山东省海岸砂生植被基本特征及现状分析

王蕙^{1,2,3}, 张沁媛¹, 崔可宁^{1,2,3}, 贺同利^{1,2,3}, 马家乐¹, 孙淑霞¹, 张淑萍^{1,2,3}, 崔文强¹, 郑培明^{1,2,3*}, 王仁卿^{1,2,3}

1. 山东大学生命科学院生态学与生物多样性研究所, 青岛 266237;

2. 山东省植被生态示范工程技术研究中心, 青岛 266237;

3. 山东青岛森林生态系统国家定位观测研究站, 青岛 266237

* 联系人, E-mail: zhengpm@sdu.edu.cn

收稿日期: 2020-08-26; 接受日期: 2020-12-06; 网络版发表日期: 2021-02-03

山东大学基本科研业务费(批准号: 61200079614091)、山东青岛森林生态站运行经费(批准号: 61200005092001)和新一代中国植被图编研(山东)项目(批准号: 61200005251902)资助

摘要 作为一种非地带性植被类型, 砂生植被分布在沿海砂质海岸上, 主要由耐贫瘠、干旱和轻度盐碱的砂生植物组成. 我国山东省有较典型的砂生植被分布. 砂生植被通常分布区域狭小, 面积也较小, 但由于其具有原生性, 对砂质海岸起着防护作用, 又有各种各样的珍稀和濒危植物, 因而具有重要的生态价值和区域生态意义. 本团队通过长期野外调查和文献分析, 研究了山东省砂质海岸的砂生植被种类组成、结构、分布和演替等基本特征; 将山东省砂生植被划分成13个植物群落类型; 分析了1985~2020年山东省海岸带砂生植被在种类组成、分布范围、植被类型等方面的变化及原因. 由于城市化、房地产、沿海道路建设、采砂、旅游等人类活动的影响, 山东省海岸的砂生植被退化严重而普遍, 在一些地段已经消失. 因此, 保护和恢复海岸砂生植被非常重要而迫切, 包括加强砂生植被的基础理论研究、将砂生植被纳入特定保护和管理范围等措施. 针对这一类型在中国植被分类中的地位以及植被制图等方面的意义, 本文提出了将其作为单独的类型处理和列入植被制图图例的建议.

关键词 砂生植被, 砂质海岸, 植被退化, 植被保护与恢复, 植被分类与制图

山东省海岸类型主要包括岩岸、泥岸和砂岸三种^[1~3], 其中砂质海岸分布在日照市绣针河口至莱州市虎头崖之间, 与岩岸相间分布. 砂质海岸多分布在岩岸的两个岬角之间湾口敞开的海湾内, 是激浪和激浪流所形成的砂砾、砾石的堆积物, 经风力和海浪、潮汐等的搬运而成的沉积带, 通常称海滩或者沙滩、沙丘^[1~3]. 在砂质海岸上分布着一种特殊的植被类型——海岸砂生植被. 它是一种非地带性植被类型, 主要由耐

贫瘠、干旱和轻度盐碱的砂生植物组成^[4~7], 海岸砂生植被的主要特征是种类组成和结构较简单、群落盖度低、生产力不高^[8]. 这种植被类型在我国沿海的砂质海岸上都有分布, 虽然面积和分布区小, 但由于其具有原生性, 对砂质海岸起着防护作用, 又有各种各样的珍稀濒危植物, 因而具有重要的生态价值和区域意义^[5,7]. 此外, 在内陆的河岸沙滩和沙丘上也有类似的砂生植被分布^[8,9]. 20世纪80年代以前, 在山东省的砂

引用格式: 王蕙, 张沁媛, 崔可宁, 等. 山东省海岸砂生植被基本特征及现状分析. 中国科学: 生命科学, 2021, 51: 300–313

Wang H, Zhang Q Y, Cui K N, et al. Characteristics and status of coastal sand dune vegetation on coasts of Shandong Province (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2021, 51: 300–313, doi: 10.1360/SSV-2020-0210

质海岸分布着较为典型多样的砂生植被, 形成一种砂质海岸的特殊景观^[5,7,8]. 后来由于城市化(房地产开发、修建沿海道路等)、经济活动(采砂、养殖等)、旅游等人为活动的干扰, 砂生植被受到了不同程度的破坏, 退化严重; 有些地段尽管还存在砂生植被, 但种类组成和结构等发生了明显的逆向演替, 而且这种变化还在持续. 因此, 砂生植被在山东沿海的一些区域和地段面临着消失的危险. 类似的现象在浙江、广西和国外的黑山共和国地中海沿岸也存在^[7,10~13].

我国学者对砂生植被的研究较少, 主要集中在植物生理、植被类型、植被保护和利用等方面^[7,10~18]. 国外学者相关研究较多, 视角多样. Šilc等人以及Garcia-Lozano等人分别对过去几十多年来地中海沿岸的东亚得里亚海和加泰罗尼亚沿岸沙丘的植被变化进行了历时分析; Laporte-Fauret等人利用无人机、高光谱地面和机载数据等进行多尺度综合调查, 以绘制海岸沙丘植被图, 描述沿海沙丘植被的空间分布特征; Ciccarelli对托斯卡纳沿海沙丘系统的保护状况进行了评估, 研究了自然和人为因素对沙丘植被的干扰, 以及如何进行海滩管理以提高海岸沙丘的生态价值^[18~28].

植被图是生物多样性保护、生态学基础研究、植被管理与恢复和国家生态决策的重要辅助信息源. 我国上一代植被图, 即《中华人民共和国植被图(1:1000000)》, 是20世纪80年代由逾250位生态学家耗时20多年编研完成的. 这一成果在我国基础生态学研究和国家决策等方面起到了至关重要的作用, 也因此于2011年获得了国家自然科学二等奖. 由于当时的科研条件和技术水平等所限, 中国植被图在应用中已经显示出了很多问题和不足. 一方面, 我国的植被分布与植被类型40多年来发生了剧烈的变化; 另一方面, 人力、物力和技术手段明显提高, 对上一代植被图进行现实性更新已成为迫在眉睫的需求和可能. 中国科学院植物研究所牵头进行的新一代中国植被图编研, 无疑是一项具有挑战性和历史与现实意义的重大战略先导课题. 由于中国国土面积大、气候和地貌地质类型多样, 如何尽可能地将缺陷或不足减到最小, 特别是将砂生植被等这种面积小但具有特殊意义的植被类型科学地体现在植被图中, 是全体参与者共同的责任.

综上所述, 国际上有关砂生植被的研究较多, 多注重植被的变化、保护、恢复和生态服务功能等方面. 我国的研究相对薄弱, 且多着眼于植被类型和利用等

方面. 因此, 开展我国砂生植被的相关基础研究, 摸清砂生植被的现状, 分析其退化的原因, 提出保护和恢复海岸砂生植被的对策, 提升砂生植被的生态服务功能非常重要而迫切. 本文以山东省砂质海岸的砂生植被为案例开展相关研究, 并针对砂生植被的生态和地理分布特征、植被的特征和性质及其在分类中的地位, 以及植被制图的取舍等科学问题进行探讨, 为保护、恢复和未来的研究利用提供科学基础和依据.

1 研究区域和方法

1.1 研究区域

山东省濒临黄海和渤海, 海岸线长3345 km, 居全国第三位, 海岸类型多样, 其中砂质岸线516 km, 占全省海岸线总长度的15.4%(图1); 山东省海域内共有海岛589个, 海岛面积101.8 km², 海岛岸线长572.8 km, 也分布有众多砂质海岸. 山东省属于暖温带季风气候, 降水集中, 雨热同季, 春秋短暂, 冬夏较长; 年平均气温11~14℃; 年平均降水量550~950 mm^[7,8]. 本研究范围涵盖了山东省陆域砂质海岸, 包括日照、青岛、烟台和威海市.

1.2 研究方法、样地设置和取样

研究从1985年开始, 1997年、2000年进行了补充踏查, 2020年9月对山东省砂质海岸及砂生植被进行了系统全面的调查. 调查方法包括踏查和样方法.

踏查主要是调查了解砂生植被的总体分布和现状, 记载植被类型和植物种类, 确定取样地点. 踏查沿山东省主要砂质海岸带起点烟台莱州市虎头崖, 至日照市绣针河口, 涉及27个砂质岸段(图1, 表1).

样方法调查目的是了解样地植物种类组成和建群种、优势种及生境特征, 用于植被分类和植被演替等分析. 由海边向外设置垂直于海岸的样线, 沿样线设置(1×1) m²草本样方; 1985年共设置草本样方150个, 2020年设置草本样方207个. 灌木长势良好的地区设置(2×2) m²灌木样方; 1985年共设置灌木样方50个, 2020年设置灌木样方9个.

1.3 土壤样品分析

2020年9月, 在不同调查位点采集0~15 cm的土壤样品(图1三角标注), 分别装于专用铝盒带回实验室,

图1 山东省砂质海岸分布和取样地点示意图(网络版彩图)

Figure 1 Distribution of sampling sites of sandy coast in Shandong Province (color online)

用于土壤含水量、土壤质地、有机质、电导率、pH等分析。

用烘干法测定土壤含水量, 用土壤筛和比重法分析土壤质地和机械组成, 用重铬酸钾-硫酸法测定土壤有机质, 用电导法测定土壤电导率, 水提法测定土壤pH。相关分析在山东大学生命学院生态实验室测试完成^[29,30]。

2 结果

2.1 山东省海岸砂生植被的生境特征

(1) 砂岸地质地形。砂质海岸一般位于潮间带和潮上带, 是由激浪和激浪流冲刷形成的砂砾、砾石堆积物, 经风力搬运而成的沉积带^[1,7]。由于作用于砂质海岸的动力不同, 砂岸的质地、形态也不同。在高潮面能影响到的沙滩, 质地均一, 常含有贝壳^[2,8], 属潮积滨海

砂土。在高潮线以上, 由于风力搬运为主要因素, 滩面常出现沙丘、沙垅和风蚀洼地, 为风积滨海砂土, 这类沙滩的宽度在数十米到数公里之间, 一般在1000 m左右, 海岸砂生植被主要分布在这种沙滩上^[2,8]。

(2) 土壤特征。砂质海滩的土壤是海水冲积的砂质堆积物, 土壤类型为滨海砂土。它的机械组成以砂粒为主(98.4%), 透水性极强, 在1~1.5 m深处由于淋溶作用常形成一层不透水层, 俗称“铁板沙”^[7]。由于滨海沙土透水性强, 加之蒸发强烈, 表层土壤含水量很低, 质量含水量为8.55%。土壤有机质含量也很低, 通常为0.05%~0.17%, 一般不超过0.2%。土壤pH值为6.85, 中性或略偏酸性^[2,3,7,29]。电导率为38.49 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。土壤理化性质详见表2。

(3) 综合特征。山东省沿海地区降水较充沛^[7,8], 但由于砂土的透水力强, 保水力差, 降水很快成为地表或者地下径流; 同时, 因受海风影响, 沙滩上的风多而大,

表 1 2020年山东省砂质海岸调查位点及坐标**Table 1** Field survey sites of sandy coast in Shandong Province in 2020

编号	地点	坐标
1	莱州虎头崖村	37°09'N 119°46'E
2	莱州朱旺村	37°15'N 119°53'E
3	三山岛	37°24'N 119°58'E
4	海北咀	37°25'N 120°00'E
5	黄河湿地公园	37°25'N 120°31'E
6	蛤堆后	37°27'N 121°41'E
7	酒馆立交	37°27'N 121°51'E
8	山东大学威海分校	37°31'N 122°02'E
9	朝阳港大桥东侧	37°24'N 122°30'E
10	成山林场	37°23'N 122°32'E
11	乳山银滩	36°50'N 121°44'E
12	海阳万米海滩	36°41'N 121°13'E
13	山东大学青岛校区	36°22'N 120°44'E
14	黄岛金沙滩	35°55'N 120°12'E
15	黄岛银沙滩	35°54'N 120°11'E
16	青岛世茂滨海公园	35°54'N 120°06'E
17	青岛城市阳台景观	35°52'N 120°03'E
18	青岛西海岸中央公园	35°51'N 120°02'E
19	青岛海军公园南	35°15'N 120°01'E
20	青岛徐福东渡起航处	35°39'N 119°54'E
21	日照滨海国家森林公园	35°32'N 119°37'E
22	日照绣针河口(多岛海风景区)	35°05'N 119°19'E

呈现干旱特征. 综上, 砂质海滩的生境特点是砂粒粗糙松散、透气透水、保水保肥力差、养分极低、含一定盐分、日照强烈、土温日较差大、风多而大, 这种生境特征类似于荒漠, 是砂生植被形成和发展的主导因素.

2.2 山东省砂生植被的基本特征和主要类型

(1) 砂生植被的植物种类组成. 砂生植被组成群落

表 2 山东省砂质海岸土壤基本理化性质^{a)}**Table 2** Basic physical and chemical properties of sandy coastal soil in Shandong Province^{a)}

含水率(%)	pH	有机质(%)	粒径分析			电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)
			黏粒(%)	砂粒(%)	粉粒(%)	
8.55±2.43	6.85±0.29	0.12±0.05	0.69±0.50	98.42±0.71	0.89±0.67	38.49±13.71

a) 样本数 $n=8$

的植物种类通常简单, 常形成单优种群落, 如砂钻苔草(*Carex kobomugi*)群落; 甚至为单种群落, 如单叶蔓荆群落. 根据文献统计, 组成山东省砂生植被的植物共计64种, 分属30科48属, 其中以禾本科、豆科、莎草科、菊科和藜科最多^[5-8,31]. 根据2020年调查结果, 组成山东省海岸砂生植被的物种仅有18科38属42种(包括变种). 各科、种在砂生植被组成中的作用, 详见表3.

由表3可知, 山东省砂生植被的组成种类以禾本科和菊科居首要, 各有9种, 其中禾本科有4种为建群种; 豆科和藜科居次要地位, 分别有5种和4种; 再次为萝藦科2种; 紫草科等13科各1种(表3). 莎草科、马鞭草科、蔷薇科种类虽少, 但多为建群种, 如砂钻苔草、单叶蔓荆和野生玫瑰(*Rosa rugosa*).

2020年野外调查数据显示, 山东省砂质海岸草本群落中肾叶打碗花(*Calystegia soldanella*)、砂钻苔草、滨麦(*Leymus mollis*)、砂引草(*Messerschmidia sibirica*)、单叶蔓荆(*Vitex trifolia* var. *simplicifolia*)、海滨香豌豆(*Lathyrus maritimus*)等最为典型(表4); 灌木群落中单叶蔓荆(*Vitex trifolia* var. *simplicifolia*)、野生玫瑰、砂钻苔草、肾叶打碗花等最为典型(表5). 从种类数量上来看, 山东省海岸砂生植被的植物区系组成比相近的省份辽宁和江苏更丰富^[17,32], 而与南方沿海各省市相比则较简单^[10,12,18].

(2) 砂生植物的形态和生态特征. 组成砂生植被的植物多是耐干旱、耐贫瘠、耐轻度盐碱的砂生植物^[5-8]. 它们多具旱生性质. 其主要生态特征如下: (i) 砂生植物的地上部分体积较小, 地下部分则体积较大, 例如单叶蔓荆地上部分和地下部分生物量比例为1:2~1:5或更大. (ii) 植物的叶子多为旱生类型, 有的叶子肥厚, 利于保水和减少蒸发, 如单叶蔓荆、珊瑚菜(*Glehnia littoralis*); 有的叶子或整个植物体具浓厚的绒毛, 如鸭嘴草(*Ischaemum ciliare*)、砂引草等. (iii) 根系特别发达, 如砂钻苔草. (iv) 具有迅速形成不定芽、不定根的能力, 一旦枝条或全株被沙埋没, 可迅速

表 3 砂生植被植物组成种数及建群种的分布

Table 3 The composition of coastal sand dune vegetation

科名	种数	建群种种数	占总建群种比例 (%)
禾本科	9	4	40
菊科	9	0	0
豆科	5	0	0
萝藦科	2	0	0
莎草科	1	1	10
藜科	4	0	0
旋花科	1	1	10
紫草科	1	1	10
马鞭草科	1	1	10
百合科	1	0	0
柽柳科	1	1	10
蔷薇科	1	1	10
唇形科	1	0	0
松科	1	0	0
大戟科	1	0	0
茄科	1	0	0
茜草科	1	0	0
蓼科	1	0	0
合计	42	10	100

发芽、生根^[7,8], 如单叶蔓荆、芦苇(*Phragmites australis*)、肾叶打碗花等。

砂生植物的根系发达, 表现在以下几方面: (i) 一般为深根系, 根深可达0.5~1.0 m, 最深者如珊瑚菜的根可达1.5~2.0 m; (ii) 根幅比植冠大几倍到几十倍, 有些植物如单叶蔓荆的侧根或根状茎的水平分布可达几米到几十米; (iii) 具须根系的植物, 须根特别发达, 每株可有数十条, 如粗毛鸭嘴草(*Ischaemum barbatum*); (iv) 有些植物的根毛能分泌出黏性物质, 可黏结沙粒, 起到固沙作用, 如砂钻苔草等。根据根系的起源与形态的不同, 可将砂生植物的根系分为三类: 一是直根系, 如二色补血草(*Limonium sinense*)、野生玫瑰、兴安天门冬(*Asparagus dauricus*)、珊瑚菜等。二是须根系类, 如粗毛鸭嘴草等; 三是具根状茎的根系类, 如砂钻苔草、滨麦、单叶蔓荆、芦苇等。其中, 一、三类居多。

(3) 砂生植被的植物生活型分析。生活型是植物长期适应综合生态因素形成的外貌、习性等特征, 某一群落的生活型组成(生活型谱)能够反映出该群落的生

境特征。根据Raunkiaer的生活型系统^[15], 山东省海岸砂生植物的生活型谱见表6。在山东省砂生植被中, 多年生地下芽植物和地面芽植物为优势生活型, 这与其生境特征是相适应的。为适应沙土水分、养分贫乏的条件, 砂生植物可分为2大类: (i) 地下部器官特别发达, 储存水分和养分能力强。例如, 砂钻苔草、矮生苔草(*Carex pumila*)、肾叶打碗花、沙苦荬菜(*Ixeris repens*)、白茅(*Imperata cylindrica*)等均具有十分发达的、匍匐伸长的地下根茎; 天门冬(*Asparagus chinchiensis*)有簇生的肉质块根; 砂引草、猪毛菜(*Salsola collina*)、软毛虫实(*Corispermum puberulum*)的根系特别发达, 为地上部的5~6倍长, 特别是珊瑚菜的直根细长, 达1.5 m以上。(ii) 缩短生长发育期, 完成生活史, 如砂引草、软毛虫实、猪毛菜、沙蓬(*Agriophyllum arenarium*)等利用种子越冬。

(4) 砂生植被群落类型及分布。在山东半岛, 砂生植被的植物种类组成和植被类型差异不大。根据1985~2020年样方资料归纳, 按照《中国植被》确定的植物群落-生态学原则进行植被分类^[15], 依据种类组成、外貌和结构、生境以及动态等特征, 将山东省海岸砂生植被初步分为以下13个主要的群落类型(群系, Formation), 其中前9个类型是具有原生性质的天然植被, 后4个类型是在砂生植被的基础上经人工造林而成(图2)。

砂钻苔草群落(*Carex kombomugi* Formation)是滨海沙滩裸地上的先锋植物群落, 主要分布在高潮线上缘沙地上, 建群种砂钻苔草常呈均匀分布, 有些地段几乎全是砂钻苔草。最初与之伴生的种有肾叶打碗花、海滨香豌豆等。随着群落的发展, 逐渐进入群落的有单叶蔓荆、兴安天门冬、沙苦荬菜、珊瑚菜、粗毛鸭嘴草等。典型样地设在黄河口湿地保护区、牟平区蛤堆后海滩、荣成市成山林场海滩(图2A)。群落结构简单, 外貌比较均一; 大多只有一个草本层, 植物的高度相近, 约为15~20 cm, 群落总盖度约60%~90%; 土壤pH值为6.8, 有机质含量为0.17%, 电导率为33.88 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。该群落固沙能力强, 可使流动沙丘变为半固定或固定沙丘。但由于最近10~20年兴建海水浴场和采挖海沙等人为干扰, 许多地段的砂钻苔草群落高度和盖度都明显下降。2020年在威海双岛林场北边海滩和山东大学威海校区西边沙滩调查发现, 大部分地段的砂钻苔草群落已被破坏, 或者已被海水浴场等取代。烟台

表 4 草本群落物种组成及重要值

Table 4 The composition and important values of herbaceous communities

中文名	拉丁名	科	属	重要值
肾叶打碗花	<i>Calystegia soldanella</i>	旋花科	打碗花属	20.25
砂钻苔草	<i>Carex kobomugi</i>	莎草科	薹草属	18.83
滨麦	<i>Leymus mollis</i>	禾本科	赖草属	14.51
狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i>	禾本科	狗牙根属	10.73
刺沙蓬	<i>Salsola ruthenica</i>	藜科	猪毛菜属	8.49
马唐	<i>Digitaria sanguinalis</i>	禾本科	马唐属	7.71
砂引草	<i>Messerschmidia sibirica</i>	紫草科	砂引草属	3.91
单叶蔓荆	<i>Vitex trifolia</i> var. <i>simplicifolia</i>	马鞭草科	牡荆属	2.43
海滨香豌豆	<i>Lathyrus japonicus</i>	豆科	山黧豆属	1.72
紫马唐	<i>Digitaria violascens</i>	禾本科	马唐属	1.36
狗尾草	<i>Setaria viridis</i>	禾本科	狗尾草属	1.33
芦苇	<i>Phragmites australis</i>	禾本科	芦苇属	1.22
野艾蒿	<i>Artemisia lavandulaefolia</i>	菊科	蒿属	1.16
灰绿藜	<i>Chenopodium glaucum</i>	藜科	藜属	1.05
山东丰花草	<i>Borreria shandongensis</i>	茜草科	丰花草属	0.65
苍耳	<i>Xanthium sibiricum</i>	菊科	苍耳属	0.50
地梢瓜	<i>Cynanchum thesioides</i>	萝藦科	鹅绒藤属	0.47
碱蓬	<i>Suaeda glauca</i>	藜科	碱蓬属	0.44
乳苣	<i>Mulgedium tataricum</i>	菊科	乳苣属	0.43
鸡眼草	<i>Kummerowia striata</i>	豆科	鸡眼草属	0.43
猪毛蒿	<i>Artemisia scoparia</i>	菊科	蒿属	0.38
沙苦荬菜	<i>Ixeris repens</i>	菊科	沙苦荬属	0.35
虎尾草	<i>Chloris virgata</i>	禾本科	虎尾草属	0.32
苦苣菜	<i>Sonchus oleraceus</i>	菊科	苦苣菜属	0.25
猪毛菜	<i>Salsola collina</i>	藜科	猪毛菜属	0.21
粗毛鸭嘴草	<i>Ischaemum barbatum</i>	禾本科	鸭嘴草属	0.15
野苣荬	<i>Lactuca seriola</i>	菊科	苣荬属	0.15
兴安胡枝子	<i>Lespedeza daurica</i>	豆科	胡枝子属	0.13
天门冬	<i>Asparagus cochinchinensis</i>	百合科	天门冬属	0.12
白茅	<i>Imperata cylindrica</i>	禾本科	白茅属	0.09
中华小苦荬	<i>Ixeridium chinense</i>	菊科	小苦荬属	0.05
鹅绒藤	<i>Cynanchum chinense</i>	萝藦科	鹅绒藤属	0.05
蒺藜	<i>Polygonum aviculare</i>	蓼科	蓼属	0.04
曼陀罗	<i>Datura stramonium</i>	茄科	曼陀罗属	0.04
乳浆大戟	<i>Euphorbia esula</i>	大戟科	大戟属	0.04

市牟平区蛤堆后村的这一群落面积也大大减小。

滨麦群落(*Leymus mollis* Formation)分布的地势较平坦, 常为单优群落, 偶见有砂钻苔草、海滨香豌豆、

单叶蔓荆等。典型样地设在牟平区蛤堆后海滩、荣成市成山林场海滩(图2B)。群落结构简单, 外貌比较均一; 大多只有一个草本层, 植物的高度相近, 约为

表 5 灌木群落物种组成及重要值

Table 5 Species composition and important values of shrub communities

中文名	拉丁名	科	属	重要值
单叶蔓荆	<i>Vitex trifolia</i> var. <i>simplicifolia</i>	马鞭草科	牡荆属	15.96
野生玫瑰	<i>Rosa rugosa</i>	蔷薇科	蔷薇属	12.30
白茅	<i>Imperata cylindrica</i>	禾本科	白茅属	10.19
怪柳	<i>Tamarix chinensis</i>	怪柳科	怪柳属	7.08
灰绿藜	<i>Chenopodium glaucum</i>	藜科	藜属	5.13
砂钻苔草	<i>Carex kobomugi</i>	莎草科	藨草属	5.06
芦苇	<i>Phragmites australis</i>	禾本科	芦苇属	4.87
刺槐	<i>Robinia pseudoacacia</i>	豆科	刺槐属	4.58
紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i>	豆科	紫穗槐属	4.51
黑松	<i>Pinus thunbergii</i>	松科	松属	4.46
肾叶打碗花	<i>Calystegia soldanella</i>	旋花科	打碗花属	4.26
刺沙蓬	<i>Salsola ruthenica</i>	藜科	猪毛菜属	3.46
小飞蓬	<i>Conyza canadensis</i>	菊科	白酒草属	2.98
野艾蒿	<i>Artemisia lavandulaefolia</i>	菊科	蒿属	2.92
粗毛鸭嘴草	<i>Ischaemum barbatum</i>	禾本科	鸭嘴草属	2.88
滨麦	<i>Leymus mollis</i>	禾本科	赖草属	2.75
马唐	<i>Digitaria sanguinalis</i>	禾本科	马唐属	2.19
猪毛蒿	<i>Artemisia scoparia</i>	菊科	蒿属	1.85
滇黄芩	<i>Scutellaria amoena</i>	唇形科	黄芩属	1.55
海滨香豌豆	<i>Lathyrus maritimus</i>	豆科	山黧豆属	1.03

表 6 山东省海岸砂生植被的生活型谱

Table 6 The life form spectrum of coastal sand dune vegetation in Shandong Province

生活型	种数	生活型谱
地面芽植物(H)	13	30.9
地下芽植物(G)	17	40.5
一年生植物(Th)	8	19.1
地上芽植物(Ch)	4	9.5

40~60 cm, 群落总盖度约40%~70%; 土壤pH值为6.7, 有机质含量为0.15%, 电导率为35.13 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 群落固沙力也较强. 目前该群落也已不多见.

粗毛鸭嘴草+紫花补血草群落(*Ischaemum barbatum*+*Limonium franchetii* Formation)由粗毛鸭嘴草和紫花补血草(*Limonium franchetii*)共建, 分布在距潮间带较远的地势缓升处, 典型样地设在黄水河湿地公园(图 2C). 群落高度40~60 cm, 总盖度约30%, 粗毛鸭嘴草簇

生或呈团块状分布. 紫花补血草稀疏均匀分布. 伴生种类主要有海滨香豌豆、肾叶打碗花、兴安天门冬和达呼里胡枝子(*Lespedeza davurica*)等. 土壤pH值为6.8, 有机质含量为0.17%, 电导率为29.62 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 由于粗毛鸭嘴草的须根发达, 根毛能分泌出黏性物质, 易使沙粒固定, 而地上茎叶茂密, 可以挡沙, 所以群落固沙力也较强. 2020年在黄水河湿地保护区和牟平区蛤堆后村北边沙滩调查偶尔见到粗毛鸭嘴草和紫花补血草, 但它们难形成大的群落.

白茅群落(*Imperata cylindrica* Formation)是草本群落中距潮间带最远的一个群落. 典型样地设在黄水河湿地公园(图 2D)和荣成市成山林场海滩. 群落高度50~70 cm, 总盖度大, 多在80%以上, 种类组成单一, 有明显的单优群落的特点, 群落外围有零星的砂钻苔草、芦苇、海滨香豌豆和达呼里胡枝子等. 土壤pH值为6.9, 有机质含量为0.16%, 电导率为36.01 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 在自然状态下, 该群落面积较大, 由于该群落下的土壤已

图 2 山东省典型砂生植物群落. A: 砂钻苔草群落; B: 滨麦群落; C: 粗毛鸭嘴草群落; D: 白茅群落; E: 砂引草群落; F: 肾叶打碗花+海滨香豌豆群落; G: 芦苇群落; H: 单叶蔓荆群落; I: 野生玫瑰群落(网络版彩图)

Figure 2 Typical communities of coastal sand dune vegetation in Shandong Province. A: *Carex kombomugi* Formation; B: *Leymus mollis* Formation; C: *Ischaemum barbatum* Formation; D: *Imperata cylindrica* Formation; E: *Messerschmidia sibirica* Formation; F: *Calystegia soldanella*+*Lathyrus maritimus* Formation; G: *Phragmites australis* Formation; H: *Vitex trifolia* var. *simplicifolia* Formation; I: *Rosa rugosa* Formation (color online)

明显得到改善,且含盐量低,在有些地段已开垦为农田或人工营造了海防林,目前山东半岛海滩的沿海防护林,多是在这一类型基础上营造的.由于人工开垦、海防林营造、干旱等因素,目前该群落分布并不广泛,多是零星分布.

砂引草群落(*Messerschmidia sibirica* Formation)见于沙岸的内缘,典型样地设在三山岛(图2E)和牟平区蛤堆后村海滩.砂引草较常见,常与矮生苔草、肾叶打碗花、砂钻苔草等混生,群落高度10~15 cm,盖度40%~60%;土壤pH值为6.9,有机质含量为0.11%,电导率为38.56 $\mu\text{S}/\text{cm}$.本群落面积较小,分布也不广泛.

珊瑚菜+肾叶打碗花+海滨香豌豆群落(*Glehnia littoralis*+*Calystegia soldanella*+*Lathyrus maritimus* Formation)分布于沙岸地势较平坦的地段,常在砂钻苔草群落的外侧,典型样地设在酒馆立交(图2F)、牟平区蛤堆后村海滩和荣成市成山林场海滩.优势种类不明显,共建种是珊瑚菜、肾叶打碗花和海滨香豌豆,

还可见到沙苦荬菜、砂钻苔草、砂引草等.群落高度5~15 cm,盖度20%~40%.根据资料^[8],20世纪50~60年代,山东沿海还可见到较大面积的以珊瑚菜为主的群落,为传统中药材“莱阳沙参”采挖之地.后来由于采挖过度和生境变化,大面积的珊瑚菜已不多见.2020年的调查发现,在威海市、烟台市、青岛市和日照市的海滩上,可以见到零星分布的珊瑚菜.

芦苇群落(*Phragmites australis* Formation)多出现在一些低洼或者水分好的地段.典型样地设在黄水河湿地公园(图2G)和威海市双岛林场西北边海滩.常为单优群落.2020年在威海市、烟台市等地调查发现,在沙滩外缘,水分条件较差的地方,也有矮小的芦苇分布在砂钻苔草群落、单叶蔓荆群落中.

单叶蔓荆群落(*Vitex trifolia* var. *simplicifolia* Formation)是海岸带沙地上分布广、面积最大的天然灌木群落,分布于沙岸的外缘和地形较高处,典型样地设在酒馆立交、牟平区蛤堆后村海滩和荣成市成山林场

海滩(图2H). 群落高度30~100 cm, 盖度为70%~100%, 也有呈匍匐生长状. 单叶蔓荆占绝对优势, 偶有砂钻苔草、海滨香豌豆、肾叶打碗花、芦苇等分布于群落的边沿稀疏地段. 土壤pH值为6.5, 有机质含量为0.16%, 电导率为32.21 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 由于建群种具有发达的匍匐茎, 并能在沙埋之后迅速形成不定根和不定芽, 所以群落的固沙能力极强, 可形成小型固定沙丘或带状固定沙垅. 2020年的调查发现, 在威海市原有的调查地点该群落大部分受到破坏, 退化严重, 生长稀疏低矮; 在牟平区和荣成市等地的单叶蔓荆长势良好.

野生玫瑰群落(*Rosa rugosa* Formation)距潮间带较远, 呈斑块状分布, 与周围群落有明显差异, 典型样地设在牟平区蛤堆后村海滩和朝阳港大桥东(图2I). 群落高度40~60 cm, 个别80~100 cm, 可分为灌木和草本2个层次, 盖度70%~90%, 灌木层主要是野生玫瑰, 草本层有砂钻苔草、达呼里胡枝子、滨麦、珊瑚菜等. 土壤pH值为6.5, 有机质含量为0.25%, 电导率为20.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 由于野生玫瑰是名贵花卉, 人们经常采挖, 目前数量已很少, 总体呈濒危状态. 山东大学威海校区西边海滩原有的大片野生玫瑰群落已经被游泳场、道路、房屋等取代. 根据2020年的调查, 牟平区蛤堆后村和朝阳港大桥东等地的沙滩上尚有零星的小片分布. 该群落退化最为严重, 应当引起特别重视. 需指出的是, 在欧洲和北美沿海的沙滩上引入了野生玫瑰作为海岸防护植物, 在引入的地段长势特别好. 根据本团队2013年8月在瑞典海滨的实地调查, 野生玫瑰高度100~250 cm, 盖度80%~100%. 欧美甚至把野生玫瑰看做外来入侵植物, 几乎没有办法控制其蔓延.

银白杨群落(*Populus alba* Formation)为人工栽培而成的群落, 见于沙滩外缘距海较远处. 没有设置样地, 原来见于山东大学威海校区西边海滩的群落, 后来为道路和楼房等取代.

紫穗槐群落(*Amorpha fruticosa* Formation)为人工栽培而成的群落, 见于沙滩外缘距海较远处. 除紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)外, 还有单叶蔓荆、砂钻苔草等十多种植物. 该群落见于沿海防护林外缘的沙地上, 由于每年刈割而呈现灌丛状, 未设置样地.

黑松群落(*Pinus thunbergii* Formation)是山东省砂质海岸上最常见的人工林, 既是沙滩的天然卫士, 又是农田的防护林, 多系20世纪50~60年代初人工造海防林而成, 是砂岸上面积最大的植物群落, 在整个山东省沿

海沙岸均可见到. 50~60年生的黑松(*Pinus thunbergii*)已高达15 m以上, 群落基本达到郁闭状态, 因为是纯林, 2018年以来, 受松材线虫病危害严重, 有些地段的黑松成片死亡. 刈伐受害树木的费用非常高, 每年超过千万. 因此, 改造纯黑松林, 增加麻栎(*Quercus acutissima*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等阔叶树种, 提升海防林的质量和功能, 也是今后需要进一步研究的. 黑松林下除紫穗槐为人工种植的种类外, 其他种类都是沙地上常见的, 如野生玫瑰、紫花补血草、白茅、达呼里胡枝子等. 2020年在牟平区金城镇北边海滩防护林调查发现, 黑松群落中有麻栎幼树和幼苗, 还有扁担杆(*Grewia biloba*)、木半夏(*Elaeagnus multiflora*)等灌木, 表明该群落已进入正向演替阶段, 离海岸远、土壤条件好的地段, 有可能被落叶阔叶林代替. 在日照市大沙洼林场, 人工栽培的麻栎已经成为高大乔木. 本群落类型未设样方调查.

刺槐群落(*Robinia pseudoacacia* Formation)是另一砂质海岸上最常见的人工林, 也是20世纪50~60年代初人工造海防林而成, 50~60年生的刺槐林已高达15~20 m. 群落特征类似黑松林. 本群落类型未设样方调查.

根据以上13个群落类型的描述, 砂生植物群落的分布随海岸向陆地延伸呈现出一定规律. 一般在高潮线以上的裸地上首先出现的是以砂钻苔草和砂引草为主的草本植物群落; 离岸较远, 土壤和水分条件较好的地方, 则生长着盖度较大的白茅群落, 在这之间的过渡地带则分布着滨麦群落、粗毛鸭嘴草群落、野生玫瑰群落; 再向陆地延伸则是人工栽培的刺槐、银白杨和黑松群落. 此外, 在一些低洼地段还有芦苇群落出现.

2.3 砂生植被退化及其原因分析

(1) 砂生植被的退化状况. 1985~2020年, 山东省海岸砂生植被发生了明显的退化, 分布范围缩小, 质量下降, 主要有以下几个方面.

第一, 分布范围和面积的减少. 20世纪80年代, 根据踏查结果来看, 从山东莱州市虎头崖至日照市绣针河口之间, 凡是有砂质海岸的地方, 一般都有砂生植被的分布. 随着开发利用强度的加大, 砂生植被的分布范围和面积都在急剧缩小. 有些地段甚至见不到砂生植被的分布, 例如威海市小石岛至金海湾国际饭店之间, 以往分布有前述的13个砂生植被类型, 但目前

砂生植被分布的地段已被酒店、海水浴场、道路等所代替, 砂生植被呈片段化出现。

第二, 植被类型的变化. 砂生植被有10个以上的类型, 但目前多数地段常见的只有3~5个类型(图2), 且分布范围都很小. 其中, 野生玫瑰群落、白茅群落、粗毛鸭嘴草群落等以往长势良好, 群落盖度大, 护岸固沙能力强, 但目前这几个类型都已严重退化, 有些地段基本消失(表7)。

第三, 植物种类的变化. 20世纪80年代, 野生玫瑰、砂引草、珊瑚菜、粗毛鸭嘴草、紫花补血草等植物都很常见, 但2020年的调查发现这些种类都不常见, 且长势一般。

第四, 植被生态服务功能的变化. 砂生植被具有防风固沙等重要生态服务功能, 由于植被的破坏, 这些功能也已经大大降低, 有的地段固定的沙丘已完全破坏。

(2) 原因分析. 造成海岸砂生植被退化的原因有多方面, 归纳分析, 一方面是全球变化带来的干旱和海浪侵袭等自然因素影响; 另一方面, 城市化、房地产、沿海道路建设、采砂、旅游等人类活动对海岸砂生植被的影响和破坏是主要原因。

第一, 城市化. 城市化是当今社会发展的趋势. 作为沿海省份, 山东省的城市化也发展迅速. 以威海市和烟台市为例, 最近30年沿海区域的城市化使城区的范

围成倍增加. 威海市双岛林场周边, 1980年之前, 大多为人工黑松林和其他砂生植被占据, 而现在靠近海岸的区域大多被楼房、道路、餐饮场所、海水浴场等所代替, 烟台市的莱州、龙口、牟平等地也有类似现象, 这些区域已经不可能恢复海岸砂生植被。

第二, 旅游开发. 最近二三十年, 以海滨旅游和游泳、高尔夫球场等为主要娱乐项目的开发, 对植被造成很大的破坏. 以威海市为例, 金海湾周边大都开发为娱乐场所, 野生玫瑰、单叶蔓荆、砂钻苔草等植被受到严重破坏. 野生玫瑰和单叶蔓荆甚至已经消失。

第三, 房地产开发. 海岸带附近的房地产开发最近几年越来越热, 而房地产开发往往对植被造成毁灭性的破坏, 烟台市的海阳、龙口等地较为突出。

第四, 建筑用砂开采. 由于建筑大量使用海沙, 开采海沙使砂质海岸也遭受不同程度的破坏, 继而影响了砂生植被。

第五, 其他人为干扰, 包括养殖、码头设施等生产和建设也对砂生植被造成或大或小的影响。

上述问题的产生, 根本原因还是在于生态保护意识低, 保护和开发的矛盾突出, 结果多是保护为开发让路^[1,18]。

在国外, 类似问题也不同程度存在. 如在地中海沿岸, 娱乐活动带来的修筑道路、践踏等给砂生植被带

表 7 山东省砂生植被类型的变化^{a)}

Table 7 Changes of coastal sand dune vegetation in Shandong Province^{a)}

序号	群落名称	20世纪80年代	2020年
1	砂钻苔草群落(<i>Carex kombomugi</i> Formation)	+++	+++
2	滨麦群落(<i>Leymus mollis</i> Formation)	++	+
3	粗毛鸭嘴草+紫花补血草群落(<i>Ischaemum barbatum</i> + <i>Limonium frachetii</i> Formation)	+	+
4	白茅群落(<i>Imperata cylindrica</i> Formation)	+	+
5	砂引草群落(<i>Messerschmidia sibirica</i> Formation)	++	+
6	珊瑚菜+肾叶打碗花+海滨香豌豆群落(<i>Glehnia littoralis</i> + <i>Calystegia soldanella</i> + <i>Lathyrus maritimus</i> Formation)	+++	+++
7	芦苇群落(<i>Phragmites australis</i> Formation)	+++	+
8	单叶蔓荆群落(<i>Vitex trifolia</i> var. <i>simplicifolia</i> Formation)	+++	++
9	野生玫瑰群落(<i>Rosa rugosa</i> Formation)	+++	+
10	人工银白杨群落(<i>Populus alba</i> Formation)	+	—
11	人工紫穗槐群落(<i>Amorpha fruticosa</i> Formation)	+++	—
12	人工黑松群落(<i>Pinus thunbergii</i> Formation)	+++	++
13	人工刺槐群落(<i>Robinia pseudoacacia</i> Formation)	+++	—

a) “+++”: 普遍; “++”: 一般; “+”: 不常见; “—”: 调查未见到

来了不利影响;在欧洲,自然和人为因素影响了海岸砂生植被,前者如海岸侵袭,后者如城市化、道路建设、采矿、户外活动、踩踏、过度利用和外来物种入侵等^[19-28]。

3 讨论和展望

3.1 海岸砂生植被的科学研究

作为一种特殊的植被类型,海岸砂生植被具有重要的生态价值和学术意义,但由于这种类型的分布范围受局限,对其的重视程度远远不够,尤其最近10多年来有关海岸砂生植被的研究很少,而且多限于植被类型和应用等方面^[4-12,17,18,33-38]。相比之下国外的相关研究则很多,且聚焦于植被的动态、退化原因、保护和恢复、生态服务功能等方面,与国际植被研究热点和趋势吻合^[18-28]。因此,建议我国应加强海岸砂生植被的研究,并尽快与国际接轨,将研究重点转向植被的动态、退化原因、保护和恢复策略、提升生态服务功能等方面。

3.2 海岸砂生植被的保护和恢复策略

海岸带是国土中最有战略意义的地段,植被又是海岸带的重要自然资源之一,保护好海岸带植被、特别是海岸带砂生植被,对改善沿海地区生态环境极为重要^[39-41]。

烟台市2006年建立了沿海防护林省级自然保护区,主要保护对象是海防林,保护区的建立对黑松和刺槐林起到了很好的保护。建议今后把砂生植被也纳入保护对象和管理范围,特别是野生玫瑰群落、单叶蔓荆群落等为森林演替奠定了前期基础,更应加强保护,建议列入植物群落红色名录。

在欧洲,管理者通过安装人行天桥来限制或改变行人在海岸沙丘地带的交通路线,并使用适当的围栏来允许风沙的流动和漂移;或者减少旅游活动,这些活动可能导致沙丘生态系统的严重退化,由此提出了多种管理计划,以防止侵蚀和促进有损自然过程的沙丘稳定,管理策略包括增加养分、人工种植植被、安置防砂栅栏和加强年际监测评估等^[21-28]。这些方法和策略值得借鉴,其中控制游客数量、改变旅游方式、增加土壤养分、人工栽植适宜砂生植物、加强监管等容易做到。对固沙防风效果特别显著、经济价值高的

药用植物单叶蔓荆、野生玫瑰、珊瑚菜、砂钻苔草、沙滩黄芩(*Scutellaria strigillosa*)、海滨香豌豆、兴安天门冬、白茅等,应采取严格保护措施,通过专家论证把适合的种类纳入国家或者地区保护植物名录,一些保存较好的砂质海岸,如烟台牟平区的蛤堆后村海滩、荣成市的成山林场海滩等也划入生态红线或栖息地红色名录。在欧洲,30个沿海栖息地由于范围的缩小和质量的下降已被列入欧洲栖息地红色名录^[25]。

3.3 海岸砂生植被的植被分类地位

砂生植被作为一种自然屏障,在防止风暴期间的海浪对海岸侵袭和减弱海水泛滥及洪水等方面发挥着重要作用。同时海岸砂生植被还提供了除天然屏障外的许多其他的生态系统服务,如鸟类栖息、污染物过滤和净化、观光旅游和提供生态产品等能力,其重要性不言而喻。

砂生植被在我国沿海各省市或多或少都有分布,包括北部的辽宁、河北、天津、山东和南方的江苏、浙江、福建、广东、海南、广西和台湾等省(市)区^[11,12,15,17],是海岸带独特的植被类型,在内陆河滩也有分布,但种类有差异,以中生和湿中生植物为主。沿海岸线从我国北部向南,砂生植被的种类越来越复杂,差异也越来越大,例如,广东海岸的砂生植被多由热带、亚热带植物区系组成,绝大多数种类是北方见不到的,而且还有高大的常绿灌木林,如台湾的砂质海岸上有高大的木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)生长,但在山东等地见到的是草麻黄(*Ephedra sinica*);北方海岸的砂生植被则以温带植物区系为主,且多为草本群落^[10-12,15-18,31]。

同时,从植被分类角度看,海岸砂生植被是一种比较特殊的植被类型;从性质上看,它是一种非地带性植被类型;从植物组成上看,主要由耐贫瘠、干旱和轻度盐碱的砂生植物组成;从生境上看,与沙漠、盐碱土有某些相似之处,但又不同于沙漠和盐碱土;从演替特征看,砂钻苔草、珊瑚菜、单叶蔓荆、野生玫瑰等形成的群落自然生长于砂质海岸上,具有原生性。

在《中国植被》一书中,海岸砂生植被作为草甸中盐生草甸中的一种类型来处理^[15],在《中国植被及其地理格局》中该类型作为灌草丛植被中的亚热带、热带草丛的一个类型描述^[16],这显然都是不妥的。按照群落学-生态学原则分析,无论从群落的种类组成、分布,还是土壤等生境特征来看,砂生植被同草甸和草

丛都有着本质的不同, 草甸是隐域植被, 主要由中生或旱中生的植物组成, 土壤水分条件较好; 草丛多分布在暖温带至热带山地, 属于次生类型. 而砂生植被从发生上多是原生的, 具有干旱植被类型的许多特征, 建群种类多是旱生或旱中生类型, 土壤为沙土, 水分常不足, 并且土壤中还含有一定的盐分.

鉴于海岸砂生植被的重要生态、学术意义以及其明显退化的现状, 本文就植被制图方面对砂生植被提出以下建议: 一是将砂生植被(包含海岸砂生植被和内陆河岸砂生植被)单独作为一种植被类型来看待, 在植被分类中给以应有的地位, 这一类型可参照竹林处理方式, 作为特殊的植被型处理. 二是在新一代植被图

图例中将砂生植被列出, 具体哪些类型进入还需要讨论. 三是在具体制图时, 根据这一类型沿着海岸线狭长分布的特征, 可以不局限于 $(1000 \times 1000) \text{ m}^2$, 可以降低到 $(100 \times 1000) \text{ m}^2$, $(300 \times 500) \text{ m}^2$ 甚至 $(200 \times 300) \text{ m}^2$, 或者用特殊符号表示.

总之, 砂生植被作为在砂质海岸上所形成的一种具有原生性质的特殊植被类型, 尽管分布范围和面积都不大, 由于其独特的生态、学术价值和面临的严重威胁, 把它单独作为一种植被类型来处理利于研究和保护, 在植被分类中给以应有的地位也是适宜的; 同时将其绘制于新一代中国植被图中也是可能和可行的.

致谢 山东大学生态学专业1984~1985级部分本科生, 1995~1997级部分硕士生, 2017~2019级部分硕士生参加了野外调查和取样, 在此一并致谢.

参考文献

- 1 Wu Y Y, Zheng Y Y, Zhang T W, et al. Study on the protection and rational utilization of sandy coast in Shandong Province (in Chinese). *Shandong Fish*, 2017, 7: 33–37 [吴莹莹, 郑永允, 张天文, 等. 山东省砂质海岸保护与合理利用研究. *齐鲁渔业*, 2017, 7: 33–37]
- 2 Xu D C, Ni Y L, Bi K Y. Characteristics and ecological evaluation of sandy coast in Shandong Peninsula (in Chinese). *Prot Forest Sci Technol*, 1998, 1: 11–13 [徐德成, 倪玉乐, 毕可阳. 山东半岛砂质海岸的特点和生态评价. *防护林科技*, 1998, 1: 11–13]
- 3 Luan T. Current situation and analysis of the sandy coast in the north of Shandong Peninsula (in Chinese). Dissertation for Master's Degree. Qingdao: Ocean University of China, 2011 [栾天. 山东半岛北岸砂质海岸现状及演化分析. 硕士学位论文. 青岛: 中国海洋大学, 2011]
- 4 Zhao D C. Coastal Vegetation of China (in Chinese). Beijing: China Ocean Press, 1996 [赵大昌. 中国海岸带植被. 北京: 海洋出版社, 1996]
- 5 Ni J. Sand plants in coastal zone of Shandong Peninsula. *Plants*, 1991, 4: 4–5 [倪健. 山东半岛海岸带砂生植物. *植物杂志*, 1991, 4: 4–5]
- 6 Zhang D L. Study on plant community distribution and characteristics in sandy coastal shrubby belt in Jiaonan city (in Chinese). *Shandong Forest Sci Technol*, 2000, 3: 5–8 [张敦论. 胶南市沙质海岸灌草带植物群落分布及特性的研究. *山东林业科技*, 2000, 3: 5–8]
- 7 Zhang Z G, Wang R Q, Lu J J. Basic characteristics of the psammophytic vegetation on coasts of Shandong Province and the spatial pattern of its keystone species (in Chinese). *J Shandong Univ (Nat Sci)*, 2002, 37: 364–368 [张治国, 王仁卿, 陆健健. 胶东沿海砂生植被基本特征及主要建群种空间分布格局的研究. *山东大学学报*, 2002, 37: 364–368]
- 8 Wang R Q, Zhou G Y. *Shandong Vegetation* (in Chinese). Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2000 [王仁卿, 周光裕. 山东植被. 济南: 山东科技出版社, 2000]
- 9 Xu W E, Fang Q Y, Lu X G. Investigation report on sand vegetation and halophytic vegetation in Anhui Province (in Chinese). *J Anhui Agric Sci*, 1980, 3: 90–92 [徐婉娥, 方其英, 卢心固. 安徽省砂生植被与盐生植被调查报告. *安徽农业科学*, 1980, 3: 90–92]
- 10 Chen Z H, Tang Z L, Zhang X H, et al. Sand vegetation of the islands in Zhejiang: (I) Basic characteristics of vegetations (in Chinese). *J Zhejiang A&F Univ*, 1995, 4: 388–398 [陈征海, 唐正良, 张晓华, 等. 浙江海岛砂生植被研究: (I)植被的基本特征. *浙江农林大学学报*, 1995, 4: 388–398]
- 11 Zhang X H, Ying S K, Liu X K, et al. Sand vegetation of the islands in Zhejiang: (II) Main types of vegetations and their exploitation and application (in Chinese). *J Zhejiang A&F Univ*, 1997, 14: 50–57 [张晓华, 应松康, 刘雪康, 等. 浙江海岛砂生植被研究: (II)天然植被类型及开发利用. *浙江农林大学学报*, 1997, 14: 50–57]
- 12 Li X X. Types, distribution and evolution of sandy vegetations along coasts in Guangxi (in Chinese). *J Guangxi Acad Sci*, 2005, 21: 27–36 [李信

- 贤. 广西海岸沙生植被的类型及其分布和演替. 广西科学院学报, 2005, 21: 27–36]
- 13 Šilc U, Stešević D, Luković M, et al. Changes of a sand dune system and vegetation between 1950 and 2015 on Velika plaža (Montenegro, E Mediterranean). *Region Stud Mar Sci*, 2020, 35: 101139
- 14 Liu Y L, Hou Y P, Bu Q M. Comparison of photosynthetic performance and resource use efficiency of 4 herbaceous species in coastal frontier of Shandong Peninsula (in Chinese). *J Anhui Agric Univ*, 2018, 45: 710–714 [刘艳莉, 侯玉平, 卜庆梅. 山东半岛海岸前沿4种草本植物光合性能及资源利用效率比较. 安徽农业大学学报, 2018 45: 710–714]
- 15 The Editorial Committee of Vegetation of China. *Chinese Vegetation* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1980 [中国植被编辑委员会. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980]
- 16 The Editorial Committee of Vegetation Map of China, Chinese Academy of Sciences Chinese Academy of Sciences Vegetation Map Editing Committee. *Vegetation and Its Geographical Pattern in China* (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 2007 [中国科学院中国植被图编辑委员会. 中国植被及其地理格局(上、下). 北京: 地质出版社, 2007]
- 17 Liu F X, Huang Z Y, Cai S K. A study of the psammophilous vegetation along the coast of Jiangsu province (in Chinese). *J Plant Ecol*, 1986, 10: 115–122 [刘昉勋, 黄致远, 蔡守坤. 江苏海岸沙生植被的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1986, 10: 115–122]
- 18 Deng Y. Transformation and utilization of the sand vegetation in the coast of Guangdong province (in Chinese). *Trop Geogr*, 1988, 8: 32–36 [邓义. 广东沙滩砂生植被的改造利用. 热带地理, 1988, 8: 32–36]
- 19 Stešević D, Kuzmić F, Milanović Đ, et al. Coastal sand dune vegetation of Velika plaža (Montenegro). *Acta bot Croat*, 2020, 79: 43–54
- 20 Laporte-Faure Q, Lubac B, Castelle B, et al. Classification of atlantic coastal sand dune vegetation using *in situ*, UAV, and airborne hyperspectral data. *Remote Sens*, 2020, 12: 2222
- 21 Ciccarelli D. Mediterranean coastal sand dune vegetation: influence of natural and anthropogenic factors. *Environ Manage*, 2014, 54: 194–204
- 22 Bakker M A J, Van Heteren S, Vonhogen L M, et al. Recent coastal dune development: Effect of sand nourishments. *J Coast Res*, 2012, 28: 587–601
- 23 Arens S M, Baas A C W, van Boxel J H, et al. Influence of reed stem density on foredune development. *Earth Surf Process Landforms*, 2001, 26: 1161–1176
- 24 Garcia-Lozano C, Pintó J, Daunis-i-Estadella P. Changes in coastal dune systems on the Catalan shoreline (Spain, NW Mediterranean Sea). Comparing dune landscapes between 1890 and 1960 with their current status. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2018, 208: 235–247
- 25 Janssen, J A M, Rodwell, J S, Criado, M G, et al. *European Red List of Habitats. 2. Terrestrial and Freshwater Habitats*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016
- 26 Kelly J F. Effects of human activities (raking, scraping, off-road vehicles) and natural resource protections on the spatial distribution of beach vegetation and related shoreline features in New Jersey. *J Coast Conserv*, 2014, 18: 383–398
- 27 Castelle B, Laporte-Faure Q, Marieu V, et al. Nature-based solution along high-energy eroding sandy coasts: preliminary tests on the reinstatement of natural dynamics in reprofiled coastal dunes. *Water*, 2019, 11: 2518
- 28 Nordstrom K F, Lampe R, Vandemark L M. Reestablishing naturally functioning dunes on developed coasts. *Environ Manage*, 2000, 25: 37–51
- 29 Cox G W. *Experimental Handbook of General Ecology* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1979 [考克斯. 普通生态学实验手册. 北京: 科学出版社, 1979]
- 30 Geotechnical Engineering Office of Changsha Institute of Water Resources Science. *Soil Analysis Method* (in Chinese). Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1959 [长沙水利科学研究院土工室. 土壤分析方法. 北京: 水利电力出版社, 1959]
- 31 Xu D C. Psammophytic vegetations on coasts of Jiaodong area (in Chinese). *Chin J Ecol*, 1991, 4: 60–63 [徐德成. 胶东海岸的沙生植被. 生态学杂志, 1991, 4: 60–63]
- 32 Dong H D. *Vegetation Zoning in Liaoning* (in Chinese). Shenyang: Liaoning University Press, 1986 [董厚德. 辽宁植被区划. 沈阳: 辽宁大学出版社, 1986]
- 33 Wang R Q. Review and prospect of vegetation research in China (in Chinese). In: *Botany in Ecological Civilization Construction: Present and Future: Proceedings of the 15th Congress of the Chinese Society of Botany and the 80th Annual Conference*. Nanchang, 2013 [王仁卿. 中国植被研究的回顾与展望. 见: 生态文明建设中的植物学: 现在与未来——中国植物学会第十五届会员代表大会暨八十周年学术年会论文集. 南昌, 2013]
- 34 Li X R. The characteristics of the flora of the shrub resource in Maowusu sandland and the countermeasures for their protection (in Chinese). *J Nat Resour*, 1997, 2: 51–57 [李新荣. 毛乌素沙地灌木资源区系特征及其保护对策. 自然资源学报, 1997, 2: 51–57]

- 35 Duan Y Z, Li J, Du Z Y, et al. Analysis of biodiversity and flora characteristics of natural plants in Mu Us sandy land (in Chinese). *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2018, 38: 770–779 [段义忠, 李娟, 杜忠毓, 等. 毛乌素沙地天然植物多样性组成及区系特征分析. *西北植物学报*, 2018, 38: 770–779]
- 36 Bai Z Z, Cui J X. Desertification and its causes in Mu Us desert in recent 2000 years (in Chinese). *J Desert Res*, 2019, 39: 177–185 [白壮壮, 崔建新. 近2000a毛乌素沙地沙漠化及成因. *中国沙漠*, 2019, 39: 177–185]
- 37 Hujieletu, Yang J, Zhang L, et al. Study on the flora of vascular plants in low wetland of the Mu Us sandy land (in Chinese). *J Desert Res*, 2011, 31: 1189–1194 [呼格吉勒图, 杨劫, 张磊, 等. 毛乌素沙地低湿地维管植物区系特征. *中国沙漠*, 2011, 31: 1189–1194]
- 38 Luo T, Yang X B, Huang Y F, et al. Research progress of psammophilous vegetation on coasts in China (in Chinese). *Subtrop Plant Sci*, 2008, 1: 70–75 [罗涛, 杨小波, 黄云峰, 等. 中国海岸沙生植被研究进展(综述). *亚热带植物科学*, 2008, 1: 70–75]
- 39 Xu Z J, Zhang X L, Zhang Z H. Coastal erosion in Shandong Peninsula and Yellow River delta and related countermeasures (in Chinese). *Sci Technol Rev*, 2010, 28: 90–95 [徐宗军, 张绪良, 张朝晖. 山东半岛和黄河三角洲的海岸侵蚀与防治对策. *科技导报*, 2010, 28: 90–95]
- 40 Zou X Q, Zhu D K. Study on the framework of integrated coastal zone management (in Chinese). *Marine Sci Bull*, 2000, 5: 55–61 [邹欣庆, 朱大奎. 海岸带综合管理框架体系研究. *海洋通报*, 2000, 5: 55–61]
- 41 Han X G. *Principles and Methods of Biodiversity Research* (in Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 1994 [韩兴国. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版, 1994]

Characteristics and status of coastal sand dune vegetation on coasts of Shandong Province

WANG Hui^{1,2,3}, ZHANG QinYuan¹, CUI KeNing^{1,2,3}, HE TongLi^{1,2,3}, MA JiaLe¹, SUN ShuXia¹, ZHANG ShuPing^{1,2,3}, CUI WenQiang¹, ZHENG PeiMing^{1,2,3} & WANG RenQing^{1,2,3}

¹ Institute of Ecology and Biodiversity, School of Life Sciences, Shandong University, Qingdao 266237, China;

² Shandong Provincial Engineering and Technology Research Center for Vegetation Ecology, Shandong University, Qingdao 266237, China;

³ Qingdao Forest Ecology Research Station of National Forestry and Grassland Administration, Shandong University, Qingdao 266237, China

Coastal sand dune vegetation is a non-zonal vegetation type, mainly composed of coastal sand dune plants resistant to impoverishment, drought, and mild salinity, which is distributed on the sandy coast of China. There is typical coastal sand dune vegetation on the coasts of Shandong Province. Although the distribution area of coastal sand dune vegetation is small, it has important ecological value and regional significance because of its original nature, protective effect on sandy coast, and various rare and endangered plants. By field investigation and literature review, we studied the characteristics of the composition, structure, distribution, and succession of coastal sand dune vegetation on sandy coasts of Shandong Province. It is classified in to 13 community types. We also analyze the changes and causes of the coastal sand dune vegetation in Shandong Province from 1985 to 2020 in terms of the composition, distribution, and vegetation type. Due to the impact of urbanization, real estate, coastal road construction, sand excavation, tourism, and other human activities, the degradation of coastal sand dune vegetation is serious and widespread. It is very important and urgent to put forward the countermeasures of protecting and restoring coastal sand dune vegetation, such as conducting basic research, implementing specific protection and management. Meanwhile, we put forward specific suggestions on the status of the coastal sand dune vegetation in Chinese vegetation classification and vegetation mapping.

coastal sand dune vegetation, sandy coasts, vegetation degradation, vegetation protection and restoration, vegetation classification and mapping

doi: [10.1360/SSV-2020-0210](https://doi.org/10.1360/SSV-2020-0210)