秸秆还田在盐渍土改良中的研究进展与前景分析

吴从稳[1,2]，陈小兵[2,3*]，金海珠[1]，孙运朋[4,2]，颜 坤[2,3]，张立华[2,3]

（1.烟台大学 生命科学学院，山东 烟台 264005；2.中国科学院烟台海岸带研究所，山东 烟台 264003；3.中国科学院海岸带环境过程重点实验室，山东 烟台 264003；4. 鲁东大学 地理与规划学院，山东 烟台 264025）

摘 要：秸秆还田是一种改善土壤质量的有效的技术方式。作者系统梳理和归纳了国内外近 20 多年来秸秆还田技术在土壤改良方面的主要研究进展，阐述了秸秆还田对盐渍土物理结构、有机质含量、土壤养分、微生物及土壤酶活性方面的影响。通过分析不同秸秆还田方式的优缺点，指出了秸秆还田技术的发展前景，提出通过研发综合性机械、推进农业规模化生产，配合秸秆工厂化处理、并与有机农业产业化、改善生态环境相结合才能更好地实现技术创新和普遍推广。

关键词：秸秆还田；盐渍土；改良；研究进展；前景分析

The Research Progress of Straw Returning in Coastal Saline Soil Improvement and Prospect Analysis

WU Cong-wen[1,2], CHEN Xiao-bing[2,3], KING Hai-zhu[1], SUN Yun-peng[4,2]

(1.Institute of Life Science of Yantai University, Yantai 264005, China; 2. Yantai Institute of Coastal Zone Research Chinese Academy of Scieces, Yantai 264003, China; 3. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003，China; 4. College of Geography and Planning of Ludong University, Yantai, 264025，China)

Abstract: Straw returning is an effective form of technology to improve the soil, mainly include direct and indirect methods. The domestic and foreign research progress is summarized in saline soil characteristics and the saline soil improvement by straw returning. An overview of the influence of the physical structure, organic matter content, soil nutrient, microorganism and soil enzyme activities of saline soil with straw returning. Finally, through the analysis of advantages and disadvantages of the different ways of straw returning, the development prospects of straw technology is pointed out, and raised that only combined with the research and application of comprehensive machinery, agricultural production and straw factory processing, and organic agriculture industrialization, improve the ecological environment can better to accomplish technology innovation and the general promotion.

Keywords: straw returning; saline soil; improvement; research progress; prospects

盐渍土是由于自然和人为因素所导致的低产盐土和碱土的总称，肥力表现出“瘦、冷、死、板”，有机质含量低等特征[1]。中国地域广阔、气候条件差异较大，盐碱土几乎分布全国各地。

据调查表明，我国盐碱地总面积为 9 913.3 万 hm^2 现代盐渍化土壤面积约 3 693.3 万 hm^2，残余盐渍化土壤约 4 486.7 万 hm^2，潜在盐渍化土壤为 1 733.3 万 hm^2[2]。全国耕地面积仅占到土地总面积的 13.9%。而连年耕地种植，使土壤有效成分得不到及时补充，土壤有机质含量逐年下降；长期大量的施用化肥容易导致土壤板结、地力衰退，土壤盐渍化趋势增大[3]。对于盐渍土和次生盐渍土的改良问题一直受到大家关注，并且提出了多种改良方案，如水利措施、物理措施、化学措施等[4]。而秸秆还田技

基金项目：公益性行业(农业)科研专项经费项目（200903001）；海洋公益性行业科研专项（201105020）；黄河三角洲生态环境重点实验室（2008KFJJ03）

作者简介：吴从稳（1987-），男，山东菏泽人。硕士研究生，主要从事土壤质量与农产品安全研究。 E-mail: wucongwen@163.com

通信作者：陈小兵（1974-），男，山西万荣人。博士，副研究员。主要从事海岸带盐碱土水肥盐运移过程与农业可持续发展研究。 E-mail: xbchen@yic.ac.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

术无疑是一种经济、高效的盐渍土改良措施。

中国秸秆资源丰富，据统计，全国每年有约 6 亿 t 秸秆，其中水稻秸秆量约占 31%，玉米和小麦分别约占 24%和 21%[5]。秸秆的不合理利用如焚烧、堆积和遗弃等，既造成资源浪费，又造成环境污染[6]。秸秆未经任何处理直接用于肥料、燃料和饲料的传统应用模式，限制了秸秆利用率，制约了经济效益的进一步提高[7]。研发新的秸秆还田技术成为人们发展可持续农业和改善土地资源所关注的焦点。

1 秸秆还田的方式

目前我国主要研究的秸秆还田技术种类很多，主要分为直接法和间接法两种。

1.1 直接法

直接还田技术是将作物的秸秆直接施入土壤中，使其不断熟化的过程[8]。此种方法比较方便、快速，可大大减少用工，且还田数量较多。但是，增产作用却无明显变化，有时还会产生一些病虫害、死苗等不良后果。近几年采用直接还田的方式较为普遍。我们常用的直接还田方式主要有以下几种。

1.1.1 翻压还田

翻压还田是在作物收割过程中有意留茬或直接机械化粉碎，撒入农田并在耕田过程中翻压入土。随着农业机械化的不断进步，此类方法应用较为广泛。该方法优点在于省时、省力，还草量大。但由于秸秆还田量过大或不均匀，容易造成土壤中微生物在分解、转化秸秆中纤维素等营养成分时，与作物幼苗争夺营养成分，从而导致幼苗营养不足，出现黄苗、死苗、减产等现象[9]。同时由于作物秸秆中的碳氮比例较高，玉米为 53:1，小麦为 87:1，为满足作物秸秆腐烂所需的 20:1~25:1 的碳氮比，所以在秸秆直接还田后要追加一定比例的氮肥[10]。秸秆覆压还田具有改善土壤物理结构、增大有机质含量等优点，但同时也会引起了一些不良效应，如孔隙大小比例不均、空隙较大，导致跑风；土壤过松，种子与土壤结合不紧密，影响正常发芽，发芽后扎根不牢，容易吊根；易发生病虫害等[3,8,9]。

1.1.2 覆盖还田

秸秆覆盖还田是将秸秆粉碎后直接覆盖在地表或整株倒伏在地表，可以减少土壤水分的蒸发，达到保墒的目的[10]。该方法同样存在省时、省力的有点，但地表秸秆易影响作物种植，同时给灌溉带来了不便，造成了水资源的大量浪费。这种形式只适合机械化点播，但目前点播设备匮乏。这种方式有时也比较适宜干旱地区及北方地区，进行小面积的人工整株倒茬覆盖[3]。由于此类方法的周期较长，不能有效的改善土壤结构和肥力，农作物增产效果不明显，所以应用较少。

1.2 间接法

1.2.1 堆沤还田

秸秆堆沤还田是指利用生物化学技术将催腐剂或腐秆与大量秸秆混合堆积，利用快速堆腐剂产生大量纤维素酶，较短的时间内将作物秸秆沤腐成有机肥，并施入土壤的过程[11]。李启海指出把吸足水分的秸秆压紧后喷施催腐剂或稻秆灵，肥堆、密封发酵，夏天8 ~ 15d，冬天15 ~ 25 d 即可完全腐熟[12]。随着堆沤还田技术的不断成熟，寻找高效催熟剂和菌种成为了世界关注的话题。

早在1997年，中国农科院原子能研究所就研制开发出“301”菌剂，四川省农科院土肥所和合力丰实业发展公司联合开发了高温快速堆肥菌剂。后来Kato 等分离出单菌*Clostriduium thermosuccinogenes* sp. Nov. 具有分解天然稻秆的能力[13]。同时很多实验都表明*Clostridium* sp.具有同时分泌多种纤维素酶和半纤维素酶的能力[14,15]。汪根法指出，用堆腐剂进行稻草堆肥时，每500kg稻草追加3.5kg尿素调节C/N比，可促进堆腐稻草快速升温和加速腐熟[16]。中国农业大学刘长莉等指出常温纤维素分解菌群能够加速稻秆分解，5天分解稻秆总重量高达到39.6%[17]。这些实验表明，随着生物技术的不断进步，堆沤还田技术的大规模推广成为了可能。

1.2.2 过腹还田

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

过腹还田就是将作物秸秆作为家畜饲料，通过家畜消化吸收，以粪尿形式归还土壤。目前，普遍推广应用的主要有青贮氨化过腹还田技术。实现了秸秆—饲料—牲畜—肥料—粮食的良性循环[18]。秸秆经过青贮、氨化、微贮处理，饲喂牛、马、羊等牲畜后，通过发展畜牧增值，而畜粪尿又作为肥料施入土壤。农作物秸秆中粗纤维的含量占到 31%~45%，蛋白质含量较少占 3%~6%，同时还含有钙、磷等矿物质[19]。将秸秆的回收利用与农业养殖相结合，不但能解决资源浪费问题，同时还增加了农民副业收入[20]。唐海龙等指出，农田耕种过程中仅利用常规化肥量的 25%和 50%，其余亏损的氮以牛粪补充，在增加土壤有机质和土壤速效养分含量等方面具有极其显著的作用[21]。这是一种经济效益很高的秸秆利用方式，在畜牧业较发达的地方值得推广。据统计，德州市每年玉米青贮量在 200 万 t 以上，约占秸秆年产量的三分之一。一般认为青贮还田要求收获后必须立即进行处理，技术要求高，浪费精力，所以影响了推广。

1.2.3 碳化还田

传统模式中将秸秆直接焚烧，这不仅造成环境污染、资源浪费，而且还损失了大量有机质和养分，这种方法不可取。

随着秸秆还田技术的不断进步，科学家们提出了以一种新的秸秆还田技术—秸秆热解技术。秸秆热解技术是指将秸秆热解处理转化为生物碳，施入土壤后，可以达到增加土壤有机质的目的。秸秆在制成生物碳后保留高达 60%的碳比例，不仅在其施入土壤后具有很好的稳定性和增加土壤碳库，而且还可以减少其他温室气体的排放量[22]。Glasel 等报道，土壤施加生物碳后，作物产量比对照组增加 20%~100%[23]。生物碳能够增加土壤中总有机碳（TOC）含量，而且增加幅度与施用量呈正比；而微生物有机碳含量的增加幅度与施用量成负相关[24]。

2 秸秆还田对盐渍地改良的影响

2.1 秸秆还田对盐渍土物理性质的影响

一般盐渍土的含盐量高，土壤容重大，结构紧密，透气性差，持水性较弱，对植物生长和生态环境均有很大影响。施用作物残体能够提高水田耕层土壤孔隙度和非毛管孔隙度，降低土壤容重，提高土壤团聚体和微团聚体的含量，起到疏松土壤、增强通透性等作用，并能提高土壤蓄水保水性能，从而改善土壤。

张锐等研究表明，麦秸培肥能够增加盐渍土孔隙度，提高土壤对盐分的吸附能力，降低土壤 pH[25]。王利民实验表明，盐碱土层的土壤密度与 CK 相比降低 4.79%~7.53%，同时土壤持水量、孔隙度随着秸秆和鸡粪的施用量增加而升高[26]。陈金海等证实，用互花米草/羊粪混合堆料后的滨海盐碱土，土壤容重较对照（仅施加有机肥）下降 11.9%，土壤通透性降低，盐分含量有所下降[27]。孙荣国等研究发现，秸秆腐解产生的腐殖质和多糖等有机化合物可以在膨润土和聚丙烯酰胺（PAM）的协同作用下，通过一些复杂的过程使沙土形成复粒，进一步分解为微团聚体，改善土壤团粒结构 [28]。

秸秆还田对于土壤温度和水分状况也有一定影响。研究表明，秸秆覆盖还田可以抑制水分蒸发，提高土壤的持水能力，对于降低盐渍土盐份浓度有一定作用[29,30]。

2.2 秸秆还田对盐渍土有机质影响

土壤有机质是指存在土壤中所有含碳的有机化合物，主要包括土壤中各种动、植物残体，微生物体及分解、合成的有机化合物。土壤有机质能够改善土壤结构，增加土壤肥力，提高生物活性和土壤酶活性。有机质对土壤中重金属、农药等污染物有一定的吸附和固定作用，具有十分重要的生态效应。

土壤有机质是土壤活跃程度的一个重要指标。严慧峻等指出，土壤有机质含量随小麦秸秆施用量增加而增加，并呈直线相关[31]。I. V. Rusakova 等实验表明，通过长时间的秸秆还田可以有效增加土壤中有机质和腐植酸的含量 [32]。范富等研究表明，玉米秸秆还田对西辽河地区盐碱地有明显效果，以秸秆用量为 6 kg·m^{-2}、掩埋深度为 10cm 的处理组合改良效果最为显著，土壤中有机质含量增加高达 57.9%[33]。张金柱的等研究表明，

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生物有机肥可以降低中度盐碱土的 pH，有效缓解植物生长对有机质的消耗[34]。以上实验都表明，秸秆还田可以增加盐渍土中有机质含量，改善土壤肥力。

2.3 秸秆还田对盐渍土养分的影响

滨海盐渍土盐分主要以氯化物为主，土壤表层盐分在 0.14%~3%之间，土壤结构性差，肥力低，不经改良治理，很难进行农业生产[35]。陈金海等研究表明，芦苇秸秆还田可以有效地增加盐碱土土壤孔隙度，降低土壤容重，使土壤盐分易于冲刷，抑制表层积盐[36]。研究表明，秸秆还田可以提高土壤中速效钾的含量，而且对于土壤表层（0~20 cm）阳离子交换量有显著提高[37]。

土壤中氮元素分为有机氮和无机氮，作物生长发育对于氮素的供应依赖性很大，其中土壤无机氮和可矿化性氮共同反应了土壤供氮能力[29, 39]。研究表明，秸秆还田可以增加土壤氮矿化量，提高土壤碱解氮含量，还能提高氮肥利用率[40-42]。王丽娜等的实验发现，秸秆还田和配施有机肥后，随着有效成分的释放，土壤有效 P、K 也随之增加，在秋季进入冬季过程中，养分吸收和淋失均有所减弱，而春季和夏季后，随着吸收、淋失等作用的增强，土壤有效 P 和速效 K 随之降低并趋于稳定[43]。张立宾等指出，碱篷的种植能有效改善滨海盐渍土的结构，增加有机质含量，并认为这是由碱篷枯枝落叶和腐烂根系所致[44]。而土壤结构能够影响土壤中 N、P、K 的调控机制以及在生态系统中的转移和循环特征[45]。秸秆还田还能够抑制溶解性磷，无机态氮的流失[46]。同时，秸秆不仅含有 N、P、K、Ca、Mg 等大量营养元素，同时还是 Fe、Cu、Zn、Mn 和 B 等微量元素的供应源。劳秀荣等的表明，土壤有效锌、铁、锰含量随秸秆还田量的增加而提高[47]。

2.4 秸秆还田对盐渍土微生物的影响

土壤微生物是土壤营养成分的搬运工，同时还具有土壤养分转化的重要作用，所以土壤中微生物的含量及其种类在很大程度上说明了土壤活力。细菌和放线菌为滨海盐土优势菌群，在土壤生化反应中占主导作用，土壤细菌数量多，其次是放线菌[48]。

以滨海盐渍土为对象进行秸秆还田实验，发现微生物的耐盐性对其增幅效果有很大影响，其中耐盐性较强的放线菌数量变化不明显，而耐盐性弱的真菌数量增加最大[26,49]。刘建国等研究发现，随着长期秸秆还田的影响，细菌逐渐减少，放线菌逐渐增加，真菌先增加后减少[50]。这可能是秸秆还田对土壤微生物提供了丰富的碳源、氮源，促进了微生物的大量繁殖，从而使微生物的组成结构和数量发生变化，提高了土壤微生物活性 [51]。秸秆中含有大量的纤维素，在其还田后分解过程中促进了大量纤维素菌的生长繁殖[52]。

2.5 秸秆还田对盐渍土酶活性的影响

土壤酶活性是土壤重要的肥力指标，是有机质和养分转化的关键因子[53]。

据王利民研究发现，随秸秆和鸡粪施用量增加，滨海盐碱土脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和磷酸酶活性均有所增加[26]。艾孜古丽.木拉提证实，施肥及秸秆还田以不同程度地提高了 0~20cm 和 20~40cm 土层土壤转化酶，脲酶和磷酸酶活性[54]。武际等的研究证实，土壤脲酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性均呈现“前期迅速增加，中期急剧减少，后期缓慢减少”的变化趋势，而纤维素酶活性却呈现“前期剧升、中期缓增、后期骤降”的变化趋势[55]。土壤中酶活性随着耕作措施及不同作物生长而发生动态变化。李春霞等的实验表明，磷酸酶活性在小麦生育期内呈现先降后升的趋势，而在玉米生育期内则呈上升趋势，转化酶活性则刚好与其相反[56]。

3　前景分析

随着农业产业化的不断发展，近年来对于秸秆还田技术的研究逐步深入。但是现在秸秆还田技术仍不成熟，人们对其认识不够深入。农民多选择焚烧、丢弃的方式处理作物秸秆，即使选择还田也多为直接还田。直接还田简便、快捷、省时、省力，但效果较差，有时还会引起一些病虫害等问题。翻压还田现在应用最为普遍，秸秆还田后追加化肥和生物制剂成为其未来发展的方向。间接还田有很好的还田效果，但操作繁琐、技术要求高、周期长，推广起来比较困难。而只有做好以下几点才能更好的实现秸秆还田的技术创新和普遍

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

推广。

（1）综合性农用机械的研发与应用

随着科技的不断进步，大型综合性农用机械不断出现在人们的视野中。谷物联合收割机、玉米秸秆粉碎还田机等大型机械的应用为农业的快速发展提供了技术保障。未来秸秆还田必须和机械化结合，实现秸秆的快速粉碎、播撒、翻压等过程，同时研发新型机械用于不同地质、地貌的农业操作。研发适用于不同作物品种生产的农用机械，能够快速收集秸秆，便于秸秆的集中处理。

（2）农业规模生产及秸秆工厂化处理

中国的农业生产以个体为主，农作物的种植种类繁多，同种作物种植比较分散，这给农业机械化生产带来诸多不便。农业规模化生产有利于规范性管理和技术引进，而秸秆集中处理能够增加秸秆还田的效率和质量。2013 年“中央一号文件”首次提出“家庭农场”概念，这为农业规模化、集约化、商品化生产经营提供了指导性方向。秸秆工厂化处理能够更好的控制反应条件，并有利于最新技术的应用。

（3）秸秆还田与生物、化学技术相结合

秸秆的腐解处理需要微生物和土壤酶的参与，为更好的实现秸秆再利用需要依靠生物化学手段。由于秸秆中纤维素的降解速度很慢，严重影响秸秆的腐解速率。目前，人们已经筛选出能够使作物秸秆分解的菌株，但是这些菌剂一般分解效率低，反应条件严格，对秸秆分解不具有普遍性性，很难推广。新的微生物和酶在更加温和的条件下实现秸秆快速、高效的腐解成为大家关注的问题。由于秸秆中 C/N 一般较高，这严重影响到秸秆的还田质量，配施一定比例的化学肥料对土壤肥力以及作物生长和产量有很大的帮助。经过不同化学方法处理的秸秆，其还田效果也不尽相同。不断探索新的化学处理方法将有利于提高秸秆对土壤的改良效果和增加作物产量。

（4）秸秆还田技术与有机农业产业化

根据全国政协十二届一次会议第 0001 号提案最终确定为《关于加强绿色农业发展的建议》，这说明绿色农业和有机农业一直都是全国人们备受关注的话题。有机农业是在生产中完全或基本不用人工合成的肥料、农药、生长调节剂和畜禽饲料添加剂，而采用有机肥满足作物的营养需求。秸秆还田技术是实现有机农业健康发展的有效措施。秸秆还田技术减少了农业生产中化肥、农药等化学药剂的使用量，减少环境污染，改善产业结构，从本源上预防了农副产品的食品安全问题，有力的促进了有机农业产业化的健康发展。有机农业产业化的不断倡导和发展也很大程度上促进了秸秆还田技术的不断进步和完善。

（5）秸秆还田技术与改善生态环境相结合

农业中生物化学试剂的大量使用严重破坏了土壤生态环境。秸秆还田能够改善土壤结构，提高土壤酶活性，增加土壤中微生物总量，引起微生物区系变化。从而提高土壤–植物–大气循环速率，加快生态环境改善步伐。秸秆还田还可以减少农药、化肥施用量，减少环境污染。秸秆还田与改善生态相结合有利于国家相关政策的执行和技术的全面创新。

参考文献：

[1] 俞仁培,陈德明.我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报, 1999, 30(4) :158–159.

[2] 王遵亲,等.中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社, 1993, 400–515

[3] 刘长跃.秸秆还田的利与弊[J]. 农业环境与发展, 2004, (5):37–38.

[4] 刘阳春,何文寿,何进智,等. 盐碱地改良利用研究进展[J]. 农业科学研究, 2007, 28(2):68–71.

[5] 高祥照,马文奇,马常宝,等.中国作物秸秆资源利用现状分析[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(3):242–247.

[6] 刘文志.作物秸秆还田的综合评价[J]. 现代化农业, 2008, (2):17–19.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[7] McCarty P, F. Mosey. Modelling of anaerobic digestion processes (a discussion of concepts)[J]. Water Science & Technology, 1991, 24(8):17–33.

[8] 孙颉,胡敏,谢笔钧.秸秆还田的效果与方法[J]. 精细化工, 2000, 17(7):431–434.

[9] 倪立琢,黄珊珊.浅谈秸秆还田技术[J]. 农机使用与维修, 2008, (2):56–56.

[10] 刘娣, 范丙全,龚明波.秸秆还田技术在中国生态农业发展中的作用[J]. 中国农学通报,2008,24(6):404–407

[11] 孙学亮. 秸秆堆腐还田技术及效益分析[J]. 现代农业科技, 2010, (9):296–297.

[12] 李启海. 秸秆还田技术的方式及影响[J]. 现代农业科技,2010,(015):322–323.

[13] Kato S, Haruta S, Cui Z J, et al. Effective cellulose degradation by a mixed–culture system composed of a cellulolytic Clostridium and aerobic non–cellulolytic bacteria[J].FEMS Microbiology Ecology, 2004, 51:133–142.

[14] Hatsumi S, Hironori I, Shohei A, et al. Isolation and characterization of a new Clost–ridium sp. that performs effective cellulosic waste digestion in a thermophilic methan–ogenic bioreactor[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2006, 72(5):3702–3709.

[15] Koukiekolo R, Cho H Y, Kosugi A, et al. Degradation of corn fiber by Clostridium cellulovorans cellulases and hemicellulases and contribution of scaffolding protein CbpA. Applied and Environmental Microbiology, 2005, 71: 3504–3511.

[16] 汪根法. 秸秆速腐剂堆腐稻草的用法、用量及肥效试验[J].中国农技推广, 2012, 28(2):40–42.

[17] 刘长莉,王小芬,郭鹏,等.常温秸秆还田菌群的筛选及分解稻秆特性研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(1):105–111.

[18] 吕小荣,朱马西努尔夏提,吕小莲.我国秸秆还田技术现状与发展前景[J]. 现代化农业, 2004, (009):41–42.

[19] 毕于运.秸秆资源评价与利用研究[D]. 北京：中国农业科学院.2010

[20] 高艳玲.固体废物处理处置与资源化[M]. 北京：高等教育出版社2007: 37

[21] 唐海龙,徐玉新,蒋高明,等.化肥减施及秸秆过腹还田对土壤理化性质的影响——以弘毅生态农场为例[A]. 中国环境科学学会.2011中国环境科学学会学术年会论文集（第二卷）[C]. 中国环境科学学会, 2011:6

[22] Sohis, Loez C, Krulle. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research[J]. CSIRO Land and Water Science Report. 2009, 05(09): 64.

[23] Glaser B, Lehmann J, Zeeh W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal–a review[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35: 219 – 230.

[24] 游东海.秸秆直接还田效果及秸秆热解制成生物炭还田模拟研究[D]. 西安：西北农林科技大学, 2012.

[25] 张锐,严慧峻,魏由庆,等.有机肥在改良盐渍土中的作用[J]. 土壤肥料, 1997, 4:11–14

[26] 王利民.滨海盐土培肥改良利用技术及植物耐盐性研究[D]. 南京：南京林业大学.2010.

[27] 陈金海, 王红丽,王磊,等.互花米草/羊粪混合堆肥还田对滨海盐碱土壤的改良效应: 实验室研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(3):513–521.

[28] 孙荣国,韦武思,马明,等.秸秆–膨润土–PAM 改良材料对沙质土壤团粒结构的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2):162–166.

[29] 路文涛.秸秆还田对宁南旱作农田土壤理化性状及作物产量的影响[D].西安：西北农林科技大学.2011.

[30] 叶丽丽,王翠红,彭新华.秸秆还田对土壤质量影响研究进展[J]. 湖南农业科学, 2010(010):52–55.

[31] 严慧峻,刘继芳,张锐,等.黄淮海平原盐渍土有机质消长规律的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1997.3(1):1–8.

[32] Rusakova I, A. Es’ kov. Evaluation of the effect of long use of straw on restoration of organic matter in sod–podzolic soil[J].Russian Agricultural Sciences, 2011.37(5):400–403.

[33] 范富, 徐寿军, 宋桂云, 等.玉米秸秆造夹层处理对西辽河地区盐碱地改良效应研究[J].土壤通报, 2012, 43(3):696–701.

[34] 张金柱, 郭春景, 张兴, 等.生物有机肥对中度盐碱土理化性质影响的研究[J]. 湖北农业科学, 2009, 47(12):1420–1422.

[35] 张凌云, 赵庚星, 徐嗣瑛, 等.滨海盐渍土适宜土壤盐碱改良剂的筛选研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3):21–23

[36] 陈金海, 李艳丽, 王磊, 等.两种基于芦苇秸秆还田的改良措施对崇明东滩围垦土壤理化性质和微生物呼吸的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(002):307–315.

[37] 张淑香,吕庭宏.旱塬农区秸秆还田对土壤理化性质的影响[J].土壤肥料, 1999(004):15–17.

[38] 满洪喆.秸秆改制材料对沙质土壤钾素的调控影响[D]. 重庆：西南大学, 2010.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[39] 谢秋发,刘经荣,石庆华,等.不同施肥方式对水稻产量、吸氮特性和土壤氮转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 05:462–467.

[40] 李贵桐, 赵紫娟, 黄元仿, 等. 秸秆还田对土壤氮素转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2):162–167

[41] 黄琴.作物秸杆还田对土壤养分含量的影响[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2006, 24(3):277–279.

[42] 余冬立, 王凯荣, 谢小立, 等. 基于稻草还田的氮肥优化管理研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 25(6):1547–1553.

[43] 王丽娜, 陈金林, 梁珍海, 等. 黄麻秸秆还田及有机肥对滨海盐土的改良试验[J]. 林业科技开发,2009, 23(3):88–91.

[44] 张立宾,徐化凌,赵庚星. 碱蓬的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果[J]. 土壤, 2007, 39(2):310–313.

[45] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报, 2005, 36(3):415–421.

[46] 丁炳红.紫云英等有机物料还田对稻田氮磷损失及重金属活性的影响[D]. 杭州：浙江农林大学, 2012.

[47] 劳秀荣,孙伟红,王真,等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4):618–623.

[48] 孙佳杰, 滨海盐渍土微生物分布及菌肥改良效果研究[D]. 天津：天津理工大学.2010.

[49] 林学政,沈继红,刘克斋,等.种植盐地碱蓬修复滨海盐渍土效果的研究[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(1):65–69.

[50] 刘建国,卞新民,李彦斌,等.长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5):1027–1032.

[51] 张晶, 秸秆还田土壤中与纤维素降解相关的微生物的分子生态学研究[D]. 上海：上海交通大学, 2007.

[52] 顾爱星, 张艳, 石书兵, 等. 秸秆覆盖法对土壤微生物区系的影响[J].新疆农业大学学报, 2006, 28(4):64–68.

[53] 马晓霞, 长期施肥管理对塿土酶活性的影响[D]. 西安：西北农林科技大学, 2012.

[54] 艾孜古丽.木拉提. 施肥及秸秆还田对农田土壤有机碳及其组分和酶活性的影响[D].西安：西北农林科技大学, 2012.

[55] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响[J].生态学报, 2013, 33(2):565–575.

[56] 李春霞,陈阜,王俊忠,等. 秸秆还田与耕作方式对土壤酶活性动态变化的影响[J]. 河南农业科学, 2006, 11:68–70

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net