晩生カンキツ果実の凍結による す上がりの発生限界温度

中 川 行 夫*・本 条 均*・小 中 原 実**

(*農林省果樹試験場
**静岡県柑橘試験場伊豆分場)

Critical Temperature for Decrease of Fruit Juice
resulting from Freezing of Fruits in Late Maturing Citrus

Yukio NAKAGAWA *, Hitoshi HONJO * and Minoru KONAKAHARA **

(* Fruit Crops Research Station, Hiratsuka, Kanagawa 〒254
** Shizuoka Citrus Experiment Station, Izu Branch, Higashiizu, Shizuoka 〒413-04)

1. は し が き

最近、晩生カンキツの栽培面積が増加する傾向にあるが、晩生カンキツの果実は3～4月に収穫されるので、枝葉に比較して耐凍性の弱い果実が樹上で越冬することになり、冬季低温な地域では果実の凍害が発生して問題になっている。晩生カンキツの果実が樹上で越冬中にかなりの低温に見舞われると、果実が凍結し、その後す上がり（果汁が消失する現象）が起こって比重が低下したり、苦味が出たり、あるいは落果するなどの凍害が発生する。中川・小中原・角田（1965）は先に、ナツダイダイ果実の凍結は気温が -5°C 以下になると起こるので、 -5°C 以下の発生ひん度が小さい場所でないとは安定した栽培はできないと述べているが、果実の凍結が必ず果実の凍害に結びつくかどうかは明らかにされておらず、また種類によってす上がりの起こる低温の程度やその継続時間も解明されていない現状である。

本報告は、これらの点を実験的に調査し、気象からみた晩生カンキツの栽培適地条件の解明に役立てようとするものである。

2. 研究 方 法

1975年2月中下旬に、ナツダイダイ、イヨカン、フクハラオレンジ、ヒュウガナツ、アケネブントンの各果実を供試し、低温槽を用いて $-2\sim-7^{\circ}\text{C}$ で6～12時間の低温処理を行なった。その後、これらの果実を 5°C で40～

50日間貯蔵してから果実の比重の変化を測定し、無処理区の果実の比重と比較した。なお、低温処理時に一部の果実の表皮温や果肉温を0.1 mmの熱電対を用いて測定し、果肉の凍結の有無や凍結時の温度を調査した。さらに、冬季の低温な夜に、屋外にある果実の表面温度や果肉温度と百葉箱内外の気温との関係を熱電対によって観測した。

3. 結 果

3.1 果実の低温処理による比重の低下

低温処理の温度および継続時間と果実比重の低下の関係を示したのがTable 1である。6時間処理では、処理温度が低くなるほど果実の比重が低下する傾向が明らかに認められるが、無処理区と比較して統計的に有意差が認められたのはフクハラオレンジの -5.7°C 区だけで、ほかはすべて有意差が認められなかった。一方、12時間処理では6時間処理よりも果実比重の低下が著しく、ナツダイダイ、イヨカン、フクハラオレンジでは -4.5°C 以下の処理区はすべて無処理区と有意差が認められた。ヒュウガナツは -3.6°C 以下の処理区で有意差が認められたが、アケネブントンはどの処理区でも比重の低下が起こらなかった。

3.2 果実の凍結時間と比重の低下

果実の低温処理の時間と凍結時間とは一致しないので、次に述べる方法で凍結時間を直接測定した。すなわち、果肉部にあらかじめ熱電対を差しこんでおき、低温処理によって果肉が過冷却した後温度が急昇したときを果実

Table 1 果実の種類、低温処理温度、処理時間と比重の低下の関係

6 時 間 処 理								
種 類 \ 処理温度	無処理	-2.8℃	-3.5℃	-4.3℃	-5.7℃	-6.5℃		
ナ ツ ダイ ダイ	0.785	0.808	0.795	0.760	0.752	0.732		
イ ヨ カ ン	0.645	0.601	0.570	0.635	0.554	0.555		
フクハラオレンジ	0.838	0.859	0.862	0.816	0.611*	0.798		
ヒ ュ ウ ガ ナ ツ	0.829	0.828	0.773	0.787	0.781	0.718		
ア ク ネ ブ ン タ ン	0.517	0.570	0.512	0.551	0.553	—		
12 時 間 処 理								
種 類 \ 処理温度	無処理	-2.4℃	-3.0℃	-3.6℃	-4.5℃	-5.2℃	-5.8℃	-6.2℃
ナ ツ ダイ ダイ	0.785	—	0.779	0.760	0.739*	—	0.676*	0.696*
イ ヨ カ ン	0.645	—	0.593	0.578	0.522*	—	0.548*	—
フクハラオレンジ	0.838	0.815	0.798	0.783	0.734*	—	0.712*	0.730*
ヒ ュ ウ ガ ナ ツ	0.829	0.823	0.785	0.750*	0.686*	—	0.636*	0.639*
ア ク ネ ブ ン タ ン	0.517	—	—	0.564	0.540	0.563	—	—

注) * : 5%の危険率で無処理区の比重と有意

Table 2 果実の凍結時間と比重の低下の関係

6 時 間 処 理						
種 類 \ 処理温度	-2.2℃	-2.8℃	-3.5℃	-4.3℃	-5.7℃	-6.5℃
ナ ツ ダイ ダイ	凍 結 しない	凍 結 しない	1:45	4:00	4:35	—
イ ヨ カ ン	〃	〃	2:15	2:30	6:00	6:45
フ ク ハ ラ オ レ ン ジ	〃	〃	4:45	4:15	6:10*	6:30
ヒ ュ ウ ガ ナ ツ	〃	〃	2:30	2:15	5:25	6:15
12 時 間 処 理						
種 類 \ 処理温度	-2.4℃	-3.0℃	-3.6℃	-4.5℃	-5.8℃	-6.2℃
ナ ツ ダイ ダイ	凍 結 しない	凍 結 しない	3:30	8:45*	7:00*	13:00*
イ ヨ カ ン	〃	3:30	7:30	9:45*	11:50*	—
フ ク ハ ラ オ レ ン ジ	〃	6:15	10:15	11:20*	11:50*	13:15*
ヒ ュ ウ ガ ナ ツ	〃	7:15	10:30*	9:35*	10:00*	11:30*

注) 1:45は果実が1時間45分凍結したことを示す。

* : 5%の危険率で無処理区の比重と有意

の凍結開始、果肉温度が氷点下から次第に上昇して0℃を越えたときを融解と考え、凍結開始から融解までの間を凍結時間とみなした。

この方法によって測定した果実の凍結時間をTable 2に示した。これから、凍結時間6～7時間を境目にして、凍結時間がこれより短い4～5時間のときには無処理区と有意差のあるほどの果実比重の低下はまったく起こらないが、これより長い7～8時間以上のときには著しい比重の低下が認められる。

3.3 果肉が凍結し始めたときの果実表面温度

果肉部が凍結し始めるためには、果肉部がその融点(約-1～-1.5℃)以下に低下することがまず必要である。しかしFig.1から認められるように、実際に果実が凍結する場合には融点付近で凍り始めることは少なく、-2～-5℃まで過冷却してから凍結することが多いが、過冷却の度合は一定でなくかなり変動している。これに対して、果実表面温がある限界温度以下に低下すると、例外なく果肉が凍結することがFig.1から認められる。この限界温度は果実の種類で少し異なり、ナツダイダイで-3.5～-4℃、イヨカン、フクハラオレンジ、ヒュ

Fig.1 果肉部が凍結を開始したときの果肉温および果実表面温(●：低温室で凍結，▲：野外で凍結，○：低温室で未凍結，△：野外で未凍結)

ウガナツで $-3 \sim -3.5^{\circ}\text{C}$ ，アクネブントんで $-5 \sim -5.5^{\circ}\text{C}$ となっている。

ところで、圃場にあるカンキツ樹の樹冠外周付近に着果している果実が凍結した場合、日出後2～3時間で融解することが多い。したがって、果実が7～8時間以上凍結状態を保つためには、24時頃から果肉の凍結が始まる必要がある。すなわち、24時にすでに果実表面温度がイヨカン、フクハラオレンジ、ヒュウガナツで $-3 \sim -3.5^{\circ}\text{C}$ 以下に、ナツダイダイで $-3.5 \sim -4^{\circ}\text{C}$ 以下に、またブントんで $-5 \sim -5.5^{\circ}\text{C}$ 以下に達した夜には、果実が7～8時間以上凍結して明らかな比重低下をもたらすことが平均していえると考えられる。

このように、果実の種類によって凍結が始まる果実表面温度が異なり、凍りにくいものはより低い表面温度にならないと凍らないことが認められる。この凍結の難易度に関与する要因を明らかにするために、Table 3に示したような項目を調査した。その結果、最も凍りにくい

Table 3 果実の種類別の果皮の厚さと果汁成分(10～20果の平均，3月上旬調査)

種 類	果 重	果皮の厚さ (赤道部)	可溶性 ^a 固形物	クエン酸 ^b	融 点
ナ ツ ダイ ダイ	392.0g	6.55 mm	10.09	1.574	-1.04°C
イ ヨ カ ン	225.5	6.71	11.57	1.560	-1.20
フクハラオレンジ	157.3	4.44	10.88	1.947	-1.20
ヒ ュ ウ ガ ナ ツ	128.2	4.27	12.60	2.407	-1.21
アクネブント	828.0	19.95	10.77	1.401	-1.09

注) a：単位は重量%，b：g/100 g 果汁

アクネブントンの果重が最も重く、果皮(フラベドとアルベド)が最も厚いことが認められた。その次に凍りにくいナツダイダイの果重は第2位を示したが、果皮の厚さはイヨカンと同程度であった。果汁成分、つまり融点、可溶性固形物およびクエン酸は凍結の難易度には関係が小さいと考えられる。

3.4 果実表面温度と百葉箱内気温の関係

圃場で樹冠外周に着果した果実の夜間の表面温度は放射冷却によって周囲の気温や百葉箱内気温よりも低温に経過するが、凍害の起こるような夜にはとくにこの傾向が著しい。Fig.2およびFig.3には、百葉箱内気温と樹冠外周の地上1.2～1.5 mに着果したヒュウガナツ、フクハラオレンジ、アクネブントンの果実の表面温度の関係を低温な夜についてだけ整理したものである。Fig.2から、フクハラオレンジ、ヒュウガナツでは果実表面温度が $-3 \sim -3.5^{\circ}\text{C}$ のときに百葉箱内気温が平均して $-0.5 \sim -1.0^{\circ}\text{C}$ を示すといえる。イヨカンにつ

Fig.2 ヒュウガナツ、フクハラオレンジの果実表面温と百葉箱内気温の関係

Fig.3 アクネブントンの果実表面温と百葉箱内気温の関係

いても Fig. 2 の関係を使うと、同様に果実表面温度が $-3 \sim -3.5^{\circ}\text{C}$ のときに百葉箱内気温が $-0.5 \sim -1.0^{\circ}\text{C}$ となる。ナツダイダイでは Fig. 2 の関係を使って、果実表面温度が $-3.5 \sim -4^{\circ}\text{C}$ のときに百葉箱内気温が $-1 \sim -1.5^{\circ}\text{C}$ を示す。アケブントンでは Fig. 3 の関係から、表面温度が $-5 \sim -5.5^{\circ}\text{C}$ のときに百葉箱内気温が平均して $-2.5 \sim -3^{\circ}\text{C}$ を示すといえる。

上述したことから、24時に百葉箱内気温がすでに $-0.5 \sim -1.0^{\circ}\text{C}$ 以下に達した夜には、樹冠外周の地上 $1.2 \sim 1.5\text{m}$ に着果したフクハラオレンジ、イヨカン、ヒュウガナツの果実に明らかなす上がりをもたらし、比重の低下する凍害が起こるといえる。同様にナツダイダイでは $-1 \sim -1.5^{\circ}\text{C}$ 以下、アケブントンでは $-2.5 \sim -3^{\circ}\text{C}$ 以下のときに凍害が発生する。

ところで、凍害の起こるような夜には、24時気温と翌朝の最低気温には相関がみられ、平塚市の果樹試験場の観測によると、 $Y = -3.47 + 0.70X$ (X : 24時気温, Y : 最低気温) が求められた。この関係から、24時気温を最低気温に読み替えて表現すると、イヨカン、フクハラオレンジ、ヒュウガナツでは百葉箱内の最低気温が $-3.5 \sim -4.5^{\circ}\text{C}$ 以下、ナツダイダイで $-4 \sim -5^{\circ}\text{C}$ 以下、アケブントンで $-5 \sim -6^{\circ}\text{C}$ 以下になった日には、果実の凍結による明らかなす上がりが発生して果実比重の低下することが平均的にいえる。

4. 考 察

4.1 果実の凍り方と被害

果実表面温度がある限界値以下に達すると、果肉部の凍結が始まることが Fig. 1 から認められる。これから、果実の表面付近の組織がある温度まで冷やされると凍結が始まり、この氷がフラベド、アルベドと広がって果肉に達し、果肉部の凍結がひき起されると考えられる。ブントンのようにアルベドの厚い果実では氷が果肉にまで広がりにくいために果肉が凍結しにくく、フクハラオレンジ、ヒュウガナツのようにアルベドの比較的薄いものは果肉が凍結しやすいという説明ができる。しかし、イヨカンが果皮(フラベドとアルベド)の厚さにおいてナツダイダイと同程度であるにもかかわらず、ナツダイダイよりも凍りやすい理由については今のところ説明できない。

果肉部は多くの砂じょうからできているが、全砂じょ

うが同時に凍結することはまずあり得ないと考えられる。低温がきびしく長い夜には、ある時間をかけてほとんどの砂じょうが凍結すると考えられるが、低温の程度がそれほどでもない夜には何割かの砂じょうだけが凍ると思われる。Table 1, Table 2 に示したように、低温の程度が同じでも果実の凍結時間が長くなるとす上がりに伴う比重の低下が著しくなるのは、凍結した砂じょうの割合が増加するためと考えられる。また、果実の凍結時間が同じでも低温がきびしい夜には、砂じょうがより多く凍結すると思われる。なお、凍った砂じょうはすべて融解後次第に内容物の果汁を消失するのか、それとも砂じょうの凍り方や凍結時間によって果汁の消失が左右されるのかについては今後の研究に待ちたい。

4.2 果実の凍結によるす上がりの発生限界温度

この実験では果実だけを低温処理して貯蔵後の比重低下を調査する手法を採用したので、果実が樹上にあって同一の低温を受けた後の比重低下と異なるのではないかと疑念が生じる。石内ら(1975)はフクハラオレンジの圃場での低温によるす上がりを観察し、 -4°C 以下が3時間以上続いた場合に発生すると述べている。これは本実験で得られた最低気温が $-3.5 \sim -4.5^{\circ}\text{C}$ 以下で起こるという結果とよく一致しているので、本実験の手法です上がり発生の限界温度を調査しても差し支えないと考えられる。

5. む す び

この実験から、イヨカン、フクハラオレンジ、ヒュウガナツでは百葉箱内の最低気温が $-3.5 \sim -4.5^{\circ}\text{C}$ 以下、ナツダイダイでは $-4 \sim -5^{\circ}\text{C}$ 以下、アケブントンで $-5 \sim -6^{\circ}\text{C}$ 以下になると、果実の凍結によるす上がりが発生して明らかに果実比重が低下することが明らかにされた。

引 用 文 献

- 1) 石内伝治・奥代直巳・高原利雄・七条寅之助, 1975: フクハラオレンジに関する研究(第1報) 気象条件の品質に及ぼす影響, 園芸学会 50 年度秋季大会研究発表要旨, 116-117.
- 2) 中川行夫・小中原実・角田篤義, 1965: 果樹の気象的適地に関する研究(2) ナツミカン果実の凍害温度, 農業気象, 21, 47-52.