

活化腐植酸肥料对苹果幼树的生长和养分利用的影响

程冬冬, 唐亚福, 刘 艳, 李俊银, 姚媛媛, 杨越超*

(土肥资源高效利用国家工程实验室 / 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘 要: 为研究活化腐植酸肥料的颗粒形态和用量对苹果幼树生长、土壤理化性质及肥料利用率的影响, 通过苹果幼树盆栽试验, 共设计了 8 个处理, 包括不施肥 (CK)、普通习惯施肥 (CCF)、100% 施用量的大颗粒活化腐植酸肥 (SAF1)、80% 施用量的大颗粒活化腐植酸肥 (SAF2)、50% 施用量的大颗粒活化腐植酸肥 (SAF3)、100% 施用量的粉末状活化腐植酸肥 (PAF1)、80% 施用量的粉末状活化腐植酸肥 (PAF2)、50% 施用量的粉末状活化腐植酸肥 (PAF3)。考察了不同处理苹果幼树的株高、茎粗、叶绿素含量、光合特性、生物量、肥料利用率和土壤的速效养分等。结果表明, 与 CCF 处理相比, SAF1、SAF2 和 PAF1 处理的株高、茎粗、新梢长度、干物重、光合强度和土壤的速效养分显著增加, SAF3 和 PAF3 处理的叶绿素、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、植株干重、硝态氮、有效磷和速效钾差异不显著。此外, SAF1 处理的氮、磷和钾养分平均利用率分别为 40.7%、20.6% 和 46.2%, 相比 PAF1 处理分别提高了 12.7%、32% 和 38.7%。在减少肥料用量的条件下, SAF2 处理促进苹果幼树生长和提高土壤肥力的效果最佳, 且显著优于普通肥料。因此, 大颗粒活化腐植酸肥料在肥料减施、提高养分利用率、促进苹果幼树生长和增加土壤肥力方面的作用显著, 其大面积推广应用的潜力巨大。

关键词: 大颗粒肥料; 活化腐植酸; 苹果幼树; 肥料利用率

苹果作为我国果区农民的重要经济来源^[1-2], 化学肥料增施是提高果园产量的重要措施^[3]。据统计, 我国苹果园中氮、磷、钾的施用量达到了发达国家果品生产肥料投入量的 2 ~ 3 倍^[4]。过度施肥不仅造成了资源浪费, 而且也带来了果园土壤酸化、退化和果品品质下降等一系列问题^[5-7]。目前果园施肥以撒施或沟施的方法为主, 该方法费时费力且易造成果树根系大面积破坏, 在农村劳动力高龄化、短缺的背景下, 传统施肥方法逐步制约了实际生产^[8]。要改变肥料用量大和劳动力短缺的问题, 不仅要研究准确的施肥量, 同时也亟须一种养分含量高、功能多元化、施用简便的肥料品种。其中肥料颗粒增大和多功能化是研究者解决此问题的重要手段, 采用此方法不仅能够减少施肥位点数和增加土壤功能物质, 而且颗粒变大能大幅提高单位

位点养分浓度, 有利于增加土壤盐基饱和度、提高肥料利用率。

在“化肥使用量零增长行动方案”的大背景下, 新型肥料因其养分利用率高、环境影响少的特点在农业生产中越来越受欢迎^[9-10], 但是多数新型肥料因成本高、功能单一限制了其在果园中的广泛应用^[11]。所以, 研究者们为降低新型肥料制备成本, 多选用低成本原料和传统肥料复配的方法创制多功能型新型肥料。其中, 腐植酸是一种来源广和价格低的肥料原料, 同时作为一种天然改良剂对土壤质量改善和作物促生的效果明显^[4, 12-14]; 相关研究也表明, 果树上施用活化后的褐煤腐植酸对果树生长和氮肥利用率提高作用显著^[15]。山东农业大学土肥资源高效利用国家工程实验室以低成本活化的方法创新了矿源腐植酸活化工艺, 利用此矿源腐植酸为原料, 采用液压挤压的方法制备了大颗粒活化腐植酸肥料, 该新型肥料具有颗粒大、养分含量高的特征, 且符合果园肥料施用集中、供肥能力强的生产要求, 但是在果树上的具体应用效果及应用方法均不明确。因此, 为了研究腐植酸肥料颗粒状态及施用量对果树生长和其养分利用情况, 采用苹果幼树盆栽试验的方法, 研究不同量的大颗粒活化

收稿日期: 2021-01-02; 录用日期: 2021-02-05

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0201105); 国家自然科学基金 (41807087, 41907004, 42077091)。

作者简介: 程冬冬 (1983-), 副教授, 博士, 主要从事新型肥料研发与应用。E-mail: chengdongdong163@126.com。

通讯作者: 杨越超, E-mail: yangyuechao2010@163.com。

腐植酸肥料和粉末状活化的腐植酸肥料对苹果幼树生长发育、土壤理化性质及其对氮、磷、钾营养元素利用率的影响,以期为大颗粒活化腐植酸肥在果树上的应用和化肥减量施用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

试验于2017年5月1日布置,地点为山东农业大学土肥资源高效利用国家工程实验室试验基地。供试果树幼苗为2年生红富士,供试土壤为简育湿润淋溶土(普通棕壤),土壤有机质8.0 g/kg、硝态氮24.0 mg/kg、铵态氮7.5 mg/kg、有效磷20 mg/kg、速效钾65.1 mg/kg。供试风化煤腐植酸来自山西吕梁,经干燥、碾碎后过0.45 mm筛,采用固态活化技术得到活化腐植酸^[14]。供试的大颗粒活化腐植酸缓释肥料由山东农业大学土肥资源高效利用国家工程实验室制得^[4],主要原料为化学合成型缓释肥、尿素、磷酸二氢铵、硫酸钾、活化风化煤腐植酸粉末,混匀后得到粉末状的活化腐植酸肥料(PAF),其养分配比为N-P₂O₅-K₂O=10-20-10。将上述粉末状的活化腐植酸肥料(PAF)经压片机(YST-100T,常州久压久机械制造有限公司,中国)在80 t压力下挤压得到直径和高度均为5 cm的圆柱状大颗粒活化腐植酸肥料(SAF)。盆栽所用陶土盆高40 cm、顶部直径50 cm、底部直径40 cm,每盆装风干土20 kg。

1.2 试验设计

试验共设置8个处理,分别为SAF1(100%施用量的大颗粒活化腐植酸肥,72 g/粒×2粒=144 g,含N 14.1 g、P₂O₅ 28.2 g、K₂O 14.1 g)、SAF2(80%施用量的大颗粒活化腐植酸肥,58 g/粒×2粒=116 g,含N 11.6 g、P₂O₅ 23.2 g、K₂O 11.6 g)、SAF3(50%施用量的大颗粒活化腐植酸肥,36 g/粒×2粒=72 g,含N 7.05 g、P₂O₅ 14.1 g、K₂O 7.05 g)、PAF1(100%施用量的粉末状活化腐植酸肥144 g,含N 14.1 g、P₂O₅ 28.2 g、K₂O 14.1 g)、PAF2(80%施用量的粉末状活化腐植酸肥116 g,含N 11.6 g、P₂O₅ 23.2 g、K₂O 11.6 g)、PAF3(50%施用量的粉末状活化腐植酸肥72 g,含N 7.05 g、P₂O₅ 14.1 g、K₂O 7.05 g)、CCF(普通习惯施肥,普通掺混肥144 g,含N 14.1 g、P₂O₅ 28.2 g、K₂O 14.1 g)、CK(不施肥),每个处理重复8次,每年平均施肥2次,3月施1次,10月施1次,各

处理生长条件和栽培管理均一致,每年10月破坏性采样,测定植株所吸收养分含量及土壤理化性状。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 植株生长指标

2018年6月17日,测定苹果幼树叶片的叶绿素含量和光合强度。苹果幼苗新梢生长停止后(2018年9月30日)测量苹果幼树的新梢总长度、地上部株高、茎粗和生物量。叶绿素含量:使用SPAD叶绿素测定仪;光合参数:Li-6400XT便携式光合仪在第四叶进行净光合速率、蒸腾速率、胞间CO₂浓度和气孔导度的测定;株高:用卷尺从地表量取到树梢顶部距离;茎粗:用数字游标卡尺测量苹果幼树地表上15 cm处的直径;生物量:苹果幼树生长一年后(2018年10月30日),每个处理随机选取3株幼苗,从陶盆中取出洗净,分成地上部(枝干)和地下部(根),于105℃烘干至恒重,然后用天平(感量:0.01 g)进行称重。

1.3.2 土壤理化性质指标

土壤样品在苹果幼树破坏取样时获取,经自然风干、研磨过2 mm筛备用。土壤硝态氮和铵态氮含量采用氯化钙溶液浸提-流动分析仪测定;土壤有效磷含量采用NaHCO₃溶液浸提-钼蓝比色法测定;土壤速效钾含量采用NH₄OAc溶液浸提-火焰光度法测定^[16]。

1.3.3 肥料利用率

植株经研磨后,采用H₂SO₄-H₂O₂消化,半微量凯氏定氮法、钼蓝比色法和火焰光度法分别测定植株不同部分的氮、磷和钾含量^[17],植株对氮、磷、钾的利用效率计算方法如下:

氮素利用率(%)=(施肥处理植株吸收的氮-不施肥处理植株吸收的氮)/施氮量×100;

磷素利用率(%)=(施肥处理植株吸收的磷-不施肥处理植株吸收的磷)/施磷量×100;

钾素利用率(%)=(施肥处理植株吸收的钾-不施肥处理植株吸收的钾)/施钾量×100。

1.4 数据分析

采用Excel 2010处理数据、SPSS 22.0进行方差分析及显著性差异检验(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 活化腐植酸肥对苹果幼树生长的影响

肥料养分供给量与果树吸收的匹配性直接影响

到果树的生长状况,通过考察果树株高、茎粗、新梢长度以及叶绿素 SPAD 值可知(图 1),施用粉末状腐植酸肥料处理 PAF1、PAF2、PAF3 和施用大颗粒腐植酸肥料处理 SAF1、SAF2 和 SAF3 的株高均高于施用普通肥处理 CCF 和不施肥处理 CK,其中 PAF1、SAF1、SAF2 处理的株高显著高于其他处理。此外,施肥处理的苹果幼树茎粗均大于 CK 处理,各施肥处理间的茎粗无显著差异。在新梢长度方面,所有施用腐植酸肥料处理均显著优于

CCF 处理;与 CCF 处理相比,SAF1、SAF2、SAF3 和 PAF1、PAF2、PAF3 处理的新梢长度分别增加了 14.39%、5.40%、4.86% 和 18.59%、10.79%、3.60%;同时,SAF1、PAF1 处理的新梢长度显著高于 SAF2、SAF3 和 PAF2、PAF3 处理。在叶绿素含量方面,所有施肥处理均高于 CK 处理,并且 SAF1 和 SAF2 处理的叶绿素含量均显著高于其他施肥处理。综上指标考察可知,SAF1 处理最有利于苹果幼树表现性状的改善。

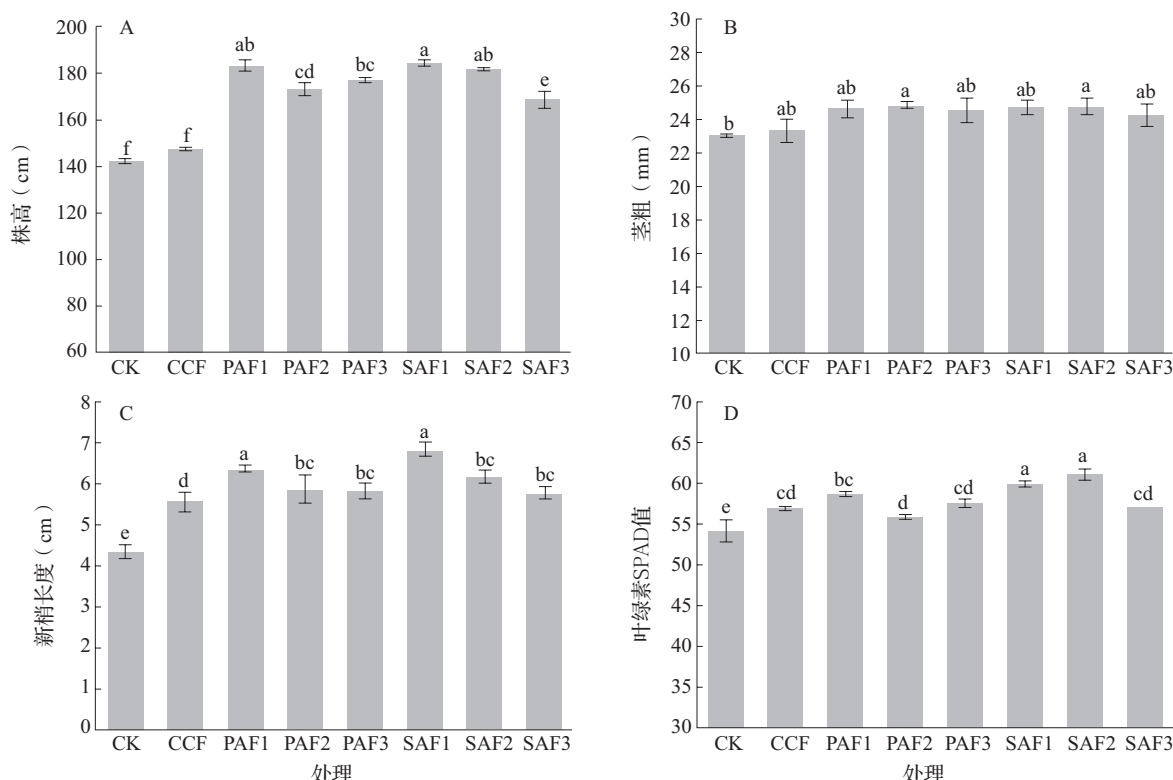


图 1 不同处理苹果幼树的株高、茎粗、新梢长度和叶绿素

注:图柱上字母不同表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 活化腐植酸肥料对苹果幼树光合效率的影响

叶片蒸腾速率和气孔导度大小反映了光合作用的强弱,叶片蒸腾速率和气孔导度越大越有利于光合作用的增强,同时光合作用越强消耗的 CO_2 越多,因此,胞间 CO_2 浓度的高低也反映了叶片光合速率的大小,胞间 CO_2 浓度越低说明叶片的光合速率越大。通过考察不同处理的苹果幼树光合效率指标可知(图 2),SAF1 和 PAF1 处理的净光合速率高于其他处理,与 CCF 处理相比,SAF1 和 PAF1 处理的净光合速率分别增加了 13.68% 和 6.44%;

在气孔导度方面,SAF1 和 PAF1 处理的效果最佳,比 CCF 处理分别高出 22.45% 和 16.32%;各施肥处理间的蒸腾速率差异趋势与气孔导度表现相似,均表现为 PAF1 和 SAF1 处理效果最优,说明腐植酸肥可有效促进叶片蒸腾和气孔导度增大,为光合作用提供了有利条件;此外,通过考察叶片的胞间 CO_2 浓度可知,与 CCF 处理相比,SAF1 和 PAF1 处理分别降低了 8.50% 和 3.11%,这也从侧面表明了 SAF1 和 PAF1 处理有效增加了 CO_2 的利用,促进了光合作用。

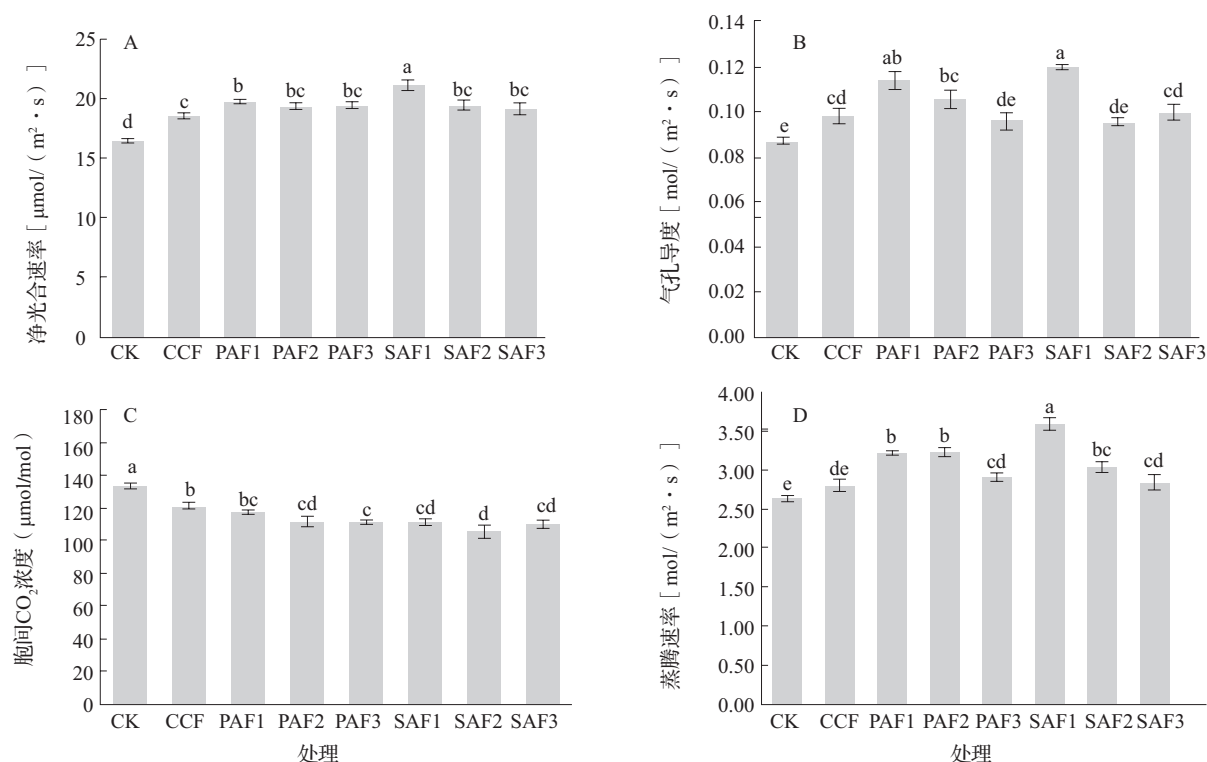


图2 不同处理苹果幼树叶片光合参数

2.3 活化腐植酸肥料对苹果幼树生物量的影响

苹果幼树表观生物量的多少能够直接表明不同施肥处理促进苹果幼树树体生长的效果,采用破坏取样的方法将苹果幼树分解为地下部(根系)和地上部(枝干)两部分,并综合整株幼树干重(图3),不同施肥处理的幼树整株生物量大小顺序为SAF1>PAF1>SAF2>SAF3>PAF2>PAF3>CCF>CK,其中,SAF1处理的整株生物量最大,其次是PAF1和SAF2处理。通过对比各处理的地下部(根系)生物

量结果发现,SAF1处理的根系生物量显著大于其他处理,PAF1和SAF2处理次之;对比地上部(枝干)生物量发现,PAF1、SAF1和SAF2处理显著高于其他处理,SAF3处理次之。综合地下部(根系)、地上部(枝干)和整株幼树干重可知,SAF1和PAF1处理最有利于苹果幼树生物量增加;同时发现SAF1、SAF2、SAF3、PAF1、PAF2和PAF3处理的苹果幼树根系生物量均大于CCF和CK处理,这说明活化腐植酸肥料对苹果幼树根系促生作用显著。

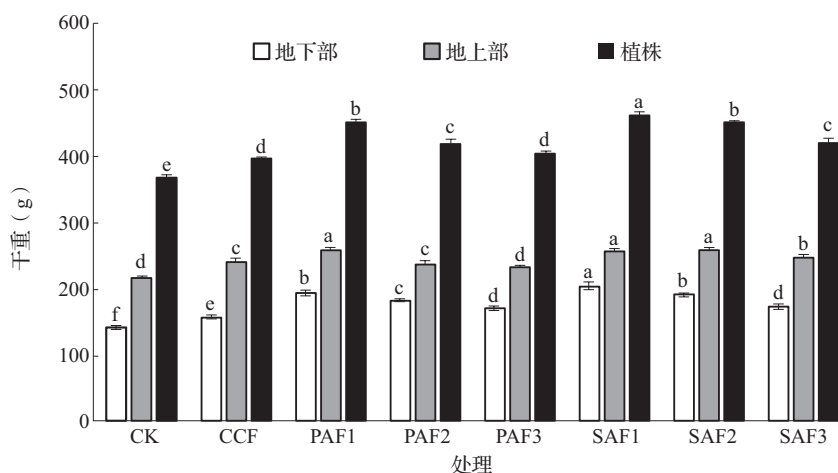


图3 不同处理苹果幼树地下部、地上部和植株总干重

2.4 活化腐植酸肥料对盆栽土壤养分变化的影响

土壤养分状况与苹果根系吸收营养元素的量成正相关,所以优异的施肥措施是保证土壤养分状况良好的重要手段。活化腐植酸肥料作为一种新型肥料,其施用后土壤养分状况可表明活性养分的供给能力,活性养分越高说明营养元素越有利于果树根系吸收。与 CCF 处理相比,SAF1、SAF2 和 PAF1、PAF2 处理均显著提高了土壤硝态氮含量,但是 SAF3 和 PAF3 处理不能显著提高土壤硝态氮含量,表明相同用量或者减少 20% 用量的活化腐植酸肥料处理均能提高土壤硝态氮含量,减量 50% 时则无显著效果(图 4A)。对于土壤铵态氮含量,与 CCF 处理相比,所有施用活化腐植酸肥的处理均能提高土壤铵态氮含量,且都表现为随着活

化腐植酸肥料施用量减少而下降的趋势,施用颗粒状和粉末状活化腐植酸肥处理表现趋势相同,同时施肥量相同的条件下颗粒状活化腐植酸肥处理比粉末状活化腐植酸肥处理的土壤铵态氮含量要高,即 SAF1>PAF1、SAF2>PAF2 和 SAF3>PAF3 (图 4B)。在土壤有效磷方面,SAF1、PAF1 和 SAF2 处理显著高于 CCF 处理,PAF2、SAF3 和 PAF3 处理与 CCF 处理无显著差异(图 4C)。土壤速效钾含量的变化规律与有效磷类似,相同施肥量条件下,大颗粒活化腐植酸肥料处理高于粉末状活化腐植酸处理,且 SAF1 处理最为显著。综上可知,SAF2 和 SAF1 处理增加土壤速效养分作用显著,PAF1 处理能显著增加土壤的速效养分,改善土壤的肥力。

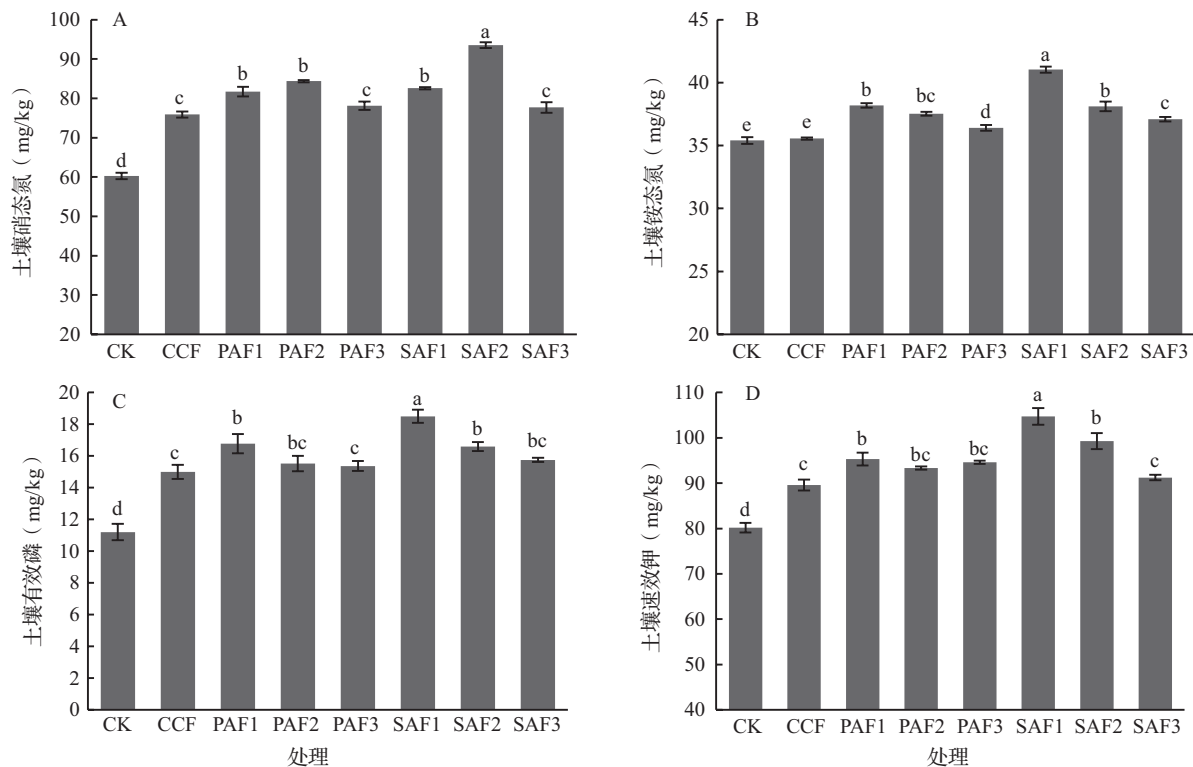


图 4 不同处理土壤硝态氮、铵态氮、有效磷和速效钾含量

2.5 活化腐植酸肥料对苹果幼树氮磷钾利用率的影响

肥料利用率作为肥料作用效果的主要指标,通过考察不同处理条件下苹果幼树对氮、磷、钾养分的利用率可知(图 5),所有施用活化腐植酸肥料处理的养分利用率均比普通肥料处理高,并且大颗粒活化腐植酸肥料处理的氮磷钾养分吸收率均大于施用粉末状活化腐植酸肥料处理。在氮吸收方面,

SAF1 和 SAF2 处理的氮素利用率显著高于其他处理(除 SAF3 与 SAF2 不显著外),分别达到了 43.4% 和 40.5%;对于磷吸收,相对粉末状活化腐植酸肥料处理,大颗粒活化腐植酸肥料处理提高磷素利用率 19.81% ~ 40.25%;对于钾,相对粉末状活化腐植酸肥料处理,颗粒活化腐植酸肥料处理提高钾素利用率 25.89% ~ 47.71%;SAF1 比 PAF1 处理高 43.29%,SAF2 比 PAF2 处理高 25.89%,SAF3 比

PAF3 处理高 47.71%。上述结果表明,与普通肥料和粉末状腐植酸肥料相比,大颗粒活化腐植酸肥料

能够显著提高果树幼树氮磷钾的养分利用率,在果园应用中具有较高的潜力。

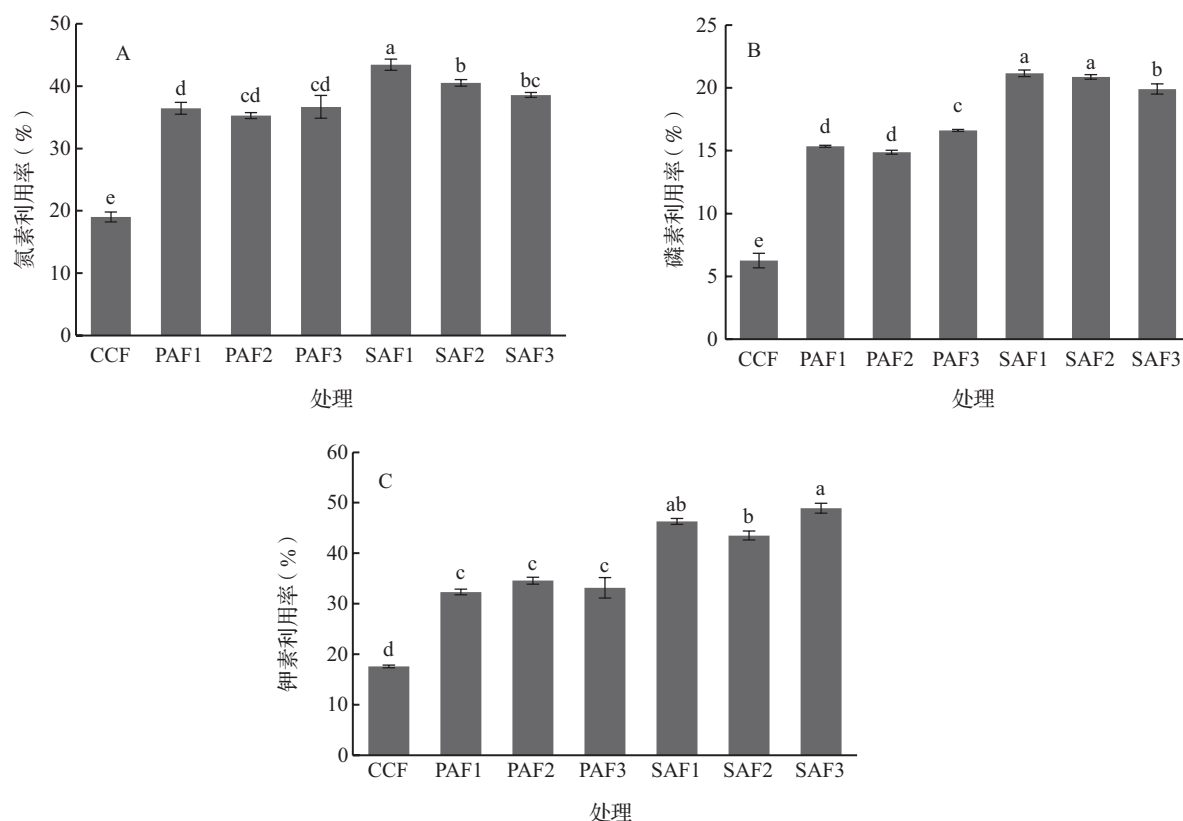


图5 不同处理的氮磷钾利用率

3 讨论

果园土壤施肥量高、肥料利用率低、土壤质量下降的问题越来越突出,如何降低肥料施用量、改善果园土壤质量已成为研究者重要的关注点^[18-20]。本研究以大颗粒活化腐植酸肥料、粉末状活化腐植酸肥料和普通复合肥为研究对象,考察其在苹果幼树上的施用量和施用效果。通过其在苹果幼树上的应用效果发现,大颗粒和粉末状的活化腐植酸肥料均能够显著提高苹果幼树的生物量、叶绿素含量、根系活力,与普通肥相比,活化后的腐植酸肥料起到了显著的促生作用,类似的腐植酸促生效果在掌叶半夏和玉米上也有相关报道^[21-22]。同时,大颗粒状活化腐植酸肥料处理效果要优于粉末状活化腐植酸肥料,这归结于肥料颗粒形状不同,颗粒是由挤压机挤压而成,大幅降低了腐植酸肥料与土壤的接触面,从而减缓了肥料颗粒内部养分进入土壤的速度。相对于粉末状肥料,颗粒的形成延缓了养分释放的速率,从而增强了养分供给效率,有

助于提高苹果幼树的养分吸收。生物量的提高主要依赖于光合作用,与普通肥料对比,100%施用量的活化腐植酸肥料和80%施用量的大颗粒活化腐植酸肥料均能够显著提高苹果叶片的叶绿素含量,这主要是由于腐植酸促进微量元素的螯合,抑制了叶绿素蛋白酶的分解,从而提高了叶绿素的含量^[22-23]。同时,活化腐植酸肥料处理的叶片光合强度、气孔导度和蒸腾速率较不施肥处理CK和普通肥料CCF有显著提高,该研究结果与前人研究结果一致^[24]。

养分利用率反映了作物吸收养分的量,因此本研究将养分利用率作为评价所用肥料性能的重要指标。通过比较不同用量的粉末状活化腐植酸肥料、挤压后的大颗粒活化腐植酸肥料对苹果幼树生长及氮、磷、钾养分吸收利用的影响,发现与普通肥料相比,活化腐植酸肥料能够显著提高肥料的养分利用率,其原因可能是肥料中的养分离子能够与活性腐植酸发生络合,避免了养分淋失和土壤的固定^[25]。陈倩等^[2]研究表明,施用腐植酸能够促进

苹果树对肥料养分的吸收利用, 提高肥料利用率, 降低肥料的损失。此外, 大颗粒活化腐植酸肥料处理的氮、磷、钾养分利用率显著高于粉末状活化腐植酸肥料处理, 大颗粒活化腐植酸处理的氮、磷和钾平均利用率分别为 40.7%、20.6% 和 46.2%, 分别比粉末状的活化腐植酸肥料提高了 12.7%、32% 和 38.7%, 原因可能是大颗粒肥料在土壤中不易散开, 养分缓慢从颗粒中释放, 避免了养分与土壤直接接触, 这与李长洲等^[12]研究大球肥料相对于小颗粒肥料能够减少肥料养分淋溶的结果一致。曾宪成^[26]、苏群等^[27]研究表明, 腐植酸能有效提高土壤速效养分含量, 在本研究中的活化腐植酸肥料处理中, 100% 施用量的活化腐植酸肥料处理 PAF1、SAF1 以及 80% 施用量的大颗粒活化腐植酸肥料 SAF2 处理均能显著提高土壤的土壤硝态氮、铵态氮、速效钾和有效磷含量, 对土壤肥力增加作用显著, 原因可能是腐植酸对于土壤养分有一定的活化激发作用, 增强了土壤与养分离子的络合能力^[28-29]。

4 结论

施肥比例相同时, 活化腐植酸肥料可显著促进苹果幼树生长、增强光合作用, 同时能够有效提高土壤有效养分含量。在减少肥料用量的条件下, 80% 施用量的大颗粒腐植酸肥料处理促进作物生长和提高土壤肥力效果最佳, 显著高于 100% 施用量的普通肥料处理。与普通肥料和粉末状的活化腐植酸肥料相比, 大颗粒活化腐植酸肥料能显著提高肥料利用率, 因此, 大颗粒活化腐植酸肥料在减施、提高养分利用率、促进苹果幼树生长和提高土壤肥力方面作用显著, 在果园推广应用中具有广阔的前景。

参考文献:

- [1] 赵帅翔, 张卫峰, 姜远茂, 等. 黄土高原苹果过量施氮因素分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (2): 484-491.
- [2] 陈倩, 李秉毓, 张鑫, 等. 腐植酸分次施用明显提高富士苹果产量、品质和氮素利用率 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26 (4): 757-764.
- [3] 葛顺峰, 姜远茂, 陈倩, 等. 土壤有机质含量对平邑甜茶生长及氮素吸收和损失的影响 [J]. 水土保持学报, 2012, 26 (1): 81-84.
- [4] 刘占军, 祝慧, 张振兴, 等. 我国苹果园施肥现状、土壤剖面氮磷分布特征及减肥增效技术 [J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27 (7): 1294-1304.
- [5] Tang Y F, Wang X Y, Yang Y C, et al. Activated lignite-based super large granular slow-release fertilizers improve apple tree growth: synthesis, characterizations, and laboratory and field evaluations [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2017, 65 (29): 5879-5889.
- [6] Liu X, Zhang Y, Han W, et al. Enhanced nitrogen deposition over China [J]. Nature, 2013, 494: 459-462.
- [7] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. Science, 2010, 327: 1008-1010.
- [8] 李昱瑾, 刘庆花, 梁斌, 等. 腐植酸型功能肥料对酸化果园土壤理化性质和苹果树生长的影响 [J]. 山东农业科学, 2020, 52 (4): 92-97.
- [9] 许海港, 季萌萌, 葛顺峰, 等. 不同水平位置施肥对‘嘎啦’苹果 ¹⁵N 吸收、分配与利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (5): 1366-1372.
- [10] 沈静文. 农业部正式启动 2020 年化肥、农药使用量零增长行动 [J]. 农药市场信息, 2015 (7): 11.
- [11] 岳焕芳, 王克武, 孟范玉, 等. 新型缓控释增效肥研究进展和发展前景 [J]. 蔬菜, 2020 (1): 38-42.
- [12] 李长洲, 张民, 杨越超. 新型大球包膜控释肥在土壤中的淋溶特征 [J]. 水土保持学报, 2013, 27 (3): 72-76.
- [13] Tang Y F, Yang Y C, Cheng D D, et al. Multifunctional slow-release fertilizer prepared from lignite activated by a 3D-molybdate-sulfur hierarchical hollow nanosphere catalyst [J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2019, 7 (12): 10533-10543.
- [14] 邢尚军, 刘方春, 杜振宇, 等. 腐植酸肥料对杨树生长及土壤性质的影响 [J]. 水土保持学报, 2009, 23 (4): 126-129, 135.
- [15] 范仲卿, 苏秀荣, 郭新送, 等. 不同活化方式腐植酸对油菜生长特性的影响 [J]. 腐植酸, 2019 (1): 32-36.
- [16] Tang Y F, Yang Y C, Cheng D D, et al. Value-added humic acid derived from lignite using novel solid-phase activation process with Pd/CeO₂ nanocatalyst: a physicochemical study [J]. ACS Sustainable Chemistry, 2017, 5 (11): 10099-10110.
- [17] 李泽丽, 刘之广, 张民, 等. 控释尿素配施黄腐酸对小麦产量及土壤养分供应的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (4): 959-968.
- [18] 湛琛, 同延安, 路永莉, 等. 不同钾肥种类对苹果产量、品质及耐贮性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (1): 216-224.
- [19] 刘会, 朱占玲, 彭玲, 等. 生物质炭改善果园土壤理化性状并促进苹果植株氮素吸收 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (2): 454-460.
- [20] 葛顺峰, 姜远茂, 魏绍冲, 等. 不同供氮水平下幼龄苹果园氮素去向初探 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17 (4): 950-956.
- [21] 王乾, 王康才, 崔志伟, 等. 腐植酸对高温胁迫下掌叶半夏生长生理特性及块茎次生代谢的影响 [J]. 西北植物学报, 2013, 33 (9): 1845-1850.

- [22] 王婷婷, 冯尚善, 卞会涛, 等. 活化腐植酸肥料在玉米上的肥效研究 [J]. 腐植酸, 2015 (3): 9-11.
- [23] 王竹良, 李宝忠, 闫振华, 等. 腐植酸水溶肥在苹果树上的施用方法及效果研究 [J]. 腐植酸, 2015 (3): 12-17.
- [24] 潘越, 王明, 马合木提·阿不来提, 等. 不同配方叶面肥对苹果光合特性日变化规律的影响 [J]. 经济林研究, 2019, 37 (1): 87-93, 116.
- [25] 张水勤, 袁亮, 林治安, 等. 腐植酸促进植物生长的机理研究进展 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (4): 1065-1076.
- [26] 曾宪成. 腐植酸本性肥料可持续发展 [J]. 腐植酸, 2013 (4): 1-6.
- [27] 苏群, 孙磊, 杜红, 等. 腐植酸肥料对茶园土壤改良的应用效果 [J]. 磷肥与复肥, 2019, 34 (8): 34-36.
- [28] Akhtar K, Shah S N M, Ali A, et al. Effects of humic acid and crop residues on soil and wheat nitrogen contents [J]. American Journal of Plant Science, 2014, 5 (9): 1277-1284.
- [29] 王振振, 张超, 史春余, 等. 腐植酸缓释钾肥对土壤钾素含量和甘薯吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (1): 249-255.

Effects of activated humic acid fertilizer on growth and nutrient utilization of apple tree seedlings

CHENG Dong-dong, TANG Ya-fu, LIU Yan, LI Jun-yin, YAO Yuan-yuan, YANG Yue-chao* (National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian Shandong 271018)

Abstract: In order to study the effects of the particle form and dosage of activated humic acid fertilizer on the growth and development of apple tree seedlings, the soil physical and chemical properties and the fertilizer utilization rate, a total of 8 treatments were designed through the pot experiment of apple tree seedlings, including no fertilizer (CK), conventional fertilization (CCF), large particle activated humic acid fertilizer at 100% application rate (SAF1), large particle activated humic acid fertilizer at 80% application rate (SAF2), large particle activated humic acid fertilizer at 50% application rate (SAF3), 100% application amount of powdered activated humic acid fertilizer (PAF1), 80% application amount of powdered activated humic acid fertilizer (PAF2), 50% application amount of powdered activated humic acid fertilizer (PAF3). The plant height, stem diameter, chlorophyll content, photosynthetic characteristics, biomass, fertilizer utilization rate of apple tree seedlings, and soil available nutrients content under different treatments were investigated. The results showed that compared with CCF treatment, SAF1, SAF2 and PAF1 treatments significantly increased plant height, stem diameter, new treetop length, dry matter weight, photosynthetic intensity and soil available nutrients content; the chlorophyll content, net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate, plant dry weight, nitrate nitrogen, available phosphorus and available potassium of SAF3 and PAF3 treated with reduced fertilization were not significantly different. In addition, the average utilization rate of nitrogen, phosphorus and potassium in the treatment of large particles activated humic acid was 40.7%, 20.6% and 46.2%, respectively, which was 12.7%, 32% and 38.7% higher than that of powdered activated humic acid fertilizer. Under the condition of reducing the amount of fertilizer, 80% application amount treatment SAF2 had the best effect on promoting the growth of apple tree seedlings and improving soil fertility, and it was significantly better than conventional fertilizers. Therefore, large particles activated humic acid fertilizer had significant effects on reducing fertilizer application, increasing nutrient utilization rate, promoting the growth of apple seedlings, and increasing soil fertility, and had a great potential for large-scale promotion and application.

Key words: large particle fertilizer; activated humic acid; apple tree seedlings; fertilizer utilization