

不同体重悦目金蛛的蛛网结构

卓春晖^① 蒋平^② 吴灵芝^① 彭茂^① 郭聪^{①*}

(^① 生物资源与生态环境教育部重点实验室 四川大学生命科学学院 成都 610064 ;

^② 井冈山大学生命科学学院 江西吉安 343009)

摘要 蛛网是蜘蛛的捕食工具,其结构反映了蜘蛛的捕食投入和捕食策略。对不同大小悦目金蛛 (*Argiope amoena*) 的蛛网捕丝长度、捕丝间距、捕食面面积、支持带总面积、半径丝根数和网捕丝分布不对称性等进行观测。结果表明:①在体重小于 200 mg 的个体中,捕丝长度、捕丝间距和捕食面面积与个体大小呈显著正相关,而大于 200 mg 的个体中,这种关系并不显著;②蜘蛛在发育到一定程度的时候(在本研究中为 22.7 mg)才可能出现支持带,并且支持带总面积与体重之间呈显著正相关;③半径丝根数会随体重的增加而减少;④在小于 200 mg 的蜘蛛中,网上、下部捕丝长度比与体重呈显著负相关,而在大于 200 mg 的个体中,二者之间的关系并不显著。这与我们预测的结果是基本一致的,即蛛网的这种结构变化是蜘蛛不同发育阶段捕食投入和捕食策略的反应。

关键词: 蜘蛛网, 悦目金蛛, 结构, 发育

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2007)02-134-06

The Structures of Web Depended on the Mass of the Spider *Argiope amoena*

ZHUO Chun-Hui^① JIANG Ping^② WU Ling-Zhi^① PENG Mao^① GUO Cong^{①*}

(^① Key Laboratory of Bio-resources and Eco-environment, Ministry of Education, College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610064 ;

^② College of Life Sciences, Jinggangshan University, Ji'an Jiangxi 343009, China)

Abstract The primary function of a spider's web is to capture prey. The structure of a web can reflect the foraging investment and strategy the spider has taken. In this study, we examined webs from different sized spiders. Results indicate that among spiders under 200 mg, there exists a positive relation between the spider's mass and the capture thread length, capture spiral space and capture area. This relationship was not seen in spiders larger than 200 mg. The stabilimentum was only found among spiders above a certain weight (in our study, the smallest spider having a stabilimentum was 22.7 mg) and total stabilimentum area was related to the spider's mass. Furthermore, there was a negative relationship between the radius of the web and the spider's mass. In spiders under 200 mg, there was a negative relationship between spider mass and the ratio of the upper capture thread length to lower the capture thread length. These results are consistent with our hypothesis that changes in web structure reflect the foraging investments and strategies of different sized spiders.

Key words Spider web; *Argiope amoena*; Structure; Growth

* 通讯作者, E-mail: guocong@gmail.com;

第一作者介绍 卓春晖,男,硕士研究生,研究方向:生态学; E-mail: zhuochunhui1981@yahoo.com.cn.

收稿日期: 2006-09-11, 修回日期: 2006-12-28

蛛网不仅是捕食工具,有时也是蜘蛛防御天敌的工具和繁殖场所。根据结构形状的不同,蛛网可以分为片网、皿网、不规则网和圆网等几种类型。在进化上蛛网经历了绊丝、片网和圆网阶段,并在圆网的基础上,继续进化形成其他类型的网^[1,2]。由于圆网在蛛网进化上的地位特殊,且结构简单、规则,因此,到目前为止对蛛网的研究大都集中在圆网上^[3]。圆网主要是由拖牵丝(dragline silk)和捕丝(capture thread)组成,其中,根据功能的不同,拖牵丝又可分为锚定丝(停泊丝, mooring thread)、框丝(frame thread)和半径丝(radius)3种(图1)。锚定丝对网起固定作用;框丝构建起网的框架,形成网面(web);半径丝从中枢区(hub)辐射出,可以固定捕丝和维持网的结构稳定。蛛网中螺旋形分布的是捕丝,其上分布有小液滴^[5],具黏性,可以粘住猎物。

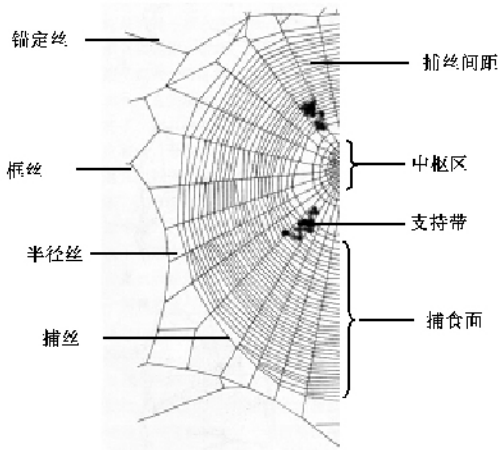


图1 悦目金蛛蛛网的模式结构^[4]

作为结网型蜘蛛的捕食工具,蛛网结构影响着蜘蛛捕食效率^[6-8],反映了蜘蛛的捕食投入^[9],也反映了蜘蛛在不同条件下的捕食策略^[7,10]。为此,Vollrath和Heiling等人做了大量的研究^[3,6,10,11],结果表明,蛛网结构不仅反映了蜘蛛在长期进化中对环境的适应^[2],同时也是蜘蛛对温湿度等当前环境因素的响应^[3]。Heiling等人的研究还表明,蛛网结构(如捕食面和捕丝间距大小)会随蜘蛛个体大小发生一定的变化^[11]。

悦目金蛛(*Argiope amoena*)是一种较大型蜘蛛,蜘蛛在发育到一定程度后,体重增长会加速,对能量的需求也相应增大,同时体重的增加也使得蜘蛛在结网行为上的能量消耗迅速增加^[12],限制了蜘蛛的结网活动^[13],因此推测悦目金蛛体重达到一定程度后,其蛛网的捕丝长度、捕食面面积和捕丝间距等不会随体重的增加而增加。由于蛛网支持带具有吸引猎物的功能^[8],而蜘蛛编织支持带的活动范围明显小于编织捕丝的活动范围,这可能表明了蜘蛛的支持带编织活动所消耗的能量要小于进行捕丝编织时所消耗的能量。因此大型悦目金蛛个体可能会通过加大支持带的投入来吸引更多的猎物。此外,根据最优化捕食理论(optimal foraging theory)和Erickson等人^[14]的研究,个体大的蜘蛛会倾向于选择大型猎物,而个体小的蜘蛛更易于选择小型猎物。Watanabe和Opell等人的研究表明,半径丝越多蛛网对猎物也越敏感,半径丝越少,蛛网捕丝伸长度将越大,吸收猎物冲击动能的能力也越强^[7,15]。因此,蛛网半径丝根数可能也会随着蜘蛛体重的增加而减少。本研究试图通过全面考察蛛网的结构特征,来验证上述3个推测,探讨蜘蛛在不同发育阶段的捕食投入和捕食策略。

1 材料与方法

1.1 材料

选取广布于我国南方地区的悦目金蛛作为实验对象。42只悦目金蛛均于2006年6月采自四川米易(102.06°E, 26.88°N)。在观测网结构前,先以黄粉虫(*Tenebrio molitor*)幼虫(体重约70 mg)和潜蝇(*Liriomyza chnensis*)幼虫(体重约0.2 mg)饲养10 d(除重约0.15 mg的若蛛因为在饲养期间未观察到猎取食物,直接采集其在饲养期所结网的数据)。具体的饲养方法是在32 cm × 25 cm × 18 cm笼内饲养,对于体重大于50 mg的个体以黄粉虫幼虫进行喂养,喂食频率是每隔4~5 d喂一只黄粉虫幼虫,对于体重小于50 mg的个体,以潜蝇进行饲养,每隔4~5 d喂15~20只潜蝇。

1.2 方法

1.2.1 蛛网结构观测 用 FA 1004 型电子天平称量(研究中的若蛛体重称量采用 100 只若蛛称量后的个体重量平均值)后,将 42 只蜘蛛(其中体重小于 200 mg 的 27 只,体重大于 200 mg 的 15 只)置于 60 cm × 60 cm × 60 cm^[13]的纱布笼内,让其自由结网。获取的数据有捕食面的上、下半径(网垂直线上的半径)和内圈捕丝的上、下半径,网上、下半面捕丝的圈数和半径丝的根数,对于具有支持带(stabilimentum)的网,还收集了各条支持带的长度以及宽度(取支持带长度四等分点上宽度的平均值)。在收集蛛网数据后,将网收掉,以便蜘蛛在较短的时间内结新网。对每只蜘蛛连续观测 3 张网,并将每只蜘蛛的 3 张网视为 3 个重复,对体重 0.15 mg 的若蛛仅采集两张网的数据。在实验观测期间,仍如上所述进行喂食。

1.2.2 数据处理 将网捕食面近似地看成上下两个不同半径的半圆环的组合,则有:

$$\text{捕丝总长度} = 1.57 \times [n_1 \times (R_1 + r_1) + n_2 \times (R_2 + r_2)]^{[16]}$$

$$\text{捕食面面积} = 1.57 \times [(R_1^2 - r_1^2) + (R_2^2 - r_2^2)]^{[8]}$$

$$\text{上下网面捕丝长度比} = [n_1 \times (R_1 + r_1)] / [n_2 \times (R_2 + r_2)]$$

$$\text{平均捕丝间距} = 0.5 \times [(R_1 - r_1) \times (n_1 - 1) + (R_2 - r_2) \times (n_2 - 2)]^{[17]}$$

上述各式中, n_1 为捕食面上半面捕丝圈数, n_2 为捕食面下半面捕丝圈数, R_1 、 R_2 分别为上下网面最外圈捕丝半径, r_1 和 r_2 分别为上下网面最内圈捕丝半径。

使用变异系数(coefficient of variation, CV)来描述各指标(捕丝总长度、捕食面面积和平均捕丝间距)的变化程度:

$$CV = s/m \times 100\%$$

式中, s 为各指标的标准差, m 为各指标的平均值。

本研究的数据均采用 SPSS 11.0 软件进行 Pearson 相关分析(双尾假设检验)。

2 结果

2.1 捕丝长度与蜘蛛大小的关系

对同一个体所结的连续 3 张网进行比较发现,即使是同一个体,所结的不同网间捕丝长度差异也可能较大,如表 1 中所示,一只重量为 148.3 mg 的蜘蛛所结的 3 张网的捕丝长度变化,其变异系数高达 41.2%。由图 2 可以看出,体重相近的个体,所结网的捕丝长度差异也较大。从图 2 中还可以看出,体重小于 200 mg 的个体,所结蛛网的捕丝长度和体重呈显著正相关(相关系数 $r = 0.615$, $P = 0.01$, $n = 27$);但在体重大于 200 mg 的个体间,却并没有出现这种增长趋势($r = -0.03$, $P = 0.993$, $n = 15$)。

表 1 蜘蛛捕丝长度变化

网编号	I	II	III
捕丝长度(mm)	12 726	31 186	23 607

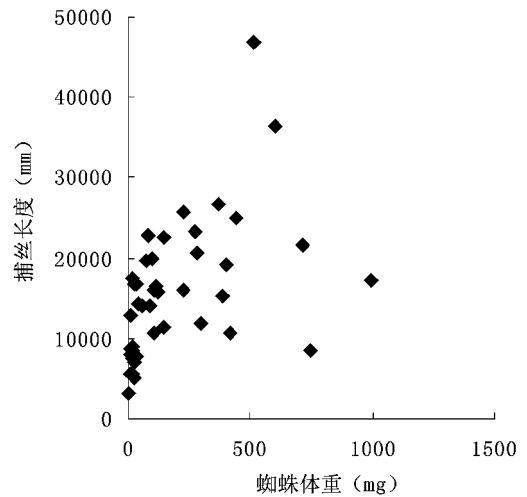


图 2 蜘蛛重量与捕丝长度的关系

2.2 捕食面面积与蜘蛛大小的关系 由图 3 可知,体重小于 200 mg 的个体,其捕食面面积随个体体重的增加而增加($r = 0.843$, $P < 0.01$, $n = 27$);体重大于 200 mg 的个体,其捕食面面积随体重的变化不显著($r = 0.091$, $P = 0.747$, $n = 15$),在这些个体中,一只体重为 515.9 mg 的个体所结网的捕食面面积最大,为 $(252\ 203 \pm 93\ 523) \text{ mm}^2$;体重 298.5 mg 的个体所结网的捕食面面积最小,为 $(53\ 476 \pm 3\ 734) \text{ mm}^2$;个体间捕食面面积差异较大($CV =$

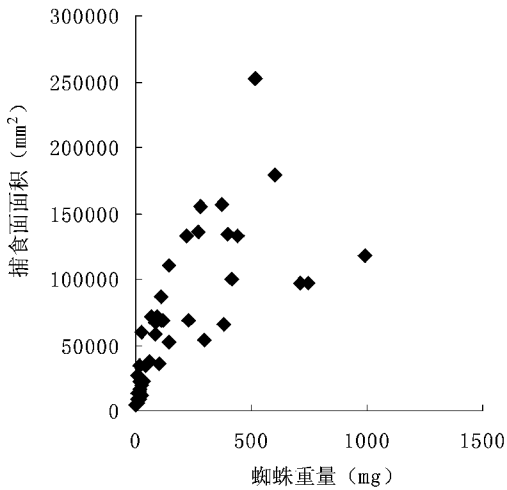


图3 蜘蛛重量与捕食面积的关系

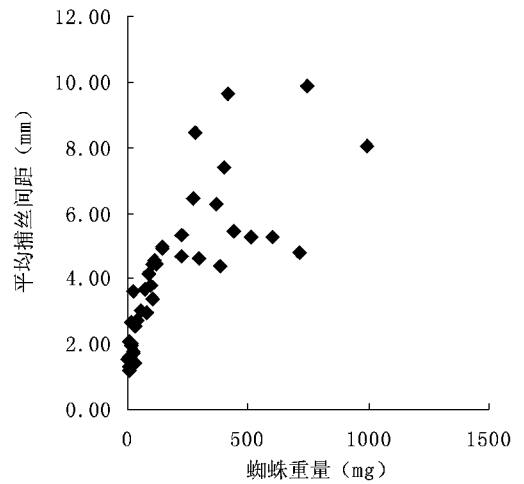


图4 蜘蛛重量与平均捕丝间距的关系

40.1%)。

2.3 平均捕丝间距与蜘蛛大小的关系 从图4可以看出,体重小于200 mg的个体,其平均捕丝间距与个体体重呈显著正相关($r = 0.915, P < 0.01, n = 27$);体重大于200 mg的个体,其平均捕丝间距与个体体重的关系不显著($r = 0.305, P = 0.269, n = 15$),其中,一只体重744.4 mg的个体所结网的平均捕丝间距最大,为 (9.87 ± 1.20) mm,384.9 mg的个体蛛网平均捕丝间距最小,为 (4.39 ± 0.11) mm,不同个体间捕丝间距差异较大($CV = 34.2%$)。

2.4 支持带总面积与蜘蛛大小的关系 悦目金蛛在个体体重达到一定程度时,在其网上才会有支持带出现,在本研究中出现支持带的最小蜘蛛体重22.7 mg,其3张网的支持带总面积分别为 82 mm^2 、 48 mm^2 和 35 mm^2 。支持带多为2和4条臂,少数为1条,3条较罕见。对体重大于80 mg的蜘蛛(24只)所结网的支持带总面积进行分析,发现支持带总面积与蜘蛛体重大小呈显著正相关($r = 0.710, P < 0.01, n = 24$) (图5),说明大型个体在支持带的投入上比中、小个体大。

2.5 半径丝根数与蜘蛛大小的关系 图6给出了蛛网半径丝根数与蜘蛛个体大小的关系,从图中可以看出蛛网半径丝根数随蜘蛛体重的增加而减少,二者呈显著负相关($r = -0.496,$

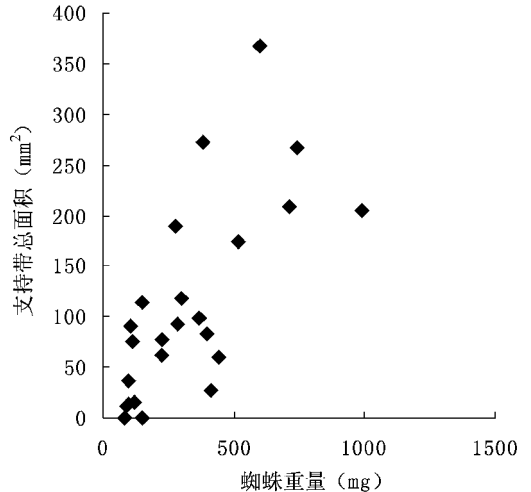


图5 蜘蛛重量与支持带总面积的关系

$P = 0.01, n = 42$)。其中,体重为14.8 mg和28.3 mg的2只蜘蛛所结的两张网半径丝根数最多,均为46根,而体重为744.4 mg的个体所结的一张网半径丝根数最少,仅具有16根半径丝。蛛网半径丝根数的这种变化趋势可能是蛛网稳定性和蜘蛛捕食策略共同作用的结果。

2.6 蛛网上、下半面捕丝分布不对称性与蜘蛛大小的关系 随着蜘蛛体重的增加,捕丝在蛛网上、下半面的分布不对称性也会加强^[13],我们利用捕丝在蛛网上、下半面的不对称性,即蛛网上、下半面捕丝长度的比值来反映这种布局变化。比较网上、下半面的捕丝长度,可以发现,在体重小于200 mg的个体中,随着蜘蛛体

重的增加,网上、下部捕丝长度的比值越来越小,二者呈显著负相关($r = -0.678, P < 0.01, n = 27$);但是在体重大于 200 mg 的蜘蛛个体中,蜘蛛体重与网上、下部捕丝的长度比之间的相关性却并不显著($r = -0.332, P = 0.226, n = 15$) (图 7)。

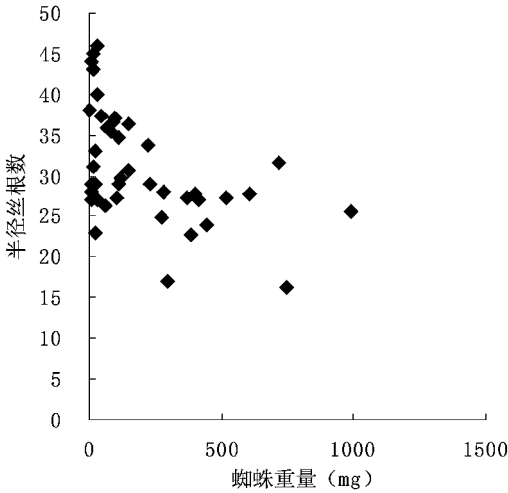


图 6 蜘蛛重量与半径丝根数的关系

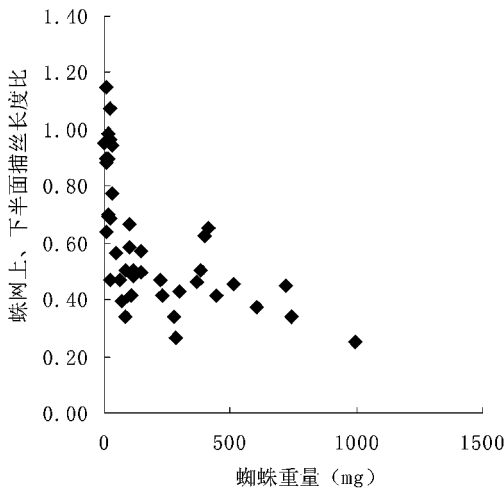


图 7 蜘蛛重量与蛛网上、下半面捕丝长度比的关系

3 结论与讨论

蜘蛛网结构除了受到温湿度和空间等诸多外界环境因素的影响外^[3,48],还受到丝储量等内部因素的影响^[9],因此个体间和同一个体不

同网的结构均会表现出较大的差异。捕丝间距和捕食面面积同捕丝黏性均被认为是对捕食效率影响最大的蛛网特征,捕丝间距越小,捕食成功率越高(特别是对小型猎物的捕食);而大的捕食面则可以提高捕获猎物的机会^[6]。本研究发现悦目金蛛中,小个体(体重小于 200 mg)的捕丝长度、捕食面面积和捕丝间距均随个体体重的增加而增大,这表明了随着体重的增加,蜘蛛在捕食投入上不断增大,也可能还表明了个体大的蜘蛛倾向于选择大型猎物。这与 Erickson 等从对猎物的处理时间长短和蜘蛛体重变化情况等方面进行研究得出的结论一致^[14]。大型个体(体重大于 200 mg)蛛网的捕丝长度、捕食面面积和捕丝间距不随个体体重的增加而增大,这与我们假设的结果一致,即大型蜘蛛在结网行为上的能量高消耗限制了捕丝长度、捕食面面积和捕丝间距等随蜘蛛体重的增加而增大。另外,个体体重与支持带总面积呈正相关的结果与我们的假设结果也是相吻合的。支持带能够吸引猎物,大型蜘蛛个体通过加大支持带投入获得更多的猎物,因此可以认为大型蜘蛛个体随着体重的增加,虽然在捕丝的投入上并没有增加,但支持带总面积的增加可能表明其在捕食投入上还是增加了。

观察到半径丝根数随蜘蛛体重的增加而减少,这也与我们的假设结果一致。半径丝可以吸收猎物的冲击动能,维持网的结构稳定,其与捕丝交合处的小液滴可以像绞盘(windlass)一样维持捕丝的张力^[19],小型蜘蛛个体蛛网半径丝多,蛛网张力大,对小型猎物也相应敏感;大型蜘蛛个体蛛网半径丝少,捕丝伸长度大,捕丝吸收猎物冲击动能的能力也大。这也反映了不同大小蜘蛛在食物选择上的差异,即大型蜘蛛倾向于选择大型猎物,而小型蜘蛛更易于选择小型猎物。

Herberstein 和 Heiling 认为由于自重作用,大型蜘蛛结上部网所消耗的能量明显高于结下部网的消耗量,蜘蛛随个体的增大,在网上部的投入也会趋于减少^[13]。在本研究中,虽然中、小型个体蜘蛛在网上、下部的投入是随个体的

增大而表现出更强的不对称性,但是在体重大于 200 mg 的个体中,个体间重量差异大(个体间重量差异最大达 768.4 mg)而网的这种不对称性变化却并不显著,这可能表明蜘蛛的这种结网布局并不像 Herberstein 和 Heiling^[13]认为的那样只受到能量投入的影响,可能还有收益等因素的影响。

致谢 本文在写作过程中得到了 Emily 老师的指导,谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 宋大祥. 蛛网的进化. 菏泽师专学报, 1997, **19**(2): 1 ~ 10.
- [2] Shear W A. Untangling the evolution of the web. *American Scientist*, 1994, **82**: 256 ~ 266.
- [3] Vollrath F, Downes M, Krackow S. Design variability in web geometry of an orb-weaving spider. *Physiology & Behavior*, 1997, **62**(4): 735 ~ 743.
- [4] 尹长民, 王家福, 朱明生等. 动物志 蛛形纲 蛛形目 园蛛科. 北京: 科学出版社, 1997: 20.
- [5] 蒋平, 沈丽, 杨孔等. 三种类型蜘蛛丝的结构及生物学功能. 动物学杂志, 2003, **38**(5): 10 ~ 14.
- [6] Rhisiart A ap, Vollrath F. Design features of the orb web of the spider, *Araneus diadematus*. *Behavioral Ecology*, 1994, **5**: 280 ~ 287.
- [7] Watanabe T. Web tuning of an orb-web spider, *Octonoba sybotides* regulates prey-catching behaviour. *Proceedings of the Royal Society of London B* 2000, **267**: 565 ~ 569.
- [8] Li D, Lee W S. Predator-introduced plasticity in web-building behaviour. *Animal Behaviour* 2004, **67**: 309 ~ 318.
- [9] Chmiel K, Herberstein M E, Elgar M A. Web damage and feeding experience influence web site tenacity in the orb-web spider *Argiope keyserlingi* Karsch. *Animal Behaviour*, 2000, **60**: 821 ~ 826.
- [10] Schneider J M, Vollrath F. The effect of prey type on the geometry of the capture web of *Araneus diadematus*. *Naturwissenschaften*, 1998, **85**: 391 ~ 394.
- [11] Heiling A M, Herberstein M E. The web of *Nuctenea sclopetaria* (Araneae, Araneidae): Relationship between body size and web design. *Journal of Arachnology*, 1998, **26**: 91 ~ 96.
- [12] Venner S, Bel-Venner M C, Pasquet A, et al. Body-mass-dependent cost of web-building behavior in an orb weaving spider, *Zygiella x-notata*. *Naturwissenschaften*, 2003, **90**: 269 ~ 272.
- [13] Herberstein M E, Heiling A M. Asymmetry in spider orb webs: a result of physical constraints? *Animal Behaviour*, 1999, **58**: 1 241 ~ 1 246.
- [14] Erickson K S, Morse D H. Predator size and the suitability of a common prey. *Oecologia*, 1997, **109**: 608 ~ 614.
- [15] Opell B D, Bond J E. Capture thread extensibility of orb-weaving spiders: testing punctuated and associative explanations of character evolution. *Biological Journal of the Linnean* 2000, **70**: 107 ~ 120.
- [16] Heiling A M, Herberstein M E, Spitzer G. Calculation of capture thread length in orb webs: evaluation of new formulae. *Annals of the Entomological Society of America*, 1998, **91**: 135 ~ 138.
- [17] Herberstein M E, Tso I M. Evaluation of formulae to estimate the capture area and mesh height of orb webs (Araneioidea, Araneae). *Journal of Arachnology* 2000, **28**: 180 ~ 184.
- [18] Krink T, Vollrath F. Optimal area use in orb webs of the spider *Araneus diadematus*. *Naturwissenschaften* 2000, **87**: 90 ~ 93.
- [19] Vollrath F, Edmonds D T. Modulation of the mechanical properties of spider silk by coating with water. *Nature*, 1989, **340**: 305 ~ 307.