ELECTROSTATIC POLLEN COLLECTOR FOR COCONUT PALM

By

ATHIRA, P.

(2022-28-002)

ABSTRACT

Submitted in partial fulfillment of the
requirements for the degree of

DOCTOR OF PHILOSOPHY

in

AGRICULTURAL ENGINEERING

(Farm Machinery and Power Engineering)

Faculty of Agricultural Engineering and Technology
Kerala Agricultural University

DEPARTMENT OF FARM MACHINERY AND POWER ENGINEERING
KELAPPAJI COLLEGE OF AGRICULTURAL ENGINEERING AND FOOD
TECHNOLOGY, TAVANUR – 679573
KERALA, INDIA

2026

ABSTRACT

An electrostatic pollen collector for coconut comprised of electrostatic pollen detachment unit, the collection assembly, and the camera-assisted monitoring unit. Primarily, the morphological parameters of coconut inflorescence that influence the design and operational efficiency of electrostatic pollen collection system were recorded. The electrostatic pollen detaching unit, consisting of a variable high-voltage DC power supply and an induction electrode assembly, was designed to facilitate the detachment of pollen grains from anthers through electrostatic forces. Electrode geometry plays a critical role in determining electric field strength and distribution, thereby influencing pollen detachment and transfer dynamics. Various electrode configurations, including ring (Ø 50 mm), spherical (Ø 10 mm), cylindrical (Ø 50 mm) and conical (20 mm height, 10 mm base diameter), were selected to evaluate the performance.

A finite element analysis was performed in ANSYS Maxwell software to analyse the electrostatic field characteristics of the electrode under varying voltage (5kV, 10 kV and 15kV) and pollen-electrode distances (10, 50 and 100 mm). It was observed that electric field strength increased with increasing voltage and decreasing distance, while field distribution varied with electrode geometry. The highest field intensity (3.910×10^6 $V \cdot m^{-1}$) was observed for the cylindrical electrode, followed by the ring electrode (7.403×10^5 $V \cdot m^{-1}$) at 10 kV and 10 mm conditions. During laboratory evaluation of electrostatic pollen detaching unit, three operational regimes were identified, such as collection zone, burning zone and no-effect zone. Based on desirability-based multi-objective optimization, the ring electrode was selected as the most suitable configuration due to its operational safety, reduced risk of corona discharge and minimal floral damage.

Further optimization was carried out using ring electrodes of varying diameters (40 to 80 mm). Maximum pollen collection was achieved at electrode-pollen distances of 30 to 50 mm and voltages of 10 to 15 kV. Electrical breakdown and floral tissue damage were observed at closer distances and higher voltages. The performance ranking of electrodes was determined as R6 > R7 > R8 > R5 > R4, with R6 identified as the optimal configuration. These conditions were selected for field evaluation.

In the electrostatic pollen collector, the detached pollen grains were collected

using an air suction system integrated with a 500 mesh (25 μm) nylon filter. The monitoring unit consisted of a microcontroller (ESP32-CAM) equipped with camera module (OV2640) and distance sensor (VL53L0X), and the entire system was mounted on an adjustable telescopic pole. Field evaluation revealed that pollen collection increased with applied voltage. The highest pollen count was recorded for the R6 electrode at 10 kV and 30 mm spacing. The electrode-pollen distance was found to have a highly significant effect on pollen collection. The average time required for pollen collection from a single inflorescence was 104.5 ± 12.6 s and the viability ranged from 91 to 94%.

The total cost of the developed prototype was estimated at Rs. 31,000/- and the operational cost was calculated as Rs. 116.22 per hour, which was significantly lower than that of manual pollen collection. The system eliminates the need for skilled labour for climb over the tree, reduces drudgery and prevents mechanical damage to pollen. Overall, the developed device offered a mechanized, non-contact, non-destructive approach for coconut pollen harvesting, contributing to sustainable and efficient agricultural practices.

സംഗ്രഹം

തെങ്ങിൽ നിന്നുള്ള പൂമ്പൊടി കാര്യക്ഷമമായും കേടുപാടുകൾ വരുത്താതെയും ശേഖരിക്കുന്നതിനായി ഒരു ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക് പൂമ്പൊടി ശേഖരണ ഉപകരണം വികസിപ്പിച്ചു. ഈ ഉപകരണത്തിൽ ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക് അടിസ്ഥാന തത്ത്വത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന പൂമ്പൊടി വേർപെടുത്തൽ യൂണിറ്റ്, ശേഖരണ സംവിധാനം, ക്യാമറ സഹായത്തോടെയുള്ള നിരീക്ഷണ സംവിധാനം എന്നിവ ഉൾപ്പെടുത്തിയിട്ടുണ്ട്. ഉപകരണത്തിന്റെ രൂപകൽപ്പനയ്ക്കും പ്രവർത്തനത്തിനും സ്വാധീനം ചെലുത്തുന്ന തെങ്ങിൻ പൂങ്കുലയുടെ രൂപഘടനാപരമായ സവിശേഷതകൾ കൃത്യമായി രേഖപ്പെടുത്തി. ഉയർന്ന വോൾട്ടേജുള്ള ഡയറക്ട് കറന്റ് വൈദ്യുതി വിതരണ യൂണിറ്റും ഇൻഡക്ഷൻ ഇലക്ട്രോഡ് അസംബ്ലിയും ഉൾപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക് പൂമ്പൊടി വേർപെടുത്തൽ യൂണിറ്റ്, ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക് ഫോഴ്സിന്റെ സഹായത്തോടെ പൂവിന്റെ പരാഗകോശങ്ങളിൽ നിന്ന് പൂമ്പൊടി വേർതിരിക്കുന്നതിനായി രൂപകൽപ്പന ചെയ്തു. വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ തീവ്രതയും വിതരണവും നിർണയിക്കുന്നതിൽ ഇലക്ട്രോഡിന്റെ ആകൃതി നിർണായകമായതിനാൽ, റിംഗ് (Ø 50 mm), ഗോളാകൃതി (Ø 10 mm), സിലിണ്ടർ (Ø 50 mm), കോണാകൃതി (20 mm ഉയരം, 10 mm അടിസ്ഥാന വ്യാസം) എന്നീ വിവിധ ഇലക്ട്രോഡ് രൂപങ്ങളുടെ പ്രവർത്തനക്ഷമത വിലയിരുത്തി.

ഇലക്ട്രോഡുകളുടെ വൈദ്യുത മണ്ഡല സവിശേഷതകൾ പഠിക്കുന്നതിനായി ANSYS Maxwell സോഫ്റ്റ്‌വെയർ ഉപയോഗിച്ച് ഫൈനൈറ്റ് എലമെന്റ് വിശകലനം നടത്തി. 5, 10, 15 kV എന്നീ വോൾട്ടേജുകളിലും 10, 50, 100 mm എന്നീ ഇലക്ട്രോഡ്–പൂമ്പൊടി അകലങ്ങളിലും നടത്തിയ പഠനത്തിൽ, വോൾട്ടേജ് വർദ്ധിക്കുകയും അകലം കുറയുകയും ചെയ്യുമ്പോൾ വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ തീവ്രത വർദ്ധിക്കുന്നതായി കണ്ടെത്തി. അതേസമയം, വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ വിതരണം ഇലക്ട്രോഡിന്റെ ആകൃതിയെ ആശ്രയിച്ച് വ്യത്യാസപ്പെടുകയും ചെയ്തു. 10 kV വോൾട്ടേജിലും 10 mm അകലത്തും സിലിണ്ടർ ഇലക്ട്രോഡിൽ ഏറ്റവും ഉയർന്ന വൈദ്യുത മണ്ഡല തീവ്രത (3.910×10^6 V m^{-1}) രേഖപ്പെടുത്തിയപ്പോൾ, റിംഗ് ഇലക്ട്രോഡിൽ 7.403×10^5 V m^{-1} ലഭിച്ചു. ലബോറട്ടറി പരീക്ഷണങ്ങളിൽ പൂമ്പൊടി ശേഖരണ മേഖല, ഇലക്ട്രിക്ക് ആർക്കിങ് മേഖല, സ്വാധീനമില്ലാത്ത മേഖല എന്നീ മൂന്ന് പ്രവർത്തന

മേഖലകൾ ഉള്ളതായി തിരിച്ചറിഞ്ഞു. പ്രവർത്തന സുരക്ഷ, കൊറോണ ഡിസ്ചാർജിന്റെ സാധ്യത കുറവ്, പുഷ്പഭാഗങ്ങൾക്ക് കുറഞ്ഞ കേടുപാടുകൾ എന്നിങ്ങനെയുള്ള വിവിധ ലക്ഷ്യങ്ങളുടെ സ്വീകാര്യത പരിഗണിച്ച് റിംഗ് ഇലക്ട്രോഡാണ് ഏറ്റവും അനുയോജ്യമായ രൂപമായി കണ്ടെത്തിയത്.

തുടർന്ന് 40 മുതൽ 80 mm വരെ വ്യാസമുള്ള വിവിധ റിംഗ് ഇലക്ട്രോഡുകൾ ഉപയോഗിച്ച് ഉചിതമായ പ്രവർത്തന ഘടകങ്ങൾ കണ്ടെത്തി. 30–50 mm ഇലക്ട്രോഡ്–പൂമ്പൊടി അകലത്തും 10–15 kV വോൾട്ടേജിലുമാണ് ഏറ്റവും കൂടുതൽ പൂമ്പൊടി ശേഖരിക്കാനായത്. എന്നാൽ കുറഞ്ഞ അകലവും ഉയർന്ന വോൾട്ടേജിലും വൈദ്യുത ബ്രേക്ക്ഡൗണും പുഷ്പകലകൾക്ക് കേടുപാടുകളും ഉണ്ടായതായി കണ്ടെത്തി. വിവിധ റിംഗ് ഇലക്ട്രോഡുകളുടെ പ്രവർത്തനക്ഷമത R6 > R7 > R8 > R5 > R4 എന്ന ക്രമത്തിലായിരുന്നു. ഇതിൽ R6 ഇലക്ട്രോഡാണ് ഏറ്റവും മികച്ചതായി കണ്ടെത്തിയതും, ഈ പ്രവർത്തന ക്രമീകരണങ്ങളാണ് കൃഷിയിടത്തിൽ പരീക്ഷണങ്ങൾക്കായി തെരഞ്ഞെടുത്തതും.

വികസിപ്പിച്ച ഉപകരണത്തിൽ വേർതിരിച്ചെടുത്ത പൂമ്പൊടി 500 മെഷ് (25 μm) നൈലോൺ ഫിൽട്ടർ ഘടിപ്പിച്ച വായു ആഗിരണ സംവിധാനത്തിന്റെ സഹായത്തോടെ ശേഖരിച്ചു. നിരീക്ഷണ സംവിധാനത്തിൽ ESP32-CAM മൈക്രോകൺട്രോളറിനോടൊപ്പം OV2640 ക്യാമറ മൊഡ്യൂളും VL53L0X ദൂര നിർണയ സെൻസറും ഉൾപ്പെടുത്തിയിരുന്നു. മുഴുവൻ സംവിധാനവും ക്രമീകരിക്കാവുന്ന ടെലിസ്കോപിക് തോട്ടിയിൽ സ്ഥാപിച്ചു. കൃഷിയിടത്തിലുള്ള പരീക്ഷണങ്ങളിൽ വോൾട്ടേജ് വർദ്ധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് പൂമ്പൊടി ശേഖരണവും വർദ്ധിക്കുന്നതായി കണ്ടെത്തി. 10 kV വോൾട്ടേജിലും 30 mm അകലത്തും R6 ഇലക്ട്രോഡാണ് ഏറ്റവും കൂടുതൽ പൂമ്പൊടി ശേഖരിച്ചത്. ഇലക്ട്രോഡ്–പൂമ്പൊടി അകലം പൂമ്പൊടി ശേഖരണത്തെ ഗണ്യമായി സ്വാധീനിക്കുന്നതായി സ്ഥിതിവിവര വിശകലനം തെളിയിച്ചു. ഒരു തെങ്ങിൻ പൂങ്കുലയിൽ നിന്ന് പൂമ്പൊടി ശേഖരിക്കുന്നതിന് ശരാശരി 104.5 ± 12.6 സെക്കൻഡ് സമയം ആവശ്യമായി വന്നു. ശേഖരിച്ച പൂമ്പൊടിയുടെ ജീവക്ഷമത 91-94 ശതമാനം വരെയായിരുന്നു.

വികസിപ്പിച്ച മാതൃകയുടെ ആകെ നിർമ്മാണച്ചെലവ് ഏകദേശം ₹31,000 ആയിരുന്നു. പ്രവർത്തനച്ചെലവ് മണിക്കൂറിന് ₹116.22 ആയി കണക്കാക്കപ്പെട്ടത് പരമ്പരാഗത കൈകൊണ്ടുള്ള പൂമ്പൊടി ശേഖരണത്തേക്കാൾ ഗണ്യമായി കുറവാണ്. ഈ സംവിധാനം തൊഴിലാളികൾ തെങ്ങിൽ കയറേണ്ടതിന്റെ ആവശ്യകത ഒഴിവാക്കുകയും, ശാരീരിക അധ്വാനം കുറയ്ക്കുകയും, പൂമ്പൊടി ശേഖരണത്തിൽ വന്നേക്കാവുന്ന കേടുപാടുകൾ തടയുകയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ വികസിപ്പിച്ച ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക് പൂമ്പൊടി ശേഖരണ ഉപകരണം തെങ്ങിൽ നിന്നുള്ള പൂമ്പൊടി ശേഖരണത്തിന് യാന്ത്രികവും സമ്പർക്കരഹിതവും നാശരഹിതവുമായ ഫലപ്രദമായ സാങ്കേതികവിദ്യയായി വിലയിരുത്തപ്പെടുന്നു. ഈ സാങ്കേതികവിദ്യ തൊഴിലാളികളുടെ ലഭ്യതക്കുറവ് പരിഹരിക്കുന്നതിനും, കൃത്രിമ പരാഗണത്തിനാവശ്യമായ ഉയർന്ന ഗുണമേന്മയുള്ള പൂമ്പൊടി ശേഖരിക്കുന്നതിനും, സുസ്ഥിരവും കാര്യക്ഷമവുമായ കാർഷിക ഉൽപാദന രീതികൾ പ്രോത്സാഹിപ്പിക്കുന്നതിനും സഹായകരമാകുന്നു.