

# 無加温栽培した冬どりボーレコールの 生育と養分吸収特性\*<sup>1</sup>

岡元 英樹\*<sup>2</sup> 古山 真一\*<sup>3</sup> 地子 立\*<sup>4</sup>

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。

## 緒 言

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<sup>6)</sup>に収穫する技術が確立された<sup>8)</sup>。この技術では、低温下でも栽培可能な品目の選定<sup>18)</sup>やそれらの安定栽培技術<sup>19, 22, 23)</sup>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 (*Brasica 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<sup>1)</sup>。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<sup>17)</sup>、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<sup>12)</sup>。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<sup>11)</sup>。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 et al<sup>3)</sup>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立するためには、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。

## 材料と方法

試験栽培は、Furuyama et al<sup>3)</sup>における2019年冬作と同一である。地方独立行政法人北海道立総合研究機構上川農業試験場（比布町）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 m<sup>2</sup>、容積365 m<sup>3</sup>）を供試した。本試験に用いたパイプハウスの被覆を図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開し、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から9:00に巻き上げて、16:00から17:00の間に展開

2023年9月25日受理

\*<sup>1</sup> 本報の一部は日本土壌肥料学会北海道支部2020年度秋季支部大会で発表した。

\*<sup>2</sup> （地独）北海道立総合研究機構上川農業試験場（現：酪農試験場天北支場、098-5738 枝幸郡浜頓別町）  
E-mail: okamoto-hideki@hro.or.jp

\*<sup>3</sup> 同上、078-0397 上川郡比布町

\*<sup>4</sup> 同上（現：株式会社サカタのタネ北海道支店、071-1502 上川郡東神楽町）

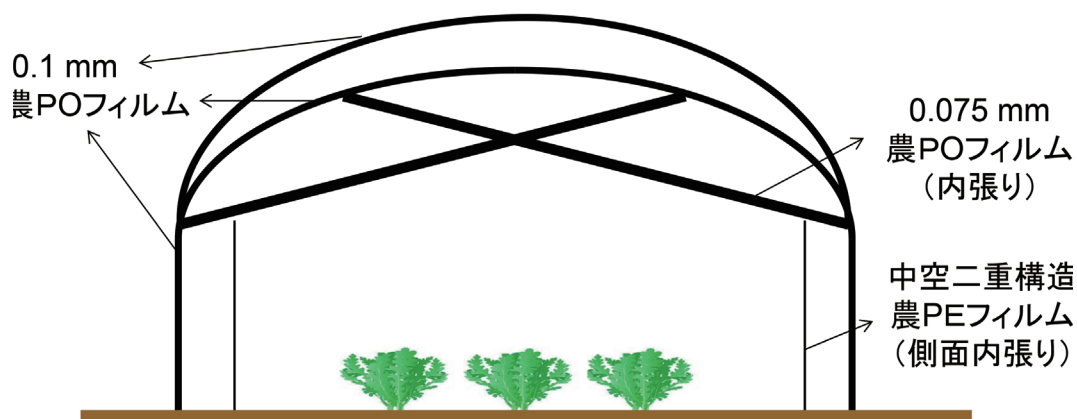


図1 供試した無加温パイプハウスの模式図

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「ウィンターポー」（ベジオー・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/m<sup>2</sup>（畝間40 cm, 株間40 cm）とした。

試験開始前の土壌化学性を表1に示す。土壌は中粗粒褐色低地土であり<sup>4)</sup>、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<sup>7)</sup>。ポーレコールは北海道における施肥基準がないため、ポ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」<sup>2)</sup>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）と硫安、硫加を組み合わせ、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」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に水分率を求め、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<sup>13)</sup>、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」<sup>5)</sup>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）をポ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」<sup>5)</sup>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。

表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 <sub>2</sub> O	
栽培前	5.5	0.22	49.8	260	41	31	4.9

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。

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

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

## 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。

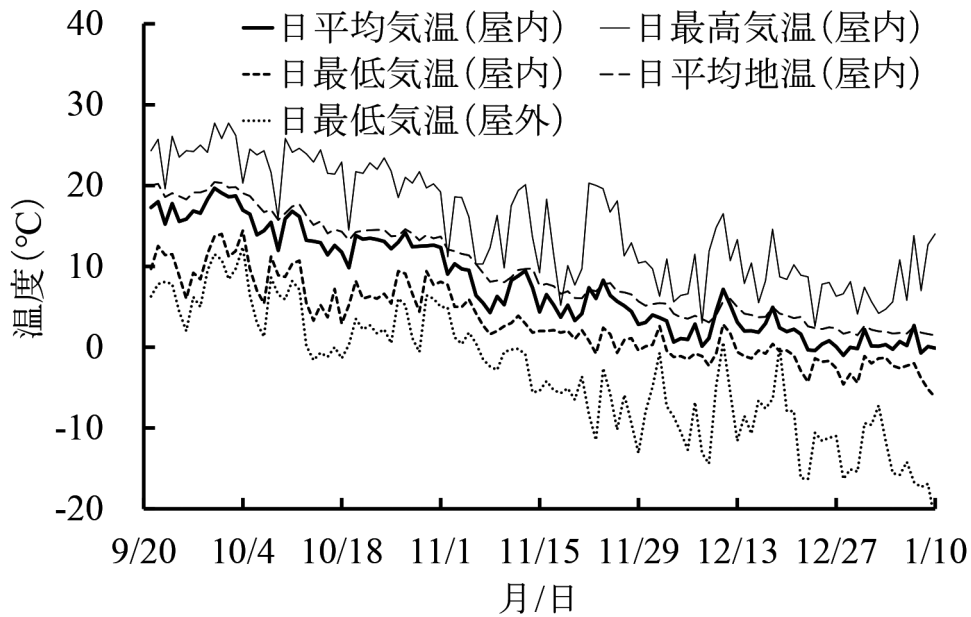


図2 試験期間中における気温および地温の推移

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）。

個体群成長速度（CGR）および相対成長率（RGR）をそれぞれ図5、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。

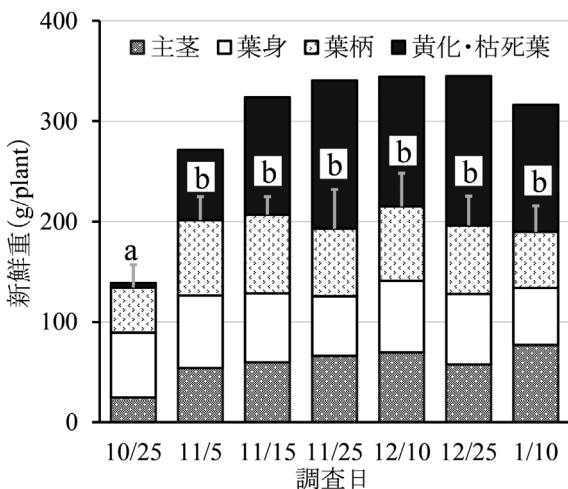


図3 ポーレコールの時期、部位別新鮮重

1) バーは可販部（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,  $P < 0.05$ )。

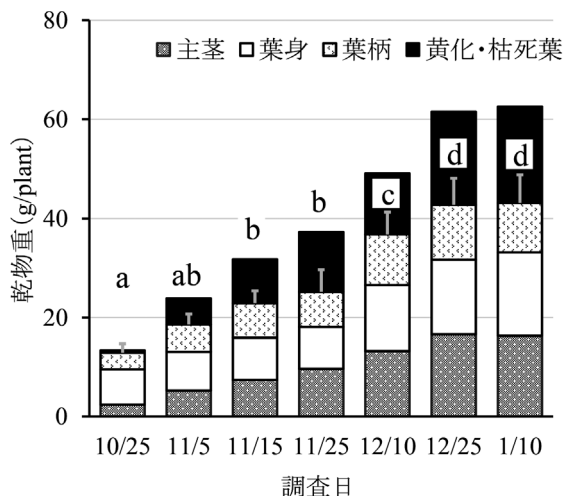


図4 ポーレコールの時期、部位別乾物重

1) バーは可販部（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,  $P < 0.05$ )。

表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

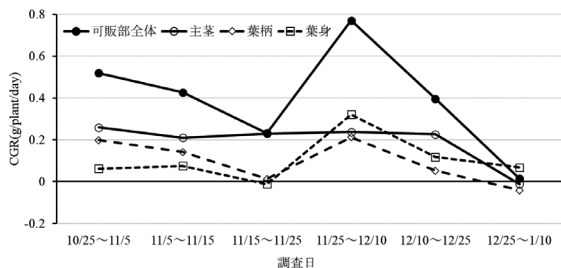


図5 ポーレコールの部位別個体群成長速度 (CGR) の推移

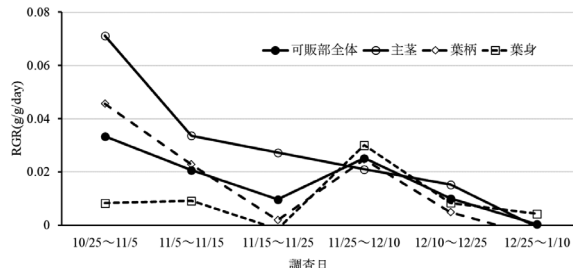


図6 ポーレコールの部位別相対成長率 (RGR) の推移

主茎、葉柄、葉身における各養分含有率の推移を図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。

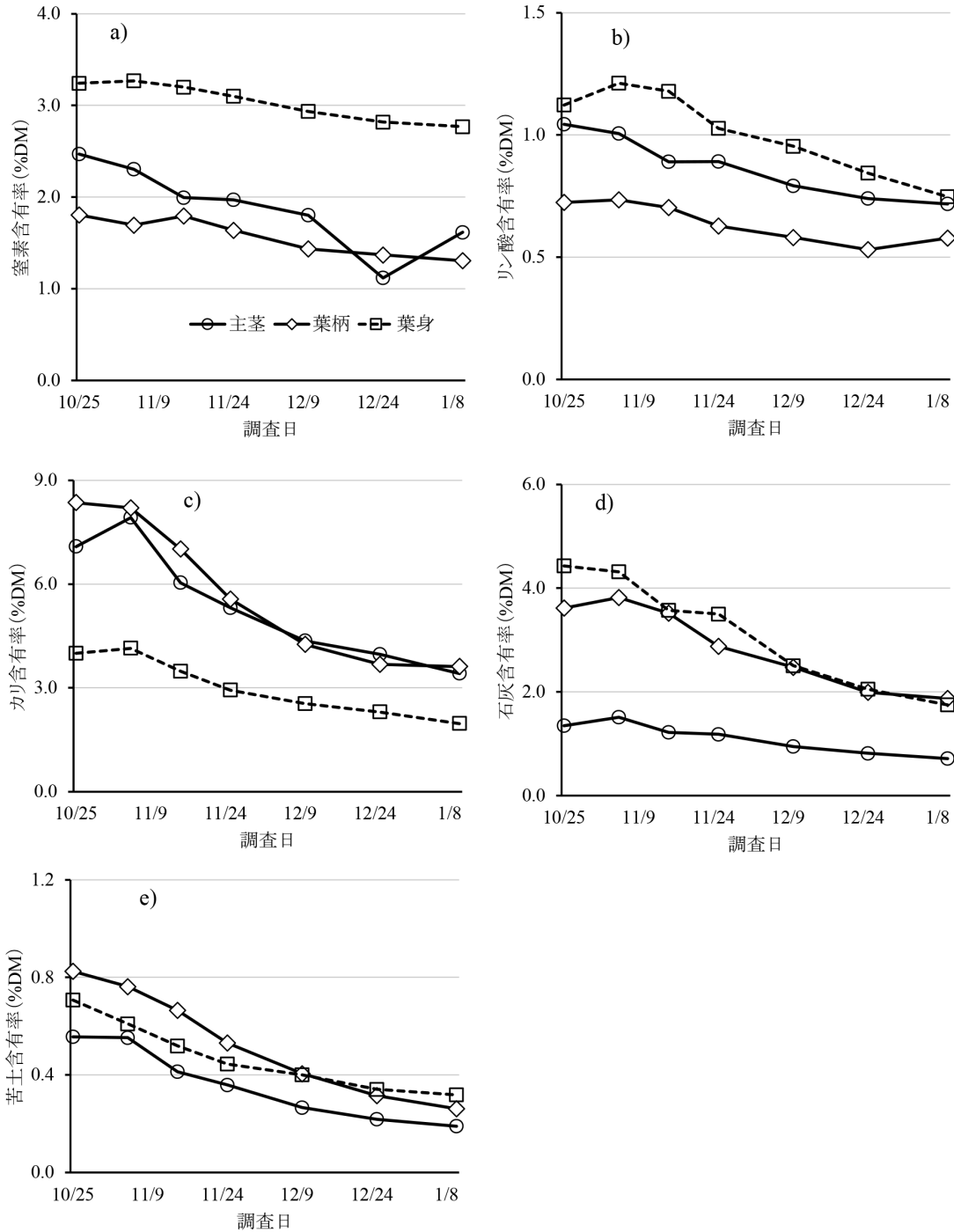


図7 ポーレコール各部位における養分含有率の推移  
 a) は窒素, b) はリン酸, c) はカリ, d) は石灰, e) は苦土。



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8)をみると、12月10日まで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、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/10 a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/10 aであった。

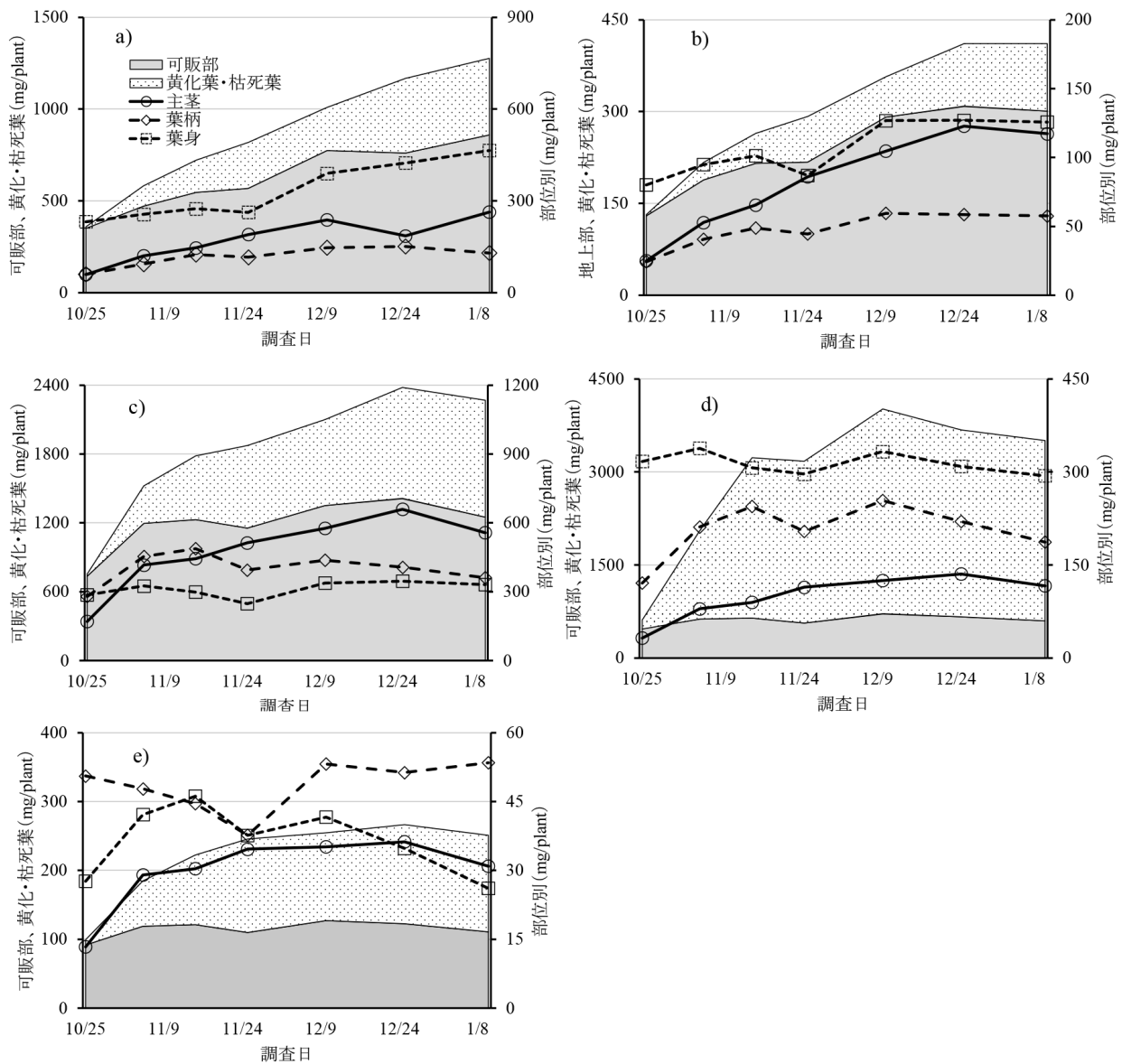


図8 ポーレコールの各部位における養分吸収量の推移

- 1) a) は窒素, b) はリン酸, c) はカリ, d) は石灰, e) は苦土。
- 2) 可販部の各部位は折れ線グラフで、可販部(主茎、葉身、葉柄の合計)と黄化・枯死葉は積み上げ面グラフで表記。

表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 (トルオーグ法) (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 <sub>2</sub> 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ア態窒素の合計。

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から3.6 mg/100 g、無機態窒素は5.4から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3)。

## 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) の増加がほぼ停止したが、それ以降でも乾物重 (図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いる<sup>14)</sup>。このコマツナの結果と今回のポ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、ポーレコールでは新鮮重、葉数はほぼ停止しており (図4, 表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<sup>14)</sup> 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、ポ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、栽培期間の温度がコマツナよりやや低く推移したこととなり (図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。

ポ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<sup>21)</sup>、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5)。一方、コマツナはさらに低温でも生育を続けており<sup>14)</sup>、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<sup>16)</sup>、-4℃から-6℃ま

では生育障害が生じずに生存が可能である<sup>2)</sup>。これらのことから、ポ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温度管理に留意する必要があると考えられる。

ポ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すると考えられるが、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<sup>21, 24)</sup> 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 et al<sup>3)</sup> 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<sup>25)</sup>、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1, 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ポ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. ポ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<sup>15)</sup>。ポーレコールにおいても、Brix値や乾物率の上昇が見られた<sup>3)</sup>。このような糖類の集積は同じアブラナ科のキャベツ<sup>16)</sup>やコマツナ<sup>20)</sup>、キク科のリーフレタス<sup>20)</sup>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<sup>26)</sup>、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るとの報告もある<sup>27)</sup>。しかし、本報の結果をみる限りでは、ポ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<sup>14)</sup>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 et al<sup>3)</sup>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。ポ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<sup>21, 24)</sup>。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5, 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、上記した糖、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ポ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、ポ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<sup>9)</sup>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、冬期の労働力需要の創出をもたらす<sup>10)</sup>、道内の消費者にとっては冬期に新鮮な野菜が入手可能となることが期待される。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。

謝辞 本研究の遂行にあたり適切な圃場管理を実施いただいた北海道立総合研究機構上川農業試験場の石崎雅一氏、笹木正志氏、中川 諭氏ならびに生産環境Gの契約職員の方々、分析作業にご協力頂いた北海道立総合研究機構酪農試験場天北支場の契約職員の方々にこの場を借りて御礼申し上げます。また、本報をご校閲頂いた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）の高濱雅幹博士、酪農試験場天北支場長堂腰 顕博士、天北支場地域技術G研究主幹林 哲央博士に感謝申し上げます。



## 引用文献

- 1) Altinok, S., Karakaya, A. Effect of growth season on forage yields of different Brassica cultivars under Ankara conditions. *Turk. J. Agric. For.* 27, 85-90 (2003)
- 2) 青柳森一, 神保信幸, 所重雄, 村井正和. 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 (1991)
- 3) Furuyama, S., Okamoto, H., Jishi, T. Effect of cold exposure on Brix value of borecole leaves grown in an unheated greenhouse in Hokkaido, subarctic region. *Hort. J.* 92, 171-177 (2023)
- 4) 北海道立中央農業試験場. 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 (2008)
- 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. 北海道野菜地図その43, 札幌, 2020. p.79-80
- 7) 北海道農政部. IV園芸作物. 北海道施肥ガイド2020. 札幌, 2020, p.77-178
- 8) 地子立, 高濱雅幹. 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 (2021)
- 9) 地子立, 岡元英樹. 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 (2022)
- 10) 地子立. 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 (2022)
- 11) Jurkow, R., Wurst, A., Kalisz, A., Sękara, A., Cebula, S., Cold stress modifies bioactive compounds of kale cultivars during fall-winter harvests. *Acta. Agrobot.* 72, 1761 (2019).
- 12) 香川芳子. 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, 2005, p.80-127
- 13) 水野直治, 南松雄. 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 (1980)
- 14) 岡元英樹, 地子立, 古山真一, 藤倉潤治. 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 (2021)
- 15) 酒井昭・吉田静夫 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, 1983, p.47-59
- 16) 佐々木英和. 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. 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 (2021)
- 18) 高濱雅幹, 地子立. 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 (2021)
- 19) 高濱雅幹. 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 (2021)
- 20) 高濱雅幹, 古林直太. 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 (2021)
- 21) 高濱雅幹, 古山真一. 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 (2022)
- 22) 高濱雅幹, 地子立, 古山真一. 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 (2021a)
- 23) 高濱雅幹, 岡元英樹, 地子立. 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 (2021b)
- 24) 高濱雅幹, 岡本結香, 古山真一, 加藤淳. 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 (2022)
- 25) 高橋英一. 3.必須元素. *植物栄養・肥料学*. 朝倉書店, 東京, 1993. p.73-101
- 26) Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., Guo, S. The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *Int. J. Mol. Sci.* 14, 7370-7390 (2013)
- 27) Webster, D. E., Ebdon, J. S. Effects of Nitrogen and Potassium Fertilization on Perennial Ryegrass Cold Tolerance During Deacclimation in Late Winter and Early Spring. *HortScience*. 40, 842-849 (2005)

# Growth, Development, and Inorganic Nutrient Uptake of Borecole harvested in winter under the Unheated Plastic Greenhouse

Hideki OKAMOTO<sup>\*1</sup>, Shinichi FURUYAMA<sup>\*2</sup>, Tatsuru JISHI<sup>\*3</sup>

## Summary

Borecole, a leafy vegetable known for its high content of functional nutrients, was cultivated in an unheated greenhouse covered with double-layered air-inflated plastic film during the autumn and winter in Hokkaido, Japan. We surveyed its growth and inorganic nutrient uptakes frequently with time.

The fresh weight ceased at the beginning of November (average daily temperature about 10°C) and nutrient uptakes other than nitrogen in the leaf blade almost 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 continuously increased in whole-plant absorption even at low temperatures. Meanwhile, potassium, calcium, and magnesium showed a rapid decline in content under low temperatures with more 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.

\*1 Hokkaido Research Organization Kamikawa Agricultural Experiment Station (Present; Dairy Research Center Tenpoku Sub-center, Hamatombetsu, Hokkaido, 098-5738 Japan)

\*2 ditto., Pippu, Hokkaido, 078-0397 Japan

\*3 ditto. (Present; Sakata Seed Corporation Hokkaido Branch Office, Higashikagura, Hokkaido, 071-1502 Japan)