	ｻｻｷ ﾕｳﾏ
氏　　名	**佐々木　勇麻**
本籍（国籍）	岩手県
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研第 833 号
学位授与年月日	令和５年３月２３日
学位授与の要件	学位規則第５条第１項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科　生物資源科学専攻
学位論文題目	**Influence of postharvest technology application to transportation and processing for fruits and vegetables on reduction of environmental impact** **（青果物の流通・加工プロセスにおけるポストハーベスト技術が環境負荷低減に及ぼす影響）**
学位審査委員	主査　岩手大学准教授　折笠　貴寛 副査　岩手大学教授　　小出　章二 副査　山形大学教授　　片平　光彦 副査　弘前大学教授　　張　樹槐

論　文　の　内　容　の　要　旨

Among the Sustainable Development Goals (SDGs), Goal 12 includes the target that by 2030, the per capita global food waste should be halved at the retail and consumer levels, and food losses along production and supply chains should be reduced. According to an FAO report, the large amounts of resources required to produce food that is eventually wasted are consumed in vain, resulting in greenhouse gas emissions with no additional benefit, which impedes achievement of Goal 13 among the SDGs, i.e., climate action.

To decrease the loss and waste, some postharvest technologies have been developed such as drying and freezing. These postharvest technologies can decrease food loss but increase the environmental load due to electricity and material consumption for drying and packaging production. Thus, it is important for sustainability maintenance to assess the increase-decrease balance from an environmental perspective. One of the suitable methods for balance evaluation is life cycle assessment (LCA). LCA studies have evaluated postharvest techniques from an environmental perspective. Additionally, many LCA reports consider the environmental loads of package production throughout the life cycle of foods. However, these LCA studies neglected the influence of food loss reduction attributed to packaging on the environmental impacts (i.e., the indirect impact of packaging).

This thesis assesses the trade-offs regarding postharvest technologies (packaging and drying) and environmental impact by LCA to evaluate a reduction potential of environmental loads in the life cycle of fruits and vegetables through introducing the

technologies and to environmentally optimize the food supply chain. Chapter Ⅰ describes a general introduction of fruits and vegetables and established postharvest technologies. Chapter Ⅱ identified the environmental hot spot in the strawberry life cycle. Additionally, this study estimates the reduction of environmental loads in cultivation process by some potential scenarios. Chapter Ⅲ evaluates three types of packaging for strawberries to optimize the packaging conditions from environmental viewpoint. Chapter Ⅳ focuses on the packaging for peaches and compares packaging and nonpackaging conditions to quantify the reduction potential of environmental loads through food loss reduction by packaging and to find the environmental hot spot. Chapter Ⅴ assesses five types of packaging for peaches to obtain a finding for producing an environmentally friendly packaging condition and models the relationship between food loss ratio and environmental load. Chapter Ⅵ models the relationship between food loss reduction via packaging for ripened peaches and the environmental load in their life cycle, advising on how the packaging of ripened peaches can be designed based on transportation distance, for least load on the environment. Chapter Ⅶ discusses the influence of the protection for spinaches by Modified Atmosphere Packaging (MAP) on the life cycle environmental loads. Additionally, this study proposes a model to estimate the environmental loads of the spinach life cycle. Chapter Ⅷ targets a drying process of cabbages, and thus significant reduction potential of environmental load by postharvest technology would be left. The balance between the quality of dried cabbages and environmental load of the life cycle was also discussed. Chapter Ⅸ summarizes the general conclusion based on the obtained results.

（和訳）

持続可能な開発目標（SDGs）の目標 12 では、2030 年までに小売店や消費者レベルでの一人当たりの世界の食品廃棄を半減させ、生産・サプライチェーンにおけるロスを削減することが掲げられている。FAO の報告によると、食品の生産に伴い消費される資源について、その食品が消費されずに廃棄された場合、食料生産に伴う資源の消費は無駄となってしまい、結果として何の付加価値も生まない無駄な温室効果ガスの排出を引き起こすと指摘している。このことは、SDGs の目標 13「気候変動に具体的な対策を」の達成を脅かすものである。

食品ロス・廃棄の削減ために、乾燥や冷凍など様々なポストハーベスト技術が検討されている。これらポストハーベスト技術の導入により食品ロスを減らすことができる一方で、導入に伴う電力や材料の消費などによる環境負荷の増加が懸念される。したがって、ロスの削減と技術の導入に伴う環境負荷増加のバランスを評価することは、環境面からみた持続可能性を向上させるために重要である。このバランスを評価するのに適した手法の 1 つに、ライフサイクルアセスメント（LCA）手法がある。LCA を用いてポストハーベスト技術を環境面から評価する研究はこれまでにも実施されおり、包装についても、その製造に伴う環境負荷は食品の LCA を実施する際に考慮されている。しかし、これらの LCA 研究では、包装材使用による食品ロスの削減が環境負荷に与える影響（包装の間接的な影響）は考慮されていない。

本論文では、フードサプライチェーンにおける環境面での最適化を実現することを目的に、ポストハーベスト技術（包装・乾燥）と環境負荷のトレードオフを LCA により評価し、これ

ら技術の導入に伴う青果物のライフサイクルにおける環境負荷低減の可能性を検討した。第Ⅰ章では、青果物およびこれまでに確立されてきたポストハーベスト技術について、一般的な背景を述べた。第Ⅱ章では、イチゴのライフサイクルにおいて多くの環境負荷を発生させるホットスポットを特定した。また、いくつかのシナリオを想定し、栽培工程における環境負荷の低減について試算を実施した。第Ⅲ章では、イチゴについて 3 種類の包装を評価し、環境面からみた最適な包装条件について検討した。さらに、イチゴの輸送時に発生するロスについて、ロス率（損傷率）と環境負荷の関係をモデル化し、食品ロスを最小化しても環境負荷が最小化するとは限らないことを明らかにした。第Ⅳ章では、モモの包装に着目し、包装ありと包装なしを比較することで、食品ロス削減による環境負荷低減の可能性を定量的に評価し、ホットスポットの特定を行った。第Ⅴ章では、モモについて 5 種類の包装を評価し、環境に優しい包装条件に関する知見を得るとともに、損傷率と環境負荷の関係についてモデル化を行った。第Ⅵ章では、追熟されたモモにおける食品ロス削減とライフサイクルでの環境負荷の関係をモデル化し、輸送距離ごとの理想的な包装条件を見出した。第Ⅶ章では、Modified Atmosphere Packaging（MAP）によるホウレンソウの保護がライフサイクルの環境負荷に及ぼす影響について考察し、ホウレンソウのライフサイクルにおける環境負荷量を推定するモデル式を提案した。第Ⅷ章では、キャベツの乾燥工程を対象とし、ブランチング前処理による環境負荷の低減効果、および品質とライフサイクル環境負荷のバランスについて考察した。第Ⅸ章では総括的な結論をまとめた。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究では、フードサプライチェーンにおける環境面での最適化を目的として、ポストハーベスト技術（包装・乾燥）導入に伴う環境負荷増加と食品ロス低減に伴う環境負荷低減のトレードオフの関係についてライフサイクルアセスメント（LCA）により評価し、ポストハーベスト技術の導入に伴う青果物のライフサイクルにおける環境負荷低減の可能性を検討した。

１．イチゴの包装によるトラック輸送時の食品ロス削減と環境負荷の関係について LCA 手法に基づき解析し、多くの環境負荷を発生させるホットスポットを特定するとともに、栽培方法の変更およびモーダルシフトの導入による環境負荷低減の可能性を示した。

２．イチゴについて 3 種類の包装形態における環境負荷を解析し、環境面からみた最適な包装条件について検討した。さらに、トラック輸送時に発生するロスについて、ロス率（損傷率）と環境負荷の関係をモデル化し、環境負荷量を最小化できる最適な包装条件を導出した。

３．モモの包装に着目し、包装の有無におけるライフサイクル環境負荷を比較するとともに、ホットスポットを特定した。また、15 個のインパクトカテゴリーについて LCA を実施し、各カテゴリー間における環境負荷増減のトレードオフについて詳細に分析した。

４．モモについて 5 種類の包装形態における環境負荷を解析し、損傷率と環境負荷の関係について 2 パターンのモデル式を構築するとともに、栽培工程と包装資材製造の環境負荷の影響度の違いが適合するモデル式を決定する要因となることを示した。

５． 追熟されたモモにおける食品ロス削減とライフサイクルでの環境負荷の関係をモデル化し、輸送距離に応じた環境負荷の少ない包装設計について言及するとともに、輸送距離ごとの理想的な包装条件を見出した。

６．MAP を導入したホウレンソウのライフサイクルにおける環境負荷量を推定するモデル式

を構築した。構築されたモデル式を他の青果物の輸送プロセスに展開することにより、環境負荷の小さい包装材の適用理論の確立が期待された。
７．キャベツの乾燥工程を対象としてブランチング処理による環境負荷を評価したところ、ブランチング処理に伴う乾燥速度の増加は環境負荷を 6 割程度低減することを定量的に示した。
以上、本研究で展開された新しいアプローチによる評価・検討手法は、ポストハーベスト技術の開発と利用を最適化し、フードサプライチェーンにおける環境面での持続可能性を向上させることに貢献するものと期待される。
よって、本審査委員会では、「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

１．佐々木勇麻，折笠貴寛，渡邊高志，椎名武夫，築城幹典，小出章二(2019)
LCA 手法に基づく乾燥キャベツ製造工程における環境影響評価-ブランチング処理に伴う環境負荷低減の可能性-
日本 LCA 学会誌 15(2):174-187
２．佐々木勇麻，折笠貴寛，中村宣貴，林 清忠，八坂慶仁，牧野直樹，正畠宏一，小出章二，椎名武夫(2020)
青果物輸送における緩衝包装が環境負荷削減に及ぼす影響-輸送振動による損傷を考慮したイチゴの LCA-
農業食料工学会誌 82(1):65-76（2021 年度農業食料工学会論文賞）
３．Yuma Sasaki, Takahiro Orikasa, Nobutaka Nakamura, Kiyotada Hayashi, Yoshihito Yasaka, Naoki Makino, Koichi Shobatake, Shoji Koide, Takeo Shiina (2021)
Life cycle assessment of peach transportation considering trade-off between food loss and environmental impact
The International Journal of Life Cycle Assessment 26:822-837
４．Yuma Sasaki, Takahiro Orikasa, Nobutaka Nakamura, Kiyotada Hayashi, Yoshihito Yasaka, Naoki Makino, Koichi Shobatake, Shoji Koide, Takeo Shiina (2022)
Optimal packaging for strawberry transportation: Evaluation and modeling of the relationship between food loss reduction and environmental impact
Journal of Food Engineering 314:110767
５．Yuma Sasaki, Takahiro Orikasa, Nobutaka Nakamura, Kiyotada Hayashi, Yoshihito Yasaka, Naoki Makino, Koichi Shobatake, Shoji Koide, Takeo Shiina (2022)
Determination of the most environmentally friendly packaging for peach during transportation by modeling the relationship between food loss reduction and environmental impact
Journal of Food Engineering 331:111120
６．Yuma Sasaki, Takahiro Orikasa, Rina Shinozaki, Nobutaka Nakamura, Kiyotada Hayashi, Yoshihito Yasaka, Naoki Makino, Koichi Shobatake, Shoji Koide, Takeo Shiina (2022)
Ideal packaging for ripened peaches determined through modeling the relationship between food loss reduction and life cycle environmental impacts

Packaging Technology and Science: doi: 10.1002/pts.2708（掲載証明付）