

杨杰,谷陈建,吴豪杰,等. 有机肥和紫花苜蓿对长期抛荒贫瘠土壤的改良效果[J]. 江苏农业科学,2013,41(12):362-365.

有机肥和紫花苜蓿对长期抛荒贫瘠土壤的改良效果

杨杰,谷陈建,吴豪杰,李欣达,陆长梅

(南京师范大学生命科学学院,江苏南京 210023)

摘要:在长期抛荒贫瘠土壤上进行施用有机肥,种植紫花苜蓿并压青和施用有机肥+种植紫花苜蓿并压青等处理,分析不同处理下土壤电导率、pH 值、营养元素含量、土壤酶活性以及土壤微生物含量变化情况,确定其改良效果。结果显示,仅种植紫花苜蓿可以提高土壤 C 素含量,降低 N 素含量,而电导率等无明显变化;紫花苜蓿压青后,电导率上升、N 素含量恢复到对照水平,脲酶活性和微生物数量等变化不明显;仅施加有机肥可以迅速提高电导率、有机质和矿质营养元素含量、细菌数量以及脲酶活性,但短时间内离子态矿质营养元素含量达不到作物正常需求水平;在施用有机肥情形下种植紫花苜蓿并压青后,土壤电导率、各营养元素含量、微生物数量的上升幅度以及土壤酶活性均显著高于施用有机肥处理,其中以每 1 m² 施用 250 g 有机肥并种植 1.5 g 紫花苜蓿种子并压青的改良效果最好。

关键词:贫瘠土壤,紫花苜蓿,有机肥,生物改良

中图分类号: S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)12-0362-04

人口数量的剧增急需更多的耕地,而近年来,由于人类对环境的不合理使用,生态平衡遭到严重破坏,土壤质量衰退日趋严重,可耕地面积逐年下降。如何改良贫瘠土壤,保持并增加耕地面积和质量,是摆在世界各国政府尤其是中国政府

面前的头等大事。

所谓土壤改良就是针对土壤的不良性状和障碍因素,采取相应的物理、化学或生物措施,改善土壤性状,提高土壤肥力,增加作物产量,以及改善人类生存相关土壤环境的过程。对贫瘠土壤的改良方法一般采用适宜耕作方法的物理改良法、施用化学肥料的化学改良法,以及利用植物、微生物或者生物的残骸排泄物等的生物改良法。而从根本上改善土壤性状和环境友好角度考虑,生物改良方法目前无疑是最佳的选择。

现阶段常用的生物改良方法主要有通过豆科植物根瘤菌固氮作用增加土壤中有机质含量并改善土壤结构,通过生长

收稿日期:2013-04-17

基金项目:国家基础科学人才培养基金项目(编号:J1103507、J1210025),国家级大学生创新创业训练计划。

作者简介:杨杰(1992—),男,江苏海安人,本科生,主要从事植物生物技术研究。E-mail:datouerzi1992@163.com。

通信作者:陆长梅。E-mail:luchangmei@njnu.edu.cn。

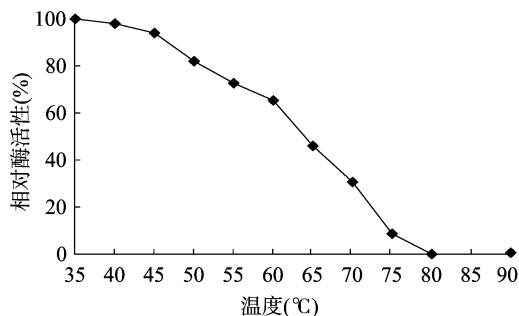


图5 酶反应的热稳定性

日益广泛,有必要对新型的酸性淀粉酶进行不断地研究及开发。本试验自白酒酒醅中分离筛选到 1 株产酸性淀粉酶的菌株 C6,采用液体发酵方法,在 36 °C、180 r/min 培养 48 h,菌株的产酶活性达到 388.5 U/mL。筛选菌种是一项十分繁杂的工作,为此我们采取了快捷有效的初筛方法,以透明圈与菌落直径比作为初步判定菌株酶活性高低的依据,一般认为直径比与酶活呈现正相关性,我们的试验结果也证明了这一点。对菌株 C6 的产酶性质进行了研究,其产生的 α-淀粉酶最适反应 pH 值为 4.8,最适反应温度为 60 °C,属于一种中温酸性 α-淀粉酶。可以将菌株 C6 作为酸性淀粉酶菌种育种研究的良好出发菌株。

参考文献:

- [1] 杨培华,李忠海,刘永乐,等. 耐酸性 α-淀粉酶的开发与应用[J]. 食品与机械,2006,22(5):132-136.
- [2] Minoda Y, Arai M, Torigoe Y. Acid-stable α-amylase of black *Aspergilli*: Part II. Some general properties[J]. Agr Biol Chem, 1968,32(1):104-109.
- [3] 郭建强,李运敏,岳丽丽,等. 超耐热酸性 α-淀粉酶基因的克隆及其在酵母细胞中的表达[J]. 生物工程学报,2006,22(2):237-242.
- [4] 胡元森,蒋炳坤,潘涛,等. 芽胞杆菌 XM-1 酸性 α-淀粉酶基因的克隆及原核表达[J]. 中国食品学报,2012,12(2):41-45.
- [5] 谢建华,师永生,杜丽琴,等. 一株产酸性 α-淀粉酶菌株的筛选、纯化及酶学性质[J]. 应用与环境生物学报,2011,17(1):95-99.
- [6] 张丽靖,沈江锋,金庆超,等. 一株酸性淀粉酶产生菌的分离、鉴定及酶学特性初步研究[J]. 生物技术通报,2011,5(5):142-145.
- [7] Yoo Y J, Hong J, Hatch R T. Comparison of alpha-amylase activities from different assay methods[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1987,30(1):147-151.
- [8] 史永昶,姜涌明,樊飏,等. 蛋白酶对解粉芽孢杆菌 α-淀粉酶活力的影响[J]. 微生物学通报,1995,22(1):23-25.
- [9] 诸葛健,王正祥. 工业微生物试验技术手册[M]. 北京:中国轻工业出版社,1994:24-93.

植物并压青以增加土壤有机质含量,通过直接施加含有丰富微生物的有机肥来直接增加土壤微生物和有机质含量等 3 种方法。不少研究结果显示仅采用豆科植物改良,往往需要多年时间才能达到改良效果^[1-3],而直接单纯使用有机肥虽然能较快改善土壤状况,但使用量极大,增加了种植成本。因此,在现阶段,对大面积贫瘠土壤的改良大都采用种植豆科植物,而对于小面积地块的改良,则多采取施加含丰富微生物的有机肥的方法。

南京地处长江三角洲,属于典型江南丘陵地区,可耕地面积较少。随着城市的急速膨胀,大量农业人口涌向城市,大量贫瘠土地处于长期抛荒状态^[4]。采用合理方法迅速改良抛荒贫瘠土壤,给城乡结合部提供大量优质土地,发展有机生态农业,将是非常有前途的举措。鉴于植物和微生物改良各自的特点,我们选择世界上栽培最为广泛的多年生豆科牧草紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)和含有丰富微生物的有机肥为材料,对 1 块多年抛荒的贫瘠土地进行生物改良。经过紫花苜蓿生长和压青处理、生物有机肥处理以及两者复合处理一段时间后,比较土壤质量和土壤肥力的差异,试图找出能够在短时期内有效改良江南丘陵地带贫瘠土壤的方法,为江南丘陵地带贫瘠土壤的改良和持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况与供试土壤特性

试验于 2012 年 4 月~10 月在南京师范大学生命科学学院植物园(118°91'E,32°10'N)进行。试验区属亚热带湿润季风气候,海拔 250 m,年平均气温 15.7℃,1 月份均温 -2.1℃,7 月份均温 28.1℃,年平均降雨量 1 106.5 mm,年平均风速 3.5 m/s,年均相对湿度 76%。土壤为黄壤土,土层薄,有机质含量少,总 C、总 N 含量分别为 0.35%、0.18%,pH 值 7.7,盐分 0.072%。

1.2 试验材料

植物材料:紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)种子购买于江苏省农业科学院。

有机肥:精制豆粕中药材型,登记证号苏农肥(2007)准字 0141-02 号,购买于南京宁粮生物肥料有限公司。

1.3 试验设计

在 2 m² 的地块中进行以下处理:0 g 有机肥+0 g 紫花苜蓿种子(CK),0 g 有机肥+种植 3 g 紫花苜蓿种子并压青(1M),250 g 有机肥+种植 3 g 紫花苜蓿种子并压青(1OF+1M),500 g 有机肥+种植 3 g 紫花苜蓿种子并压青(2OF+1M),750 g 有机肥+0 g 紫花苜蓿种子(3OF)。

2012 年 4 月 1—3 日将土地深挖、翻耕,在去除石块等后,将田块开沟平均分成 20 个地块,每个地块 2 m²。按照完全随机分组的方法,将 20 个地块分成 5 组,每处理 4 次重复。2012 年 4 月 7 日施用有机肥、播种紫花苜蓿;4 月 8 日至 6 月 30 日进行除草、浇水等日常田间管理;7 月 1 日割取地上部,将紫花苜蓿地上部和根全部进行掩埋压青;7~8 月不定期对所有地块浇水,并拔除杂草;对照组也进行同样的日常管理和翻耕处理。

1.4 土壤样品采集与处理

采样时间分别是 2012 年 6 月 30 日(压青前)和 2012 年

9 月 1 日(压青结束)。每个处理用梅花形取样法随机选取 5 点,用土壤取样器取 0~10 cm 土层的土样,剔除新鲜土样中的石粒和植物残茬等杂物,混合均匀作为一个混合土壤。将所得土样装入自封塑料袋。一部分土样 0℃ 冰箱保存用于检测微生物数量;另一部分土样经混匀风干并粉碎进行土壤元素含量、土壤酶活性以及土壤电导率与 pH 值等测定。

1.5 测定方法

1.5.1 电导率和 pH 值测定 参照霍林桃等和王艳艳等的方法^[5-6],以 5:1 比例提取土壤浸出液,测定溶液电导率和 pH 值。

1.5.2 矿质元素含量测定 取粉碎好的土样,75℃ 下 72 h 烘干至恒重后粉碎,用电感耦合等离子体发射光谱仪 Prodigy 型(美国黎明公司)测定其中矿质元素含量;用 VARIO EL III 型元素分析仪(德国元素分析系统公司)检测其中的 C 和 N 元素含量。整个检测在南京师范大学分析测试中心进行。

1.5.3 脲酶活性测定 采用改良靛酚蓝比色法测定^[7],以硫酸铵为标准,检测反应液 $D_{578\text{ nm}}$ 值,绘制标准曲线,并得回归方程 $y=0.017\ 7x(r^2=0.989\ 3)$ 。以反应 24 h 后 1 g 土壤中 NH_4^+-N 的毫克数表示土壤脲酶活性(U)。

1.5.4 碱性磷酸酶活性测定 采用磷酸苯二钠方法测定^[8],以苯酚为标准,测定反应液 $D_{570\text{ nm}}$ 值,绘制标准曲线,并得回归方程 $y=0.077\ 3x(r^2=0.993\ 9)$ 。

1.5.5 土壤微生物的分离与计数 采用稀释平板法^[9]进行分离与计数,其中土壤细菌采用 1% 葡萄糖的牛肉膏蛋白胨培养基,真菌计数用马丁氏(Martin)培养基。

1.6 数据处理

采用 Excel 和 Origin 6.0 统计软件对结果进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同改良处理对土壤电导率和 pH 值的影响

土壤电导率(EC 值)是盐分含量高低的指标^[10]。土壤电导率介于 350~1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 时有利于植物生长;土壤电导率低于 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 时,土壤中可交换性离子含量较低,影响植物养分的供应,表明该土壤为贫瘠土壤^[11]。由表 1 可见,试验地土壤溶液的电导率在压青前后均远远低于有利于植物正常生长的下限 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$,显示试验地块中的可溶性矿质元素含量非常缺乏,土壤属于极度贫瘠状态;经过一次紫花苜蓿种植压青或有机肥处理均不能使土壤中可溶性离子含量提高到适宜植物生长的范围;未经压青处理时,仅种植紫花苜蓿并不能提高土壤电导率,施加有机肥可以显著提高土壤电导率,而处理 2OF+1M(2 m² 施加 500 g 有机肥+种植 3 g 紫花苜蓿种子并压青)则能最大程度地增大电导率。由于压青前后正值盛夏和早秋季节,土温和气温升高、雨水量大,而土壤电导率会随着温度上升和雨水增加而显著下降^[12],因此,压青后的电导率下降并不能归结于压青改良所致。但压青前或者压青后各处理间的比较可见,紫花苜蓿在土壤中的腐熟以及施加有机肥处理可以显著提高土壤电导率,其中仍以处理 2OF+1M 的效果最佳。

土壤 pH 值高低是土壤化学性质的综合反映,较高的 pH 环境会导致大量矿质盐难溶于水,降低矿质营养的植物有效性^[13]。大多数植物适合生长于中性偏酸性环境中。表 1 显

表 1 施用有机肥和种植紫花苜蓿并压青处理
对土壤电导率和 pH 值的影响 (n = 4)

处理	电导率(μS/cm)		pH 值	
	压青前	压青后	压青前	压青后
CK	94.40a	55.40a	7.71a	8.15a
1M	92.40a	63.20b	7.66a	7.97a
1OF + 1M	97.73b	65.05b	7.80a	8.01a
2OF + 1M	136.30d	72.12c	7.74a	7.94a
3OF	119.57c	66.33b	7.54a	7.74a

表 2 施用有机肥和种植紫花苜蓿压青处理对土壤营养元素含量的影响 (n = 4)

处理	压青前 (%)						压青后 (%)					
	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Fe	Ca	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Fe	Ca
CK	0.35a	0.18a	0.01a	0.65a	1.15a	0.12a	0.23a	0.11a	0.01a	0.65a	1.08a	0.12a
1M	0.39b	0.12b	0.01a	0.67b	1.27b	0.23c	0.32b	0.12a	0.01a	0.66a	1.20b	0.23b
1OF + 1M	0.40b	0.14b	0.01a	0.68b	1.26b	0.21c	0.35c	0.13b	0.01a	0.66a	1.22b	0.23b
2OF + 1M	0.42b	0.16a	0.01a	0.68b	1.37c	0.22c	0.53e	0.43d	0.01a	0.72b	1.23b	0.31c
3OF	0.49c	0.30c	0.01a	0.67b	1.19a	0.19b	0.44d	0.31c	0.01a	0.66a	1.20b	0.25b

2.2 不同改良处理对土壤营养元素含量的影响

C、N 是土壤有机质的基本组成元素,其含量高低代表土壤有机质含量水平。表 2 中,压青前,处理组较对照组土壤中 C 素含量均有不同程度的提高,其数值随有机肥处理量的增加而增加,处理 3OF 土壤中的 C 素含量最高;压青后,仍可见随着有机肥施用量的增加,土壤中 C 素含量增加的趋势,但处理 2OF + 1M 土壤中的 C 素含量升高最快。N 素含量在压青前仅处理 3OF 显著高于对照,处理 1M 和处理 1OF + 1M 显著低于对照;压青后,仅种植紫花苜蓿处理增加不显著,施用有机肥和紫花苜蓿复合处理的处理 2OF + 1M 土壤中的 N 素含量最高。这提示,紫花苜蓿生长期内会从土壤中吸收大量 N 素,导致土壤中 N 素含量下降,不经压青处理改良效果不佳。而经过压青处理后,吸收的 N 素重又回到土壤,致使 N 素含量不低于对照;而处理 2OF + 1M 土壤中的 N 素含量的急速升高则提示通过有机肥提供的固氮菌和紫花苜蓿的共同作用,可以迅速提高土壤的 N 素含量。

P、K、Fe、Ca 均是植物生长必须的矿质元素。它们的含量高低对植物生长影响巨大,可以作为土壤肥力的标志之一。表 1 显示,供试土壤中的磷含量极低,而经施用有机肥和种植紫花苜蓿等各种处理,均未使磷含量发生变化,表明施用有机肥和种植紫花苜蓿压青并不能提高土壤磷素含量。各处理组土壤中的钾、铁、钙含量在压青前后均较对照有一定提高,其中钙含量的升高幅度最大,而钾素含量的升高幅度相对较小;铁素含量仅处理 2OF + 1M 组的显著高于对照和其他处理。

2.3 不同改良处理对土壤酶活性的影响

土壤酶催化土壤中的生物化学反应,其活性大小是土壤肥力的重要标志,脲酶和磷酸酶是土壤中主要的水解酶类。脲酶是土壤氮素循环中唯一作用于尿素的土壤酶类,可以将酰胺态有机氮化物水解转化为植物可直接吸收利用的无机态氮化物^[15]。所以脲酶活性直接影响到尿素的利用率,其活性能反映土壤的供氮能力与水平。磷酸酶是土壤中磷素循环的重要酶类,其活性高低直接影响土壤中有机磷的分解转化及其生物有效性。

示,对照组 pH 值在 6 月底为 7.71,而经过炎热多雨的 7 月和 8 月,pH 值上升到 8.15。这一方面提示土壤 pH 值会随着季节的变化而变化,同时也显示试验区土壤呈弱碱性,不利于多数植物的生长。这与南京地区土壤主要由长江冲积而成,碳酸钙沉积明显,总体上以碱性为主的大环境一致^[14]。压青前与压青后各处理组间的 pH 值并无显著性差异,提示种植紫花苜蓿压青以及施用有机肥处理在改变土壤 pH 方面作用不大。这与文献[1-2]中提及的紫花苜蓿并不能降低土壤 pH 值的结果一致。

表 3 显示对照土壤中的脲酶活性仅为 0.063 mg/g,不及正常耕作土壤的 1/10^[16],显示试验地土壤的供氮能力极低;经种植紫花苜蓿压青、施用有机肥和施用有机肥 + 种植紫花苜蓿压青处理后,仅处理 3OF 以及 2OF + 1M 土壤脲酶比对照显著提高,其中处理 2OF + 1M 的活性最高,约为对照的 3.5 倍。这表明种植紫花苜蓿压青 + 施用有机肥处理可显著提高土壤供氮能力,但仅一季的改良处理仍不能使土壤供氮能力达到一般土壤水平。对照土壤的碱性磷酸酶活性与一般土壤^[16]相当,仅种植紫花苜蓿处理使碱性磷酸酶活性降低,仅施用有机肥处理对该酶不产生显著影响,而施用有机肥 + 种植紫花苜蓿压青处理则能使土壤碱性磷酸酶活性显著提高,其中处理 1OF + 1M 效果最佳。

表 3 施用有机肥和种植紫花苜蓿压青处理对土壤酶活性的影响 (n = 3)

处理	脲酶 (mg/g)	碱性磷酸酶 (mg/g)
CK	0.063a	0.643a
1M	0.064a	0.500b
1OF + 1M	0.069a	0.789d
2OF + 1M	0.223c	0.716c
3OF	0.152b	0.628a

2.4 不同改良处理对土壤微生物量的影响

土壤微生物(包括细菌、真菌等)由于能降解有机物、转化无机物、提高土壤呼吸、增加土壤有机物含量等能力,是影响土壤生态过程的一个重要因素。土壤微生物数量多、区系复杂,表明土壤微生态系统有利于作物的健康生长^[17-18]。表 4 显示仅种植紫花苜蓿处理并不能促进土壤中细菌和真菌数量的增加;施用有机肥处理可以显著提高细菌数量,但不能提高真菌数量;而施用有机肥 + 种植紫花苜蓿压青处理则能显著提高土壤中细菌和真菌的数量,其中以处理 2OF + 1M 的提大幅度最大。

细菌和真菌在土壤中的作用不同:以细菌为主的土壤,有机质降解快,氮矿化率高,有利于养分供应;以真菌为主的土壤,氮和能量转化等相对较慢。因此,土壤细菌/真菌比率的升高意味着土壤的养分供应能力的改善^[19],表 4 显示,种植

紫花苜蓿、施用有机肥和施用有机肥 + 种植紫花苜蓿压青处理均能显著提高土壤的细菌/真菌比率,其中以有机肥施用量最大的处理 3OF 最高,显示有机肥对土壤细菌含量的提高有着重要的作用。综合土壤中细菌和真菌数量,以处理 2OF + 1M 对土壤微生物改善的效果最佳。

表 4 施用有机肥和种植紫花苜蓿压青处理对土壤中细菌和真菌数量的影响 ($n=4$)

处理	细菌(B) ($\times 10^7$ CFU/g)	真菌(F) ($\times 10^4$ CFU/g)	B/F
CK	2.267a	1.347ab	1.683a
1M	2.410a	1.173a	2.055b
1OF + 1M	4.133b	1.829b	2.260c
2OF + 1M	5.733c	2.400b	2.389c
3OF	3.433b	1.207a	2.845d

3 讨论

3.1 种植紫花苜蓿在土壤改良中的作用

紫花苜蓿和其他豆科植物一样,因其根部可以与根瘤菌共生,通过根瘤菌固定空气中的游离氮,从而增加土壤氮素含量,提高土壤肥力^[20]。本文使用的土地是长期抛荒的丘陵地,土壤中根瘤菌数量极少,导致单独种植紫花苜蓿不仅未能提高土壤氮素含量,反而由于紫花苜蓿生长过程中的吸收,致使土壤中的氮素含量急剧下降;经过压青,虽然土壤电导率有一定提高,但有机物、矿质营养元素含量以及土壤微生物和土壤酶活性升高幅度均相对较小。这提示,如果没有根瘤菌的作用,种植紫花苜蓿压青处理的改良土壤能力有限,且种植紫花苜蓿处理对土壤 pH 的改善没有明显作用。

3.2 施用有机肥在土壤改良中的作用

在现代农业中,有机肥指利用各种微生物菌剂与有机物共同堆肥处理而形成的富含微生物和有机质的肥料。有机肥可以提高土壤微生物含量、土壤保肥性以及酸碱缓冲性,也可以有效提供植物生长所需的矿质养分^[21]。本研究结果一方面显示,施用有机肥,可以迅速提高试验土壤的电导率和 C、N 元素含量、以及土壤中细菌和真菌的数量,表明施用有机肥处理可在短期内提高土壤有机质、离子态矿质营养元素以及微生物数量;另一方面显示,仅施用有机肥,短时间内土壤中离子态矿质营养元素含量仍达不到作物正常需求水平,且土壤 pH 没有明显的改善。

3.3 施用有机肥 + 种植紫花苜蓿压青处理效果

种植紫花苜蓿进行生物改良需要较长时间,而单纯使用有机肥又花费巨大。两者结合一方面通过有机肥直接在短期内迅速提高土壤有机质含量和微生物数量;另一方面,紫花苜蓿的生长和光合作用以及压青处理,可以改善土壤环境,增加土壤有机质含量;同时,通过有机肥中的有机和无机营养以及微生物的共同作用,为紫花苜蓿根瘤菌的形成以及紫花苜蓿的生长提供了有利条件;而紫花苜蓿的压青又提高了土壤有机质、矿质营养元素含量和微生物数量。这样,通过紫花苜蓿和有机肥的共同作用,不仅可以降低有机肥施用量,而且还可以迅速提高土壤肥力,改善土壤物理结构和土壤微生态环境,提高土壤生物活力,从而达到生物改良土壤的效果。但施用有机肥 + 种植紫花苜蓿压青处理对土壤 pH 的改善没有明

显作用。

施用有机肥 + 种植紫花苜蓿压青,可以发挥两者在土壤改良中的优势,达到在最小经济压力条件下,用较短的时间实现土壤质量显著提高的目的。本研究结果表明,每 1 m^2 施加 250 g 有机肥、种植 1.5 g 紫花苜蓿种子并结合压青处理后,土壤电导率、有机质含量、矿质营养元素含量、土壤酶活性以及细菌和真菌数量等方面都有明显改善,显示该处理的改良效果最好。

参考文献:

- [1] 闻志彬. 种植紫花苜蓿对土壤理化性状的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [2] 杨玉海. 种植苜蓿土壤改良效应评价[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2005.
- [3] 杨玉海,蒋平安,艾尔肯,等. 种植苜蓿对土壤肥力的影响[J]. 干旱区地理,2005,28(2):248-251.
- [4] 倪美莉,许恒周,陆文彬. 城市化进程中的耕地减少问题浅析——以南京市为例[J]. 资源与产业,2006,8(2):36-38.
- [5] 霍林桃,冯佃臣,王晶,等. 内蒙古西部地区典型土壤理化性质的测定[J]. 安徽农业科学,2008,36(34):15076-15077.
- [6] 王艳艳,赵伟明,赵科理,等. 海拔高度对山核桃林地土壤 pH 值和有效养分的影响[J]. 现代农业科技,2012(17):224-225,231.
- [7] 黄娟,李稹,张健. 改良靛酚蓝比色法测土壤脲酶活性[J]. 土木建筑与环境工程,2012,34(1):102-107.
- [8] 赵兰坡,姜岩. 土壤磷酸酶活性测定方法的探讨[J]. 土壤通报,1986(3):138-141.
- [9] 闫德仁,刘永军,王晶莹,等. 落叶松人工林土壤肥力与微生物含量的研究[J]. 东北林业大学学报,1996,24(3):46-50.
- [10] 张琪,方海兰,杨意,等. 上海市浦东公路绿地土壤肥力质量评价[J]. 华中农业大学学报,2007,26(4):491-495.
- [11] 廖红. 植物营养学[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [12] 周蜜,王建国,范璇,等. 珠三角地区的土壤电阻率温度修正模型[J]. 高电压技术,2012,38(3):623-630.
- [13] 彭娜,王开峰,谢小立,等. 长期有机无机肥配施对稻田土壤基本理化性状的影响[J]. 中国土壤与肥料,2009(2):6-10.
- [14] 侯传庆. 海土壤[M]. 上海:上海科学技术出版社,1992.
- [15] 邱莉萍,刘军,和文祥,等. 长期培肥对土壤酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(4):44-47.
- [16] 陈晓波,官会林,郭宇周,等. 绿肥翻压对烟地红壤微生物及土壤养分的影响[J]. 中国土壤与肥料,2011(4):74-78.
- [17] Balser T, Kinzig A, Firestone M. The functional consequences of biodiversity [M]//Kinzig A, Pacala S, Tilman D. The functional consequences of biodiversity. Princeton:Princeton University Press, 2002:265-269.
- [18] Noah F, Joshua P S, Patricia A H. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles[J]. Soil Biology & Biochemistry,2003,35(1):167-176.
- [19] 曹志平,李德鹏,韩雪梅. 土壤食物网中的真菌/细菌比率及测定方法[J]. 生态学报,2011,31(16):4741-4748.
- [20] 陈宝书. 牧草饲料作物栽培学[M]. 北京:中国农业科学出版社,2001.
- [21] 丁思年. 有机肥对土壤的改良作用及其发展前景[J]. 现代农业科技,2007(10):125,127.