

盐碱地生态修复技术与模式

张春银

盐城绿苑盐土农业科技有限公司，江苏省盐城市，224001

1 简介

1.1 随着全球气候恶化，导致了湖泊干涸，盐湖流域荒漠化趋势加剧，生态环境极度恶劣，对人民生活、生产和经济发展带来巨大威胁。过去，盐渍土改良的技术路线是“改善生态以适应生物”，所采取的工程、农艺、化学、生物等传统改良措施大都有投资大、周期长、效益低的缺点。本项目变革了传统思路，采用了“改良耐盐生物适应盐碱生态”的新路径，即以恢复植被为中心的改良利用模式，提升生态恢复进程，充分挖掘盐生植物潜力，并通过对盐生植物的开发利用，推动地方经济发展。

1.2 其主要技术为：

1.2.1 采用传统系统选育和现代胁迫定向培育相结合的育种体系，以抗盐、高产、优质为目标，选育盐生植物新品种，其中“绿海碱蓬1号”等表现出抗盐、耐瘠、抗逆特性，为干涸盐湖恢复植被生态效益的突破口。

1.2.2 集成品种、耕作、播种、培肥、种植、灌溉等栽培配套技术，加速盐湖生态系统恢复进程。

1.2.3 充分利用盐湖工业污染少，盐生蔬菜营养保健价值高的特点，开发出鲜菜、速冻、脱水、植物盐等产品。建立了品种选育——复壮扩繁——配套栽培技术——农副产品加工利用的盐湖农业产业创新体系，该体系集成了盐湖农业的现代创新技术，达到了社会效益、生态效益、经济效益的同步提升的目的，创造了盐湖荒漠边改良、边收益的典范。

1.3 共有品种权5项，专利3项，地方标准2项，企业3项。

1.4 绿色覆盖面积9.3万亩，其中草地4.25万亩，盐湖菜地5.05万亩。其余0.85万亩已根据地形地貌规划成集雨季蓄洪、排盐排碱、旱时灌溉、渔光互补、康养旅游、湿地保护多功能于一体的水面外，重建生态系统，恢复植物多样性。

1.5 碱蓬群落的生长发育有降低地表温度、减弱地面蒸发、截留风沙和盐碱粉尘、改善土壤表层理化性状的重要作用，可以逐步使盐碱土向湿地、草地、农地演变。

2 研究方法和结论

2.1 项目研究背景

2.1.1 基本情况

盐湖荒漠是我国盐渍土综合治理和改良利用的一个极其重要的组成部份。近年来，随着全球气候变化、湖泊干涸，盐湖流域荒漠化趋势加剧。特别在中国西部和西北部干旱半干旱地区尤其明显，比如在内蒙的查干诺尔干涸盐湖、北京周边的安固里淖、乌拉盖高壁等急速干涸。湖盆流域盐碱荒漠化，严重影响人们

的健康与环境。其中面积 70 平方公里的安固里淖离北京只有 200 公里，被称为“从房檐上往北京撒碱面儿”的干盐湖。研究表明，盐碱尘暴是沙尘暴中最有害的成分，而京津地区尘暴物质主要来源于这些干涸湖泊中的盐碱和粉尘物质。干涸盐湖的增加，沙漠化土地的扩展带来的后果是生态环境的极度恶劣，沙尘暴、雾霾天气越加频繁，严重影响了当地农牧民生产生活，而且对周边的空气质量造成了严重影响，已成为雾霾、沙尘暴的源头。专家研究表明，京津及东亚的盐碱尘暴来源于古代和现代的干涸盐碱湖盆区，对其有效治理已到刻不容缓的地步，对该地区的生态环境保护，发展西部地区经济，开拓具有干旱、半干旱地区特色盐土农业都有现实和长远战略意义。

2.1.2 干涸盐湖治理的思路转变与实践

2.1.2.1 盐土治理的思路变化

土壤盐渍化是一个世界性问题，国内外对这的研究在不断深入和发展。国内对盐渍主改良利用也有 100 多年历史，归纳起来，主要有工程措施，农艺措施，生物措施，化学措施等传统的模式，其缺点是投资大、周期长、效益低。国外对盐碱土的研究在 20 世纪初主要对其地理分布、形成过程、类型及发生学特性等方面进行研究。30 年代重点以水利工程改良为灌溉、水质、防渗及盐碱土改良的基本原理方面的研究和应用。40 年代开始加强化学改良、农业措施、土壤理化性质和水盐运动规律研究。60 年代起，盐渍地的利用和改良着眼点和规模由田块发展到大范围，甚至流域性治理；进入 80 年代开展多学科的综合研究，分别形成了比较完整的水利、生物、物理、化学措施进行治理。九十年代，国内外尝试对作物进行耐盐性状的培育和驯化，培育耐盐植物，直接在盐土上种植，即称为盐土农业。盐土农业的开发利用引起全世界关注，很多盐生植物的利用价值被发掘和评估。

2.1.2.2 盐湖治理的思路转变与实践

中国地质科学院郑绵平院士在国内首先提出盐湖农业的概念，他提出的盐湖农业(盐碱农业)是指在盐(咸)水域和盐碱地环境进行的农业生产，包括盐生动植物养殖和种植，钱学森先生在 1994 年 4 月 24 日指出“盐湖农业不同于一般意义的农业，是利用盐湖生态环境及日照，通过生物生产商品，是农、工、贸与现代科技相结合的知识密集型产业，盐湖农业是 21 世纪的产业”。鉴于以往国内外盐碱地利用研究，多注重采取人工改良土壤工程措施来适应“淡水”、“甜土”作物生长，而提出“盐湖农业”的发展思路是利用现有规模的生物资源或改良抗盐作物，遵循盐碱水土自然形成规律，因地制宜,就地取材，培植适应当地的耐盐和嗜盐品种。

江苏省盐城绿苑盐土农业科技有限公司成立于 2003 年，是一家运用现代科技手段，培育盐土农业作物新品种并从事盐土农业产业化深度开发的省级（江苏）高新技术企业，从始于我国沿海滩涂治理开发到当前面对我国西北干涸盐湖治理开发，已历十八载。

公司位于江苏沿海滩涂，具有天时地利之便，由公司首先在沿海滩涂开发盐土农业研究工作，并以多项成果、品种权、专利及配套技术，形成了盐土农业技术新体系。该体系改变传统盐土改良先降低土壤盐碱再进行农业牧业生产的模式，克服了其投资大、周期长、效益低的弊端，适宜应用我国经济条件比较优越的东部滨海盐土。

国外盐土农业成果的转化也主要应用于沿海滩涂，在我国也是如此。为此，绿苑公司探索东部沿海滩涂综合治理的成果和经验应用于治理盐湖荒漠取得成功。2008 年开始参与韩国生态和平亚洲（NEO）

项目在内蒙开展了查干诺尔盐碱干湖盆治理项目，提供沿海碱蓬 1 号（后江苏省定名为绿海碱蓬 1 号）试验种植 5000 亩，2009 年种植 15000 亩，2010 年种植 20000 亩，形成大片绿色覆盖，开创了在西部盐碱荒漠推广、种植并收到明显生态效益的先河。

2.1.2.3 安固里淖干涸盐湖治理的提出

素有“坝上明珠”之称的华北第一大高原内陆湖泊——安固里淖于 2004 彻底干涸。过去千百年来碧波荡漾的 10 万多亩水域，从 2004 年起变成了一片白花花、寸草不生的盐碱地。安固里淖，蒙古语意思是有鸿雁和水的地方，位于河北省张北县境内，是华北地区第一大高原内陆湖，水域面积曾达 10 万多亩，湖畔草原面积 23 万亩。近年来，坝上地区自然生态迅速恶化：连续多年大旱，年平均降水量不足 350 毫米，加上当地人们在生产活动中严重超采地下水，过去的 200 多个湖淖中真正有水的已所剩无几。如今，该地区沙漠化面积已达 99.53 万公顷，占总土地面积的 27%，其中坝上地区康保、尚义、张北三县沙漠化面积已由过去的 2.9 万公顷增加到 66.7 万公顷，目前荒漠面积正以每年 20% 的速度递增。一个个生机勃勃的“淖”消失了，取而代之的是大片荒滩。

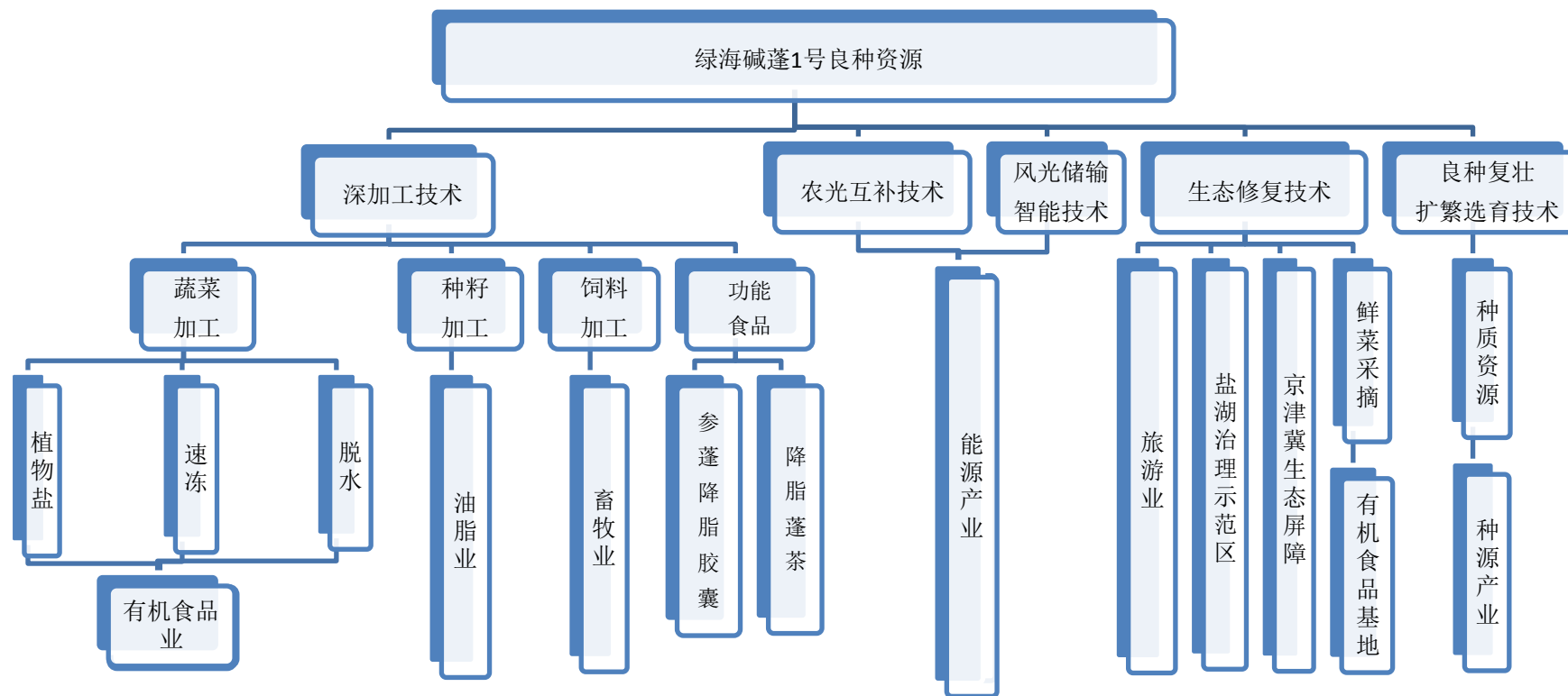
为此，通过与张北县人民政府的多次调研、互访、沟通，开始了本项目的实施。至此，安固里淖盐湖生态治理全面展开。从 2008 年始于内蒙查干诺尔盐湖治理到河北安固里淖干涸盐湖治理成功，是从美国提出的盐土农业概念到中国科学院郑绵平院士提出的盐湖农业概念又一次创新、发展和成功实践，也是我国盐渍土治理从理论到实践的重大突破。

2.2 项目技术路线

根据张北县人民政府和盐城绿苑盐土农业科技有限公司《投资合作框架协议》和《安固里淖干涸盐湖合作治理开发协议》关于对“张北县安固里淖的 10 万亩盐湖进行生态治理，8 年内实现区域内绿色全覆盖，逐步完成其他相关产业发展。形成生态治理与产业发展的有机融合”的要求，这里制定了两项要达到的具体指标，一是通过生态治理达到 10 万亩区域内的绿色全覆盖，二是开发产品逐步完成相关产业的发展。

围绕目标，我们采取如下技术路线，通过技术路线的实施，基本达到生态治理区域绿色全覆盖和生态治理与产业发展有机融合的目标。

图1 技术路线



2.3 技术原理和主要技术特征

2.3.1 生态治理部分

2.3.1.1 技术原理

过去，人们对盐碱地的认识，首先是看到其有害之处——不利于农业生产。因此，采取的措施是改良土壤——降低土壤盐分。通过改造盐碱地而发展传统农业，实际这是花费颇多而又有很大的局限性，特别是在淡水资源短缺的干旱、半干旱地区更是难以有效进行。

因此，对于中国盐碱地的治理改造和开发利用，应该改变传统思想，运用生态修复原理，充分挖掘盐生植物潜力，恢复或重建生态环境，发展盐土农业，变不利因素为有利条件，变废为宝，促进盐碱地区农业和生态持续健康发展。

2.3.1.2 主要技术特征

1、选用“绿海碱蓬1号”新品种为干涸盐湖生态治理的先锋作物，为项目建设打下坚实基础。

●选育“绿海碱蓬1号”新品种，为项目建设提供坚实基础。

“绿海碱蓬1号”新品种是我公司于2001年开始采用传统系统选育和现代胁迫定向培育相结合的育种方法，历经株行圃、株系圃、品系圃、品系比较、品种预备试验、品种比较试验等严格筛选汰劣选优阶段，历经近十载于2009年江苏省农作物品种审定委员会审定命名的盐生植物新品种。

在品种比较试验中，“绿海碱蓬1号”表现出其抗盐、耐瘠、抗逆的特性，保持了碱蓬固有的丰富营养价值，生物量较对照当地野生品种增产一成以上。

表1 抗性鉴定结果

检测项目	第一年结果		第二年结果		两年结果平均	
	本品 种	对照	本品 种	对照	本品 种	对照
抗盐性	13‰	9‰	12.5 ‰	10‰	12.8 ‰	9.5‰
抗病性	无病 害	无病 害	无病 害	无病 害	无病 害	无病 害
抗虫性	无虫 害	无虫 害	无虫 害	无虫 害	无虫 害	无虫 害
抗倒性	抗倒 伏	抗倒 伏	抗倒 伏	抗倒 伏	抗倒 伏	抗倒 伏
耐瘠性	耐瘠	耐瘠	耐瘠	耐瘠	耐瘠	耐瘠
耐湿性	较差	较差	较差	较差	较差	较差

表2 品质检测结果

检测项目	第一年结果		第二年结果		两年结果平均	
	本 品种	对 照	本 品种	对 照	本 品种	对 照
含水量(g/100g)	84.8 0	85. 61	83.2 9	84. 59	84.0 5	85. 1

碳水化合物(g/100g)	0.68	0.48	0.63	0.51	0.66	0.57
粗蛋白(g/100g)	4.19	3.8	4.36	3.86	4.23	3.83
粗脂肪(g/100g)	0.39	0.31	0.42	0.30	0.41	0.31
胡萝卜素 (mg/100g)	3.89	3.06	4.05	3.12	3.97	3.09
维生素C(mg/100g)	16.56	16.17	15.78	16.02	16.34	16.1
钙(mg/100g)	234	210	221	235	228	223
铁(mg/100g)	18.03	18.23	18.78	18.09	18.41	18.16
硒(mg/100g)	0.011	0.009	0.012	0.001	0.012	0.001

表3 产量表现情况

试验结果	第一年	第二年	第三年	平均
产量变幅(公斤/亩)	1021-1305	1103-1398	1088-1412	1071-1372
平均产量(公斤/亩)	1163	1251	1250	1222
对照产量(公斤/亩)	1016	1108	1098	1074
较对照增减产(%)	14.47	12.91	13.84	13.74

表4 “绿海碱蓬1号”特征、特性描述

幼苗形态(习性)	碱蓬幼苗呈灰绿色，茎直立、肉质化，分枝对生，有节；
成株形态	碱蓬成株平均株高 135cm，株冠覆盖半径 40cm 左右。
收获物特征	食用鲜菜为肉质茎或幼嫩籽荚，长约 5-7cm；种子直立，卵形，有钩状刺毛，重约 1mg。
抗倒性	株高 100-150cm，抗倒性强。
耐寒性	地温 6-7℃以上，块茎萌发出苗；气温 12℃以下，生长缓慢。
耐旱性	生长发育过程中有较强的耐湿性，不需用水浇灌，耐干旱。
耐湿性	生长发育过程中不耐长期水淹。
耐瘠性	可在土壤有机质及其它养分含量极低的盐土中生长。
田间抗病性	田间病虫草害较少。

“绿海碱蓬1号”分别在内蒙古、新疆、宁夏等盐漠地区进行示范推广，获取较高评价。

内蒙古师范大学地理科学学院和生命科学学院于2009年对绿海碱蓬1号和当地碱蓬进行发芽率、相对发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数等在可溶性盐分0.63-0.58%，酸碱度9.36-10.38%的土壤中进行试验。结果证明在重盐土中，绿海碱蓬1号的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均高于当地品种，

而且对土壤有着更好的适应性。

2011 年在内蒙对“绿海碱蓬 1 号”干涸盐碱盆地生态治理项目进行了科学鉴定，专家组认为：该项目在国内率先探索出一条有效控制干涸盐碱盆地沙尘暴源头的新途径，配套技术处于国际先进水平，与会专家一致同意通过科技成果鉴定。

正如主流媒体“一粒江苏种子救活干涸盐湖”为题的报道，选用“绿海碱蓬 1 号”是安固里淖生态治理成功的重要经验和基础。

2、建立企业赵其国院士工作站，开展碱蓬种植的相关栽培研究，为项目建设提供理论支持。通过盆栽试验、小区试验、和土壤样品采集、耐盐植物种植、相应的田间管理资料收集、室内分析等基本获得如下结果：

●土壤含水量变化

在碱蓬的整个生育期内，土壤含水量呈现出随时间的变化趋势，各个处理中土壤含水量的最高时期出现在 5 月分，最低时期出现在 6 月分，0-20cm、20-40cm 土层的土壤含水量具有相同的变化趋势，随天气的变化波动明显。

●土壤容重变化

将各个处理的土壤容重进行 LSD 多重比较可知：0-20cm 土层的土壤容重，碱蓬种植最小，与 ck 相比均达到显著性差异($P \leq 0.05$)；20-40cm 土层的土壤容重与 0-20cm 土层具有相同的变化趋势，达到了显著性差异水平($P \leq 0.05$)。

在盐渍土施入肥料能够有效地增加土壤养分，促进植物的生长，增强了根系活力，从而改善了土壤结构，对土壤容重的降低起到了不同程度的促进作用。由此可知，在盐渍土种植植物对土壤容重的降低起到明显的作用。

●土壤盐分变化

纵观碱蓬的整个生育期土壤盐分含量的变化趋势可知：表层土壤(0-20cm)盐分含量明显地受着季节的影响，春季播种后，降雨量较小，当地处于多风干燥天气，蒸发量较大，各个处理的土壤盐分含量处于生育期内最高值，当进入夏季雨热同期降水量较大，土壤盐分随着水分向下淋洗，表层土壤(0-20cm)呈现出明显的脱盐状态，随着水分向更深层次进一步淋洗，在土壤剖面的 20-40cm、40-60cm 土层，土壤盐分表现为升高的趋势，甚至会引起 60-80cm 土层的盐分升高，进入秋季，降水量减少，地表蒸发也随之增大，在雨季淋洗到底层的土壤盐分也随上升的水分迁移到土壤表层，使盐分再次呈现表聚现象。

●土壤酸碱度变化

碱蓬处理的土壤 pH 随着季节具有一定的变化规律。从 4 月份到 7 月份之间均有不同程度的升高，0-20cm、60-80cm、80-100cm 土层的土壤 pH 在 7 月份达到同一土层的最大值；7 月到 9 月间又呈现出了下降的趋势；9 月到碱蓬收获期，土壤 pH 又呈现急剧地上升，20-40cm 在碱蓬收获期达到同层次生育期内最高值。

●盐生蔬菜种植品质调控技术

该技术针对有机肥及 N 肥施用显著提高产量以及营养成分，兼顾产量与品质，推荐使用中等 N (10 kg/亩) 配施 80 kg /亩有机肥；针对 P 肥对提高碱蓬产量和营养成分的效果以及 N 肥的主导效应，使用高 N (15 kg/亩) 高 P (9 kg/亩) 肥料方案，利用 N、P 互作效应促进碱蓬丰产高品质。

●盐生蔬菜 Na⁺/K⁺比灌溉调控技术

该技术综合考虑盐生蔬菜不同生育期 Na⁺/K⁺比的变化特点以及灌溉调控的规律，提出苗期淡水灌溉、

旺盛生长期用 10‰左右矿化度的咸水灌溉、生长期后期采用 3‰左右的微咸水灌溉可控制盐生蔬菜叶部、茎部的 Na⁺/K⁺比,同时结合中 N (10 kg N/亩) 低 P (3 kg N/亩) 肥料方案,调节盐生蔬菜的选择性吸收系数

●通过研究发表相关论文 2 篇:《碱蓬施肥对苏北滩涂盐渍土的改良效果》,《施用氮磷肥对苏北滩涂围垦土壤盐渍化水平的影响》。

发明专利 1 个,名称:一种沿海滩涂碱蓬高品质种植的水肥供施方法

一种沿海滩涂碱蓬高品质种植的水肥供施方法,根据盐生蔬菜碱蓬的可食用性增加产量和降低盐分指标值,将滩涂盐渍土平整土地,起畦开沟;向滩涂盐渍土施入尿素和过磷酸钙增加土壤有效态养分,确保土壤肥力状况良好以及养分均衡。通过氮肥和钾肥的协同效应,调节碱蓬的离子选择性吸收。通过氮肥的投入促进碱蓬的生长,通过磷酸二氢钾的使用补充土壤钾素,改善土壤 Na/K 离子比例,调节碱蓬对离子的选择性吸收能力,进而降低碱蓬植株体内的 Na/K 比,改善碱蓬的口感与品质。

院士工作站的研究为盐土快速开发土壤加速培育和农业高值利用提供技术支持,同时可为盐碱荒漠的生态建设、植被恢复、环境整治提供一定借鉴。

3、发挥碱蓬先锋作物作用,创新播种技术,使项目尽快形成新型群落。

我们的先期试验研究和经验证明,碱蓬 1 号能在恶劣环境中先期进行生长,在其生长过程中,必须根据已有研究结果,结合当地的土壤、气候特征,实施盐湖生态治理技术,以提高先锋群落的覆盖率和加速重建生态系统进程。

安固里淖干涸盐湖生态治理技术创新体系集成品种、耕作、播种、追肥、密植、灌溉等方面技术,因而形成新型创新体系,其主要核心内涵可以概括为选育良种、三多播种、因地施肥,合理密植、咸水灌溉。

●选用良种:选用绿苑海蓬子 1 号良种,每年采用优质的原种繁育基地提供的种子,以保持其抗性和生长势、生产量。

●三多播种:

一是一年多次播种。首先,在冬天雪溶前“顶凌”播种;其次在气温上升至 5℃时抢时播种,争取 4 月 10 日前获得全苗;第三,在遇到寒流、风沙覆盖和严重干旱造成死苗时,利用降雨过程补种;第四是在 7 月 20 日前利用雨季对出苗不好地段再次补种。

二是多品种混播,除第一年单一播种碱蓬外,第二年起视草情采用多品种混播,根据田块具体情况,先后播入滨海灰藜、黑麦草、紫花苜蓿、芦苇根茎移植、狗芽根、野芥菜等,以发挥各品种的空间优势,并不断引用生物多样性,加快生态恢复进度。

三是多种播种作业方式,根据具体田块地貌特征,采用人工撒播,机械条播,无人机播种等方式。

●因地施肥:为促进植物群落的生长、发育,除作为有机蔬菜的基地外,对生态治理区域增施肥料,具体是牲畜粪便,八年累计每亩平均四吨左右,合计 40 万吨以上。

●合理密植:立足盐分高,肥力低的实际,加大播种量和栽培密度,第二年播种田块每亩碱蓬 10 kg/亩,混播田块每亩增加其他品种的播种量为 15 kg/亩,至 20 kg/亩。

●咸水灌溉。遇久旱不雨,影响出苗,不提取咸水灌溉,一般咸水的含盐量在 5%以下,碱蓬仍然安全出苗地,这是其抗盐特性之一。

● 秸秆还田

为了提高生态治理效果,我们舍得放弃眼前利益,改变当地牧民打草作为越冬饲草的做法,全部实行秸秆全额还田,以增加植被覆盖,避免冬春土壤裸露,导致尘暴,平均每年秸秆还田每亩 200 斤以上。

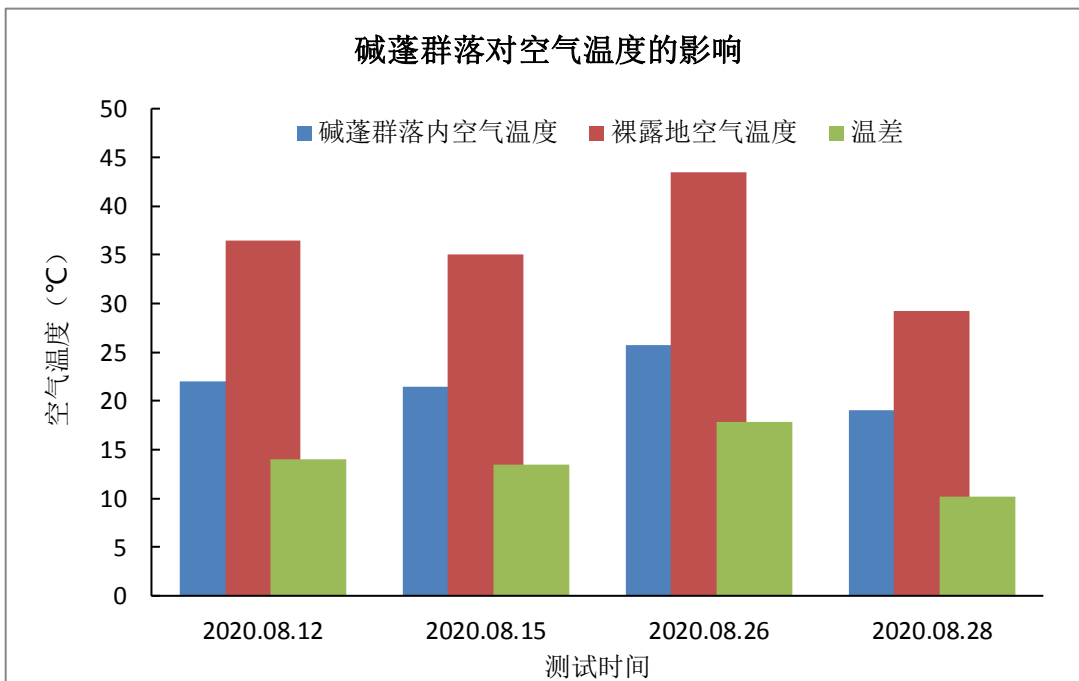
2.3.1.3 主要结果

本项目通过安固里淖干涸盐湖人工碱蓬群落生长过程的野外观察，以及对碱蓬栽培土壤样品和裸露盐碱土壤样品的采集，测定和对比分析，结果表明：

碱蓬群落的生长发育可以提高土壤表面空气的相对湿度，同时对土壤表面，甚至土壤剖面一定深度的土壤也具有良好的降低土壤温度和减弱蒸发的作用；另外，碱蓬群落的生长发育可以截留风沙，据测定每平方米碱蓬群落截留能力在 26.5kg 左右。

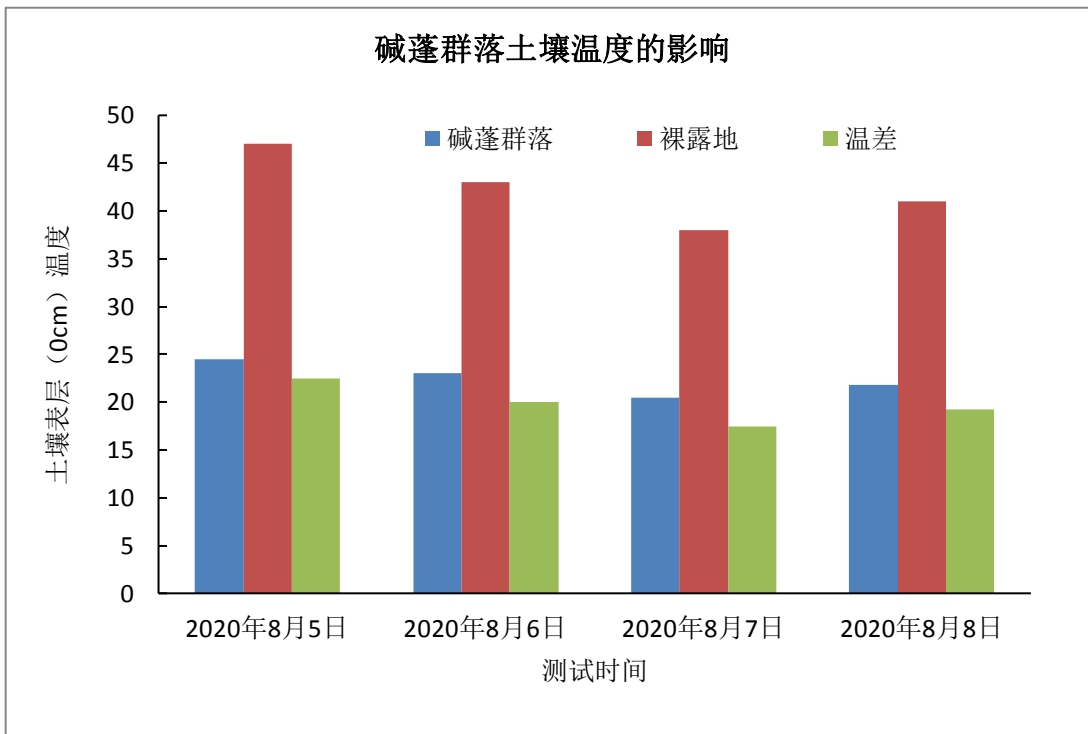
1、碱蓬栽培时空气温度的影响

在整个时间段内，碱蓬群落内空气温度都比碱蓬了群落外空气温度低，可见碱蓬群落的形成可以降低群落内地表的温度，不仅可以有效地降低地表蒸发量，并且可以产生小荫凉地，为小昆虫或小动物提高栖息或避暑的地方。碱蓬群落内外空气温度差值最大的是 2020 年 8 月 26 日，为 17.8℃，最小的是 2020 年 8 月 28 日，为 10.2℃。



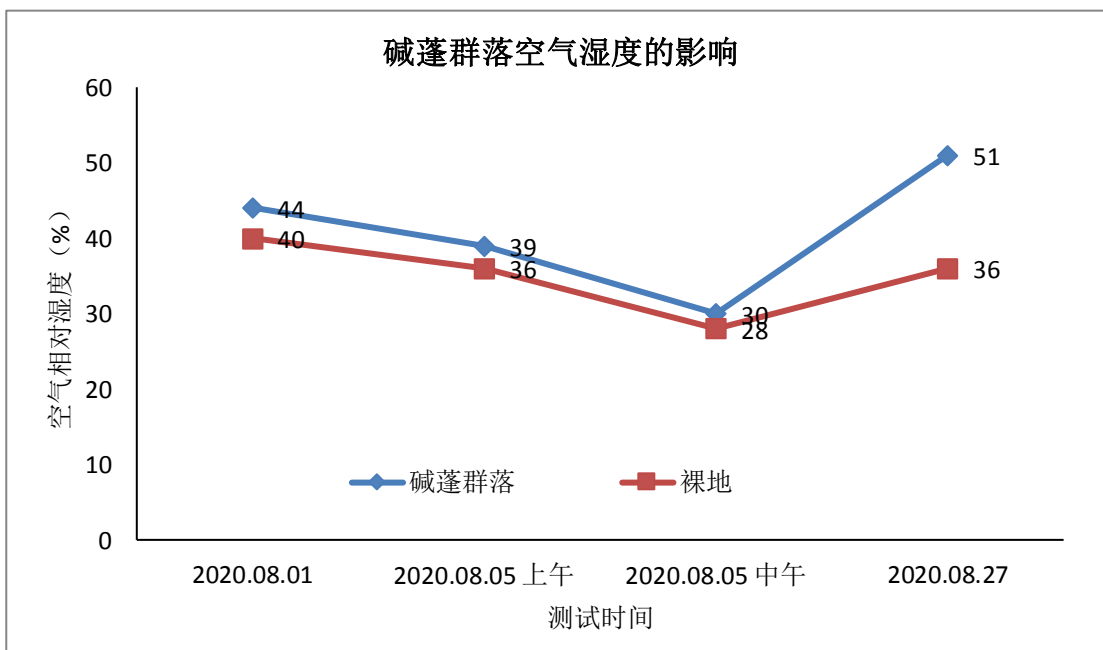
2、碱蓬栽培对土壤温度的影响

有碱蓬生长的土壤表面比裸露盐土表面温度要低，在地表温度降低了 20℃左右，对改善地表环境有着重要的作用。



3、碱蓬栽培对空气相对湿度的影响

在整个观测期的观测中，碱蓬栽培生长地的空气相对湿度均比裸露地表的高，可见碱蓬的生长可以增加空气湿度，减少水分蒸发，改善微型小气候。



下表为安固里的干涸盐湖碱蓬栽培 2020 年的土壤检测结果。结果表明：其有机质含量为 19.4%，有效磷为 8.23，全氮蛋 1.02，速效钾 1.33×10^3 ，均超过 NY/T391-2103《绿色食品 产地环境质量》标准，

符合“旱地”要求。特别是由于碱蓬生长加速了有机质的生成，其残体在原地堆积，在微生物的分解下，又增加了有机质含量，从而使盐湖农业的发展具有较好的肥力基础。

表 5 碱蓬栽培对土壤的影响

样品名称	检测项目	检测结果	标准要求	单位	判定
安固里淖生态治理区土壤	Ph 值	8.88	-	无量纳	/
	缓效钾	1.78×10 ³	-	mg/kg	/
	水分含量	3	-	%	/
	水溶性盐总量	14	-	g/kg	/
	钙	55.6	-	g/kg	/
	镁	65.2	-	g/kg	/
	钠	22.5	-	g/kg	/
	有机质	19.4	> 15	g/kg	I 级
	有效磷	8.23	5 月 10 日	mg/kg	II 级
	全氮	1.02	> 1.0	g/kg	I 级
速效钾	1.33×10 ³	> 120	mg/kg	I 级	
备注：					
1、“有机质、有效磷、全氮、速效钾”标准要求执行 NY/T 391-2103《绿色食品 产地环境质量》中“旱地”要求。					
2、“-”表示标准无限值要求。					

5、植物群落的变化

碱蓬是干涸盐湖治理的先锋作物，种植几年后不但碱蓬已覆盖了部分原本白茫茫的湖底，形成一片小小的草原，而且其发展为其他生物的生长提供了生存条件，增加了这里植物群落的生物多样性。

据江苏省中国科学院南京植物研究所在安固里淖干涸盐湖生态治理区调查，继“绿海碱蓬 1 号”作为先锋作物栽培后，由于气候和土壤的能量变化，以及多品种混播方法，形成了生态治理所追求的生态效应，治理区内除碱蓬外，新增维管植物共 66 种，分属 27 科，其中安固里淖盐湖草原位于湖床区域，区约 4-5 万亩，植物群落类型主要有五种，分别为芨芨草-羊草群落、阿尔泰紫菀-冷蒿-高-野韭群落、小果白刺-寸草群落，以及少量的芦苇群落、盐角草-碱蓬-西伯利亚滨藜群落等发展较快，已构成中质中产盐生草甸，为盐湖荒漠向湿地、草原演变提供了着力点。

表 6 物种名单

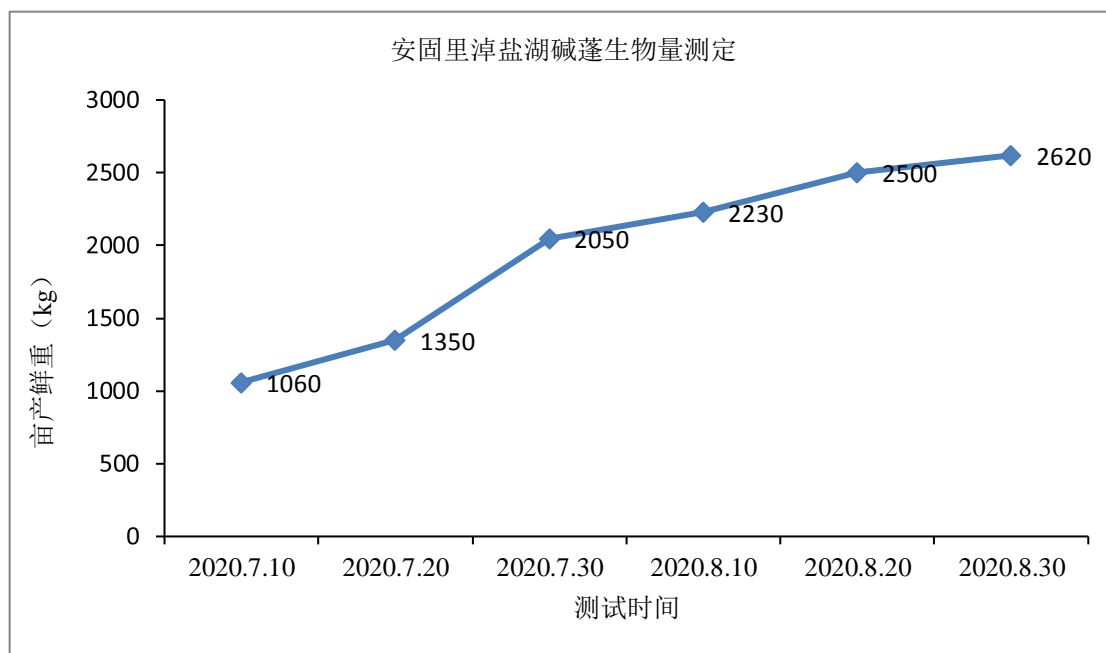
科名	种名	中文名
Geraniaceae 牻牛儿苗		
科	<i>Erodium stephanianum</i> Willd.	牻牛儿苗
Iridaceae 鸢尾科	<i>Iris spp.</i>	马蔺属

Juncaceae 灯心草科	<i>Juncus</i> spp.	灯心草属
Lamiaceae 唇形科	<i>Elsholtzia ciliata</i> (Thunb.) Hyland. <i>Salvia</i> spp.	香薷 鼠尾草属
Linaceae 亚麻科	<i>Linum usitatissimum</i> Linn.	亚麻
Malvaceae 锦葵科	<i>Malva verticillata</i> Linn. <i>Hibiscus trionum</i> Linn.	野葵 野西瓜苗
Plantaginaceae 车前科	<i>Plantago asiatica</i> Linn.	车前
Plumbaginaceae 白花丹 科	<i>Limonium</i> spp.	补血草属
Poaceae 禾本科	<i>Achnatherum splendens</i> (Trin.) Nevski <i>Avena sativa</i> Linn. <i>Capillipedium parviflorum</i> (R. Br.) Stapf <i>Chloris virgata</i> Sw. <i>Elymus dahuricus</i> Turcz. <i>Eragrostis</i> spp. <i>Hordeum</i> spp. <i>Leymus</i> spp. <i>Panicum miliaceum</i> Linn. <i>Pennisetum flaccidum</i> Grisebach <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud. <i>Setaria pumila</i> (Poiret) Roemer & Schultes <i>Stipa capillata</i> Linn.	芨芨草 燕麦 细柄草 虎尾草 披碱草 画眉草属 大麦属 赖草属 稷 白草 芦苇 金色狗尾草 针茅
Polygonaceae 蓼科	<i>Polygonum sibiricum</i> Laxm.	西伯利亚蓼
Potamogetonaceae 眼子 菜科	<i>Stuckenia pectinata</i> (Linn.) Borner	篦齿眼子菜
Ranunculaceae 毛茛科	<i>Clematis florida</i> Thunb. <i>Ranunculus</i> spp. <i>Thalictrum aquilegifolium</i> var. <i>sibiricum</i> Linn. <i>Thalictrum petaloideum</i> Linn. <i>Halerpestes sarmentosa</i> (Adams) Komarov & Alissova	铁线莲 毛茛属 唐松草 瓣蕊唐松草 碱毛茛
Rosaceae 蔷薇科	<i>Potentilla bifurca</i> Linn. <i>Potentilla chinensis</i> Ser.	二裂委陵菜 委陵菜
Solanaceae 茄科	<i>Hyoscyamus niger</i> Linn.	天仙子
Nitrariaceae 白刺科	<i>Nitraria tangutorum</i> Bobr.	白刺

科名	种名	中文名
Amaranthaceae 苋科	<i>Chenopodium acuminatum</i> Willd. <i>Chenopodium album</i> Linn. <i>Corispermum platypterum</i> Kitag. <i>Dysphania aristata</i> (Linn.) Mosyakin & Clemants <i>Salicornia europaea</i> Linn. <i>Salsola collina</i> Pall. <i>Suaeda salsa</i> (L.) Pall.	尖头叶藜 藜 宽翅虫实 刺藜 盐角草属 猪毛菜 盐地碱蓬
Amaryllidaceae 石蒜科	<i>Allium ramosum</i> Linn.	野韭
Apiaceae 伞形科	<i>Ferula</i> spp.	阿魏属
Asteraceae 菊科	<i>Artemisia</i> spp. <i>Artemisia frigida</i> Willd. <i>Artemisia japonica</i> Thunb. <i>Artemisia scoparia</i> Waldst. et Kit. <i>Aster</i> spp. <i>Echinops gmelinii</i> Turcz. <i>Saussurea</i> spp. <i>Sonchus brachyotus</i> DC.	蒿属 冷蒿 牡蒿 猪毛蒿 紫菀属 砂蓝刺头 风毛菊 长裂苦苣菜
Bignoniaceae 紫葳科	<i>Incarvillea sinensis</i> Lam.	角蒿
Boraginaceae 紫草科	<i>Lappula myosotis</i> Moench	鹤虱
Brassicaceae 十字花科	<i>Clausia trichosepala</i> (Turczaninow) Dvorak <i>Lepidium apetalum</i> Willdenow	毛萼香芥 独行菜
Caryophyllaceae 石竹科	<i>Silene aprica</i> Turcx. ex Fisch. et Mey.	女娄菜
Convolvulaceae 旋花科	<i>Convolvulus ammannii</i> Desr. <i>Convolvulus arvensis</i> Linn.	银灰旋花 田旋花
Cyperaceae 莎草科		莎草科
Euphorbiaceae 大戟科	<i>Euphorbia humifusa</i> Willd.	地锦
Fabaceae 豆科	<i>Astragalus laxmannii</i> Jacquin <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz. <i>Medicago ruthenica</i> (Linn.) Trautv. <i>Medicago sativa</i> Linn. <i>Oxytropis</i> spp. <i>Thermopsis lanceolata</i> R. Br.	斜茎黄耆 胡枝子 花苜蓿 紫苜蓿 棘豆属 披针叶野决明

6、生物量测定

人工栽培碱蓬 1 号不但有很好的生态效果，而且对其地上部分可供发展蔬菜业、科技业、旅游业，在取得生态效益同时，其经济附加值很高，极具开发前景。其生物量增长最快的时段为 7 月中旬至 8 月中旬。江苏省中国科学院南京植物研究所现场测定，作为盐湖蔬菜生产的碱蓬平均亩产鲜重可达 1050-2165 kg，最高达 3500 kg，干重一般亩产 206-435 kg。



2.3.2 产业开发部分

2.3.2.1 技术原理

“绿海碱蓬 1 号”和“绿苑海蓬子 1 号”不但使安固里淖盐湖被破坏的生态环境得到恢复，而且盐湖本身没有农药、化肥和重金属、化工等工业污染，为生产无公害绿色农产品提供了先天的完美条件。2015 年承担“国家海洋局滨海盐碱地几种资源综合利用集成与示范”(21505023)项目，负责研发海蓬子高端植物天然咸味剂生产工艺和产品等任务。

“绿海碱蓬 1 号”和“绿苑海蓬子 1 号”还具有丰富的营养价值，可以开发鲜菜、速冻、脱水及植物盐等有机食品及饲料产品，使其在具有社会效益、生态效益基础上提高经济效益。

表 7 “绿苑海蓬子 1 号”营养成分表

序号	检测项目	单位	技术要求	实测数据
1	膳食纤维	g/100g	-	0.07
2	水溶液酸碱度		-	PH:5.5-6.0
维生素系列:				
3	维生素 E	mg/100g	-	58.2
4	维生素 C	mg/100g	-	6.09
5	维生素 B ₁	mg/100g	-	0.25

6	维生素 B2	mg/100g	-	23.77
7	β -胡萝卜素	mg/100g	-	0.78
8	烟酸		-	2.51
	氨基酸:			
9	天冬氨酸	g/100g	-	2.31
10	苏氨酸	g/100g	-	1.14
11	丝氨酸	g/100g	-	1.09
12	谷氨酸	g/100g	-	2.75
13	甘氨酸	g/100g	-	1.39
14	丙氨酸	g/100g	-	1.49
15	胱氨酸	g/100g	-	0.19
16	缬氨酸	g/100g	-	1.52
17	蛋氨酸	g/100g	-	0.31
18	异亮氨酸	g/100g	-	1.28
19	亮氨酸	g/100g	-	2.21
20	酪氨酸	g/100g	-	0.98
21	苯丙氨酸	g/100g	-	1.52
22	赖氨酸	g/100g	-	1.67
23	组氨酸	g/100g	-	0.5

表 8 安固里淖“绿海碱蓬 1 号”营养成分表

序号	检测项目	检测方法	检测结果	营养素参考值%或 NRV%	备注
1	能量, KJ/100g	GB28050-2011	512	6	/
2	蛋白质, g/100g	GB5009.5-2016	3.7	6	/
3	脂肪, g/100g	GB5009.6-2016	5.8	10	/
4	碳水化合物, g/100g	GB28050-2011	13.8	5	/
5	钠, mg/100g	GB5009.91-2017	1088	54	/
6	维生素 C, mg/100g	GB5009.86-2016	0	0	/
7	磷, mg/100g	GB5009.87-2016	53	8	/

8	钾, mg/100g	GB5009.91-2017	169	8	/
9	钙, mg/100g	GB5009.92-2016	97	12	/
10	铁, mg/100g	GB5009.90-2016	1.3	9	/
11	锌, mg/100g	GB5009.14-2017	0.97	6	/
12	硒, $\mu\text{g}/100\text{g}$	GB5009.93-2017	1.1	2	/
13	铜, mg/100g	GB5009.13-2017	0	0	/
14	锰, mg/100g	GB5009.42-2017	0.31	10	/

2.3.2.2 主要技术特征

1、鲜菜产品

碱蓬(学名 *Suaeda salsa*, 又名“海英菜”、“海菠菜”、“盐蒿”) 这种重要的耐盐植物也引起了海水农业专家的广泛关注。经科学分析发现营养成分全面而丰富, 其鲜嫩茎叶的蛋白质含量占干物质的 40%, 与大豆相仿; 而籽粒的脂肪含量高达 36.4%, 远高于大豆(18.8%)。另外, 碱蓬茎叶中含有大量的人体所必需的氨基酸、维生素、胡萝卜素和 Ca、P、Fe、Cu、Zn、Mn、Se 等微量元素, 其中有许多指标都高于螺旋藻。碱蓬的嫩茎可鲜食, 是市民菜篮子又一美味可口的蔬菜, 其鲜嫩茎叶营养丰富, 具有独特的海鲜味, 可炒可凉拌, 色泽碧绿, 口感好。碱蓬籽实中蛋白质含量为 18%—21%, 脂肪 20%—23%, 脂肪中不饱和脂肪酸达 90%以上, 其中亚油酸含量占 74%以上, α -亚麻酸含量占 6.08%, 它们对人体具有重要的保健作用, 并且碱蓬籽油是制备价格昂贵的共轭亚油酸的极好原料。碱蓬的植物群落的形成不但对保护野生动物、净化水质、防止水土流失有着重要的生态作用, 而且以其营养丰富和无污染的特点, 提供别有风味的鲜菜。

2、速冻产品

速冻后的产品可以长途运输, 用于饺子、包子、汤圆、馅饼等食品类的菜馅, 亦可供应饭店、食品行业和超市等。我公司已利用速冻产品试生产三色海蓬子、银芽翡翠、椰丝碱蓬卷、蒜蓉碱蓬、海蓬子玉米烙等多种菜点, 并于有关糕点食品行业的大型企业合作, 利用海水蔬菜的营养和咸味作为馅料, 生产创新型食品。

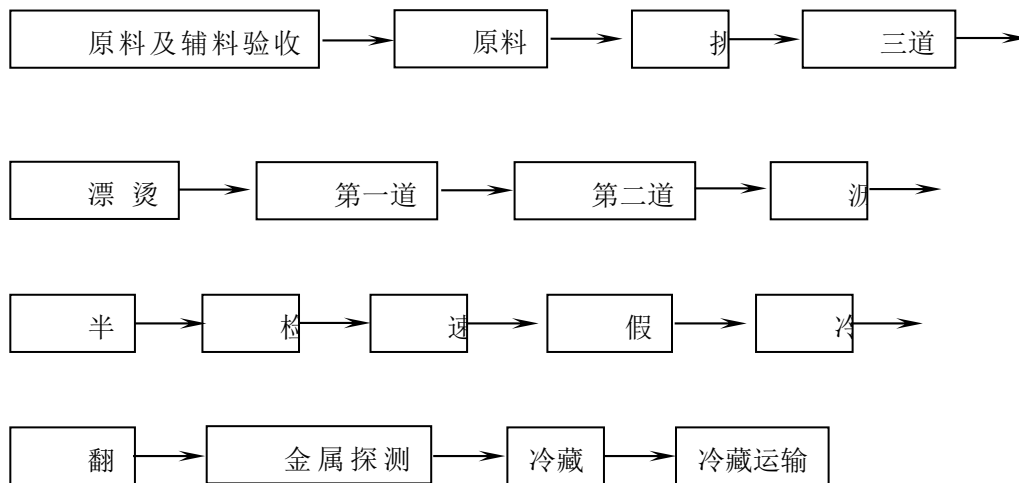


图 6 速冻碱蓬加工技术路线图

3、脱水产品

脱水产品可以长途运输和储存，除作为菜肴的配料外，可大量用于生产海水蔬菜面点、面条等面制品，以其色泽、风味和营养开辟面食行业的新产品。

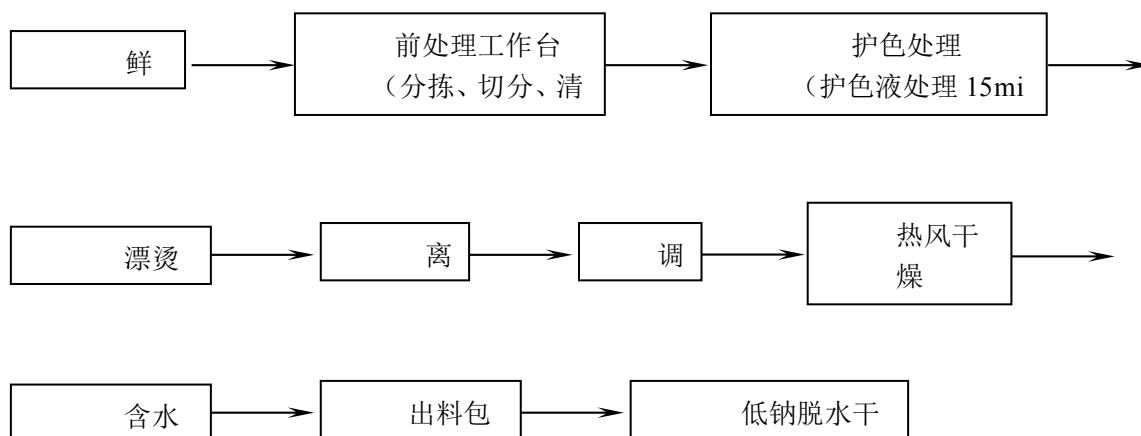


图 7 脱水碱蓬加工技术路线图

4、植物盐产品

我国从上世纪 80 年代初开始生产多品种盐（低钠盐）。最初，品种盐只具有少数几个产品，每年销量还不足 500 吨。经过二十几年的发展，至今品种盐开发出来的品种约有 100 多个，市场培育逐渐成熟，据不完全统计，2010 年我国品种盐（包含洗浴用盐、营养盐、调味盐等）的产量约为 16 万吨，与国外相比，我国还存在着较大差距。

众所周知，食用盐不但是调味之首，更是生命之源，是人体组织器官进行生活活动所需的微量元素，对人体的健康起着至关重要的作用。随着人们生活水平的不断提高，追求具有绿色、天然、营养、健康、方便、卫生、环保的绿色食品食用盐已成为一种新时尚。

海蓬子植物盐的提制技术为：

- (1) 原料采摘：采摘生长在沿海滩涂上的新鲜海蓬子整株植物；
- (2) 原料挑选：将黑头、杂质等影响海蓬子色泽、外观的部分去除；
- (3) 清洗消毒：将挑选好的原料放入洗浴槽中用清水冲洗干净；
- (4) 漂烫护色：在 100℃ 的开水澡漂烫 8-15 分钟，使漂烫后的原料颜色更加翠绿；
- (5) 离心脱水：将清洗后的海蓬子放在离心机中甩水脱干，去除表面的水分；
- (6) 磨浆：将脱水后的海蓬子切碎，用磨碎机磨碎成浆状，并搅拌均匀；
- (7) 提取青汁：将磨碎成浆状的混合液体进行固液分离，提取出翠绿色的海蓬子青汁。

(8) 结晶：将提取的青汁加入其质量的 1—80% 的食盐混合，形成混合液体，通过蒸发结晶得到翠绿色的结晶固体颗粒。

(9) 粉碎：将结晶固体颗粒放入粉碎设备内进行粉碎，生产出细度不同的海蓬子植物盐产品。

(10) 包装：将海蓬子植物盐装入密封的容器中进行包装。

2、其关键在于将提取的海蓬子青汁按其原测盐度加入其质量的 1—80% 的食盐混合，形成混合液体，通过蒸发结晶得到翠绿色的结晶固体颗粒。

我公司已与中盐集团合作研发生产高端植物盐，其主要原料海蓬子粉(Q/JSJLH0001S/2013),碱蓬粉(Q/JSJLH0002S/2013),已取得江苏省食品安全标准备案。一种海蓬子植物盐的制备方法发明专利申请已进入实质审查阶段,《海蓬子植物盐开发前景及生产加工技术》论文已发表。

以海蓬子为原料,用作生产高端食用植物盐,将充分发挥其食品来源安全和营养保证的优势,为我国新型高端食用植物盐走出一条具有社会、生态、经济三重效益的新路。

2.3.2.3 主要结果

当前,上述产品的研发均已完成,技术亦已成熟,我们将按照合作协议中逐步落实保障措施、分期投入、滚动发展、重点推进的原则,通过招商引资开发各项产品,形成生态治理和产业开发的有机融合。

当前已获得如下资质证书,为产业化打下基础。

碱蓬粉 企业标准 320076S2014

海蓬子粉 企业标准 320075S2014

蔬菜制品食品生产许可证 SC11632098100398

碱蓬和海蓬子由中国国家认证认可监督管理委员会列入“有机产品认证增补目录(三)”

2.4 主要技术创新点

2.4.1 创新点

2.4.1.1 采用传统系统选育和现代胁迫定向选育结全的科学方法,育成“绿海碱蓬1号”良种,具有纯度高、适应性广、抗逆性强、发芽率高、生长势强、鲜菜产量高的特点,已通过江苏省农作物品种审定命名,品种育成及应用,证明作为盐土、盐湖治理的先锋植物可以提升生态脆弱地区生态修复的进程,走出一条盐湖治理新路。

2.4.1.2 建立了涵盖品种、耕作、播种、培肥、种植、灌溉等方面的超重度盐碱地三多式生态治理与改良技术创新体系,该体系的实施促进了植物群落和植物多样化生态演变进程。

2.4.1.3 建立了品种选育——复壮扩繁——配套栽培技术——农副产品加工利用的盐湖农业创新体系,该体系集成了盐湖农业的现代创新技术,达到了社会效益、生态效益、经济效益的同步提升的目的,创造了盐湖荒漠边改良、边收益的典范。

2.4.1.4 在重要核心技术指导下,实现了十万亩干涸盐湖从白茫茫一片盐碱不毛之地到绿色全覆盖的目标,以客观的、科学的、现实的境界,为我国盐湖生态治理提供绿水青山就是金山银山的示范性样板。

2.4.1.5 开发了碱蓬、海蓬子速冻、脱水和植物盐产品,研发了参蓬降脂胶囊,填补了有机食品和保健食品的空白。

2.5 推广应用情况

本项目为与河北省张北县政府合作的公益性应用技术成果项目,根据双方协议约定,已基本完成:自2014年到2020年,共计播种37.5万亩次,绿色覆盖面积9.5万亩。

2020年8月经中科院南京植物研究所实地考察,绿色覆盖面积为9万亩,其中草地4万亩,盐湖菜地5万亩。

2.6 经济效益和社会效益

2.6.1 生态效益

近年来,关于沙尘暴成因和其治理途径已引起地方官员和专家的广泛注意。越来越多的证据证明,干盐湖区及现代盐湖区是北京盐碱尘暴及大气降尘物质中的常温水溶盐和粉尘物质的重要仓储地,是地质历史发展的必然。

通过本项目大面积种植盐生植物及其配套技术，可以恢复盐漠化生态，重建绿色草原。以“釜底抽薪”之理进行治理，有着立竿见影的生态和综合效应。

在盐湖荒漠种植耐盐植物，并应用配套栽培技术体系，可降低地质湿度、减弱地面蒸发、截留风沙和盐碱粉尘，促进土壤淋盐、提升土壤肥力，改善土壤理化性状，加快土壤的培肥熟化进程。不仅可通过植物生长增加土壤的生物量，提高土壤有机质含量，同时通过先锋植物的种植和配套技术，还可以激活其他植物生长，形成新的植被群落，加快盐湖向湿地、草地发展的进程，增加农业资源总量与后备耕地资源储备。

2.6.2 社会效益

根据《中国盐湖志》记载，我国有 1 平方公里以上的盐湖 813 个，面积近 4 万平方公里，绝大多数在我国西部，而且有着不断干涸恶化的趋势。如东乌珠穆沁旗的乌拉高盖毕面积 230 平方公里，1997 年干涸，1998 年雨丰回水后，2004 年再次干涸；阿巴嘎旗的查干淖尔湖总面积 110 平方公里，2002 年西侧面积 80 平方公里的咸水湖干涸；河北省张北县安固里淖面积超过 60 万平方公里，2004 年干涸；黄旗海面积 110 平方公里，2008 年基本干涸。本项目的实施与示范将为类似地区提供生态恢复与重建典型，对西部经济发展有极大引导意义。

2.6.3 经济效益

在社会效益、生态效益同时，通过产业化对产品的加工和销售可以获得相关经济效益。更有着巨大经济效益的是通过生态修复荒漠、盐湖等土地逐步、逐年转向边修复、边利用的状态，如按照国家规定的生态系统服务功能评估。即是对生态治理后所产生水土保持、水源涵养、气候调节、生物多样性保护、景观美化等生态服务功能价值进行综合评估与核算，其经济效益更为巨大。