

赵金平 顾正平 沈瑞珍 著



ZHONGZI JIEDIAN FENXUAN JILI JI

种子介电分选机理及 介电分选技术研究

JIEDIAN FENXUAN JISHU YANJIU



北京林业大学优秀博士论文基金资助丛书

中国环境科学出版社

北京林业大学优秀博士论文基金资助丛书

种子介电分选机理及 介电分选技术研究

赵金平 顾正平 沈瑞珍 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

种子介电分选机理及介电分选技术研究/赵金平,顾正平,沈瑞珍著.
-北京:中国环境科学出版社,2002.12
(北京林业大学优秀博士论文基金资助丛书)
ISBN 7-80163-406-3
I. 种… II. ①赵…②顾… III. 选种-研究 IV. S333
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 095237 号

种子介电分选机理及介电分选技术研究

出 版	中国环境科学出版社
社 址	北京海淀区普惠南里 14 号(100036)
网 址	http://www.cesp.com.cn
电子信箱	cesp@95777.com
印 刷	北京联华印刷厂
经 销	各地新华书店
版 次	2002 年 12 月第一版 2002 年 12 月第一次印刷
开 本	850×1168 1/32
印 张	5 1/2
字 数	144 千字
定 价	15.00 元

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题,请寄回本社发行部更换

北京林业大学优秀博士论文基金资助项目丛书

编辑委员会

主 任：朱金兆

副主任：尹伟伦 马履一

委 员：(按姓氏笔画)

王礼先 王向荣 任恒祺 张启翔 李凤兰 孟宪宇

罗菊春 赵广杰 顾正平 续九如 翟明普 贾黎明

秘 书：钟 艳

序 言

科学技术水平是知识经济时代评价一个国家国力的重要标准。科技水平高，则国力强盛，无论在政治、经济、文化、信息、军事诸方面均会占据优势；而科技水平低，则国力弱，就赶不上时代的步伐，就会在竞争日趋激烈的国际大舞台上处于劣势。江泽民同志在庆祝北大建校 100 周年大会上也强调指出：“当今世界，科学技术突飞猛进，知识经济已见端倪，国力竞争日益激烈。”因此，提高科学技术水平，提高科技创新能力已为世界各国寻求高速发展时所共识。我国将“科教兴国”作为国策也表明了政府对提高科技水平的决心。博士研究生朝气蓬勃，正处于创新思维能力最为活跃的黄金年龄，同时也是我国许多重要科研项目中的中坚力量，他们科研成果水平的高低在一定程度上影响着—所高校、—个科研院所乃至我国科研的整体水平。国务院学位委员会每年一度的“全国百篇优秀博士论文”评选工作是对我国博士研究生科研水平的集体检阅，已被看作是博士研究生的最高荣誉，对激励博士勇攀科技高峰起到了重要的促进作用。北京林业大学不仅积极参加“全国百篇优秀博士论文”的推荐工作，还依此为契机每年评选出三篇校级优秀博士论文并设立专项基金全额资助论文以丛书形式出版，这是一项非常有意义的工作，对推动学校科研水平的提高将发挥重要作用。

从人才培养的角度来看，如何提高博士研究生的创新思维能力和综合素质，高质量地向社会输送人才倍受世人关注。提高培养质量的措施很多，但在培养中引入激励机制，评选优秀博士论文并资助出版，不失为一种好方法。博士生和导师可据此证明自

己的学术能力，确立自己的学术地位；也可激励新入学的研究生尽早树立目标，从而在培养的全过程严格要求自己，提高自身的素质。

因学科的特殊性，要想出色完成林业大学的博士论文有许多其他学科所不会遇到的困难，如研究周期长，野外条件难于严格控制，工作条件艰苦等等。非常欣慰的是北京林业大学的博士生们不仅克服困难完成了学业，而且已经有人中选“全国百篇优秀博士论文”。而该丛书资助出版的“校级优秀博士论文”所涉及的研究领域、研究成果的水平也属博士论文中的佼佼者，令我欣喜。对这些博士生所取得的成果我表示祝贺，同时也希望他们以及今后的同学们再接再厉，取得更好的成绩报效祖国。

中国工程院副院长、院士

沈国舫

2002年8月10日

摘 要

种子介电分选是一种与传统的种子分选截然不同的分选理论。它是按照反映种子内部品质的种子电生理特性,利用弱极性非均匀电介质的种子在高压电场中受到的电极化力大小不同,结合种子的物理机械特性来综合实现种子分选的。介电分选不仅能显著改善种子分选效果,而且可以使种子产生电磁场生物效应,提高酶的活性,促进呼吸作用,增大发芽势、发芽率和活力。本研究在回顾介电分选技术发展历史和环视国内外研究现状的基础上,着重研究了林木种子介电分选的机理,以及三种不同类型林木种子进行介电分选的最优化技术参数。研究工作是在作者自行设计并制造的介电分选试验台、介电常数测试仪以及试验型林木种子介电分选机上进行的。通过大量的试验研究和深入的理论分析,建立了种子的理想介质模型和种子介电分选数学模型,得出了电极化力及其影响因素之间关系的理论公式和经验公式。指出影响种子电极化力的主要因素是电压,其次是介电常数,最后是种粒半径。研究中选用油松 (*Pinus tabulaeformis*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 和胡枝子 (*Lespedeza bicolor*) 种子作为试验对象,通过对这三种林木种子在不同级别、不同电压下的滑动角的测定,以及各种情况下种子粒重和介电常数的测定,进一步确定了林木种子电极化力与分选电压、粒重以及介电常数之间的数量化关系。研究中还安排了三种林木种子的发芽率和生活力测定试验,从而又得到种子发芽势、发芽率、生活力与粒重和介电常数之间的关系。这样,就使对种子介电分选机理的研究,从

定性阶段向定量研究方向迈出了重要的一步。与此同时，本研究还用油松、刺槐和胡枝子三种种子在自制的试验型林木种子介电分选机上进行试验，提出了林木种子介电分选效果的评价标准，并通过二次回归正交试验设计，得出不同林木种子具有最佳分选效果的回归方程，确定了最优化的介电分选参数组合，即分选电压和分选滚筒转速的最佳组合。试验表明，油松的最佳分选参数是分选电压为 15.2kV，分选滚筒转速为 $22.2\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ；刺槐的最佳分选电压为 14.8kV，分选滚筒转速为 $29.3\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ；胡枝子的最佳分选电压为 13.5kV，分选滚筒转速为 $35.7\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

关键词：种子分选，介电分选，林木种子，介电分选机，电磁场生物效应，电生理特性，电极化力，分选电压，介电常数，油松，刺槐，胡枝子，发芽势，发芽率，生活力，净度

Abstract

Seed dielectric separation is a new separation theory absolutely different from the old traditional ones. It is put forward according to the seed electrophysiological characteristic reflecting seed inner disposition, taking use of the difference of electrical polarization force produced by different seed of weak polarity non – uniform dielectric in high voltage electrical field, and considering the seed physical and mechanical property, to reach the achievement of separation of seed synthetically. The dielectric separation can not only improve the seed separation effect remarkably, but also produce seed bioelectromagnetic effect which can enhance the enzyme activity, promote respiration, increase germinating potential, germination percentage and vitality. Based on history of seed dielectric separation technology and the present foreign and domestic research status, this dissertation is focused on wood seed separation mechanism and the most optimized parameters of three different kinds of woods in dielectric separation. The research work is being developed on the dielectric separation test – bed, dielectric constant tester and experimental wood seed dielectric separator, which are designed and manufactured by author himself. Through a large amount of experiment and further analyzing of the theory, the ideal dielectric model and dielectric separation model for wood seed are established while the theoretical formula and empirical formula for the relationship between the elec-

trical polarization force and its effecting factors are put forward. It points out that main factor affecting electrical polarization force firstly is separation voltage, next is dielectric constant and the last is seed radius. Wood seeds of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*), locust (*Robinia pseudoacacia*), and shrub lespedeza (*Lespedeza bicolor*) are chosen in the experiment. The numerical relationship between the wood seed electrical polarization force and separation voltage, seed weight and dielectric constant is definitely ascertained by testing the seeds sliding angle at varies of seeds grade and separation voltage, seeds weight and dielectric constant in all conditions. The germination percentage and vitality testing for the three wood seeds are also taken in the experiment, from which the relationship between the seeds geminating potential, germination percentage, vitality and seed weight and dielectric constant is presented. So it makes the research of seed dielectric separation mechanism go ahead a further important step from qualitative stage to the quantitative research. Mean while three wood seeds of Chinese pine, locust, and shrub lespedeza are arranged to the experiment carried through the experimental wood seed dielectric separator made by the author. The appraisalment standard for wood seeds separation effect is proposed. By quadratic regression orthogonal experiment design, the regression equation of the most suitable separation effect for different wood seeds is put forward and the most optimized parameter arrangement, namely the most optimized arrangement for the separation voltage and separator roller rotate speed, is affirmed. It is demonstrated that most optimized parameters for Chinese pine is 15. 2kV in separation voltage and 22. $2\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ in roller rotate speed, for locust is 14. 8kV in separation voltage and 29. 3 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ in roller rotate speed, for shrub lespedeza is 13. 5kV in separation

voltage and $35.7 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ in roller rotate speed.

Keywords: seed separation, dielectric separation, wood seed, dielectric separator, Bioelectromagnetic effect, electrophysiological characteristic, electrical polarization force, separation voltage, dielectric constant, *Pinus tabulaeformis*, *Robinia pseudoacacia*, *Lespedeza bicolor*, geminating potential, germination percentage, vitality, net percentage

绪 论

林木种子的清选与分级是制备林木良种的重要手段之一。由于林木种子结实率低，种子成熟时间长，秕粒率高，发芽率低，因而对种子实行清选分级就尤为必要。长期以来，对林木种子的清选分级工作仍停留在利用简单的机械对种子进行粗略的加工阶段，有的地方甚至还处于仅依靠双手进行选种的原始作业方式。这不但不能保证获得精良的种子等级和显著的分选效果，而且也毫无疑问地制约着生产率的提高，严重地阻碍了现代林木种子加工工业的发展。

20 世纪 60 年代开始，由于生物物理学的迅猛发展，它向各门学科的渗透也越来越广泛。在这个背景下，一种新兴的种子分选技术——种子介电分选技术应运而生。这项技术一经出现，就吸引了世界上越来越多的学者和研究人员的密切关注，因为它提出了一个与传统的种子分选技术截然不同的分选理论，即种子介电分选理论。传统的机械化分选技术主要是采用风力式或比重式清选装置，这些装置只能按种子的机械物理特性，即外形尺寸、密度、粒重、漂浮速度、表面光滑性等物理场、流体场中的差异程度进行清选分级。而介电分选技术则是根据反映种子内部品质的种子电生理特性即种子活力，利用弱极性非均匀电介质的种子在高压电场中受到的极化力大小不同，结合种子的物理机械特性综合实现种子清选分级的一种方法。活力不同的种子，细胞膜的完整程度不同，其介电常数、电导率等电特性均不相同，因而

在电场中受到的电极化力也不同，介电分选就是利用这一原理将活力不同的种子进行分级和清选的。

然而，种子的介电分选理论至今还远未完善，尤其对于介电分选机理一直是众说纷纭，仁智各见，而专门面向林木种子的研究更是凤毛麟角。本研究正是在这样的学术背景下，针对林木种子的介电分选机理和电场分选参数的优化来展开的。主要目标是通过试验手段和理论分析，探究林木种子介电分选的机理；找出影响林木种子介电分选的主要参数，并确定这些参数的最优化组合，以获得最佳的林木种子分选效果；为设计林木种子介电分选设备提供理论依据和合理参数，推动林木种子介电分选技术的发展。研究的重点集中在分选机理和分选参数优化两个部分，前者主要研究内容包括：介电分选工作装置中分选电场的建立和分析；林木种子电介质的极化机理；电极化力的形成机制及其影响因素；种子介电特性的测试及其对介电分选的贡献。后者主要研究内容包括：林木种子介电分选效果评价体系的建立；种子发芽率、发芽势、生活力和净度的测定及对照比较分析；通过回归分析，找出林木种子介电分选的最佳参数组合。

在整个研究中存在着几个创新的地方。首先，这是第一次以林木种子作为全方位研究对象进行介电特性及介电分选的研究。以往的研究对象往往集中于对农作物、蔬菜等小粒种子的研究，由于这些种子具有粒小量轻的特点，使一些研究和分析的结果不具有普适性。其次，是对林木种子的介电分选机理由定性的分析说明研究阶段跃到了定量的量化分析研究阶段，建立了林木种子的电极化力数量化表达式，确定了电极化力的影响因素及其与这些因素间的数量关系。再次，是实现了介电分选参数的量化和优化，这是以往任何研究都没有涉及到的领域。通过分选参数优化，可以建立起不同林木种子的介电分选最优化模型，大大提高了介电分选技术对不同种子的适应性，并对种子介电分选机的设计和制造具有极为现实的指导意义。最后，由于该研究涉及植物

生理学、静电学和机械学等多个学科，具有非常明显的学科交叉的特征，故研究内容和形式的广泛性和同一性是其他相关研究所不具有的。

这篇研究论文共分为 9 章。第 1、第 2 章介绍了种子介电分选技术的意义，发展概况及国内外研究现状。第 3 章介绍了种子介电分选试验台及介电常数测试仪的设计、制造和操作方法。第 4 章和第 5 章是本文的重点，主要集中于对种子介电分选机理的研究和分析，从理论推导出发建立起相关的理论公式。并进一步通过试验，由回归方程得出林木种子各分选参数之间关系的经验表达式。第 6 章主要是介绍林木种子发芽率、发芽势和活力的测定方法、标准以及测定情况。第 7 章介绍了自制的林木种子介电分选机。第 8 章也是本文的重点，主要进行林木种子的介电分选试验，通过二次回归正交试验求出介电分选的最优解，进而确定最佳分选参数；对分选试验的效果作了比较、分析和评价。文章的最后部分是结论和讨论。分析了林木种子介电分选的可能性和可行性，并对介电分选技术作出了客观的分析与评价，同时也对现存问题进行了讨论。

目 录

1	林木种子介电分选的意义·····	(1)
1.1	种子介电分选的效果 ·····	(1)
1.2	种子介电分选的电生物效应 ·····	(2)
1.2.1	电场对酶活性的影响 ·····	(2)
1.2.2	电场对同化作用和异化作用的影响 ·····	(3)
1.2.3	电场对种子细胞膜透性的影响 ·····	(3)
1.2.4	电场对种子活力、发芽率、发芽势和苗的影响 ·····	(4)
1.2.5	电场处理的催醒和防病虫害作用 ·····	(4)
1.3	种子介电分选的经济性 ·····	(5)
2	种子介电分选技术发展概况及国内外研究现状·····	(6)
2.1	种子的电磁场生物效应 ·····	(6)
2.2	种子介电分选设备与装置 ·····	(8)
2.3	介电分选理论基础及分选电场的分析 ·····	(10)
2.3.1	介电分选的理论基础 ·····	(10)
2.3.2	介质在分选电场中的计算理论 ·····	(12)
2.3.3	分选介质介电性质的影响因素 ·····	(14)
2.4	种子介电特性的测定 ·····	(15)
2.5	问题与建议 ·····	(16)
3	介电分选试验台及介电常数仪的设计·····	(18)
3.1	介电分选试验台的设计 ·····	(18)

3.2 介电常数测试仪的设计	(21)
3.2.1 介电常数测试装置	(21)
3.2.2 测试原理和方法	(23)
4 林木种子介电分选机理.....	(27)
4.1 种子电生理特性及理想介质模型	(27)
4.2 电极化力的形成机制及计算分析	(28)
4.2.1 种子电极化力的形成	(28)
4.2.2 极化电场的分析和电极化力的理论推导	(30)
4.2.3 理想状况下种子电极化力大小及其模拟 计算	(31)
4.2.4 理想状况下电极化力与种子介电常数、 种粒半径之间的关系	(35)
4.3 种子介电分选数学模型及模拟计算	(37)
4.3.1 介电分选的数学建模	(37)
4.3.2 林木种子介电分选脱离角的模拟求解	(39)
4.3.3 种子脱离角与电极化力、滚筒角速度、 种子粒重之间的关系	(40)
4.4 种子分选过程中的非理想状况	(42)
5 电极化力的试验求解以及与影响因素间的相互关系.....	(44)
5.1 试样的制备	(44)
5.1.1 种子的初步分级	(44)
5.1.2 种子的精细分级	(45)
5.2 种子静摩擦系数的确定	(46)
5.3 种子在不同电压条件下的电极化力大小	(47)
5.4 油松种子电极化力试验	(49)
5.4.1 油松种子滑动角的测量及电极化力的计算	(49)
5.4.2 电极化力与分选电压的关系	(54)

5.4.2.1 回归方程的建立	(54)
5.4.2.2 回归方程的显著性检验	(56)
5.4.3 油松种子介电常数的测定	(59)
5.4.4 电极化力与种子粒重、滑动角和介电常数之间的相互关系	(60)
5.5 油松种子的对比试验	(64)
5.5.1 介电常数及含水率的对比与分析	(64)
5.5.2 不同处理油松种子的电极化力试验	(70)
5.5.2.1 不同处理油松种子的受力临界状态	(70)
5.5.2.2 不同处理油松种子电压与电极化力、种子滑动角之间的关系	(72)
5.6 刺槐种子电极化力试验	(75)
5.6.1 滑动角的测量与电极化力的计算	(75)
5.6.2 电极化力与刺槐种子介电常数、粒重以及分选电压关系	(79)
5.7 胡枝子种子电极化力试验	(82)
5.7.1 滑动角的测量与电极化力的计算	(82)
5.7.2 电极化力与胡枝子种子介电常数、粒重以及分选电压的关系	(86)
6 林木种子的检验	(89)
6.1 林木种子发芽率和发芽势的测定方法	(89)
6.2 油松、刺槐、胡枝子种子发芽率和发芽势的测定	(90)
6.3 林木种子生活力的测定方法	(99)
6.3.1 油松活力测定样本的制备	(99)
6.3.2 四唑溶液的配制	(99)
6.3.3 染色试验	(100)
6.4 油松和刺槐种子生活力的测定	(100)
6.5 胡枝子种子的净度测定	(104)