

[別紙 2]

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 王 蕾

食品としての農産物には高品質であることが求められる。食品を長期に保存する方法としては凍結保存が実用化されている。しかし、農産物の凍結保存については氷結晶形成による細胞膜をはじめとする生体組織の損傷、解凍後の品質低下などの問題点が残されている。この問題を解決するために、凍結防御剤の導入や急速冷却によるガラス化のような、凍結点以下の温度で生じる氷結晶の成長を制御する方法が模索されてきた。しかし、氷結晶の形成割合を人為的に制御するのは困難であり、成功に至っていない。一方、疎水性水和物は、水に疎水性ガスを溶解させるとガス分子の周囲に水素結合ネットワークが発達した水（構造化した水）が生成し、その後、形成される氷状結晶である。氷結晶と比較して、疎水性水和物は 0℃以上の温度でも形成でき、その形成割合は温度・圧力などの条件を設定することにより、人為的に制御できる可能性がある。また、疎水性ガスであるキセノンガスの溶解による水の構造化は、麻酔のメカニズムとして提案されるなど、生物の代謝抑制と関係することが指摘されてきた。このような知見と凍結プロセスにおける問題点を考え合わせると、長期間の保存を可能にするには、構造化した水とともにキセノン水和物と凍結の併用が効果的であると考えられる。このとき、過剰な水和物の形成は細胞膜に損傷を与える可能性があるため、部分的に水和物を形成させる必要がある。このような熟慮に基づいて、本研究では、キセノン水和物の部分的な形成を利用した凍結プロセスの制御による農産物の長期保存法の提案を目的とし、基礎的知見を提示するために、細胞・組織レベルでの長期保存法について検討した。

第 1 章では序論として、現行の長期保存法である凍結保存法の既往の研究についてまとめ、凍結保存における問題点について述べた。また、氷結晶と異なるキセノン水和物を利用した保存法を検討する意義を述べ、本研究の背景と目的を示した。

第 2 章では、超純水において、キセノンガスを溶解させることで形成されるキセノン水和物のサイズ分布について検討し、設定した条件の範囲で最も小さなサイズのキセノン水和物が形成される条件は 1℃、1.0 MPa であることを示した。その上で、この条件をオオムギ子葉鞘細胞に適用し、生存率の観点から、氷結晶に比べ、キセノン水和物の形成を利用

した保存法により細胞膜の損傷が軽減されることを示した。

第 3 章では、キセノンガス処理時間の調整により、水和物の形成割合の制御が可能であることを示した。また、生存率ではなく細胞内水の拡散係数及び細胞膜の水透過性係数の評価に基づいて、キセノン水和物の形成割合を 50%以下に制御することで細胞膜の物理的な損傷が抑制できることを示した。

以上の結果を受けて、第 4 章では、キセノン水和物を部分的に形成させた上で凍結させるという凍結プロセス制御の有効性を保存後の細胞内水の拡散係数に基づいて評価した。その結果、水和物の形成割合を組織内水の 30%~50%に制御した上で凍結させた組織では、細胞膜の損傷が軽減されることを示した。また、X 線イメージングにより、オオムギ子葉鞘組織におけるキセノン水和物の形成を確認し、細胞内にも小さい水和物が分散的に形成された可能性を示した。これにより、キセノン水和物の形成割合を制御して凍結することが細胞・組織レベルでの長期保存に有効であることを示した。

以上、本論文は、組織内の一部にのみキセノン水和物を形成させる条件を示すとともに、このキセノン水和物の部分的な形成を利用した凍結プロセスの制御が、細胞・組織の長期保存において、細胞膜の損傷を軽減する上で有効であることを示したものであり、学術上・応用上貢献することが少なくないと考えられる。よって審査委員一同は、本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。