

植物体表面温度と栽培育成条件から見た ヘデラ・ヘリックス (*Hedera helix* L.) の耐寒性について

成 富根*・近藤三雄**

(平成 14 年 8 月 23 日受付/平成 14 年 10 月 28 日受理)

要約：ヘデラ・ヘリックス (*Hedera helix* L.) の耐寒性の栽培育成条件による違い、および植物体の部位による低温感受性の違いを明らかにするために赤外線サーモグラフィ装置による植物体表面温度の解析を含めた一連の生育実験を行った。その結果、植物の耐寒性の度合、つまり最低致死温度等は空気温で表示するのではなく、植物体表面温度で示すことが望ましいこと、またヘデラ属植物の耐寒性は温室、露地という栽培環境の違いや栄養条件の違いにはあまり左右されず、風と急激な気温の低下によって影響を受けること、さらには植物体の部位によっても低温感受性は異なることなどが示唆された。

キーワード：耐寒性、ヘデラ・ヘリックス (*Hedera helix* L.)、栽培育成条件、赤外線サーモグラフィ装置、植物体表面温度

はじめに

本研究で言う耐寒性とは、植物の寒冷（低温）条件に対する耐性度合、つまり、どの程度の寒冷（低温）条件によって植物体の一部あるいは全体が枯損するのかの度合を言う。従来から言われている耐凍性も含んだ概念である。

筆者らは既にヘデラ属植物の耐寒性を究明する一環として、最低致死温度などを明らかにした¹⁾。その一連で、ハードニングの有無または自然ハードニングによって最低致死温度は相当異なることも明らかにした。

なお、植物は秋から冬に入るまで伸長成長が停止すると同時に越冬に必要な物質、つまり耐寒性を高めるための凍害防御物質を体内に蓄積する一連の物質代謝を行うと言われる²⁾。また、この作用は栽培育成条件によっても影響を受けるものと推察される。この点の生理的メカニズムについては概ね解明されているが、単に栽培育成条件の違いによって凍害や耐寒性に係る体内貯蔵物質の違いだけではなく、具体的に最低致死温度等にどの程度の影響を及ぼすかということになると、定かではない。

本研究で取り上げたヘデラ属の耐寒性に及ぼす栽培育成条件としては、実際の緑化空間に使用される苗の生産場所が温室か屋外（露地）かの栽培環境の違いと、植栽後の肥培管理の違いとが考えられる。定性的には温室で育成した軟弱苗を冬季の施工現場で使用すると、植え傷みや枯死が多くなる。また、過剰な施肥によって、ぜいたくに栽培された個体も寒風害を受け易いとされてきた。

本研究においては、この点、すなわち生理的作用機構はともかくとして、栽培育成条件の違いによって、ヘデラの最低致死温度等の耐寒性の度合に差異が認められるのか否かを実験的に究明することを意図した。また、筆者らが先に行った高速道路におけるヘデラ属植物の生育評価³⁾に関連して、冬季、強風が発生すると気温はそれほどの低温状態でないにも関わらずヘデラに枯損、すなわち寒風害が発生するという指摘もあった。この風要因もヘデラの栽培育成条件と耐寒性との関係を考える上で極めて重要なことと言える。寒風害についてはこれまでも多くの識者が関係する図書⁴⁻⁶⁾の中で、その現象説明を行っているが、具体的に低温に風要因が加わることによって、被害が発現する温度、低温臨界温度、最低致死温度がどの程度、影響を受けるのかなどについては明らかとなっていない。

この点を解明するために、風の有無による低温被害の発現状況の違いを見るための実験も併せて行った。

なお、これまで植物がどの程度の低温によって枯損するのか、あるいはどの程度の低温まで生存可能ななどの最低致死温度は基本的に空気温によって説明されてきた。

しかしながら、植物の最低致死温度は、そのメカニズムから言っても、最新の研究成果⁷⁻¹¹⁾からしても植物体の体表面温度で判断するのが本来と言える。つまり、空気温が最低致死温度に達していなくとも、風要因が加わることによって、また、生育時期や栽培育成条件のいかにによって体内に蓄積される凍害防御物質の低下した時や軟弱に生育した場合には体表面温度が最低致死温度に達し、枯損する

* 東京農業大学大学院農学研究科農学専攻

** 東京農業大学地域環境科学部造園科学科

こともある。ただし、これらの因果関係については十分解明されているとは言えない。また、植物体の部位によっても温度感受性が一様ではなく、どの部位から最低致死温度になっていくかなどの事象についても十分解明されていない。

本研究では、これら一連の事象を解明するため、具体的には以下に示すような内容の実験を行った。

1. 栽培条件の違いがヘデラ属植物の耐寒性に及ぼす影響

(1) 実験目的

本実験では露地と室内（温室）、それぞれの栽培環境によって生ずる生育状態の違いが耐寒性の程度に及ぼす影響を明らかにすることを実験目的とした。

(2) 実験方法

(A) 供試植物

供試植物は千葉県八街市での露地と温室で育成栽培された2年生の幼苗の *H. helix* L. を供試した。これらは挿木した苗を10.5 cmの育苗用のビニールポットに移し、温室内で育苗したままの苗（温室栽培品）と7月後、屋外に出し、露地で育苗した苗（露地栽培品）である。温室栽培品と露地栽培品の苗とでは、その生育状態に明らかな差が見られた。つまり温室栽培品は露地栽培品に比べて緑色は濃いが、茎葉は柔らかく、形態的には軟弱な様相を呈していた。

(B) 実験装置

実験を行った装置は人工的に低温状態が制御できる人工環境気象室（小糸工業社製）である。その寸法は縦、横、高さ170 cm×200 cm×190 cmで、室内の照度は温度条件が $-15\sim-5^{\circ}\text{C}$ の時は5,000 LUX、 $-5\sim 20^{\circ}\text{C}$ の時は15,000 LUX（光合成有効光量束密度は $82.3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ）であった。また、光周期（photoperiod）明・暗12時間切替え、湿度は80%内外とした。

所定の温度に達した供試植物は隣接する 5°C に設定した人工環境気象室内で解凍させた後、段階的に温度を上げながら再生の度合を観ることにした。

(C) 人工環境気象室の温度設定について

人工環境気象室の温度条件を 14°C から2日毎に 2°C 刻みで下げ、 -6 、 -8 、 -10 、 -12 、 -14 、 -16 、 -18°C の7段階の温度条件を実験区として、48時間後の凍結解凍後の再生状態から耐寒性の度合を判定した。各区4ポット（個体）供試した。

なお、実験は2002年2月23日から4月8日にかけて行った。

(D) 供試植物の被害・枯死の判定方法

人工環境気象室に設定した供試植物の生育状態、あるいは低温状態になるに従っての被害の発現状況については目視で観察した。また、各低温条件下での生存（耐性）の有無については凍結解凍後の茎葉の生存状態ならびに新葉の再生状態によって判定した。

(E) 葉面温度の測定、解析

本実験においては赤外線サーモグラフィ装置

（TVS-600：日本アピオニックス社製）を用い、葉面温度の測定、解析を行い、非破壊で低温による被害の度合や不可視傷害の予兆の把握を試みた。

赤外線サーモグラフィ装置の撮影にあたっては葉の表面温度の実温を正確に撮るために表面を黒塗りした厚さ1 cmのガラス板（縦40 cm×横30 cm）1枚を人工環境気象室の壁面に取付け、4個体からそれぞれ一枚ずつ切取った葉を遅滞なくガラス板に貼り付けるようにし、葉面温度の測定を行った（写真1）。

(3) 実験結果

実験結果については表1で示した通りである。目視で判定した限りでは露地栽培品と温室栽培品とではいずれの低温域でも茎葉の被害の発現度合の違いは判然としなかった。再生状態についても同様な結果を示した。

つまり、 -6 、 -8 、 -10°C 区では、いずれの栽培形態のものも概ね生存し、 -12°C 、 -14°C 区では一部の個体のみが生存した。 -16°C 、 -18°C の条件下では全ての個体が枯死した。この結果は前報¹⁾で明らかにした「*H. helix* L. では、ハードニング処理した場合には、低温による被害が発現する温度は -6°C 、低温臨界温度は概ね $-9\sim-12^{\circ}\text{C}$ の範囲であること、最低致死温度は -16°C 内外であること」を裏付けるものである。また、本実験の当初のねらいであった露地と温室という栽培環境の違いによる苗の耐寒性の差異は、結果として認められないということを示すものと言



写真1 -6°C の実験区において非冷却式赤外線サーモグラフィ装置TVS-600（日本アピオニックス社製、非冷却2次元FPA（マイクロボロメータ）、long wave 8-14 μm ）による測定の風景

表1 露地栽培品と温室栽培品の耐寒性の違いについて

実温度($^{\circ}\text{C}$)	露地栽培品		温室栽培品	
	生存個体数	生存率(%)	生存個体数	生存率(%)
-6	4	100	4	100
-8	3	75	4	100
-10	3	75	2	50
-12	0	0	1	25
-14	2	50	1	25
-16	0	0	0	0
-18	0	0	0	0

注) 各実験区の供試数は4ポット(個体)

える。

(4) 葉面温度の測定結果

前記したように *H. helix* L. の露地栽培品と温室栽培品の部位別温度感受性と低温被害との係りを知るために先端部と基部の葉の表面温度を赤外線サーモグラフィ装置 (TVS-600) を利用し、測定した。葉面温度の測定結果については、露地栽培品と温室栽培品の違い、あるいは先端部と基部の違いでも一部の温度域を除き、ほとんど差は認められなかった。一例として *H. helix* L. の露地栽培品の先端部の各設定温度域における表面温度の測定結果を表 2 に示す。4°C から -2°C までは人工環境室内の設定温度より葉面温度の方が高く、4°C 区と 2°C 区では基部の葉面温度が先端部よりも明らかに高かった。また、生存率が高かった -6°C までは露地栽培品と温室栽培品の先端部と基部の葉面温度は概ね人工環境気象室の設定温度 (空気温) を上回り、生存率が低くなる -8°C 以下からは葉面温度が一定した下降傾向が見られなくなった。

2. 低温・栄養条件の違いがヘデラ属植物耐寒性に及ぼす影響

(1) 実験目的

収穫を目的としない緑化用植物の健全生育にとっても土壌の栄養状態を一定に整えるための肥培管理は欠かせないものである。なお、稲作においては、窒素肥料の過用は寒冷の被害を大きくしているといわれることに代表されるように、窒素肥料の過剰な施用によって植物体は軟弱となり耐凍性や耐寒性を低下することになる。これは肥料成分や土壌の栄養状態がデンプンや糖、アミノ酸など凍害防御物質の生成と微妙に関係し、窒素の供給が過剰になると、糖の体内保有量が減少し、このためデンプン、繊維素の生成が十分行われない。その結果、細胞膜の十分な肥大が行われず、組織が軟弱となり、さらに細胞汁液内の糖濃度の低下に伴い、浸透圧が低下するために凍霜害の抵抗性も減少するということが説明される。このことから肥培管理のいかん、つまり土壌の栄養状態の違いが耐寒性の度合にある程度、影響を及ぼすことが推察される。

本実験においては窒素成分の濃度を 3 段階に変えて育成したヘデラ属植物の耐寒性の度合に差異が認められるか否

かを究明した。

(2) 実験方法

(A) 供試植物

H. helix L. を用い、購入したビニールポット苗を排水層として砂利 1.0 kg, 川砂 0.5 kg, 土壌層として関東火山灰心土を 3.0 kg 充填した 1/5,000 a ワグネルポットに植え込んだ。温室内で 2001 年 8 月 25 日から 2002 年の 5 月 1 日まで 249 日間にかけて養生したものを 2002 年 5 月 2 日に実験室 (人工環境気象室) に入れ、実験を開始した。

(B) 実験区

N : P₂O₅ : K₂O = 0 : 0 : 0 区 (無施肥区), 0.5 : 1 : 1 区 (窒素半量施用区), 1 : 1 : 1 区 (窒素標準施用区), 2 : 1 : 1 区 (窒素倍量施用区) の 4 区とした。施用量は純窒素量で 10 a 当たり 10 kg を標準とし、2001 年 9 月 14 日, 10 月 2 日, 2002 年 2 月 2 日, 2002 年 3 月 16 日の 4 回に分けて施用した。実験室に搬入する時点ではヘデラの供試個体は施肥の有無、窒素量の違いによってその生育状態は明らかに異なっていた。

(C) 人工環境気象室の温度設定について

人工環境気象室の温度条件を 6°C から 2 日毎に 2°C 刻みで下げ、-2, -4, -6, -8, -10, -12, -14°C の 7 段階の温度条件下を実験区として、48 時間後の凍結解凍後の再生状態から耐寒性の度合を判定した。なお、窒素の多寡による栄養条件を変えて育成したヘデラ属植物の耐寒性の違いを顕著に浮かびあがらせることを目論み、20°C 前後の温度条件の温室で養生しておいた供試個体を 6°C に設定された実験室にいきなり移し、十分なハードニングもされないような過酷な条件下で意図的に生育実験を行った。各区 4 ポット (個体) 供試した。なお、実験は 2002 年 5 月 2 日から 5 月 28 日にかけて行った。

(3) 実験結果

実験区の違い、すなわち窒素分の多寡によって明らかな成育差があったが、いずれの実験区の植物も -2°C から -14°C まで 7 段階に設定した温度条件下に 48 時間曝した後、実験区の温度よりそれぞれ 5°C 高く設定しておいた別の人工環境気象室で凍結解凍 (写真 2) 後の再生状態を見たが、全ての個体が再生せず、枯死した。

つまり、窒素分の施用量の違いによる低温条件下における成育反応、被害の発症状況、枯死状態にも全く差異が認められなかった。今回の実験の範囲に限定して言えば、栄養状態の違いは最低致死温度等からの判定を意図した耐寒性の度合に差異をもたらすことはなかったと言える。

なお、-2°C の温度条件下で全ての実験個体が枯死したというような結果は、著者らのこれまでの一連の実験結果、つまり人工ハードニング実験、自然ハードニング実験いずれも -6°C または -8°C までの供試植物全てが生存した結果とは全く結果を異にするものである。

その最大の理由としては当初の目論みでもあったが、20°C 前後の温度条件下の温室で養生しておいた個体を、これまでの実験とは異なり、6°C という、かなりの低温状態

表 2 *H. helix* L. の栽培条件及び部位別葉面温度の測定結果

部 位	先 端 部		基 部	
	露地栽培品	温室栽培品	露地栽培品	温室栽培品
栽培条件				
人工環境気象室	平均葉面温度	平均葉面温度	平均葉面温度	平均葉面温度
設定温度 (°C)				
4	5.4	5.4	10.2	10.4
2	6.8	6.4	8.2	7.5
0	8.0	8.0	7.0	7.2
-2	3.0	2.6	3.2	2.4
-4	-4.9	-5.8	-4.4	-4.0
-6	-5.2	-4.9	-7.7	-8.5
-8	-5.5	-6.9	-8.2	-8.9
-10	-14.4	-14.4	-11.3	-11.7
-12	-11.2	-10.0	-7.9	-9.1
-14	-15.6	-15.9	-15.5	-15.8

いきなり曝露し、その後、温度を低下させたため、ハードニングされず枯死したものと思われる。このことはヘデラの耐寒性を究明する上で、極めて重要なことと言える。

この結果を裏付けるためにさらに14℃と6℃からハードニングをする2通りの実験区を設け、低温状態に対する耐性度合の違いを観るための追加実験を2002年8月に行った。供試植物としてはビニールポット植えの2年生の枝長30cmの*H. helix* L.を4ポットずつ供した。

その結果、14℃から2℃刻みで48時間間隔で段階的に温度を下げた-2、-4、-6、-8、-10℃のいずれの実験区の供試植物も枯損するようなことはなかった。

一方、6℃から同様な下げ方で-2、-4、-6、-8、-10℃までのいずれの実験区の供試植物は枝葉の萎凋現象が顕著で、再生が見込めなかった。つまり、前記の実験結果と同様、急激な低温状態に曝されるとヘデラの耐寒性は著しく低下することが判明した。これらの結果は低温条件が栄養条件に優先することを示唆している。

3. 送風の有無による低温被害の差異についての実験

(1) 実験目的

ヘデラ属植物に対して風と低温が重合して起きる被害、寒風害の発生のメカニズムの一端を探るために、低温状態にした実験室内で送風の有無によるヘデラの生育状態の違いを見るための実験を行った。なお、被害の発現状況を予察、解析するための手法として赤外線熱映像による葉面温度の解析を行った。併せて送風という要因が加わった状態での露地と温室の栽培環境の違いや部位別の生育反応や葉面温度の動態の違いの把握も試みた。

(2) 実験方法

実験方法としては無風と送風時の体表面の動態的温度情報を得るために送風装置としては羽の直径50cmの大型送風機1台を供試植物のビニールポットの中心から30cm離れた所に据え置き、実験区毎に24時間にかけて風を当てた。また、動態的温度情報を得るために低温域での赤外

線熱映像を撮るに最も適していると言われる冷却式赤外線サーモグラフィ装置によって測定を行った。さらに正確な温度情報、すなわち鮮明な熱映像をとるため黒体原理^{12,13)}に従い、または不必要なサーマルノイズ(温度的雑音)が入り込むことを極力抑えるため人工環境気象室の壁面につや消しNTラシャ(黒)を施した厚さ0.7cmのスチロポリス板、横50cm×縦91cmの大きさのものを3枚取付けた。また、伝導現象も極力抑えるため壁面両面に長さ173cmのポール2台を壁面から6cm離れたところで上下69cmの幅で架けた。このポール間に6~8号の黒の糸(標準状態重量40g/糸長約70m)を使い、一定の間隔で縛りつけ、この黒糸に供試植物の枝条を絡ませるようにし、風による揺れを最小限に抑えるようにした(写真3)。無風区でも同様な要領で赤外線サーモグラフィ装置の測定を行った。

(A) 供試植物

挿木で育成されたビニールポット植えの2年生の*H. helix* L.の露地栽培品と温室栽培品を送風区でそれぞれ2ポットずつ供した。対照(無風)区でも露地栽培品と温室栽培品それぞれ2ポットずつ供試、栽培条件の違いによる部位別体感温度の具合を冷却式赤外線サーモグラフィ装置TH-5202(NEC-SANEI社製)で赤外線熱映像として撮り、温度分布の状況の解析を試みた。

(B) 実験区

実験区としては冬の寒風を想定して送風区と風の影響がされない無風区を設け、寒風に晒した供試植物の寒風害の状態を観ることにした。

(C) 人工環境気象室の温度設定について

人工環境気象室の設定温度は0℃からの送風を始める前に20、15、10、5℃で24時間ずつハードニングの段階を設けた。これは送風する以前に供試植物の形態が著しく変化し、送風による被害状況を観ることが妨げられないようにするためであった。0、-2、-4、-6℃設定の送風区では各温度区毎に24時間、大型の送風機をかけ、その植物体の形状の変化と体表面温度の変化を目視と赤外線サーモグラフィ装置による測定を行った。



写真2 施肥量による耐寒性実験、凍結の解凍を行っている。



写真3 -4℃の実験区において送風機をかけ、冷却式赤外線サーモグラフィ装置TH-5202(NEC-SANEI社製、スターリングクーラ式HgCdTe、Long wave 8-12μm)による赤外線熱映像測定風景

なお、実験は2002年7月24日から8月3日にかけて行った。

(3) 実験結果

実験区毎に風速とその時の温度をアネモハイグロメーター（熱線風速計・風量計：VS-001EX, (株)アイ電子技研社製）でその都度測定を行った結果を表3に示す。

また、送風のままの状態でも赤外線サーモグラフィ装置による熱映像の測定を試みた。これは静止状態、つまり風の影響がほとんどない状況と寒風に晒された時の植物体は相当のダメージの差があるのではという仮定に立ったものである。これは、静止状態で撮った対照区の熱映像の温度分布の色合いから見ても明らかであり、また、計測された温度値からも明らかとなった（写真4, 5, 6, 7）。その時の風速と寒風温度を表3、送風区と無風区における露地栽培品と温室栽培品の部位別体表面温度の解析結果を表4, 5に示す。

人工環境気象室のそれぞれの設定温度0, -2, -4°C区における風速は3.3~3.5 ms⁻¹であり、送風機から30 cm離れた供試植物前で測定した寒風温度は1.1~3.3°C程度低温となった。つまり、この現象はこれまで植物の最低致死温度等を空気温で表示してきたことが風要因が加わった場合には適確でないことを示唆するものと言える。さらに送風区における露地栽培品の平均葉面温度は0°C区で-6.2°C, -2°C区で-6.8°C, -4°C区で-7.5°Cとなり、それぞれの設定温度（空気温）よりも3.5~6.2°C低温となった（表4）。送風区における温室栽培品の平均葉面温度は設定温度より3.8~6.5°Cの低温になった。また、人工環境気象室の設定温度が低温になるにつれ、葉面温度との差は小さくなるものの送風区において寒風がもたらす体表面温度の

低下は明らかであった。これは、無風区と同じく設定した実験区と葉面温度差が3.1~4.4°Cとなったことから明らかである。植物は部位別に異なる凍結温度を示す¹⁴⁾とされることを検証するため、赤外線サーモグラフィ装置TH-5202の付属ソフトTH71-703による指定点温度解析を行った。

その結果、表4と5の通り、送風区においては腋芽結節点の体表面温度が葉面温度よりはそれぞれの実験区で0.5~0.7°Cと0.6~0.8°C高いことが認められた。また、無風区においては腋芽結節点の体表面温度が葉面温度よりは露地栽培品区で0.1~1.0°C, 温室栽培品区で0.2~0.6°C高いことが認められた。これは低温に晒された供試植物の体表面温度の分布が部位別に異なることを意味する。つまり、部位によっては低温感受性が異なっていることを示す。

なお、寒風害の実験期間中の供試植物の生育状態については、送風区では、既に0°Cでも寒風害による油浸状の凍結斑と過蒸散による葉の萎凋現象の相乗被害が見られ、0, -2, -4, -6, -8°Cと温度が低下するにつれ、その被害症状が顕著となった（写真8）。一方、無風区では-8°Cまで全く被害症状は発現しなかった（写真9）。また、この実験においてもその生育状態や被害症状に露地栽培品と温室栽培品とで差は認められなかった。

4. 総合考察

「耐凍性は樹体の栄養条件と被害を受ける以前の低温に晒される程度によって、ある程度変動する」¹⁵⁾、あるいは温室で育成された苗や過剰な施肥によってぜいたくに栽培された苗は耐寒性が劣るという定性的な見解¹⁶⁾をヘデラ属植物で解明するため、さらには低温に風要因が加わった寒風害を実証するために本実験を行った。

栄養条件の違いと露地と温室の栽培環境の違いによって明らかに成育状態が異なるものを実験に供したが、本研究においては、これらの栽培成条件の違いが被害の発現する温度、低温臨界温度、最低致死温度の違い、すなわち耐寒性の度合に変動をもたらすことはなかった。一般に植物の耐凍性を高める物質としては糖、あるいは凍害防御物質としてはグルコースが代表的なものとして知られている。これらの物質の生成量は栽培成条件や栄養条件の違いによって左右されるものである。

しかしながら、STEPONKUSらは、ヘデラ属については、糖やグルコースなどの物質と耐凍性の増加とは関連性が認められない^{17,18)}という実験結果を示している。今回の実験において温室と露地という栽培環境の違いや栄養条件の違いによる耐寒性の差異は認められなかったという結果は、植物体内に蓄積される凍害防御物質の分析等を行っていないため断言できないが、間接的にSTEPONKUSらの指摘と同調するものであると言える。

一方、ヘデラ属の耐寒性を左右する要因としては、本実験の結果からでは風あるいは急激な温度の低下があげられた。低温に風要因が加わることによって起こる寒風害は、風による強制蒸散がもたらす萎れが、その被害機作として考えられてきたが低温に風が加わることで空気温や植物体

表3 実験区毎の風速及び寒風温度

実験区(°C)	平均風速(ms ⁻¹)	寒風温度(°C)
0	3.4	-3.3
-2	3.5	-4.4
-4	3.3	-5.1

表4 *H. helix* L. 送風区の部位別平均体表面温度(°C)

部位	葉面		腋芽結節点	
	露地	温室	露地	温室
栽培条件	露地	温室	露地	温室
実験温度	栽培品	栽培品	栽培品	栽培品
0	-6.2	-6.5	-5.5	-5.9
-2	-6.8	-6.9	-6.3	-6.3
-4	-7.5	-7.8	-7.0	-7.0

注) 各実験区の供試数は2ポット(個体)

表5 *H. helix* L. 無風区の部位別平均体表面温度(°C)

部位	葉面		腋芽結節点	
	露地	温室	露地	温室
栽培条件	露地	温室	露地	温室
実験温度	栽培品	栽培品	栽培品	栽培品
2	-1.5	-1.8	-1.0	-2.1
0	-3.7	-3.6	-3.6	-4.0
-2	-5.8	-5.1	-4.8	-5.6
-4	-7.7	-7.1	-6.7	-7.0
-6	-10.4	-9.6	-10.0	-9.9

注) 各実験区の供試数は2ポット(個体)

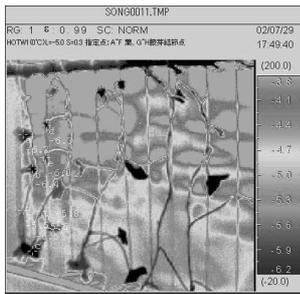


写真 4 (送風区, 0°C)

写真 4 は送風区の赤外線熱映像, 人工環境気象室の温度を 0°C に設定し, 平均風速が 3.4 ms^{-1} , 寒風温度が -3.3°C の時に平均葉面温度は -6.2°C を示した。

写真 5 は送風区の赤外線熱映像, 人工環境気象室の温度を -4°C に設定し, 平均風速が 3.3 ms^{-1} , 寒風温度が -5.1°C の時に平均葉面温度は -7.5°C を示した。

注) いずれの写真も冷却式赤外線サーモグラフィ装置 TH-5202 (NEC-SANEI 社製, スターリングクーラー式 HgCdTe, long wave $8\text{--}12\ \mu\text{m}$) によって撮影したもの。設定放射率は 0.99, 温度スケールの中央値は -5.0°C , 温度スケールの間隔を 0.3°C に設定した。平均葉面温度は TH-5202 の付属ソフト TH71-703 による指定点温度解析を行い, 得られた値である。

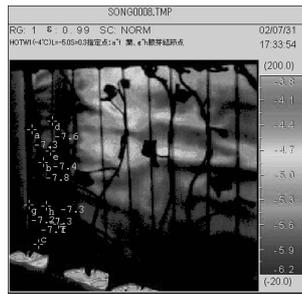
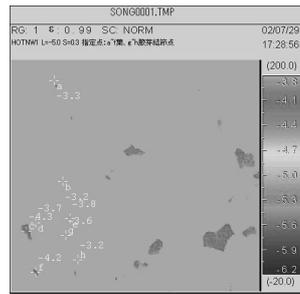
写真 5 (送風区, -4°C)

写真 6 (無風区, 0°C)

写真 6 は無風区の赤外線熱映像, 人工環境気象室の温度を 0°C に設定した時の平均葉面温度は -3.4°C を示した。

写真 7 は無風区の赤外線熱映像, 人工環境気象室の温度を -4°C に設定した時の平均葉面温度は -7.7°C を示した。

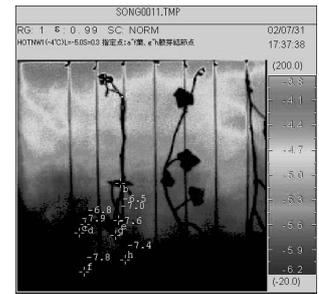
写真 7 (無風区, -4°C)

写真 8 *H. helix* L. 人工環境気象室の設定温度 0°C , 24 時間送風した時の被害状況。枝条, 葉がほとんど萎れていて寒風による被害を受けていることが分かる



写真 9 *H. helix* L. 人工環境気象室の設定温度 0°C , 24 時間無風区での状況。枝条, 葉が健全に保たれていて被害の様子は見られない

表面温度が顕著に低下することによってもたらされる低温障害もあることを示唆された。

なお, これまで植物の最低致死温度等は空気温度によって表示されることが一般的であったが, 近年の赤外線熱映像技術の向上に伴ない, WISNIEWSKI や PEARACE らの最新の研究成果⁷⁻¹¹⁾ によって植物体表面温度で表示することの妥当性が指摘されるようになった。本実験においても, 本来, 低温被害を受けない空気温度でも風要因が加わることによって植物体表面温度が空気温度よりも明らかに低下し, 低温被害が発生したという事実からも今後は植物の最低致死温度等は空気温度だけではなく, 植物体表面温度で表示することの妥当性が示唆された。

5. 結 論

本実験の結果の範囲で言えば, ヘデラ属植物の耐寒性は温室, 露地という栽培環境の違いや栄養条件の違いにはあまり左右されず, 一定の低温に風が重合した寒風や急激な

気温の低下によって著しく影響を受けることが判明した。つまりヘデラ属植物の耐寒性は, 植物体を形成する栽培育成条件, 換言すれば栽培履歴の違いではなく, 外的環境要因, ここでは風と急激な気温の低下によって著しく左右されることが明らかとなった。また, 今後は植物の最低致死温度等は空気温度だけではなく植物体表面温度で表示することの必要性や植物体の部位によって低温感受性が若干, 異なることも示唆された。

参考文献

- 1) 成 富根・近藤三雄, 2001, ヘデラ属植物の耐寒性の究明に関する実験的研究, 東京農業大学農学集報, 46 (3), 208-212.
- 2) 酒井 昭, 1985, 植物の耐凍性と寒冷適応, 学会出版センター, 東京, 127-154.
- 3) 成 富根・大矢光一・近藤三雄, 2002, 高速道路におけるヘデラ属植物の生育評価に関する一考察, 日本造園学会関東支部大会研究・報告発表要旨, 20, 77-78.
- 4) 日本生気象学会, 1968, 生気象学, 紀伊国屋書店, 東京, 949

- ～955.
- 5) 小中原実, 1988. **カンキツの気象災害**. (社)農山漁村文化協会, 東京, 25～55.
 - 6) SAKAI, A. and LARCHER, W., 1987. Frost Survival Of Plants, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 235-237, 245-246.
 - 7) PEARACE, R.S. and FULLER, M.P., 2001. Freezing of Barley Studied by Infrared Video Thermography. *Plant Physiol.*, **125**, 227-240.
 - 8) WISNIEWSKI, M., 1997. The Use of Infrared Video Thermography to Study Freezing in Plants, *Plant Cold Hardiness*, PAUL H. LI *et al*, Plenum Press, New York, 311-316.
 - 9) WISNIEWSKI, M., LINDOW, S.E. and ASHWORTH, E.N., 1997. Observation of Ice Nucleation and Propagation in Plant Using Infrared Video Thermography. *Plant Physiol.* **113**, 327-334.
 - 10) PEARACE, R.S., 2002. Plant Freezing and Damage. *Annals of Botany*, **87**, 417-424.
 - 11) ANN, B., WORKMASTER, A., PALTA, J.P. and WISNIEWSKI, M., 1999. Ice Nucleation and Propagation in Cranberry Upright and Fruit Using Infrared Video Thermography. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **124**, 619-625.
 - 12) Academy of Infrared Thermography, 2002. **赤外線サーモグラフィー学会認定一種取得セミナー教材**, NEC 三栄(株), 東京, Lv 1 Sec. 7 1-3.
 - 13) NEC 三栄(株), 2002. SAN-EI REPORT No. 127, NEC 三栄(株), 東京, 2.
 - 14) 酒井 昭, 1985. **植物の耐凍性と寒冷適応**. 学会出版センター, 東京, 82, 226.
 - 15) J・サトクリフ・左藤 庚訳, 1981. **植物と温度**. 朝倉書店. 東京, 53～55.
 - 16) 小西千賀三ら編著, 1964. **土壌肥科学 1**. 朝倉書店, 東京, 15.
 - 17) STEPONKUS, P.L. and LANPHEAR, F.O., 1968. The relationship of carbohydrates to cold acclimation of *Hedera helix*. v. Thorndale. *Physiol. Plant.*, **2**, 777-791.
 - 18) PARKER, J., 1962. Relationships among cold hardiness, water-soluble protein, anthocyanins, and free sugars in *Hedera helix* L. *Plant Physiol.*, **37**, 809-813.

The Cold Resistance of *Hedera helix* L., based on the Interrelations between Plant Surface Temperature and Cultivation Environments

By

Bugeun SEONG* and Mitsuo KONDO**

(Received August 23, 2002/Accepted October 28, 2002)

Summary : This study's experiments exemplified how cultivation environment, nutritional management and cold winter climate affected the cold resistance of *Hedera helix* L. Infrared Thermography was utilized as an analyzing apparatus to exemplify how the sensitivity response to low temperature changed in each part of the plants. Consequently, thermal properties determined by the lethal low temperature which indicates cold resistance were not measured by the air temperature but by the surface temperature of plants. Regardless of cultivation environments, *i.e.*, the nutritional condition and whether the plants were grown outdoors, or in green house, there were no differences in the cold resistance of *Hedera helix* L. However, the temperature of the plant surface was lowered steeply by a swirling fan wind simulating a cold winter wind. Hence, the leaves and shoots of the plants had obviously reached the necrosis level. Therefore, it was proven that the response to low-freezing temperature and the sensitivity to low temperature of each part of the plants were meaningfully different.

Key Words : cold resistance, *Hedera helix* L., cultivation environments, infrared thermography, plant surface temperature

* Department of Agricultural Science, Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

** Department of Landscape Architecture Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture