

常见的耐盐植物及应用

马超颖, 李小六, 石洪凌, 陈超, 崔学政

(唐山师范学院 生命科学系, 河北 唐山 063000)

摘要:以耐盐植物为研究对象,从耐盐植物的类型、耐盐机理及开发利用前景等方面综述了常见耐盐植物的研究近况。通过对这些研究近况的说明,使人们对耐盐植物有更深一步的了解,从而采取相应的策略去利用它们改良盐碱地以及创造良好的经济效益和社会效益。

关键词:耐盐植物;类型;耐盐机理;应用

中图分类号:Q 948.113 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2010)03-0191-06

耐盐性是指植物在 NaCl 或其它混合盐分环境中维持生长的能力。根据植物是否具有耐盐能力,可将植物分为盐生植物和非盐生植物或甜土植物。Greenway 等认为能够在至少含 3.3×10^5 Pa(相当 70 mmol · L⁻¹ 单价盐)渗透压盐水的生境生长的自然植物区系即为盐生植物^[1]。耐盐植物是具有较强的耐盐能力,能在盐渍环境中良好生长的盐生植物。

耐盐植物种类繁多,用途广泛,全球约有 1 560 余种盐生植物,很多具有重要的经济价值。它们有的可作为粮食、牧草,生产食用油;有的可作为纤维,化工和医用原料等^[2]。同时,耐盐植物在生物修复和生态保护方面也具有非常重要的作用。目前,土壤盐渍化已经成为一个世界性的资源和生态问题,仅我国的盐碱地就多达 0.36 亿 hm²,而生物措施则是改良和开发利用盐碱地的最佳方法^[3-4]。因此,对耐盐植物及应用的研究具有现实而深远的意义。现从常见耐盐植物的类型、植物耐盐机理及常见耐盐植物的应用等方面进行综述,旨在为提高耐盐植物的开发和利用提供一定的科学参考。

1 耐盐植物的类型

根据 2002 年赵可夫的调查研究,我国共有盐生植物 502 种,分属 71 科,218 属。其中,耐盐植物最多的科有藜科(106 种)、菊科(72 种)、禾本科(53 种)和豆科(33 种),这 4 科的种数总和约占我国盐生植物总数的 52.6%^[1]。耐盐植物类型划分所采用的参数不同,则类型划分也不一样。Breckle 根据植物耐盐机理将其分为真盐生植物或稀盐耐盐植物、泌盐耐盐植物、假盐生植物或拒盐耐盐植物^[1]。

在常见的真盐生植物中,叶肉质化的种类有藜科的碱蓬属和猪毛菜属,茎肉质化的种类有盐角草属和盐穗木属等^[5];泌盐盐生植物中,具有典型盐腺结构的有柽柳、二色补血草,而具有盐囊泡的典型植物包括滨藜属的各种植物等;假盐生植物常见的有芦苇属和蒿属等。在所有的盐生植物中,稀盐盐生植物所占的比例较大,而拒盐植物的种类则比较少。

1.1 稀盐耐盐植物

碱蓬,1 a 生草本,是叶肉质化的稀盐耐盐植物,主要生长于海滨、湖边、荒漠等处的盐碱荒地,耐盐度为 2.5%~3.0%,是一种典型的盐碱地指示植物^[6-7]。我国共有碱蓬属植物 20 种及 1 个变种,盐地碱蓬和翅碱蓬是目前研究得较深入的 2 个品种。最近研究表明,翅碱蓬最适生长水深为 -0.42 m,最适土壤盐分达 12.71 g/kg 左右^[8]。碱蓬属植物具有非常广泛的用途,是重要的油脂植物资源和饲用植物资源,同时还具有良好的生物修复功能。盐角草,1 a 生草本,为茎肉质化稀盐耐盐植物,在 3%~5%盐碱条件下生长最快,能够忍耐 8%以上的盐分胁迫,是地球上迄今为止报道的最耐盐的陆生高等植物种之一^[9]。盐角草主要可用于动物饲料的开发以及天然色素的提取等。

1.2 泌盐耐盐植物

柽柳为外泌型耐盐植物,落叶灌木或小乔木,能在总盐量为 0.5%~2%的土壤上生长^[10]。作为一种耐盐的观赏植物,柽柳被广泛应用于对盐碱地的生物修复,干旱地区公路的绿化和制作盆景等。滨藜为内泌型耐盐植物,1 a 生草本,最大耐盐量为 1.5%左右^[11]。滨藜属的三角滨藜作为一种抗盐性强、营养丰富的优良蔬菜,有很大的开发利用价值。

1.3 拒盐耐盐植物

罗布麻为拒盐耐盐植物,多年生半灌木,自然分布于含盐量为 0.5%以下的土壤中。有关罗布麻的研究目前主要集中于纺织、药理和生物学特性等方面^[12]。芦苇

第一作者简介:马超颖(1972-),女,河北丰润人,硕士,讲师,现主要从事细胞生理研究工作。

通讯作者:陈超(1966-),男,天津人,博士,教授,现主要从事植物细胞工程的研究工作。

收稿日期:2009-11-20

也是拒盐耐盐植物,多年生草本,分布于土壤盐量 0.5% 以下的地块上^[13]。为了适应不同的生长环境,芦苇逐渐演化形成了水芦、沙芦、盐芦、过渡芦等不同的生态类型,它们不仅是优良的造纸原料,更是优质畜牧饲料和沙漠公路防护植物种。

2 耐盐植物的耐盐机理

不同类型的耐盐植物具有不同的耐盐机理。通过肉质化、细胞内盐离子的区隔化、渗透调节物质的积累、泌盐或拒盐等机制来实现其在盐渍环境中正常生长的目的。除此之外,盐生植物还有一些其它的机制,以利于它们在盐生环境中的生存。例如真盐生植物囊果碱蓬的脱水种子胚含有叶绿素,且具备对盐的较高的耐性,为处于盐渍环境中的种子迅速萌发创造了条件^[14]。关于耐盐机理分子水平的研究已经取得了一些成果,目前已对一些重要的耐盐基因进行了克隆和表达研究^[15-17],并成功实现了在非盐生植物中的表达^[18-19]。

2.1 稀盐植物的耐盐机理

稀盐植物之所以能适应盐渍生境,其最大特点是叶片或茎的肉质化作用。盐分胁迫对植物的伤害作用主要是渗透胁迫和离子胁迫,植物要想在盐渍生境中生存下来,就必须适应这 2 种胁迫。稀盐耐盐植物通过在叶片和茎的组织结构中大量增加薄壁组织,以增加其贮水能力,从而保证植物正常生长和发育所需水分的供应。另外,它还能将细胞从外界吸收进来的盐离子聚集到液泡中,即离子的区域化作用,这样既降低了细胞的水势,又降低了细胞质的盐离子浓度,从而避免了盐害^[20-21]。在盐胁迫下,盐地碱蓬将进入体内的 Na^+ 区隔化至液泡中可能是其对抗盐渍逆境的主要策略。离子通道、 Na^+/H^+ 逆向运输蛋白和 ATP 酶/ H^+ 泵在 Na^+ 离子进入液泡的过程中发挥着重要作用。李艳艳等证明 NaCl 胁迫下盐地碱蓬液泡膜 H^+ -ATPase 为 Na^+ 区隔化到液泡中提供了质子驱动力^[22]。

另外,耐盐植物也可以通过渗透调节作用来减轻盐害。这可以通过吸收和积累无机盐或在细胞内合成积累一些小分子有机化合物或蛋白类保护剂来实现。这些小分子有机物包括脯氨酸、甜菜碱和多羟基化合物等^[23-25]。在盐渍环境下,脱落酸对植物的耐盐能力也起着重要作用,在某种程度上决定着植物细胞内脯氨酸的合成。

2.2 泌盐植物的耐盐机理

泌盐植物主要是利用本身的泌盐结构将已吸收入体内的盐离子排出体外,以维持体内离子平衡,避免产生毒害作用。泌盐结构包括盐腺和盐囊泡。泌盐结构盐腺是一个复杂的多细胞结构,其主要功能是分泌离子,一般由分泌细胞、收集细胞、基细胞或柄细胞组成^[26]。其分泌细胞富含小液泡,在这些小液泡中可以积

累离子,然后由质膜排出。柽柳属植物都具有泌盐腺,是典型的泌盐植物。由于泌盐腺分泌的盐大都覆盖在植株表面,使得柽柳通体呈灰绿色,甚至在盐渍化严重的地方植株上可见大块的盐粒结晶^[27]。盐囊泡可看做一种特殊的盐腺,是表皮细胞的附属物。它可以将植物体内的盐分储存在泡状细胞的大液泡中,积累到一定数量后,泡状细胞破裂,从而将盐分排出。中亚滨藜属于泌盐盐生植物,最显著的形态结构就是具有泌盐功能的盐囊泡^[28]。

2.3 拒盐植物的耐盐机理

拒盐植物能耐盐与其根细胞质膜的组成成分关系密切^[29]。盐离子进入植物细胞首先要接触细胞质膜,质膜透性大小是决定外界盐离子能否进入和进入多少的主要因素。构成该类植物根细胞质膜的脂类化合物多为饱和脂肪酸,这类质膜对 Na^+ 和 Cl^- 的透性很低,可以保证植物不会摄入过多盐分而致害。研究发现在某些拒盐植物中存在着喜 K^+ 恶 Na^+ 基因^[1]。

3 耐盐植物的应用

3.1 耐盐植物在盐碱地生物修复中的应用

耐盐植物应用的一个非常重要的方面就是对盐碱地的生物修复作用。通过耐盐植物的生物修复作用,不仅可以脱去盐碱土壤中的盐分,还能减少土壤蒸发,阻止耕作层盐分积累,增加土壤有机质,改善土壤肥力,改变土壤中微生物的分布,具有十分显著的生态效益。在盐碱土地的驯化和改良过程中,一般先应用耐盐能力强的碱蓬等为先锋植物,再引种多年生草本和小型灌木,如单叶蔓菁、罗布麻和柽柳等;当灌木种类成为优势种时,再引种具有一定耐盐能力的小乔木和大型灌木,如沙枣、刺槐和白蜡等,最终实现对盐碱地的彻底改造^[1]。

作为盐生植物的一种,碱蓬是一类备受瞩目的环境改良作物。碱蓬植株能耐 24.0 g/kg 的盐水浇灌,在土壤含盐为 25.0 g/kg 的滨海盐渍土上能够正常生长;耐盐极限为 35.0 g/kg 左右^[30]。碱蓬覆盖的盐碱地段,土壤盐分有明显的脱除效果。张立宾等^[31]利用碱蓬改良盐碱土,发现滨海盐渍土种植碱蓬 3 a 后,土壤的含盐量从 16.4 g/kg 降低到 12.0 g/kg,土壤脱盐率达 26.83%,脱盐效果显著;而裸露土壤中,土壤含盐量不但没有降低,反而从 15.7 g/kg 上升到 18.9 g/kg,增加了 20.4%。另外,栽种柽柳也可以有效地降低土壤中的盐分含量,达到改良和利用盐碱地的目的^[32]。

盐渍土壤种植耐盐植物后,不但使土壤盐分明显降低,且能使有机质增加,N、P、K 含量明显改善。天津河口地区利用盐地碱蓬进行滨海盐碱地的生物修复,种植盐地碱蓬的根际土壤有机质和总氮含量较对照土壤有明显增加,分别增加 43% 和 18%^[31]。另据报道,滨海盐渍土种植星星草 2 a 后,随着土壤盐分降低,土壤肥力

也有不同程度的提高,土壤全氮增加了 64.8%,速效磷增加 114.5%,速效钾增加 22.6%;而裸露土壤全氮、速效磷、速效钾却分别降低了 21.8%、17.5%和 15.3%^[33]。种植星星草明显增加了土壤的养分。

耐盐植物对土壤中微生物菌群的分布也有一定的影响。在盐碱地和滨海盐渍土种植碱蓬后,根际土壤的微生物数量也明显增加,放线菌和真菌分别比对照增加了 5 倍和 16 倍。根际微生物优势种群的盐耐受性结果显示,部分根际土壤优势种群的盐耐受性明显下降,耐盐性较低的微生物种群已成为优势种群^[34-35]。

耐盐植物还可以用来处理含盐养殖废水,或修复容易被污染的海岸带。朱鸣鹤等对翅碱蓬根际沉积物中常见重金属及生物可利用性进行了研究,发现翅碱蓬通过对 Cu、Zn、Pb 和 Cd 等常见重金属的累积和吸收,可达到生物修复的作用^[36-38]。石油烃污染的天津渤海湾河口海岸带野外种植翅碱蓬后,盐碱土壤中的石油烃质量比下降,与无翅碱蓬对照相比,盐碱土壤中的石油烃降解率提高了 21.7%~37.9%。另外试验区植被也得到恢复,覆盖率达到 60%以上^[39-40]。

3.2 耐盐植物在生活、生产中的应用

大多数耐盐植物都具有广泛的用途,表现出很高的经济价值,极具开发的潜力。耐盐植物的用途主要表现为:食用、药用和保健作用,饲用原料,纤维原料,油脂原料,观赏和绿化植物及其它一些重要作用。

3.2.1 食用、药用和保健作用 一些耐盐植物的果实、种子、叶片含有丰富的营养,可以作为食品原料。盐地碱蓬的嫩茎叶或穗轴部分,蛋白质、脂肪、碳水化合物等三大营养素含量较高,富含维生素和氨基酸,具有很高的食用价值,能用于开发各种绿色食品^[41],碱蓬提取叶蛋白后的干燥残渣也可用于制备膳食纤维^[42]。合欢属的植物种子中的蛋白和脂肪含量均超过小麦,而滨藜植物叶片中的蛋白质含量也很丰富^[1]。我国的中草药中,有不少药用植物属于耐盐类植物。最常见的写入药典的有甘草、枸杞、黄芪、罗布麻和芦苇等,滨藜、地肤、牛蒡和补血草等也都是常见的药用耐盐植物。滨藜、中亚滨藜,带苞果实入药称“软蒺藜”,可祛风明目;地肤,种子药用,称“地肤子”,有利水、通淋、除湿热的功效;牛蒡,种子入药称“大力子”,主治风热痰嗽、咽喉肿痛等;中华补血草,全草入药,可祛湿、清热、止血^[1]。另有资料表明,柽柳的嫩枝叶也可入药,有解表透疹之效,短毛柽柳还可作为提取黄酮类化合物的理想原料^[43]。罗布麻是耐盐植物中具有很高药用和保健价值的植物类型。罗布麻的茎、花、果、根和叶中都含有较高的总黄酮类化合物。罗布麻叶含有罗布麻甙,罗布麻甙的主要成分为黄酮类化合物,具有强心、降压、降脂、抗感冒、镇静安神等功效,罗布麻的根也含有强心镇静作用的成分^[44-45]。罗布麻

茶由于其清热消暑和降压的功效,早在 1985 年就在我国的上海批准上市。目前,英、美和日本等国家也开始对罗布麻叶片进行深入研究,先后证实了它的相关成分及其抗脂质过氧化、保肝、抗抑郁、降血脂、抗衰老等作用,增加了人们对罗布麻茶的饮用信心^[46-47]。碱蓬也是一类具有一定药用开发价值的耐盐植物。研究发现翅碱蓬提取物具有抗氧化活性^[48],碱蓬幼苗和种子的 2 种提取物的甲酯化产物对急性炎症有明显的抑制作用^[49],还有报道称盐地碱蓬幼苗水提取物有增加小鼠机体非特异性免疫功能的作用^[50]。另外,耐盐植物还具有一定的植物源农药的开发前景。李洪山等的研究结果表明盐地碱蓬粗提物对小菜蛾具有一定的毒杀和拒食作用^[51],陈俊杰等则通过对盐地碱蓬挥发物的分析提出了一种研究防治甜菜夜蛾的新方法^[52]。

3.2.2 饲用原料 饲用耐盐植物以禾本科、豆科、菊科和藜科居多。生长在重盐土至中盐土的种类主要有:盐角草、盐地碱蓬,其嫩茎、叶可为牛羊饲料;中华补血草、二色补血草,嫩茎、叶可作猪饲料;此外还有獐毛、碱茅、柔枝碱茅、星星草、大米草、紫花苜蓿等。生长在轻盐土的饲料植物种类很多,包括资源蕴藏量大、质量较好的小藜、苋属,嫩茎叶可供饲料;草木樨,初花期大部分可利用;马唐属、画眉草属、白茅、狗尾草属等禾草草质均较柔嫩,尤其在抽穗前更为家畜所喜食^[1]。盐角草种子较油料作物花生的含油量低得多,但其所含油脂中含有较多的不饱和脂肪酸。盐角草中人体必需的脂肪酸占总脂肪酸的 70.8%,而花生是 28.2%,盐地碱蓬是 70.5%。盐角草种子中还包括人体所必需的 7 种氨基酸,且含量均高于常见主食和优良牧草。所以,将盐角草作为家畜的配合饲料会有很高的价值,就是作为人们生活的保健用油也具有良好的推广前景^[53]。

3.2.3 纤维原料 耐盐植物中可作为纤维原料的植物类型集中分布于夹竹桃科、莎草科、禾本科、锦葵科以及桑科等。芦竹、白茅、芦苇和构树都是优良的造纸材料。芦竹在华北、华南沿海海堤上有分布,可作为高级纸张和人造丝原料;白茅在华东、华南沿海分布,可供造纸、编蓑衣;芦苇在北方沿海广布,资源丰富,是优良造纸原料;构树各地都有分布,耐贫瘠,树皮纤维可制复写纸、蜡纸、绝缘纸及人造棉等。罗布麻是最早知道可以作为纤维原料的盐生植物,而罗布麻纤维素有“野生纤维之王”的美誉。作为纤维原料,罗布麻拥有很多优点。首先,它的出麻率约在 40%~42%,抗腐蚀能力优于其它麻类纤维及天然纤维,茎皮纤维为高级纺织原料;其次,罗布麻粗纱和罗布麻叶均含有不同的黄酮类化合物、强心甙、氨基酸等多种药物成分,其织物仍具有罗布麻叶的天然药物成分,故而也具有调节血压、降血脂、抗过敏和抑菌等保健医疗作用;第三,罗布麻是天然的远红外

发射材料,可改善人体循环,具有吸汗、透气的特性,罗布麻内衣具有良好的服用性能^[54],其纺织品具有非常良好的开发应用前景。

3.2.4 油脂原料 油脂既是人们日常生活的必需品,也是重要的工业原料,除食用外,还广泛用于医药、造纸、化工、橡胶、塑料等方面。耐盐油脂作物以大戟科、十字花科和藜科居多。臭椿,南北广布,种子含油约30%,可作润滑油;楝树种仁含油达40%,华东、华南沿海有栽培;苍耳,南北各地均有分布,耐重盐,种子含油达44.8%,碱蓬、盐地碱蓬,种子含油20%~30%之间,北方沿海重盐土上分布很广^[1]。在各种耐盐植物中,碱蓬是一种开发价值很高的油料作物,其中含有大量不饱和脂肪酸。碱蓬、角碱蓬和翅碱蓬种子含油量分别为24.39%、15.67%和15.80%,不饱和脂肪酸含量分别为88.65%、88.30%、88.50%,尤其是亚油酸含量较高,分别达56.94%、59.35%和60.86%,而亚油酸是人体必需的脂肪酸,对儿童的生长发育尤为重要^[55]。同时,碱蓬还是制备生物柴油^[56]和人类所需要的高级保健油—共轭亚油酸^[57]的优良资源。盐地碱蓬的种植可以利用盐碱滩涂地,具有不与粮食作物争地的优点,因此是一种优异的生物柴油原料;而以盐地碱蓬为原料生产共轭亚油酸也比较经济,所得产品中共轭亚油酸含量可以达到70%以上,而国际市场上共轭亚油酸是以红花籽油或葵花籽油等为原料所生产的,共轭亚油酸含量在60%~80%之间,其原料价格大大高于用盐地碱蓬生产的价格。

3.2.5 观赏和绿化植物 耐盐植物还具有一定的观赏价值,有的花很美丽,有的可以作为盆景,还有的可以用作绿化用树。其中九里香可做盆景,二色补血草又名千枝梅,可做干花^[58],绒毛白蜡、构树、火炬树、合欢可做风景和行道树,玫瑰、珠美海棠、马蔺、碱菟等为庭院观赏花卉,狗牙根和结缕草可作运动草坪,苔草、羊茅适于作休憩草坪。柽柳1年开3次花,又叫三春柳,花为淡紫色,叶细小,翠绿可爱,深受盆景爱好者青睐,同时柽柳也可作为干旱和半干旱地区公路的绿化用树^[59-60]。

3.2.6 其它重要作用 耐盐植物中有的还是蜜源或芳香植物。豆科植物紫穗槐、刺槐、田菁、槐树、海南槐、旱柳、角果木、酸枣、桐花树等则均为优良的蜜源植物。天然分布的香料耐盐植物主要有蒿类,尤其是茵陈蒿,全草含叶酸、挥发油,花及果实含香豆素;野菊,干花及叶含油0.1%~0.2%,可提芳香油或浸膏用以调配各种皂用香精;香附子,根茎含油1%左右,可调配玫瑰麝香或馥奇等类型香精;白香草木樨,全草含香豆素0.4%~1.14%,可作芳香剂,此外还有薄荷、天竺葵等^[1]。从耐盐植物中还可以提取很多重要的代谢物质。高健首次尝试从盐地碱蓬中提取黄酮类化合物,并获得了成

功^[61];吴涛等人提取了盐地碱蓬红色素^[62];而紫红色表型盐地碱蓬则是提取甜菜红素的新原材料,从中提取的甜菜红素具有含量较高、含糖量较低等优点^[63]。盐角草红色素则是一种无毒、安全性高、有开发前景的理想天然色素^[64]。盐胁迫势必会造成植物体内脯氨酸的积累,测出经过诱导、继代得到的碱蓬愈伤组织的脯氨酸含量要比野生盐地碱蓬高出10~20倍。由于微生物发酵生产的脯氨酸产量仍然不能满足日益扩大的市场需求,周鑫等因此提出了利用盐地碱蓬愈伤组织培养积累来生产脯氨酸的新思路^[65]。

4 结语

对耐盐植物的了解、开发和利用,具有无法估量的生态效益、经济效益和社会效益。地球上的耐盐植物种类繁多,分布广泛,我国已在此方面开展了一些工作并取得一定的成果,但这些大都集中在对作物的种植和栽培方面,单纯对耐盐植物的基础和产业化研究并不多见。因此,进一步深化对耐盐植物的了解显得极为迫切,在我国实行全面协调可持续发展和进行生态建设的今天,加强对耐盐植物的研究具有现实而深远的意义。

参考文献

- [1] 林柄凤.耐盐植物研究[M].北京:科学出版社,2004.
- [2] 倪秀珍.抗盐植物研究进展[J].特产研究,2004(4):58-62.
- [3] 徐明刚,李菊梅,李志杰.利用耐盐植物改善盐土区农业环境[J].中国土壤与肥料,2006(3):6-10.
- [4] 朱虹,祖元刚,王文杰,等.盐碱地的植被恢复与盐碱地改良方法的评述[J].吉林林业科技,2007(9):17-21.
- [5] 赵惠明.盐生植物盐角草的资源特点及开发利用[J].科技通报,2004(3):168-171.
- [6] 孙宇梅,赵进,周威,等.我国盐生植物碱蓬开发的现状与前景[J].北京工商大学学报(自然科学版),2005(1):1-4.
- [7] 中科院中国植物志编辑委员会.中国植物志.25卷:2分册[M].北京:科学出版社,1979:115-135.
- [8] 崔保山,贺强,赵欣胜.水盐环境梯度下翅碱蓬(*Suaeda salsa*)的生态阈值[J].生态学报,2008,28(4):1408-1418.
- [9] 王玉珍.盐碱地盐角草的人工种植技术[J].特种经济动植物,2007(5):32.
- [10] 张立宾.柽柳的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果研究[J].安徽农业科学,2008,36(13):5424-5426.
- [11] 李梅.美国滨藜[J].特种经济动植物,2002(9):22.
- [12] 任辉丽,曹君迈,陈彦云.罗布麻的研究现状及其开发利用[J].北方园艺,2008(7):87-90.
- [13] 张冰.大连抗盐碱植物的应用[J].中国城市林业,2007,5(3):28-30.
- [14] 李扬,张士荣,宋杰,等.真盐生植物囊果碱蓬(*Suaeda physophora*)脱水种子子叶叶绿素特征及其对植物萌发阶段适应盐渍环境的生态意义[J].中国科学C辑,2008,38(3):285-292.
- [15] 郭晓黎.盐地碱蓬 *SsPrx Q* 基因的克隆与功能鉴定[D].济南:山东师范大学硕士学位论文,2004.
- [16] 王丽萍,戚元成,赵彦修.盐地碱蓬 *GsT* 基因的克隆、序列分析及其表达特征[J].植物生理与分子生物学报,2002,28(2):133-136.
- [17] 马长乐,王萍萍,曹子谊.盐地碱蓬 *APx* 基因的克隆及盐胁迫下的表达[J].植物生理与分子生物学报,2002,28(4):261-266.

- [18] 赵淑青. 盐地碱蓬 *SsNHX1* 基因导入番茄基因的研究[D]. 济南: 山东师范大学硕士学位论文, 2004.
- [19] 戚元成, 张世敏, 王丽萍, 等. 谷胱甘肽转移酶基因过量表达能加速盐胁迫下转基因拟南芥的生长[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(5): 517-522.
- [20] 高海波. 藜科盐生植物的形态特征与耐盐分子机理研究进展[J]. 生物技术通报, 2008(4): 23-26.
- [21] 王丽燕, 赵可夫. NaCl 胁迫对海蓬子离子区室化、光合作用和生长的影响[J]. 植物生理与分子生物学, 2004, 30(1): 94-98.
- [22] 李艳艳, 李平华, 王宝山. 盐胁迫下盐地碱蓬叶片液泡膜 H⁺-ATPase H 亚基的克隆与表达分析[J]. 西北植物学报, 2006, 26(1): 0063-0067.
- [23] 王镭. 离子平衡调节基因及其在植物耐盐基因工程中的应用[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(6): 80-83.
- [24] 陈国强, 王萍. 盐地碱蓬耐盐相关基因克隆研究进展[J]. 生物技术通报, 2008(5): 18-21.
- [25] 杨晓慧, 蒋卫杰, 魏卫民, 等. 植物对盐胁迫的反应及其抗盐机理研究进展[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2006, 37(2): 302-305.
- [26] 聂莉莉, 张越, 刘仲齐. 植物抵御盐害的生理机制[J]. 天津农业科学, 2008(14): 6-9.
- [27] 张道远, 尹林克, 潘伯荣. 柃柳泌盐腺结构、功能及分泌机制研究进展[J]. 西北植物学报, 2003, 23(1): 190-193.
- [28] 杨美娟, 杨德奎, 李法曾. 中亚滨藜盐囊泡形态结构与发育研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(8): 1575-1578.
- [29] 党瑞红. 海滨锦葵的抗盐特性[J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(4): 635-638.
- [30] 李杏, 项学敏, 周集体, 等. 盐生植物碱蓬在土壤修复及废水处理中的研究现状[J]. 江苏环境科技, 2007, 20(1): 53-55.
- [31] 张立宾. 碱蓬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.
- [32] 张文军, 玉井重信, 矢部胜彦. 利用柃柳改良盐碱地土壤的机制与措施初报[J]. 内蒙古林业科技, 2003(4): 3-7.
- [33] 张立宾. 星星草的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果研究[J]. 山东农业科学, 2006(4): 40-42.
- [34] 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.
- [35] 林学政, 陈靠山, 何培青, 等. 种植盐地碱蓬改良滨海盐渍土对土壤微生物区系的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 801-806.
- [36] 朱鸣鹤, 丁永生, 丁德文. 翅碱蓬(*Suaeda heteroptera*) 根际与非根际沉积物常见重金属总量及化学形态变化[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(5): 393-400.
- [37] 朱鸣鹤. 盐沼植物翅碱蓬根际沉积物常见重金属分布及生物可利用性[J]. 海洋环境科学, 2005, 24(3): 21-24.
- [38] 朱鸣鹤, 丁永生, 郑道昌. 潮滩植物翅碱蓬对 Cu, Zn, Pb 和 Cd 累积及其重金属耐性[J]. 海洋环境科学, 2005, 24(2): 13-16.
- [39] 许崇彦, 刘宪斌, 刘占广. 翅碱蓬对石油烃污染的海岸带修复的初步研究[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(1): 37-39.
- [40] 教忠意. 林木抗盐性研究进展[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(5): 60-64.
- [41] 谷奉天. 开发盐地碱蓬绿色系列食品研究[J]. 滨州教育学院学报, 1999, 5(3): 32-36.
- [42] 衣丹, 江洁, 姜伟, 等. 盐生植物碱蓬制备膳食纤维的工艺优化研究[J]. 食品工业科技, 2006(4): 128-130.
- [43] 李佳, 李国庆, 苏力坦, 等. 超声波法提取短毛柃柳中总黄酮[J]. 生物技术, 2008, 18(5): 38-40.
- [44] 叶菊, 苏印泉, 吕建荣, 等. 罗布麻总黄酮含量的研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(3): 114-115.
- [45] 范维刚, 解成喜, 李锋, 等. 罗布麻叶中黄酮类化合物含量的测定[J]. 新疆大学学报, 2005, 22(3): 464-466.
- [46] 张卫明, 肖正春, 钱学射, 等. 罗布麻保健茶在境外的研究与利用[J]. 中国野生植物资源, 2007, 26(3): 22-27.
- [47] 周裔彬, 张伟, 马挺军. 罗布麻叶的研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2008, 35(4): 619-622.
- [48] 胡博路, 杭翊. 翅碱蓬的抗氧化活性研究[J]. 中国海洋药物, 2001(4): 29-31.
- [49] 郑维发, 陈才法, 李巍. 盐地碱蓬幼苗和种子氯仿/甲醇提取物的化学组成及其抗炎作用[J]. 中成药, 2003, 25(12): 997-1002.
- [50] 李梦秋, 朱爱华, 郑维发. 盐地碱蓬幼苗水提取物对小鼠非特异性免疫功能的影响[J]. 徐州师范大学学报(自然科学版) 2000, 18(3): 56-57, 61.
- [51] 李洪山, 李慈厚, 申玉香, 等. 盐地碱蓬粗提物对小菜蛾的毒杀及拒食作用[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(32): 14181-14182.
- [52] 陈俊杰, 董双林. 盐地碱蓬挥发性组分的鉴定及其对甜菜夜蛾成虫的 EAG 活性[J]. 江苏农业科学, 2008(6): 108-110.
- [53] 李银芳, 夏训诚, 刘兆松, 等. 盐角草种子的油脂成分与营养评价[J]. 干旱区研究, 2007(1): 34-36.
- [54] 黄晓梅. 罗布麻保健针织内衣的开发[J]. 江苏纺织, 2007(7): 54-55.
- [55] 于海芹, 张天柱, 魏春雁, 等. 3 种碱蓬属植物种子含油量及其脂肪酸组成研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(10): 2077-2082.
- [56] 杨庆利, 朱凤, 张初署, 等. 盐地碱蓬油制备生物柴油工艺条件研究[J]. 现代化工, 2008, 28, 增刊(2): 43-46.
- [57] 石红旗, 姜伟, 衣丹, 等. 盐地碱蓬共轭亚油酸的制备及结构分析[J]. 食品科学, 2005, 26(5): 80-84.
- [58] 邓旺华, 王雁. 补血草属植物在城市绿化中的应用[J]. 中国城市林业, 2006(2): 58-60.
- [59] 于文华, 刘兵伟. 柃柳盆景造型谈[J]. 中国花卉盆景, 2007(11): 46-47.
- [60] 张韬, 邱守仁. 柃柳在干旱半干旱区高速公路绿化中的应用[J]. 防护林科技, 2007(1): 64-65.
- [61] 高健. 盐地碱蓬中黄酮类物质的提取及抗氧化性研究[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2005, 18(2): 55-57.
- [62] 吴涛, 许杰, 石东里, 等. 盐地碱蓬红色素提取条件的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(21): 8983-8984.
- [63] 段庆, 杨青, 李涛, 等. 紫红色表型盐地碱蓬叶片营养成分分析[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2008, 23(3): 118-120.
- [64] 俞群娣, 王怀宗, 金玲玲. 盐角草红色素的微波提取工艺及其特性研究[J]. 现代食品科技, 2008, 24(4): 343-346.
- [65] 周鑫, 李兴林, 崔兴华, 等. 盐地碱蓬愈伤组织的诱导及其脯氨酸含量的变化[J]. 中国草地学报, 2008, 30(6): 49-54.

The Common Species and Application of Salt-tolerant Plants

MA Chao-ying, LI Xiao-liu, SHI Hong-ling, CHEN Chao, CUI Xue-zheng

(Department of Life Science, Tangshan Teachers College, Tangshan, Hebei 063000)

植物丝裂原活化蛋白激酶激酶的生物信息学分析

李凤梅

(青岛科技大学 化工学院, 山东 青岛 266042)

摘 要:丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)信号传导通路是植物细胞内重要的信号传导系统,在多种生物和非生物胁迫、激素、细胞分化和发育进程中发挥关键作用。丝裂原活化蛋白激酶激酶(MAPKK)是信号传导中的重要成员,执行整合上游信号到丝裂原活化蛋白激酶的重要功能。基于BLAST搜索,得到植物丝裂原活化蛋白激酶激酶基因序列。采用CLUSTALW、SMART、Swiss Model和MEGA3.1软件分析这些序列。多序列比对揭示了它们具有典型的蛋白激酶ATP结合域签名和丝氨酸、苏氨酸蛋白激酶激活位点签名。空间结构预测表明它们与人MAPKK的晶体结构相似。系统进化树中烟草和番茄的丝裂原活化蛋白激酶激酶、野生稻和印度栽培稻丝裂原活化蛋白激酶激酶形成独立的分支,说明它们分别具有较近的亲缘关系。

关键词:丝裂原活化蛋白激酶激酶;多序列比对;空间结构;系统发生分析

中图分类号:Q 946.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2010)03-0196-04

丝裂原活化蛋白激酶(Mitogen-Activated Protein Kinase, MAPK)通路是介导植物细胞外信号到细胞内反应的重要信号传导系统。在多种生物和非生物胁迫、激素、细胞分化和发育进程中发挥着关键作用^[1-3]。MAPK通路通常由3种三级激酶级联激酶参与信号转导,它们是MAPKKK、MAPKK和MAPK。细胞外刺激通过某些环节使MAPKK激活,转化MAP激酶激酶(MAP Kinase Kinase, MAPKK),然后通过对苏氨酸和酪氨酸双位点磷酸化激活MAPK^[4-5]。近年来,从主要的经济作物中报道了MAPKK基因,但是还没有生物信息学的相关报道。该研究对已知的植物MAPKK进行了模型预测、多序列比对、空间结构预测和系统发生分析。

作者简介:李凤梅(1974-),女,博士,讲师,现主要从事分子免疫方面研究工作。

收稿日期:2009-11-20

1 材料与方法

在NCBI中检索植物丝裂原活化蛋白激酶激酶基因,获得其相应的氨基酸序列,信号肽查找用SignalP(<http://www.cbs.dtu.dk/services/SignalP/>)程序分析;跨膜区用TMHMM(<http://www.cbs.dtu.dk/services/TMHMM>)程序搜寻,多序列比对采用CLUSTAL W(Thompson, 1994)程序,采用SMART软件(<http://smart.embl-heidelberg.de/>)查找蛋白特征模体,空间结构预测采用Swiss-model软件,模型查看用Swiss-PdbViewer(Schwede, 2003)软件。运用CLUSTAL X1.83和MEGA 3.1软件,采用Neighbor-joining法构建进化树。

2 结果与分析

2.1 植物丝裂原活化蛋白激酶激酶基因的特征分析

从NCBI中检索到7种植物丝裂原活化蛋白激酶激酶基因,它们分别是烟草*Nicotiana tabacum*(AAF67262)、番茄*Solanum lycopersicum*(CAA04261)、欧芹*Petroselin-*

Abstract: This thesis which study salt-tolerant plants summary the current research situation of the plants, from the species and salt-tolerance mechanism to the development and utilization prospects of salt-tolerant plants. Through the recent description of these studies, people will have a deeper understanding on salt-tolerant plants and adopt appropriate strategy to take advantage of them in order to create a good improvement of saline-alkali soil, as well as economic benefits and social benefits.

Key words: salt-tolerant plants; species; mechanism of salt tolerance; application