

多菌灵处理对克隆植物大米草 (*Spartina anglica*) 表型可塑性的影响

李红丽, 智颖飙, 赵 磊, 何 军, 安树青*, 邓自发, 周长芳, 颜 超, 苏 旺

(南京大学生命科学学院, 湿地生态研究所, 南京 210093)

摘要: 对外来植物大米草 (*Spartina anglica*) 衰退种群进行高、中、低 3 个浓度 (即 50% 多菌灵可湿性粉剂的 300 倍、600 倍和 1200 倍稀释液) 多菌灵灌根处理, 测定大米草在杀菌剂处理条件下的形态可塑性、克隆生长特性及生物量积累与分配格局。结果表明: 与对照相比, 各浓度多菌灵处理对大米草的株高、叶数、叶片厚度、叶片面积和根长均没有显著影响 ($p > 0.05$); 中浓度处理后, 大米草种群的根状茎节数和分枝强度均显著高于对照和其它处理, 而根状茎总长和间隔子长度均显著高于对照和低浓度处理 ($p < 0.05$), 与高浓度处理差异不显著; 高浓度处理的大米草地下生物量和根生物量分配显著高于对照和其它处理, 而地上生物量分配却显著低于对照和其它处理 ($p < 0.05$)。证明中浓度多菌灵处理有利于大米草种群的克隆生长, 有效提高了其种群维持与更新能力; 由此推断, 大米草种群在我国海岸带的自然衰退与沉积物中部分真菌侵染有一定的相关性。

关键词: 大米草; 可塑性; 自然衰退; 多菌灵; 生态响应策略

文章编号: 1000-0933(2008)01-0076-08 中图分类号: Q142, Q945, Q948 文献标识码: A

Effect of carbendazim treatments on morphological plasticity of clonal plant *Spartina anglica*

LI Hong-Li, ZHI Ying-Biao, ZHAO Lei, HE Jun, AN Shu-Qing*, DENG Zi-Fa, ZHOU Chang-Fang, YAN Chao, SU Wang

School of Life Science, Institute of Wetland Ecology, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0076 ~ 0083.

Abstract: The different carbendazim concentration treatments including 300 (high), 600 (medium) and 1 200 (low) diluent of 50% wet carbendazim powder were applied on the soil where *Spartina anglica* grew in the field experimental plots. The morphological plasticity, clonal characteristics and biomass allocation patterns of *S. anglica* under the treatments were examined. There was no significant effect on culm height, number of leaves, leaf thickness, leaf area and root length ($p > 0.05$) with 3 carbendazim treatments. Meanwhile, the node number of rhizomes and branching intensity of the species under medium concentration treatment were significantly higher than those of CK and the other treatments ($p < 0.05$). However, total rhizome length and spacer length were significantly higher than those of CK and low concentration treatment and are not significantly different from those of high concentration treatment. More biomass was allocated to under-ground

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30400054); 国家林业局 948 资助项目 (2005-4-13)

收稿日期: 2007-07-24; **修订日期:** 2007-10-30

作者简介: 李红丽 (1980 ~), 女, 山东东明人, 博士生, 主要从事湿地生态研究. E-mail: lihongli327@163.com

* 通讯作者 Correspondence author. E-mail: anshuq@nju.edu.cn

致谢: 感谢美国加州大学戴维斯分校 (University of California Davis) Fenmeng Zhu 博士后对文章写作的帮助。

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30400054) and "948" Project of State Administration of Forestry of China (No. 2005-4-13)

Received date: 2007-07-24; **Accepted date:** 2007-10-30

Biography: LI Hong-Li, Ph. D. candidate, mainly engaged in wetland ecology. E-mail: lihongli327@163.com

organs and less biomass to above ground parts with high concentration treatment ($p < 0.05$). Consequently, the results implied that medium concentration of carbendazim treatment enhanced the clonal growth and the population sustaining and regenerating ability of *S. anglica*. We might draw the conclusion that the decline of *S. anglica* in coastal China resulted from infection of some fungus in the natural sediment.

Key Words: *Spartina anglica*; morphological plasticity; dieback; carbendazim; ecological strategy

大米草(*Spartina anglica*)是一种适宜在广阔滩面生长且耐盐耐淹的多年生草本植物,我国于1963年引入,逐步定居且成功建立了种群,20世纪90年代以前,其分布幅北自辽宁省盘山县(40°53' N, 120°18' E),南至广东省电白县(21°30' N, 110°00' E),面积一度扩展到36 000 hm²^[1,2],成为我国海岸带湿地植被的优势群落之一^[3,4],在维持我国海岸带的生态稳定和平衡起到了重要的作用^[5]。然而从20世纪90年代伊始,我国海岸带分布的大米草种群却出现了严重的自然衰退。目前,仅在江苏的射阳(33°42' N, 120°15' E)、启东(31°56' N, 121°40' E)以及浙江温岭(28°24' N, 121°40' E)有少量分布,覆盖面积锐减为50 hm²^[1],并有加速衰退的趋势。在国外,大米草主要分布区虽有小面积的衰退,但其衰退具有局部性和暂时性,总体趋势仍属于种群暴发,特别是在英国、美国和澳大利亚等国家这种趋势非常明显^[6]。在我国,大米草种群自然衰退具体表现为植株矮化,生长发育极不正常,生物量减少和有性繁殖基本丧失^[1]。

已有的研究结果证实,病原菌是导致植物种群衰退的重要机制之一。在荷兰,海岸沙丘生长的固沙草(*Ammophila arenaria*)的自然衰退,其主因是土壤中线虫和耐火烧的真菌引起的病害所致^[7]。鸡蛋果(*Passiflora edulis*)的自然衰退是由镰刀属真菌侵染所致^[8]。在美国,金缕梅(*Hamamelis virginiana*)的衰亡和澳大利亚外来的含羞草(*Mimosa pudica*)大面积衰退分别由橡树猝死病菌(*Phytophthora ramorum*)和*Botryodiplodia theobromae*真菌侵染所致^[9,10]。在英国,21世纪80年代至90年代,普尔港(Poole Harbour)生长的大米草种群70%的花序被麦角菌(*Claviceps purpurea*)侵染,致使花序的生物量显著降低;研究还发现,大米草种群同时受镰刀霉菌(*Fusarium heterosporum*)侵染^[11]。其它研究也表明,如果麦角菌对互花米草(*Spartina alterniflora*)花序进行侵染,则会减少种子的产生,可以用作对互花米草生物控制的方式之一^[12]。Gray和Raybould的研究结果表明,由于大米草长时间的淹水,致使其根状茎软化,进而导致由病菌感染引发的衰退^[13]。因此,中国分布的大米草的衰退可能与其生境中的微生物病害有关。

大米草作为多年生克隆植物,具有有性繁殖和克隆繁殖两种繁殖方式,但是目前分布于我国海岸带的大米草种群主要依靠克隆繁殖,其有性繁殖能力已基本丧失^[1];克隆繁殖能够在同一生境条件下通过克隆生长产生多个遗传特性基本一致的克隆分株^[14~16],从而有利于克隆植物种群的维持与更新。一方面,植物表型可塑性是植物个体通过改变自身形态生理结构而对环境变化做出反应的能力,它是植物在可变环境中最大适合度的功能性反应^[17,18]。由于种群生境的可变性与差异性,种群的维持与更新与其形态可塑性紧密相关。另一方面,植物的生物量分配在一定的程度上可以反应植物对环境的响应和适应,且植物在不同的环境条件下生物量分配格局与其适合度相关^[19,20],故其也可以作为衡量表型可塑性的重要指标^[19,20]。目前,为探讨大米草种群在中国海岸带自然衰退机理,已经进行了种间竞争、化学计量学和初始克隆分株数等方面的研究^[21~24],但大米草在我国海岸带的衰退机理尚不完全清楚。为此,本研究进行了不同浓度的广谱杀菌剂处理对大米草形态可塑性、克隆生长特性及生物量积累与分配格局的研究,以探讨大米草生长发育与病原微生物之间的相互关系,以期为廓清我国大米草自然衰退机理提供有力证据,同时为有效控制大米草在其它国家的入侵与暴发提供一定的实践经验和理论依据。

1 研究区概况

试验区位于我国江苏省盐城海岸湿地(32°34' ~ 34°28' N, 119°48' ~ 120°56' E)。该区处于温带和亚热带的过渡地带,受海洋性和大陆性气候的共同影响,季风盛行,四季分明。年平均光照时间2199 ~ 2362 h,太阳

辐射 $116.2 \times 4.184 \sim 121.0 \times 4.184 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。1 月平均气温 $-0.3 \sim 1.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 最低气温 $-17.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 7 月份温度 $26.7 \sim 27.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 最高温度 $39.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 无霜期 210 ~ 224 d。降水充沛, 雨热同季, 年平均降水量为 980 ~ 1070 mm, 70% 的降水集中在 5 月到 7 月份之间。灾害性天气有台风、暴雨、冰雹、龙卷风、寒潮与雾等。水源有陆地水和海洋水。海水淹没潮间带间隔为 7 ~ 12 h; 潮位约 1.27 ~ 4.61 m。海水盐度 2.953% ~ 3.224%, pH 值约 8.0。滩涂是典型的淤泥质海岸, 根据海岸带的沉积、地貌、动力及发育演替特征, 自海向陆可分为 4 个带: (1) 低潮粉沙滩 (光滩), 由大潮低潮位至小潮高潮位, 主要植物为藻类, 偶见零星分布的互花米草; (2) 泥-粉沙混合滩, 由小潮高潮位至平均高潮位, 滩面植物除了藻类外, 主要是互花米草; (3) 高潮位泥沙滩, 由平均高潮位至大潮高潮位, 滩面植物主要是碱蓬 (*Suaeda salsa*) 和大米草等; (4) 草滩地, 大潮高潮位以上, 一年约有两次被大潮淹没, 植物为芦苇 (*Phragmites communis*)、藨草 (*Scirpus triqueter*) 和大米草等。试验区位于第四潮带, 处于草滩地。

2 材料与方法

2.1 材料

大米草属禾本科米草属 (*Spartina*) 的多年生植物, 1879 年由 Schreber 命名; 分为不育种 (*S. townsendii*) 和结籽种 (*S. anglica*) 两个种; 天然分布于英国南海岸, 为欧洲米草 (*S. maritima* (Curtis) Fernald.) 和互花米草 (*S. alterniflora* Loisel.) 的自然杂交种^[1,2,22]; 试验样地的大米草是 1963 年引自英国的结籽种扩繁生长形成。试验用杀菌剂为 50% 的多菌灵可湿性粉剂, 由江苏苏化集团新沂农化有限公司生产。

2.2 方法

试验于 2006 年 4 ~ 11 月在野外进行。选取 4 块大小为 $2 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 均质的滩涂; 其土壤的有机质含量、全 N 和全 P 的背景值分别为 $(9.92 \pm 0.2) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(0.55 \pm 0.01) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(1.43 \pm 0.02) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。分别对大米草样地进行 3 个浓度的多菌灵灌根试验: (1) 高浓度处理, 即 50% 的多菌灵可湿性粉剂 300 倍液处理: 每 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的面积内均匀灌施 1000 ml 的 50% 多菌灵可湿性粉剂 300 倍稀释液; (2) 中浓度处理, 即 50% 的多菌灵可湿性粉剂 600 液处理; (3) 低浓度处理, 即 50% 的多菌灵可湿性粉剂 1200 液处理; 以及 (4) 对照试验: 浇灌相同量的不含多菌灵的清水。每个处理为 5 个重复, 完全随机排列小区试验。每 15d 灌根 1 次。处理间设置 20 m 宽的自然隔离带。

2.3 指标测定

在平均初霜期的 11 月下旬, 随机采样, 每重复取 1 丛, 每处理共取 5 丛。在室内用水冲洗干净后测定形态生长指标参数 (株高、叶数、叶片厚度、叶面积、根长)、克隆特征参数 (克隆数、芽数、根状茎节数、根状茎数、根状茎总长、间隔子长度和分枝强度)、生物量参数 (地上生物量、根生物量、根状茎生物量和总生物量) 并计算生物量分配。株高以克隆系中最高个体为准。叶面积测定方法为: 用 LI-3000A 型叶面积仪测量 6 片克隆系代表性叶片的叶面积, 测量后取其均值。叶片厚度测定方法为: 随机取 6 片叶片, 用游标卡尺测量其厚度后取其均值。测量后, 将大米草分解为地上、根和根状茎 3 部分, $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干称重。间隔子为相连无性系分株之间的根状茎或匍匐茎^[25]。分枝强度为单株包括单个大量的分株植物侧生分生组织长出和形成新无性系分株的数量^[25]。

2.4 统计分析

数据通过 SPSS (Version 15.0) 进行方差分析 (One-way ANOVA) 检验其差异显著性, 并采用 Duncan 多重比较进行所需的后续检验 ($p = 0.05$ 或 $p = 0.01$)。

3 结果与分析

3.1 不同浓度多菌灵处理下大米草的形态特征

经不同浓度多菌灵处理后, 大米草种群的各项形态指标, 株高, 叶数, 叶片厚度, 叶片面积及根长与对照均没有显著差异 ($p > 0.05$), 且各处理之间各指标差异也不显著 ($p > 0.05$)。其株高、叶片厚度和根长分别介于 31.0 ~ 35.3 cm、0.03 ~ 0.04 cm 和 18.7 ~ 18.8 cm, 每丛的总叶数介于 108 ~ 192 片, 叶片面积处于 3.3 ~

3.9 cm²范围内(表1)。

表1 不同浓度多菌灵处理下的大米草种群形态特征*

Table 1 Morphological characteristics of *Spartina anglica* under different concentration treatment of carbendazim

形态特征 Morphological characteristics	对照(CK) Control	低浓度 Low	中浓度 Medium	高浓度 High
株高 Culm height (cm)	31.0 ± 1.3 ^a	28.6 ± 0.6 ^a	29.2 ± 1.6 ^a	35.3 ± 4.3 ^a
叶数 Leaf number	108.0 ± 3.0 ^a	161.7 ± 35.9 ^a	192.0 ± 46.2 ^a	180.3 ± 9.2 ^a
叶片厚度 Leaf thickness (cm)	0.034 ± 0.002 ^a	0.032 ± 0.003 ^a	0.0361 ± 0.000 ^a	0.0356 ± 0.000 ^a
叶片面积 Leaf area (cm ²)	3.9 ± 0.4 ^a	3.8 ± 0.3 ^a	3.3 ± 0.2 ^a	3.5 ± 0.3 ^a
根长 Root length (cm)	18.7 ± 1.4 ^a	17.6 ± 1.2 ^a	18.8 ± 0.6 ^a	18.8 ± 0.7 ^a

* 相同的字母表示处理间差异不显著 ($p > 0.05$) The same letter indicates insignificant differences at $p > 0.05$; 下同 the same below

3.2 不同浓度多菌灵处理下大米草的克隆生长特征

中浓度多菌灵处理的大米草的根状茎节数和分枝强度显著高于对照与其它处理 ($p < 0.05$), 而根状茎总长和间隔子长度均显著高于对照和低浓度处理 ($p < 0.05$), 与高浓度处理差异不显著 ($p > 0.05$)。根状茎节数、根状茎总长、间隔子长度和分枝强度均以中浓度处理最高, 分别为(130.00 ± 18.77) cm、(244.87 ± 52.59) cm、(7.62 ± 0.29) cm 和(102.3 ± 16.2) cm (表2), 表明中浓度多菌灵处理会显著促进大米草的克隆繁殖能力。经不同浓度的多菌灵处理后, 克隆分株数、芽数和根状茎数量各处理间及其与对照间差异均不显著 ($p > 0.05$)。

表2 不同浓度多菌灵处理下的大米草种群的克隆特征

Table 2 Clonal characteristics of *Spartina anglica* under different carbendazim treatment

无性繁殖指标 Clonal characteristics	对照(CK) Control	低浓度 Low	中浓度 Medium	高浓度 High
根状茎节数 Rhizome node number	86.3 ± 10.3 ^b	97.7 ± 23.0 ^b	130.0 ± 18.8 ^a	113.0 ± 9.8 ^b
根状茎总长 Rhizome total length (cm)	136.3 ± 23.9 ^b	149.7 ± 17.6 ^b	244.9 ± 52.6 ^a	185.2 ± 17.1 ^{ab}
间隔子长度 Spacer length (cm)	5.52 ± 0.14 ^b	5.37 ± 0.53 ^b	7.62 ± 0.29 ^a	6.81 ± 0.71 ^{ab}
分枝强度 Branching intensity	78.3 ± 4.2 ^b	86.3 ± 15.9 ^b	102.3 ± 16.2 ^a	88.6 ± 16.7 ^b
克隆数 Ramet number	53.7 ± 10.3 ^a	74.0 ± 12.3 ^a	54.7 ± 11.1 ^a	60.3 ± 11.4 ^a
芽数 Shoot number	12.7 ± 2.0 ^a	15.3 ± 3.7 ^a	12.7 ± 3.2 ^a	14.3 ± 3.4 ^a
根状茎数量 Rhizome number	25.7 ± 5.2 ^a	29.3 ± 5.8 ^a	31.7 ± 5.8 ^a	28.7 ± 5.6 ^a

* 不同的字母表示处理间差异显著 ($p < 0.05$) The different letters indicate significant differences at $p < 0.05$; 下同 the same below

3.3 不同浓度多菌灵处理下大米草的生物量积累

不同浓度多菌灵处理间大米草的总生物量、地下生物量和根状茎生物量及其与对照间差异均不显著 ($p > 0.05$) (表3)。低浓度多菌灵处理的大米草地上生物量显著高于高浓度处理 ($p < 0.05$), 与对照和中浓度处理间均差异不显著 ($p > 0.05$); 对照、中浓度和高浓度多菌灵处理间大米草地上生物量也无显著差异 ($p > 0.05$); 低浓度多菌灵处理的大米草有最高的地上生物量累积(表3)。高浓度多菌灵处理的大米草根生物量显著高于对照 ($p < 0.05$), 而与其它处理均差异不显著 ($p > 0.05$); 表明多菌灵处理可不同程度地提高大米草的根生物量累积。

表3 不同浓度多菌灵处理下的大米草种群的生物量积累

Table 3 Biomass accumulation of *Spartina anglica* under different carbendazim treatment

生物量 Biomass (g)	对照(CK) Control	低浓度 Low	中浓度 Medium	高浓度 High
总生物量 Total biomass	21.45 ± 2.03 ^a	29.65 ± 3.62 ^a	28.91 ± 5.76 ^a	26.03 ± 4.18 ^a
地下生物量 Under-ground biomass	13.11 ± 1.97 ^a	16.66 ± 2.20 ^a	16.98 ± 3.49 ^a	18.82 ± 2.71 ^a
根状茎生物量 Rhizome biomass	4.01 ± 0.60 ^a	3.41 ± 0.52 ^a	4.23 ± 0.78 ^a	3.28 ± 0.44 ^a
地上生物量 Above-ground biomass	8.34 ± 0.93 ^{ab}	12.99 ± 1.50 ^a	11.92 ± 2.34 ^{ab}	7.21 ± 1.66 ^b
根生物量 Root biomass	9.09 ± 1.37 ^b	13.25 ± 1.85 ^{ab}	12.99 ± 2.84 ^{ab}	15.54 ± 2.34 ^a

3.4 不同浓度多菌灵处理下大米草的生物量分配

在高浓度多菌灵处理下,大米草地上生物量分配比例显著低于其它处理 ($p < 0.05$),分别为低浓度和高浓度处理的 61.7% 和 65.6% (图 1);而其浓度处理的大米草地下生物量分配和根生物量分配比例均显著高于其它多菌灵处理 ($p < 0.05$)。中浓度多菌灵处理的大米草根状茎生物量分配比例显著高于其它浓度处理 ($p > 0.05$),而对照与各多菌灵处理间差异不显著 ($p > 0.05$)。与对照相比,高浓度多菌灵处理会显著降低大米草地上生物量分配,显著增加大米草地下与根生物量分配,但不显著影响其根状茎的生物量分配;而中、低浓度多菌灵处理对大米草生物量的分配没有显著影响。

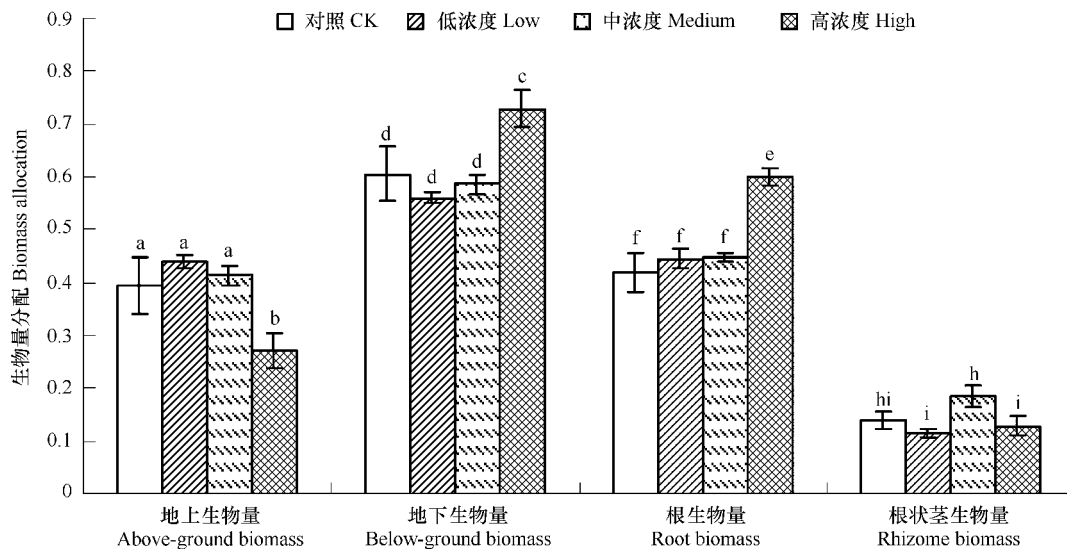


图 1 不同浓度多菌灵处理下的大米草自然种群生物量分配

Fig. 1 Biomass allocation pattern of *Spartina anglica* under different carbendazim treatment

4 讨论

病原菌侵染会引起部分植物种群的衰退^[8~10]。而光谱杀菌剂能够不同程度地抑制其侵染和控制被侵染植物种群的衰退^[26]。多菌灵作为一种高效低毒内吸性杀菌剂,具有保护植物免受病菌侵染和防治病害发生的作用,对子囊菌亚门和半知菌亚门病原真菌有特效,但对鞭毛菌亚门真菌和细菌无抑制活性^[27]。对受试植物进行不同浓度的多菌灵灌根处理后,会改变土壤微生物条件,进而影响土壤微生物的系列活动,引起土壤呼吸的变化^[27],最终导致土壤环境的改变。植物的表型可塑性是物种个体对环境信号作出的有效反应,从而改变其化学、生理、发育、形态或者行为性状^[28, 29]。植物的表型可塑性与适应性密切联系,所以,研究其表型可塑性具有重要的生态学意义。对于克隆植物的可塑性的研究主要体现其克隆生长特性上^[30]。克隆生长特性较强,产生无性分株的能力比较强,这对克隆植物种群的维持和更新起着至关重要的作用。克隆植物构型特征是克隆生长的重要体现指标^[31],主要体现于克隆植物的间隔子长度、分枝强度和分枝角度的指标特征^[15, 31, 32]。而目前对克隆植物可塑性的研究主要侧重于光照^[15, 31, 33]、土壤资源养分^[16, 25, 34]、切断根茎^[35]及放牧^[18]等因素。

本试验研究表明,中浓度多菌灵处理下克隆植物大米草的根状茎节数和分枝强度显著高于对照和其它处理,而根状茎总长和间隔子长度均显著高于对照和低浓度多菌灵处理,与高浓度多菌灵处理差异不显著;虽然中浓度多菌灵处理下大米草的克隆分株数、芽数和根状茎数量均达到最高,但处理间差异不显著。表明大米草在不同浓度多菌灵处理条件下,其克隆生长具有较强的表型可塑性。在中浓度多菌灵处理下,根状茎的节数和分枝强度有增加的趋势,根状茎的总长和间隔子长度有加长的可能,意味着大米草衰退种群在中浓度多菌灵处理条件下,在有效利用现有有限资源的基础上,力争进行种群的扩张,以占据更为有利的生境^[15]。这

可能是由于在中浓度多菌灵处理条件下,多菌灵有效抑制了土壤中部分子囊菌亚门和半知菌亚门的有害真菌,改变了大米草种群生长的土壤微生物生境,使大米草种群与土壤有效微生物之间的互利协作关系增强,有利于增强大米草种群的克隆生长能力。而对于过高或者过低浓度的多菌灵处理,均会在一定程度上抑制或削弱了土壤微生物环境中部分有益真菌的活力,从而不利于大米草克隆生长。不同浓度的多菌灵处理对大米草的形态特征及总生物量积累无显著影响。

在不同的环境条件下,植物总是对生长、繁殖和维持等功能间进行资源分配的权衡(trade-off),使其各功能分配达到最佳状态^[18, 36]。植物的能量分配格局反映了植物在生长发育过程中对环境的响应规律和能量分配对策^[24]。高浓度多菌灵处理对大米草地上生物量分配显著低于对照和其它处理,而对地下生物量的分配主要是根生物量分配则显著高于对照和其它处理。这是由于在高浓度多菌灵处理条件下,多菌灵不仅抑制了部分子囊菌亚门和半知菌亚门等有害真菌的活性,同时也抑制了与大米草种群互利共生的有益真菌的生长与繁殖,所以在此条件下,大米草只有减少其对地上生物量的分配,增加地下生物量的分配,特别是根生物量的分配,以形成更多的根系,来增强其吸收水分和矿质营养的能力,从而补偿土壤中部分有益真菌失活所造成的负面影响。

综上所述,不同浓度多菌灵处理对克隆植物大米草的作用效果各异。中浓度多菌灵处理显著促进了大米草种群的克隆生长,提高了其种群维持与更新能力,意味着我国分布的大米草种群在自然衰退过程中,部分真菌特别是子囊菌亚门和半知菌亚门真菌可能起到了重要的作用。而在高浓度多菌灵处理条件下,大米草总生物量与地下生物量没有显著变化,但其根生物量分配显著增加,表明大米草的根系仍然保留了较强的可塑性。Prior 的研究表明,几内亚的可可树(*Theobroma cacao*) 维管束病变由 *Omohasidium theobromae* 真菌侵染引起的衰退,用包括多菌灵在内的 13 种杀真菌剂进行叶片喷施,但是却不能有效抑制这种病菌的传染^[37]。这可能因为多菌灵的药效主要针对对子囊菌亚门和半知菌亚门病原真菌有效,而对鞭毛菌亚门真菌和细菌的活性没有抑制作用。因此,对于中国海岸带大米草种群退化过程中起决定作用的真菌的分离、鉴定和纯化以及细菌及病毒的病理作用有待作进一步深入研究。

References:

- [1] An S Q, Gu B H, Zhou C F, Wang Z S, et al. *Spartina* invasion in China: implications for invasive species management and future research. *Weed Research*, 2007, 47: 183—191.
- [2] Chung C H. Brief history of *Spartina anglica* and research work abroad. *Journal of Nanjing University — Research Advances in Spartina*, Special Issue, 1985, 1—30.
- [3] Li X P, Tang G G, Wang D S, et al. Studies on the community characteristics, the distribution and succession patterns of wetland vegetation in Jiangsu Province. *Journal of Nanjing Forestry University*, 1998, 22 (1): 47—52.
- [4] Sheng Y M, Wang H, Zeng H. Characteristics of halophyte and associated soil a long aggradational muddy coasts in Jiangsu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 1—6.
- [5] Zhang R S, Sheng Y M, Lu L Y, Yan S G, et al. Formation of *Spartina alterniflora* salt marsh on Jiangsu coast, China. *Oceanologia Etlimnologia Sinica*, 2005, 36(4): 258—366.
- [6] Kriwoken L K, Hedge P. Exotic species and estuaries: managing *Spartina anglica* in Tasmania, Australia. *Ocean Coast Management*, 2000, 43: 573—584.
- [7] De Rooij-Van Der Goes P C E M. The role of plant-parasitic nematodes and soil-borne fungi in the decline of *Ammophila arenaria* (L.) Link. *New Phytologist*, 1995, 129: 661—669.
- [8] Power R H, Verhoeff K. Dieback of Passion Fruit in Surinam, *Phytopath Zeeland*, 1984, 110: 336—345.
- [9] Giltrap P M, Inmana A J, Barton V C, et al. First report of ramorum dieback (*Phytophthora ramorum*) on *Hamamelis virginiana* in the UK. *Plant Pathology*, 2004, 53: 526.
- [10] Wilson C G, Pitkethley R N. Botryodiplodia dieback of *Mimosa pigra*, a noxious weed in northern Australia. *Plant Pathology*, 1992, 41: 777—779.
- [11] Raybould A F, Gray A J, Clarke R T. The long-term epidemic of *Claviceps purpurea* on *Spartina anglica* in Poole Harbour: pattern of infection,

- effects on seed production and the role of *Fusarium heterosporum*. New Phytologist, 1998, 138: 497 — 505.
- [12] Fisher A J, DiTomaso J M, Gordon T R. Intraspecific groups of *Claviceps purpurea* associated with grass species in Willapa Bay, Washington, and the prospects for biological control of invasive *Spartina alterniflora*. Biological Control, 2005, 34: 170 — 179.
- [13] Gray A J, Raybould A F. The biology and natural history of *Spartina anglica*. Proceedings of the Second International Spartina Conference. Olympia WA. 1997, March, 20-21. 13 — 16.
- [14] Cook R E. Growth and development in clonal plant population. In: Jackson J BC, Buss L W, Cook RE, eds. Population Biology and Evolution of Clonal Organisms. New Haven: Yale University Press, 1985. 259 — 296.
- [15] Chen J S, Dong M, Yu D L, L Q. Clonal architecture and ramet population characteristics of *Lysimachia congestiflora* growing under different light conditions. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 (8): 1383 — 1388.
- [16] Luo X G, Dong M. Architectural plasticity in response to light intensity in the stoloniferous herb, *Duchesnea indica* Focke. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(4): 494 — 497.
- [17] Macdonald S E, Chinnappa C C. Population differentiation for phenotypic plasticity in the *Stellaria longipes* complex. American Journal of Botany, 1989, 76: 1627 — 1637.
- [18] Wang Y H, Wang K, Xing F. Advances of studies on the morphological plasticity, integration and foraging behavior of stoloniferous herbaceous plants. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24 (1): 70 — 74.
- [19] de Kroon H, Hutchings M J. Morphological plasticity in clonal plants: the foraging concept reconsidered. Journal of Ecology, 1995, 82: 143 — 152.
- [20] Wang J, Yang C, Wang T J. Changes of biomass allocation of *Artemisia frigida* population in grazing-induced retrogressive communities. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(12): 2316 — 2320.
- [21] Zhi Y B, Li H L, An S Q, Zhao L, Zhou C F, Deng Z F. Inter-specific competition: *Spartina alterniflora* is replacing *Spartina anglica* in coastal China. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2007, (74): 437 — 448.
- [22] An S Q, Li H B, Guan B H, Zhou C F, Wang Z S, et al. China's natural wetlands: past problems, current status, and future challenges. Ambio, 2007, 36(4): 335 — 342.
- [23] Li H L, Zhi Y B, Zhao L, An S Q, et al. Eco-physiological responses of the declining population *Spartina anglica* to N and P fertilizer addition. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(7): 3216 — 3224.
- [24] Zhao L, Zhi Y B, Li H L, An S Q, et al. Effects of initial clone number on morphological plasticity and biomass allocation of the invasive *Spartina anglica*. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(4): 607 — 612.
- [25] Liao M J, Wang Q B, Song M H, Dong M. Clonal architecture and ramet population characteristics of *Leymus chinensis* from different habitats. Journal of Plant Ecology, 2002, 26(1): 33 — 38.
- [26] Zong Z F, Kang Z S. Principles of plant pathology, Beijing: Chinese Agricultural Publisher, 2002.
- [27] Xu R F, Jiang X J, Zhang Y Q. Effect of carbendazim on respiration of soil microb. Henan Agricultural Science, 1999, 2: 65 — 67.
- [28] Agrawal A A. Phenotypic plasticity in the interactions and evolution of species. Science, 2001, 294: 321 — 326.
- [29] Pan X Y, Geng Y P, Zhang W J, Li B, Chen J K. Cover shift and morphological plasticity of invasive *Alternanthera philoxeroides* along riparian zone in south China. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(5): 835 — 843.
- [30] Shan B Q, Du G Z, Liu Z H. Clonal growth of *Ligularia virgaurea*: Morphological responses to nutritional variation, Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24 (1): 46 — 51.
- [31] Lue X G, Dong M. Plasticity of clonal architecture in response to soil nutrients in the stoloniferous herb *Duchesnea indica* Focke. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(12): 1957 — 1963.
- [32] Dong M. Clonal growth in heterogeneous habitats. Acta Botanica Sinica, 1996, 38 (10): 828 — 835.
- [33] Zhang S M, Chen Y F, Dong M. Clonal Plasticity in Response to Partial Neutral Shading in the Stoloniferous Herb *Potentilla reptans* var. *sericophylla*. Acta Botanica Sinica, 2000, 42 (1): 89 — 94.
- [34] Zhu X W, Liu H D, Lian S C, Ye Y Z, Dong M. Heterogeneity of *Leymus secalinus* ramet population and its soil resources in the Otindag Sand land. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(7): 1459 — 1465.
- [35] Dong M. Effects of severing rhizome on clonal growth in rhizomatous grass species *Psammochloa villosa* and *Leymus secalinus*. Acta Botanica Sinica, 41(2): 194 — 198.
- [36] Cheplick G P. Life history trade-offs in *Aphibromus scabrivalvis* (Poaceae): Allocation to clonal growth, storage, and cleistogamous reproduction. American Journal of Botany, 1995, 82: 621 — 629.
- [37] Prior C. Chemical control of vascular-streak dieback disease of cocoa in Papua New Guinea. Plant Pathology, 1987, 36: 355 — 360.

参考文献:

- [2] 仲崇信. 大米草简史及国外研究概况. 南京大学学报——米草研究的进展专集, 1985, 1~30.
- [3] 李湘萍, 汤庚国, 王定胜, 等. 江苏湿地植物群落学特征及其分布和演替规律. 南京林业大学学报, 1998, 22(1): 47~52.
- [4] 沈永明, 曾华, 王辉, 等. 江苏典型淤长岸段潮滩盐生植被及其土壤肥力特征. 生态学报, 2005, 25(1): 1~6.
- [5] 张忍顺, 沈永明, 陆丽云, 等. 江苏沿海互花米草(*Spartina alterniflora*)盐沼的形成过程. 海洋与湖沼, 2005, 36(4): 258~366.
- [15] 陈劲松, 董鸣, 于丹, 等. 不同光照条件下聚花过路黄的克隆构型和分株种群特征. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1383~1388.
- [16] 罗学刚, 董鸣. 蛇莓克隆构型对光照强度的可塑性反应. 植物生态学报, 2001, 25(4): 494~497.
- [18] 王艳红, 王珂, 邢福. 匍匐茎草本植物形态可塑性、整合作用与觅食行为研究进展. 生态学杂志, 2005, 24(1): 70~74.
- [20] 王静, 杨持, 王铁娟. 放牧退化群落中冷蒿种群生物量资源分配的变化. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2316~2320.
- [23] 李红丽, 智颖飙, 赵磊, 安树青, 等. 大米草自然衰退种群对 N、P 添加的生态响应. 生态学报, 2007, 27(7): 2725~2732.
- [24] 赵磊, 智颖飙, 李红丽, 安树青, 邓自发, 周长芳. 初始克隆分株数对大米草表型可塑性及生物量分配的影响. 植物生态学报, 2007, 31(4): 607~612.
- [25] 廖明隽, 王其兵, 宋明华, 董鸣. 内蒙古锡林河流域不同生境中羊草的克隆构型和分株种群特征. 植物生态学报, 2002, 26(1): 33~38.
- [26] 综兆锋, 康振生. 植物病理学原理, 北京: 中国农业出版社, 2002. 282.
- [27] 徐瑞富, 蒋学杰, 张玉泉. 多菌灵对土壤微生物呼吸作用的影响. 河南农业科学, 1999, 2: 65~67.
- [29] 潘晓云, 耿宇鹏, 张文驹, 李博, 陈家宽. 喜旱莲子草沿河岸带不同生境的盖度变化及形态可塑性. 植物生态学报, 2006, 30(5): 835~843.
- [30] 单保庆, 杜国祯, 刘振恒. 不同养分条件下和不同生境类型中根茎草本黄帚橐吾的克隆生长. 植物生态学报, 2000, 24(1): 46~51.
- [31] 罗学刚, 董鸣. 匍匐茎草本蛇莓克隆构型对土壤养分的可塑性反应. 生态学报, 2001, 21(12): 1957~1963.
- [32] 董鸣. 克隆生长的特性——觅食性. 生态学报, 1996, 38(10): 828~835.
- [33] 张淑敏, 陈玉福, 董鸣. 匍匐茎草本绢毛匍匐委陵菜对局部遮荫的克隆可塑性. 植物学报, 2000, 42(1): 89~94.
- [34] 朱选伟, 刘海东, 梁士楚, 叶永忠, 董鸣. 浑善达克沙地赖草分株种群与土壤资源异质性分析. 生态学报, 2004, 24(7): 1459~1465.
- [35] 董鸣. 切断根茎对根茎禾草沙鞭和赖草克隆生长的影响. 植物学报, 1999, 41(2): 194~198.