

醋糟、粉煤灰对高粱苗期土壤微生物数量、酶活性及高粱生长的影响

范娜^{1,2}, 白文斌^{1,2}, 彭之东^{1,2}, 李光^{1,2}, 王慧贤¹

(1.山西省农业科学院高粱研究所, 山西 榆次 030600; 2. 高粱遗传与种质创新山西省重点实验室, 山西 榆次 030600)

摘要:研究了不同醋糟、粉煤灰处理下高粱苗期土壤微生物数量和土壤酶特性的变化特征及对高粱生长的影响,以探讨醋糟、粉煤灰的施用效果及最佳配比,试验设置4个处理,分别是处理1(醋糟100%)、处理2(醋糟:粉煤灰=1:1)、处理3(醋糟:粉煤灰=2:1)、处理4(醋糟:粉煤灰=3:1)和化肥对照。结果表明:施用醋糟、粉煤灰可以有效增加土壤微生物数量和提高土壤酶活性,提高叶片光合速率和高粱产量。处理1~处理4细菌数量分别比对照提高19.66%、31.34%、15.69%、12.54%,放线菌数量分别比对照提高20.99%、32.37%、17.56%、10.43%,真菌数量分别比对照提高22.78%、34.26%、13.54%、9.56%;土壤磷酸酶活性分别比对照提高17.11%、20.85%、12.29%和19.78%;土壤蔗糖酶活性比对照提高了23.70%、37.08%、11.54%和3.08%,土壤脲酶活性比对照提高了25.28%、34.77%、19.82%和13.79%;处理2苗期光合速率分别比对照、处理1、处理3和处理4提高13.8%、6.67%、9.98%和13.30%,拔节期提高3.45%、3.22%、3.21%和4.05%,抽穗期提高14.52%、3.75%、1.86%和12.66%,灌浆期提高了13.08%、4.26%、4.08%和9.36%,成熟期提高了3.8%、1.05%、2.12%和2.20%。醋糟含有大量的有机物质和无机物质,可为土壤微生物的生命活动提供能量和养料,进而促进土壤微生物的繁殖和土壤酶活性。

关键词:醋糟;粉煤灰;高粱;生长;土壤酶;土壤微生物

中图分类号:S154.2 **文献标志码:**A

The effects of vinegar and fly ash on soil microbial quantity and soil enzyme in sorghum seedling period and sorghum growth

FAN Na^{1,2}, BAI Wen-bin^{1,2}, PENG Zhi-dong^{1,2}, LI Guang^{1,2}, WANG Hui-xian¹

1. Sorghum Research Institute of Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuci, Shanxi 030600, China;

2. Sorghum genetic and germplasm innovation in Shanxi Province key laboratory, Yuci, Shanxi 030600, China)

Abstract: In order to understand the application effect and the best ratio of vinegar residue and fly ash in sorghum planting, the change characteristics of soil microbial and enzyme activity have been studied by field experiments. Test experiments. set up four treatments, treatment 1(100% vinegar), treatment 2(vinegar: fly ash=1:1), treatment 3(vinegar: fly ash=2:1), 4(vinegar: fly ash=3:1) and fertilizer treatment. The results showed that soil microbial and enzyme activity and leaf photosynthetic rate and yield were increased under the treatments of vinegar residue and fly ash. The percentage increase of bacteria number of treatments, from first to fourth, were 19.66%, 31.34%, 15.69% and 12.54%, respectively. The percentage increase of actinomycete number were 20.99%, 32.37%, 17.56%, 10.43% and the percentage increase of fungi number were 22.78%, 34.26%, 13.54%, 9.56%, respectively. The percentage increase of phosphatase from first to fourth, were 17.11%, 20.85%, 12.29% and 19.78%; The percentage increase of invertase from first to fourth, were 23.70%, 37.08%, 11.54% and 3.08%; The percentage increase of urease from first to fourth, were 25.28%, 34.77%, 19.82% and 13.79%; The

收稿日期:2017-04-20

修回日期:2017-10-18

基金项目:山西省农科院农业科技创新研究课题“有机废弃物对盐碱地的改良效果及在高粱上的应用”(YCX2018105);高粱遗传与种质创新山西省重点实验室项目“粒用高粱耐盐种质资源鉴定研究”(2018Q-6);山西省主要农作物种质创新与分子育种重点科技创新平台(201605D151002)

作者简介:范娜(1981-),女,山西太原人,助研,硕士,主要从事高粱栽培技术和生物有机肥研究。E-mail: glszps@163.com

photosynthetic rate of treatment 2 at seedling stage from CK to fourth, were 13.8%, 6.67%, 9.98% and 13.30%, the photosynthetic rate at jointing stage from CK to fourth, were 3.45%, 3.22%, 3.21% and 4.05% the photosynthetic rate at heading stage from CK to fourth, were 14.52%, 3.75%, 1.86% and 12.66%; the photosynthetic rate at filling stage from CK to fourth, were 13.08%, 4.26%, 4.08% and 9.36%; the photosynthetic rate at mature stage from CK to fourth, were 3.8%, 1.05%, 2.12% and 2.20%. To sum up, vinegar residue contains a large number of organic and inorganic substances, which can provide energy and nutrients for the life activities of soil microorganisms, thereby promoting the reproduction of soil microorganisms and soil enzyme activities.

Keyword: vinegar residue; fly ash; sorghum; growth; soil enzyme; soil microbial

我国有着丰富的有机废弃物资源,醋糟是在制醋业中产生的有机废弃物^[1]。山西省制醋产业发展迅速,据山西省醋产业协会统计,截至 2013 年,山西省每年醋产量 80 多万吨,醋糟产生量 56 万吨。另外,山西省晋中市是重要的能源基地,市内有着众多的火力发电厂,因此对粉煤灰和醋糟进行科学的再利用,有着十分重要的意义^[2]。

醋糟营养丰富,N、P、K 含量高,另外还含有钙、赖氨酸、蛋氨酸等多种营养物质,可以作为栽培基质,为作物生长发育提供营养。醋糟酸性较强,并富含一定的有机质,粉煤灰具有很好的通气性、透水性、保水性,并且粉煤灰趋碱性,醋糟偏酸性,两者结合可以满足植物生长的土壤环境^[3]。

近几年来,国内外开展了将醋糟应用于饲料、食用菌栽培、植物无土栽培基质、医药和生物质能源等方面的研究。赵青松等^[4]用醋糟基质混合草炭和蛭石培育黄瓜幼苗有较好的效果,并发现草炭和蛭石的添加量不宜超过 50%;刘燕等^[5]研究不同水肥处理对有机基质型沙培番茄生长的影响,得到了提高番茄产量和品质的肥水组合;焦永刚等^[6]研究关于番茄无土栽培基质筛选及灌水定额,得出相同栽培基质条件下,灌水额度对番茄根重、粗高比、光合速率影响不大。目前利用醋糟、粉煤灰栽培高粱的研究少见报道,本课题组以高粱苗期土壤微生物数量和土壤酶活性的变化作为切入点,研究不同醋糟、粉煤灰处理下高粱土壤微生物数量、土壤酶活性和光合特性的变化,揭示醋糟、粉煤灰施用对

农田生态系统的影响,为进一步加大对醋糟资源的开发和利用提供理论指导和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 田间试验

1.1.1 试验地概况 试验于 2014 年 5 月到 2015 年 10 月在山西省农业科学院高粱研究所修文试验基地进行。试验地土质为褐土。试验区属暖温带大陆性季风气候,年平均气温 9.4℃,≥10℃有效积温 3 875.6℃,常年平均降水量 437.4 mm,其中 5-10 月降水量 423.9 mm,无霜期平均为 151 d。试验年度 5-10 月降水量 453.8 mm,属丰水年型。

土壤基础理化性状:pH 值 7.64、EC 值 4.66 mS·cm⁻¹、孔隙度 14.85%、全氮 0.82 g·kg⁻¹、速效磷 5.03 mg·kg⁻¹、速效钾 122.85 mg·kg⁻¹。

1.1.2 材料 试验材料为粉煤灰、醋糟(风干),其中粉煤灰由山西省榆次电厂提供,醋糟由山西省东湖醋厂提供;供试高粱品种为山西省农业科学院高粱研究所选育的中晚熟品种‘晋杂 18 号’。醋糟基本理化性状见表 1。

1.1.3 试验设计 采用随机区组设计,共设 5 个处理。醋糟经自然风干至颗粒松散后施用。醋糟、粉煤灰施用量为 1 800 kg·hm⁻²,另外配施硝酸钾 1 500 kg·hm⁻²(N:P₂O₅:K=12:9:9)。施肥方式为播种前一次性施肥。每个处理共三垄,每垄宽 2.5m,长 30m。具体试验处理情况见表 2。

表 1 醋糟、粉煤灰的基本理化性状

Table 1 The basic physical and chemical properties of vinegar and fly ash

项目 Item	pH	EC /(mS·cm ⁻¹)	磷 Phosphorus /(g·kg ⁻¹)	钾 Potassium /(g·kg ⁻¹)	氮 Nitrogen /(g·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium /(mg·kg ⁻¹)	水解性氮 Available nitrogen /(mg·kg ⁻¹)
醋糟 Vinegar	3.8	4.89	1.2	3.1	24.8	279.45	351.07	602.41
粉煤灰 Fly ash	7.8	4.01	—	—	—	30.71	82.87	20.47

表2 试验处理
Table 2 List of treatments

处理 Treatment	配比 Ratio	醋糟 Vinegar /(kg·hm ⁻²)	粉煤灰 Fly ash /(kg·hm ⁻²)	硝酸钾 Nitrate /(kg·hm ⁻²)
1	纯醋糟(100%) Vinegar(100%)	1800	—	1500
2	醋糟:粉煤灰=1:1 Vinegar:fly ash=1:1	900	900	1500
3	醋糟:粉煤灰=2:1 Vinegar:fly ash=2:1	1200	600	1500
4	醋糟:粉煤灰=3:1 Vinegar:fly ash=3:1	1350	450	1500
5	化肥 Fertilizer CK	—	—	1500

1.2 样品采集与分析

1.2.1 土壤基质基础理化性状的测定

(1)容重和孔隙度:基质自然加满至已知体积(V)的烧杯(烧杯重 m_0),称重(m_1),浸泡水中24h,称重(m_2)。按以下公式计算^[7]:

$$\text{容重} = (m_1 - m_0) / V$$

$$\text{总孔隙度} = (m_2 - m_1) / V \times 100\%$$

(2)pH值和EC值:将烘干土与水按1:5配置成浸提液,利用电导仪测定电导值,利用pH酸度计测定pH值^[7]。

(3)养分测定:土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法,土壤全氮采用半微量凯氏定氮法,土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提钼锑抗显色分光光度法,土壤速效钾采用醋酸铵提取火焰光度法测定^[4]。

1.2.2 土壤微生物和酶活性的测定

(1)土壤微生物数量:高粱苗期(2015-5-29)进行测定,采用五点法对称取样,用土钻取深0~20cm土层的土壤,混合样过20mm筛。土壤微生物数量采用稀释平板法,其中细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基进行选择培养并计数;真菌采用马丁氏培养基进行选择培养并计数;放线菌采用改良高氏B号培养基进行选择培养并计数^[8]。

(2)土壤酶活性:高粱苗期(2015-5-29)进行测定,土壤采样方法参照上文。土壤蔗糖酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法测定,磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定,土壤脲酶活性采用靛酚蓝比色法测定。

1.2.3 光合指标测定 分别于高粱苗期(2015-5-29)、拔节期(2015-7-25)、抽穗期(2015-8-16)、灌浆期(2015-9-20)和成熟期(2015-9-28)测定高粱光合速率。

1.2.4 成熟期测试指标 高粱成熟期测定穗长、千粒重、单株产量和产量。

1.3 数据处理与分析

数据采用3次重复的平均值,数据经过Excel整理,用DPS进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤酶活性的影响

土壤酶作为研究土壤生物活性及土壤肥力的重要指标,在土壤物质循环和能量转化过程中起着重要的催化作用,其活性高低可以反映土壤中各种生物化学反应的强度和方向^[9-10],对土壤肥力的演化具有重要影响。不同处理对土壤酶活性的影响见表3。

表3 不同处理对土壤酶活性的影响/(mg·g⁻¹·24h⁻¹)

Table 3 Different effects on soil enzyme activity

处理 Treatment	磷酸酶 Phosphatase	蔗糖酶 Invertase	脲酶 Urease
1	2.19±2.13b	51.77±1.85d	4.36±2.01d
2	2.26±2.08d	57.37±1.79e	4.69±2.10e
3	2.10±1.98b	46.68±1.92c	4.17±1.96c
4	2.24±2.07bc	43.14±1.89b	3.96±2.11b
CK	1.87±2.17a	41.85±1.78a	3.48±2.06a

脲酶存在于大多数细菌、真菌和高等植物中,它是一种酰胺酶^[11],可以表征土壤的氮素状况。由表3可知,土壤脲酶活性在3.48~4.69mg·g⁻¹·24h⁻¹之间,处理1~处理4土壤脲酶活性比对照提高了25.28%、34.77%、19.82%和13.79%。施入醋糟、粉煤灰能促进有机物质分子中肽键分解,从而增加了土壤脲酶活性,与对照相比差异显著;蔗糖酶反映土壤中有有机碳的转化和呼吸强度^[12]。作为评价土壤熟化程度和土壤肥力水平的一个指

标^[13-14]。本试验土壤蔗糖酶活性在 41.85 ~ 57.37 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$ 之间,处理 1 ~ 处理 4 土壤蔗糖酶活性比对照提高了 23.70%、37.08%、11.54% 和 3.08%;醋糟营养丰富,施入土壤后提高肥力,增强土壤酶活性,提高土壤微生物活性强度;土壤磷酸酶是一类催化土壤有机磷化合物矿化的酶,其活性高低直接影响着土壤中有有机磷的分解转化及其生物有效性^[15]。土壤有机磷是一种重要的土壤磷素资源,其含量一般占土壤磷素总量的 30% ~ 70%^[16]。土壤磷酸酶活性在 1.87 ~ 2.26 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$ 之间。处理 1 ~ 处理 4 土壤磷酸酶活性分别比对照提高 17.11%、20.85%、12.29% 和 19.78%;高粱施醋糟处理与对照组差异显著,其中以处理 2(醋糟:粉煤灰 = 1:1)对于改善土壤酶活性效果最好。醋糟的施用增加了土壤中活性有机质的含量,这为微生物的生长提供了较多更易利用的碳源、氮源等营养物质,促进了微生物的生长^[17-18],增加了某些土壤微生物的群体数量,微生物数量的增加及其生长速率的增大可有效地提高土壤酶的活性^[19-20]。

2.2 不同处理对土壤微生物的影响

土壤细菌、放线菌和真菌是土壤生态系统中微生物区系的主要组成,是土壤微生物区系中的三大类群^[21]。土壤微生物区系组成和数量变化,与土壤养分的转化和吸收以及土壤微生态平衡有很大的关系,是反映土壤环境质量变化的重要生物学指标之一^[22-23]。不同处理对土壤微生物的影响见表 4。

由表 4 可知,处理 1 ~ 处理 4 细菌数量分别比对照高 19.66%、31.34%、15.69%、12.54% ($P < 0.05$),处理 1 ~ 处理 4 放线菌数量分别比对照高 20.99%、32.37%、17.56%、10.43% ($P < 0.05$),处理 1 ~ 处理 4 真菌数量分别比对照高 22.78%、34.26%、13.54%、9.56% ($P < 0.05$)。尤其以处理 2 较对照差异大。醋

糟偏酸,粉煤灰相对偏碱,两者混合就可使酸碱性适于植物栽培,从而满足了植物生长要求;另外粉煤灰的颗粒较小,与醋糟混合,能够很好地降低纯醋糟的孔隙度,提高纯醋糟的保水性。因此两者结合后改善了作物根际气水环境,提高了保水保肥能力和根际通气能力。醋糟含有大量的有机物质和无机物质,可为土壤微生物的生命活动提供能量和养料,进而促进土壤微生物的繁殖^[24],根系代谢活动旺盛,增加土壤中的养分含量,利于微生物的生长^[25],

表 4 不同处理对土壤微生物数量的影响

Table 4 Effect of different treatments on microbiological quantity

处理 Treatment	细菌 Bacteria $/ (10^9 \cdot \text{g}^{-1})$	放线菌 Actinomycetes $/ (10^6 \cdot \text{g}^{-1})$	真菌 Fungi $/ (10^9 \cdot \text{g}^{-1})$
1	4.20 ± 2.07c	8.82 ± 1.89c	3.08 ± 3.01c
2	4.61 ± 2.14d	9.65 ± 1.93d	3.37 ± 2.98d
3	4.05 ± 2.20bc	8.57 ± 1.78bc	2.85 ± 2.88b
4	3.95 ± 2.09ab	8.05 ± 1.81b	2.75 ± 3.07ab
CK	3.51 ± 2.12a	7.29 ± 1.78a	2.51 ± 3.40a

2.3 不同处理对高粱光合速率及产量的影响

由图 1 可知,以处理 2 较对照差异最显著。处理 2 高粱叶片苗期光合速率为 29.54 $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ 比对照提高了 13.8%;拔节期光合速率为 45.36 $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ 比对照提高了 4.45%;抽穗期光合速率为 54.07 $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ 比对照提高了 14.52%;灌浆期光合速率为 46.59 $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ 比对照提高了 13.08%;成熟期光合速率为 36.76 $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ 比对照提高了 3.8%。施用醋糟、粉煤灰的处理高粱各生育期的光合速率均高于对照化肥处理。这与杨玉玲等^[22]、王晓娟等^[23]在玉米上的研究结果一致。

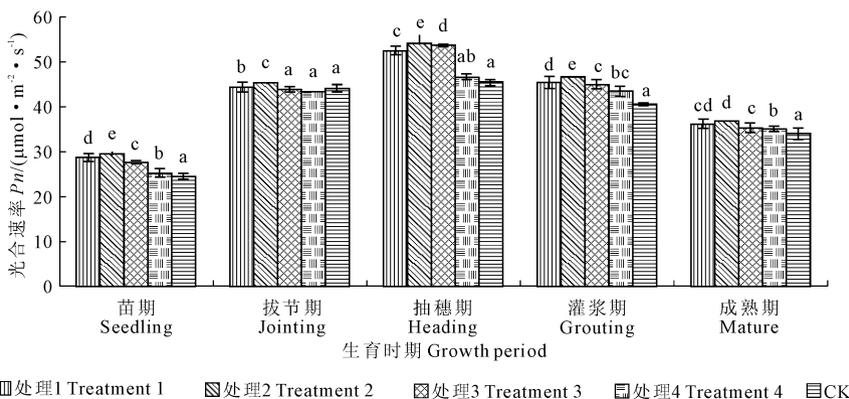


图 1 不同处理对叶片光合速率的影响

Fig.1 Effect of different treatments on photosynthetic rate

表5 不同处理对高粱产量性状及产量的影响

Table 5 Effect of different treatments on yield characters and yield of sorghum

处理 Treatment	穗长/cm Spike length	千粒重/g 1000-grain weight	单株产量/g Grain weight per plant	产量/(kg·hm ⁻²) Yield
1	27.7±1.15a	24.8±0.2bc	105.27±1.97cd	9453.5±2.05c
2	28.1±2.20c	25.0±0.2d	107.87±2.41d	9467.0±2.15d
3	27.0±1.25ab	23.6±0.1b	103.73±2.77c	9321.2±1.89b
4	26.3±1.56a	24.0±0.3b	97.63±4.24b	9339.0±2.71bc
CK	26.0±1.55a	22.9±0.5a	95.24±9.18a	9386.5±1.84a

由表5可以看出,施入醋糟、粉煤灰可以提高产量,其中处理2产量、千粒重、单株产量、穗长分别比对照提高了0.86%、9.17%、12.60%和7.69%,与各处理间差异均显著。

2.4 不同处理对高粱籽粒品质性状的影响

高粱籽粒中蛋白质、淀粉、脂肪等主要品质性状的优劣直接影响着高粱的用途。

表6 不同处理对高粱品质的影响/(g·kg⁻¹)

Table 6 Analysis of the different treatments on quality of sorghum

处理 Treatment	淀粉 Starch	蛋白质 Protein	脂肪 Fat
1	730.4±19.5c	124.7±31.5c	32.5±22.4b
2	741.8±20.4d	134.5±28.4d	34.2±21.5c
3	724.1±22.1b	119.8±29.5b	33.4±23.6b
4	717.3±18.9ab	110.2±21.7ab	31.4±20.7ab
CK	702.9±20.7a	100.2±22.4a	30.0±22.4a

由表6可知,处理1~4淀粉含量分别比对照提高了3.9%、5.5%、3.0%和2.0%,蛋白质含量分别比对照提高了24.47%、34.50%、11.98%和11.02%;脂肪含量分别比对照提高了8.33%、14.0%、11.33%和4.67%。处理2对于提高高粱籽粒品质效果最好,其中蛋白质、淀粉、脂肪含量分别为134.5、741.8、34.2 g·kg⁻¹。醋糟处理可以提高高粱籽粒中蛋白质、淀粉、脂肪的含量,主要由于其作为作物养分的主要来源,参与或调节作物营养代谢与循环。

3 结论与讨论

醋糟含有大量的有机物质和无机物质,可为土壤微生物的生命活动提供能量和养料,施入土壤中可进一步分解为腐殖质,增加土壤有机质的含量,

提高土壤保水、保肥和透气性能^[26-27],培肥地力、改善土壤理化性状。植物根系和土壤微生物分泌产生的土壤酶,其活性是土壤肥力的一个重要标志,也是有机养分在土壤中进行转化的一个重要影响因素^[28]。土壤微生物的群落结构和活性对保持土壤肥力具有重要意义^[29-30]。

本试验表明:醋糟、粉煤灰处理土壤磷酸酶、蔗糖酶、脲酶活性显著高于对照处理;醋糟、粉煤灰处理土壤中微生物的数量均高于对照,处理之间差异显著,其中以处理2效果最好;醋糟、粉煤灰处理高粱各生育时期的光合速率均高于对照处理。施用醋糟、粉煤灰处理可以提高高粱产量。主要是因为醋糟、粉煤灰改善了土壤养分状况,保持土壤水分,提高叶片水势,促进叶片气孔导度增加,进而提高了高粱光合产物的合成和积累,增加了土壤微生物数量,促进了较小粒径微团聚体向较大粒径微团聚体团聚,有利于土壤的气体交换,改良了土壤结构,促进好氧微生物的活化和矿物质分解,增加土壤微生物总体含量,改善深层土壤的环境,为植物生长提供了适宜的生长环境。综上所述,施用醋糟、粉煤灰处理较对照更有利于提高土壤生物活性,极大地增加土壤酶活性和微生物数量,增加土壤中氮素营养和碳的含量,可有效改善根际的生态环境。

参考文献:

- [1] 牛常青,杨艳君,王向东,等.醋糟粉煤灰不同比例混合基质对高羊茅生长的影响[J].晋中学院学报,2010,(6):51-54.
- [2] 曹玉欣,李立军,李杰,等.LCO和Th-17对旱作谷子产质量及土壤生物性状的影响[J].中国农学通报,2016,32(9):87-93.
- [3] 毕少杰,洪秀杰,王国兴,等.沼渣微生物菌剂对土壤微生物数量!酶活及谷子生长的影响,[J].湖北农业科学,2015,(8),3868-3871.
- [4] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社:103-120.
- [5] 姚槐应,黄昌勇.土壤微生物生态学及其试验技术[M].北京:科学

- 出版社, 2006: 187-188.
- [6] 关松萌. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 310-312.
- [7] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J], 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 105-109.
- [8] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学试验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [9] 郝建军, 康宗利, 于洋. 植物生理学试验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [10] 姜勇, 梁文举, 闻大中. 免耕对农田土壤生物学特性的影响[J]. 土壤通报, 2005, 35(3): 347-351.
- [11] 刘兰兰, 史春余, 梁太波, 等. 腐植酸肥料对生姜土壤微生物量和酶活性的影响[J], 生态学报, 2009, 29(11): 6136-6141.
- [12] 田永强, 曹之富, 张雪艳, 等. 不同农艺措施下温室土壤酶活性的动态变化及其相关性分析[J], 植物营养与肥料学报, 2009, 15(4): 857-864.
- [13] 路磊, 李忠佩, 车玉萍. 不同施肥处理对黄泥土微生物生物量碳氮和酶活性的影响[J]. 土壤, 2006, 38(3): 309-314.
- [14] 董俊霞. 生物药肥对烤烟品质和土壤环境以及防病效果的研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2009.
- [15] 徐凌飞, 韩清芳, 吴中营, 等. 清耕和生草梨园土壤酶活性的空间变化[J], 中国农业科学, 2010, 43(23): 4977-4982.
- [16] 徐振锋, 唐正, 万川, 等. 模拟增温对川西亚高山两类针叶林土壤酶活性的影响[J], 应用生态学报, 2010, 21(11): 2727-2733.
- [17] Krmer S, Green D M. Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in a semiarid woodland[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32(2): 179-188.
- [18] Mandal A, Patra A K, Singh D, et al. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages[J]. Bioresource Technology, 2007, 6(98): 3585-3592.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版, 1985.
- [20] Caravaca F, Alguacil M M, Figuerola D, et al. Re-establishment of *Retama sphaerocepa* as a target species for reclamation of soil physico-ecological properties in a semiarid Mediterranean area[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 182(1-3): 49-58.
- [21] 董俊霞. 生物药肥对烤烟品质和土壤环境以及防病效果的研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2009.
- [22] 杨玉玲, 刘文兆, 王俊, 等. 配施钾肥、有机肥对旱地春玉米光合生理特性和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(3): 116-121.
- [23] 王晓娟, 贾志宽, 梁连友, 等. 不同有机肥量对旱地玉米光合特性和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 419-425.
- [24] 陈谦, 张新雄, 赵海, 等. 生物有机肥中几种功能微生物的研究及应用概况[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(2): 294-300.
- [25] 田小明, 李俊华, 危常州, 等. 不同生物有机肥用量对土壤活性有机质和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012, 8(1): 26-32.
- [26] Zavalloni C, Alberti G, Biasiol S, et al. Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: A short-term study [J]. Applied Soil Ecology, 2011, 50: 45 - 51.
- [27] 张云伟, 徐智, 汤利, 等. 不同有机肥对烤烟根际土壤微生物的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2551-2556.
- [28] 胡廷会. 干旱胁迫下 LCO 和 Th-17 对燕麦形态、生理指标及根际土壤环境的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014: 41.
- [29] 胡廷会, 李立军, 李杨, 等. 结瘤因子和苏云金菌素对干旱胁迫下燕麦产量及其保护酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2013, 33(12): 2451-2458.
- [30] 吕军, 文庭池, 郭刊亮, 等. 酒糟生物有机肥和微生物菌剂对土壤微生物数量及高粱产量的影响[J]. 农业现代化研究, 2013, 34(4): 502-506.