

麦芽糖等糖类对重茬土壤改良和苹果砧木生长的影响

毛云飞, 郭小静, 王增辉, 高付凤, 张佳腾,

杨恒峰, 陈学森, 毛志泉, 沈向

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘要: 研究土施麦芽糖等糖类对重茬土壤改良和苹果砧木生长的影响, 为缓解当前苹果连作障碍提供新的途径。2014年4月, 在装有10 kg重茬土的苗盆中栽种长出5片真叶的平邑甜茶幼苗, 分别施入浓度为50, 100, 200 mg/kg的果糖、葡萄糖、麦芽糖和阿拉伯糖; 2014年9月, 测量生长量、土壤微生物及土壤总有机碳(TOC)。结果表明: 与CK相比, 200 mg/kg葡萄糖处理, 株高增加52.9%; 200 mg/kg麦芽糖处理, 地茎增加12.2%、叶绿素相对含量增加12.5%; 100 mg/kg葡萄糖处理光合速率增加18.5%; 50 mg/kg果糖和阿拉伯糖处理能显著增加土壤中的细菌数量, 分别增加了119.7%和127.6%; 土壤中的放线菌数量会随着阿拉伯糖的施入浓度增加而显著提高, 按施入浓度从低到高, 土壤放线菌的数量分别增加了66.7%, 222.9%, 266.7%; 50 mg/kg麦芽糖处理, 土壤中的真菌数量降低最多, 减少了71.7%, 效果极显著; 100 mg/kg葡萄糖处理, 土壤TOC含量最高, 升高60.0%。在研究结果基础上进行主成分分析得知, 在100 mg/kg麦芽糖处理下, 相对于CK, 株高提高47.9%、茎粗增加11.1%、叶绿素相对含量提高8.5%、光合速率提高16.3%、土壤中真菌数量降低49%、土壤中TOC含量高47.6%, 均差异极显著。综上, 土施100 mg/kg麦芽糖显著提高苹果砧木生长; 抑制重茬土中土壤真菌数量优势明显, 其土壤改良效果显著。

关键词: 糖类化合物; 苹果砧木; 土壤微生物; 土壤总有机碳; 主成分分析

中图分类号: S661.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)05-0298-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.05.046

Effects of Maltose and Other Carbohydrates on the Improvement of Continuous Cropping Soil and the Growth of Apple Rootstock

MAO Yunfei, GUO Xiaojing, WANG Zenghui, GAO Fufeng, ZHANG Jiateng,

YANG Hengfeng, CHEN Xuesen, MAO Zhiquan, SHEN Xiang

(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract: The study focused on the effects of maltose and other carbohydrates on the improvement of continuous cropping soil and the growth of apple rootstock, and the findings could provide a new way to alleviate the apple continuous cropping obstacles currently. In April 2014, seedlings of *Malus hupehensis* Rehd were planted in pot with 10 kg continuous cropping soil, and the doses of four kinds of carbohydrates, fructose, glucose, maltose and arabinose of 50, 100, 200 mg/kg were added to the seedling pot after the seedlings grew 5 euphyllas. Then the growth, soil microbes and soil total organic carbon (TOC) were measured in September 2014. Compared with CK, the height increased by 52.9% with the glucose of 200 mg/kg, the diameter increased by 12.2% and the relative content of chlorophyll increased by 12.5% with the maltose of 200 mg/kg, the photosynthetic rate increased by 18.5% with the glucose of 100 mg/kg. The fructose and arabinose could effectively increase the number of bacteria in the soil, which increased by 119.7% and 127.6%, respectively with the application of the concentration of 50 mg/kg. The number of actinomycetes in the soil increased significantly by 66.7%, 222.9% and 266.7%, respectively with the increase of different arabinose concentration. The number of fungi decreased significantly by 71.7% than CK with the application

收稿日期: 2017-04-07

资助项目: 山东省现代农业产业技术体系创新团队项目(SDAIT-06-07); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-28); 国家公益性行业(农业)科研专项(201303093); 国家科技支撑计划专项(2014BAD16B02)

第一作者: 毛云飞(1990—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事果树生理研究。E-mail: lzcjmaoyunfei@126.com

通信作者: 沈向(1966—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事果树种质资源评价及生理研究。E-mail: shenx@sdaa.edu.cn

of 50 mg/kg maltose. The total organic carbon content was the highest when applied the glucose of 100 mg/kg and increased by 60.0% than CK. The principal component analysis showed that there were significant differences between the maltose of 100 mg/kg and CK, compared with CK, the height, the diameter, the leaf relative content of chlorophyll, the photosynthetic rate, the TOC increased by 47.9%, 11.1%, 8.5%, 16.3%, and 47.6%, respectively, while the number of actinomycetes decreased by 49%. In summary, the maltose of 100 mg/kg can improve the quality of apple rootstock obviously, which are useful for the improvement of continuous cropping soil and the number of soil fungi in continuous cropping soil.

Keywords: carbohydrates; apple rootstock; soil microorganisms; soil total organic carbon; principal component analysis

目前世界各大苹果产区均面临苹果重茬障碍^[1], 苹果重茬障碍会导致新根发育不良, 生长缓慢, 植株矮小, 抗性下降, 严重出现植株死亡现象^[2-5]。在我国, 每年有 2 万~3.3 万 hm² 的苹果园面临再植更新^[6], 苹果连作障碍成为果园更新的主要限制因素。

改良土壤是防治重茬障碍的有效方法之一, 大量的研究者提倡通过合理施用有机肥来改良土壤。施用有机肥可以显著改善土壤各方面的理化性质^[7], 还能为土壤中微生物提供生命活动所需的能量, 使土壤微生物多样性指数最高^[8]。但是有机肥在使用过程中遇到很多问题, 肥源和劳动成本等因素严重制约了其在农业生产过程中的使用。

已有研究证明, 有机肥中真正发挥作用的为有机营养物质, 而这些物质如糖等多以缓效的形式存在, 需长时间降解才能被植物吸收利用^[9]。糖类是土壤有机质的重要组成部分之一, 土壤中的糖不仅对土壤结构、土壤肥力等发挥重要作用, 它为土壤微生物生命活动提供碳源, 提高土壤微生物活性, 也是生物化学过程的主要参与者^[10]; 同时, 土壤微生物是整个生态系统的重要组成部分, 其数量分布不仅是土壤中有机养分、无机养分的反映, 亦是土壤中生物活性的具体体现^[11]。郭景恒等^[12]研究证明, 糖类能与微生物和黏土类物质相互作用, 影响土壤环境质量, 稳定土壤结构。糖类也是各种代谢活动的中间产物, 能够参与植物细胞蛋白质、脂肪、糖酸的代谢活动, 影响着植物的正常生长发育^[13]。但是, 关于糖类对重茬条件下苹果砧木生长影响的文章却鲜有发表。本实验室前期研究证明, 土壤中的糖类物质是提高苹果果实品质及产量的重要影响因子^[9]。在此基础上选用 4 种糖类(果糖、葡萄糖、麦芽糖和阿拉伯糖, 均为分析纯), 将其分别按照不同浓度梯度施入栽种有平邑甜茶幼苗的重茬土苗盆中, 分析其对砧木生长及土壤环境变化的影响, 从而为缓解当前苹果连作障碍提供新的途径。

1 材料与方法

1.1 试材与处理

2014 年 4 月在山东农业大学园艺科学与工程学院

根系研究室进行, 供试材料为平邑甜茶实生幼苗。2014 年 3 月 18 日将层积好的平邑甜茶种子播种到无菌基质中, 4 月 18 日待幼苗长到 5 片真叶时, 将幼苗移栽至到上口径为 25 cm, 下口径 15 cm, 高 30 cm, 装有 10 kg 重茬土的苗盆中进行盆栽试验; 在移栽幼苗同时在盆中分别施加 4 种糖类化合物(果糖、葡萄糖、麦芽糖和阿拉伯糖), 每个处理设 3 个水平(均设糖/土比例浓度梯度为 50, 100, 200 mg/kg, 即每个处理中 3 个水平处理的每种糖施入量每盆依次为 0.5, 1, 2 g), 每个水平设 10 个重复, 每个重复 2 株。以未施加糖类化合物的 10 盆处理作为对照。重茬土取泰安市道朗镇玄家庄 20 年红富士老果园原树穴方圆 1 m² 内、深 0—40 cm 的根际土, 土壤类型为壤土, 土壤中速效氮含量为 59.21 mg/kg, 速效磷为 45.49 mg/kg, 速效钾为 177.62 mg/kg, 有机质为 13.27 g/kg, 土壤 pH 为 6.23。

1.2 试验方法

1.2.1 生长量的测定 2014 年 9 月进行生长量的测定, 生长量测定采用直接测量的常规方法, 植株株高用卷尺测量, 植株茎粗用电子游标卡尺测量。

1.2.2 叶绿素相对含量和光合速率的测定 选择 2014 年 9 月天气晴朗的上午 9:00—11:00 进行, 选取植株顶端第 5~7 片完全展开的健康成龄叶, 叶绿素相对含量用 SPAD-502 便携叶绿素仪测定, 光合速率用美国 PP-Systems 公司的 CIRAS-2 光合 CIRAS-2 型便携式自动光合仪测定, 重复 5 次。

1.2.3 土壤微生物测定 2014 年 9 月从盆中取土, 采用稀释平板培养计数法^[14]进行微生物的测定。细菌培养基采用牛肉膏蛋白胨培养基, 放线菌培养基采用高氏一号培养基, 真菌培养基采用马铃薯葡萄糖培养基^[15]。

1.2.4 土壤总有机碳(TOC)的测定 2014 年 9 月从 5 个处理的盆中采用五点法取土样混匀, 从土样中取 0.2 g 过 0.15 mm 筛, 采用苏州埃兰分析仪器有限公司生产的 Elab-TOC 分析仪应用氧化燃烧—非色散红外检测法进行 TOC 的测定, 使用天平准确称量 5 mg 固体样品到进样舟上, 然后使用镊子把进样

舟放到固液进样器的进样钩上,用进样器把进样舟推到燃烧炉的高温区来进行总碳(TC)分析,取同样品处理,放入总无机碳(TIC)反应室测量,反应室里预先加入 10% 的磷酸。Elab-TOC 分析仪采用差减法分析 TOC,即进一定体积的样品测量出 TC 值,进相同体积样品测量出 TIC 值,二者之差即为 TOC 值,即 $TOC = TC - TIC$ 。以 $CaCO_3$ 为标准物作标准曲线,每个处理 3 次重复。

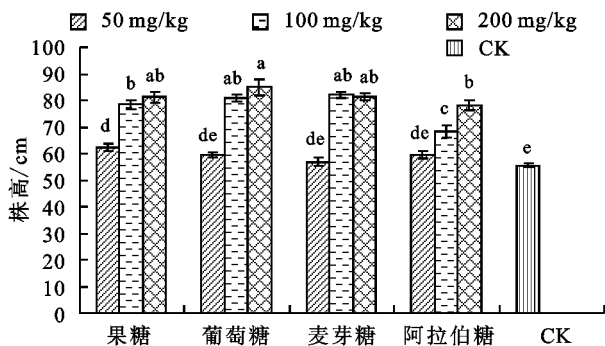
1.3 数据处理及统计方法

数据采用 Microsoft Excel 2003 处理,SPSS 19.0 软件进行统计分析以及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度下 4 种糖类化合物处理对植株的影响

2.1.1 不同糖类化合物处理对植株株高的影响 由图 1 可知,当施入的 4 种糖类化合物浓度均为 50 mg/kg 时,除果糖处理外,其余糖类处理与 CK 相比无显著差异;4 种糖类化合物 100 mg/kg 与 200 mg/kg 浓度处理植株株高都显著高于相对应的 50 mg/kg 浓度处理和 CK。当糖类化合物浓度为 100 mg/kg 时,施入果糖、葡萄糖、麦芽糖处理,与 CK 相比,植株株高分别增加了 41.1%,45.4%,47.9%,施入阿拉伯糖处理,与 CK 相比,植株株高则增加 23.0%;当糖类化合物浓度为 200 mg/kg 时,施入果糖、葡萄糖、麦芽糖、阿拉伯糖处理,植株株高与 CK 相比,分别增加了 46.3%,52.9%,46.7%,40.6%。此外,阿拉伯糖的 200 mg/kg 浓度处理植株株高显著高于 100 mg/kg 浓度处理;100 mg/kg 和 200 mg/kg 浓度果糖、葡萄糖和麦芽糖处理间幼苗高度未见显著差异。



注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

图 1 不同糖类处理对植株株高的影响

2.1.2 不同糖类化合物处理对植株茎粗的影响 由图 2 可知,当施入的 4 种糖类化合物浓度均为 50 mg/kg 时,与 CK 相比无显著差异。施入浓度为 100 mg/kg 时,果糖和麦芽糖处理的植株茎粗分别比 CK 增加 7.7% 和 11.1%;施入浓度为 200 mg/kg 时,果糖、葡萄糖、麦芽糖和阿拉伯糖处理的植株茎粗比 CK 分别增加 10.7%,9.1%,12.2%,10.0%。其中,施入 50 mg/kg 与 100 mg/kg 浓度葡萄糖溶液的植

株茎粗未见显著差异;200 mg/kg 葡萄糖浓度处理植株茎粗表现显著增加。

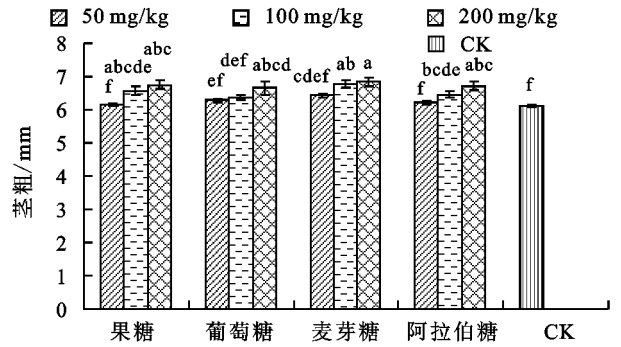


图 2 不同糖类处理对植株茎粗的影响

2.1.3 不同糖类化合物处理对植株叶绿素相对含量的影响 由图 3 可知,不同糖类化合物处理均能使植株叶片叶绿素相对含量有所升高,且随着浓度升高,叶片叶绿素相对含量不断增加。4 种糖类化合物的施入浓度为 100 mg/kg 时,果糖、葡萄糖、麦芽糖和阿拉伯糖处理的植株叶片叶绿素相对含量显著高于对照,分别增加 9.8%,8.0%,8.5%,6.5%。浓度为 200 mg/kg 时,植株叶片叶绿素相对含量都显著高于 CK,且分别增加了 10.4%,11.8%,12.5%,11.8%;此外,相同糖类的不同浓度之间也存在差异,麦芽糖和阿拉伯糖浓度为 200 mg/kg 的处理显著高于两个较低浓度的处理,较低浓度处理之间没有显著差异;葡萄糖浓度 200 mg/kg 处理植株的叶片叶绿素相对含量显著高于浓度 50 mg/kg 处理,果糖 3 个浓度处理之间没有显著差异。

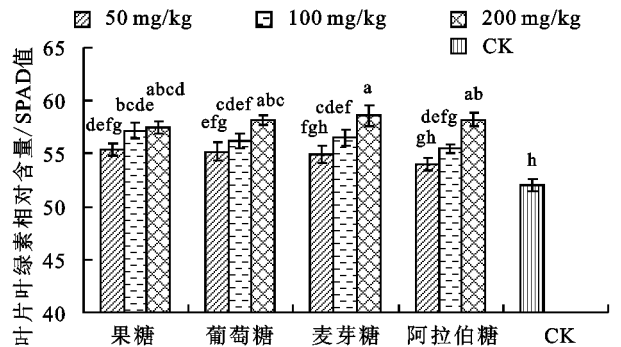


图 3 不同糖类处理对植株叶绿素相对含量的影响

2.1.4 不同糖类化合物处理对植株光合速率的影响

由图 4 可知,与对照相比,施入不同类型糖类化合物,处理植株的光合速率均有所升高。其中,施入浓度为 100 mg/kg 时,果糖、葡萄糖和麦芽糖处理的植株光合速率相对最高,分别较 CK 增加了 9.9%,18.5%,16.3%;经不同浓度果糖处理的植株光合速率差异不显著;浓度 100 mg/kg 和 200 mg/kg 的葡萄糖处理的植株,叶片光合速率明显高于浓度 50 mg/kg 的处理;麦芽糖的施入浓度在 100 mg/kg 时,光合速率表现最高;阿拉伯糖处理的植株光合速率随施入浓度升高而升高,浓度为 200 mg/kg 时,植株光合速率相较 CK 增加了 11.4%。

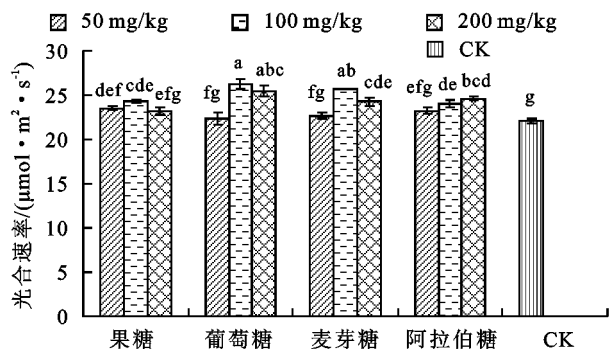


图4 不同糖类处理对植株光合速率的影响

2.2 不同浓度下4种糖类化合物处理对土壤微生物的影响

2.2.1 不同糖类化合物处理对土壤细菌数量的影响 由图5可知,施加不同浓度的4种糖类化合物对重茬土中细菌数量的影响是不同的。施入不同浓度的果糖均能显著提高土壤细菌的数量,但随施入浓度的提高土壤细菌数量逐渐降低,较CK分别增加了119.7%,80.3%,67.1%;施入不同浓度的葡萄糖对土壤细菌的数量影响较小,与CK没有显著差异;施入浓度为50 mg/kg的麦芽糖时,土壤细菌数量显著高于CK,增加了47.4%;施入50,100 mg/kg浓度的阿拉伯糖,土壤细菌数量显著高于CK,分别增加了127.6%和59.2%;施入不同浓度葡萄糖,与CK相比无显著差异。

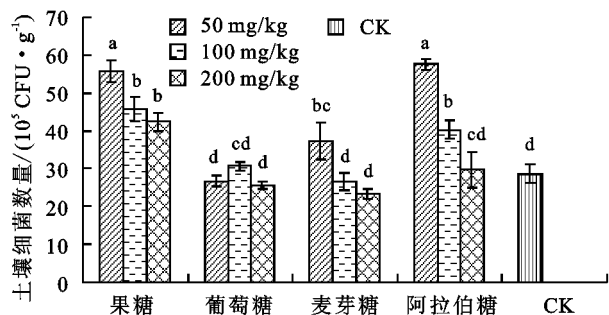


图5 不同糖类处理对土壤中细菌数量的影响

2.2.2 不同糖类化合物处理对土壤放线菌数量的影响 由图6可知,除施加浓度为200 mg/kg的果糖和麦芽糖外,其余浓度均能有效增加土壤中放线菌的数量。与CK相比,施入50,100 mg/kg浓度果糖使土壤放线菌数量增加了111.1%和94.8%;随着葡萄糖施入浓度从低到高,土壤放线菌的数量分别增加了88.9%,203.9%,169.3%;施入50 mg/kg浓度麦芽糖,土壤放线菌数量增加了117.0%;随着阿拉伯糖施入浓度从低到高,土壤放线菌的数量分别增加了66.7%,222.9%,266.7%,呈正相关趋势。

2.2.3 不同糖类化合物处理对土壤真菌数量的影响 由图7可知,在重茬土中施入糖类化合物可以有效降低土壤真菌的数量。与CK相比,随着果糖处理浓度的增加,土壤真菌数量分别下降了38.5%,44.9%,45.7%;随着葡萄糖处理浓度的增加,土壤真

菌数量下降了49.0%,26.3%,38.9%;随着麦芽糖处理浓度的增加,土壤真菌数量下降了71.7%,49.0%,64.4%;随着阿拉伯糖处理浓度的增加,土壤真菌数量下降了43.7%,27.5%,27.9%。可见,麦芽糖对降低重茬土中土壤真菌数量的效果最好。

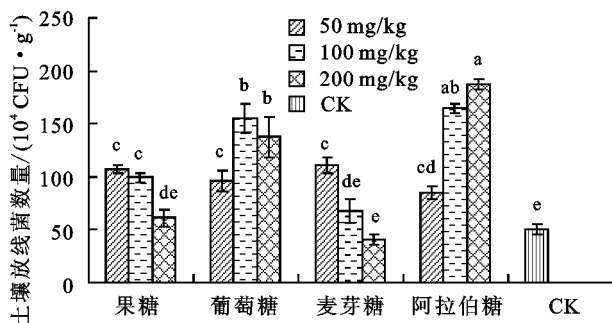


图6 不同糖类处理对土壤中放线菌数量的影响

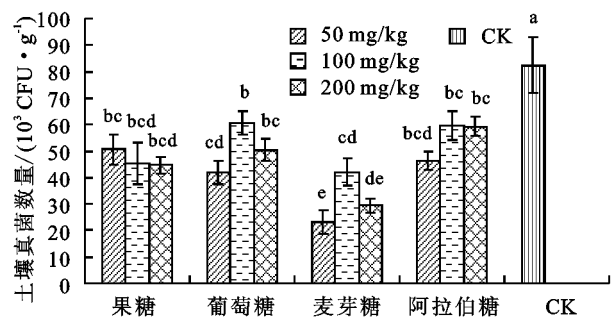


图7 不同糖类处理对土壤中真菌数量的影响

2.3 不同糖类化合物处理对土壤总有机碳含量的影响

土壤有机碳(TOC)是植物营养的重要来源,也是微生物活动物质和能量的源泉。由图8可知,施入糖类物质后,TOC含量较CK均有所上升。随着果糖处理浓度的增加,土壤TOC含量呈逐步上升趋势,分别比CK高出17.4%,34.2%,44.9%;葡萄糖处理浓度为100 mg/kg时土壤TOC含量最高,比CK高出60.0%;麦芽糖处理的土壤TOC含量随浓度升高表现先上升后下降的变化趋势,浓度为100 mg/kg时土壤TOC含量达到最高,比CK高47.6%;施入浓度为50 mg/kg和100 mg/kg的阿拉伯糖土壤TOC含量差异不大,分别比CK高42.2%和40.8%,施入浓度为200 mg/kg时土壤TOC含量仅比CK高出14.1%,明显低于低浓度处理。

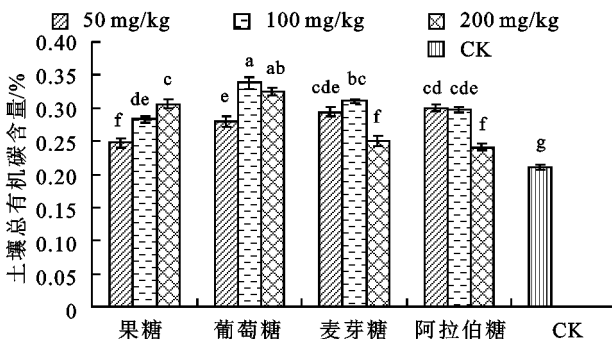


图8 不同糖类处理对土壤总有机碳含量的影响

2.4 土壤中施加不同的糖类效果主成分分析

土壤中施加不同的糖类,各指标均发生变化,单一的指标不能准确地反映某种糖类对砧木生长发育的影响,如 100 mg/kg 的葡萄糖能明显提高土壤中 TOC 含量,但是并不能明显提高土壤中细菌含量。采用主成分分析法,将原始指标转化为较少的综合指标进行分析,这样就能较为准确地找出既能提高砧木生长又能明显改善土壤环境的某种糖类。

由表 1 可知,表明有 4 个主成分贡献率较大,分别为 43.840%,23.273%,15.949%,8.473%,累积贡献率达到 91.535%(>85%),说明前 4 个主成分代表了全部性状 91.535%的综合信息,分析得知,第 1 主成分为株高、叶绿素相对含量、茎粗及光合速率,第 2 主成分为真菌及放线菌数量,第 3 主成分为细菌数量,第 4 主成分为土壤有机碳含量。

由表 1 中主成分分析得知,共有 4 个主成分,其对应方程可作如下表示,其中 $F_1 \sim F_4$ 表示第 1~4 主成分, $X_1 \sim X_{13}$ 分别对应 13 组试验,每个 X 前的数字为试验指标对应的特征向量除以主成分相对应的特征值的开平方:

$$F_1 = -0.350X_1 + 0.215X_2 + 0.247X_3 + 0.069X_4 + 0.177X_5 + 0.371X_6 - 0.087X_7 + 0.353X_8 + 0.389X_9 - 0.329X_{10} - 0.113X_{11} + 0.213X_{12} - 0.382X_{13}$$
$$F_2 = 0.186X_1 + 0.383X_2 + 0.371X_3 + 0.090X_4 - 0.393X_5 - 0.210X_6 + 0.205X_7 + 0.258X_8 + 0.048X_9 + 0.249X_{10} - 0.454X_{11} - 0.296X_{12} - 0.089X_{13}$$
$$F_3 = -0.064X_1 - 0.218X_2 - 0.005X_3 + 0.653X_4 + 0.069X_5 + 0.105X_6 + 0.617X_7 + 0.004X_8 + 0.034X_9 + 0.145X_{10} + 0.261X_{11} - 0.086X_{12} - 0.167X_{13}$$
$$F_4 = 0.065X_1 + 0.069X_2 + 0.008X_3 + 0.161X_4 - 0.478X_5 - 0.095X_6 + 0.131X_7 - 0.233X_8 + 0.280X_9 - 0.339X_{10} + 0.098X_{11} + 0.637X_{12} + 0.219X_{13}$$

以每个主成分对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例(用)作为权重计算主成分综合模型:

$$F = \frac{\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \alpha_4 F_4}{\alpha}$$

可得到主成分综合模型:

$$F = -0.171X_1 + 0.230X_2 + 0.290X_3 + 0.252X_4 - 0.064X_5 + 0.183X_6 + 0.177X_7 + 0.350X_8 + 0.243X_9 - 0.137X_{10} - 0.157X_{11} + 0.097X_{12} - 0.292X_{13}$$

在综合模型中,每个 X 前所对应的系数就是每个试验指标的权重值,根据各指标所占权重大小,可知相对应的糖类的重要程度,权重值越大,表示相对

应的糖类对砧木生长的影响程度越大。因此,13 组试验中,对砧木生长及土壤环境变化影响最大的为第 8 组,即 100 mg/kg 的麦芽糖。

表 1 各主成分的特征值、贡献率、累积贡献率

糖类	浓度梯度/ (mg · kg ⁻¹)	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
果糖	50	-0.837	0.323	-0.092	0.068
	100	0.513	0.666	-0.314	0.072
	200	0.590	0.646	-0.007	0.009
葡萄糖	50	0.165	0.157	0.940	0.169
	100	0.423	-0.683	0.100	-0.502
	200	0.886	-0.365	0.151	-0.100
麦芽糖	50	-0.207	0.357	0.889	0.137
	100	0.843	0.448	0.006	0.245
	200	0.928	0.084	0.049	-0.294
阿拉伯糖	50	-0.786	0.434	0.209	-0.356
	100	-0.270	-0.790	0.376	0.103
	200	0.509	-0.515	-0.124	0.668
CK		-0.912	-0.155	-0.240	0.229
特征值		5.699	3.026	2.073	1.101
贡献率/%		43.840	23.273	15.949	8.473
累积贡献率/%		43.840	67.113	83.062	91.535

3 讨论与结论

研究表明,连作条件下土壤营养环境发生改变,平邑甜茶幼苗植株生长显著低于正茬^[16],糖类物质对于稳定土壤结构,提高土壤保肥能力等方面有重要作用^[17],能明显改善重茬土中植株的生长状况。本研究证明,在土壤中施加糖类,能明显提高植株的长势,施入浓度分别为 100,200 mg/kg 的 4 种糖类化合物均能显著提高砧木株高,其中,麦芽糖在 2 个较高浓度处理下,株高分别比 CK 高 47.9%与 46.7%;与 CK 相比,植株茎粗会随着糖类化合物浓度的升高而增大,麦芽糖能显著增加砧木茎粗,浓度为 100,200 mg/kg 时茎粗增加 11.1%与 12.2%。逆境胁迫会破坏叶绿体及类囊体膜结构,降低叶绿素合成,抑制光合作用^[18]。在本试验中,叶绿素相对含量随糖类浓度增加而增加,当 4 种糖类化合物浓度为 200 mg/kg 时,植株叶片叶绿素相对含量都显著高于 CK;叶绿素相对含量增加,为提升植物光合作用提供了物质基础。然而除阿拉伯糖外,其他 3 种糖类处理植株的最大光合速率均出现在 100 mg/kg 浓度水平,葡萄糖和麦芽糖的 100 mg/kg 处理的光合速率显著高于 CK,分别为 18.5%和 16.3%,究其原因,可能为叶绿素相对含量的增加,与植物受到的逆境胁迫有关,此时,叶绿素相对含量与植物光合作用并不是正相关关系,这也与李强

等^[19]研究相符。

引起农作物重茬障碍的原因是多方面的,很多研究人员认为土壤微生物结构的变化加重了重茬障碍的发生,土壤中的微生物数量与种类是土壤健康的决定因素^[20]。正常栽培条件下,植物会形成根际土壤独特的微生物环境^[21]。连作情况下,微生物群落的多样性水平发生变化,从而导致土壤微生物生态遭到破坏,有益微生物减少,有害微生物积累,土壤微生物从细菌主导型向真菌主导型转化,植物更易受到病原菌的侵染^[22]。贾志红等^[23]通过研究轮作和连作对土壤细菌群落多样性的影响,发现连作处理细菌群落丰富度指数小于轮作处理。细菌倾向于利用富含碳水化合物和糖类的物质^[24]。施入糖类物质,可以以直接或间接方式提高微生物活性^[25],大量微生物能够分泌各种生长活性物质,如生长素、细胞分裂素等,促进植物地上部的生长。向土壤中施加含碳量高的物质,能降低放线菌和革兰氏阳性菌的比例^[26-27]。在本研究中,果糖处理对于提高细菌数量效果最好,但随施入浓度不断升高,细菌增加数量逐渐降低,与CK相比,数量分别增加了119.7%,80.3%,67.1%,阿拉伯糖浓度为50,100 mg/kg处理的土壤细菌数量显著高于CK,分别增加了127.6%和59.2%。土壤放线菌数量随果糖和麦芽糖施入浓度的升高而降低,除果糖和麦芽糖的200 mg/kg浓度处理与CK没有显著差异外,其他处理都能显著增加土壤中放线菌的数量,而阿拉伯糖呈现相反规律,按施入浓度从低到高,土壤放线菌的数量分别增加了66.7%,222.9%,266.7%,其原因可能为,阿拉伯糖为多糖,土壤多糖对微生物的活性影响异于单糖^[9],施加阿拉伯糖后,其土壤中的具体环境变化还有待进一步研究与探索。

已有研究表明,在苹果园重茬土壤中不断分离出柱孢属(*Cylindrocarpon* spp.)、镰刀菌属(*Fusarium*)、腐霉属(*Pythium*)和少量丝核菌属(*Rhizoctonia* spp.)真菌,其中,柱孢属真菌以*C. macrodidymum*分布较广,近期又检测到病原菌终极腐霉(*P. ultimum*)^[28]。张志敏等^[29]通过对苹果园重茬土的研究发现,重茬土壤中镰刀菌的数量显著高于非重茬土壤,植株长势较差,重茬障碍现象明显。本试验中,施入糖类后,真菌数量均有所降低,其中,麦芽糖降低真菌数效果显著,按照浓度从低到高使土壤真菌数量下降了71.7%,49.0%,64.4%。综上所述,提高细菌数量效果最明显的是50 mg/kg阿拉伯糖、50,100 mg/kg果糖;抑制真菌数量效果最明显的是50,200 mg/kg麦芽糖和50 mg/kg葡萄糖;提高放线菌数量

效果最明显的是200,100 mg/kg阿拉伯糖和100 mg/kg葡萄糖。综合4种糖不同浓度处理效果,均极显著提高了土壤微生物总量,按照全部处理平均数计算,处理土壤微生物总量较对照提高了3.56倍,提高细菌数量比例效果显著的是果糖、麦芽糖,抑制真菌数量比例均显著,效果由大到小进行排序是阿拉伯糖、麦芽糖、葡萄糖、果糖,提高放线菌数量比例效果由大到小进行排序为葡萄糖、麦芽糖、阿拉伯糖和果糖。

Zhou等^[30]研究表明,外界干扰(如添加外源物)对低有机质土壤的微生物群落的多样性的影响大于高有机质土壤,本研究中所用重茬土壤有机质较低,外施糖类对微生物群落具有较大的影响。而糖类物质可以直接或间接方式为微生物生命活动提供其所需的碳源和养分,使微生物活性及数量提高,同时,土壤微生物作为分解者,又能分解糖类物质,为植物生长提供养分^[27]。研究证明,糖类等有机质经过微生物分解而被再次利用,提供植物生长所需养分,在自然界碳循环中具有重要的意义^[31]。施入糖类,微生物活性提高,同时增加了土壤中的碳含量,提高了TOC的含量,土壤有机碳(TOC)及其动态平衡也是保证土壤结构稳定性及生物生长的重要因子^[32]。施入100,200 mg/kg的葡萄糖时,TOC提高效果最为显著,比CK高60%和54%,100 mg/kg麦芽糖表现次之,比CK高47.6%。本研究中,土壤有机碳含量与麦芽糖和阿拉伯糖的使用浓度,与微生物含量并不完全相关,究其原因,这可能与土壤质地,土壤温湿度,土壤保水保肥能力等相关^[33],受多因子影响,还需进一步的研究分析。

综合以上研究结果,施用100 mg/kg麦芽糖后,苹果砧木生长和土壤方面都明显优于对照。株高提高47.9%,茎粗增加11.1%,叶绿素相对含量提高8.5%,光合速率提高16.3%,TOC含量比CK高47.6%。与其他3种糖类相比,麦芽糖在抑制重茬土壤中真菌数量具有明显优势,100 mg/kg的麦芽糖使土壤中真菌数量降低49%。由于1分子麦芽糖水解产生2分子葡萄糖,100 mg/kg的麦芽糖表现优良而200 mg/kg葡萄糖表现较差的原因还有待进一步研究探讨。

参考文献:

- [1] Mazzola M, Manici L M. Apple replant disease: Role of microbial ecology in cause and control[J]. Annual Review of Phytopathology, 2012, 50(1): 45-65.
- [2] Narwal S S. Allelopathy in ecological sustainable organic agriculture[J]. Allelopathy Journal, 2006, 25(1): 537-564.
- [3] Tewoldemedhin Y T, Mazzola M, Mostert L, et al.

- Cylindrocarpus species associated with apple tree roots in south africa and their quantification using real-time PCR[J]. European Journal of Plant Pathology/European Foundation for Plant Pathology, 2011, 129(4): 637-651.
- [4] St. Laurent A, Merwin I A, Thies J E. Long-term orchard groundcover management systems affect soil microbial communities and apple replant disease severity[J]. Plant and Soil, 2008, 304(1): 209-225.
- [5] 刘恩太. IDf 技术对苹果连作园土壤微生物及果实品质的影响[D]. 山东 泰安: 山东农业大学, 2013.
- [6] 陈学森, 韩明玉, 苏桂林, 等. 当今世界苹果产业发展趋势及我国苹果产业优质高效发展意见[J]. 果树学报, 2010, 27(4): 598-604.
- [7] 葛顺峰, 姜远茂, 彭福田, 等. 春季有机肥和化肥配施对苹果园土壤氮挥发的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 199-203.
- [8] 孙家骏, 付青霞, 谷洁, 等. 生物有机肥对猕猴桃土壤酶活性和微生物群落的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(3): 829-837.
- [9] 夏燕飞, 张文会, 王荣, 等. 土壤有机营养对“红富士”苹果果实产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 868-877.
- [10] 龙健, 李娟, 滕应, 等. 贵州高原喀斯特环境退化过程土壤质量的生物学特性研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 47-50.
- [11] 丁红利, 吴先勤, 张磊. 秸秆覆盖下土壤养分与微生物群落关系研究[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2): 294-300.
- [12] 郭景恒, 朴河春, 张晓山, 等. 生态系统转换对土壤碳水化合物化合物的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1367-1370.
- [13] 李浚明. 植物组织培养教程[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002.
- [14] 华菊玲, 刘光荣, 黄劲松. 连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(9): 2936-2942.
- [15] 相立, 徐少卓, 王功帅, 等. 微酸性电解水对苹果连作土壤环境的影响[J]. 园艺学报, 2016, 43(7): 1236-1244.
- [16] 吕毅, 宋富海, 李家家, 等. 轮作不同作物对苹果园连作土壤环境及平邑甜茶幼苗生理指标的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(14): 2830-2839.
- [17] Wu J, Huang M, Xiao H A, et al. Dynamics in microbial immobilization and transformations of phosphorus in highly weathered subtropical soil following organic amendments[J]. Plant and Soil, 2007, 290(1): 333-342.
- [18] 谭伟, 梁婷, 翟衡. 乙草胺对葡萄叶片光合和叶绿素荧光特性及叶绿体结构的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(8): 2185-2190.
- [19] 李强, 罗延宏, 余东海, 等. 低氮胁迫对耐低氮玉米品种苗期光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1132-1141.
- [20] Sandnes A, Eldhuset T D, Wolleb G. Organic acids in root exudates and soil solution of Norway spruce and silver birch[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(2): 259-269.
- [21] Morgan J A, Bending G D, White P J. Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere[J]. Journal of Experimental Botany, 2005, 56(417): 1729-1739.
- [22] Marschner P, Yang C H, Lieberei R, et al. Soil and plant specific effects on bacterial community composition in the rhizosphere[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(11): 1437-1445.
- [23] 贾志红, 易建华, 苏以荣, 等. 烟区轮作与连作土壤细菌群落多样性比较[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1578-1585.
- [24] 蒋靖, 宋明华. 植物与土壤微生物在调控生态系统养分循环中的作用[J]. 植物生态学报, 2010, 34(8): 979-988.
- [25] Lin Q M, Zhao X R, Zhao Z J, et al. Rock phosphate solubilization mechanisms of one fungus and one bacterium[J]. Agricultural Sciences in China, 2002, 1(9): 1023-1028.
- [26] Cookson W R, Abaye D A, Marschner P, et al. The contribution of soil organic matter fractions to carbon and nitrogen mineralization and microbial community size and structure[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(9): 1726-1737.
- [27] 胡亚林, 汪思龙, 颜绍旭. 影响土壤微生物活性与群落结构因素研究进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 170-176.
- [28] Tewoldemedhin Y T, Mazzola M, Labuschagne I, et al. A multi-phasic approach reveals that apple replant disease is caused by multiple biological agents, with some agents acting synergistically[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43(9): 1917-1927.
- [29] 张志敏, 赵政阳, 樊红科, 等. 苹果根区土壤镰刀菌对再植砧木苗生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2): 204-207.
- [30] Zhou J Z, Xia B, Treves D S, et al. Spatial and resource factors influencing high microbial diversity in soil[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68(6): 326-334.
- [31] Porazinska D L, Bardgett R D, Blaauw M B, et al. Relationship at the aboveground-belowground interface: Plants, soil biota, and soil processes[J]. Ecological Monographs, 2003, 73(8): 377-395.
- [32] 吴家森, 钱进芳, 童志鹏, 等. 山核桃林集约经营过程中土壤有机碳和微生物功能多样性的变化[J]. 应用生态学报, 2014, 25(9): 2486-2492.
- [33] 焦晓光, 高崇升, 隋跃宇, 等. 不同有机质含量农田土壤微生物生态特征[J]. 中国农业科学, 2011, 44(18): 3759-3767.