

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 21620101152267

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于稳定同位素技术的黄嘴白鹭
(*Egretta eulophotes*) 食性及繁殖地忠实度
的研究

A study on the diet and nest site fidelity of Chinese
egret (*Egretta eulophotes*) based on stable isotopic analysis

蔡 鹏

指导教师姓名: 方文珍 副教授

专业名称: 动 物 学

论文提交日期: 2013 年 04 月

论文答辩时间: 2013 年 05 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2013 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目 录

摘要	VI
Abstract	VIII
第一章 前言	1
1.1 稳定同位素	1
1.1.1 稳定同位素碳	2
1.1.2 稳定同位素氮	3
1.2 稳定同位素在动物生态学研究中的优越性	5
1.2.1 在食性研究中的优越性	5
1.2.2 在迁移研究中的优越性	6
1.3 稳定同位素技术在鸟类生态中的应用	7
1.3.1 食物分析	7
1.3.2 营养级结构	8
1.3.3 迁徙格局	9
1.4 黄嘴白鹭研究现状	10
1.4.1 黄嘴白鹭简介	10
1.4.2 黄嘴白鹭保护现状	11
1.4.3 黄嘴白鹭研究进展	12
1.5 本研究的目的是和意义	12
1.5.1 本研究的目的是	12
1.5.2 本研究的意义	13
第二章 材料与方 法	14
2.1 采样地点	14
2.2 研究仪器与试剂	15
2.3 样品的采集	15
2.4 实验过程	16
2.4.1 样品的处理方法	16

2.4.2 性别鉴定方法	16
2.4.3 同位素测试方法	17
2.4.4 数据处理	17
第三章 结果与分析	18
3.1 黄嘴白鹭和白鹭不同类型羽毛的同位素特征	18
3.1.1 羽毛中 C 元素和 N 元素的百分含量	18
3.1.2 黄嘴白鹭不同类型羽毛的稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值	19
3.1.3 白鹭不同类型羽毛的稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值	20
3.2 大屿、菜屿黄嘴白鹭，漳州白鹭初级飞羽中同位素特征	21
3.2.1 人工饲养与野生黄嘴白鹭羽毛中稳定同位素的差异	21
3.2.2 野生环境下黄嘴白鹭和白鹭的同位素差异	23
3.3 菜屿黄嘴白鹭不同性别、不同年龄间同位素特征	25
3.3.1 菜屿黄嘴白鹭雏鸟不同性别间羽毛中的稳定同位素值	25
3.3.2 菜屿黄嘴白鹭成鸟不同性别间羽毛中的稳定同位素值	27
3.3.3 黄嘴白鹭雏鸟与成鸟两性间的同位素值比较	29
3.3.4 菜屿黄嘴白鹭成鸟与雏鸟间的稳定同位素值比较	30
第四章 讨论	31
4.1 不同类型羽毛的稳定同位素特征	31
4.2 黄嘴白鹭的食性分析	32
4.3 菜屿黄嘴白鹭对繁殖地的忠实性	33
第五章 结论	35
参考文献	36
致谢	48

Contents

Chinese abstract.....	VI
Abstract.....	VIII
Chapter one preface.....	1
1.1 Intraduction of Stable isotope.....	1
1.1.1 Stable isotope carbon	2
1.1.2 Stable isotope nitrogen.....	3
1.2 The superiority of stable isotopes in the study of animal ecology	5
1.2.1 Superiority in dietary studies	5
1.2.2 Superiority in migration studies.....	6
1.3 Application of stable isotope techniques in avian ecology	7
1.3.1 Dietary analysis.....	7
1.3.2 Trophic Structure	8
1.3.3 Migratory patterns.....	9
1.4 Progress of study in Chinese egret	10
1.4.1 Introduction of Chinese egret.....	10
1.4.2 Protection of Chinese egret.....	11
1.4.3 Progress of study in Chinese egret.....	12
1.5 The purpose and significance of this study.....	12
1.5.1 The purpose of this study	12
1.5.2 The significance of this study	13
Chapter two Material and Methods.....	14
2.1 Sampling Location	14
2.2 Research Instruments and reagents	15
2.3 Sample collection.....	15
2.4 Experimental methods.....	16
2.4.1 Sample processing	16
2.4.2 Sex identification	16

2.4.3 Isotope test	17
2.4.4 Data analysis	17
Chapter three Results and Analysis.....	18
3.1 Isotopic characteristics in different types of feathers of Chinese egret and little egret	18
3.1.1 The percentage of C element and N element in feathers	18
3.1.2 The stable isotope $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ values in different types of feathers of Chinese egret.....	19
3.1.3 The stable isotope $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ values in different types of feathers of little egret	20
3.2 Stable isotopic characteristics of Chinese egret from caiyu and dayu and little egret from zhangzhou	21
3.2.1 The differences of feather stable isotope between captive and wild Chinese egret.....	21
3.2.2 The differences of feather stable isotope between little egret and Chinese egret.....	23
3.3 The sexual and age differences of stable isotope values in Chinese egret from caiyu.....	25
3.3.1 The sexual difference of feather stable isotope values in the nestlings of Chinese egret.....	25
3.3.2 The sexual difference of feather stable isotope values in the adults of Chinese egret.....	27
3.3.3 The stable isotope values comparison of nestlings and adults between two sexes in Chinese egret.....	29
3.3.4 The stable isotope values comparison of nestlings and adults in Chinese egret from caiyu	30
Chapter four Disscusion	31
4.1 Stable isotope signatures in different types of feathers	31
4.2 Dietary analysis of Chinese egret	32
4.3 Nest site fidelity of Chinese egret.....	33
Chapter five Conclusion.....	35

References.....	36
Acknowledgements	48

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

稳定同位素技术在考古学、地质学、医学、环境科学、海洋科学等中应用非常广泛。由于其特有优点，使其逐渐在动物生态学研究方面得到利用，如食性、食物链、营养结构、生境选择、迁徙等。黄嘴白鹭 (*Egretta eulophotes*) 为全球数量稀少的濒危迁徙水鸟，对其开展深入研究、采取相应的保护迫在眉睫。本研究通过稳定同位素技术，对黄嘴白鹭的食性和繁殖地忠实度进行了初步探讨。

为保证本研究中能够科学地采样鹭科鸟类羽毛，减少濒危黄嘴白鹭羽毛样品的采集，对黄嘴白鹭及白鹭 (*Egretta garzetta*) 身体不同类型的羽毛进行了稳定同位素分析，分别取黄嘴白鹭和白鹭的初级飞羽、次级飞羽、腹羽和尾羽，利用稳定同位素比率质谱仪测定上述样品的稳定同位素碳 $\delta^{13}\text{C}$ 和稳定同位素氮 $\delta^{15}\text{N}$ ，并借助 SPSS 分析软件对测定获得的数据进行方差分析和多重比较分析，结果显示：黄嘴白鹭不同类型羽毛的 $\delta^{13}\text{C}$ 或 $\delta^{15}\text{N}$ 含量没有显著差异 ($P>0.05$)，白鹭不同类型羽毛的 $\delta^{13}\text{C}$ 或 $\delta^{15}\text{N}$ 含量也同样没有显著差异 ($P>0.05$)。由此说明稳定同位素在鹭科鸟类不同类型羽毛中的分馏效应是相似的，同时也说明黄嘴白鹭和白鹭所有羽毛的稳定同位素值反映的是繁殖地的特征。因此，在今后的鹭科鸟类稳定同位素分析中，各个类型羽毛的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 都一样具有代表性。

通过羽毛的稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 测定，对菜屿黄嘴白鹭、大屿黄嘴白鹭和漳州校区沿海白鹭的食性进行比较研究。数据分析发现：菜屿黄嘴白鹭和大屿黄嘴白鹭间的稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 没有显著差异 ($P=0.188$)，表现出强烈的海洋性特征；而菜屿黄嘴白鹭稳定同位素 $\delta^{15}\text{N}$ 要显著高于大屿黄嘴白鹭稳定同位素 $\delta^{15}\text{N}$ ($P<0.01$)，反映了人工饲养条件与野生环境间食物的不同；在野生条件下，菜屿黄嘴白鹭 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 都显著高于漳州校区的白鹭 ($P<0.01$)，说明黄嘴白鹭专食于海洋性食物，而白鹭则以海洋性食物为主，兼顾淡水食物。

菜屿繁殖地黄嘴白鹭雏鸟羽毛中的同位素特征分析发现，同位素分馏值在雏鸟不同性别之间没有显著差异 ($P>0.05$)，提示雏鸟羽毛的同位素值可以作为其繁殖地的同位素本底值。对菜屿黄嘴白鹭亲鸟羽毛的研究发现，其同位素分馏值存在显著的性别差异 ($P<0.05$)，由于亲鸟脱落的羽毛是在上一年的繁殖地长成，故可以推断菜屿黄嘴白鹭成鸟雌雄来源于不同的繁殖种群。进一步将菜屿黄嘴白

鹭雄性成鸟和雌性成鸟分别与雏鸟做羽毛同位素值检验比较,发现雌性成鸟羽毛的稳定同位素值与雏鸟没有显著差异 ($P>0.05$), 而雄性成鸟与雏鸟有显著差异 ($P<0.05$), 说明黄嘴白鹭雌性亲鸟上一年度也在该地成长或繁殖, 雌性黄嘴白鹭的繁殖地忠实度高于雄性。

关键词: 黄嘴白鹭; 稳定同位素; 羽毛; 食性; 繁殖地忠实度

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

Stable isotope technique has been widely used in archeology, geology, medicine, environmental science and marine science. Due to its unique advantages, it's increasingly used in animal ecology, such as feeding habits, food chain, trophic structure, habitat selection, migration, and so on. The Chinese egret (*Egretta eulophotes*), with rare population size in the world, is an endangered migratory waterbird. So it's urgent for us to take deep research and make appropriate protection for this egret. In this study, we conducted a preliminary study on the diet and nest site fidelity of Chinese egret based on stable isotope technique.

To ensure the scientificity of Ardeidae feather sampling in this study and thus can decrease the feather sampling of endangered egret, we took different types of feathers in both Chinese egret and little egret (*Egretta garzetta*), including primaries, secondaries, abdominal feathers and tail feathers. Stable isotope ratio mass spectrometer was used to test the value of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, and then the SPSS software was used for variance analysis and multiple comparisons of data. The results showed that there was no significant difference ($P > 0.05$) in both $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ among different types of feathers of Chinese egret or little egret. This demonstrated that the different types of feathers of Ardeidae had same results of stable isotope fractionation, and that feather stable isotope values in Chinese egret and little egret reflected the stable isotope characteristics of nest site. Therefore, the feather $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in anyone body region of Ardeidae has same representative in stable isotopic analysis.

In this study, the diet of Chinese egret from Caiyu and Dayu, and diet of little egret from Zhangzhou were analyzed by measuring and comparing the value of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in their feathers. Data analysis found that there was no significant difference of $\delta^{13}\text{C}$ value ($P = 0.188$) in Chinese egret between Caiyu and Dayu, which showing strong maritime characteristics. On the contrary, the feather stable isotope $\delta^{15}\text{N}$ value in Chinese egret at Caiyu were significantly higher than that at Dayu ($P < 0.01$), reflecting the dietary gap of Chinese egret between the captivity and the wild populations. For wild populations, both feather $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values in Chinese Egret at Caiyu were significantly higher than those in little egret at Zhangzhou ($P < 0.01$), indicating that Chinese egret only depended on marine prey, whereas little egret

consumed a majority of marine prey and a small part of freshwater food.

No significant difference of feather isotopic fractionation value was found between different sexes of Chinese egret nestlings at Caiyu heronry ($P > 0.05$), suggesting that the isotope value of nestling feather can be used as a background isotopic value of the nest site. On the contrary, there was a significant difference of feather isotopic value between different sexes of Chinese egret parents ($P < 0.05$), concluding that both male and female parents come from different breeding populations because the molted feathers of the parents were grown up in the nest sites of last year. Moreover, the feather isotopic values of Chinese egret parents were compared with those of nestlings in the same sex. No significant difference of feather isotope value was found between female parent and nestling, but significant difference of feather isotope value was found between male parent and nestling, indicating that female parent was grown up or bred at Caiyu heronry last year and thus that female Chinese egret has higher nest site fidelity than male.

Key Words: *Egretta eulophotes* ; stable isotopes ; feather ; diet ; nest site fidelity

第一章 前言

1.1 稳定同位素

稳定同位素是指在元素周期表中，质子数 Z 相同、中子数 N 不同而导致的原子质量不同，但是化学性质基本相同，且不发生或极不易发生放射性衰变或核裂变的一组同位素^[1]。由于一种元素的多个同位素之间存在相对质量差，从而使它们在物理和化学性质上存在差异，称为同位素效应，其表现在轻同位素的化学键结合力比重同位素弱，使得含轻同位素的分子比含重同位素的分子更活跃，因而在物理化学反应中产生同位素的分馏作用^[2]。像一些在生物学上重要的元素，如氢(H)、碳(C)、氮(N)、氧气(O)和硫(S)，轻的稳定同位素通常比它对应更重的同位素要丰富20倍左右^[3]。

在过去的几十年，稳定同位素分馏效应被应用在生物学中多个研究领域。就动物个体而言，其栖息环境特征的差异，使稳定同位素在光、热、降水及蒸发等外界条件作用下产生同位素分馏，导致稳定同位素比值在空间上的差异，这样的同位素地理信息通过食物链的关系，以食物和水分的方式进入动物体内，因此稳定同位素在研究动物的食物来源、食物网和营养级结构，以及动物的迁移迁徙活动等方面应用广泛；在植物生理生态方面，稳定同位素使我们能从全新的视角去研究植物的光合作用途径、植物对元素的吸收、水分来源与平衡和利用效率等问题；生态系统生态学方面，利用稳定同位素技术研究生态系统的气体交换机制、生态系统功能动态变化及其对全球变化的响应模式等^[4]，因而稳定同位素分析技术 SIA 成为现今最有效的生态学研究技术之一。在通常情况下，测定稳定性同位素是将其与国际标准比对后进行比较研究，所测物质中某元素的两种稳定同位素的比值与标准物质中同一元素的两种同位素的比值之间的差异用 δ 值来表示，因此， δ 值是样品与标准之间同位素比值间的相对偏差，单位用千分值 (‰) 表示^[2,5]。各稳定同位素的表示方法及其标准物和绝对比率如 表 1。

表 1 稳定同位素的标准物和同位素比率

Element	Notation	Ratio	Standard	Absolute Ratio
Hydrogen	δD	D/H ($^2\text{H}/^1\text{H}$)	SMOW	1.557×10^{-4}
Lithium	$\delta^6\text{Li}$	$^6\text{Li}/^7\text{Li}$	NBS L-SVEC	0.08306
Boron	$\delta^{11}\text{B}$	$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$	NBS 951	4.044
Carbon	$\delta^{13}\text{C}$	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	PDB	1.122×10^{-2}
Nitrogen	$\delta^{15}\text{N}$	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	atmosphere	3.613×10^{-3}
Oxygen	$\delta^{18}\text{O}$	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	SMOW, PDB	2.0052×10^{-3}
	$\delta^{17}\text{O}$	$^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$	SMOW	3.76×10^{-4}
Chlorine	$\delta^{37}\text{Cl}$	$^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$	seawater	~ 0.31978
Sulfur	$\delta^{34}\text{S}$	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	CDT	4.43×10^{-2}

资料来源：魏菊英，王关玉：同位素地球化学，地质出版社，1988年。

对一些元素而言，海洋性食物网中的同位素比大陆 C_3 或淡水生物群落中的更丰富^[5-7]。特别是碳 ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^{34}S 这些可以用来检测动物食物中海洋性和内陆蛋白质的相对含量值^[8-13]。虽然 ^2H 和 ^{18}O 也是以海洋性比内陆性更丰富为特点^[6, 14]。但是基于分析上的考虑，因为非 C 键结合的氢(H)会继续和环境中的水中的氢(H)发生同位素交换，因而他们在用于追踪动物营养素来源时会相对受到限制。所以一般最常用的是稳定同位素碳 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 。

1.1.1 稳定同位素碳

自然界中碳有两种稳定同位素 ^{12}C 和 ^{13}C ，其丰度分别为 98.89% 和 1.11%，碳同位素的分馏，主要有光合作用过程中的动力学分馏和同位素交换反应中的热力学平衡分馏^[1, 3]。在全球范围内，大气中 CO_2 的稳定同位素碳值是相对恒定的，大约为 -8‰ ^[15]。但由于植物通过光合作用固定 CO_2 的方式不同，而使不同类型的植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在很大差异。因此，像小麦、大麦、大米和大部分水果和蔬菜等 C_3 植物中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 $-30\text{‰} \sim -22\text{‰}$ 之间^[16]。相反 C_4 植物中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值比 C_3 植物要高，大概在 $-14\text{‰} \sim -10\text{‰}$ 之间^[16]，如玉米、甘蔗等。CAM 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围较宽，在 $-38\text{‰} \sim -13\text{‰}$ 之间， $\delta^{13}\text{C}$ 介于 C_3 植物与 C_4 植物之间^[17, 18]。同时，影响植物碳同位素的还包括一些外界环境因子，如温度、湿度、光照、含水量、大气压和大气中的 CO_2 同位素组成等，从而导致分布在不同地理环境的植物中稳定同位素碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在差异。王建柱等(2004) 研究发现，同

一地区的植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值随海拔高度升高而增加, 海拔每升高 1000M, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值大约会增加 1.5‰, 最后, 这种在初级生产者中存在的稳定同位素差异首先在初级消费者的组织中反映出来, 并一直持续到食物网中的各个营养级^[19]。所以, 对动物而言, 其体内的稳定同位素特征与其所摄取食物中的稳定同位素特征相关, 所以现在大多数食性研究中, 研究者们把更多的注意力放在稳定同位素碳 $\delta^{13}\text{C}$ 上^[20]。

在两个相邻营养级之间, 稳定同位素碳的增加或富集是相当有限的, 一般在 0~1‰之间。其差异主要源于初级生产者中的 $\delta^{13}\text{C}$ 。因此, 对于消费者而言, 稳定同位素碳的重要性表现在追踪不同的碳库, 即消费者碳的来源^[20]。陆生的 C_3 植物、 C_4 植物和 CAM 植物由于光合作用和新陈代谢的差异导致它们之间有着不同的稳定同位素碳特征^[21], 且相比海洋性藻类而言 $\delta^{13}\text{C}$ 要低很多 (图 1), 很大程度上是因为陆生植物和海洋性植物在初级生产过程中的碳来源于两个不同的体系^[19, 21]。

1.1.2 稳定同位素氮

氮稳定同位素有¹⁴N和¹⁵N两种, 因为空气中¹⁵N/¹⁴N值恒定为1/272, 常以大气氮(N_2)作为标准量来衡量含氮物质的N同位素组成。植物通常以铵根(NH_4^+)或硝酸根(NO_3^-)离子的形式从土壤中吸收氮, 这些氮大部分都是由细菌从大气中固定的, 包括植物的固氮根菌和土壤表层的蓝藻细菌, 这些由细菌和蓝藻固定的有机氮, 再降解成简单的含氮化合物, 如硝酸盐和氨, 最后才能供植物吸收。虽然, 大气中氮气(N_2)的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为零, 且细菌固定氮时几乎不会产生同位素的分馏, 所以细菌固定的氮中 $\delta^{15}\text{N}$ 值几乎也为零, 但植物在将氮输送到根和茎等部位时, 会产生同位素的分馏效应^[22]。通常, 矿化作用的中间产物 NH_3 是高度消耗¹⁵N的, 并且 NH_3 很容易挥发, 从而导致 $\delta^{15}\text{N}$ 随土壤层由下往上而递减, 所以浅根植物中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值相对较低。非豆科植物的氮源, 必须来自硝酸盐和铵盐, 在氮的转化过程中, 其同位素将会发生分馏, 导致 $\delta^{15}\text{N}$ 的富集, 在 -2‰ ~ 6‰之间, 一般约为 3‰。而豆科植物根部与固氮菌相连, 根瘤菌可以将氮气转化为可以吸收的氮源, 而此过程几乎不会发生同位素分馏, 所以豆科植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值相对更低, 约为 0 ~ 1‰^[23]。所以豆科植物和以豆科食物为主食的动物, 具

有相对更低的 $\delta^{15}\text{N}$ 值^[24]。此外，在干旱地区，植物和土壤中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值更高，部分原因是因为干旱条件加剧了 NH_3 的散失^[25]。

在生态系统中，其能量的传递过程，是由于氮同位素的分馏作用而使得生物个体与其摄取的能量来源之间的稳定同位素比率存在差异，即消费者与其食物之间的稳定同位素值会不同，消费者排泄物中尿素和氨的氮稳定同位素相对更低，以至更高营养级生物的氮稳定同位素值相对更高，所以稳定氮同位素在不同营养级之间有明显的梯度差异，使它可作为划分营养级的指示物^[26-28]。在同化食物蛋白质的过程中，轻的 ^{14}N 更容易流失在含氮废物中^[29]，消费者从它们的食物中富集 ^{15}N 到组织中（图1）。因而相邻营养级之间的稳定同位素氮 $\delta^{15}\text{N}$ 存在差值，基本在2‰~4‰之间^[30]。

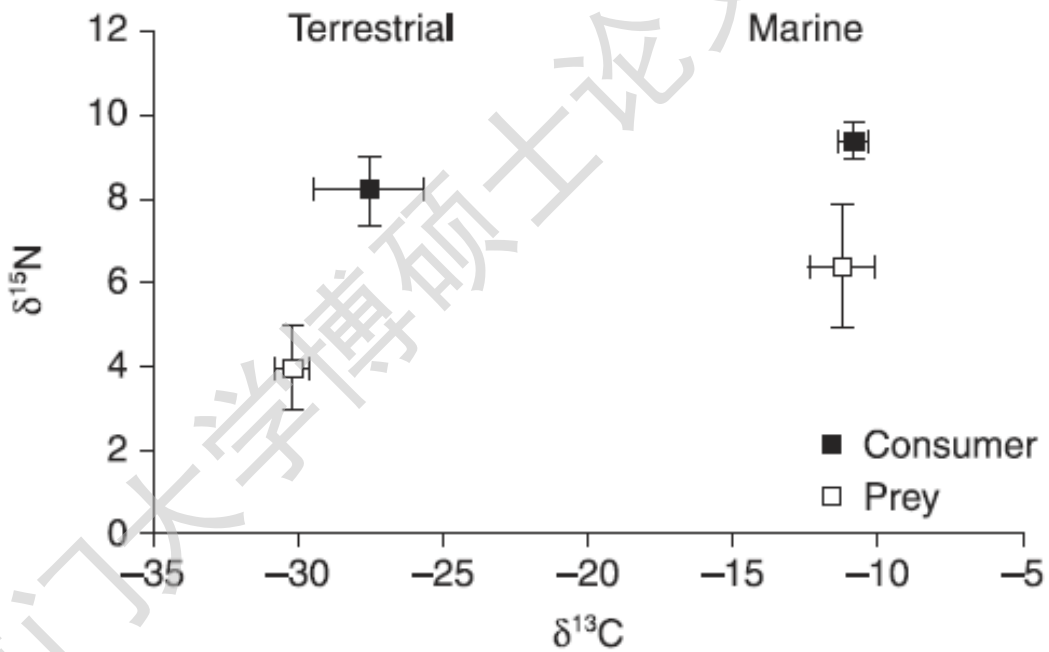


图1 稳定同位素碳、氮双元素图：海洋与内陆环境下捕食者与被捕食者的稳定同位素碳、氮关系

Figure 1 Dual isotope plot demonstrating isotopic differences between the marine and terrestrial biomes, and trophic enrichment between food source (prey) and consumers

The data were taken from a study on the winter foraging behaviour of Lightbellied Brent Geese. (Isotopic analyses carried out by Jason Newton of the Life Sciences Mass Spectrometry Facility, East Kilbride, UK)

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库