

木材多糖を架橋した育苗容器用紙の開発とその育苗評価

学位論文内容の要旨

作物栽培における移植栽培は、テンサイ、タバコ、野菜、および花卉類を中心に広く行われている。移植栽培のひとつの方式として、紙製の育苗容器(紙筒)で苗を育成して移植する紙筒移植栽培法がある。紙筒の移植作業は人手や移植機で行われるため、紙筒用の紙には移植時に苗の分離や引き出しに耐えうる強度が要求される。しかし、紙は土壌中で容易に分解するため、移植時まで一定の強度を維持させるには、紙に土中分解を抑制する機能(難分解性)を付与する必要がある。このため、紙筒用紙の分野では、難分解性を有する紙の開発が求められている。

紙に難分解性を付与する従来の技術として、紙への合成繊維混抄や殺菌剤添加がある。しかし、これらは、合成繊維の混抄率や育苗条件などにより紙の難分解性が不安定になる欠点がある。近年は、全自動移植機の開発に代表される移植作業の機械化が進んでおり、テンサイの全自動移植技術として、移植時に苗の連続引き出しが可能なチェーンポット(CP 紙筒)が提案された。CP 紙筒の紙には、育苗終了時まで機械的な連続引出しに耐える強度が必要となるため、従来の紙筒用紙以上に高い難分解性が要求される。

難分解性紙の開発に当たって、以下の作業仮説を立てた。紙の分解とは、糸状菌などのセルラーゼによって木材多糖が加水分解され、グルコース二量体であるセロビオースに変換され、さらに β -グルコシダーゼによってグルコースに変換された後、菌体内に取り込まれる現象と考えられている。このことは、木材多糖の水酸基を架橋により保護し、セルラーゼによる加水分解を受けづらい構造に改質することにより、紙に難分解性が付与できる可能性を示唆している。一方、綿織物の樹脂加工では、綿製品の防しわ加工に使用されている、ジメチロールジヒドロキシエチレン尿素(DMDHEU)のメチロール基と綿セルロースの水酸基が反応して、セルロース分子鎖間に架橋を形成することが示されている。そこで、綿織物の樹脂加工の技術を紙に応用し、木材多糖の水酸基を化学的な処理で架橋させて保護し、セルラーゼによる加水分解を阻害することにより、難分解性を有する紙の開発を目指した。まず、DMDHEU 塗布量と加熱処理に関する試験を行い、DMDHEU で処理した紙(化学改質紙)の難分解性、湿潤強度、および乾燥紙力(引裂強さ、耐折強さ、引張強さ)を調査した。次に、化学改質紙の引裂強さ、耐折強さの低下抑制に関する試験を行い、実用上の問題点を解決した。最後に、試作紙筒でテンサイとレタスの育苗栽培試験を行い、化学改質紙の育苗における難分解性と栽培性能を評価し、新規に難分解性に優れた育苗容器用紙の開発に成功した。主な結果は以下の通りである。

1. DMDHEU の塗布量と加熱処理に関する試験

DMDHEU と木材多糖の架橋により、化学改質紙には高い湿潤強度が付与されるだけでなく、紙が本来有しない機能である難分解性が発現することが明らかになった。また、化学改質紙の乾燥紙力では、架橋結合の形成による繊維間結合の強化により引

張強さが上昇したが、木材パルプの繊維強度の低下が原因と考えられる引裂強さと耐折強さの低下が認められた。

2. 化学改質紙の引裂強さ、耐折強さの低下抑制に関する試験

化学改質紙の乾燥紙力の低下は紙筒製造時の加工適性を低下させ、実用上の問題点となることから、引裂強さ、耐折強さの低下抑制に関する試験を行った。その結果、引裂強さの低下抑制には、処理液への柔軟剤とエチレン尿素の添加、および紙への麻パルプとポリビニルアルコール (PVA) 主体繊維の混抄が、耐折強さの低下抑制には、処理液へのエチレン尿素の添加が有効な対策と判断された。これらの効果とコストに及ぼす影響を考慮し、処理液への柔軟剤の添加と紙への PVA 主体繊維の混抄を対策として採用し、化学改質紙の問題点を解決して実用化を図った。また、化学改質紙の品質安定には、処理液の pH を狭い範囲に制御することが重要であることを見出した。

3. 育苗栽培に関する試験

化学改質紙紙筒は育苗中に微生物による分解を受けなかったことから、化学改質紙の難分解性は従来の紙筒用紙である合成繊維混抄紙に比べて高い水準にあることを確認した。また、化学改質紙紙筒は、合成繊維混抄紙紙筒にみられた微生物が苗の根に及ぼす障害を軽減し、移植時の苗の生育と移植後の初期生育を向上させた。さらに、紙筒に有効な発根処理を施すことにより、移植後の紙筒側面から旺盛に発根し、収量の増加も認められた。

以上の研究により開発した化学改質紙は、3 件の特許で (改質紙 特許 2739132 号、耐腐紙 特許 1598306 号、農業用耐腐紙とその製法 特許 2769656 号) 権利化した。引き続き、化学改質紙を使用した CP 紙筒の実用的な構造を考案し (育苗移植用鉢体、特許 1790029 号)、大量生産を可能とする製造方法を確立させ (連続紙筒集合体の製造方法及び装置、特許 2084526 号)、CP 紙筒の商品化を行った。

CP 紙筒は、販売開始後、簡易移植器「ひっぱりくん」との組み合わせで野菜や花卉などの栽培に使用され、特に、白ネギの栽培では省力性と簡便性から全国栽培面積の約 30% にまで普及している。CP 紙筒を使用した「白ネギの連続紙筒による省力的な育苗・移植方式の開発」は、独創的なアイデアを比較的単純な技術で巧みに実用化しており、農作業の負担を軽減するとともにメンテナンス不要なシステムであることから、高齢化問題解決に貢献したことが評価され、平成 19 年度民間部門農林水産研究開発功労者表彰事業において農林水産大臣賞を受賞するに至った。

CP 紙筒と「ひっぱりくん」の移植システムは、株間が 5cm に限定されることから、新たな技術展開として、株間が 10cm と 15cm のチェーンポット (ロングピッチ・チェーンポット) を開発した (育苗移植用連続集合鉢体及びその製造方法 特願 2007-129968)。これにより、株間の広い作物にも省力的で簡便な育苗・移植システムの使用が可能となり、今後、化学改質紙を使用した CP 紙筒の普及を一層促進することになる。

木材パルプは世界中で大量に生産される生分解性を有する安価なバイオマス素材である。紙に難分解性を付与する化学改質紙の技術は、紙筒のみならず、紙の新たな用途開発に貢献するものと考えられる。本研究で、移植時に苗の連続引き出しが可能なチェーンポット (CP 紙筒) について、育苗終了時まで機械的な連続引き出しに耐える強度と、高い難分解性を達成し、この知見は学問的にも高く評価されるとともに、実用化にも供され、世界的に高く評価される技術を確立することが出来た。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 崎 満

副 査 教 授 波多野 隆 介

副 査 教 授 浦 木 康 光

副 査 助 教 渡 部 敏 裕

学 位 論 文 題 名

木材多糖を架橋した育苗容器用紙の開発とその育苗評価

本論文は 82 頁からなり、図 42、表 7、参考文献 47 から構成され、他に参考論文が 1 報付属している。内容は、紙製の育苗容器（紙筒）で苗を育成して移植する紙筒移植栽培において、全自動移植技術として提案されたチェーンポット（CP 紙筒）に使用する高い難分解性を有する紙の開発とその育苗評価に関する一連の研究を取り纏めたものである。

紙の分解とは、糸状菌などのセルラーゼによって木材セルロースが加水分解され、グルコース二量体であるセロビオースに変換され、さらに β -グルコシダーゼによってグルコースなどに変換された後、菌体内に取り込まれる現象と考えられている。このことは、木材セルロースのセルラーゼによる加水分解を阻害することにより、紙に難分解性が付与できる可能性を示唆している。綿織物の樹脂加工では、セルロースの加水分解を抑制する技術として、綿製品の防しわ加工を目的に、ジメチロールジヒドロキシエチレン尿素（DMDHEU）のメチロール基と綿セルロースの水酸基の反応による、セルロース分子間の架橋形成が報告されている。

そこで、綿織物の樹脂加工の技術を紙に応用し、木材多糖の水酸基を化学的な処理で架橋させて保護し、セルラーゼによる加水分解を阻害することにより、難分解性を有する紙の研究を行い、新規に難分解性に優れた育苗容器用紙の開発に成功した。さらに、開発した用紙でチェーンポットに加工してビートや野菜の栽培試験を実施して良好な結果が得られた。得られた結果の概要は以下の通りである。

1. DMDHEU の処理条件に関する試験

DMDHEU と木材多糖の架橋により、紙には高い湿潤強度だけでなく、新たな機能である難分解性が付与されることを明らかにした。この結果は、本研究により初めて実証された新規な内容である。また、DMDHEU で処理した紙（化学改質紙）に、架橋結合の形成がもたらす繊維間結合の強化による引張強さの上昇と、木材パ

ルプの繊維強度低下が原因と考えられる引裂強さと耐折強さの低下を認めた。

2. 化学改質紙の引裂強さ、耐折強さの低下抑制に関する試験

引裂強さと耐折強さの低下は実用上の問題点となることから、これら強さの低下抑制に関する試験を行った。引裂強さの低下抑制には、処理液への柔軟剤とエチレン尿素の添加、および紙への麻パルプとポリビニルアルコール（PVA）主体繊維の混抄が、耐折強さの低下抑制には、処理液へのエチレン尿素の添加が有効であることを見出し、化学改質紙の問題点を解決した。また、化学改質紙の品質安定には、処理液の pH を一定に保つことが重要であるとの結果を得た。

3. 育苗栽培に関する試験

化学改質紙は育苗において微生物による分解を受けなかったことから、化学改質紙の難分解性が従来の紙筒用紙である合成繊維混抄紙に比べて高い水準であることを確認した。また、化学改質紙は合成繊維混抄紙にみられた微生物が苗の根に及ぼす障害を軽減し、移植時の苗の生育と移植後の初期生育が良好である結果を得た。微生物の分解を受けない化学改質紙の方が分解しやすい混抄紙より苗の生育が良好であることの要因を、紙筒と育苗土に繁殖する微生物と育苗土中の窒素濃度の効果の面から考察した。

以上のように、綿織物の樹脂加工技術を紙に応用するという独創的な発想から、木材多糖の水酸基の架橋により紙への難分解性付与を見出したことは、紙の新たな用途開発にとって価値が高く、かつ、新規な発見と評価できる。また、化学改質紙の湿潤強度が一般的な湿潤強力樹脂による強度に比べて高かったことは、紙の湿潤強度発現のメカニズムを検討する上で、興味深い結果と考えられる。

これらの研究により開発した化学改質紙は、チェーンポット（CP紙筒）用の紙として使用されている。CP紙筒は、簡易移植器「ひっぱりくん」との組み合わせで野菜や花卉などの栽培に使用され、特に、白ネギの栽培では省力性と簡便性から全国栽培面積の約 30% に使用されるなど、現場の農業技術として広く普及している。さらに、この栽培法は農作業の負担を軽減するとともに、メンテナンス不要なシステムであることから、農業の高齢化問題解決に貢献したことが評価され、平成 19 年度民間部門農林水産研究開発功労者表彰事業において農林水産大臣賞を受賞した。以上のように、CP紙筒用に高い難分解性を有する紙として開発された化学改質紙は、農業の現場における貢献が認められる。

よって、審査員一同は、寺澤秀和が博士（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。