基因组学与应用生物学，2019年，第38 卷，第6期，第2725-2730页

评述与展望

Review and Progress

多群落配置下滨海盐碱土壤修复研究进展

曹世伟 金辰 \* 上海园林绿化建设有限公司, 上海, 200333

\* 通信作者 , [541781228@qq.com](mailto:541781228@qq.com)

摘 要 滨海土壤盐碱化是中国沿海城市土壤质量健康的重要危害之一，由于受区域气候及地下水位共同 影响控制，其盐碱化过程往往不可逆转。目前，众多滨海土壤盐碱污染地区所采用的物理和化学修复手段，存 在修复频率高，人工物料成本大，具备二次污染风险等问题，因此，针对该区域土壤进行计划性的乔-灌-草 植物群落配置，依靠单一物种在土壤固定深度的精确修复能力和发挥不同物种间的协同净化潜力进行土壤 水盐控制及肥力恢复具有重要的生态学意义。本综述总结了近几年滨海盐碱土壤恶化现状，对比分析了多种 修复手段各自优劣性，从乔-灌-草多群落配置修复模式的地下部根系系统对土壤不同深度物理结构重塑 和肥力培育入手、举例分析多群落系统如何发挥修复潜力。同时，重点探讨了单一群落植物筛选与应用、多群 落配置原则等几个修复过程中的关键性步骤，最终对多群落配置修复模式下滨海盐碱土壤复垦进行总结并 举例说明，探讨多群落配置下进行盐碱土壤复垦的原理及未来发展方向，以此为基础为未来滨海土壤恢复提 出建议，旨在为中国沿海城市滨海盐碱土壤利用提供借鉴。

关键词 多重植被体系, 滨海盐碱土, 根系作用, 土壤修复

Research Progress on the Fertility Restoration and Salt-Water Control of Multiple Community in the Coastal Saline-Alkali Land

Cao Shiwei Jin Chen \*

Shanghai Gardening-Landscaping Construction Co. Ltd., Shanghai, 200333

\* Corresponding author, [541781228@qq.com](mailto:541781228@qq.com)

DOI: 10.13417/j.gab.038.002725

Abstract Coastal soil salinization is one of major hazards of healthy soil quality for coastal cities in China. The salinization process is often irreversible under the effects and control of regional climate and groundwater level. Currently, physical and chemical restoration measures employed by many areas with coastal soil salinization pollution are of high restoration frequency, huge cost of labor and materials, and secondary pollution risk. Therefore, for the soil of these areas, the arbor-shrub-grass plant community configuration is popular planned. The soil water-salt control and fertility restoration with the reliance on the precise restoration capability of a single species at the fixed soil depth and the exertion of collaborative purification potential among different species are significant in ecology. This paper summaried the current situation of coastal saline-alkali soil deterioration in recent years, compared and analyzed the advantages and disadvantages of several restoration measures, started with physical structure remolding and fertility fostering at different soil depths by underground root system with the restoration mode of arbor-shrub-grass community configuration, and analyzed how to realize the restoration potential by the multi-community system with examples. Simultaneously, this paper mainly discussed the key steps of the selection and application of a single plant community, multi-community configuration principles and other restoration process,

基金项目：本研究由上海建工集团股份有限公司重点科研项目(15JCSF-17)资助

引用格式：Cao S.W., and Jin C., 2019, Research progress on the fertility restoration and salt-water control of multiple community in the coastal saline-alkali land, Jiyinzuxue Yu Yingyong Shengwuxue (Genomics and Applied Biology), 38(6): 2725-2730 (曹世伟, 金 辰, 2019,多群落配置下滨海盐碱土壤修复研究进展,基因组学与应用生物学, 38(6): 2725-2730)

and finally, summarized coastal saline-alkali soil reclamation at the multi-community configuration restoration mode and describes it with examples, and discussed the saline-alkali soil reclamation principles and future development orientation at the multi-community configuration. Based on the above, suggestions on coastal soil restoration in future are proposed to be as the reference for coastal saline-alkali soil utilization of coastal cities in China.

Keywords Multiple community, Coastal saline-alkali land, Root action, Soil reclamation

盐碱土（Saline-alkali soil）是指同时含有过量可 溶性盐及较多交换性钠离子土壤的统称，滨海盐是 盐碱土的一大分支，受地下水位影响，常常呈现出 “盐随水来，盐随水去”等特征，土壤耕层（0〜20 cm）以 上在高蒸腾季节析盐极快，在高降雨季节盐分沉降 也极为迅速。高频率的盐分垂直及水平运动导致土 壤物理性状不稳定，土壤结构被破坏，土壤养分不能 有效固持和释放，从而进一步威胁地上部植被系统， 彻底破坏该区域土壤及植物本应该拥有的生态功能 （张蛟等, 2017）。

近20年，各地区在滨海盐碱土壤区域种植耐盐 植物防护林成为主流做法，并于防护林种植前期辅 以各种物理化学方法进行快速的盐分控制。随着各 类工程不断出现，虽然取得了一定成绩，但是也存在 极为严重的问题，经常出现所移栽防护林“一年绿， 二年黄，三年进灶膛”等死亡现象。现阶段所采用的 工程去盐+护林改造”的措施，其生态功能和景观 均难以持续维持。

如何在恶劣的滨海盐碱土壤环境中找寻一种低 成本、可持续发展、亲生态的直载或者移栽绿化技术 已经成为亟待解决的关键问题之一。本综述从多群 落植被体系协同净化入手，通过阐述其中单一群落 精确调节土壤固定深度物理结构及多群落配置体系 下的根系系统优势等多方面分析其缓解滨海盐碱土 壤盐碱化过程的原因，举例说明多群落配置下的土 壤水盐运动及土壤肥力恢复潜力，以期为后期滨海 盐碱地修复利用提供有效参考。

1. 中国滨海盐碱土壤危害及修复手段现状
2. 1 中国滨海盐碱土危害现状

在中国，盐碱土壤主要分布在华北、西北及东部 沿海地区,其中滨海盐碱土壤面积约为1.3x106hm2, 占全部盐碱土面积的1/3，并且以每年10%的递增率 进行扩大（陈巍等,2000）。在中国长达18 000 km的海 岸线及众多岛屿辐射附近，拥有十分丰富的盐土资 源，其中大部分属于经济发达地区，但其中约 30%正 在受盐碱化影响，这种影响大部分是由土壤所属区域 气候所控制，小部分是由不合理的沿海开发工程及人 工耕作制度导致。 由气候控制导致的滨海盐碱土壤 的盐碱化过程几乎不可逆，虽然过程较缓慢，但是形 成后的大面积盐碱化区域无论是在景观构建、农业资 源开发、地产开发等潜在的利用前景上均十分有限。 潜移默化的形成过程及形成后长期撂荒的滨海盐碱 土壤无异是沿海城市区域经济发展及土壤资源利用 的痛点之一，在土壤结构重塑、土壤肥力恢复、土壤 景观构建等多个方面，参考现阶段技术，并不存在一 种普适的经济型做法，其代价往往是耗费巨大的修复 资金、投入过量人力物力，修复结果也极为保守。

1.2 国内外常见修复手段

客土法及原位淋洗法是应用较为广泛的滨海盐 碱土壤物力修复手段，采用异位客土及原位淋洗的 手段能够迅速将盐分含量较高的污染区域降低至合 理范围内，但是修复后的二次盐碱化过程却很难控 制。 因此，在客土法及原位淋洗过程中或者过程后配 合人造林工程协同修复逐渐成为现阶段较为流行的 复垦方式，采用耐盐植物例如水杉、落叶松等，通过 其生命史进程中的根系作用及耐盐特性，对土壤物 理结构进行调整和重塑，减缓二次盐碱化过程。 但 是，受制于不同污染区域差异化的土壤水盐浓度及 运动特征，可供选择的植被种类较为有限，而耐盐植 物的耐盐特性（聚盐性植物,泌盐性植物）也会增加在 后期维护过程中的困难程度，以泌盐性耐盐植被为 例，虽然能够较好的生存与滨海盐碱土壤之上，但是 其根系范围内的高盐分含量导致区域植被系统单 一，破坏其他植被系统生态位，最终导致群落生态单 一，无法实现复合生态功能。 滨海盐碱土壤的化学修 复手段有别于物理及生物修复，其目的往往是利用 淋洗液的鳌合或盐沉淀特性达到快速修复，修复时 间快，修复效果好，但是同样存在修复后的二次盐碱 化危害及修复过程中的土壤属性破坏等问题，该修 复方式下的修复土壤往往需要经历土壤肥力重建等 过程，而在修复剂的选择上也较为有限，通过具有鳌 合或沉淀作用的淋洗液在淋洗过程中，对地下水的 危害也难以控制。

综上所述，滨海土壤盐碱化过程虽然难以遏制， 但是却可以通过综合手段减缓其速度，而物理及化 学修复手段存在修复频率高，修复成本大等问题。通 过地上部植被系统进行可持续修复不仅可以覆盖受 污染土壤盐碱化的所有时间段，配合植被根系对土 壤物理结构进行重塑也是前二种修复手段所不具备 的。中国已全面开展滨海盐碱土壤的人工造林复垦 工程，例如上海老港地区的人工造林工程，黄河三角 洲地区的复合人造林工程等，均有效遏制了滨海土壤 盐碱化速度并形成了具有重要生态功能的防护林植 被系统。在构制盐碱土壤地上部植被系统时，参考多 种植被系统的不同生态功能，进行多群落的种间配 合，能够有效放大不同植物之间的协同修复效应，最 大化利用盐碱土壤区域有限的生态位，防止形成单一 的地上部生态系统（万媛媛等, 2017）。

1. 多群落配置地下部优势

2.1 土壤物理结构重塑

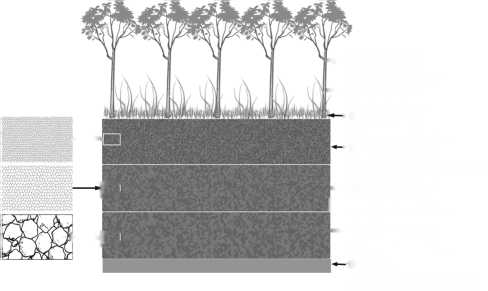
多群落植物配置可以在草本、灌木、乔木 3 大类 型之中进行构建，也可以进行草 - 灌 - 乔之间的复合 构建。而地下部的根系系统构建则是多群落配置的 关键，盐碱土壤水盐运动并不是固定存在于某一深 度，而是在垂直与水平方向上都在无时无刻进行。以 草本植物为例，根系深度有限，因此很难改良盐碱土 壤深处性状，依然存在大容重、小孔隙度、低田间持 水量等病症，依然会有较多盐分随深层土壤的毛细水 回到草本植物的根系所在深度，但由于在草本植物所 在深度已具备高孔隙度特征，蓄积雨水能力强，因此 会在此深度抑制水盐向表层返析，形成浅部积盐层。 相比较草本植物，灌木根系系统大部分分布在 20 cm 以下土层并在水平方向上散射分布，因此，灌木的深 层根系系统能够在更深位置进行土壤孔隙切割及形 成。地下水位过高是土壤盐碱化的主要原因之一，乔 木根系系统的深度较草本、灌木两者能够更好的直 达地下水层，通过直接的根系水交换，直接削弱地下 水的蒸腾速率，大大降低了地下盐水的顶托作用，配 合上部灌草系统所形成的土壤孔隙，自上而下形成 孔隙通道，加速上层土壤盐水下渗，切断下层盐水上 升的毛管孔隙。乔 - 灌- 草 3 种不同群落配置，依靠 其位于不同深度的根系系统互相协同，通过交织穿 插、腐烂、消除大小孔隙中的阻塞空气，使土壤产生 循环良好的干湿交替，提高土壤水分运动速率与气 体扩散强度，从而不断缓解土壤板结性、达到协同减 小容重的目的（图 1）。王璐等（2014）通过对崇明东滩 湿地围垦区内的 10 年不同植物群落配置模式下的 土壤主要理化性质研究发现，灌草复合种植模式下 的土壤物理黏粒增加 57.8%，容重减小 13.7%，总孔 隙度增加 18.2%，田间持水量增加了17.8%，而单一 种植草本和灌木的植被体系只在固定深度对土壤物 理结构具有改善作用。

2.2 土壤肥力库构建 多群落配置下的盐碱土壤不仅能够在物理结构 上进行垂直和水平方向上的综合改善，减小甚至消 除盐分运动的必要前提条件，同时也能够改善长期 撂荒盐碱地的肥力特征。曹流芳等利用不同灌草体 系研究发现，由三叶草 -慈孝竹 -黄花苜蓿组成的 复合体系具有优秀的土壤表层养分改良效果，而由 单一灌木伞房决明组成的植被体系则在 40 cm 以下 具有土壤改良能力（曹流芳, 2014）。草本植物根系系 统一般呈现为深度低，但是在耕层范围错综复杂等 特点，深层土壤只能得到其根系析出并随着下渗水 而来的微弱可溶性盐分，因此对深层土壤养分肥力 构建效力微弱，但依靠其根系不断分泌的小分子酸 等具有鳌合特性的根系分泌物，可以很好的活化耕 层固持在土壤颗粒中的微量元素。而灌木和乔木的 大根系系统则在更深层次的土壤位面进行元素释放 和交换。不同植物对土壤肥力改良的速度有所区别， 在完全不进行任何人工施肥措施的前提下，耐盐性 植物能更好的适应完全撂荒的盐碱土壤环境。

1. 多群落配置筛选体系

3.1 草本植物筛选

在滨海盐碱土壤区域，尤其是围垦滩涂湿地生 态系统中，草本植物的选择必须遵循高生物量、快速 生长、具有聚盐特性等原则，因此，常见自然速生型 草本有碱蓬草和芦苇，两者都是依靠高生物量和强 壮的根系系统对耕层甚至更深深度土壤进行物理结



►

; ►

P

P

—乔木植物体系

Arbor plant system

—灌木植物体系

Shrub plant system

•草木黝体索 Herbaceous plant system

•草本根系作角层

Herbaceous root work layer

J灌木根系作用层

I Shrub root work layer

J乔木根系作用层

Arbor root work layer 地下水层

Underground water layer

图1 乔-灌-草多群落配置地下部生态功能

Figure 1 Underground ecological function of multiple community by arbor-bush-herbaceous system

构切割和重塑，从而缓解土壤盐碱化过程。 巩晋南等 (2009)以上海市崇明滩1998年的围垦湿地为例，通过 基于彩红外航片的方式发现碱菀草能够迅速在以原 生芦苇为主要群落的生态系统中争夺生态位，年扩 散速度达到143 m，而尚克春等(2014)通过模拟高盐 都人工湿地试验，发现芦苇的耐盐范围是碱蓬草的 1~1.5 倍。 草本植物的耐盐范围并不等同于其聚盐 能力，植物耐盐机制主要是依靠根部细胞的渗透压 调节而实现，但是聚盐潜力却是从根部吸收盐分并向 上转运的能力，转运系数越高，土壤脱盐能力越好。 刘雅辉(2017)调查了4种草本植物的聚盐特性及转 运能力，发现碱蓬草对Na+和Cl-离子拥有优秀的吸 收能力，但是随着生命史的进行积累比例持续下降， 同样，孙博等( 2012)发现芦苇在不同生长阶段内吸 收盐分含量不同，在成熟期达到最大值，在枯黄期逐 渐递减，并且叶片中的盐分含量高于根和茎。 适用于 盐碱土壤的草本植物种类多样，诸如田菁、高丹草、 红麻等，但根据受污染区域盐分含量的不同，必须选 择在该耐受范围内的植株种类，同时，由于污染区域 光照时间和年积温的区别，也必须考虑到所选植株能 否在其生命史最旺盛的阶段覆盖在高蒸腾反盐期 内。在草本植物根系系统中，匍匐茎系统是部分草本 植物具备的特殊结构，其在盐碱地控盐过程中具有 重要的生态学意义，以耐盐植物百慕大草为例，纵向 生长的根系系统完成耕层土壤孔度疏松工作，而在旺 盛期，位于地面上的匍匐茎系统可以通过横向生长在 盐土表面形成一层致密的根系保护层，有利于在高蒸 腾期减缓土壤水分蒸腾强度，有效保持土壤表层湿度。

3.2 灌木植株筛选

区别于草本植物快速生长特性，灌木类植物生命 史较长，很难在盐碱污染区域通过自然生长达到理 想的修复时间，多数依靠人工移栽发挥其根系系统 在深度土壤中的作用效果。刘玉娟(2015)选取了5种 柴达木盆地的乡土灌木植物，设立模拟实验研究其耐 盐特性，通过存活率、叶水势、净光合速率、胞间 CO2 浓度日变化趋势等指标得出怪柳和白刺为优秀的耐 盐灌木。 肖克飚等(2013)同样发现怪柳较其他二种草 本植物拥有更好的土壤初始入渗率调节能力，与对照 相比提高9.96倍，同时降低表层盐分含量比例达到 86.4%,最高作用深度达到60 cm。灌木在盐碱地修复 过程中的生态学意义不仅体现在土壤固定深度的孔 度调节等，其地上部叶幕与冠幅的存在及其大小可以 很好的补充没有匍匐茎系统的配套草本植株缺失有 效土壤表层保水的功能，史滟滪等(2015)在天津市静 海县轻中度盐碱地上以 9 种常见灌木为试验材料， 调查发现西府海棠拥有3.28 m的叶幕厚度，红宝石海 棠则具有最高的冠幅宽度，达到2.33 m，同时对比研 究发现土壤表层保水量与叶幕厚度和冠幅均呈显著 正相关联系。 由于较大的叶幕厚度和冠幅，滨海盐碱 土壤污染区灌木叶片在进行光合作用时比草本类植 株更容易发挥释氧固碳等生态功能(康健等, 2012)， 王娟等(2013)通过观测6种常见盐碱绿化灌木叶片 中的光系统II (PS II)发现,在盐浓度高于50 mmol/L 的土壤条件中，金银忍冬的叶绿素荧光参数变化幅度 较小，因此既能够发挥其在地下部的孔度调节功能， 也能够在地上部进行无影响的光合作用作业。

3.3 木本类植株筛选

大型木本类植物对盐碱土壤的修复能力集中体 现在深层次土壤物理结构重塑和削弱地下水托顶作 用等方面，其对降低表层土壤的析盐作用较为有限。 陈苗苗等(2017)对比研究了本木类耐盐植物白蜡和灌 木类植物怪柳对土壤孔度的调节，结果发现在60 cm 深度，白蜡处理下的土壤孔度达到45.34%，怪柳为 42.28%。 大型乔木在和灌木组成多群落系统时的相 互影响根据种间合作方式的差异而不同，张桂霞等 (2016)调查4种盐碱环境下的乔灌组合林与其纯种 林之间的生长差异，发现国槐-忍冬系统、国槐-榆 叶梅系统、合欢-金银木系统中的国槐、榆叶梅、合 欢的株高年均增长量均显著低于其纯种林，而其余 配套模式中的乔木树种各项指标均显著高于其纯种 林，这可能是由于种间相互竞争-合作造成的。 因 此，在进行乔木植物筛选过程中，应当注意其成林后 对低处灌草植株的影响。

3.4 植物配套原则

草、灌、乔混合种植模式不仅能够有效对不同深 度土壤进行全方面的物理结构重塑，也能够发挥其 在地上部的多生态位功能，在选择多群落配置前，应 按照以下原则进行合理选育和配套。

(1)密度合理性，在有限的生态位最大程度发挥 不同物种之间的修复功能是关键所在，当先期利用 草本植物进行先锋种驻扎时，其播种密度不能超过 该区域最大承载密度，以保证种子萌发率与存活率， 当先锋草种成苗并达到一定覆盖度后，形成“地衣 层”，从而降低土壤表层水分蒸发速率，减缓表面析 盐速率。 当草本植物正常进入生命史并发挥一定功 能后，种植或者移栽灌木植物，保证其叶幅、叶冠拥 有良好的光线和降水通过率，不能完全遮蔽住底层 草本所需生长空间，当灌木系统稳定生长后，降低草 本层以上的土壤水分蒸发速率，防风控温，配合草本 植物匍匐茎系统共同调节地表径流。 当各系统进入 生命史后期时，根系与地上部落叶自然腐解后形成 的腐殖质系统，进一步疏松土壤，减小土壤容重，增 加土壤孔隙度，加强耕层土壤水分通过率。

(2)他感作用排除，在部分耐盐碱植物根系分泌 物和掉落物中，具有一些高度克生物质，例如酚类化 合物中的苯甲酸、萜类化合物中的单萜烯、炔类化合 物中的母菊酯、生物碱结构中的文朵灵等(杨德福等, 2017)。以耐盐灌木怪柳为例，当其生长在低盐分土土 壤中时，根系会吸收并从叶孔盐隙分泌大量可溶性 钠盐，通过此方式将土壤深处可溶性盐输送到表层 并富集，形成高浓度盐区，当该区域盐分浓度超过其 配套植株耐受范围时，从而达到驱逐他物的目的(李 小钌等,2008)。耐盐植物白蜡对吲哚类化合物反应极 其敏感，因此在选育白蜡作为木本类修复植物时，应 尽量避免其配套植物的根系分泌物或凋落物种含有 高浓度的吲哚类化合物。

4 结语

滨海盐碱土壤的盐碱化过程可以通过各类手段 得到遏制，利用多群落配置发挥不同植物在盐碱土 壤地上部和地下部的盐碱调节功能是一种理想的可 持续复垦手段。 但是根据土壤盐碱化程度差异，土壤 类型差异，污染土壤所属区域气候差异等先决条件 的区别，如何选择植物搭配体系，最大化发挥不同植 物间的协同修复能力，仍然是有待解决的问题之一， 未来的研究重点可以集中在以下几个方面：(1)加强 单一耐盐性植物，尤其是聚盐性植物的根系聚盐机 理的研究，探究并确定其在根系吸收盐分和向上转 移并固定盐分过程中的关键性转运酶蛋白和基因， 以明确该植物在盐碱地修复过程中的权重地位(任逸 秋等, 2017; 王佺珍等, 2017)；(2)筛选更多适用于滨 海盐碱土壤的适生植株，尤其是高生物量的速生型 聚盐草本植物，发展其成为修复过程中的先锋种和 优势种，在达到一定生物量和聚盐量后引入其他植 被体系进行多群落体系配置；(3)在不同耐盐性聚盐 植物种类中寻找能够相互促生和利用的植株种类， 尽量排除种间排斥作用，构建能够相互融合的多群 落植被体系；(4)加强多群落配置形成并产生作用后 的人工干预研究，通过人工手，例如可以向耕层范围 投入非毒性螯合剂，为多群落植被体系创造富盐条 件，最大化发挥其聚盐潜力(刘莉萍等, 2014; 唐让云, 2015; 孔涛等, 2016)；(5)进一步明确多群落植被体系 在不同蒸腾期和降雨期土壤水盐运动规律，充分掌 握不同时期的聚盐潜力，以此明确最佳种植时间。

作者贡献

曹世伟负责论文写作、修改及整理文献；金辰参 与了论文的校对和定稿。 两位作者都阅读并同意最 终的文本。

致谢

本研究由上海建工集团股份有限公司重点科研 项目(15JCSF-17)资助。

参考文献

Cao L.F., 2014, Improvement effect evaluation on the soil nutrient characteristics of different shrub-herb communities in coastal reclamation area, Thesis for M.S., East China Normal Uni­versity, Supervisor: Wang K.Y., pp.20-31 (曹流芳, 2014, 滨 海湿地围垦区灌草群落对土壤养分特性改良测评, 硕士 学位论文,华东师范大学, 导师:王开运, pp.20-31)

Chen M.M., Liu G.M., Liu D.X., Yang Q.S., Du Z.Y., Wei H.X., Wang X., Zhou J., and Li C.H., 2017, Effect of different plantations on soil physicochemical properties in coastal saline land of the Yellow River delta, Shuitu Baochi Xuebao (Journal of Soil and Water Conservation), 24(6): 41-44 ( 陈 苗苗,刘桂民,刘德玺,杨庆山, 杜振宇, 魏海霞, 王霞, 周 健, 李存华, 2017, 不同人工林对黄河三角洲滨海盐碱地 土壤理化性质的影响,水土保持学报, 24(6): 41-44)

Chen W., Chen B.B., and Shen Q.R., 2000, Studies on the changes of pH value and alkalization of heavily saline soil in seabeach during its desalting process, Turang Xuebao (Acta Pedologica Sinica), 37(4): 521-528 (陈巍, 陈邦本, 沈其荣, 2000, 滨海盐土脱盐过程中 pH 变化及碱化问题研究, 土 壤学报, 37(4): 521-528)

Gong J.N., Wang K.Y., Zhang C., and Ma Y.L., 2009, Invasion and its effects of xerarch halophytes in reclaimed tidal wet­lands, Yingyong Shengtai Xuebao (Chinese Journal of Ap­plied Ecology), 20(1): 33-39 ( 巩晋南 , 王开运 , 张超 , 马永 亮, 2009 , 围垦滩涂湿地旱生耐盐植物的入侵和影响, 应 用生态学报, 20(1): 33-39)

Kang J., Meng X.F., Xu Y.Y., Luan J., Long X.H., and Liu Z.P., 2012, Effects of different vegetation types on soil organic carbon pool in costal saline-alkali soils of Jiangsu province, Turang (Soils), 44(2): 260-266 (康健, 孟宪法, 许妍妍, 栾 蜻,隆小华,刘兆普, 2012,不同植被类型对滨海盐碱土壤 有机碳库的影响, 土壤, 44(2): 260-266)

Kong T., Fu H.X., Lv G., Wang K., and Shu M., 2016, Enhanced release of phosphorus from coastal saline alkaline soil induced by low molecular weight organic acids, Huanjing Huaxue (Environmental Chemistry), 35(7): 1526-1531 (孔涛, 伏 虹 旭, 吕刚, 王凯, 淑敏, 2016, 低分子量有机酸对滨海盐碱 土壤磷的活化作用, 环境化学, 35(7): 1526-1531)

Liu L.P., Liu Z.P., and Long X.H., 2014, Effect of two soil ame- liorant on soil salinity and plant in coastal saline-alkali soil of north Jiangsu province, Shuitu Baochi Xuebao (Journal of Soil and Water Conservation), 28 (2): 127-131 ( 刘 莉 萍 , 刘 兆普, 隆小华, 2014, 2 种盐土改良剂对苏北滨海盐碱土壤 盐分及植物生长的影响, 水土保持学报, 28(2): 127-131)

Liu Y.H., Wang X.P., Liu G.M., Sun J.P., Yao Y.T., and Yang Y. H., 2017, Ions absorption and accumulation in four typical salt-tolerant plants in coastal saline soil region, Turang (Soils), 49(4): 782-788 (刘雅辉,王秀萍,刘广明,孙建平, 姚玉涛, 杨雅华, 2017,滨海盐土区 4种典型耐盐植物盐分离子的 积累特征, 土壤, 49(4): 782-788)

Liu Y.J., 2015, Effect of salt stress on plant physiology of several shrubs in Qaidam Basin, Thesis for M.S., Beijing Forestry University, Supervisor: He K.N., pp.12-33 (刘玉娟, 2015, 盐胁迫对柴达木盆地几种灌木的生理影响, 硕士学位论 文, 北京林业大学, 导师: 贺康宁, pp.12-33)

Reng Y.Q., Jia H.X., Guo Y.H., Xu X.D., Li J.B., Lu M.Z., Fan J. F., and Hu J.J., 2017, Identification and functional analysis of F-box gene from populus euphratica, Fenzi Zhiwu Yuzhong (Molecular Plant Breeding), 15 (5): 1655-1662 ( 任 逸 秋 , 贾 会霞, 郭英华, 徐向东, 李建波, 卢孟柱,樊军锋, 胡建军, 2017,胡杨F-box基因克隆和功能分析，分子植物育种, 15(5): 1655-1662)

Shang K.C., Liu X.B., and Chen X.Y., 2014, Screening of the salt tolerant plants for high salinity wastewater treatment by the artificial wetland, Nongye Ziyuan Yu Huangjing Xuebao (Journal of Agricultural Resources and Environment), 31(1): 74-78(尚克春,刘宪斌,陈晓英,2014,高盐废水人工湿地处 理中耐盐植物的筛选, 农业资源与环境学报, 31(1): 74-78)

Shi Y.Y., Yang J.H., Liang F.H., Liu T., Gong W.Q., and Liu Y.

J., 2015, The growth of 9 common green flower shrubs and small tress on saline-alkali land, Beifang Yuanyi (Northern Horticulture), (22): 61-63 (史滟滪, 杨静慧, 梁发辉, 刘婷, 龚无缺,刘艳军, 2015,九种常见绿化花灌木和小乔木在 盐碱地上的生长比较, 北方园艺, (22): 61-63)

Sun B., Xie J.C., Wang N., Li S.Q., and Li C.J., 2012, Effect of reeds on salt enrichment and improvement of saline-alkali land, Shuitu Baochi Xuebao (Journal of Soil and Water Conserv- ation),26(3):92-101 (孙博,解建仓,汪妮,李双庆,李春娇, 2012,芦苇对盐碱地盐分富集及改良效应的影响,水土保 持学报, 26(3): 92-101)

Tang R.Y., Cao J., Don g F., Dong L.P., and Kong X.D., 2015, Amelioration of salt-affected soils via combination of leach­ing and plant cultivation, Shengtai Xuebao (Acta Ecologica Sinica), 35(17):5686-5694(唐让云, 曹靖, 董放, 董利苹, 孔晓乐,2015,淋洗与植物作用耦合对盐渍化土壤的改良 效应, 生态学报, 35(17): 5686-5694)

Wan Y.Y., Li H.Y., Mo X.Q., and Bao H.Y., 2017, Analysis of inter-specific relationships among community dominant spe­cies after vegetation restoration in coastal saline alkali area, Ganhanqu Ziyuan Yu Huanjing (Journal of Arid Land Reso­urces and Environment), 31(2): 147-154 (万媛媛, 李洪远, 莫 训强,胞海泳, 2017,滨海盐碱区湿地植被恢复后群落优 势种种间关系分析, 干旱区资源与环境, 31(2): 147-154)

Wang J., Ao H., Zhang H.H., Tian Y., and Sun G.Y., 2013, Salt tolerance of PS II in leaves of six kinds of evergreen shrubs and comprehensive evaluation, Jingjilin Yanjiu (Nonwood Forest Research), 31(1): 64-69 (王娟, 敖红, 张会慧, 田野, 孙广玉,2013,6种绿化灌木叶片PS II的耐盐性研究及综 合评价, 经济林研究, 31(1): 64-69)

Wang L., Zhong Q.C., Lu Y., Liu Q., Cao L.F., Gong J.N., and Wang K.Y., 2014, Effects of plant community configuration on physical and chemical properties of coastal polder soil, Turang Xuebao (Acta Pedologica Sinica), 51(3): 638-647 (王 璐,仲启铖,陆颖,刘倩,曹流芳,巩晋楠,王开运,2014,群 落配置对滨海围垦区土壤理化性质的影响,土壤学报, 51 (3): 638-647)

Wang Q.Z., Liu Q., Gao Y.N., and Liu X., 2017, Review on the mechanisms ofthe response to salinity-alkalinity stress in plants, Shengtai Xuebao (Acta Ecologica Sinica), 37(16): 5565-5577 (王佺珍,刘倩,高娅妮,柳旭,2017,植物对盐碱胁迫的响 应机制研究进展, 生态学报, 37(16): 5565-5577)

Xiao K.B., Wu P.T., Lei J.Y., and Ban N.R., 2013, Bio-reclama­tion of different halophytes on saline-alkali soil, Nongye Huanjing Kexue Xuebao (Journal of Agro-Environment Sci­ence), 31(12): 2433-2440 (肖克飚,吴普特,雷金银,班乃荣, 2013,不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究,农业环 境科学学报, 31(12): 2433-2440)

Zhang G.X., Yang J.H., Liu Y.J., Gong W.Q., Lu X.X., and Li J.

K., 2016, Effects of four kinds of combined planting pat­terns of tree and shrub on the growth of afforestation plants, Xinan Daxue Xuebao (Journal of Southwest University (Natural Science Edition)), 38 (7): 82-87 (张桂霞, 杨静慧, 刘艳军,龚无缺,卢兴霞,李建科,2016,4种乔灌组合栽植 方式对盐碱地常见绿化植物生长的影响,西南大学学报 (自然科学版), 38(7): 82-87)

Zhang J., Cui S.Y., Feng Z.X., Wang K.S., and Zhai C.J., 2018, Climate factors and ground mulching affect soil salinity dynamic changes in coastal areas, Zhongguo Shengtai Nongye Xuebao (Chinese Journal of Eco-Agriculture), (2): 294-302 (张蛟, 崔 世友, 冯芝祥, 王奎山, 翟彩娇,2018,气候因子和地表覆盖 对沿海滩涂土壤盐分动态的影响,中国生态农业学报, (2): 294-302