

冷気の流れによる農林植物災害とその対策の研究*

吉 村 不 二 男

(農学部名誉教授)

Studies on the Injuries of Cold Air Streams to Agricultural Plants and their Prevention

Fujio YOSHIMURA

(Organizer)

Summary

The objective of this project was clarifying the form of suitable cropping of the favorable districts in climatic conditions or the technique of proper farming by means of making clear the mechanism of the injuries on agricultural plants which cold air streams in hilly regions brought on.

Since the direction of cold air stream caused cold injury to agricultural plants changes climatically from summer to winter in Japan, the experiments were conducted at two separated zones: the northern parts including Hokkaido and Tohoku areas, and the southern parts including Chiubu and Shikoku areas. In the northern parts, the air photographs of cold air stream were taken on infrared films, and their pictures and the original infrared digital data of GMS were analyzed by the image processing system, so that the extent of the affected districts was able to be identified. Furthermore, the locality of cold injury of agricultural plants was signed on the map through determining the direction of cold air stream with rain-like fog. And agricultural plants affected from cold injury are variable from summer to winter not only in species and varieties, but also in difference in their growth environments. Then in the southern parts, the tissue temperature at various parts of plants was taken by thermopile and infrared radiation thermometer. On the other hand, the test plants being raised in the phytotron and plastic film house in order to change the stages and conditions of their growth were subjected to artificial frost-injury. At the same time their cold hardiness was tried to relate with changes in nutritional contents in the plant determined by chemical analysis.

The main results of the present study are outlined in Section 1-7.

1. The oceanic cold air with rain-like fog blown in summer from the coast of Pacific Ocean to Yufutsu and Ishikari low-plain in Hokkaido and to eastside of Hakkoda Mountains in northern parts of Tohoku. This blowing of cold air stream has been called "Yamase" in Aomori Prefecture. The clouds of "Yamase" were shown 1000~1500 m thick, and at the coastal sides it was very low temperature and rose about 2~5°C as blowing on the plain. In "Yamase" blowing regions lettuce and spinach, wheat were able to cultivate comparatively, but azuki-bean and soy-bean had no adaptability. Azuki-bean raised in growth chamber controlled as the "Yamase"-blowing showed poor growth, mostly effected by low air temperature and secondarily by poor solar radiation.

2. Topoclimatological observations were carried out in the Sugadaira high land in Nagano Prefecture in autumn. The down slope wind began to blow on the higher parts of slope at 4 p.m. last evening, and blew at 2 m/sec. successively to about 6 a.m. next morning. The cold air lake was formed in bottom of basins and valleys, and appeared to go away after 7 a.m. Where it was -3°C in bottom of basins, at 150 m higher parts of slope it was +1°C.

3. In Yasu valley having sharp slope and in Geisei small-plain surrounded by gentle slope of coastal terraces, facing Tosa-Bay respectively in Kochi Prefecture, the observations were carried out in winter. In Yasu it was about 1~2°C lower at minimum air temperature than in Geisei. The nocturnal wind from 4 p.m. last evening to 9 a.m. next morning blew successively from the north along the bottom of the valley, at 1~2 m/sec., on 70% frequency. On the other

* 詳しい内容については、文部省科学研究費の自然災害特別研究、研究成果 No. A-57-8 を参照。

hand, in Geisei the winds were variable to blow from the north and the west during the night, and then it was warmer in Geisei plain than in Yasu valley.

4. In general, the plants were hardened with cold air temperature in late autumn and early winter. In course of winter the starch inverted to sugars and amino-acids, specially Proline, were accumulated in plant cells. In leaves of the late ripening citrus trees, maximum starch-sugar conversion and relatively high rate of reducing sugar accumulation were found on mid January on the plain field in central area in Kochi Prefecture. The citrus trees covering with plastic film, however, gradually accumulated starch, but reversely reduced total sugars and almost all of amino-acid constituents decreased as the day go by. And then the trees were frost-damaged.

5. The microclimate around planting, wind and air temperature, appeared to be delicate variation. The land form and aspect of tea garden and evergreen orchard of citrus and loquat were important factors in varying the degree of cold injury and frost-damage according to location. In southern parts of Japan, the plants sustained frost-damage when they were exposed to wide daily fluctuations in air temperature. And the increased day temperature of plants due to solar radiation prevented to increase in hardiness and plants could not to keep high hardiness. Frost-damages of plants and young loquat fruit were prevented by either shading or shortening the length of time during which they were exposed to solar radiation.

6. The ethylen glycol solutions are easy to worked into plant tissues and keep them in high frost-hardiness, and so the trees and the bearing fruit of late ripening citrus varieties, sprayed with 3 or 5 % solutions of ethylen glycol on early December, were protected from frost-damage on late January in Kochi Prefecture.

7. Results tested on lettuce and chinese cabbage were as follows. It appears to be difference on the osmotic pressure of leaf juice among their varieties. The young plants were strong frost-hardiness with high osmotic pressure but as growing the outer leafy head showed to be low on the osmotic pressure. The close correlation the osmotic pressure and Brix index in leaf juice was found. And the osmotic pressure of leaves and frost-hardiness were to be higher by active assimilation due to deep and vigorous roots, by means of irrigating and applying N-manure, keeping in high soil temperature with transparent film mulch. In pea and garlic, as the plants grew larger and higher and after their flower bud differentiation begun, the symptom of cold-damage on green pods and leaves were shown on January.

緒 言

この研究の目的は、丘陵地に吹走する冷気の流れによる農林植物の被災機構を気象学的、植物生理生態学的、栽培学的に求め、適地適作型、耕種法を究明することである。当研究を進めていく手法として、冷気の流れが夏季と冬季とで気象学的に性格が著しく違ふこと、また、被災植物も種類、品種はもちろん植物生理生態学的に異なるところから東北、北海道地域と中部、西南暖地地域とに大きく分け、各地の冷気の流れについて小気候学的観測を加味して気象学的解析を行い、また小気候に影響されている農林植物の被災の実態と小気候に対応する低温抵抗性の変動などを調査して、低温発現の予察と被災の予測と回避と対策とを、昭和55年、56年の2ケ年にわたって解析し、研究して取りまとめた。

本研究における分担者は13名で、それぞれ担当は次のとおりである。

- 1) 低温気象および冷気流の発生についての気象学的研究——北大 堀口郁夫および高橋英紀、弘前大 ト蔵建治、筑波大 吉野正敏、岡山大 瀬尾琢郎ら 高知大 山口信之および吉村不二男
- 2) 耕地、樹園地における低温障害の発生の研究——名大 山本良三ら、高知大 吉村不二男ら
- 3) 農林植物の低温障害発生の植物生理生態学的、栽培学的研究——北大 酒井昭、弘前大 佐々木信介ら、名大 江幡守衛、高知大 加藤徹および中島芳和
- 4) 研究の総括——高知大 吉村不二男

なお、この研究調査の成果は十分とはいえないが、学際的な面で一つの試金石となり、栽培は場

の接地小気候学的研究と小気候に対応する農林植物の植物生理生態学的、栽培学的な総合的検討を促すことを期待している。

研究 成 果

1. 東北、北海道地域

1. 1 当研究成果として次のことが言える。東北北部および北海道勇払、石狩低平地に吹走する冷海霧は、オホーツク海高気圧の周辺部で発生して、大平洋上を海霧を伴って西南に向って吹く寒冷的な風で、道南では苫小牧から北上する南風、東北北部では下北の沿岸から侵入する東風—“やませ”—で、もやや霧の時は沿岸地帯で著しい低温となり、内陸吹走中に昇温して午前晩くか午後には消散するが、雨霧の時は1日中吹走し続け、風速もやや強く、北は札幌、西は八甲田山に及び、石狩、長沼でも1日当たり4時間以下の日照である。東北北部の観測では、雲層の厚さは1000~1500mで、低温なほど雲頂が扁平で、地上から受熱して雲の下層が薄くなり、受熱の多い市街地や八甲田山上で雲頂が隆起して昇温して消散し、弘前や秋田で被害が少なくなる。山の低い所は昇温せず吹走し、山形、十三湖で冷害となる。これが“やませ”の局地性である。

1. 2 冷海霧の吹走地域では、水稲作は耐冷性品種の選抜や耕種法の改善など多岐にわたる研究成果ではぼ安定しつつあったものの、最近短年間の社会のニーズや経済の変動から、過去の研究成果を生かしきれず、水稲作が不安定となり、一部が畠作、野菜作へ転じなければならない状況となっている。当研究で次のことが明らかとなった。1) 高地(標高800m)ではエンドウ、ハウレンソウと一部で小麦、レタスの栽培が可能で、小豆、大豆、トウモロコシは不適当であり、2) 平地では大豆、小豆、レタスと一部ではトウモロコシが作れるが、3) トウモロコシは雨霧で不授精となり、結実不良現象がみられる。“やませ”による小豆の不作は寡照よりも低温による葉数不足が大きく影響している。この方面の報文が極めて少ないが、エンドウ、ハウレンソウ、レタスなどの野菜には品種が多く、生育日数の短いものもあって、“やませ”回避の耕動法が考えられる。耐冷野菜としてタマネギ、パレインショ、キャベツ、グリーンおよびホワイト・アスパラガスもある。この地域の夏季乾燥と夜温の降下を利用して、極早生系のスイカ、メロンの栽培も新しく取り入れられている。なお、現在冷害を受けた水稲が青立ちのまま放置されている状態であるが、その被害を予知し、被災の規模が予測されるならば、技術対策や耕種のうえから一時野菜作への切り換え、農政上の処置が機を失せず対応できる。当研究結果から、出穂前の気象資料でかなりの予測値が得られている。

2. 中部、西日本の冷気流の発現

2. 1 当研究の長野県菅平での観測で、最も顕著な冷気湖が形成された10月24日の例を示すと、前日の16時にはすでに斜面上部(標高1350m)で斜面下降風が吹き始め、夜間の風速は2m/secで、盆地底(標高1250m)でほとんど無風である。この下降風は翌朝6時半まで吹き続け、7時過ぎには弱まって、冷気湖の消失を意味していた。斜面上部で昇温と冷却を繰り返している間、盆地底では冷気の流入と放射冷却で、気温は下降するばかりである。盆地底で -3°C 、その周縁で -2°C 、斜面下部で -1°C 、盆地底からわずかに50~150m上がった所で 0°C 、150mの所で $+1^{\circ}\text{C}$ 以上あって、盆地底と 5°C 近い差がみられた。名寄、旭川盆地の10年間の各月の最低気温の年平均を用いて冷気湖を解析すると、その高さは1月が最高で220m、7、8月が最低で135mであった。また、両盆地の1月の平均最低気温分布図を作ってみると、標高400m以下で逆転し、 $0.84^{\circ}\text{C}/$

100 mの割合で標高の低いほど低温で、 $T=0.0084H-16.83$ の数式で400m以下の地点の1月の平均最低気温が推定できる。中部地域の気象資料から平均最低気温を求めると、90~150 mに逆転層があって、遞減率は $0.62^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ で、地形図上に最低気温の推定分布を入れて、1月に移動観測して比較してみたところ、高い相関が得られた。

2. 2 農林植物の生育している接地気層の温度や風は微妙な変化をしている。全国の茶栽培地の凍霜害報告を解析すると、平地の茶園より斜面の方が被害は少なく、斜面下方より上方で被害が少ない。斜面の方位では東面、南面に被害が多い。平坦な台地も冷え、盆地底では被害は一層大きい。平坦地で家屋や樹林付近、川や道の周辺も被害は少ない。幅80mの河川敷では川に近づくほど被害がなくなる。狭いテラス畑では斜面の山側に被害が多い。

2. 3 室戸市の海岸段丘の麓、西向き急斜面にあるビワ園で、A園には段丘を分けるほど深い、水のない谷が北に隣接していて、夜間に冷気が峡谷を段丘下の平地まで流下してきて、緩い北の風によってA園内に冷気が吹きだまって低温となり、凍害を発生している。A園から北700mの同じような急斜面のB園では、最低気温がA園より 1°C も高く、さらに $0.8\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 高い斜面上部に早生ビワが植えられていて、凍害を受けていない。また、標高140 m~160 mの海岸段丘上の緩斜面の畑は、うしろに高い山があるために冷気が段丘上に停滞し、段丘下のビワ園より著しく寒冷であることがわかった。

2. 4 高知県内の山を隔てて隣接している海岸平地で、一つは両側斜面が急で門口が狭く、奥が深い。他の一つは両側斜面が緩く、門口が広く、奥行き浅いものを比べると、後者が最低気温で $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 高くて温い。快晴の静夜には、前者は両側の山頂(標高200 m)より低い所に逆転層ができて平地全体が冷える。この際、平地で $1\sim 2\text{ m}/\text{sec}$ の山風が90%の頻度で吹き、谷に沿った方向は70%の頻度で、吹走時間は夕刻18時から翌朝の9時の間で、冷気が奥の方から移流しているようである。後者は両側が緩い傾斜畑なので高さとともに温く、平地中央に浅い冷気湖を作って低温域ができる。しかし、風向が前者ほどに定まらず、西寄りの風の吹く頻度が多く、夜半に西寄りの風に変わることもあって、この風で混合現象が起きて温暖なであろう。前者のように冷える平地で、後者と同じ野菜の耕種法で、施設栽培を行うことは不利であろう。

3. 農林植物の低温抵抗性の変動、強化と保護対策

3. 1 植物は秋から冬へと適当に低温に遭い、低温抵抗性を高め、冬季の低温で一層強化していく。通常、体内水分、でん粉含量が減って、糖含量が増し、アミノ酸のプロリンが蓄積していく。西南暖地のように昼間の日射が強くて温かく、そのうえ、三寒四温形式で冬季に温暖日が続くと、低温抵抗性に変動を生ずる。カンキツ樹を12月中旬にビニールで被覆栽培してみると、以後、冬季中でん粉含量が増し、糖含量が減り続けて、低温抵抗性が著しく低下して凍害を受けている。晩秋から初冬まで温かかったり、2月から日射が強くなり、中旬から温かくなって、低温抵抗性に変動を生じ、その後の低温で意外な凍害を生じている。この現象は、林木、カンキツ樹、茶樹でよくみられるところである。また、昼間に日射が強く、乾燥で地温が下がったままで、吸水が抑えられて急速にしおれ、青枯れや落葉、落果が林木や茶樹、カンキツ樹で起きている。

3. 2 日射の強いことは植物の局所の温度に著しい変化を生じ、1畝の茶樹や1本のカンキツ樹冠で頂部、東南側の枝葉に凍害が起き、林木、栗の幹の下部、南側で凍害がみられる。また奇妙なことには、防寒のつもりで袋を掛けたビワの幼果で凍害が起きている。日当たりにある袋内の気温をみると、夕刻までは高く、日没後急に下降し、最低温度で気温より 2°C 低くなっている。したがって、夜間には袋内の果実温は日陰果より $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 低かった。また、日当たりの果実の温度が日陰果に比べて昼間は高く、夜間に $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 低くなっている。例えば、1月8日の早朝に気

温がほぼ -1.5°C に下降したとき、日当たり果、袋掛け果では -3.1°C にすでに下がって凍るのがみられた。一般に、日当たり果に比べて、袋掛け果が凍りやすく、解け難い傾向がしばしばみられた。白カンレイシヤ布でピワ樹を囲うと、例年より最低気温で $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ も低い冬であったが、果実が全然凍ることなくて大きく肥大した。このように同化作用のできる程度の遮光は凍害軽減に効果があった。

3. 3 エチレングリコール液は植物の皮層細胞に容易に浸入し、細胞膜の耐凍性を高める。晩生カンキツ類は着果のまま越冬し、植物自体も温州ミカンに比べて低温抵抗性に著しく劣るものである。そこで、エチレングリコール3%以上濃度液を12月中旬に葉面散布しておく、樹体のみならず果実の低温抵抗性を高めることを知った。

3. 4 草本類—野菜では、低温となると養水分の吸収低下から微量要素欠乏の症、葉の呈色現象がみられ、生育阻害から心腐れ、縁腐れ、心止り現象が起きる。更に気温が下がって凍害が起きる。凍害について次のような結果を得ている。一般に、種をまいて伸び出した幼苗は浸透圧が高く低温抵抗性を持っているが、伸長して生殖生長に入ったもの、結球現象の進んだものは、浸透圧が低くなり、低温抵抗性が低下する。寒冷な期間に幼苗で被災を回避することも一つの方法である。なお、浸透圧と汁液のブリックス示度とは高い相関があつて、低温抵抗性の簡易な判別手段として使用できる。このことはレタスやハクサイで繰り返しテストした。エンドウやニンニクは花成が進むと低温抵抗性が著しく落ちるので、それらを促成栽培するときは、栽培接地気層の保温対策が必要である。そのためにかん水も一つの方法である。野菜の場合、チッソ施用、かん水は根張りをよくし、同化作用を促進して体内成分濃度を高め、低温抵抗性を高める場合が多かった。

3. 5 平坦地の冷える所で上層の温暖域の空気を吹き下ろす防霜ファンは、すでに茶園や果樹園で利用され、効果をあげている。積極的な方法として、多数のオーチャード・ヒーター(重油バーナー)をたいて、ウインド・マシン1台をまわして、1ha 当たり $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 昇温した外国の例がある。また、凍害防止法としてスプリンクラー散水が考えられるが、冬季の降水量の少ない西南暖地で、水源を確保することが難しいうえに、施設や方法に難点が多い。例えば翌朝の最低気温を予測して散水量を決めるので、夜温の変温や予想外の気温降下に対応して散水量を増やせない。配管の立ち上がりや散水頭に凍結も起きて、カンキツ樹が見事な氷柱に包み込まれてしまう結果となり、解ける時に氷塊が返転、落下して、多数の枝葉が折損し、かえってその被害が大きい。

(昭和57年9月17日受理)

(昭和58年2月5日発行)

