

肖兴艳,刘 方,姚 斌,等. 秸秆改土对多年生黑麦草越冬返青生长的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(15):132-135.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.036

秸秆改土对多年生黑麦草越冬返青生长的影响

肖兴艳^{1,2}, 刘 方², 姚 斌¹, 张雷一¹, 龙 健³

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 2. 贵阳市生态环境科学研究院, 贵州贵阳 550025;

3. 贵州师范大学/贵州省山地环境重点实验室, 贵州贵阳 550001)

摘要:选取贵州喀斯特山区具有代表性的旱地耕层土壤作为供试土壤,于2014年3月1日至2015年6月1日在盆栽试验条件下种植多年生黑麦草品种卓越,研究秸秆对其生长、返青、土壤含水量及抗旱效果的影响。试验结果表明,出苗施用秸秆炭缩短卓越出苗时间,增加株高和单株鲜质量效果显著($P < 0.05$),株高和单株鲜质量分别比对照提高18.68%、25.45%;而在越冬返青期,秸秆粉处理的土壤,黑麦草生长表现良好,其新叶出苗时间缩短37.5%,株高和单株鲜质量显著增加($P < 0.05$),分别比对照提高40.32%、60.44%。此外,秸秆对土壤含水量的影响也存在明显差异,随干旱时间的增加,秸秆炭对土壤含水量影响效果显著($P < 0.05$),土壤有效含水量比对照提高17.00%,有效提高黑麦草的抗旱能力。因此,在喀斯特山区合理施用秸秆粉和秸秆炭既能有效促进卓越品种的生长又可以提高黑麦草的抗旱能力。

关键词:秸秆;多年生黑麦草;生长;土壤含水量

中图分类号: S543⁺.604 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0132-03

多年生黑麦草属禾本科植物,原产于欧洲地中海沿岸、北非及亚洲西南等地,20世纪40年代中期引进我国,现已成为我国南方地区广泛种植的优质牧草,在我国长江流域如四川、云南、贵州、湖南一带的高山地区亦生长良好,其草质柔嫩多汁,适口性好,是牛、羊、兔、猪、鸡、鹅、鱼的好饲料,在畜牧业生产中有极大的推广前景^[1-2]。黑麦草生长喜温凉湿润气候,遇到高温干旱的天气,黑麦草则会枯黄或中途死亡,而保持土壤中适宜水分有利于提高黑麦草的抗旱能力^[3]。

秸秆还田是当今世界各国普遍重视的一项农艺措施,可以增加土壤有机质及土壤孔隙度、降低容重、改善土壤结构、提高土壤保水能力、促进微生物活动和作物根系的发育,既能提高土壤肥力,又可以杜绝秸秆焚烧所造成的大气污染^[4-5]。粉碎和炭化还田是常用的秸秆还田方式,秸秆粉可生物降解性高,易分解,稳定性差,进而导致土壤肥力和保水性能效果较差;而秸秆炭化后既能充分利用资源,又能有效改善土壤结构^[6-8],有利于保持土壤水分^[9]。近年来,针对诸如提高产量,增加有机质等领域的作物生物炭的改土研究较多,草业方面的应用较少^[7,10-11],而针对西南喀斯特地区干旱条件下牧草种植的研究更少。因此本研究选择秸秆粉及其炭化物(秸秆炭)为试验材料,通过盆栽试验研究其对多年生黑麦草卓越生长期、返青期生长状况、土壤含水量及抗旱效果的影响,为利用卓越在喀斯特山区进行生态恢复提供理论依据。

收稿日期:2017-01-12

基金项目:国家自然科学基金(编号:31460133、31360121);国家林业局“948”项目(编号:2013-4-80);贵州省农业科技攻关项目(编号:黔科合 NY[2013]3075 号)。

作者简介:肖兴艳(1991—),女,贵州瓮安人,硕士,助理工程师,主要从事生态恢复研究。E-mail:807436641@qq.com。

通信作者:姚 斌,博士,副研究员,主要从事生态恢复及荒漠化防治研究。E-mail:acmn21@caf.ac.cn。

1 材料与方法

1.1 试验材料

多年生黑麦草选用卓越品种,由新西兰林肯大学提供。土壤改良剂采用玉米秸秆粉碎物、玉米秸秆炭化物。秸秆粉:取贵州省贵阳市周边农田玉米秸秆,实验室恒温鼓风干燥箱(FCD-2000)105℃烘干至恒质量,利用破碎机(型号F-650)制备。秸秆炭化物:利用烘干粉碎后的玉米秸秆在连续式炭化立窑中热裂解炭化得到秸秆生物炭^[12]。供试土壤采自贵州省关岭县花江镇板贵乡,旱地耕层0~10cm土壤,该乡属于典型的喀斯特石漠化地区。土壤pH值7.95,有机质含量42.78g/kg,碱解氮含量120.48mg/kg,有效磷含量1.31mg/kg,速效钾含量179.21mg/kg。

1.2 试验设计

参照文献[13]并结合实际情况,本次试验设置3个处理,即对照(CK)、秸秆炭(5%)、秸秆粉(5%),每个处理4次重复,将土壤改良剂在种植前一次性均匀施入土壤中。

1.3 试验方案

试验于2014年3月1日至2015年6月1日在贵州大学资源与环境工程学院环境工程实验楼进行。多年生黑麦草种子于2014年3月1日播种,具体做法如下:土壤经风干后,过5mm筛,混合均匀后装盆(30cm×30cm),每盆装土10kg,卓越草种蒸馏水浸泡12h后均匀播于盆中,其上用薄土层覆盖。播种完毕用喷雾式浇水器浇水,维持基质含水量为70%的最大田间持水量,其后视基质干湿度适时定量浇水,满足草种发芽、植株生长需水;60d内定期观察种苗生长并作相关记录。

2015年1月1日至2月28日经历越冬和极端干旱后,由于气温较低,导致卓越已经处于严重枯死状态,为研究卓越品种在春季的恢复能力,于次年3月1日起对盆栽进行定量浇水管理,观察其返青及60d内的生长状况,返青至3叶期时

停止浇水,开始土壤含水量的测定。

1.4 测定指标及数据处理

记录并计算以下指标:出苗时间、返青时间、播种后和返青后 30、45、60 d 的株高(随机测量 10 株植株的株高,求平均值)、返青后 60 d 的地上单株生物量(随机测量 10 株植株,求平均值)。采用 TDR300 快速水分测定仪(U. S. A)监测卓越品种凋萎过程的土壤含水量,每盆重复测定 3 次,取其平均值作为土壤含水量的值,测定时间统一在每天 10:00,利用 SPSS 软件对数据进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 改良剂对卓越品种生长期的影响

2.1.1 秸秆改土对卓越品种生长期出苗的影响 3 月 5 日开始出苗,至 3 月 10 日所有处理都已出苗,且生长正常(图 1)。秸秆炭处理 5 d 出苗,对照(CK)6 d 出苗,秸秆粉处理 7 d 才开始出苗,出苗所需时间最长。可见,添加秸秆炭有利于种子快速出苗,这对后续生长有重要意义。

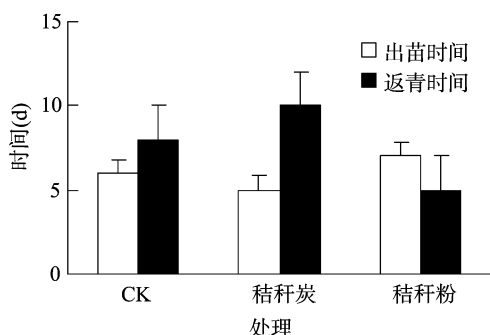


图1 不同土壤改良剂处理卓越品种的出苗和返青时间

2.1.2 秸秆改土对卓越品种生长期平均株高的影响 卓越株高生长期呈现整体逐渐增高趋势(表 1)。30 d 时秸秆粉、秸秆炭处理的株高分别为 7.93、8.94 cm,与对照差异不显著($P > 0.05$);45 d 时,秸秆炭与对照差异显著($P < 0.05$),但叶尖部分变黄,而秸秆粉处理与对照没有显著差异($P > 0.05$);60 d 的株高表现为秸秆炭 > 秸秆粉 > 对照,各处理株

高差异的显著性情况与 45 d 相同,但大部分植株出现叶尖发黄现象。总体而言,施用秸秆炭有利于增加卓越株高,而秸秆粉对株高的促进效果较差。

2.1.3 秸秆改土对卓越品种生长期单株鲜质量的影响 由表 1 可知,添加改良剂的单株鲜质量都大于对照,表明生长期改良剂能够促进植株生长,提高牧草产量;卓越单株鲜质量在各处理间表现为秸秆炭 > 秸秆粉 > CK,且秸秆炭处理与对照差异显著($P < 0.05$),而秸秆粉处理与对照差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 秸秆改土对卓越品种越冬返青生长的影响

2.2.1 秸秆改土对卓越品种返青期出苗的影响 经历越冬和极端干旱后,由于冬季气温较低,前期生长的卓越已严重枯死,为研究其在春季的恢复能力,于 3 月初开始浇水观测其返青情况。各处理 2015 年 3 月 6—16 日期间陆续返青。秸秆炭处理的返青时间慢于对照,而秸秆粉处理的返青速度最快(图 1),浇水后 5 d 开始返青,且与对照差异显著($P < 0.05$)。

2.2.2 秸秆改土对卓越品种返青期平均株高的影响 返青过程中卓越的株高同样呈增高趋势(表 1)。返青 30 d,株高的变化规律为秸秆粉 > CK > 秸秆炭,卓越生长状况良好,但植株细长,不如出苗生长期的植株粗壮;与出苗期情况相反,秸秆粉处理的株高与对照组差异显著($P < 0.05$)。45 d 时,卓越的整体长势良好,除秸秆粉处理外,其他处理都呈现少许叶尖泛黄现象,表明此阶段各处理开始出现养分供应不足现象;此阶段各处理株高与对照存在显著差异($P < 0.05$),60 d 时,各处理株高的变化规律与 30 d 时一致,所有处理开始出现养分缺乏状况,植株叶尖泛黄。由此可知,经越冬及干旱改良剂处理对卓越的恢复生长促进作用明显不如生长期显著。

2.2.3 秸秆改土对卓越品种返青期生物量的影响 返青期,单株鲜质量在各处理间表现为秸秆粉 > CK > 秸秆炭(表 1),秸秆炭处理植株长势较差,单株鲜质量低于对照,而秸秆粉处理单株鲜质量与对照差异显著($P < 0.05$)。且各处理的单株鲜质量明显小于生长期的单株鲜质量。初步试验结果表明改良剂对不同时期卓越的产量影响有差异,添加秸秆粉能够在返青期增加牧草产量。

表 1 秸秆改土对卓越品种株高和生物量的影响

时间	处理	30 d 株高(cm)	45 d 株高(cm)	60 d 株高(cm)	单株鲜质量(g)
生长期	秸秆粉	7.93 ± 0.617a	8.40 ± 0.439a	9.66 ± 0.136a	0.105 7 ± 0.004a
	秸秆炭	8.94 ± 0.085a	9.57 ± 0.217b	11.19 ± 0.258b	0.128 9 ± 0.009b
	对照	8.13 ± 0.047a	8.51 ± 0.015a	9.10 ± 0.219a	0.096 1 ± 0.005a
返青期	秸秆粉	8.11 ± 0.495a	9.42 ± 0.571a	13.69 ± 1.163a	0.082 4 ± 0.005a
	秸秆炭	4.19 ± 0.656b	4.60 ± 0.422b	6.47 ± 0.163b	0.022 2 ± 0.001b
	对照	5.58 ± 0.265b	6.55 ± 0.060c	8.17 ± 0.416b	0.032 6 ± 0.002b

注:同列数据后不同小写字母表示同一时期不同处理间差异显著($P < 0.05$)(LSD 法),下表同。

2.3 秸秆改土对卓越品种土壤含水量及抗旱效果的影响

不同改良剂处理平均土壤含水量的变化结果见表 2。平均土壤含水量的变化规律为秸秆炭 > CK > 秸秆粉,但随干旱天数增加,土壤含水量存在差异。降雨初期,秸秆粉、秸秆炭处理的土壤含水量与对照差异不显著($P > 0.05$),分别提高 2.7% 和 0.5%。然而,随着干旱的持续,各处理土壤含水量呈现显著差异,持续干旱 10 d 的条件下,秸秆炭处理土壤含水量与对照显著差异($P < 0.05$),提高 3.83%,而秸秆粉的持

水效果可能较差,导致秸秆粉处理土壤含水量降低 1.43%。持续干旱 20 d 的条件下,土壤含水量的变幅减小,各处理间的土壤含水量均存在显著差异($P < 0.05$),秸秆粉、秸秆炭处理的土壤含水量变化幅度分别为 1.90%、-0.85%;随着干旱天数的持续增加,卓越逐渐枯萎;各处理 90% 以上的卓越永久性枯萎时对应的土壤含水量为凋萎含水量,与对照组相比,此阶段各处理的土壤含水量变幅更小,秸秆、秸秆炭处理的土壤含水量变化幅度分别为 0.50%、-0.40%,且秸秆炭

表 2 不同改良剂处理下土壤含水量的变化

处理	土壤含水量(%)			
	降雨初期	干旱 10 d	干旱 20 d	凋萎含水量
秸秆粉	43.33 ± 1.03a	20.60 ± 1.08a	9.40 ± 0.32a	3.33 ± 0.34a
秸秆炭	45.53 ± 0.86a	25.58 ± 0.69b	11.48 ± 0.31b	4.43 ± 0.078b
对照	42.83 ± 1.46a	22.05 ± 1.49ab	9.80 ± 0.24a	3.55 ± 0.17a

处理与对照仍存在显著差异 ($P < 0.05$)。以上结果表明,随着干旱的持续,土壤含水量差异显著 ($P < 0.05$),秸秆炭处理土壤含水量较高,而秸秆粉处理则有所降低。

由图 2 可知,2 种改良剂处理的土壤含水量总体变化趋势相似,降雨初期土壤含水量较高,但随着干旱的持续,土壤含水量逐渐减小;总体看来,不同改良剂处理的土壤含水量的变化规律表现为秸秆炭 > 对照 > 秸秆粉,随着时间的增加,土壤含水量不断减小。在持续干旱 10 d,对照和秸秆粉处理植株皆出现 2 张叶片死亡现象,其对应土壤含水量分别为 22.05% 和 20.60%,而秸秆炭处理的土壤含水量为 25.58%;在持续干旱 24 d,各处理组均出现 2 张老叶死亡现象,秸秆粉、秸秆炭、对照处理的土壤含水量分别为 7.90%、9.55%、8.45%,持续干旱 38 d 后,各试验组植株出现永久性枯萎,秸秆粉、秸秆炭、对照处理的对应土壤含水量分别为 3.33%、4.43% 和 3.55%。

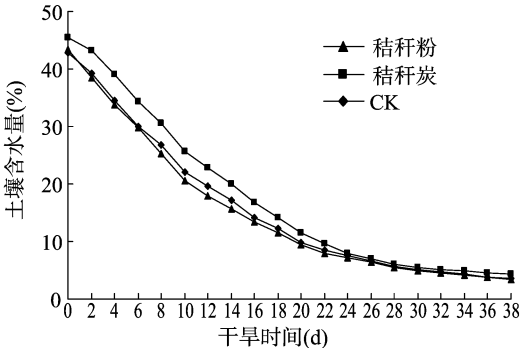


图 2 不同改良剂处理下土壤含水量的变化

通过土壤最大持水量、凋萎系数的测定,计算得到土壤的有效水含量(表 3)。结果显示,土壤有效水含量变化规律为秸秆炭 > CK > 秸秆粉。秸秆炭处理的土壤有效水含量(4 次测定值的平均数)与对照有明显差异,提高幅度达 11.84%,能够明显增加卓越可吸收利用的土壤水分,初步试验结果表明,施用秸秆炭有利于提高多年生卓越的抗旱能力。

表 3 秸秆处理下种植卓越品种的土壤有效水含量

组别	最大持水量 (%)	凋萎系数	有效水含量 (%)
对照组	61.56 ± 0.88	3.55	58.01 ± 0.88
秸秆炭	74.28 ± 1.03	4.43	69.85 ± 1.03
秸秆粉	59.41 ± 1.02	3.33	56.08 ± 1.02

3 结论与讨论

施用秸秆炭可缩短多年生黑麦草卓越品种的出苗时间。与对照组相比,秸秆炭有助于缩短卓越的出苗时间,出苗时间缩短了 16.7%,而秸秆粉处理的出苗时间延缓了 14.3%,且秸秆炭与秸秆粉处理的出苗时间存在显著差异 ($P < 0.05$),这主要是因为秸秆炭具有结构良好、比表面积大等特点,可提

高土壤的保水性能,能够为草种的发芽提供良好环境,因此处理效果优于秸秆粉。

施用秸秆粉对卓越出苗生长期和返青期平均株高和单株鲜质量的促进作用明显;而秸秆炭只在出苗期促进效果显著。在供试土壤条件下,与对照组相比,施用秸秆粉、秸秆炭明显提高卓越出苗生长期平均株高和单株鲜质量,且秸秆炭与对照之间差异显著 ($P < 0.05$),对株高和生物量增加的促进作用明显,这与张明月对小白菜的研究结果^[14]类似。而在返青期,秸秆粉显著提高了平均株高和单株鲜质量,且与对照差异显著 ($P < 0.05$),而秸秆炭处理的平均株高和单株鲜质量则有所降低,说明秸秆粉碎还田有利于卓越的越冬返青,这主要是由于秸秆粉的活性有机碳 (EOC) 的生物降解性较高,能够提供丰富的碳源,易被微生物分解利用,有利于微生物的生长发育。

秸秆粉和秸秆炭皆能提高土壤含水量,而秸秆炭对提高土壤含水量的促进效果更明显。土壤含水量通过影响养分物质的化学形态及土壤微生物的活动,进而影响养分在土壤中的淋溶、转移及各种养分的有效性和利用率,是衡量土壤生产力的重要指标之一^[15]。土壤含水量对于干旱情况下的植物更是至关重要,持续干旱条件下,本试验各处理的土壤含水量降幅随着干旱时间的增加而增大。与对照组相比,秸秆粉处理的增加效果不明显,而秸秆炭处理的土壤含水量相对较高。这可能是由于秸秆炭疏松多孔、表面积巨大,吸附能力较强,既能增强土壤持水能力又可固持钝化土壤养分,减缓土壤养分的淋失,增强土壤养分利用率^[16-17],从而延长植物的存活时间,延缓凋萎速度,使植物保持较好的外观质量。

秸秆炭能明显提高土壤有效含水量。分析结果表明,秸秆炭处理与秸秆粉处理和对照处理存在显著差异 ($P < 0.05$)。与秸秆粉相比,秸秆炭有多孔结构,能有效减少土壤水分的蒸发,对土壤有明显的保墒作用,能够提高卓越可吸收利用的土壤有效含水量,可以有效提高多年生卓越的抗旱能力。

参考文献:

[1] 张 磊,刘东燕,邵 涛. 黑麦草的饲用价值及其应用前景[J]. 草业科学,2008,25(4):64-69.
[2] 何焕周,宋先平,刘玉芳,等. 人工牧草的种植技术与舍饲养羊[J]. 草业与畜牧,2008(5):48-50.
[3] 周巧玲,徐庆国. PEG-6000 对不同黑麦草品种萌发期抗旱性的影响[J]. 作物研究,2014,28(2):159-162.
[4] 刘夫久. 经济环保施肥技术——秸秆还田[N]. 农家致富,2006(19):35.
[5] 王永江,李永臣. 秸秆还田中的问题分析[J]. 农业开发与装备,2015(4):85.
[6] 刘 微,霍 荣,张 津,等. 生物质炭对番茄秸秆和鸡粪好氧堆肥氮磷钾元素变化的影响及其机理[J]. 水土保持学报,2015,29(3):289-294.

杨继芬,范永慧,朱红涛,等. 家蚕品种菁松、皓月复壮效果的比较试验[J]. 江苏农业科学,2018,46(15):135-138.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.037

家蚕品种菁松、皓月复壮效果的比较试验

杨继芬, 范永慧, 朱红涛, 刘位芬, 陈海伶, 李玲利, 李继娅, 杨 文

(云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所, 云南蒙自 661101)

摘要:为系统、全面了解菁松、皓月复壮系的生产性能,于2016年春秋两季对生产系与复壮系的杂交种进行比较试验。结果表明,生产系与复壮系发育经过相同,复壮系健康性、茧质、丝质优于生产系,其中茧质、丝质提高幅度较大,达显著水平,说明复壮后的菁松、皓月杂交种更有利于充分发挥该品种高产优质的性状优势,可以逐步推广应用。

关键词:家蚕品种;菁松;皓月;生产系;复壮系

中图分类号: S882.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0135-04

家蚕品种是决定蚕茧产量和质量的重要因素,我国在北宋时期就已有家蚕品种选育的方法记载^[1]。中国自1925年首次引进日本杂交种诸桂×赤熟开始^[2],到20世纪70年代,中国的家蚕品种主要依赖进口日本品种,直到1980年后,中国育种专家育出了以菁松×皓月、871×872等为代表的一大批具有国际先进水平的家蚕品种,彻底改变了依靠国外引种的落后局面^[3]。目前,菁松、皓月仍为云南省当前的主推品种,对提高云南省的原料茧质量,增加蚕农收入、出口创汇具有极其重要的作用^[4]。菁松、皓月在云南省推广应用数十年后,随着繁育代数的增加,受人为选择和自然因素影响,在体质、繁育能力、茧丝质等方面表现出健康性下降、单蛾良卵粒数少、克蚁制种量低、茧丝纤度粗等明显的衰退现象^[5]。

笔者于2010—2013年利用异地保存的品种性状差异,通过循环杂交的异地复壮法,系统地菁松、皓月进行了复壮,复壮系的性状得到明显改善,在原种健康性、茧层率、单蛾良卵粒数及克蚁制种量等方面都优于生产系,并达到显著差异($P < 0.05$)水平,提高了原种生产单位的经济效益^[6]。为系统、全面了解菁松、皓月杂交种的生产系与复壮系在发育经

过、健康性、茧质、茧丝方面的差异,为各蚕区、缫丝厂提供参考依据,于2016年春、秋季在实验室进行了菁松、皓月杂交种的生产系与复壮系比较试验。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

试验时间为2016年春季和秋季,地点在云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所家蚕原种繁育中心的四号蚕室。

1.2 供试家蚕品种

家蚕春用品种菁松、皓月正反交的生产系一代杂交种和菁松、皓月正反交的复壮系一代杂交种均由云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所适时繁育生产。

1.3 试验方法

于2016年4月28日和8月4日收蚁饲养,菁松、皓月正反交的生产系和菁松、皓月正反交的复壮系各收蚁3区(即3个重复),每区0.3 g,采用随机排列,在同一间蚕室饲养。按照春用家蚕品种的特性设置饲养温湿度,调节微气象环境,每日早晚、上下、左右调箔,使之保持相同积温。在蚕发育到4龄饲食1 d后数蚕分区,每区400头。采用塑料折簇上簇、覆盖覆簇网,并加强通风换气,终熟后7 d采茧,调查健康性、茧质等数据。随后将蚕茧烘干,送中国农业科学院蚕业研究所质检中心进行丝质检验。

1.4 调查指标

主要调查5龄经过、全龄经过2项反映发育经过的指标,幼虫发病率、簇中发病率、结茧率、虫蛹统一生命率4项反映

收稿日期:2017-03-15

基金项目:国家蚕桑产业技术体系红河综合试验站专项(编号:CARS-222SY227);云南省茧丝绸发展专项(编号:)。

作者简介:杨继芬(1978—),女,云南楚雄人,高级实验师,从事桑蚕原种繁育技术及推广研究。E-mail: yangjifen194@163.com。

通信作者:杨 文,硕士,研究员,从事桑蚕繁育技术及推广研究。E-mail: yangwen161@163.com。

[7]郑 悦. 生物炭与秸秆还田对盐碱地水稻土壤理化形状及产量的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2015.

[8]侯亚红,王 磊,付小花,等. 土壤碳收支对秸秆与秸秆生物炭还田的响应及其机制[J]. 环境科学,2015,36(7):2655-2661.

[9]邓良伟,谭小琴,李 建,等. 利用秸秆堆肥过程处理猪场废水的研究[J]. 农业工程学报,2004,20(6):255-259.

[10]王增丽,冯 浩,温广贵. 不同预处理秸秆对土壤水分及冬小麦产量的影响[J]. 节水灌溉,2015(4):14-18.

[11]石 峰. 秸秆还田对风沙半干旱区土壤养分及花生产量的影响[J]. 农业科技通讯,2014(2):88-90.

[12]陈 琳,乔志刚,李恋卿,等. 施用生物炭基肥对水稻产量及氮

素利用的影响[J]. 生态与农村环境学报,2013,29(5):671-675.

[13]刘 方,冯仕江,张雷一,等. 生物质炭对喀斯特山区连作蔬菜地土壤有效养分及水分的影响[J]. 北方园艺,2014(7):158-162.

[14]张明月. 生物炭对土壤性质及作物生长的影响研究[D]. 泰安:山东农业大学,2012.

[15]秦瑞杰,郑粉莉,卢 嘉. 草本植物生长发育对土壤团聚体稳定性影响的试验研究[J]. 水土保持研究,2011,18(3):141-144.

[16]匡崇婷,江春玉,李忠佩,等. 添加生物质炭对红壤水稻土有机碳矿化和微生物生物量的影响[J]. 土壤,2012,44(4):570-575.

[17]黄 静. 改良剂对旱地红壤保水保肥效果的影响[D]. 南昌:南昌工程学院,2014.