

生物炭对土壤环境质量的影響研究进展

刘术新¹, 李汉美¹, 丁枫华²

(1. 丽水职业技术学院, 浙江 丽水 323000; 2. 丽水学院, 浙江 丽水 323000)

摘要: 连作障碍是导致土壤质量降低的重要原因之一。文章综述了生物炭对土壤肥力和环境质量的影響效应及其机制。生物炭凭借其特殊的结构和理化性质影响着土壤的理化性状, 对减少土壤养分流失、提高肥料利用率、消滅有机污染和农药残留、抑制污染物富集、降低污染物生物有效性等具有积极作用。生物炭在设施栽培和果园连作中能有效缓解连作障碍, 在提高土壤微生物群落多样性和酶活性方面有巨大潜力, 应加强其在土壤连作障碍治理及其可持续性利用方面的研究。

关键词: 生物炭; 土壤; 连作障碍

中图分类号: S154.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2020)02-0084-08

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2020.02.021

随着集约化种植程度的不断提高, 作物 连作以高投入和高产出带来的以土传病害和

收稿日期: 2019-12-10

基金项目: 丽水市公益性技术应用研究项目(2019GXY12); 丽水市高层次人才培养资助项目(2016RC09)。

作者简介: 刘术新(1984—), 女, 内蒙古赤峰人, 高级实验师, 硕士, 主要从事土壤污染生态与植物营养研究工作。Email: lsx0476@163.com。

通信作者: 丁枫华(1970—), 女, 浙江丽水人, 教授, 博士, 主要从事生态学研究。Email: dfh0578@163.com。

于地面晾晒。

9 残膜回收

党参采收完后及时清除残膜, 以防环境污染。

10 产地初加工

采挖的党参要及时运回晾晒场, 摊于干净地面, 在太阳下晾晒。挑除病株后将表面泥土用清水冲洗干净, 然后按照粗细、长短分级放置, 头尾理齐, 横行排列。晾晒一段时间后再揉搓晾晒, 反复 3~4 次即可。晒干后的党参须放在通风干燥处, 以备出售或入库。加工过程中, 严防受冻受损。

11 贮藏

短期贮存可放于干燥、通风、清洁的阴凉处。若长期贮藏, 仓库四周需用生石灰撒涂消毒, 用干燥清洁的小麦秸秆、谷草或木板等覆在地面防潮, 药材与周围墙壁保持距离 1 m。仓库内温度保持 5~10℃, 可安全

贮存 1~2 a。

参考文献:

- [1] 邹荫甲. 党参的本草学考证[J]. 中草药, 2000, 31(6): 466-467.
- [2] 聂玲霞, 张双定. 陇西县党参栽培技术规程[J]. 甘肃农业科技, 2016(10): 85-87.
- [3] 代立兰, 王崙德, 张怀山, 等. 甘肃中部干旱山区党参覆膜栽培技术研究[J]. 中国兽医杂志, 2016, 35(6): 52-55.
- [4] 管青霞, 李城德. 白条党参栽培技术规程[J]. 甘肃农业科技, 2016(8): 83-86.
- [5] 张绪成, 马一凡, 于显枫, 等. 西北半干旱区深旋松耕作对马铃薯水分利用和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3293-3301.
- [6] 张绪成, 马一凡, 于显枫, 等. 立式深旋松耕对西北半干旱区土壤水分性状及马铃薯产量的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(12): 156-165.

(本文责编: 杨 杰)

自毒效应为主的连作障碍问题日益凸显。长期单一连作,植株出现生长发育受阻,土传病害严重发生而导致大幅减产的连作障碍,已成为农业可持续发展的重大问题之一^[1-2]。在国外被称为忌地现象或再植病害。连作障碍的普遍存在,严重地制约了农业的可持续发展^[3]。国内外研究者曾从不同的角度对连作障碍的成因进行了系统研究,一般认为连作障碍的产生原因有以下几个方面:连作使土壤理化性状变劣导致养分亏缺;土壤微生物变化,土传病害加重^[4];根系分泌物和残茬腐解物引起的自毒作用。一些学者认为,根系分泌和残茬腐解物所产生的自毒作用,以及自毒物质引发的病原菌增殖是导致作物连作障碍的主要因素^[5]。

酚酸类物质是公认的化感自毒物质^[6-8],被研究者作为化感自毒作用的研究重点。酚酸类物质通过影响植物细胞膜透性、水分和营养吸收、光合作用、蛋白质合成、植物激素活性、抗氧化酶活性等多种途径对植物生长产生抑制作用^[9-10]。随着对根际微生态环境中植物-土壤-微生物相互作用各过程的深入了解,研究者认为土传病害的发生和植株发育不良是作物连作障碍发生的直观表象,但致病的根本原因是根系分泌物和腐解物中酚酸类化感物质引起的土壤微生态失衡,最终导致土壤中病原菌激增而引发严重的土传病害^[11-13]。

土壤熏蒸是防治植物土传病害的重要措施。然而由于熏蒸剂的广谱性,在杀死有害微生物的同时,也会杀死土壤中有益微生物,因此在土壤熏蒸后通常需要添加微生物有机肥或其他有助于微生物群落恢复的物质,使土壤微生态得以修复,这就增加了投入成本。常用的土壤熏蒸剂溴甲烷还会损害臭氧层,因此土壤熏蒸逐步被淘汰^[14-15]。间作是增加农业生物多样性的有效措施,利用作物间作减轻连作自毒作用引发的土传病害已在多种间作体系得到证实。苏世鸣等^[16]

研究发现,西瓜与水稻间作使西瓜幼苗的鲜重和株高分别提高了186.0%和80.5%,且降低了西瓜枯萎病的发病率。小麦与黄瓜间作、毛茛子与黄瓜间作、三叶草与黄瓜间作均降低了黄瓜角斑病、白粉病、霜霉病以及枯萎病的病情指数,提高了黄瓜产量。韭菜的水浸提液对尖孢镰刀菌表现出较强的抑菌作用,减轻了香蕉枯萎病的发生,为韭菜和香蕉间作控制香蕉枯萎病提供了理论依据。董艳等^[17-18]研究发现,小麦与蚕豆间作可减轻酚酸物质引起的枯萎病危害,促进蚕豆生长,是缓解自毒效应的有效措施,但因小麦生产效益偏低,且间作耗时较长,故在实际生产中不易推广。因此,寻求安全有效地缓解和克服蚕豆连作障碍的措施非常重要。

生物炭是将秸秆、木材、畜禽粪便等生物质原料,在部分或完全缺氧条件下,通过高温热解($<700\text{ }^{\circ}\text{C}$)生成的一类稳定的、纹理细腻的富含碳的多孔状材料。生物炭起源于亚马逊河流域“印第安黑土”的发现,这种“黑土”含有大量的营养元素,如N、P、K、Ca等,且有机质含量高^[19]。生物炭由于廉价易得、环境友好而被广泛应用于农业、环境保护等领域。

1 生物炭的概念和性质

生物炭是生物质在有限供氧的密闭环境中于相对较低的温度条件下($<700\text{ }^{\circ}\text{C}$)热解生成的一类富含碳素($\text{C}\% \geq 60\%$)、性质稳定、具有不同程度芳香化的固态物质^[20]。与传统木炭不同,“生物炭”强调其在农业生产和生态环境领域的功能与应用^[20-22]。

由于具有芳环化的大分子结构,生物炭在土壤中具有较高惰性和抗降解性^[23-27]。根据¹⁴C标记试验估算,生物炭在土壤中的平均存留时间可长达2000 a,半衰期约为1400 a^[23]。不仅如此,生物炭通常具有较为发达的孔隙结构和丰富的表面官能团,这使生物炭能够有效提高土壤阳离子交换量(CEC)和持水性,减少矿质元素流失,提高

矿质元素利用效率,对农田 N、P 流失引起的水体富营养化具有重要控制作用^[28-33]。另外,由于含有大量矿质灰分(以 K、Ca、Na、Mg 为主)^[34]和丰富的离域 π 电子^[35],生物炭大多呈碱性($\text{pH}>7$),且随热解温度的升高碱性增强。

2 生物炭对土壤肥力质量和环境质量的影响效应与产生机制

将农业废弃生物质通过热解炭化技术制备为生物炭并作为土壤改良剂施入农田,对于改善耕作土壤的理化性质和生物学特性、增加土壤肥力、修复土壤污染、提高作物产量和品质具有重要作用^[36]。

2.1 生物炭对土壤水分的影响及其机制

生物炭施入农田后在不同程度上有利于增加土壤总孔隙度、毛管孔隙度和通气孔隙度,从而提高土壤田间持水量和有效水含量^[37-39],这对于增加作物根系对土壤水分和水溶性矿质养分的利用效率具有重要意义。勾芒芒等^[40]在每千克砂壤土中分别施入 10~60 g 花生壳炭,发现土壤毛管持水量增加至对照样的 1.2~1.7 倍,表明生物炭在一定施用量范围内能够通过增加土壤毛管持水量而提高土壤有效水含量。田丹等^[41]将秸秆炭和花生壳炭分别按 5%、10%和 15% 添加比例施入砂土和粉砂壤土中进行水平土柱试验,结果显示,两类生物炭处理分别使土壤水分扩散率降低了 52%~89%和 83%~96%,从而显著提高了两类土壤的持水能力并有效控制水分入渗。

2.2 生物炭对土壤矿质养分生物有效性的影响

由于含有高浓度矿质元素、丰富的表面官能团以及较高的 CEC 值,生物炭在农业土壤中的施用将会在不同程度上提高土壤养分的生物有效性。首先,生物炭灰分中含有的水溶性矿质元素能直接提高耕作土壤中的营养元素总量和作物可利用态营养元素的含量^[42]。田间微区试验发现,秸秆炭和竹炭

的加入使稻田土壤速效磷含量分别增加了 33.5%和 29.3%,速效钾分别增加了 98.5%和 54.8%^[43]。其次,生物炭能通过其表面酸性官能团和金属氧化物羟基化表面对矿质阳离子产生吸附与滞留作用,从而有利于提高耕作土壤 CEC 值,减少营养元素的淋溶损失^[44-47]。在土柱模拟降雨试验中,生物炭(2%添加比例)与 N/P 混施处理使 N 淋失量降至单施 N 处理的 57.9%^[48]。类似地,李际会等^[49]在土壤中按 2.5%~10.0%的比例添加 Fe(III)改性生物炭,发现与对照相比,硝态氮和有效磷的淋失量分别显著降低 20%~59%和 45%~75%,表明生物炭能够有效降低土壤 N、P 的淋失量。第三,生物炭在土壤中持续发生的缓慢氧化反应能够通过生物炭表面含氧官能团的不断生成而提高土壤 CEC 值,从而对耕作土壤的可持续生产力产生调控效应。由刺槐树皮所制备的生物炭在 30 °C 条件下与石英砂混合共育 120 d 后,其 CEC 值由起始 140 mmol/kg 升高至 214 mmol/kg^[50]。Laird 等^[51]研究发现,木基生物炭以 5~20 g/kg 的比例施入中温性典型湿润软土(Mesic Typic Hapludolls)中,共育 500 d 后,土壤有效阳离子交换量(ECEC)值较对照增加了 4%~30%。

2.3 生物炭对酸化土壤的改良效应

自 20 世纪 80 年代至 2008 年,由于铵态氮肥的大量施用及酸雨沉降,导致我国六大类农业土壤 pH 平均降幅达到 0.13~0.80^[52],这是我国农业土壤肥力质量快速退化的重要指征;同时,大量 H^+ 在土壤中的富集将加剧其中重金属水溶性、迁移性和作物有效性的升高。而生物质热解过程中产生的大量无机灰分使生物炭对于酸化土壤改良具有重要价值。张祥等^[53]通过盆栽试验发现,花生壳炭(1%~2%)与底肥(改良 Hoagland 和 Arnon 肥料配方)配施可缓解或消除单施化肥对酸性红壤的酸化效应,单施底肥土壤在共育 270 d 后 pH 较对照降低了 0.87,而底肥 + 1%生物

炭混合处理土壤 pH 仅降低了 0.21, 底肥 + 2%生物炭混合处理土壤 pH 则提高了 0.65。类似的, Yuan 等^[54]将不同原料制备的生物炭以 10 g/kg 的比例施入土壤, 在 25 °C 下共育 60 d, 发现在以油菜、稻草、玉米等非豆科作物秸秆为前体制备的生物炭处理下, 土壤 pH 增加了 0.18~0.66; 而在以绿豆、花生、大豆等豆科作物茎叶为基质制备的生物炭处理下, 土壤 pH 增加了 0.59~1.05。与此同时, 绿豆茎叶基生物炭使土壤的交换性酸度由 5.95 cmol/kg (对照样) 降低至 2.62 cmol/kg, 盐基饱和度较对照则增加了 30.62%。

2.4 生物炭对土壤微生物区系的影响

生物炭较为发达的孔隙结构、对水肥的持留作用及其对土壤酸度的缓冲效应将直接影响土壤微生态环境, 进而对土壤微生物群落结构、种群数量和活性产生调控作用^[55-58]。Sun 等^[59]将玉米秸秆基生物炭(含5%黏土)按 10%比例施入土壤中, 进行室内盆栽大豆试验, 30、60、120 d 后分别收集土样, 发现土壤中施加生物炭后会培育出更多真菌, 并且会刺激周围细菌的生长, 但是菌群数量的变化并不是一直升高: 加入生物炭的土样真菌含量在前 60 d 不断升高, 而从第 120 d 开始出现下降。Chen 等^[60]将小麦秸秆基生物炭以 20、40 t/hm² 施入水稻田中, 在种植了两季水稻之后采集土样, 发现细菌 16S rRNA 基因拷贝数分别较对照增加了 28%和 64%, 而真菌 18S rRNA 基因拷贝数分别较对照降低了 35%和 46%。另外, 在 40 t/hm² 生物炭处理的稻田土壤中, 嗜甲基菌 (Methylophilaceae) 和嗜氢菌 (Hydrogenophilaceae) 丰度较对照降低了 70%, 而厌氧绳菌 (Anaerolineae) 较对照则增加了 45%。以上研究表明, 生物炭施入农田后极有可能改变土壤各类微生物数量、活性和群落组成, 从而对土壤中由微生物驱动的 C、N、P 等矿质元素循环和形态转化产生影响, 最终使耕作土壤肥力质量和功能发生改变。

2.5 生物炭对农作物产量和质量的影响

生物炭对土壤物理、化学和生物特性的改变将最终影响农作物产量和品质。研究表明, 生物炭在农业土壤中的施用有利于提高多种作物产量, 包括青菜、水稻、小麦、糜子、玉米、番茄、胡椒等。Steiner 等^[61]在亚马逊河流域进行田间试验, 将木炭以 11 t/hm² 的比例与肥料混合施入土壤, 发现该处理可使水稻和高粱产量提高到单施肥料的 2 倍; 同时, 该处理土壤中的 C 流失率仅为 8%, 远低于对照样土壤(25%)。张伟明等^[62]采用盆栽试验, 将玉米秸秆基生物炭以 1%、2%和 4%施入砂壤土中种植水稻, 培育 90 d 后, 各生物炭处理使水稻平均增产 25.3%, 其中以 2%生物炭处理下的水稻产量最高, 较对照提高了 33.2%; 与此同时, 生物炭共育使水稻根系体积、鲜质量、总吸收面积和活跃吸收面积显著增加。张娜等^[63]的研究表明, 添加生物炭能够有效地提高农作物的产量。勾茫茫等^[40]研究表明, 生物炭能够促进番茄根系的发育和产量的提高, 在添加量为 40 g/kg 土条件下, 番茄根系主根长、主根直径、总根系鲜质量和产量分别是对照的 1.20、1.24、1.21 和 2.67 倍。刘阿梅等^[64]研究发现, 生物炭添加量为 10%时可明显促进圆萝卜和小青菜的生长发育, 提高鲜重。

2.6 生物炭对土壤中有有机污染物的吸附

生物炭的添加可影响有机污染物在土壤环境中的迁移转化, 降低污染物的生物有效性。余向阳等^[65]研究发现, 添加生物炭的农田土壤, 对农药的吸附量提高了 5~125 倍, 且吸附 56 d 后的农药解吸率降低了 96%。在土壤中添加 5%生物炭对莠去津、乙草胺、毒死蜱等产生明显的吸附作用, 添加 1%生物炭处理的土壤六氯苯、五氯苯和 1, 2, 3, 4- 四氯苯的残留率分别显著高于对照 29.9%、18.0%、5.2%。

2.7 生物炭对连作土壤的影响

程效义等^[66]研究发现, 施用生物炭有

利于改良连作设施土壤,促进黄瓜根系发育。顾美英等^[67]研究表明,施用生物炭能提高新疆灰漠土和风沙土连作棉田根际土壤养分和微生物多样性。王枚等^[68]的研究表明,施用生物炭能减少苹果连作土壤中有害酚酸类物质的积累,增强土壤酶活性,优化土壤真菌群落结构,提高连作条件下苹果幼苗的生长发育,对缓解苹果连作障碍有一定的效果。

3 结束语

生物炭独特的理化特性使其在稳定固碳的同时能够有效提高土壤持水保肥能力,有利于提高土壤营养元素利用效率,进而减少N、P外源输入与径流损失,并能对有机污染物产生吸附作用,改善土壤环境,提高作物产量和品质。在设施土壤、果树生产和经济作物连作土壤上施用生物炭均有改善连作障碍的效果。未来应加强生物炭在土壤连作障碍治理及其可持续性利用方面的研究。

参考文献:

- [1] 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):469-475.
- [2] 梁更生,赵春燕,赵国良,等.连作对大棚辣椒生长发育及品质的影响[J].甘肃农业科技,2018(5):50-53.
- [3] 邱立友,戚元成,王明道,等.植物次生代谢物的自毒作用及其与连作障碍的关系[J].土壤,2010,42(1):1-7.
- [4] 霍琳,杨思存,王成宝,等.黄瓜连作对土壤微生物多样性和酶活性的影响[J].甘肃农业科技,2018(10):30-36.
- [5] 张子龙,王文全.植物连作障碍的形成机制及其调控技术研究进展[J].生物学杂志,2010,27(5):69-72.
- [6] 陈绍莉,周宝利,王茹华,等.嫁接对茄子根系分泌物中肉桂酸和香草醛的调节效应[J].应用生态学报,2008,19(11):2394-2399.
- [7] 甄文超,王晓燕,孔俊英,等.草莓根系分泌物和腐解物中的酚酸类物质及其化感作用[J].河北农业大学学报,2004,27(4):74-78.
- [8] HAO W Y, REN L X, RAN W, et al. Allelopathic effects of root exudates from watermelon and rice plants on *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*[J]. Plant and Soil, 2010, 336: 485-497.
- [9] YE S F, YU J Q, PENG Y H, et al. Incidence of *Fusarium wilt* in *Cucumis sativus* L. is promoted by cinnamic acid, an autotoxin root exudates[J]. Plant and Soil, 2004, 263: 143-150.
- [10] SCHUTTER M, SANDENO J, DICK R. Seasonal, soil type, and alternative management influences on microbial communities of vegetable cropping systems[J]. Biology and Fertility of Soils, 2001, 34(6): 397-410.
- [11] WU H S, LIU D Y, LING N, et al. Influence of root exudates of watermelon on *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 73(4): 1150-1156.
- [12] 胡元森,吴坤,李翠香,等.酚酸物质对黄瓜幼苗及枯萎病菌菌丝生长的影响[J].生态学杂志,2007,26(11):1738-1742.
- [13] QU X H, WANG J G. Effect of amendments with different phenolic acids on soil microbial biomass, activity, and community diversity [J]. Applied Soil Ecology, 2008, 39(2): 172-179.
- [14] 张腾,燕平梅,李园,等.4种熏蒸剂对土壤微生物特性的影响[J].中国农学通报,2013,29(3):116-120.
- [15] 牟苗,吴凤云,徐武美,等.土壤熏蒸与施加生物炭对三七苗期存活率的影响[J].云南师范大学学报(自然科学版),2018,38(1):35-39.
- [16] 苏世鸣,任丽轩,杨兴明,等.西瓜专化型尖孢镰刀菌的分离鉴定及水稻根系分泌物对其生长的影响[J].南京农业大学学报,2008(1):57-62.
- [17] 董艳,董坤,杨智仙,等.间作减轻蚕豆枯萎病的微生物和生理机制[J].应用生态学报,2016,27(6):1984-1992.
- [18] 董艳,董坤,汤利,等.小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系[J].生态学

- 报, 2013, 33(23): 7445-7454.
- [19] GLASER B, HAUMAIER G, GUGGENBERGER G, et al. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics[J]. *Die Naturwissenschaften*, 2001, 88(1): 37-41.
- [20] MANYÀ J J. Pyrolysis for biochar purposes: a review to establish current knowledge gaps and research needs[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(15): 7939-7954.
- [21] 李力, 刘娅, 陆宇超, 等. 生物炭的环境效应及其应用的研究进展[J]. *环境化学*, 2011, 30(8): 1411-1421.
- [22] MOHAN D, SARSWAT A, OK Y S, et al. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent—a critical review [J]. *Bioresource Technology*, 2014, 160: 191-202.
- [23] KUZYAKOV Y, SUBBOTINA I, CHEN H, et al. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(2): 210-219.
- [24] BREWER C E, UNGER R, SCHMIDT-ROHR K, et al. Criteria to select biochars for field studies based on biochar chemical properties [J]. *Bioenergy Research*, 2011, 4(4): 312-323.
- [25] ZHANG M, SHU L, SHEN X, et al. Characterization of nitrogen-rich biomaterial-derived biochars and their sorption for aromatic compounds[J]. *Environmental Pollution*, 2014, 195: 84-90.
- [26] CIMÒ G, KUCERIK J, BERNS A E, et al. Effect of heating time and temperature on the chemical characteristics of biochar from poultry manure[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(8): 1912-1918.
- [27] ZIMMERMAN A R. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar)[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 44: 1295-1301.
- [28] NOVAK J M, BUSSCHER W J, LAIRD D L, et al. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil[J]. *Soil Science*, 2009, 174: 105-112.
- [29] 郝蓉, 彭少麟, 宋艳曦, 等. 不同温度对黑炭表面官能团的影响[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(3): 528-531.
- [30] LAIRD D, FLEMING P, WANG B, et al. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil[J]. *Geoderma*, 2010, 158: 436-444.
- [31] 谢祖彬, 刘琦, 许燕萍, 等. 生物炭研究进展及其研究方向[J]. *土壤*, 2011, 43(6): 857-861.
- [32] MUKHERJEE A, ZIMMERMAN A R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures[J]. *Geoderma*, 2013(193/194): 122-130.
- [33] ZENG Z, LI T, ZHAO F, et al. Sorption of ammonium and phosphate from aqueous solution by biochar derived from phytoremediation plants[J]. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2013, 14(12): 1152-1161.
- [34] KLOSS S, ZEHETNER F, DELLANTONIO A, et al. Characterization of slow pyrolysis biochars: Effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2012, 41(4): 990-1000.
- [35] HARVEY O R, HERBERT B E, RHUE R D, et al. Metal interactions at the biochar-water interface: Energetics and structuresorption relationships elucidated by flow adsorption microcalorimetry[J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45: 5550-5556.
- [36] 江秋菊, 刘京, 张跃强. 生物质炭改良土壤研究进展[J]. *甘肃农业科技*, 2017(6): 68-71.
- [37] 张明月. 生物炭对土壤性质及作物生长的影响研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2012.
- [38] KARHU K, MATTILA T, BERGSTRÖM I, et al. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity—results from a short-term pilot field study

- [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2011, 140(1): 309-313.
- [39] KINNEY T J, MASIELLO C A, DUGAN B, et al. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2012, 41: 34-43.
- [40] 勾芒芒, 屈忠义. 土壤中施用生物炭对番茄根系特征及产量的影响[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(8): 1348-1352.
- [41] 田丹, 屈忠义, 勾芒芒, 等. 生物炭对不同质地土壤水分扩散率的影响及机理分析[J]. *土壤通报*, 2013, 44(6): 1374-1378.
- [42] XU G, WEI L L, SUN J N, et al. What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism[J]. *Ecological Engineering*, 2013, 52: 119-124.
- [43] 何莉莉. 生物炭对土壤微生态环境的影响及机理研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2013.
- [44] 袁金华, 徐仁扣. 生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(4): 779-785.
- [45] PRENDERGAST-MILLER M T, DUVALL M, SOHI S P. Biochar-root interactions are mediated by biochar nutrient content and impacts on soil nutrient availability[J]. *European Journal of Soil Science*, 2014, 65(1): 173-185.
- [46] 高德才, 张 蕾, 刘 强, 等. 旱地土壤施用生物炭减少土壤氮损失及提高氮素利用率[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(6): 54-61.
- [47] ISAAC D T. Utilizing biochar to mitigate nitrate leaching and increase crop yield in South Central WA [C]//2015 AAAS Annual Meeting (12-16 February 2015). AAAS, 2015.
- [48] 葛顺峰, 周 乐, 门永阁, 等. 添加不同碳源对苹果园土壤氮磷淋溶损失的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(2): 31-35.
- [49] 李际会, 吕国华, 白文波, 等. 改性生物炭的吸附作用及其对土壤硝态氮和有效磷淋失的影响[J]. *中国农业气象*, 2012, 33(2): 220-225.
- [50] CHENG C H, LEHMANN J, THIES J E, et al. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes[J]. *Organic Geochemistry*, 2006, 37(11): 1477-1488.
- [51] LAIRD D A, FLEMING P, DAVIS D D, et al. Impact of biochar amendment on the quality of a typical Midwestern agricultural soil[J]. *Geoderma*, 2010, 158: 443-449.
- [52] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327: 1008-1010.
- [53] 张 祥, 王 典, 朱 盼, 等. 生物炭对酸性红壤改良及枳砧纽荷尔脐橙苗生长的影响[J]. *中国南方果树*, 2013, 42(6): 38-41.
- [54] YUAN J H, XU R K. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol[J]. *Soil Use and Management*, 2011, 27(1): 110-115.
- [55] ANDERSON C R, CONDRON L M, CLOUGH T J, et al. Biochar induced soil microbial community change: implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus[J]. *Pedobiologia*, 2011, 54(5): 309-320.
- [56] PRAYOGO C, JONES J E, BAEYENS J, et al. Impact of biochar on mineralisation of C and N from soil and willow litter and its relationship with microbial community biomass and structure[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2014, 50(4): 695-702.
- [57] LEHMANN J, RILLING M C, THIED J, et al. Biochar effects on soil biota—A review[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(9): 1812-1836.
- [58] 丁艳丽, 刘 杰, 王莹莹. 生物炭对农田土壤微生物生态的影响研究进展 [J]. *应用生态学报*, 2013, 24(11): 3311-3317.
- [59] SUN D Q, MENG J, CHEN W F. Effects of abiotic components induced by biochar on microbial communities[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 2013, 63(7): 633-641.
- [60] CHEN J H, LIU X Y, ZHENG J W, et al. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with

青稞根腐类病害综合防治技术规程

李雪萍¹, 李建宏², 刘梅金³, 郭建炜³, 漆永红¹, 徐冬丽³, 李敏权⁴

(1. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学草业学院 甘肃 兰州 730070; 3. 甘南州农业科学研究所, 甘肃 合作 747000; 4. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 规范了青稞生产过程中根腐类病害防治原则以及农业防治、化学防治、生物防治的关键技术。

关键词: 青稞; 根腐类病害; 防治; 技术规程

中图分类号: S512.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1463(2020)02-0091-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2020.02.022

青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.)是栽培大麦(*Hordeum vulgare* L.)的一种, 又名裸大麦或元麦。青稞是重要的饲草作物和酿造作物, 也是我国广大藏区居民的主粮作物之一, 对青藏高原地区的粮食安全和畜

牧业发展具有不可替代的作用^[1-4]。藏医巨著《四部医典》记述: 青稞具有清热化湿、祛风寒、宁肺定喘的功效, 可以治疗阳虚肾亏等症^[5]。现代营养学的研究则证实青稞含有多种人体必需氨基酸, 且富含膳食纤维、维

收稿日期: 2019-11-18

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503112); 甘肃省农业科学院博士基金(2019GAAS34)。

作者简介: 李雪萍(1989—), 女, 甘肃庆阳人, 助理研究员, 博士, 研究方向为植物病理学、微生物学。Email: lixueping@gsagr.ac.cn。

通信作者: 李敏权(1962—), 男, 甘肃宁县人, 教授, 博士, 研究方向为植物病理学。Email: liminquan@gsagr.ac.cn。

shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China[J]. *Applied Soil Ecology*, 2013, 71: 33-44.

[61] STEINER C, TEIXEIRA W G, LEHMANN J, et al. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil[J]. *Plant and Soil*, 2007, 291(1/2): 275-290.

[62] 张伟明, 孟军, 王嘉宇, 等. 生物炭对水稻根系形态与生理特性及产量的影响[J]. *作物学报*, 2013, 39(8): 1445-1451.

[63] 张娜, 李佳, 刘学欢, 等. 生物炭对夏玉米生长和产量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(8): 1569-1574.

[64] 刘阿梅, 向言词, 田代科. 生物炭对植物生长发育及重金属镉污染吸收的影响[J]. *水土*

保持学报, 2013, 27(5): 193-204.

[65] 余向阳, 王冬兰, 母昌立, 等. 生物质炭对敌草隆在土壤中的慢吸附及其对解吸行为的影响[J]. *江苏农业学报*, 2011, 27(5): 1011-1015.

[66] 程效义, 兰宇, 任晓峰, 等. 生物炭对连作设施土壤酶活性及黄瓜根系性状的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2017, 48(4): 418-423.

[67] 顾美英, 刘洪亮, 李志强, 等. 新疆连作棉田施用生物炭对土壤养分及微生物群落多样性的影响[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(20): 4128-4138.

[68] 王玫, 徐少卓, 刘宇松, 等. 生物炭配施有机肥可改善土壤环境并减轻苹果连作障碍[J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(1): 220-227.

(本文责编: 郑丹丹)