

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20210317002

http://www.yykxjz.cn/

刘义, 梁洲瑞, 余雯雯, 常丽荣, 卢龙飞, 肖露阳, 郑言鑫, 刘福利. 不同离岸距离的养殖海区对海带养殖性状及苗绳老化的影响. 渔业科学进展, 2022, 43(3): 156-164

LIU Y, LIANG Z R, YU W W, CHANG L R, LU L F, XIAO L Y, ZHENG Y X, LIU F L. Effects of cultivation area of different offshore distances on the agronomic traits and breeding rope aging of *Saccharina japonica*. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(3): 156-164

不同离岸距离的养殖海区对海带 养殖性状及苗绳老化的影响*

刘 义^{1,2} 梁洲瑞^{2,3} 余雯雯⁴ 常丽荣⁵ 卢龙飞⁵
肖露阳⁵ 郑言鑫⁶ 刘福利^{2,3①}

(1. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室 上海水产养殖工程技术研究中心 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东 青岛 266071; 3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 山东 青岛 266071; 4. 中国水产科学研究院东海水产研究所 上海 200090; 5. 威海长青海洋科技股份有限公司 山东 威海 264316; 6. 中国水产科学研究院长岛增殖实验站 山东 烟台 265800)

摘要 本研究选取不同离岸距离的养殖海区(由远到近分别为高区、中区、低区), 研究不同海区环境对3个海带(*Saccharina japonica*)品种/品系(“寻山2号”、“寻山3号”和“205”)的生长性状, 如长度、宽度、厚度、鲜重和干重的影响, 结合不同捻距(80.8、65.6、61.1、53.4和48.3 mm)的养殖苗绳, 分析了影响海带脱苗率的主要因素, 同时, 对比研究了不同海区和苗绳捻距对养殖苗绳力学性能和老化程度的影响。结果显示, 对于相同海带品种/品系, 其长度、宽度和厚度性状在不同海区表现不同, 海带“寻山2号”和海带“寻山3号”在高区具有更优良的经济性状。不同品种海带的鲜重和干重均呈现为在高区较大、中区次之、低区最低, 但离岸养殖对不同品种鲜重与干重的提升作用不同。无论养殖前后, 特制养殖苗绳的断裂强力均显著高于传统养殖苗绳($P<0.05$), 养殖使用1年后, 特制养殖苗绳的强力保持率为93.8%, 而传统养殖苗绳仅为63.6%。捻距为61.1 mm的苗绳脱苗率较低, 捻距过大(80.8 mm)或过小(≤ 53.4 mm)的苗绳脱苗率均显著增大。高区养殖的苗绳分子链氧化更剧烈, 老化程度更高。本研究表明, 离岸式养殖对不同海带品种/品系产量均有提升作用, 但不同品种对不同离岸距离, 尤其是离岸深水区的适应性不同; 通过控制苗绳捻距可有效降低海带脱苗率; 离岸水域环境下进行海带养殖, 选择耐老化、捻距为61.1 mm的特制苗绳可适当延长使用时间并降低脱苗率。本研究结果对推动我国离岸式海带养殖产业发展具有指导作用。

关键词 海带; 离岸距离; 养殖绳性能; 捻距; 脱苗率

* 国家重点研发计划(2018YFD0900305; 2018YFD0901505)、财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系和烟台市科技计划项目(2019MSGY125)共同资助 [This work was supported by National Key R&D Program of China (2018YFD0900305; 2018YFD0901505), China Agriculture Research System of MOF and MARA, and Sciences and Technology Program of Yantai (2019MSGY125)]. 刘 义, E-mail: yiliu055@163.com

① 通讯作者: 刘福利, 副研究员, E-mail: liufl@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2021-03-17, 收修改稿日期: 2021-04-10

中图分类号 S968.42+1 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2022)03-0156-09

海带(*Saccharina japonica*)是我国最重要的养殖海藻之一,具有重要的经济价值。海带是藻胶化工的重要原材料,近年来,在精细化工、医药和生物能源等领域的应用也愈发广泛。海带养殖可发挥消氮固碳、调控水质等生态功能,与水产动物搭配进行的多营养层次综合养殖也越来越受到重视(郑辉等, 2014)。我国已经形成集海带选育、育苗、养殖、加工与生物制品开发等一体化产业链(逢少军等, 2015; 李晓捷, 2015; 袁廷柱等, 2020; 金振辉等, 2009; 徐涛等, 2019)。2019年全国海带总产量达162.40万t, 养殖面积为4.45万 hm^2 (农业农村部渔业渔政管理局等, 2020)。近年来,在全球气候变化、海水污染、海岸工程等多重压力下,以及受海洋生态文明建设大背景下的近海水域保护与利用政策的影响,近岸海藻养殖区被压减或取缔。另外,随着近岸水产养殖产业扩张,近岸适养海区空间有限,养殖密度不断增大,导致养殖海带产量和质量下降。这些因素导致海藻养殖向离岸深水区发展的趋势日益明显(张起信等, 2007; 刘福利等, 2019、2020)。

海带养殖产量不仅与品种/品系、分苗早晚、养殖密度和养殖方式有关,还与海区环境、海区大小等有关(索如瑛, 1960; 李凤晨等, 2003)。养殖区内流速是影响海带产量的重要因素,水深流大的离岸外海区的水温变化幅度小、透明度高、由水体交换频繁带来的自然肥力充足,利于提高海带的产量和品质(卢书长等, 1994; 梁省新等, 2009; 何培民等, 2018; 刘福利等, 2019)。但高海况(浪大、流急)的离岸深水区会使海带的脱苗率增大,藻体折断,对海带的养殖带来很大挑战(刘福利等, 2019)。假根的形态特征是影响海带脱苗率的关键因子,苏丽(2018)研究发现,遗传因素(海带品种/品系)及外界环境因素(如养殖水层、光照)共同决定了海带假根的形态。不同种类海带对离岸养殖环境的适应性不同,传统海带养殖品系、品种大多以高产为选育目标,对不同海带品系的抗风浪能力(如脱苗率、假根发育情况、藻体柔韧性等)关注较少。除了本身的抗风浪能力外,海带与养殖苗绳之间的作用力也是影响脱苗率的关键因素。因此,研究不同材质及不同捻距(反映苗绳的松紧度)的养殖苗绳对海带脱苗率的影响具有重要意义。另外,高海况的离岸深水区也对养殖设施及养殖技术提出了挑战,研发新型绳索材料,增强绳索的破断强力及抗老化性能是应对措施之一(刘福利等, 2019)。

针对上述离岸深水区海带养殖的问题,本研究以海带品种、海区离岸距离、苗绳材质、苗绳捻距4个因素设计实验,探讨不同海带品种/品系在不同海况养殖海区的经济性状(以长度、宽度、厚度、鲜重和干重等表征)和脱苗率,研究不同材质、不同捻距的苗绳对海带脱苗率的影响,探明不同海况海区养殖苗绳的老化程度,以期为我国离岸式海带养殖产业的抗风浪品种选育和新型养殖苗绳研发等提供支撑。

1 材料与方法

1.1 实验海带品种/品系及实验海区

选择的实验海带品种/品系包括“205”、“寻山2号”和“寻山3号”。实验海带的幼苗培育、出库、暂养按照当前海带生产的常规方法和流程进行,夹苗间距约为8cm/株,记录每根苗绳所夹的海带株数。

选择山东省荣成市的爱伦湾海区,设置近岸海区(122°35'23.71"、37°09'32.13")、中间海区(122°35'45.94"、37°08'53.43")和离岸深水区(122°35'28.49"、37°08'26.95")3个养殖点(分别以低区、中区和高区表示)。低区离岸最近,水深约为8m,高区离岸最远,水深约为25m,中区的位置位于低区和高区之间,水深约为15m。每个实验海带品种/品系在每个海区分别养殖6绳。高区组在分苗后养殖15d后脱苗严重,补苗1次。

1.2 苗绳材质和捻距

实验苗绳材质及捻距:使用期小于1年的传统养殖苗绳(捻距为40~60mm,聚乙烯材质,以新绳表示);使用期约为2年的传统养殖苗绳(聚乙烯材质,下文以旧绳表示);2种特制聚乙烯绳(设置捻距分别为65.6和80.8mm);3种特制聚乙烯/聚丙烯共混绳(设置捻距分别为48.3、53.4和61.1mm,苗绳中聚丙烯含量为20%)。捻距越小,绳子越紧,越不易拧动。在中间海区包含所有材质和捻距的苗绳种类(每种2~3根)。由于特制苗绳数量有限,在近岸海区和离岸深水区未设置捻距为65.6和80.82mm的特制聚乙烯绳。

1.3 海带经济性状、脱苗率及苗绳力学参数、老化程度的测量

每个海区每个品种/品系随机挑选30株海带测量其长、宽、厚(从3条旧绳中分别挑选10株)。测量海

带长度和宽度(叶片长度为柄、叶连接处至叶梢末端的距离,宽度取叶片最宽处),测量时间为2020年1、3、5和6月。采用数显测厚仪测量海带厚度(取海带总长度的四等分点处厚度的平均值),测量时间为2020年3、5和6月。

每个海区所有材质和捻距的苗绳种类(每种2~3根)均进行海带脱苗率的观察和统计,统计时间为2020年3和6月。

采用傅立叶红外光谱仪(PerkinElmer 红外光谱仪 Spectrum Two 型)测定养殖苗绳养殖后的老化程度,采用材料试验机(型号为 INSTRON 4466)测定养殖前后苗绳的断裂强力。

1.4 数据分析

使用 SPSS 19.0 统计分析软件进行海带长度、宽度和厚度的 Duncan 多重比较分析,及不同捻距苗绳脱苗率的 *T* 检验分析,显著性水平设置为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同海带品种/品系在不同海区的经济性状

2.1.1 海带“寻山2号”的经济性状 海带“寻山2号”在3个海区中不同月份的长度、宽度与厚度变化情况见图1。对于同一月份的不同养殖海区,1月时,海带“寻山2号”各性状无显著差异,1月后各性状表现出不同,其中,在3月时高区和中区组的长度明显大于低区组,厚度则表现为中区与低区、高区相比均呈显著差异($P<0.05$)。海带“寻山2号”的宽度在5月和6月的不同海区均呈现显著差异($P<0.05$),高区组的宽度明显大于低区和中区组。6月,海带“寻山2号”的长度和宽度在高区具有明显优势。对于同一海区不同月份,海带“寻山2号”长度的变化主要发生在1—3月,但都在5月达到最大值,6月与3月相比无显著差异,高区在5月长度变化较3月表现出显著差异($P<0.05$)。海带“寻山2号”在3个海区的

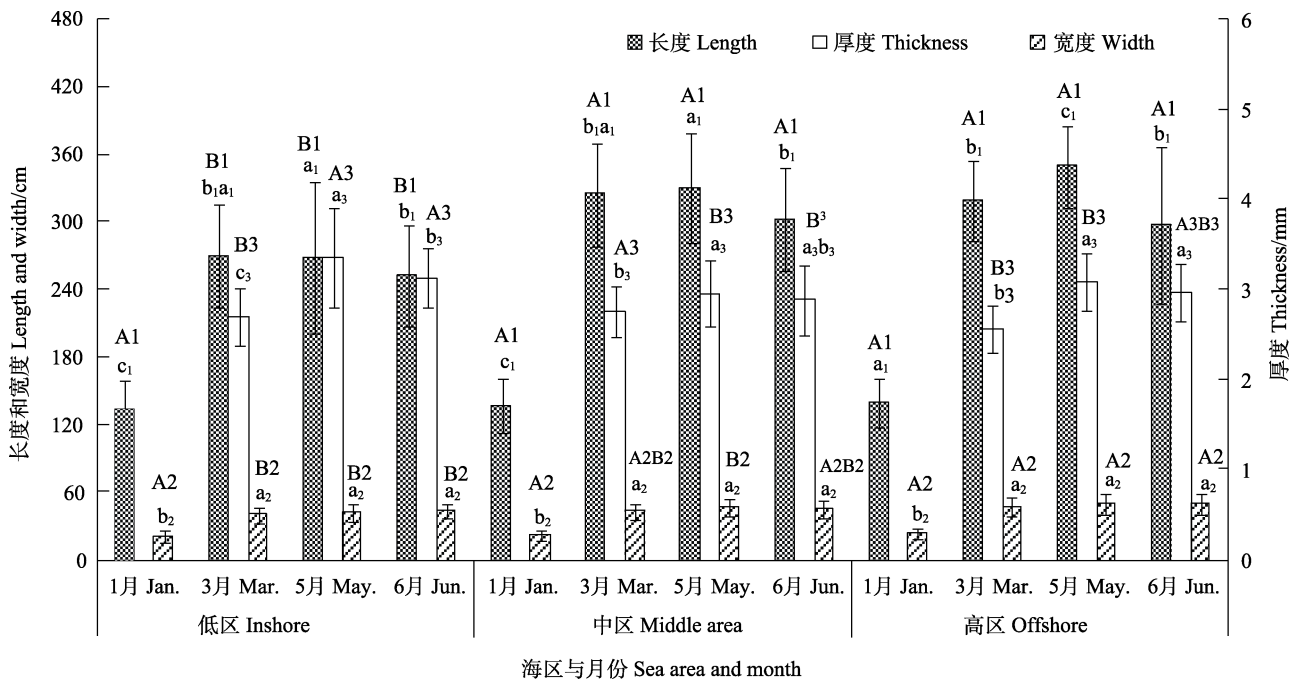


图1 海带“寻山2号”在不同月份、不同海区的长度、宽度和厚度

Fig.1 Length, width and thickness of *S. japonica* strain “Xunshan No.2” in different months and sea areas

不同海区同一月份的多重比较用大写字母作标注(柱状图上的标签上层),同一海区不同月份的多重比较用小写字母作标注(柱状图上的标签下层),同一组的不同字母表示在 $P<0.05$ 水平具有显著差异;

数字 1, 2, 3 分别表示长度、宽度和厚度。下同

Multiple comparisons of the same month in different sea areas were marked with capital letters (upper label on the bar chart), and multiple comparisons of different months in the same sea area were marked with lowercase letters (lower label on the bar chart). Different letters in the same group showed significant differences at the level of $P<0.05$; the numbers 1, 2 and 3 indicated length, width, and thickness respectively. The same as below

宽度变化主要发生在 1—3 月, 厚度在 5 月时较大, 且 5 月的低区组厚度最大。

2.1.2 海带“寻山 3 号”的经济性状 海带“寻山 3 号”在 3 个海区中不同月份的长度、宽度与厚度变化情况见图 2。对于同一月份的不同海区, 高区的海带“寻山 3 号”在 1 月的长度与宽度均显著大于其他海区, 低区组的厚度在 3 月和 5 月均与中区、高区组有显著差异 ($P < 0.05$)。5 月时, 中区和高区的海带“寻山 3 号”长度明显大于低区 ($P < 0.05$), 而低区与中区组的宽度无显著差异, 但二者与高区均呈显著差异 ($P < 0.05$)。6 月, 海带“寻

山 3 号”的长度变化与 5 月一致, 该月高区组的宽度与厚度明显大于中区 ($P < 0.05$)。对于同一海区不同月份, 3 个海区的海带长度都在 5 月达到最大, 3 月与 6 月无显著差异, 尤其在低区, 自 3 月海带达到一定长度后, 未来 3 个月长度的增加效果不明显, 宽度性状在 3 个海区 1、3 和 5 月之间均存在显著差异 ($P < 0.05$), 5 月与 6 月无显著差异, 值得指出的是中区 6 月宽度相较于 5 月有所降低, 并与 3 月无显著差异。

2.1.3 海带“205”的经济性状 海带“205”在 3 个海区中不同月份的长度、宽度与厚度变化情况见图 3。

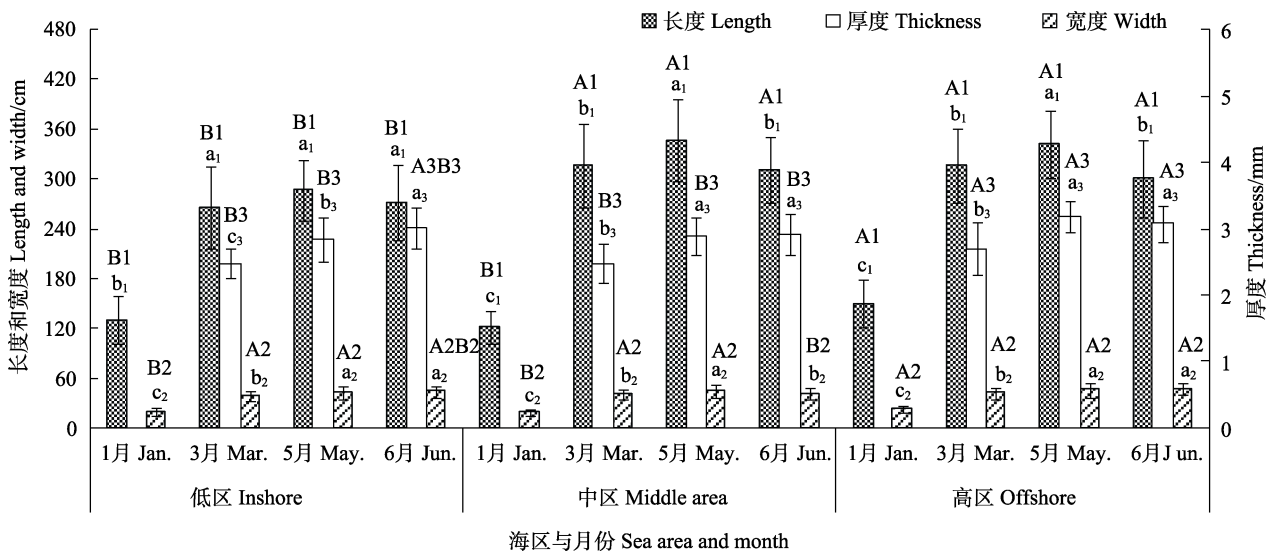


图 2 海带“寻山 3 号”在不同月份、不同海区的长度、宽度和厚度

Fig.2 Length, width and thickness of *S. japonica* strain “Xunshan No. 3” in different months and sea areas

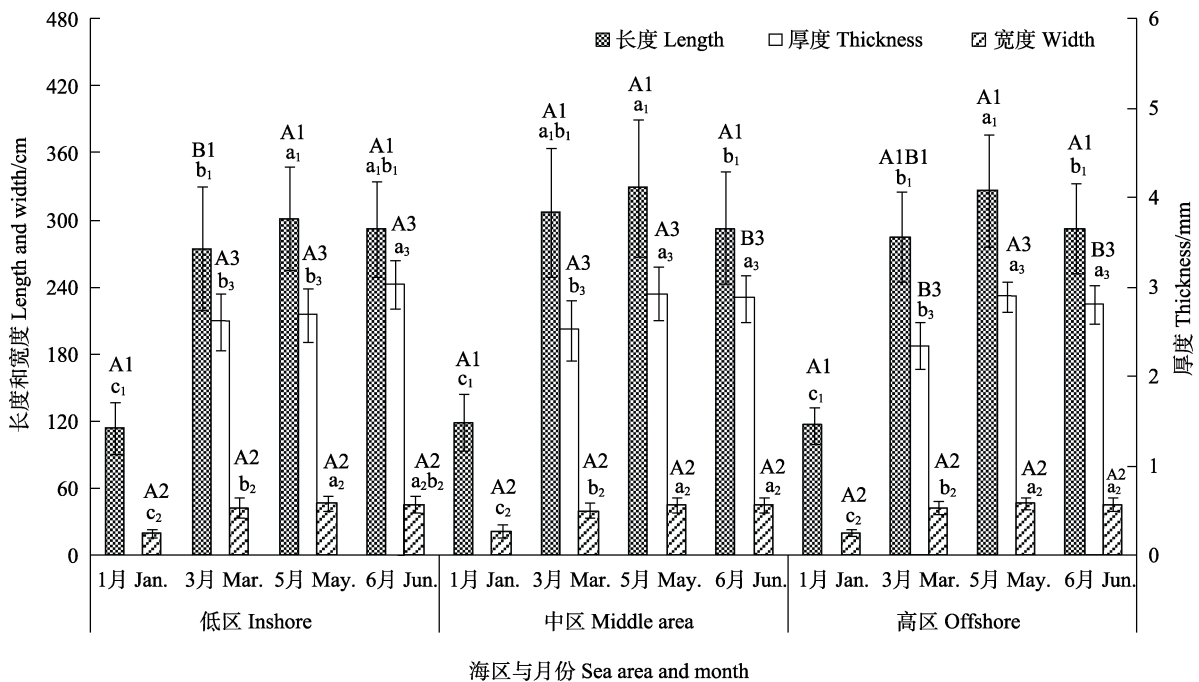


图 3 海带“205”在不同月份、不同海区的长度、宽度和厚度

Fig.3 Length, width and thickness of *S. japonica* variety “205” in different months and sea areas

同一月份不同海区之间比较, 1月长度与宽度均无显著差异, 3月中区的海带长度显著大于低区组 ($P<0.05$), 高区厚度显著大于其他2个海区 ($P<0.05$), 5月和6月3个海区海带长度和宽度无显著差异, 5月低区厚度显著低于其他2个海区 ($P<0.05$)。6月低区海带厚度持续增加, 且显著高于中区和高区组 ($P<0.05$)。同一海区不同月份之间比较, 3个海区海带长度和宽度生长周期均延续到5月, 5月性状最优, 6月中区与高区的长度显著低于5月 ($P<0.05$), 而在低区无显著差异; 宽度在3个海区中5月最大, 6月差异不显著。相比于长度与宽度性状的变化, 厚度变化在中区和高区主要发生在3—5月, 而低区在

3月达到较高水平值后, 6月持续增加, 且高于其他2组。

2.2 不同海区海带养殖产量比较

6月采收时, 3个实验海带品种/品系在3个海区的鲜重与干重见图4。海带的鲜重和干重均在高区最大、中区次之、低区最低。海带的鲜干比整体呈海带“寻山2号”、海带“寻山3号”、海带“205”依次降低的趋势(图5)。随着养殖海区向外海延伸, 海带“205”的鲜干比逐渐增加, 海带“寻山3号”的鲜干比在3个海区变化不大, 中区的海带“寻山2号”的鲜干比明显高于其他海区 ($P<0.05$)。

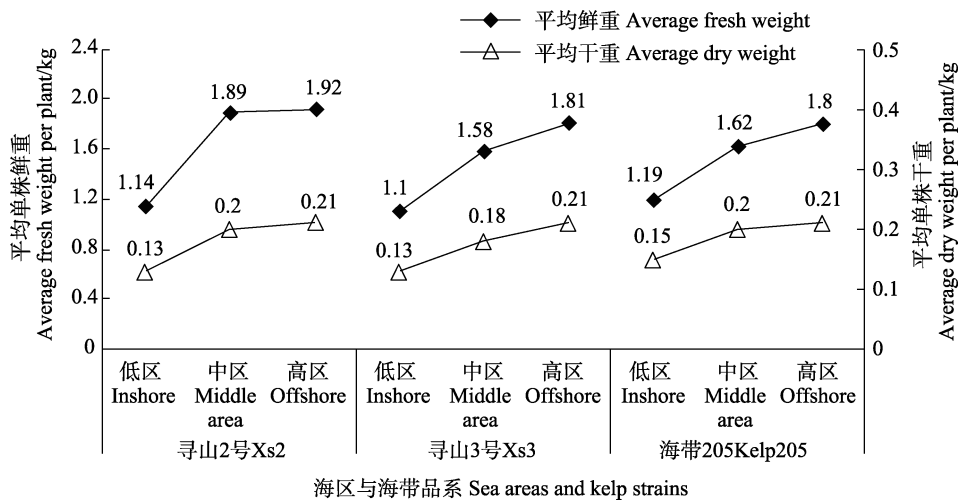


图4 3种海带在不同海区的平均鲜重与平均干重

Fig.4 Average fresh weight and average dry weight of three cultivars of *S. japonica* in different sea areas

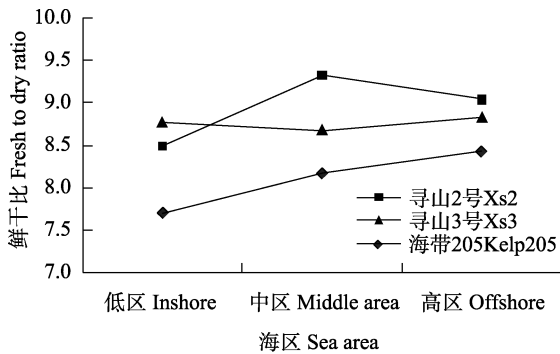


图5 6月3种海带在不同海区的鲜干比

Fig.5 Fresh-dry weight ratio of three *S. japonica* cultivars in different sea areas in June

2.3 不同捻距养殖苗绳的海带脱苗情况

6月海带脱苗情况分析表明, 养殖苗绳的捻距对脱苗率有显著影响。苗绳的捻距为61.1 mm, 脱苗率较低, 捻距过大(80.8 mm)或过小(≤ 53.4 mm)的苗绳脱苗率均显著增大。从图6可以看出, 中区的苗绳脱

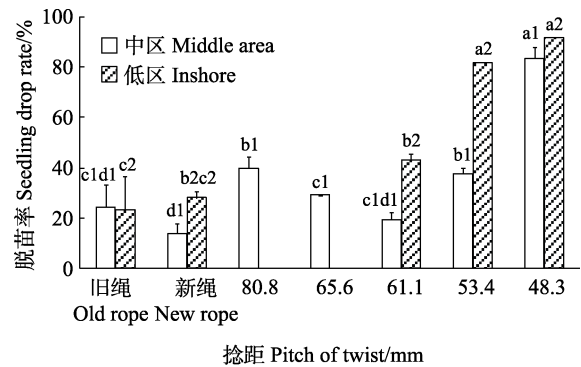


图6 使用不同捻距养殖苗绳在低区和中区的脱苗率

Fig.6 Seedling drop rate of *S. japonica* cultured on breeding ropes with different pitches of twist in inshore and middle sea area

同一组的不同字母表示在 $P<0.05$ 水平具有显著差异, 数字1和2分别表示中区和低区

Different letters in the same group showed significant differences at the level of $P<0.05$, the numbers 1, 2 indicated middle area and inshore, respectively

苗率大小顺序是捻距 48.3 mm (非常紧, 83%)>捻距 80.8 mm (非常松, 40%)>捻距 53.4 mm(较紧, 38%)>捻距 65.6 mm(松, 29%)>普通旧绳 (21%)>捻距 61.1 mm (紧, 20%)>普通新绳 16%, 3 月与 6 月苗绳脱苗率大小顺序基本不变。低区的苗绳脱苗率呈随着捻距减小而增加的趋势。同一海区组, 新绳和旧绳的脱苗率之间无显著差异。高区苗绳脱苗率也呈随着捻距减小而增加的趋势(图 7), 但高区各组之间并无显著差异, 可能与 12 月补苗有关。

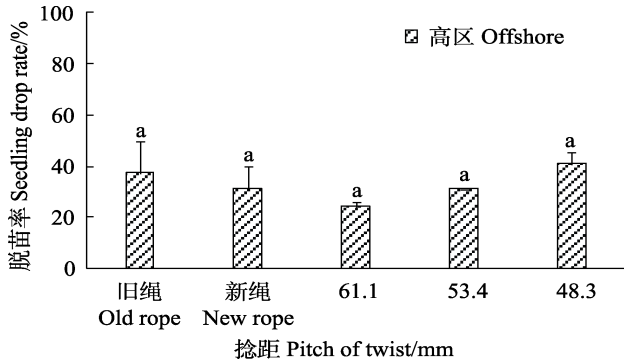


图 7 使用不同捻距养殖绳在高区的脱苗率

Fig.7 Seedling drop rate of *S. japonica* cultured on breeding ropes with different pitches of twist in offshore sea area

2.4 不同养殖苗绳损耗情况

如图 8 所示, 无论养殖前还是养殖后, 特制养殖苗绳的断裂强力均显著高于传统养殖苗绳($P<0.05$)。养殖 1 年后, 特制养殖苗绳的强力保持率为 93.8%, 而传统养殖苗绳仅为 63.6%。

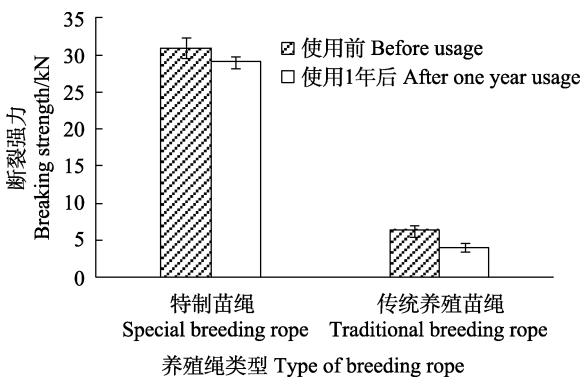


图 8 特制苗绳和传统养殖苗绳养殖使用前后的断裂强力
Fig.8 Breaking strength of special breeding rope and traditional breeding rope before usage and after one year of usage

对养殖使用前后的聚乙烯绳(捻距 65.6 mm)通过红外光谱表征养殖苗绳的老化程度, 与养殖前样品对比, 养殖后样品于 1650 cm^{-1} 处出现了 C=C 共轭双键吸收峰、1740 cm^{-1} 处出现了羰基吸收峰和 1030 cm^{-1} 处出现了 C—O 键吸收峰(图 9)。苗绳养殖使用后的红外光谱

图对比发现, 聚乙烯绳(捻距 80.8 mm)表现出更显著的分子链氧化, 聚乙烯/聚丙烯共混绳(捻距 61.1、48.3 mm)在 1370 cm^{-1} 处出现了一个显著的峰, 这是由于绳索材质是聚丙烯共混改性聚乙烯引起的(图 10)。不同区域养殖的普通旧苗绳红外光谱图显示, 高区养殖苗绳在 1030 cm^{-1} 处出现了更强的 C—O 键吸收峰, 表明高区养殖的苗绳分子链氧化更剧烈、老化程度更高(图 11)。

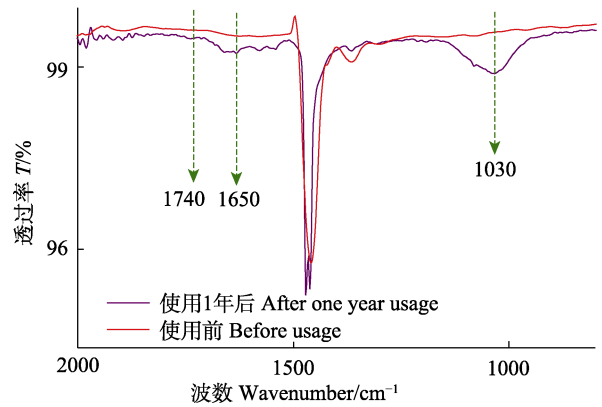


图 9 聚乙烯绳(捻距 65.6 mm)养殖 1 年前后的红外光谱
Fig.9 Infrared spectrum of polyethylene breeding rope (pitch of twist 65.6 mm) before usage and after one year usage

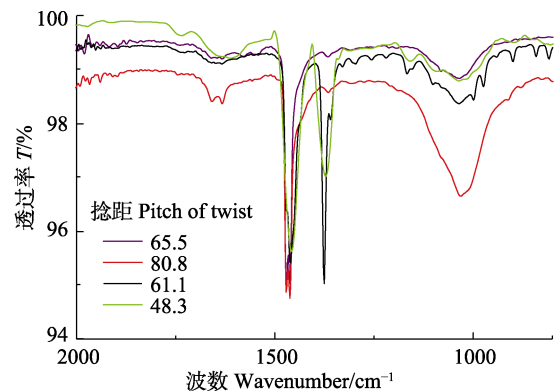


图 10 不同捻距苗绳使用 1 年后的红外光谱
Fig.10 Infrared spectrum of breeding ropes with different pitches of twist after one year usage

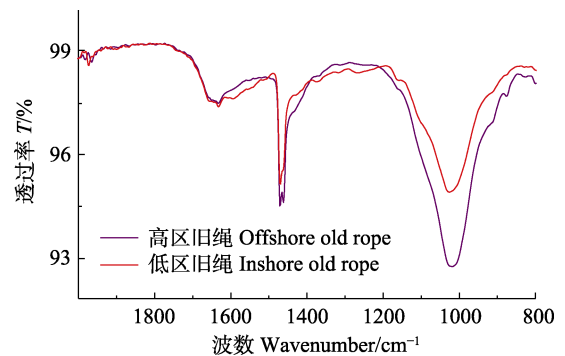


图 11 不同区域养殖的旧苗绳红外光谱
Fig.11 Infrared spectrum of breeding ropes used in different sea areas

3 讨论

由于海区的营养盐、水深、透明度和水流速度的差异,藻类在不同海区表现出不同的生长状态(彭捷等, 2016; Liu *et al.*, 2018; Hwang *et al.*, 2018), 通过测定 3 个海带品种/品系在不同海区的经济性状发现, 不同海况的海区对海带的生长存在显著影响。海带“寻山 2 号”的长度和宽度呈从低区到高区逐渐增加的趋势, 而其厚度未表现出该趋势; 海带“寻山 3 号”的长度在高区的整个养殖周期一直维持在较高水平, 在养殖前期(5 月之前), 其厚度呈从低区到高区逐渐增加的趋势, 而养殖后期, 其厚度在不同海区之间无显著差异; 不同海区对海带“205”的长度和宽度性状的影响不大, 但厚度性状在低区表现出持续增加。以上结果表明, 与低区和中区相比, 海带“寻山 2 号”和“寻山 3 号”在高区具有明显的生长优势, 高区水深流大、自然肥力充足、透明度高, 海带生长迅速、产量高(刘福利等, 2019), 而对于海带“205”, 其在高区的经济性状并无明显的优势, 说明应结合海带品种/品系的生长特性选择合适的养殖海区, 如将“寻山 2 号”、“寻山 3 号”在离岸较远的海区养殖, 海带 205 在离岸较近海区养殖。本研究的海带经济性状在 3 个养殖海区均是 5 月时基本达到最大值, 6 月表现出不同程度的回落, 与王翔宇等(2021)和卢书长(1996)的研究结果基本一致, 表明本研究海区及附近海区最佳的海带收获季节是 5—6 月。

从鲜重、干重及鲜干比实验结果分析可知, 不同海带品系的鲜重和干重都随离岸距离的增加而增加, 说明离岸式养殖对不同海带品系产量均有提升作用, 但对不同海带品系的提升作用不同。另外, 鲜干比实验结果分析表明, 不同海区养殖海带的含水量不同, 对食用海带初级加工方式包括淡干海带和盐渍海带出成率的影响也不同(张加幸, 2016)。因此, 可根据养殖海带的品系或品种及其养殖海区选择适宜的加工方式, 以增加海带养殖产值。

聚乙烯分子链在使用后会交联和降解, 导致绳索变硬变脆, 在力学性能上表现为断裂强力的下降。由微观结构分析可推测, 在热氧条件下, 聚乙烯大分子链发生了氧化降解反应, 出现了羰基、双键等新的基团; 随着氧化老化时间的延长, 氧化降解程度越来越严重, 导致分子链断裂、分子量降低, 使拉伸性能下降。本研究发现, 养殖后不同苗绳的断裂强力均显著下降, 但特制的新型养殖苗绳相比于传统养殖苗绳, 在养殖后具有更高的强力保持率, 表明新型养殖苗绳的抗氧化能力较强, 具有较高的抗老化能力。高区养

育苗绳的老化程度高于低区, 可能与高海况海区的浪大、流急、透明度较高的环境因素有关, 这也说明在高区开展海带养殖活动时, 为提升养殖绳使用年限, 应注意选用抗老化性能更好的绳索材料, 因此, 研发设计抗氧化、抗老化材质的海藻养殖用绳索具有重要意义。

本研究的脱苗率调查结果表明, 捻距过大或过小均会增加海带的脱苗率, 普通新绳的脱苗率低于其他种类苗绳, 由于现阶段使用养殖绳抗老化能力不如特质苗绳, 使用捻距为 61.1 mm 左右的特质苗绳, 可在保证低脱苗率的基础上延长苗绳使用年限。在不同捻距的苗绳脱苗率实验中, 低区脱苗率普遍高于中区, 表明除了苗绳捻距外, 海区环境因素也会影响海带的附着能力。在同样的水流环境中, 海带不同生长阶段的脱苗率不同, 有学者提出在幼苗时期尽量选择缓水流海区(张定民等, 1986), 控制流速 < 20 cm/s, 以避免幼苗大量脱落, 当幼苗生长至一定规格后, 适当增加水流速度, 以促进藻体生长(秦松等, 2019)。因此, 分苗后在流速较小的海区暂养至假根附着牢固后运至离岸海区养殖, 可降低海带脱苗率。另外, 岸上批量集中分苗的操作方式、苗绳运输过程都可能对海带脱苗率产生较大影响(苏丽, 2018)。在实验过程中, 分苗后养殖前期发现, 高区组的海带脱苗严重, 于是在海上进行了一次补苗, 养殖后期发现, 高区的不同捻距苗绳的脱苗率并无显著差异, 且在补苗后高区脱苗率明显低于分苗后的脱苗率, 表明养殖前期的补苗是一个有效降低脱苗影响的措施。

参 考 文 献

- Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2020. Beijing: China Agriculture Press, 2020 [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2020 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2020]
- HE P M, ZHANG Z Y, ZHANG X C, *et al.* Seaweed cultivation, Beijing: Science Press, 2018 [何培民, 张泽宇, 张学成, 等. 海藻栽培学. 北京: 科学出版社, 2018]
- HWANG E K, HA, D S, PARK C S. The influences of temperature and irradiance on thallus length of *Saccharina japonica* (Phaeophyta) during the early stages of cultivation. *Journal of Applied Phycology*, 2018, 30: 2875–2882
- JIN Z H, LIU Y, ZHANG J, *et al.* Breeding actuality and developing direction of *Laminaria* in China. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2009(1): 141–150 [金振辉, 刘岩, 张静, 等. 中国海带养殖现状与发展趋势. 海洋湖沼通报, 2009(1): 141–150]
- LI F C, LI Y H. Raft culture technology of kelp. Hebei Fisheries,

- 2003(3): 17, 20 [李凤晨, 李豫红. 海带筏式养殖技术要点. 河北渔业, 2003(3): 17, 20]
- LI X J, CUI C J. A new species of aquaculture: Kelp "Dongfang No.7". China Fisheries, 2015(11): 51-54 [李晓捷, 崔翠菊. 水产养殖新品种: "海带东方7号". 中国水产, 2015(11): 51-54]
- LIANG S X, SHI B Y, HU Z Q. New technology of kelp culture in deep water and large current area. Shandong Fisheries, 2009, 26(6): 42 [梁省新, 史冰玉, 胡志强. 深水大流海区海带养殖新技术. 齐鲁渔业, 2009, 26(6): 42]
- LIU F L, LIANG Z R, ZHANG P Y, *et al.* Preliminary discussion on the development of *Saccharina japonica* offshore aquaculture in China. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(1): 161-166 [刘福利, 梁洲瑞, 张朋艳, 等. 中国海带养殖向离岸深水区发展的初步探讨. 渔业科学进展, 2019, 40(1): 161-166]
- LIU F L, NIU J F, SUI Z H, *et al.* Overview and prospects of China economic seaweed cultivation technology. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 22(12): 1-9 [刘福利, 牛建峰, 隋正红, 等. 中国经济海藻养殖技术概况与展望. 中国农业科技导报, 2020, 22(12): 1-9]
- LIU L, ZOU D H, JIANG H, *et al.* Effects of increased CO₂ and temperature on the growth and Photosynthesis in the marine macroalga *Gracilaria lemaneiformis* from the coastal waters of South China. Journal of Applied Phycology, 2018, 30: 1271-1280
- LIU S C, LIU D X. Study on the technology of kelp culture in mixed flow sea area. Shandong Fisheries, 1994(4): 4-6 [卢书长, 刘殿秀. 水混流急海域开发海带养殖技术研究. 齐鲁渔业, 1994(4): 4-6]
- LIU S C. Enquiry into harvest time of kelp in Shandong. Shandong Fisheries, 1996(2): 17-18 [卢书长. 对山东省海带收割时间的探讨. 齐鲁渔业, 1996(2): 17-18]
- PANG S J, LIU F, LIU Q S, *et al.* Kelp "205". China Fisheries, 2015(10): 59-60 [逢少军, 刘峰, 刘启顺, 等. 海带"205". 中国水产, 2015(10): 59-60]
- PENG J, CUI C J, ZHANG L N, *et al.* Effects of high temperature stress on survival and physiology of kelp *Laminaria japonica* gametophytes screened by high temperature. Fisheries Science, 2016, 35(1): 32-36 [彭捷, 崔翠菊, 张立楠, 等. 高温胁迫对高温筛选后海带配子体存活率和生理的影响. 水产科学, 2016, 35(1): 32-36]
- QIN S, TIAN T, YANG J, *et al.* Holdfast adhesion of cultured kelp *Saccharina japonica* and sea mustard *Undaria pinnatifida*. Fisheries Science, 2019, 38(1): 34-39 [秦松, 田涛, 杨军, 等. 养殖海带、裙带菜根部附着力初步研究. 水产科学, 2019, 38(1): 34-39]
- SU L. The study on reproduction and cultivation problems related to variety breeding of the economic seaweed *Saccharina japonica*. Doctoral Dissertation of University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences), 2018 [苏丽. 与海带品种培育相关的繁殖与栽培问题的研究. 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所)博士研究生学位论文, 2018]
- SUO R Y. Kelp close planting. China Fisheries, 1960(2): 10 [索如瑛. 谈谈海带密植问题. 中国水产, 1960(2): 10]
- WANG X Y, SONG H Z, XIN M L, *et al.* Influences of temperature on blade length and width of kelp *Saccharina japonica* from juvenile sporophyte stage. Fisheries Science, 2021, 40(1): 96-102 [王翔宇, 宋洪泽, 辛美丽, 等. 温度对海带幼孢子体后期的叶长、叶宽的影响. 水产科学, 2021, 40(1): 96-102]
- XU T, LIU P, LI K, *et al.* Study on the present situation and development strategy of kelp industry in Shandong Province. Journal of Shandong Normal University (Natural Science), 2019, 34(3): 347-351 [徐涛, 刘朋, 李凯, 等. 山东省海带产业发展现状及发展策略研究. 山东师范大学学报(自然科学版), 2019, 34(3): 347-351]
- YUAN T Z, LIU K, ZHAN D M, *et al.* Optimization test of kelp varieties in Changdao sea area. Hebei Fisheries, 2020(10): 50-52 [袁廷柱, 刘凯, 詹冬梅, 等. 长岛海区海带品种优选试验. 河北渔业, 2020(10): 50-52]
- ZHANG D M, MIAO G R, YANG Q M. Research on the relationship between the coastal current and *Laminaria japonica* raising. Journal of Shandong College of Oceanology, 1986, 16(4): 180-186 [张定民, 缪国荣, 杨清明. 沿岸流与海带养殖关系的研究 II、流速对海带生长的影响. 山东海洋学院学报, 1986, 16(4): 180-186]
- ZHANG J X. Effects of harvest time and processing on extraction and antioxidant activity of fucoidan from fresh kelp. Master's Thesis of Qingdao University of Science and Technology, 2016 [张加幸. 收获期内加工方式对鲜海带岩藻多糖提取及抗氧化活性的影响. 青岛科技大学硕士研究生学位论文, 2016]
- ZHANG Q X, ZHANG Q S, LIU G M, *et al.* An elementary introduction to culturing fish in anti-wave cages. Marine Sciences, 2007, 31(3): 82-83 [张起信, 张启胜, 刘光穆, 等. 浅谈深海抗风浪网箱养鱼业. 海洋科学, 2007, 31(3): 82-83]
- ZHENG H, CUI L T, PAN J. Ecological effect of kelp in polyculture system with *Argopecten irradians*. Fishery Modernization, 2014, 41(3): 26-29 [郑辉, 崔力拓, 潘娟. 海带在贝藻混养生态系统中的生态效应模拟研究. 渔业现代化, 2014, 41(3): 26-29]

Effects of Cultivation Area of Different Offshore Distances on the Agronomic Traits and Breeding Rope Aging of *Saccharina japonica*

LIU Yi^{1,2}, LIANG Zhourui^{2,3}, YU Wenwen⁴, CHANG Lirong⁵,
LU Longfei⁵, XIAO Luyang⁵, ZHENG Yanxin⁶, LIU Fuli^{2,3①}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources (Shanghai Ocean University), Ministry of Education, Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao, Shandong 266071, China; 3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao, Shandong 266071, China; 4. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 5. Weihai Changqing Ocean Science Thechnology CO., LTD., Weihai, Shandong 264316, China; 6. Changdao Enhancement and Experiment Station, Chinese Academy of Fishery Sciences, Yantai, Shandong 265800, China)

Abstract The trend towards kelp *Saccharina japonica* cultivation in offshore areas is becoming increasingly obvious, but there is no relevant research report on the influence of different offshore distances on the agronomic traits of kelp aquaculture. The factors influencing the growth (length, width, thickness, fresh weight, and dry weight) of kelp and the seedling drop rate were explored for different kelp cultivars ("Xunshan No.2", "Xunshan No.3", kelp "205"), offshore sea areas (from far to near, defined as offshore, middle area and inshore), and pitches of twist kelp breeding rope (80.8 mm, 65.6 mm, 61.1 mm, 53.4 mm, 48.3 mm); the mechanical properties and aging degree of the breeding rope were also investigated. The results showed that: for the same kelp cultivar in different sea areas, the length, width, and thickness properties of the blade were different. The cultivars "Xunshan 2" and "Xunshan 3" showed better economic traits in the offshore area. The fresh and dry weights of the different cultivars were higher in the offshore area, followed by the middle area, and were lowest in the inshore area; however, offshore cultivation had different effects on the fresh and dry weight enhancement of the different cultivars. Whether before or after use, the breaking strength of the special breeding rope was significantly higher than that of the traditional breeding rope ($P < 0.05$). After using a year, the strength retention rate of the special breeding rope was 93.8%, whereas that of the traditional breeding rope was only 63.6%. The seedling drop rate of the breeding ropes with a twist pitch of approximately 61.1 mm was the lowest, and the seedling drop rate significantly increased if the pitch of twist of the breeding ropes was too large (80.8 mm) or too small (≤ 53.4 mm). The molecular chain of the breeding rope used in the offshore was oxidized more severely, and the degree of aging was higher. The above results showed that offshore aquaculture can improve the yield of different kelp cultivars, but different cultivars have different adaptabilities to different offshore distances; and controlling the pitch of twist of the culture rope can effectively reduce the kelp seedling drop rate. For kelp culture under offshore sea conditions, a special rope with aging resistance and a twist pitch of approximately 61.1 mm can prolong the use time and reduce the rate of seedling drop. The results of this study can guide the development of the offshore kelp culture industry.

Key words *Saccharina japonica*; Offshore distance; Breeding rope performance; Pitch of twist; Seedling drop rate

① Corresponding author: LIU Fuli, E-mail: liufl@ysfri.ac.cn