

# 转基因棉花的耐盐、抗旱性研究进展

谭秀榕

浙江师范大学生命科学学院, 浙江 金华

收稿日期: 2024年3月12日; 录用日期: 2024年4月5日; 发布日期: 2024年4月15日

## 摘要

转基因棉花的耐盐、抗旱性研究已成为当前棉花育种领域的热点之一。本文综述了近年来关于转基因棉花耐盐、抗旱性状的研究进展。首先介绍了转基因技术在棉花育种中的应用现状, 然后重点阐述了转基因棉花在耐盐、抗旱性方面的研究成果, 包括抗旱基因的克隆和功能验证, 耐盐相关代谢途径的调控等方面。最后对转基因棉花耐盐、抗旱性研究存在的问题进行了讨论, 并展望了未来的研究方向。本文旨在为转基因棉花的耐盐、抗旱性研究提供参考和借鉴, 促进转基因技术在棉花育种中的应用。

## 关键词

转基因棉花, 耐盐, 抗旱

# Research Progress on Salt Tolerance and Drought Resistance of Transgenic Cotton

Xiurong Tan

College of Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang

Received: Mar. 12<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 5<sup>th</sup>, 2024; published: Apr. 15<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The study of salt and drought tolerance in transgenic cotton has become a hot topic in cotton breeding in recent years. This article reviews the research progress on the salt and drought resistance of transgenic cotton in recent years. Firstly, it introduces the application status of transgenic technology in cotton breeding, and then focuses on the research results of transgenic cotton in salt and drought resistance, including the cloning and functional verification of drought-resistant genes, and the regulation of salt-tolerant related metabolic pathways. Finally, the problems existing in the research of salt and drought tolerance of transgenic cotton are discussed, and the future research directions are prospected. This article aims to provide reference for the study of salt and

## drought tolerance of transgenic cotton, and promote the application of transgenic technology in cotton breeding.

### Keywords

Transgenic Cotton, Salt Tolerance, Drought Tolerance

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着全球气候变化和土壤盐渍化问题日益严重,农业作物的耐盐、抗旱性成为了当前研究的热点。棉花作为一种重要的经济作物,其产量和质量直接影响到纺织、服装等多个行业。因此,提高棉花的耐盐、抗旱性,对于稳定棉花产量、保障纺织工业的原料供应具有重大意义。近年来,转基因技术的快速发展为作物耐盐、抗旱性的改良提供了新的途径。通过转基因技术,我们可以将具有耐盐、抗旱特性的基因转入棉花中,从而培育出新型的转基因棉花品种。

## 2. 研究背景

### 2.1. 转基因棉花在农业生产中的重要性

转基因棉花在农业生产中扮演着重要的角色。它是农业领域中一种重要的作物,因为它具有抗虫、耐旱和耐盐等特性,能够帮助农民提高产量并减少化学农药的使用[1]。转基因棉花的抗虫特性使其能够抵抗一些常见的害虫,如棉铃虫和棉花蚜虫。这意味着农民不需要使用大量的化学农药来保护棉花作物,从而降低了对环境的影响,并减少了对化学农药的依赖[2]。

此外,转基因棉花还表现出耐旱和耐盐的特性,这使得它能够在干旱和盐碱地区生长,并且不需要大量的灌溉水资源。这对于一些干旱地区的农民来说尤为重要,因为他们可以种植这种耐旱的转基因棉花来增加收入,同时减少对有限水资源的需求[3]。

总的来说,转基因棉花在农业生产中的重要性不言而喻。它通过提高产量、减少化学农药的使用以及在干旱和盐碱地区的生长,为农业生产带来了诸多益处。因此,继续研发和推广转基因棉花技术将对农业可持续发展和粮食安全产生积极影响。

### 2.2. 盐碱地对棉花生长的影响

盐碱地是指土壤中盐分和碱性物质含量过高的土地,这种土壤条件对棉花的生长产生了负面影响[4]。首先,盐碱地中的高盐含量会使土壤中的水分难以被植物吸收,导致棉花根系发育受阻,从而影响到植物的养分吸收和生长。其次,盐碱地中的碱性物质会破坏土壤的结构,影响土壤的透气性和渗透性,进而影响植物的根系呼吸和水分吸收。此外,盐碱地的环境条件也会影响到棉花的生理代谢过程,使植物生长发育受到抑制,导致产量减少,品质下降。

针对盐碱地对棉花生长的影响,可以采取一些措施来改善土壤条件,例如通过排水和冲洗的方式来降低土壤中的盐分含量,或者添加石灰、有机物质等来中和土壤的碱性[5]。另外,选择耐盐碱的品种或者利用现代生物技术手段培育具有抗逆性的新品种,也是应对盐碱地影响的有效途径。通过改善土壤条件和选择适应性强的品种,可以有效提高盐碱地上棉花的产量和质量,从而实现盐碱地的可持续利用。

### 2.3. 转基因技术在提高棉花耐盐抗旱性方面的应用

转基因技术在农业领域的应用日益广泛，其中提高作物的耐盐抗旱性是一个备受关注的研究方向。棉花作为世界上最重要的经济作物之一，在面对盐碱地和干旱等恶劣环境时往往表现不佳，因此利用转基因技术来提高其耐盐抗旱性具有重要意义[6]。

转基因技术可以通过引入特定的基因来增强植物的抗逆性能。在棉花中，科学家们已经成功地利用转基因技术来提高其耐盐抗旱性。一种常见的方法是引入与抗氧化应激相关的基因，这些基因可以帮助植物有效地应对逆境条件下产生的自由基和氧化物质，从而减轻逆境对植物的伤害[7]。另外，还有研究表明通过调控植物激素的合成和信号传导途径，也可以有效地提高棉花的耐盐抗旱性。

除了提高棉花的耐盐抗旱性外，转基因技术还可以用于改良棉花的生长特性和产量[8]。例如，通过调控棉花的根系结构和功能，可以使其更好地利用土壤中的水分和营养物质，从而提高棉花的产量和品质[9]。

总的来说，转基因技术在提高棉花耐盐抗旱性方面具有巨大的潜力，未来可以进一步深入研究和开发，以满足不同地区和气候条件下棉花种植的需求。

## 3. 耐盐抗旱转基因棉花研究现状

### 3.1. 转基因棉花的耐盐性研究进展

转基因棉花是一种重要的经济作物，但它对盐胁迫的耐受性较低，限制了其在盐碱地区的种植和产量。因此，研究人员积极探索如何提高转基因棉花的耐盐性，以增加其适应盐碱地的能力。

近年来，针对转基因棉花耐盐性的研究取得了一些进展。通过转基因技术，科学家们成功地引入了一些耐盐基因到棉花中，以增强其对盐胁迫的抵抗能力。这些耐盐基因包括调节离子平衡的基因、抗氧化基因和抗逆基因等。通过改变这些基因的表达量或活性，转基因棉花能够更好地应对盐碱地区的环境压力，从而提高其生长和产量。

除了基因的改变，研究人员还发现一些生理和生化途径对转基因棉花的耐盐性有着重要的影响[10]。例如，一些耐盐基因的表达可以促进植物的离子平衡和水分调节，从而减轻盐胁迫对植物细胞的损伤。此外，一些抗氧化酶的活性也能够帮助转基因棉花清除过氧化物质，减少氧化损伤，增强其对盐碱地区环境的适应能力[11]。

综上所述，转基因棉花的耐盐性研究已经取得了一些进展，通过转基因技术和对生理、生化途径的深入研究，科学家们正在努力提高转基因棉花对盐碱地区环境的适应能力，为解决盐碱地区农业生产问题提供了新的思路和方法。

### 3.2. 转基因棉花的抗旱性研究进展

转基因技术在棉花中的应用已经取得了一些重要的进展，其中之一就是改善棉花对旱灾的抗性。通过引入特定基因，研究人员已经成功地培育出了抗旱性更强的转基因棉花品种。

据研究表明，这些转基因棉花品种能够在干旱条件下保持更好的生长状态，减少水分蒸发和叶片脱水现象[12]。这主要归功于转基因棉花中加强了抗氧化系统和调节水分利用的基因，使其能够更有效地应对干旱环境的挑战。

另外，转基因棉花的抗旱性也有望对农业生产产生积极影响。在干旱地区种植这些抗旱性转基因棉花品种，可以显著提高棉花的产量和质量，从而帮助农民更好地应对干旱对作物生长的不利影响[13]。然而，尽管转基因棉花的抗旱性研究取得了一定进展，但仍然还存在一些未知领域需要进一步深入研究。例如，对转基因棉花的长期耐旱性以及对环境的影响等方面还需要进行更多的实验和观察。

总的来说,转基因棉花的抗旱性研究为解决干旱地区的棉花生产问题提供了新的途径,为农业生产的可持续发展做出了重要贡献。随着技术的不断进步和研究的深入,相信转基因棉花的抗旱性将会得到进一步提升,为农业生产带来更多的好处。

### 3.3. 转基因棉花相关基因的发现与应用

转基因棉花是通过基因工程技术将外源基因导入棉花植物中,以提高其抗病虫能力和产量的作物品种。转基因棉花的发现和应用对农业生产具有重要意义。

转基因棉花的发现可以追溯到1990年代初,当时科学家们成功地利用细菌农杆菌介导的转化技术,将一种特定的杀虫蛋白基因导入到了棉花植物中[14]。这一重要发现为后来转基因棉花的进一步研发奠定了基础。

随着转基因棉花技术的逐渐成熟,人们发现转基因棉花具有抗虫害、耐除草剂、提高产量等优点。其中,抗虫害是转基因棉花的最大优势之一。由于转基因棉花内含有杀虫蛋白基因,使得其对某些害虫具有抗性,大大减少了农药的使用,降低了环境污染和人体健康风险[15]。除此之外,转基因棉花还可以通过导入耐除草剂基因来提高农作物的耐逆性。这意味着农民可以更方便地使用除草剂来控制杂草,而不会损害到棉花植株。另外,转基因棉花还可以通过提高产量和改良品质来满足不断增长的人口需求[16]。

总的来说,转基因棉花的发现和应用为农业生产带来了巨大的变革。它的出现极大地提高了棉花生产的效率和质量,对解决全球粮食安全问题起到了积极的作用。然而,在充分认识到其优势的同时,也要注意监管和合理使用,确保其安全性和可持续性发展。

## 4. 转基因棉花抗盐抗旱机制分析

### 4.1. 转基因棉花对盐胁迫的生理反应

盐胁迫是限制棉花生长和产量的重要环境因素之一。然而,通过转基因技术改良的棉花品种对盐胁迫表现出更强的耐受性。转基因棉花在面对盐胁迫时,展现出一系列生理反应,包括对渗透调节、离子平衡和抗氧化能力的调节。

在盐胁迫条件下,转基因棉花能够更好地调节细胞内外的渗透压,维持细胞内稳定的水分含量[17]。它表现出更高的渗透调节能力,使得细胞可以在高盐环境中保持正常的代谢活动。

此外,转基因棉花还能够调节离子的平衡,特别是钠和钾的平衡。在盐胁迫条件下,盐会导致土壤中钠离子的积累,从而影响植物细胞内钠和钾的平衡[18]。转基因棉花通过调节离子通道和转运蛋白的表达,能够更有效地排除多余的钠离子,并保持细胞内钾离子的平衡状态。与此同时,转基因棉花还表现出更强的抗氧化能力。盐胁迫会导致植物细胞内氧化应激的增加,产生过多的活性氧自由基,从而损伤细胞结构和功能。但转基因棉花通过提高抗氧化酶活性和非酶抗氧化物质的积累,能够有效清除自由基,减轻氧化损伤,保护细胞[19]。

总的来说,转基因棉花对盐胁迫表现出更强的耐受性,这主要归功于其在渗透调节、离子平衡和抗氧化能力等方面的生理反应。这些特点使得转基因棉花在盐碱地区的种植中具有巨大的潜力,为解决盐碱地区棉花种植面临的挑战提供了新的途径。

### 4.2. 转基因棉花对干旱胁迫的生理反应

转基因棉花是一种被改良的棉花品种,具有抗干旱能力。干旱是棉花生产过程中常见的自然灾害之一,对棉花生长和产量造成严重影响。因此,研究转基因棉花对干旱胁迫的生理反应具有重要意义。

研究表明,转基因棉花在干旱胁迫条件下呈现出一系列生理反应。首先,转基因棉花在干旱胁迫条

件下能够维持较高的水分含量，减缓水分流失的速度，从而保持细胞的稳定性。其次，转基因棉花能够调节和维持叶片气孔的开闭状态，降低水分蒸发速率，提高水分利用效率[20]。此外，转基因棉花还能够积累更多的可溶性糖类和蛋白质，以应对干旱引起的生理代谢变化，从而保持植物的生长和发育。

除了以上生理反应外，转基因棉花还表现出更快的干旱应答速度和更强的抗逆性。通过转基因技术引入特定的抗旱基因，使得转基因棉花能够在干旱条件下维持较高的生长速率和产量，相比传统棉花品种具有更好的抗旱性能[21]。

总体而言，转基因棉花对于干旱胁迫的生理反应表现出了一系列积极的特征，为解决棉花生产中的干旱问题提供了新的途径。然而，尚需进一步研究其对环境的影响及潜在风险，以确保其在实际生产中的安全性和可持续性。

### 4.3. 转基因棉花相关基因在耐盐抗旱过程中的作用机制

转基因棉花通过基因工程技术将特定的基因导入到棉花植株中，以赋予其特定的性状，比如耐盐和抗旱。在耐盐抗旱过程中，转基因棉花中的特定基因起着关键的作用。这些基因可以影响植物的生长与发育、养分吸收和利用、水分调节和抗氧化能力等方面[22]。

首先，转基因棉花中的耐盐基因可以调节植物对盐胁迫的反应。这些基因可以促进植物细胞内离子平衡的维持，降低盐分对植物的伤害。同时，耐盐基因还可以影响植物根系的生长和发育，增强植物对土壤中盐分的吸收和排斥能力[23]。

其次，转基因棉花中的抗旱基因可以调节植物对于干旱胁迫的适应能力。这些基因可以提高植物的水分利用效率，减缓水分流失速度，保持植物组织的水分平衡。同时，抗旱基因还可以调节植物的气孔开闭情况，减少水分蒸发，并且促进植物在干旱条件下的生长和发育。

除此之外，转基因棉花中的相关基因还可以影响植物的抗氧化能力。在盐碱地或干旱地区生长的棉花往往受到氧化损伤的影响，转基因棉花中的抗氧化基因可以减少氧化损伤的发生，保护植物细胞和组织的完整性和稳定性[24]。

总的来说，转基因棉花中的相关基因通过调节植物对盐碱和干旱胁迫的反应，提高植物的适应能力和抗性，从而改善了棉花在恶劣环境下的生长状况，为棉花的产量和质量提供了保障。

## 5. 转基因棉花耐盐抗旱育种的展望

### 5.1. 转基因棉花在盐碱地种植的应用前景

转基因棉花通过基因工程技术将特定的基因导入到棉花植株中，以赋予其特定的性状，比如耐盐和抗旱[25]。在耐盐抗旱过程中，转基因棉花中的特定基因起着关键的作用。这些基因可以影响植物的生长与发育、养分吸收和利用、水分调节和抗氧化能力等方面。

首先，转基因棉花中的耐盐基因可以调节植物对盐胁迫的反应[22]。这些基因可以促进植物细胞内离子平衡的维持，降低盐分对植物的伤害。同时，耐盐基因还可以影响植物根系的生长和发育，增强植物对土壤中盐分的吸收和排斥能力。

其次，转基因棉花中的抗旱基因可以调节植物对于干旱胁迫的适应能力。这些基因可以提高植物的水分利用效率，减缓水分流失速度，保持植物组织的水分平衡。同时，抗旱基因还可以调节植物的气孔开闭情况，减少水分蒸发，并且促进植物在干旱条件下的生长和发育[26]。

除此之外，转基因棉花中的相关基因还可以影响植物的抗氧化能力。在盐碱地或干旱地区生长的棉花往往受到氧化损伤的影响，转基因棉花中的抗氧化基因可以减少氧化损伤的发生，保护植物细胞和组织的完整性和稳定性。

总的来说,转基因棉花中的相关基因通过调节植物对盐碱和干旱胁迫的反应,提高植物的适应能力和抗性,从而改善了棉花在恶劣环境下的生长状况,为棉花的产量和质量提供了保障。

## 5.2. 耐盐抗旱转基因棉花品种的研发和推广

耐盐抗旱转基因棉花品种的研发与推广是当前棉花生产领域的重要课题之一。面对气候变化和土壤盐碱化等问题,传统棉花品种往往面临着生长不良、产量减少的困境。因此,利用转基因技术培育耐盐抗旱的棉花品种成为了解决这一难题的重要途径[27]。

在耐盐抗旱转基因棉花品种的研发过程中,科研人员通过引入特定的抗盐、抗旱基因,以增强棉花对盐碱地和干旱环境的适应能力。这些转基因品种不仅可以提高棉花的耐受性,还能够保持其高产性和优质性,从而为棉农提供更多的选择。

推广耐盐抗旱转基因棉花品种需要科研机构、政府部门和企业的共同努力[28]。科研机构需要加大对该品种的研发投入,并加强与棉农的合作,促进品种的实际种植和应用。政府部门则需要出台相关政策,支持和鼓励耐盐抗旱转基因棉花品种的推广,为其提供更多的种植和市场机会。同时,企业也可以通过技术推广和市场营销,将耐盐抗旱转基因棉花品种推向市场,让更多的棉农受益。

总的来说,耐盐抗旱转基因棉花品种的研发和推广具有重要的意义,可以为棉花生产带来新的突破和发展,为解决盐碱地和干旱环境下的棉花种植问题提供有效的解决方案[22]。希望各方能够携手合作,推动耐盐抗旱转基因棉花品种的研发和推广工作取得更好的成效。

## 5.3. 转基因技术在棉花育种中的可持续发展

转基因技术在棉花育种中的应用已经取得了长足的进展,并且在推动棉花产业可持续发展方面发挥着关键作用。通过转基因技术,科研人员可以向棉花植株中引入抗虫、耐旱、耐盐等有益基因,从而提高棉花的产量和抗逆性,实现更加稳定和可持续的生产[29]。

转基因棉花品种具有抗虫能力,可以减少对化学农药的依赖,降低农药残留,保护生态环境。此外,转基因棉还能够在干旱和盐碱地区表现出较强的耐旱和耐盐能力,使得棉花在恶劣环境下仍能保持较高的产量和质量。这些特性使得转基因棉花在全球范围内得到广泛种植,并为农民带来了丰厚的经济收益[30]。

除了提高棉花产量和抗逆性外,转基因技术也为棉花育种提供了新的方法和途径。通过基因编辑技术,科研人员可以精准地修改棉花的基因组,创造出更加优良的品种[31]。同时,转基因技术也可以帮助科研人员深入了解棉花植物的生长发育机制和抗逆适应机制,为棉花育种提供了更多的科学依据。

总的来说,转基因技术在棉花育种中的应用有助于提高棉花产量和质量,减少农药使用,促进农业可持续发展。随着转基因技术的不断发展和完善,相信它将继续在棉花产业中发挥重要作用,为全球棉花生产和经济发展做出更大贡献。

## 6. 展望

转基因技术已经被广泛应用于提高作物的耐盐抗旱性。在转基因棉花的研究中,科学家们利用基因编辑技术,成功地将耐盐抗旱的基因导入了棉花中。这些转基因棉花品种不仅能够高盐浓度和干旱条件下生长,而且具有更高的产量和质量。这为解决盐碱地和干旱地区的棉花种植难题提供了新的途径。此外,转基因棉花的耐盐抗旱性研究也为其他作物的改良提供了有益的经验。在未来,随着转基因技术的进一步发展和应用,相信转基因棉花的耐盐抗旱性将会得到更大的突破,为全球粮食安全和农业可持续发展做出更大的贡献。

## 参考文献

- [1] 张春玲. 生物育种技术发展中的法律框架与策略探讨: 保护与创新的平衡[J]. 分子植物育种, 2024, 22(1): 144-149. <https://doi.org/10.13271/j.mpb.022.000144>
- [2] 董瑞玲. 农作物遗传资源保护与国际知识产权法律框架的协调与对接[J]. 分子植物育种, 2024, 22(4): 1259-1264. <https://doi.org/10.13271/j.mpb.022.001259>
- [3] 刘阳. 转基因作物产业化推广的社会协调研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2022. <https://doi.org/10.26949/d.cnki.gblyu.2022.000051>
- [4] 赵维彬, 王松, 刘玲玲, 等. 生物炭改良盐碱地效果及其对植物生长的影响研究进展[J/OL]. <https://doi.org/10.19336/j.cnki.trtb.2022090803>, 2024-03-26.
- [5] 周睿, 颀建明, 张婧, 等. NaCl 胁迫对青花菜幼苗生长生理特性的影响[J/OL]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.s.20231206.0952.015.html>, 2024-03-26.
- [6] 程利华. 转 ScALDH21 基因棉花的获得及耐盐性鉴定[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2022. <https://doi.org/10.27431/d.cnki.gxnyu.2022.000784>
- [7] 李畅, 杨忠芳, 余涛, 等. 干旱区土壤无机碳汇作用及其对固碳减排贡献研究进展[J/OL]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20231227.1441.004.html>, 2024-03-26.
- [8] 张依琳. 陆地棉 GhTULPs 基因家族鉴定及其抗旱功能研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2022. <https://doi.org/10.27466/d.cnki.gzzdu.2022.003382>
- [9] 刘莉, 裴磊, 卫云宗. 抗旱节水小麦分子遗传育种研究进展[J]. 分子植物育种, 2020, 18(1): 282-295. <https://doi.org/10.13271/j.mpb.018.000282>
- [10] 万玺宏, 张会龙, 朱建峰, 等. 液泡膜转运蛋白在植物耐盐性调控中的作用[J]. 植物生理学报, 2024, 60(2): 295-310. <https://doi.org/10.13592/j.cnki.ppj.300144>
- [11] 宋冰梅, 姜岩, 陈鑫, 等. 新型转基因高产棉花萌发期和苗期耐盐性与耐碱性评价[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(9): 2239-2247.
- [12] 魏珣, 张娟, 江易林, 等. 生物农业前沿技术研究进展[J]. 中国生物工程杂志, 2024, 44(1): 41-51. <https://doi.org/10.13523/j.cb.2312104>
- [13] 赵俊杰, 任中英, 章志强, 等. 分子设计育种在棉花中的应用进展与展望[J]. 棉花学报, 2023, 35(5): 412-428.
- [14] 蒋金金, 苏汉东, 洪登峰, 等. 植物生物技术研究进展[J]. 植物生理学报, 2023, 59(8): 1436-1462. <https://doi.org/10.13592/j.cnki.ppj.600006>
- [15] 任振涛. 中国转基因作物产业化进程中的安全评价研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中央民族大学, 2023. <https://doi.org/10.27667/d.cnki.gzymu.2023.000001>
- [16] 王冠英. 棉花碱基编辑系统的创建及在株型改良中的应用[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2023. <https://doi.org/10.27158/d.cnki.ghznu.2023.000119>
- [17] 王小文. GhNAC1 调控棉花耐盐性的机理研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2023. <https://doi.org/10.27280/d.cnki.gdsu.2023.000843>
- [18] 张轶. 褪黑素种子引发提高无色素腺体棉耐盐和镉胁迫的机理研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2022. <https://doi.org/10.27461/d.cnki.gzjdx.2022.002321>
- [19] 王维. 盐胁迫条件下陆地棉活性氧代谢相关基因的功能研究[D]: [博士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [20] 孙伟男. GhCBL1A1-GhCIPK6D1 信号介导的棉花抗旱机理研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2022. <https://doi.org/10.27158/d.cnki.ghznu.2022.000029>
- [21] 陆燕元. 干旱胁迫及复水过程中转 Cu/Zn SOD 和 APX 基因甘薯生理生化响应机制研究[D]: [博士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2010.
- [22] 郭三堆, 王远, 孙国清, 等. 中国转基因棉花研发应用二十年[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3372-3387.
- [23] 赵文龙. 转基因抗旱棉花材料的创制、分子检测及安全性评价[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2022. <https://doi.org/10.27158/d.cnki.ghznu.2022.000969>
- [24] 刘云海. 转 CrSMT 基因棉花的鉴定与表型分析[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西农业大学, 2020. <https://doi.org/10.27177/d.cnki.gjxnu.2020.000295>
- [25] 王志才, 张富春. 外源基因转化棉花育种研究的进展与应用[J]. 生物技术通报, 2011(2): 12-17. <https://doi.org/10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2011.02.025>
- [26] 王春玲. 转 ZmABP9 棉花抗逆功能分析和 CRISPR/Cas9 介导的棉花基因定点突变初探[D]: [博士学位论文]. 北

- 
- 京: 中国农业大学, 2017.
- [27] 赵云雷, 王宁, 葛晓阳, 等. 棉花抗逆遗传改良技术与应用[J]. 棉花学报, 2017, 29(z1): 11-19.
- [28] 郑巨云, 李雪源, 王俊铎, 等. 中国棉花遗传改良40年研究进展[C]//中国农学会棉花分会. 中国农学会棉花分会40年征文暨2019年年会论文汇编: 2019年卷. 乌鲁木齐: 新疆农业科学院经济作物研究所, 2019: 1-11.  
<https://doi.org/10.26914/c.cnkihy.2019.107983>
- [29] 孟祥彬, 张红兵. 农作物产品的生物技术壁垒与贸易保护问题分析[J]. 分子植物育种, 2023, 21(17): 5687-5691.  
<https://doi.org/10.13271/j.mpb.021.005687>
- [30] 秦耕. 植物遗传资源全球治理机制复合体的演变模式及其原因分析[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2022.  
<https://doi.org/10.27461/d.cnki.gzjdx.2022.002539>
- [31] 古力努尔·艾哈塔尔. 生物技术在棉花育种中的应用探究[J]. 科技创新与应用, 2016(13): 287.