

李 伟,王金亭. 枯草芽孢杆菌与解磷细菌对苹果园土壤特性及果实品质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(3):140-144.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.036

枯草芽孢杆菌与解磷细菌对苹果园土壤特性及果实品质的影响

李 伟,王金亭

(聊城大学东昌学院,山东聊城 252000)

摘要:在大田条件下,连续 2 年从立体生态角度研究了施用枯草芽孢杆菌和解磷细菌(有益菌)对苹果园土壤理化性质、土壤微生物数量、土壤酶活性及果实品质的影响。结果表明,混合施用枯草芽孢杆菌和解磷细菌导致苹果生长过程中株高、根长、比叶重、叶面积指数增加,表明有益菌能够促进苹果植株生长。有益菌能够改良土壤质量,土壤养分含量明显升高,其中氮素升高最为明显,对磷素没有明显的影响,pH 值下降。施用有益菌后,土壤真菌及放线菌数量无明显变化($P>0.05$),但细菌数量明显增多,真菌/细菌比值降低,且差异显著($P<0.05$)。有益菌能显著提升土壤磷酸酶活性、脲酶活性、蛋白酶活性、蔗糖酶活性($P<0.05$)。对苹果果实品质的研究结果表明,可溶性固形物含量、中心糖含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量、维生素 C 含量等品质指标均显著提高($P<0.05$)。综合分析表明,混合施用枯草芽孢杆菌和解磷细菌可明显改良苹果果园土壤,且在提高果实品质方面发挥重要作用。

关键词:苹果;枯草芽孢杆菌;解磷细菌;土壤特性;果实品质

中图分类号: S661.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0140-05

中国是苹果生产大国,栽培面积和产量居世界首位,苹果已成为产区种植结构调整、农民增收的支柱产业^[1-3]。苹果优势区域布局规划(2008—2015 年)明确提出环渤海湾和黄土高原为我国两大苹果优势区域,其中环渤海湾和黄土高原分别有 53 个和 69 个苹果重点县市,两大优势区的苹果种植面积和产量均占我国 80% 以上,已经成为我国苹果产业主力^[4-5]。随着人们生活水平的不断提高,对苹果品质的改良也提上日程,化学药剂的使用虽能在一定程度上提高果实品质,但产生的负面影响也不容忽视^[6-7]。例如,有报道指出,苹果生产中广泛使用膨大剂,导致苹果口感变淡且不宜贮藏,如食用过量,还可能造成体内由于激素蓄积而引起的病变。因此寻找一种健康环保的改良方式就显得尤为重要^[8-10]。

土壤是苹果树生长的基础,土壤理化性状的优劣直接影响到树体生长、果实品质和果园可持续发展^[11-13]。土壤酶是反映土壤养分转化能力与土壤生物活性大小的重要指标,它参与土壤各种代谢过程和能量转化,是土壤生物化学特征的重要组成部分,在评价土壤肥力、土地利用及环境监测等方面发挥重要作用,可为土壤健康管理提供科学依据^[14-15]。土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分,几乎所有的土壤过程都直接或间接与土壤微生物有关,尤其是一些有益土壤微生物可提高土壤养分的有效性^[16-18]。例如,国际上常用解磷细菌来提高土壤有效磷含量,解磷细菌具有低成本、无污染的

特点,可明显提高作物产量和水果品质^[19-20]。自 Sprengle 等 1938 年将磷确定为植物必需的营养元素以来,研究人员发现磷对于植物的生长发育和新陈代谢具有不可忽视的作用。然而,由于土壤固定作用,施入的磷肥当季利用效率只有 5% ~ 10%,土壤中大部分有机磷和无机磷处于植物不能直接吸收利用的形态^[21-22]。解磷菌作为将土壤中难溶性化合态磷转化为植物能够吸收利用的可溶性磷的特殊微生物功能类群,不仅能在转化土壤难溶磷和提高磷肥利用率以及促进苹果生长等方面具有显著作用,而且能提高土壤有效磷含量、降低磷肥的投入,减少环境污染,具有极好的环保作用,目前多应用于设施蔬菜种植相关的研究中^[21-22]。而有益菌枯草芽孢杆菌菌体可合成淀粉酶、蛋白酶等多种酶类,并且具有良好的促进植物生长的作用,目前多应用于饲料及水质的研究。而目前关于枯草芽孢杆菌和解磷细菌对苹果土壤及果实品质的研究少见报道。在对农户走访调查中发现,苹果种植过程中会产生多种问题,其中树势衰弱及苹果产量下降的问题对农户影响最为严重,因此本研究拟探究这 2 种菌单施及混施对土壤养分的影响及其对果实品质的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

枯草芽孢杆菌(300 亿/g)购于聊城百微生物技术有限公司。解磷细菌(菌株鉴定结果为杨氏柠檬酸杆菌,采用牛肉膏蛋白胨液体培养基培养 24 h,81 亿/g)为实验室分离菌株。

1.2 研究方法

试验地位于山东农业大学苹果园基地。苹果果园栽品种为红富士。2015 年 4 月 14 日随机选取 12 株生长状况相似的植株,3 株为空白对照(CK),9 株为试验处理植株,分别为枯草芽孢杆菌(KC,500 g/株)、解磷细菌(JL,1.5 L/株)、枯

收稿日期:2017-07-11

基金项目:山东省高等学校科技计划(编号:J12LE52)。

作者简介:李 伟(1984—),女,山东聊城人,讲师,主要从事天然产物的分离提取、微生物研究。E-mail:wei_lee1984@126.com。

通信作者:王金亭,教授,主要从事天然产物的分离提取研究。

E-mail:wjtwyq9779@163.com。

草芽孢杆菌和解磷细菌配施 (KJ) (250 g/株 + 750 mL/株)。以树干为中心, 0.5 m 为半径, 将表层约 15 cm 的土壤移开后, 将菌剂或菌液均匀撒在土壤表面后, 再用土覆盖。

分别于 2015 年和 2016 年 9 月 7 日采集土样及果实样品, 采用 4 点取样法对 12 株果树采样, 以主干为中心距其 0.5 m 处用土钻采集 15~20 cm 层土壤, 弃去植物残体后, 取 1.0~2.0 kg 样品, 混合均匀, 无菌密封袋封装后进行土壤理化性质及微生物数量测定。每株树体随机采取足量叶片, 洗净后于 65 ℃ 烘箱烘干, 粉碎, 过 1.5 mm 筛, 元素分析仪 (Element, 德国) 测定叶片全碳和全氮含量, 钼钒黄吸光光度法^[23]测定叶片全磷含量。

1.3 测量指标

土壤样品风干后过 100 目筛, 参照关松荫的方法^[24]测定土壤酶活性。蔗糖酶活性测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法, 以 24 h 后 1 g 土壤中苹果糖的毫克数表示; 脲酶活性测定采用苯酚钠比色法, 以 24 h 后 1 g 土壤中 NH_3 -N 的毫克数表示; 蛋白酶活性测定采用茚三酮比色法, 以 24 h 后 1 g 土壤中甘氨酸的微克数表示; 磷酸酶活性测定采用苯磷酸二钠法, 以每 100 g 土的酚毫克数表示。

土壤理化性质参考鲍士旦的《土壤农化分析》^[23], 利用 pH 计测定土壤 pH 值, 有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法测定; 全钾含量采用火焰光度计法测定; 以 H_2SO_4 - HClO_4 消解法测定土壤全磷含量, 以钼锑抗比色法测定土壤速效磷含量; 全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定, 利用 AA3 型连续流动分析仪测定土壤硝态氮及铵态氮含量。土壤微生物数量用新鲜土壤进行测定, 采样平板计数的方法, 细菌、放线菌及真菌数量分别选用牛肉膏蛋白胨培养基、高氏 1 号培养基及马丁氏培养基。

同时在取样的 12 株树体中上部, 分别于东、南、西、北采集生长状态适中的苹果果实样品各 4 个, 共 192 个重复, 用电子天平测定单果质量; 参考曹健康的《果蔬采后生理生化实验指导》^[25]用阿贝折光仪测定可溶性固形物 (SSC) 含量; 采用蒽酮比色法测定果实总可溶性糖含量; 可溶性固形物含量采用 2WJ-阿贝折光仪测定; 可滴定酸含量采用 0.1 mol/L NaOH 标准溶液滴定法测定; 维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚测定法测定; 总黄酮含量采用 NaNO_2 - $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 分光光度法测定; 中心糖和边糖含量采用阿贝折射仪测定^[25]。

1.4 数据分析

用 Excel 2007 和 SPSS 18.0 软件进行数据的统计和分析, 所有数据为 2 年实验的平均值, LSD 法比较各处理间差异显著性 ($\alpha=0.05$), 用 Origin 8.2 软件作图。

2 结果与分析

2.1 有益菌对苹果植株生长特性的影响

由表 1 可知, 有益菌对苹果植株的生长具有明显的促进作用, 苹果植株株高、主根长、比叶重均高于对照, 均表现为 $\text{KJ} > \text{KC} > \text{JL} > \text{CK}$, 叶面积指数表现为 $\text{KJ} > \text{JL} > \text{KC} > \text{CK}$, 在 KJ 的交叉处理下, 苹果植株株高、根长、比叶重、叶面积指数达到最大, 并且显著高于对照 ($P < 0.05$)。从株高、主根长来看, JL 和 KC 差异不显著, KJ 显著高于 CK ($P < 0.05$), 从叶面积指数来看, KJ、JL、KC 均显著高于 CK ($P < 0.05$), 并且三者

之间差异显著 ($P < 0.05$)。与对照相比, KC、JL 和 KJ 苹果植株株高分别增加了 12.50%、10.09%、26.32%, 主根长增加了 5.53%、0.43%、22.13%, 叶面积指数增加了 15.17%、36.29%、81.37%, 比叶重增加了 29.65%、26.38%、47.49%。

表 1 有益菌对苹果植株生长特性的影响

| 处理 | 株高 (m) | 主根长 (m) | 叶面积指数 (LAI) | 比叶重 (mg/cm) |
|----|--------------|---------------|----------------|----------------|
| CK | 4.56 ± 0.63c | 2.35 ± 0.63c | 9.23 ± 1.36d | 3.98 ± 0.96c |
| KC | 5.13 ± 0.84b | 2.48 ± 0.52ab | 10.63 ± 1.85c | 5.16 ± 0.68b |
| JL | 5.02 ± 0.56b | 2.36 ± 0.49b | 12.58 ± 1.95b | 5.03 ± 0.53b |
| KJ | 5.76 ± 0.49a | 2.87 ± 0.51a | 16.74 ± 2.54a | 5.87 ± 0.48a |

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

2.2 有益菌对苹果园土壤养分的影响

苹果土壤适宜在 pH 值小于 7.5 的地块栽培, 图 1 显示, 施用有益菌均能使果园的原弱碱性土壤的 pH 值降低, 但变化并不显著, 这可能是因为该区土壤具有一定的缓冲作用; 土壤有机碳、全氮、全钾、速效磷、硝态氮、铵态氮和速效钾含量较 CK 组均有显著提高, 且在 0.05 水平上差异显著, KJ 组效果最为显著, 上述各处理均有利于苹果园土壤养分的提高。土壤 pH 值表现为 $\text{KJ} < \text{JL} < \text{KC} < \text{CK}$, 结果显示有益菌均显著降低了 pH 值 ($P < 0.05$); 土壤全磷含量, KJ、JL、KC 与 CK 之间无显著差异, 但总体趋势降低; 土壤全氮、全钾、速效磷、硝态氮、铵态氮和速效钾含量均表现为 $\text{KJ} > \text{JL} > \text{KC} > \text{CK}$, 并且 KJ 显著高于 CK ($P < 0.05$); 土壤有机碳含量为 $\text{KJ} > \text{KC} > \text{JL} > \text{CK}$ 。

2.3 有益菌对苹果园土壤酶活性的影响

土壤酶作为土壤组分中最活跃的有机成分之一, 是评价土壤肥力高低、生态环境质量优劣的一个重要生物指标, 土壤中磷酸酶、脲酶、蛋白酶、蔗糖酶活性提高有利于植物生长。有益菌对苹果园土壤酶活性的生长具有明显的促进作用 (图 2), 且与对照差异显著 ($P < 0.05$)。苹果园土壤磷酸酶、脲酶、蛋白酶、蔗糖酶活性均显著高于对照, 表现为 $\text{KJ} > \text{JL} > \text{KC} > \text{CK}$, 在 KJ 的交叉处理下, 各种酶活性达到最大 ($P < 0.05$)。对于磷酸酶活性, 不同处理之间差异均显著 ($P < 0.05$); 对于脲酶活性, JL 和 KJ 差异不显著 ($P > 0.05$), 二者显著高于 CK; 对于蛋白酶活性, KC 和 CK 差异不显著 ($P > 0.05$); 对于蔗糖酶活性, KJ、JL、KC 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。与对照相比, KC、JL 和 KJ 磷酸酶活性分别增加了 23.07%、65.51%、94.81%, 脲酶活性增加了 27.88%、74.27%、74.66%, 蛋白酶活性增加了 15.02%、37.76%、68.92%, 蔗糖酶活性增加了 80.79%、88.08%、97.68%。

2.4 有益菌对苹果园土壤微生物数量的影响

由表 2 可知, 苹果园土壤细菌数量显著高于对照, 表现为 $\text{KJ} > \text{JL} > \text{KC} > \text{CK}$, 在 KJ 的交叉处理下, 土壤细菌数量达到最大 ($P < 0.05$); 土壤真菌和放线菌数量在各处理之间的差异均不显著, 表现为 $\text{KJ} > \text{JL} > \text{KC} > \text{CK}$, 在 KJ 的交叉处理下, 土壤真菌和放线菌数量达到最大 ($P < 0.05$); 而土壤真菌/细菌, CK 显著高于 KJ、JL、KC ($P < 0.05$), KJ、JL、KC 土壤真菌/细菌差异不显著。

2.5 有益菌对苹果植株养分含量的影响

有益菌对苹果植株养分含量具有明显的促进作用 (图

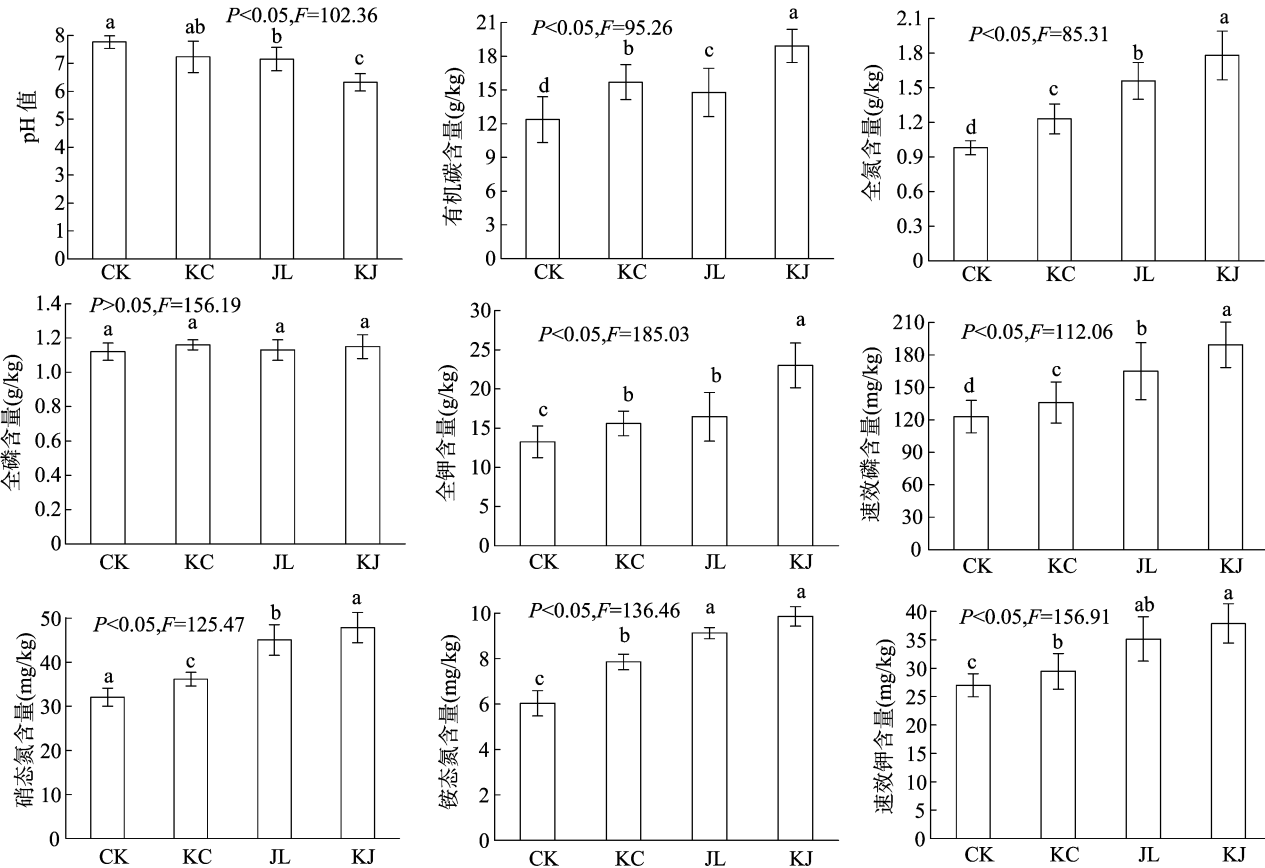


图1 有益菌对苹果园土壤养分的影响

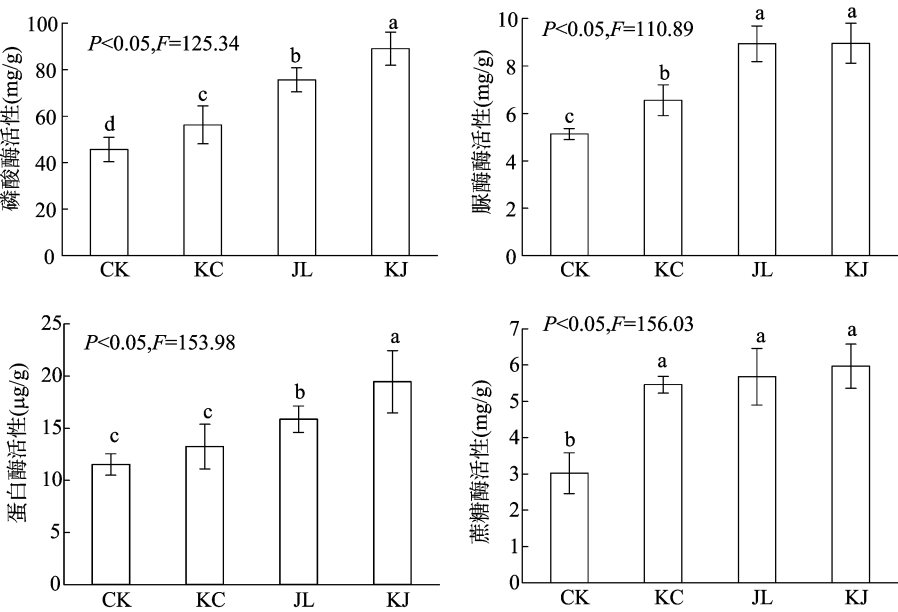


图2 有益菌对苹果园土壤酶活性的影响

3), 苹果植株全碳、全氮、全磷和全钾含量均高于对照, 均表现为 KJ > KC > JL > CK, 在 KJ 的交叉处理下, 苹果植株全碳、全氮、全磷和全钾含量达到最大。对于植株全碳和全钾含量, 各处理之间差异均显著 ($P < 0.05$); 对于植株全氮含量, KJ、KC、JL 显著高于 CK ($P < 0.05$); 对于植株全磷含量, KJ、JL、KC 与 CK 之间没有显著差异, 但总体趋势增加。与对照相

比, KC、JL 和 KJ, 苹果植株全碳含量分别增加了 6.27%、9.88%、13.08%, 全氮含量增加了 1.21%、1.08%、27.34%, 全磷含量增加了 1.92%、3.21%、4.49%, 全钾含量增加了 9.71%、36.65%、55.58%。

2.6 有益菌对苹果营养品质的影响

有益菌对苹果营养品质具有明显的促进作用 (表3), 苹

表 2 有益菌对苹果园土壤微生物数量的影响

| 处理 | 细菌 (× 10 ⁶ CFU/g) | 真菌 (× 10 ⁴ CFU/g) | 放线菌 (× 10 ⁵ CFU/g) | 真菌/细菌 |
|----|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| CK | 4.02 ± 0.36d | 2.83 ± 0.62a | 1.45 ± 0.23a | 0.65 ± 0.23a |
| KC | 5.16 ± 0.63c | 2.87 ± 0.23a | 1.43 ± 0.15a | 0.51 ± 0.15b |
| JL | 5.69 ± 0.25b | 2.98 ± 0.25a | 1.46 ± 0.16a | 0.52 ± 0.16b |
| KJ | 5.98 ± 0.54a | 3.12 ± 0.41a | 1.49 ± 0.19a | 0.54 ± 0.18b |

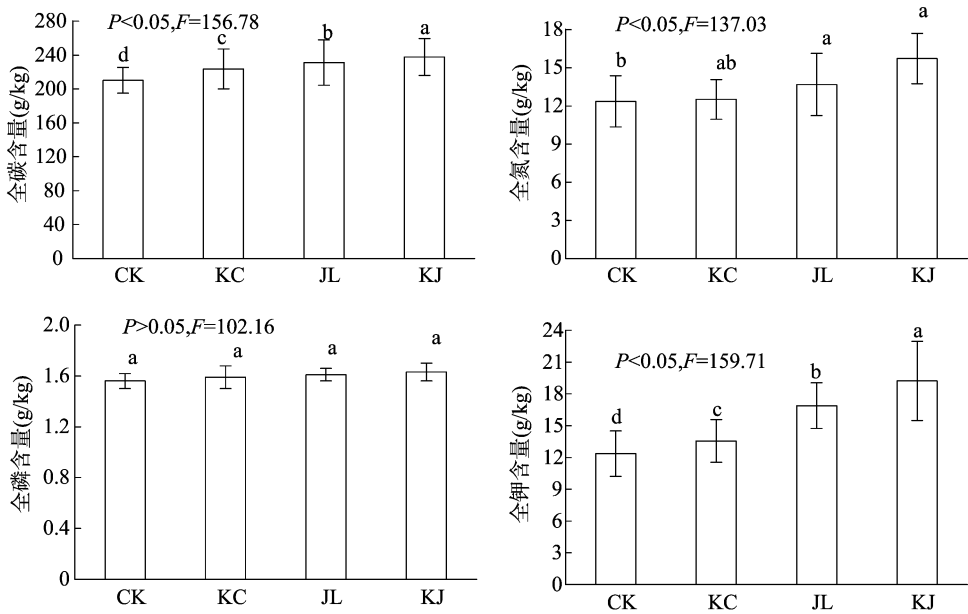


图3 有益菌对苹果植株养分含量的影响

果营养品质均高于对照,在 KJ 的交叉处理下,苹果营养品质各组分达到最大。果实含水量表现为 KJ > KC > JL > CK,其中 JL 和 CK 差异不显著($P > 0.05$),显著低于 KJ 和 KC($P < 0.05$);对于可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 和中心糖含量,其大小依次表现为 KJ > JL > KC > CK,KC 和 CK 差异不显著($P > 0.05$),显著低于 JL 和 KC($P < 0.05$);对于总黄酮含量,其大小依次表现为 KJ > JL > KC > CK,KJ、JL、KC 之间差

异不显著($P > 0.05$),显著低于 KJ($P < 0.05$);对于边糖含量,其大小依次表现为 KJ > KC > JL > CK,KJ 和 KC 差异不显著($P > 0.05$),二者显著高于 CK($P < 0.05$);对于固酸比,CK 显著高于 KJ、JL、KC($P < 0.05$),KJ、JL 差异不显著($P > 0.05$)。综合分析表明,有益菌不仅能提高苹果果实品质,同时还可提高糖分含量。

表 3 不同处理果实品质比较

| 处理 | 果实含水量 (%) | 可溶性固形物 含量(%) | 可滴定酸 含量(%) | 固酸比 | 维生素 C (mg/kg) | 总黄酮含量 (mg/kg) | 中心糖含量 (%) | 边糖含量 (%) |
|----|---------------|-----------------|---------------|---------------|------------------|------------------|---------------|---------------|
| CK | 78.23 ± 8.26c | 15.36 ± 3.02c | 0.23 ± 0.03c | 66.78 ± 2.69a | 35.14 ± 1.54c | 9.56 ± 1.02b | 7.25 ± 0.69c | 6.23 ± 0.56c |
| KC | 82.36 ± 5.31b | 15.98 ± 2.14c | 0.26 ± 0.02c | 61.46 ± 5.32b | 39.15 ± 2.01bc | 10.23 ± 2.17b | 7.31 ± 1.23c | 8.98 ± 0.63ab |
| JL | 79.15 ± 4.25c | 16.47 ± 2.57b | 0.45 ± 0.04b | 36.60 ± 4.61c | 42.36 ± 2.61b | 11.89 ± 3.01b | 8.94 ± 1.56b | 8.57 ± 0.78b |
| KJ | 86.38 ± 5.78a | 17.56 ± 1.89a | 0.53 ± 0.06a | 33.13 ± 2.73c | 47.89 ± 4.58a | 13.16 ± 2.63a | 11.04 ± 1.87a | 9.92 ± 0.91a |

3 讨论与结论

土壤是植物赖以生存的物质基础,同时又是植物 - 土壤 - 微生物生态系统中物质和能量交换的主要场所^[26],植物生命活动所需的水分、无机营养及少量有机物质都是通过根系从土壤中吸收的,而土壤微生物可以将土壤中植物难以直接利用的物质加以分解或转化,使植物根系更容易吸收利用,从而有利于植物生长发育^[16-18]。本研究中有益菌对苹果的生长特性影响较为明显,有益菌处理下苹果生长过程中各指标均有所增加,表明有益菌能够促进苹果植株的生长,施用有益菌后,苹果根系发育较快,表现出较强的生长能力,从而促

进苹果有机物质的合成及产量的提高。苹果植株的生长发育受叶片光合特性、生理代谢和光合产物代谢的共同影响,叶面积指数是植物冠层生长状况的指标,叶面积指数大有利于捕获更多的光能。综合比较可知,有益菌处理的苹果通过增加叶面积指数和光合作用进而影响其自身的生长。李双喜等研究表明,施用有益菌后,小麦叶片叶绿素含量达最高^[27]。刘艳研究表明,不同植物源有益菌均不同程度地提高了黄金梨幼树叶片的净光合速率,调节了叶片的蒸腾速率^[28],本试验研究结果与之相一致。

施用有益菌后,土壤真菌及放线菌数量无明显变化,但细菌数量明显增多,致真菌/细菌比值降低,且在 0.05 水平上差

异显著。土壤中真菌数量以及真菌/细菌比值越低,土壤生态系统的稳定程度越高,土壤抑制病害能力越强^[29-30]。所以施用有益菌能明显改良土壤理化性质及降低土壤真菌/细菌比值,更适合微生物生长与繁殖,可以向土壤中分泌更多的酶,表现为磷酸酶活性、脲酶活性、蛋白酶活性、蔗糖酶活性均较对照有显著提高。且土壤相关酶活性的提高可对土壤速效磷、全氮及铵态氮含量的增加起很大作用。土壤营养成分有明显改善,土壤养分含量明显升高,其中氮素升高最为明显,pH 值在一定程度下降,推测可能是有益菌的施用可以促进苹果优先吸收氮素^[29-30];然而有益菌对磷素没有明显的影响,这主要是由于磷素是一种沉积性元素,由母质类型和成土条件决定,在土壤中的存在形式较稳定、不易流失^[8,19-20,31-32]。

本试验证明,有益菌能够改良土壤质量,进而促进树体生理代谢,形成了良性的植物-土壤-微生物生态系统,进而提高果实品质。试验测定的苹果可溶性固形物含量、中心糖含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量、维生素 C 含量等品质指标均为有力佐证。果园产量和果实品质在很大程度上取决于果园土壤的养分状况,有益菌施用后,果园土壤养分及结构得到了改善。结构好、养分协调的土壤,有利于果树根系生长及其对养分的摄取,有利于提高果树产量和果实品质。有益菌肥效持续缓慢释放有利于和作物的生理需求达到同步,可有效促进作物营养代谢协调均衡,从而确保其高产优质。对土壤进行生物修复是发展绿色农业的必要措施,本研究结果表明,通过向高龄苹果园施用有益细菌,可以对土壤进行生物修复,更为可喜的是能够提高苹果果实品质。

参考文献:

- [1] 李云国,蔡兆翔,马 静,等. 昭通高原苹果产业发展现状及可持续发展对策研究[J]. 云南农业大学学报(社会科学版),2015,9(5):69-73.
- [2] 李 锐,刘国彬,穆兴民. 改善生态与富民增收是黄土高原生态建设的中心[J]. 中国科学院院刊,2000(3):193-196.
- [3] 路克国,朱树华,张连忠. 有机肥对土壤理化性质和红富士苹果果实品质的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2003,7(3):205-208.
- [4] 王桂芳,李丙智,张林森,等. 苹果园沼液配施钾肥对土壤酶活性及果实品质的影响[J]. 西北林学院学报,2009,24(5):88-91.
- [5] 张 义,谢永生,郝明德,等. 不同地表覆盖方式对苹果园土壤性状及果树生长和产量的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(2):279-286.
- [6] 吴玉森,张艳敏,冀晓昊,等. 自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分、酶活性及果实品质的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(1):99-108.
- [7] 李丙智,王桂芳,秦晓飞,等. 沼液配施钾肥对果园土壤理化特性和微生物及果实品质影响[J]. 中国农业科学,2010,43(22):4671-4677.
- [8] 尹晓宁,马 明,张 坤,等. 不同覆盖条件对陇东旱塬苹果园土壤水分及果实品质的影响[J]. 经济林研究,2012,30(1):34-39.
- [9] 李会科,张广军,赵政阳,等. 黄土高原旱地苹果园生草对土壤养分的影响[J]. 园艺学报,2007,34(2):477-480.
- [10] 彭福田,姜远茂. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究[J]. 中国农业科学,2006,39(2):361-367.
- [11] 高茂盛,温晓霞,黄灵丹,等. 耕作和秸秆覆盖对苹果园土壤水分及养分的影响[J]. 自然资源学报,2010,25(4):547-555.
- [12] 张 坤,尹小宁,刘小勇,等. 陇东旱地果园覆沙对苹果树蒸腾耗水及果实品质的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(11):2755-2762.
- [13] 张 强,魏钦平,蒋瑞山,等. 富士苹果矿质营养含量与几个主要品质指标的相关性分析[J]. 园艺学报,2011,38(10):1963-1968.
- [14] 武晓森,周晓琳,曹凤明,等. 不同施肥处理对玉米产量及土壤酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料,2015(1):44-49.
- [15] 张 茜,张小梅,梁 斌,等. 长期定位施肥对设施番茄土壤酶活性及土壤养分动态变化的影响[J]. 华北农学报,2017,32(1):179-186.
- [16] 董 卿,程红艳,张建国,等. 醋糟菌糠对 3 种作物土壤微生物及酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报,2016(12):1655-1662.
- [17] 赵亚丽,郭海斌,薛志伟,等. 耕作方式与秸秆还田对土壤微生物数量、酶活性及作物产量的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1785-1792.
- [18] 张 丹,付 斌,胡万里,等. 秸秆还田提高水稻-油菜轮作土壤固氮能力及作物产量[J]. 农业工程学报,2017,33(9):133-140.
- [19] 陈 倩,刘善江,白 杨,等. 山西矿区复垦土壤中解磷细菌的筛选及鉴定[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(6):1505-1516.
- [20] 邵 阳,崔孟奇,田霄鸿,等. 枯草芽孢杆菌与解磷细菌对猕猴桃园土壤及果实品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(5):180-184.
- [21] 崔 邢,张 亮,林勇明,等. 解磷细菌对巨尾桉根际土壤酸性磷酸酶活性的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2017,46(3):343-350.
- [22] 史国英,莫燕梅,岑贞陆,等. 一株高效解无机磷细菌 BS06 的鉴定及其解磷能力分析[J]. 微生物学通报,2015,42(7):1271-1278.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析[J]. 生态学报,2015,35(20):10002-10003.
- [24] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:农业出版社,1986:294-297.
- [25] 曹健康,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,2007:133-137.
- [26] 陆雅海. 2015 国际土壤年土壤生物生态专栏序言[J]. 生态学报,2015,35(20):10002-10003.
- [27] 李双喜,沈其荣,郑宪清,等. 施用微生物有机肥对连作条件下西瓜的生物效应及土壤生物性状的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(2):169-174.
- [28] 刘 艳. 几种食用菌发酵料中有益微生物的筛选及研究[D]. 武汉:华中农业大学,2004.
- [29] 林启美,赵小蓉,孙炎鑫,等. 四种不同生态系统的土壤解磷细菌数量及种群分布[J]. 土壤与环境,2000,9(1):34-37.
- [30] 蔡燕飞,廖宗文,章家恩,等. 生态有机肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(3):349-353.
- [31] 李 静,陈小华,刘振鸿,等. 脱硫石膏改良土壤过程中的磷迁移规律及影响因素分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):233-237.
- [32] 王文蕾,王 旭,朱美玲,等. 海南吊罗山自然保护区土壤磷研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):273-277.