

新型改良剂对苏打碱土理化性质 及水稻产量的影响

董伟, 杜学军, 王栋, 汪顺义, 冯浩杰, 任雪芹, 胡树文
(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100093)

摘要: 为明确新型土壤改良剂对碱土快速改良的效果, 筛选出田间应用最佳的改良剂用量, 采用田间试验与土柱淋溶模拟相结合方法, 设 A_0 (不加改良剂)、 A_1 (改良剂 $5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)、 A_2 (改良剂 $7.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)、 A_3 (改良剂 $15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) 4 个处理, 研究不同用量改良剂对盐碱土 pH 值、水溶性盐总量、碱化度、土壤养分变化特性及水稻产量的影响。结果表明: 与 A_0 处理相比, 用新型改良剂处理均显著降低了 $0\sim 40\text{ cm}$ 土层 pH 值、水溶性盐总量和 Na^+ 含量 ($P<0.05$), 且随改良剂用量增加, 呈现降低趋势。田间试验中施用改良剂的土壤碱化度由 34.55% (A_0) 下降至 18.20% (A_3) ($P<0.05$), 同时降低了收获后土壤有机质和有效磷的含量 ($P<0.05$)。经改良后, 水稻空瘪率显著降低 ($P<0.05$), 水稻的有效分蘖增加, 穗粒数和千粒重显著提高 ($P<0.05$), 其中, A_2 处理水稻增产近三倍 (290.8%)。综合改良效果与产投比, 改良剂适宜施用量为 $7.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

关键词: 苏打型盐碱土; 改良剂; 水稻产量; 土柱淋溶
中图分类号: S511; S156.4 **文献标志码:** A

Effects of a new type of soil amendment on physical and chemical properties of soda alkali-saline soil and yield of the rice

DONG Wei, DU Xue-jun, WANG Dong, WANG Shun-yi, FENG Hao-jie, REN Xue-qin, HU Shu-wen
(College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 10093, China)

Abstract: To determine the effects of new soil amendment on alkaline soils improvement in a short time, we selected the optimum amendment application rate in field. The study performed four treatments of amendment application levels, 0, 5, 7.5, $15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, defined as A_0 , A_1 , A_2 , A_3 respectively. With a combining field experiment and simulation of soil column leaching, soil pH, total dissolved salt content, alkalization degree, characteristic of soil nutrient transformation and rice yield were measured under different amendment application rates. The results indicated that all the amendment treatments significantly decreased $0\sim 40\text{ cm}$ soil pH, total dissolved salt content and Na^+ content ($P<0.05$), and this trend diminished with amendment application levels. In field, application of amendment reduced soil alkalization from 34.55% to 18.20% , with a significant decrease in SOM and Olsen-P. After the improvement of soil, percentage of blighted grain dramatically reduced while tillering amount and earing amount and particles weight increased. Particularly, the rice yield was increased by nearly three times (290.8%) in A_2 treatment. Collectively, the optimum application rate of this new amendment is proposed as being $7.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$.

Keywords: soda alkali-saline soil; soil amendment; rice yield; soil column leaching

我国盐碱土地资源总额约为 $9\,913\text{ 万 hm}^2$, 占到耕地总面积的 $2/3$ 左右^[1], 这严重制约我国农业的可持续发展^[2]。松嫩平原位于我国东北部, 土壤中盐分组成以 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 为主, 面积超过 300 万 hm^2 , 是我国最大的苏打型盐碱土分布区^[3-5]。改造治理及合理开发利用松嫩平原盐碱土, 是东北地区农业可持续发展的重要途径之一, 也对改善生态环境, 推动区域经济、社会和生态可持续发展具有重要

收稿日期: 2016-10-20 修回日期: 2016-12-22
基金项目: 农业部公益性行业科研专项(201303103-03); 国家重点研发计划(2016YFC0501200)
作者简介: 董伟(1992—), 男, 山东东阿人, 硕士研究生, 研究方向为土壤改良。E-mail: dongr1220@163.com。
通信作者: 胡树文(1968—), 男, 山东济宁人, 博士, 教授, 主要从事土壤综合治理和新型肥料等研究。E-mail: shuwenhu@cau.edu.cn。

意义^[6]。

在具有便利水利条件的地区,当地多采用“种稻改碱”的传统改良方式,经过灌水压盐和灌溉冲洗,3~4年后初步形成淡化耕层^[7],5年后,才能形成明显淡化耕层,改良时间过于漫长^[8]。反之,添加不同类型土壤改良剂成为有效且快速的改良措施。王文杰等^[9]发现,聚丙烯酸(PAA)与碱土混合在木醋液阻隔下,显著减缓了盐分离子向表层的运输,根系土壤 pH 值和盐含量显著下降。同时在施加钙源石膏辅助下,盐碱地的改良效果显著提升^[10]。王睿彤等^[11]利用有机肥与保水剂等为原料制作的改良剂可显著提高土壤酶活性,降低土壤 pH 值。以往化学改良剂虽见效快,但成本较高。针对松嫩平原水盐运动特征,结合苏打型盐渍土壤理化性质,研制出具有自主知识产权、成本较低的有机-无机复合盐碱土改良剂。

本文通过将土柱淋洗模拟实验和改良重度盐碱地的田间试验方法相结合,探究新型土壤改良剂对苏打型盐碱地土壤养分、土壤理化特性和水稻产量的影响。试从土壤理化性状及作物生长角度揭示新型改良剂对盐碱土改良效果并明确该种新型改良剂田间使用的适宜用量,为盐碱地的快速改良提供技术支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

田间试验于 2015 年 6—9 月在吉林省通榆县八面乡宏达村农场(N45°03', E123°37')进行,该地属大陆性半湿润半干旱季风气候,年降水量约 450 mm,夏季平均最高气温为 28℃,浅层地下水埋深平均约为 2 m,矿化度平均为 1.3 g·L⁻¹。该地区土壤为典型草甸碱土,质地为砂质壤土,基础养分和盐碱情况如下:pH 10.42,水溶性盐总量 9.21 g·kg⁻¹,碱化度 35.7%,有机质 7.04 g·kg⁻¹,全氮 0.52 g·kg⁻¹,碱解氮 151.70 mg·kg⁻¹,有效磷 35.60 mg·kg⁻¹,速效钾 103.00 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

供试土壤改良剂为以硫磺、腐植酸等高分子有机物为载体,通过磺化、接枝共聚等化学改性技术合成的钙盐(其中硫磺 17%,腐植酸 50%,含钙物质 33%)。供试水稻品种为白稻 8 号。

田间试验:试验设 4 个处理,分别为 A₀(对照,不加改良剂)、A₁(改良剂 5 t·hm⁻²)、A₂(改良剂 7.5 t·hm⁻²)、A₃(改良剂 15 t·hm⁻²)。各小区面积均为 0.1 hm²,插秧密度为 30 cm×13 cm,随机区组排列,

重复 3 次,每小区间隔 1 m。施肥量和施肥方法同农民常规施用。每处理小区均施用 100 kg 13-14 型复合肥做底肥;在返青期、分蘖期和穗期每小区均追施 15 kg(NH₄)₂SO₄。试验于 2015 年 6 月 3 日施用改良剂,开始灌水、泡田和排水,保持水层厚约 5 cm,以 3 d 为周期,泡田 2 次;水稻生育期间按照当地传统灌排方式,始终保持水层厚 4~6 cm,当水体泛红、出现漂浮泡沫时,立即换水。6 月 10 日开始插秧,正常田间管理,9 月 29 日收获并考种计产。

土柱淋洗试验:试验选取田间试验 0~40 cm 耕层土壤。在 PVC 管(内径 11 cm,高度 50 cm)中进行。各处理的改良剂用量分别为 0、1.67、2.50、5.00 g·kg⁻¹,依次记为 A₀、A₁、A₂、A₃,重复 3 次。土壤过 2 mm 筛后,与改良剂混合均匀后按照自然状态土壤容重(1.5 g·cm⁻³)装填土柱,每次装填 5 cm,共填入 40 cm。模拟试验采用间接淋洗法,每隔 24 h 淋洗 1 次,淋洗量为 800 ml·次⁻¹,淋洗 5 次之后测定土壤盐碱指标。

1.3 测定指标与方法

土壤理化性质:土柱淋洗试验在实验结束后分层取样,每 10 cm 取一个土壤样品。田间试验于 2015 年泡田前和秋季收获后两个时期采集土壤样品,在每个试验小区内,按照“S”形路线设 3 个采样分点采集表层(0~20 cm)混合土样。将上述土壤样品风干,采用四分法取样后,过 2 mm 和 1 mm 筛后用于理化性质分析。其中土壤 pH 值采用电位法(土水比 1:2.5);水溶性盐总量采用残渣烘干法;钠离子的测定采用火焰光度法;有机质的测定采用重铬酸钾氧化—容量法(硫酸银做掩蔽剂);全氮的测定采用凯氏法;碱解氮的测定采用碱解扩散法;速效钾的测定采用醋酸铵浸提—火焰光度法;有效磷的测定采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法;水溶性交换性钠的测定采用乙酸铵—氢氧化铵—火焰光度法;阳离子交换量的测定采用乙酸钠—火焰光度法。

生物量与产量:收获期每小区随机选取 5 处,用 1 m×1 m 采样器固定后,统计该样方内水稻株高,穗长、分蘖数等生长性状,烘干后计算生物量。将每个小区完全收获后计算产量。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 进行处理,用 SPSS (18.0) (SPSS Institute, Inc., Cary, NC, USA)进行数据统计分析,方差分析比较处理间的效应差异, LSD 法比较平均数间的差异显著性;试验结果采用 origin 8.1 作图。

2 结果与分析

2.1 土柱淋溶条件下不同改良剂对土壤化学性质的影响

pH 值是土壤重要的化学性质,也是影响土壤肥力的主要因素之一。如图 1(a)所示,与 A₀ 处理相比,三个施用新型改良剂处理均显著降低了 0~40 cm 土层 pH 值($P<0.05$),且随改良剂用量增加,同一土层 pH 值呈降低趋势。但同处理的不同土层间 pH 值变化差异不显著。

淋洗结束后,比较各处理的水溶性盐总量的变

化图 1(b)。结果表明,与 A₀ 处理相比,添加改良剂后表层土壤(0~20 cm)水溶性盐总量显著降低($P<0.05$),同时,随取样深度的增加,水溶性盐总量呈逐渐上升趋势。对不同土层水溶性 Na⁺ 图 1(c)变化特性分析,在土壤脱盐过程中,土壤 Na⁺ 含量变化也呈现相似的趋势。这说明土壤表层中的水溶性盐离子会随着水的淋洗向下迁移,到达一定深度后累积。同时改良剂中的 Ca²⁺ 与 Na⁺ 发生置换,Na⁺ 形成中性盐,而不会去水合形成氢氧化钠^[13],同时被水淋失,进而降低土壤 pH 值。

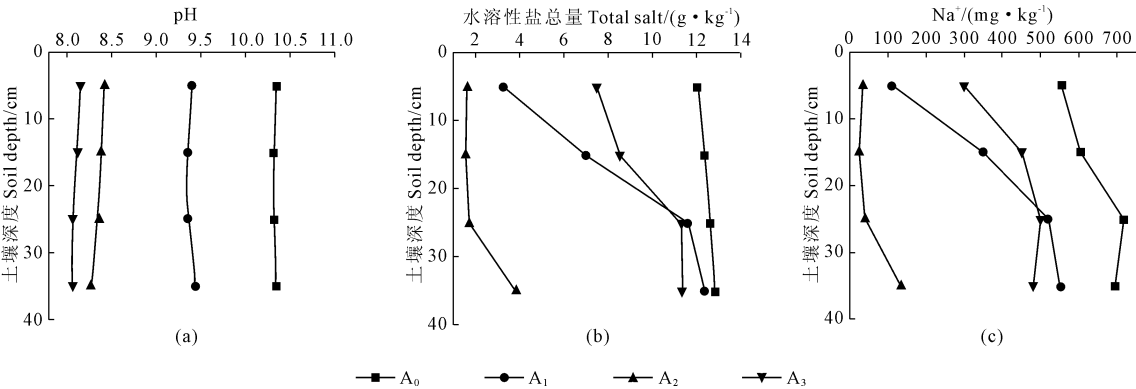


图 1 不同处理对土壤 pH 值(a)、水溶性盐总量(b)和 Na⁺ (c)的影响
Fig.1 Effect of different treatments on soil pH(a), total salt(b), Na⁺ (c)

2.2 不同改良剂用量对水田耕层土壤化学性质的影响

如表 1 所示,与 A₀ 处理相比,施用改良剂较对照可显著降低耕层土壤 pH 值($P<0.05$),但各处理间 pH 值变化差异不显著($P>0.05$)。施用改良剂显著降低了土壤碱化度($P<0.05$),从 34.55%(A₀)下降至 18.20%(A₃),其中, A₂ 与 A₃ 处理间差异不显著。与 A₀ 处理相比,施用改良剂可显著降低耕层土壤水溶性盐总量($P<0.05$),其中 A₂ 处理降低幅度最大,为 46.4%, A₃ 处理次之,为 43.6%, A₁ 处理最小,仅为 29.8%。

表 1 不同改良剂用量对水田耕层土壤化学性质的影响
Table 1 Effect of different treatments on soil chemical properties

处理 Treatments	pH	水溶性盐总量 Total salt /(g·kg ⁻¹)	碱化度 ESP /%
A ₀	10.32a	5.00a	34.6a
A ₁	9.01b	3.51b	28.8b
A ₂	8.64b	2.68b	18.2c
A ₃	8.47b	2.82b	19.7c

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。
Note: different small letters meant significant difference among treatments at $P<0.05$ level; the same below.

如表 2 所示,与 A₀ 处理相比,施用改良剂处理降低了土壤有机质含量($P<0.05$),其中,处理间表现为 A₂<A₃<A₁。施用改良剂同时显著降低了有效磷的含量($P<0.05$),其中, A₁ 处理降低幅度最大,为 28.9%。但施用改良剂对耕层土壤全氮和速效钾的影响不显著($P>0.05$)。

2.3 不同改良剂用量对水稻生长状况及产量性状的影响

如表 3 所示,与 A₀ 处理相比,施用新型改良剂显著提高了收获期水稻株高、穗长和生物量,其中, A₁、A₂ 和 A₃ 处理株高分别提高 18.2%、16.5% 和 33.6% ($P<0.05$);穗长分别提高 6.8%、12.6% 和 20.4%;生物量分别提高 87.2%、133.3% 和 91.0% ($P<0.05$)。可见,施用改良剂有利于水稻生长,其中 A₂ 处理下生长状况最优。

由表 4 可以看出,与 A₀ 处理相比,添加改良剂后土壤性质得到改善,水稻空瘪率显著降低($P<0.05$),水稻的有效分蘖增加,穗粒数和千粒重显著提高($P<0.05$),且各产量构成因子均以 A₂ 处理最优。施用改良剂后,水稻产量显著提高,由增产幅度来看, A₂ 处理最高,将近三倍(290.8%), A₃ 处理次

之,为 252.9%,A₁ 处理最低,仅为 189.2%。

表 2 不同改良剂用量对水田耕层土壤养分的影响
Table 2 Effects of different treatments on soil nutrient contents

处理 Treatments	全氮 Total nitrogen /(g·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available nitrogen /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium /(mg·kg ⁻¹)
A ₀	0.50±0.04a	7.04±1.27a	58.9±3.8ab	21.00±2.60a	124±5a
A ₁	0.54±0.06a	5.76±0.42b	60.9±3.8a	14.93±1.96c	138±18a
A ₂	0.47±0.06a	5.93±0.12c	62.9±5.1a	17.63±3.70b	132±5a
A ₃	0.43±0.01a	5.82±0.32b	48.7±0.9b	17.35±1.65b	122±8a

表 3 不同处理对作物生长的影响
Table 3 Effects of different treatments on rice growth

处理 Treatments	株高 Plant height /cm	穗长 Spike length /cm	生物量 Biomass /(kg·m ⁻²)
A ₀	64.9±5.7c	14.7±1.7c	0.78c
A ₁	76.7±5.2b	15.7±1.9bc	1.46b
A ₂	75.6±5.4b	16.4±1.4b	1.82a
A ₃	86.7±6.0a	17.7±1.5a	1.49b

3 讨 论

长期以来,“种稻改碱”被认为是一项促进生态环境和谐发展的有利工程。本试验拟通过新型土壤

改良剂的田间试验,探究其对盐碱土改良的效果。

本试验所采用的新型改良剂中的硫磺成分能够降低土壤 pH 值^[12-14]。Ca²⁺ 能与碱性物质反应,代换出土壤中的 Na⁺,提高 Na⁺ 的淋洗效率,进而降低耕层盐分含量及碱化度。这与之前的研究^[15-17]相吻合。改良剂中的腐殖酸成分易溶于碱,可与水中的金属离子交换、吸附、螯合,有利于作物吸收营养元素,且硫磺中所含的硫元素在一定程度上能够促进作物的生长^[18];同时腐殖酸在分散体系中作为聚电解质,可通过对土壤的凝聚、胶溶等作用,达到改善其结构、增加孔隙度和降低盐分的效果^[19-21];此外,腐殖酸能够改善土壤微生物的群落结构,增强酶活性,进而促进作物的生长发育。

表 4 不同改良剂用量对水稻产量性状和产量的影响
Table 4 Effects of different treatments on rice yield characters and yield

处理 Treatments	有效分蘖 Tillering amount /(穗·穴 ⁻¹)	穗粒数 Earring amount /(粒·穗 ⁻¹)	瘪粒率 Percentage of blighted grain/%	千粒重 Particles weight /g	产量(鲜重) Yield(fresh weight) /(kg·hm ⁻²)
A ₀	13.5 b	78.6 c	12.10 b	14.86 c	195.2 d
A ₁	17.5 ab	95.1 b	5.98 a	20.46 b	738.8 c
A ₂	20.3 a	104.8 ab	3.43 a	21.26 a	1047.2 a
A ₃	18.0 ab	110.3 a	4.97 a	20.39 b	957.2 b

本试验中土壤有机质含量的降低可能是因为施用改良剂处理的土壤透水性加强,较对照处理不易板结,使得土壤在后期田间干湿交替管理中暴露于更高温度环境中,土壤微生物活性增加,从而使土壤有机质分解速率增大^[18],同时这也可能与施用改良剂后土壤透水性增强,有机质易被淋失有关。这与本试验的改良原理相吻合。土壤中的有效磷含量受到土壤粘粒含量的影响,因为粘粒表面对速效磷有吸附作用^[22]。经改良后的土壤 pH 值降低,土壤磷素解吸,活性增强,利于植物吸收。此外,改良剂中的腐殖酸成分能够提高肥效^[23],使得土壤表层集

聚较多氮和钾的速效成分。但是由于硝态氮易被淋溶,经改良过的土壤孔隙比例有所变化,孔隙度提高,土壤透水性增强,部分氮素能够经水分淋洗向下移动。这也在一定程度上解释了处理 3 中氮素含量较低的现象。

本研究证明施用新型土壤改良剂处理苏打盐碱土,可降低土壤耕层的 pH 值、水溶性盐总量和碱化度,水稻株高分别提高 18.2%~33.6%(*P*<0.05);穗长分别提高 6.8%~20.4%;生物量分别提高 87.2%~133.3%。同时 A₂ 处理与对照处理相比,产量提高近三倍(290.8%)。施用改良剂后,土壤

pH 值、水溶性盐总量和碱化度的降低,利于水稻对土壤中有有效养分的吸收,进而增加生物量,最终提高水稻产量,取得可观的改良效果。

由于本试验重点观察和探索该新型改良剂的实际应用效果,未能对其中 Ca^{2+} 在田间的缓释机理作针对性研究,今后将作进一步探索,为此改良剂的田间应用提供更为丰富的科学依据。

4 结 论

1) 土柱淋洗试验表明,供试碱土中加入改良剂,可以降低土壤 pH 值,增加水溶性盐总量和提高钠离子的淋洗效率;比较分析实验结果,2.5 g·kg⁻¹ 的改良剂用量能够实现土柱可溶性盐分和钠离子的最佳淋洗效果。

2) 通过田间试验示范,一次性施用此种土壤改良剂能够实现重度盐碱地水田的快速改良。施用不同用量改良剂均能消除盐碱危害,进而改善土壤透水性,提高盐分淋溶速率,使水溶性盐总量显著降低,土壤性质得以改善,作物增产效果突出。结果表明:施用改良剂适宜田间用量为 7.5 t·hm⁻²。

参 考 文 献:

[1] 王遵亲.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.

[2] 牛东玲,王启基.盐碱地治理研究进展[J].土壤通报,2002,33(6):449-455.

[3] 徐 璐,王志春,赵长巍,等.东北地区盐碱土及耕作改良研究进展[J].中国农学通报,2011,27(27):23-31.

[4] Chi C M, Zhao C W, Sun X J, et al. Reclamation of saline-sodic soil properties and improvement of rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield using desulfurized gypsum in the west of Songnen Plain, northeast China [J]. GEODERMA, 2012,187:24-30.

[5] 张 巍,冯玉杰.松嫩平原盐碱土理化性质与生态恢复[J].土壤学报,2009,46(1):169-172.

[6] 李 彬,王志春,孙志高,等.中国盐碱地资源与可持续利用研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):154-158.

[7] 周 薇,王鸿斌,朴海淑,等.苏打盐碱地水田的快速改良研究[J].吉林农业科学,2015,40(5):53-57.

[8] 赵兰坡,冯 君,王 宇,等.不同利用方式的苏打盐渍土剖面盐分组成及分布特征[J].土壤学报,2011,48(5):904-911.

[9] 王文杰,贺海升,祖元刚,等.施加改良剂对重度盐碱地盐碱动态及杨树生长的影响[J].生态学报,2009,29(5):2272-2278.

[10] 贺海升,王文杰,朱 虹,等.盐碱地土壤改良剂施用对种子萌发和生长的影响[J].生态学报,2008,28(11):5338-5346.

[11] 王睿彤,陆兆华,孙景宽,等.土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土的改良效应[J].水土保持学报,2012,26(4):239-244.

[12] 赵晓进,李亚芳,买文选,等.ALA 增强小麦抗盐性及硫磺改良碱性盐土的研究[J].西北农业学报,2008,17(6):303-308.

[13] 姚晓芹,马文奇,楚建周.不同酸性物质对石灰性土壤的酸化效果研究[J].中国生态农业学报,2006,14(4):68-71.

[14] 田霄鸿,南雄雄,赵晓进,等.施用硫磺和 ALA 对碱性盐土上作物生长发育及土壤性质的影响[J].生态环境,2008,17(6):2407-2412.

[15] 李焕珍,徐玉佩,杨伟奇,等.脱硫石膏改良强度苏打盐渍土效果的研究[J].生态学杂志,1999,18(1):25-29.

[16] 王立志,陈明昌,张 强,等.脱硫石膏及改良盐碱地效果研究[J].中国农学通报,2011,27(20):241-245.

[17] 崔 媛,张 强,王 斌,等.脱硫石膏对重度苏打盐化土中主要离子淋洗的影响[J].水土保持学报,2016,30(1):310-314.

[18] Barber R G. Soil degradation in the tropical lowlands of Santa – Cruz, Eastern Bolivia [J]. Land Degradation and Rehabilitation, 1995,6(2):95-107.

[19] 岳殷萍,李虹谕,张伟华.脱硫石膏与腐殖酸改良盐碱土的效果研究[J].内蒙古科技与经济,2016,(14):85-89.

[20] 张继舟,周连仁,马献发.不同施肥处理对设施土壤盐分的影响[J].国土与自然资源研究,2009,(3):35-36.

[21] 马献发,张继舟.不同物料组合对设施土壤盐分及白菜产量的影响[J].腐植酸,2009,(6):21-24.

[22] 张洪丽.松嫩平原草甸土不同利用方式对土壤性态特征的影响[D].吉林:吉林农业大学,2006.

[23] 孙焕顷,苏长青.腐植酸钾对黄冠梨土壤肥力的影响[J].北方园艺,2009,(7):100-101.