

## Shannon-Wiener 多样性指数两种计算方法的比较研究

王 晶<sup>1</sup>, 焦 燕<sup>1,2</sup>, 任一平<sup>1</sup>, 薛 莹<sup>1</sup>, 纪毓鹏<sup>1</sup>, 徐宾铎<sup>1\*</sup>

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. Department of Fish and Wildlife Conservation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061-0321, USA)

**摘要:** 在应用群落多样性指数评价调查海域群落物种多样性或进行海域生态环境评价时,常用基于样方数据(方法 1)或基于区域混合样数据(方法 2)2 种方法计算 Shannon-Wiener 多样性指数。为了比较哪种方法所得结果能更好地反映调查海域群落多样性状况,并且分析多样性指数与样本含量的关系,本实验根据 2009 年胶州湾潮滩湿地大型底栖动物季度调查数据,应用再抽样模拟方法对 2 种多样性指数计算方法进行了比较研究。结果表明,对于相同样本含量,基于样方数据计算的 Shannon-Wiener 多样性指数值小于基于区域混合样数据计算的结果。方法 1 所计算的群落多样性指数与样本含量无关;而方法 2 计算的多样性指数值随样本含量的增加而增加,并在样本含量为 20 时接近“真值”并趋于稳定,其相对估计误差(REE)和相对偏差(RB)较小,表明样本含量影响方法 2 的多样性指数的计算。在评价调查海域群落物种多样性或进行海域生态环境评价时,应该使用基于区域混合样数据的计算方法,并保证足够的样本含量,才能客观地反映海域群落生物多样性现状。

**关键词:** Shannon-Wiener 多样性指数; 计算方法; 再抽样; 最优样本含量

**中图分类号:** S 91

**文献标志码:** A

生物多样性指数能够定量地反映生物群落内物种多样性程度,是用来判断生物群落结构变化或生态系统稳定性的指标,对于掌握群落动态变化以及合理利用生物资源具有重要的意义<sup>[1-2]</sup>。在海洋生物资源与环境调查中,常用 Shannon-Wiener 多样性指数评价其生物群落物种多样性或者海域生态环境状况。对于 Shannon-Wiener 多样性指数,目前存在着 2 种不同的计算方法:①基于样方数据计算 Shannon-Wiener 多样性指数,即计算各采样站位的多样性指数,再以其均值来衡量该区域群落物种多样性<sup>[3-7]</sup>;②基于区域混合样数据计算 Shannon-Wiener 多样性指数,把调查区域作为整体,以所有站位汇总数据计算多样性指数,来表示该区域生物群落物种多样性状况<sup>[8-12]</sup>。基于样方数据计算的 Shannon-Wiener 多样性指数,对于分析各样方多样性的空间分布

及其与环境因子的关系是合理的,但以多个小样方的 Shannon-Wiener 多样性指数均值作为该区域群落物种多样性的估算值,其合理性值得商榷。

本实验基于胶州湾潮滩湿地大型底栖动物调查数据,应用模拟研究方法,比较了 2 种方法计算多样性指数的差异,研究了不同样本含量对计算多样性指数的影响,以期客观地反映群落生物多样性和海域生态环境现状、进行生物多样性保护以及可持续利用提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 样品采集和分析

数据来源于 2009 年 2、5、8 和 11 月在胶州湾西北部潮滩湿地进行的大型底栖动物调查。调查共设置 7 条断面 35 个取样站点。从左到右依次为断面 1~7,每个断面设置高潮区 1 个站位,中

收稿日期:2015-05-18

修回日期:2015-06-22

资助项目:海洋公益性行业科研专项(201305030);公益性行业(农业)科研专项(201303050)

通信作者:徐宾铎,E-mail:bdxu@ouc.edu.cn

潮区 3 个站位,低潮区 1 个站位(图 1)。取样样方 25 cm × 25 cm,取样深度 30 cm,每站位取 3 个样方合并为 1 个泥样。泥样经孔径为 1.0 mm 的滤筛冲洗掉泥沙,滤出样品带回实验室进行分析。在实验室内仔细挑拣出生物样品,分类存放并用 75% 酒精固定。

所采集生物样品尽量鉴定至种,其中部分生物如纽虫和多毛类由于身体损坏,鉴定难度较大,仅鉴定到科和属。计数各种类个体数,使用精确度为 0.01 g 的电子称称量其湿重(软体动物带壳称重),将所得的个体数与质量除以相应的面积而得到丰度和生物量的标准化数据。具体参照《海洋调查规范第 6 部分:海洋生物调查》(GBT12763.4-2007)<sup>[13]</sup>。

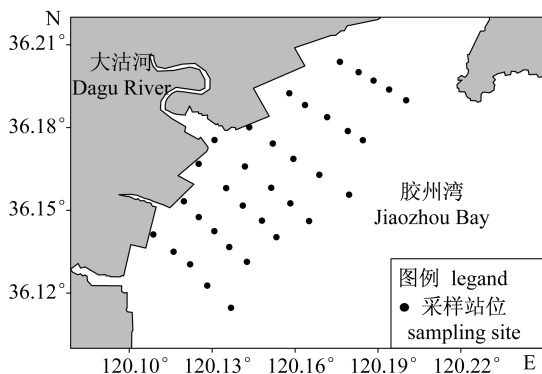


图 1 胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物调查站位

Fig. 1 Sampling stations of macrozoobenthos in the tidal flat wetlands in northwestern Jiaozhou Bay

## 1.2 Shannon-Wiener 多样性指数

由于不同生物种类及同种类间个体差异很大, Wilhm<sup>[14]</sup>指出用生物量表示的多样性更接近种类间能量的分布,因此本实验中以生物量数据计算胶州湾潮滩湿地大型底栖动物群落物种多样性。

Shannon-Wiener 多样性指数<sup>[15]</sup>:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

式中,  $S$  为大型底栖动物种数,  $p_i$  为第  $i$  种底栖动物生物量占总底栖动物生物量的比例。

## 1.3 再抽样模拟分析

按潮区分为 3 个潮区,即高潮区、中潮区和低潮区,各潮区调查站位数比例为 1:3:1。根据自助抽样法(Bootstrap method),在各月分别进行分层随机抽样,依次按样本含量(即调查站位数)为

5、10、15、20、25、30 和 35 个进行有放回再抽样,获得大型底栖动物调查再抽样数据,根据该再抽样数据计算 Shannon-Wiener 多样性指数。

方法 1:基于样方数据计算多样性指数,“真值”  $Y^{\text{true}}$  是原始 35 个调查站位多样性指数的均值。对于每次再抽样,分别计算每个采样站位的 Shannon-Wiener 多样性指数,以各站位的平均值作为该调查区域大型底栖动物群落多样性指数的估算值  $Y_i^{\text{estimated}}$ ;每个样本含量下,进行有放回地再抽样  $R$  次( $R=1\ 000$ ),计算得到  $R$  个多样性指数估算值。

$$Y_i^{\text{estimated}} = \frac{\sum_{j=1}^N y_j}{N}$$

式中,  $N$  为样本含量( $N=5、10、15、20、25、30$  和 35),  $y_j$  是第  $i$  次抽样中第  $j$  个采样站位的多样性指数,  $Y_i^{\text{estimated}}$  是第  $i$  次抽样各采样站位的多样性指数的平均值( $i=1, 2, \dots, R$ )。

方法 2:基于区域混合样数据计算多样性指数,即汇总 35 个采样站位数据,计算得到 Shannon-Wiener 多样性指数“真值”  $Y^{\text{true}}$ ;对于每次再抽样,汇总抽取的所有采样站位数据,计算其多样性指数估算值  $Y_i^{\text{estimated}}$ ;每个样本含量下,有放回再抽样  $R$  次( $R=1\ 000$ ),计算得到  $R$  个多样性指数估算值。

## 1.4 再抽样模拟评估

相对估计误差(relative estimation error, REE),用来评价多样性指数估算值的精度和准确性<sup>[16-17]</sup>,

$$REE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R (Y_i^{\text{estimated}} - Y^{\text{true}})^2 / R}}{Y^{\text{true}}} \times 100\%$$

相对偏差(relative bias, RB),可用于评价多样性指数估算值的准确度及偏离“真值”的情况<sup>[16]</sup>,

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^R Y_i^{\text{estimated}} / R - Y^{\text{true}}}{Y^{\text{true}}} \times 100\%$$

式中,  $Y^{\text{true}}$  为根据方法 1 和方法 2 分别计算所得到的多样性指数“真值”;  $Y_i^{\text{estimated}}$  为根据第  $i$  次再抽样数据,应用方法 1 或方法 2 计算所得的多样性指数的“估算值”。

## 2 结果

### 2.1 多样性指数随样本含量的变化

图 2 为各季节 2 种方法所得 Shannon-Wiener

多样性指数及其随样本含量的变化情况。在各季节,2 种方法所得的多样性指数的变化范围均随样本含量增加而逐渐减小。在样本含量相同时,

基于样方数据(方法 1)的多样性指数值小于基于区域混合样数据(方法 2)的估算值。

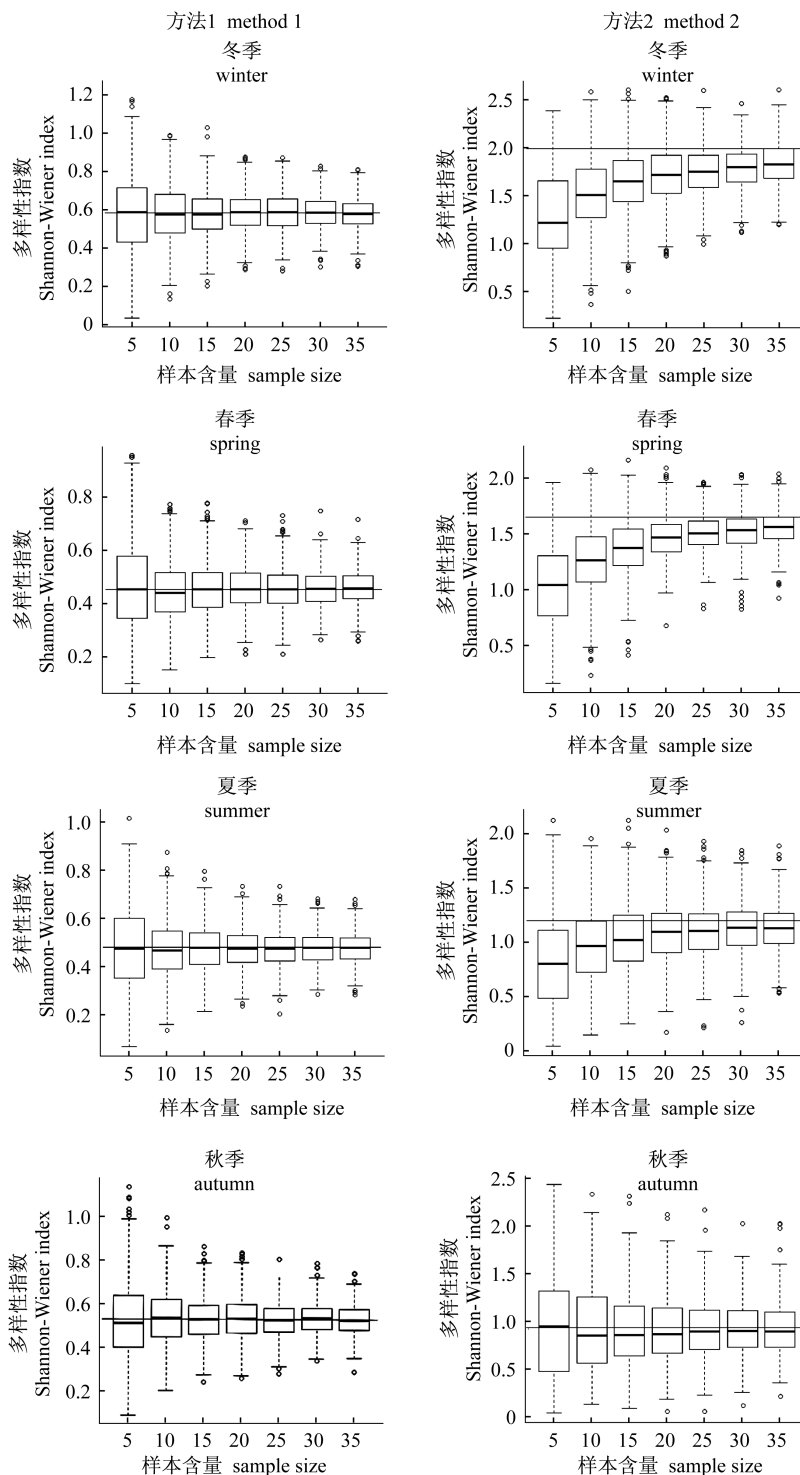


图 2 Shannon-Wiener 多样性指数随样本含量变化箱线图

图中横线为“真值”

Fig. 2 Boxplot of variation in Shannon-Wiener index with sample size

Horizontal lines are “true value”

随着样本含量增加,基于样方数据(方法 1)的多样性指数计算结果稳定,估算值不随样本含量的增加而变化,中位数稳定且接近“真值”;除秋季外,基于区域混合样数据(方法 2)的多样性指数估算值随样本含量增大逐渐增大,在样本含量为 20 时开始趋于稳定,中位数略小于“真值”。应用方法 1 所计算的调查区域群落多样性指数不随样本含量变化而改变;而方法 2 受样本含量影响,样本含量越大,计算结果越接近“真值”并趋于稳定。

对于方法 2,秋季的多样性指数随样本含量

的变化规律与其他季节不同,与方法 1 所得结果变化趋势类似(图 2)。

### 2.2 相对估计误差

对于 2 种计算方法,多样性指数估算值的相对估计误差具有相同的变化趋势。在各季节,相对估计误差均随样本含量增加而下降,并且于 20 个采样站位时趋于平缓。基于样方数据(方法 1)的相对估计误差值小,变化范围在 0.4%~1.2%;基于区域混合样数据(方法 2)的相对估计误差值较大,变化范围是 10%~60%(图 3)。

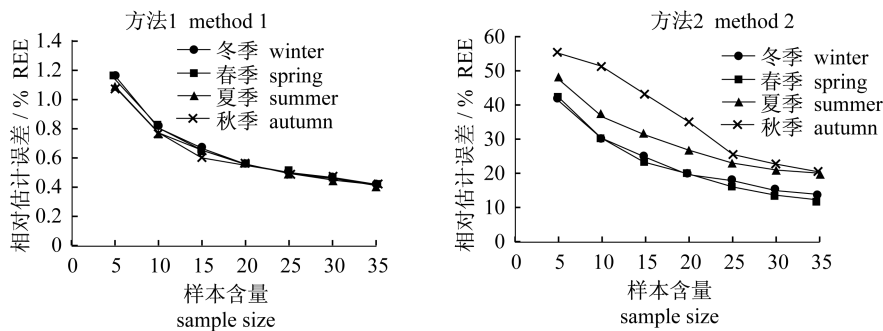


图 3 Shannon-Wiener 多样性指数相对估计误差随样本含量的变化

Fig. 3 Variation of relative estimation error of Shannon-Wiener index with sample size

### 2.3 相对偏差

2 种方法计算调查区域群落多样性指数,相对偏差存在较大差异。方法 1 中相对偏差值在秋季一致性偏小;在其他季节相对偏差无一致性变

化,分布在 0 值两侧;方法 2 中相对偏差在秋季一致性稍大于 0,在其他季节相对偏差一致性为负值,随样本含量增加相对偏差变小,且在样本含量为 20 时开始趋近于 0 值(图 4)。

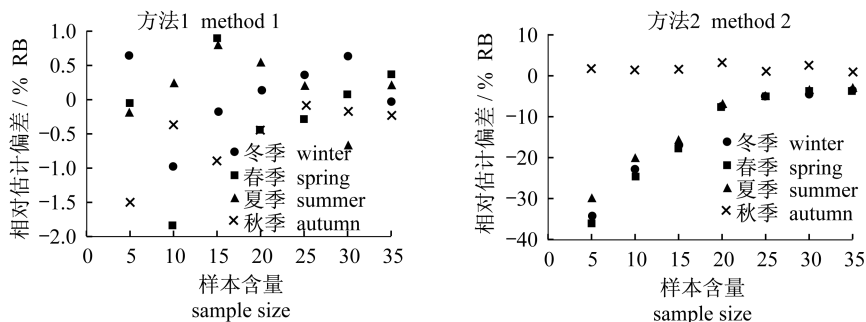


图 4 Shannon-Wiener 多样性指数相对偏差随样本含量的变化

Fig. 4 Variation of relative bias of Shannon-Wiener index with sample size

## 3 讨论

本次调查中,对于同一调查区域,应用 2 种计算方法得到的 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )估算值有较大差异,基于样方数据(方法 1)得到

的  $H'$  估算值小于基于区域混合样数据(方法 2)得到的结果。方法 1 的  $H'$  值是对每个样方的结果求其均值,即仅是估算一个样方的  $H'$  值,所以其值偏小且不受样本含量的影响。用一个样方的多样性指数计算结果估算整个区域生境的情况,

明显不合理。而方法 2 的  $H'$  值随样本含量的增加而增加,且在样本含量为 20 时趋于稳定。因此,调查区域 Shannon-Wiener 多样性指数的计算受样本含量的影响,本研究中 20 个样方为最小调查样本含量,此时,用 20 个样本的结果能够反映区域生境的群落物种多样性情况。

方法 1 实际上计算了样本含量为 1 的单个样方的多样性指数值,因此在模拟抽样过程中,其相对估计误差和相对偏差均较小,且无一致性偏差;方法 2 则分别以样本含量为 5、10、15、20、25、30 和 35 的混合样数据的计算结果与区域整体 35 个样本含量的混合样数据结果相比较,故相对估计误差和相对偏差值较大,在样本含量为 20 时,相对估计误差和相对偏差趋于稳定且较小,表明样本含量为 20 对于该调查是合理的。

Shannon-Wiener 多样性指数的计算受多方面的影响。常见种和稀有种对物种多样性的贡献不同<sup>[18]</sup>。常见种出现频率高,空间分布广,对物种多样性的贡献大于稀有种,在丰度模型中起主导作用<sup>[19]</sup>,但在特定生境下,环境恶劣,物种稀少时,适合该特定生境的稀有种对物种多样性的贡献也很重要<sup>[20-21]</sup>。由物种多样性指数( $J'$ )公式显示,物种种类多且数量分布均匀时,多样性指数高<sup>[15]</sup>。潮滩湿地处于陆海过渡带,理化环境复杂多变,影响物种的空间分布,不同生境栖息的生物种类和组成各不相同,即物种在潮滩湿地的空间分布符合分带分层原则<sup>[22]</sup>。研究表明,该调查海域的物种空间分布交叉程度较低,具有明显的区域分层性,即使常年优势种如缢蛭(*Sinonovacula constricta*),生物量比例大但仅集中分布在中潮区的少数站位。2 种计算方法包含的采样面积不同,造成平均观测的物种数不同;方法 1 是对每个样方分别计算,平均包含物种数少,物种多样性指数值小;方法 2 采样面积大,物种数多,多样性指数值大,并且随着采样面积增大趋于稳定,这符合群落最小面积的一般理论<sup>[23]</sup>。在本次调查中,缢蛭、光滑河蓝蛤(*Potamocorbula laevis*)和菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)等优势种生物量较高,但是仅集中分布在少数站位,同时在各相应站位中其他物种种类较少且生物量较低。因此,利用方法 1 计算时,每个样方的物种多样性指数值均较低;方法 2 汇总了各样方的数据,会在一定程度上降低缢蛭等优势种的比例,所以多样性指数

值较高。在方法 2 中,秋季(11 月份)的物种多样性指数值随样本含量的变化与其他季节不同,这主要是优势种菲律宾蛤仔的数量分布格局造成的。由于在该季节菲律宾蛤仔和缢蛭等大量优势种聚集分布在少数站位,而其他物种生物量较小,造成样本含量增加但多样性指数值变化较小。在 35 个调查站位中,菲律宾蛤仔生物量占全部物种生物量的 80%,但仅集中分布在 4 个站位中,因此利用方法 2 计算的多样性指数“真值”偏小。在再抽样过程中,虽然菲律宾蛤仔优势度有所降低,但其比例仍很高,因此秋季多样性指数估算值受样本含量影响小。

在评价区域物种多样性或进行海域生态环境评价时,应使用基于区域混合样数据的计算方法,并保证足够的样本含量,才能客观地反映群落生物多样性现状,从而为生物多样性保护以及生物资源可持续利用提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] Qian Y Q, Ma K P. Principles and Methodologies of Biodiversity Studies [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994. [钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.]
- [2] Keylock C J. Simpson diversity and the Shannon - Wiener index as special cases of a generalized entropy [J]. Oikos, 2005, 109(1): 203 - 207.
- [3] Cheng J S. The structure and diversity of demersal fish communities in winter in the east China Sea and the Yellow Sea [J]. Marine Fisheries Research, 2000, 21(3): 1 - 8. [程济生. 东、黄海冬季底层鱼类群落结构及其多样性. 海洋水产研究, 2000, 21(3): 1 - 8.]
- [4] Li X Z, Yu H Y, Wang Y Q, et al. Study on the species diversity of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay [J]. Biodiversity Science, 2001, 9(1): 80 - 84. [李新正, 于海燕, 王永强, 等. 胶州湾大型底栖动物的物种多样性现状. 生物多样性, 2001, 9(1): 80 - 84.]
- [5] Bi H S, Sun S, Sun D Y. Changes of macrobenthic communities in Jiaozhou Bay [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(2): 132 - 138. [毕洪生, 孙松, 孙道元. 胶州湾大型底栖生物群落的变化. 海洋与湖沼, 2001, 32(2): 132 - 138.]
- [6] Li B Q, Li X Z, Wang H F, et al. Species diversity of macrobenthic mollusk fauna in Jiaozhou Bay,

- Shandong [J]. *Biodiversity Science*, 2006, 14(2): 136 - 144. [李宝泉, 李新正, 王洪法, 等. 胶州湾大型底栖软体动物物种多样性研究. 生物多样性, 2006, 14(2): 136 - 144.]
- [7] Tang D H, Zou X Q, Liu X J. The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(4): 1240 - 1250. [唐得昊, 邹欣庆, 刘兴健. 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例. 生态学报, 2013, 33(4): 1240 - 1250.]
- [8] Jin X S, Deng J Y. Yearly variations of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay [J]. *Marine Fisheries Research*, 1999, 20(1): 6 - 12. [金显仕, 邓景耀. 莱州湾春季渔业资源及生物多样性的年间变化. 海洋水产研究, 1999, 20(1): 6 - 12.]
- [9] Jin X S, Deng J Y. Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay, Shandong [J]. *Biodiversity Science*, 2000, 8(1): 65 - 72. [金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化. 生物多样性, 2000, 8(1): 65 - 72.]
- [10] Mei C, Xu B D, Xue Y, *et al.* Fish community structure and species diversity during autumn and winter in the central waters of Jiaozhou Bay [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(1): 110 - 118. [梅春, 徐宾铎, 薛莹, 等. 胶州湾中部海域秋、冬季鱼类群落结构及其多样性研究. 中国水产科学, 2010, 17(1): 110 - 118.]
- [11] Zeng H H. Study on Community Structure and Species Diversity of Fish Assemblage in the Coastal Waters of Jiaozhou Bay [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012. [曾慧慧. 胶州湾近岸水域鱼类群落结构特征及多样性研究. 青岛: 中国海洋大学, 2012.]
- [12] Xu B D, Zeng H H, Xue Y, *et al.* Community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(10): 3074 - 3082. [徐宾铎, 曾慧慧, 薛莹, 等. 胶州湾近岸浅水区鱼类群落结构及多样性. 生态学报, 2013, 33(10): 3074 - 3082.]
- [13] State Oceanic Administration People's Republic of China. GBT12763. 6—2007 Specifications for Oceanographic Survey - Part 6: Marine Biological Survey [S]. Beijing: China Standard Press, 2007: 168. [国家海洋局. GBT 12763. 6—2007 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 2007: 168.]
- [14] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula [J]. *Ecology*, 1968, 49(1): 153 - 156.
- [15] Shannon E C, Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication* [M]. Illinois: Urbana University of Illinois Press, 1949.
- [16] Chen Y. A Monte Carlo study on impacts of the size of subsample catch on estimation of fish stock parameters [J]. *Fisheries Research*, 1996, 26(3 - 4): 207 - 223.
- [17] Liu Y, Chen Y, Cheng J H. A comparative study of optimization methods and conventional methods for sampling design in fishery - independent surveys [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2009, 66(9): 1873 - 1882.
- [18] Mazaris A D, Tsianou M A, Sigkounas A, *et al.* Accounting for the capacity of common and rare species to contribute to diversity spatial patterns: Is it a sampling issue or a biological effect [J]. *Ecological Indicators*, 2013, 32: 9 - 13.
- [19] Jetz W, Rahbek C. Geographic range size and determinants of avian species richness [J]. *Science*, 2002, 297(5586): 1548 - 1551.
- [20] Tello J S, Stevens R D. Multiple environmental determinants of regional species richness and effects of geographic range size [J]. *Ecography*, 2010, 33(4): 796 - 808.
- [21] Lennon J J, Beale C M, Reid C L, *et al.* Are richness patterns of common and rare species equally well explained by environmental variables [J]. *Ecography*, 2011, 34(4): 529 - 539.
- [22] Li X Z, Li B Q, Wang H F, *et al.* Macrobenthic community of the intertidal zone of Jiaozhou Bay [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(3): 612 - 618. [李新正, 李宝泉, 王洪法, 等. 胶州湾潮间带大型底栖动物的群落生态. 动物学报, 2006, 52(3): 612 - 618.]
- [23] Niu C J, Lou A R, Sun R Y, *et al.* *Fundamentals of Ecology* [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007. [牛翠娟, 娄安如, 孙儒泳, 等. 基础生态学(第2版). 北京: 高等教育出版社, 2007.]

## Comparative study on two computing methods for estimating Shannon-Wiener diversity index

WANG Jing<sup>1</sup>, JIAO Yan<sup>1,2</sup>, REN Yiping<sup>1</sup>, XUE Ying<sup>1</sup>, JI Yupeng<sup>1</sup>, XU Binduo<sup>1\*</sup>

(1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Department of Fish and Wildlife Conservation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061-0321, USA)

**Abstract:** Shannon-Wiener diversity index is commonly used in measuring the community species diversity or assessing the ecological status of marine environments. There are two methods to compute the Shannon-Wiener diversity index in the surveyed region, which is calculated based on each sample data (Method 1) or based on the pooled data of the survey region (Method 2). In order to find out which method is better to reflect the species diversity of the survey region, as well as to examine the relationship between the Shannon-Wiener diversity index and the sample size, a comparative study of these two methods was carried out using simulation study based on the data from the macrozoobenthos survey in tidal flat wetland of northwestern Jiaozhou Bay in 2009. The results showed that the Shannon-Wiener diversity index calculated by Method 1 was lower than that from Method 2. The estimated Shannon-Wiener diversity index calculated by Method 1 was independent of sample size, and the Shannon-Wiener diversity index by Method 2 became greater with the sample size increasing, and then kept stable approaching the “true value” at the sample size of 20. Both the relative estimation error (REE) and the relative bias (RB) of the diversity index estimation from Method 2 were getting smaller when the sample size was greater than 20, which indicated that the sample size affected the calculating results of Method 2. Method 2 with enough or optimal sample size would be used in estimating the species diversity or in evaluating the ecological quality of the entire survey area, which would objectively reflect the status of species diversity in the survey area.

**Key words:** Shannon-Wiener diversity index; calculating method; resampling; optimal sample size

**Corresponding author:** XU Binduo. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn