

キャベツの凍害防止に関する研究

五十嵐大造

Daizou IGARASHI

Studies on the Prevention of Cold Injury to Cabbage for Harvesting in winter

緒 言

1. 研究の背景と目的

神奈川県三浦半島地域は、冬期温暖な気象条件を活かした、露地野菜産地が形成されている。現在の主要作物は、冬、春作のダイコン、キャベツ及び夏作のスイカ、カボチャ、メロンの5種類である。

これらの主要作物のうち、キャベツは1950年代から本格的に栽培が始まり、冬期に温暖な気象条件を活かして、冬、春どりの作型が定着していった⁽³⁶⁾。このうち、夏播き冬どりキャベツでは1976年頃までは、いわゆるい‘寒玉’⁽³⁶⁾とよばれる品種が栽培されていた。しかし、消費動向の変化によって、生食に適し、葉が柔らかく品質的に優れる春系の品種が増加し、1980年代以後は、ほぼ全面的に春系の品種が栽培されるようになった。

このような品種の変遷に伴って、収穫期に近くなると、結球部の表面に近い葉が軟化・腐敗する症状が増加するようになり、とくに1981年には三浦半島全域で被害が発生し、産地の安定生産を脅かす大きな問題として注目されるようになった。

同様の症状は、同じ冬どりキャベツの産地である千葉県東総地域および愛知県渥美地域でも問題化され⁽⁵⁾、またアメリカ合衆国でも Sumner (1972)⁽⁵⁶⁾が同様と思われる症状について報告している。いずれの場合も凍害を受けるような低温に遭遇した後に被害が生じていることから、結球部が軟化・腐敗する症状は、凍害との関連が高いことが示唆されていた。

その後、陶山・大林 (1982)⁽⁵⁷⁾は、本症状の被害株から *Pseudomonas viridiflava* と *Pseudomonas marginaris* の2種類の病原細菌を分離同定し、そのうち1種類は後

藤 (1956)⁽¹¹⁾がキャベツ腐敗病菌として報告したものであるとして、本症状は腐敗病と同定されている。

対策として、腐敗病の被害は‘寒玉’から‘春系’へと品種の変遷に伴って顕著になってきたことから、耐寒性の高い品種への変換が効果的であるが(神保ら, 1991⁽²⁰⁾)、消費動向から春系品種への要望が極めて高いこと、また、春系品種であるために、他産地では生産できず、冬期に温暖という産地の特徴が活かされていることもあって、品種を変えずにその対策を進めることとした。

本研究では、キャベツの腐敗病は低温によって生じる気象災害の一種と考えて、凍害発生についての実態と原因究明および被害回避にむけての微気象の改善を中心に取りまとめた。さらに、キャベツ耐凍性の獲得に至る気象条件との関係についても考察を加えた。

実態と原因究明については、三浦半島のキャベツ栽培地帯全域に渡って調査を行ない、凍害との関連を明らかにしようとするとともに、年度毎に異なる気象条件と発生との関連を明らかにし、被害の予測、あるいは前もっての対策が可能になるよう心がけた。

被害回避にむけての微気象の改善については、これまで燃焼法、散水氷結法、煙霧法、送風法及び被覆法等⁽⁴⁴⁾が報告されているが、露地野菜産地の対策として、労力、経費および効果の点で一長一短があり、必ずしも確実な対策として普及しているわけではない。しかし、比較的簡易に対策を図ることができ、将来の現地での普及性を考えて、べたがけによる簡易な被覆法、および茶園で広く利用されている防霜ファンの利用による圃場の微気象改善について検討を行なうこととした。

また、これらとは別に、キャベツのような温帯性の植物では、気温の低下とともに耐寒性が増加する現象(ハードニング)が知られている(Levitt, 1972)⁽³¹⁾。ここでは、ハードニングがどのような過程を経て形成または消失するかについて、主に苗を用いた実験で明らかにし、収穫期までの生育過程と気象条件の関連によって、耐凍性の大きさを評価し、凍害に対する対策を構じることを目的とした。これによって、事前に効果的な対策を構じることも可能であると考えた。

ここに、これまでキャベツの凍害の発生に対しての実態および原因究明、また、その対策に関する研究を、気象災害としての見地から取りまとめ、被害の軽減を図ることを念頭に置いて報告する次第である。

2. 謝辞

本研究をまとめるにあたっては、千葉大学園芸学部の中山敬一教授、今久教授より懇切なる御指導を賜った。また、高崎康夫教授、飯本光雄教授、古在豊樹教授には、予備審査において懇切なる御指導を賜わった。凍害の実験方法を中心とした基本的な考え方については、北海道大学低温科学研究所の吉田静夫教授より格別の御指導を賜った。被覆法を中心とした実験および取りまとめについては、農林水産省東北農業試験場気象環境制御研究室長岡田益己博士、同農業環境技術研究所大気保全研究室小林和彦主任研究員より、また、防霜ファンを中心とした実験には、農林水産省農業環境技術研究所気象特性研究室長原蘭芳信博士、および同研究室の研究員の方々よ

り懇切なる御指導をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げます。また、歴代の神奈川県園芸試験場三浦分場長、関義和、清田勇、平石之雅および大木孝之の各氏、また、前神奈川県園芸試験場長重田利夫氏、現同場長養島敏明氏、および同技術研究部長林勇氏には、多大なる御支援、御指導をいただいた。愛媛大学農学部の大林延夫助教授および神奈川県園芸試験場の水野信義氏には、前神奈川県園芸試験場三浦分場の上司として、また共同研究者として多面に渡り有益な御助言、御指導をいただいた。心より御礼申し上げます。また、神奈川県園芸試験場管理部および同三浦分場の歴代の事務職員の方々にも側面から研究を支援していただいた。また、共同研究として取組んだ千葉県農業試験場東総野菜研究室の青柳森一室長および神保信幸研究員には有益な御助言をいただいた。また、板木利隆博士には、研究を進める上で様々な御助言をいただいた。神奈川県横須賀農業改良普及所、神奈川県病害虫防除所、神奈川県横須賀三浦地区行政センター農林部、横須賀市農林水産部、三浦市農産課、横須賀市農業協同組合、三浦市農業協同組合の方々には、現地調査をはじめ、さまざまな貴重な御意見をいただく等、多大なる御協力をいただいた。三浦市および横須賀市の農家の方々には、試験圃場を提供していただいた。ここに記して、深く感謝の意を表します。さらに、神奈川県園芸試験場三浦分場の職員ならびに、研修生の諸氏には本研究の実施にあたって多大なる御協力をいただいた。心より感謝の意を表します。

第1章 凍害および腐敗病の発生原因

本章では、現地での調査を元に、凍害および腐敗病の発生の実態を把握することに努め、どのような環境条件下で発生しやすいか、さらに、基本的にどのような低温条件下で凍害が発生するのか、また、凍害を原因として腐敗病が発生するのかどうか、これら一連の実態の解明を試み、実験的に明らかにした。

第1節 凍害および腐敗病の発生の実態

1. 地域および圃場条件からみた実態調査

(1) 調査方法

3年間に渡って、横須賀市南部および三浦市全域のキャベツ栽培地帯20地区について、各5圃場を調査対象とした。対象としたキャベツの品種は‘金春’で、調査株数は、1圃場につき100株、1地区につき合計500株とした。調査項目は、結球度、圃場の環境状況、および凍害・腐敗病の発生状態（第1年目は腐敗病のみ）とした。結球度は、結球の状態によって、1年目は、0（結球部がソフトボール大以下）、1（軟結球状態）、2（収穫適期）および3（収穫適期過ぎ）の4段階に指数化した。第2年目及び3年目は、0（未結球）、1（結球部がソフトボール大以下）、2（軟結球状態）、3（収穫適期）および4（収穫適期過ぎ）の5段階に指数化した。

圃場の環境状況は、周辺の圃場と比較した地形上の位置（上位、中位および下位）、周囲の地形上の位置や障害物および樹木の有無による通風の良否、圃場の土壌の排水性の良否、春どりキャベツの間作の有無、硬盤の有無、株間、圃場の傾斜方向を調査した。このうち、地形上の位置、通風の良否、および排水性の良否は観察によって判断した。硬盤の有無は、直径19mmの鉄パイプが概ね30cm以上垂直に突きささる圃場は無、と判断した。

凍害および腐敗病の発生状態は、立毛状態での観察によって行なった。凍害による被害は、被害を受けた結球葉が脱水症状となり、やがて薄皮状となって壊死する。発生指数として、被害程度によって、0（無発生）、1（一部発生が認められるが商品価値は失っていないもので、被害面積が結球部表面積の1～5%にあるもの）、2（上物としての商品価値は失っているものの出荷は可能なもので、被害面積が結球部表面積の6～20%にあるもの）、3（いわゆる剥き玉として出荷は可能で、被害面積が結球部表面積の21～50%にあるもの）、4（被害面積が結球部表面積の51%以上で、出荷不可能なもの）の5段階で指数化した。腐敗病についても結球葉の被害面積率によって、凍害と同様に0から4までの5段階で指数化し

た。ただし、腐敗病では、指数3以上では出荷不可能となる。また、被害状況を発生度として、(1)式から計算によって求めた。

$$Y = \sum_{h=1}^{500} \{X_h / (500 \times 4)\} \times 100 \quad (1)$$

ここで、Yは発生度、hは株番号、X_hは株hの発生指数を示す。

(2) 調査結果

3年間の調査結果をそれぞれ(4) Table 1-1～Table 1-4に示した。第1年目は、キャベツ結球度 x₁（0～3）と腐敗病発生度 y₁との間には、

$$y_1 = 22.55 x_1 - 10.60 \quad (r = 0.963) \quad (2)$$

の相関関係が認められた。2年目は、同様に、キャベツ結球度 x₂（0～4）と腐敗病の発生度 y₂との間には、

$$y_2 = 7.79 x_2 + 3.93 \quad (r = 0.946) \quad (3)$$

の相関関係が認められ、3年目には、キャベツ結球度 x₃（0～4）と凍害発生度 y₃との間には、

$$y_3 = 19.66 x_3 - 0.60 \quad (r = 0.996) \quad (4)$$

の相関関係が認められた。

環境要因別の腐敗病又は凍害の発生度が、式(2)～(4)から、その項目の平均結球度から推定される発生度に比べて高いとき、その環境要因は腐敗病又は凍害の発生を助長するものと判断した。

その結果、腐敗病の多発する傾向が明確に現われた要因として、いわゆる‘下畑’と呼ばれる地形上の位置が周辺の圃場と比較して、下位にあたる圃場、通風性およ

Table 1-1 The comparison between index of head rot occurrence and differences of environmental factor in field.(1983)

Environmental condition in field	Index of head rot (A)*	Expected index (B)**	$\frac{A}{B}$	Progress of head formation***	
Undulation	upper	49.4	50.3	0.98	2.7
	middle	41.3	47.3	0.87	2.6
	lower	55.6	45.8	1.21	2.5
Penetration	good	44.4	46.8	0.95	2.5
	not good	71.2	59.3	1.20	3.1
Intercrop (cabbage)	planted	47.3	48.5	0.98	2.6
	not planted	52.5	47.0	1.12	2.5
Soil hardness	hard	43.9	46.5	0.94	2.5
	not hard	51.5	51.0	1.01	2.7
Intrarow spacing	<33cm	55.6	51.8	1.07	2.8
	≥33cm	38.6	43.3	0.89	2.4
Gradient	flat	49.4	48.0	1.03	2.6
	slope	46.8	49.5	0.95	2.7

*A : Index was calculated by equation(1).

**B : Expected index was calculated by equation(2).

***Progress of head formation was indicated by averaged index(0~3) ; index '2' =harvesting stage, '0' and '1' =before harvesting stage, '3' =over harvesting stage.

Table 1-2 The comparison between index of head rot occurrence and differences of environmental factor in field.(1984)

Environmental condition in field	Index of head rot (A)*	Expected index (B)**	$\frac{A}{B}$	Progress of head formation***	
Undulation	upper	22.7	22.9	1.06	2.4
	middle	14.5	23.6	0.74	2.5
	lower	45.1	23.5	1.43	2.5
Ventilation	good	23.5	23.6	0.93	2.5
	normal	29.7	23.0	1.28	2.5
	bad	36.5	21.9	1.43	2.3
Penetration	good	27.3	22.2	0.89	2.4
	normal	25.0	24.2	1.26	2.6
	bad	48.2	24.0	1.27	2.6
Intercrop (cabbage)	planted	31.6	23.8	1.02	2.6
	not planted	25.0	22.4	1.11	2.4
Soil hardness	hard	29.7	24.1	0.96	2.6
	not hard	28.6	21.6	1.12	2.3
Intrarow spacing	<33cm	35.2	23.6	1.07	2.7
	≥33cm	22.2	22.6	0.94	2.7
Gradient	flat	35.0	24.3	1.39	2.6
	slope(east)	10.0	22.6	0.99	2.5
	(west)	21.4	21.2	0.89	2.9
	(south)	24.1	22.7	0.66	2.7
	(north)	34.8	23.4	1.21	2.7

*A : Index was calculated by equation(1).

**B : Expected index was calculated by equation(2).

***Progress of head formation was indicated by averaged index(0~4) ; index '3' =harvesting stage, '0' , '1' ,and '2' =before harvesting stage, '4' =over harvesting stage.

Table 1-3 The comparison between index of cold injury occurrence and differences of environmental factor in field.(1984)

Environmental condition in field	Index of cold injury (A)*	Expected index (B)**	A/B	Progress of head formation***	
Undulation	upper	40.9	47.4	0.86	2.4
	middle	36.8	49.1	0.75	2.5
	lower	75.0	48.8	1.54	2.5
Ventilation	good	45.6	49.0	0.93	2.5
	normal	64.1	47.6	1.35	2.5
	bad	57.7	44.8	1.29	2.3
Penetration	good	43.6	45.6	0.96	2.4
	normal	51.8	50.5	1.03	2.6
	bad	82.1	49.9	1.63	2.6
Intercrop (cabbage)	planted	54.3	49.5	1.10	2.6
	not planted	49.3	46.0	1.07	2.4
Soil hardness	hard	55.9	50.3	1.11	2.6
	not hard	46.4	44.0	1.05	2.3
Intrarow spacing	<33cm	55.1	49.1	1.12	2.7
	≥33cm	49.4	46.6	1.06	2.7
Gradient	flat	79.4	50.9	1.15	2.6
	slope(east)	58.3	46.6	0.64	2.5
	(west)	70.1	42.9	1.33	2.9
	(south)	59.5	46.8	0.87	2.7
	(north)	69.0	48.6	1.27	2.7

* A=Index was calculated by equation(1)

** B=Expected index was calculated by equation(3).

*** Progress head formation was indicated by averaged index(0~4); index 3=harvesting stage, 0,1,&2=before harvesting stage,4=over harvesting stage.

Table 1-4 The comparison between index of cold injury and head rot occurrences and differences of environmental factor in field.(1985)

Environmental condition in field	Index of head rot*	Index of cold injury**	Progress of head formation**	
Undulation	upper	3.2	55.1	2.8
	middle	6.3	65.0	2.5
	lower	10.6	76.9	2.8
Ventilation	good	6.0	61.6	2.8
	normal	2.2	63.0	2.8
	bad	4.2	70.8	2.7
Penetration	good	2.9	54.9	2.8
	normal	7.8	62.1	2.6
	bad	10.0	83.8	2.9
Intercrop (cabbage)	planted	5.3	61.5	2.8
	not planted	6.4	64.7	2.7
Soil hardness	hard	4.8	59.8	2.8
	not hard	10.9	78.1	2.6
Intrarow spacing	<33cm	7.4	66.2	2.7
	≥33cm	4.1	59.2	2.8
Gradient	flat	12.5	80.5	2.7
	slope(east)	0	50.0	2.8
	(west)	0	60.4	3.0
	(south)	2.1	50.0	2.9
	(north)	4.5	61.4	2.5

* Index was calculated by equation(1).

** Progress of head formation was indicated by averaged index(0~4) ; index '3' =harvesting stage, '0', '1', and '2' =before harvesting stage, '4' =over harvesting stage.

び排水性が不良な圃場，平坦又は，北向き傾斜の圃場，があげられた。また，凍害が多発する傾向が明確に現われた要因も，ほぼ同じ傾向を示し，腐敗病と凍害の環境要因別発生状況は，互いに類似していた。しかし，Table 1-4 に示したように，腐敗病の多発した年には凍害も多発するが，凍害が多発しても腐敗病が多発しない例があることを示した。また，全体的に被害は，とくに調査地区全域の中でも，北部にあたり，かつ水田理立圃場を中心とする下畑の割合が多い地区が多かった。

(3) 考察

冬どりキャベツの腐敗病は，発病株から，2種の病原細菌が検出されているものの，その発生状況は年によって異なり，寒波の襲来があると急激に被害が増加すること，従来栽培されていた耐寒性の高い‘寒玉’系の品種に代わって，春系の品種が栽培の主力になって以後，被害が顕在化したことから，寒害との関連が想定されていた。

調査結果から，凍害および腐敗病の多発しやすい環境条件として，下畑，通風および排水性の不良な条件，圃場が平坦または北向き傾斜であること，があげられたが，

下畑では，冷気湖が形成されやすいこと⁽¹⁶⁾，通風の不良な圃場では，三原 (1979)⁽³⁵⁾が，「風は植物体にとって温風である」としているように，放射冷却によって冷却された葉に顕熱が供給されにくいことが考えられ，キャベツの葉温は，低下しやすい条件にあったと言えよう。排水性の不良な圃場は下畑に多く，上の条件が重なっていたこともあろうが，Cox ら⁽⁷⁾が示しているように，水分ストレスを与えた方が耐凍性が向上することから，キャベツの耐凍性を低下させる等の生理的な作用を及ぼしたとも考えられた。圃場の傾斜についても，平坦な圃場は下畑に多いことから，条件が重なったためと思われる。

このように，被害の発生を助長させるような環境条件は，いずれも，キャベツ葉温を低下させやすい条件にあること，北部の地区ほど被害が多発していること，また，腐敗病の多発条件は，凍害の多発条件と類似していることから，腐敗病は2種の病原細菌が関与しているものの，基本的には，低温による気象災害の一つとみなせるものと考えられた。すなわち，腐敗病の発生原因に対して，凍害が関与しているものと想定された。

第2節 凍害および腐敗病発生のメカニズムの解明

1. キャベツ葉に障害を与える低温条件の解明

本実験は，キャベツ結球葉の，凍害発生温度を明らかにするために行なった。また，播種日を変えて生育ステージを変え，収穫時期が異なることによって，凍害の生じ方に差が生じるか否かについて検討を行なった。

(1) 材料および方法

生育ステージを変えるために，‘金春’（サカタのタネ）を1984年8月18日，21日，24日および27日に播種し，12月12日および翌年の1月17日に播種日別に収穫適期に達した5株をサンプリングした。供試した葉は，結球部の最外葉から内側に向かって5枚目までの5枚である。葉は中央の主脈及び葉縁部を避けて，直径7.5cmの円形に切り抜き，直径9cmのシャーレに入れ，インキュベータ（サンヨー電機特機製 MIR-9251）内で低温処理を行なった。処理は，-3℃を2時間以上保持した後，細氷片を直接，キャベツ葉に少量ふりかけて細胞外凍結を誘起させた。さらに-3℃を12月12日に収穫したものについては2.5時間，また，1月17日に収穫したものについては4時間保持した後，インキュベータから取り出し

て，0℃に温度を設定した別のインキュベータ（サンヨー電機特機 MIR-9251）に移して16時間以上保持した。その後，室温に戻して凍害の程度を目視によって判定した。さらに残りのサンプルを-4℃/hの温度降下速度で冷却し，-5℃に2.5時間（12月12日収穫）又は4時間（1月17日収穫）保持した後，同様の処理を行なって凍害の程度を判定した。さらに，同様の処理を行ないながら-7，-9，および-11℃での凍害の程度を判定した。これら一連の実験は3反復で行なった。

凍害の判定方法には，これまで蛍光色素法（Wildholm, 1972）⁽⁶¹⁾，電気伝導度法（Dexter ら，1932）⁽⁹⁾，原形質分離法（酒井ら，1959）⁽⁴⁸⁾等が知られており，いずれも，有効な測定法であるが，ここでは，より簡易に，かつ大量のサンプルを短時間のうちに処理する必要から，目視による組織の壊死率によって凍害による被害の大きさを判定した。低温による障害を受けると，半透明となって組織の壊死が観察され，正常な部分との区別が可能となる。この障害，即ち凍害を受けた部分の面積率を0~10の11段階で表示し，これを凍害指数とした。

(2) 結果

葉温と凍害の関係を葉位毎に Table 1-5 及び Table 1-6 に示した。凍害は、-5℃以上では、ほとんど認められず、-7℃以下になると症状が認められるようになった。更に低温の条件では、凍害の発生程度が増大した。また、凍害の発生は、葉位間の差が認められ、いずれの調査日でも内側の葉ほど、発生程度が大きくなる傾向が認められた。一方、キャベツの収穫時期との関係からみると、調査日が1月17日のものの方が、12月12日調査のものよりも、凍害の発生程度は低くなる傾向が認められた。調査日前の気温は、12月上旬は平年よりも高く、逆に12月下旬から1月までは、低く推移した。

Table 1-5 The comparison between cold injury and difference of low temperatures, leaf number and seeding dates. (Dec.12,1984)

Seeding date	Treatment temp.	Leaf number**					Head formation weight(kg)
		1	2	3	4	5	
8/18	-3℃	0	0	0	0	0	1.26
	-5℃	0	0	0	0	0	1.30
	-7℃	0	1	1	2	2	1.01
	-9℃	0	0	2	3	9	1.03
	-11℃	8	8	10	10	10	1.10
8/21	-3℃	0	0	0	0	1	1.13
	-5℃	0	0	0	0	0	0.97
	-7℃	0	0	0	0	4	1.18
	-9℃	0	0	1	9	9	1.09
	-11℃	4	7	10	10	10	1.14
8/24	-3℃	0	0	0	0	0	1.16
	-5℃	0	0	0	0	0	0.94
	-7℃	0	0	0	1	3	0.86
	-9℃	0	0	3	8	8	0.80
	-11℃	3	10	10	10	10	0.73

* Index is shown from 0 to 10. '0' means no injury.
 ** Leaf number 1 is the outside leaf of head formation. Leaf number 5 means the fifth leaf inward from leaf number 1.

2. 圃場における気温および葉温の日変化の測定

圃場内での、実際のキャベツの温度状態を知ることによって、凍害が生じる温度条件、即ち、-5℃から-7℃以下になる条件を満たしているかどうかを確認することを目的に、気温および葉温を調査した。

(1) 材料及び方法

測定は、神奈川県園芸試験場三浦分場内のキャベツ栽培圃場で行なった。圃場における低温条件を調べるために、1985年1月10日から2月10日にかけて、気温及びキャベツ結球部の葉温を測定した。気温は、畦に沿って、株の中間ではほぼキャベツの結球部の頂部にあたる地上15cm

Table 1-6 The comparison among cold injury index and treatment temperature, leaf number and seeding date. (Jan.17,1985)

Seeding date	Treatment temp.	Leaf number**					Head formation weight(kg)
		1	2	3	4	5	
8/18	-3℃	0	0	0	0	0	1.39
	-5℃	0	0	0	0	0	1.41
	-7℃	0	0	0	0	2	1.51
	-9℃	0	1	0	1	1	1.49
	-11℃	0	0	2	2	4	1.47
8/21	-3℃	0	0	0	0	0	1.19
	-5℃	0	0	0	0	0	1.23
	-7℃	0	0	1	0	0	1.34
	-9℃	0	0	0	0	4	1.77
	-11℃	1	1	6	5	4	1.29
8/24	-3℃	0	0	0	0	0	1.34
	-5℃	0	0	0	0	0	1.01
	-7℃	0	0	1	0	0	1.07
	-9℃	0	0	0	0	2	1.03
	-11℃	0	0	0	5	9	0.99
8/27	-3℃	0	0	0	0	0	0.95
	-5℃	0	0	0	0	0	0.70
	-7℃	0	0	0	0	1	0.81
	-9℃	0	0	0	0	0	0.93
	-11℃	0	0	0	3	5	0.95

*Index is shown from 0 to 10. '0' means no injury.
 **Leaf number 1 is the outside leaf of head formation. Leaf number 5 means the fifth leaf inward from leaf number 1.

で計測した。葉温は、収穫適期に達し、結球葉の最外葉が球に密着した3株を選定し、結球葉の最外葉とその1枚内側の葉との間に、直径0.32mmのT型熱電対を挿入して、結球部の頂部の温度を測定した。また、同様の方法で、結球部の頂部、南側および北側に面した部分の葉温を測定した。記録は、自動平衡温度記録計(飯尾電気製ELU-7612)を用いた。これらの測定値は、同分場内に設置されたアメダス(AMeDAS)のデータと比較した。

(2) 結果

キャベツ栽培圃場の地上15cmの気温、結球部葉温およびアメダスデータの日変化の例を Fig. 1-1 に、結球部の部位別の葉温の日変化を Fig. 1-2 に示した。夜間の地上15cmの気温および結球部頂部の葉温は、最も温度が低下した午前6時には、アメダスデータと比較して、それぞれ6℃および8℃下回った。

測定を行った1月10日から2月10日までの結球部葉温の日最低値の出現頻度は、-7℃以下が4日、-7~-5℃が11日であった。

3. 凍害と腐敗病発生の関係

腐敗病の発生が、凍害に原因があることが想定されて

いても、それを直接確かめたわけではない。そこで、ここでは、当初想定したように、凍害が生じた組織に病原細菌を接種して、病徴が現われるかどうか確認すること、また、病徴が現われる温度条件を検討することを目的に実験を実施した。

(1) 材料および方法

実験1 病原細菌の接種

病原細菌を接種するサンプルとして、8月19日及び8月26日に播種した‘金春’を収穫適期の2月9日に収穫し、結球部の最外葉を含め、内側に向かって6枚目までのすべての葉を供試した。葉は、1. に示した方法と同

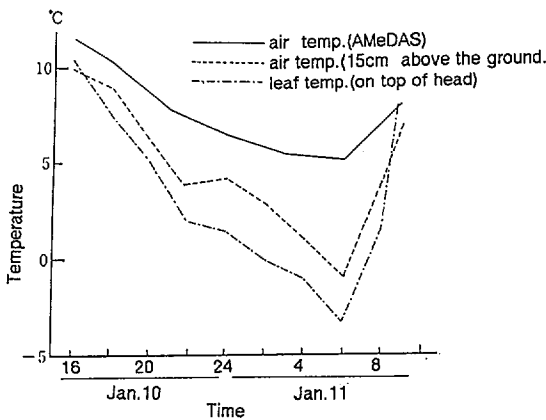


Fig.1-1 Variation of air and leaf temperatures with time. (1985)

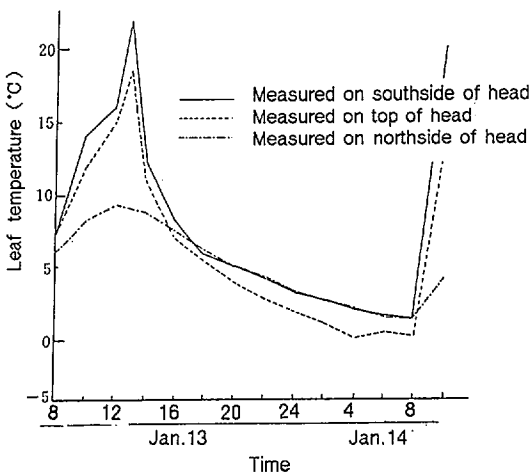


Fig.1-2 Variation of leaf temperature with time. (1985)

様の処理を行ない-5、-10および-15℃にそれぞれ24時間保持した。これを、腐敗病発病葉を磨碎して濾過した液に数秒間浸した後、ろ紙で湿度を保持できるようにしたシャーレに入れ、25℃に設定した定温器（サンヨー電機特機製 MIR-150）内で、10時間培養した。

凍害の発生程度は、障害を受けて半透明となった部分、また、腐敗病の発生程度は、軟化腐敗した部分のそれぞれ全体に対する面積率を0（無）～10（全面に発生）の11段階で表示した。

実験2 腐敗病の進行温度

腐敗病の発生した葉の健全部と腐敗部の境界付近から、切断部に腐敗部を残しながら健全部を概ね2.5cm×5cmの短冊状にハサミで切り取り、腐敗部を水洗によって除去した後、ろ紙で湿度を保持した直径9cmのシャーレに入れて、5、10、15および20℃の定温器（サンヨー電機特機製 MIR-150）内で10時間培養した。

腐敗病の進行程度は、病徴境界部からの進行度を、その程度によって8段階で表示した。

(2) 結果

凍害の発生と腐敗病発生との関係

異なる低温条件によるキャベツの凍害発生程度と腐敗病発生程度の間を Table 1-7 に示した。キャベツ葉を異なる低温条件で24時間保持したとき、凍害の発生は-5℃では軽度であったが、-15℃では大部分が被害を生じた。

またこれらキャベツ葉に腐敗病の病原菌を接種して25℃に保温すると、凍害を生じた部分は、短時間で軟化・腐敗するが、障害のない葉ではほとんど菌の侵入は見られず、腐敗に至らなかった。しかし、凍害を受けた部分が腐敗すると、その周辺の健全部は次第に腐敗した。

腐敗病進行と温度の関係

腐敗病の進行は Table 1-8 に示したように、温度によって異なり、5℃ではほとんど進行しないが、10℃では徐々に進行した。更に、15～20℃と温度が高い程、その進行速度は早かった。

4. 考察

キャベツの結球葉に発生する凍害は、Fig. 1-1の例でも示されているように、急速な葉の冷却が生じているわけではなく、また、最低温度も春系の品種が栽培可能な程度であることから、葉の細胞外凍結によって生じて

いると考えられる (酒井, 1982)⁽⁵¹⁾。細胞外凍結であれば、熱帯性の植物を除いて、キャベツのような温帯性の植物では、耐凍性いかんでは、生存が可能であるとさ

Table 1-7 The index of cold injury and head rot at each leaf inoculated with bacterium under the condition of several low temperatures.

Seeding date	Treatment temp. (24hours)		Leaf number **					
			1	2	3	4	5	6
8/19	-5°C	C	0	0	0	1	0	0
		R	0	1	0	1	0	0
	-10°C	C	0	1	0	1	1	3
		R	0	0	1	2	1	3
	-15°C	C	8	10	10	10	10	10
		R	10	10	10	10	10	10
8/26	-5°C	C	0	0	1	0	0	0
		R	0	2	1	2	1	0
	-10°C	C	0	1	1	3	4	7
		R	0	3	3	3	4	8
	-15°C	C	9	10	10	10	10	10
		R	10	10	10	10	10	10

*Index is shown from 0 to 10. (Refer to table 1-5)
 **Leaf number 1 is the outside leaf of head formation. Leaf number 6 means the sixth leaf inward from leaf number 1.
 C: Cold injury
 R: Head rot

Table 1-8 Head rot progress under the condition of several treatment temperatures for 10 hours.

Temp.	Repetition					
	1	2	3	4	5	6
5°C	±	±	-	±	-	-
10°C	-	+	+	++	+	+
15°C	###	##	###	###	###	###
20°C	###	###	###	###	###	###

damage: nothing(-) ~ all plants(####)

れている。キャベツの結球葉は、葉位によって若干の差はあるものの、葉温が概ね-5°Cを下回ると、凍害を生じるようになり、更に葉温が低下するほど、また、低温にさらされる時間が長いほど、凍害の発生が増大した。これらのことから、三浦半島で栽培されるキャベツの凍害が生じるようになる葉温は、一つの目安として、概ね-5°Cと推定された。しかし、同じ栽培条件で栽培されたキャベツでも、Table 1-5 および Table 1-6 に示したように、調査時期が遅い方が、凍害の発生は少なかった。このことから、遅い時期の調査サンプルでは、栽培中に、低温馴化が生じたものと考えられた。この点については、第4節で詳しく述べることにする。

実際に、圃場内におけるキャベツの葉温は-5°Cを下回る日もしばしば、出現しており、凍害の発生には、十分な温度条件を備えていると言えよう。

結球部を軟化・腐敗させる腐敗病については、Table 1-7 および 1-8 に示されたように、キャベツ葉に凍害が生じて組織が壊死した場合に、病原菌を接種したところ、腐敗に至ったことから、腐敗病の前提条件として、凍害の発生があげられた。同様の現象として Sumner (1972)⁽⁵⁶⁾ や青柳ら (1989)⁽²⁾ も、凍害の後に病原菌が関与したキャベツの軟化・腐敗症状を報告している。また、腐敗病の発生には、菌が接種されても、葉温が少なくとも10°C以上必要で、15~20°Cでは菌の増殖が活発になることから、低温だけでなく、一定の高温条件が必要と考えられた。Fig. 1-2 に示したように、日中は、葉温は20°C以上を示すこともあり、病原菌の増殖に必要な条件を十分満たしていたと考えられた。

このように、腐敗病の発生には、まず、葉に凍害を生じ、その後、病原細菌の侵入および増殖という過程を経る、と考えられ、実際の気象条件はこれらをすべて満たしていることから、当初考えられていたように、凍害を原因とする病害であることが、確認されたと言えよう。

第3節 気象条件と腐敗病発生の関係

1. 月別の気象条件と腐敗病発生状況の関係

腐敗病による被害の発生は、年度間の差が大きく、また発生時期も年度によって異なっている。また、凍害を原因とする病気でありながら、むしろ暖冬といわれる年に被害が大きいことが、地元農家から指摘されてきた。

キャベツをはじめ、多くの温帯性の植物では、一定の低温に遭遇すると耐寒性が増加するという低温馴化が行なわれること (Levitt, 1972)⁽³¹⁾、また水分や養分条件

によっても植物に対する低温馴化への影響が認められること (Cox and. Levitt, 1966)⁽⁷⁾ が明らかとなっている。しかし、実際の野菜栽培面ではこれらの影響について触れたものは少ない。これまで、被覆法等を利用した保温対策による凍害防止効果が認められているが、さらに低温馴化による耐凍性獲得も被害発生の抑制に有効に働くものと考えられる。

そこで、年度毎の気象条件と凍害および腐敗病の発生

の関係を調査し、低温馴化が被害の発生とどのようにかわっているかを検討した。

(1) 調査方法

1) 腐敗病被害実態調査

1983年から1992年までの9カ年にかけて(1987年を除く)神奈川県横須賀市長井地区のキャベツ栽培地帯の被害実態調査を行なった。調査地帯は横須賀市長井の‘下畑’とよばれる水田埋立圃場で、三浦半島のキャベツ栽培地帯の中では北部にあたり、例年、三浦半島全体の腐敗病発生率の平均値よりも常に高いことは、第2節で示したとうりである。

いずれの年度もキャベツの播種時期は8月下旬、定植時期は10月上旬で一致していた。調査は隣接する5圃場で行ない、収穫期に達した株、または収穫期に近い株を対象に、1圃場につき100株、合計500株行なった。調査は、すべて目視で行ない、被害程度に応じて、病徴がわずかに認められるものの商品として販売に影響を及ぼさないものを1、結球部表面積の20%以下で病徴部分を取り除けば規格外品として出荷可能なものを2、病徴が結球部表面積の20~50%に達するものを3、同50%以上のものを4と指数化し、これを発生指数とした。指数3および4では出荷が不可能である。指数が1以上の株の割合を腐敗病発生率として求めた。また、被害程度は(5)式に示すように、腐敗病被害度として求めた。

$$Y = \sum_{i=1}^{500} \{X_i / (500 \times 4)\} \times 100 \quad (5)$$

ここで、Yは被害度、iは株番号、X_iは株iの発生指数を示す。

2) 栽培期間中の気象要因の分析

腐敗病の被害実態調査を行なったすべての年度について、定植後の11月から収穫前の1月中旬まで旬毎に平均、最低、最高気温、および日照時間を平年値と比較した。使用した気象データは、調査圃場から南に約2kmの距離にある神奈川県園芸試験場三浦分場内で観測されるアメダスデータである。

(2) 結果

1) 腐敗病の被害実態と時期別気象要因との関係

年度毎の腐敗病の発生率および発生度を Table 1-9 に示す。腐敗病の発生率は1985年の発生率が1%であっ

たのに対して1991年は84.6%と年度の違いによる差が大きかった。

収穫前の気象要因として、11月および12月の平均気温の平年偏差、降水量および日照時間を説明変数として腐敗病発生率に対する重回帰分析を行なった結果 (Table 1-10) のうち、腐敗病の発生率に対して11月の平均気温の平年偏差のみに高い相関が認められ、(6)式に示すような回帰式が得られた。

$$y = 20.68 + 18.63x \quad (r = 0.828) \quad (6)$$

(5%水準有意性有り)

ここでyは、腐敗病発生率(%). xは11月の平均気温の平年偏差(°C)を示す。

さらに、11月の気温の平年偏差を旬毎に平均、最低および最高気温に分けて腐敗病発生率に対する重回帰分析を行なったところ Table 1-11に示したように11月中旬の気温の平年偏差と最も高い相関が認められた。平均、最低および最高気温の平年偏差との間にはそれぞれ高い相関が認められるため、いずれを説明変数としても適当と考えられた。ここでは、説明変数の代表値として平均気温の平年偏差を採用した。

ここで、11月中旬および結球完成直前にあたる12月下旬の平均気温の平年偏差と腐敗病発生率および腐敗病発生度との関係を、Fig. 1-3およびFig. 1-4に示す。

腐敗病の発生は凍害が原因であるにもかかわらず、結球完成直前から収穫期にあたる12月下旬から1月中旬にかけての気温の高低よりも、むしろ結球部の直径が概ね15cm前後で、結球初期にあたる11月中旬の気温の影響を強く受け、この時期に気温が平年よりも低めに推移した方が、収穫時期になって被害が少ない傾向にあることが明らかとなった。

(3) 考察

9カ年の現地での腐敗病発生の実態調査の結果、1月中旬頃を中心に多発する腐敗病の発生に最も大きな影響を及ぼす気象要因として11月中旬の気温の積算値との間に高い相関が認められた (Table 1-10, 1-11)。キャベツに発生する腐敗病は病原菌が同定され(陶山・大林, 1982)⁽⁵⁷⁾、これが凍害に原因があることは、すでに第2節で指摘した。このことから、11月中旬の気温は、腐敗病の発生よりも、その原因である凍害の発生に直接影響を与えていることが推察される。

今回、主な調査対象となった1月から2月にかけて収

穫されるキャベツにとって、年度間差はあるものの、11月には結球部の直径が概ね15cm前後の生育を示し、すでに結球葉は形成されている状態である。また、11月中旬の三浦半島地域における気温の平年値は、アメダスデータによると12.8℃、同最高気温は16.4℃、同最低気温は9.3℃であり、最低気温は10℃を下回る時期にあたる。一般に、温帯性の植物は10℃以下の低温にさらされると徐々に耐凍性が増加（低温馴化）するといわれている（Levitt, 1972）⁽³¹⁾。また、この他に低温馴化を促進する手段として水分ストレスや光条件およびアブシジン

酸等も関係しているとされている（Cox and Levitt, 1966⁽⁷⁾；Chen and Gusta, 1983⁽⁴⁾；Kohn and Levitt, 1965⁽²⁵⁾）。しかし、腐敗病の発生は、収穫前の気象要因として11月の平均気温にだけ高い相関が認められた（Table 1-10）。さらに細かく解析したところ、とくに11月中旬の気温と最も高い相関が認められた（Table 1-11）。露地の圃場では、Cox and Levitt (1966)⁽⁷⁾が実験で明らかにしているような極端な水分ストレスを与えたり、光条件をコントロールすることは、収穫を考慮した場合には当面不可能であると考えられることから、温度条件を中心にした腐敗病の発生機構を明らかにし、その対策を進めることが適当であると思われる。

温度条件から見て、基本的に三浦半島のキャベツも11月中旬頃が低温馴化の開始時期にあたると思われる。苗を用いた実験でも10℃以下の低温に遭遇させることによって初めて耐凍性の増加が確認されている。この点については、第2章において詳しく述べることにする。したがって、11月中旬の気温が平年よりも低い時には、低温馴化が平年よりも早く始まり、逆に、高ければ遅く始まると言うことが生ずる。

12月に入れば、最低気温の平均値は5℃台と急激に低下し、しばしば降霜や、キャベツ葉の凍結がみられるようになる。一方、晴天日の日中は葉温が20℃前後まで上

Table 1-9 Annual variation of head rot occurrence in cabbage at Nagai in Yokosuka.

Year	Head rot occurrence	
	Percentage	Index*
1983	46.5	24.8
'84	21.4	12.4
'85	1.0	0.0
'86	22.4	13.0
'88	13.2	5.6
'89	8.6	4.4
'90	21.4	12.1
'91	84.6	59.4
'92	13.8	6.6

* Index: Index was calculated by equation (1).

Table 1-10 Standard partial regression coefficients between meteorological elements (air temperature deviation from normal, amount of precipitation, and duration of sunshine in November and December) and percentage of head rot occurrence in cabbage.

Air temperature*		Amount of precipitation		Duration of sunshine	
Nov.	Dec.	Nov.	Dec.	Nov.	Dec.
.828	—	—	—	—	—

* 'Air temperature' means the air temperature deviation from normal.

Table 1-11 Coefficient of partial correlation between the decade air temperature deviation from normal in November and percentage of head rot occurrence in cabbage.

Decade mean temp.			Decade min. temp.			Decade max. temp.		
first	middle	last	first	middle	last	first	middle	last
.68	.89	.60	.71	.71	.58	.64	.89	.52

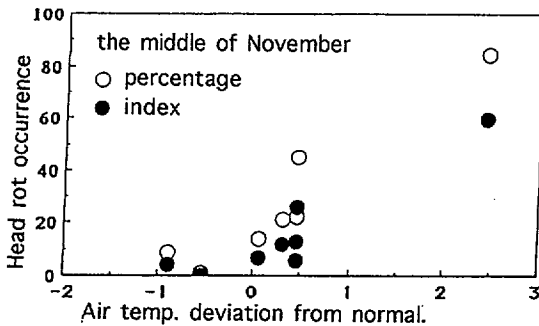


Fig.1-3 Relationship between the air temperature deviation from normal at the middle of November on growing stage and head rot occurrence in cabbage (1983-1992; except 1987).

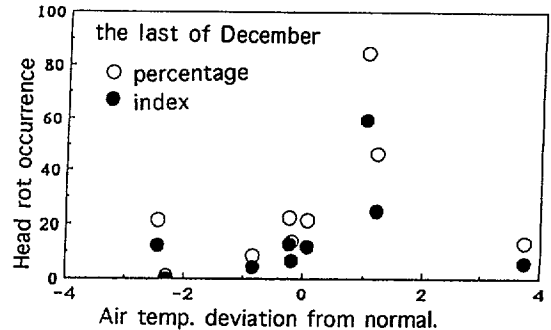


Fig.1-4 Relationship between the air temperature deviation from normal at the late of December just before harvesting and head rot occurrence in cabbage (1983-1992; except 1987).

昇して、第2節で示したように、なお病原菌の繁殖には好適な環境であることが確認されている。キャベツの苗の実験で、10℃以下の凍結を生じない範囲では、処理温度が低いほど耐凍性が増加することが示されているように(第2章参照)、12月は11月よりも低温であることから、露地の圃場ではさらに低温馴化が促進されることになる。しかしキャベツにとって十分低温馴化が進んでいない状態で葉の凍結が生じると、凍害を受け易くなる。即ち、葉の凍結がみられるようになるまで、三浦半島に当てはめれば11月下旬から12月上旬までに、凍結に耐えられるだけの耐凍性を獲得することが凍害防止に必要と考えられる。Table 1-10および1-11に示すように、11月中旬の気温の年平均偏差と腐敗病発生との間には高い相関がみられ、この間、気温が年平均よりも低めに推移するほど発生率が低くなったのは以上のような理由によるも

のと考えられた。

一方、日照時間および降水量と腐敗病の発生との間に相関が認められなかった。これは、日照時間については年度毎に得られる数値間に、キャベツの生理生態に大きな影響を与えるほどの十分な差がみられなかったためと思われる。また、降水量では、月毎に区切って評価しようとしても一度の降雨量や降雨後の気象等によって土壌水分量の変化を把握できず、耐凍性の増加に影響と言われる水分ストレス状態が降水量の数値だけでは予測できないためと考えられた。

このように、いくつかの気象要因の中で、最も凍害の発生に大きな影響を及ぼすのが気温であり、その他の日照時間と降水量については、人為的にコントロールできにくい露地栽培では、気温ほど影響を及ぼすものではないと判断された。

第4節 耐凍性の時期別変化に関する研究

月毎の温度条件と腐敗病発生による被害実態の関係を第3節で明らかにした。しかし、実際には日々の温度変化等によって植物の耐凍性に変化することが知られている (Levitt, 1972)⁽³¹⁾。したがって、温帯性の植物であるキャベツも、当然このような影響を受けることが考えられ、第3節で明らかにされたように、11月中旬の気温のみに支配されるとは考えにくい。また、第3節で明らかにされたことは、あくまでも統計的に示されただけであり、必ずしもキャベツの耐凍性を具体的に調査した科学的データに基づくものではない。そこで、本節では、キャベツの耐凍性とステージの違いとの関係を明らかにすると共に、温度経過の差異による耐凍性の獲得経過について検討した。

1. 収穫時期と耐凍性の関係

(1) 試験方法

キャベツ (品種: '金春') は、1990年から1991年、および1991年から1992年の2カ年に渡って神奈川県園芸

試験場三浦分場内の圃場で栽培した。1990年には、8月27日に播種し、10月2日に定植した (以下実験1と言う)。1991年には8月27日に定植して10月4日に定植した (以下実験2と言う)。栽植距離は、実験1、および2とも、

畦幅55cm, 株間40cmとし, 施肥は慣行にしたがった。

1) 電気伝導度の測定

結球葉の耐凍性の程度は収穫時期の初期から終期にかけて測定した。測定は、収穫時期に達したのものから順次供試した。測定は以下のとうり行なった。測定には、葉位の違いによる差がないよう、一番外側の結球葉が球に密着している締まった株を3株選定し、1株ずつ、結球葉の一番外側から内側3枚目の葉を供試した。この葉について、太い葉脈を避けて直径11mmのコルクボーラーでくり抜き、0.5gを1サンプルとして1株につき5サンプル、合計15サンプルを用意した。各サンプルの葉を蒸留水で洗浄した後、50mlの押蓋式スチロール容器に入れ、霧吹きで蒸留水を噴霧した後密閉して低温水槽（池田理化製 7537-SPL）の中で凍結処理を行なった。設定温度は、-5、-7.5および-10℃とし、1株につき3つのサンプルをこれにあてた。凍結処理は、各設定温度用のサンプルを同時に低温水槽内に入れて-3℃で2時間以上保持し、振動を与えて一旦葉を細胞外凍結させた後-10℃の速度で水温を降下させた。まず、-5℃に達した後、2時間その温度を持続させ、-5℃用のサンプルとして水槽から取り出して、5℃に設定したインキュベータ（サンヨー電機特機製 MIR-9251）内で解冻させた。-7.5および-10℃用のサンプルは、さらに-10℃の速度で-7.5℃まで降下させ、-7.5℃を2時間持続させた後取り出して、-7.5℃用のサンプルのみ、同じインキュベータ内で解冻させた。-10℃用のサンプルはさらに同様の処理を行ない、-10℃を2時間持続させた。これとは別に対照として、凍結させないサンプルと-40℃の超低温フリーザー（サンヨー電機特機製 MDF-440）内に12時間以上おいて完全に組織を壊死させたサンプルを用意した。これらの処理を行なった後、電気伝導度法（Dexterら、1932）⁽⁹⁾により、すべてのサンプル容器に蒸留水を30ml加え、2時間30分振とうした後、電気伝導度計（東亜電波工業製 CM-20S）で電気伝導度を測定した。

2) 凍害率の測定

測定された電気伝導度から、凍害による葉の組織壊死率を凍害率として求めた。即ち、電気伝導度は、葉の組織壊死率に比例して高くなることから、非凍結のサンプルの電気伝導度の数値を、凍害を全く受けていないことから、凍害率0、-40℃に12時間以上おいたサンプルの電気伝導度の数値を凍害率100に換算して、-5、-7.5

および-10℃におけるサンプルの電気伝導度から、それぞれ温度処理に対する凍害率を求めた。凍害率は(7)式によって求めた。

$$Z_j = (n_j - a) / (b - a) \times 100 \quad (7)$$

ここで、Zは凍害率、jは株番号、n_jは処理温度に対する株jの電気伝導度、aは非凍結処理における電気伝導度、bは-40℃12時間処理における電気伝導度である。

また、凍害率が50%となる温度をLT₅₀として(8)式に示すように計算し、耐凍性の大きさの指標とした。

$$LT_{50}(\text{°C}) = t_1 - (50 - Z_1)(t_1 - t_2) / (Z_1 - Z_2) \quad (8)$$

ここでt₁およびt₂は、低温水槽で2時間処理した温度、Z₁およびZ₂はt₁およびt₂に対応する凍害率であ

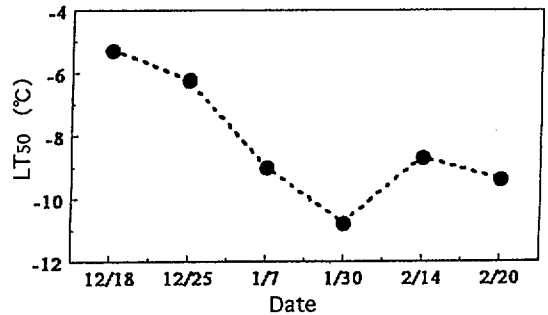


Fig.1-5 Variation of LT₅₀ (the lowest temperature required to kill 50% of the cells of cabbage leaves). (1990-1991)

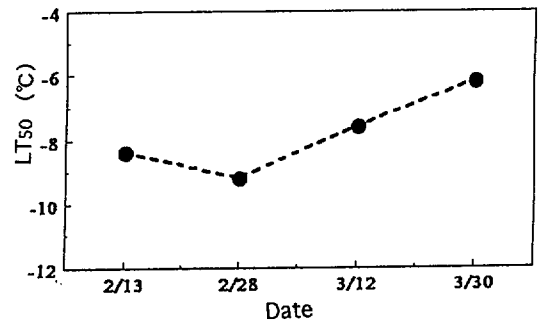


Fig.1-6 Variation of LT₅₀ (the lowest temperature required to kill 50% of the cells of cabbage leaves). (1992)

る。 t_1 および t_2 は凍害率が50%直近の処理温度2点を採用した。なお、凍害率 Z_1 および Z_2 は(7)式によって求めた。

(2) 結果

実験1では、収穫時期は12月18日から2月20日にかけてであった。一方、実験2での収穫時期は、初期生育の遅延により2月中旬から3月下旬にかけてで、年度によって大きく異なった。耐凍性の測定日およびその時の LT_{50} 値の推移を Fig. 1-5 および Fig. 1-6 に示す。耐凍性は実験1では1月30日、実験2では、2月28日に最も高まり、年度の違によって耐凍性の高まる時期が異なった。 LT_{50} の最も高まった時の値は、いずれの年度も -10°C 前後であった。

実験1で測定した LT_{50} の数値は、Fig. 1-7 に示したように測定時期を含む1990年12月第一半旬から1991年2月第二半旬までの半旬毎の平均気温の推移に良く追従した。 LT_{50} の最も高まった時期は、半旬平均気温が最も低くなった時期と一致した。

2. 収穫時期前の温度条件と耐凍性の関係

(1) 試験方法

LT_{50} 値と LT_{50} 値測定前の気象要因の関係を分析するため、耐凍性の測定に供試された前日から20日前にかけての平均、最低および最高気温の積算値、および日照時間と LT_{50} の関係を回帰式から求めた。使用した気象データは前述のアメダスデータである。

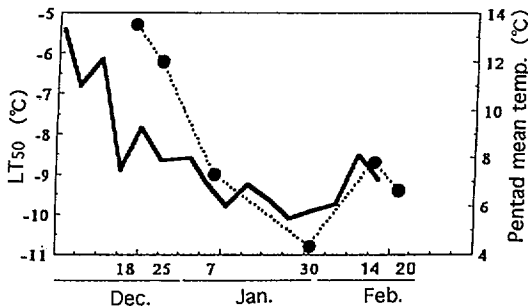


Fig.1-7 Variation of LT_{50} (the lowest temperature required to kill 50% of the cells of cabbage leaves) (●) and pentad mean air temperature (—). (1990-1991)

(2) 結果

LT_{50} と測定前日から20日前にかけての平均、最低、

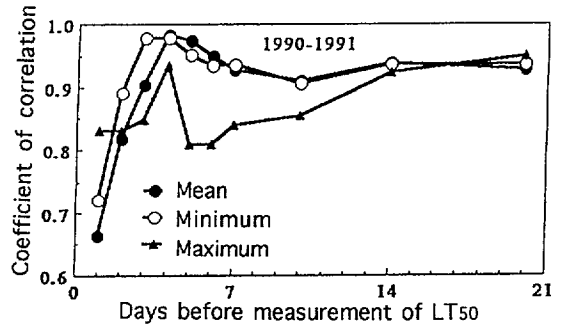


Fig.1-8 Relationships between accumulated daily mean (●), minimum (○), and maximum (▲) temperature for days before measurement of LT_{50} and LT_{50} . (1990-1991)

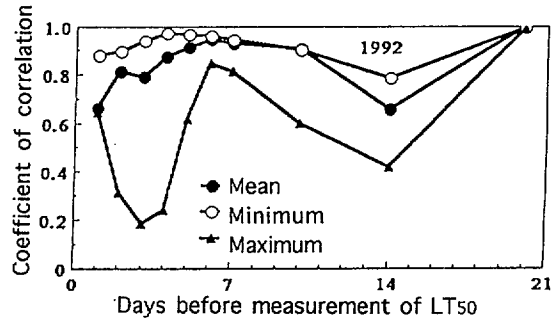


Fig.1-9 Interrelation between accumulated daily mean (●), minimum (○), and maximum (▲) temperature for days before measurement of LT_{50} and LT_{50} . (1992)

および最高気温の積算値間相関係数の推移を1990年播種のもの Fig. 1-8、1991年播種のもの Fig. 1-9 に示した。実験1では測定前日から2日前までの2日間の平均、最低および最高気温の積算値と LT_{50} との間に高い相関関係があり、この関係は測定前2日間から20日間まで認められた。とくに、測定前4日間から7日間の平均気温の積算値と LT_{50} との間には、1%水準で有意性が認められた。

実験2では、測定前3日間から10日間の間の平均気温と最低気温の積算値と LT_{50} との間に高い相関関係が認められ、とくに、測定前4日間から6日間の最低気温の積算値の間には、5%水準の有意性が認められた。この結果、各年度とも概ね測定前4日間より前からの積算温度と高い相関関係が認められ、少なくとも、4日間経過すれば耐凍性の大きさに影響が及ぶことが明らかと

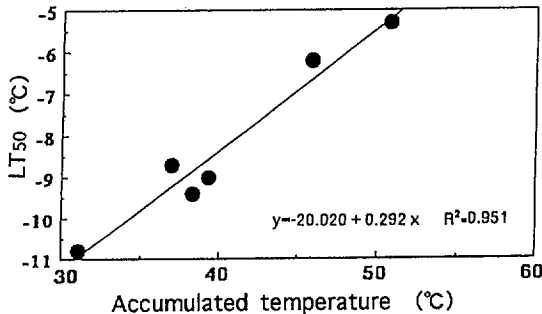


Fig.1-10 Relationship between the accumulated daily mean temperature for 5days before measurement of LT₅₀ (the lowest temperature required to kill 50% of the cells of cabbage leaves) and LT₅₀. (1990-1991)

なった。また、実験1では、得られた測定前5日間の平均気温の積算値とLT₅₀の回帰式に1%水準で有意性が認められた。測定前5日間の平均気温積算値とLT₅₀との関係をFig. 1-10に示す。

一方、実験2では、測定回数が少なかったことも影響してか、有意性が認められた回帰式は測定前5日間の最低気温の積算値だけであった。また、ともに有意性が認められた実験1と実験2での回帰式は、それぞれ併合することができず、回帰係数は、年度毎に異なる結果となった。しかし、その数値の差は小さく、実験1での結果をLT₅₀測定前5日間の平均気温積算値とLT₅₀との間の回帰式を用いて実験2の1月下旬の5日間の平均気温積算値にあてはめると37.0℃に対してLT₅₀値は-9.21℃となり、実測値とほぼ一致した。また、神奈川県三浦市の平年値の平均気温にあてはめると、12月中旬では、平均気温8.7℃、5日間の同積算値43.5℃に対してLT₅₀は約-7.3℃、1月中旬では、平均気温5.8℃、5日間の同積算値29.0℃に対して約-11.5℃となり、同一圃場でも、収穫時期によってキャベツ結球葉の耐凍性にはFig. 1-5、および1-6にも示されているように、LT₅₀にして4℃以上の差があることが確認された。

3. 考察

同じ品種のキャベツでも収穫時期によって、凍害および腐敗病の発生状況に差が認められることが実験によって明らかになった。このことは、腐敗病の発生が多くなる時期が存在すると言う事実との関連性が高いことが示唆されている。即ち、時期によって耐凍性が変化して

いることを現象面で示しているといえよう。

これらの点を踏まえて、さらに細かい解析を行った所、収穫期の違いによってキャベツ葉のLT₅₀は、短い期間の気温によって大きく変化することが明らかとなった。この間、キャベツは概ね10℃以下の温度に対しては低温馴化を促進する方向に進み、これより高温に対しては、脱馴化に働くことが考えられ、しかも短時間に反応すると考えられた。脱馴化については、Levitt (1972)⁽³¹⁾が低温馴化とは可逆的に進み、脱馴化は高温によって促進されるとしている。12月以降は、気温の低下とともにFig. 1-7にも示すようにLT₅₀値は半月毎の平均気温の推移に良く追従し、耐凍性の増加がはかれると考えられる。

実験1と実験2では、耐凍性が最大となった時期がそれぞれ、1月下旬および2月下旬と異なった。それぞれの年度での1月下旬および2月下旬の気温は収穫時期を通じて半月気温が最も低くなった時期と一致する。このことは、耐凍性の獲得には、日長や生育速度よりも気温の影響をより強く受けることを意味している。また、気温についても、4日間程度の積算気温によって耐凍性が影響されることが明らかとなった(Fig. 1-8, 1-9)。植物体内の反応については、低温を与える数時間という単位で生理的な変化が生じることがあることから(Levitt, 1972)⁽³¹⁾、キャベツも比較的短い時間内で耐凍性を増すことができるものと考えられた。

キャベツのLT₅₀値は、収穫期を通じて4℃以上の差が認められ、とくに11月中旬に高めに気温が推移した場合、収穫期間の初期にあたる12月には十分な耐凍性が得られないことが多く、凍害を生じる危険性が高くなる。また、11月中旬に平年よりも低めに気温が推移したとしても、12月以降、4日間高温が続けばLT₅₀は上昇し、耐凍性が低下する。しかし、直接腐敗病の発生にはTable 1-10および1-11にも示したように、短期間の変動を無視した旬毎の気象要因(この場合11月中旬の気温)との相関が高いことから、11月中旬の気温の高低に最も注意する必要があるであろう。しかし、LT₅₀を求めた実験1および2の結果を考慮すると以下のように整理することができよう。

11月中旬の気温の高低は、実験1および2の結果から、直接的には11月下旬から12月上旬にかけて、キャベツ葉が凍結する時期を迎えた時に対する耐凍性の大きさに影響を与える。この時期に凍害が生じて組織が壊死した場合に、病原細菌の侵入および増殖の結果、腐敗病へと病徴が進展する。この間の経過に要する時間は明らかにさ

れていないが、現地調査の対象となった1月中旬頃に収穫期を迎えるキャベツに最も影響を与えることと考えられる。このため、11月中旬の気温が腐敗病の発生に対して最も高い相関を示したものと考えられる。

これに対して12月以降、 LT_{50} 値の変動と腐敗病の発生との関係は、少なくとも統計上無視された。これは、凍害を受けなければ腐敗病は生じないという点では関係があるものの、 LT_{50} 値が指標として活用できるのは、直接的には凍害の発生に対してであり、必ずしも腐敗病の発生と連動しないためと考えられる。しかし、12月以降であっても、耐凍性は4日間程度の気温の積算値によって変化し、凍害の発生との間に高い相関を示すことから (Fig. 1-8, 1-9)、凍害を生じた後に腐敗病

へと進展する時間を経過した後は腐敗病の発生に対しても高い相関を示すものと考えられる。即ち、腐敗病の発生に対して11月中旬の気温の影響が高いのは、11月下旬から12月上旬にかけての耐凍性の大きさが凍害の発生に影響を与え、この時期に凍害を受けることが、他の時期に凍害を受けるよりも、収穫時期の腐敗病発生に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

凍害の発生に関しては、4日間程度の気温の影響は無視できない。したがって、高めの気温が続けば耐凍性が減ることから、被覆等によって、保温を考える必要がある。また、表面での症状が見られなくても凍害を受けている可能性が高いと思われる時には、早期収穫に努める等の対策が有効な手段になるものと思われる。

第2章 耐凍性獲得過程の解明

第1章では、キャベツの耐凍性が、4日程度の気温の影響によって獲得され、その間の気温が低いほど高まることが明らかにされた。

これまで、植物の耐凍性の獲得に対する研究は精力的に進められてきた。耐凍性増大の生物物理学および生化学の研究の中で、生体膜に関する現象、代謝の変化を扱ったもの等が紹介されている (Franks, 1989)⁽¹⁰⁾。そのなかで、キャベツを対象としたものも紹介されており、キャベツの葉の凍結抵抗性が最低地温の変動に適應することが示されている。しかし、同じキャベツでも品種の違いによって耐凍性の大きさは異なり (神保ら1991)⁽²⁰⁾、実際に、冬春どりで耐凍性の大きさの違いによって細かく作型が分化している。

耐凍性の獲得に関する研究では、ハードニングと糖含量の増加の関係を示したもの (照本, 1958)⁽⁵⁹⁾; 酒井, 1957⁽⁴⁶⁾, 1960⁽⁴⁸⁾, 1965⁽⁵⁰⁾), タンパク質組成の変化について示したもの (佐々木ら, 1993)⁽⁵⁴⁾), 細胞膜の脂質 (Yoshidaら, 1974)⁽⁶⁵⁾), 細胞質の酸性化 (吉田ら, 1992)⁽⁶⁷⁾) について示したもの等が示されているものの、植物の耐凍性の獲得機構について普遍的に解明されたものは未だみられない。例えば、細胞膜の脂質については、低温下ではリン脂質の含量が増大し、膜が凍結に耐えられるような機能を付与するとされており、膜の働きが耐凍性に関与していることが報告されているが、その根本的なメカニズムは明らかにされたとはいえない。また、糖含量と耐凍性の関係についても、耐凍性の増大と植物体内の糖含量が直線関係にあるとしているが、両者の関係は、植物の種類、品種によって異なり、関係のあるものとならないものが存在している。

本章では、三浦半島のキャベツの主力品種である‘金春’を対象に、耐凍性獲得が気象条件の変化によってどのような影響を受けるかを基本的に明らかにすることを目的とした。すなわち、耐凍性の獲得およびその程度 (ハードニング) に影響を及ぼす温度条件、さらにデハードニングに対する温度と処理時間による影響について検討する。

第1節 低温条件と耐凍性の関係

(1) 材料および方法

キャベツの苗を2台のグロスキャビネット (サンヨー電機特機製 MLR 350) 内に搬入して、温度および光条件を調節した。キャベツの品種はすべて‘金春’で、144穴の笠原工業製のプラグポットに播種し、根鉢が十分に回って、苗がプラグポットから抜けるようになったら、直径9cmのポリポットに移植した。使用した培養土は、園芸培土2号 (ニッサン) とスーパーミックスA (サカタのタネ) を容積比で1:1に混合したものをを用いた。肥料等の添加は行わなかった。育苗はガラス温室で行い、室内の気温が15℃を下回らないように、暖房機のセンサーをセットした。播種は連続的に行い、苗を順次用意して、適宜グロスキャビネット内に搬入して実験を行った。

実験1

2台のグロスキャビネットを運転して、高温域および低温域の温度条件を変えながら、耐凍性の大きさの比較を行った。

また、同時に、第1章第3節で11月中旬の気温が凍害

の発生と相関が高いことが明らかにされたことから、グロスキャビネットの温度設定を11月中旬の平年値に合わせて、最低気温の平年値9.3℃を9時間、平均気温の平年値12.9℃を6時間、最高気温の平年値16.4℃を9時間とし、日長は8時間に設定した。照度は約10000 luxであった。このような条件下と別に、対照として18℃を保持し、日長を同じに設定した。同じ機種種のグロスキャビネットに苗を搬入して、耐凍性の大きさの比較を行った。

これらの条件を7日間維持した後に、キャベツ葉を凍結処理して、凍害の発生程度から、耐凍性の大きさを判定した。凍結処理の方法は第1章第4節で説明した方法と同様とし、凍害を生じた割合を電気伝導度を測定することによって行なった。

1度の処理に3反復行ない、これを2回くり返した。太い葉脈および葉縁部を避けて一辺が約5mmになるようにはさみで切り、0.5gを1サンプルとして1株につき4サンプル、合計12サンプルを用意した。処理を行なう株は、条件設定されたグロスキャビネットから取り出すと直ちに、実験に供する葉は切り落とし、実験室内の環境が影響を及ぼさないようにした。各サンプルの葉を蒸

留水で洗浄した後、50mlの押蓋式スチロール容器に入れ、霧吹きで蒸留水を噴霧した後密閉して低温水槽（池田理化製 7537-SPL）の中で凍結処理を行なった。設定温度は、 -5 、および -7.5°C とし、1株につき2つのサンプルをこれにあてた。凍結処理は、各設定温度用のサンプルを同時に低温水槽内に入れて -3°C で2時間以上保持し、一旦低温水槽から取り出して、あらかじめ蒸留水を凍結させた氷を細かく削って植水を行ない、葉を細胞外凍結させた。植水後、再び低温水槽の中に戻して $-10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ の速度で水温を降下させた。まず、 -5°C に達した後、2時間その温度を継続させ、 -5°C 用のサンプルとして水槽から取り出して、 5°C に設定したインキュベータ（サンヨー電機特機製 MIR-9251）内で解凍させた。 -7.5°C 用のサンプルは、さらに $-6^{\circ}\text{C}/\text{h}$ の速度で -7.5°C まで降下させ、 -7.5°C を2時間継続させた後取り出して、同じインキュベータ内で解凍させた。これとは別に対照として、凍結させないサンプルと -80°C の超低温フリーザー（サンヨー電機特機製 MDF-440）内に12時間以上において完全に組織を壊死させたサンプルを用意した。これらの処理を行なった後、電気伝導度法（Dexterら、1932⁽⁹⁾）により、すべてのサンプル容器に蒸留水を30ml加え、2時間30分振とうした後、電気伝導度計（東亜電波工業製 CM-20S）で電気伝導度を測定した。

測定された電気伝導度から、凍害による葉の組織壊死率を凍害率として求めた。即ち、電気伝導度は、葉の組織壊死率に比例して高くなることから、非凍結のサンプルの電気伝導度の数値を、凍害を全く受けていないことから、凍害率0、 -80°C に12時間以上おいたサンプルの電気伝導度の数値を凍害率100に換算して、 -5 、および -7.5°C におけるサンプルの電気伝導度から、それぞれ温度処理に対する凍害率を求めた。凍害率は第1章の(7)式によって求めた。凍害率が小さいほど耐凍性が高いと判断した。

また、これと同時に、凍結壊死させた葉の汁液を搾り、濾紙に吸わせた後、サイクロメーター（ウエスコ製 HR-33T）で浸透圧を測定した。

実験2

キャベツ苗を気温 18°C 、日長10時間に設定したグロスキャビネット内で3日保持した。日長は、蛍光灯によって調節し、照度は約10000 luxであった。その後、グロスキャビネット内の気温を 5°C に設定温度を変更した。 5°C に変更後、2および4時間後に苗をグロスキャビネ

トから取り出し、直ちに凍害率を測定した。測定方法は、実験1と同様である。

実験3

本葉3枚が展開した苗を葉柄をつけたまま茎から切り離し、0.2モルのブドウ糖溶液を200mlの三角フラスコに入れて、3日間、室温で吸水させた。その後、凍害率を実験1と同様の方法で測定した。

実験4

実験1および2で使用した9cmポットに移植された苗と同様のものをさらに1/5000aのワグネルポットに定植し、結球するまでガラス温室内で生育させた。施肥等は慣行にしたがった。結球が完成した1993年7月5日に、 18°C と 7.5°C を保持した2台のグロスキャビネット内にそれぞれ3株づつ搬入して3日間処理した。日長は蛍光灯の照明により10時間とした。照度は約10000 luxであった。耐凍性の大きさの測定は、1993年7月8日に、結球葉の密着した葉の最外葉から内部に向かって1および2枚目の葉を供試して、実験1に示したのと同様の方法で行なった。また、実験1と同様の方法で葉の浸透圧を測定した。

(2) 結果

1) 耐凍性獲得と低温条件の関係

各温度条件での、凍害率の比較を Fig. 2-1 ~ Fig. 2-5 に示した。

-5°C および -7.5°C における凍害率を比較すると、Fig. 2-1 a に示したように、 18°C を一定に維持するよりも24時間のうち4時間以上、 5°C に遭遇させることによって、凍害率は低下した。すなわち耐凍性の向上が認められた。また、 5°C に遭遇する時間が2時間でも、Fig. 2-1 b に示したように4時間に比べて程度は小さいものの、同様に凍害率は低くなった。また、同時に葉の浸透圧は、絶対値の比較では一定の傾向は認められなかったものの、同一サンプルの比較では、耐凍性の高まったものの方が、浸透圧が高くなる傾向が認められた。

次に Fig. 2-2 に示したように、24時間のうち 10°C を12時間、 7.5°C を12時間として7日間維持した苗と、 15°C を12時間、 7.5°C を12時間維持させた苗を比較すると、 10°C を12時間、 7.5°C を12時間維持した苗の方が耐凍性は高まった。

また、Fig. 2-3 に示したように、24時間のうち 15°C と 7.5°C を12時間づつ繰り返して7日間維持させた苗と、

20℃と7.5℃を12時間づつ繰り返して7日間持続させた苗を比較すると、15℃と7.5℃を12時間づつ繰り返して7日間維持させた苗の方が耐凍性は高かった。

次に Fig. 2-4. に示したように15℃と5℃を12時間

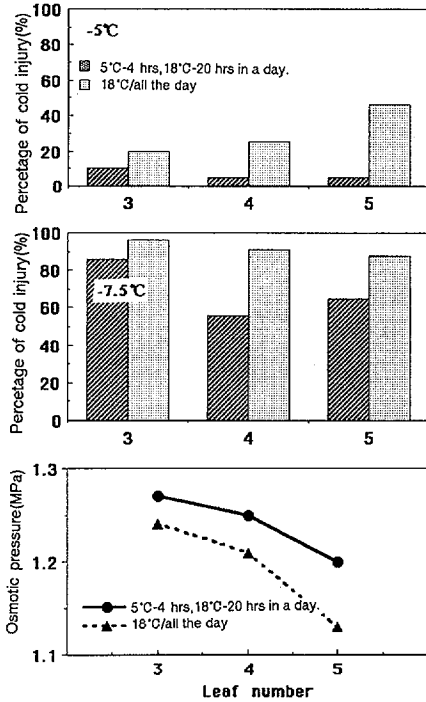


Fig.2-1a Comparison of cold hardiness of two treatments (18°C / 20hours and 5°C / 4hours and 18°C/all the day,10L-14D) for 7days.

upper : Percentage of cold injury was calculated under -5°C treatment for 2hours.

middle : Percentage of cold injury was calculated under -7.5°C treatment for 2hours.

lower : Osmotic pressure of cabbage leaves.

づつ繰り返して7日間維持させた苗と10℃と7.5℃を同様に維持させた苗を比較すると15℃と5℃を12時間づつ繰り返して7日間維持させた苗の方が耐凍性は高かった。

Fig. 2-5 には11月中旬の平年値を想定した温度条件に遭遇させた苗と、対照として18℃を一定に保った苗の耐凍性の比較を示した。この結果、対照に対して、11月中旬の平年値を想定した温度条件下では、ハードニングが生じ、耐凍性が増大することが明らかとなった。

2) 耐凍性獲得と低温遭遇時間の関係

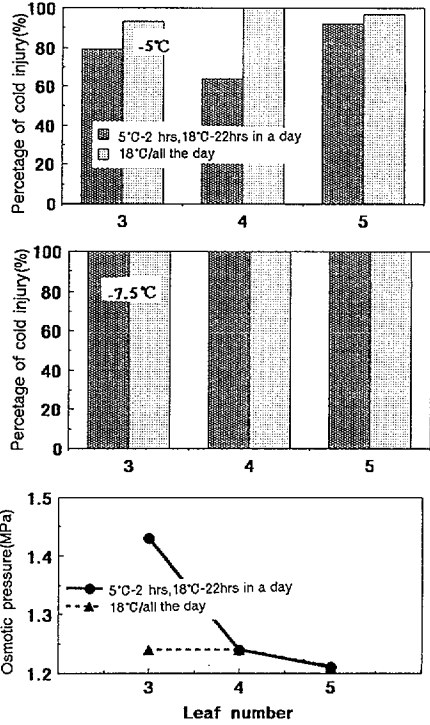


Fig.2-1b Comparison of cold hardiness of two treatments (18°C / 22hours and 5°C / 2hours and 18°C/all the day,10L-14D) for 7days.

凍害率の経時変化を Fig. 2-6 に示した。18℃から5℃に処理温度を変更した後、2時間後では、耐凍性の獲得はわずかに認められた。4時間後では、さらに明確に認められた。ただしその程度は、高温による耐凍性の消失よりも、小さかった。

3) 耐凍性獲得に及ばずブドウ糖溶液吸収の効果

0.2 mol のブドウ糖溶液を吸水された葉と、水を吸水させた葉の耐凍性の比較を Fig. 2-7 に示した。本実験では、低温に遭遇させて、ハードニングを起こさせる手段を取らなかったものの、0.2 mol のブドウ糖溶液を吸水された葉は、いずれの葉位でも耐凍性が高くなった。この差は、苗が異なるため、正確な比較はできないものの、低温に遭遇させて耐凍性が高まった、1) の結果と比較しても、十分に低温による耐凍性獲得に匹敵するものと思われた。

4) 結球葉の耐凍性獲得と低温条件

結球の完成した、結球葉の最外葉と内側に向かって2

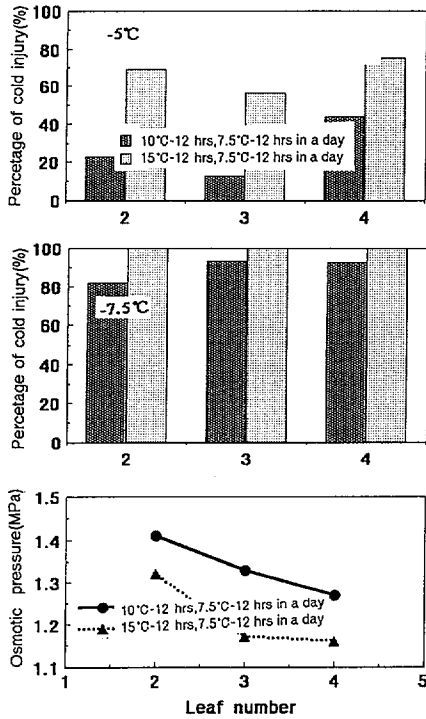


Fig.2-2 Comparison of cold injury and osmotic pressure of cabbage leaves treated with 7.5°C and 10°C at half day intervals, and 7.5°C and 15°C at half day intervals for 7days.

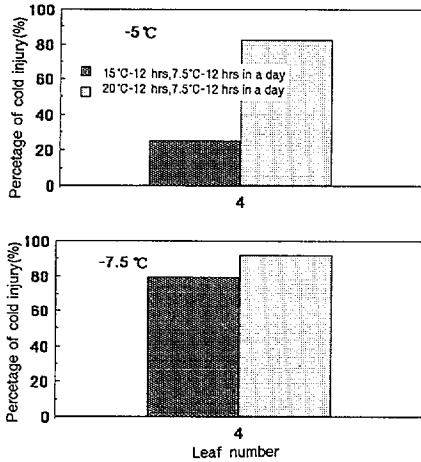


Fig.2-3 Comparison of cold hardness of two treatments (15°C/12hours, 7.5°C/12hours and 20°C/12hours, 7.5°C/12hours, 10L-14D) for 7days.

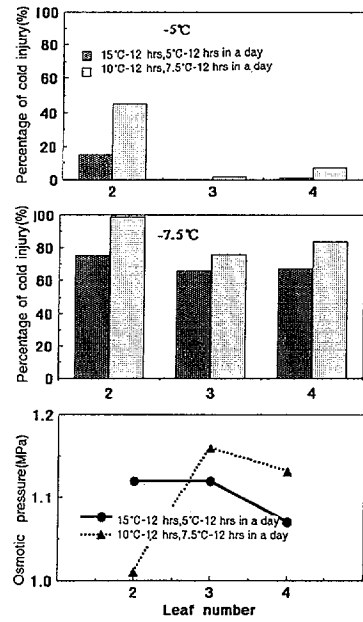


Fig.2-4 Comparison of cold hardness of two treatments (15°C/12hours, 5°C/12hours and 10°C/12hours, 7.5°C/12hours, 10L-14D) for 7days.

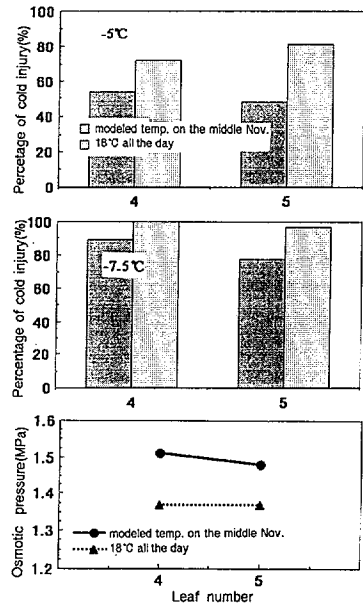


Fig.2-5 Comparison of cold hardness of two treatments. One is a modeled temperature on the normal in the middle November (9.3°C/9hours, 12.9°C/6hours, 16.4°C/9hours). Another is 18°C for all day, 10L-14D). The treatment was continued for 7days.

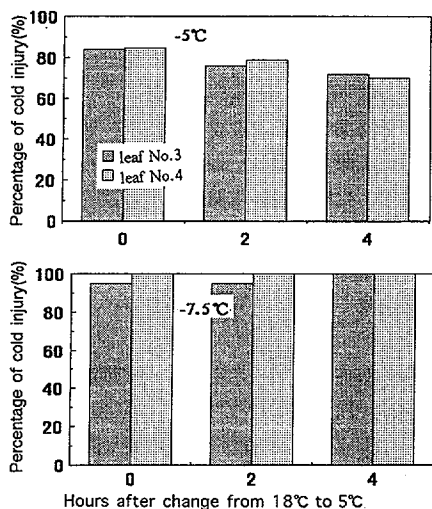


Fig.2-6 Variation of cold hardness with time after change of air temperature exposing leaves from 18°C to 5°C .

Upper : Percentage of cold injury was occurred at -5°C treatment for 2hours.

Lower : Percentage of cold injury was occurred at -7.5°C treatment for 2hours.

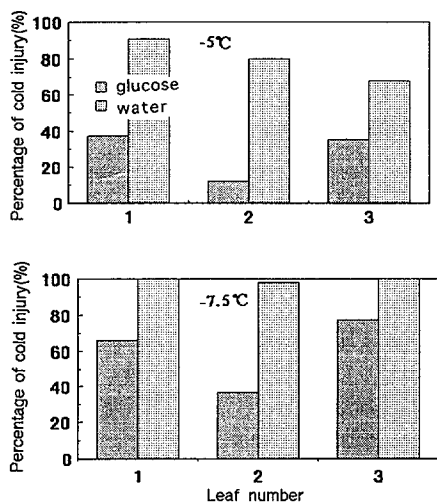


Fig.2-7 Comparison of hardness of cabbage leavers which were absorbed a solution of 0.2M glucose and water.

Upper : Percentage of cold injury was calculated at -5°C treatment for 2hours.

Lower : Percentage of cold injury was calculated at -7.5°C treatment for 2hours.

枚目の葉を、 -5 および -7.5°C の低温水槽内で 2 時間処理した時の凍害率の比較を Fig. 2-8 に示した。結球葉でも、これまでの苗を用いた実験と同様、 7.5°C に 3 日間遭遇することによって、凍害率は低くなり、耐凍性が増大したことが明かとなった。結球葉の浸透圧は、絶対値は苗と比較して低いものの、 7.5°C を 3 日間処理することによって、 18°C を保持し続けるよりも高まった。

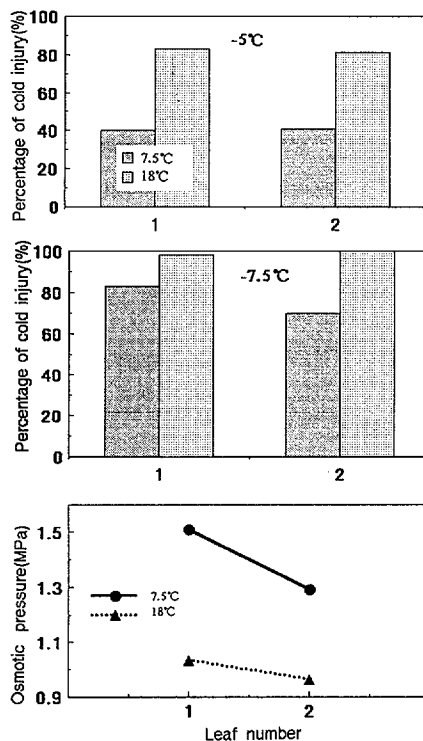


Fig.2-8 Comparison of cold hardness of two treatments (7.5°C for all the day and 18°C for all the day 10L-14D). The treatment was continued for 7days. Leaves of headformation were treated.

(3) 考察

ここに示した一連の実験で耐凍性を評価するとき、すべて、前提として細胞外凍結が生じた後にどの程度の低温に耐えられるかという点を基本とした。とくに植物組織の生死を判定するには、過冷却状態では被害が生じないことを北浦 (1967)⁽²⁴⁾ が示しているように、少なくとも、実験中での処理温度で過冷却であれば、被害が生じず、耐凍性の比較ができなくなることから、すべての実験では前処理として -3°C で植氷を行なった。これまでに、羽生ら (1986)⁽¹⁵⁾ および岡野 (1989)⁽⁴³⁾ は凍結

開始温度、即ち第一氷点の高低が、凍害の被害に影響が大きいことを明らかにしている。また、Lindowら(1978)⁽³²⁾、高橋(1985)⁽⁵⁸⁾、牧野ら(1985)⁽³³⁾および馮ら(1989)⁽¹⁸⁾は氷結核活性細菌が第一氷点を上昇させ、被害を助長させる作用のあることを報告している。逆に、横山(1992)⁽⁶³⁾は、拮抗細菌による生物防除の可能なことを報告している。したがって、本実験ではこれらの影響を除去し、実験前の条件を同じにするために前処理として植水を行なった。

本来、耐凍性とは、凍結した状態でどれだけ細胞が生存できるかを示すものであることから(酒井, 1982)⁽⁵²⁾、第一氷点の高低、あるいは、実験の処理温度の一つである -5°C での過冷却を防ぐために前もって植水を行なった。

この結果、細胞外凍結状態での耐凍性の比較結果は、誤差が十分除外された結果と考えられる。しかし、育苗条件、とくに育苗中の気象条件は、あらかじめ耐凍性が獲得されないように 15°C 以上に保持したとは言え、厳密には異なっていたと考えられる。しかし、一旦グロスキャビネットに搬入して処理を行なうと、きわめて短時間に耐凍性の変化が生じたことから、温度処理は妥当であったと考えられた。

キャベツの耐凍性獲得の増大を促すには、一連の実験結果から、 7.5°C 以下の低温が有効と考えられた。また、低温条件が同じならば高温域の温度が低い程、また、高温域の温度が同じならば低温域の温度が低いほど耐凍性は高まった。高温域および低温域の温度はこのようにいずれも耐凍性の獲得に影響を及ぼすが、Fig. 2-5にも示されているように、どちらかといえば、低温域の温度のほうがその影響は大きいものと思われた。これは、第1章第4節に示した、耐凍性と積算温度との相関の関係で、最低温度の積算値の方が、平均気温や最高気温の積算値よりも耐凍性との相関係数が高かったことと関連があるものと考えられた。

実際の栽培条件下では、最低葉温が概ね 7.5°C になれば、耐凍性が高まっていくこと。また、気温がこれよりも数度高いとき、つまり、実験1-1で11月中旬を想定した温度設定でも耐凍性の増大が確認された。このこと

からもわかるように、第1章第3節の結果からみて概ね気温が 10°C 以下になったころから、キャベツの耐凍性は日々高まっていくものと推定された。

また、低温条件に温度を変えて、ハードニングの獲得経過をみた実験(実験2)から、耐凍性の変動は、時間単位で生じ、比較的短い時間内で、可逆的に耐凍性が変動することが示された。

しかし、実験1で示されたように、 18°C を20時間、 5°C を4時間遭遇させて7日間繰り返す方が、凍害率はより低下した。

このことから、いずれの場合も、時間単位で耐凍性の変動が生じ、比較的短い時間内で、可逆的に耐凍性が変動するだけではなく、1日の変動の繰り返しによって、さらに耐凍性の獲得が助長されると考えられた。

また、ブドウ糖溶液を吸水させることによって、耐凍性が高まったことから、キャベツにとっては、体内の糖含量が耐凍性の獲得に影響を及ぼすという酒井(1957)⁽⁴⁶⁾、匂坂(1972)⁽⁴⁵⁾、小中原ら(1967)⁽²⁶⁾、佐々木ら(1993)⁽⁵⁴⁾らが示した結果を、裏づける結果となった。しかし、酒井(1961)⁽⁴⁹⁾が行った実験では、ブドウ糖が細胞内に侵入したのではなく、凍害防御効果が働いたためとしている。いずれにしても、実際の栽培面において、ブドウ糖を吸水させることによって、十分な低温によるハードニングが行なわれていないようなときには、耐凍性を増大させるのに有効な手段の一つであることが示唆されたといえよう。

ブドウ糖溶液の吸水による耐凍性増大は、結球期に達したキャベツに応用できるかどうかは不明であるが、少なくとも、低温によるハードニングは、苗での実験結果だけでなく、実験4の結果にも示されたように、結球期に達した株でも示されたことから、十分応用が可能と考えられた。

第1章第4節では、耐凍性が時期によって変動し、かつ、それは半旬ごとの気温の推移に良く追従することが明らかにされた。しかし、実際には、時間単位というきわめて短い周期で、ハードニングおよびデハードニングを繰り返し、総合的な結果として半旬ごとの気温に影響が及ぶものと判断された。

第2節 高温条件と耐凍性の関係

(1) 材料および方法

高温によるデハードニングの影響を調査した。前もって展開葉数が7枚のキャベツ苗12株を、内部の気温を

5°C 、蛍光灯の照明によって日長を10時間に設定したグロスキャビネット内で5日保持した後、グロスキャビネットの設定温度を 20°C に変更した。 20°C に変更する直

前に苗を取り出して直ちに凍害率を測定した。また、20℃に変更後1, 3および6時間後に苗を取り出して、直ちに凍害率を測定した。1処理について3反復行ない、日を変えて2回実験を繰り返した。凍害率の測定方法は実

験1-1と同様とした。設定温度を20℃に変更し、20℃を保持した時間中は、照明を行なっている時間帯になるようにした。

(2) 結果

凍害率の経時変化を Fig. 2-9 に示した。5℃から20℃に処理温度を変えた後、1時間経過後から、耐凍性の消失する傾向がすでにみられ、葉位によっては3時間後、処理した葉位すべてでは6時間後には、明確な耐凍性の消失が認められた。

(3) 考察

高温条件によって、耐凍性の消失は、2および4時間というきわめて短い時間で生じた、これは、本章第1節の結果と併せて耐凍性の獲得および消失が吉田(1992)⁽⁶⁶⁾も述べているように、可逆的に、しかも短時間で生じていることが明らかにされた。第1章第2節にも示したように、圃場でのキャベツ葉温は、日中は20℃を上回ることがある。このことから、1日のなかで細かくハードニングとデハードニングを繰り返していることが想定される。本章第1節の考察でも述べたように、日々の細かい耐凍性の増減を繰り返しながら、総合的に、半旬平均気温に影響を受けるというように、耐凍性が数日単位で影響を受けるものと考えられた。しかし、高温の影響をいかに少なくするかは、ハードニングをいかに早く進めるかという点につながり、日中の高温対策をはかることも、耐凍性を減少させないという点で、低温に対する保温対策とともに、重要であると考えられた。

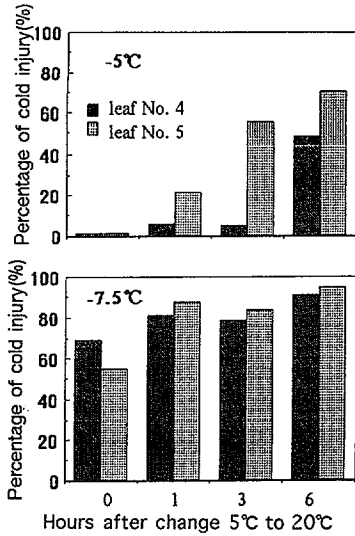


Fig.2-9 Variation of cold hardiness with time after change of air temperature exposing leaves from 5℃ to 20℃

Upper : Percentage of cold injury was occurred at -5℃ treatment for 2hours.

Lower : Percentage of cold injury was occurred at -7.5℃ treatment for 2hours.

第3章 凍害および腐敗病の被覆法による対策

キャベツ腐敗病の原因が凍害であることから、これを回避するには、基本的にキャベツの葉温を凍害が生じる限界温度以下に低下させないことが必要である。これまで、凍害対策として燃焼法、散水氷結法(中川ら, 1958)⁽³⁷⁾、煙霧法、被覆法、送風法等、数多くの対策が試みられてきた(吉川, 1978)⁽⁶⁸⁾。しかし、キャベツのような、どちらかといえば粗放的な野菜を対象とした対策技術は、広く実用化されているとは言い難い。そこで、1980年頃より、簡易な被覆法として急速に普及し(川口, 1988)⁽²³⁾、多くの野菜で保温対策として利用されているべたがけによる対策を検討した。べたがけ資材には、素材や織り方、目合いの違い等によって、多くの種類のものが販売されているが、三浦半島では、発芽直後にダイコンが強風によって被害を受けないように、また、土壤の乾燥を防ぐことを目的に、すでに寒冷紗のべたがけが普及していたこと、また、寒冷紗以外の資材としてあげられる、ポリエステル製およびポリプロピレン製の長繊維不織布では、露地野菜に対して強度が不足することが考えられたため(黒住, 1987)⁽³⁰⁾本研究では、寒冷紗をべたがけ資材として使用することとした。

夜間の低温に対する対策には、基本的に放射冷却を軽減する能力の高い資材が必要である(陳ら, 1989)⁽³⁾。寒冷紗の場合、規格の番数によって目合いが異なるが、素材であるビニロン自体の放射率が81%と高いため、目的を満たす資材と考えられた。一般にべたがけと言っても、被覆する方法によって、じかがけ、うきがけと呼び方が異なる(中村, 1988)⁽³⁹⁾。また、べたがけを利用する作物の栽培状況によって、露地べたがけ、トンネル内べたがけと言うように呼び方が異なる。ここでは、キャベツを対象としているので、露地べたがけのみ対象として検討を行なった。

第1節 べたがけ下の気温および葉温と屋外風速の関係

寒冷紗#300をべたがけ資材として供試して、被覆方法がうきがけとじかがけの違いによって、被覆内部の気温およびキャベツ結球部の葉温にどのような違いが認められるかを、主に風速との関連から検討した。

(1) 材料および方法

実験は、1986年11月に行った。べたがけ資材には、クレモナ寒冷紗#300(クラレ製)を供試した。試験区は、うきがけ区、じかがけ区および無被覆区の3区設けた。うきがけ区は、試験区の四隅に立てた支柱間に針金を渡して、地上45cmの高さに寒冷紗を水平に展張した。周囲の裾にあたる部分は、まくり上げて解放状態とし、キャベツと寒冷紗の間を風が吹き抜けられるようにした。また、じかがけ区では、直接キャベツに接触するように覆いかぶせ、周辺をピンで固定した。周囲は閉鎖されるが、寒冷紗は外葉に支えられるので、結球部との間には10cm程度の空間が生じた。Fig. 3-1にこれらの処理法を模式的に示した。

キャベツの品種は‘金春’で7月16日に播種し、8月2日に定植した。栽植距離は畝幅55cm、株間36cmで、各試験区の面積は縦3.3m、横3.6m(11.9m²)とした。

温度測定には、直径が0.32mmのT型熱電対を用いた。測定は夜間を対象として、センサーの設置は以下のように行った。気温の測定は各区1点で、試験区の中央付近のキャベツ結球部の上5cmの高さに設置し、上部にアル

ミ箔の放射除けを取り付けた。結球部の葉温の測定には、良く締って大きさの揃った株を各区3個体選び、その頂部に粘着テープで熱電対を張り付けた。風速は、同一圃場内の地上2mに設置した光電微風速計(牧野応用測器社製 AF750)で測定した。また、これらとは別にうきがけ区を1区設定し、寒冷紗の上下各1ヶ所で通風型放射収支計(英弘精機社製 CN-11)を用いて正味放射量を測定した。風速計の出力は、積算計を介して15分毎

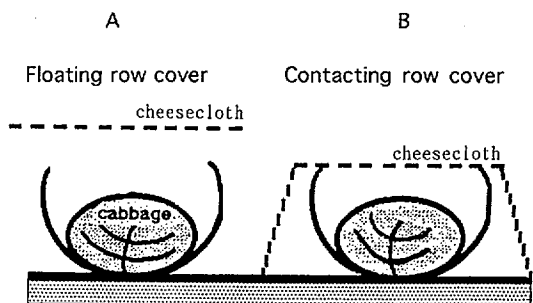


Fig.3-1 Schematic diagram of covering methods.

(A: the floating row cover, B: the contacting row cover).

に、また、他の出力は1分毎にサンプリングして、その平均値を15分毎に記録した。

(2) 結果

正味放射量がほぼ一定で推移した代表的な調査時間帯(1986年11月18日18時~19日2時30分)の気温、葉温、風速および正味放射量の経時変化をFig. 3-2に示した。なお正味放射量は上向きを正として表示した。同図が示すように、当夜は静穏な晴天日であった。

風速が概ね50cm/s以下のとくに静穏な午前0時以前の気温は、各区ともその差は1℃以内にとどまった。一方、午前0時以降、風速が50cm/sを越えるようになると、うきがけ区と無被覆区では、ともに気温の上昇が認められたが、じかがけ区では上昇しなかった。

葉温は、静穏な午前0時以前には、うきがけ区、じかがけ区ともに無被覆区に比べて約2℃高く推移した。しかし、気温と同様に風速がやや大きくなった午前0時以降、うきがけ区および無被覆区の葉温は上昇したのに対し、じかがけ区では上昇しなかった。その結果、じかがけ区の保温効果は相対的に低下した。なお、21時から22時の間にも風速が50cm/sを越えた時間帯があるが、この時は無被覆区の気温がわずかに上昇したにとどまった。

11月18日から22日にかけて得られたデータの中から、快晴状態を示すうきがけ上の正味放射量が55~75W/m²の範囲にある温度を選び出し、風速との関係について整理した。その結果をFig. 3-3に示した。縦軸は、各処理区と無被覆区の気温および葉温の差で、横軸は風速である。なお風速および気温、葉温差は15分間の平均値で、プロットしたデータは少なくともそれに近い風速が15分以上継続した後の値をサンプリングしたものである。図中の破線は最小二乗法により求めた回帰直線である。

晴天で正味放射量がほぼ一定の条件下では、じかがけ区と無被覆区の気温差は、風速50cm/sではきわめて小さいが、概ね1m/s以上になると、じかがけ区の方が無被覆区よりも1℃前後低くなった。一方、うきがけ区と無被覆区の気温差は風速が増加しても変化せず、ほぼ一定に推移し、両者の差はほとんど認められなかった。

一方葉温については、風速が50cm/s以下では、うきがけ区、じかがけ区ともに無被覆区よりも約2℃高かった。しかし、風速の増加とともに無被覆区の葉温は上昇して、じかがけ区に近づき、1m/s以上ではその差は1℃程度に縮まった。一方、うきがけ区と無被覆区の葉

温差は風速の増加に伴って、ともに上昇した結果、常に2℃前後の差が保たれた。

(3) 考察

クレモナ寒冷紗#300のべたがけによる保温効果は風速が50cm/s以下というような無風に近い状態であれば、うきがけ、じかがけともに無被覆よりも2℃葉温を高く保つという点で、大きな効果が認められた。しかし、風速の増加に伴って、無被覆区とうきがけ区では葉温が上昇したのに対し、じかがけ区では上昇しなかった。その理由として、次ぎのような考察が可能であろう。

放射冷却による熱損失は、Fig. 3-2に示した正味放射量の差から明らかなように、寒冷紗がキャベツの上を覆うことによって、約50%減衰される。したがって、無風状態であれば、寒冷紗下の気温および葉温はうきがけ区、じかがけ区ともに、無被覆よりも高く保たれる。しかし、風速の増加に伴って、外気温が葉温よりも高いために、無被覆では、葉に顕熱が供給されて、葉温が上昇する。これに対して、じかがけ区では、周囲が閉鎖され

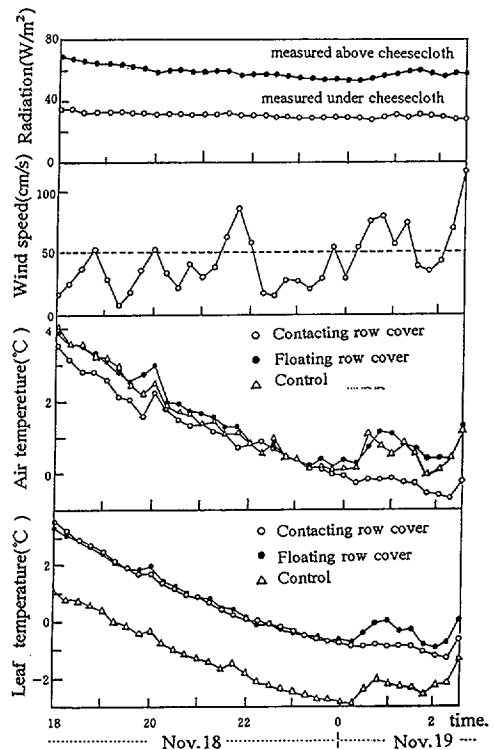


Fig.3-2 Variation of leaf and air temperature, wind speed and effective radiation with time. (1986)

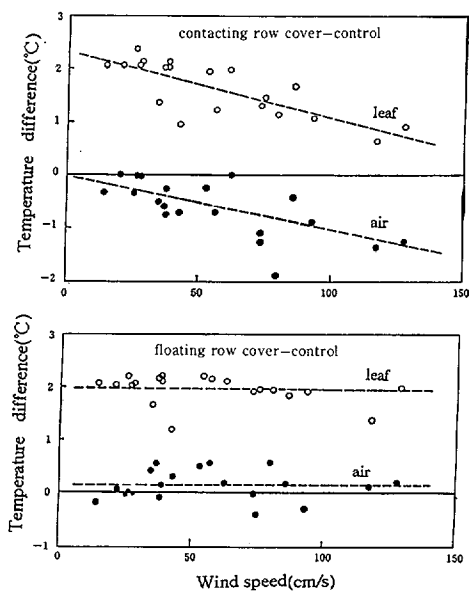


Fig.3-3 Relationship between air and leaf temperatures and wind speed.

Upper : contacting row cover-control

Lower : floating row cover-control

ているために、風によるキャベツへの顕熱の供給が行なわれにくい。

一方、うきがけ区では、開放した裾部から風が侵入す

ることによって顕熱の供給を受けやすいために、無被覆との間には、常に放射冷却を減少させた熱量に相当する温度差が保たれると考えられる。これは、三原(1969)⁽³⁴⁾が報告した、風の弱い晴夜に無加温温室やトンネルで観測される内外気温差の逆転現象とよく一致した。

被覆法を利用した凍害防止について小中原(1971)⁽²⁷⁾は、カンキツにおけるコモかけでは、直接被覆するよりも、樹冠表面と被覆面を離れた‘棚張り’の保温効果が高いことを報告している。また、中川ら(1962)⁽³⁸⁾は、寒冷紗は資材として、夜間の保温効果が高いことを報告している。露地キャベツに対する寒冷紗のうきがけが効果の高かったのは、これらの結果を裏づけた。

一方、じかがけは、無風に近い状態であれば、うきがけとほぼ同様の保温効果を示すものの、風速の増加に伴って、相対的に効果が減少する。しかし、無風状態であったとしても、寒冷紗自体が放射冷却の影響を受けて低温となり、これと接触したキャベツ葉は、北浦(1967)⁽²⁴⁾が示しているように、植氷作用も加わって、より凍害が生じやすくなることが考えられる。

これらの点を考慮すると、夜間の放射冷却による寒害を防止するには、じかがけよりも、うきがけを行なうことが必要で、うきがけを行なうには、資材とキャベツとの空間を十分に風が吹き抜けることができて顕熱を供給できるよう、うきがけの高さは、本実験で行なった、地上45cm以上とすることが望ましいと推察された。

第2節 寒冷紗の種類とべたがけ方法の違いによる凍害防止効果

第1節に引き続き、2カ年に渡り、無被覆を対照としてビニロン寒冷紗#200(ユニチカ製)(以下#200という)および同#300(以下#300という)の2種類の寒冷紗を用いて、じかがけおよび、うきがけによる被覆の効果を、検討した(以下実験Iという)。

また、#300を供試して、うきがけの展張高および周辺の裾の開閉を変えて、被覆下の気温および葉温がどのような影響を受けるか検討を行なった(以下実験IIという)。

1. 寒冷紗の種類と被覆方法による影響(実験I)

(1) 材料および方法

実験は、神奈川県三浦市の神奈川県園芸試験場三浦分場内の圃場を使用して、1987年12月から1988年1月にかけて行なった。べたがけの資材には、#200(目合2.10mm, 空隙率77%, 遮光率18%)および#300(目合1.04mm, 空隙率68%, 遮光率22%)を使用した。試験区は、被覆方法によって、うきがけ区、じかがけ区および無被覆区の全部で5区を設けた。うきがけ区は、四隅に支柱を立て、支柱間に鉄パイプを渡して地上50cmの高さになるよ

うに、寒冷紗を水平に展張し、周囲のすそは開放してキャベツと寒冷紗の間を風が吹き抜けられるようにした。また、じかがけ区は、キャベツの株上に直接寒冷紗を被覆し、周囲を包み込むようにして針金で地面に止めた。この状態で、寒冷紗は外葉に支えられるので、結球部との間に10cm強の空間が生ずる。これらの被覆方法は、第1節で示したのと同様である。寒冷紗の被覆はキャベツの結球がほぼ完成した12月7日から、試験終了まで継続して行なった。キャベツの品種は‘金春’で、8月27日には種し、10月2日に定植した。栽植距離はうね幅55cm、

株間40cmとし、各試験区の面積は6畦分、3.3m×15m=49.5m²とした。温度測定には、直径0.32mmのT型熱電対を用い、測定は夜間に行なった。センサーは以下のように設置した。気温の測定は、熱電対感部を各区1点ずつ畦間の地上20cmの高さに設置し、上部にアルミ箔の放射よけを取り付けた。葉温の測定は、良くしまつて大きさを揃った株を各区2個体選び、その頂部に粘着テープで熱電対感部を張り付けた。また、被覆区では寒冷紗の裏側に熱電対感部を接触させて、その温度を測定した。また、無被覆区では塩化リチウム露点検出器（横河北辰電機製、6131形）で地上50cmの露点温度を測定した。風速は、同一圃場内で地上2mに設置した光電微風速計（牧野応用測器製 AF750）で測定した。風速計の出力は積算計を介して平均値を10分ごとに、また、他の出力は5分ごとにサンプリングして、その平均値を20分ごとに記録した。

(2) 結果

1988年1月13日から14日にかけての気温の経時変化をFig. 3-4、葉温および風速の経時変化をFig. 3-5に示す。当夜は、比較的静穏で、風速は0~130cm/sであった。風速が概ね50cm/s以下であった19時20分までの微風下において、被覆下の気温は、うきがけ区では#300の被覆によって約3℃、#200で約2℃それぞれ無被覆区よりも高く推移した。じかがけ区もうきがけ区とはほぼ同様の温度経過を示した。一方、19時20分までの被覆下の葉温は、うきがけ区では、#300の被覆によって約3℃、#200で約2.5℃、それぞれ無被覆区よりも高く推移した。また、じかがけ区では、#300の被覆により約2℃、#200で約1℃、それぞれ無被覆区よりも高く推移した。被覆資材および被覆方法のちがいで、保温効果に差が認められた。19時40分以後風速の増加にともなって、気温は、無被覆区では上昇した。しかし被覆下では#300のうきがけ区が無被覆区に比較的近い推移を示したものの、その他の試験区では、無被覆区ほどの上昇は見られず、被覆下の気温と無被覆区の気温との差は減少し無被覆区の方が高くなることもあった。この傾向は#300のじかがけ区で顕著であった。

葉温も気温と同様、風速の増加した19時40分以後、無被覆区では、風速の増加に伴って上昇した。また、#300および#200のうきがけ区でも同様の傾向が認められた。しかし、#300のじかがけ区では、うきがけ区のみみられたような顕著な風速との対応は認められず、結果として保温効果は減少した。また、#200のじかがけ区も被覆

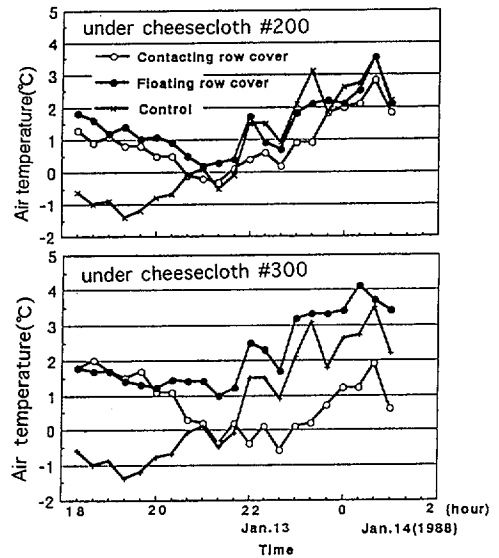


Fig.3-4 Variation in air temperature with time at 20cm above the ground under cheesecloths and control. The cheesecloths are #200 and #300. Covering methods are the floating row cover (●), contacting row cover (○) and control (×).

下と無被覆区との葉温差が減少したが#300のじかがけ区より小さかった。

このようにうきがけ区、じかがけ区および無被覆区の気温及び葉温の相互の高低関係が、風速によって左右されることが明らかとなった。そこで、得られた気温および葉温のデータについて、うきがけ区およびじかがけ区と無被覆区との差と風速の関係を整理してFig. 3-6および3-7に示した。うきがけ区およびじかがけ区の気温は、風速が50cm/s以下では#300、#200とも無被覆区よりも、約2~3℃高いが風速の増加とともに、その差は直線的に減少し、1m/s以上では、じかがけ区の方が無被覆区よりも低くなった。一方、うきがけ区は、風速が1m/s以上となっても#300では、無被覆区よりも約1℃高い気温を保持したが、#200では気温差はほとんど認められなかった。葉温についてもほぼ同様の傾向が認められた。風速が50cm/s以下のときは、無被覆区に比べていずれの区も1~3℃高かったが、風速の増加とともに葉温差は減少した。しかし#300のうきがけ区は、風速が増加しても2℃以上の葉温差を保持した。

資材温度及び露点温度の経時変化をFig. 3-8に示す。資材温度は、#200、#300ともうきがけ区の方がじ

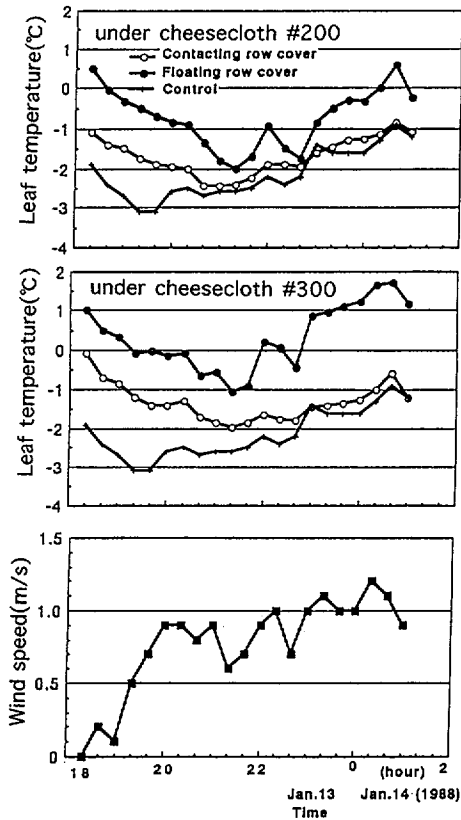


Fig.3-5 Variation of wind speed and leaf temperature with time at 20cm above the ground under the two cheesecloths (#200 and #300) covering and control.

かがけ区よりも2℃前後高く経過し、露点温度との比較ではうきがけ区では、露点温度よりも概ね高く推移したが、じかがけ区では露点温度よりも低い時間帯が長く、空気中からの凝結水分量が多く、湿潤状態であった。

収穫時の結球部重量および凍害、腐敗病の発生状況を Table 3-1 に示す。結球部重量は、無被覆区で一番重く、被覆した区ではわずかに劣った。被覆資材の違い、被覆方法の違いによる影響は認められなかった。凍害の発生率は無被覆区で60%と高く、#300のうきがけ区で7%と低く、その他の試験区はいずれも23%であった。腐敗病の発生率は#300のうきがけ区で7%と最も低くその他の区は無被覆区を含めて23~27%でほとんど差は認められなかった。このように、無被覆区と比較して、実際の栽培面において、凍害および腐敗病の発生を軽減できたのは#300のうきがけ区だけであった。

2. 寒冷紗の展張高さおよび周囲の裾の開閉による影響 (実験Ⅱ)

(1) 材料および方法

実験は1989年1月に神奈川県園芸試験場三浦分場内の圃場で行なった。供試資材には寒冷紗#300を使用し、試験区として地表から30cm、50cmおよび100cmの3段階の高さにうきがけした区および無被覆区を設けた。うきがけ区の設置方法及び試験規模は実験Ⅰと同様とした。また、1989年1月5日には、結球部上面に付着する凝結水分量を比較するため、日没と同時に直径12.5cmの6号濾紙をうきがけの展張の高さを変えた試験区毎に結球部の上面に水平に設置した。ろ紙の回収は翌朝の日の出直前とし、電子天秤(島津製 ED200)で増加した重量を測定することによって、吸着された凝結水分量を求めた。また、隣接する圃場で、うきがけの高さを50cmとした試験区を2面用意し、一方は周囲の裾を地表まで垂らして内部を閉鎖状態にした。他方は、周囲の裾をあげて風が吹き抜けられるようにした。温度及び風速の測定方法は、実験Ⅰと同様とした。なお、温度の測定値は、5分ごとにサンプリングして、15分ごとにその平均値を記録した。

(2) 結果

1989年1月5日から6日にかけての気温、葉温および風速の経時変化を Fig. 3-9 に示す。当夜は、比較的静穏な晴夜であった。地上20cmの高さの圃場内気温は、

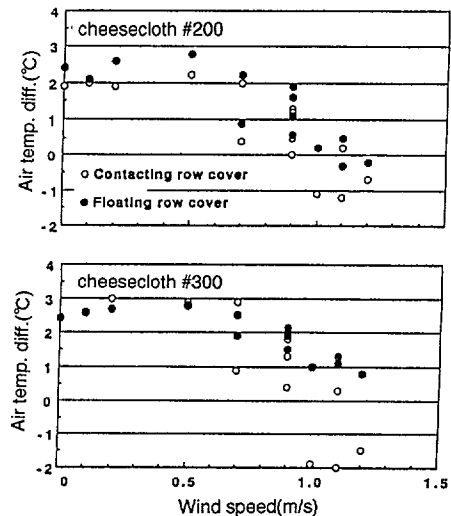


Fig.3-6 Relationship between air temperature difference (row cover-control) and wind speed.

うきがけの展張高が50cmおよび100cmの被覆下では、午前2時までは無被覆よりも1℃以上2時以降は約0.5℃高く推移した。50cm区と100cm区の間では、ほとんど差は認められなかった。一方、30cm区では風速が概ね50cm/s以下であった18時30分までは無被覆よりも約0.5℃高かったが、それ以後は、無被覆の方が高く推移し、風速の増加とともにその差は広がる傾向がみられ、風速が連続して1m/sを越えるようになった23時以後では、その差は約3℃に達した。また、風速が概ね80cm/s以下のときには、30cm区の被覆下の気温は50cm区の被覆下の気温よりも約2℃前後低かったが、風速が80cm/sを越えるようになると、その差は風速の増加とともに広がり、風速1m/s前後で約3.5℃に達した。

キャベツ結球部上面の葉温は、うきがけの展張高100cm区では、風速が1m/s以下であった20時30分までは無被覆下の葉温よりも、約2.5℃高かったが、20時45分以

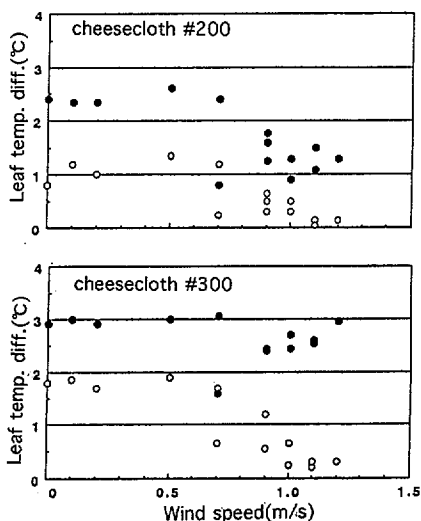


Fig.3-7 Relationship between leaf temperature difference(row cover-control)and wind speed.

Table 3-1 Comparison of head formation weight of cabbage and the rate of occurrence of head rot under the condition of several row coverings.

Kind of cheesecloth	Covering methods	Head formation weight(g)	Percentage (%) head rot/cold injury	
#200	Contacting	1622	27	23
	Floating	1588	23	23
#300	Contacting	1459	23	23
	Floating	1602	7	7
Control	-	1675	27	60

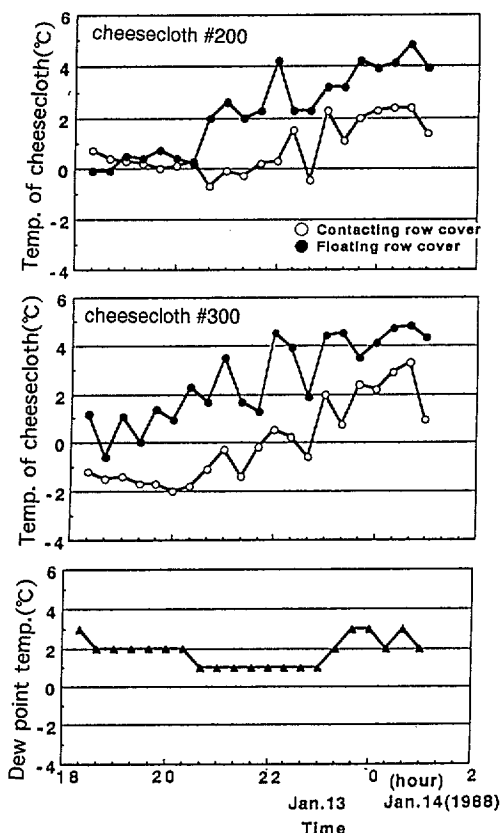


Fig.3-8 Variation in dew point temperature and temperature of cheesecloth #300 and #200 with time.

後風速が1m/sを連続して越えるようになると、その差は広がって、約4℃に達した。50cm区では、常に無被覆下の葉温よりも、約2.5℃高く推移した。一方30cm区の葉温は、風速が概ね50cm/s以下では無被覆下の葉温よりも約1.5℃高かったが、風速の増加に伴ってその差は減少し、風速が1m/sを越えるようになった20時45分には無被覆下の葉温との差は解消された。また、連続して風速が1m/sを越えるようになった22時30分以後は、風速の増加とともに、無被覆下の葉温の方が高くなること、しばしば見られた。これらの結果を整理して50cm区と比較した30cm区および100cm区との気温及び葉温差をFig.3-10に示した。風速が80cm/sよりも大きくなると、100cm区と50cm区との葉温差は大きくなり、30cm区と50cm区の気温差、葉温差も、ともに大きくなった。

うきがけの高さの違いによる資材温度の経時変化を

Fig. 3-11に示す。資材温度は一部の時間を除いて100cm区が最も高く、夜間を通じて2~3℃前後の温度を維持した。50cm区では、風速が50cm/s以下では、100cm区よりも約3℃低かったが、風速が連続して1m/sを越えるようになると、温度が上昇して100cm区よりも約1℃低い温度を維持した。一方、30cm区の資材温度は、夜間を通じて100cm区の資材温度よりも5~6℃低くなった。

次に、1989年1月30日から31日にかけて高さ50cmのうきかけ区の周囲の裾を地表まで垂らした区（以下閉鎖区という）および周囲の裾をあげて風が吹き込みやすくなった区（以下開放区という）の気温差および葉温差をFig. 3-12に示す。当日は、比較的静穏な晴夜であった。気温および葉温とも開放区の方が閉鎖区よりも0~1℃高く、風速の増加に伴ってその差が拡大する傾向がみられた。

また、夜間にうきかけ下のキャベツ結球部上面に付着した凝結水分量の測定結果をTable 3-2に示す。結露量は、無被覆に比べて100cm区及び50cm区では、それぞれ49%、59%に減少し、うきかけによって葉面上の凝結水分量が減少することが明かとなった。一方30cm区では、逆に無被覆に対して126%に増加し、凝結水分量の増加を促すことが明かとなった。

3. 考察

実験Ⅰの結果より、寒冷紗のうきかけは、風速が50cm/s以下という微風状態であれば、無被覆に比べ、#300で約3℃、#200で2.5℃、葉温を高く保った。また、じかがけ区も、#300で約2℃、#200で約1℃それぞれ高く保った。葉温を高く保つという点で、寒冷紗のべたがけは効果の大きいことが認められた。しかし、風速が増加しても無被覆区との葉温差を保持できたのは#300のうきかけ区だけで、その他の試験区では、直線的に減少し、じかがけ区では、風速1m/s以上では、ほとんど葉温差は認められなくなった。その理由として次のような考察が可能であろう。無風状態での各試験区間の葉温差は正味放射量の違いによるものと考えられる。すなわち、#300のうきかけ区の保温性が高いのは、寒冷紗自体の温度が高く、また目合が#200よりも小さいことから上向き放射量が最も小さくなるためである（陳ら、1989）⁽³⁾。しかし、すでに示した結果のように風速が増加すると、無被覆区の気温および葉温が上昇する。これは上層のあたたかい空気がキャベツ近傍に輸送されるためである。周辺部が開放されたうきかけ区においても、資材の違いによる差はあっても同様な効果が生じて気温

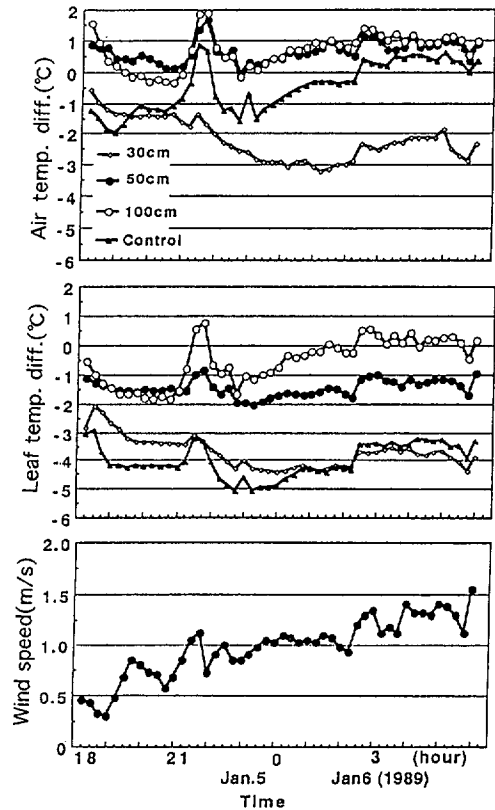


Fig.3-9 Variation of air and leaf temperatures and wind speed with time. Air temperatures were measured at 20cm above the ground, and leaf temperatures were measured on top of cabbage head under floating row covers stretched at 30cm (◇), 50cm (●), 100cm (○) height above the ground and control (▲).

と葉温の上昇が起きる。一方、じかがけ区では、周囲のすそが閉じているので、内部への輸送が起こりにくく、気温、葉温ともに上昇しにくかったと考えられる。同様の現象は、第1節で寒冷紗#300のべたがけについて示したとうりである。このことは、実験Ⅱでうきかけの裾を開閉して葉温および気温を比較した結果、裾を開放した方が葉温および気温が高かったことから明らかである。

ところでFig. 3-6は、風速が大きいたときには、じかがけ区の気温が無被覆区よりも低くなる例のあることを示している。同様の現象を岡田・五十嵐(1987)⁽⁴²⁾がポリエステル不織布のべたがけで報告している。一方、小型の温室やトンネルで観測される内外気温の逆転は、

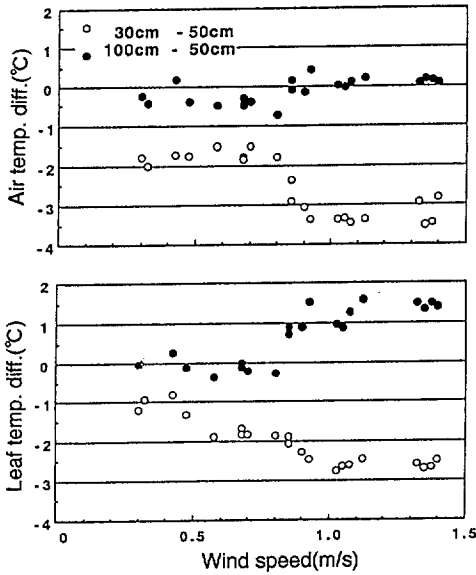


Fig.3-10 Effect of wind speed on the difference of air and leaf temperature between stretching heights of 30cm and 50cm (○) and between 100cm and 50cm (●).

風の弱い晴夜に起こるとされている (三原, 1969)⁽³⁴⁾。風速に対するこれらの現象の違いを次のように考察した。温室やトンネルでは、風が強いと被覆面の放射冷却が弱まり、その温度が上昇して逆転が起りにくくなる。これに対してべたがけでは、風速の増加によって被覆に付着した凝結水の蒸発が促進され、潜熱による放熱が増大するので、放射冷却を軽減する効果を相殺する方向に働く。とくにじかがけ区では Fig. 2 - 8 に示した資料

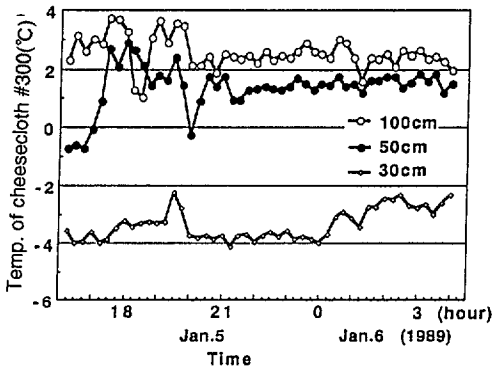


Fig.3-11 Variation of temperatures of cheesecloth #300 stretched at 30cm, 50cm and 100cm height above the ground with time.

温度の例にあるように、#200、#300ともうきがけ区に比べて露点温度以下の時間帯が長いことから、被覆下の蒸発散に由来する水分とともに被覆上部空気中の水分の凝結量も多いであろう。このため、風速の増加にもなって、上述の相殺の程度が大きくなると考えられる。とくに、#300は#200に比べて目合が小さいために、水分凝結量が多くなる。その結果上述の相殺の程度がさらに大きくなったものと思われる。

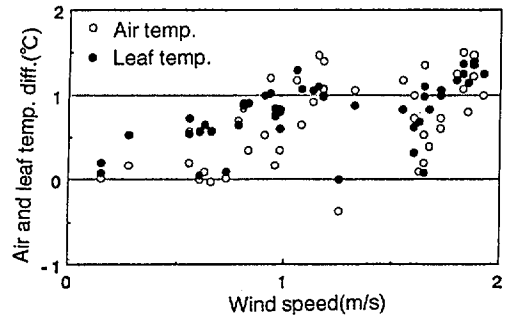


Fig.3-12 Effect of wind speed on air and leaf temperatures difference between the opened and closed side cheesecloth (opened-closed).

Table 3-2 Comparison of amount of dew on top of cabbage heads under cheesecloth #300 expanded 30cm, 50cm and 100cm high above the ground. (Jan.5-6,1989).

Height above the ground expanding cheesecloth #300	Amount of dew (g/100cm ²)
30cm	0.93 (126*)
50cm	0.44 (59)
100cm	0.36 (49)
Control	0.74 (100)

* percentage of the amount of dew for control.

これに対してうきがけ区では、気化熱の放出の影響が少ないことと葉温よりも温かい空気が輸送されやすいことが、比較的保温性を保持しやすい要因と考えられる。しかし、#200ではじかがけ区ほど急激ではないものの、風速の増加にもなって、無被覆区との葉温差は減少した。このことから、ここで、風速1m/s程度で与えられた顕熱は、#200で放射冷却を減衰する熱量よりも大きかったと考えられる。これに対して#300では、なお減衰する熱量の大きかったことがうかがえる。これは、陳ら (1989)⁽³⁾が、放射冷却による影響を、PI値として評価したように、基本的に、#300と#200の目合いの違いによる放射率の差が、保温性の差となって示された

いえよう。

次に実験Ⅱの結果から、寒冷紗#300では、うきがけの展張高が100cmまでの範囲では、高く展張するほど葉温は高く保たれ、30cmの高さでは、実験Ⅰでのじかがけ同様、風速の増加に伴って無被覆との葉温差を保持できなくなり、無被覆の方が高くなる例のあることが示された。これは、30cm区では、Table 3-2にも示したように、被覆下の水分の凝結量が多いため、風速の増加によって潜熱による放熱が増大するものと考えられる。また、資材温度も、50cm以上の高さの試験区のものより低いため、資材の近傍の空気が冷却され、目合いを通じて内部に流入して葉温の冷却を促すことも考えられよう。また、地上30cmの高さは、うきがけでも空気が内部まで輸送されにくいために、葉面に顕熱が十分供給されないためと考えられた。葉温を無被覆よりも高く保つには、うきがけの高さを少なくとも50cm以上とし、実験を行なった100cmまでの範囲内ならば高く展張するほど有利であった。高さが50cm以上のうきがけならば、Fig. 3-9に示した葉温の推移からも明らかのように、葉温の変化が風速の変化に対して即応的に反応し、その変化量もほぼ一定であることから顕熱の供給量の差はほとんどないと考えられ

る。50cm以上の高さの試験区で葉温差が生じた理由として、資材温度が高くなると、資材面からの下向き放射量が増大するため、キャベツ葉面上の上向き放射量は小さくなり、放射冷却が弱められるためと考えられる。

一方、じかがけは無風状態であれば、無被覆よりも高い葉温を示すものの、風速の増加にともなってその差が減少した。また無風状態であっても寒冷紗の表面が放射冷却を受けることから、これと接触した葉は植水効果も加わって凍害を受けやすくなると考えられる。これらのことを総合的に判断すれば、とくに常時風が吹くような地域では、じかがけよりもうきがけを選択すると同時に資材は寒冷紗#300のように正味放射量の絶対値が小さくなるようなものを利用し、かつ少なくとも地上50cm以上の高さで周囲の裾を閉鎖しないで風を吹き込みやすくするのが凍害防止効果を高めるうえでも有効な被覆方法と考えられた。

なお、第1節ではうきがけの展張高を45cmとしたが、この程度の差であれば、ここにあげた考察を逸脱するものではないと考えられる。栽培されているキャベツの生育状況、とくに外葉の大きさや高さによって、寒冷紗の展張高は相対的に変わりうると考えられる。

第3節 各種べたがけ資材の実用性試験

寒冷紗を利用した、キャベツの凍害および腐敗病防止効果を検討してきたが、主に1980年代になって、長繊維不織布製のべたがけ資材が、多数販売されるようになった⁽²³⁾。その使用目的は様々であるが、保温対策として利用されている割合は高い⁽⁵³⁾。しかし、実際の実用場面となると、寒冷紗#300を使用した場合のようにうきがけを行なうことは、長繊維不織布の類では強度からみて困難と考えられる。そこで、本節では長繊維不織布製のべたがけ資材を、被覆方法をじかがけに限定して、凍害および腐敗病に対する防止効果を検討した。

(1) 材料および方法

供試した資材は、タフベル3000N、タフベル3800N、マリエース、およびパオパオ90である。対照の試験区として無被覆区を設けた。

キャベツは、1985年8月27日に播種して10月15日に、畦幅55cm、株間40cmで定植した。施肥量等、栽培管理は慣行に従った。じかがけは、12月11日から収穫が収量する2月15日まで行なった。

腐敗病の発生状況の調査は、翌年の1月29日と2月14日の2回行ないそれぞれ、収穫期に達した株の結球部の重量および腐敗病の発生率および発生指数を測定した。

圃場内の微気象については、第2節で詳しく述べたので、ここでは、資材を変えて、じかがけの実用性を明らかにすることを、主な目的としたため、測定は行なわず、

Table 3-3 Comparison of head rot occurrences of cabbage under the several kinds of contacting row cover cloth.

Kind of cloth	Material	Head formation weight(g)	Percentage of head rot occurrence(%)
Tafuberu 3000N	PVA	1157	18
Tafuberu 3800N	PVA	1194	12
Marieisu	PET	1208	24
Paopao 90	PP	916	32
Control	-	1062	14

凍害および腐敗病の発生状況を調査した。

(2) 結果

供試資材をじかがけしたときの、腐敗病の発生状況を、Table 3-3に示す。

腐敗病の発生率は、1月29日の調査では無被覆に比べてタフベル3000Nだけがわずかに少なかった他は、いずれの資材も、多かった。また、2月14日の調査では、タフベル3000N、タフベル3800N、およびマリエースが少なかった。しかし、いずれの資材も無被覆よりも大幅に、発生率を抑制しているというほどの差は認められず、じかがけによる効果は、認められなかった。

(3) 考察

じかがけを行なうと、寒冷紗#300のときと同様、腐敗病の発生を軽減することができなかった。タフベル3000Nおよび同3800Nだけが、無被覆と同等かやや軽減する効果がみられた。このことは、寒冷紗#300のときと同じように、じかがけであるために、風を遮断し、顕熱の供給が十分に受けられないため、と考えられる。タフベル3000Nおよびタフベル3800Nは、陳ら(1989)⁽³⁾が示したように、屋外風速に対する内部の気流速は、不

織布の類に比べて、1オーダー以上高いことから、不織布類に比べて、顕熱の供給は多かったものと考えられる。また、資材の放射率はバオバオ90が最も低く⁽³⁾、その影響によって、バオバオ90区で、腐敗病の発生率が最も高くなったものと考えられた。しかし、実際には、夜間の結露や結霜によって、素材の放射率の差による影響は打ち消されてしまうことも考えられ、この点については、陳ら(1989)⁽³⁾も述べているように、今後の検討に待ちたい。

しかし、いずれにしても、じかがけによって夜間の放射冷却による葉温の低下を抑え、腐敗病の発生を軽減できるような資材は見いだせなかった。放射率の高い資材を使用しても、効果がないことが明らかとなったことから、基本的に、放射冷却による葉温低下の軽減を目的とした被覆法による対策として、じかがけでは、その保温にかかわるメカニズムの点から不適であると推察された。

第4節 寒冷紗うきがけの現地実証

第1節および第2節で明らかにしてきたように、寒冷紗#300のうきがけは、キャベツの葉温を無被覆よりも高く保つという点で効果が認められた。そこで、このような効果が実際にキャベツの腐敗病の軽減に結びつくのかどうかを、実証的に、三浦市内の農家圃場で確認した。

(1) 材料および方法

圃場は、三浦市和田地区の農家の水田埋立て圃場を使用した。和田地区は三浦市の中でも北部に位置し、例年、腐敗病の発生率が三浦半島の平均値よりも高い地域である。

圃場を2等分して、うきがけ区および無被覆区をそれぞれ540㎡づつ設けた。うきがけは、ビニロン寒冷紗#300(ユニチカ製)の3枚継ぎ(幅5.4m、長さ50m)を使用し、1991年12月18日に処理を行なった。うきがけの設置には、トンネルの骨材に使用するグラスファイバー製の長さ2.7mの棒(商品名:ダンポール、宇部工業製)を寒冷紗の周辺に当たる場所には、約2m間隔で直線上にトンネルの骨材のように弓状に配置し、その他の部分では、寒冷紗の重みによって垂れ下がって、キャベツ葉に触れないよう、適当な間隔に配置して寒冷紗を支えるようにした。寒冷紗は、ダンポールの上に乗せるように広げて、周辺部では裾を垂らさないようにしてバッカーで固定した。

栽培されたキャベツの品種は‘金春’で、8月28日に播種し、10月5日に定植された。栽植距離は畦幅60cm、

株間36cmで、11月9日に間作として春どりキャベツ(品種‘金系201’)を定植した。施肥等その他の管理は慣行に従った。

収穫日にあたる1月30日に、結球重および腐敗病発生状況を調査した。腐敗病発生状況は、それぞれ100株について、その発生率および発生度を求めた。発生度は被害を全く受けなかったものを0、結球部全体の表面積の一部でも被害がみとめられるものを1、同20%以下のものを2、同20~50%のものを3、50%以上のものを4と指数化し(9)式から求めた。指数1および2では、被害部分を取り除くことによって、B品としての出荷が可能である。

$$Y = \sum_{k=1}^{100} X_k / 4 \tag{9}$$

Table 3-4 Comparison between head rot occurrences under floating row cover and control.

Treatment	Head formation weight(g)	Percentage(%) head rot	Percentage can not shipping
Floating row cover	1046	9	1
Control	1063	38	9

ここで、 Y は発生度、 k は株番号、 X_k は株 k の発生指数を示す。

(2) 結果

収穫時の調査結果を Table 3 - 4 に示した。うきがけ区の腐敗病発生率および発生度は無被覆区に比べて約 25% に軽減された。また、出荷不能率はうきがけ区の方が大幅に低くなり、出荷されたキャベツのうち B 品出荷率もうきがけ区の方が大幅に低くなり、うきがけによって農家粗収益が向上することが明かとなった。

(3) 考察

寒冷紗 #300 を使用した地上 50cm の高さのうきがけは、第 1 節および第 2 節で明らかになったように、冷え込みの厳しい、放射冷却が強い夜間、キャベツの葉温を無被覆よりも概ね 2℃ 高く保ち、その結果、凍害の発生を軽減させて、腐敗病の発生率が低くなったものと考えられた。このように、うきがけは、実際の農家での栽培場面において実用効果が高いものと考えられた。なお、経済的な評価も必要であるが、キャベツの価格変動や、寒冷紗の耐用年数によって計算結果が異なるため、一概に結論を出すことはできない。しかし、うきがけは経済的にも効果が高いことが、試算として示されており、実用性は高いものと考えられた。

第4章 防霜ファンによる凍害および腐敗病防止対策

これまで防霜ファンを利用した、凍霜害対策は、茶園を中心に広く普及している。また、微気象に対する影響についての研究も多く行われており⁽⁴¹⁾、(青野ら, 1953⁽¹⁾; 此本ら, 1976⁽²⁸⁾) その効果について述べられている。しかし、野菜を対象とした報告はほとんどなく、とくに実用性にまで言及したものは少ない。茶園のような、立体的植栽ではなく、平面的な植栽のキャベツほ場での微気象の影響は異なることが考えられ、この点を明らかにすることは、防霜ファンを凍害および腐敗病対策の一つとして利用する際に必要なことと考えられる。ここでは、防霜ファンによるほ場の微気象への影響を調査するとともに、被害の軽減効果について検討を加え、将来の導入に対しての参考となるよう心掛けた。

第1節 防霜ファンによるほ場の微気象変化

(1) 材料および方法

1) 圃場内微気象の測定 その1 (水平方向の測定)

ファンの設置位置およびほ場平面図を Fsig. 4-1 に示した。ファン (FY-818YA-50, 松下精工製) は地上 6 m, 首振り角度 90° (首振り速度 0.46 回/分), 俯角 30° に設定し, 圃場全体に風が行き渡る向きに設置した。防霜ファンの規格は Table 4-1 に示した。防霜ファンは, 付属する温度センサーを, ファンによる風の影響を受けない隣接する圃場の地上 30 cm に設置して, その気温が 3°C を下回った時に起動するよう設定した。ファンの運転は 1991 年 12 月から 1992 年 3 月まで行なった。

圃場内のキャベツの品種は '金春' で, 8 月 27 日に播種し, 10 月 19 日に定植した。畦幅は 55 cm, 株間は 40 cm とし, 東西畦とした。施肥等の管理は慣行にしたがった。

圃場内の気温とキャベツ葉温は, ファンの位置を中心とする放射状にとった線上で圃場のほぼ対角線上で距離を変えて測定した。このうち気温は, 地上 50 cm の高さで, ファンから 1 m, 5 m, 10 m, 20 m, および 30 m 離れた位置で測定した。葉温は結球のほぼ完成した株の結球部頂部を, ファンから 5 m, 10 m, 20 m, および 30 m 離れた位置で, それぞれ 3 株測定した。また, Fig. 4-1 に示したように, ファンから離れたほ場の一部に寒冷紗 #300 を, 地表面から高さ 1.8 m にかけて垂直に張って風除けをした対照区を設け, 気温および葉温を同様の方法で測定した。温度の測定には, いずれも直径 0.32 mm の T 型熱電対を使用した。ファンから 10 m の距離に放射収支計 (英弘精機製 CN-11) を設置して正味放射量を測定するとともに, ファンの影響を受けない隣接したほ場では, 光電風速計 (牧野応用測器製 AF750) で地上 1.8 m の高さの風速を測定した。気温, および葉温の測定は, ハイブリットレコーダー (横河電機製 3088) で 25 秒毎

に計測し, GPIB インターフェイスを通じて 5 分毎にパーソナルコンピュータ (日本電気製 PC8801MK II) にその平均値を記録した。

測定は比較的冷え込みの厳しかった 1991 年 12 月 25 日から 26 日にかけて行なった。また, 1992 年 2 月 18 日には, 20 秒毎に葉温を測定した。正味放射量及び風速はデータロガー (ESD 製 GK88) で 8 秒毎に計測しパーソナルコンピュータ (日本電気製 PC9801F) に 5 分毎にその平均値を記録した。

2) 圃場内微気象の測定 その2 (垂直方向の測定)

測定は 1992 年 12 月 25 日から 26 日にかけて行なった。ファンの設置位置および使用圃場は, 実験 1 と同様で, 対象とするキャベツも実験 1 と同様である。圃場内のキャベツの品種は '金春' で, 8 月 25 日に播種し, 10 月 9 日に定植した。畦幅は 55 cm, 株間は 40 cm とし, 東西畦とした。施肥等の管理は慣行にしたがった。

測定は, ファンの位置を中心とする放射状にとった線上で, 圃場の対角線上に 10 m の距離で行ない, 垂直方向に, 30 cm, 50 cm, 1 m, 2 m, 4 m, および 6 m の高さの気温を測定した。センサーは直径 0.32 mm の T 型熱電対を使用し, その上面には, 簡易なアルミの放射よけを取

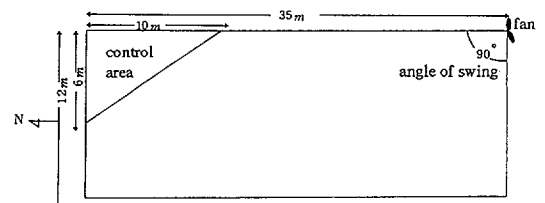


Fig.4-1 A Plane figure of the experimental field.

Table 4-1 Specification of frost protecting fan.

Diameter of fan(cm)		Current intensity(A)
FY-818YA-50	80	7.0

Generating power(KW)	H.P.	Air volume(m ³ /min.)
1.8	2.4	2,200

付けた。また、ファンの位置から対角線上に5mの距離では、良く締まったキャベツの結球部の頂部に同様のセンサーを粘着テープを張り付けて、葉温を測定した。ファンの影響を受けない隣接した圃場では、光電風速計（牧野応用測器製 AF750）で地上1.8mの高さの風速を測定した。気温、および葉温の測定は、実験1同様、ハイブリットレコーダー（横河電機製 3088）で25秒毎に計測し、GPIB インターフェイスを通じて5分毎にパーソナルコンピュータ（日本電気製 PC8801MK II）にその平均値を記録した。また、風速はデータロガー（ESD製 GK88）で8秒毎に計測しパーソナルコンピュータ（日本電気製 PC9801F）に15分毎にその平均値を記録した。

(2) 結果

1) 防霜ファンによる水平温度分布の変化

1992年2月26日から27日にかけての気温、葉温の経時変化を Fig. 4-2 に、風速および正味放射量の経時変化を Fig. 4-3 に示す。当夜は、風速および正味放射量の推移から20時以後は、静穏な晴夜であったことがうかがえた。地上50cmの気温は、ファンが起動するまではいずれの位置でもほぼ同じであったが、20時30分頃にファンが回りだすと、ファンからの距離が近いほど気温は高く推移し、ファンからの距離が5および10mの位置では対照区よりも2~3℃高く保たれた。ファンから20mの位置では対照区よりも1℃前後高く、30mの位置ではほとんど差は認められなかった。1mの位置では、逆に対照区よりも低くなる時間帯が多かった。

葉温は、ファンが回り始めると5および10mの位置ではファンの起動前より4℃前後上昇し、対照区に比べて4~5℃高く保たれた。また、20および30mの位置でも対照区より2℃前後高く保たれた。

これら葉温の上昇量をY軸、正味放射量および風速をX軸にしてデータを整理してプロットしたのが、Fig. 4-4 である。ここでは、風速および正味放射量が5分間の平均値が少なくとも10分間以上10cm/sまたは10

W/m²以内の変動で持続したデータのみをプロットした。正味放射量をX軸にしたときは、風速が1m/s以下のとき、また、風速をX軸にしたときには、正味放射量は-60W/m²以下のときのデータを採用した。Fig. 4-4 に示したように、ファンによる葉温の上昇量は正味放射量の影響を受けず、ほぼ一定の葉温上昇量で推移した。風速に対しては、1m/s以下では、ファンからの距離が5および10mでは概ね4~5℃の上昇量で推移したが、1m/sを越えるようになると3~4℃前後に収束する傾向が見られた。また、ファンから20および30mの距離では、1m/s以下では、2℃前後の葉温上昇量で推移したが、1m/sを越えるようになると、20mの距離では3℃前後にやや上昇したものの30mの距離では、1℃前後に減少した。

20秒毎の葉温（瞬間値）の推移を Fig. 4-5 に示した。ファンから5および10mの位置では、ファンの首振りによって、風があたった瞬間に1℃前後上昇し、風があたりなくなると温度が降下するという状況を繰り返していた。ファンから30mの位置では、風があたった時に、葉温は0.2~0.3℃の上昇にとどまった。このように、防霜ファンによる凍害防止効果は、ファンの首振りによって、一定の間隔を置いて瞬間的に顕熱が供給され、それが連続することによって保たれていることが明らかとなった。また、ファンに近く、風速が大きく、顕熱供給量が多いほど、キャベツ葉温が高く保たれることが明らかとなった。

2) 防霜ファンによる垂直温度分布の変化

静穏で晴天であった1992年12月25日から12月26日にかけての気温、葉温および風速の経時変化を、Fig. 4-6 に示した。

風速が概ね50cm/s以下であった19時までで、ファンが起動する前では、ファンから5mの位置の結球部葉温は、高さ6mの気温よりも約7℃低く、ほぼ同じ高さにあたる30cmの気温よりも約3℃低かった。しかし、ファンが起動した18時以後は、高さ6mの気温との差は3℃前後に減少し、高さ30cmの気温との差も2℃前後に減少した。これは、高さ6mの気温が低下したのではなく、葉温、および高さ30cmの気温が上昇したことによることが明らかとなった。

垂直方向の気温は、地表からの高さが低くなるほど気温は低くなり、6mと30cmの高さの気温差が約4℃という逆転層を形成していた。しかし、ファンの起動後は、その差が1℃前後と大幅に減少し、少なくとも、ファン

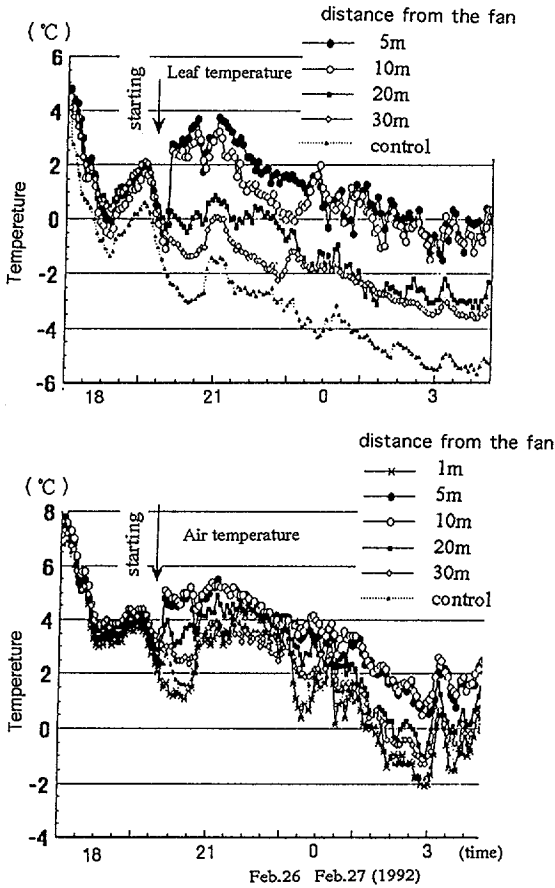


Fig.4-2 Variation of air and leaf temperature with time at several distances from the fan. Air temperatures were measured 50cm height above the ground.

から10mの距離に位置する地点での気温の垂直分布からは、逆転層は壊されていたことがうかがえた。即ち、地上6mの暖かい空気が、地上付近に輸送され、この結果、地表付近の気温および葉温が暖められることが明らかにされた。

(3) 考察

防霜ファンによって、ファンからの距離が近く、風が十分にキャベツに当たれば、寒害防止に有効であることが明らかとなった。Fig. 4-6にも示されているように、地上6mの高さの気温とキャベツ結球部の葉温との温度差は約7℃にも達しており、葉温の低下が抑えられたのは顕熱の供給による影響が大きかったと考えられる。ま

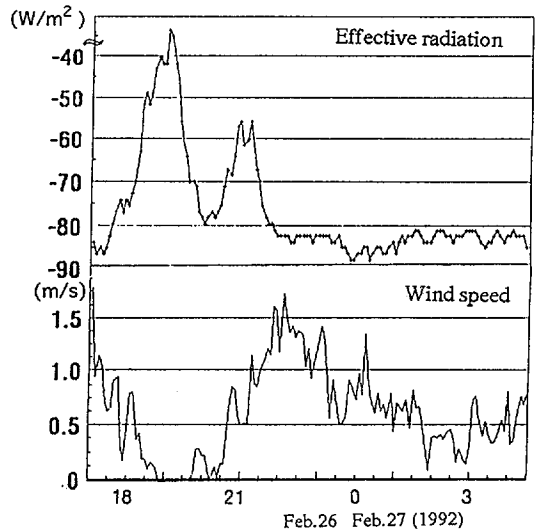


Fig.4-3 Variation of the wind speed and effective radiation.

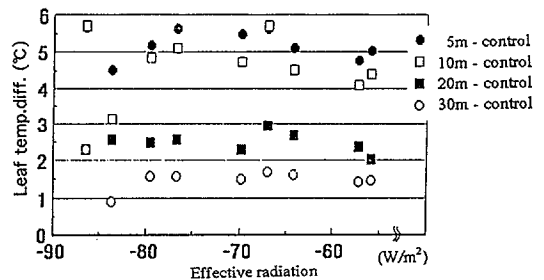
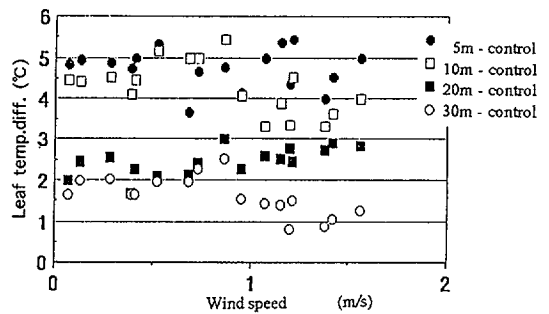


Fig.4-4 Relationship between raising leaf temperature, and wind speed and effective radiation at several distances from the fan.

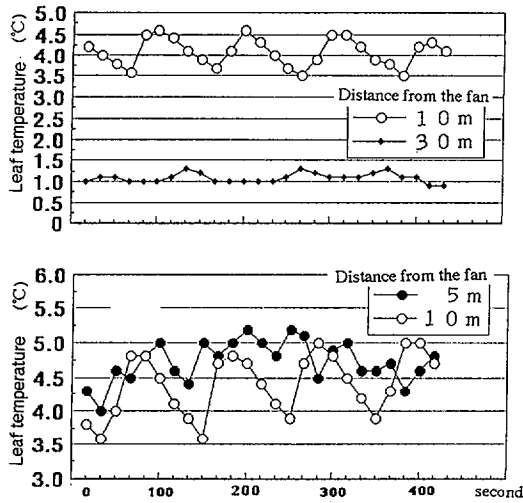


Fig.4-5 Variation of leaf temperature measured with intervals of 20 seconds at several distances from fan.

た、Fig. 4-4に示されているように、ファンによる葉温の上昇量は、正味放射量にほとんど影響されなかった。また、測定されたような 2 m/s 以下の風速であれば、屋外風速の影響もほとんどみられなかった。しかしファンから 30 m の距離になると葉温の上昇量は減少した。このことは、ファンによる風が、ほぼ一定量の顕熱をキャベツ葉に供給していることを示していると考えられる。すなわち、これが、葉面での熱収支において、風速の増加によって蒸発が促進されて潜熱が奪われたり、正味放射量による葉温への影響を無視できるほど、十分な供給量であることによるためと考えられる。このためにファンから 30 m 離れた位置では、ファンからの風が十分に行きどかず、その結果、顕熱輸送量が減少して葉温の上昇が減少したと考えられる。

小沢(1977)⁽⁴⁴⁾によれば、送風法は、地上 10 数m の気層内の温度を平均化するのが目的で、せいぜい期待できる昇温効果は 2°C 程度としている。防霜ファンが地表近くの逆転層を破壊することによって、葉温の低下を抑える効果については、茶園での試験例が示している⁽⁴¹⁾。しかし、キャベツのような平面的な植栽をされる圃場では、逆転層の破壊によって、葉温の低下が抑えられるというよりも、むしろ、Fig. 4-5にも示したように、風が当たった時に瞬間的に葉温が上昇し、ファンの首振りによって風が当たらない時には降下するという状況がみ

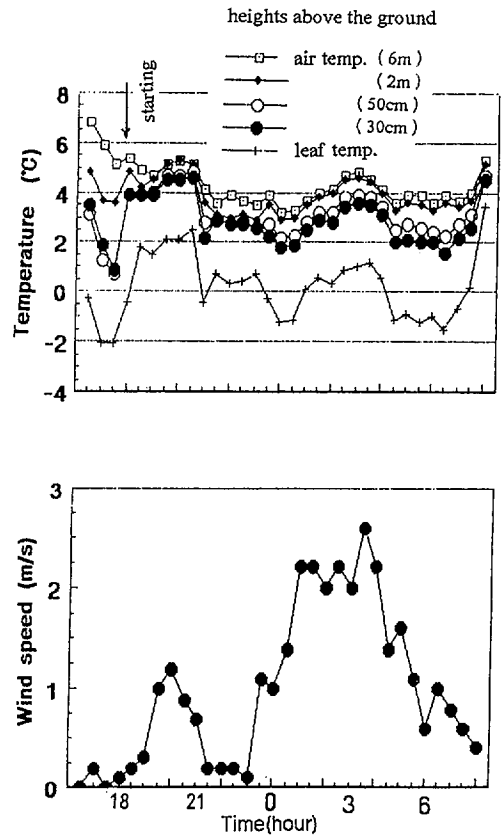


Fig.4-6 Variation of leaf and air temperatures at several height (upper) and wind speed (lower) with time. Leaf temperature was measured at 5 m distance from fan, and air temperatures were measured at 10 m distance from fan. (92.12.25-26)

られたことや、ファンの背面では効果がなかったことからみて、風が葉面に当たって顕熱が供給されることが、葉温の低下を抑える最大の理由と考えられる。Fig. 4-2にも示したように、実際の昇温効果は葉温で 4°C 前後となり、茶園での昇温効果を上回った。また、ファンによる風によって、葉面に付着した水分が蒸発させられ潜熱が奪われることが考えられるが、葉温の推移からみてこのような現象は、無視されるほど小さかったものと考えられる。即ち、潜熱量よりも供給される顕熱量の方がはるかに大きかったと考えられる。

このことから、防霜ファンを凍害防止対策として利用していくには、ファンによって、空気を攪拌するのではなく、キャベツ葉面に風を当てることが重要であり、そ

のためには、ファンの設置台数等に注意して、風が当たらない、デッドスペースを作らないようにすることが重要であると考えられた。

しかし、坪井 (1964)⁽⁶⁰⁾ は、地形によってカンキツの適地の評価を試みている。これと同様にファンの設置対象となる圃場に対しても、適地かどうかの判断がまず求められるであろう。また、極端な窪地や小盆地では、気温の逆転強度が小さいために、防霜ファンによる十分な効果が期待できないとの指摘もみられる⁽⁴¹⁾。これら

の点については、キャベツは茶や果樹と異なり、栽培様式が平面的であることから、必ずしもあてはまるとは言いきれないものの、今後の検討課題としたい。しかし、防霜ファンの風によって、小盆地などのように冷気湖が形成されるような地形のところでも、放射冷却によってキャベツの葉が冷却されている場合は、葉温は気温よりも低くなっているため、顕熱の供給は、葉温の低下の軽減に有効と考えられる。

第2節 防霜ファンによるキャベツ凍害防止効果

防霜ファンによって、地表付近の気温およびキャベツ葉温が上昇し、風が十分にあたれば、凍害防止効果は高いと判断された。ここでは、実際に凍害および腐敗病に対して、防霜ファンが実用上、これらの症状に対して効果があるのかどうかを実験的に明らかにする。

(1) 材料および方法

第1節で微気象の測定を行なうとともに、実際に圃場で発生する凍害および腐敗病の発生状況を、2カ年に渡り、1992年3月および1993年3月に調査した。ファンの位置から北側に5、10、15、20、25および30mの地点に存在する東西方向の畝に定植されているキャベツのうち、結球期に達した株を対象として凍害および腐敗病の発生状況を比較した。したがって、畝の東側と西側ではファンからの距離が異なり、必ずしも、ファンからの距離に応じて試験区が構成されているわけではない。

播種日、定植日等の耕種概要は第1節で述べた通りである。

凍害および腐敗病は、被害に応じて0から4まで指数化して評価し、(10)式に示すように凍害または腐敗病被害度として求めた。指数0は被害をまったく受けていないもの、1はわずかでも被害が認められるもの、2は被害を受けた部分の面積が結球部表面積の20%以内のもの、3は同20~50%のもの、4は同50%以上のものとし、目視で評価した。調査株数は30株とした。

$$Y = \sum_{l=1}^{30} \{X_l / (30 \times 4)\} \times 100 \quad (10)$$

ここで、Yは凍害または腐敗病被害度、lは株番号、X_lは株lの発生指数を示す。

(2) 結果

被害の発生状況は、年度の違いによって異なり、全体

的に1993年より、1992年の方が被害は大きかった。これは、第1章でも述べたように、年度の違いによる差とみることができる。しかし、Table 4-2に示したように、いずれの年度も、ファンからの距離が近いほど少なく、とくに、ファンから10m以内では、ほとんど発生が見られなかった。また、ファンから30m以上の距離があると、対照区との差は小さくなった。また、1993年の調査結果

Table 4-2 Head rot occurrences at several distances from fan. (upper:1992, lower:1993)

distance from fan(m)	Percentage	index (head rot)
5m-13m	3(%)	0.8
10-16	7	1.7
15-19	17	9.2
20-23	27	15.8
25-28	43	24.2
30-32	63	41.7
Control	80	53.3

Distance from fan (m)	Cold injury		Head rot	
	Percentage	Index	Percentage	Index
-10~-16	27 (例)	14	20 (例)	12
-5~-13	33	13	20	6
5~13	3	2	3	2
10~16	7	2	0	0
15~19	10	4	10	4
20~23	37	13	23	8
25~28	40	14	30	11
30~32	43	21	33	18
35~37	63	27	50	23

Index:index was calculated by equation(10)

では、ファンの背面にあたる位置では、発生率の軽減効果は、ファンの前面と比較して距離が短くても、ほとんどなかった。

(3) 考察

凍害の発生に対して、防霜ファンは十分に抑制効果が認められた。これは、ファンによるキャベツ葉温の上昇効果によって、凍害が軽減され、これが、第1章第2節で示したように、凍害が発生しなければ腐敗病に至らないことから、結果として、腐敗病の発生の抑制につなが

たと考えられた。したがって、腐敗病の発生を抑制するためには、凍害の発生率を軽減することが重要で、防霜ファンは、風が十分にあたりさえすれば葉温の上昇量が大きく、第1節にも示されたように、条件によっては、寒冷紗によるうきがけを上回る効果が認められたことから、その効果は十分に認められるものと考えられた。

なお、防霜ファンの導入および運転には、コストがかかるため、経済性の検討が今後求められていくことになる。

第5章 総 合 考 察

神奈川県三浦半島地域で栽培されるキャベツは、1月および2月の平均気温が6℃を下回らないという冬期温暖な気象資源を活用して、冬どりのキャベツが栽培されている。しかし、冬期温暖とは言っても厳寒期には、降霜もしばしば生じ、キャベツ葉の凍結も観察されている。このような環境条件下でなお栽培が可能なのは、キャベツ自身の耐凍性に負うところが大きい。植物の耐凍性の獲得について、これまで Levitt, 1972⁽³¹⁾; Irving and Lanpher, 1967⁽¹⁹⁾; 酒井ら, 1982⁽⁵¹⁾ によって環境条件との関係について明らかにされている。

一方、凍害を回避する手段として、羽生ら (1986)⁽¹⁵⁾ および岡野 (1989)⁽⁴³⁾ はダイズ葉を用いて、過冷却状態で凍結を回避する方法を検討している。

いずれの見地に立っても、凍害対策を行なう上では、参考にすべき知見が示されている。しかし、現地の状況から、凍結の回避は極めて難しく、例えば、降霜による植水作用や INA 細菌による凍結温度の上昇は、自然環境下では、常に生じているものと考えられる。そこで、本論では、耐凍性の意味を、細胞外凍結した後どの程度の低温に耐えられるか、と定義した。この点については、酒井, (1982)⁽⁵²⁾ も同様の考えを示している。

三浦半島のキャベツで問題となっている腐敗病は、病原細菌によって引き起こされる病気であるが、その前提条件として、組織が凍害によって死滅して初めて発生に至ることが明かとなった。第1章にも示したように、品種‘金春’では概ね葉温が-5℃から-10℃くらいまでなら耐凍性の獲得によって凍害を回避することが可能と考えられる。耐凍性が時期によって変動することは、すでに第1章で示した。この結果によっても示されているように、三浦半島の温度条件を考えるならば、冬期に耐凍性が最高に高まった状態が収穫時期を通じて持続するならば、理論的には凍害を回避することが可能であると思われる。

本研究では、耐凍性の獲得過程を主に気象要因だけで論じてきた。しかも、葉温の最低温度に注目した。実際に耐凍性の獲得に影響を及ぼす要因として、温度要因だけでも、凍結に至る速度、過冷却状態(羽生ら, 1986)⁽¹⁵⁾、融解速度(吉田ら, 1967)⁽⁶⁴⁾の違いによる影響が知られている。また、この他にも土壌条件、水分条件、ホルモンの影響等が知られている。これまで、人為的に耐凍性を高める方法として、アブサイジン酸の散布(Chen ら,

1983)⁽⁴⁾や水分ストレスの付与(Cox ら, 1966)⁽⁷⁾、糖類等の散布(杉井ら, 1963)⁽⁵⁵⁾等、様々な手段が明らかにされている。しかし、第2章にも示されているように、温度の影響は、短時間で大きな影響が現われることから、これらの耐凍性獲得に及ぼす影響の評価は、温度条件、とくに最低葉温に比較すれば影響力は小さいものと考えられる。現実には、第1章第3節に示したように、気象条件によって、統計的に腐敗病の発生状況に影響を及ぼす結果が示された。ここに示された元となるデータは5圃場あり、個々の施肥管理、土壌水分条件は毎年異なる。第1章第1節に示したように、例えば土壌水分が多い条件では、腐敗病の発生が高くなることが、明らかにされている。したがって、個々の条件を検討していけば、腐敗病の発生を促す要因、または抑制する要因に分けることが可能であろうが、様々な栽培条件を含むデータを解析した上で、明確に気象要因と腐敗病の相関関係が高いことが示されたことは、気象要因、とくに温度に対しての影響力が最も高いといえよう。

耐凍性の獲得には、おおむね7.5℃以下の低温に遭遇することが必要であることが明らかとなった。Levitt (1972.)⁽⁷⁾も同様にキャベツ葉が10℃以下の温度で耐凍性が獲得されることを報告している。第1章第3節で示したように、三浦半島では11月中旬になれば最低気温の平均値が10℃を下回り、この時期の気温が平年値よりも高いか低いかによって、その年のキャベツの腐敗病発生率が影響を受けた。このことから、実際の栽培面においても、一定の低温条件が耐凍性獲得に必要なことが実験の結果から明らかとなった。とくに、常に変化する屋外の温度状況下では、最低気温の影響が大きいと考えられた。ハードニングとデハードニングが低温条件および高温条件によって可逆的に生じることが吉田(1992)⁽⁶⁶⁾によって述べられている。しかし、本研究で行った高温域で20℃までならば、10℃以下でのハードニングの影響の方が強く作用するものと考えられた。このことは、20℃と5℃を組み合わせ7日間処理しても5℃が4時間以上持続すれば耐凍性が獲得されたことから明らかであろう。実際の栽培面においても、特に最低気温の推移がその時の耐凍性の獲得に影響を及ぼすものと考えられる。しかし、第4章での Fig. 2-9にも示されているように、一旦耐凍性を獲得しても、20℃に4時間遭遇すると、デハードニングの影響が現われてくることが明

らかとなった。このことから、日々の耐凍性は、最低気温が10℃を下回る11月中旬以降になれば、主に夜間にハードニングが進み、高温になる日中にデハードニングが進み、総合的に一日を通じて見ると徐々にハードニングが進むという考察が可能であろう。なお、今後、具体的に温度および遭遇時間を数値化して、ハードニングおよびデハードニングを判断することが求められよう。

ハードニングの程度を判断する手段として、本研究で行なった、EC法の他にも、蛍光色素法(Wildholm, 1972)⁽⁶¹⁾や目視による方法(酒井, 1982)⁽⁵²⁾等が知られているが、浸透圧の測定値でもうまく説明できることを照本(1958)⁽⁵⁹⁾が報告している。また、糖含量によっても同様であることを酒井(1957)⁽⁴⁶⁾; (1960)⁽⁴⁸⁾および佐々木ら(1993)⁽⁵⁴⁾が示している。一方、これらの数値は、必ずしも耐凍性の獲得について正しい説明にはならないことをFranks(1989)⁽¹⁰⁾は述べている。耐凍性獲得のメカニズムについて、これまで、細胞膜のリン脂質との関連性がYoshida(1974)⁽⁶⁵⁾によって報告されているが、植物に対する普遍的なメカニズムは未だ不明の点が多い。本研究の結果、少なくともキャベツに限って言えば、浸透圧が十分耐凍性を説明できるパラメータになりうると判断された。しかし、一回の実験で処理できる株数が限られているため、数回に分けて実験を行なったところ、同時に処理したものについては相対的な比較ができたが、処理が同時に行なわれない株の比較については、浸透圧の絶対値で比較はできなかった。処理日が異なることにより、水分条件や正確な生育ステージの違いが現われたものと推定された。

凍害および腐敗病を防止する手段として、キャベツ葉温の低下を抑えることも重要である。実際の対策面では、散水氷結法、煙霧法、被覆法、送風法などが論じられている。本研究では、べたがけを中心とした被覆法、防霜ファンを利用した送風法について述べた。

べたがけについては、最近では多くの研究や事例があり^(12,13,14,40)、寒害対策としての利用も多い。しかし、凍害についての研究は、陳ら(1989)⁽³⁾が報告している他はきわめて少ない。

本研究では寒冷紗#300を使用して、うきがけを行って約2℃、無処理よりも葉温を高く保つことができた。この2℃は、寒冷紗#300による正味放射量の減少によることが説明できた。一方、じかがけでは、風速の影響による顕熱の影響や、資材に付着する露や霜の潜熱の影響によって、葉温が変化することから、その影響を定量化するのは困難である。これまで蔵田(1988)⁽²⁹⁾がそ

の解明を試みた例はあるものの未だに未解決な点が多い。

しかし、べたがけは安価で、2℃ながら確実に葉温を無処理よりも高く保つことができることから、現場対応を考慮したときには、最も実用的な凍害防止技術と言うことができよう。

防霜ファンについては、これまで茶園での利用が盛んで、その効果については、此本ら(1976)⁽²⁸⁾の報告にあるように、高い評価が得られている。野菜の利用については千葉県農業試験場の報告があるが⁽⁶⁾、実用化技術として普及には至っていないのが現状である。これは、野菜の価格が茶に比べて安価であるため、設置および運転のコストを負担できないことがその理由と思われる。

本研究では防霜ファンを利用するとファンからの距離によって差はあるものの、少なくとも、ファンからの風が十分に行き渡る場所では、キャベツ葉温は、無処理のものに比べて、約4℃高く保たれ、効果だけをみれば、寒冷紗#300のうきがけを上回った。Fig. 2-5にも示したように、キャベツ葉温を高く保つのは、ほとんど顕熱の輸送によるためと考えられた。第1章に述べたように、地形が周りと比較して、低位であるときに腐敗病の被害が増加することから、冷気流の影響が考えられ⁽¹⁶⁾、ファンによる風が低位な部分に溜まった冷気を拡散し、対流を生じさせることによって、葉温の低下を防ぐと考えたが、実際には、このような現象は見られず、単に地上6mの暖かい空気を輸送することが、葉温の低下を防ぐ大きな理由と考えられた。葉温の上昇に関していえば、顕熱輸送による影響が、凍害防止に貢献していると言い換えることができると思われた。したがって、逆にファンの設置方法によって風が来なくなる場所ができると、葉温の低下を防ぐことができなくなることが予想され、設置に対する注意が必要と思われた。

しかし、防霜ファンを設置および運転するには、寒冷紗のうきがけに比べて経費がかかることから、さらに経済性の検討が欠かせず、また、防霜ファンでは、騒音対策を講じることも場合によっては必要となろう。これらの点を解決するには、更に何年かの試行を重ねていくことが必要と考えられる。

耐凍性の獲得経過については、キャベツは、おおむね10℃を下回るようになると、ハードニングが生じ、高温と低温の組み合わせでは、主に低温域の温度の影響を強く受けた。このことから、実際の栽培では、最低気温の動向に注意する必要があると考えられた。耐凍性の獲得に関しては、温度以外の条件、例えば、日長の制御

(Kohn and Levitt, 1965)⁽²⁵⁾, 水分ストレスの付与 (Cox and Levitt, 1966)⁽⁷⁾, 低温下での光量 (Cox and Levitt, 1976)⁽⁸⁾等に影響を受けるとされている。また根張りを良くすることによって耐凍性を増加させる試みや (加藤ら, 1988)⁽²²⁾, 糖類等の葉面散布によって耐凍性を高める試みも行われている (杉井ら, 1964)⁽⁵⁵⁾。しかし実際に人為的に制御できるのは、後者の2つぐらいで、気象条件に関する要因については難しい。とくに温度の影響は本研究でも明らかにされたように露地栽培では極めて高い。しかも、短時間にその影響が及ぶことから、対策をその都度とすることは、事実上不可能と思われる。

しかし、短時間で影響が及ぶとは言っても、腐敗病の被害は11月中旬の気温に影響されたり、4日間程度の気温の高低によって耐凍性が変動し、1日の気温の高低による影響はそれよりも小さかった。このことは、細かくみれば、耐凍性の影響は時間単位という短い時間で影響が及ぶものの、日々の繰り返しによってハードニングがプラスに働いたり、マイナスに働いたりして、総合的に蓄積されていくことを示しており、中長期的な対策をとることも理にかなって十分可能と考えられる。例えば、短時間の気温によって影響されるとは言っても、結果的には、少なくとも半月の気温との相関が高くなるため、半月気温が平年よりも高めであれば、耐凍性の低下が考えられることから、被覆法や送風法等の対策が考えられる。

このように、ある時点でのキャベツの耐凍性の大きさは、総合的に決められたものと考えられる。しかし、個々の条件を、ハードニングがプラスに働くような方向性を示して行くことは、対策を講じる上でも重要なことと思

われる。

キャベツの凍害を原因とした腐敗病の発生は、凍害という気象災害の一つには違いないが、耐凍性の大きさとも密接に絡み合った、生理的な要因を無視できないことが、明かとなった。今後の対策として、耐凍性をいかに増大させるような手段をとることができるか、が重要となろう。また、同時に、気象災害としての、低温の影響を受けないようにするには、被覆法や、送風法のような積極的な保温対策をとるとともに、耐凍性を考えた、合理的な対策にも心掛ける必要もあろう。例えば、気象条件によって耐凍性を判断し、耐凍性が十分にあると判断されるようなときには、積極的な保温対策は控える等して、エネルギーの節約に努めることも重要であろう。また、耐凍性の大きさが分かれば、肉眼での判断が困難でも、ある時点で、凍害を生じたかどうか判断でき、その後に発生する腐敗病の発生に対して、早めの収穫に心掛ける等して、被害を最小限に食い止めることも可能であろう。

このように、低温による被害でも、生理的な対応が今後とも増々求められていくであろう。できれば、気温等の気象要因から、耐凍性の大きさを、栽培条件等も加味しながら数値化できるような技術対応が、必要になってくるものと考えられる。

なお、本研究では、栽培的な点には、ほとんど触れなかった。例えば、ブドウ糖溶液を吸水させることによって、耐凍性が増大したことなど、残されている栽培面での対策も多いと思われる。この方面の研究も、さらに進めていく必要があると思われる。

摘 要

神奈川県三浦半島地域で問題となっている冬どりキャベツの腐敗病対策として、凍害防止の面から検討を加えた。その概要は以下のとおりである。

1. キャベツに発生する腐敗病は、現地調査から、圃場の環境条件として、低温になりやすい所および排水性の劣る圃場で多発する傾向がみられた。このことから、腐敗病は直接関与しているのは、*Pseudomonas viridiflava* と *Pseudomonas marginaris* の2種類の病原細菌であっても、凍害がその起因となっていることが想定された。
2. 腐敗病は凍害が生じた後に病原細菌を接種すると病徴を呈すること、また、高温条件を与えるほど病徴が進行が早いことから、凍害を原因とし、その後病原細菌が繁殖することによって生じる病害であることが明らかにされた。
3. 収穫時のキャベツ結球葉をインキュベータ内で低温に遭遇させると、おおむね -5°C 以下で凍害が生じ、さらに低温になるほど被害は増大した。
4. 圃場でのキャベツ葉は、低温および高温条件とも菌の繁殖条件を満たすものであった。
5. 腐敗病の発生は、過去9年間の現地調査のデータを統計処理したところ、11月中旬の気温が平年よりも高いと、多発する傾向が認められた。降水量および日照時間との関連性は、統計上認められなかった。
6. 収穫期に達した結球葉の耐凍性は、収穫期の半月平均気温が低く推移するほど、高まった。最も耐凍性が高まった時期で、 LT_{50} 値は、約 -10°C であった。
7. 結球葉の耐凍性は、圃場では4日間程度気温が低く推移すれば、耐凍性が高まる傾向が認められ、この間の平均気温または積算気温と耐凍性 (LT_{50}) との間には高い相関が認められた。
8. このことから、耐凍性の大きさは、数日単位で変動が可能と考えられた。しかし、それでも腐敗病の発生に対して11月中旬の気温の影響が大きいのは、11月中旬頃から低温の影響を受けて、耐凍性の獲得が始まるために、この時期の気温の高低によって耐凍性獲得の早遅の影響が及ぶ。このことが、凍害発生に最も大きな影響を与えるためと考えられた。
9. キャベツの苗を供試して、耐凍性が獲得される温度条件を検討したところ、概ね 7.5°C 以下の温度で耐凍性が獲得される傾向にすすみ、低温域の温度が低いほど、その程度は高くなった。また、耐凍性は低温に概ね2時間から4時間遭遇させることによって獲得され、逆に、耐凍性がついた苗でも、高温に1時間遭遇させると、わずかに耐凍性消失の傾向がみられ、6時間後には明確に消失される傾向が認められた。このように、キャベツの耐凍性は時間単位という極めて短い時間で耐凍性の獲得および消失を繰り返していることが明らかとなった。
10. 凍害およびそれに伴う腐敗病の対策として、被覆法について検討を行った。その結果、寒冷紗を、地上からの高さ50cm以上の高さにうきがけを行なうのが効果的で、うきがけの高さは高いほど、また、周辺の裾は開放して、風を吹き込ませた方が効果が高かった。じかがけでは、無被覆よりも葉温が低くなる恐れがあり、また、腐敗病の発生を軽減する効果も認められなかった。このことから、被覆法による効果を期待するには、キャベツの上面に放射率が50%程度以上の被覆材で覆い (寒冷紗#300がこれにあたる)、夜間の放射冷却を軽減した上で、キャベツ葉温よりも温度の高い周囲の空気を風によって供給し、顕熱を与えることが、葉温を高く保つ方法であることが明らかとなった。じかがけでは、周囲の空気を遮断して顕熱の供給を十分に受けられないとともに、水分の付着した被覆材から風が当たったときに蒸発熱を奪われることが、風速が増加した時に、葉温を無被覆よりも高く保てない理由と考えられた。
11. 防霜ファンによる圃場の微気象の影響および腐敗病の発生状況の検討を行った。気象環境面からみると、水平距離で防霜ファンに近い所にあるキャベツほど、葉温は、無処理よりも高くなった。防霜ファンから10m以内では、無処理よりも $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ 葉温が高く保たれた。腐敗病の発生状況も防霜ファンに近い所程、被害が少なく、十分対策になりうると考えられた。しかし、葉温の上昇効果は、ほとんど、ファンからの顕熱供給によるものであり、ファンの首振りによって、風を受けている間に瞬間的に葉温が上昇し、受けなくなると下降するという状態を繰り返していた。したがって、風が弱まったり、当たらないところでは、効果は認められなかった。

引用および参考文献

1. 青野英也, 高橋恒二, 1953: 茶園の霜害防除に関する研究(1). 茶業技術研究, 9, 43-59.
2. 青柳森一・神保信幸・所重雄・村井正和, 1991: 冬春キャベツの寒害防止に関する研究, 第1報産地における寒害の発生実態とその発生条件の解明, 千葉県農試研報, 32, 19-29.
3. 陳青雲・岡田益己・相原良安, 1989: べたがけ資材の長は放射特性と被覆下の正味放射良および葉温について. 農業気象, 44, 281-286.
4. Chen, T. H. and Gusta, L. V., 1983: Abscisic Acid-Induced Freezing Resistance in Cultured Plant Cells. *Plant Physiol.*, 73, 71-75.
5. 千葉県農業試験場編, 1987: 冬春キャベツの生産安定における阻害要因(主として気象災害)の解明とその対策技術の確立実績報告書, pp1-5.
6. 千葉県農業試験場編, 1987: 冬春キャベツの生産安定における阻害要因(主として気象災害)の解明とその対策技術の確立実績報告書, 95-97.
7. Cox, W. and J. Levitt, 1966: Direct relation between growth and frost hardening in cabbage leaves. *Plant Physiol.*, 44, 923-928.
8. Cox, W. and J. Levitt, 1976: Interrelation between Environmental Factors and Freezing Resistance of Cabbage Leaves. *Plant Physiol.*, 57, 553-555.
9. Dexter, S. T., W. E. Tottingham and L. F. Graberra, 1932: *Plant Physiol.*, 2, 63-78.
10. Franks F., 1989: Biophysics and biochemistry at low temperatures. 149-172. 北海道大学図書刊行会.
11. 後藤正夫, 1956: *Pseudomonas marginalis* による甘藍の腐敗病. 農及園, 31, 1547-1548.
12. 浜本浩, 中村浩, 1990: べたがけが表層土壌環境と作物の出芽に及ぼす影響, 農業気象, 45, 256-269.
13. 浜本浩, 1991: 数種のべたがけ下における夜間の葉温, 農業気象, 46, 229-232.
14. 浜本浩, 1992: 日中および夜間べたがけがコマツナとハウレンソウの生育におよぼす影響, 農業気象, 48, 257-264.
15. 羽生寿郎, 松岡延浩, 今久, 中山敬一, 1986: 作物の霜害と環境条件, 第2報 ダイズ苗葉面の乾湿が凍結温度に及ぼす影響. 農業気象, 41, 331-335.
16. 羽田野袈裟義, 1989: 冷気流現象の一考察. 日本農業気象学会局地気象研究部会要旨, 35-37.
17. 平成4年度農業者新技術開発促進事業, 先端技術交流会資料, 神奈川県農業技術課編, 5-8.
18. 馬玉香, 羽生寿郎, 岡野通明, 中山敬一, 今久, 1989: 作物の霜害に及ぼす氷核活性細菌の影響について. 農業気象, 45, 7-12.
19. Irving, R. M. and F. O. Lanphear, 1967: Environmental control of cold hardiness in woody plants. *Plant Physiol.*, 42, 1191-1196.
20. 神保信幸・福地信彦・村井正和・青柳森一・所重雄, 1991: 冬春キャベツの寒害防止に関する研究, 第2報 対歓声品種の導入とトンネル被覆による寒害防止法. 千葉県農試研報, 32, 31-42.
21. 神奈川県園芸試験場三浦分場, 1982: 試験成績書, 27, 67-69.
22. 加藤徹・朴漢永, 1988: キャベツの凍害に関する研究. 昭和63年春園学要旨, 252-253.
23. 川口和雄, 1988: べたがけ資材の動向, 課題別研究会資料, 通気性被覆資材の利用による野菜栽培の現状と諸問題, 農林水産省野菜・茶業試験場, 34-39.
24. 北浦澄, 1967: 晩霜による桑の凍結および被害に関する研究, 蚕試報, 22, 207-327.
25. Kohn, H. and J. Levitt, 1965: Frost Hardiness Studies on Cabbage Grown under Controlled Conditions. *Plant Physiol.*, 40, 476-480.
26. 小中原実・酒井昭, 1967: 園学雑, 36, 170-178.
27. 小中原実, 1971: カンキツの寒害防除に関する研究(第3報). たな張り被ふく法の実用性と被ふく資材の検索. 静岡柑試研報, 9, 39-52.
28. 此本晴夫, 鈴木幸隆, 木村政美, 岩崎正男, 木村進, 小野楯男, 1976: 茶園における小型送風機の防霜効果. 静岡県茶試研報, 7, 43-57.
29. 蔵田憲二, 1988: 通気性資材の被覆条件下における環境特性, 通気性被覆資材の利用による野菜栽培の現状と諸問題, 野菜・茶業試験場編, 82-86.
30. 黒住徹, 1987: べたがけ資材の種類と特性, べたがけの現状と考察, 30-32.
31. Levitt, J., 1972: Responses of plant to environmental stresses. Academic press, N. Y. and London, 75-109.

32. Lindow, S. E., Arny, D. C. and Upper, C. D., 1982: Bacterial Ice Nucleation: A Factor in frost Injury to Plant. *Plant Physiol.*, 70, 1084-1089.
33. 牧野孝宏, 1985: 茶樹新芽の霜害と氷核活性細菌. *植物防疫*, 39, 14-17.
34. 三原義秋, 1969: 無加温温室の夜間温度について. *農業気象*, 25, 1-7.
35. 三原義秋, 1979: 昭和54年度全国大会シンポジウム「霜害と夜間の気象」要旨. *農業気象*, 35, 101-111.
36. 三浦半島地域農業改良推進協議会編, 1972: 三浦半島農業のあゆみ, 三浦半島地域農業改良推進協議会.
37. 中川行夫, 坪井八十二, 1958: 植物体温に関する研究 (第5報), 凍霜害対策としての氷結法及び燃焼法時の体温. *農業気象*, 14, 137-140.
38. 中川行夫・坪井八十二, 1962: 寒冷紗の夜間放射防止効果について, *農業気象*, 17, 107-109.
39. 中村広, 1988: べたがけ栽培に関する研究推進上の問題点と生理, 1) 野菜栽培におけるべたがけ資材の利用. 課題別研究会資料, 通気性被覆資材の利用による野菜栽培の現状と諸問題, 農林水産省野菜・茶業試験場, 57-64.
40. 日本農園芸資材研究会編, 1987: べたがけ事例集, 第2報. 13-69.
41. 農林水産技術会議事務局. 1978: 送風法による茶園の凍霜害防止技術, 実用化技術レポート, 63, 5-26.
42. 岡田益己・五十嵐大造, 1987: べたがけ下の環境と作物生育の特徴. 昭和62年度日本農業気象学会講演要旨, 172-173.
43. 岡野通明, 1989: 作物の凍結温度に影響する諸要因について. 千葉大学大学院自然科学研究科学学位論文.
44. 小沢行雄, 1977: 霜害の防ぎ方, 新編農業気象ハンドブック, 坪井八十二編, 養賢堂, 520-528.
45. 坂勝之助, 1972: 0°Cにおけるポプラの糖代謝, *低温科学*, B生物編, 30, 1-8.
46. 酒井昭, 1957: 木本類の耐凍性増大と糖類及び水溶性蛋白質との関係(1), *低温科学*, 生物編, 15, 17-30.
47. 酒井昭, 1959: 原形質分離による生死の判定-木本類の皮膚細胞. *低温科学*, 生物編, 17, 21-27.
48. 酒井昭, 1960: 木本類の耐凍性増大過程 VIII 糖類の季節的変動(2), *低温科学*, 生物編, 18, 1-14.
49. 酒井昭, 1961: 植物細胞の凍害の機構 I, 凍害に対する媒液の影響, *低温科学*, 生物編, 19, 1-6.
50. 酒井昭, 1965: 木本類の耐凍性増大過程 XI, 亜熱帯及び熱帯産ヤナギの耐凍性. *低温科学*, 生物編, 23, 27-36.
51. 酒井昭, 1982: 植物の耐凍性と寒冷適応, 21-28., 学会出版センター.
52. 酒井昭, 1982: 植物の耐凍性と寒冷適応, 84-86., 学会出版センター.
53. 佐久間青成, 1988: アンケート調査結果のとりまとめ. 課題別研究会資料, 通気性被覆資材の利用による野菜栽培の現状と諸問題, 農林水産省野菜・茶業試験場, 40-49.
54. 佐々木英和・市村一雄・辻顕光・小田雅行, 1993: キャベツ幼植物の低温順化による糖とデンプン含量, タンパク質組成の変化. *園学雑*62別2, 330-331.
55. 杉井二郎・梁瀬好充, 1963: 茶芽の耐凍性増加に関する研究. *茶業技術研究*, 28, 1-7.
56. Sumner, D. R. (1972). Effect of freezing injury on head rot and spot of cabbage. *Phytopathology*, 62: 322-325.
57. 陶山一雄・大林延夫, 1982: 早春キャベツに発生した腐敗病. *植物防疫*, 36, 68-71.
58. 高橋幸吉, 1985: クワの凍霜害と氷核活性細菌研究の動向, *植物防疫*, 39, 8-13.
59. 照本勲, 1958: 植物の耐凍性と浸透濃度. *低温科学*, 生物編, 16, 7-19.
60. 坪井八十二, 1964: *農業気象*, 19, 145-149.
61. Wildholm J. M., 1972: The use fluorescein diacetate and phenosahranine for determining viability of cultured plant cells. *Stain Technol.*, 47, 189-194.
62. 山中捷一郎, 羽生寿郎, 西山司, 中山敬一, 1982: 作物の霜害と環境条件, 第1報 ダイズ苗の霜害と凍結温度との関係. *農業気象*, 38, 23-28.
63. 横山とも子, 1992: 氷核活性細菌によって起こるキャベツ凍霜害及び腐敗病の拮抗細菌による生物的防除, *植物防疫*, 46, 15-16.
64. 吉田静夫・酒井昭, 1967: 植物の凍害に及ぼす融解速度の影響 I. 急速融解の害. *低温科学*, 生物編, 25, 71-79.
65. Yoshida, S. and A. Sakai, 1974: Phospholipid degradation in frozen plant cells associated with freezing injury. *Plant Physiol.*, 53, 509-511.
66. 吉田静夫, 1992: 植物の低温耐性機構, *植物細胞工学*, 4, 299-301.
67. 吉田静夫, 遠藤千絵, 前島正義, 1992: 液胞膜プロトン輸送の機能低下と低温障害. *植物細胞工学*, 4 (5), 10-18.

68. 吉川雅夫, 1978: 野菜寒害発生の実態とその防止対策(2), 農及園, 1494-1498.

Summary

The damage of bacterial head rot cultivated in winter, which is one of the most serious problems in the Miura Peninsula, was investigated in condition with mechanism of cold injury to cabbages, temperature conditions in the field and infection of bacteria. And the effects of prevention of cold injury were investigated by covering methods using cheesecloth made of Vinylon and the frost protecting fan.

The results obtained as follows:

Head rot and cold injury to cabbages occurred more frequently in low-lying fields or the fields with poor air circulation.

The environmental conditions of the fields for the inducement head rot and cold injury were similar. However the condition which caused cold injury did not caused head rot. Cold injury to cabbages occurred in condition of low temperature below -5°C for 24 hours or -7°C for 2.5 to 4 hours.

When cabbages were inoculated with bacteria (*Pseudomonas viridiflava* or *P. marginalis*) under 25°C condition, the leaves of cabbage which were injured by cold decayed. However, if the leaves were not injured, they did not rot. Although the head rot progressed very little under 5°C condition, it progressed rapidly under the condition of 15°C to 20°C .

Leaf temperature of cabbages in field often fell to less than -5°C , and occasionally less than -7°C . However, the temperature in daytime was such that it was possible for bacterial invasion and multiplication.

These results indicate that the occurrence of head rot is due to the invasion and multiplication of bacteria which is pre-disposed by cold injury.

Relations among the bacterial head rot on cabbage and the meteorological elements in growing period were investigated from 1983 to 1992 except 1987. Percentage or index of head rot occurrence were determined using from

500 cabbage plants in each year. The meteorological data were obtained from AMeDAS (automated meteorological data acquisition system) data observing in Miura city.

The cold hardiness of the third leaf from outside of the head was investigated during harvesting time for 2 years. Cold hardiness, using 'LT50' which determines the frost-killing temperature required to kill 50% of the cells of cabbage's leaves which were under the condition of low temperatures (-5 , -7.5 and -10°C) for 2 hours in low temperature water bath were calculated.

The results obtained as follows:

There were high correlations between the air temperature in the middle of November and the head rot occurrence in cabbage. The higher the mean air temperature in the middle of November than the normal, the higher the head rot occurrence. There were no relation between the duration of sunshine or the amount of precipitation and the head rot occurrence in cabbage.

The time of increased cold hardiness of cabbage's leaves was not the same. However, the lowest 'LT₅₀' was about -10°C in each year.

There were correlations between 'LT50' and the accumulated daily mean air temperature for over 4 days. The difference of 'LT₅₀' was more than 4°C during harvesting time, because of the differences in the mean daily air temperature when the cabbage were harvested.

These results indicates that if the mean air temperature in the middle of November was higher than normal, the countermeasure by covering cabbage is necessary.

The temperature conditions for increasing cold hardiness were investigated by using nursery plants leafing about seven true leaves.

Cold hardiness increased under the condition of low temperature below 7.5°C for 2 hours. The lower of 7.5°C and the longer for 2 hours cabbage disposed under the air condition, Cold hardiness increased.

The effects of covering cabbage plants to prevent cold injury were investigated using cheesecloth made of Viny-lon.

Two types of cheesecloth, #200 and #300 were used. The floating row cover method in which the cheesecloth is at a height 50cm above the ground and the contacting row cover method in which the cheesecloth is kept just above the top of the cabbages were employed.

The air temperatures under the floating and the contacting row covers, using cheesecloths #300 and #200 were 3°C and 2°C, respectively, higher than that of the control during clear nights with wind speed below 50cm/s. However, with increasing wind speed the difference between the air temperatures in the control and the row covering were slight especially in the contacting row covering, using #300. The leaf temperature under the floating row cover with #300 and #200, were 3°C and 2°C, respectively, higher than the control when the wind speed was less than 50cm/s on clear nights. With increasing wind speed over 100cm/s, there was no difference between the leaf temperatures in the contacting row cover with cheesecloths #200 and #300, and that of the control. However, there was a difference between the leaf temperatures in the floating row cover with #300 and the control. In the case of the contacting row cover, the leaf temperature increased slightly under #200 and #300, leading to a small temperature difference between the contacting row cover and the control.

These results show that the floating row cover with cheesecloth #300 was useful irrespective of wind speed. The incidence of head rot caused by cold injury under the floating row cover with cheesecloth #300 was lower than it was in the control in open field. The contacting row cover and the floating row cover with cheesecloth #200 were ineffective.

The influence of the height of the floating row cover with cheesecloth #300 on keeping the leaf temperature

higher by taking off or retaining all the sides of cheesecloth was investigated. Leaf temperature under the floating row cover, stretched 30cm above the ground was about 1.5°C higher than that of the control when the wind speed was less than 50cm/s on clear night. However, the difference in leaf temperature was counterbalanced when wind speed was more than 1m/s. When the cheesecloth was stretched 50cm and 1m above the ground, the leaf temperature was about 2.5°C higher than that of the control irrespective of wind speed. With increasing wind speeds of more than 1m/s, the leaf temperature under the cheesecloth stretching 1m high was about 1°C higher than that at 50cm.

By covering all sides with cheesecloth #300 stretched at 50cm high, the leaf temperature was about 1°C lower than that it was without the side cheesecloth.

These results indicate the advantages of choosing cheesecloth #300 rather than #200, and stretching the cheesecloth at a height greater than 50cm in order to effectively prevent cold injury to cabbage crops in the open field.

The effects of air stirring method to prevent cold injury were investigated using a frost protecting fan. The fan was set up 6m height above the ground. It's generating power was 1.8kw, and air volume was 2,200m³/min.

The fan was set to start when the air temperature at 50cm height above the ground was less than 3°C. The leaf temperatures of cabbage planted near by the fan (less than 15m) were about 4°C higher than that of the control.

These results show that the effect of frost protecting fan to keep the leaf temperature higher was because of sensible heat transfer.

The frost protecting fan was useful to prevent cold injury, however it was expensive than the covering methods.