

4种红树植物幼苗叶片解剖结构及生态适应研究

韦江玲¹, 王增军²

(1. 广西山口红树林生态自然保护区管理处, 广西北海 536000; 2. 国家海洋局北海海洋环境监测中心站, 广西北海 536000)

摘要 采用石蜡切片法, 研究了广西山口国家级红树林保护区4种红树植物幼苗——白骨壤 (*Avicennia marina*)、木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*)、桐花树 (*Aegiceras corniculatum*) 和秋茄 (*Kandelia candel*) 的叶片解剖结构, 揭示其适应滨海盐渍环境的机理。结果表明, 4种植物均具有适应海生环境的共同叶片结构特征: 具较厚角质层, 表皮之内有贮水组织的内皮层, 气孔下陷, 有发达的栅栏组织和海绵组织。同时, 4种植物又各自表现出与其生境相适应的叶片形态特征: 秋茄为等面叶, 白骨壤和桐花树上下表皮具盐腺, 白骨壤密被表皮毛, 桐花树和秋茄树叶片结构中有木栓瘤结构, 木榄和秋茄叶片含晶体。单宁含量大小为秋茄、桐花树、木榄、白骨壤。该研究为红树植物的生态功能、分类、生境、移栽以及湿地保护等方面研究提供了重要的依据。

关键词 红树植物; 叶片结构; 比较解剖; 生态适应

中图分类号 Q 944.56 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)18-0115-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.18.030



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Leaf Anatomical Structure and Its Ecological Adaptability of Four Mangrove Seedling Species

WEI Jiang-ling¹, WANG Zeng-jun² (1. Shankou National Mangrove Ecosystem Nature Reserve Administration of Guangxi, Beihai, Guangxi 536000; 2. Beihai Marine Environmental Monitoring Center Station of State Oceanic Administration, Beihai, Guangxi 536000)

Abstract The leaf anatomical structure of four mangrove seedlings, *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Aegiceras corniculatum* and *Kandelia candel*, in Shankou National Mangrove Reserve of Guangxi was studied by paraffin section method, and the mechanism of their adaptation to coastal saline environment was revealed. The results showed that all the four plants had the characteristics of common leaf structure adapted to the marine environment: thicker cuticle layer, inner layer of water storage tissue inside the epidermis, stomata subsidence, developed palisade tissue and sponge tissue. Meanwhile, the four mangrove species anatomical structure showed significant adaptation to the aquatic environment. *K. candel* was isobilateral. *A. marina* and *A. corniculatum* had salt gland in lower and upper epidermis. On the surface of leaves, *A. marina* had epidermal hairs. Cork nubble in the structure of leaves of *A. corniculatum* and *K. candel*. Leaves of *B. gymnorhiza* and *K. candel* were abundant in crystals. Leaves of all the four species were abundant in tannin that was richest in *K. candel*, followed by *A. corniculatum*, *B. gymnorhiza* and *A. marina*. This study provided important information for studying ecological function of mangroves, identification, habitat, transplant and wetland protection.

Key words Mangrove; Leaf structure; Comparative anatomy; Ecological adaptation

红树林是生长于热带、南亚热带潮间带的木本植物群落, 是海岸生态系统的重要组成部分和生产力最高的海洋生态系统之一^[1]。我国在红树植物的群落学、生理与生态学、植物化学及环境胁迫等方面已有较详细的研究^[2]。由于红树林对高盐度、覆水缺氧和强水动力等特殊生境的长期适应, 因而产生了一系列特殊的外部形态和内部结构。在国内, 较早的有黄桂玲等^[3]对我国10科13属17种红树植物的叶、根、茎形态结构作了描述。桑树勋等^[4]总结了红树林植物根、茎、叶等不同营养器官的一般性解剖结构特征; 林益明等^[5]对桐花树、海桑 (*Sonneratia caseolari*) 次生木质部的组织结构和数量特征作了描述。近期吴锦等^[6]对红树 (*Rhizophora apiculata*)、红海榄 (*Rhizophora stylosa*)、秋茄、木榄和海莲 (*Bruguiera sexangula*) 5种红树科植物的叶片进行解剖学观察。但多数研究只是对红树植物成熟叶片进行解剖, 并从数量性状进行比较, 并未从幼苗叶片解剖角度对其解剖结构与生态适应之间的关系进行全面探讨。广西是我国红树林分布的主要省份之一, 笔者对4种广西广泛分布的红树植物——白骨壤、木榄、桐花树、秋茄幼苗的叶片解剖结构进行研究, 探讨广西不同种红树植物叶片的结构特点及差异, 揭示其适应滨海盐渍生活的结构特征及适应性, 以期对4种红

树植物的生态功能、栽培育苗、分类、生境及湿地保护等方面研究提供重要依据。

1 材料与方法

供试材料均采自广西山口国家级红树林生态自然保护区, 该保护区是1990年经国务院批准建立的, 面积8 000 hm²。保护区现存红树植物共9科10属10种, 半红树植物5科6属6种。保护区于1993年加入中国人与生物圈网络; 2000年加入联合国教科文组织人与生物圈保护区网络; 2002年被指定为国际重要湿地; 2006年成为“UNDP/GEF-SOA 中国南部沿海生物多样性管理”示范区; 2008年成为国务院批准的《广西北部湾经济区发展规划》重要自然保护区之一。该保护区位于广西合浦县沙田半岛东西两侧(中心位置地理坐标 109°43'E, 21°28'N), 属北热带季风区。年均温23.4℃, 极端低温2.0℃, 海水盐度为15%~19%。

选取正常植株上的完整成熟叶片(顶芽下第3对叶子), 从叶片中脉两侧剪取约1 cm×1 cm的小块, 用FAA固定, 逐级乙醇(70%→80%→85%→90%→95%→100%)脱水, 石蜡包埋, Leica-切片机切片, 厚度16 μm, 番红-固绿对染, 中性树脂封片制成永久切片, DMBA300显微镜观察拍片。切片经番红-固绿对染后, 部分细胞中具有被染成红褐色的小体, 因单宁细胞中的单宁化合物可氧化成褐色和红褐色的鞣酐^[7], 所以将此红褐色的小体定为单宁。各项指标测定取20个有效数值, 计算其平均值和标准差。用SPSS软件进行方

作者简介 韦江玲(1983—), 女, 广西柳州人, 工程师, 硕士, 从事滨海湿地管理研究。

收稿日期 2019-03-22

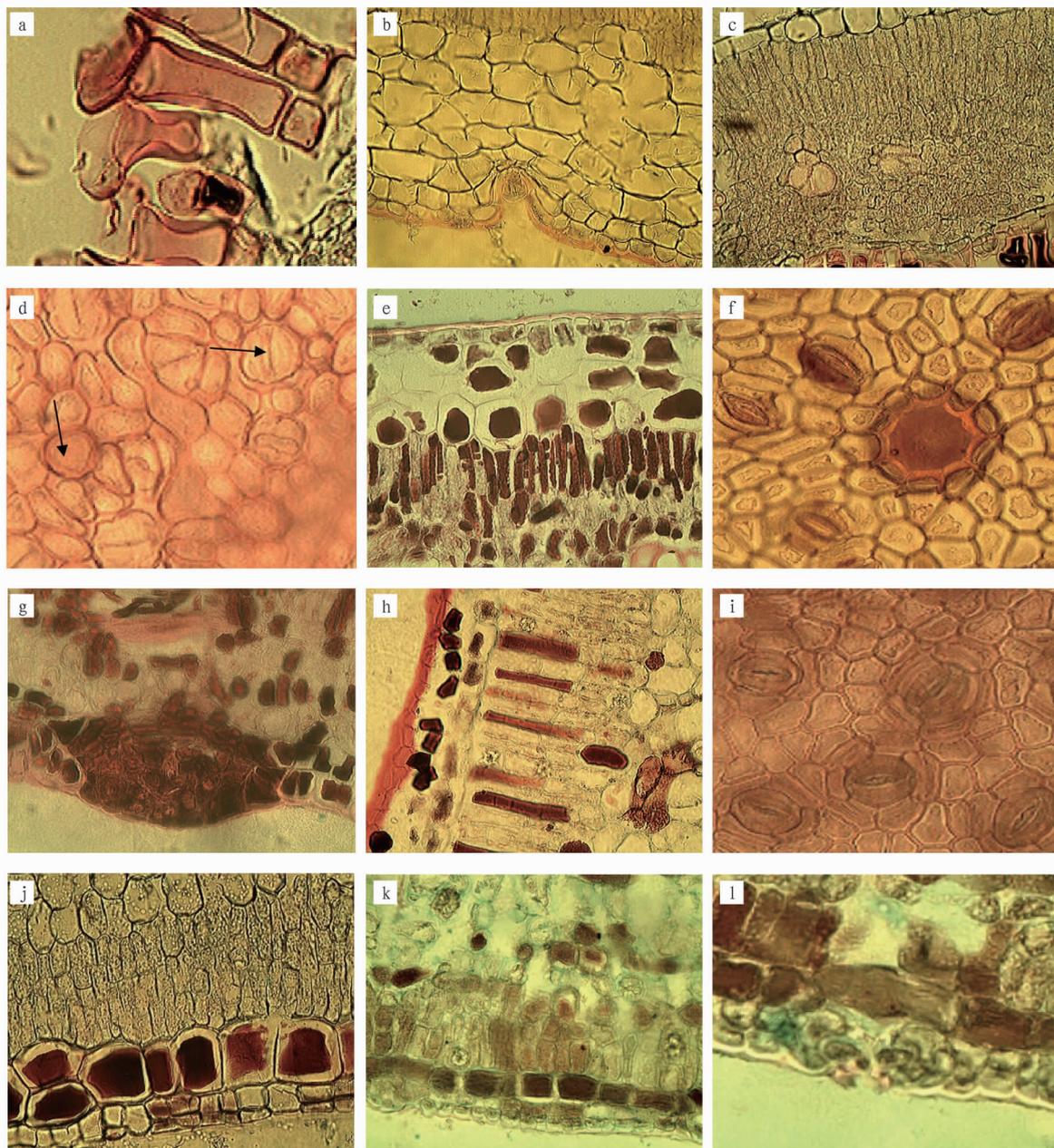
差分析。

2 结果与分析

2.1 叶片形态特征

2.1.1 白骨壤。白骨壤角质层较薄,上表皮内有4~7层的内皮层细胞,盐腺内陷(图1a),无下内皮层。下表皮密生着

表皮毛,呈斧头状,细胞如托盘,下表皮亦有盐腺(图1b)。细胞染色较浅说明单宁含量少。栅栏组织呈柱状紧密有规律排列,海绵组织排列略疏松(图1c),栅栏组织和海绵组织含有较多叶绿体,气孔只分布于下表皮(图1d)。



注:a.白骨壤叶的上角质层、上表皮、上内皮层和盐腺;b.白骨壤叶的下表皮毛和盐腺;c.白骨壤叶的栅栏组织和海绵组织;d.白骨壤叶的气孔和盐腺;e.桐花树叶的上角质层、上表皮和上内皮层;f.桐花树叶的盐腺和气孔;g.桐花树叶的木栓瘤;h.木榄叶的上角质层、上表皮、上内皮层、晶体、栅栏组织和海绵组织;i.木榄叶的气孔;j.秋茄叶的上角质层、上表皮、上内皮层和上栅栏组织;k.秋茄叶的下角质层、下表皮、下内皮层、下栅栏组织、海绵组织和晶体;l.秋茄叶的下表皮气孔

Note:a.Upper cuticle, epidermis, hypodermis, palisade tissue and salt gland of leaf of *A. marina*; b.Hairs in lower epidermis and salt gland of leaf of *A. marina*; c.palisade tissue and spongy tissue of leaf of *A. marina*; d.Stomata and salt gland of leaf of *A. marina*; e.Upper cuticle, epidermis, hypodermis and palisade tissue of leaf of *K. candel*; f.Salt gland and stomata of leaf of *K. candel*; g.Cork nubble of leaf of *K. candel*; h.Upper cuticle, epidermis, hypodermis, druse, palisade tissue and spongy tissue of leaf of *B. gymnorrhiza*; i.Stomata of leaf of *B. gymnorrhiza*; j.Upper cuticle, upper epidermis, upper hypodermis and upper palisade tissue of leaf of *B. gymnorrhiza*; k.lower cuticle, lower epidermis, lower hypodermis, lower palisade tissue, spongy tissue and druse of leaf of *B. gymnorrhiza*; l.Stomata of lower epidermis of leaf of *B. gymnorrhiza*

2.1.2 桐花树。桐花树叶的上下表皮外均具有很厚的角质层,具内皮层。栅栏组织呈柱状排列,含较多叶绿体,海绵组织排列无规则,叶绿体含量少。每层细胞都含有单宁(图 1e)。气孔内陷只分布于下表皮,上下表皮均分布着盐腺(图 1f),具木栓瘤(图 1g)。

2.1.3 木榄。木榄叶的上下表皮细胞外均具有很厚的角质层,且表皮细胞外壁加厚,上表皮具 1 层内皮层,其中具有大量的褐红色的单宁。栅栏组织细胞排列紧密,含有叶绿体和分布有白色明亮的草酸钙结晶,海绵组织细胞排列疏松,含大量的单宁(图 1h),气孔下陷仅分布在下表皮(图 1i)。

2.1.4 秋茄。秋茄叶的上下表皮细胞外的角质层较厚,上下表皮内各具有 2 层不含叶绿体的内皮层细胞,第二层内皮层含有大量的单宁(图 1j)。栅栏组织细胞排列紧密并分化为上下栅栏组织两部分(图 1k),上栅栏组织比下栅栏组织厚,含有较多的叶绿体,中间是海绵组织,排列疏松无规则,在栅栏组织和海绵组织均含有一定量的单宁。气孔下陷只位于下表皮,并与海绵组织的空隙连在一起组成气道(图 1l)。秋茄在内皮层、栅栏组织和海绵组织中也有白色结晶体的分布(图 1k),秋茄叶片属于不完全的等面叶。另外,秋茄和桐花树一样,也具有木栓瘤。

2.2 叶片各组织数量性状比较 4 种植物叶片各组织数量性状比较见表 1。方差分析表明,4 种植物叶的组织结构和指标间的数量都存在极显著差异($P < 0.01$)。

(1)4 种红树植物上角质层总厚度从大到小依次为木榄、桐花树、秋茄、白骨壤。白骨壤下表皮角质层薄且有些地

方缺失,因此海水很容易渗入下表皮而侵占叶片组织中的孔隙,从而使白骨壤叶片迅速分解,释放营养元素并沉积在入海口的低潮带,这对改善白骨壤主要生长地域的养分缺乏状况有利^[8]。而木榄叶片无毛,其上下表皮均具厚的角质层,使得水分不易渗入,叶片漂浮在水面不易腐烂,这也与木榄主要生长在营养相对较丰富的中、高潮带有关^[9]。

(2)4 种红树植物叶片横切面上都具有上内皮层,上内皮层厚度从大到小依次为白骨壤、桐花树、秋茄、木榄,占其叶片总厚度的百分率分别为 40.9%、21.5%、11.2%、4.0%。可见,白骨壤上内皮层最厚。但桐花树和秋茄具有下内皮层,分别占叶片厚度的 6.3%和 5.0%。且秋茄在下内皮层的内侧还分化出 2~3 层下栅栏组织,占 5.7%。从 4 种红树植物的叶片横切面上看,只有秋茄具有对称结构,为等面叶。

(3)4 种红树植物叶片结构中均具有上栅栏组织,且排列均较为紧密,其厚度从大到小依次为桐花树、木榄、白骨壤、秋茄,分别占其叶片总厚度的 30.7%、27.7%、20.9%、15.5%。秋茄和木榄的栅栏组织细胞之间互不接触或接触很少,可形成发育良好的胞间间隙系统,有利于光合作用时大量的气体交换。

(4)海绵组织的细胞层数从 4 层(白骨壤)到 19 层(木榄),其大小依次为木榄、秋茄、桐花树、白骨壤。白骨壤和桐花树细胞层次较少,细胞间隙不发达,木榄和秋茄具有间隙发达的疏松肥厚的海绵组织。从栅/海比来看,从大到小依次为白骨壤(1.10)、桐花树(1.00)、秋茄(0.40)、木榄(0.30)。

表 1 4 种红树植物幼苗叶片各组织的厚度及其占叶片总厚度的百分率

Table 1 Thickness and percentage of tissue layers in leaves of four seedling mangrove species

树种 Tree species	上角质层 Epicuticle// μm	上表皮 Upper epidermis// μm	上内皮层 Upper endodermis// μm	上栅栏组织 Upper palisade tissue// μm	海绵组织 Spongy tissue// μm	栅/海比值 Palisade- spongy ratio
白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	3.6±0.5 (0.9%)	11.2±1.4 (2.7%)	168.1±5.3 (4~7,40.9%)	113.8±9.7 (2~4,27.7%)	107.9±5.9 (4~7,26.2%)	1.10
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	5.1±0.4 (1.1%)	17.8±1.4 (3.7%)	102.4±7.1 (2~4,21.5%)	146.1±6.6 (1~3,30.7%)	146.9±11.2 (5~9,30.9%)	1.00
木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	12.1±1.4 (1.9%)	17.4±1.4 (2.7%)	25.3±1.8 (1,4.0%)	133.5±12.3 (4~9,20.9%)	434.2±13.5 (15~19,67.9%)	0.31
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	4.7±0.4 (0.7%)	10.2±1.5 (1.5%)	73.9±4.1 (1~2,11.2%)	102.6±6.0 (4~5,15.5%)	387.0±9.3 (13~16,58.6%)	0.40

树种 Tree species	下栅栏组织 Lower palisade tissue// μm	下内皮层 Lower endodermis// μm	下表皮 Lower epidermis// μm	下角质层 Lower stratum corneum// μm	叶片厚度 Leaf thickness// μm
白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	—	—	7.9±0.6 (1.9%)	1.2±0.3 (0.3%)	411.2±10.8
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	—	30.1±2.8 (1,6.3%)	24.2±2.7 (5.1%)	2.9±0.3 (0.6%)	475.6±18.5
木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	—	—	12.5±0.7 (1.9%)	4.2±0.4 (0.7%)	639.2±16.9
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	37.5±7.7 (2~3,5.7%)	32.9±2.3 (2,5.0%)	8.7±0.8 (1.3%)	3.0±0.3 (0.3%)	660.5±9.6

注:括号中数据表示叶片组织结构的细胞层数以及该组织的厚度占叶片总厚度的百分率

Note:The data in parentheses indicate the number of cell layers in the leaf tissue structure and the percentage of the thickness of this tissue in the total thickness of the leaf

3 讨论

角质层由不透水的脂类物质组成,其厚度受环境影响很

大,角质层反映树种保水能力的大小^[8]。该研究中,4 种植物的叶表皮细胞都具不同厚度的角质层,此结构能有效减少叶

内水分的散失,提高植物叶片的热稳定性以及抵抗病菌侵袭的能力。4种植物保水能力和耐光辐射能力序列为木榄最大,桐花树和秋茄次之,白骨壤最差。表皮是植物体表面的一种特殊的保护组织。4种红树植物上下表皮细胞均大小规则、排列较为紧密,表皮细胞都较大,这些特征都是为了降低蒸腾作用,维持植物体内水分平衡以适应低纬度湿热的气候环境。较大的表皮细胞还具贮水作用,这对于增强水分的调节能力有一定意义。表皮细胞外壁加厚是植物对旱生环境的另一种适应^[10]。木榄表皮细胞外壁加厚是对盐渍环境的适应结果。叶片上下表皮的厚度大小在一定程度上说明了其控制失水的能力大小^[11]。由此推断,桐花树在减少水分丧失方面占优势。内皮层属贮水组织,白骨壤内皮层占其叶片总厚度的百分比最大,贮水功能占优势,从而弥补了上表皮较薄的不足。栅栏组织是进行光合作用的重要部位,其组织发达是植物对强光生境的一种适应。秋茄为等面叶,叶表皮内两面都具栅栏组织,这一特征能防止强光对叶肉的灼伤,也能增强光合效率^[12],同时可作为种间鉴别依据。白骨壤和桐花树的叶虽为异面叶,但栅栏组织与海绵组织皆排列紧密且两者分化不明显,这在防止蒸腾方面也有一定作用。另外,白骨壤栅栏组织叶绿素含量高,有利于提高光合效率。海绵组织主要功能是气体交换和蒸腾作用。木榄和秋茄海绵组织异常发达,说明两者能够保持水分并稀释细胞内盐度避免因盐度过高而受伤害。栅/海比值是评价植物控制蒸腾失水的重要指标之一,栅/海比值越大,抗性就越强^[11]。从这方面看,白骨壤抗性最强,而秋茄抗性最弱。4种植物均含有一定单宁,多分布于表皮和内皮层,含量大小依次为秋茄、桐花树、木榄、白骨壤。单宁物质可以增强植物耐盐渍、防止

海水腐蚀的作用,是对环境的一种适应。

4 结论

对红树植物叶片的解剖结构说明,4种红树植物各自表现出特有的叶片解剖结构适应特征:秋茄为等面叶;白骨壤内皮层最厚,叶密被表皮毛;木榄角质层最厚;白骨壤和桐花树上下表皮具盐腺;白骨壤和桐花树的栅/海比值较大。同时,为适应环境,4种红树植物叶片长期以来又形成了较厚的角质层、贮水组织、气孔下陷及叶片肉质化等旱生及抗盐结构的共同特征。

参考文献

- [1] 韩淑梅,吕春艳,罗文杰,等.我国红树林群落生态学研究进展[J].海南大学学报(自然科学版),2009,27(1):91-95.
- [2] 林鹏.红树林研究论文集:第5集[C].厦门:厦门大学出版社,2002:12.
- [3] 黄桂玲,黄庆昌.中国红树植物的营养器官结构与生态适应(I)[J].生态科学,1989(2):100-105.
- [4] 桑树勋,刘焕杰,施健.海南岛红树植物的形态与生态适应[J].中国矿业大学学报,1993,22(3):27-35.
- [5] 林益明,林建辉,林鹏,海莲和木榄次生木质部的生态解剖[J].海洋湖沼通报,1998,19(4):23-31.
- [6] 吴钿,叶昌辉,韩维栋.5种红树科植物叶片的比较解剖及其生态适应研究[J].植物研究,2012,32(2):143-146.
- [7] 伊稍 K.种子植物解剖学[M].李正理,译.上海:上海人民出版社,1973:158,268-274.
- [8] DONSELMAN H M, FLINT H L. Genecology of eastern redbud[J]. Ecology, 1982, 63(4):962-971.
- [9] STEINKE T D, NAIDOO G, CHARLES L M. Degradation of mangrove leaf and stem tissues *in situ* in Mgeni Estuary, South Africa[M]//TEAS H J. Biology and ecology of mangroves. Tasks for vegetation science series. Vol.8. Lancaster: Dr. W. Junk Publishers, 1983:141-151.
- [10] 李元跃.几种红树植物叶的解剖学研究[D].厦门:厦门大学,2006:55.
- [11] 朱栗琼,李吉跃,招礼军.六种阔叶树叶解剖结构特征及其耐旱性比较[J].广西植物,2007,27(3):431-434,474.
- [12] 苏红文,马森,李学禹.罗布麻和白麻不同居群植物的比较解剖学研究[J].西北植物学报,1997,17(3):348-354.

(上接第104页)

蛋白水平在31%~32%,与前人研究育成期蓝狐的蛋白适宜水平相近。I组和II组由于原料单一,脂肪水平较高且主要为动物脂肪,导致脂肪消化率受到影响,这可能是因为虽然蓝狐对脂肪的耐受水平较高,但混合料中过多地加进混杂饲料或者较难消化的饲料会降低脂肪的消化率,动物脂肪的吸收比鱼类和海生动物的脂肪差,而育成期脂肪主要用来氧化供能,不饱和脂肪酸较易氧化分解,导致消化率高于动物脂肪^[4,9-10]。因此,育成期蓝狐日粮既要保证供给生长发育所需要的足够营养物质,又要注意原料搭配,在保证饲料营养均衡的前提下,才能更好的发挥蓝狐早期生长发育优势,从而提高蓝狐的生产力。

4 结论

III组蓝狐的生长性能和营养物质消化率最佳,采用III组饲料配方(干物质33.89%、粗蛋白31.14%、粗脂肪18.23%)饲喂育成期蓝狐效果较好。

参考文献

- [1] 陈立敏.饲料营养水平对育成期蓝狐生产性能和营养物质消化代谢的

影响[D].北京:中国农业科学院,2001.

- [2] NRC. Nutrient requirements of mink and foxes[S]. Washington, DC: National Academy Press, 1982.
- [3] 云春风.不同生态区蓝狐常规饲料营养价值评价[D].北京:中国农业科学院,2012.
- [4] 耿业业.育成期蓝狐脂肪消化代谢规律的研究[D].北京:中国农业科学院,2011.
- [5] 王超,任海轮,陈盈淼,等.饲料不同脂肪水平对育成期蓝狐生长性能及毛皮品质的影响[C]//中国畜牧兽医学动物营养学会.中国畜牧兽医学动物营养学会第十二次动物营养学术研讨会论文集.北京:中国农业大学出版社,2016.
- [6] 任海轮,王超,陈盈淼,等.饲料不同脂肪水平对育成前期蓝狐生长性能及血液生化指标的影响[C]//中国畜牧兽医学动物营养学会.中国畜牧兽医学动物营养学会第十二次动物营养学术研讨会论文集.北京:中国农业大学出版社,2016.
- [7] 王新贵,马志宁.科学调控动物采食量的技术措施[J].畜牧兽医杂志,2013,32(3):85-86.
- [8] 崔虎,张铁涛,张志强,等.饲料蛋白质水平对育成期蓝狐生长性能及营养物质消化代谢的影响[J].动物营养学报,2011,23(8):1439-1445.
- [9] 刘佰阳,李光玉,张海华,等.不同脂肪对育成期蓝狐生产性能及消化代谢的影响[J].经济动物学报,2007,11(3):125-129.
- [10] 耿业业,高志光,杨福合,等.不同蛋白质和脂肪来源饲料对冬毛期雌性蓝狐营养物质利用和氮代谢的影响[J].畜牧兽医学报,2013,44(10):1609-1615.