

新型多孔改良剂增强黄壤通气性能研究^①

孙益权^{1,3}, 王美艳^{1*}, 黄化刚², 夏庚瑞^{1,3}, 史学正¹, 张忠启³, 徐胜祥¹,
孙维侠¹, 蔡良海², 班国军², 陈 垚², 夏中文²

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 贵州省烟草公司毕节市公司, 贵州毕节 551700; 3 江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 江苏徐州 221116)

摘 要: 为探索新型多孔改良剂对黄壤通气性能的影响, 本文以贵州省毕节市植烟黄壤为研究对象, 通过掺入不同比例的新型多孔改良剂, 研究贵州黏重黄壤物理结构的变化。结果表明: 随着添加新型多孔改良剂比例的增加, 土壤总孔隙度及土壤通气孔隙度均随之增加。与对照相比, 3 个处理(新型多孔改良剂添加比例分别为 7.5%、15.0% 和 22.5%)的总孔隙度分别增加了 2.7%、3.1% 和 3.2%, 通气孔隙度分别增加了 2.7%、8.6% 和 10.6%; 对照和 3 个处理加水饱和之后, 分别需要 130、52、34 和 37 h 提供足够的氧气, 以保证作物正常生长。总之, 新型多孔改良剂能够有效增加黏重黄壤通气孔隙, 达到了增强土壤通气性能的目的, 为黏重土壤改良提供了新的途径与思路。

关键词: 新型多孔改良剂; 黄壤; 土壤通气性; 毕节

中图分类号: S156.2 **文献标识码:** A

贵州地形以高原山地和丘陵为主^[1], 黄壤为该地区的主要土壤类型^[2-3]。由于烟区种植模式单一, 长期施用化肥等原因, 导致该地区土壤板结严重^[4], 使得土壤通气孔隙锐减, 不利于水分下渗, 也不利于土壤通气, 进而影响作物根系生长^[5-6]。因此贵州板结土壤改良对于当前烟叶生产具有重要意义。

关于板结土壤的改良研究, 国内外已经开展了较多的工作, 概括起来主要有以下几种措施, 即掺沙子^[7-9]、增施有机肥^[10-12]和添加化学改良剂^[13-15]。首先, 在掺入沙子改良土壤结构方面, 蔺亚莉等^[7]在内蒙古河套平原进行了黏性碱化盐土中掺沙试验, 研究表明, 黏性碱化盐土中掺入 25% 沙子后, 其土壤通气孔隙度增加了 11.34%, 土壤的全盐量和碱化度均有所降低, 使得玉米产量由 2 100 kg/hm² 增加至 9 100 kg/hm², 增加了 335%。其次, 在施用有机肥改良方面, 施用有机肥不仅可以增加土壤透气和透水性, 还可以提高土壤肥力。罗兴录等^[10]于广西大学科研基地进行施用有机肥试验, 作物种植前施入 450 ~ 900 kg/hm² 的生物有机肥, 使得作物在生育期内的土壤通气孔隙度大约增加了 2% ~ 6%。第三, 在添加化学改良剂方面, 康倍铭等^[13]研究表明, 在陕

西杨凌塬土中添加 0.1% 的聚丙烯酰胺(PAM), 在气候培养箱中培养 60 d, 可以增加 2.1% 土壤孔隙度。

虽然传统改良剂在土壤改良方面取得了一些成果, 但也存在一些问题。如沙子为实心材料, 缺乏内部孔隙, 通过添加沙子改良板结土壤, 其通气孔隙的增加幅度有限。随着社会经济的发展, 劳动力成本大幅增加, 有机肥资源有限, 因此在大宗粮食作物上, 如水稻、小麦和玉米上已很少使用有机肥; 另一方面, 由于有机肥易于分解, 需要长期施用才能起到改良板结土壤的作用。化学改良剂则存在成本较高而时效性较短、适用性有限的问题。因此, 板结土壤的改良需要寻找一种成本低、时效长、不易分解且环保的材料。基于这个设想, 中国科学院南京土壤研究所研发了一种新型多孔矿质材料, 这种材料具有高度发达的内部孔隙结构, 其生产成本较低, 环境友好, 使得这种材料用于板结土壤改良成为可能。本研究通过在贵州毕节黄壤中添加不同体积比例的新型多孔材料, 研究其对供试土壤通气孔隙度的影响, 以揭示多孔材料添加比例与黄壤通气性能改良效果之间的关系, 为贵州烟区板结黄壤改良提供科学依据。

基金项目: 贵州省烟草公司毕节市公司科技专项项目(毕节合 2015-02; 省市院合 2015-06)资助。

* 通讯作者(mywang@issas.ac.cn)

作者简介: 孙益权(1992—), 男, 江苏丰县人, 硕士研究生, 主要从事土壤资源与环境方面的研究。E-mail:sunyiquan305@163.com

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验土壤取自贵州省毕节市黔西县林泉科技园，土壤类型为黄壤，质地偏黏，为粉砂质黏壤土，保水性较好，但通透性较差，容易发生板结，是目前影响该地区优质烟叶生产的主要土壤问题。试验土壤风干

后过 2 mm 筛作为盆栽用土，其理化性质见表 1。

新型多孔改良剂是一种新型矿质土壤结构改良材料，通过特殊工艺制成。它具有孔隙发达，容重小，通气性能良好等优点。其 pH 为 9.2，松散容重为 0.26 g/cm³，粒径为 5 ~ 10 mm。施入土壤后除正常风化外，变化微小，因此是一种长效的土壤结构改良材料。

表 1 供试土壤的理化性质
Table 1 Physicochemical properties of tested soil

供试土壤	pH	CEC(cmol/kg)	容重(g/cm ³)	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
黄壤	7.46	17.6	1.19	24.3	1.53	23.8	370.8

1.2 试验设计与样品采集

新型多孔改良剂掺入量对比试验共设 4 个处理(表 2)，分别为 CK、T1、T2 和 T3，每个处理 3 次重复，合计 12 盆。按照表 2 的设计要求，将土壤与新型多孔改良剂混合均匀，然后装填至试验盆中，装盆容积为 19 L。装填结束后，对每个处理进行均匀浇水，直至底部流出少量水，待土体无明显下沉时确定为平衡状态，土体稳定后种植蔬菜。

表 2 土壤改良试验处理
Table 2 Treatments of soil amelioration experiment

处理	改良剂体积比例(%)	土壤体积比例(%)
CK	—	100
T1	7.5	92.5
T2	15.0	85.0
T3	22.5	77.5

蔬菜收获后，将盆栽土壤表面铲平。每个处理取

1 个 PVC 管样(直径 50 mm，高度 50 mm)，采样深度为 3 ~ 8 cm，共取 12 个 PVC 管样，用于 CT 扫描，以观察土壤结构和计算土壤通气孔隙度。每个盆取 2 个环刀样品(直径 50.46 mm，高度 50 mm)，采样深度为 3 ~ 8 cm，共取 24 个环刀样品，分别用于测定土壤总孔隙度和时间序列下的土壤通气孔隙度。

1.3 土壤通气孔隙测定

本研究通过 CT 技术获取原状土柱扫描图像，基于图形处理与分析计算土壤通气孔隙度。试验所使用的 CT 扫描仪器是美国 GE 公司生产的 *Phoenix-NanotomS* CT 扫描仪，原状土柱扫描电压为 110 kV，分辨率为 25 μm × 25 μm，间隔扫描获取不同位置图像 100 张。扫描后的图像利用 ImageJ 软件进行处理和分析^[16]。

采用全局阈值法对灰度图像做分割处理以获取孔隙(黑色)和固体颗粒以及土壤基质(白色)的黑白二值图像(图 1)。选取 3 cm × 3 cm 的兴趣区，将切割

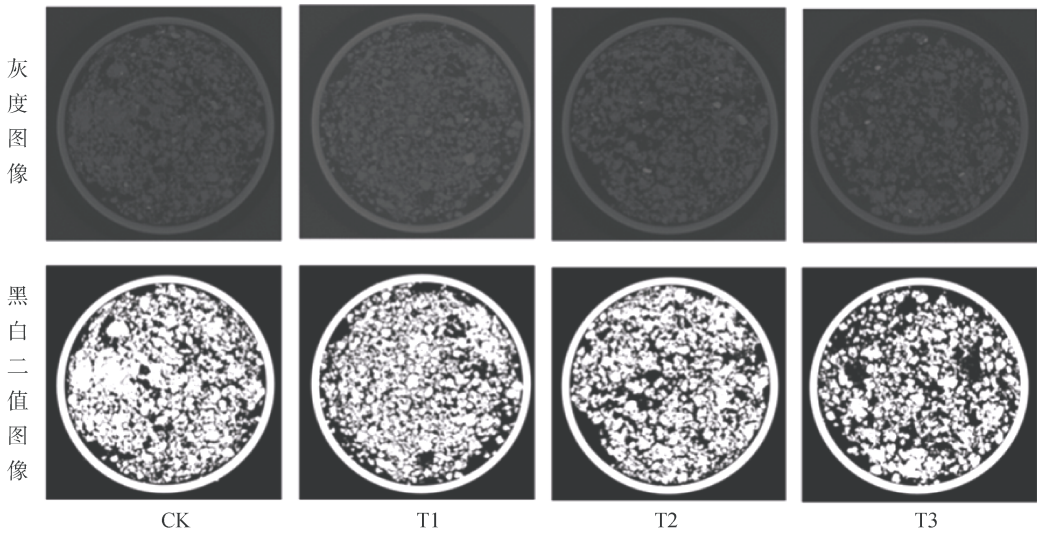


图 1 灰度图像的二值化处理
Fig. 1 Binaryzation processing of gray images

图像存储为 8 位(256 级)的灰度图像。计算孔隙部分面积占图像总面积的比例,作为 CT 孔隙度,最小孔径为 50 μm 。目前有关通气孔隙的研究并未给出严格的孔径范围,本研究将孔径大于 50 μm 的孔隙定义为通气孔隙^[17]。

1.4 土壤通气孔隙演变时间序列测定

在实验室用 100 目纱布和滤纸封住下刀口,之后将环刀浸入水中,浸水时保持水面与环刀上口齐平且水面不超过环刀上口,浸泡时间为 24 h;当土壤饱和后取出环刀原状土样,放置在密闭空间,分别于 2、24、48、96 和 192 h 称重,用于测定时间序列下的土壤通气孔隙度。土壤总孔隙度(%)和时间序列下的土壤通气孔隙度(%)计算公式如下:

土壤总孔隙度:

$$P_1 = (d - D) / d \times 100 \quad (1)$$

土壤持水孔隙度:

$$P_2 = g / V \times 100 \quad (2)$$

土壤通气孔隙度:

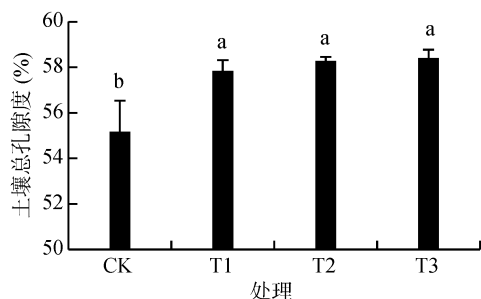
$$P_3 = P_1 - P_2 \quad (3)$$

式中: d 为土壤密度(取平均土壤密度 2.65 g/cm^3); D 为土壤容重; g 为平均饱和持水量; V 为环刀体积。

2 结果与讨论

2.1 新型多孔改良剂对土壤总孔隙度的影响

土壤孔隙度是反映土壤物理状况的重要指标,也是土壤水分、空气的通道和贮存场所^[18]。土壤总孔隙度反映了土壤孔隙总体状况。土壤总孔隙度随着新型改良剂添加量的增加而增加,见图 2。与 CK 处理相比,添加新型改良剂处理土壤总孔隙度均显著增加,其中 CK 处理的土壤总孔隙度最低,为 55.2%; T3 处理土壤总孔隙度最高,为 58.4%,相较于 CK 处理增加 3.2%; T1 与 T2 处理相较于 CK 处理分别增加 2.7% 和 3.1%。数据表明,新型改良剂对土壤



(图中不同小写字母表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著;下同)

图 2 新型多孔改良剂对土壤总孔隙度的影响

Fig. 2 Effects of novel porous amendments on soil total porosity

总孔隙度有直接影响,添加新型改良剂的处理与 CK 之间具有差异显著性($P < 0.05$),不同改良剂处理之间差异不显著($P > 0.05$)。

添加新型多孔改良剂增加了土壤总孔隙度,进而提升土壤持水能力,也会引起土壤导水特性发生变化^[19]。张凯^[20]在辽宁省北票市选择 60 块高中低产玉米地块,土壤类型为褐土,研究辽西耕层土壤的障碍因子,结果表明土壤孔隙度的增加有利于提升土壤的蓄水能力,从而促进作物的生长。郑存德^[21]在铁岭市昌图县、沈阳市东陵区等区域选择高产、中产和低产玉米田共 23 块,土壤类型为棕壤,研究土壤物理属性对玉米产量的影响,结果表明玉米产量与土壤总孔隙度两者之间具有显著正相关关系,相关系数为 0.65。新型多孔改良剂对黏重黄壤孔隙度的提升效果显著,有助于改善作物根系的生长环境,进而增加作物的产量。

2.2 新型多孔改良剂对土壤通气孔隙度的影响

通过 CT 扫描计算得到不同处理的土壤通气孔隙度,其结果如图 3A 所示。土壤通气孔隙度随着新型改良剂添加比重的增加而增加,不同处理之间差异显著($P < 0.05$)。其中 CK 处理的通气孔隙度最小,仅为 7.8%; T3 处理的通气孔隙度最大,为 18.4%,较 CK 处理增加了 10.6%; T1 和 T2 处理的通气孔隙度分别为 10.5% 和 16.4%,较 CK 处理分别增加了 2.7% 和 8.6%。新型改良剂添加比例与土壤通气孔隙度的拟合曲线显示(图 3B),每增加 1% 体积比的新型改良剂将会增加 0.5% 土壤通气孔隙度。Lipiec 和 Hatano^[22]将 10% 的土壤通气孔隙度定义为作物生长的临界值, <10% 则土壤通气能力不足,作物生长受限,为保证作物正常生长,土壤通气孔隙度需要 >10%。当新型改良剂添加比例约为 5% 时,其通气孔隙度为 10%,可以保证作物正常生长需求。日本大堀和信认为,当土壤通气孔隙度为 14% 时,烟草根系最为旺盛,最有利于烟草的正常生长^[23]。据本研究结果,当新型改良剂添加比例约为 12.6% 时,土壤通气孔隙度可达 14%,达到最有利于烟草生长的条件。

土壤通气孔隙孔径较大,是能够优先传导地表降水或灌溉水的物理孔隙^[24]。通气孔隙组成的空间网络为水分和溶质快速通过的优先路径^[25]。添加土壤改良剂为增强土壤通气性能最常用的方法,但一般情况下,通气孔隙的增加效果有限。邓超等^[26]研究发现,在江西渌育性水稻土中长期施用有机肥(猪粪: 7 900 kg/hm^2)+无机肥(N 90 kg/hm^2 , P 19.6 kg/hm^2 , K 62.2 kg/hm^2),土壤通气孔隙度增加了 3.5%。可见,

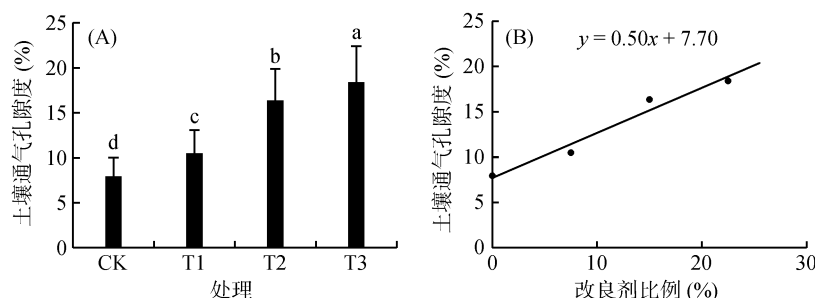


图 3 新型多孔改良剂对土壤通气孔隙度的影响

Fig. 3 Effects of novel porous amendments on soil aeration porosity

传统改良剂对增加土壤通气孔隙度虽然有一定效果,但土壤通气孔隙度增加比例较小,本研究采用的新型改良剂对增加土壤通气孔隙度的效果更为明显(2.7% ~ 10.6%),更有利于作物的生长和产量的提高。

2.3 新型多孔改良剂对雨后土壤通气性能的影响

毕节烟区降水量在苗期和移栽期较少,而 7—8 月集中降水^[27],这正是烟草生长最为关键的季节。烟草生育期内降水量过分集中,土壤水分饱和,通气孔隙长时间被水分占据,造成土壤通气不畅,不利于烟草的生长^[28]。为此,本研究测定了土壤水分饱和后土壤通气孔隙的变化过程。图 4 为环刀原状土壤样品被水分饱和后通气孔隙度随时间变化的趋势,可见,4 个处理的土壤通气孔隙度均随着时间的推移而增加。CK 处理的土壤通气孔隙度在各个测试时间均低于添加新型多孔改良剂的处理,一直保持 5% 左右的差距,而添加新型多孔改良剂的 3 个处理之间差异较小。

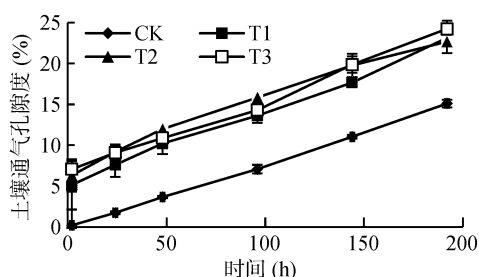


图 4 新型多孔改良剂对土壤饱和和持水后通气性能的影响

Fig. 4 Effects of novel porous amendments on soil aeration porosity after water saturation

由于贵州黄壤质地黏重,导致土壤的导水能力差,不能保证农作物生长所需的氧气,容易造成农作物不能正常生长。土壤通气孔隙度越大则吸收雨水或灌溉水的能力越强,从而减少表层径流或土壤滞水情况的出现,并保证土壤通气良好。刘铭等^[29]认为,在淹水条件下烟草根系生长受阻,水分和矿质元素的

吸收、运输能力下降,生理机能紊乱,促使烟叶外部形态出现萎蔫、黄叶等现象,导致产量和品质的降低。其研究表明,当烟草淹水 2 d 后,烟草下部叶开始出现萎蔫现象,4 d 后大部分烟叶均出现萎蔫现象。本研究结果显示,未添加改良剂的 CK 处理,雨后土壤水分饱和后,其通气孔隙度重新达到 10% 需要 130 h,超过 4 d,若此时土壤上有烟草种植,烟株会长时间处于缺氧状态,严重威胁其存活;T2 处理和 T3 处理雨后土壤水分饱和后,通气孔隙度重新达到 10% 则仅需要 34 h 和 37 h,土壤通气不良的时间大大缩短,对烟株的生长影响较小;T1 处理则需要 52 h,超过 2 d,土壤通气不良状态时间较长,将会轻微影响烟株生长。

3 结论

新型多孔改良剂改良板结土壤效果良好。添加新型多孔改良剂可以显著增加土壤通气孔隙度,进而有效改善土壤通气性能。每增加 1% 体积比的新型多孔改良剂,将会增加 0.5% 土壤通气孔隙度。为保证作物的正常生长所要求的 10% 通气孔隙度,需要添加 5% 体积比的新型多孔改良剂;为保证烟草生长所需的最佳土壤通气孔隙度 14%,需要添加 12.6% 体积比的新型多孔改良剂。为了保持雨季良好的土壤通气性能,避免烟草长时间淹水,对烟草生长造成不可逆的伤害,需要添加 15% 体积比的新型多孔改良剂。

参考文献:

- [1] 金林,孙荣国,陈卓,等. 贵州喀斯特区域农村面源污染研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(35): 94-98
- [2] 赵欢,张萌,秦松,等. 贵州黄壤小白菜生长、品质、光合特性及氮素利用对新型肥料的响应[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(10): 1320-1327
- [3] 李渝,张雅蓉,张文安,等. 贵州黄壤地区不同施肥处理及降雨量对玉米产量的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(1): 230-235

- [4] 李坡. 喀斯特地区过度开发土地资源的环境变异[J]. 贵州科学, 1996, 14(3): 27–33
- [5] 雷宏军, 胡世国, 潘红卫, 等. 土壤通气性与加氧灌溉研究进展[J]. 土壤学报, 2017, 54(2): 297–308
- [6] 胡青青, 李恋卿, 潘根兴. 生物质炭醋糟复配物代替草炭对辣椒幼苗生长的影响[J]. 土壤, 2017, 49(2): 273–282
- [7] 蔺亚莉, 李跃进, 陈玉海, 等. 碱化盐土掺砂对土壤理化性状和玉米产量影响的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2016(1): 119–123
- [8] 李云飞, 张立新, 廖超英, 等. 粘土掺砂对烤烟氮、钾含量和光合特性及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(2): 85–89
- [9] 邱学礼, 高福宏, 方波, 等. 不同土壤改良措施对植烟土壤理化性状的影响[J]. 西南农业学报, 2011, 24(6): 2270–2273
- [10] 罗兴录, 岑忠用, 谢和霞, 等. 生物有机肥对土壤理化、生物性状和木薯生长的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(1): 167–173
- [11] 梁元振, 赵京考, 吴德亮, 等. 秋施有机肥对土壤生物学、理化性状及玉米产量的影响[J]. 水土保持研究, 2017, 24(3): 113–118
- [12] 张艺, 戴齐, 廖超林, 等. 增施或减施有机物料对长期培肥红壤性水稻土团聚体组成的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(1): 28–32
- [13] 康倍铭, 徐健, 吴淑芳, 等. PAM 与天然土壤改良材料混合对部分土壤理化性质的影响[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 68–72
- [14] 吕春娟, 毕如田, 陈卫国, 等. 土壤结构调理剂 PAM 对复垦铁尾矿砂物理性状的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(6): 240–245
- [15] Busscher W J, Novak J M, Caesar-Tonthat T C. Organic matter and polyacrylamide amendment of Norfolk loamy sand[J]. Soil & Tillage Research. 2007, 93(1): 171–178
- [16] 周虎, 李文昭, 张中彬, 等. 利用 X 射线 CT 研究多尺度土壤结构[J]. 土壤学报, 2013, 50(6): 1226–1230
- [17] Głąb T. Effect of soil compaction and N fertilization on soil pore characteristics and physical quality of sandy loam soil under red clover/grass sward[J]. Soil & Tillage Research, 2014, 144(144): 8–19
- [18] Fan X, Pedroli B, Liu G, et al. Soil salinity development in the yellow river delta in relation to groundwater dynamics[J]. Land Degradation & Development, 2012, 23(2): 175–189
- [19] 李志明, 周清, 王辉, 等. 土壤容重对红壤水分溶质运移特征影响的试验研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 101–103
- [20] 张凯. 辽西褐土耕层结构障碍因素分析及其耕作培肥措施研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- [21] 郑存德. 玉米高产田棕壤物理特征[J]. 西北农业学报, 2014(1): 93–97
- [22] Lipiec J, Hatano R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth[J]. Geoderma, 2003, 116(1): 107–136
- [23] 郝葳, 田孝华. 优质烟区土壤物理性状分析与研究[J]. 烟草科技, 1996(5): 34–35
- [24] 刘目兴, 吴丹, 吴四平, 等. 三峡库区森林土壤大孔隙特征及对饱和导水率的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(11): 3189–3196
- [25] 陈晓冰, 程金花, 陈引珍, 等. 基于林分空间结构分析方法的土壤大孔隙空间结构研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(11): 174–186
- [26] 邓超, 毕利东, 秦江涛, 等. 长期施肥下土壤性质变化及其对微生物生物量的影响[J]. 土壤, 2013, 45(5): 888–893
- [27] 丁伟. 贵州省烤烟化学成分与土壤和气象因子的关系分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2006
- [28] 张振平. 中国优质烤烟生态地质背景区划研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2004
- [29] 刘铭. 淹水对烟草理化特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(24): 13008–13009

On Aeration Enhancement of Yellow Soil by a Novel Porous Amendment

SUN Yiquan^{1,3}, WANG Meiyun^{1*}, HUANG Huagang², XIA Gengrui^{1,3}, SHI Xuezheng¹, ZHANG Zhongqi³, XU Shengxiang¹, SUN Weixia¹, CAI Lianghai², BAN Guojun², CHEN Yao², XIA Zhongwen²

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 2 *Bijie Branch Company, Guizhou Tobacco Company, Bijie, Guizhou 551700, China*; 3 *School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China*)

Abstract: In order to study the effects of novel porous amendments on improving aeration of clayey yellow soil, an experiment was conducted in Bijie of Guizhou by adding different proportions of amendments to soil, and then soil porosity and aeration porosity were measured. The results showed that soil porosity and aeration porosity were increased with the increase of the proportion of novel porous amendments. Compared with CK, soil total porosities under 7.5%, 15.0% and 22.5% amendment-adding treatments increased by 2.7%, 3.1% and 3.2%, respectively, and soil aeration porosities increased by 2.7%, 8.6% and 10.6%, respectively. After the water saturation, 130 h, 52 h, 34 h and 37 h were required to provide oxygen enough to ensure the growth of the crops for CK and three amendment-adding treatments, respectively. It shows that the novel porous amendments can effectively increase soil porosity and improve soil aeration of clayey yellow soil, thus, is a new way to improve clayey soil.

Key words: Novel porous amendments; Yellow soil; Soil aeration; Bijie