



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Comprehensive Study on the Development of Decay-Controllable Paper-Based Seedling Pots and Their Seedling Growth Characteristics
Author(s)	中川, 卓也
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16761号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16761
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99606
Type	doctoral thesis
File Information	NAKAGAWA_Takuya_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博 士（農学） 氏名 中 川 卓 也

審査担当者	主 査	准教授	渡 部 敏 裕
	副 査	教 授	信 濃 卓 郎
	副 査	教 授	当 真 要
	副 査	助 教	丸 山 隼 人

学 位 論 文 題 名

Comprehensive Study on the Development of Decay-Controllable Paper-Based Seedling Pots and Their Seedling Growth Characteristics

（分解制御可能な紙製育苗ポットの開発および育苗特性に関する包括的研究）

本論文は英文 85 頁、図 11、表 19 を含む 5 章からなり、別に参考論文 2 編が添えられている。本研究は、育苗中の強度維持と移植後の分解性を両立する「分解制御型育苗ポット」の開発を目的としたものである。農業現場ではプラスチック製ポットが広く用いられているが、病害拡散防止などの理由から再利用率は低く、廃棄物として処理されるため農業用廃プラスチック問題の一因となっている。一方、紙製ポットは土壌中で分解する利点を有するが、育苗中の強度確保には化学繊維や薬剤が用いられ、残渣が土壌に残留する懸念がある。また、紙の強度と分解性の間にはトレードオフが存在し、実用性の確保が課題である。加えて、欧州の「Farm to Fork 戦略」や日本の「みどりの食料システム戦略」により、環境配慮型育苗資材の開発が求められており、分解制御型資材の研究は社会的意義が大きい。

本研究では、分解制御を実現する二つの技術的アプローチを検討した。第一は、生分解性プラスチック（生プラ）とその分解酵素を組み合わせ、移植後の土壌中で分解を促進する「酵素誘導型」分解システムである。第二は、紙基材にクエン酸架橋を施して育苗中の耐腐性を高め、移植前にアルカリ処理により架橋を切断して分解を促す「アルカリ切断型」分解システムである。両手法について、材料特性、育苗性能、実用性を総合的に評価した。

生分解性プラスチックラミネート紙と酵素による分解制御

ポリブチレンサクシネート（PBS）、ポリ乳酸（PLA）、ポリブチレンアジペートテレフタレート（PBAT）を組み合わせた生プラ層を紙基材にラミネートし、ポリエステラーゼ（*Pseudozyma antarctica* 由来酵素）処理の有無により土壌分解性を土壌埋没試験による SDRI（Soil Decay Resistance Index）＝「土壌分解処理後の湿潤引張強度／標準湿潤強度 × 100」により評価した。酵素未処理区は 4 週間後（30℃）でも SDRI 15～28 を保持し形状を維持したが、酵素処理区では PBS 高含有試料で 2 週間後から急速に分解が進行し、4 週間後は測定不能のため SDRI 値が算出不可となった。これらの結果から、酵素が生プラの分解を促すトリガーとして機能することが示された。

選抜したラミネート紙を用いて成形した生プラポットの育苗試験では、レタス（*Lactuca sativa*

‘L-121’）およびアスター（*Callistephus chinensis* ‘Stella Mix’）を供試し、灌注（100 mL pot⁻¹）と浸漬（250 mL pot⁻¹）の二方式で酵素処理を行った。移植前強度は 13.6～14.2 N 15 mm⁻¹と実用上十分であり、一方で移植後に残存するポットは酵素処理区で大幅に減少し、特に浸漬処理では形状が失われるほど土壌中で分解が進んだ。以上より、生プラポットは、育苗中は十分な強度を維持し、移植前の酵素処理により移植後の土壌での分解を促進できることから、分解制御が可能であることが示された。

クエン酸架橋紙とアルカリ切断型分解

第二の手法として、クエン酸による紙（セルロース）の架橋について検討した。従来の長時間オーブン加熱による架橋法は工業生産に不向きなため、本研究では加熱ローラーを用いた数秒間の接触加熱方式を採用した。クエン酸と触媒の次亜リン酸ナトリウムを 5:1 で混合した処理液に原紙を浸漬し、搾水・乾燥後、220℃で 4.5 秒加熱することで架橋を形成した。FT-IR では 1700～1750 cm⁻¹にエステル結合由来のピークが確認され、クエン酸架橋の成立が明らかとなった。

作製したクエン酸架橋紙は、土壌埋没 4 週間後（30℃）も紙の形状が保持しており、SDRI は 78～97 と高い耐腐性を示した。一方、炭酸カリウムまたは水酸化カルシウムによるアルカリ処理を施したクエン酸架橋紙は、土壌埋没後に引張強度を測定できず SDRI を算出できないサンプルが認められた。対照の従来技術であるジメチロールジヒドロキシエチレン尿素（DMDHEU）架橋紙はアルカリ処理後も高い強度を維持し、エステル結合（クエン酸）とエーテル結合（DMDHEU）の構造差が分解挙動に影響することが示された。

実用評価として、クエン酸架橋紙ポットでコマツナ（*Brassica rapa* var. *perviridis*, “Yokattana”）を栽培したところ、移植前のアルカリ処理（浸漬）により収穫時（22 日後）には土壌中で完全分解し、乾物重は DMDHEU ポットと同等で生育差も認められなかった。以上より、クエン酸架橋紙ポットで育苗時の耐腐性を確保し、移植前のアルカリ処理で架橋を切断して分解を促すことで、育苗中の耐腐性と移植後の分解性を両立できることが示された。

本研究は、異なる原理に基づく二種類の分解制御型育苗ポットを開発した。両技術は、育苗中に必要な強度を確保しつつ、移植後には迅速な分解を促すという性能を実現している点で新規性が高い。また、環境負荷低減、廃プラスチック削減といった社会的要請に応える技術であり、その学術的・実用的意義は大きい。今後は圃場条件での長期分解挙動の解明、土壌微生物群集への影響評価などが求められ、これらの取り組みが実社会での普及を一層促進すると期待される。

よって、審査員一同は、中川卓也が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。