 0.581～0.680 であった (表 4-1-4)。そこで得られた推定式を用いて外気温が -15℃、-20℃、-25℃、-30℃となった場合のトンネル内の気温を推定した。外気温が -15℃の条件では全ての試験処理でトンネル内を 0℃以上に維持できると推定された。しかし、外気温が -20℃まで低下した場合にはトンネル内を

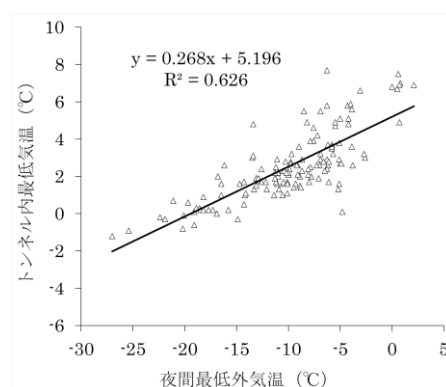


図 4-1-6 夜間最低外気温とトンネル内最低気温との関係 (2017 および 2018 年度の「ハイホット」の二重被覆処理のデータを用いた解析結果)

表 4-1-3 夜間最低気温 (2017 年度)

被覆方法	トンネル被覆資材	夜間最低気温 (℃)
		11月20日～1月9日平均
一重被覆	ハイホット	1.9
	パールメイトST	1.5
	アグリスター	1.8
	スカイコート5エアブラス	1.9
	Luxous 1243D	1.0
	Tempa 6562D	1.8
	ホカホカサンシート	2.3
	エナジーキーパーR	2.0
二重被覆	エナジーキーパー	3.2
	ハイホット	2.9
外気温	-	-8.9

2) 外気温は夜間のハウス外最低気温 (地上 3.5m 高) を、外気温以外は 16 時～8 時までの時間帯のトンネル内最低気温 (地上 20cm 高) を示す。

表 4-1-4 トンネル内最低気温の推定

被覆方法	トンネル被覆資材	単回帰分析より得られた推定式 ^{a)}	寄与率 (R^2)	推定されたトンネル内気温 (℃)			
				外気温 -15℃ の場合	外気温 -20℃ の場合	外気温 -25℃ の場合	外気温 -30℃ の場合
一重被覆	ハイホット	$y = 0.283x + 4.498$	0.680	0.3	-1.2	-2.6	-4.0
	エナジーキーパー	$y = 0.262x + 5.395$	0.581	1.5	0.2	-1.2	-2.5
二重被覆	ハイホット	$y = 0.268x + 5.196$	0.626	1.2	-0.2	-1.5	-2.8

a) 2017 年 11 月 20 日～2018 年 1 月 26 日および 2018 年 11 月 22 日～2019 年 1 月 29 日のデータを用いた単回帰分析の結果、説明変数 x は夜間の最低外気温、目的変数 y はトンネル内最低気温を示す。

表 4-1-5 水蓄熱資材設置による夜間のトンネル内最低気温

水蓄熱資材	夜間最低気温 (°C) ^z			
	12月12日～ 12月25日	12月26日～ 1月8日	1月9日～ 1月22日	1月23日～ 2月7日
	平均	平均	平均	平均
ハウスの枕	1.5	0.2	0.4	0.7
ホットマルチ	1.3	0.2	-0.1	-0.4
TS温水フロー	1.3	0.0	-0.3	-0.4
無処理	1.4	0.1	-0.2	-0.2
参考) 外気温	-2.6	-3.1	-3.3	-5.4

^z) 外気温はAMEDAS (北斗) のデータを、外気温以外は16時～8時までの時間帯のハウス内張またはトンネル内最低気温 (地上高20cm) を示す。

表 4-1-6 水蓄熱資材使用時のトンネル内最低気温の推定

水蓄熱資材	単回帰分析より得られた推定式 ^a	寄与率 (R ²)	推定されたトンネル内気温 (°C)		
			外気温-5°C の場合	外気温-10°C の場合	外気温-15°C の場合
ハウスの枕	$y = 0.3335x + 2.8521$	0.660	1.2	-0.5	-2.2
無処理	$y = 0.3536x + 2.4898$	0.637	0.7	-1.0	-2.8

^a) 2018年12月12日から2019年2月7日のデータを用いた単回帰分析の結果、説明変数xは夜間の外気温、目的変数yは夜間のトンネル内気温を示す。

表 4-1-7 地中断熱処理がハウス内の平均地温 (°C) ^z に及ぼす影響

処理	測定位置	外張りフィルムからの距離 (cm)					
		2017年度			2018年度		
		50	175	300	50	175	300
無処理	地下10cm深	4.6	7.8	7.0	7.1	10.3	9.5
止水シート		5.4	8.6	7.5	7.5	10.6	9.7
地中断熱資材		5.4	8.3	7.6	7.6	10.8	9.9
無処理	地下50cm深	6.2	9.5	9.8	9.0	12.4	12.6
止水シート		7.1	9.2	10.1	9.4	12.7	12.6
地中断熱資材		7.2	10.2	10.1	9.6	12.6	12.7

^z) 平均地温はそれぞれ2017年度については2017年11月25日～2018年1月23日までの、2018年度については2018年10月27日～2019年1月23日までの平均値を表す。

表 4-1-8 地中断熱処理がトンネル内の気温 (°C) ^z に及ぼす

処理	2017年度			2018年度		
	平均気温	最低気温		平均気温	最低気温	
		平均	最小値		平均	最小値
無処理	6.6	2.3	-1.2	9.2	4.9	-0.5
止水シート	7.0	2.4	-1.1	9.6	5.1	-0.4
地中断熱資材	7.0	2.6	-1.0	9.5	5.0	-0.7

^z) 気温はそれぞれ2017年度については2017年11月25日～2018年1月23日までの、2018年度については2018年10月27日～2019年1月23日までの平均値と測定値を表す。

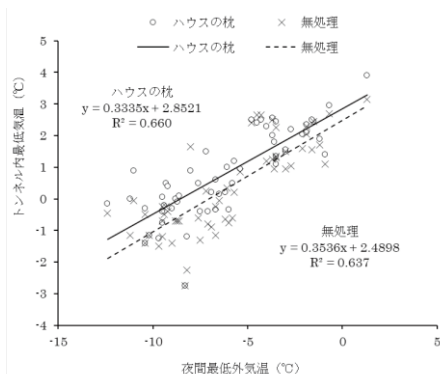


図 4-1-7 夜間最低外気温とトンネル内最低気温の関係

0°C以上に維持できると推定された試験処理は「エナジーキーパー」の一重被覆のみであった。また、外気温が-25°Cを下回るような条件では全ての試験処理においてトンネル内は氷点下になると推定された。

既報 (地子・高濱, 2021) では外気温が-26.8°Cの時にトンネル内の気温は-3.3°Cを示した。そこで今回得られた推定式を用いて外気温が-26.8°Cとなった場合のトンネル内気温を算出したところ、前回と同じ保温条件となる「ハイホット」の一重被覆では-3.1°Cと推定され、前回の実測値とほぼ同様な値を示した。また、「ハイホット」の二重被覆では-2.0°C、「エナジーキーパー」の一重被覆では-1.6°Cと推定され、「ハイホット」の一重被覆と比較してそれぞれ 1.1°C, 1.5°C高い値を示した。

2) 水蓄熱資材

12月12日～2月7日における水蓄熱資材設置時の夜間のトンネル内最低気温は「ハウスの枕」が無処理より高めに推移し、特に1月9日以降は0.6～0.9°C高い傾向にあった。「ホットマルチ」および「TS温水フロー」には無処理との間に明瞭な処理間差は認められなかった (表 4-1-5)。そこで、以下の解析では「ハウスの枕」と無処理のみを対象とした。

夜間最低外気温と水蓄熱資材設置時のトンネル内最低気温の関係を明らかにするために12月12日～2月7日のデータを用いて分析を行ったところ、夜間最低外気温を説明変数x、トンネル内最低気温を目的変数yとした単回帰式でいずれも寄与率0.6以上で説明できることが示された (図 4-1-7)。

そこで、「ハウスの枕」と無処理から得られた推定式を用いて、外気温が-5°C, -10°C, -15°Cとなった場合のトンネル内気温を推定した (表 4-1-6)。その結果、外気温が-5°Cであれば水蓄熱資材の有無によらず、トンネル内気温を0°C以上に維持できると推定された。しかし、外気温が-10°C以下になると水蓄熱資材を設置してもトンネル内気温を0°C以上に維持することは難しいと考えられた。また、この解析からも「ハウスの枕」を用いた際のトンネル内気温は無処理よりも高く、0.5～0.6°C程度の保温効果が得られると推定された。

3) ハウス周辺部への断熱資材の埋設処理

(1) 2017年度試験

ハウス周辺部に止水シートや断熱資材を埋設す

ると、2 か年ともに外張りフィルムから 50 cm の地点において地温の上昇傾向が認められたが、その保温効果は地下 10 cm 深で 0.4~0.8℃程度、地下 50 cm 深で 0.4~1.0℃程度であった（表 4-1-7）。一方、外張りフィルムから 175 および 300 cm の地点における保温効果は 50 cm 地点よりも小さくなる傾向にあり、特に 2018 年度の地下 50 cm 深では処理間差がほぼみられなかった。

2 か年ともに止水シートと断熱資材のトンネル内平均気温は無処理よりも 0.3~0.4℃程度高かったが、最低気温平均、最低気温最小値には明瞭な処理間差が認められなかった（表 4-1-8）。

4. 考察

1) トンネル被覆資材および被覆方法

今回は葉根菜類の冬季無加温栽培において高い保温性を示すトンネル被覆資材を求めて8種類の資材を供試したが、ほとんどの資材において農ビ（「ハイホット」）の一重被覆トンネルの夜間最低気温を 1.0℃以上上回るような効果は得られなかった。しかしながら、その中で最も保温効果が高かった資材は「エナジーキーパー」で、外気温が-15℃を下回る場合は 1.0~1.2℃程度の保温性の向上が見込めると推定された。本資材はいわゆる「布団資材」と称される多層構造資材に分類される。それゆえ「ハイホット」と比較すると資材そのものの重量が重く（表 4-1-1）、トンネル開閉時の作業性は明らかに劣った。また、資材コスト自体が高く、「ハイホット」の 15 倍以上の価格帯であったため、作業性とコスト面から生産現場への導入は難しいと判断した。一方、「エナジーキーパー」の保温性には若干劣るものの、農ビの「ハイホット」を二重被覆したトンネルであっても外気温が-15℃を下回る場合には 0.9℃以上の保温性の向上が見込めると推定された。二重被覆となるためトンネルの開閉作業が一重被覆よりも劣る点是否めないものの、農ビは生産現場のトンネル被覆資材として一般的に使用されており、かつ「エナジーキーパー」よりも安価に導入できるため、トンネルの保温性向上を目指した実用技術としては最も現実的であると考えられた。

農業用資材の多重被覆、多層化の研究は古くから行われており、被覆資材の数が増え、多層化されればされるほど温室の保温性が向上することが報告されている（小倉ら、1987；岡田、1981）。したがって、トンネルの二重被覆により、ハウスの保温装

備を四重被覆から五重被覆にすることで保温性を向上させる手法は最もシンプルで生産現場にも受け入れやすい技術と言える。

なお、既報（地子・高濱、2021）では一般的な農業用フィルムの多層化により無加温パイプハウスであっても厳冬期に高い保温性が得られること、また、ハウス内の最低気温は夜間の最低外気温を用いて予測できることが報告されている。本試験においてもほぼ同様の結果が得られたことから、前述の報告が普遍性の高い試験結果であったことも再確認できた。

2) 水蓄熱資材

トンネル内に水が封入された袋を設置すると日中に温まった水から起こる放熱により夜間のトンネル内の気温の低下が抑えられることが報告されている（今ら、1983）。この効果を利用してパイプハウス周辺部の気温の低下を防ぐ資材として春先の水稻育苗ハウス等で使う水蓄熱資材がすでに複数市販されていることから（表 4-1-2）、農業分野では水蓄熱資材は保温性を向上させる資材として認知されていると言える。しかしながら、北海道の冬季無加温パイプハウス内でその効果を評価した事例はない。そこで、本試験では市販の農業用水蓄熱資材が北海道の冬季無加温パイプハウス内で保温効果を発揮できるか否かを評価した。

今回は 3 種類の市販資材を供試したが、最も保温効果の高かった資材（「ハウスの枕」）であっても 0.5~0.6℃程度の保温効果しか得られず、前述したトンネルの二重被覆で得られた効果よりも劣った。水蓄熱資材の保温効果を得るためには日中の日射により資材内に封入した水の水温を上げて蓄熱する必要があるが、本試験期間中（2018 年 12 月 11 日~2019 年 2 月 7 日）の北斗市の日照時間は 143 時間で、実際に水稻育苗で使用されている春先（2019 年 4 月 21 日~5 月 31 日）の 353 時間と比較すると日照時間が 59%以上少なかった（国土交通省気象庁、2021）。このため資材への日射が少なく、十分な蓄熱が行われなかったため期待していた保温効果が得られなかったのではないかと考えられた。

水を封入した資材を 50 m の長さのパイプハウスで使用することを想定すると、その重量は 1 本当たり 500 kg となるため、一度設置すると資材の移動が困難である。また、圃場に傾斜がある場合は封入した水が低い場所へ移動するため、事前に圃場をある

程度均平に整える必要がある。このように水蓄熱資材は取り扱いにやや難がある資材であり、さらに設置に要する面積相当の作付が減少するというデメリットも考慮すると、積極的に導入する価値は低く、冬季無加温パイプハウスの保温性向上技術として利用する価値は低いと判断した。

3) ハウス周辺部への断熱資材の埋設

地中に断熱資材を埋め込み、室内の保温性を向上させる技術は建築分野では寒冷地の住宅などの既存技術として実用化されている(福島・入江, 1995; 岩前ら, 2003; 北谷ら, 2001)。そこで、本試験では北海道の冬季無加温パイプハウスにおいてハウス周辺部に断熱資材を埋設することでパイプハウス内の保温性が向上するか否かを検討した。

市販の断熱資材を埋め込み、2 年間の試験を実施したが、ハウス内の地温への影響は小さく、トンネル内の気温に関しては最低気温を底上げするような保温効果が認められなかった。断熱資材の地中埋設処理による保温効果は止水シートのそれと同等だったことから、地中断熱による保温効果は融雪水の侵入を防いだことが原因と考えられた。

今回実施した断熱資材の地中埋設処理の方法では保温効果が小さいことから、冬季無加温パイプハウスの保温性向上技術としては実用的ではないと判断した。また、地中 45 cm 深への地中埋設処理には多大な労力も要した。断熱資材等の地中埋設の施工にかかる費用および労力の観点からも、今回実施した方法は生産現場では実用的ではないと考えられた。

5. 摘要

冬季無加温パイプハウスの保温性向上に向け、1) トンネルの被覆資材および被覆方法、2) 水蓄熱資材、3) ハウス周辺部への断熱資材の埋設処理について検討した。トンネル被覆に関しては農ビフィルムを二重に被覆することで、一重被覆のトンネルよりも保温性が向上した。冬季の低日射条件下では水蓄熱資材をハウス内に設置しても十分な保温効果が得られず、ハウス周辺部への断熱資材の埋設処理もその効果は小さかった。

6. 引用文献

- 1) 福島 明・入江雄司(1995), 寒冷地における基礎断熱した床下空間の温湿度環境特性, 日本

建築学会計画系論文集, 478, 17-22

- 2) 岩前 篤・永井久也・鈴木大隆・北谷幸恵(2003), 基礎断熱住宅の基礎部からの熱損失の定量的評価, 日本建築学会環境系論文集, 567, 37-42
- 3) 地子立・高濱雅幹(2021), 北海道北部の積雪地域における無加温パイプハウスを利用したコマツナの越冬期生産, 北海道立総合研究機構農業試験場集報, 105, 81-88
- 4) 北谷幸恵・月舘 司・福島 明・鈴木大隆・入江雄司(2001), 北海道における戸建住宅の基礎断熱併用スカート断熱工法の適用に関する検討, 日本建築学会技術報告集, 12, 115-118
- 5) 国土交通省気象庁, 各種データ・資料, 過去の気象データ検索,
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
(2021 年 6 月 30 日閲覧)
- 6) 今 久・羽生寿郎・中山敬一(1983), 栽培用トンネル内の微気候に関する研究 II, 水封チューブの蓄熱量と保温効果, 千葉大学園芸学部学術報告, 32, 31-36
- 7) 小倉祐幸・向井隆司・加藤哲也(1987), 一重四層被覆ハウスの保温性, 生物環境調節, 25, 165-172
- 8) 岡田益己(1981), 無加温温室におけるカーテンの保温性の解析, 農業気象, 37, 221-230
- 9) 高濱雅幹(2021), 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術-第 2 報-道南地域におけるレタス類, 北農, 88, 220-226
- 10) 高濱雅幹・地子 立・古山真一(2021a), 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術-第 4 報-道南および道北地域における紫ミズナおよびカラシナ類, 北農, 88, 235-245
- 11) 高濱雅幹・岡元英樹・地子 立(2021b), 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術-第 3 報-道南および道北地域における小カブおよびチンゲンサイ, 北農, 88, 227-234

7. 付記

本報の概要は北農第 88 巻第 4 号に掲載したものである。

第二節 無加温パイプハウスの保温装備マップと耐雪強度マップ

1. はじめに

農業用のパイプハウス（以下「ハウス」という。）には、水稻育苗用の簡易なハウスから、越冬加温栽培に使用される重装備のハウスまで、様々な仕様が存在する。しかしこれまでハウスの仕様に関する明確な指針はなく、経験的にハウスの構造を選択しているのが実態と考えられる。

今回、無加温による葉根菜類周年栽培技術を構築するにあたり、冬季の保温性能及び積雪対策の観点から、道内各地の気象条件に応じて要求されるハウスの仕様を検討し、「保温装備マップ」、「耐雪強度マップ」として整理した。

2. 保温装備マップ

(1)検討概要

冬期無加温栽培が可能とされている葉根菜類の多くは氷点下数℃まで耐えることができるが、限界を超えた低温にさらされると、凍結による葉の壊死など品質に著しい影響を及ぼす障害が発生する。

一方、ハウスは冬季でも日射が入ると容易に室温が上昇するが、日没後は昼間暖められた地面からの放熱によりしばらく外気温より高い状態が持続するものの朝方には冷え切り、被覆が一重の場合は、ほとんど外気温と同じになるまでハウス内の気温が低下する。

したがって、寒冷な北海道で葉根菜類を冬季に無加温で栽培する場合には、多層被覆によって、地面に蓄えられた熱をなるべく外部に逃げないように

し、朝方の気温を外気温より高く維持することが不可欠である。

そこで、試験ハウスにおける実測にもとづき、気象条件とハウス仕様からハウスの最低気温を予測する計算モデルを作成し、道内各地域において最低気温確保の観点から必要とされる保温装備を明らかにした。

(2)数値解析モデルの構築と検証

まず、外部気象を入力条件として時々刻々のハウス内各部位の気温を予測するための数値解析モデルを作成した。無加温時のハウス内最低気温には特に地盤の気温が影響するため、地盤についてはハウス内外の地中を通じた熱移動を考慮できる三次元伝熱モデルとした。また、熱容量（温まりにくさ、冷めにくさを示す値）、地表面における水分の蒸発や地盤内部の凍結、屋外の積雪深も気温に影響するため、これらを考慮できるモデルとした。日射と長波長放射については粒子追跡法により各面の吸収率等を求めた。

数値解析モデルの検証のため、上川農業試験場、花・野菜技術センター、道南農業試験場の各試験ハウスにおける実測値との比較を行った。

図 4-2-1 に上川農業試験場の試験ハウスにおける実測値と計算値の比較結果を示す。日最低外気温が -20℃程度となる日に計算値の方が低い日もあるが、概ね実測値を再現できている。他の試験ハウスにおいても、ハウスの形状や地盤の物性値を実態に応じて入力することで、同様に実測値と計算値の良好一致が得られた。

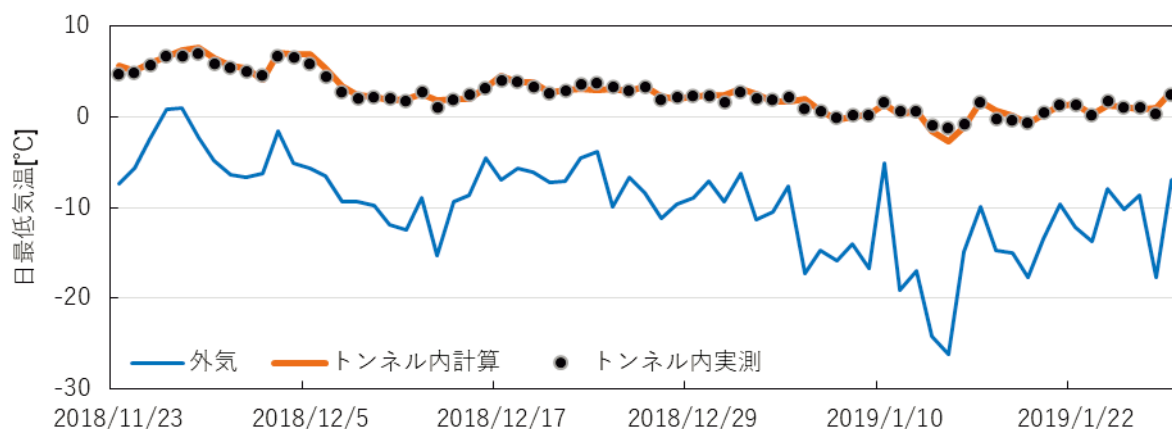


図 4-2-1 実測値と計算値の比較

(屋根：空気膜二重、側面：一重、内張り：カーテン一層、トンネル：二重)

(3)重回帰式の作成

前項の数値解析モデルを用いれば、気象データから時々刻々のハウス内気温を予測することができ、保温装備のマップ化のためには膨大な計算が必要となる。一方で、必要とする情報は、冬季間におけるハウス内の最低気温である。そこで、道内代表地点（27 地点）の計算結果にもとづき、「年最低外気温」「12～2 月の日平均日射量」を説明変数、「ハウス内の年最低気温」を目的変数とする重回帰式を求めた。重回帰式は式(1)で表現される。

$$\theta_T = aCS + b\theta_o + c = b\theta_s + c \dots (1)$$

ここで、 $\theta_s = \theta_o + aCS/b$ 、 θ_T : ハウス内の年最低気温、C: 日射補正係数、S: 12～2 月の日平均日射量、 θ_o : 年最低外気温、 θ_s : 相当外気温、a,b,c: 係数（表 4-2-2）

計算を実施したハウスのモデルを表 4-2-1 に示す。ハウスの屋根部分、側面、トンネルの被覆仕様を変更して 6 種類のモデルを想定した。モデルの数値の

表 4-2-1 保温装備の分類と計算条件

保温装備	モデル	パイプハウス屋根部分	パイプハウス壁面	トンネル
I	1	フィルム一重	フィルム一重	なし
II	2	フィルム二重	フィルム一重	なし
III	3	フィルム二重	フィルム一重	フィルム一重
IV	4	フィルム二重+内張	フィルム二重	フィルム一重
V	5	フィルム二重+内張	フィルム二重	フィルム二重
VI	6	フィルム二重+内張	フィルム二重	断熱資材

【熱コンダクタンス】 フィルム一重: 200W/(m²・K)、フィルム二重: 5W/(m²・K)、断熱資材: 3W/(m²・K)
 【総合熱伝達率】 外気側: 10.5+4.0V [W/(m²・K)] (V: 風速[m/s]) 室内側: 3.0W/(m²・K)
 【資材の長波長放射率】 0.9



表 4-2-2 各モデルの回帰係数

	モデル					
	1	2	3	4	5	6
a	1.133	0.852	1.713	1.204	1.186	1.005
b	0.648	0.585	0.361	0.204	0.161	0.143
c	-1.71	-1.28	-0.52	-0.21	-0.07	-0.12
重決定 R ²	0.97	0.97	0.85	0.81	0.76	0.73
標準誤差	0.79	0.69	0.99	0.67	0.64	0.61

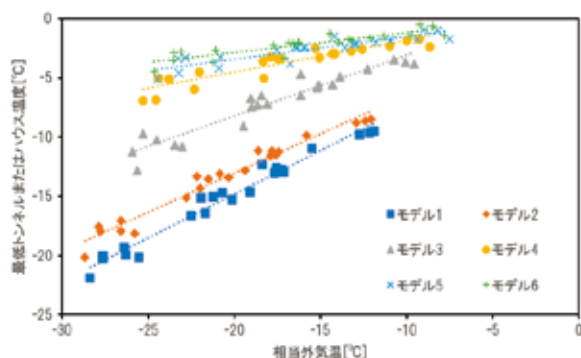


図 4-2-2 相当外気温とハウス内の年最低温度の関係

増加に伴い、保温装備は強化されている。各被覆資材の熱コンダクタンスは JIS A4710:2015 に準じた試験により求めた熱貫流率から換算した。

なお、安全側の計算（計算に誤差が生じた場合、計算のほうが低温側に算出される）とするため、ハウス床面積あたりの内張り被覆の面積を大きくし（上川農業試験場の試験ハウス相当）、内張りの上部及びトンネルは毎日 9 時～16 時の間開放する設定とした。

相当外気温（注 1）とトンネル内及びハウス内の年最低気温の関係を図 4-2-2 に示す。保温性能の高いモデルほど、外気温が低下してもハウス内気温が高く保たれること、外気温と日射量を加味した指標である相当外気温とハウス内気温に直線関係があることがわかる。表 4-2-2 に回帰式の係数を示す。標準誤差は気候条件のばらつきの影響と考えられるが、モデル 3 で最も大きく 0.99 K、その他のモデルについては 0.6～0.8 K 程度であった。

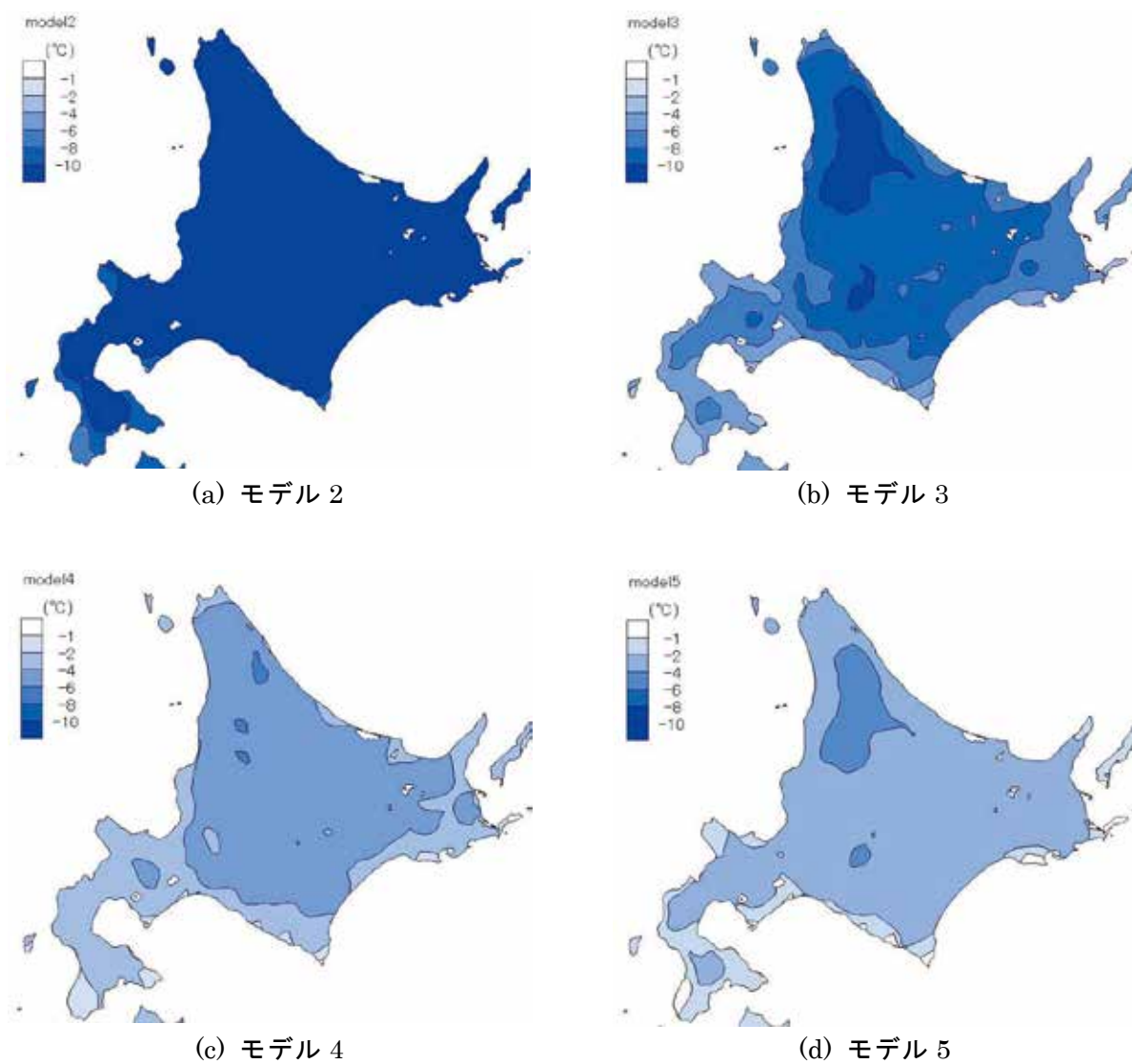


図 4-2-3 各モデルの最低気温分布

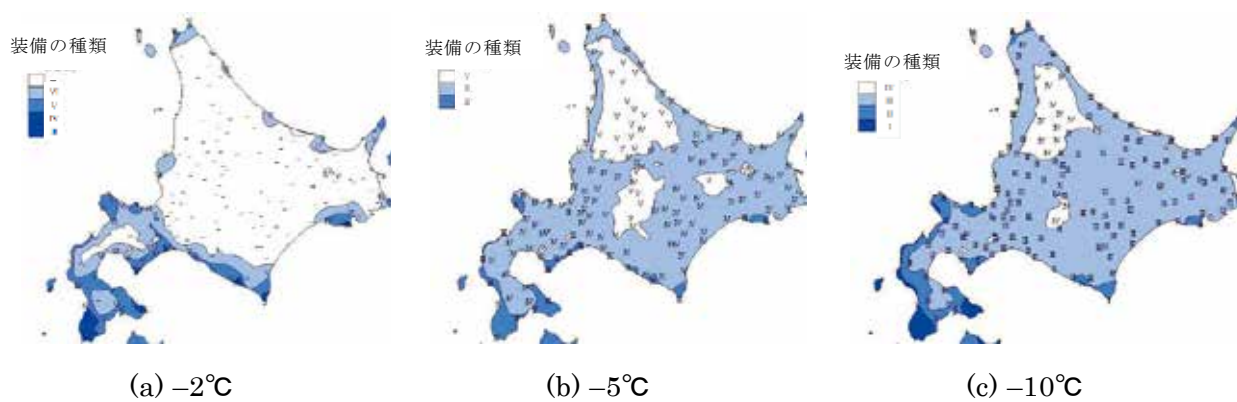


図 4-2-4 ある気温以上を保つための保温仕様

(4)保温装備マップの作成

得られた重回帰式を用い、気象官署・アメダス観測点のデータが得られる道内 161 地点について、各モデルのハウス内年最低気温を求め、保温装備マップを作成した。なお、同じ地点でも年による気温の差があるため、再現期間 15 年の年最低外気温（15 年に 1 回発生するような寒冷な年の年最低外気温；注 2）を採用した。日平均日射量は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による日射量データ MONSOLA11 の 12～2 月の日平均日射量を用いた。また、安全側の計算とするため、12 月～2 月の積雪指数（積雪 10 cm 以上の日の割合、MONSOLA11 のデータベースによる）が 0.5 を超える地点では、積雪の影響を加味してハウス内の日射取得を 50%低減し（式(1)で $C=0.5$ とする）、逆に積雪指数が 0.5 以下の地域は屋外の地温が低くなりやすいためその分ハウス内の気温が低く算出されるよう補正を加えた。

各モデルの最も内側の被覆内における年最低気温の分布を図 4-2-3 に示す。モデル 2 では南西部の沿岸地域の一部を除き多くの地域で -10°C を下回っているが、モデル 5 では全道で -6°C 以上となることが確認できる。

次に、栽培品目に応じ年間最低気温を -2°C 、 -5°C 、 -10°C 以上に維持するための保温装備の目安（保温装備マップ）を図 4-2-4 に示す。ここで、図中の「I」～「VI」は表 4-2-1 の保温装備に該当し、「-」は該当する保温装備がないことを示す。結球レタスの下限気温である -2°C を維持できるのは、南西部の一部であり、道内の大部分の地域はここで検討した保温装備では不十分である。しかし、こまつな、チンゲンサイ、小かぶなど栽培を想定し -5°C までの低下を許容すれば III～V の装備で対応可能となり、 -10°C まで許容すれば、さらに保温装備を簡略化することができる。

3. 耐雪強度マップ

(1)検討概要

勾配屋根の建築物において、落雪が生じないと雪荷重は漸増し、落雪が生じると雪荷重はゼロになる。このため、無加温パイプハウスに作用する雪荷重は、落雪が生じるまでの降雪量の積算値と等価であると考えられる。本項目では、まず、無加温パイプハウスにおいて、降雪から落雪が生じるまでの日数（屋根積雪日数）を実測することにより、雪荷重を

求める際の降雪量の積算日数を把握する。次に降雪量の積算日数にもとづき、気象庁の気象データを用いて各地の降雪量と地上の積雪重量を算定する。一般に屋根上の積雪深は風の強さや屋根勾配によって異なる。ここでは、気象庁のデータにより各地の風速を整理し、地点毎に風の強さとハウスの屋根勾配を考慮した屋根雪荷重を算出し、それらを地図化した。

(2)無加温パイプハウスを対象とした屋根雪観測

1)観測概要

無加温パイプハウスを対象とした屋根雪の観測は北海道比布町にある上川農業試験場の敷地内で行った。観測対象としたハウス(幅 6.3 m, 高さ 3.8 m, 長さ 30.4 m)を図 4-2-5 に示す。ハウスの被覆は室内側からファンにより加圧された中空層(約 0.4 m)を挟んでフィルムが二重となっており（空気膜二重構造）、内張カーテンを展開するためのクロスバーが内側に設置されている。冬期間は落雪を促すため、ハウス脇に堆積した雪は小型ロータリー除雪機を用いて随時除雪している。

観測は、ハウス内に葉物野菜が栽培されている状態で 2017 年 11 月 17 日～2018 年 3 月 30 日までと、2018 年 11 月 28 日～2019 年 1 月 29 日までの 2 冬期間行い、ハウス被覆上の積雪状況をタイムラプスカメラにより 10 分間隔で記録するとともに、ハウス内外の気温、日射量等を計測した。



図 4-2-5 無加温パイプハウス
(上：外観、下：内部)

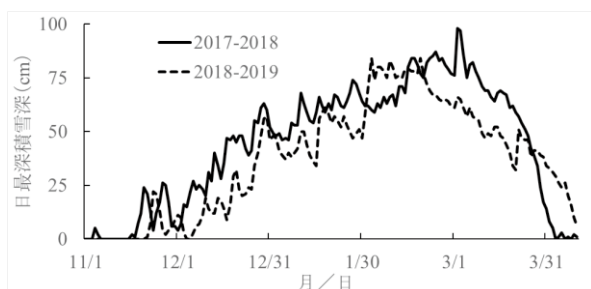


図 4-2-6 旭川における日最深積雪深の推移
(気象庁アメダス)



9:05



9:15



11:05



12:35

図 4-2-7 無加温パイプハウスにおける積雪、落雪状況の時刻による推移の一例（2018 年 12 月 10 日）。写真の右には時刻を記している。

2)観測結果

図 4-2-6 に積雪深を計測している最寄りの気象庁アメダス（旭川）における日最深積雪深の推移を示す。2017-2018 年の観測期間中における日降雪量の最大値は 25 cm，最深積雪深は 98 cm であり，2018-2019 年はそれぞれ 25 cm，61 cm であった。図 4-2-7 に無加温パイプハウスにおける積雪と落雪状況の例，その際の気温と日射量の推移を図 4-2-8 に示す。図 4-2-7 の例では，夜間の降雪（日降雪量：10 cm）によりハウスが積雪で覆われ，朝 9 時過ぎから段階的に落雪が始まった。12 時を過ぎると，ハウス上の積雪はほぼ全て落雪した。図 4-2-8 によれば，日射量の増加に伴い屋根に面する被覆中空層内の気温が上昇すると，落雪が起きている。落雪時の外気温は -8.8～-6.8℃，中空層内の気温は -1.4～20.8℃であった。

図 4-2-9 に 2 冬期間の観測において無加温パイプハウスの積雪が無くなるまでに要した日数，積雪が無くなる際の状況を示す。図中の「不明」はカメラのレンズが雪で塞がれて視認出来なかった場合や夜間に積雪が無くなり判別が出来なかった場合である。図 4-2-9 (a) によれば，積雪が無くなるまでに要した日数は 69% (75/109) が 1 日間であり，2 日間が 25% (27/109)，3 日間は 2% (2/109) であった。積雪が無くなるまでに 2 日以上要したケースでは，いずれもハウス上の一部に積雪が残った状況であった。図 4-2-9(b)によれば，ハウス上の積雪が無くなる際の状況は「落雪」が 82% (104/127) を占め，「融雪」は 14% (18/127) であった。「融雪」はハウス上に薄く積もった状況でのみ起きており，一定程度積もった場合は，「落雪」が発生しないと積雪が無くならないことが分かった。観測の結果，無加温パイプハウスにおいて自然落雪が発生する条

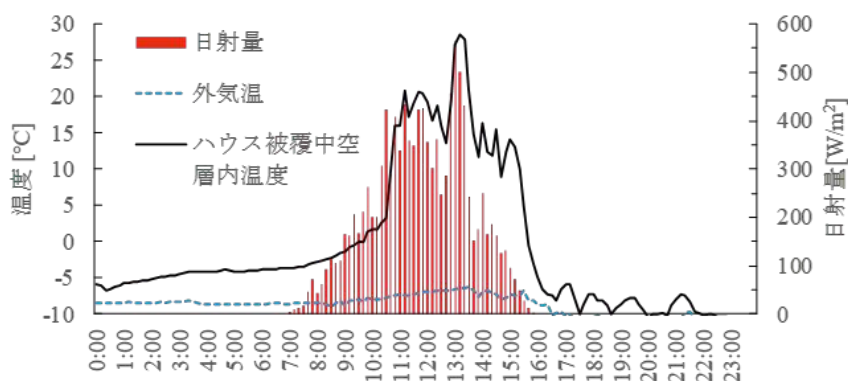


図 4-2-8 日射量，外気温，被覆中空内の気温（2018 年 12 月 10 日）。
9:00-12:00 にかけて段階的に落雪が発生。

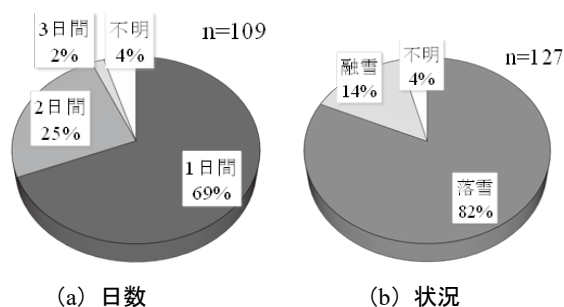


図 4-2-9 ハウス上の積雪が解消されるまでの日数と、解消する際の状況。

件として、日射によりハウス内部の気温がプラスになる必要があることが分かった。以上の結果から、無加温パイプハウスの雪荷重を自然に落雪するまでの降雪量と等しいとすると、雪下ろしを行わない場合、2日間程度の降雪量を見込む必要がある。

3)無加温ハウスを対象とした雪荷重の試算と耐雪マップの作成

北海道内の気象官署およびアメダスによる降雪量のデータ（地点数 118）を用いて無加温ハウスの雪荷重の試算を行った。無加温ハウスの雪荷重 S は建築物の雪荷重の算定方法を参考に(2)式により求めた（日本建築学会，2015）。

$$S = d_n \cdot \rho_h \cdot \mu_h \quad (2)$$

ここで、 d_n ：再現期間 r 年に対する n 日間の日降雪量の合計値(m)， ρ_h ：単位積雪重量(kN/m³)， μ_h ：屋根形状係数（屋根勾配に応じた係数， $0 \leq \mu_h \leq 1$ ）

軟質プラスチックフィルムで被覆されたパイプハウスの標準耐用年数を 10 年，雪荷重の再現期間は 15 年と設定し（日本施設園芸協会，2020），日降雪量の年最大値は極値分布（グンベル分布）に従う

と仮定して d_n を求めた。日降雪量の年最大値がグンベル分布に従うとした場合，任意の再現期間 r 年に対する n 日降雪量 d_n は(3)式を用いて求められる（日本建築学会，2011）。

ρ_h は文献 4)を参考に降雪日数別に求めた。 μ_h はパイプハウスの棟高さを 3.8 m，屋根勾配を 20°として，気象官署およびアメダスにおける 1，2 月の平均風速の平年値を用いて求めた（日本建築学会，2015）。風速計が設置されていない地点（10 地点）については，最寄りの気象観測点の値を与えた。

$$d_n = b - \frac{1}{\alpha} \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{r} \right) \right] \approx b + \frac{1}{\alpha} \ln(r) \quad \text{ただし } r \geq 10 \quad (3)$$

ここで、 $\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}\sigma_x}$ ， $b = \mu_x - \frac{0.5772}{\alpha}$ σ_x ：標本の標準偏差， μ_x ：標本の平均値

$$\rho_h = 0.33 \ln(n+2) + 0.48 \quad (4)$$

ここで、 n ：日数

図 4-2-10 に試算した雪荷重の出現頻度分布を示す。1 日降雪量の場合，雪荷重の最大値は 560 N/m²（57 kgf/m²），平均値は 344 N/m²（35 kgf/m²）である。2 日降雪量における雪荷重の最大値は 848 N/m²（86 kgf/m²），平均値は 509 N/m²（52 kgf/m²）であり，地点によって異なるが，1 日降雪量のおよそ 1.6 倍となった。一般に用いられている地中押し込み式パイプハウスの耐荷重を 25 kgf/m² とした場合，1 日降雪量の雪荷重をクリアする地点数は 12

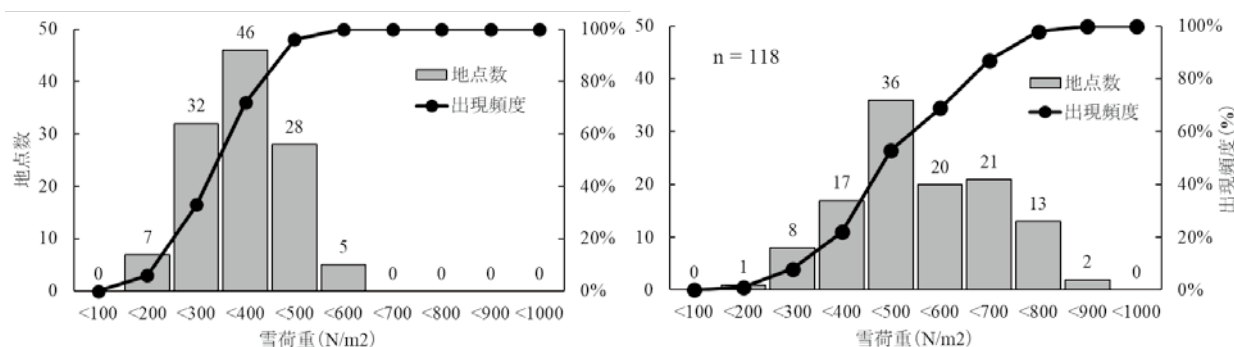


図 4-2-10 無加温パイプハウスを対象とした雪荷重の出現頻度（左：1 日降雪量の雪荷重，右：2 日降雪量の雪荷重）。

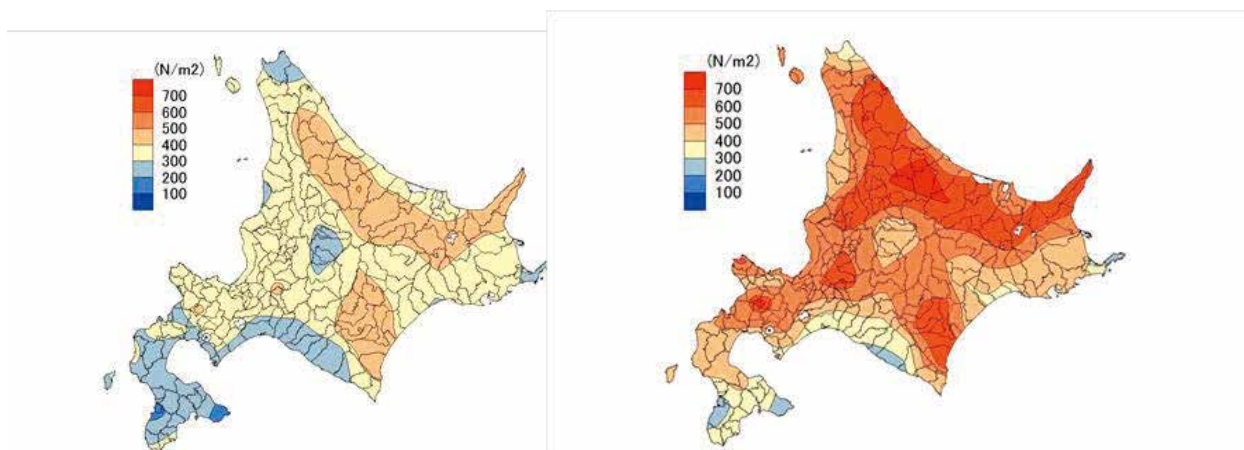


図 4-2-11 無加温パイプハウスを対象とした雪荷重の等値線図（左：1 日降雪量の雪荷重，右：2 日降雪量の雪荷重）。

（全体の 10%）であるが、耐荷重を 50 kgf/m^2 まで高めた仕様にする（日本施設園芸協会，2002），1 日降雪量の条件では 95%（112 地点），2 日降雪量の条件では 53%（62 地点）でクリアする。

図 4-2-11 に気象官署およびアメダスの緯度経度，それぞれの地点における雪荷重を用いて作成した等値線図を示す。内陸部に比して沿岸部の雪荷重は相対的に小さくなっている。これは，沿岸部では風が強く，屋根形状係数の値が内陸部より小さくなるものが影響している。また，道東のオホーツク地方や十勝地方の雪荷重が大きい傾向にあるが，これらの地域では，発達した低気圧によるドカ雪に度々見舞われることが影響している。

4. まとめと留意点

本稿では北海道内の気象官署およびアメダスによる気象データを用い，葉根菜類周年栽培における冬季の保温性能確保及び積雪対策の観点から「保温装備マップ」，「耐雪強度マップ」を作成した。これらのマップにより，各地域で冬季無加温栽培を行う場合のハウス仕様の目安を確認することができる。

気象条件は再現期間 15 年（15 年に 1 度起こりうる低温や大雪）を想定しているが，さらにまれに起こりうる異常気象には対応できない場合があること，マップは限られた地点のデータ（保温装備マップは 161 地点，耐雪強度マップは 118 地点）にもとづいているため，標高差や地形による局所的な気象条件は反映できていないことに留意が必要である。

また，本稿で示した検討結果は，ハウスの施工と管理が適切に行われた条件におけるものであり，被覆の破れ・すき間による保温性能の低下や，経年劣

化によるシートの汚れ，フレームやシートのたわみなど落雪が阻害される要因がある場合への適用には課題が残る。吹きだまりや落雪した雪による側圧への対応については別途検討する必要がある。

5. 摘要

葉根菜類の冬期無加温生産に用いるパイプハウスの仕様（保温性能，耐荷重）について，道内各地の気象条件との関係を整理した。保温性能については，栽培品目に応じた最低気温を維持するために必要な被覆仕様を「保温装備マップ」として整理した。耐荷重については，1 日または 2 日でハウス上部の雪を確実に落雪させることを前提に，各地域で必要とされる耐荷重を「耐雪強度マップ」として整理した。

6. 注

注 1）外気気温と日射量が同じであっても，パイプハウスの日射透過率が高く断熱性が良い場合に相当外気気温は高くなる。そのため，図 4-2-2 に示した相当外気気温は同一地点であってもモデルによって異なる値となる。

注 2）道内各地の気象官署・アメダス観測点の直近 30 年間の年間最低外気気温を調査した。年間最低外気気温は正規分布であると仮定し，式(5)により，再現期間 15 年の年間最低外気気温を求めた。
 (再現期間 15 年の年間最低外気気温) = (平均値) - $1.50 \times (\text{標準偏差}) \cdots (5)$

7. 引用文献

1) 日本建築学会 (2015)，建築物荷重指針・同解

説

- 2) 日本施設園芸協会（2020），園芸用施設設計施工標準仕様書，6
- 3) 日本建築学会（2011），地震リスク評価，pp.18-21
- 4) 高橋徹（2003），年最大 n 日増分積雪深の単位体積重量に関する考察—積雪層モデルを用いた推定—，日本雪工学会大会論文報告集，20，25-26
- 5) 日本施設園芸協会（2002），低コスト耐候性ハウス施工マニュアル—雪対策—，2

8. 付記

本報の概要は北農第 88 巻第 4 号に掲載したものである。

第三節 周年生産技術の経済性と総括

1 はじめに

これまで道内では冬季の気象条件に恵まれる道南地域など，一部の温暖な地域でのみ施設野菜の周年栽培が行われ，その他の地域では冬の厳しい寒さと降雪のため，周年栽培が困難だと考えられてきた。

このような背景のもと，北海道立総合研究機構では葉根菜類の冬季無加温栽培に関する研究を行い，灯油ボイラーなどの加温機を使用しない無加温条件であっても一般的な農業用フィルムを四重被覆したパイプハウス内では厳冬期に極めて高い保温効果が得られること（地子・高濱，2021），この保温効果を利用すると耐寒性の強い葉根菜類品目（コマツナ，チンゲンサイ，リーフレタス，小カブ等）を道内広域で冬季に無加温生産できることを明らかにした（地子・高濱，2021；高濱，2021；高濱ら，2021a；高濱ら，2021b）。加えて，葉根菜類の冬季無加温栽培が可能な保温設備を有するパイプハウスであれば，葉根菜類の冬作，葉菜類の春作，トマト等の夏秋作の組合せによって野菜の無加温周年栽培が可能であることを示した（地子・岡元，2022）。なお，野菜の無加温周年栽培を導入する際には，パイプハウスの保温性や耐雪強度を高めるための経費が発生する。

そこで今回はこれまでの一連の研究から得られた成果である「無加温パイプハウスを用いた野菜の周年栽培技術」を生産現場に導入する際の一助とす

るため，その収益性を評価した。

2. 試験方法

今回はトマト単作（トマトの半促成長期どり作型）を導入している道北地域の生産者が野菜の無加温周年栽培技術に切り替えた場合（図 4-3-1）に生じる所得の変動を以下の条件と方法で試算し，収益性を評価した。

1)前提条件

- ・10a のパイプハウス（100 坪パイプハウス×3 棟）を対象とする。
- ・トマト単作を想定したパイプハウスとして，サイズを「幅：6.3 m，軒高：3.8 m，肩高：2.05 m，長さ：55 m」，アーチパイプの耐雪強度を「20 kgf/m²相当」，保温設備を「2 層フィルム（外張り＋トンネル）」に設定した。以降，本パイプハウスの仕様を「モデル①」とした（図 4-3-2）。
- ・外張りとは内張りには農 PO フィルム，トンネルには農ビフィルムを用いる。
- ・冬作導入のため，トマトの収穫を既存作型の 10 月中旬～下旬よりも 1 か月早く（9 月中旬～下旬に）終了する。
- ・葉菜類の春作のための育苗はトマトの育苗ハウスで実施することとし，葉菜類用の育苗ハウスを新規に建設しない。
- ・トマトの夏秋作で使用する春先の保温用トンネルは冬作と春作でも利用する。

2)収益性の評価方法

- ・冬作および春作の葉菜類（コマツナ，チンゲンサイ，ホウレンソウ，ミズナ）を対象にした。
- ・収量に価格を乗じた粗収益から経営費を控除した減価償却費控除前の所得額（以下，償却費控除前所得）を算出した。
- ・償却費控除前所得から無加温周年栽培技術の導入に係る追加的なコスト（ハウス設備追加コスト）と前作のトマトの収穫時期が短縮することによる減収補償額を差し引いた額（以下，所得）に

10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
トマト							トマト				
10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
冬作（葉根菜類）				春作（葉菜類）			夏秋（トマト）				

図 4-3-1 道北地域においてトマト単作（上）と野菜の無加温周年栽培（下）を行う際のパイプハウスの使用期間の比較

ついて、その正負を基準に技術導入に伴う対象品目の収益性を判断した。

- ・経営費は営農のシミュレーションができる「Hokkaido 営農ナビ(上川農業改良普及センター版)」を参考にして算出した。ただし、経営費には雇用労賃と除雪機の減価償却費を含めない。
- ・パイプハウスの減価償却費は既に投資されているものとみなし、評価の対象としない。また、パイプハウスに関わる施工費も考慮しない。
- ・パイプハウス本体に関連する資材(クロスタイバー等)の耐用年数は現地での使用実態を鑑みて、複数ある法定耐用年数の中から10年を採用した。

3)各経費と所得の算出方法

(1)周年利用が想定される無加温パイプハウスのモデルと価格

下ノ薮ら(2021)の解析結果から作成した「保温装備マップ」と「耐雪強度マップ」(上川農業試験場, 2021)を用いて道内で必要とされるパイプハウスのモデルを想定し、A社の見積もり額(2020年2月15日時点)を利用してそれらのモデルの価格(100坪ハウス×1棟)を比較した。

(2)野菜の無加温周年栽培技術導入に関わるハウス装備追加コスト

前述したA社の見積もり額を利用して10aのパイプハウス(100坪パイプハウス×3棟)を野菜の無加温周年栽培技術が導入できるハウスに変更する際に発生する追加コスト(減価償却費と資材の年負担額)を算出した。

(3)葉根菜類の冬作および春作導入による償却費控除前所得

2014年～2018年の札幌中央卸売市場の年報からコマツナ、チンゲンサイ、ホウレンソウ、ミズナの冬作(12～1月)と春作(4月)の市場単価(円/kg)を求め、北海道野菜地図(以降、「野菜地図」と記載)の基準収量、ならびにHokkaido 営農ナビ(上川農業改良普及センター版)をベースに試算した経営費から、冬作にコマツナ、チンゲンサイ、ミズナ、春作にコマツナ、チンゲンサイ、ホウレンソウ、ミ

ズナを作付けした際に得られる償却費控除前所得(円/10a)を算出した。

(4)前作トマトの減収補償額

冬作を導入すると、トマトの収穫を既存作型よりも1か月早く終了させることになるため(図4-3-1)、減収補償額を考慮する必要がある。今回は野菜地図の基準収量と北海道農業生産技術体系(第5版)(北海道農政部生産振興局技術普及課, 2018)の収穫時間をもとに減収補償額を算出した。

(5)道北地域における野菜の無加温周年栽培技術導入にともなう所得の変動

野菜の無加温周年栽培技術を導入した際に得られる冬作と春作の償却費控除前所得からハウス装備追加コストとトマトの減収額を差し引き、冬作の導入のみで得られる所得と、冬作と春作の組合せの導入で得られる所得をそれぞれ試算した。

3. 結果

1) 周年利用が想定される無加温パイプハウスのモデルと価格

「保温装備マップ」と「耐雪強度マップ」(上川農業試験場, 2021)から、道内で周年利用が想定される無加温パイプハウスに必要な保温装備と耐雪強度にそれぞれ4つのランクを設け、図4-3-2に示した11個のモデルを作成した。なお、今回は保温装備のランクをフィルム層の数(「2層フィルム」～「5層フィルム」)で表現し、耐雪強度のランクを荷重値(「20 kgf/m²」～「50 kgf/m²」:以降、単位は「kg」と表記)で示した。この図では下のモデルほど耐雪強度が強化され、右のモデルほど同一の耐雪強度で保温装備が強化される。

各モデルのパイプハウス(100坪ハウス×1棟)の価格を表4-3-1にまとめた。耐雪強度が強く、保温性が高いほど、価格が上昇し、耐雪強度が「20 kg」、保温装備が「2層フィルム」である最も軽装備なモデル①と耐雪強度が「50 kg」、保温装備が「5層フィルム」である最も重装備なモデル⑪を比較すると、ハウス1棟で140万円程度の価格差が生じた。

表 4-3-1 周年利用が想定される無加温パイプハウスの価格(100坪ハウス×1棟)

想定されるモデル	無加温パイプハウスのモデル(耐雪強度+保温装備)										
	① 20kg+2層	② 20kg+3層	③ 30kg+3層	④ 30kg+4層	⑤ 30kg+5層	⑥ 40kg+3層	⑦ 40kg+4層	⑧ 40kg+5層	⑨ 50kg+3層	⑩ 50kg+4層	⑪ 50kg+5層
税込み価格(万円)	208	219	264	275	279	275	286	291	333	344	349

注1) A社の見積もり(2020年2月15日時点)を用いて作成した。

注2) 施工費は含まない。

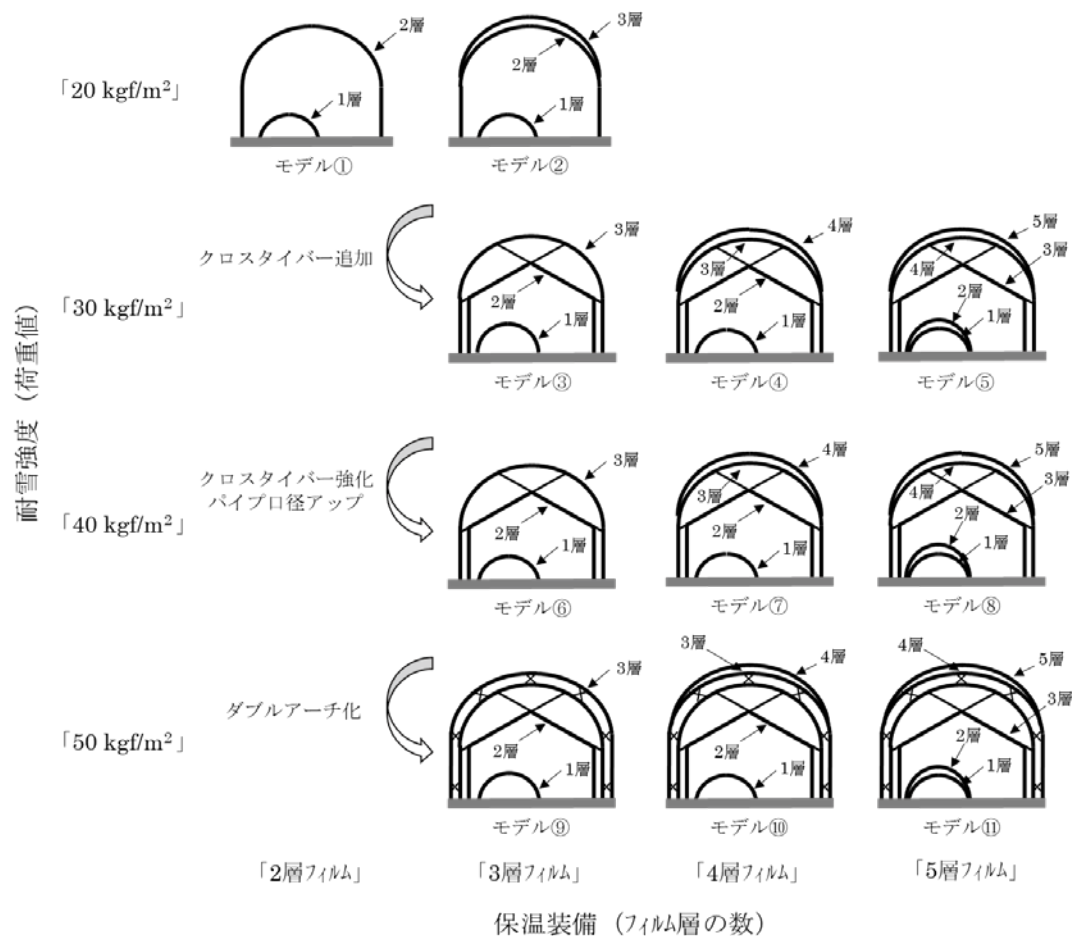


図 4-3-2 周年利用が想定される無加温パイプハウスのモデルイメージ

表 4-3-2 想定される無加温パイプハウスの追加コスト (10a=100 坪ハウス×3 棟)

追加部材		使用 年数	減価償却費	無加温パイプハウスのモデル（耐雪強度＋保温装備）				
				① 20 kg+2層	② 20 kg+3層	③ 30 kg+3層	④ 30 kg+4層	⑤ 30 kg+5層
ハウス 本体 関連資材	パイプ口径アップ	10	12,617	0	0	0	0	0
	フィルム止め資材	3	583	0	0	0	0	0
	30 kg用クロスタイパー	10	126,931	0	0	126,931	126,931	126,931
	40 kg用クロスタイパー	10	149,618	0	0	0	0	0
	ダブルアーチ関連資材	10	173,943	0	0	0	0	0
保温資材	空気膜フィルム関連資材	3	109,684	0	109,684	0	109,684	109,684
	内張りフィルム	3	128,917	0	0	128,917	128,917	128,917
	トンネルフィルム（2層目）	3	44,000	0	0	0	0	44,000
追加コスト（円/10a） ^z				0	109,684	255,848	365,532	409,532

追加部材		使用 年数	減価償却費	無加温パイプハウスのモデル（耐雪強度＋保温装備）					
				⑥ 40 kg+3層	⑦ 40 kg+4層	⑧ 40 kg+5層	⑨ 50 kg+3層	⑩ 50 kg+4層	⑪ 50 kg+5層
ハウス 本体 関連資材	パイプ口径アップ	10	12,617	12,617	12,617	12,617	12,617	12,617	12,617
	フィルム止め資材	3	583	583	583	583	583	583	583
	30 kg用クロスタイパー	10	126,931	0	0	0	0	0	0
	40 kg用クロスタイパー	10	149,618	149,618	149,618	149,618	149,618	149,618	149,618
	ダブルアーチ関連資材	10	173,943	0	0	0	173,943	173,943	173,943
保温資材	空気膜フィルム関連資材	3	109,684	0	109,684	109,684	0	109,684	109,684
	内張りフィルム	3	128,917	128,917	128,917	128,917	128,917	128,917	128,917
	トンネルフィルム（2層目）	3	44,000	0	0	44,000	0	0	44,000
追加コスト（円/10a） ^z				291,735	401,419	445,419	465,678	575,362	619,362

z) 税込み価格

表 4-3-3 札幌中央卸売市場における各種葉菜類の月別単価（円/kg）

年次	コマツナ			チンゲンサイ			ミズナ			ハウレンソウ
	12月	1月	4月	12月	1月	4月	12月	1月	4月	4月
2014	565	639	458	475	496	371	658	618	402	557
2015	370	738	530	362	621	424	538	705	473	682
2016	514	558	448	450	400	394	512	519	382	643
2017	749	453	346	689	439	374	698	422	314	566
2018	381	743	393	363	738	366	444	700	335	658
5カ年平均	516	626	435	468	539	386	570	593	381	621
冬作平均	571			503			581			
春作平均				435			386			381
										621

表 4-3-4 冬作および春作における各種葉菜類の粗収益（円/10a）

項目	コマツナ		チンゲンサイ		ミズナ		ハウレンソウ
	冬作	春作	冬作	春作	冬作	春作	春作
市場単価（円/kg）	571	435	503	386	581	381	621
基準収量（kg/10a）	1,500	1,500	5,000	5,000	2,500	2,700	1,200
粗収益（円/10a）	856,500	652,500	2,515,000	1,930,000	1,452,500	1,028,700	745,200

表 4-3-5 冬作および春作における各種葉菜類の経営費(円/10a)

項目	コマツナ		チンゲンサイ		ミズナ		ハウレンソウ
	冬作	春作	冬作	春作	冬作	春作	春作
肥料費	5,000	5,000	23,242	23,242	18,964	18,964	18,964
種苗費	18,775	18,775	85,433	87,033	51,075	51,075	29,828
農薬費	750	0	750	0	750	0	0
生産資材費	3,720	3,720	18,000	18,000	4,250	4,250	4,250
農具費	6,629	6,629	943	943	6,629	6,629	6,629
水道光熱費	13,780	7,833	17,113	7,833	17,113	7,833	7,833
販売費用	214,244	202,784	710,194	642,631	348,238	337,191	190,383
経営費 ^z	262,898	244,741	855,675	779,682	447,019	425,942	257,887

表 4-3-6 冬作および春作における各種葉菜類の償却費控除前所得(円/10a)

項目	コマツナ		チンゲンサイ		ミズナ		ハウレンソウ
	冬作	春作	冬作	春作	冬作	春作	春作
粗収益	856,500	652,500	2,515,000	1,930,000	1,452,500	1,028,700	745,200
経営費 ^z	262,898	244,741	855,675	779,682	447,019	425,942	257,887
償却費控除前所得	593,602	407,759	1,659,325	1,150,318	1,005,481	602,758	487,313

^z)経営費には①雇用労賃と②除雪機の減価償却費を含めない。

2) 野菜の無加温周年生産技術導入に関わるハウス 装備追加コスト

A 社の見積もりをもとに、モデル①から各モデルへ装備を強化するために必要な 10a(100 坪ハウス×3 棟) 当たりの追加コスト(減価償却費と資材の年負担額)を算出した(表 4-3-2)。最も軽装備なモデル①と比較すると、最も重装備となるモデル⑪では年間に 62 万円/10a 程度の追加コストを要する結果となった。

道北地域を対象とするパイプハウスの主たるモデルは下ノ菌ら(2021)の「保温装備マップ」と「耐雪強度マップ」から、⑦、⑧、⑩、⑪の 4 モデルが該当したため、後述で行う所得の計算にはこれらのモデルの追加コストを用いることとした。

3) 葉菜類の冬作と春作導入による償却費控除前所得

過去 5 か年(2014～2018 年)の札幌中央卸売市場の月別単価から冬作と春作の市場単価を算出した(表 4-3-3)。コマツナ、チンゲンサイ、ミズナでは冬作の単価が高く、春作ではハウレンソウの単価が最も高かった。

野菜地図の基準収量(コマツナ：1,500 kg/10a, チンゲンサイ：5,000 kg/10a, ミズナ(冬作)：2,500 kg/10a, ミズナ(春作)：2,700 kg/10a, ハウレンソウ：1,200 kg/10a)と前述した市場単価から粗収益を算出した(表 4-3-4)。粗収益は冬作のチンゲンサイが最も高く、春作のコマツナが最も低かった。

Hokkaido 営農ナビ(上川農業改良普及センター版)をベースにして、肥料費、種苗費、農薬費、生産資材費、農具費、水道光熱費、販売費用(市場手数料、農協手数料、運賃)を試算し、雇用労賃と除雪機の減価償却費を含めない経営費を算出した(表 4-3-5)。育苗による種苗費と販売費用が高いチンゲンサイの経営費が高かった。

粗収益から経営費を差し引いて各品目の償却費控除前所得を試算した(表 4-3-6)。チンゲンサイの冬作および春作、ミズナの冬作は 100 万円/10a 以上の償却費控除前所得が試算された。一方、コマツナの冬作および春作、ミズナの春作、ハウレンソウの春作は 40～60 万円/10a と低かった。

4) 前作トマトの減収補償額

過去 5 か年(2014～2018 年)の札幌中央卸売市場の 10 月平均単価は 329 円/kg であった。また、野菜

地図の基準収量(12,000 kg/10a)と北海道農業生産技術体系(第 5 版)にあるトマトの半促成長期どり作型の収穫時間(全期間：400 時間、9 月下旬以降：48 時間)を用いて 9 月下旬以降の収量を推定するとその値は 1,440 kg/10a となった。そこで、減収分を 1,500 kg/10a と設定し、10 月単価の 329 円/kg を乗じて、減収補償額を 493,500 円/10a と試算した。

5) 道北地域における野菜の無加温周年生産技術導入にともなう所得の変動

トマトにおいて一般的な作型であるハウス半促成長期どり作型をベースに、葉茎菜類の冬作および春作を導入した場合の所得変動を表 4-3-7 に示した。冬作にコマツナを作付けした事例では冬作のみではハウス装備追加コストとトマトの減収額を回収できず、最も重装備なハウスモデル⑪を用いた場合は春作を追加導入しても所得が得られない組合せ(冬作：コマツナ+春作：ハウレンソウ)が生じると試算された。また、冬作にミズナを作付けした事例ではハウス装備追加コストが高いハウスモデル⑩と⑪において冬作のみでは所得が確保できない結果となった。

一方、冬作にチンゲンサイを導入した場合は、冬作のみでハウス装備追加コストとトマトの減収額を回収し、春作の追加導入により冬から春にかけて 95～136 万円/10a の所得を確保できると試算された。また、ハウス装備追加コストが低いハウスモデル⑦と⑧を使用して冬作にミズナを作付けした場合も 47～126 万円/10a の所得を確保できる結果となった。

4. 考察

「無加温パイプハウスを用いた野菜の周年栽培技術」導入による経済的な優位性を確認するため、導入にともなう所得の変動を試算してその効果を評価した。

今回は、降雪があり、道内でも比較的寒さの厳しい道北地域を対象に、ハウス栽培の作付面積が多いトマトの一般的な作型であるハウス半促成長期どり作型を、野菜の周年栽培技術に切り替えた場合に生じる所得の差を試算し、冬作にチンゲンサイやミズナを作付けした場合は、冬から春にかけて 47～136 万円/10a の所得を確保できることを示した。これらの結果は道北地域を想定した試算であり、道北地域よりも降雪量が少なく、温暖な地域では、保温性と耐雪強度に関わるハウス装備の追加コストが低下

表 4-3-7 冬作と春作導入による所得(円/10a)の変動

品目		無加温パイプ ハウスのモデル (耐雪強度＋ 保温装備)	償却控除前所得 (A)		ハウス装備 追加コスト (B)	トマト 減収 補償額 (C) ^z	所得(A-B-C) ^y	
冬作	春作		冬作型	早春作型			冬作のみ	冬作＋春作
コマツナ	チンゲンサイ	⑦ 40 kg＋4層	593,602	1,150,318	401,419	493,500	-301,317	849,001
		⑧ 40 kg＋5層	593,602	1,150,318	445,419	493,500	-345,317	805,001
		⑩ 50 kg＋4層	593,602	1,150,318	575,362	493,500	-475,260	675,058
		⑪ 50 kg＋5層	593,602	1,150,318	619,362	493,500	-519,260	631,058
	ホウレンソウ	⑦ 40 kg＋4層	593,602	487,313	401,419	493,500	-301,317	185,996
		⑧ 40 kg＋5層	593,602	487,313	445,419	493,500	-345,317	141,996
		⑩ 50 kg＋4層	593,602	487,313	575,362	493,500	-475,260	12,053
		⑪ 50 kg＋5層	593,602	487,313	619,362	493,500	-519,260	-31,947
	ミズナ	⑦ 40 kg＋4層	593,602	602,758	401,419	493,500	-301,317	301,441
		⑧ 40 kg＋5層	593,602	602,758	445,419	493,500	-345,317	257,441
		⑩ 50 kg＋4層	593,602	602,758	575,362	493,500	-475,260	127,498
		⑪ 50 kg＋5層	593,602	602,758	619,362	493,500	-519,260	83,498
チンゲンサイ	コマツナ	⑦ 40 kg＋4層	1,659,325	407,759	401,419	493,500	764,406	1,172,164
		⑧ 40 kg＋5層	1,659,325	407,759	445,419	493,500	720,406	1,128,164
		⑩ 50 kg＋4層	1,659,325	407,759	575,362	493,500	590,463	998,222
		⑪ 50 kg＋5層	1,659,325	407,759	619,362	493,500	546,463	954,222
	ホウレンソウ	⑦ 40 kg＋4層	1,659,325	487,313	401,419	493,500	764,406	1,251,719
		⑧ 40 kg＋5層	1,659,325	487,313	445,419	493,500	720,406	1,207,719
		⑩ 50 kg＋4層	1,659,325	487,313	575,362	493,500	590,463	1,077,776
		⑪ 50 kg＋5層	1,659,325	487,313	619,362	493,500	546,463	1,033,776
	ミズナ	⑦ 40 kg＋4層	1,659,325	602,758	401,419	493,500	764,406	1,367,164
		⑧ 40 kg＋5層	1,659,325	602,758	445,419	493,500	720,406	1,323,164
		⑩ 50 kg＋4層	1,659,325	602,758	575,362	493,500	590,463	1,193,221
		⑪ 50 kg＋5層	1,659,325	602,758	619,362	493,500	546,463	1,149,221
ミズナ	コマツナ	⑦ 40 kg＋4層	1,005,481	407,759	401,419	493,500	110,562	518,320
		⑧ 40 kg＋5層	1,005,481	407,759	445,419	493,500	66,562	474,320
		⑩ 50 kg＋4層	1,005,481	407,759	575,362	493,500	-63,381	344,378
		⑪ 50 kg＋5層	1,005,481	407,759	619,362	493,500	-107,381	300,378
	チンゲンサイ	⑦ 40 kg＋4層	1,005,481	1,150,318	401,419	493,500	110,562	1,260,880
		⑧ 40 kg＋5層	1,005,481	1,150,318	445,419	493,500	66,562	1,216,880
		⑩ 50 kg＋4層	1,005,481	1,150,318	575,362	493,500	-63,381	1,086,937
		⑪ 50 kg＋5層	1,005,481	1,150,318	619,362	493,500	-107,381	1,042,937
	ホウレンソウ	⑦ 40 kg＋4層	1,005,481	487,313	401,419	493,500	110,562	597,875
		⑧ 40 kg＋5層	1,005,481	487,313	445,419	493,500	66,562	553,875
		⑩ 50 kg＋4層	1,005,481	487,313	575,362	493,500	-63,381	423,932
		⑪ 50 kg＋5層	1,005,481	487,313	619,362	493,500	-107,381	379,932

z)道北地域でトマトのハウス半促成長期どり作型を9月下旬で終了した際に生じる減収分を1,500 kg/10aと推定し、単価329円/kgで算出した。

y)①パイプハウス10a(100坪ハウス×3棟)の施工費、②雇用労賃および③除雪機の減価償却費は考慮していない。

するため、さらなる所得の向上が期待できる。

また、トマトの半促成長期どり作型を比較対象としたため、1 か月間の収穫時期間の短縮により生じる減収補償額を計上したが、4 月下旬からパイプハウスで栽培を開始し、9 月上旬までに終了する品目の作付けであれば、この補償額を計上する必要がない。したがって、道北地域も含めた道内広域において、無加温パイプハウスを用いた野菜の周年栽培技術導入により冬から春にかけて所得を確保し、収益性の向上に寄与できると考えられた。ただし、冬作と春作の組み合わせによっては必要経費（ハウス装備追加コストとトマトの減収補償額）を回収できない場合も試算されたため、本技術を導入するパイプハウスに必要な装備の追加コストならびに減収補償額を予め算出し、作付する品目と合わせて導入の可否を検討いただきたい。

図 4-3-1 に示した通り、本技術を活用すると前後作の切り替え以外の期間は常にパイプハウス内に作物が存在し、何らかの栽培管理を行うこととなる。また、切り替え期間中も片付けや次作の準備などの作業が発生するため、いわゆる「農閑期」と呼ばれる期間が消滅し、一年を通して農作業（野菜生産に関わる作業）を行うことが可能となる。

一連の研究を行っていた当時、上川農試へ視察に来た方々から「通年雇用している労働者がいるが、冬場の仕事が少なく、困っている。」という声や「通年で人を雇いたいけど冬場に収益がないため雇用しづらい。」といった声を聞くことが多かった。そして、これらの意見は特に雇用者を抱える農業生産法人の方々から耳にすることが多く、農業生産法人において通年雇用に対する潜在的な需要があり、通年雇用を採用しやすくするためには「農閑期」への対策がキーである実状がうかがわれた。本技術は①雇用者への冬場の労働提供、②通年雇用のための冬場の収益確保という観点から、前述した問題への対策となりうるため、「農閑期に雇用者のいる生産現場（主に農業生産法人）」を中心に導入が図られるのではないかと大いに期待している。農業や漁業が主体の地域では、産業構造上季節労働が多く、北海道の地域経済にとって通年雇用を得られない労働者への対応が重要であることから、本技術により通年雇用、冬季の労働力需要の創出がなされることの意義は大きいと考えられる。

一方、本技術を作業者が少ない生産現場に導入すると、一年中休みなく働き続ける選択肢となつてし

まう可能性があり、注意が必要である。作業者が少ない生産現場に本技術を導入する際には、冬作の収穫時期間を少し早めに切り上げ、12 月末までとし、2 月上旬から開始する次作までは余裕をもって作業するなど、休息期間を確保することも考慮しながら計画的に導入していただきたい。

2015 年 9 月に開催された国連サミットにおいて、2030 年までに持続可能でよりよい世界を目指す国際目標として、「持続可能な開発目標」(Sustainable Development Goals; SDGs)（外務省、2021）が採択された。これは発展途上国のみならず、日本のような先進国でも取り組むべき内容とされているが、本特集でとりあげた「無加温パイプハウスを用いた野菜の周年栽培技術」がもたらす波及効果は、SDGs に示されたゴール、ターゲットと関連する内容が多い。例えば、本技術は無加温のため、加温による化石燃料の消費が極力削減されるが、これはゴール 7「エネルギーをみんなに そしてクリーンに」、ゴール 13「気候変動に具体的な対策を」と直結する内容である。また、前述したように本技術の普及により冬季に安定した雇用が創出されるが、これはゴール 8「働きがいも経済成長も」に大いに関連する。他にも、道内において冬季の端境期に新鮮な野菜が地産地消され、フードロス、輸送コストが低下することは、ゴール 3「すべての人に健康と福祉を」、ゴール 10「人や国の不平等をなくそう」、ゴール 12「つくる責任 つかう責任」など多くのターゲットと方向をとると考えられる。今回は導入した際の試算例のみを提示したが、今後、環境を考慮し、SDGs に即した産業に対する行政的なインセンティブが強まることを想定すると、今回の試算を超えた経済的、環境的なメリットが得られる可能性が高いと言える。

また、2020 年からのコロナ禍や運輸業界における 2024 年問題により、人の往来や物流に大きな変化が求められている。本技術が普及すると、一年を通じた野菜類の地産地消により府県からの野菜類の移入を抑えることができる。このような物流の削減は人との接触、物流にかかる労働力を減らすため、今後の社会への対応としても非常に有用であると考えられる。

このように、本技術が持続可能な社会に向けた取り組みに寄与し、将来的には北海道の施設野菜生産の基盤技術として定着することを切に願う。

5. 摘要

道総研によって開発された「無加温パイプハウスを用いた野菜の周年栽培技術」の道北地域での収益性を、トマト単作から周年栽培に切り替えた場合の所得の変動を試算して評価した。品目によっては必要経費（ハウス装備追加コストとトマトの減収額）を回収できない場合も想定されたが、冬作にチンゲンサイを作付けすると、冬作のみで経費を回収し、春作の追加により冬から春の農閑期に95～136万円/10aの所得を確保できると考えられた。

6. 引用文献

- 1) 外務省, JAPAN SDGs Action Platform, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>
- 2) 北海道農政部生産振興局技術普及課 (2018), (1) トマト, 北海道農業生産技術体系 (第5版), 89
- 3) 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会編 (2020), 8 ほうれんそう, こまつな, みずな, チンゲンサイ, 冬季葉菜類栽培技術体系, 北海道野菜地図 43, 71-74, 79-80, 87-88, 89-90, 152
- 4) 地子 立・高濱雅幹 (2021), 北海道北部の積雪地域における無加温パイプハウスを利用したコマツナの厳冬期生産, 北海道立総合研究機構農業試験場集報, 105, 81-88
- 5) 地子 立・岡元英樹 (2022), 無加温パイプハウスの周年利用に対応した葉菜類の早春まき作型, 北農, 89, 25-31
- 6) 上川農業試験場 (2021), 野菜の無加温周年栽培を前提としたパイプハウスの「保温装備マップ」(図版), <https://www.hro.or.jp/list/agricultural/research/kamikawa/soshiki/hoonmap.pdf>, 野菜の無加温周年栽培を前提としたパイプハウスの「耐雪強度マップ」(図版), <https://www.hro.or.jp/list/agricultural/research/kamikawa/soshiki/taisetumap.pdf> (2021年10月15日閲覧)
- 7) 札幌市中央卸売市場, 年報メニュー, <https://www.sapporo-market.gr.jp/annual/> (2020年10月30日閲覧)
- 8) 下ノ蘭慧, 立松宏一, 堤 拓哉, 月舘 司 (2021), 保温装備マップと耐雪強度マップ, 北農, 88, 328-334

- 9) 高濱雅幹 (2021), 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術—第2報—道南地域におけるレタス類, 北農, 88, 220-226
- 10) 高濱雅幹・地子 立・古山真一 (2021a), 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術—第4報—道南および道北地域における紫ミズナおよびカラシナ類, 北農, 88, 235-245
- 11) 高濱雅幹・岡元英樹・地子 立 (2021b), 葉根菜類の新たな冬季無加温生産技術—第3報—道南および道北地域における小カブおよびチンゲンサイ, 北農, 88, 227-234

7. 付記

本報の要約は北農第89巻第1号に掲載したものである。

要約

第一章 葉根菜類の厳冬期無加温生産技術の開発

第一節 厳冬期無加温生産技術(コマツナを用いて)

空気膜二重構造のフィルムと内張りカーテンおよびトンネルを被覆したパイプハウス内では無加温条件でも厳冬期において極めて高い保温効果が得られ、夜間の最低外気温が-26.8℃まで低下した際のトンネル内最低気温は-3.3℃であった。また、単回帰分析によりハウス内の最低気温は夜間の最低外気温を用いて予測できると考えられた。コマツナを多重被覆パイプハウス内へ9月下旬から10月上旬に播種すると、12月下旬から1月下旬にかけて収穫可能となり、2.6 t/10 a以上の収量を得ることができた。以上の結果から、多重被覆を施したパイプハウスを利用することにより北海道北部の積雪地域においてコマツナの厳冬期無加温生産が可能であることが明らかとなった。

第二節 品目選定

秋から冬にかけて無加温パイプハウス内で栽培を行い、12月～2月に収穫可能な葉根菜類を選定した。ワサビナ、紫カラシナ、コマツナ、タアツアイ、小カブ、スイスチャード、パクチー、チンゲンサイ、リーフレタス、ミズナ、紫ミズナは耐寒性に優れ、パイプハウス内の気温を-5℃以上に確保できれば、厳冬期の無加温条件でも可販率を維持し、収穫可能と考えられた。

第三節 リーフレタス、結球レタス

道南地域の無加温ハウスでリーフレタスは10月上旬～中旬定植、結球レタスは9月下旬～10月上旬定植で12月以降の出荷となった。ハウス外張りの二重構造化や内張りとトンネル保温の併用で低温障害が軽減した。リーフレタスおよび結球レタスで低温障害を生じない最低気温は-5および-2℃、定植から収穫に必要な日平均気温の積算は550および620℃であった。結球レタスでは日平均気温の積算900℃以上で腐敗が生じやすくなり可販率が低下した。

第四節 小カブ、チンゲンサイ

道南地域において小カブを、道北・道北地域にお

いてチンゲンサイを無加温ハウスで11月下旬以降に収穫するための播種・定植時期を明らかにした。二重外張りや内張りとトンネルまたは不織布被覆の併用により生育が促進され低温障害は軽減したが、裂根や抽だいを誘発した。両品目とも低温障害を生じないハウス内最低気温は-5℃と考えられ、播種・定植～収穫に必要な日平均気温の積算は小カブが660～700℃、チンゲンサイが410℃であった。

第五節 紫ミズナ、カラシナ類

道南・道北地域の冬季無加温栽培において、紫ミズナ、紫カラシナの11月下旬～2月上旬収穫、ならびにワサビナの10月下旬～2月下旬収穫のための播種時期と保温方法について明らかにした。紫ミズナ、紫カラシナおよびワサビナの低温障害を生じないハウス内最低気温はそれぞれ-5、-7および-7℃で、10aあたり基準収量は2.5、1.5および1.5 t、播種～収穫に必要な日平均気温の積算は560、580および690℃であった。

第六節 ボーレコール

北海道の多重被覆を施したパイプハウスにおいて、秋冬期にボーレコール（カーリーケール）を無加温で栽培したところ、ハウス内気温が-6.2℃まで低下しても枯死せず、収穫できた。また、収穫前10日間の最低気温の平均値が1.3℃以下で葉のBrix値は高まると考えられた。葉のBrix値が高まったのは、最低気温が氷点下以下になることで植物体の凍結が起こり細胞外凍結が誘導されたことに加え、低地温により根の活性が低くなったために植物体の脱水が生じたためと考えられた。葉位によらずに低温でBrix値は高まったが、下位葉は上中位葉よりBrix値は小さく、年によっては値のばらつきが大きかった。また、苦みの強さと相関があることが報告されている硝酸濃度は低温で少なくなった。以上から、上中位葉のみを選択することで、高Brix値で低硝酸濃度の葉を安定的に生産できると考えられた。

第二章 冬野菜の品質とその管理技術

第一節 冬野菜の品質

冬季（10～2月）無加温ハウス栽培においてコマツナ、リーフレタス、小カブ葉部および紫ミズナの

Brix 値ならびに紫ミズナのポリフェノール含有量は、1 月以降の収穫で、またはトンネル保温未実施で増加し、収穫前 2 週間の平均気温または日最低気温平均と負の相関がみられた。特にコマツナの Brix 値は夏季（7～8 月）栽培時より高かった。一方小カブ根部の Brix 値は冬季栽培期間中ほとんど変化せず、夏季栽培（6～9 月）と差がなかった。

第二節 冬野菜の生育・養分吸収特性 1. コマツナ

コマツナを対象に冬季無加温栽培時の生育および養分吸収特性を調査した結果、①生育期、②低温馴化期、および③生育相転換期の 3 つの時期に大きく分けられた。11 月下旬以降草丈の伸長が止まり、生長速度および養分吸収速度は低下するものの、生育および養分吸収は 1 月下旬まで継続された。また、各養分の吸収量は概ね他作型の現行施肥量と同等またはそれ以下であったため、冬季栽培の施肥量も他作型と同等でよいと考えられた。

第三節 冬野菜の生育・養分吸収特性 2. ポーレコール

冬どり葉菜類の無加温ハウス栽培技術を普及させるため、栽培に適した品目の拡大を検討中である。ポーレコールは冬どり栽培に適し、今後の普及が期待される。そこで本報では冬どりポーレコールの生育と養分吸収を経時的に調査し、可販部各部位（主茎、葉身、葉柄）および黄化・枯死葉の新鮮重、乾物重、各養分を測定した。その結果、可販部において新鮮重の増加は 11 月上旬（日平均気温 10℃前後）まで、多くの無機養分の吸収は 12 月上旬（同 5℃前後）までにほぼ止まるが、それ以降も乾物重は 12 月下旬（同 0℃前後）まで増加した。養分吸収特性は養分ごとに異なり、窒素、リン酸は含有率の減少も緩やかで全体の吸収量が増加し続けるのに対し、カリ、石灰、苦土は低温遭遇後の含有率低下が速やかで、黄化・枯死葉への分配が多かった。また、ポーレコールは無機塩ではなく、糖類などを集積して浸透圧を高めることによって耐寒性を獲得していると考えられた。

第四節 冬野菜の病害

冬季無加温で葉菜類に発生する病害として、各種野菜の *R. solani* AG-2-1 による病害、リーフレタスの菌核病・灰色かび病・べと病・うどんこ病の発生

を確認した。また、チンゲンサイ・ターサイ・リーフレタスでは、一次的または低温による凍害のあとに二次的に細菌が感染する事例が認められた。

第五節 冬野菜の虫害

北海道における冬季無加温栽培の葉根菜類に発生する主要害虫について、既往の知見と著者の調査結果に基づき、その概要を報告する。ナメクジ類は種の同定に至っていないが、葉を食害し、また、這うことで作物体表面に粘液の痕を残すことによって、作物の商品性を低下させた。アブラムシ（主にモモアカアブラムシ）は冬季にも生存し、作物に混入することで商品性を低下させた。ネキリムシ類（おそらくタマナヤガ、カブラヤガ、およびその他の近縁種）は作物の地際を食害し、作物の枯死や著しい生育遅延を生じさせた。コナガはアブラナ科作物において葉の食害が問題となった。本栽培における害虫の種類、生態、防除法については、十分な調査・検討がされていないため、今後の研究が必要と考えられた。

第三章 早春作の導入による周年生産技術の完成

第一節 道北における早春野菜の導入

道内における無加温パイプハウスの周年利用体系の確立に向け、葉根菜類の冬季無加温栽培終了後から春の作付けまでの期間内に導入可能な葉菜類の早春作型を検討した。ハウレンソウ、コマツナ、ミズナは 2 月上旬の直播によって、チンゲンサイは 2 月上旬播種一下旬定植の紙筒育苗によって 4 月上旬までの収穫が可能となり、葉根菜類の冬作、葉菜類の春作、トマト等の夏秋作の組合せにより 1 年を通じて野菜を無加温で生産できる。

第二節 早春野菜の生育・養分吸収特性、品質

周年利用体系に対応した早春播き葉菜類の作型は、道北において既存の早春播き作型よりコマツナでは 2 週間、ハウレンソウでは 10 日ほど早く播種を行う。この作型の生育と養分吸収を比較したところ、既存作型より生育、養分吸収が緩慢なため播種から収穫までの期間は長かったが、暦日で 1 週間以上早く収穫できた。また、施肥量は既存作型と同様でよいことが示された。収穫物の内部品質についてみると、既存作型と同等以上であった。

第三節 周年生産技術における不耕起栽培の導入の試み

無加温パイプハウスを用いた野菜周年作付け体系において、冬作型（リーフレタス）から早春作型（チンゲンサイ）、夏作型（スイートコーン2連作）と1年間耕起を行わない連続不耕起栽培の導入を試みた。不耕起区は後の作型になるにつれ、耕起区と比較して根系発達が阻害され、土壌物理性が悪化する傾向を示したが、耕起区と同等の生産性を示した。本試験の土壌と作目においては、連続不耕起栽培法の導入は可能と考えられる。

/10aの所得を確保できると考えられた。

第四章 周年生産技術のための資材、施設とその経済性

第一節 無加温パイプハウスの保温性向上

冬季無加温パイプハウスの保温性向上に向け、1) トンネルの被覆資材および被覆方法、2) 水蓄熱資材、3) ハウス周辺部への断熱資材の埋設処理について検討した。トンネル被覆に関しては農ビフィルムを二重に被覆することで、一重被覆のトンネルよりも保温性が向上した。冬季の低日射条件下では水蓄熱資材をハウス内に設置しても十分な保温効果が得られず、ハウス周辺部への断熱資材の埋設処理もその効果は小さかった。

第二節 無加温パイプハウスの保温装備マップと耐雪強度マップ

葉根菜類の冬期無加温生産に用いるパイプハウスの仕様（保温性能、耐荷重）について、道内各地の気象条件との関係を整理した。保温性能については、栽培品目に応じた最低気温を維持するために必要な被覆仕様を「保温装備マップ」として整理した。耐荷重については、1日または2日でハウス上部の雪を確実に落雪させることを前提に、各地域で必要とされる耐荷重を「耐雪強度マップ」として整理した。

第三節 周年生産技術の経済性と総括

道総研によって開発された「無加温パイプハウスを用いた野菜の周年栽培技術」の道北地域での収益性を、トマト単作から周年栽培に切り替えた場合の所得の変動を試算して評価した。品目によっては必要経費（ハウス装備追加コストとトマトの減収額）を回収できない場合も想定されたが、冬作にチンゲンサイを作付けすると、冬作のみで経費を回収し、春作の追加により冬から春の農閑期に95～136万円

Summary

Chapter 1

Establishment of Leafy and Root Vegetable Production Methods for Midwinter Cultivation in Unheated Plastic Greenhouses

1. Midwinter Vegetable Production Methods for Unheated Plastic Greenhouses in a Snow-covered Region of Hokkaido: Komatsuna (*Brassica rapa* L. *Perviridis* group) as a Model

A three-year experiment was conducted to produce komatsuna (*Brassica rapa* L. *Perviridis* group) in midwinter in the snow-covered region of northern Hokkaido, Japan. Unheated plastic greenhouses with double plastic tunnels equipped with multiple layer insulation plastic film showed extremely high performance for heat insulation in midwinter. When the outside air temperature dropped to -26.8°C at night, the minimum air temperature in the tunnels was -3.3°C . Presumably, the minimum air temperature in the plastic greenhouse is predictable from the minimum outside air temperature using simple regression analysis. For sowing from late September through early October, more than 2.6 kg/m^2 of komatsuna was obtained from late December through late January during every experiment. These results reveal that the usage of a multiple-layer plastic greenhouse with double plastic tunnels enables production of komatsuna with no heating in midwinter in snow-covered regions of northern Hokkaido.

2. Screening of Vegetables Suitable for Midwinter Production

Leafy and root vegetables harvested from December through February were screened under unheated plastic greenhouses cultivation during fall–winter. Wasabina (leaf mustard), purple leaf mustard, komatsuna, tat-soi, early turnip, Swiss chard, coriander, Chinese cabbage, leaf lettuce,

mizuna, and purple mizuna were expected to have excellent cold tolerance and to be harvested at high marketable rates at temperatures higher than -5°C inside unheated plastic greenhouses.

3. Leaf Lettuce and Iceberg Lettuce in Southern Hokkaido

The transplant periods to harvest leaf lettuce and iceberg lettuce after December were, respectively, early to mid October and late September to early October in southern Hokkaido. Installation of multilayer insulating film in unheated plastic greenhouses or introducing film curtains and plastic film tunnels inside the greenhouse together reduced cold damage to lettuce. The minimum temperatures for cold damage tolerance in leaf lettuce and iceberg lettuce were -5 and -2°C , respectively. The daily cumulative temperatures between transplanting and harvest were 550 and 620°C . More than 900°C of daily cumulative temperature caused rotting of iceberg lettuce and decline of its marketable rate.

4. Turnip and Chinese Cabbage in Southern and Northern Hokkaido

The sowing and transplanting seasons for early turnip and Chinese cabbage intended for harvest in late November and thereafter in southern / northern Hokkaido were outlined. Installing multilayer insulating film in unheated plastic greenhouses or introducing film curtains and plastic film tunnels or row covers by unwoven cloth inside the greenhouse together promoted their growth and reduced cold damage in winter, but induced root cracking in turnips and bolting in Chinese cabbage. The minimum temperatures for cold damage tolerance in early turnip and Chinese cabbage were -5°C , respectively. The daily cumulative temperatures between transplanting and harvest

were 600–700 and 410°C.

5. Purple Mizuna and Leaf Mustards in Southern and Northern Hokkaido

Sowing seasons and heat insulation methods for purple mizuna and purple leaf mustard intended for harvest between late November and early February and for wasabina (leaf mustard) between late October and late February under unheated plastic greenhouses in the southern / northern Hokkaido areas were outlined. The minimum temperatures for cold damage tolerance in purple mizuna, purple leaf mustard, and wasabina were, respectively, -5, -7, and -7°C, yields were 2.5, 1.5, 1.5 kg/m², and the daily cumulative temperatures between transplanting and harvest were 560, 580, and 690°C.

6. Borecole (*Brassica oleracea* var. *acephala*) in Northern Hokkaido

Borecole (curly kale) was cultivated without heating during autumn and winter in a multi-film-covered greenhouse in Hokkaido, Japan. Borecole survived even when the greenhouse air temperature dropped to -6.2°C with an accompanying drastic increase in Brix value. This rapid increase of Brix value was observed under conditions in which the minimum air temperature in the greenhouse was less than 0°C. Cold temperatures caused the plant to freeze, inducing extracellular freezing. Although the Brix value increased at low temperatures irrespective of the leaf order, the Brix values for leaves of lower order, at the top of the plant, were much greater than the higher order leaves, closer to the base of the plant. Leaf Brix values started to increase when the average minimum temperature was 1.3°C or less for 10 days before harvest. Moreover, the nitrate concentration, reported as correlated with bitterness intensity, decreased at low temperatures. These results revealed that leaves with reduced bitterness

and improved sweetness are producible at low temperatures from the upper portions of borecole plants.

Chapter 2

Management Techniques for Excellent Vegetables Cultivated in Midwinter in Unheated Plastic Greenhouses

1. Brix Values and Total Polyphenolics of Leafy and Root Vegetables Harvested from Unheated Plastic Greenhouses in Midwinter

Under unheated plastic greenhouse cultivation in winter (October–February), Brix values of leaves in komatsuna, leaf lettuce, turnip, and purple mizuna and total polyphenolics in purple mizuna increased by harvesting in January and thereafter or without tunnel insulation. Brix values and total polyphenolics were negatively correlated with the averages of daily mean and daily minimum temperatures during 2 weeks preceding harvest. Brix values of leaves in komatsuna were higher in winter than in the summer (July–August). Brix values of roots in turnip showed no differences between winter and summer (June–September).

2. Growth, Development, and Nutrient Uptake Characteristics of Vegetables Cultivated in Midwinter in Unheated Plastic Greenhouses. 1. Komatsuna (*Brassica napus* L. *Perviridis* group)

Growth, development, and nutrient uptake characteristics of komatsuna (*Brassica napus* L. *Perviridis* group) cultivated in midwinter in unheated plastic greenhouses were investigated. Growth periods were three: (1) growth, (2) cold acclimation, and (3) growth phase transition.

Plant length stopped increasing and both the growth rate and nutrient absorption rate decreased from late November, although growth and nutrient

absorption continued through late January.

The amount of each absorbed nutrient was generally equal to or less than the fertilizer levels of other cropping systems. Results suggest that the amount of fertilizer applied in winter cultivation should be equal those for other cropping systems.

3. Growth, Development, and Nutrient Uptake Characteristics of Vegetables Cultivated during Midwinter in Unheated Plastic Greenhouses. 2. Borecole (*Brassica oleracea* var. *acephala*)

Borecole, a leafy vegetable known for its high content of functional nutrients, was cultivated in unheated plastic greenhouses covered with double-layered air-inflated plastic film during autumn and winter in Hokkaido, Japan. We surveyed its growth and inorganic nutrient uptake frequently over time.

Fresh weight increase ceased at the beginning of November (average daily temperature about 10°C). Nutrient uptakes other than nitrogen in leaf blades almost ceased in early December (average daily temperature about 5°C). However, dry matter weight continued to increase by the end of December (average daily temperature about 0°C). Each nutrient showed different absorption characteristics in response to low temperatures. Nitrogen and phosphate absorption increased continuously in whole-plant absorption, even at low temperatures. Potassium, calcium, and magnesium showed rapid declines in content under low temperatures with greater distribution to yellowing and dying parts. Moreover, the freeze tolerance mechanism of borecole is not based on the accumulation of inorganic ions but on the accumulation of sugars and other substances to regulate osmotic pressure.

4. Diseases of Vegetables Cultivated in Midwinter in Unheated Plastic Greenhouses

For this study, the author confirmed the occurrence of diseases caused by *Rhizoctonia solani* AG-2-1 in various vegetables as well as Sclerotinia rot, downy mildew, powdery mildew, and gray mold in leaf lettuce. In Chinese cabbage, tansai, and leaf lettuce, the author observed primary or secondary bacterial infections after frost damage attributable to low temperatures.

5. Pests of Vegetables Cultivated in Midwinter in Unheated Plastic Greenhouses

This paper presents a proposal of an overview of the major pests infesting leaf and root vegetables cultivated in midwinter in an unheated plastic greenhouse in Hokkaido, Japan based on earlier accumulated knowledge and on the author's research. Slugs of unidentified species reduced the merchantability of crops by feeding on leaves and leaving slime trails on plant surfaces. Aphids, predominantly *Myzus persicae*, established colonies on the vegetables and survived through the winter, leading to aphid infestations of crop products. Cutworms, probably *Agrotis ipsilon*, *A. segetum*, and other related species, attacked plant bodies at ground level, resulting in plant mortality or stunted growth. The diamondback moth, *Plutella xylostella*, fed on the leaves of cruciferous vegetables. The species composition, life cycle, and control strategies of the pests in this cropping type remain poorly understood, necessitating further research.

Chapter 3

Completion of Year-round Vegetable Production in Unheated Plastic Greenhouses by Introduction of an Early Spring Cropping System

1. Early Spring Sowing of Leaf Vegetables for Year-round Vegetable Production in Unheated

Plastic Greenhouses in Northern Hokkaido

To establish a system for year-round use of unheated plastic greenhouses in Hokkaido, an early spring cropping system for leafy greens was examined. The system can be introduced for the period at the end of winter for unheated cultivation of vegetables and sowing or planting in spring. Direct sowing of spinach, komatsuna and mizuna in early February, and sowing in early February and planting in late February for Chinese cabbage respectively enable harvesting until early April. By incorporating this early spring cropping system, a combination of winter-cultivated leafy root vegetables, early spring-cultivated leafy vegetables, and summer/autumn-cultivated tomatoes and other vegetables are producible year-round in unheated plastic greenhouses.

2. Growth, Development, Nutrient Uptake, and Ingredients of Komatsuna (*Brassica napus* L. Perviridis group) and Spinach (*Spinacia oleracea* L.) cultivated in Early Spring adjusted to Year-round Vegetable Production in Unheated Plastic Greenhouses in Hokkaido

The early spring sown leafy vegetables for a year-round use system were sown two weeks earlier for komatsuna (*Brassica napus* L. Perviridis group) and 10 days earlier for spinach (*Spinacia oleracea* L.) than the existing early spring sown cropping system in northern Hokkaido. A comparison of growth and nutrient absorption values of this cropping system demonstrated that the period from sowing to harvest was longer than that of the existing cropping system because of slower growth and nutrient absorption, but the vegetable was harvested more than one week earlier in calendar days. Results also demonstrated that the amounts of applied fertilizer were similar to that of the existing cropping system. The ingredient quality of these leafy vegetables was equal to or better than that of the existing cropping

system.

3. Trial to Introduce Continuous No-tillage Cultivation into Year-round Vegetable Cropping System in Unheated Plastic Greenhouses

A trial of continuous no-till cultivation without tillage for one year, including winter (leaf lettuce) to early spring (Chinese cabbage) and summer (sweetcorn double cropping) was conducted in a vegetable cropping system in unheated plastic greenhouses. The no-tillage treatment exhibited a trend of inhibiting root system development and deteriorating soil physical properties compared to the tillage treatment, especially during later cropping seasons. However, the no-tillage treatment productivity was comparable to that obtained with the tillage treatment. In conclusion, under soil and cropping conditions such as those in this study, the introduction of continuous no-tillage cultivation methods appears feasible.

Chapter 4

Suitable Heat Insulation Methods and Equipment for Year-round Vegetable Production in Unheated Plastic Greenhouses, and their Profitability.

1. Study of Heat Insulation Methods for Winter Unheated Plastic Greenhouses in Hokkaido.

To improve the heat retention of unheated plastic greenhouses in winter, the following three methods were investigated: 1) covering materials and covering methods for tunnels, 2) heat storage materials by storing water, and 3) burying treatment of heat-insulating materials in the periphery of the greenhouses. Regarding the tunnel covering, double covering with agricultural vinyl film improved the heat retention compared to a single covering tunnel. Under low solar radiation conditions in winter, the installation of water

storage materials in the greenhouses did not provide sufficient heat retention. Moreover, the embedding of heat-insulating materials in the greenhouse periphery was also less effective.

2. Insulation Maps and Snow Tolerance Maps.

Various specifications exist for plastic-covered greenhouses, extending in scope from simple greenhouses for rice seedling cultivation to heavy-duty greenhouses used for overwinter heated cultivation. However, no clear guideline exists for the specifications of these greenhouses. In practice, their structures are selected based on empirical knowledge.

For this study, we specifically examined the relation between the insulation performance and snow resistance strength of plastic-covered greenhouses used for unheated winter production of leaf and root vegetables, in relation to weather conditions in various regions of Hokkaido.

For insulation performance, six specifications were established based on combinations of multiple layers of greenhouse coverings and tunnels. Using actual measurements and simulations with hourly weather data, the necessary covering specifications to maintain the minimum temperature for each crop are presented as an “insulation map.”

The maximum snow load was calculated by considering the greenhouse shape and wind speed, with the assumption that snow on top of the greenhouses would disappear within one or two days after the beginning of snowfall, because of snow sliding, snowmelt, or snow removal. The necessary load capacity for each region is presented as a "snow tolerance map."

3. Profitability of Year-round Vegetable Production in Unheated Plastic Greenhouses in Northern Hokkaido

The profitability of ‘year-round cultivation of

vegetables in unheated plastic greenhouses’ in northern Hokkaido was evaluated by estimating the change in income when switching from tomato monoculture to year-round cultivation. Assuming the cost of additional greenhouse equipment and reduced tomato income as necessary expenses, these findings suggest that these expenses might not be recovered if some vegetables were selected. However, when Chinese cabbage was chosen as the winter crop, the necessary expenses can be recovered from the winter crop alone. Furthermore, by adding an early spring crop, it was considered possible to secure income of 950–1,360 yen/ m² during winter through spring.

北海道立総合研究機構農業試験場資料 第 45 号

ISSN 2186-1056

「無加温パイプハウスを利用した
北海道における葉根菜類周年生産技術の開発」成果集

2024(令和6)年11月8日 発行

発行者 地方独立行政法人
北海道立総合研究機構農業研究本部 上川農業試験場
〒078-0397 北海道上川郡比布町南1 線5 号
印刷 株式会社 正文舎