

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.18479

叶面喷施几丁寡糖对辣椒的生长发育和品质的影响

毛志强, 辛雪成, 周 繁, 龙惊惊, 崔顺艳, 王 宇, 焦 姣, 王 芳*

(沈阳化工研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110021)

摘 要:以辣椒为试验材料, 探究了叶面喷施不同浓度的几丁寡糖对辣椒生长发育和品质的影响。试验采用盆栽方式, 设置 CK (水溶肥溶液)、J-1 (喷施 1 mg/L 几丁寡糖水溶肥溶液)、J-10 (喷施 10 mg/L 几丁寡糖水溶肥溶液) 3 个试验处理。结果表明, 叶面喷施不同浓度的几丁寡糖对辣椒的生长发育和品质产生显著的影响: (1) 处理 J-1 和 J-10 能够显著提高植株的地上部鲜重和地下部的干鲜重 ($P<0.05$), 株高和根冠比也有一定程度的增加, 但未达到显著差异水平; (2) J-1 和 J-10 处理的辣椒果长、果肉厚和单果重显著提高 ($P<0.05$), 但果径和果形指数未表现出显著差异水平; (3) 经过喷施几丁寡糖后, 辣椒果实的维生素 C 含量、可溶性蛋白、硝酸盐含量、可溶性糖含量、游离氨基酸含量显著增加 ($P<0.05$), 且处理 J-10 增加的幅度大于处理 J-1; 而类黄酮和总酚的相对含量、辣椒素含量和二氢辣椒素含量则显著减少 ($P<0.05$), 处理 J-10 减少的幅度大于处理 J-1; (4) 辣椒品质的相关性分析结果表明, 可溶性蛋白、可溶性总糖、蔗糖、果糖与 Vc 含量呈极显著正相关 ($P<0.01$); 辣椒素、二氢辣椒素与可溶性蛋白、可溶性总糖、Vc 含量呈极显著负相关。综合以上分析: 叶面喷施浓度为 10 mg/L 的几丁寡糖水溶肥溶液效果更为显著, 能够促进辣椒果实的生长发育, 提高辣椒的单果重, 改善辣椒的果实品质。

关键词:辣椒; 几丁寡糖; 生长发育; 品质

几丁质 (chitin) 又称作甲壳素, 是自然界中最丰富的生物聚合物之一, 它是由 *N*-乙酰基-葡萄糖胺通过 β -1, 4 糖苷键连接而成的直链多聚物^[1-2]。几丁寡糖 (Chitin Oligosaccharide) 是由几丁质降解得到的低聚糖, 由 2 ~ 10 个 *N*-乙酰氨基葡萄糖以糖苷键连接而成的一种分子量小, 易溶于水, 具有多种生物活性的寡糖^[3-4]。1985 年, “寡糖素 (Oligosaccharins)” 一词首次被 Albersheim 提出, 他认为寡聚糖具有调控植物生长发育, 提高植物的繁殖、防病等生物功能^[5], 黄刚良研究认为几丁寡糖能够调节植物生长, 诱导植物分泌几丁质酶, 促进植物细胞活化, 增加植物对病害的防御能力^[6]。沈奕等人对烟草研究表明, 叶面喷施几丁寡糖能够有效的防治烟草黑胫病, 也能够诱导体内的 SOD、POD 和几丁质酶活性的升高, 提高烟草抗性^[7]。Mohammedi 研究认为几丁寡糖作为种子包衣剂可以有效的防治地下害虫, 也能够促进大豆种子的萌发和品质的提

高^[8]。研究表明几丁寡糖作为一种新型的植物生长调节剂, 能够保护环境且不会导致农药残留, 因而具有重要的生物防治价值和广阔的开发应用前景。

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 又称番椒、青椒、秦椒等, 属于茄科辣椒属^[9], 是世界范围内广泛种植的蔬菜之一, 种植面积和产量分别占所有蔬菜总面积和总产量的 9.8% 和 11.1%, 我国辣椒的产量占世界总产量的 50.8%, 在国民经济中占有重要地位^[10]。辣椒是人们日常生活中常见的蔬菜作物和调味品之一^[11], 营养价值含量高, 富含维生素 C 和辣椒素^[12]。辣椒在整个生育期需肥量较大, 但是施用大量的化肥会显著降低辣椒的品质^[13-14]。近年来, 生物肥料越来越受到重视, 生物肥料的施用不仅降低农业成本, 而且能够提高作物生长和产量, 提高果实品质和肥料利用效率, 还能够保护土壤环境, 减少病害的发生^[15]。

对于几丁寡糖的研究, 前人主要集中在几丁寡糖的合成以及植物保护上的防病效应^[5-8], 而将几丁寡糖应用到蔬菜作物进行品质改善的研究还鲜有报道。因此, 本研究采用盆栽试验, 探究了喷施不同浓度几丁寡糖溶液对辣椒植株生物量

收稿日期: 2018-12-07; 录用日期: 2019-01-16

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFB0301500)。

作者简介: 毛志强 (1992-), 男, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 研究方向为作物生长调控和肥料。E-mail: maozhiqiang@sinochem.com。

通讯作者: 王芳, E-mail: wangfang1@sinochem.com。

积累、果实的生长发育、维生素 C 含量、可溶性糖含量、游离氨基酸含量以及辣椒素含量的影响,旨在揭示几丁寡糖对辣椒生长发育的影响以及品质的改善效应,为几丁寡糖在农业生产方面的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验于 2018 年在沈阳化工研究院玻璃温室中进行,试验材料为嘎啦小尖椒。将草炭土(花卉市场购买)与沙子按 1:1 混合均匀装至 54 cm×27 cm×6 cm 育苗盘中,将种子均匀播撒至育苗盘内并覆盖约 0.5 cm 厚的土层,从底部进行浇水,24~28℃阳光充裕条件下进行种子发芽育苗。待辣椒植株长至 2 片真叶后挑选长势一致的辣椒幼苗移栽至花盆中(花盆直径 12 cm,高 11 cm,每盆装大田土 0.9 kg),保持每盆苗生长条件一致,缓苗后施加底肥,底肥为复合肥(N-P₂O₅-K₂O=15-15-15),按用量 600 kg/hm²施用。准确称取 0.5 g 几丁寡糖(中国科学院金属研究所提供)加入到 50 mL 蒸馏水中,配成浓度为 10 g/L 的溶液作为母液,用 20-20-20 (N-P₂O₅-K₂O)的水溶肥溶液将几丁寡糖母液稀释成 1、10 mg/L 的溶液,配制成几丁寡糖叶面肥,喷施于辣椒叶面,每株辣椒喷施量一致,水溶肥 20-20-20 (N-P₂O₅-K₂O)剂量按 150 kg/hm²折算,移栽后 15 d 进行喷施,并于结果期(第一批结果)调查辣椒产量和品质。

试验包括 3 个处理,分别为 CK(喷施水溶肥)、J-1(喷施 1 mg/L 几丁寡糖水溶肥溶液)、J-10(喷施 10 mg/L 几丁寡糖水溶肥溶液),于 2018 年 4 月 10 日进行育苗,4 月 29 日进行移栽,5 月 14 日进行第一次喷施,6 月 2 日进行第二次喷施,共喷施两次,喷施量以叶片湿润为准。于 2018 年 7 月 10 日进行第一批辣椒果实调查和收获。试验设计见表 1。试验处理的设置是根据本研究室通过对辣椒苗期喷施 6 种不同浓度的几丁寡糖水溶肥溶液(0.1、0.5、1、10、100、200 mg/L)得出,其中喷施 1 和 10 mg/L 几丁寡糖水溶肥溶液效果最为显著,辣椒苗期地上部及地下部的生物量以及 SPAD 值提高最为明显,因此本研究设置了这两种浓度,研究叶面喷施几丁寡糖对辣椒生长发育及品质的影响。

表 1 叶面喷施几丁寡糖试验设计方案

处理	2 片真叶	缓苗	第一次喷施	第二次喷施	第一批结果
CK				水溶肥溶液	
J-1	移苗	复合肥 600 kg/hm ²	1 mg/L 几丁寡糖水溶肥溶液	调查收获	
J-10			10 mg/L 几丁寡糖水溶肥溶液		

1.2 项目测定与方法

1.2.1 辣椒产量及果实形态

辣椒果肉厚和果径采用游标卡尺进行测量;果长用直尺测量;果形指数:果形指数=果长/果径;单果重量使用天平进行称重。

1.2.2 辣椒植株生物量及 SPAD 值

辣椒植株将地上部与地下部分开,用蒸馏水洗净,吸去表面水分,称取鲜重,放置在烘箱中 105℃杀青 30 min,70℃烘干至恒重,称取其干重,记录生物量积累情况。SPAD 值测定采用 SPAD 叶绿素仪进行测定(型号为 SPAD-502)。

1.2.3 辣椒果实品质的测定

可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[16];维生素 C 含量测定采用 2,6-二氯酚酚滴定法^[17];硝酸盐含量测定采用水杨酸硝化法^[18];类黄酮和总酚的含量测定采用甲醇-盐酸浸提比色法^[19]。

1.2.4 辣椒叶片和果实的糖含量和游离氨基酸含量的测定

可溶性糖含量采用硫酸蒽酮显色法^[20-21];蔗糖和果糖含量测定采用间苯二酚显色法^[21];游离氨基酸含量采用酸性茚三酮显色法^[22]。

1.2.5 辣椒果实中辣椒素含量的测定

辣椒素和二氢辣椒素含量的测定采用高效液相色谱法^[23]。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 软件对数据进行处理,采用 SPSS 20.0 统计分析软件对数据进行差异显著性检验(LSD 法,α=0.05)和相关性分析,用 Sigmaplot 10.0 作图。

2 结果与分析

2.1 叶面喷施几丁寡糖对辣椒植株生物量积累的影响

植株的生物量积累是反映植株长势情况的重要指标之一,经过不同浓度的几丁寡糖叶面喷施后,辣椒植株的生物量表现出一定的差异(表 2)。

在株高方面, 处理 J-1 和 J-10 的辣椒植株的高度要大于处理 CK, 但是未达到差异显著水平; 在植株的生物学产量方面, 处理 J-1 和 J-10 的地上部和地下部鲜重显著大于 CK, 分别增加了 6.60%、9.71% 和 6.03%、7.74%, 而植株的干重也有一定程度的增加, 但是并未达到差异显著水平。植株的根冠比能够反映地上部与地下部的相关性, 也能够反映根系与地上部生长协调的关系, 表 2 表明, 处理 J-10 的根冠比要大于处理 J-1 和 CK, 但是未表现出差异水平。说明叶面喷施几丁寡糖后能够在一定程度上促进辣椒株高的增加和生物量的积累。

表 2 叶面喷施几丁寡糖对辣椒植株生物量积累的影响

处理	株高 (cm)	地上部鲜 重 (g)	地下部鲜 重 (g)	地上部干 重 (g)	地下部干 重 (g)	根冠比
CK	26.48a	12.23b	8.40b	2.02a	0.75b	0.374a
J-1	27.27a	13.03a	8.91a	2.23a	0.84ab	0.378a
J-10	27.72a	13.41a	9.05a	2.26a	0.88a	0.392a

注: 同一列数值后的不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著。下同。

2.2 叶面喷施几丁寡糖对辣椒植株叶绿素含量的影响

叶绿素含量是衡量叶片光合效率的一个重要指标。通过对辣椒叶片的叶绿素含量测定, 结果表明经过不同浓度的几丁寡糖的喷施后, 各处理间的叶绿素含量表现出显著的差异 (图 1)。与 CK 相比, 处理 J-10 的叶绿素含量显著升高, 增加了 8.25%; 而处理 J-1 升高了 3.94%, 但未达到差异显著水平。且表明叶片喷施几丁寡糖后会提高叶片的叶绿素含量, 且喷施的几丁寡糖浓度越大, 叶绿素含量增加越显著。

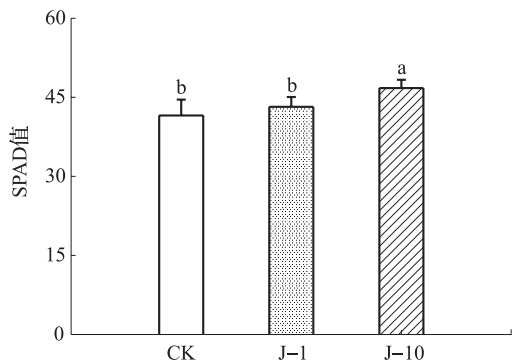


图 1 叶面喷施几丁寡糖对辣椒叶片 SPAD 值的影响
注: 方柱上不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.3 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实生长发育的影响

如表 3 所示, 通过对不同处理下辣椒果实形态和重量的测定表明, 喷施不同浓度的几丁寡糖会改变辣椒果实的形态, 提高单果的重量。与 CK 相比, 处理 J-1 和 J-10 能够显著提高辣椒果实长度和果肉厚度, 分别提高了 9.92%、13.55% 和 8.80%、13.15%, 且处理 J-10 提高的幅度更大; 同时单果重也显著提高, 处理 J-10 提高的更为显著, 提高了 26.99%。在果径和果实指数方面, 处理 J-1 和 J-10 与 CK 相比, 也表现出一定的增加趋势, 但是并未达到显著差异水平。说明喷施几丁寡糖能够提高辣椒果实的长度和果肉厚度, 进一步提高辣椒的产量。

表 3 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实生长发育的影响

处理	果长 (cm)	果径 (mm)	果肉厚 (mm)	单果重 (g)	果形指数
CK	7.96b	21.23a	2.60b	10.62b	4.02a
J-1	8.74a	21.82a	2.83a	12.05ab	4.17a
J-10	9.03a	22.49a	2.94a	13.48a	4.32a

2.4 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实品质的影响

由表 4 可知, 叶面喷施不同浓度的几丁寡糖对辣椒果实的品质产生了显著的影响。维生素 C 是一种重要的维生素, 也是鉴定作物优良品质的重要指标之一。随着喷施几丁寡糖浓度的升高, V_c 呈现出增加的趋势, 且与 CK 相比, 处理 J-1 和 J-10 表现出显著差异水平, 分别增加了 17.83% 和 27.85%。可溶性蛋白含量的变化与维生素 C 含量的变化趋势相同, 也表现出显著增加的趋势, 分别增加了 12.71% 和 20.19%, 且处理 J-10 增加的幅度显著大于 J-1。硝酸盐含量是反映蔬菜安全品质的一个重要指标, 硝酸盐含量过高会危害人体健康。结果表明随着喷施几丁寡糖浓度的升高, 硝酸盐的含量表现为升高的趋势, 处理 J-1 和 J-10 分别升高了 3.44% 和 8.20%, 但与 CK 相比, 并未表现出差异显著水平。总酚和类黄酮的相对含量则表现为显著减少的趋势, 随着浓度的升高, 减少的幅度越大, 与 CK 相比, 处理 J-10 的总酚和类黄酮含量分别减少了 18.71% 和 20.24%, 降低幅度较为显著。表明喷施几丁寡糖后能够显著诱导维生素 C 和可溶性蛋白含量的升高, 进一步提高了辣椒果实的品质。

表 4 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实品质的影响

处理	可溶性蛋白 (mg/g FW)	增幅 (%)	维生素 C (mg/100 g FW)	增幅 (%)	硝酸盐含量 (mg/kg FW)	增幅 (%)	总酚相对含量 (Δ OD/g FW)	增幅 (%)	类黄酮相对含量 (Δ OD/g FW)	增幅 (%)
CK	2.85b	—	43.32c	—	384.66a	—	0.859a	—	0.791a	—
J-1	3.21a	12.71	51.04b	17.83	397.89a	3.44	0.769b	-10.44	0.701b	-11.34
J-10	3.42a	20.19	54.08a	27.85	416.20a	8.20	0.698c	-18.71	0.631b	-20.24

2.5 叶面喷施几丁寡糖对辣椒叶片和果实糖含量及游离氨基酸含量的影响

糖是植物生长发育的重要调节因子,也是能量的来源。由图 2、3 可知,叶面喷施不同浓度的几丁寡糖对辣椒叶片和果实的糖含量产生了显著的影响。与 CK 相比,处理 J-1 和 J-10 的果实中可溶性总糖、蔗糖、果糖和游离氨基酸含量显著提高(图 2),且 J-10 提高的更为明显,分别增加了 23.43%、21.74%、16.03% 和 20.88%。辣椒叶片的糖含量与辣椒果实变化的趋势基本相同(图 3),随着几丁寡糖浓度的升高,叶片中的糖含量呈现升高的趋势,但在游离氨基酸方面,虽然表现为升高的趋势,但是差异并不明显。表明,喷施几丁寡糖能够诱导辣椒叶片和果实糖含量的增加,也能够诱导辣椒果实中游离氨基酸含量

的增加,但是对叶片中游离氨基酸含量并无显著影响。

2.6 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实中辣椒素和二氢辣椒素含量的影响

通过对不同处理条件下辣椒果实的辣椒素和二氢辣椒素含量的测定可知,经过不同浓度的几丁寡糖叶片喷施后,各处理间的辣椒素含量表现出显著的差异(图 4)。与 CK 相比,处理 J-1 和 J-10 的辣椒素和二氢辣椒素含量显著降低,且喷施的几丁寡糖浓度越大,降低幅度越明显。其中辣椒素含量分别降低了 17.04% 和 31.30%,二氢辣椒素含量降低了 25.91% 和 46.83%。表明叶片喷施几丁寡糖后会显著抑制辣椒素和二氢辣椒素的合成,进而导致含量的下降,且二氢辣椒素的受抑制程度要大于辣椒素。

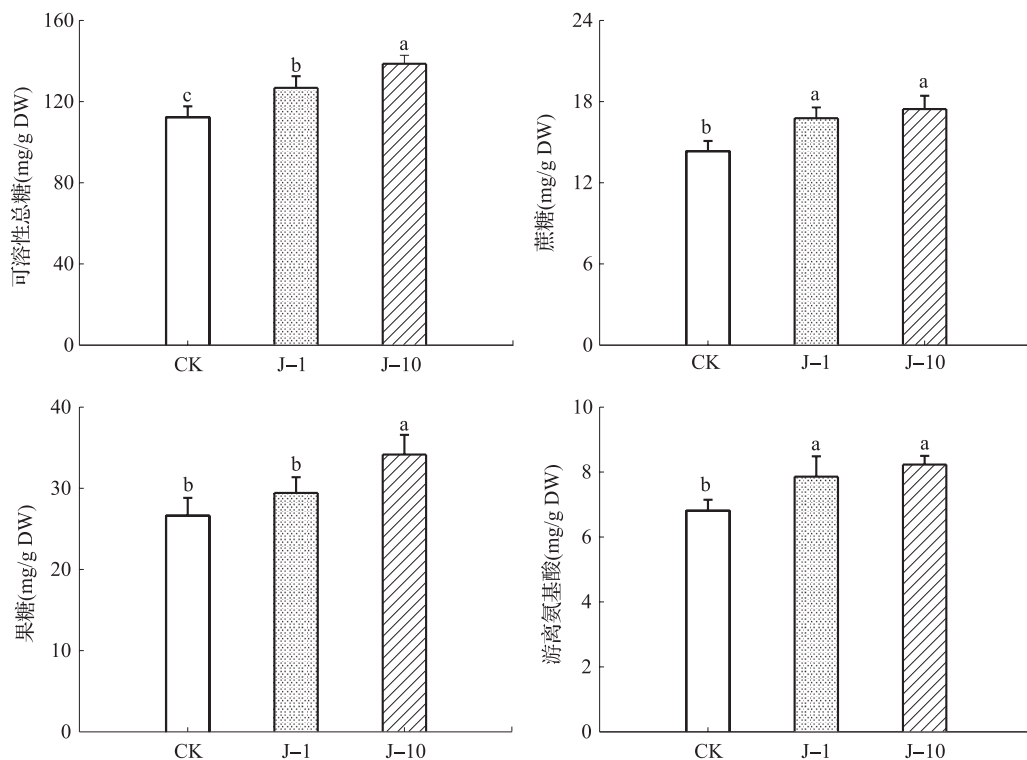


图 2 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实糖含量和游离氨基酸含量的影响

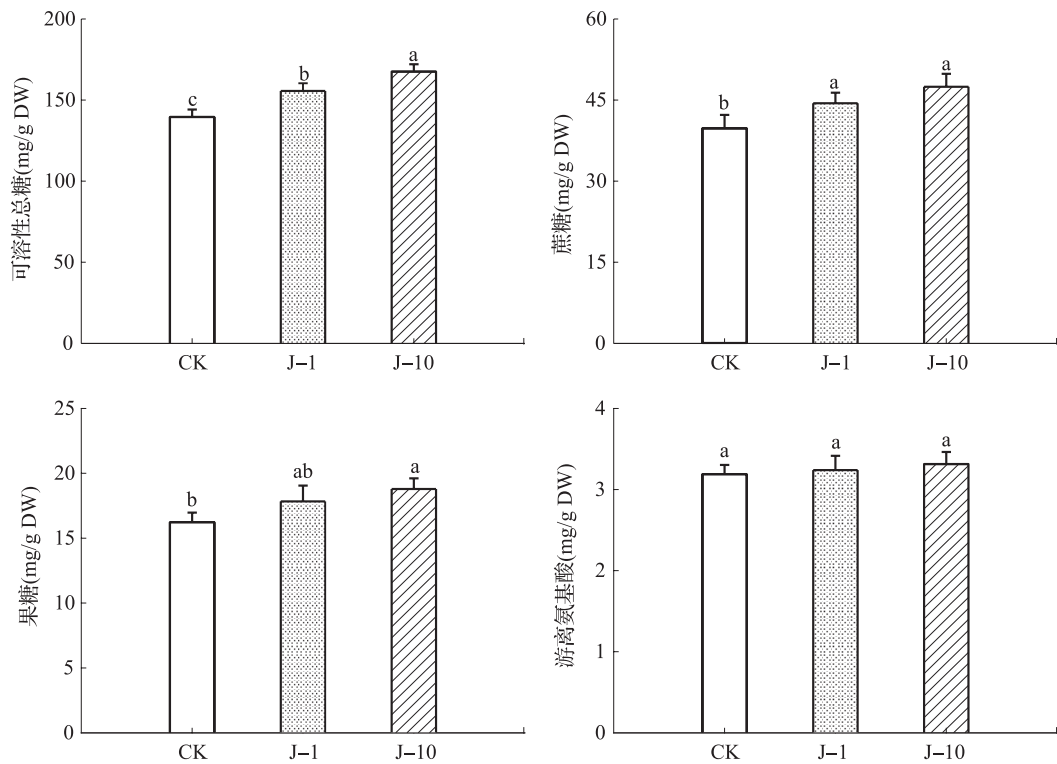


图3 叶面喷施几丁寡糖对辣椒叶片糖含量和游离氨基酸含量的影响

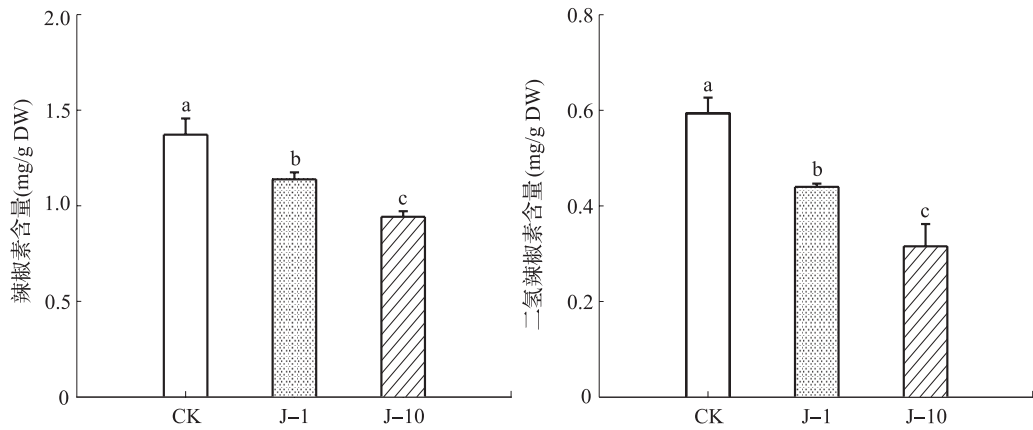


图4 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实中辣椒素和二氢辣椒素含量的影响

2.7 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实品质影响的相关性分析

分别用维生素C、可溶性蛋白、硝酸盐、总酚、类黄酮、可溶性总糖、蔗糖、果糖、游离氨基酸、辣椒素、二氢辣椒素11个品质指标进行相关分析(表5)。结果表明,可溶性蛋白、可溶性总糖、蔗糖、果糖、游离氨基酸及硝酸盐含量与维生素C含量呈极显著正相关($P<0.01$);辣椒素、二氢辣椒素与维生素C含量呈极显著负相关($P<0.01$);而可溶性蛋白、可溶性总糖、蔗糖、果糖、游离氨基酸含量分别与辣椒素、二氢辣

椒素含量呈极显著负相关($P<0.01$);总酚、类黄酮相对含量与辣椒素、二氢辣椒素呈极显著正相关($P<0.01$),与其他品质指标则呈显著负相关。

2.8 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实品质的综合评价

参考胡会英^[24]对辣椒果实品质的评价方法,对不同处理下辣椒比较重要的品质指标进行综合评价。各个指标以其平均数为基准向两侧等距分级,分级间距=(最大值-最小值)/分级数,每个指标共划分4个等级,由于硝酸盐过高会对人的身体健康产生一定的影响,所以硝酸盐等级是由低到高进行划分(表6),果实品质的综合评价指数越大,表明

表 5 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实品质影响的相关性分析

相关系数	维生素 C	可溶性蛋白	硝酸盐	总酚	类黄酮	可溶性总糖	蔗糖	果糖	游离氨基酸	辣椒素	二氢辣椒素
维生素 C	1										
可溶性蛋白	0.861**	1									
硝酸盐	0.507*	0.235	1								
总酚相对含量	-0.747**	-0.646*	-0.566*	1							
类黄酮相对含量	-0.723**	-0.553*	-0.526*	0.933**	1						
可溶性总糖	0.884**	0.750**	0.534*	-0.801**	-0.754**	1					
蔗糖	0.804**	0.747**	0.468	-0.708**	-0.680**	0.712**	1				
果糖	0.799**	0.822**	0.494	-0.778**	-0.745**	0.767**	0.772**	1			
游离氨基酸	0.777**	0.813**	0.268	-0.644*	-0.586*	0.702**	0.771**	0.550*	1		
辣椒素	-0.896**	-0.787**	-0.482	0.857**	0.853**	-0.890**	-0.800**	-0.853**	-0.754*	1	
二氢辣椒素	-0.905**	-0.755**	-0.561*	0.820**	0.789**	-0.930**	-0.818**	-0.802**	-0.758*	0.974**	1

注：* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著。

辣椒的综合品质最好；而综合评价指数小，则说明综合营养品质稍差。由表 7 可知，通过对不同处理下辣椒果实 8 种品质指标的评价指数进行计算可以得出，

CK 的综合评价指数为 17，处理 J-1 和 J-10 综合评价指数分别为 20 和 23，说明喷施几丁寡糖后能够提高辣椒果实的综合品质，而处理 J-10 效果更为显著。

表 6 辣椒果实品质的等级划分

品质指标	评价指数			
	1	2	3	4
维生素 C (mg/g FW)	≤ 46.8	46.9~49.5	49.5~52.2	>52.2
可溶性蛋白 (mg/100g FW)	≤ 3.02	3.03~3.16	3.17~3.30	>3.30
硝酸盐 (mg/kg FW)	>407.5	399.7~407.5	391.8~399.6	≤ 391.7
可溶性总糖 (mg/g DW)	≤ 119.3	119.3~125.9	126.0~132.5	>132.5
蔗糖 (mg/g DW)	≤ 15.4	15.5~16.2	16.3~17.0	>17.0
游离氨基酸 (mg/g DW)	≤ 7.3	7.4~7.6	7.7~8.0	>8.0
辣椒素 (mg/g DW)	≤ 1.04	1.05~1.15	1.16~1.26	>1.26
二氢辣椒素 (mg/g DW)	≤ 0.38	0.39~0.45	0.46~0.52	>0.52

表 7 辣椒果实品质的综合评价指数

评价指数	处理		
	CK	J-1	J-10
维生素 C (mg/g FW)	1	3	4
可溶性蛋白 (mg/100g FW)	1	3	4
硝酸盐 (mg/kg FW)	4	3	1
可溶性总糖 (mg/g DW)	1	3	4
蔗糖 (mg/g DW)	1	2	4
游离氨基酸 (mg/g DW)	1	2	4
辣椒素 (mg/g DW)	4	2	1
二氢辣椒素 (mg/g DW)	4	2	1
综合评价指数	17	20	23

3 讨论

3.1 叶面喷施几丁寡糖对辣椒植株和果实生长发育的影响

寡糖作为一种新型的植物生长调节剂，能够促进植物的生长，提高植物的抗逆能力^[25]。Blackwood 等研究发现含有乙酰氨基葡萄糖残基的几丁质寡糖能够诱导几丁质寡糖脱乙酰酶和几丁质寡糖合成酶来调节植物细胞的生长发育^[26]。李佳琪等研究发现褐藻寡糖喷施在黄瓜幼苗的叶片上，提高了叶绿

素含量和净光合速率,促进幼苗的生长和生物量的积累^[27]。陈云等研究发现,低聚壳聚糖可提高小麦叶片的叶绿素含量、干物质重及叶片几丁质酶活性^[28]。植物的叶绿素是进行光合作用所需要的色素,其含量反映了植物光合作用的能力,是衡量叶片功能强弱的重要指标之一。张佳蕾等在旱薄地条件下以花生为试验材料,经过叶面喷施不同浓度的壳寡糖处理发现花生饱果期叶片的叶绿素含量、单株结果数、饱果率和荚果产量显著提高^[29]。本试验结果表明,叶面喷施几丁寡糖有利于辣椒植株的生长发育,尤其喷施浓度为 10 mg/L 的处理,株高、叶绿素含量、地上部鲜重和地下部的干鲜重显著高于对照,说明喷施几丁寡糖能够促进叶绿素含量升高,提高光合速率,促进生物量的积累,与前人的研究结果相同。

作物产量的高低是衡量作物生产成果的主要指标。研究发现小麦、马铃薯等作物经过几丁寡糖处理后,能够增产 10%~30%,并且能够改善品质,并且研究人员对高温灭活几丁质酶与壳聚糖酶的发酵液进行试验,结果发现发酵液中的几丁寡糖对水稻的生长有促进作用^[30]。李思等研究发现经过壳寡糖溶液浸泡或包衣玉米种子,能够促进玉米的行粒数和穗粒重的显著增加^[31]。孟静静等研究发现壳寡糖处理提高了花生叶片叶绿素含量,显著提高了荚果产量^[32],同时叶面喷施寡糖可通过提高穗粒数和千粒重,促进小麦产量的提高^[33]。在本试验中,经过几丁寡糖喷施后,能够显著提高辣椒果实的单果重、果长和果肉厚度,这可能是因为喷施几丁寡糖后,能够诱导叶片叶绿素含量和光合效率升高,提高光合产物积累和转运的能力,促进生物量的积累和果实产量的升高。

3.2 叶面喷施几丁寡糖对辣椒果实品质的影响

辣椒果实品质包括果实的营养品质、感官品质和商品品质 3 方面。其中,维生素 C、可溶性蛋白和可溶性糖含量是反映蔬菜品质的重要指标,其含量的高低决定着蔬菜的口味、营养价值和商品价值^[34]。维生素 C 是一类水溶性的活性物质,能够增强人体的免疫功能和抗衰老,维持人体正常的生理功能,但维生素 C 不能在人体中合成,必须从膳食中获取,而维生素 C 主要存在于新鲜的水果和蔬菜中,因此提高维生素 C 含量是改善果蔬品质的一个重要的目标^[35-37]。马雪丽等研究认为叶片喷施一定浓度的寡糖后,能够提高作物维生素 C 和可溶性

总糖的含量,进而改善了农作物的品质^[38]。杨普云等发现用 5% 氨基寡糖溶液喷施果实膨大期的柑橘叶片,能够显著的提升柑橘的维生素 C 含量^[39]。研究发现寡糖能够诱导“营养传感器”细胞活性的升高,促进蛋白质、单糖和二糖的合成^[40];罗兵等用壳聚糖溶液处理黄瓜叶片,结果表明壳聚糖能提高蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶的活性,从而促进碳水化合物的合成与积累^[41];也有一系列的研究表明在白菜、黄瓜、花生等作物上进行叶面喷施寡糖能够提高生理活性和抗逆性,增加产量或品质^[42-44]。在本试验中,经过几丁寡糖喷施后能够显著提高辣椒果实的维生素 C 含量、可溶性蛋白含量、可溶性总糖、蔗糖、果糖含量和游离氨基酸含量,糖含量的升高增加了辣椒的甜度,提高辣椒的适口性,进而改善了辣椒的品质,这与前人的研究结果相一致。蔬菜中的总酚和类黄酮含量与其生长发育、色泽、品质等指标密切相关,在本研究中,辣椒果实中类黄酮和总酚的相对含量呈现减少的趋势,这可能是因为喷施几丁寡糖后,能够促进生物量的积累和果实产量的升高,而喷施几丁寡糖后使辣椒单果重高于对照,会产生稀释效应,导致类黄酮和总酚含量的降低^[45-46]。除了辣椒果实中的营养成分和果实形态之外,辣椒素含量也是评价辣椒品质的重要指标之一^[47]。常晓轲研究发现辣椒果实重量的增加会导致辣椒素含量的降低,而干物质积累、可溶性糖及可溶性蛋白含量与辣椒素呈负相关关系^[48]。本研究中,喷施几丁寡糖显著降低了辣椒果实的辣椒素和二氢辣椒素含量,且处理 J-10 降低更为显著,与前人的研究结果一致。结合相关性分析表明,可溶性总糖、蔗糖、维生素 C 含量分别与辣椒素、二氢辣椒素含量呈极显著负相关 ($P<0.01$),总酚、类黄酮相对含量与辣椒素、二氢辣椒素呈极显著正相关 ($P<0.01$),表明糖含量升高导致辣椒素含量的降低,从而提高辣椒的适口性。

根据联合国粮食组织 (FAO) 和世界卫生组织 (WHO) 的标准,我国提出在蔬菜中硝酸盐含量以低于 432 mg/kg 为标准,而人体摄入的硝酸盐主要来源于蔬菜^[49]。在本研究中,经过几丁寡糖喷施后能够提高辣椒果实的硝酸盐含量,但是并未达到显著差异水平,而且其含量也在安全范围内,保证了辣椒的安全品质。综合辣椒各个重要的品质指标进行综合评价可知,喷施浓度为 10 mg/L 几丁寡糖

溶液能够提高辣椒果实品质的综合评价指数,改善辣椒的果实品质。

4 结论

叶面喷施几丁寡糖溶液提高了辣椒的维生素C、可溶性蛋白、可溶性糖和游离氨基酸含量,降低了辣椒素和二氢辣椒素含量,果实品质的综合评价指数升高,改善了辣椒的品质,也提高了辣椒的单果重,其中喷施 10 mg/L 几丁寡糖溶液的处理效果更显著,通过叶片喷施后能够促进辣椒果实品质的改善。

参考文献:

- [1] Liu Y L, Jiang S, Ke Z M, et al. Recombinant expression of a chitosanase and its application in chitosan oligosaccharide production [J]. Carbohydrate Research, 2009, 344 (6): 815-819.
- [2] 王文霞, 赵小明, 杜昱光, 等. 寡糖生物防治应用及机理研究进展 [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31 (5): 757-769.
- [3] 刘美思. 几种海洋寡糖免疫调控作用初探 [D]. 大连: 辽宁师范大学, 2016.
- [4] 张虎, 杜昱光, 虞星炬. 几丁寡糖与壳寡糖的制备和功能 [J]. 中国生化药物杂志, 1999, (2): 99-101.
- [5] Albersheim P, Darvill A G. Oligosaccharins [J]. Scientific American, 1985, 253 (3): 44-50.
- [6] 黄刚良. 具有重要生理活性几丁寡糖的固相合成 [A]. 全国第三届有机合成化学与过程学术讨论会论文摘要集 [C]. 中国化学会 (Chinese Chemical Society), 国家自然科学基金委员会: 中国化学会, 2010.
- [7] 沈奕, 李萍, 高智谋, 等. 几丁寡糖对烟草黑胫病的控制效应及其机制 [J]. 植物保护学报, 2010, 37 (1): 25-30.
- [8] Mohammadi Z. Chitosan and chitosan oligosaccharides: applications in medicine, agriculture and biotechnology [J]. International Journal of Bioorganic Chemistry, 2017, 2 (3): 102-106.
- [9] 方荣, 陈学军, 缪南生, 等. 辣椒 (*Capsicum* spp.) 遗传资源与分子育种进展 [J]. 江西农业学报, 2004, 16 (3): 55-61.
- [10] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2013. FAOSTAT Database-Resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Statistical Yearbook 2013: World Food and Agriculture, Rome.
- [11] 叶洁. 控释氮肥用量对辣椒生长生理和养分利用的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- [12] 申爱民, 赵香梅. 我国辣椒生产概况及发展方向 [J]. 农业科技通讯, 2010, (6): 5-7.
- [13] 李子双, 王薇, 张世文, 等. 氮磷与硅钙肥配施对辣椒产量和品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (2): 458-466.
- [14] 文廷刚, 江雨晴, 杜小凤, 等. 不同肥料处理对辣椒产量和品质的影响 [J]. 江西农业学报, 2013, 25 (3): 30-32.
- [15] Kumbar H, Raj A C, Hore J K. Effect of biofertilizers and inorganic fertilizers on growth and yield of chilli (*Capsicum annuum* L.) [J]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2017, 6 (7): 1564-1568.
- [16] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [17] 叶尚红, 张志明, 陈疏影. 植物生理生化实验教程 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2004.
- [18] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导 (第3版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [19] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [20] Moya J L, Ros R, Picazo I. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants [J]. Photosynthesis Research, 1993, 36 (2): 75-80.
- [21] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [22] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [23] 李锋, 董彩军, 沈素香, 等. 红辣椒中辣椒素的高效液相色谱测定方法研究 [J]. 中国调味品, 2015, (7): 126-128.
- [24] 胡会英. 辣椒不同品种的品质测定及初步评价 [J]. 现代农业科技, 2015, (14): 83-83.
- [25] 刘瑞志. 褐藻寡糖促进植物生长与抗逆效应机理研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [26] Blackwood C B, Bottomley P J, Coleman D C, et al. Contributors-Soil microbiology, ecology and biochemistry (Third Edition) [J]. Soil Microbiology Ecology and Biochemistry, 2007, 2 (4): 515-532.
- [27] 李佳琪, 汤洁, 李明月, 等. 不同分子量的褐藻寡糖对黄瓜幼苗光合作用及生长的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2018, 23 (9): 59-65.
- [28] 陈云, 梁建生, 刘立军, 等. 低聚壳聚糖对小麦种子萌发以及幼苗生理生化特性的影响 [J]. 耕作与栽培, 2003, (3): 28-29.
- [29] 张佳蕾, 郭峰, 万书波, 等. 壳寡糖对旱薄地花生叶片衰老及产量和品质的影响 [J]. 西北植物学报, 2015, 35 (3): 516-522.
- [30] 滕少辉, 朱旭芬, 缪克排, 等. 几丁质发酵液的生物活性 [J]. 浙江大学学报 (理学版), 2006, 33 (3): 329-332.
- [31] 李思, 于好强, 付凤玲, 等. 壳寡糖叶面喷施对玉米耐旱性的调节 [J/OL]. 玉米科学, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1201.S.20180813.1758.012.html>.
- [32] 孟静静, 张佳蕾, 刘应炜, 等. 壳寡糖对高产花生叶片衰老及产量和品质的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2017, 39 (4): 483-487.
- [33] 王永. 寡糖在小麦生产上的应用效应研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.

- [34] 汤宏, 张杨珠, 曾掌权, 等. 施用有机肥对蔬菜品质影响的研究进展 [J]. 湖南农业科学, 2009, (6): 69–72.
- [35] Fransson L A, Mani K. Novel aspects of vitamin C: how important is glypican-1 recycling? [J]. Trends in Molecular Medicine, 2007, 13 (4): 143–149.
- [36] Ejoh A R, Tanya A N, Djuikwo N V, et al. Effect of processing and preservation methods on Vitamin C and total carotenoid levels of some Vernonia (bitter leaf) species [J]. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 2005, 5 (2): 58–74.
- [37] Linster C L, Van Schaftingen E. Vitamin C, Biosynthesis, recycling and degradation in mammals [J]. FEBS Journal, 2007, 274 (1): 1–22.
- [38] 马雪丽, 李建峰, 李喜凤. 壳寡糖在农业上的应用研究综述 [J]. 乡村科技, 2018, (24): 63–64.
- [39] 杨普云, 李萍, 王战鄂, 等. 植物免疫诱抗剂氨基寡糖素的应用效果与前景分析 [J]. 中国植保导刊, 2013, 33 (3): 20–21.
- [40] Jaekweon P, Wang L X, Saul R. Isolation of a glucosamine-specific kinase, a unique enzyme of *Vibrio cholerae* [J]. Journal of Biological Chemistry, 2002, 277 (18): 15573–15578.
- [41] 罗兵, 徐朗莱, 孙海燕. 壳聚糖对黄瓜幼苗叶片蔗糖代谢的影响 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34 (2): 205–206, 208.
- [42] Elhadrami A, Adam L R, Elhadrami I, et al. Chitosan in plant protection [J]. Marine Drugs, 2010, 8 (4): 968–987.
- [43] Feng H, Xia W, Shan C, et al. Quaternized chitosan oligomers as novel elicitors inducing protection against *B. cinerea* in *Arabidopsis* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 72: 364–369.
- [44] Jia X, Meng Q, Zeng H, et al. Chitosan oligosaccharide induces resistance to Tobacco mosaic virus in *Arabidopsis* via the salicylic acid-mediated signalling pathway [J]. Scientific Reports, 2016, 6 (1): 26144.
- [45] 汤璐, 林江辉, 闫广轩, 等. 铜、锌、硒对药用菊花主要有效成分和花中硒含量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (6): 1475–1480.
- [46] 孙瑶, 张民, 陈海宁, 等. 铜基叶面肥及控释肥对辣椒生长发育和叶片保护酶等生理特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (5): 1221–1233.
- [47] 张宗美, 柴勇, 孟霞. 辣椒新品种‘艳椒 425’中辣椒素及二氢辣椒素含量测定 [J]. 南方农业, 2014, 8 (1): 54–55.
- [48] 常晓珂. 干辣椒品种资源评价和栽培条件对辣椒素、辣椒红色素含量的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [49] 马国礼. 不同水氮处理对日光温室基质栽培辣椒生长生理及养分吸收分配的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.

Effects of foliar spraying chitin oligosaccharides on the growth, development and quality of *Capsicum annuum* L.

MAO Zhi-qiang, XIN Xue-cheng, ZHOU Fan, LONG Jing-jing, CUI Shun-yan, WANG Yu, JIAO Jiao, WANG Fang* (Shenyang Research Institute of Chemical Industry Co., Ltd, Shenyang Liaoning 110021)

Abstract: Pepper was used as experimental material in this study, and the effects of foliar spraying of different concentrations of chitin oligosaccharides on the growth, development and quality of pepper fruit was explored. Pot experiments were conducted in this test, including three treatments with CK (water-soluble fertilizer solution), J-1 (1 mg/L chitin-oligosaccharide water-soluble fertilizer solution), and J-10 (10 mg/L chitin-oligosaccharide water-soluble fertilizer solution). The results showed that different concentrations of chitin oligosaccharides sprayed on the leaves had significant effects on the growth, development and quality of pepper: (1) J-1 and J-10 treatment significantly increased ($P<0.05$) the shoot fresh weight, root fresh and dry weight, and the plant height and root-shoot ratio also showed the increasing trend but did not perform the significant difference level. (2) The fruit length, flesh thickness and fruit weight of pepper of J-1 and J-10 were significantly increased ($P<0.05$), but there was no significant difference for their fruit diameter and fruit shape index. (3) After spraying chitin oligosaccharide, the Vc content, soluble protein, nitrate content, soluble sugar content and free amino acid content of pepper fruit were significantly increased ($P<0.05$), and the increasing rate of J-10 was greater than J-1. The content of flavonoids and total phenols, capsaicin and dihydrocapsaicin were significantly decreased ($P<0.05$), while the reduction rate of J-10 was significantly larger than J-1. (4) The correlation analysis of pepper quality showed that there was a significant ($P<0.01$) and positive relationship between soluble protein, total soluble sugar, sucrose, fructose and Vc content. However, there was a significant and negative correlation between capsaicin, dihydrocapsaicin and soluble protein, total soluble sugar, Vc content. In conclusion, the effect of foliar spraying of chitin oligosaccharide water-soluble fertilizer solution with concentration of 10 mg/L is more remarkable. It can promote the growth and development of pepper fruit, increase the single fruit weight of pepper and improve the quality of pepper fruit.

Key words: pepper; chitin oligosaccharide; growth and development; quality