

# 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

田村 晃・篠田光江・田口多喜子

Effect of Heat Insulation and Cold Air Introduction in the Greenhouse on Growth, Freezing Tolerance, and Sugar and Vitamin C Contents in Spinach and Komatsuna at the Region of Limited Solar Radiation in Winter

Akira TAMURA, Mitsue SHINODA and Takiko TAGUCHI.

目	次
I 緒言	20
II ハウス内での保温がコマツナの生育、耐凍性、糖およびビタミンC含量に及ぼす影響	20
1. 試験方法	20
1) 試験区の構成	20
2) 耕種概要	20
3) 測定方法	21
2. 結果	21
1) 保温内部の気温、地温および相対湿度	21
2) 生育	23
3) 耐凍性	24
4) 糖およびビタミンC含量	25
3. 考察	28
4. 要約	29
III 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、糖およびビタミンC含量に及ぼす影響	30
1. 試験方法	30
1) 試験区の構成	30
2) 耕種概要	30
3) 測定方法	30
2. 結果	31
1) 気温	31
2) 生育	32
3) 耐凍性	33
4) 糖およびビタミンC含量	34
3. 考察	38
4. 要約	40
IV 摘要	40
引用文献	41
Summary	42

# I 緒 言

本県は11月には初雪が降り、冬期（12～3月）には地域全体が雪におおわれる。夏期は稲、野菜、花きなど、農家にとって栽培作物の選択肢は豊富であるが、冬期は非常に少ない。このため、農家は出稼ぎや季節的な在宅他産業就労を余儀なくされている。

本県の冬期の野菜生産量や生産額は多雪、低温、寡日射条件の制約を受け、著しく少ない。本県では1985年頃から夏秋野菜用のパイプハウスを主体にして施設栽培が普及し始めた。しかし、これらのハウスは冬期には雪に埋もれ、大部分が遊休化している<sup>1)</sup>。周年農業生産体系の確立は、本県の重要な研究テーマの一つである。そして、冬期に遊休化しているハウスを利用した低コストな葉菜類生産は、周年農業生産体系の一翼を担いうる有力な手段である。

本県では冬期に最低気温が沿岸部、県南内陸部、県北内陸部でそれぞれ-8、-15、-18℃程度になる。このため、冬期における無加温ハウスを利用した葉菜類生産を推進しようとする場合、農家の不安材料、すなわち、葉菜類が凍結することによって被害を受ける（凍結傷害）ことに対する不安を除去する必要がある。

農家は生育促進効果や凍結傷害防止をねらいとして、不織布やビニルでのトンネルなどの保温を実施している事例がみられる。冬期に日射量の多い太平洋側にお

いては、溝底に播種し、不織布べたがけで保温をすることによる、生育促進効果が大きいことが報告されている<sup>2)</sup>。しかし、寡日射下の本県において、保温による生育促進効果を検証した報告がない。また、農家圃場において、保温を実施していても凍結傷害を受けている事例が散見される。

また、冬期に無加温ハウス内で葉菜類を生産する場合、厳しい寒さの中での収穫や除雪作業が伴う。したがって、農家の冬期葉菜類栽培に取り組む意欲を喚起するためには、葉菜類栽培が可能であることを示すのみでは必ずしも十分ではなく、冬期の低温条件が葉菜類の品質を高めるための利点であることを示す必要がある。加藤ら<sup>3)</sup>は日射量の豊富な太平洋側において、外気を導入した低温処理により、ホウレンソウの糖やビタミン含量が高まることを報告している。筆者は寡日射下においても低温処理によりコマツナの糖やビタミンC（以後、VC）含量が高まることを確認している<sup>4)</sup>。

そこで、ハウス内保温と、ハウスのサイド開放による冷気のハウス内への積極的導入がホウレンソウやコマツナの生育、耐凍性、糖およびVC含量に及ぼす影響を検討した。

## II ハウス内での保温がコマツナの生育、耐凍性、糖およびビタミンC含量に及ぼす影響

### 1. 試験方法

#### 1) 試験区の構成

試験は1996/97年、1997/98年に秋田農試内（秋田市仁井田）の100㎡パイプハウス内で実施した。

両年ともにポリエステル系不織布（1996/97年；商品名、サーモセレクト；1997/98年；商品名、パオパオ90）のべたがけ区、トンネル区およびポリ塩化ビニルトンネル（φ0.075mm、以後ビニルトンネル）区を設定し、対照として無保温区を設けた。

試験規模は1996/97年は1区16㎡、1997/98年は23㎡の単区制で実施した。

保温は播種直後から試験終了時（1996/97年、11月1日～2月14日；1997/98年、11月4日～2月24日）まで実施した。また、保温の除去がコマツナの耐凍性、

糖およびVC含量に及ぼす影響を調査するため、両年ともに1月28日に各区の半分の面積の保温資材を除去した。

#### 2) 耕種概要

施肥量は両年とも窒素、リン酸、カリをそれぞれ1 kg/a、苦土石灰、ようりん、稲ワラ堆肥をそれぞれ10、6、200 kg/a、ハウスの全面に施用した。播種は1996年11月1日と1997年11月4日に行ない、品種は‘せいせん7号’を供試した。栽植密度は両年ともに条間20cm、株間5cmとした（100株/㎡）。播種後、11月～2月上旬にかけてはハウスを密閉して管理し、2月中旬以降は晴天日のみサイドを開放して換気をはかった。

3) 測定方法

(1) 気温、地温および相対湿度

ハウス内気温は直径0.3mmの銅・コンスタンタン熱電対を直径5cmの通風型塩ビ管内にセットし、ハウス内中央部の地上1mの地点を測定した。不織布およびビニルトンネル内部の気温は前述の通風型塩ビ管をトンネル（高さ約60cm）内の地上30cmに設置して測定した。不織布べたがけ内部の気温は通風型塩ビ管をべたがけ内の地上5cmに設置して測定を試みたが、べたがけ外部の空気が通風型塩ビ管内に入り込み、べたがけ内部の気温を反映していないのが確認されたので、本報では示すことができなかった。

地温は気温測定と同様の熱電対センサーを酸化防止のために絶縁テープでシールドし、各区中央部の5cm深の地点に設置して測定した。

相対湿度は抵抗変化型湿度センサー（ログ電子社製）を気温測定と同様の通風型塩ビ管内にセットし、気温と同様の地点を測定した。なお、不織布べたがけ内部の湿度は気温と同様の理由により示すことができなかった。

(2) 耐凍性

耐凍性は電解質漏出テストで測定した。試料には下葉を取り除き、内葉の展開した葉身部を供した。試料を約5mm各に刻み、0.5gを秤量して試験管に入れ、パラフィルムでふたをした後、プログラムフリーザー（NCB-3300型、東京理科化器機社製）に入庫し、-3℃で1時間放置した。その後、植水して凍結を誘発させ、凍結に伴って発生する潜熱が十分に逸散するのを確認してから、-2.5℃/時間の速度で温度を降下させた。試料の温度が概ね-5.5、-8、-10.5、-13、-15.5、-18℃に達した時点で試験管を取り出し、暗黒下4℃で翌朝まで緩やかに融解させた。なお、試料の温度は試験管内に熱電対温度センサーを挿入して測定した。また、凍結させずに暗黒下4℃で保存した試料と乳鉢で磨砕した試料を準備し、それぞれ傷害率0%、100%とした。

凍結処理の翌朝、試験管に8mlの蒸留水を加え、ロータリーシェーカー（R-20型、大洋科学工業社）を用いて室温、暗黒下で4時間振とうした。振とう後、溶液の電気伝導度（EC）を測定し、次式により電解質漏出割合を測定した。

電解質漏出割合=(各凍結温度におけるEC-A)/(B-A)

A：暗黒下、4℃で保存した非凍結試料のEC（傷害率0%）

B：乳鉢で磨砕し、細胞を完全に破砕した試料のEC（傷害率100%）

耐凍性の評価は広く耐凍性の指標に用いられている $T_{EL50}$ と栽培継続可能な軽微な凍結傷害が引き起こされる温度<sup>5)</sup>の $T_{EL15}$  [temperature at which 50% ( $T_{EL50}$ ) or 15% ( $T_{EL15}$ ) of electrolyte leakage from leaf blade tissues occurred] で示した。

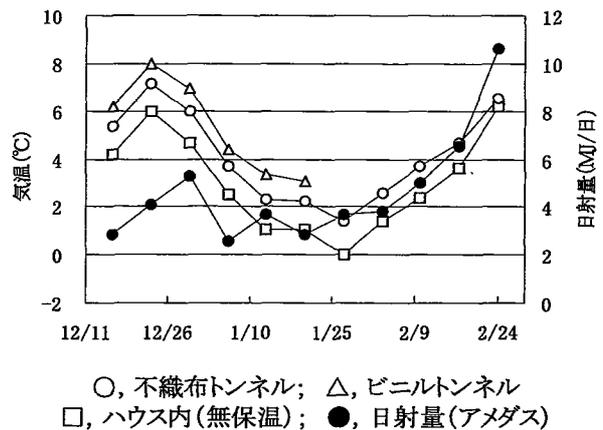
(3) 糖およびビタミンC含量

1996/97年、1997/98年ともに糖含量はアンスロン法、VC含量はヒドラジン法で定量した<sup>4)</sup>。

2. 結果

1) 保温内部の気温、地温および湿度

第1図に各区の平均気温の推移を示す。ハウス内の平均気温（無保温区）は12月中下旬にかけては4~6℃、1月~2月上旬にかけては0~2℃で推移した。2月中旬以降は平均気温が上昇し、2月下旬には約6℃程度になった。不織布トンネルおよびビニルトンネル区の平均気温は無保温区よりもそれぞれ約1℃、約2℃高めに推移した（第1図）。



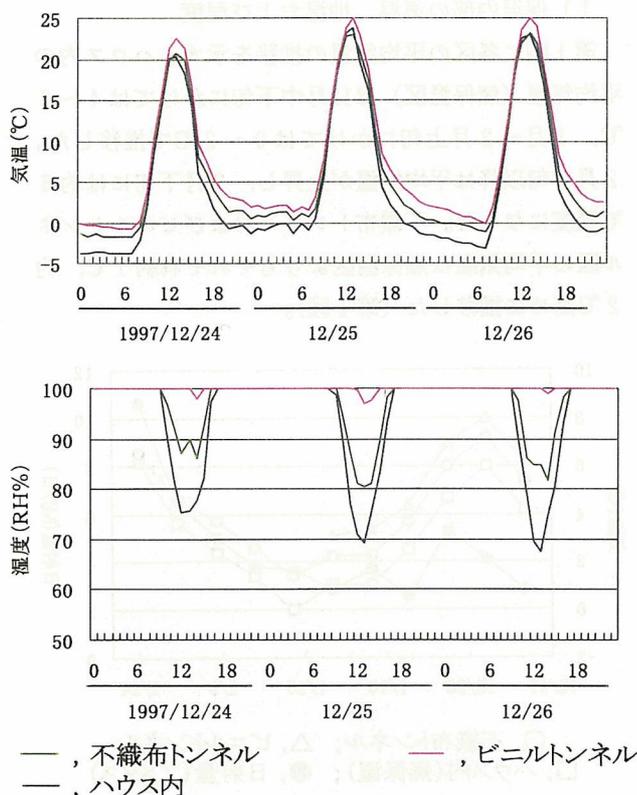
第1図 保温内部の平均気温の推移 (1997/98年)

第2図に晴天日における各区の気温および相対湿度を示す。無保温区は9時頃から急激に上昇し14時頃にピークに達して、その後急激に低下し、20時から翌朝8時頃まで最低気温域の温度で長時間経過した。不織布トンネル区の気温は9時から16時頃までは無保温区とほぼ同様に経過したが、17時から翌朝8時頃までは無保温区よりも1.3~2.2℃高めに経過した。ビニルトンネル区の気温は9時から16時頃までは無保温区よりも約2℃、17時から翌朝8時頃までは無保温区よりも2.5~3.5℃高めに経過した。無保温区の相対湿度は日中の気温上昇に伴って低下し、14時頃には70~75%になった。不織布トンネル区の相対湿度は14時頃には80

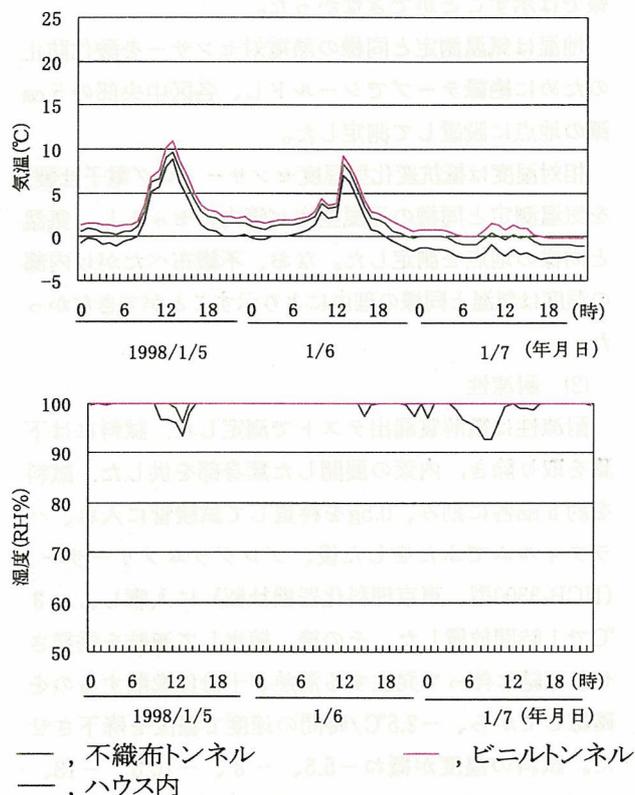
～85%になった。しかし、ビニルトンネル区の相対湿度は昼夜100%付近で経過した(第2図)。なお、1997年12月24日、25日、26日の日射量はそれぞれ9.7、10.1、10.4 MJ/日、最高気温はそれぞれ5.6、8.0、8.6℃、最低気温はそれぞれ-3.9、-0.9、-2.3℃であった(アメダスデータ、秋田市)。

第3図に曇天日における各区の気温および相対湿度を示す。無保温区の日中の気温上昇は晴天日に比べて少なかった。夜間の不織布トンネルおよびビニルトンネル区の気温は、無保温区よりもそれぞれ1～1.5℃、

1.5～2.5℃高めに経過したが、晴天日に比べると無保温区との差は小さかった。無保温区の相対湿度は日中も低下せず90%以上であったが、不織布トンネルおよびビニルトンネル区の相対湿度は昼夜をとおして100%で経過した(第3図)。なお、1998年1月5日、6日、7日の日射量はそれぞれ4.5、3.0、2.0 MJ/日、最高気温はそれぞれ0.1、1、-0.9℃、最低気温はそれぞれ-2.6、-2.5、-5.3℃であった(アメダスデータ、秋田市)。

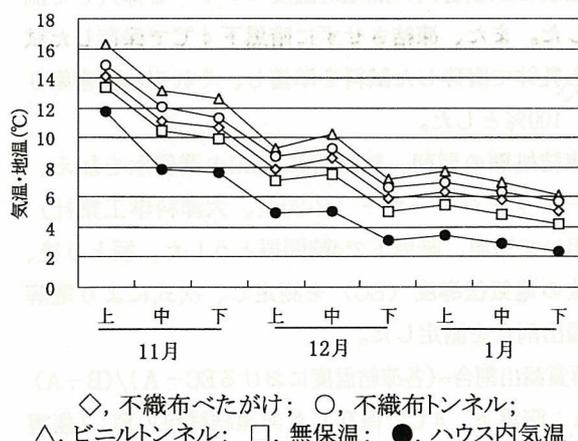


第2図 晴天日におけるハウス内と保温内部の気温および相対湿度



第3図 曇天日におけるハウス内と保温内部の気温および相対湿度

第4図に各区の5cm深の地温および無保温区の気温の推移を示す。無保温区の地温は11月上旬には約14℃であったが、その後次第に低下し、12月上旬には約7℃になり、12月下旬から1月下旬にかけては4～5℃で推移した。不織布のべたがけおよびトンネル区の地温は無保温区の地温よりも1～1.5℃、ビニルトンネル区の地温は無保温区の地温よりも約2℃高めに推移した(第4図)。



第4図 地温(5cm深)およびハウス内の気温の推移(1996/97年)

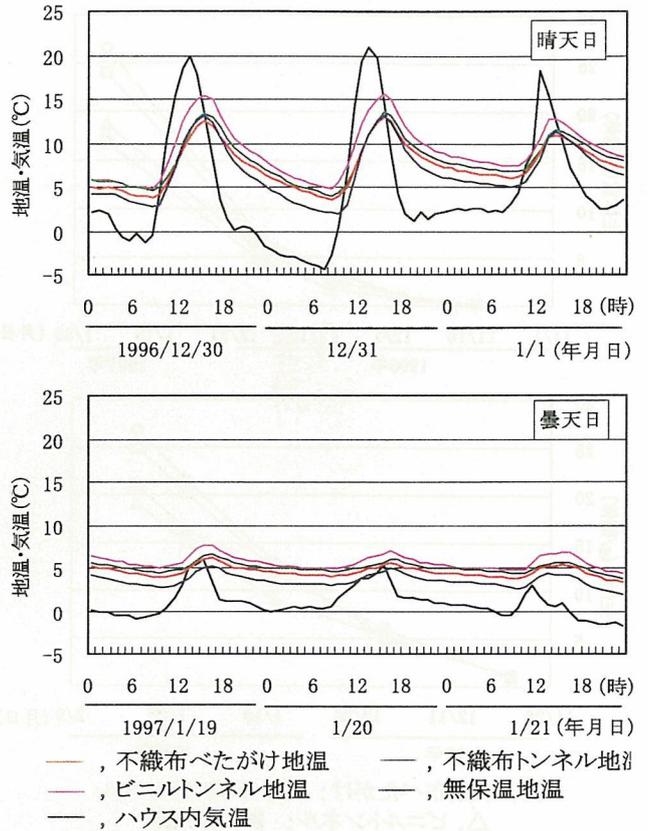
第5図に晴天日と曇天日における各区の5cm深の地温を示す。晴天日の無保温区の地温は10時頃から上昇し、15時頃にピークの12~13℃(9時頃よりも約10℃上昇)になり、その後、翌朝9時頃まで徐々に低下した。不織布のべたがけとトンネル区の日中(12時~18時)の地温は無保温区の地温と同程度であったが、19時から翌日の11時頃までの地温は無保温区よりも1~1.5℃高まった。ビニルトンネル区の地温は無保温区よりも終日2~2.5℃高まった。曇天日の無保温区の地温は晴天日に比べ、日中の温度上昇は極めて小さく、最低地温と最高地温との差は、わずか1.5~2℃であった。無保温区の地温に比べ、不織布のべたがけとトンネル区の地温は終日1~1.5℃、ビニルトンネル区の地温は終日2~2.5℃高かった(第5図)。

2) 生育

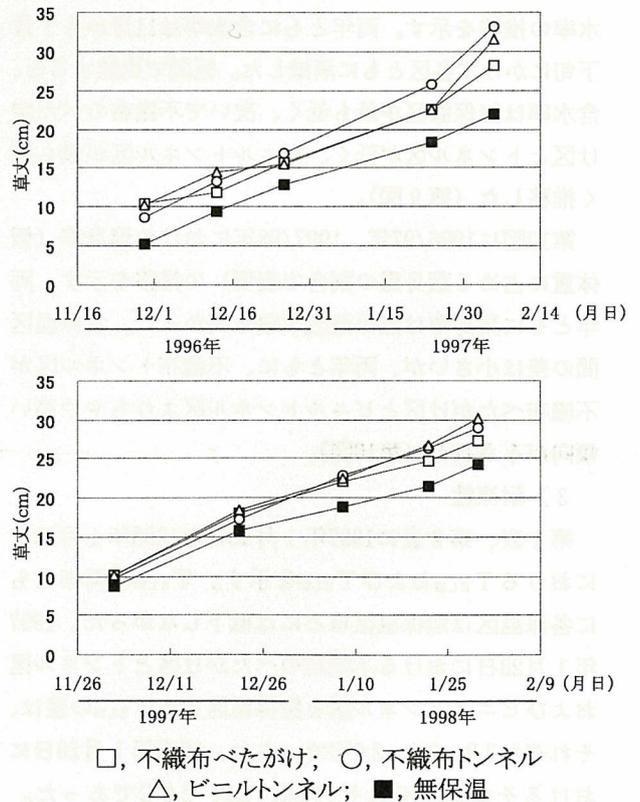
第6図に1996/97年、1997/98年の草丈の推移を示す。両年ともに各保温区は無保温区に比べて草丈の伸長が速かった。コマツナの出荷規格は草丈で22~30cmとされており<sup>6)</sup>、草丈が22cmに達した日は1996/97年は不織布トンネル区が約25日、不織布べたがけおよびビニルトンネル区が約15日、無保温区よりも早まり、また、1997/98年は各保温区が無保温区よりも約20日早まった(第6図)。

第7図に1996/97年、1997/98年における生体重の推移を示す。1996/97年は生体重の増加は不織布のべたがけ区とトンネル区が無保温区よりも大きく、ビニルトンネル区は無保温区と同程度であった。無保温区の1997年1月24日時点(草丈が22cmに到達した日)の生体重は約17g/個体であったが、同日の不織布のべたがけ区とトンネル区およびビニルトンネル区の生体重はそれぞれ約24、約26、約18g/個体であった。1997/98年は生体重の増加は不織布のべたがけ区とトンネル区が無保温区よりも大きかったが、ビニルトンネル区は無保温区よりも小さかった。無保温区の1998年1月30日時点(草丈が22cmに到達した日)の生体重は約21g/個体であったが、不織布のべたがけ区とトンネル区およびビニルトンネル区の生体重はそれぞれ約25、約27、約19g/個体であった(第7図)。

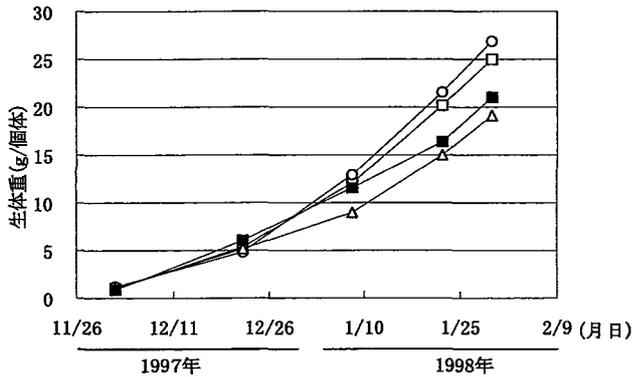
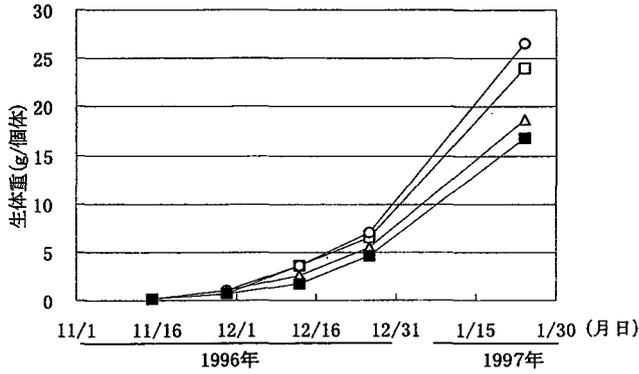
第8図に1996/97年、1997/98年における乾物重の推移を示す。乾物重は両年ともに不織布のべたがけ区とトンネル区では無保温区よりも増加が大きかったが、ビニルトンネル区では無保温と増加が同程度(1996/97年)ないしは小さかった(1997/98年)(第8図)。



第5図 晴天日と曇天日における5cm深地温とハウス内気温

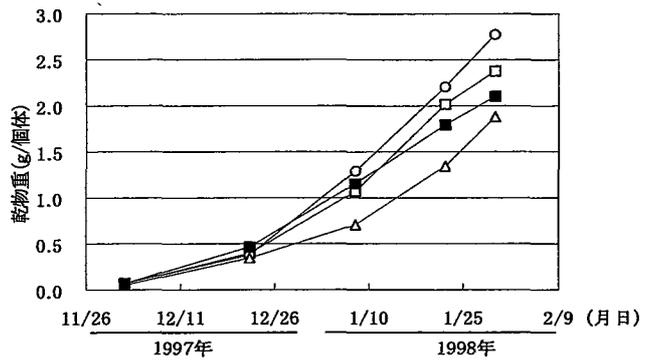
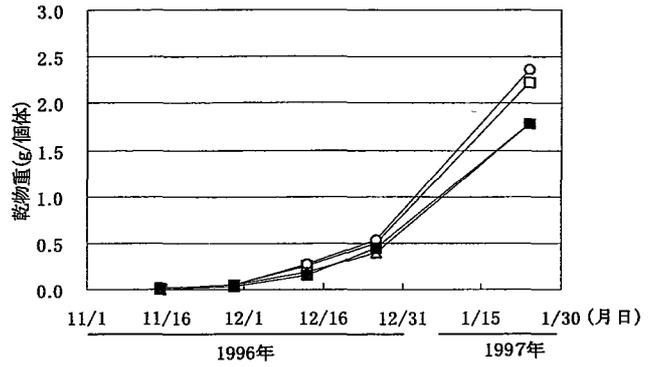


第6図 草丈の伸長に及ぼす保温の影響



□, 不織布べたがけ; ○, 不織布トンネル  
△, ビニルトンネル; ■, 無保温

第7図 生体重の増加に及ぼす保温の影響



□, 不織布べたがけ; ○, 不織布トンネル  
△, ビニルトンネル; ■, 無保温

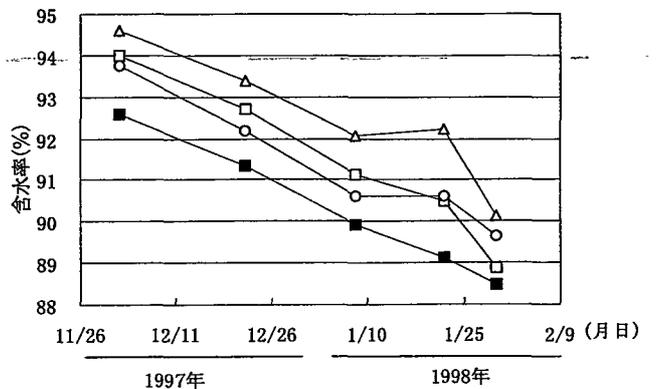
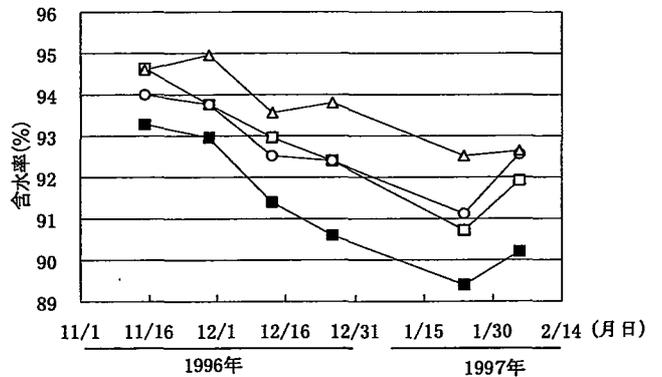
第8図 乾物重の増加に及ぼす保温の影響

第9図に1996/97年、1997/98年における作物体内含水率の推移を示す。両年ともに含水率は11月から1月下旬にかけて各区ともに漸減した。区間で比較すると、含水率は無保温区が最も低く、次いで不織布のべたがけ区とトンネル区が低く、ビニルトンネル区が最も高く推移した(第9図)。

第10図に1996/97年、1997/98年における葉身率(個体重に占める葉身重の割合で表現)の推移を示す。両年ともに葉身率は無保温区が最も高かった。各保温区間の差は小さいが、両年ともに、不織布トンネル区が不織布べたがけ区とビニルトンネル区よりもやや高い傾向がみられた(第10図)。

3) 耐凍性

第1表、第2表に1997年1月28日と1998年1月28日における  $T_{EL15}$  および  $T_{EL50}$  を示す。 $T_{EL15}$  は両年ともに各保温区は無保温区ほどには低下しなかった。1997年1月28日における不織布のべたがけ区とトンネル区およびビニルトンネル区と無保温区との  $T_{EL15}$  の差は、それぞれ2.3、2.4、2.0°Cで、また、1998年1月28日におけるそれは、それぞれ2.0、1.2、2.6°Cであった。 $T_{EL50}$  も両年ともに各保温区では無保温区ほどには低下せず、1997年1月28日における不織布のべたがけ区



□, 不織布べたがけ; ○, 不織布トンネル  
△, ビニルトンネル; ■, 無保温

第9図 水分率に及ぼす保温の影響

とトンネル区およびビニルトンネル区と無保温区との  $T_{EL50}$  の差は、それぞれ1.7、1.5、2.5°Cで、また、1998年1月28日においてはそれぞれ4.3、1.7、4.6°Cであった(第1表、第2表)。

第3表に保温資材の除去が  $T_{EL15}$  および  $T_{EL50}$  に及ぼす影響を示す。保温資材を除去すると各区ともに  $T_{EL15}$  および  $T_{EL50}$  が低下し、2月13日(除去16日後)における各保温除去区と無保温区との差は  $T_{EL15}$  で0.3~0.5°Cと大きく縮まった。また、 $T_{EL50}$  では各保温除去区と無保温区との間には差が認められなかった。一方、保温を継続した場合は、各保温区と無保温区との差は大きく、その差は  $T_{EL15}$ 、 $T_{EL50}$  ともに2~3°Cであった(第3表)。

第1表 保温資材の使用が耐凍性に及ぼす影響

試験区	$T_{EL15}$ °C	$T_{EL50}$ °C	
保温	不織布Aべたがけ	-10.9	-13.0
	不織布Aトンネル	-10.8	-13.2
	ビニルトンネル	-10.6	-12.2
無保温	-13.2	-14.7	

1997年1月28日調査

第2表 保温資材の使用が耐凍性に及ぼす影響

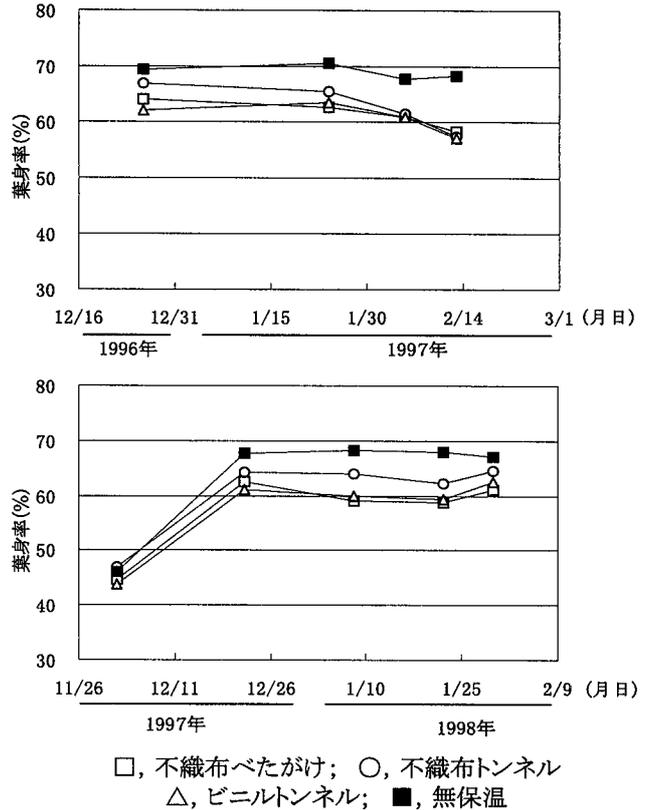
試験区	$T_{EL15}$ °C	$T_{EL50}$ °C	
保温	不織布Bべたがけ	-10.8	-12.3
	不織布Bトンネル	-11.6	-14.9
	ビニルトンネル	-10.2	-12.0
無保温	-14.8	-16.6	

1998年1月28日調査

第3表 保温資材の使用および撤去が耐凍性に及ぼす影響

試験区	1/28	2/13	2/12	
	°C	°C	°C	
$T_{EL15}$ 保温	不織布Aべたがけ	-10.9	-12.4	-10.7
	不織布Aトンネル	-10.8	-12.5	-9.7
	ビニルトンネル	-10.6	-12.3	-10.4
	無保温	-13.2	-12.8	
$T_{EL50}$ 保温	不織布Aべたがけ	-13.0	-13.9	-11.9
	不織布Aトンネル	-13.2	-13.9	-11.4
	ビニルトンネル	-12.2	-13.9	-11.2
	無保温	-14.7	-13.9	

播種後(1996年11月1日)保温を開始した。1997年1月28日に一部、保温を撤去し、他の一部は保温を継続した。



第10図 葉身率に及ぼす保温の影響

注. 葉身率は個体重に占める葉身中の割合で表示。

4) 糖およびビタミンC含量

(1) 糖含量

第11図、第12図に1997年1月28日と1998年1月28日における糖含量を示す。不織布のべたがけ区とトンネル区およびビニルトンネル区の葉身と葉柄の糖含量は、両年ともに無保温区に比べて低かった。すなわち、無保温区に対する各保温区の糖含量割合は、1996/97年においては不織布のべたがけ区とトンネル区およびビニルトンネル区がそれぞれ58、52、56% (第11図)、1997/98年におけるそれは、それぞれ67、69、42%であった(第12図)。

第13図に保温除去後の糖含量の経時変化を示す。葉身、葉柄ともに保温除去9日目には速やかに糖含量が増加し、除去17日目にはほぼ無保温区と同程度になった(第13図)。第14図に無保温区に対する保温除去後の糖含量割合の経時変化を示す。保温を除去すると各区の糖含量は除去9日目には無保温区の80~90%になり、除去17日後には無保温区の90%以上になった(第14図)。

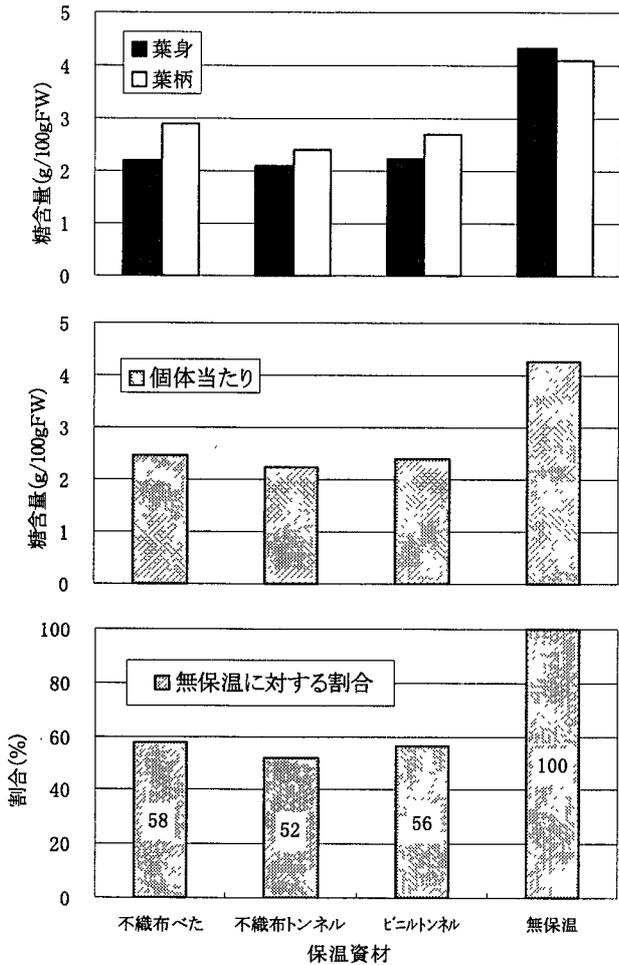
(2) ビタミンC含量

第15図、第16図に1997年1月28日と1998年1月28日におけるVC含量を示す。VC含量は保温の有無に係わらず、葉身において高く、葉柄において低かった。不

織布のべたがけ区とトンネル区およびビニルトンネル区の葉身と葉柄のVC含量は、兩年ともに無保温区に比べて低かった。すなわち、各保温区の無保温区に対するVC含量割合は、1996/97年においては不織布のべたがけ区とトンネル区、ビニルトンネル区がそれぞれ73、67、76% (第15図)、1997/98年におけるそれは、それぞれ70、68、68%であった (第16図)。

第17図に保温除去後のVC含量の経時変化を示す。

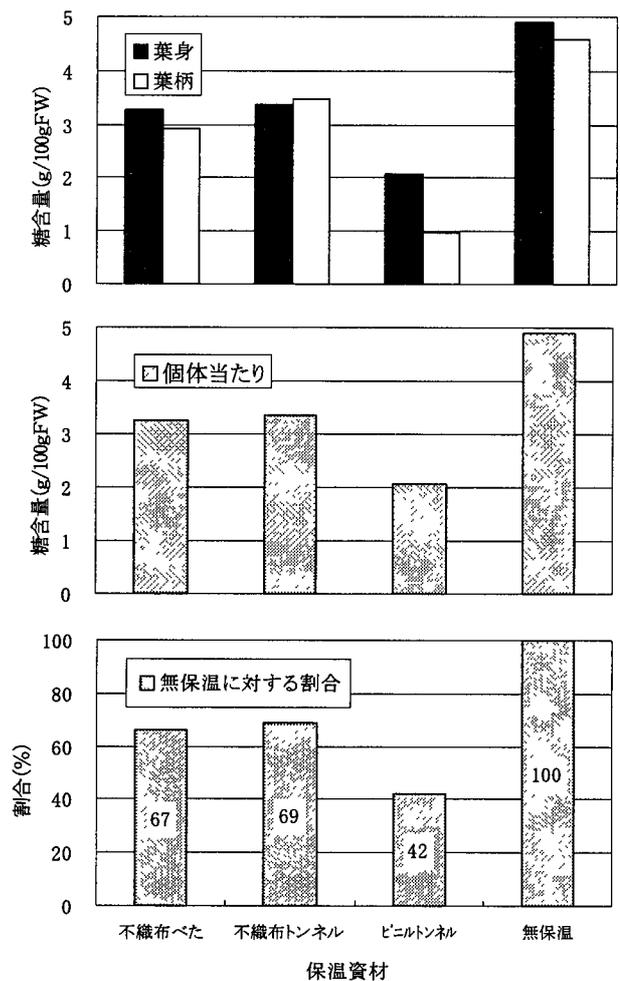
葉身において糖含量は保温の除去9日目には若干増加し、除去17日目には無保温区のVC含量の低下と同様に若干減少した。葉柄においては除去9日目以降は無保温区と同程度になった (第17図)。第18図に無保温区に対する保温除去後のVC含量割合の経時変化を示す。各区において保温の除去9日目以降は無保温区の80~90%まで増加した。



第11図 保温資材の使用が糖含量に及ぼす影響

(1997年1月28日調査)

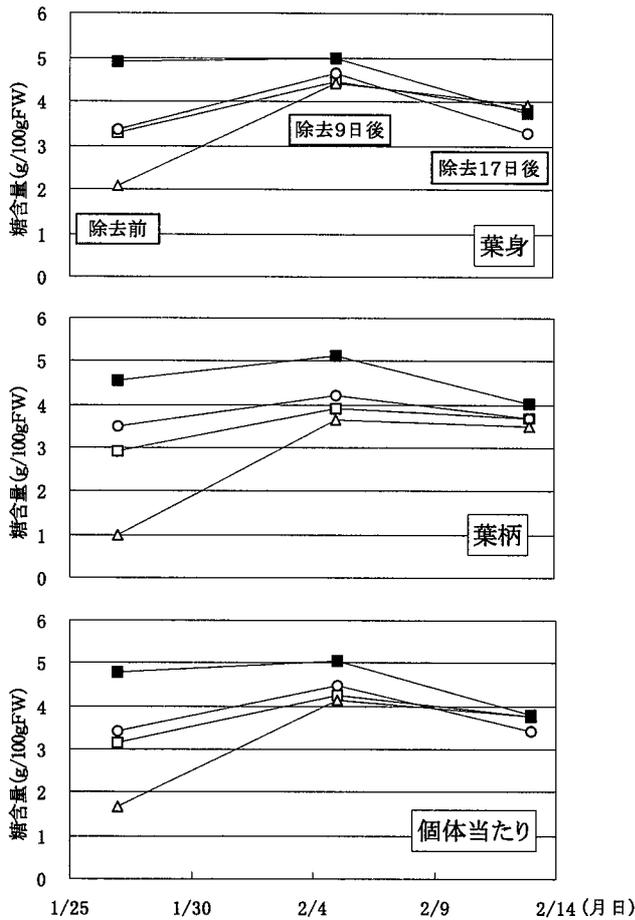
注. 下段図中の数字は無保温に対する割合を示す



第12図 保温資材の使用が糖含量に及ぼす影響

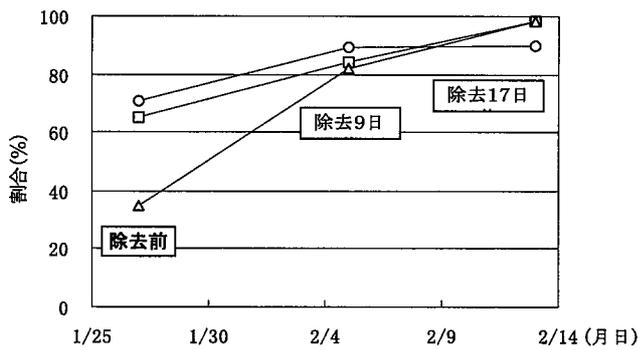
(1998年1月28日調査)

注. 下段図中の数字は無保温に対する割合を示す



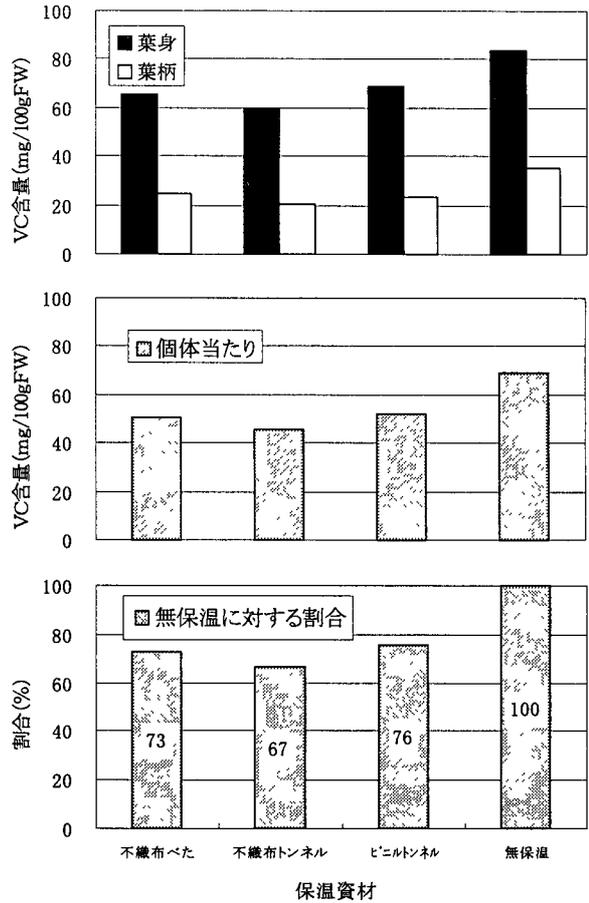
□, 不織布べたがけ; ○, 不織布トンネル  
△, ビニルトンネル; ■, 無保温

第13図 保温資材の除去が糖含量に及ぼす影響  
播種後(1997年11月1日)保温を開始した。  
1998年1月28日に一部、保温を撤去し、他の一部は保温を継続した。

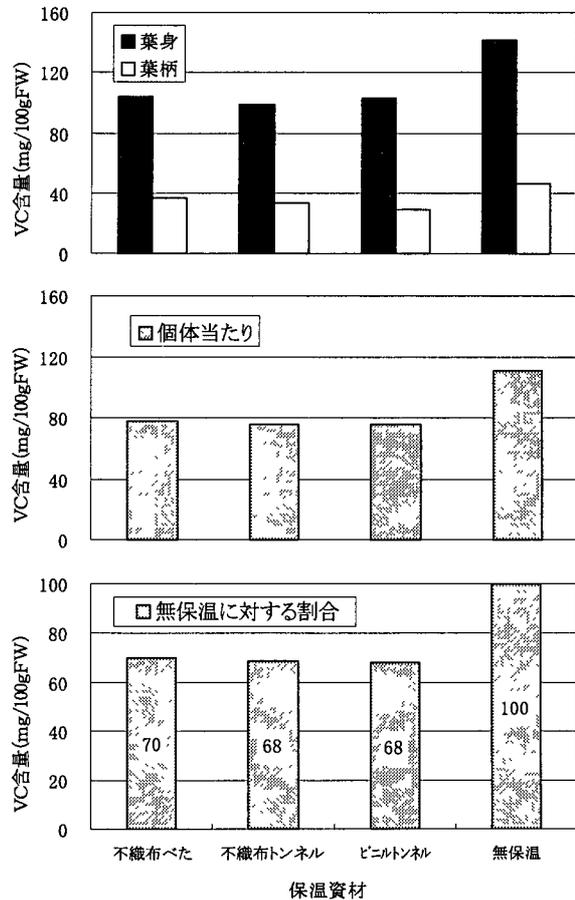


□, 不織布べたがけ; ○, 不織布トンネル  
△, ビニルトンネル

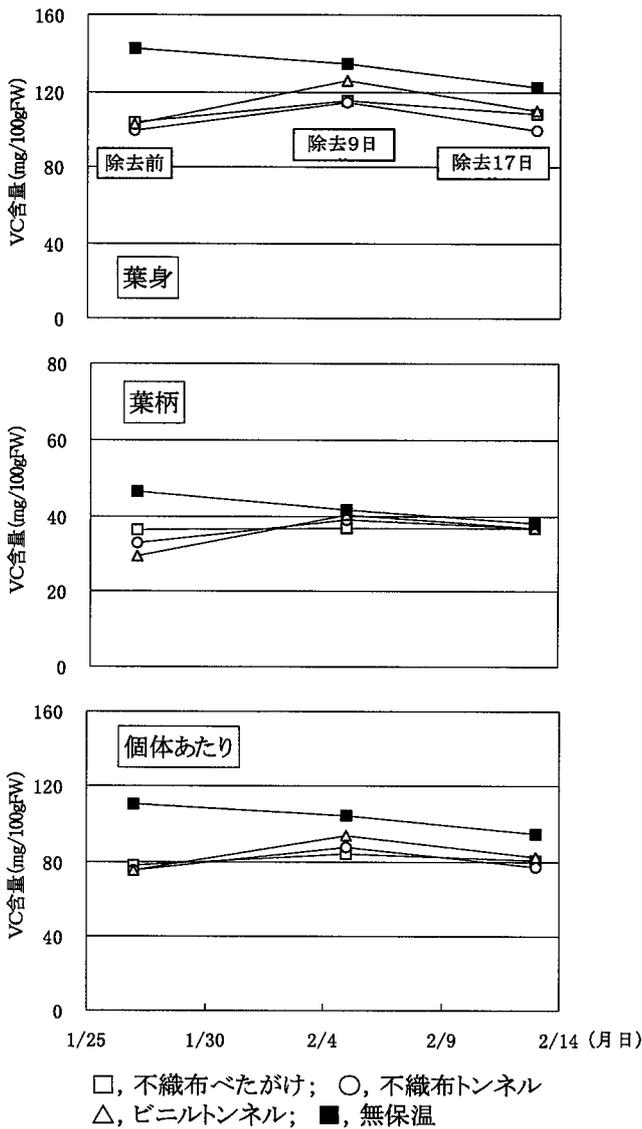
第14図 無保温に対する保温および保温除去後の糖含量割合  
播種後(1997年11月1日)保温を開始した。  
1998年1月28日に一部、保温を撤去し、他の一部は保温を継続した。



第15図 保温資材の使用がビタミンC(V C)含量に及ぼす影響  
(1997年1月28日調査)



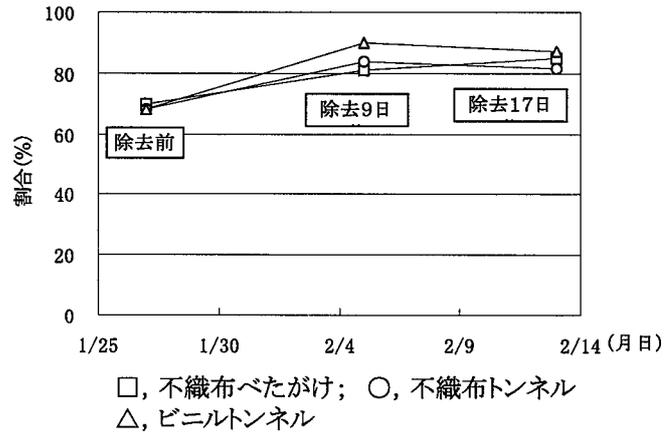
第16図 保温資材の使用がV C含量に及ぼす影響  
(1998年1月28日調査)



第17図 保温資材の除去がVC含量に及ぼす影響  
 播種後(1997年11月1日)保温を開始した。  
 1998年1月28日に一部、保温を撤去し、他の一部は保温を継続した。

3. 考 察

コマツナの草丈の伸長は気温の影響を大きく受ける。播種期から草丈が22cm程度になるまでの無保温区の積算気温は、1996/97年が497°C、1997/98年が469°Cであった。不織布トンネル、ビニルトンネル内部の平均気温はハウス内気温よりもそれぞれ約1°C、約2°C高めに推移した(第1図)。このため、いずれの保温区も無保温区よりも草丈が22cmに達する日が約20日ほど早まった(第6図)。1997/98年の播種期は11月4日であったが、播種期を7日早めると(10月27日播種)無保温でも草丈が22cmに達する日は12月20日頃で、11月4日播種よりも約30日早まる<sup>8)</sup>。このことから、各保温区の草丈伸長効果は播種期を4~5日早めるのと同程



第18図 無保温に対する保温および保温除去後のVC含量割合  
 播種後(1997年11月1日)保温を開始した。  
 1998年1月28日に一部、保温を撤去し、他の一部は保温を継続した。

度の効果であると考えられる。

生体重、乾物重の増加は不織布のトンネル区およびべたがけ区は無保温区よりも大きかった。しかし、ビニルトンネル区の生体重と乾物重は無保温区と同程度ないしは無保温区よりも少なかった(第7図、第8図)。保温内部の気温はビニルトンネル区が最も高いにもかかわらず、生体重、乾物重の増加に対する効果はほとんど認められなかった。これは、保温内部の相対湿度が無保温区よりも著しく高いことが影響していると考えられる。ビニルトンネル区では相対湿度が常時高く、葉が日中も濡れている状態で推移した。このため、気孔開度が小さく、CO<sub>2</sub>交換が不十分であったと推測される。

含水率はビニルトンネル>不織布トンネル、べたがけ>無保温区の順に高かった(第9図)。また、観察では、葉色は各保温区よりも無保温区が濃緑であり、葉身の「照り」も各保温区は無保温に比べ劣った。このことから、各保温区は無保温区に比べ、軟弱に生育し、外観的に商品性が劣ると考えられた。これは、冬期に寡日射条件になる本県の気象下において、保温資材を使用することにより、光線透過率(不織布は約80%、ビニルは約90%)が低下し、葉への直達日射量が減少したこと、また、保温内部の相対湿度が無保温区よりも高く推移したためと考えられる。

葉身率は無保温区が最も高く、各保温区では低下した(第10図)。一般に、ホウレンソウやコマツナなどの葉菜類を密植した場合には、個体間で受光量の競合がおき、徒長するが、その場合、葉柄が長くなるとともに、葉身の厚さは薄くなり、葉身率が減少する。このような形態のホウレンソウやコマツナは商品性が劣る。このことから、寡日射下で保温を継続すると、形態的にも好ましいコマツナが生産できないといえる。さらに、糖含量は葉身と葉柄で大差がないが、VC含量は葉身で多く、葉柄で少ない(後述)。そのため、葉身率が低いと、個体当たりのVC含量も低下することになる。このことから、保温を継続すると、葉身率が無保温よりも低下し、VC含量が低下する一因になる。

以上のことをまとめると、各保温区では収穫期初期(草丈で約22cm)が無保温区よりも約20日早まるが、これは播種期を4~5日早めるのと同程度の効果とであること、また、各保温区では無保温区に比べ、含水率が高く、葉色が淡く、軟弱に生育し、葉身率も低くなり、商品性が低下する可能性のあることが明らかになった。

冬期に保温を図る目的は、先に述べた生育促進に加え、凍結傷害防止にある。保温をすることにより、夜間の気温は1~3℃ほどハウス内気温よりも高く保たれる。しかし、耐凍性を測定した結果、各保温区は無保温区よりも耐凍性が2~4℃ほど劣ることが明らかとなった(第1表、第2表)。植物の耐凍性の誘導には気温が大きく影響する<sup>9)</sup>。各保温区では気温が無保温区よりもやや高めに推移したため、耐凍性が無保温区に比べ劣ったと考えられる。このことから、保温をして生育させると、コマツナの耐凍性が高まらず、かえって、凍結傷害を受ける危険性が高まるといえる。

保温をして、作物体の周囲の温度を高く保って生育

させると、耐凍性は高まらない。しかし、保温を撤去すると、コマツナの耐凍性は無保温並に高まる(第3表)。筆者は、ホウレンソウとコマツナの耐凍性とその測定前の7日間の最低気温との間に高い相関関係が認められ、過去7日間の最低気温を積算することで、その時点の耐凍性を推定できることを明らかにしている<sup>1)</sup>。この知見を活用し、栽培ハウス内の最低気温を測定して、栽培しているコマツナの耐凍性を推定し、もし、耐凍性を上回る寒波が予想される時は、不織布のトンネルやべたがけで保温をし、緊急避難的に作物を保護することが耐凍性を高めながら凍結傷害を回避できる手段と考えられる。

葉身と葉柄の糖含量を比べると、両部位において糖含量は大差がない(第11図、第12図)。各区間を比べると、無保温区に比べ、各保温区では糖含量が低下した。VC含量は保温のいかんにかかわらず、葉身で高く、葉柄で少ない。各区間を比べると、無保温区に比べ、各保温区ではVC含量が低下した(第15図、第16図)。

筆者は、寡日射下においても低温条件を与えることでコマツナの糖とVC含量が高まることを明らかにした<sup>4)</sup>。また、ハウス栽培のホウレンソウ、コマツナの糖とVC含量はハウス内気温と密接な関係にあり、分析試料採取前10日間のハウス内の最低気温の積算値が0~-5℃程度になると糖とVC含量が高まることを明らかにした<sup>10)</sup>。このことは、本県の冬期の低温条件を有効に利用すると、ホウレンソウとコマツナの糖とVC含量を高めることが可能であることを示している。しかし、保温を継続して生育させると、低温を活用できず、糖とVC含量を高めることができないことが明らかとなった。

保温を継続するとコマツナの糖とVC含量は高まらないが、保温を除去すると糖とVC含量は無保温並に高まる(第13図、第14図、第17図、第18図)。先に、作物の耐凍性を上回る寒波の到来が予想される場合には、不織布トンネルやべたがけで保温することが有効であることを記述したが、保温を除去するとコマツナの糖とVC含量は回復するので、緊急避難的な不織布の使用は糖とVC含量の観点からは、さほど影響しないと考えられる。

#### 4. 要約

不織布トンネル、ビニルトンネル内の平均気温はハウス内気温(無保温)よりもそれぞれ約1℃、約2℃高まる。このため、播種期から保温を継続することにより、無保温よりも出荷期(草丈で22cm)が約20日程

早まった。しかし、これは播種日を4～5日早くするのと同程度の効果で、それほど大きな効果ということはない。

保温を継続するとコマツナは軟弱に生育し、葉色が淡く、また、葉身率も低下し、商品性が低下する。

保温により夜間の気温は1～3℃高く保たれる。しかし、耐凍性は保温を継続すると無保温よりも2～4℃劣る。このことから、保温を継続することにより、かえって凍結傷害を受ける可能性が高まるといえる。

寡日射下の本県においては、不織布のべたがけやトンネルはコマツナの耐凍性を上回る寒波の到来時に緊急避難的に使用することが望ましい。

寡日射下においても低温条件により葉菜類の糖およびVC含量が高まる<sup>4)</sup>。しかし、保温を継続すると糖およびVC含量は無保温よりも低下する。このことから、保温を継続すると、本県の冬期の低温を活用した糖およびVC含量の高い葉菜類生産ができないことが明らかとなった。

### Ⅲ ハウス内への外気導入が耐凍性と糖およびビタミンC含量に及ぼす影響

#### 1. 試験方法

##### 1) 試験区の構成

試験は1998/99年、1999/00年(秋田市仁井田)および2000/01年(雄和町相川)の3カ年に農試内の100㎡パイプハウス内で実施した。各年ともに2棟のパイプハウス(ともに100㎡)にハウレンソウとコマツナを播種し、両作物の草丈が約20cmになった時点で、一方のパイプハウスのサイドを開放して、ハウス内へ冷たい外気を導入した(以後、開放ハウス)。各年のハウスの開放時期は、1998年12月25日、1999年12月8日、2000年1月12日である。また、他方のパイプハウスは対照として密閉して管理した(以後、密閉ハウス)。

開放ハウスの様子を写真①、②、③に示す。本県は冬期に北西の風が強く、吹雪の日には風速が20m/sec.程度になる。ハウス内に強風が入り込むと作物が傷むので、ハウスを開放する際、防風ネットをハウスのサイドに張った(写真①、写真②)。防風ネットはビニル製の目合い1mmのものを使用した(商品名:サンサンネット)。しかし、防風ネットのみでは吹雪の日にはハウス内に雪が入り込むので(写真③)、ハウス内にビニルフェンスを設置した(写真④)。

##### 2) 耕種概要

施肥量は1998/99年、1999/00年は窒素、リン酸、カリをそれぞれ1kg/a、苦土石灰、ようりん、稲ワラ堆肥をそれぞれ10、6、200kg/a施用し、2000/01年は窒素、リン酸、カリをそれぞれ1.5kg/a、苦土石灰、

ようりん、厩肥混入モミガラ堆肥をそれぞれ400、100、500kg/a施用した。各年ともにハウレンソウは‘ソロモン’、コマツナは‘せいせん7号’を供試した。各年のハウレンソウとコマツナの播種日とハウスの開放開始日を第4表に示した。各年ともに栽植密度は条間20cm、株間5cm(100株/㎡)とした。

播種後、10月はハウスのサイドを開放して換気を図ったが、11月からハウスの開放開始日(第4表)まではハウスを密閉して管理し、2月中旬以降は晴天日のみハウスのサイドを開放して換気をはかった。

##### 3) 測定方法

###### (1) 気温

気温の測定はⅡ章と同様の方法で行った。外気の測定は、ハウスの外側に直径0.3mmの銅・コンスタント熱電対を直径5cmの通風型塩ビ管内にセットして測定した。

###### (2) 耐凍性

1998/99年、1999/00年の耐凍性はⅡ、1、3)、(2)と同様の方法で測定、表示した。ただし、2000/01年の耐凍性は-80℃での凍結-融解により完全に致死させた組織からの電解質漏出を傷害率100%としたため、栽培継続可能な軽微な凍結傷害が引き起こされる温度を $T_{EL20}$  [temperature at which 20% ( $T_{EL20}$ ) of electrolyte leakage from leaf blade tissues occurred] で表示し<sup>5)</sup>、広く耐凍性の指標に用いられている $T_{EL50}$ と併記した。

第4表 試験年ごとの播種日、ハウスの開放日

	1998/99年		1999/00年		2000/01年	
	ハウレンソウ	コマツナ	ハウレンソウ	コマツナ	ハウレンソウ	コマツナ
播種日	10月15日	10月23日	10月21日	10月28日	10月17日	10月24日
ハウス開放日	12月25日	同左	12月8日	同左	1月12日	同左

(3) 糖およびVC含量

1998/99年、1999/00年はⅡ章と同様に、糖をアンスロン法、VCをヒドラジン法で分析した。2000/01年は糖は80%熱メタノールで抽出し、HPLC（電気科学検出器，ダイオネクス社製）を使用して分析した。VCは5%メタリン酸で抽出し、HPLC（UV検出器，島津製作所製）を使用して分析した。

2. 結果

1) 気温

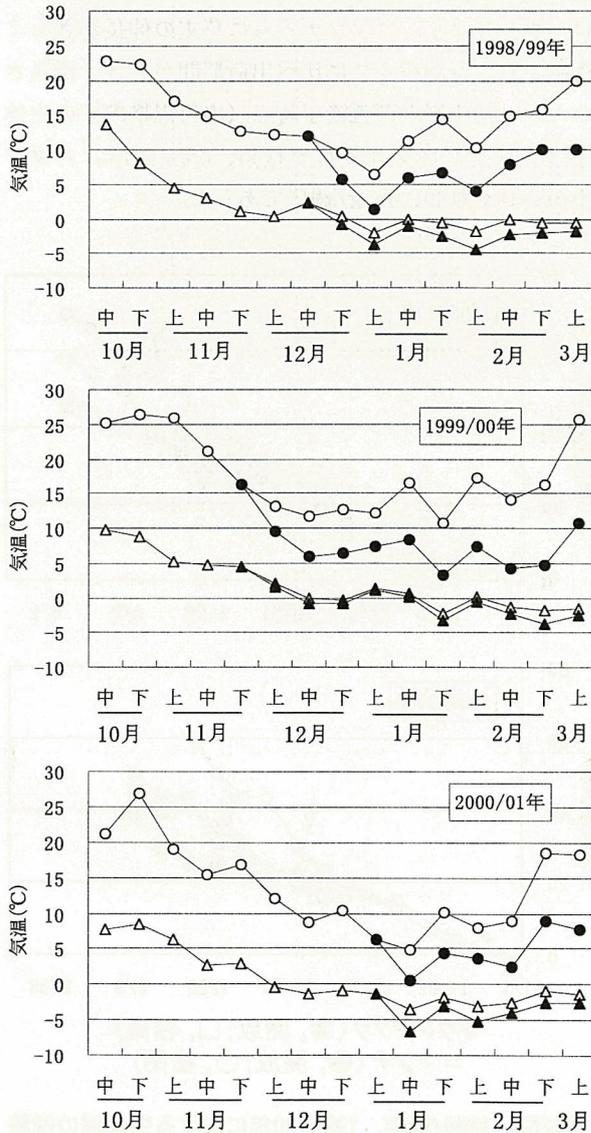
第19図に各年の密閉ハウスと開放ハウス内の最高および最低気温の推移を示す。密閉ハウス内の最高気温は1998/99年、1999/00年（秋田市）は11月以降次第に低下し、厳寒期の12月下旬から2月上旬にかけては約6~15℃で推移した。2月中旬以降は最高気温が上昇し、3月上旬には20~25℃となった。2000/01年（雄

和町）においては厳寒期（12月下旬から2月上旬）には5~10℃で推移し、3月上旬には約20℃となった。密閉ハウスの最低気温は1998/99年、1999/00年は12月下旬から3月上旬にかけて-2~1℃で推移した。2000/01年（雄和町）においては同時期には-4~-1℃で推移した。

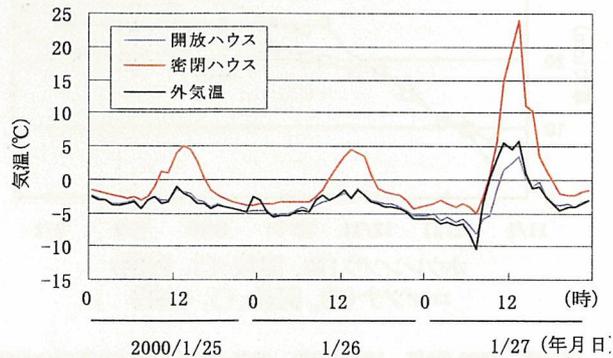
開放ハウスの最高気温は1998/99年、1999/00年は、厳寒期には2~8℃で推移し、3月上旬は約10℃となった。2000/01年は厳寒期には0~5℃で推移し、3月上旬には約8℃となった。このことから、12月下旬から3月上旬にかけての開放ハウスの最高気温は、密閉ハウスに比べ3カ年ともに5~10℃低めに推移したといえる。開放ハウスの最低気温は1998/99年、1999/00年は12月下旬から3月上旬にかけて-4~0℃で推移し、2000/01年は-6~-3℃で推移した。このことから、開放ハウスの最低気温は密閉ハウスに比べ、3カ年ともに共通して1~2℃低めに推移したといえる（第19図）。

第20図に2000年1月25日~1月27日にかけての外気温、密閉および開放ハウス内気温を示す。日中の密閉ハウス内の気温は、1月25、26日（曇天日）は9時頃から上昇し、14時頃には外気温よりも6~7℃高まった。そして、16時頃からは急激に低下し、翌日の8時頃まで外気温よりも1~2℃ほど高めに経過した。1月27日（晴天日）は密閉ハウス内の気温は9時頃から急激に高まり、14時頃は約25℃となった。

開放ハウス内の気温は、曇天日には日中も上昇せず、終日はほぼ外気温並に推移した。1月27日の外気温は8時頃から上昇し、13時には5.8℃になったが、開放ハウス内の気温は外気温並に上昇せず、13時においても3.5℃であった（第20図）。なお、1月25、26、27日の日照時間はそれぞれ0.6、1.4、6.2時間であった。



第19図 試験期間内のハウス内気温の推移  
最高気温(○, 密閉; ●, 開放)  
最低気温(△, 密閉; ▲, 開放)



第20図 晴天日と曇天日のハウス内気温  
日照時間 1/25, 0.6hr 1/26, 1.4hr 1/27, 6.2hr  
2000年1月25日~28日

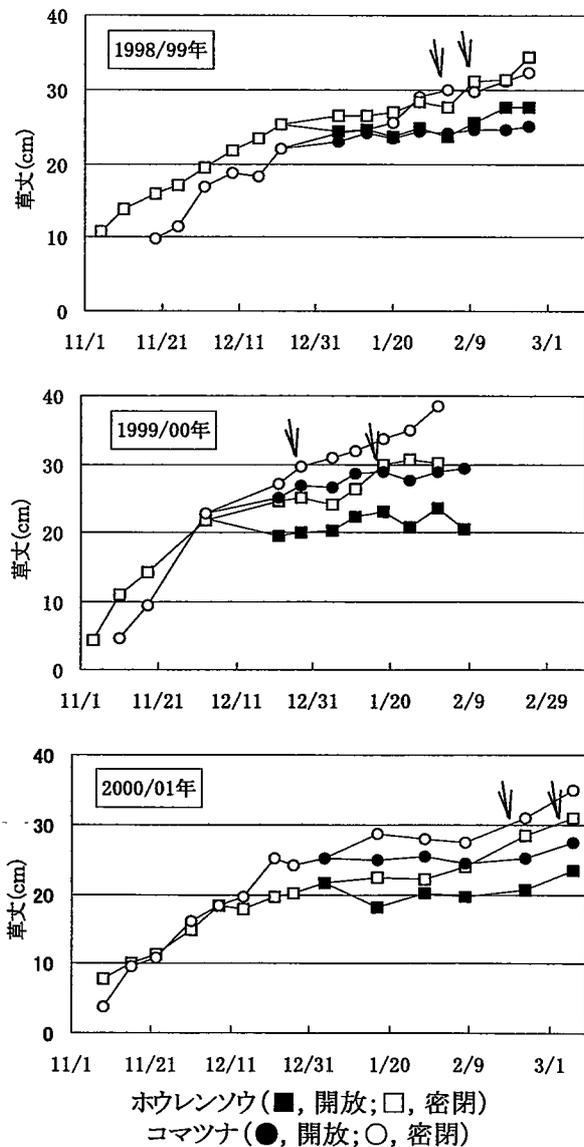
2) 生育

第21図に各年の草丈の推移を示す。1998/99年、1999/00年および2000/01年のハウス開放時点の草丈はホウレンソウがそれぞれ25 (12月25日)、22 (12月8日)、22cm (1月12日)、コマツナがそれぞれ22、23、27cmであった。密閉ハウスにおいては、両作物の草丈は徐々に伸長し、出荷規格上限の30cmを越えた時期は、1998/99年、1999/00年および2000/01年において、ホウレンソウがそれぞれ2月10日頃、1月15日頃、3月5日頃、コマツナがそれぞれ2月5日頃、12月30日頃、2月20日頃であった。このことから、ハウスの開放を始めた時期を収穫開始期とすると、1998/99年、1999/00年および2000/01年の密閉ハウスにおける収穫期間は、ホウレンソウではそれぞれ約45、40、55日間、コ

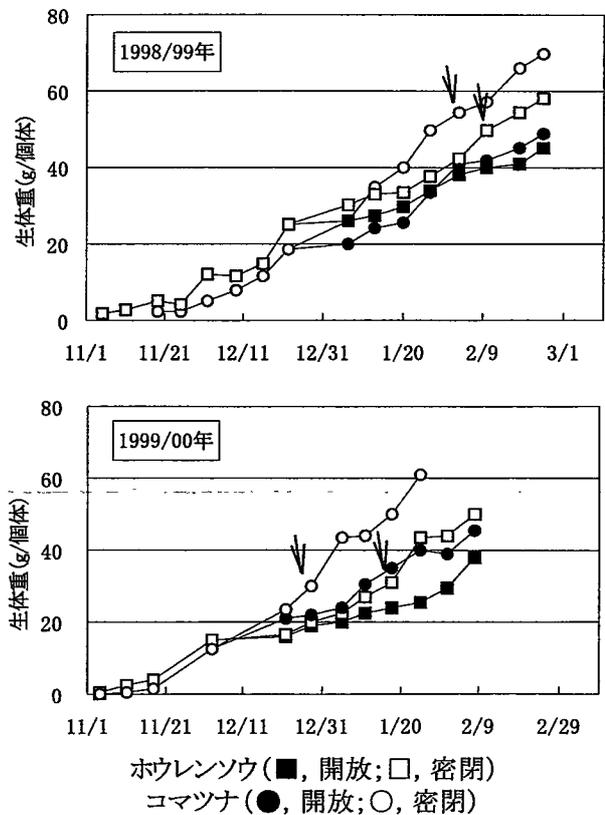
マツナではそれぞれ約40、20、40日間であった。

一方、開放ハウスにおいては両作物ともに草丈の伸長が著しく抑制され、3カ年ともに調査終了時点においても出荷規格内の草丈であった。このことから、密閉ハウスに比べ開放ハウスでは両作物とも出荷期間が大幅に延長されたといえる。

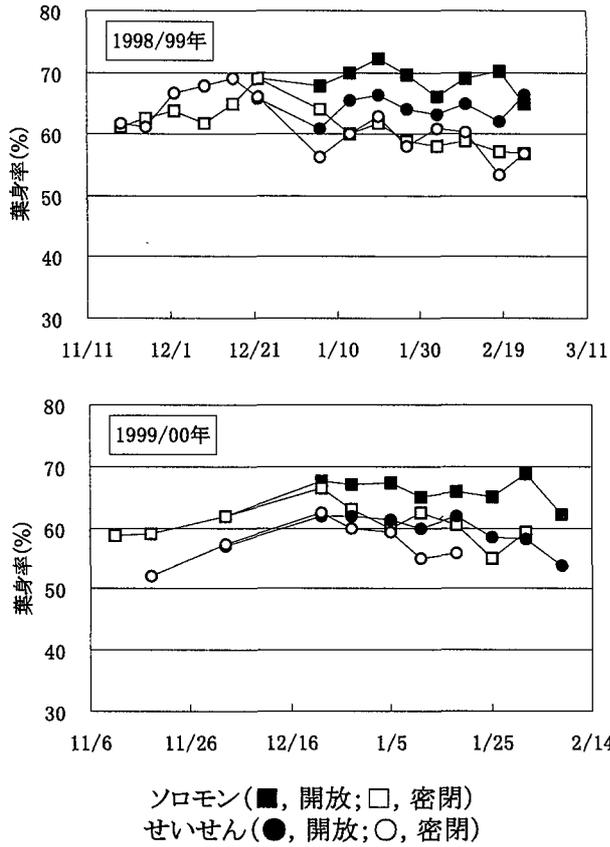
第22図に1998/99年、1999/00年の生体重の推移を示す。両年度のハウス開放時点の生体重はホウレンソウがそれぞれ25、15g/個体で、コマツナがそれぞれ19、13g/個体であった。密閉ハウスにおいては先に記したように、1998/99年、1999/00年において、ホウレンソウがそれぞれ2月10日頃、1月15日頃、コマツナがそれぞれ2月5日頃、12月30日頃、出荷規格を越えた。両年度の出荷規格を越えた時点の生体重は、ホウレンソウがそれぞれ50、31g/個体、コマツナがそれぞれ54、30g/個体であった。一方、開放ハウスにおいてはホウレンソウ、コマツナともに草丈の伸長が著しく抑制され、密閉ハウスに比べ出荷期間が大きく延長されたが、両年度の調査終了時点(出荷規格内)の生体重はホウレンソウがそれぞれ45、38g/個体、コマツナがそれぞれ49、45g/個体であった。



第21図 1998/99年、1999/00年、2000/01年における草丈の推移  
注. 図中の矢印は、密閉ハウスにおけるホウレンソウとコマツナの出荷規格を越えた時期を示す。



第22図 1998/99年、1999/00年における生体重の推移  
注. 図中の矢印は、密閉ハウスにおけるホウレンソウとコマツナの出荷規格を越えた時期を示す。



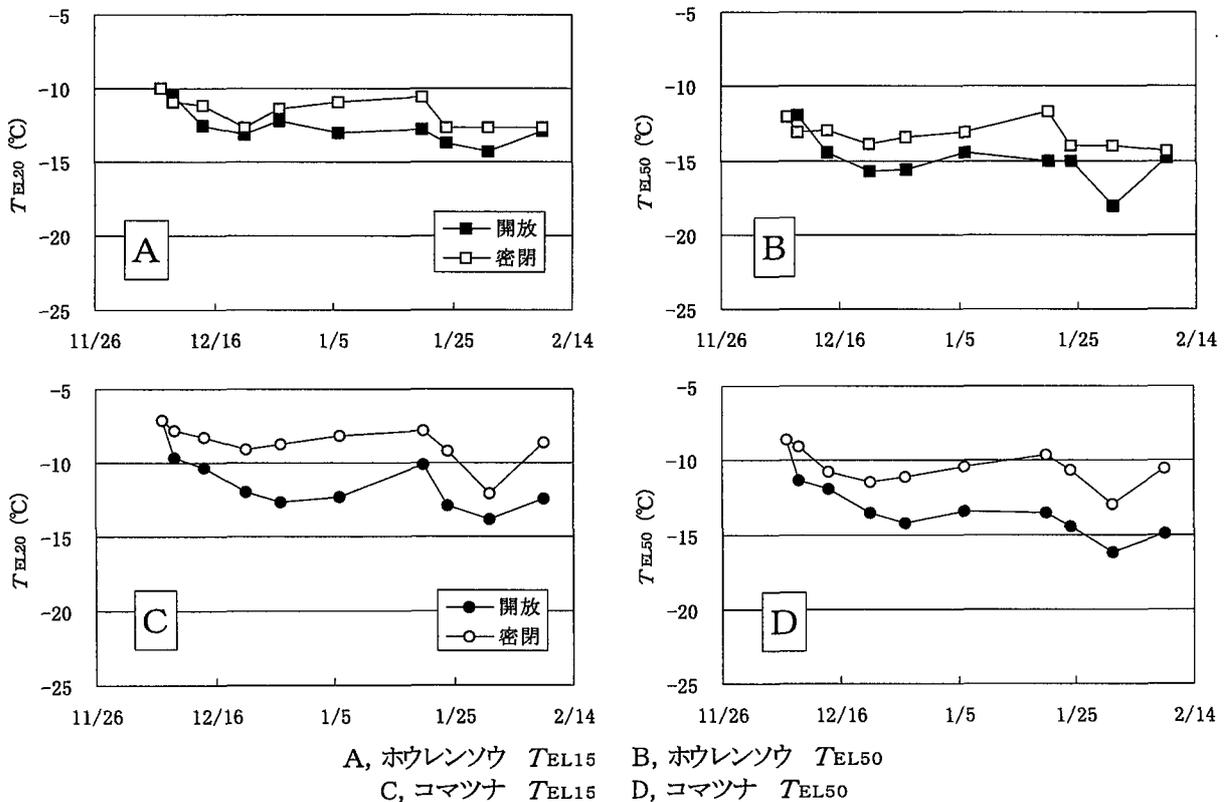
第23図 1998/99年、1999/00年における生体重の推移

第23図に1998/99年、1999/00年の葉身率の推移を示す。両年度のハウス開放時点の葉身率はハウレンソウがそれぞれ69、67%で、コマツナがそれぞれ66、62%であった。密閉ハウスにおいては両作物ともに徐々に葉身率が低下したが、開放ハウスでは密閉ハウスに比べ、葉身率が高く推移した(第23図)。

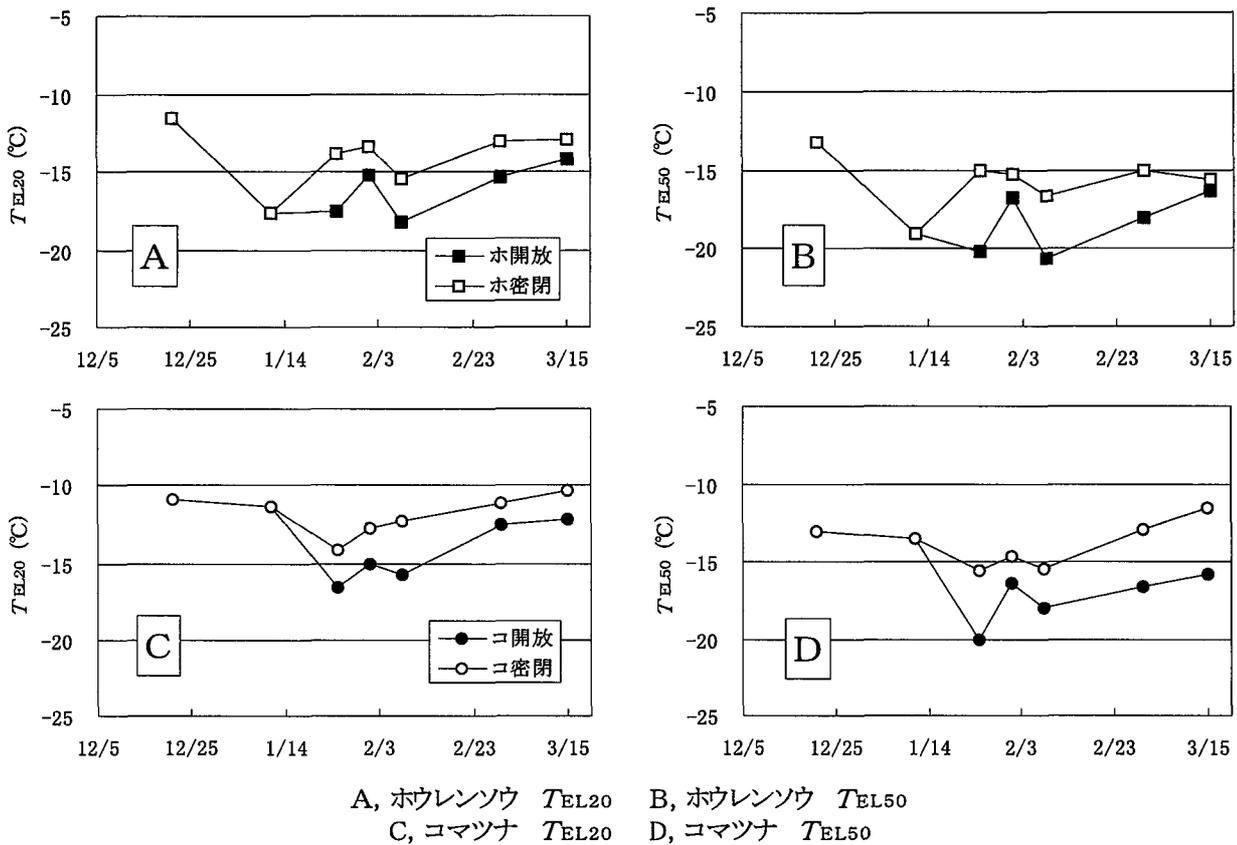
3) 耐凍性

第24図、第25図に1999/00年、2000/01年の開放および密閉ハウスのハウレンソウとコマツナの耐凍性の変化を示す。1999/00年は12月8日にハウスを開放した。開放開始時点のハウレンソウの $T_{EL15}$ 、 $T_{EL50}$ はそれぞれ約 $-10^{\circ}\text{C}$ 、約 $-12^{\circ}\text{C}$ であった。開放ハウスにおける12月中旬から1月下旬にかけてのハウレンソウの $T_{EL15}$ 、 $T_{EL50}$ はそれぞれ $-14\sim-12^{\circ}\text{C}$ 、 $-18\sim-15^{\circ}\text{C}$ で推移した。一方、密閉ハウスにおいては同期間でそれぞれ $-13\sim-10^{\circ}\text{C}$ 、 $-14\sim-11^{\circ}\text{C}$ で推移した。このことから、ハウレンソウの $T_{EL15}$ 、 $T_{EL50}$ は開放ハウスが密閉ハウスよりもそれぞれ $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 、 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ ほど低下したといえる。

同期間の開放ハウスでのコマツナの $T_{EL15}$ 、 $T_{EL50}$ はそれぞれ $-14\sim-10^{\circ}\text{C}$ 、 $-16\sim-14^{\circ}\text{C}$ で推移した。一方、密閉ハウスにおいてはそれぞれ $-12\sim-8^{\circ}\text{C}$ 、 $-$



第24図 1999/00年におけるハウレンソウとコマツナの耐凍性の変化



第25図 2000/01年におけるハウレンソウとコマツナの耐凍性の変化

13～-10°Cで推移した。このことから、コマツナの  $T_{EL15}$ 、 $T_{EL50}$ は開放ハウスが密閉ハウスよりもそれぞれ2～4°C、3～4°Cほど低下したといえる(第24図)。

2000/01年のハウスの開放開始日は厳寒期の1月12日であった。このため、開放開始時点のハウレンソウの  $T_{EL20}$ 、 $T_{EL50}$ はそれぞれ約-17°C、約-19°Cと低かった。その後、開放ハウスでは1月下旬～3月初旬にかけて  $T_{EL20}$ 、 $T_{EL50}$ がそれぞれ-18～-15°C、-20～-16°Cで推移した。一方、密閉ハウスにおいてはそれぞれ-15～-13°C、-16～-15°Cで推移した。このことから、ハウレンソウの  $T_{EL20}$ 、 $T_{EL50}$ は開放ハウスが密閉ハウスよりもそれぞれ2～3°C、2～4°Cほど低下したといえる。

同期間のコマツナの開放ハウスでの  $T_{EL20}$ 、 $T_{EL50}$ はそれぞれ-16～-12°C、-20～-16°Cで推移し、密閉ハウスでのそれはそれぞれ-14～-11°C、-15～-13°Cで推移した。このことから、コマツナの  $T_{EL20}$ 、 $T_{EL50}$ は開放ハウスが密閉ハウスよりもそれぞれ2～4°C、2～5°Cほど低下したといえる(第25図)。

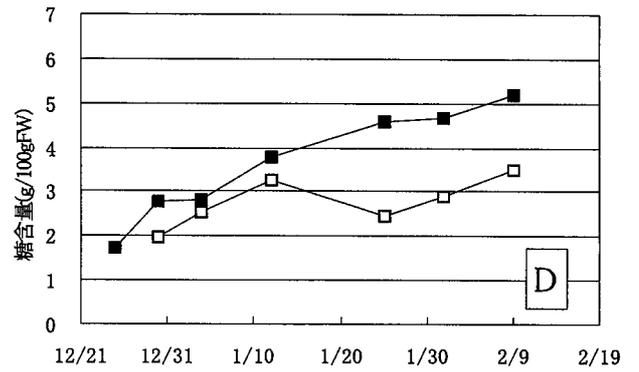
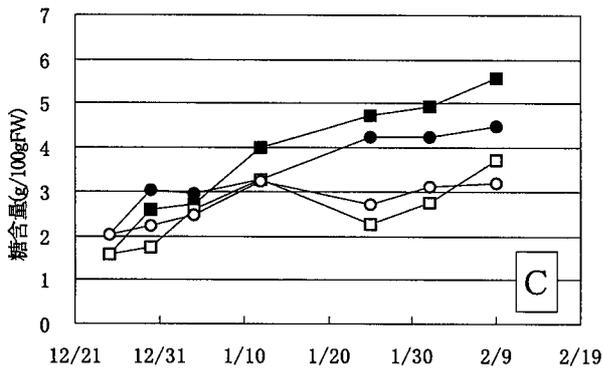
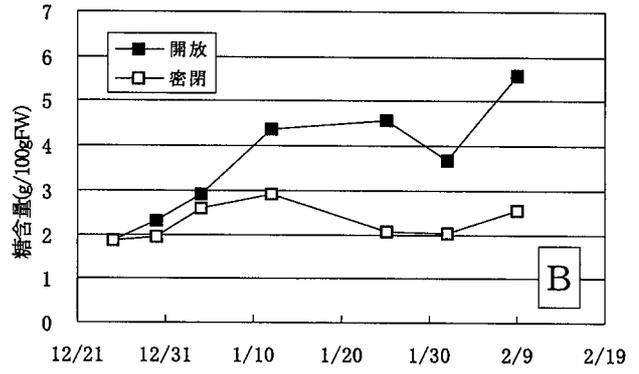
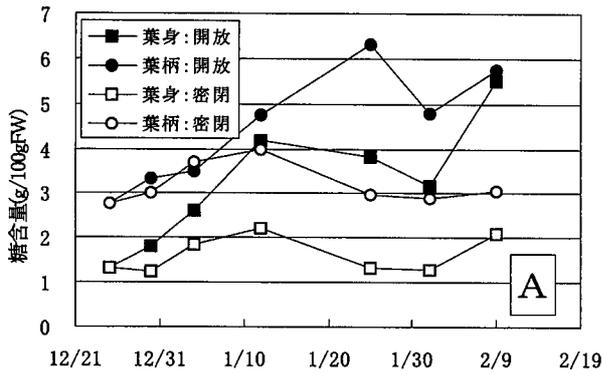
#### 4) 糖およびビタミンC含量

第26図、第27図に1998/99年、1999/00年の糖含量の

推移を示す。1998/99年のハウレンソウの糖含量は1月中旬～2月上旬にかけて、開放ハウスが密閉ハウスよりも葉身で2～4 g/100gFW、葉柄で1～3 g/100gFW高まった。同期間内の葉身と葉柄を合わせた個体100 gFW当たり(以後、個体当たり)の糖含量は、開放ハウスが密閉ハウスよりも2～3 g/100gFWほど高まった。

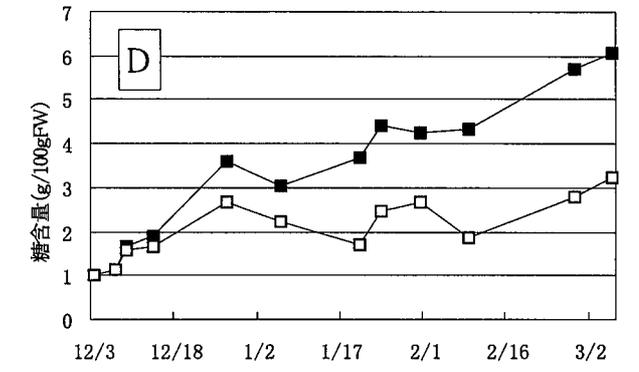
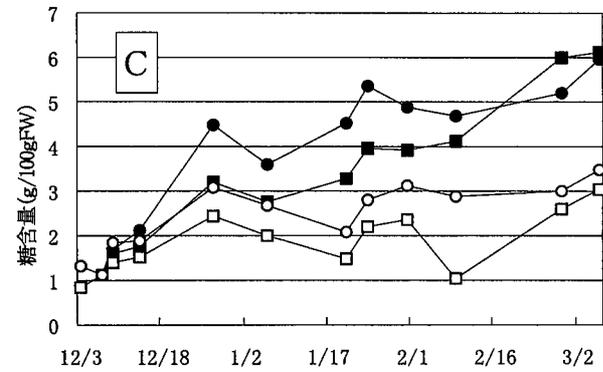
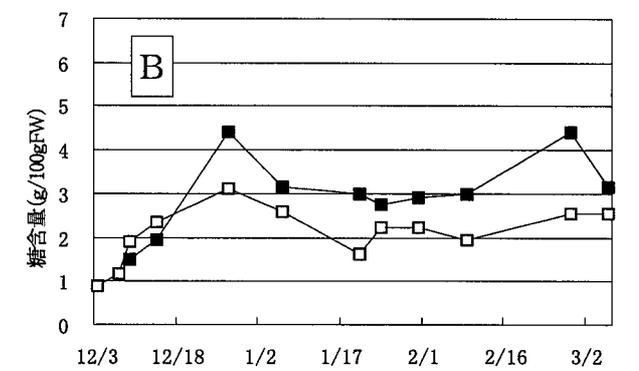
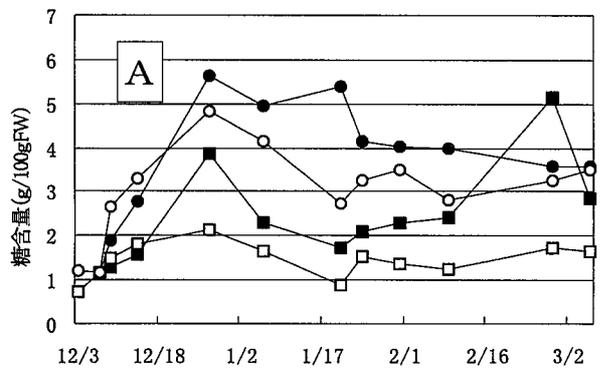
コマツナの糖含量は、ハウス開放後、1月中旬までは葉身、葉柄ともに開放ハウスと密閉ハウスで大きな差はみられなかった。しかし、1月下旬～2月上旬にかけては、開放ハウスが密閉ハウスよりも葉身で約2 g/100gFW、葉柄で約1 g/100gFW高まった。個体当たりの糖含量は、1月下旬～2月上旬にかけて、開放ハウスが密閉ハウスよりも約2 g/100gFWほど高まった(第26図)。

1999/00年のハウレンソウの糖含量は、12月下旬～3月上旬にかけて、開放ハウスが密閉ハウスよりも葉身で1～3 g/100gFW、葉柄で1～2 g/100gFW高まった。個体当たりの糖含量は、12月下旬～3月上旬にかけて、開放ハウスが密閉ハウスよりも約1 g/100gFW高まった。



A, ホウレンソウ 部位別 B, ホウレンソウ 個体当たり  
C, コマツナ 部位別 D, コマツナ 個体当たり

第26図 1998/99年の開放および密閉ハウスにおける糖含量の変化



A, ホウレンソウ 部位別 B, ホウレンソウ 個体当たり  
C, コマツナ 部位別 D, コマツナ 個体当たり

第27図 1999/00年の開放および密閉ハウスにおける糖含量の変化

注：図中の印は第26図と同様

コマツナの糖含量は、12月下旬～3月上旬にかけて、開放ハウスが密閉ハウスよりも葉身で1～3 g/100gFW、葉柄で1～2 g/100gFW高まった。同期間内の個体当たりの糖含量は、開放ハウスが密閉ハウスよりも1～3 g/100gFW高まった(第27図)。

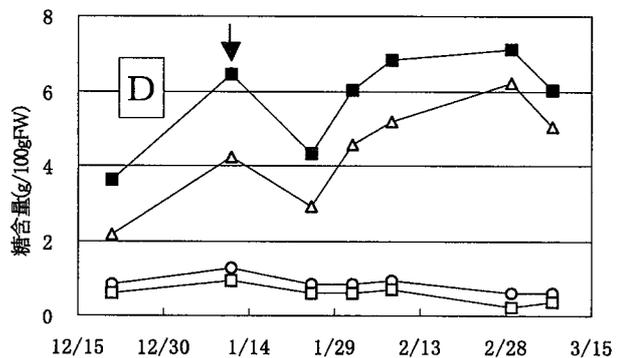
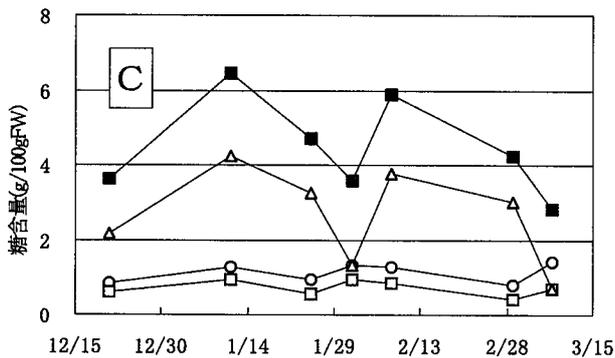
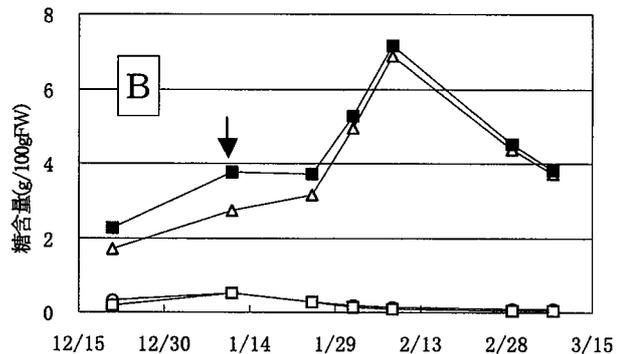
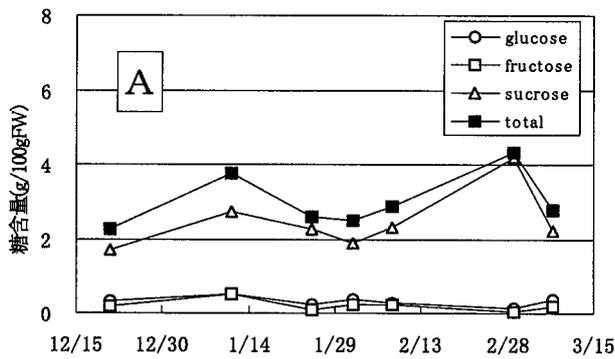
第28図、第29図に2000/01年におけるハウレンソウとコマツナの糖含量の推移を示した。両作物の糖含量は1998/99年、1999/00年と同様に開放ハウスが密閉ハウスよりも高まった。しかし、ハウスの開放により蓄積される糖の種類がハウレンソウとコマツナでは異なった。すなわち、ハウレンソウでは葉身、葉柄ともにスクロースが多く蓄積され、グルコース、フルクトース含量は少なかった(第28図)。一方、コマツナでは葉身、葉柄ともに全般にグルコースとフルクトース含量が高かった。スクロース含量は、1月下旬～2月上旬にかけての厳寒期に、葉身においては1～2 g/100gFWに、葉柄においては0.4～1 g/100gFWに増加した。しかし、それ以外の時期には葉身、葉柄ともにスクロー

ス含量は少なかった(第29図)。

第30図、第31図に1998/99年、1999/00年におけるハウレンソウとコマツナのVC含量の推移を示す。ハウレンソウ、コマツナともに、開放、密閉処理のいかんにかかわらず、VC含量は葉身において高く、葉柄において少なかった。

開放ハウスにおけるハウレンソウの個体当たりのVC含量は1998/99年、1999/00年ともにハウスを開放後、徐々に高まり、1998/99年は90～130mg/100gFWで推移し、密閉ハウスよりも30～50mg/100gFW高まった。1999/00年は95～105mg/100gFWで推移し、密閉ハウスよりも約20mg/100gFW高まった。

開放ハウスにおけるコマツナの個体当たりのVC含量は1998/99年は1月下旬以降約100mg/100gFWで推移し、密閉ハウスよりも20～40mg/100gFW高まった。1999/00年は80～120mg/100gFWで推移し、密閉ハウスよりも20～40 mg/100gFW高まった(第30図、第31図)。

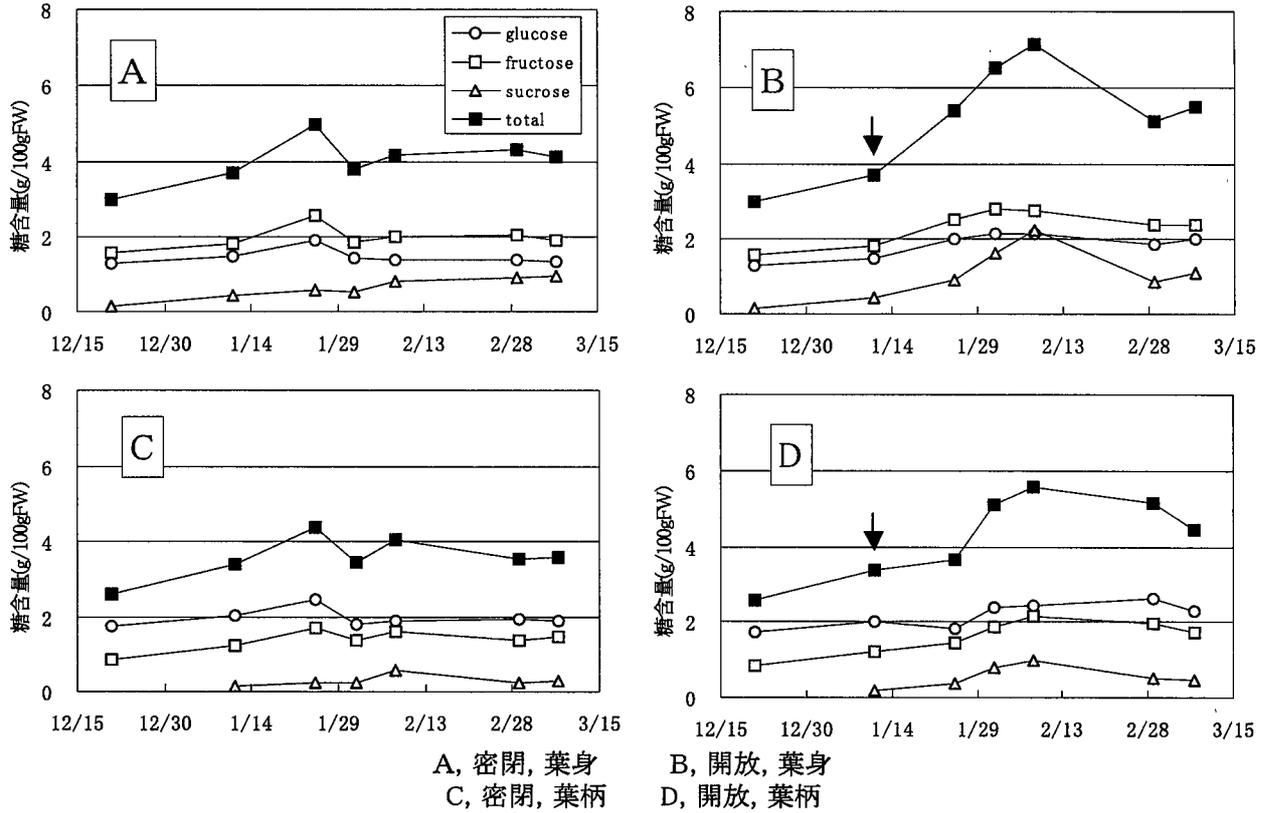


A, 密閉, 葉身  
C, 密閉, 葉柄

B, 開放, 葉身  
D, 開放, 葉柄

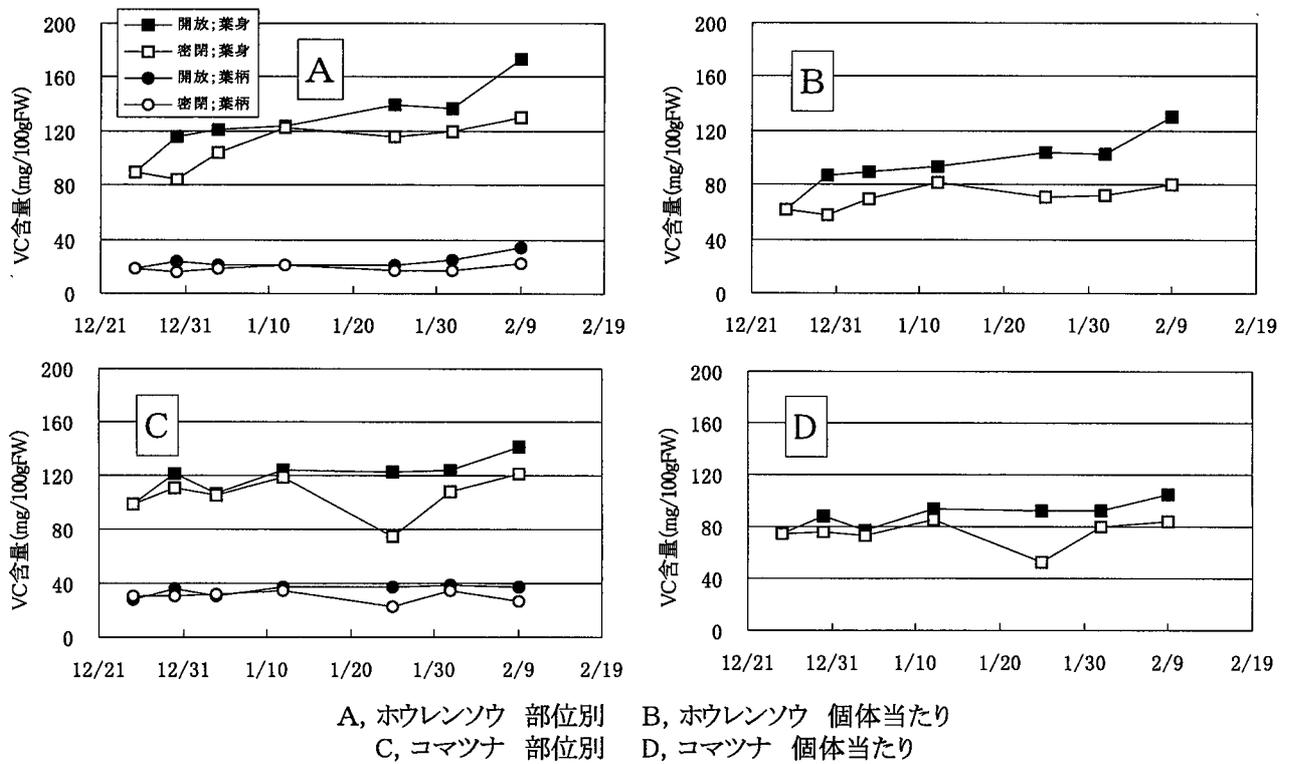
第28図 2000/01年のハウレンソウの開放および密閉ハウスにおける糖含量の変化

矢印は開放開始日

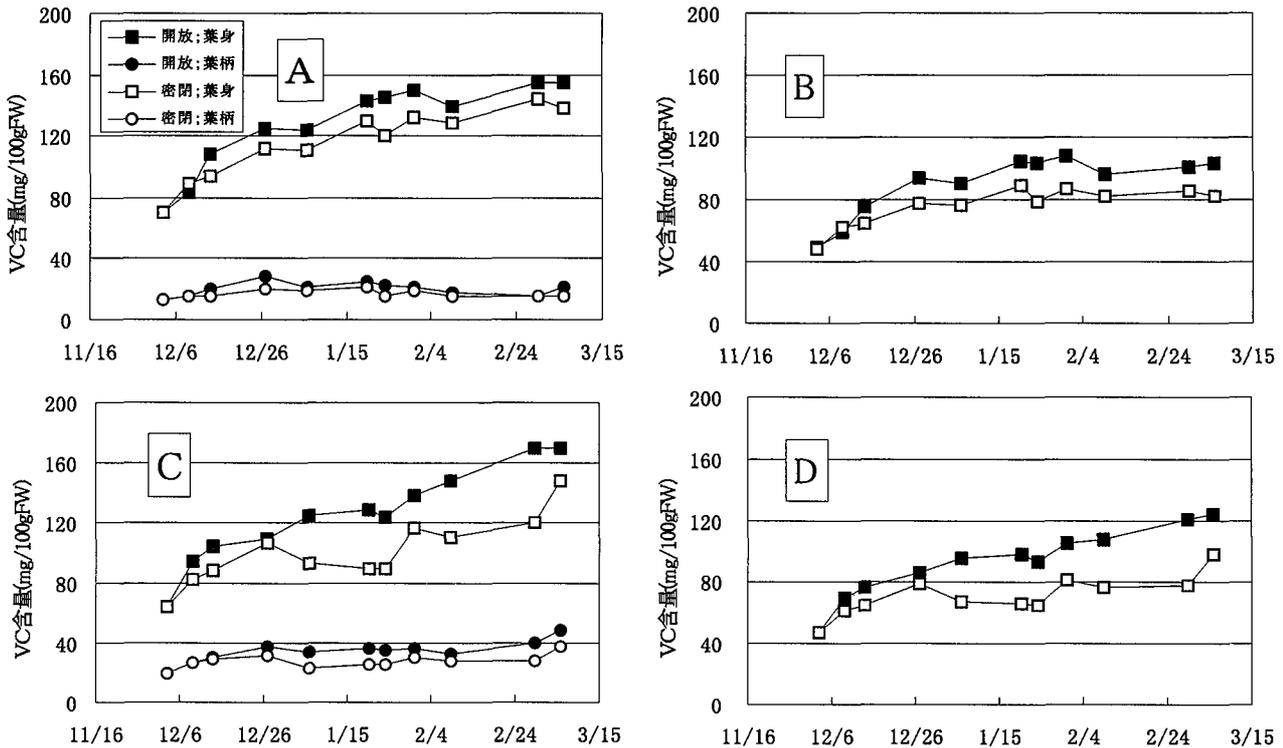


第29図 2000/01年のコマツナの開放および密閉ハウスにおける糖含量の変化

矢印は開放開始日



第30図 1998/99年の開放および密閉ハウスにおけるホウレンソウとコマツナのVC含量の変化



A, ホウレンソウ 部位別 B, ホウレンソウ 個体当たり  
C, コマツナ 部位別 D, コマツナ 個体当たり

第31図 1999年度の開放および密閉ハウスにおけるホウレンソウとコマツナのVC含量の変化

3. 考察

秋田市においてはホウレンソウを10月中旬、コマツナを10月下旬に播種すると両作物ともに12月下旬頃に収穫期となる<sup>8)</sup>。収穫期になってからハウスを密閉して管理すると、収穫期間はホウレンソウで40~50日、コマツナで20~40日程度である(第22図)。しかし、ハウスを開放すると、両作物の草丈の伸長が著しく抑制されるので、長期間にわたって出荷を継続することが可能となる。長期間にわたり、出荷することは流通業者や消費者との信頼関係を築くために非常に重要な要素である。このことから、ハウスを開放し、長期にわたって出荷が可能になることは、市場や、スーパーなどの小売量販店、消費者との信頼関係を構築しやすくし、有利販売に結びつけるために有効である。

しかし、ハウスを開放すると草丈の伸長が著しく抑制されるので、ハウスの開放時期は草丈が25 cm程度になり、出荷できる草姿になってから行うことが肝要である。

ホウレンソウやコマツナを10月に播種した場合、11~12月中旬は両作物の草丈の伸長をはかる時期なので、ハウスを密閉して管理しており、両作物は未だ十分に低温馴化していない。この時期に急激な寒波が到来す

ると、凍結傷害を受ける危険性がある。両作物の耐凍性は、ハウス内気温の影響を大きく受ける。ハウス内気温と耐凍性との関係を詳細に検討した結果、両作物の耐凍性にハウス内の気温が大きく影響しており、ハウス内の過去7日間の最低気温の平均値から両作物の耐凍性を推定できることが明らかとなった<sup>7)</sup>。晩秋から初冬にかけて、耐凍性の推定値を下回る寒波の到来が予想されるときには、緊急避難的に不織布などで保温することが有効である。

冬期(12月下旬~3月上旬)にハウスを密閉して管理すると、最高気温、最低気温が沿岸部の秋田市ではそれぞれ5~15℃、-2~1℃、海岸から約12km内陸に位置する雄和町それぞれ5~10℃、-4~-1℃で推移する。この時期にハウスを開放すると、秋田市、雄和町ともに、密閉しているよりも最高気温で5~10℃、最低気温で1~2℃低下する(第19図)。

植物の凍結傷害は、氷点下に気温が低下し、細胞内が限度を超えて凍結脱水された後に融解するとひきおこされる。したがって、一般的には、ホウレンソウとコマツナが凍結傷害を受ける危険性が最も高まるのは、気温の低下する夜間であると考えられることができる。最低気温はハウスを開放しても密閉している時よりも1

～2℃低下するのみであり、最低気温の開放、密閉ハウス間の差は小さい(第19図、第20図)。開放および密閉ハウスにおける両作物の耐凍性を経時的に調査した結果、開放ハウスにおける両作物の $T_{EL15}$ 、 $T_{EL50}$ は密閉ハウスよりも2～5℃低下した(第24図、第25図)。このことから、開放ハウスにおいて凍結傷害を受ける可能性は密閉ハウスよりも低いことが明らかとなった。

キャベツにおいては、3～6時間の短時間の脱馴化処理(20℃)により、耐凍性が減少することが知られている<sup>19)</sup>。ホウレンソウとコマツナにおいても6時間程度の脱馴化処理(20℃)により耐凍性が減少することを確認している(田村、未発表)。本県において、12月から2月上旬の厳寒期に晴天日になることは少ないとはいえ、密閉ハウスにおいて、晴天日にはハウス内気温は急激に上昇するので(第20図)、両作物の耐凍性が減少する可能性がある。このため、ハウスを密閉していると、開放しているときよりも凍結傷害を受ける可能性が高まることが考えられる。

2月中旬以降は本県においても日射量が増加する。しかし、2月中旬から3月上旬にかけての最低気温の極値は例年-5℃程度(秋田市)になる<sup>19)</sup>。このため、この時期にハウスを密閉して管理すると、日中に両作物の耐凍性が減少し、凍結傷害を受ける危険性が高まが、開放ハウスにおいては晴天日もハウス内気温はさほど高まらないので(第20図)、両作物の脱馴化を防止できると考えられる。

糖含量はハウスを開放することによりホウレンソウ、コマツナ双方で葉身、葉柄ともに密閉して管理するよりも高まり、個体当たりの両作物の糖含量は、開放ハウスが密閉ハウスよりも1～3g/100gFW高まった(第26図、第27図)。

両作物の糖含量はハウス内気温と密接な関係が認められ、ハウス内の平均気温が5℃、最低気温が0℃以下になると糖含量が増加する<sup>10)</sup>。本県の12～1月にかけての日射量は3.9～4.7MJ/日であり、太平洋側の盛岡市(5.5～7.1MJ/日)よりも大幅に少ない<sup>19)</sup>。しかし、寡日射下においても光合成によりグルコースやスクロースが合成され、低温処理により糖が蓄積されることが確認されている<sup>4)</sup>。ハウス内気温を低く保つことにより、呼吸や生長が抑制され、光合成により生産された糖の消費が減少し、徐々に蓄積されると考えられる。

ハウスを密閉していてもハウス内気温が低ければ糖含量は高まる。しかし、ホウレンソウ、コマツナ(田

村、未発表)、キャベツ<sup>19)</sup>などは短時間(3～6時間)の高温処理で糖含量が速やかに減少することが確認されている。密閉していると、晴天日にはハウス内気温が高まり、速やかに糖含量が減少する。消費者の信頼を確保するためには、安定して糖含量の高いホウレンソウやコマツナを出荷することが重要である。この観点からもハウスを開放してハウス内気温を常に低く保ち、糖含量の低下を防止することが重要である。

2000/01年にホウレンソウとコマツナの糖組成を調査したところ、ホウレンソウとコマツナでは低温により蓄積される糖の種類が異なっていることが明らかになった。すなわち、ホウレンソウでは葉身、葉柄ともにスクロースを多く蓄積し、グルコースとフルクトース含量は少ない。一方、コマツナは葉身、葉柄ともにグルコース、フルクトース含量が多く、スクロース含量は少ない(第28図、第29図)。

キャベツでは低温馴化に伴ってスクロース合成酵素活性が高まり、スクロース分解酵素活性が低下することが報告されている<sup>10)</sup>。本研究において、開放ハウスのホウレンソウでは12月から2月上旬の厳寒期にかけて葉身、葉柄ともにスクロースが蓄積された。一方、コマツナではスクロースの蓄積は1月下旬から2月上旬にかけての厳寒期のみみられ、他の時期にはスクロースは蓄積されず、グルコースとフルクトース含量が多かった。光合成により葉身(葉肉細胞)でグルコースやスクロースが合成される。葉柄に存在する糖の大部分は葉身からの移動によるものと考えられるが、篩管をとおした糖の移動は一般にスクロースの形で行われる<sup>10)</sup>。しかし、コマツナでは葉柄においてもスクロース含量が少なく、グルコースとフルクトース含量が多かった(第29図)。このことから、コマツナはホウレンソウよりもスクロース分解酵素活性が高いと考えられる。

寡日射下においてもコマツナを低温処理することによりVC含量が高まる<sup>4)</sup>。また、ホウレンソウとコマツナのVC含量とハウス内気温との関係を検討したところ、両作物ともに過去10日間の最低気温ないしは平均気温とVC含量との相関関係が高いこと、さらに、過去10日間の最低気温が5℃以下になるとVC含量が急激に高まる<sup>10)</sup>。本研究においても、ハウスを開放し、ハウス内の気温を低く保った開放ハウスが密閉ハウスよりも両作物ともにVC含量が高まった(第30図、第31図)。

VCはグルコースを前駆物質としてつくられる<sup>10)</sup>。

前述のとおり、開放ハウスにおいて糖含量が増加する。基質の増加はVC合成に有利に働くと考えられる。しかし、VCが葉柄よりも葉身に多いという事実は基質の増加のみでは説明できず、葉身の光合成能に着目する必要がある。

光合成において、葉に吸収された光エネルギーにより $H_2O$ は $O_2$ 、 $H^+$ 、 $e^-$ に分解されるが、電子伝達系末端から生ずる $e^-$ をすべて受容するだけの $CO_2$ が炭素固定部位にまで達しない場合、活性酸素が生じる<sup>17)</sup>。VCはこの活性酸素を消去する働きがあり、葉緑体に多く存在することが報告されている<sup>18)</sup>。光合成における光化学系は温度依存性が低く、低温条件でも反応が進む。しかし、低温は炭素固定反応活性を低下させるため、活性酸素を生じやすい。活性酸素は生体にとって有害であり、葉緑体膜などに損傷を与える<sup>19)</sup>。本報において、ハウレンソウとコマツナのVC含量がハウスを開放してハウス内気温を低く保った時に密閉ハウスよりも高まったが、これは光合成により発生する活性酸素の消去機構が関与している可能性が推測される。

#### 4. 要 約

収穫期に達してから(12月下旬以降)ハウスを開放し、冷たい外気をハウス内に導入すると、草丈の伸長が抑制されるので、ハウレンソウとコマツナの出荷期の長期化がはかれる。

10月に播種すると、11月～12月の時期はハウレンソウ

ウやコマツナの草丈の伸長をはかるためにハウスを密閉して管理している。したがって、この時期には両作物は未だ十分に低温馴化していないため、耐凍性が増大していない。この時期に両作物の耐凍性を上回る寒波の到来が予想されるときは、不織布のべたがけやトンネルなどの緊急避難的な保温が有効である。

冬期に(12月下旬～3月上旬)にハウスを開放すると、ハウスを密閉しているときよりも最低気温は1～2℃ほど低下する。しかし、耐凍性はハウスを開放すると密閉しているよりも2～5℃ほど高まる。このことから、ハウスを開放している方が凍結傷害を受ける危険性は低く、密閉している方が高い。

また、ハウレンソウやコマツナは短時間の高温により脱馴化する。ハウスを密閉していると、晴天日にはハウス内気温が上昇するので、両作物の耐凍性が減少し、凍結傷害を受ける危険性が高まる。本県において、日射量が増加する2月中旬以降は、ハウスを密閉していると、凍結傷害を受ける危険性は非常に高まる。この点からも、ハウスを開放し、冷たい外気をハウス内に導入して脱馴化を防止することが重要である。

収穫期に達してからハウスを開放すると、密閉しているよりもハウレンソウとコマツナの糖およびVC含量が高まる。ハウスを開放し、常にハウス内気温を低く保つことで、ハウレンソウとコマツナの糖およびVC含量を高く維持することが可能となる。

## IV 摘

## 要

冬期無加温ハウスを使用した葉菜類生産技術を確立するため、ハウス内での保温およびハウスのサイドを開放し、冬期の冷たい外気をハウス内へ導入することがハウレンソウやコマツナの生育、耐凍性、糖およびビタミンC含量に及ぼす影響を検討した。

冬期に寡日射条件となる本県において、コマツナを11月初旬に播種し、播種期から不織布などで保温を継続すると、収穫期が保温をしない場合(無保温)よりも20日程度早まる。しかし、これは播種日を4～5日早くすると同程度の効果で、大きな効果とはいえない。保温を継続するとコマツナは軟弱に生育し、葉色が淡く、商品性が低下する。また、保温を継続すると無保温よりもコマツナの耐凍性が2～4℃劣り、凍結傷害を受ける可能性が高まり、さらに、糖およびVC含量も低下する。このことから、不織布などで保温

を長期間継続することは適せず、コマツナの耐凍性を上回る寒波の到来時に緊急避難的に使用することが望ましい。

冬期(12月下旬～3月上旬)にハウスを開放し、冷たい外気をハウス内に導入すると、ハウレンソウとコマツナの耐凍性が密閉しているハウスで栽培するよりも2～5℃ほど高まり、凍結傷害を受ける危険性が少なくなることが予想された。また、低温馴化された両作物が比較的短時間高温にさらされた場合におこる脱馴化現象も、ハウスを開放し、晴天日の日中におこるハウス内の気温上昇を防ぐことによって回避され、凍結傷害を受ける可能性が低くなることが予想される。さらに、両作物が収穫期に達してからハウスを開放すると、密閉している場合に比べ、糖およびビタミンC含量が高まり、栄養価の高いハウレンソウ、コマツナ

を生産できる。また、ハウスを開放すると、両作物の草丈の伸長が抑制されるので、出荷期の長期化がはかられ、市場や量販店のニーズにも答えることができ、ひいては、冬期間の農家の所得向上にもつながると考えられる。

以上のことから、凍結傷害を回避し、かつ、冬期の低温を活用した高品質なホウレンソウやコマツナ生産は、両作物が収穫期に達してからハウスを開放し、冷たい外気をハウス内に導入することにより可能になるものと考えられる。

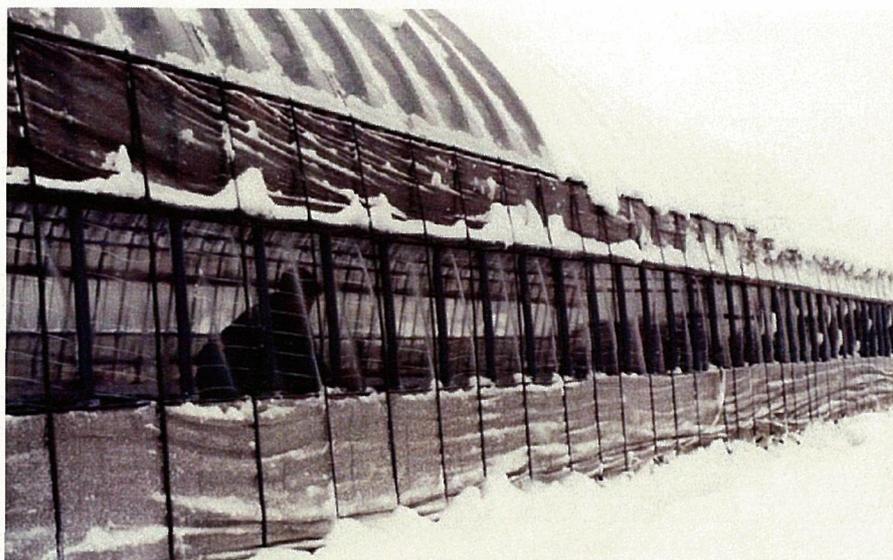
## 引 用 文 献

- 1) 田村晃. 1999. 冬期の葉菜類栽培. 農業気象学会東北支部会誌, 43; 35-42.
- 2) K. Ozawa and M. Okada. 1996. Furrow bottom seeding under row cover to accelerate vegetable growth in a cold season. *Plant production in closed ecosystems*. *Acta Hort.* 440:87-92.
- 3) 加藤忠司・青木和彦・山西弘恭. 1995. 冬期ハウス栽培ホウレンソウのビタミンC,  $\beta$ -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. *土壤肥科学雑誌*, 66(5); 563-565.
- 4) 田村晃. 1999. 寡日射条件における低温処理がコマツナ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(2): 409-413.
- 5) 田村晃. 2000. コマツナとホウレンソウの個体レベルでの耐凍性の評価. *園芸学会雑誌*, 69(3): 332-338.
- 6) 秋田県・秋田県経済連. 1999. 秋田県青果物標準出荷規格.
- 7) 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. *園芸学会雑誌*, 71(1): 74-81.
- 8) 田村晃・田口多喜子. 1998. 冬期葉菜類の移植と直播栽培の組み合わせによるハウス利用の効率化. *東北農業研究*, (51): 183-184.
- 9) 酒井昭. 1982. 植物の耐凍性と寒冷適応. p19-126. 学会出版センター, 東京.
- 10) 田村晃. 2001. ホウレンソウとコマツナの糖およびビタミンC含有率に及ぼすハウス内気温の影響. *園芸学会雑誌*, (70)別2: 290.
- 11) H. Sasaki et al. 2001. Loss of freezing tolerance associated with decrease in sugar concentrations by short-term deacclimation in cabbage seedlings. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70(3):294-298.
- 12) 気象庁. 1991. 日本気候表.
- 13) 国立天文台編. 理科年表. 2001. p263
- 14) H. Sasaki et al. 2001. Sucrose synthase and sucrose phosphate synthase, but not acid invertase, are regulated by cold acclimation and deacclimation in cabbage seedlings. *J. Plant Physiol.* 158: 847-852.
- 15) 田中明. 1981. 光合成能とsource-sink関係. *植物生理学*. 光合成II. 宮地重遠編. p121-147. 朝倉書店, 東京.
- 16) 米山忠克・建部雅子. 1992. アスコルビン酸・シュウ酸の代謝と相互関係. *農業及園芸*, 67: 1055-1062.
- 17) 石井龍一. 1992. 各種要因による光合成の制御. p.78-79. 宮地重遠編集. *現代植物生理学: 光合成*. 朝倉書店, 東京.
- 18) C. Foyer et al. 1983. Measurement of the ascorbate content of spinach leaf protoplasts and chloroplasts during illumination. *Planta*, 157: 239-244.

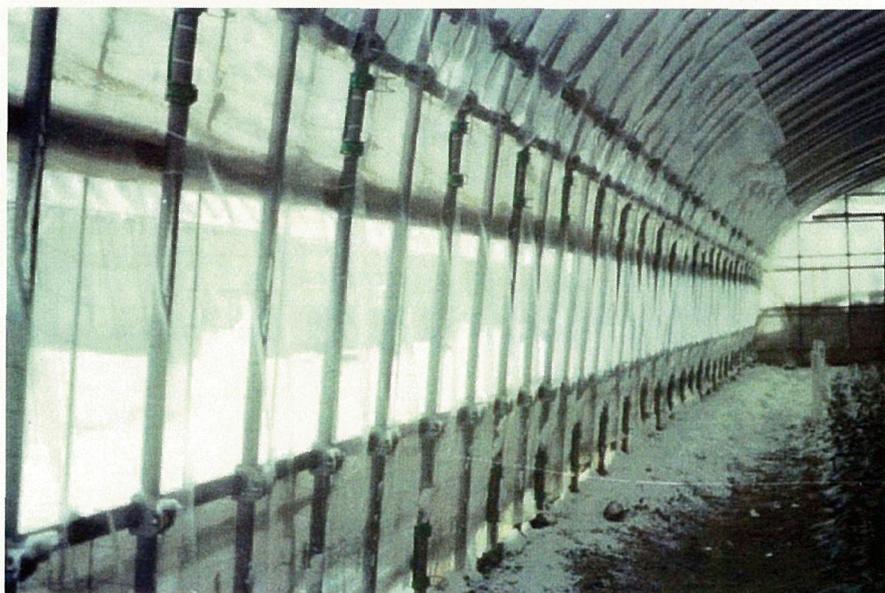
## Summary

To establish the technique of leaf vegetable production in an unheated greenhouse at region of limited solar radiation in winter, the effect of heat insulation of vegetables (by covering with unwoven fabric) and introduction of cold air from the outside into the greenhouse was investigated on the growth, freezing tolerance, and sugar and vitamin C contents in spinach and komatsuna plants. When continuously cultivated with a cover by unwoven fabric, komatsuna plants could be harvested earlier (by approximately 20 days) than those cultivated without heat insulation. However, this effect seemed not to be specifically advantageous for agricultural production because the same effect could be obtained if seeds were planted 4 to 5 days earlier than usual. Cultivation of komatsuna plants with heat insulation resulted in several undesirable characteristics compared to unheated cultivation. Those include that plants grew too soft, leaf blades became less greenish, and resultant plants had less commercial values. In addition, freezing tolerance of plants that grew with heat insulation was lower (by approximately 2 to 4 °C) than that of plants that grew without heat insulation. Furthermore, the sugar and vitamin C content in komatsuna plants was lower when growing with heat than without heat insulation. Therefore, it was concluded that insulation of plants continuously from sowing to harvest time was not good for agricultural production, but insulation should be used only if there may be a possibility that plants may suffer freezing injury due to a sudden hit of cold wave.

Introduction of cold air into a greenhouse by opening doors/windows during the period of mid winter (from end of December to early March) at which plants reached the harvesting stage increased freezing tolerance of both spinach and komatsuna plants by 2 to 5 °C compared to plants growing in a closed greenhouse. In addition, opening greenhouse resulted in a decrease in the possibility of deacclimation of plants occurring when air temperature considerably increases during daytime in unclouded days. These results indicate that the exposure of plants to cold air may reduce the possibility of freezing injury. Furthermore, cold-air treatment extended the period of harvesting due to the reduction of plant growth rate and increased the content of sugars and vitamin C. Taken together with these results, exposure of plants to cold environment at the harvesting stage resulted in extra values commercially, such as increasing in nutritional values, matching demands of market and mass marketers as well as increasing income of farmers during winter.



写真① 防風ネットを張り、サイドを開放したハウス



写真② ハウスの内側にハウスパッカーで防風ネットをとめている様子



写真③ 防風ネットのみでは吹雪の日にはハウス内に雪が入り込む



写真④ 開放したハウス内の様子  
ハウスの両側にビニルフェンスを設置している