

地域研究

道北地域における冬季無加温栽培による葉菜類および根菜類の内部成分変化

加藤 淳¹⁾* 梁川亜優¹⁾ 高濱雅幹²⁾

¹⁾ 名寄市立大学保健福祉学部栄養学科

²⁾ 北海道立総合研究機構上川農業試験場 (現ベジヨー・ジャパン株式会社)

キーワード：カラシナ シュンギク カブ クロロフィル 糖組成

1. はじめに

これまで寒さの厳しい北海道では葉菜類の栽培は困難であると考えられていたため、道内の多くの地域では冬季に消費する葉菜類の多くを道外産に依存してきた。しかし、近年は異常気象や台風の頻発により道外産の生産量が不安定になることが多い。さらに原油価格も高値で推移する傾向が続いており、輸送コストの増加に伴い冬季の葉菜類の販売価格も上昇傾向にある。このため、冬季でも道外産野菜に依存するだけでなく、地場の道産野菜の安定供給を求める声が高まっている。

このような状況に対応すべく、近年道内では冬季に無加温で葉菜類を生産する技術開発が取り組まれていた¹⁾。この栽培技術の要点は、初冬までに野菜を収穫サイズに生育させた後、厳寒期には灯油ボイラー等の加温機は使用せず、農業用フィルム被覆保温による低温管理とすることで生育を停止させ、出荷期間の延長をはかる技術である。これまでに葉菜類の中でも比較的低温に強い葉根菜類約6品目を無加温で生産する低コスト栽培技術が確立され^{2) 3) 4)}、現在、道内各地の生産現場への導入が進みつつある。

また、冬季無加温栽培のメリットとして品質向上があげられる。ハウレンソウの寒締め栽培やポーレコールの冬季無加温栽培では低温期に糖度が上昇し、糖組成に変化が見られることが明らかになっており^{5) 6)}、高付価値野菜としての販売が期待されている。しかし、調査されている品目は限られており、特にクロロフィル濃度や糖組成については十分に解明されていない。また、冬季栽培期間中の品質変動についても十分に明らかにされていない。

そこで本研究では、冬季無加温栽培を実施した葉根菜類の品質を明らかにし、冬季の気象条件との関係性について解明する。

2. 研究方法

1) 冬季無加温栽培

2022年度に、北海道立総合研究機構上川農業試験場(比布町)の外張り空気膜二重構造⁷⁾のパイプハウスにて試験を実施した。品目にはカラシナ(品種:ワサビナ)、シュンギク(品種:さとあきら)およびカブ(品種:玉里)を供試した。カラシナおよびシュンギクは200穴セルトレイで育苗した3~4葉苗を利用し、カブは種子を直接圃場に播種した。施肥量は $N-P_2O_5-K_2O=15-15-15$ kg/10aとした。1.5m幅の黒マルチベッドを準備し、カラシナは株間30cm、条間15cmの10条千鳥植え(栽植密度22,222株/10a)とし、シュンギクおよびカブは株間および条間15cmの10条植え(栽植密度44,444株/10a)とした。いずれの品目も2022年9月27日に播種または定植した。試験規模は2水準、試験規模は1区1.5m²、3反復とした。栽培期間を通して処理区中央の気温(地上20cm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)、日最低気温平均(以下、最低気温)お

*責任著者 E-mail:katojun@nayoro.ac.jp

よび日最高気温平均 (以下、最高気温) を算出した。

カラシナは葉長が 20~25cm に達した葉を週 1 回の頻度で収穫した。シュンギクについては、草丈が 25cm に達した際に地際から 4 葉残し摘心した。その後葉の腋から伸張した側枝が 20~25cm に達したものを 1 週間に 1 回の頻度で収穫した。サンプリングは 2022 年 12 月 1 日および 21 日ならびに 2023 年 1 月 18 日の計 3 回実施した。カラシナとシュンギクは当該日の収穫物をサンプルとして利用した。カブは当該日に各反復で 5 株収穫し、茎葉部と胚軸部 (以下、根部) に切り分けてそれぞれサンプルとした。

2) 乾物率・粗クロロフィル濃度・糖組成の測定

サンプルは細断・混和後、約 50g を凍結乾燥させ、乾燥前後の重量をもとに乾物率を算出した。凍結乾燥サンプルはパウダー状に粉碎し、0.5g を 50% エタノールで抽出した。粗クロロフィル濃度は希釈した抽出液の 660nm および 642.5nm の波長における吸光度より算出した。糖組成については、希釈した抽出液を利用して食品分析キット (Roche /R-Biopharm) 「F-キット」を利用してグルコース (以下、Glu) を、同「E-キット」を利用してフルクトース (以下、Fru) およびスクロース (以下、Suc) を測定した。

3. 結果

1) 栽培期間の気温推移

定植時の 9 月下旬の日平均気温は約 20°C であったが、その後徐々に低下し、最初のサンプリング日である 12 月 1 日における平均気温は 6.9°C、2 回目のサンプリング日である 12 月 21 日の平均気温は 2.2°C、3 回目のサンプリング日である 1 月 18 日の平均気温は 0.2°C であった (図 1)。最低気温も平均気温と同様の推移を示したが、12 月 1 日、12 月 21 日および 1 月 18 日においてそれぞれ 2.6、-1.0、-4.7°C であった。栽培期間中最も気温が低かったのは 1 月 8 日に記録した -8.5°C であった。日最高気温は 10 月下旬までは 25~30°C で安定していたが、以降は日平均気温または日最低気温と比べ日変動が大きく、12 月 1 日、12 月 21 日および 1 月 18 日における最高気温はそれぞれ 16.8、9.9、10.5°C であった。

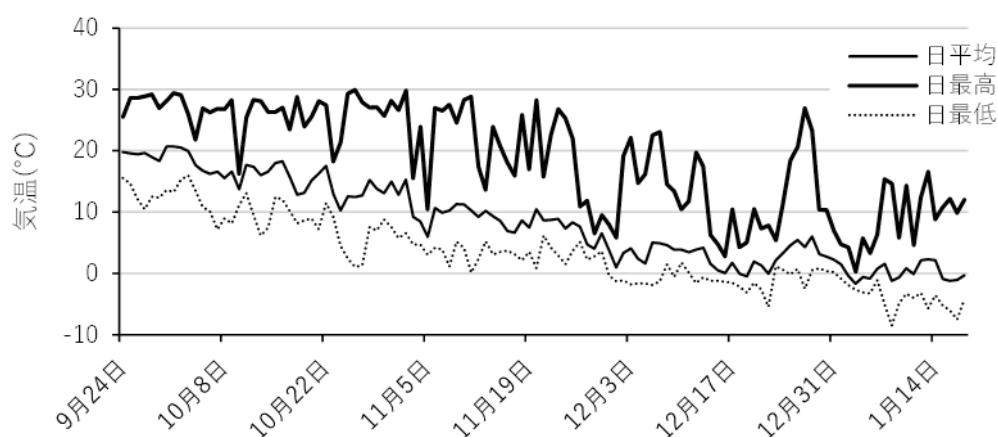


図 1 栽培期間中の気温推移

2) カラシナの内部成分の推移

乾物率について、12 月 1 日では 7.1% であったが、収穫時期が遅くなるにつれて乾物率は上昇し、1 月 18 日に 11.7% となった (図 2A)。粗クロロフィル濃度について、12 月 1 日と 12 月 21 日にそれぞれ 24.4 および 26.4mg/gFW となり両者に大きな差は認められなかったが、1 月 18 日に 32.3mg/gFW となり著しく増加した (図 2B)。Glu、Fru および Suc 濃度はいずれも収穫時期が遅くなるにつれて増加した (図 2C)。特に Suc 濃度は変化が著しく、12 月 1 日には 0.4g/100gFW であったが、1 月 18 日には 2.6g/100gFW に増加した。

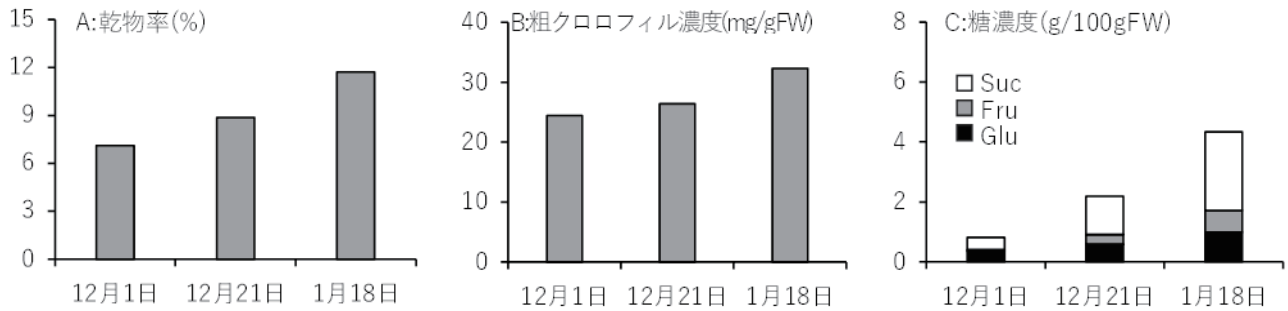


図2 カラシナにおける乾物率、粗クロロフィル濃度および糖濃度の推移

乾物率、粗クロロフィル濃度および各種糖濃度と、収穫前2週間の気温条件との相関係数を表1に示した。最低気温は各種成分との間に高い負の相関が認められ、粗クロロフィル濃度を除き10%水準で有意な相関が見られた。

次いで平均気温との間に高い負の相関が見られたが、有意差は認められなかった。最高気温はいずれの成分についても最低気温もしくは平均気温より相関が低かった。粗クロロフィル濃度は、乾物率および糖濃度と比べ、各気象条件との相関が低かった。

表1 カラシナにおける内部成分と収穫前2週間の気温条件との相関

	平均気温	最高気温	最低気温
乾物率	-0.930	-0.740	-0.990 †
クロロフィル	-0.870	-0.639	-0.962
Glu	-0.928	-0.736	-0.990 †
Fru	-0.934	-0.746	-0.992 †
Suc	-0.937	-0.753	-0.993 †
Glu+Fru+Suc	-0.935	-0.749	-0.992 †

†:10%で有意に相関あり。

3) シュンギクの内部成分の推移

12月1日の乾物率、粗クロロフィル濃度、Glu、FruおよびSuc濃度は、それぞれ8.7%、122.2mg/gFW、0.5g/100gFW、0.1g/100gFW、1.1g/100gFWであったが、いずれも12月21日では上昇し、13.2%、165.0mg/gFW、1.0g/100gFW、0.7g/100gFW、2.7g/100gFWとなった(図3A、B、C)。乾物率および粗クロロフィル濃度は供試した3品目の中で最も高く推移した。

なお、1月以降は低温により凍結枯死したため、1月18日には収穫できなかった。

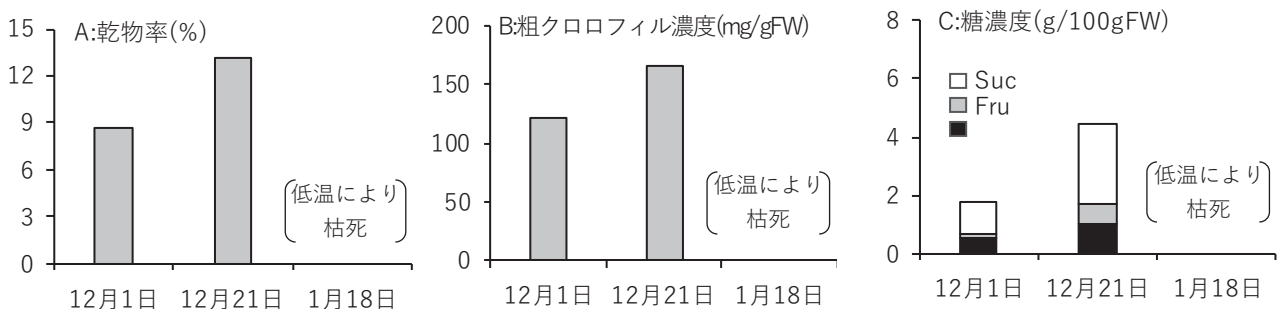


図3 シュンギクにおける乾物率、粗クロロフィル濃度および糖濃度の推移

4) カブの内部成分の推移

茎葉部の乾物率については、12月1日と12月21日ではそれぞれ8.0および8.6%で両者の差は小さかったが、1月18日には11.5%にまで増加した(図4A)。一方、根部の乾物率は3回の調査で5.5~6.6%であり、

大きな差は見られなかった(図4B)。

茎葉部の粗クロロフィル濃度については、12月21日が62.6mg/100gFWとなり、12月1日(48.6mg/100gFW)および11月18日(49.0mg/100gFW)より高かった(図4C)。根部の粗クロロフィル濃度は、茎葉部に比べ著しく低かった(図4D)。また12月1日には1.3mg/100gFWであったが、12月21日には0.5mg/100gFW、1月18日には0.1mg/100gFWとなり、収穫時期が遅くなるほど低下した。

茎葉部のGlu、FruおよびSuc濃度については、いずれも収穫時期が遅いほど増加した。特にSuc濃度は著しく増加し、12月1日の1.5から1月18日には4.7g/100gFWとなり、3倍以上となった(図4E)。一方、根部の各種糖濃度は、茎葉部より高いものの、収穫時期による差は小さく、Gluで1.6~1.9g/100gFW、Fruで1.3~1.6g/100gFW、Sucで7.4~8.7g/100gFWであった(図4F)。

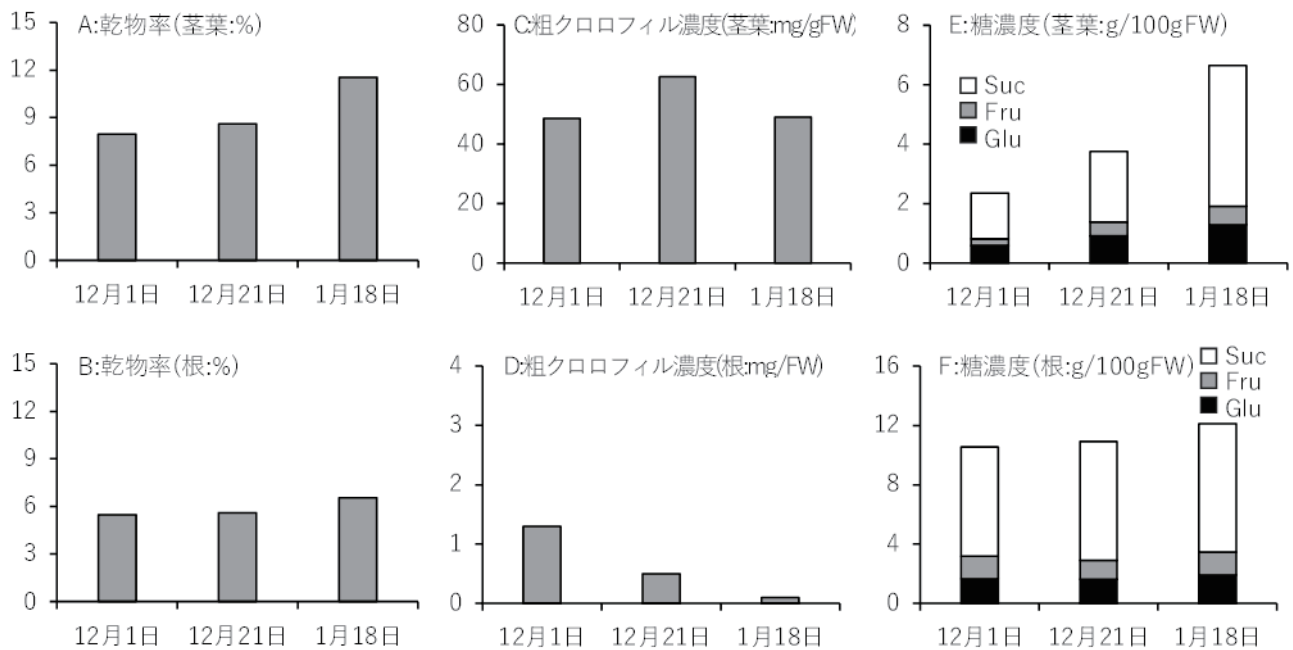


図4 カブにおける乾物率、粗クロロフィル濃度および糖濃度の推移

カブの茎葉部および根部における乾物率、粗クロロフィル濃度および各種糖濃度と、収穫前2週間の気温条件との相関を表2に示した。茎葉部の乾物率、Glu、Fru、Suc、およびGlu+Fru+Suc濃度は最低気温と高い負の相関が見られ、特にGluおよびFru濃度では5%および10%水準で有意となった。

また、GluおよびFru濃度は、平均気温との間に高い負の相関が見られ、特に、Fru濃度では10%水準で有意な相関が見られた。最高気温と各種成分との相関は、最低気温および最低気温と比べて低かった。粗クロロフィル濃度はいずれの気象条件とも相関が低く、-0.585~-0.026であった。根部において、乾物率、Glu、Suc、Glu+Fru+Suc濃度は、

表2 カブにおける内部成分と収穫前2週間の気温条件との相関

		平均気温	最高気温	最低気温
茎葉部	乾物率	-0.831	-0.580	-0.938
	粗クロロフィル	-0.260	-0.585	-0.026
	Glu	-0.959	-0.797	-0.999 *
	Fru	-0.996 †	-0.898	-0.990 †
	Suc	-0.874	-0.645	-0.964
	Glu+Fru+Suc	-0.907	-0.699	-0.981
根部	乾物率	-0.794	-0.527	-0.914
	粗クロロフィル	0.999 **	0.917	0.982
	Glu	-0.701	-0.403	-0.849
	Fru	0.175	0.512	-0.061
	Suc	-0.970	-0.820	-1.000 **
	Glu+Fru+Suc	-0.856	-0.617	-0.953

†:10%、*:5%、**:1%で有意に相関あり。

最低気温との間に高い相関が見られた。特に Suc 濃度は最低気温と 1%水準で有意な相関を示し、平均気温とも高い相関が認められた。Fru 濃度は気象条件との相関が低く、係数は-0.061~0.512であった。粗クロロフィル濃度はいずれの気象条件とも高い正の相関を示し、特に平均気温とは 1%水準で有意な相関が認められた。

4. 考察

積雪寒冷地において冬季に農業生産を行う場合、一般的にハウス内で暖房等を用いた加温が必要となる。しかし、コマツナやホウレンソウは冬季の低温条件を有効に利用することで、糖含量やビタミンC等が増加し、品質が高まることが報告されている⁶⁾⁸⁾。ケール的一种であるポーレコールでも同様に、冬季の低温により Brix 値や糖濃度が上昇することが明らかとなっている⁵⁾⁹⁾。そこで本研究では、新たにカラシナ、シュンギクおよびカブを対象に冬季無加温栽培し、異なる収穫時期における乾物率、粗クロロフィル濃度、Glu、Fru、Suc 濃度の糖組成の変化と気温との関係について検討を行った。

本研究においては、カラシナとカブは 1 月 21 日まで収穫が可能であった。なお、栽培期間中の最低気温は -8.5℃であった。過去の報告において、ワサビナおよび小カブはハウス内の気温を -5℃以上に確保できれば厳寒期の無加温条件でも可販率を維持し、収穫可能と報告されている¹⁰⁾。このため、今回の結果は過去の報告で明らかにされている生育限界温度より低いと言える。植物が耐寒性を獲得するには、低温順化と呼ばれる、一定レベルの低温に遭遇するプロセスを経る必要がある¹¹⁾。そのため、冬季無加温栽培では事前の低温遭遇条件によって耐寒性が変化する可能性がある。本研究では、厳寒期が到来する前に十分な低温に遭遇していたことで、より高い耐寒性が得られたと考えられた。一方で、シュンギクは 1 月 21 日には枯死した。シュンギクの耐寒性に関してはこれまでほとんど報告されていないが、本研究の結果から、シュンギクの耐寒性はカラシナやカブと比較して低いものと考えられた。

カラシナについては、乾物率、粗クロロフィル濃度、Glu、Fru および Suc 濃度のいずれも収穫時期が遅くなるに従って上昇した。田村の報告¹²⁾によると、コマツナやホウレンソウでは、冬の最低気温が低下するに従って、葉身の水分含量は減少し、糖含量は相対的に上昇する。本研究においても、乾物率の上昇により相対的に水分含量が低下することで、粗クロロフィル濃度や糖濃度が上昇したのと考えられた。シュンギクについては、1 月 18 日の収穫はできなかったが、収穫日 12 月 1 日と 12 月 21 日を比較すると、カラシナと同様に、乾物率の上昇による各種成分の濃縮が生じたのと考えられた。

カブの茎葉部と根部では、乾物率、粗クロロフィル濃度、Glu、Fru および Suc 濃度の経時推移は大きく異なった。茎葉部の乾物率は、カラシナやシュンギク同様、収穫時期が遅くなるにしたがって上昇した。一方、根部においてはやや増加するものの、ほとんど差は見られなかった。高濱・古林の報告⁸⁾では、小カブ茎葉部の Brix 値は収穫時期が寒くなるにつれて上昇する一方、根部の Brix 値はほとんど差が見られなかった。その原因について、根部は茎葉部ほど乾物率が変化しないためと推察されていたが、本研究でその考察が立証された。

カブの粗クロロフィル濃度については、根部では元来低い上に収穫時期が遅くなるにつれて低下したが、茎葉部では 12 月 21 日をピークに増加から減少へと転じた。葉に含まれるクロロフィルは葉の老化の過程で分解される¹³⁾。このため、根部の肥大課程で成熟・老化した細胞でクロロフィルが分解されたものと考えられた。同じ現象は茎葉部でも生じると推察されるが、乾物率の上昇により粗クロロフィル濃度の上昇が期待される。この粗クロロフィル濃度の低下要因と増加要因の相互効果により、全体としての増減が決定されるものと考えられる。

カブの糖濃度については、茎葉部の Glu、Fru および Suc 濃度は、カラシナと同様に収穫時期が遅くなるに従って上昇した。一方で根部では、Glu、Fru および Suc 濃度は収穫時期が遅くなるに従ってわずかに増加す

るに留まった。この原因については、根部では乾物率の上昇による内部成分の濃縮が生じなかったためと考えられた。しかし、カラシナ、シュンギクおよびカブの葉部などの葉菜類と比較すると、いずれの糖も濃度が高く、特に Suc 濃度が高かった。このことから、カブの根部は葉菜類と比較して非常に甘みの強い野菜であり、その甘さは Suc 濃度の影響が大きいものと考えられる。

高濱・古林の報告⁸⁾に基づき、収穫2週間前の気温との相関を調査した結果、カラシナの全ての内部成分およびカブ茎葉部の粗クロロフィル濃度以外の成分において平均気温と最低気温で0.8以上の相関係数を示し、特に最低気温において高い相関が認められた。このことから、低温により各種成分濃度が増加し、品質が向上していることが判明した。一方、最高気温との相関は低かった。厳寒期であっても、好天日にはハウス内温度が一時的に上昇する場合も見られたことから、日最高気温を基準とした指標ではハウス内環境を適切に反映していないのではないかと考えられた。カブ根部においても、乾物率、Glu および Suc 濃度は、平均気温または最低気温と高い相関が見られたものの、Fru 濃度と気温の間には高い相関は認められなかった。このことから、カブにおいては、低温遭遇により茎葉部と根部で選択的に糖が蓄積されている可能性が示された。

上述のとおり、葉菜類における内部成分の変化に関する報告は数多く見られるが、根菜類の内部成分に関する報告はほとんどないことから、今回のカブ根部における内部品質の調査結果は貴重な情報であると考えられる。今後さらなる調査研究が進められることにより、低温条件が根菜類の内部品質に及ぼす影響について、より明確となることが期待される。

5. おわりに

これまで冬の北海道での農業生産については、加温栽培が前提のため暖房コストがかかり敬遠されてきたが、無加温での栽培技術の普及により地産地消が推進され、高品質の野菜を手ごろな価格で消費者に供給できるようになる。また、冬季無加温栽培技術は、化石エネルギーを使用しないクリーンな農業に貢献できるものとする。これは2015年の国連サミットで採択された、SDGs (持続可能な開発目標) に含まれる17のゴールのうち、ゴール7「エネルギーをみんなに、そしてクリーンに」の概念にも合致する¹⁴⁾。こうした社会の思潮も、冬季の北海道における農業の活性化に貢献するものとする。

謝辞

冬季無加温栽培による野菜の栽培および分析試料を提供して下さった、北海道立総合研究機構上川農業試験場の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 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 (2018) 北海道野菜地図 (その41)、P. 71, 79, 85, 105.
- 2) 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、第88巻、第3号、220-226.
- 3) 高濱雅幹・岡元英樹・地子立 (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ブおよびチンゲンサイ、北農、第88巻、第3号、227-234.
- 4) 高濱雅幹・古山真一・地子立 (2021) 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、第88巻、第3号、235-245.
- 5) 岡本結香 (2021) ボーレコールの冬季無加温栽培による糖組成とクロロフィル濃度の変化、名寄市立大学保健福祉学部栄養学科卒業論文、1-27.
- 6) 田村晃 (2005) 積雪寒冷地域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、秋田県立農業試験場研究報告、第 45 号、80-85.

- 7) 農林水産省 II 温室の保温性向上技術 <https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/index-107.pdf>
- 8) 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、第 88 巻、第 4 号、300-308.
- 9) Shinichi Furuyama, Hideki Okamoto and Tatsuru Jishi (2022) Effect of Cold Exposure on Brix Value of Borecole Leaves Grown in an Unheated Greenhouse in Hokkaido, Subarctic Region、The Japan Society for Horticulture Science、1-7.
- 10) 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、第 88 巻、第 3 号、214-219.
- 11) 今井亮三 (2004) 植物の低温順化の分子機構、植物の生長調節、第 39 巻、第 2 号、174-188.
- 12) 田村晃 (2002) 無加温パイプハウス栽培におけるホ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、74-81.
- 13) 土屋徹、太田啓之、高宮健一郎 (2001) 植物の葉の緑色はどのようにして分解されるか? クロロフィル分解研究の現状、化学と生物、第 39 巻、第 9 号、580-587.
- 14) 外務省、JAPAN SDGs Action Platform JAPAN SDGs Action Platform / 外務省 (mofa.go.jp)

