

ミニ特集：クリシギゾウムシに対する臭化メチル代替技術の現状

氷蔵によるクリシギゾウムシ駆除技術

京都府森林技術センター 小林 正 秀

はじめに

千年以上にわたって都が置かれた京都府には優れた農林水産物も多い。丹波くりは、京のふるさと産品協会がブランド産品として指定する29品目に含まれているが、歴史の長さでは群を抜いている。宇治茶ですら栽培が始まったのは13世紀であるが、丹波くりの名は、905年に編纂が始まった延喜式に登場する。長い歴史を持つ丹波くりであるが、近年は、クリの需要量の減少や病虫害被害の多発など受難続きで、生産量が減っている。

クリ果実は、栄養価が高く、ビタミンやミネラルも豊富で、獣や昆虫にとっても魅力的な食料である。京都府では、イノシシ、クマ、サル、シカのほかにアライグマによる被害も増えている。また、クリ果実は、毬(イガ)で嚴重に保護されているにもかかわらず、多種類の昆虫が加害し、なかでもクリシギゾウムシは、半数以上のクリ果実に産卵することがある(小林, 1993)。

クリシギゾウムシは、成虫が長い口吻をきりもみ状に動かして果皮に小さな穴をあけ、そこに産卵管を挿入して産卵する。果肉を摂食して成長した幼虫は、果皮に径3mm程度の穴をあけて脱出し、土中に潜って成虫になるまでの期間を過ごす(猪崎, 1978)。成虫が産卵の際にあけた穴は小さく、幼虫は果皮の外に糞を排出しないことから、被害果を見分けることは難しい。ただし、見た目に判らないからといって、そのまま出荷すると、大きく育った幼虫が消費者を驚かせることになる。そこで、果実内の卵または幼虫を駆除するため、収穫後のクリ果実は臭化メチルでくん蒸されてきた(関口, 1971)。

臭化メチルは、ガス化しやすいために即効性があり、分解も早いために薬害も少なく、引火性や刺激性もないので取り扱いも容易である。このような優れた性質を持つため、農産物の病虫害駆除のほかに、輸出入産物のくん蒸や文化財の消毒にも利用されている(高橋, 2001)。しかし、この優れた物質に、オゾン層を破壊するという思わぬ欠点があることが発覚し、先進国では2005年までに、不可欠用途を除いて全廃されることが決定した。

このため、多くの作物で代替法が開発され、クリについてはヨウ化メチルが代替薬剤として農業登録されていた。

またくん蒸以外の臭化メチルの代替法として、クリ果実を低温貯蔵する方法も提案された(吉松, 2000)。この方法は、薬剤を用いることなく安全に実施できるが、冷蔵庫を用いて実施する場合、クリ果実の乾燥を防ぐために保湿剤を混入したり、ポリエチレン袋で覆う必要がある(吉松, 2000)。このような複雑な作業は、大量のクリ果実を処理する場合に支障となるため、低温高湿度条件を安定的に維持できる壁面冷却式冷蔵庫(以下、氷蔵庫)による氷蔵法を検討したので、その概要を報告する。

I 氷蔵庫の概要

東京冷熱株式会社製(現在は小林製袋産業株式会社が製造・販売)の1坪タイプの氷蔵庫(図-1)を京都府林業試験場(現、農林水産技術センター木材利用推進室)に設置して各種の試験を行った。氷蔵庫は、庫内の壁中に冷却水(不凍液)を循環させて貯蔵物の輻射熱を吸収する冷熱輻射方式であり、従来の冷蔵庫の冷気対流方式とは異なるシステムである。氷蔵庫の場合、庫内に冷風が生じるため、庫内の湿度を100%近くに保つことはできず、庫内全体を均一に冷却することも難しい。これに対して、氷蔵庫は、庫内の湿度をほぼ100%に保つこと



図-1 試験に用いた氷蔵庫

Control Method for *Curculio skkimensis* by Icing Storage of Chestnut. By Masahide KOBAYASHI

(キーワード: クリシギゾウムシ, 駆除, 氷蔵, 臭化メチル, 代替法)

ができ、庫内全体を均一に冷却できる。氷蔵庫は、庫内を100%有効利用して、貯蔵物を凍結による障害が起きないギリギリの温度で貯蔵できるため、ナシやブドウなどの果物、ナスなどの野菜、花きや魚類の保存に利用されている。氷蔵庫を用いた氷蔵は、冷蔵庫を用いた氷温貯蔵とは全く異なる方法である。この方法が生産現場で普及すれば、出荷調整が容易となり、「生鮮食品」や「旬の食材」という言葉の概念が変化する可能性すらある。

II 氷蔵によるクリシギゾウムシの駆除効果

2001年は、氷蔵庫による貯蔵によってクリシギゾウムシが駆除できるかどうかを把握するための試験を行った。9月10日～10月15日の間、クリ果実を3kgずつ16回(計48kg)収穫した。毎回、1kgはそのままクリ果実害虫調査用一斗缶(図-2)に投入し(対照区)、残り2kgは1kgずつ氷蔵庫(設定温度は10月9日までは -3.5°C 、10月9日以降は -2.0°C)に入れ、それぞれ1週間後と2週間後に取り出して一斗缶に投入した。12月7日、一斗缶の砂をふるいにかけてクリシギゾウムシ幼虫の脱出数を調査した結果、対照区のクリ果実928粒から2,652頭(1果実当たりの加害数は2.86頭)が脱出した。被害が本格化した9月20日以降に収穫したクリ果実を対象に殺虫率(対照区の1果実当たりの加害数に対する割合)を求めた結果、1週間貯蔵では31.8%であったが、2週間貯蔵では76.8%に達した(図-3)。この試験によって、クリ果実を氷蔵することでクリシギゾウムシが駆除できること、貯蔵期間が長いほど駆除効果が高いことが明らかになった。

2002年は、設定温度を -2.0°C にした氷蔵庫で、3週間貯蔵した場合の駆除効果を把握するための試験を行った。9月9日～10月15日の間、2箇所のクリ園からクリ果実を4kgずつ6回(計48kg)収穫し、1kgに対して次の4処理を実施した後、一斗缶に投入した。

- ①無処理(対照区)。
- ②臭化メチルでくん蒸(くん蒸区)。
- ③氷蔵庫で2週間貯蔵(2週間区)。
- ④氷蔵庫で3週間貯蔵(3週間区)。

12月9日、一斗缶内に脱出したクリシギゾウムシ幼虫数を調査した結果、対照区のクリ果実615粒から611頭(1果実当たりの加害数は0.99頭)が脱出した。2001年と同様の方法で殺虫率を求めた結果、くん蒸区はほぼ100%で(クリ果実596粒から3頭の脱出)、2週間貯蔵区は75.2%、3週間貯蔵区は95.3%であった(図-4)。くん蒸処理でも、殺虫率が100%に達しない場合があることから(小林, 1993)、クリ果実を氷蔵庫で

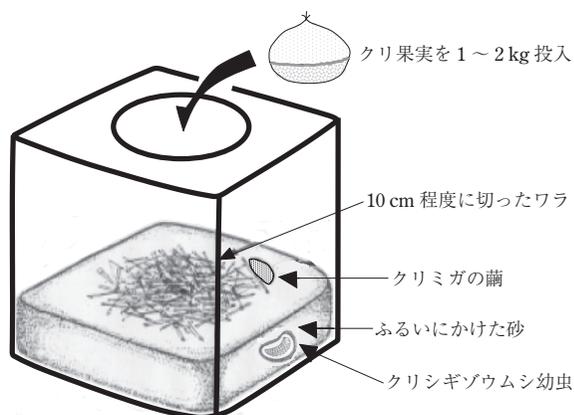


図-2 クリ果実害虫調査用一斗缶

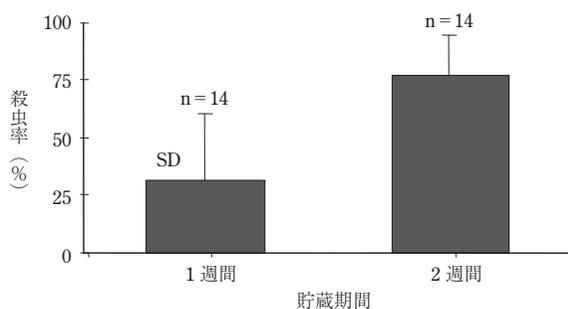


図-3 貯蔵期間1週間と2週間の殺虫率(2001年)

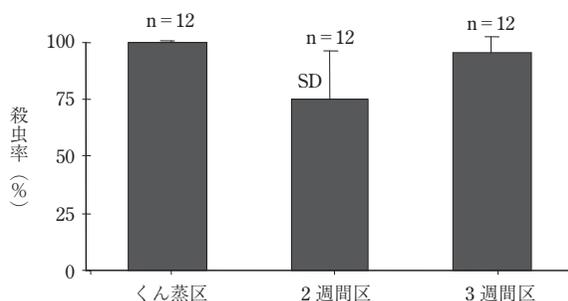


図-4 貯蔵期間2週間と3週間の殺虫率(2002年)

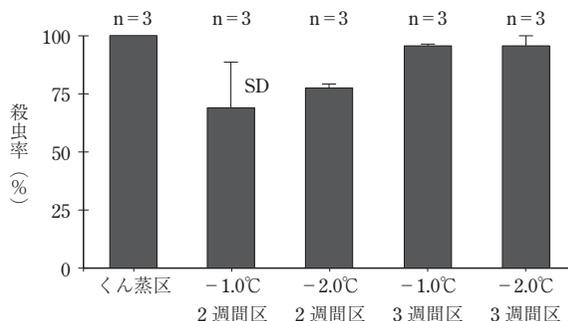


図-5 設定温度 -2°C と -1°C の殺虫率(2002年)

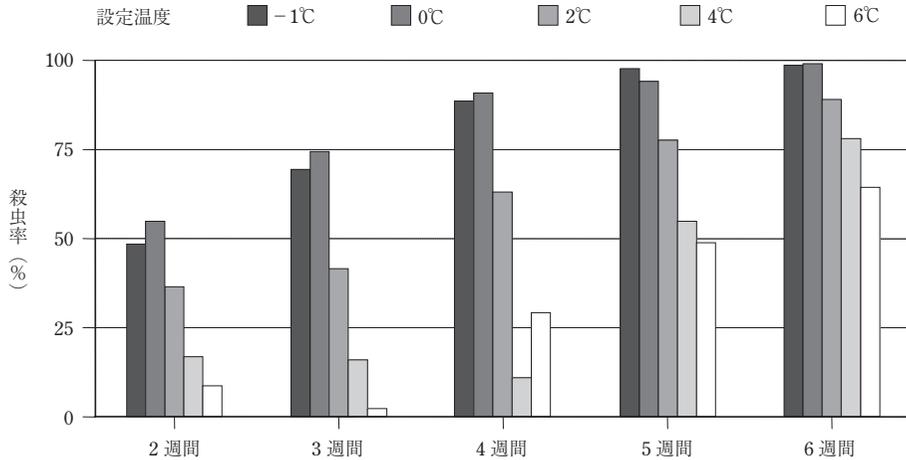


図-6 設定温度と貯蔵期間別の殺虫率 (2003年)

3週間貯蔵する方法の駆除効果は、実用レベルにあると考えられた。

2001年の調査では、氷蔵庫の設定温度が低いとクリ果実が凍結して食味が低下した。そこで、設定温度を、クリ果実が凍結する心配がない -1.0°C にした場合の駆除効果を把握するための試験を行った。試験には、JAに出荷されたクリ果実の中から、クリシギゾウムシによる産卵痕が確認できたものを用いた。2002年10月7日、16日および23日の3回、それぞれ6kgのクリ果実を選別し、1kgに対して次の6処理を実施した後、一斗缶に投入した。

- ①無処理 (対照区)
- ②臭化メチルでくん蒸 (くん蒸区)
- ③ -1.0°C の氷蔵庫で2週間貯蔵 (-1.0°C , 2週間区)。
- ④ -2.0°C の氷蔵庫で2週間貯蔵 (-2.0°C , 2週間区)。
- ⑤ -1.0°C の氷蔵庫で3週間貯蔵 (-1.0°C , 3週間区)。
- ⑥ -2.0°C の氷蔵庫で3週間貯蔵 (-2.0°C , 3週間区)。

12月9日、一斗缶内に脱出したクリシギゾウムシ幼虫数を調査した結果、対照区のクリ果実134粒から744頭(1果実当たりの加害数は5.55頭)が脱出した。殺虫率を求めた結果、くん蒸区はほぼ100%で(クリ果実128粒から1頭の脱出)、3週間貯蔵した場合は、設定温度が -1.0°C でも -2.0°C でも95%以上に達した(図-5)。

2003年は、最適な設定温度と貯蔵期間を把握するための試験を行った。9月1日、8日および15日の3回、毎回、27kgのクリ果実を収穫し、1kgはそのままクリ果実害虫調査用一斗缶に投入し(対照区)、1kgは臭化メチルでくん蒸後に一斗缶に投入した(くん蒸区)。残り25kgは、設定温度が異なる5台の氷蔵庫(設定温度 -1 , 0 , 2 , 4 および 6°C)に5kgずつ入れ、2, 3, 4,

表-1 食味評価試験の採点基準

点数	採点基準
+3	こんな美味しいクリは初めて
+2	非常に美味しい
+1	まあまあ美味しい
±0	美味しくもまずくもない
-1	あまり美味しくない
-2	まずい
-3	非常にまずい
-4	まずくて食べられない

5および6週間後に1kgずつ取り出して一斗缶に投入した。12月15日、一斗缶内に脱出したクリシギゾウムシ幼虫数を数えて殺虫率を求めた。その結果、設定温度が 0°C 以下の場合、4週間貯蔵することで殺虫率が90%以上に達したが、設定温度が 2.0°C 以上では殺虫率が低下した(図-6)。2002年と2003年の試験結果から、氷蔵庫の設定温度 0°C で4週間貯蔵すれば、クリシギゾウムシがほぼ駆除できることが明らかになった。ただし、2003年の試験では、 -1.0°C に設定した氷蔵庫のドアを頻繁に開閉したため、殺虫率が低下したことから、設定温度 -2.0°C で4週間貯蔵するのが最適であると考えられた。

III 氷蔵したクリ果実の品質

氷蔵によってクリシギゾウムシが駆除できても、クリ果実の品質や食味が低下したのでは現場で使えない。そこで、2001年9月6日～10月24日の間に収穫した6品種を対象に、氷蔵したクリ果実の食味評価試験を行った。河野ら(1984)に準じて、 90°C のお湯で90分間ゆ

でたクリ果実を、10人に3粒ずつ配布して8段階の基準(表-1)で採点してもらった。なお、氷蔵庫の設定温度は、9月1～4日の間は -3.5°C 、9月4～9日の間は -5.0°C 、9月9日～10月9日の間は -3.5°C 、10月9日以降は -2.0°C とした。また、氷蔵庫内の温度とクリ果実の品温を温度データロガー(ESPEC, RT-11)によって30分ごとに記録した。その結果、氷蔵庫の設定温度を $-5.0\sim-3.5^{\circ}\text{C}$ とした場合、クリ果実の品温は $-3.1\sim-2.3^{\circ}\text{C}$ となり、一部が凍結した。凍結したクリ果実は発酵臭が感じられ、食味が低下した。一方、設定温度を -2.0°C とした場合、クリ果実は凍結せず食味が向上した(表-2)。2006年も、9月20日～10月30日の間に収穫したクリ果実を、 -2.0°C に設定した氷蔵庫で1～7週間貯蔵して食味評価試験を行った。その結果、

収穫直後(無貯蔵)のクリ果実の平均食味点数は -0.38 であったが、氷蔵したクリ果実の平均食味点数は、いずれの貯蔵期間でもプラスの値となり、食味が向上した(図-7)。

氷蔵することで食味が向上する原因を解明するため、氷蔵したクリ果実の糖含量を調査した。2001年9月10日～10月4日の間、‘丹沢’、‘国見’、‘筑波’、‘銀寄’および‘石鎚’の5品種を8kgずつ収穫し、収穫直後(無貯蔵)または2週間～4か月間氷蔵したクリ果実の糖類の含有量(クリ果実100g当たりの重量)を測定した。その結果、いずれの品種でも、氷蔵1か月後までにスクロース(ショ糖)の含有量が急増し、その他の糖類も緩やかに増加した(図-8)。クリ果実を低温で貯蔵すると、デンプンからショ糖への転換反応が起こり、糖含量が上昇するが(永井ら, 1992)、氷蔵した場合でも糖含量が上昇することが確かめられた(SHINA et al., 2006)。

表-2 食味評価試験(2001年)

品種	クリ果実品温(°C)	貯蔵期間	凍結の有無	調査クリ果実数	平均食味点数
丹沢	室温	0日	無	30	0.20
	$-3.1\sim-2.3$	11日	有	30	-1.20
銀寄	室温	0日	無	30	0.40
	$-3.1\sim-2.3$	7日	有	30	-1.03
石鎚	室温	0日	無	30	0.33
	$-3.1\sim-2.3$	7日	有	30	-0.03
岸根	室温	0日	無	30	1.60
	$-1.0\sim-0.9$	6日	無	30	1.13
正月	室温	0日	無	30	1.23
	$-1.0\sim-0.9$	6日	無	30	1.33
晩赤	室温	0日	無	30	-0.10
	$-1.0\sim-0.9$	103日	無	30	1.00

IV 氷蔵法の可能性と課題

クリ果実を氷蔵することで、クリシギゾウムシが駆除できるだけでなく、クリ果実の食味が向上することを確認できた。氷蔵庫は取り扱いが容易で、保湿のための作業は必要なく、安全性も高い方法である。このため、氷蔵庫を導入した方からは好評を得ている。しかし、1台価格が数百万円以上する氷蔵庫を、クリシギゾウムシの駆除目的に導入した例は少ない。この原因は、臭化メチルの使用が許されてきたことと、ヨウ化メチルで代替できる目途が立っていたためである。ところが、ヨウ化メチルにも課題があることがわかってきた。ヨウ化メチルは、沸点が 42°C と高く(臭化メチルの沸点は 4°C)、くん蒸処理時に、加温と扇風機による攪拌が必要であり、

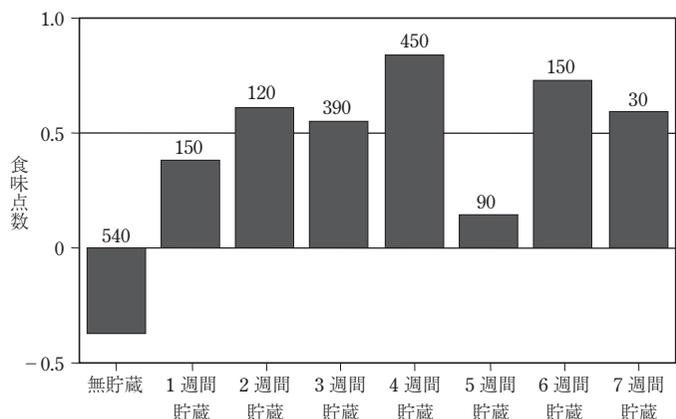


図-7 貯蔵期間別の平均食味点数(2006年)

グラフ上の数値は調査クリ果実数。

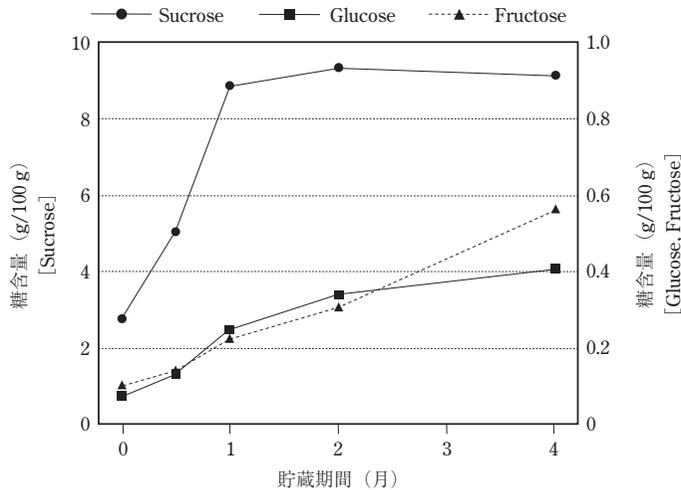


図-8 '銀寄'の貯蔵中の糖組成の変化
SHIINA et. al (2006)を改変.

強制排気装置を備えた気密性の高い施設や、緩衝地帯も必要となる。そのうえ、ヨウ化メチルは原料が逼迫して価格が高騰しており、安定供給が危ぶまれている。このため、今後は、氷蔵庫の導入が検討されると予想される。

氷蔵庫の導入が進まない原因はほかにもある。3～4週間もクリ果実を貯蔵する必要があるため、旬を逃すことが危惧されている。しかし、このデメリットは、やり方によっては大きなメリットにできる。剥皮が容易な品種として注目されている'ぼろたん'など、早生品種の栽培が増えているが、夏期の気温上昇などで早生品種の収穫期が早まり、価格が下落している。このため、クリシギゾウムシの被害を受けない早生品種から氷蔵し、順次、収穫されたクリ果実を氷蔵してトコロテン式に出荷すれば、出荷調整が可能となる。実際に、京都府林業試験場では、2003年に580kgをJAに出荷して70万円近くの収入を得ているが、早生品種を氷蔵し、価格が上昇した9月中旬以降に出荷することで、5万円以上の収入増となった。

氷蔵法を普及するためには、大量のクリ果実を扱う施設で利用可能な技術にする必要がある。少量のクリ果実を氷蔵する場合には問題にならないが、大量のクリ果実をかためて氷蔵する場合、内部に位置するクリ果実の品温が下がらず、駆除効果が低下する可能性がある。そこで、2004年は、約100kgのクリ果実をコンテナに入れ、-0.5℃に設定した氷蔵庫で3週間貯蔵し、この間、コンテナ表層部と内部のクリ果実の品温をデータロガーで測定した後、コンテナ内部のクリ果実の殺虫率を求めた。その結果、コンテナ内部のクリ果実の品温は0～4℃

で推移し、表層部のクリ果実よりも2℃程度高かった。また、コンテナ内部のクリ果実の殺虫率は36.0%と低かった。そこで、2006年は、40kgのクリ果実を衣装ケース(透明プラスチック容器)に入れ、-2.0℃に設定した氷蔵庫で4週間貯蔵し、この間、衣装ケース表層部と内部のクリ果実の品温を測定した後、表層部と内部のクリ果実の殺虫率を求めた。その結果、内部のクリ果実の品温は-0.5～2.5℃で推移し、表層部のクリ果実よりも1.5℃程度高かった。また、殺虫率は、表層部のクリ果実が100%であったが、内部のクリ果実は90%に低下した。2013年は、コンテナに20kgのクリ果実を入れ、-2.0℃に設定した氷蔵庫で4週間貯蔵して同様の調査を行った結果、表層部と内部のクリ果実の品温や殺虫率に大差はなかった。これらのことから、氷蔵するクリ果実の塊は20kg以下とし、輻射熱を奪いやすい透明な容器に入れる必要があることがわかった。1坪タイプの氷蔵庫の容積は5m³以上あるが、クリ果実間に空隙を設ける必要があるため、3t程度が貯蔵の限界と考えられる(年に3回貯蔵しても、年間処理量は9t程度)。このため、100t以上のクリ果実を扱う施設では、大型の氷蔵庫を導入する必要がある。

氷蔵法では、クリシギゾウムシを完全に駆除できないことも問題点である。臭化メチルの代替法として、クリ果実を50℃の温湯に30分間浸漬する温湯処理法が実用化されている(二井ら, 2006)。この方法は、作業工程が多いこと、クリ果実の品質が低下する場合があること、大量のクリ果実が処理できないことがデメリットとして指摘されている。しかし、クリシギゾウムシを完全

に駆除でき、炭疽病も防除できる。これに対して、氷蔵法では、クリシギゾウムシを完全に死滅させることは困難であり、氷蔵後のクリ果実を常温に置くと、生き残った幼虫が活動を再開して脱出する可能性がある。消費者の中には、1頭でも幼虫の姿を見れば驚く人がいることから、氷蔵したクリ果実は、常温に置かず、できるだけ早く消費することを注意喚起する必要がある。また、氷蔵法では、収穫してから速やかに処理しないと、駆除効果が低下することも問題点である。クリシギゾウムシは、ふ化後20日程度の短期間で終齢に達するため（中垣ら、1984）、収穫後に1週間以上も放置したクリ果実内には、大きく成長した幼虫が存在することになる。成長した幼虫は低温に曝しても死亡しにくいいため、収穫後に放置したクリ果実は、氷蔵しても駆除効果が低くなってしまふ（小林ら、2003）。ヨウ化メチルによるくん蒸や湯湯処理でも、収穫してから速やかに処理しないと、果実内部が幼虫に食い荒らされ、処理する意味を失うが、氷蔵法では、駆除効果が低下するため、こまめに収穫して速やかに処理することがより重要となる。

氷蔵法の最大のメリットは、氷蔵庫がクリ以外の農作物に利用できる点である。氷蔵庫を職場に導入する際、スペースが奪われることや、電気代が危惧された。しかし、電気代は同じ規模の冷蔵庫よりも安価であり、マツタケなどの実験材料の保存などにも利用できるため、今では氷蔵庫は不可欠な存在となった。構造が単純なためか、故障も少ない。JAや道の駅などは、クリ以外の農作物も扱っていることから、クリ以外に利用できるメリットが活かせるはずである。この技術を普及するためには、大量のクリ果実を処理した場合の駆除効果や作業性等を把握するとともに、他の農作物に利用できるメリットも把握する必要がある。

おわりに

臭化メチルを使用しなければ、クリ産業が立ちゆかないという理由で、不可欠用途申請が行われ、臭化メチルが使われてきた。しかし、この特別扱いも終了し、2014年からは臭化メチルを使わない方法で対応しなければならない。ヨウ化メチルへの移行が主流になるだろうが、この薬剤が将来にわたって安定供給される保障はない。また、放射能汚染や残留農薬の問題が頻発し、食の安全に対する関心が高まっている中で、薬剤でくん蒸したクリ果実が、いつまでも消費者に受け入れられるとは思えない。

千年以上の歴史がある丹波くりは、今、最大のピンチに立たされている。氷蔵法は研究レベルでは確立された技術である。今後は、氷蔵庫を多くの現場に導入し、よりよい技術に改良していただきたい。そうしなければ、先人達が苦勞して築き上げた丹波くりの歴史に終止符を打つことになりかねない。クリはお腹を満たすための単なる食材ではなく、世界文化遺産に登録された和食にも欠くことができない存在であり、日本文化を支える重要な一員であることを忘れてはならない。

引用文献

- 1) 二井清友ら (2006): 関西病虫研報 48: 89 ~ 90.
- 2) 猪崎政敏 (1978): クリ栽培の理論と実際, 博友社, 東京, 738 pp.
- 3) 河野澄夫ら (1984): 園学雑 53: 257 ~ 264.
- 4) 小林正秀 (1993): 日林関西支論 2: 199 ~ 202.
- 5) ————ら (2003): 森林防疫 52: 155 ~ 162.
- 6) 永井耕介ら (1992): 兵庫中央農技研報 40: 29 ~ 34.
- 7) 中垣至郎ら (1984): 関東東山病虫研報 31: 164 ~ 165.
- 8) 関口計主 (1971): 今月の農業 15: 16 ~ 18.
- 9) SHINA, T. et al (2006): Acta Horticulturae 712: 771 ~ 776.
- 10) 高橋俊巳 (2001): 今月の農業 45: 22 ~ 24.
- 11) 吉松敬祐 (2000): 農業電化 53: 31 ~ 33.