

# 氮肥减量配施壳寡糖对棉花根系生长及根际土壤酶活性的影响

李建成<sup>1,2</sup>, 伍维模<sup>1,2</sup>, 赵长巍<sup>1,2</sup>, 谭雨杰<sup>1</sup>, 董丽珺<sup>1,2</sup>, 支金虎<sup>1,2</sup>

(1. 塔里木大学农学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学南疆绿洲农业资源与环境研究中心, 新疆 阿拉尔 843300)

**摘要:** 改善根际土壤环境以及促进棉花根系发育对棉花健康生长及产量和品质的提高意义重大。为探究氮肥减量配施壳寡糖促进棉花根系生长及调节土壤酶活性的作用, 以盆栽试验和田间小区试验为研究方法, 设置了不施肥、常规施肥(施 N 400 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 140 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 130 kg/hm<sup>2</sup>)、常规减氮 20% 施肥、常规减氮 20% 施肥+聚合度 2~6 型壳寡糖 450 g/hm<sup>2</sup>、常规减氮 20% 施肥+聚合度 2~20 型壳寡糖 450 g/hm<sup>2</sup> 等 5 个处理, 研究了氮肥减量配施不同聚合度类型壳寡糖对棉花根系生长和根际土壤酶活性的影响。结果表明, 除土壤过氧化氢酶外, 2 个配施壳寡糖的处理均不同程度上降低了土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶活性, 其中酶活性降幅最大的为土壤磷酸酶, 常规减氮 20% 施肥配施聚合度 2~6 型壳寡糖处理和常规减氮 20% 施肥配施聚合度 2~20 型壳寡糖处理分别比常规减氮 20% 施肥处理降低 10.6% 和 5.5%。常规减氮 20% 施肥配施聚合度 2~6 型壳寡糖处理较常规减氮 20% 施肥处理土壤硝态氮含量增加了 38.1%, 而常规减氮 20% 施肥配施聚合度 2~20 型壳寡糖处理较常规减氮 20% 施肥处理土壤硝态氮含量降低了 43.4%。并且施加聚合度 2~6 型、聚合度 2~20 型 2 种不同聚合度类型壳寡糖后, 棉花根长较常规减氮 20% 施肥处理分别增加 64.2%、40.1%, 根表面积较常规减氮 20% 施肥处理增加 74.8%、54.4%, 根体积较常规减氮 20% 施肥处理增加 106.2% 和 73.2%。由此可见, 聚合度 2~6 型壳寡糖对促进棉花根系生长效果要优于聚合度 2~20 型壳寡糖。

**关键词:** 棉花; 氮肥减量; 配施; 壳寡糖; 根系生长; 土壤酶活性

**中图分类号:** S562; S147.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2024)08-0752-07

**doi:** 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.08.010

## Effects of Nitrogen Reduction Combined with Chitosan Oligosaccharides on the Root Growth and Rhizosphere Soil Enzyme Activity of Cottons

LI Jiancheng<sup>1,2</sup>, WU Weimo<sup>1,2</sup>, ZHAO Changwei<sup>1,2</sup>, TAN Yujie<sup>1</sup>, DONG Lijun<sup>1,2</sup>, ZHI Jinhu<sup>1,2</sup>

(1. College of Agriculture, Tarim University, Alar Xinjiang 843300, China; 2. Southern Xinjiang Oasis Agricultural Resources and Environment Research Centre, Alar Xinjiang 843300, China)

**Abstract:** Improving the rhizosphere soil environment and promoting the development of cotton roots are of great significance for the healthy growth, yield, and quality of cotton. To explore the effect of reduced nitrogen fertilizer application combined with chitosan oligosaccharide on promoting cotton root growth and regulating soil enzyme activity, a pot experiment and field plot experiment were conducted. Five treatments were set, i.e., no fertilizer, conventional fertilization (N 400 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 140 kg/ha, K<sub>2</sub>O 130 kg/ha), 20% nitrogen reduction fertilization, 20% nitrogen reduction fertilization+450 g/ha chitosan oligosaccharide with a degree of polymerization of 2 to 6, and 20% nitrogen reduction fertilization+450 g/ha chitosan oligosaccharide with a degree of polymerization of 2 to 20. The effects of nitrogen fertilizer reduction combined with chitosan oligosaccharide with different degree of polymerization on cotton root growth and rhizosphere soil enzyme activity were studied. The results showed that, except for soil catalase, the two chitosan oligosaccharide treatments reduced soil urease, sucrase, and phosphatase activities to varying degrees. The largest decrease was observed in soil phosphatase activity, with reductions of 10.6% and 5.5% compared to the 20% nitrogen reduction treatment, for the 2 to 6 and 2 to 20 degree polymerization chitosan oligosaccharide treatments, respectively. The 2 to 6 degree polymerization chitosan oligosaccharide treatment increased soil nitrate nitrogen content by 38.1% compared to the 20% nitrogen reduction treatment, while the 2 to 20 degree polymerization chitosan oligosaccharide treatment decreased soil nitrate

收稿日期: 2024-01-20; 修订日期: 2024-05-28

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发计划项目(2022B02053-2); 塔里木大学校长基金创新团队项目(TDZKXC202301)。

作者简介: 李建成(1999—), 男, 新疆阿克苏人, 硕士, 主要从事植物营养与环境的相关研究工作。Email: 18196315286@163.com。

通信作者: 支金虎(1978—), 男, 甘肃张掖人, 教授, 博士, 主要从事植物营养与环境的相关研究工作。Email: zjhzky@163.com。

nitrogen content by 43.4%. Additionally, the 2 to 6 and 2 to 20 degree polymerization chitosan oligosaccharide treatments increased cotton root length by 64.2% and 40.1%, root surface area by 74.8% and 54.4%, and root volume by 106.2% and 73.2%, respectively, compared to those in the 20% nitrogen reduction treatment. These findings indicate that chitosan oligosaccharide with a degree of polymerization of 2 to 6 is more effective in promoting cotton root growth than that with a polymerization degree of 2 to 20.

**Key words:** Cotton; Nitrogen reduction; Combined application; Chitosan oligosaccharide; Root growth; Soil enzyme activity

棉花是我国重要的经济作物, 2023 年新疆棉花的种植面积为 236.93 万  $\text{hm}^2$ , 占全国种植面积的 85%, 产量高达 511.2 万 t, 占全国总产的 91%<sup>[1]</sup>。目前由于氮肥的不合理施用导致氮肥利用率过低, 氮素大量淋溶损失, 从而造成土壤环境的恶化<sup>[2]</sup>, 不利于农业生产, 农业农村部明确提出化肥减量增效, 优化施肥是当前工作的重点, 难点以及未来农业发展的趋势<sup>[3]</sup>。棉花根系是棉花吸收水分和营养物质的重要器官, 根系土壤酶是促进作物吸收和养分利用的重要物质<sup>[4]</sup>, 根系的生长状况及土壤酶活性的高低能够反映作物对根际土壤养分吸收和转化能力。因此, 改善根际土壤环境以及促进棉花根系发育对棉花健康生长及产量和品质的提高具有重要的研究意义。

壳寡糖是由壳聚糖经过降解得到的产物, 由  $\beta$ -1, 4 糖苷键形成的聚合度在 2~20 的低聚糖<sup>[5]</sup>, 它既是农药, 也作为一种杀菌剂, 并且还是一种糖类, 施入土壤中能够起到杀菌、供给微生物碳源等作用, 会对土壤中的微生物活动起到调节作用, 微生物通过代谢活动, 能够产生土壤酶等物质<sup>[6]</sup>, 分解土壤有机质促进作物对养分的吸收及利用<sup>[7]</sup>, 可以调节土壤中酶活性, 促进植株健康生长。

许多研究表明, 壳寡糖具有促进植株生长<sup>[8]</sup>, 提高抗逆能力<sup>[9]</sup>, 防控作物病虫害<sup>[10]</sup>, 以及能够调节土壤中微生物的活动的的作用<sup>[6]</sup>, 如孙凯等<sup>[11]</sup>研究表明, 壳寡糖能够诱导苕麻对苕麻夜蛾产生抗性, 降低其虫害; 在烟草施加一定量的壳寡糖能够促进烟草的生长<sup>[12]</sup>; 崔世宇<sup>[13]</sup>使用壳寡糖配施根际促生菌后, 壳寡糖对棉花枯萎病具有良好的拮抗作用, 棉花地上部干重、主根长、根干重分别提高了 192.72%、64.79%、176.66%, 匡银近等<sup>[14]</sup>用稀土配施壳寡糖处理大豆种子, 显著提高了根长, 根干重, 陈伟益<sup>[15]</sup>发现在山药上施用壳寡糖后降低了土壤脲酶, 磷酸酶, 过氧化氢酶等酶活性。以上结果均表明合理配施壳寡糖具有减

量增效的作用, 但仅有少数学者研究了壳寡糖对作物根系及土壤酶活性的影响, 在棉花上的应用极为缺乏, 因此本试验以此为创新, 利用壳寡糖作为一种核心添加物, 研究氮肥减量配施壳寡糖对棉花根系生长及根际土壤酶活性的影响, 以期壳寡糖在棉花上的应用提供一定的参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

指示棉花品种为塔河 2 号陆地棉(由新疆塔里木河种业股份有限公司选育并提供)。供试壳寡糖为聚合度 2~6 型壳寡糖(由大连中科格莱克生物有限公司生产, 分子量  $\leq 2\ 000$ , 含量  $\geq 80\%$ )、聚合度 2~20 型壳寡糖(由青岛颂田生物有限公司生产, 分子量  $\leq 2\ 000$ , 脱乙酰度  $\geq 90\%$ , 含量  $\geq 90\%$ )。供试肥料为尿素(含 N 46%, 由阿克苏华锦化肥有限责任公司生产)、磷酸一铵(含 N 11%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  47%, 由瓮福有限责任公司生产)、硫酸钾(含  $\text{K}_2\text{O}$  50%, 由邦力达农资有限公司生产)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 盆栽试验 盆栽试验的目的是评价壳寡糖对根系生长的影响且方便采集根系, 其土壤基础理化性质为有机质 11.12 g/kg、全氮 0.66 g/kg、全磷 0.90 g/kg、全钾 21.95 g/kg、碱解氮 47.74 mg/kg、有效磷 37.94 mg/kg。盆栽试验用盆规格为高 40 cm、直径 30 cm。每盆装土 27 kg。于 2023 年 5 月 1 日播种, 每盆种植 4 株棉花。

1.2.2 田间试验 田间试验的目的是评价大田生长条件下壳寡糖对棉花根际土壤酶活性的影响, 耕层土壤基础理化性质为有机质 11.12 g/kg、全氮 0.66 g/kg、全磷 0.90 g/kg、全钾 21.95 g/kg、碱解氮 47.74 mg/kg、有效磷 37.94 mg/kg。田间试验在中国农业科学院棉花研究所阿拉尔试验站(新疆阿拉尔第一师十团)进行。小区面积 54.72  $\text{m}^2$ (8.00 m  $\times$  6.84 m)。于 2023 年 4 月 14 日按株行距 65 cm  $\times$  10 cm 播种。

盆栽试验和田间试验均设 5 个处理, 分别为

处理 T1, 不施肥; 处理 T2, 常规施肥, 施 N 400 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 140 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 130 kg/hm<sup>2</sup>; 处理 T3, 减氮 20% 施肥, 常规施肥量的基础上减施氮肥 20%, 即施 N 320 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 140 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 130 kg/hm<sup>2</sup>; 处理 T4, 常规减氮 20% 施肥 (施 N 320 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 140 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 130 kg/hm<sup>2</sup>) + 施聚合度 2~6 型壳寡糖 450 g/hm<sup>2</sup>; 处理 T5, 常规减氮 20% 施肥 (施 N 320 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 140 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 130 kg/hm<sup>2</sup>) + 施聚合度 2~20 型壳寡糖 450 g/hm<sup>2</sup>。试验均采用单因素完全随机区组设计, 均重复 6 次。

盆栽试验和田间试验相同处理施肥水平保持一致。棉花生育期间共灌水 10 次, 灌水总量为 4 500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。肥料和壳寡糖均采用水肥一体化设施施用, 共施 8 次。

### 1.3 测定指标及方法

1.3.1 盆栽试验棉花根系生长指标的测定 在花铃期每盆选取棉花 4 株, 采集根系装入自封袋带回实验室用水冲洗根表面附着的土壤, 使用 LA-s 植物根系扫描仪进行测量及分析棉花根长, 根体积, 根表面积, 平均直径等指标。

1.3.2 田间小区试验根际土壤酶活性、土壤硝态氮、铵态氮的测定 在花铃期, 各小区选取长势一致的棉花 4 株, 挖出后抖落根系土壤装入自封袋, 低温 -20 ℃ 保存用于酶活性及土壤硝态氮、铵态氮的测定。

参照关松荫<sup>[16]</sup>的方法测定脲酶(采用靛酚蓝比色法)、磷酸酶(采用磷酸苯二钠比色法)、过氧化氢酶(采用高锰酸钾滴定法)、蔗糖酶(采用 3, 5-二硝基水杨酸比色法), 采用紫外分光光度法测定硝态氮<sup>[17]</sup>, 采用靛酚蓝比色法测定铵态氮<sup>[18]</sup>。

### 1.4 数据处理及分析

采用 Excel 2021 进行数据处理, 运用 SPSS 26.0 软件进行数据统计及方差分析<sup>[19-20]</sup>, 采用邓肯式新复极差法进行多重比较, 采用 Origin 2022 软件进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对棉花根系的影响

根系能够反映植株对养分吸收和利用能力的大小, 它受到很多因素的影响, 如施肥、灌水等因素, 合理的施肥能够促进根系的健康生长。由表 1 可知, 各处理间根系指标均有不同程度的差异。T1(CK)、T2、T3 处理间根长差异不显著, 而 T4 处理和 T5 处理与其他处理相比, 则明显增加了棉花根长, 其中 T4 处理根长最长, 为 301.02 cm/株, 较 T1(CK)增加 88.3%; 其次为 T5 处理; 根长为 256.79 cm/株, 较 T1(CK)增加 60.6%; 同时可看出, T4 处理、T5 处理分别比 T3 处理增加了 64.2%、40.1%。各处理较 T1(CK)根体积均有不同程度的增加, 其中 T4 处理与 T1(CK)差异显著, 其余处理间差异均不显著。T4 处理根体积最大, 为 57.75 cm<sup>3</sup>/株, 较 T1(CK)增加 134.6%; T5 处理次之, 为 48.50 cm<sup>3</sup>/株, 较 T1(CK)增加 97.0%。同时可看出, T4 处理、T5 处理的根体积分别较 T3 处理增加了 106.3%、73.2%。棉花根表面积各处理间也出现显著性差异, 其中棉花根表面积以 T4 处理最大, 为 284.38 cm<sup>2</sup>/株, 较 T1(CK)增加 86.7%; 其次为 T5 处理, 为 251.17 cm<sup>2</sup>/株, 较 T1(CK)增加 64.9%。T4 处理、T5 处理的棉花根表面积分别较 T3 处理增加了 74.8%、54.4%。棉花根系平均直径各处理间均差异不显著, 其中以 T1(CK)最大, 为 1.93 mm; 其余处理均较 T1(CK)减小, 减幅为 2.1%~14.5%。以上结果表明, 施用

表 1 不同处理下棉花根系指标的变化<sup>①</sup>

处理	根长 (cm/株)	根体积 (cm <sup>3</sup> /株)	根表面积 (cm <sup>2</sup> /株)	平均直径 (mm)
T1(CK)	159.89±24.53 c	24.62±7.38 b	152.34±34.39 c	1.93±0.25 a
T2	212.31±6.21 bc	36.75±5.36 ab	192.90±17.82 abc	1.70±0.26 a
T3	183.29±15.87 c	28.00±2.00 ab	162.68±9.28 bc	1.66±0.21 a
T4	301.02±20.22 a	57.75±16.62 a	284.38±43.51 a	1.89±0.29 a
T5	256.79±16.07 ab	48.50±3.83 ab	251.17±21.28 ab	1.65±0.14 a

①表中同列不同小写字母表示差异在 P<0.05 水平显著, 下表同。

壳寡糖的 T4 处理和 T5 处理对棉花根长、根体积、根表面积的增加具有不同程度促进作用, 其对促进棉花根长增加的效果较为显著。

## 2.2 不同处理对棉花根际土壤硝态氮和铵态氮的影响

土壤硝态氮和铵态氮是植株吸收土壤氮素的主要形态, 由图 1 可知, 各处理间铵态氮含量差异均不显著, 说明不同施肥处理下土壤铵态氮含量变化差异较小。而土壤硝态氮含量处理间出现显著差异, 除 T1(CK) 外, 各处理硝态氮含量均达到较高水平, 其中 T4 处理硝态氮含量最高, 较 T3 处理增加了 38.1%; 其次为 T2 处理; T5 处理最低, 较 T3 处理降低了 43.4%, 说明施加壳寡糖(聚合度 2~6 型)的 T4 处理能够促进氮素向硝态氮形态的转变, 促进植株对土壤硝态氮含量的吸收及利用, 而施加壳寡糖(聚合度 2~20 型)的 T5 处理能够降低土壤硝态氮的含量, 说明该类型壳寡糖能够抑制土壤中氮素向硝态氮形态的转变。

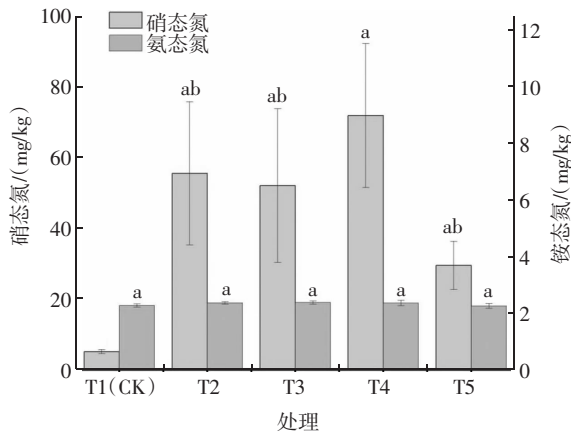


图 1 不同处理下根际土壤硝态氮, 铵态氮含量的变化

## 2.3 不同处理对棉花根际土壤脲酶的影响

土壤脲酶主要参与土壤中氮素的转化及植物对氮素吸收, 脲酶活性的高低能够反映土壤的供氮水平<sup>[21]</sup>。从图 2 可知, 脲酶的活性与氮素具有显著的相关关系, 不同处理下, 脲酶活性最高的为 T2 处理, 显著高于最低的 T1(CK); 其他施肥处理下土壤脲酶均不同程度高于 T1(CK), 施加壳寡糖的 T4 处理和 T5 处理较 T3 处理分别降低了 9.9%、1.9%, 说明施加壳寡糖的 2 个处理能够在一定程度上降低土壤脲酶的活性, 从而能够影响到植株对氮素的吸收和利用。

## 2.4 不同处理对棉花根际土壤蔗糖酶活性的影响

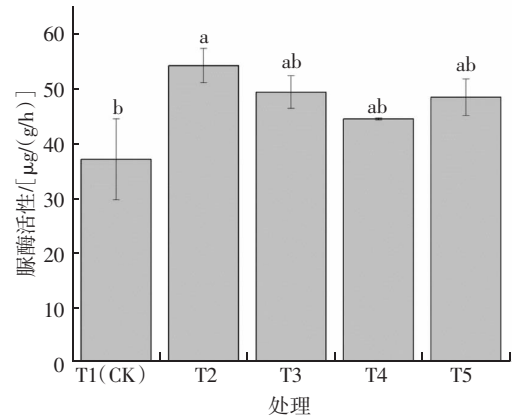


图 2 不同处理下根际土壤脲酶活性的变化

土壤蔗糖酶能够分解蔗糖, 提供能量和碳源以促进有机物的分解和转化, 影响土壤的酸碱性和有机质的变化, 从而影响到土壤质量及棉株对养分的吸收和利用情况。因此是评价土壤肥力的一个重要指标<sup>[22]</sup>。从图 3 可知, 施加壳寡糖后的 T4 处理和 T5 处理相较于其他处理土壤蔗糖酶的活性变化没有显著差异, 但各施肥处理的土壤蔗糖酶活性均高于 T1(CK)。相较于 T3 处理, T4 处理和 T5 处理均有一定程度降低, 降幅分别为 3.0%、1.8%。由此可见, 施加壳寡糖的 T4 处理和 T5 处理均能在一定程度上降低土壤蔗糖酶的活性, 这会影响到土壤中酸碱性和有机质的变化, 从而影响到土壤质量及棉株对养分的吸收和利用情况。

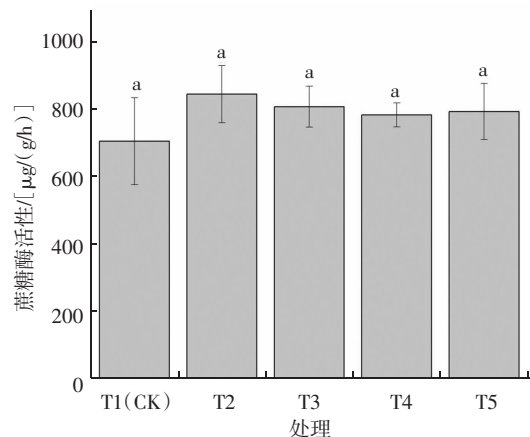


图 3 不同处理下根际土壤蔗糖酶活性的变化

## 2.5 不同处理对棉花根际土壤磷酸酶活性影响

土壤磷酸酶是一种水解酶, 它参与土壤中有有机磷和无机磷的转化, 可将其转化为供作物吸收利用的磷酸盐<sup>[23]</sup>, 土壤中的磷酸酶分为碱性和酸性磷酸酶, 两种类型的酶都能够促进作物对磷酸盐的吸收作用, 从而具有间接调节植物生长的作用。从图 4 可知, 各施肥处理较 T1(CK) 相比, 土

壤磷酸酶均有一定程度的增加，施加不同聚合度类型的壳寡糖的 T4 处理及 T5 处理较其他各处理相比均未出现显著性差异，但在 2 种不同聚合度类型的壳寡糖处理下，土壤磷酸酶活性也有一定程度降低，其中 T4 处理、T5 处理分别比 T3 处理降低了 10.6%、5.5%，因此 2 种施加壳寡糖的 T4 处理、T5 处理在一定程度上也能够引起土壤有机磷和无机磷的变化，进而改变棉花对土壤中磷素的吸收和利用状况。

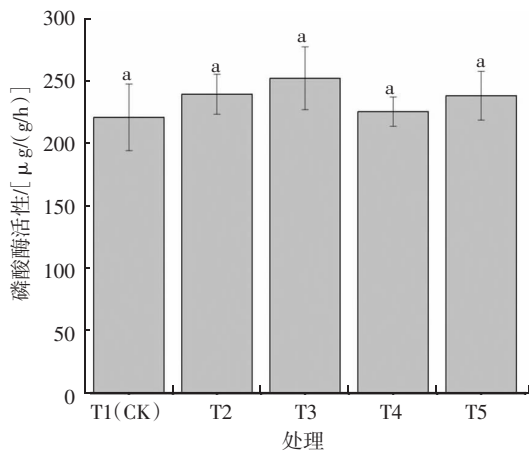


图 4 不同处理下根际土壤磷酸酶活性的变化

### 2.6 不同处理对棉花根际过氧化氢酶活性的影响

土壤过氧化氢酶的主要作用为分解土壤中的氢过氧化物，从而促进土壤中的氧化还原反应，提高土壤的通气性和水分利用率，增加土壤肥力，有利于作物生长发育，维持生态系统的稳定性，减少过氧化氢对细胞的毒害作用<sup>[24]</sup>。从图 5 可知，T1(CK)的土壤过氧化氢酶含量均高于其余处理，说明施肥能够降低土壤过氧化氢酶的活性。T4 处理相较于其他施肥处理土壤过氧化氢酶的活性均不

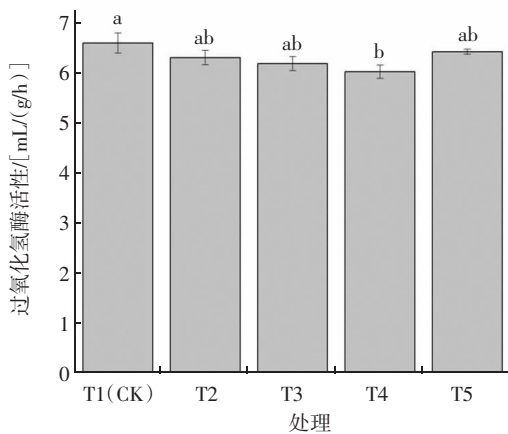
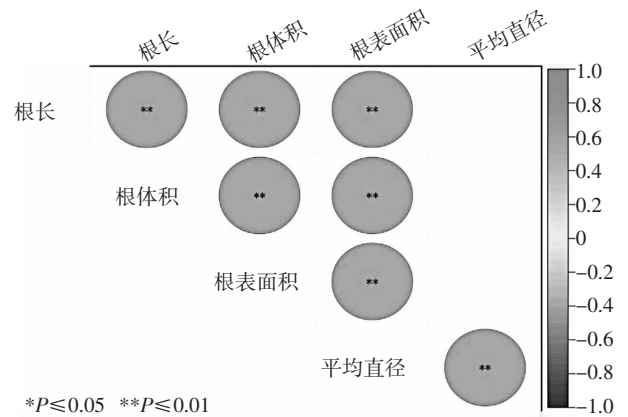


图 5 不同处理下根际土壤过氧化氢酶活性的变化

同程度降低，其中较 T3 处理降低了 2.5%；而 T5 处理较 T3 处理相比能够一定程度上增加过氧化氢酶的活性，较 T3 处理增加了 3.7%，说明聚合度 2~20 型壳寡糖处理能够减轻过氧化物对细胞的毒害作用。由此可见，2 种不同类型壳寡的糖处理对过氧化氢酶的活性有不同程度的影响。

### 2.7 棉花根系指标间的相关性

由图 6 可知，棉花根系指标根长、根体积、根表面积之间均存在极显著正相关关系，平均直径与根长、根体积、根表面积之间无显著相关关系。



(\*、\*\* 表示各指标相关性在 0.01, 0.05 水平上显著，下同)

图 6 棉花根系各指标之间的相关性

### 2.8 棉花根际土壤酶活性与硝态氮,铵态氮的相关性

由图 7 可知，土壤过氧化氢酶与根际土壤酶、氮素等各指标之间均存在负相关关系，其中与硝态氮存在极显著负相关关系。除过氧化氢酶外，土壤氮素养分与根际土壤酶之间均存在一定的正相关关系，其中脲酶与蔗糖酶之间存在极显著正相关关系。

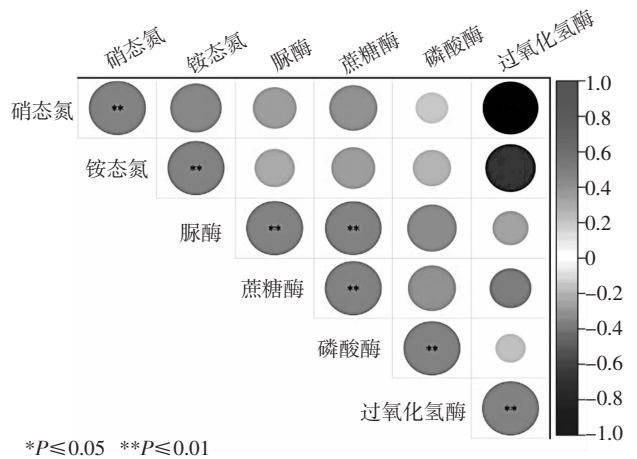


图 7 棉花根际土壤酶活性各指标之间的相关性

相关关系。

### 3 讨论与结论

根系是影响棉花健康生长和发育的重要营养器官, 根系生长的好坏决定着棉花对养分吸收及利用的情况, 胡蒙爱等<sup>[25]</sup>用芽孢杆菌和壳寡糖配施处理, 研究了壳寡糖对黄瓜根系生长的促进作用, 结果表明壳寡糖对其根长的生长具有一定的促进作用, 显著提高了根系平均直径, 根体积。毛小涛等<sup>[26]</sup>利用不同乙酰度的壳寡糖对马家柚进行喷施处理, 结果表明 10% 乙酰度的壳寡糖处理能够显著增加其幼苗的根长, 根表面积及根干质量。孙雪花等<sup>[27]</sup>使用不同聚合度的壳寡糖拌种研究其对促进小麦发芽的作用, 表明不同聚合度的壳寡糖对小麦的发芽及根系生长均具有促进作用, 这与本试验的研究结果一致。大量研究表明壳寡糖具有生根促长的作用, 但是针对壳寡糖在棉花上的应用较少。本研究探究了壳寡糖对促进棉花根系生长的作用, 结果表明壳寡糖对棉花根系及根际土壤酶活性均有不同程度的影响。

陈伟益等<sup>[15]</sup>研究表明在山药上施加一定量的壳寡糖, 能够不同程度降低土壤脲酶, 磷酸酶, 过氧化氢酶活性, 这与本研究的结果基本一致, 但不同的是, 经施加聚合度 2~20 型壳寡糖的处理后, 土壤过氧化氢酶活性有所增加, 原因可能由于不同聚合度类型的壳寡糖对各土壤酶活性的影响具有不同的差异。

试验结果表明, 除土壤过氧化氢酶外, 聚合度 2~6 型和 2~20 型 2 种壳寡糖处理均不同程度上降低了土壤脲酶, 蔗糖酶, 磷酸酶活性, 其中酶活性降幅最大的为土壤磷酸酶, 减氮 20% 施肥并施加聚合度 2~6 型壳寡糖的处理 (施 N 320 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 140 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 130 kg/hm<sup>2</sup>+ 施聚合度 2~6 型壳寡糖 450 g/hm<sup>2</sup>) 和减氮 20% 施肥并施加聚合度 2~20 型壳寡糖的处理 (施 N 320 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 140 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 130 kg/hm<sup>2</sup>) 分别比减氮 20% 施肥处理 (施 N 320 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 140 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 130 kg/hm<sup>2</sup>) 降低 10.6% 和 5.5%。减氮 20% 施肥并施加聚合度 2~6 型壳寡糖的处理和较减氮 20% 施肥处理土壤硝态氮含量增加了 38.1%, 减氮 20% 施肥并施加聚合度 2~20 型壳寡糖的处理较减氮 20% 施肥处

理土壤硝态氮含量降低了 43.4%。并且施加聚合度 2~6 型、聚合度 2~20 型 2 种不同聚合度类型壳寡糖后, 棉花根长较常规减氮 20% 施肥处理分别增加 64.2%、40.1%, 根表面积较常规减氮 20% 施肥处理增加 74.8% 和 54.4%, 根体积较常规减氮 20% 施肥处理增加 106.3%、73.2%。说明 2 种不同类型的壳寡糖处理能够不同程度促进棉花根系的生长, 影响棉花根际土壤酶活性, 聚合度 2~6 型壳寡糖对棉花的根系的生长促进作用要优于聚合度 2~20 型壳寡糖。

### 参考文献:

- [1] 国家统计局关于 2023 年棉花产量的公告[N]. 中国信息报, 2023-12-26(001).
- [2] 吴倩, 吴启侠, 邓超, 等. 控制排水条件下施氮水平对棉花生长、吸氮量和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(10): 32-38.
- [3] 农业农村部印发《到 2025 年化肥减量化行动方案》[J]. 磷肥与复肥, 2022, 37(12): 30.
- [4] 刘芳, 汪航飞, 蒲春燕, 等. 不同施肥对葡萄苗根际微生物量、土壤酶活性和生理的影响[J]. 四川农业大学学报, 2023, 41(2): 318-324.
- [5] 李茜茜, 杨云洁, 管世敏, 等. 壳寡糖的制备与应用研究进展[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(9): 27-31.
- [6] 钱远超, 何久兴, 孔梦, 等. 寡糖对土壤微生物多样性及群落结构的调节作用[J]. 中国农业气象, 2022, 43(6): 464-473.
- [7] 顾美英, 徐万里, 茆军, 等. 连作对新疆绿洲棉田土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 1-5; 11.
- [8] 马纪想, 穆伟. 壳寡糖对小麦生长及产量的影响研究[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(10): 27-29.
- [9] 徐溶蔓, 侯典云, 李春霞, 等. 外源壳寡糖喷施对干旱胁迫下‘科大绿 2 号’幼苗生理特性及产量的影响[J]. 现代园艺, 2023, 46(23): 1-6.
- [10] 陈维维. 四种植物免疫剂诱导烟草抗病虫害效应的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020.
- [11] 孙凯, 余永廷, 曾粮斌. 壳寡糖对苕麻的诱导抗虫作用[J]. 华中昆虫研究, 2015, 11(00): 307.
- [12] 张晓英, 王胜, 王洪凤, 等. 智能配施壳寡糖和褐藻寡糖对烟草生长和病毒抗性的影响[J]. 植物保护, 2023, 49(4): 41-46; 74.
- [13] 崔世宇. 壳寡糖与根际促生菌配施对棉花枯萎病的防治效应研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2023.
- [14] 匡银近, 陈金安, 彭惠娥, 等. 稀土-壳寡糖配合物

- 对大豆种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(16): 7410-7411.
- [15] 陈伟益. 壳聚糖和壳寡糖减轻连作山药炭疽病的效果及其机理[D]. 海口: 海南大学, 2022.
- [16] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1987.
- [17] 宋 歌, 孙 波, 教剑英. 测定土壤硝态氮的紫外分光光度法与其他方法的比较[J]. 土壤学报, 2007(2): 288-293.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [19] 张旭东, 安世杰, 支金虎, 等. 不同氮磷用量对红枣果实品质和产量的影响[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(5): 468-474.
- [20] 杨 娜, 白新禄, 胡志伟, 等. 不同矿化度灌溉水对春小麦种子萌发特性的影响[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(1): 69-74.
- [21] 王 娟, 谷雪景, 赵 吉. 羊草草原土壤酶活性对土壤肥力的指示作用[J]. 农业环境科学学报, 2006(4): 934-938.
- [22] 赵俊波, 胡兵辉. 水肥调控对茶树土壤酶及土壤养分的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2024, 44(2): 130-140.
- [23] 舒世燕, 王克林, 张 伟, 等. 喀斯特峰丛洼地植被不同演替阶段土壤磷酸酶活性[J]. 生态学杂志, 2010, 29(9): 1722-1728.
- [24] 熊维亮, 张宗锦, 赵明珠, 等. 生防菌剂与不同有机肥复配对植烟土壤微生物区系的影响[J]. 农学学报, 2019, 9(1): 21-25; 81.
- [25] 胡蒙爱, 张雪艳. 芽孢杆菌与壳寡糖混施对基质环境和黄瓜幼苗生长的影响[J]. 西北农业学报, 2023, 32(11): 1789-1798.
- [26] 毛小涛, 陈 凯, 杨 安, 等. 不同乙酰度壳寡糖对马家柚幼苗光合特性及根系的影响[J]. 中国南方果树, 2023, 52(1): 36-41.
- [27] 孙学花, 韩汝青, 熊海宇, 等. 不同聚合度壳寡糖拌种对小麦发芽的影响[J]. 现代农业科技, 2021(12): 1-3; 8.