2010年9月

September 2010

移植大叶藻的形态、生长和繁殖的季节性变化

李文涛,张秀梅

(中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室,山东青岛 266003)

摘要:通过对移植2年后的大叶藻(Zostera marina L.)的形态、生长和繁殖情况进行4个季度的观察和测量,发现在春季(3月和4月)和初夏(6月)大叶藻叶的叶绿素含量较低,而其他季节相对较高;根在冬季(12月和1月)和初春(3月)最发达;叶及叶鞘长度,叶宽和每株成体的生物量都在夏季达到最高值,而在秋季降到最低值;单株大叶藻叶生产率的最高值和最低值也分别出现在夏季和秋季;大叶藻侧生苗在冬季的萌发率最高,而夏季未观测到有侧生苗萌出。结果显示,光照影响大叶藻叶绿素的含量;水温对移植大叶藻的形态、生长和无性繁殖产生显著影响,夏季高水温对大叶藻生长的抑制作用比冬季低水温的影响更大。[中国水产科学,2010,17(5):977–986]

关键词:海草;大叶藻;形态;无性繁殖;初级生产率;季节性 中图分类号:S917 **文献标识码**:A

海草(Seagrasses)作为海洋中开花的高等草本 植物,在沿海生态系统中起着非常重要的作用^[1]。 然而,近十几年来在人类活动和自然环境变化的扰 动下,全球范围内的海草场处于不断衰退之中。为 了修复业已衰退的海草场,人们往往选用海草移植 的方法。大叶藻(Zostera marina L.)是分布于北半球 温带区域的海草优势种^[2],为多年生常绿植物。作 为温带海域分布的海草,大叶藻植株的形态以及生 长都呈现明显的季节性变化。光照是影响大叶藻沿 水深分布的最重要因素,由于海草牛长对光照要求较 高,与对光照要求较低的藻类相比,其分布的水深较 浅[3];而其形态及生长往往受海域水温的影响较大, 因而呈现出明显的季节性变化。大叶藻通常以类似 克隆的无性生殖方式从单一植株萌生出大量子代个 体^[4-7]。而当大叶藻草场遭到破坏的情况下,其有性 繁殖在大叶藻草场恢复过程中起着重要作用[7-9]。

大叶藻也是韩国沿岸海域分布的海草优势种。

文章编号:1005-8737-(2010)05-0977-10

同世界其他区域海草场一样,受自然和人为因素影 响,韩国沿岸海草场也呈现大面积衰退迹象。为了 修复业已衰退的海草场,2004年12月在朝鲜半岛南 部韩国马山市附近海域,选择行无性繁殖大叶藻居 群的成熟个体开展了大规模移植实验。通常,人们 只关心移植海草的成活率,而对移植成活海草的形 态、生长、繁殖等很少进行研究。为了监测移植大叶 藻的生长和繁殖状况,本研究在大叶藻移植2年后, 于2006年对移植大叶藻进行了春、夏、秋冬4个季度 月的跟踪观测,以期了解移植大叶藻形态、生长和繁 殖的季节性变化规律,丰富大叶藻移植生态学研究 内容,为沿岸海域大叶藻草场修复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验地点和时间

实验在韩国马山市附近的一个浅海湾(纬度35°05′N,经度128°34′E)进行。该海域属于半封闭海

收稿日期:2009-12-15;修订日期:2010-03-08.

基金项目:国家自然科学基金项目(30700615);海洋公益项目(200905019);公益性行业(农业)科研专项(200903005).

作者简介:李文涛(1968-),男,讲师,从事海草生态学研究.E-mail:lwtxy@yahoo.com

通讯作者:张秀梅,教授.Tel:0532-82032076; E-mail:gaozhang@ouc.edu.cn

湾,常年风浪较小,适于大叶藻生长。海底底质为 沙质,潮汐为半日潮,潮差约1.5m。移植大叶藻所 处的平均水深约为1.5m,海底底质始终处于水面以 下,因而大叶藻不会暴露在空气中。本研究分别在 冬季(2006年12月初和12月末),春季(2007年3月 初和4月初),夏季(6月初和7月初)和秋季(9月中 旬和10月中旬)进行;在每个季节的实验中,分别进 行2次实地采样和观测,2次时间间隔为4~5周。

1.2 实验方法

1.2.1 水温和光照强度的测量 实验海域的水温 和光照利用HOBO光照和温度数据采集器(Onset Computer Corp.)进行观测;根据温度数据采集器 采集的数据计算出每日平均水温;光照强度通过 LI-1400数据采集器和LI-193SA球形光量子传感器 转换为光量子通量密度[Photosynthetic photon flux density, PPFD, µmol(photons)/(m² · s)],并计算出目 平均光量子通量密度[mol(photons)/(m² · d)]。

1.2.2 样品采集 在每个季度进行第1次大叶藻植 株观测时,由潜水员在海底随机取10~12株完整的 成熟植株,连同6个节间(Internode)以上的地下茎 和其上的侧生苗一起采集上来用于大叶藻的形态 学测量。同时,在大叶藻草场随机选择10~14株成 熟植株,用针在分生组织部位以上2~3 cm的叶鞘 (Sheath)部位进行穿孔标记^[10]。在每个季节的第2 次观测时(4~5周后进行),由潜水员采集上次观测 时标记的相同植株用于其生产力计算。另外,再随 机采集10~12株完整的成熟大叶藻植株用于其形 态学测量。采集的所有大叶藻植株在海水中进行简 单清洗,放入有冰块的保温箱内带回实验室。

1.2.3 繁殖方式的观察 分别观察植株的有性和无 性繁殖方式。对其有性繁殖的观察包括记录其开花 植株每株的肉穗花序数量、大小(用最大长度和每株 干重表示)和大叶藻种子萌芽状况;而无性繁殖则是 在进行植株形态学观察时记录地下茎侧生苗的萌出 状况。

1.2.4 植株的形态学观察 植株的形态学观测只针 对采集的成熟植株进行。所有的植株在带回实验室

后,用自来水洗净,并用刀片刮净叶片上的附生生物 和其他附着物。记录成熟植株地下茎上萌出的侧生 苗的位置(在地下茎上的节位的相对位置,从分生组 织开始算起),然后计算每个节位上萌出侧生苗的百 分比,作为该节位上侧生苗的萌出率。叶的数量从叶 鞘的上端进行计数,所有叶片按照从最新叶片到最老 叶片的顺序进行编号,分别为第1~7片叶(本实验 中1株大叶藻叶片数最多为7); 叶鞘长的度量为自分 牛组织至叶鞘的顶端,叶片长的度量为自分牛组织至 叶片的顶端;其中最长的叶片长度作为该植株的高 度。在最新长出的成熟叶片的中间部位(通常选第 2片叶),测量其宽度作为大叶藻的叶宽;大叶藻的地 下茎同样在自来水里洗净,去掉地下茎以及根上附着 的泥沙,切取第1到第6节间的部分(从分生组织算 起)。然后分别对每个节间的长度、直径(取每个节 间的中间部位的值)以及根的最大长度进行测量。

1.2.5 叶绿素及生产力的测定 取合适长度的叶段 用于测量大叶藻叶叶绿素 a、b的含量;切下其中长度 为20~30 cm的完整叶段用于计算大叶藻叶的比叶 面积(即单位质量叶片的面积,可估算用于吸收太阳 光进行光合作用的叶面积)。叶片的叶绿素用N, N-二甲基甲酰胺(DMF)萃取,并用分光光度计进行比对 测定;根据测得的叶绿素含量除以被测叶片段的干 重得到叶绿素的含量[μg/g(DW)]。

用于生产力测量的植株同样在自来水中洗净,选 取分生组织以上的叶片部分组织,并把这些叶片分成 新生长的部分和老的叶片组织部分。所有测量结束 后,将这些植株组织分别在60℃烘箱里烘干至恒重。 大叶藻的单株生产力用单株新生叶片组织的干重除 以标记后大叶藻生长的天数,即得到每株每天叶片生 长的干重[mg(DW)/(shoot・d)]。

1.3 数据处理

采用SPSS 16.0 对实验数据进行统计学分析,分 别对叶绿素 a、b,叶绿素 a/b 比值、叶鞘高、株高、叶 宽、比叶面积和单株生产力等在不同时间的观测值 进行单因子方差分析,其观测数据以平均值±标准 差(x±SD)表示。

2 结果与分析

2.1 移植大叶藻草场的光照和水温

水下光照强度呈现较明显的季节性变化,冬季 和初春光照较强,而秋季较弱(图1A)。最低值出现在 10月末和11月初,日平均光量子通量密度只有大约 1.0 mol (photons)/(m² · d);而在2007年2月最高值达到 约50.0 mol (photons)/(m² · d)。水温的季节性变化更 为明显,其最低值出现在2007年1月(6.4℃),而最高 值出现在8月(29.9℃)(图1B)。

2.2 移植大叶藻的叶绿素含量

大叶藻的叶绿素a和b在春季和夏初的含量较低,而在其他季节含量较高(图2A、2B)。其中叶绿素

a含量在春季3月份最低,显著低于除6月之外的其 他月份观测值,仅为(3.60±0.28)μg/g(DW)(图2 A); 而最高值出现在冬季的12月初,为(7.94±0.21)μg/g (DW)。叶绿素b含量的最低值也出现在春季3月,仅 为(1.51±0.10)μg/g(DW),而最高值出现在夏季7月 份,为(3.51±0.30)μg/g(DW);春季3月叶绿素b的 观测值显著低于夏季7月和秋季9月的观测值,而 与冬季的观测值差异不显著(图2B)。叶绿素a/b含 量比值的季节性变化不明显,只有12月末(最高值, 2.69±0.06)的比值显著高于3月、4月、6月、7月(最 低值在7月,2.01±0.04)和9月的观测值(P<0.05), 其他比值之间无显著差异(P>0.05)(图2C)。









Fig. 2 Seasonal variations in chlorophyll a and b content and the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b Bars with different letters are significantly different (P<0.05).

2.3 移植大叶藻的形态学观测

2.3.1 叶片数及各叶片长度 大叶藻叶片数呈明显 的季节性变化,其中冬季和春季叶片数最多,约每株 7片;而夏季7月和秋季9、10月叶片数较少,只有每 株约5片(图3)。叶片数的最低值出现在9月,而最 高值在3月。大叶藻各个叶片的长度也呈现较强的 季节性变化,其中最高值出现在夏季6月,最低值出 现在秋季10月(图3)。大叶藻植株的叶片中,最长的一般是第3至第4个叶片。

2.3.2 叶鞘高度与株高 叶鞘与植株的高度都表现出极强的季节性变化,最高值出现在夏季6月,分别达到(38.58±2.80) cm和(151.35±10.34) cm;最低值出现在秋季10月,分别为(14.02±0.47) cm和(56.92±2.16) cm(图4A)。单因子方差分析显示,夏



图 3 大叶藻植株各叶片长度的季节变化 Fig. 3 Seasonal variations in leaf blade length of eelgrass shoots

季株高高于其他3个季节,而秋季株高则低于夏季、 冬季和春季4月,其差异显著(P<0.05);叶鞘高度 则在春季4月和夏季都显著高于其他季节的观测值 (P<0.05),而秋季10月叶鞘的观测值则显著低于其 他任何月份的观测值(P<0.05,图4A)。

2.3.3 叶的宽度和比叶面积 大叶藻叶的宽度也呈 一定的季节性变化,其最高值出现在夏季7月,达到 (9.49±0.13) mm,最低值出现在秋季9月,为(7.19± 0.23) mm(图4B)。夏季叶宽的观测值高于春季和秋 季,而冬季叶宽与夏季的观测值接近,也高于春季和 秋季。单因子方差分析显示,夏季和冬季的叶宽明 显高于春季和秋季的观测值,且差异显著;而秋季 的叶宽(9月)显著低于其他3个季节(图4B)。

大叶藻叶的比叶面积同样显示出较强的季节性 变化,其最高值(277.00±7.35)cm²/g出现在冬季,而 最低值(165.21±3.82)cm²/g出现在秋季的9月(图 4C)。冬季和春季的观测值明显大于夏季7月和秋季 9月的观测值(P<0.05,图4C)。

2.3.4 地下茎和根 地下茎的节间长度随着大叶藻 地下茎节间的龄级而变化,第1节间长度最小,通常 在第2~4节间达到最大值(图5A)。其观测值也有

较强的季节性,在本研究中,最大节间长度出现在冬季的第3节,达到(30.89±1.77)mm,而最大节间长度的最小值出现在秋季,只有(8.85±0.62)mm。大叶藻地下茎节间龄级不同导致地下茎直径的变化较节间长度的变化小,其中冬季第1次观测的各个节间直径和春季第2次观测值之间无显著差异(P>0.05)(图5B)。地下茎直径的最大值也有较强的季节性,其中冬季和夏季的观测值较高,春季和秋季的观测值较低,最大值出现在冬季,为(5.41±0.05)mm,最小值出现在秋季,仅为(3.53±0.15)mm。大叶藻地下茎上根的长度也随着季节而变化,其观测值在冬季和春季较高,而在夏季开始降低,在秋季最小(图5C)。在所有观测值中,处在第3和第4节位根的长度最大。

2.4 移植大叶藻叶的单株生产力

大叶藻叶单株生产力也呈明显的季节性变化,夏季最高,其余依次为冬季、春季,秋季最低(图6)。其中最高值(夏季)为(36.24±0.60)mg(DW)/(shoot · d),而最低值(秋季)则为(19.27±1.17)mg(DW)/(shoot · d)。单因子方差分析显示,夏季的单株生产力与其他季节的观测值有显著差异(P<0.05),而冬季与秋季的观测值也有显著差异(P<0.05,图6)。





Fig. 4 Seasonal variations in sheath and shoot height (A), leaf width (B) and specific leaf area (SLA)(C) Bars with different letters are significantly different (P < 0.05).

2.5 有性和无性繁殖

3月份出现大量开花植株,平均每株有(4.0±0.2)个肉穗花序(Spadix),其最大肉穗花序的长度为(3.1±0.5)cm,每株开花植株的肉穗花序干重为(6.7±2.3)mg;4月份观测的开花植株每株有(8.1±1.1)个肉穗花序,其最大长度为(7.5±0.8)cm,每株

开花植株的肉穗花序干重为(132.6±26.8)mg。其他月份未观测到开花植株,表明在6月份以前大叶藻种子已成熟并脱落,开花植株已全部死亡。实验期间未观测到由种子萌发的幼苗,表明大叶藻结出种子没有萌发,因而判断该海域移植大叶藻的繁殖 方式为无性繁殖。侧生大叶藻苗的萌发率呈明显的



图 5 地下茎节间长度(A)、直径(B)、根的长度(C)和侧生苗萌出率(D)的季节变化 Fig. 5 Seasonal variations in the length of rhizome internode(A), diameter(B), root length(C) and emergence rate of lateral shoots(D)

季节性变化,其中在冬季的萌发率最高,在第1和第 2节位的萌发率达到100%;其后,侧生苗的萌发率 在春季和夏季逐渐降低,其中春季的最高萌发率在 3月,发生在第1节位,为93%,而夏季的最高萌发率 在6月,地下茎的第1节位和第3节位均为30%;而 在秋季未见有侧生苗萌出(图5D)。

3 讨论

3.1 温度和光照强度对移植大叶藻叶绿素含量的影响 大叶藻是分布于北半球温带沿岸海域的海草优

势种。作为海洋中唯一的高等草本植物,与其他温 带陆地高等植物一样,其生长随着季节的变化而变 化。而影响大叶藻生长的季节性环境因子主要是光 照和水温。本研究发现,光照强度在2月份前后达 到最高值,而从夏季7月到冬季12月光照强度观测 值都很低;相对于光照,水温的季节性变化更明显。 植物的叶绿素合成一般受到温度和光照强度的双重 影响^[11]。叶绿素是植物进行光合作用的物质基础, 其含量越高,光合作用的能力也就越强,从而可以反 映植物光合作用的能力。研究发现,在光照和水温





这2个环境因子中,光照对大叶藻叶绿素含量的影 响较大。与其他高等植物一样,海草叶在低光照环 境中会通过提高其叶绿素含量来提高对光的利用 率^[12-14]。在其他一些海洋藻类和海草中,也同样发 现低光照环境会导致其叶绿素含量升高^[15-16]。

3.2 移植大叶藻形态的季节性变化

无性繁殖的大叶藻植株通常是地下茎为多年生, 而其植株地上部分的大叶藻叶往往在一年四季中不 断更新,新叶陆续从地下茎的分生组织上长出,而老 叶则依次脱落。每长出1片新叶,则对应着1个新的 地下茎节间(Rhizome internode)的产生, 而脱落的叶片 其地下茎原连接点就成为地下茎节(Rhizome node)。 虽然这种无性繁殖的大叶藻植株(地下茎和叶)一年 四季都在牛长,但受外界环境条件的影响,其牛长往 往呈现出一定的季节性。水域中的光照强度是影响 大叶藻生长和水深分布的决定性条件,然而在大叶藻 生长过程中,影响其形态、生长和繁殖的决定性因素 往往是水温。研究发现,在韩国沿岸海域,大叶藻生 长的适宜水温在15~20℃^[17]。随着水温的进一步 升高,大叶藻的地下茎、叶等组织的呼吸消耗会大大 增加^[18],甚至可能超过大叶藻叶光合作用固定的能 量,因此会导致大叶藻生物量的降低,表现在大叶藻 的高度减小,叶数减少,单株干重降低,生产力也显著 降低,并常常导致大叶藻叶脱落,甚至植株的死亡^{[19-} 21]。本研究中,实验海域8月观测到的最高水温甚至接 近30℃,远高于大叶藻的适宜温度,因而对其生长产 生了强烈抑制,使得秋季出现了四季中最低的株高以 及单株生产力,叶数也降至最低值。研究发现,大叶 藻海草的比叶面积随着大叶藻叶氮含量增加而增加, 且随周围环境中无机氮浓度增加而增加^[21]。夏季7 月和秋季9月的比叶面积明显低于冬季和春季的观 测值,推测与周围水环境中的无机氮含量有关。

海草的地下茎作为重要的营养器官,在其生长 中发挥着重要作用。其中海草地下茎的直径,常作 为海草植株大小的指标,并随着海草植株高度的变 化而变化^[22-23]。本研究发现,移植后的大叶藻,其 地下茎直径同大叶藻叶片高度的季节性变化基本 一致,四季中出现2个峰值,分别在冬季和夏季,而 最高值出现在夏季。一般认为海草地下茎的节间 长度与其生长环境中的光照、海草植株密度等相关 联^[24]。较长的节间长度有利于扩大海草地下茎上 萌出的侧生苗之间的空间,从而避免其植株叶之间 相互遮挡。本研究发现,移植大叶藻地下茎的节间 长度也在冬季和夏季出现2个峰值,其最高值与侧 生苗萌出率的峰值同时出现在冬季,显示了其间的 对应关系;而夏季较大的节间长度,有利于减少此时 植株高、叶宽大的大叶藻植株之间的相互遮挡。

海草既能像巨藻一样用水中悬浮的叶来吸收营 养物质,还能同陆地植物一样利用其根从海底底质 中吸收营养^[25]。人们发现,植物根的生长亦受叶片 光合作用产物供给的影响^[26],从而间接受到光照的 影响。热带海草卵叶盐藻(Halophila ovalis)的根在 饱和光照下达到最长[25]。同时,海草根的发育与海 底底质中营养盐含量有关。研究发现,在底质氨含 量较高的海域分布的大叶藻,其根系不如氨含量低 的海域发达[27]。分析认为,在营养盐含量低的海底 底质中生长分布的海草,是通过相对发达的根系来 吸收充足的营养以满足生长需求。本研究发现,根 的长度在冬季和春季达到最大值,这种生长规律可 能是海底底质中营养盐含量以及水域光照条件综合 作用的结果。冬季和春季具有发达的根系对于大叶 藻在春季的快速生长十分有利,同时可为冬季萌出 率较高的侧生苗提供营养保障。另外,春季大叶藻 开花也需要大量无机营养物质,发达的根系是满足 大叶藻无性和有性繁殖的基本保障。

3.3 移植大叶藻生产力的季节性变化

研究结果表明,虽然春季具有最适宜大叶藻海 草生长的水温,但大叶藻的单株生产力不仅与水温有 关,还与大叶藻个体生物量有关。通常,植物的生产 力随着植物进行光合作用组织的生物量的增加而增 加^[28]。在夏季,大叶藻植株高度和叶宽都达到最大, 从而使大叶藻的单株生产力在夏季达到最大值。而 在秋季,高温不仅使大叶藻植株个体减小,还导致大 叶藻植株个体生产力下降。大叶藻在冬季的单株生 产力高于秋季(P<0.05),这与很多温带陆生常绿植物 的生长不同:温带陆地植物的生长往往在冬季受到低 温抑制,而大叶藻生长受高水温的抑制更强烈^[19]。

3.4 移植大叶藻的繁殖方式

研究证实,大叶藻无性繁殖也受水温影响,移植 大叶藻的无性繁殖从冬季开始,夏季结束。而秋季 由于实验海域水温较高,远高于大叶藻的适宜水温 (15~20℃)^[17],因此秋季未观测到大叶藻的无性 繁殖。对大多数海草来说,无性繁殖在海草场的延 续中发挥主要作用^[29]。本研究发现,虽然在春季也 有大量开花的大叶藻植株,但未发现经种子萌出的 幼苗。因此认为,该海域移植的大叶藻也是通过无 性繁殖进行繁衍的。

4 结论

移植2年后的大叶藻已形成了结构稳定的海草 场,其生理、形态、生长和繁殖也与天然大叶藻一样 呈现明显的季节性变化。分布水域的光照影响其叶 绿素含量,水温是调节大叶藻形态、生长和繁殖呈现 季节性变化的主要环境因子。冬季、春季至夏季是 本研究海域适宜大叶藻生长的季节。夏季,大叶藻 植株的形态尺寸达到最大,其生产力最高;而秋季, 因过高的水温超出了其适温范围,使得大叶藻植株 变小,单株生产力降至最低。移植大叶藻的生理、形 态、生长和繁殖的季节性变化是其适应环境变化的 重要特征。因此,在监测移植大叶藻的成活率、形态 以及生长等过程中,不仅要考虑移植初期移植胁迫 (Transplant stress)的影响,还要考虑大叶藻自身季节 性消长的生态特征。

参考文献:

- [1] 李文涛, 张秀梅. 海草场的生态功能[J]. 中国海洋大学 学报:自然科学版, 2009, 39(5): 933-939.
- [2] Spalding M, Taylor M, Ravilious C, et al. World atlas of seagrasses [C]. Berkerley, USA: University of California Press, 2003: 5-26.
- [3] Nielsen S L, Sand-Jensen K, Borum J, et al. Depth colonization of eelgrass (*Zostera marina*) and macroalgae as determined by water transparency in Danish coastal waters
 [J]. Estuaries Coasts, 2002, 25: 1025-1032.
- [4] Harwell M C. Ecological dispersal mechanisms, reproductive ecology, and the importance of scale in *Zostera marina* in Chesapeake Bay [D]. Willamsburg, Virginia, USA: College of William and Mary, 2000.
- [5] Ackerman J D. Seagrasses: Biology, ecology and conservation[C]. The Netherlands: Springer, 2006: 89–109.
- [6] McMillan C. Isozymes in seagrasses [J]. Aquat Bot, 1982, 14: 231-243.
- [7] Olesen B, Sand-Jensen K A J. Demography of shallow eelgrass (*Zostera marina*) populations—shoot dynamics and biomass development [J]. J Ecol, 1994, 82: 379–390.
- [8] Lee K S, Park J I, Kim Y K, et al. Recolonization of *Zostera marina* following destruction caused by a red tide algal bloom: the role of new shoot recruitment from seed banks [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2007, 342: 105–115.
- [9] Plus M, Deslous-Paoli J M, Dagault F. Seagrass (Zostera marina L.) bed recolonisation after anoxia-induced full mortality [J]. Aquat Bot, 2003, 77: 121-134.
- [10] Short F T, Duarte C M. Global seagrass research methods [C]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 2001: 155–182.
- [11] McWilliam J R, Naylor A W. Temperature and plant adaptation. I. Interaction of temperature and light in the synthesis of chlorophyll in corn [J]. Plant Physiol, 1967, 42: 1711-1715.
- [12] Hajek T, Tuittila E S, Ilomets M, et al. Light responses of mire mosses a key to survival after water-level drawdown [J] Oikos, 2009, 118: 240–250.
- [13] Dai Y, Liu Y, Wang L, et al. Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg[J]. Environ Exp Bot,2009,65: 177–182.
- [14] Liu H, Huang Q, Chen R. Changes of pigments concentration of flower stalk in Chinese kale under different light intensities
 [R]. VII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Production, Pest Management and Global Competition, 2004, 659: 477–482.
- [15] Claustre H, Gostan J. Adaptation of biochemical

composition and cell size to irradiance in two microalgae: Possible ecological implications [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1987,40:167–174.

- [16] Bintz J C, Nixon S W. Responses of eelgrass Zostera marina seedlings to reduced light [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2001, 223: 133–141.
- [17] Lee K S, Park S R, Kim Y K. Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: A review[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2007, 350: 144–175.
- [18] Touchette B W, Burkholder J A M. Overview of the physiological ecology of carbon metabolism in seagrasses [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2000, 250: 169–205.
- [19] Zharova N, Sfriso A, Voinov A, et al. A simulation model for the annual fluctuation of *Zostera marina* biomass in the Venice lagoon [J]. Aquat Bot, 2001, 70: 135–150.
- [20] Sfriso A, Francesco Ghetti P. Seasonal variation in biomass, morphometric parameters and production of seagrasses in the lagoon of Venice [J]. Aquat Bot, 1998, 61: 207–223.
- [21] Short F T, Burdick D M. Eelgrass as an indicator of nutrient over-enrichment in estuaries [R]// A final report submitted to the NOAA/UNH cooperative Institute for Coastal and Estuarine Environmental Technology (CICEET). NOAA,

USA,2003.

- [22] Duarte C M. Allometric scaling of seagrass form and productivity [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1991, 77: 289–300.
- [23] Marba N, Hemminga M A, Duarte C M. Resource translocation within seagrass clones: allometric scaling to plant size and productivity[J]. Oecologia, 2006, 150: 362–372.
- [24] Hemminga M A, Duarte C M. Seagrass ecology [C]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000: 27-64.
- [25] Hemminga M A. The root/rhizome system of seagrasses: an asset and a burden [J]. J Sea Res, 1998, 39: 183–196.
- [26] Fonseca F, Den Hertog J, Stulen I. The response of *Plantago major* ssp. pleiosperma to elevated CO₂ is modulated by the formation of secondary shoots [J]. New Phytolog, 1996: 133: 627-635.
- [27] Short F T. The seagrass, Zostera marina L. plant morphology and bed structure in relation to sediment ammonium in Izembek Lagoon, Alaska [J]. Aquat Bot, 1983, 16: 149–161.
- [28] Niklas K J, Enquist B J. Invariant scaling relationships for interspecific plant biomass production rates and body size
 [R]. Proc Nat Acad Sci, 2001,98: 2922–2927.
- [29] Hemminga M A, Duarte C M. Seagrass ecology [C]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000: 65–98.

Seasonal variations in morphology, growth and reproductivity of eelgrass, Zostera marina

LI Wentao, ZHANG Xiumei

(The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Eelgrass, *Zostera marina* L. meadows have suffered a great decline in the world. In recent years, transplantation of seagrasses has been considered to be an effective method to mitigate and control seagrass degradation. To assess the adaptation of seagrass transplants to new environment, we investigated the physiology, morphology, growth and reproduction of eelgrass plants, which were transplanted two years ago. Resulted showed that chlorophyll contents were lower in spring and early summer, but relatively higher during other periods. Eelgrass roots were most abundant in winter and early spring. The length of sheath and leaves, width of leaves and dry weight per individual shoot reached the maximum levels in summer, while the lowest values were observed in fall. The highest and the lowest values of leaf productivity per shoot occurred in summer and fall, respectively. The emergence rate of lateral shoots was the highest in winter, while no lateral shoot emergence was observed in fall. Results indicated that chlorophyll contents were affected by light, whereas the morphology, growth and clonal growth of eelgrass were affected by water temperature. In addition, the inhibition of eelgrass growth induced by higher water temperature in fall was greater than that induced by lower water temperature in winter. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17 (5): 977–986]

Key words: seagrass; *Zostera marina*; morphology; asexual reproduction; primary production; seasonality Corresponding author: ZHANG Xiumei. E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn