

闫宁,战宇,谢昊臻,等.不同改土方式对连作人参生长发育的影响[J].江苏农业科学,2022,50(6):120-125.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.06.020

不同改土方式对连作人参生长发育的影响

闫宁,战宇,谢昊臻,陈长宝,李琼

(长春中医药大学吉林省人参科学研究院,吉林长春 130117)

摘要:为探究不同改良土壤方式对连作人参生长发育的影响,于吉林省吉林市昌邑区左家镇北方药用植物资源圃进行大田试验,设老参地土壤为对照(CK),研究强还原土壤灭菌加熏蒸(RSD+SF)、强还原土壤灭菌加复合菌(RSD+F)、熏蒸加复合菌(SF+F)3种处理对人参生长发育、生理抗性、根系活力、发病及地下生长情况的影响。结果表明,3种改土方式对人参的生长发育均有一定的促进作用。其中,RSD+SF组的人参根长、根粗、须根数、干质量和湿质量均明显优于其他处理组,但是,人参的折干率表现为RSD+F组显著高于其他处理组;此外,3种处理的人参MDA含量差异不显著($P>0.05$),但是SOD和CAT活性差异显著,表现为RSD+F组人参的SOD及CAT活性最强,SF+F组人参的SOD活性最低,为186.70 U/g,RSD+SF组人参的CAT活性最低,为122.89 U/g;同时,RSD+F组人参根系活力最强,为99.53 mg/(g·h),其次为SF+F组,根系活力为61.90 mg/(g·h),RSD+SF组根系活力最弱,为54.42 mg/(g·h);RSD+SF组人参发病率最低,仅为23.3%,其次是SF+F组,RSD+F组人参发病率最高(35%);3种处理下的人参病情严重程度无显著性差异($P>0.05$),SF+F组人参地下根部长势最好且无病斑,RSD+SF组人参地下部分长势良好,个别人参出现病斑,而RSD+F组人参地下生长受抑制,须根数明显减少,且6株人参均出现病斑。由此可知,RSD+SF及SF+F改良连作人参土壤的效果要优于RSD+F组的改良效果,并能更好地促进人参的生长发育。

关键词:人参;连作障碍;强还原土壤灭菌;熏蒸;土壤改良

中图分类号: S567.5⁺10.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)06-0120-05

人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.),别称黄参、地精、神草等,为五加科人参属多年生草本植物^[1]。现代药理研究表明其具有抗炎、抗肿瘤、抗病毒等作用。此外,人参芦头、花蕾、茎、叶等均具有一定的药用价值。我国是人参的生产大国,主要以人工栽培人参(园参)供应国内外市场。但人参不能连作^[2-4],连作会导致人参植株正常生长受阻,病害加重,影响药材品质,严重时甚至会导致植株死亡,给参农造成严重的经济损失,也严重影响着临床用药安全。因此,彻底破解人参连作障碍,重复利用有限参地资源,解决人参无地可种及农药过度使用等问题,已成为人参生产的燃眉之急。土壤强还原灭菌(reductive soil disinfestation)是一种作物种植前的

土壤处理方法,可以杀死土壤中的病原菌,有效降低植物寄生线虫、病原真菌的发病率,提高土壤的代谢活性和功能多样性;在保护性耕作系统中,可以保护土壤减少侵蚀并补充土壤有机质,隔离多余养分,提高土壤微生物种群的活性,从而改善土壤的肥力^[5-7]。同时,研究表明,氯化苦熏蒸法也是一种有效缓解连作障碍的土壤改良方式^[8]。熏蒸后的土壤中,病原微生物和有益微生物的多样性和种群大小均有所减少^[9-10]。此外,在没有其他生物竞争的情况下,向连作土壤中加入枯草芽孢杆菌或哈茨霉菌等有益菌^[11-12],待其在土壤或植物根系周围迅速恢复和繁殖后,不仅可以抑制病原体,还可以刺激熏蒸剂影响的微生物进行再定殖,并促进植物生长和诱导植物系统抗性^[13]。

本研究以未处理的老参地土壤为对照,采用强还原土壤灭菌加熏蒸、强还原土壤灭菌加复合菌以及熏蒸加复合菌3种土壤改良技术对老参地土壤进行处理,其中采用氯化苦来熏蒸土壤^[14],所加的菌为复合微生物菌剂,主要包含枯草芽孢杆菌、哈茨霉菌等,其目的是修复土壤菌群。本研究探讨3种土壤改良技术对人参生长发育、抗性生理及发病

收稿日期:2021-06-16

基金项目:国家自然科学基金(编号:82073969);吉林省重大科技专项(编号:20200504003YY);吉林省科技发展规划(编号:20190201297JC);吉林省自然科学基金(编号:YDZJ202101ZYTS015)。

作者简介:闫宁(1997—),女,吉林农安人,硕士研究生,研究方向为生药学。E-mail:3355316860@qq.com。

通信作者:李琼,助理研究员,主要从事药用植物与栽培研究。E-mail:wode17k@163.com。

率的影响,旨在寻求一种绿色高效的连作人参土壤改良方法,为消减和克服人参连作障碍、实现人参可持续生产提供一定的理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与试验设计

试验于 2019 年 7 月 15 日在吉林省吉林市昌邑区左家镇北方药用植物资源圃进行。该区属温带季风型大陆气候,天气多变,四季分明。年平均气温 5.6℃,年平均降水量 679 mm,年平均结冻期 5 个月以上,无霜期 120 d 左右。土壤母质类型为暗棕壤。试验前该基地已连续 3 年种植人参,土壤连作障碍严重。

田间试验采用 4 种处理方法:(1)空白处理;(2)土壤 RSD + SF 处理;(3)土壤 RSD + F 处理;(4)土壤 SF + F 处理。土壤强还原土壤灭菌(RSD)处理是将动物粪便(鸡粪、牛粪、猪粪)与 0~20 cm 土层混合均匀,土壤灌溉至 100% 持水能力,并覆盖 0.1 mm 厚蓝色塑料薄膜 40 d,进行高温闷棚,40 d 后揭膜通风排水,土壤自然变干。RSD 处理过程中的土壤温度为 30~40℃。土壤熏蒸(SF)处理是利用专用注射器将氯化苦注射到土壤中(距表层 15~20 cm),立即覆盖 0.1 mm 蓝色塑料薄膜进行熏蒸消毒处理,40 d 后揭去薄膜,自然晾晒 2~3 d 后进行 3 次重复翻地,保证氯化苦完全挥发。

各处理重复 3 次,随机排列分布,每个处理地块面积约为 30 m² (2 m×15 m)。于 2019 年 10 月 20 日进行人参移栽,移栽大小相近的 2 年生健康参苗。试验基地由同一农户进行管理,其他田间管理均按当地传统方法进行。

1.2 试验材料

1.2.1 供试土壤 土壤采自吉林省吉林市昌邑区左家镇北方药用植物资源圃已种 3 年人参的参地。

1.2.2 供试材料 本试验使用的试剂盒均产自江苏科特生物科技有限公司,氯化苦产自大连绿峰化肥股份有限公司,复合微生物菌肥产自石家庄沃福沃肥业有限公司。

1.3 试验仪器

本研究使用的酶标仪为瑞士 TECAN 公司生产的 M200pro 型,高速冷冻离心机为艾本德中国有限公司生产的 CR30NX 型,振荡培养箱为上海知楚仪器有限公司生产的 ZQZY-85CNS 型,数显恒温水浴锅为常州智博瑞仪器制造有限公司生产的 HH-

8 型,游标卡尺为上海首封精密仪器生产的 532-101 NM13 型,分析天平为梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司生产的 MS-TS 型。

1.4 测定方法

1.4.1 人参形态测定和生长情况分析 试验于 2020 年 10 月 1 日进行采收,采收时对人参地下生长情况进行记录。每个处理随机选取 6 株植株并标记。取样当天,将人参洗净后用吸水纸吸干。使用直尺测量主根长,游标卡尺测量根粗,同时测定须根数。称量 2 支人参总质量,计算人参单支湿质量,在 45℃ 下将人参烘至全干,计算人参单支干质量和折干率。

1.5 人参生理抗性测定

MDA 含量、SOD 活性、CAT 活性分别采用南京建成有限公司生产的丙二醛(malondialdehyde,简称 MDA)含量试剂盒、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,简称 SOD)试剂盒、过氧化氢酶(catalase,简称 CAT)试剂盒进行测定。MDA 含量以每 1 g 组织蛋白催化 1 nmol MDA 的量为 1 个酶活力单位;SOD 活性以每 1 g 植物组织在反应体系中 SOD 抑制率达 50% 时所对应的 SOD 量为 1 个酶活力单位;CAT 活性以每 1 万个细菌或细胞在每分钟反应体系中催化 1 nmol 的 H₂O₂ 降解定义为 1 个酶活力单位。

1.6 人参根系活力测定

参照高原等的方法^[15]并稍加改动。称取根尖样品 0.5 g 于小烧杯中,加入 0.4% 氯化三苯基四氮唑(TTC)溶液和磷酸缓冲液的等量混合液 10 mL,将根部充分浸没在混合溶液内,37℃ 下避光反应 1~2 h 后加入 1 mol/L 硫酸 2 mL,终止反应。将根取出,用吸水纸吸干根部水分后放于研钵内,加入乙酸乙酯 3~4 mL 充分研磨人参根部。将研磨液移入试管,并用少量乙酸乙酯洗涤残渣 3 次,最后定容至 10 mL。以空白试验作为参比,于 485 nm 波长下在酶标仪中检测吸光度,绘制标准曲线,可求出 TTC 还原量,进而计算不同土壤改良后的人参根系活力。

1.7 人参发病率调查

每个处理随机选取 20 株人参,调查人参地下部分根部发病情况,以每根人参根部发病面积进行分级。病害严重程度分级标准、病害严重程度指数参照 Rahman 等的方法^[16]:a 表示根部没有可见病斑;b 表示根部病斑直径 0.9 mm;c 表示根部病斑 1.0~

4.0 mm; *d* 表示根部病斑 4.1 ~ 7.0 mm; *e* 表示根部病斑大于 7.0 mm; *f* 表示病斑侵染整个根部。计算公式如下:

$$\text{DSI(疾病严重程度指数)} = \frac{[X_a \times 1] + [X_b \times 2] + [X_c \times 3] + [X_d \times 4] + [X_e \times 5] + [X_f \times 6]}{X_a + X_b + X_c + X_d + X_e + X_f}。$$

1.8 数据处理与分析

使用 Excel 2013 进行数据记录、整理和图表的制作,采用 SPSS 23.0 对数据进行分析。

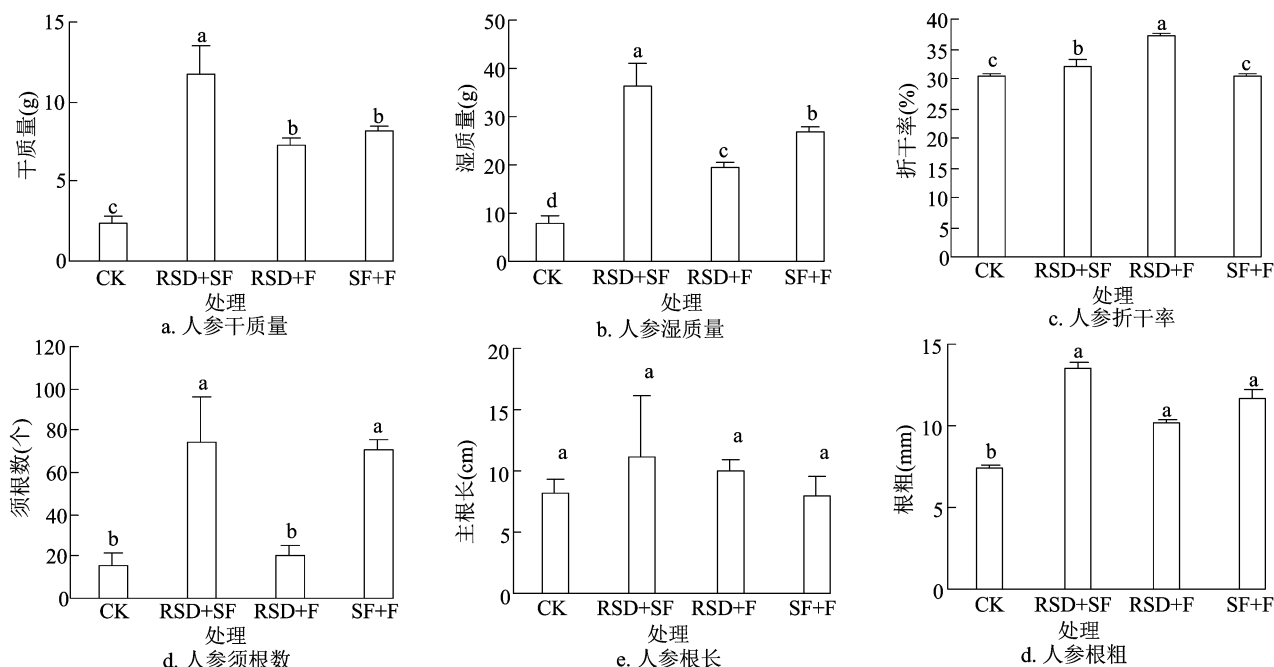
2 结果与分析

2.1 人参生长发育情况

由图 1 可知,与 CK 组相比,不同土壤改良处理均显著($P < 0.05$)增加了人参的干质量、湿质量及根粗,其中显著效果依次是 $\text{RSD} + \text{SF} > \text{SF} + \text{F} > \text{RSD} + \text{F}$,干质量增加幅度在 215% ~ 406%,湿质量

$$\text{发病率} = \frac{\text{发病植株}}{\text{调查植株总数}} \times 100\% ;$$

增加幅度在 156% ~ 377%,根粗的增加幅度在 35% ~ 81%。与 CK 组相比,经 $\text{RSD} + \text{SF}$ 与 $\text{SF} + \text{F}$ 处理后的人参须根数均具有显著差异($P < 0.05$),须根数分别较 CK 组增加 387%、363%,而经 $\text{RSD} + \text{F}$ 处理后的人参须根数与 CK 相比却无显著性差异($P > 0.05$),仅增加 30%。与 CK 组相比,仅 $\text{RSD} + \text{F}$ 组人参折干率具有显著性差异($P < 0.05$),其折干率增加 23%,该组的人参折干率要高于另 2 组,另 2 组的折干率较 CK 组仅增加 5.56%、0.53%。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下图同

图1 3种改土方式下人参生长发育情况

2.2 人参生理指标

膜脂过氧化作用常发生于植物器官衰老或遭受逆境情况,MDA 是膜脂过氧化的最终分解产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度^[17]。SOD、CAT 等抗氧化酶在预防不良反应方面具有保护作用^[18]。由图 2 所知,与 CK 组相比,3 种改土处理后的人参中 MDA 含量差异并不显著($P > 0.05$),而 CAT 及 SOD 活性均具有显著性差异($P < 0.05$)。其中, $\text{RSD} + \text{F}$ 组人参中 MDA 含量最高, CAT 及 SOD 活性最强,其 MDA 含量为 0.003 6 nmol/g,较

CK 组降低 37%, CAT 及 SOD 活性分别为 221.37、365.34 U/g,分别较 CK 组增高 24%、122%。 $\text{RSD} + \text{SF}$ 组的人参 CAT 含量最低,为 122.89 U/g,较 CK 组降低 31%。 $\text{SF} + \text{F}$ 组的人参 SOD 活性最低,为 186.70 U/g,较 CK 组仅增加 13%。

2.3 人参根系活力比较

植物根系是活跃的吸收与合成器官,根系活力主要表现为根系吸收、合成、氧化与还原的能力^[19]。由图 3 可知,与 CK 组相比,3 种改土方式后的人参根系活力均显著增强($P < 0.05$),根系活力增长幅

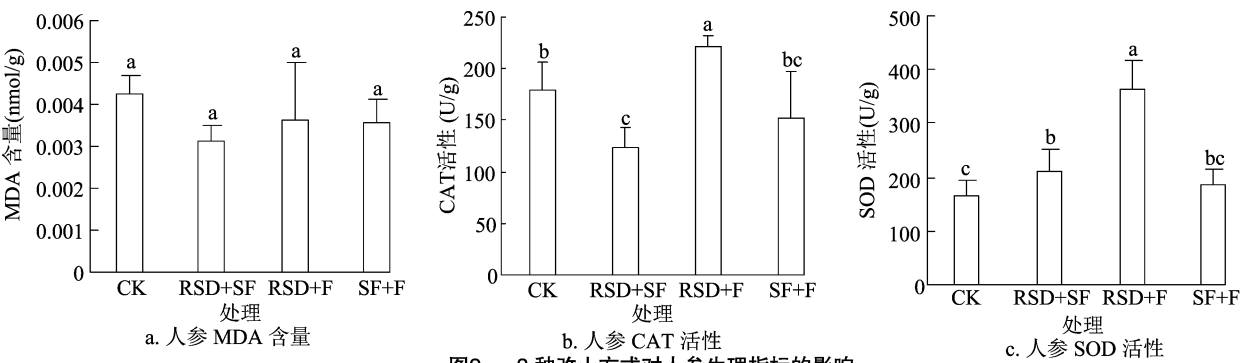


图2 3 种改土方式对人参生理指标的影响

度为 59% ~ 191%。其中, RSD + F 组的人参根系活力最强, 为 99.53 mg/(g · h), 其次为 SF + F 组, 其根系活力为 61.90 mg/(g · h), RSD + SF 组的人参根系活力最弱, 其根系活力值为 54.42 mg/(g · h)。

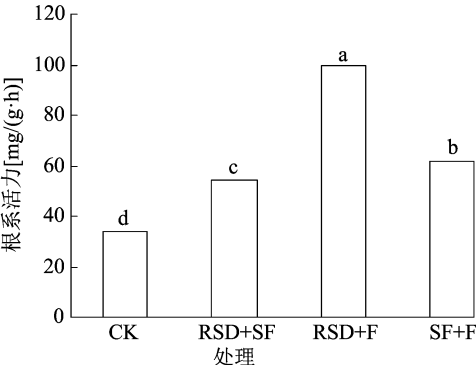


图3 3 种改土方式对人参根系活力的影响

2.4 人参发病率及病情严重程度

由表 1 可知, CK 组的发病率最高, 达 53.0%, 且该组的人参疾病严重指数为 1.350。而经 3 种改土方式后的人参发病率明显降低, 发病率最低的是 RSD + SF 组, 仅为 23.3%, 疾病严重指数为 1.225; 其次是 SF + F 组, 达 26.7%, 疾病严重指数为 1.268; RSD + F 组人参的发病率则为 35.0%, 且该组的人参疾病严重指数为 1.275。

表 1 3 种改土方式下的人参发病率及病情严重程度

处理	发病率 (%)	疾病严重程度指数
CK	53.0	1.350
RSD + SF	23.3	1.225
RSD + F	35.0	1.275
SF + F	26.7	1.268

2.5 人参地下生长情况

由图 4 可知, 与 CK 组相比, SF + F 处理后的人参地下根部长势最好且无病斑; RSD + SF 处理后的地下部分长势良好, 但有个别人参出现病斑; 而

RSD + F 处理后的人参地下生长受抑制, 须根数明显减少, 且 6 株人参均出现病斑。

3 讨论与结论

不同土壤改良措施较对照组均促进了人参的生长发育, 经 RSD + SF 组改良后的农田土壤所栽培的人参, 其各项生理指标与对照之间的差异十分明显, 根的湿质量比对照提高了 377%, 干质量比 CK 提高 406%, 根粗比 CK 增加了 81%, 且参根的整体形状及长势较好, 病斑较少。SF + F 组改良后的农田土壤所栽培的人参, 根的湿质量比对照提高了 256%, 干质量比 CK 提高 253%, 根粗比 CK 增加了 57%, 而且参根的整体形状及长势最好, 无病斑。RSD + F 组改良后的农田土壤所栽培的人参, 根的湿质量比对照提高了 156%, 干质量比 CK 提高 215%, 根粗比 CK 增加了 35%, 而且参根的整体形状及长势最好, 无病斑。其中 RSD + SF 组与 SF + F 组的人参品质要优于 RSD + F 组, 说明这 2 组的处理更有益于人参的生长发育。其原因可能与经强还原加熏蒸后提高土壤的代谢活性且减少土壤中的病原微生物有关^[20-22], 经熏蒸处理的老参地里施加微生物复合菌剂能有效增加有益微生物、利用有益微生物对土壤进行生物活化作用, 从而促进人参对土壤养分的吸收^[23]。

MDA 的积累可能对膜和细胞造成一定的伤害, 可通过 MDA 含量反映机体膜质过氧化的程度^[24], 间接地反映出细胞受损伤的程度以及植物的抗逆性^[25]。CAT 的生物功能是在细胞中促进过氧化氢分解, 使其不会进一步产生毒性很大的氢氧自由基, 从而保护抗氧化系统的功能作用^[26]。SOD 是生物体内存在的一种抗氧化金属酶, 它能够催化超氧阴离子自由基歧化生成氧和过氧化氢, 在机体氧化与抗氧化平衡中起到至关重要的作用^[27]。从生理



CK

RSD+SF

RSD+F

SF+F

图4 3种处理下人参地下生长发育情况

抗性测定结果可以看出,RSD + F 组的 MDA 含量及 SOD、CAT 活性均高于另 2 组,说明该组人参的抗逆性最强即遭受的逆境程度最大,但该组 MDA 含量要低于 CK 组,说明相较于 CK 组,3 种改土方式在人参抗病性上均起到了一定的促进作用,而 RSD + SF 组与 SF + F 组的土壤改良效果要优于 RSD + F 组。这与 RSD + SF 组与 SF + F 组下的发病率要低于 RSD + F 组的结果保持一致。

人参的根系活力与土壤的通气性与透水性有关^[28]。与 CK 组相比,3 种改土方式后的人参根系活力均有所提高,老参地的根系活力较差的原因应与土壤板结、通气性差、透水性弱有关。而经改良后的土壤,其代谢活性、微生物群活性及肥力均较老参地土壤有所提高,从而增强土壤通气性与透水性,间接提高人参的根系活力。

综上所述,与老参地对照组相比,3 种改土方式对人参的生长发育及生理抗性均存在显著差异 ($P < 0.05$),且经过改良后的老参地土壤所栽培的人参,地下部分长势良好,根系活力及抗病能力增强。3 种土壤改良方式均能更好地促进人参的生长发育。其中,RSD + SF 和 SF + F 的土壤改良效果要优于 RSD + F 组。

参考文献:

- [1] 王 荣. 中药饮片人参成分及药理作用的研究讨论[J]. 北方药学,2019,16(9):194-195.
- [2] 王玲玲. 人参连作障碍影响因素及土壤改良技术研究[D]. 烟台:烟台大学,2016.
- [3] 陈长宝,张 瑞,王恩鹏,等. 人参化感作用及其研究进展[J]. 特产研究,2018,40(1):54-58.
- [4] 刘 莹,孙文松,李 玲,等. 人参连作障碍及防治措施研究进展[J]. 园艺与种苗,2020,40(7):26-29.
- [5] 蔡祖聪,张金波,黄新琦,等. 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究[J]. 土壤学报,2015,52(3):469-476.
- [6] Huang B, Li J, Wang Q A, et al. Effect of soil fumigants on degradation of abamectin and their combination synergistic effect to root-knot nematode[J]. PLoS One,2018,13(6):e0188245.
- [7] Yu J L, Sharpe S M, Boyd N S. Long-term effect of fumigation and a Sorghum cover crop on broadleaf and grass weeds in plastic-mulched tomato[J]. Pest Management Science, 2021, 77(4):1806-1817.
- [8] 刘 洋. 氯化苦消毒对三七土壤微生物群落的影响[D]. 昆明:昆明理工大学,2018.
- [9] Fang W S, Yan D D, Huang B, et al. Biochemical pathways used by microorganisms to produce nitrous oxide emissions from soils fumigated with dimethyl disulfide or allyl isothiocyanate[J]. Soil Biology and Biochemistry,2019,132:1-13.
- [10] Li J, Huang B, Wang Q X, et al. Effects of fumigation with metam-sodium on soil microbial biomass, respiration, nitrogen transformation, bacterial community diversity and genes encoding key enzymes involved in nitrogen cycling[J]. Science of the Total Environment,2017,598:1027-1036.
- [11] 徐 彬,徐 健,祁建杭,等. 枯草芽孢杆菌 1013 对连作障碍土壤的改良及对番茄的促生作用[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2021,42(2):111-116.
- [12] 谢奎忠,胡新元,张彤彤,等. 不同杀菌剂对旱地连作马铃薯土壤水分效应、微生物和产量的影响[J]. 草业学报,2019,28(7):103-111.
- [13] Compant S, Clément C, Sessitsch A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization[J]. Soil Biology and Biochemistry,2010,42(5):669-678.
- [14] 欧小宏,刘迪秋,王麟猛,等. 土壤熏蒸处理对连作三七生长发育及土壤理化性状的影响[J]. 中国现代中药,2018,20(7):842-849.
- [15] 高 原,丁万隆,龙期良,等. 人参锈病菌 *Cylindrocarpus destructans* 侵染对人参生理指标的影响[J]. 中国现代中药,2016,

张 华,李春雷,李 伟,等. 优化追肥养分配方对提升茶树新梢品质的效果[J]. 江苏农业科学,2022,50(6):125-130.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.06.021

优化追肥养分配方对提升茶树新梢品质的效果

张 华^{1,2,3}, 李春雷^{1,3}, 李 伟⁴, 刘祖锋⁴, 黄晓琴¹, 张群峰², 阮建云²

(1. 山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安 271018; 2. 中国农业科学院茶叶研究所/农业农村部茶树生物学与资源利用重点实验室, 浙江杭州 310008; 3. 潍坊科技学院研究生教育研究中心, 山东寿光 261071; 4. 湖北恩施壮农业科技有限公司, 湖北宜昌 430071)

摘要:优化茶园养分管理效率是提高茶叶产量、品质的重要手段。为明确优化追肥养分配方对提升茶树新梢品质的效果,设置了4个养分处理:不施肥对照(CK);农民习惯施肥(T1);优化专用配方追肥(T2,N:P:K:Mg 比例为32:4:4:1);添加硝化抑制的专用配方肥(T3)。在盆栽和田间试验条件下测定了茶树生长量、新梢品质、养分吸收总量、肥料利用率和土壤肥力对养分优化的响应。结果表明,与不施用追肥相比,各施肥处理下茶树枝条持嫩性、叶片含水率、茶叶品质显著提升;与农民习惯施肥相比,专用配方和添加硝化抑制剂的2种追肥处理下枝条的持嫩性均显著增加;添加硝化抑制剂的追肥对茶树新梢的叶绿素总量、氮平衡指数、新梢氨基酸含量具有进一步的提高作用,而对茶树新梢茶多酚、类黄酮总量和花青素积累具有显著抑制效果,有利于降低绿茶的酚氨比,提高其滋味品质。表明优化追肥养分配方对茶树新梢品质具有显著改善效果,是提高茶园养分管理效率的重要措施。

关键词:茶树;追肥;营养;茶叶品质;施肥

中图分类号:S571.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)06-0125-06

茶产业是我国农民脱贫增收和乡村振兴的支

柱产业。长期以来,种植技术的改良对茶叶产业持续健康发展作出了重要贡献,而其中茶园养分管理技术的不断优化是茶叶产量和品质提升的重要技术保障。与大多数作物相同,肥料的使用是茶叶增产增效的物质基础,但长期不合理施肥也会造成土壤酸化、养分流失以及茶叶产量减少、品质下降甚至环境污染等问题^[1-3]。因而,提高养分管理效率对提高茶叶产量和品质至关重要^[4]。

收稿日期:2021-10-19

基金项目:国家茶叶现代产业技术体系建设专项(编号:CARS-19);
中国农业科学院科技创新工程(编号:CAAS-ASTIP-2019-TRICAAS)。

作者简介:张 华(1999—),男,安徽合肥人,硕士研究生,研究方向为茶树营养与养分管理。E-mail:1694952641@qq.com。

通信作者:张群峰,博士,副研究员,主要从事茶树营养与品质调控研究。E-mail:zhangqunfeng@caas.cn。

18(1):88-91,96.

[16] Rahman M, Punja Z K. Factors influencing development of root rot on ginseng caused by *Cylindrocarpon destructans* [J]. Phytopathology, 2005, 95(12):1381-1390.

[17] 杨 婷. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 科技与创新, 2018(8):61-62.

[18] Cai Z C, Liu X H, Chen H A, et al. Variations in morphology, physiology, and multiple bioactive constituents of *Lonicerae Japonicae* Flos under salt stress [J]. Scientific Reports, 2021, 11:3939.

[19] 赵晓萌, 张雪松, 祁建军, 等. 连作对西洋参根系生长及酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(13):103-107.

[20] 刘亮亮, 黄新琦, 朱 睿, 等. 强还原土壤对尖孢镰刀菌的抑制及微生物区系的影响[J]. 土壤, 2016, 48(1):88-94.

[21] 李云龙. 三七化感作用及其微生物学消减机制[D]. 南京:南京师范大学, 2020.

[22] 田给林. 连作草莓土壤酚酸类物质的化感作用及其生物调控研

究[D]. 北京:中国农业大学, 2015.

[23] Cheng H Y, Zhang D Q, Ren L R, et al. Bio-activation of soil with beneficial microbes after soil fumigation reduces soil-borne pathogens and increases tomato yield[J]. Environmental Pollution, 2021, 283:117160.

[24] 张志刚, 李一帆, 朱 丹, 等. 人参对脊髓损伤大鼠MDA、SOD、NO含量的影响及意义[J]. 中风与神经疾病杂志, 2014, 31(12):1097-1099.

[25] 王韶娟. 人参根系分泌物对植物生长的影响及参后地植物修复[D]. 长春:吉林农业大学, 2008.

[26] 张淋淋, 孙 海, 于红霞, 等. 水分胁迫对西洋参叶片生理生化指标的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42(4):403-408.

[27] 董 亮, 何永志, 王远亮, 等. 超氧化物歧化酶(SOD)的应用研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(5):53-58.

[28] 张亚玉, 李晓明, 郭 靖, 等. 人参、西洋参根系活力的初步研究[J]. 吉林农业大学学报, 1996, 18(2):83-85.