

大白藤和小白藤纤维形态及主要物理力学性质

季必超,薛 夏,汪佑宏*,王鹏程

(安徽农业大学 林学与园林学院,安徽 合肥 230036)

摘要:以大白藤和小白藤为研究对象,统计分析了2种藤材纤维径向变异特性,并研究了其主要物理力学性质,为其加工利用提供参考。结果表明,纤维形态在由藤皮到藤芯方向上,大白藤和小白藤的纤维长度均逐渐下降,分别为1 885.78 μm 和1 528.94 μm 。小白藤纤维长宽比 >90 ,壁腔比 <1.3 ,比较适宜作为造纸原料。与小白藤相比,大白藤具有较高的密度和较低的干缩性。两者均有着较好的抗弯性能,且大白藤抗压性能优异。

关键词:大白藤;小白藤;纤维形态;物理力学性质

中图分类号:S564.1

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2019)03-0180-05

Fiber Morphological and Main Physico-mechanical Properties of *Calamus faberii* and *C. balansaeanus*

JI Bi-chao, XUE Xia, WANG You-hong*, WANG Peng-cheng

(School of Forestry & Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui, China)

Abstract: Rattan canes of *Calamus faberii* and *C. balansaeanus* were chosen as experimental materials, the fiber characteristics of them in radial directions were counted and analyzed, and the main physico-mechanical properties of the rattan canes were studied in order to provide references for the cane processing and utilization. The results showed that the fiber length of *C. faberii* and *C. balansaeanus* were 1 885.78 and 1 528.94 μm , respectively. Both of them declined gradually from outside to inside in radial direction. The length-width ratio of *C. balansaeanus* was over 90, and the cell wall-lumen ratio was below 1.3, so *C. balansaeanus* cane was suitable for papermaking raw material. Compared with *C. balansaeanus*, *C. faberii* had a higher density and lower shrinkage. Both had good flexural behavior, and *C. faberii* had excellent compressive properties.

Key words: *Calamus faberii*; *C. balansaeanus*; fiber morphological; physico-mechanical property

棕榈藤(rattan)是棕榈科省藤亚科的藤本具刺和鳞状果皮的植物^[1],其原藤是仅次于木材和竹材的重要非木材林产品^[2],被广泛用于制造桌、椅、床等藤制家具,具有很高的经济价值^[3]。世界上共有13属600多种棕榈藤,我国分布有省藤属(*Calamus*),黄藤属(*Daemonorops*)和钩叶藤属(*Plectocomia*)3属约40种^[4]。大白藤(*Calamus faberii*)和小白藤(*C. balansaeanus*)均为省藤属,我国主要集中在海南等地。目前被商业利用的原藤材均为

自然生长,只有在广东、广西等省有少量人工培育的棕榈藤林^[5-6]。

藤材的纤维形态、性能对其加工利用都有重要影响。目前国内对大白藤和小白藤的研究还处于起步阶段,鲜有对大白藤和小白藤自身纤维形态特征和物理力学性质的研究。罗真付^[7]等研究单叶省藤发现纤维长度由内向外逐渐增加,纤维宽度先增后降。尚莉莉^[8]等研究大钩叶藤物理力学性质得到其基本密度、抗压强度、抗弯弹性模量和抗弯强度分别

收稿日期:2018-09-06 修回日期:2018-10-09

基金项目:国家自然科学基金(31570553);“十二五”国家科技支撑计划研究任务(2015BAD04B0302)。

作者简介:季必超,男,硕士在读,研究方向:生物质材料林性及改性。E-mail:jibichao@ahau.edu.cn

*通信作者:汪佑宏,男,教授,博士后,研究方向:生物质材料基础理论、材性及改性。E-mail:wangyh@ahau.edu.cn

为 $0.302 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 16.92 MPa 、 0.12 GPa 和 20.46 MPa ,与玛瑙省藤相比,大钩叶藤材质较差难以直接商业化利用。藤材相较于竹、木材其物理力学性质差异较大,抗压强度与抗拉强度较低,破坏变形量大,具有较高的弯曲韧性及弹性,易于弯曲加工^[9-11]。藤材在利用过程中所加载荷主要有压力、拉力、弯曲和剪切等,加工难易度和应用范围与自身物理力学性质紧密相关,力学性能研究有利于藤材的合理利用及产品开发。本研究分析了大白藤和小白藤的纤维形态及物理力学性质,以期了解2种藤材的基础材性,为高附加值加工利用以及棕榈藤材数据库的构建提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

大白藤采自海南省白沙县;小白藤采自海南省尖峰岭热带雨林。大白藤和小白藤试材规格见表1,选取无病虫害的、成熟的藤茎数根备用。

表1 大白藤和小白藤试材尺寸

Table 1 The sample size of *Calamus faberii* and *C. balansaeanus*

藤种	总长/cm	总节数	平均节长/cm	平均节径/mm
大白藤	1 238.35	65	18.14	16.79
小白藤	607.62	28	22.3	5.41

1.2 方法

1.2.1 纤维形态 于大白藤和小白藤气干材的基部向上2 m处对应节的节间中部取长1~2 cm的试样。每段在藤皮、藤中和藤芯(藤材径向由外向内均匀分为3部分,依次为藤皮、藤中和藤芯,图1),各取1 mm厚薄片,切成火柴棒状,置于冰醋酸-双氧水各半的混合液中离析。利用显微成像系统(Leica CW4000)测量其纤维的长度、直径、腔径等数值。

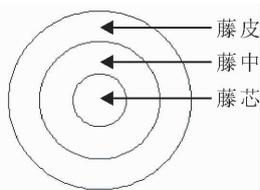


图1 纤维取样部位

Fig. 1 Fiber sample position

1.2.2 力学性能测试 取样方案参照 LY/T 2220.1—2013 棕榈藤材材性试样采集与制备方法。

小白藤:在每个取样单元,从基部向上,每节节间依次截取长度为15 mm的抗压强度试样,80 mm的抗弯强度试样,20 mm的密度试样和干缩性试样。

大白藤:在每个取样单元,从基部向上,第1节节间依次截取长度为50 mm的抗压强度试样、20

mm的密度试样和35 mm的抗剪试样,第2节节间截取长度为160 mm的抗弯强度试样,若试材节间长度不足160 mm时,允许在试样两端带有藤节。

所有试材均在20℃、65%的湿度条件下调节含水率至平衡后,再进行力学试验。

1.2.2.1 抗弯弹性模量及抗弯强度 目前国内关于棕榈藤物理力学测试标准并不完善,多参考木材和竹材的测试方法。试材取整藤节间,大白藤长160 mm,小白藤长为80 mm,采用中央单点加荷,跨距120 mm,匀速加荷,保证试样在 $60 \pm 30 \text{ s}$ 内使其破坏。

1.2.2.2 抗压弹性模量及抗压强度 参照木材顺纹抗压实验方法(GB/T 1938—2009),进行抗压弹模和强度的预试验。确定测试小白藤抗压试样最佳长度为15 mm,大白藤的最佳长度为30 mm。

1.2.2.3 抗剪强度参照竹材抗剪强度测试标准(GB/T 15780—1995),设计抗剪试样(图2)。

1.2.3 密度及干缩性测试 在抗弯强度测试后的破坏试件上,参照木材密度测定方法(GB/T 1933—2009)和竹材物理力学性质实验方法(GB/T 15780—1995)规定截取长度为20 mm的样品作为密度试件,经过气干、绝干后分别测定轴向、面积及体积干缩率。

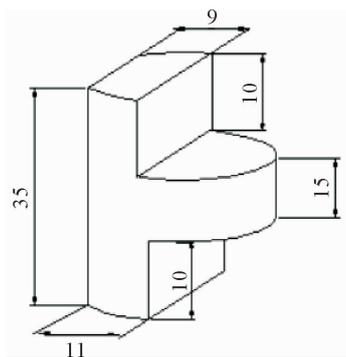


图2 藤材抗剪性能测试(mm)

Fig. 2 Shear performance test of rattan, mm

2 结果与分析

2.1 纤维形态变异

2.1.1 纤维长度和长宽比 由表2和图3的纤维长度和长宽比变化趋势可知,由藤皮向藤芯方向上大、小白藤的纤维长度均逐渐减小,其中小白藤变化趋势更明显。该结果与罗真付^[7]等研究一致,可初步推断棕榈藤由外向内纤维长度有逐渐降低的趋势。大白藤和小白藤的纤维平均长度分别为 $1 885.78 \mu\text{m}$ 和 $1 528.94 \mu\text{m}$,总体上大白藤纤维比小白藤纤维长,大白藤在径向上的差异不显著($P > 0.05$),而小白藤差异显著($P < 0.05$)(表3)。纤维长宽比的径向变异与纤维长度类似,大、小白藤由藤皮向藤芯均逐渐降低,且大白藤 $>$ 小白藤。

表 2 大白藤和小白藤径向纤维形态统计

Table 2 Fiber morphology statistics in radial directions of *C. faberii* and *C. balansaeanus*

部位	长度/ μm		直径/ μm		腔径/ μm		双壁厚/ μm		长宽比		壁腔比	
	大白藤	小白藤	大白藤	小白藤	大白藤	小白藤	大白藤	小白藤	大白藤	小白藤	大白藤	小白藤
藤皮	1 936	1 662	15.5	14.2	5.77	6.66	9.68	7.56	130	122	1.97	1.16
藤中	1 900	1 530	16.9	15	5.48	6.96	11.4	7.74	124	103	2.4	1.17
藤芯	1 821	1 394	17.6	14.4	5.37	6.51	12.2	7.9	115	95.8	2.54	1.27

表 3 大白藤和小白藤纤维形态及 F 值检验Table 3 Fiber morphology and F -test of *C. faberii* and *C. balansaeanus*

纤维形态	藤种	AVG/ μm	SD/ μm	CV/%	P
纤维长度	大白藤	1 885.78	476.70	25.3	0.784
	小白藤	1 528.94	302.89	19.8	0.028
纤维直径	大白藤	16.62	2.58	15.5	0.031
	小白藤	14.54	1.79	12.3	0.82
纤维腔径	大白藤	5.54	1.34	24.2	0.641
	小白藤	6.71	1.58	23.5	0.831
纤维双壁厚	大白藤	11.08	2.41	21.8	0.018
	小白藤	7.83	1.22	15.6	0.541

注:AVG表示平均值;SD表示标准差;CV表示变异系数; P 表示显著性差异;下同。

2.1.2 纤维直径与腔径 由藤皮到藤芯方向上,大白藤的纤维细胞直径总体上均呈上升的变化趋势,小白藤呈现先增加后降低的变化趋势,且大白藤的纤维细胞直径 $>$ 小白藤(图 3)。大白藤纤维细胞平均直径为 $16.62 \mu\text{m}$,小白藤纤维平均直径为 $14.54 \mu\text{m}$,大白藤的纤维直径径向差异显著($P<0.05$),而小白藤差异不显著($P>0.05$)。纤维细胞腔径随着径向由外向内,大白藤呈降低趋势,小白藤先增大后减小。大白藤的纤维腔径明显 $<$ 小白藤。大白藤纤维平均腔径为 $5.54 \mu\text{m}$,小白藤纤维平均腔径为 $6.71 \mu\text{m}$,两者的径向变异均不显著($P>0.05$)。

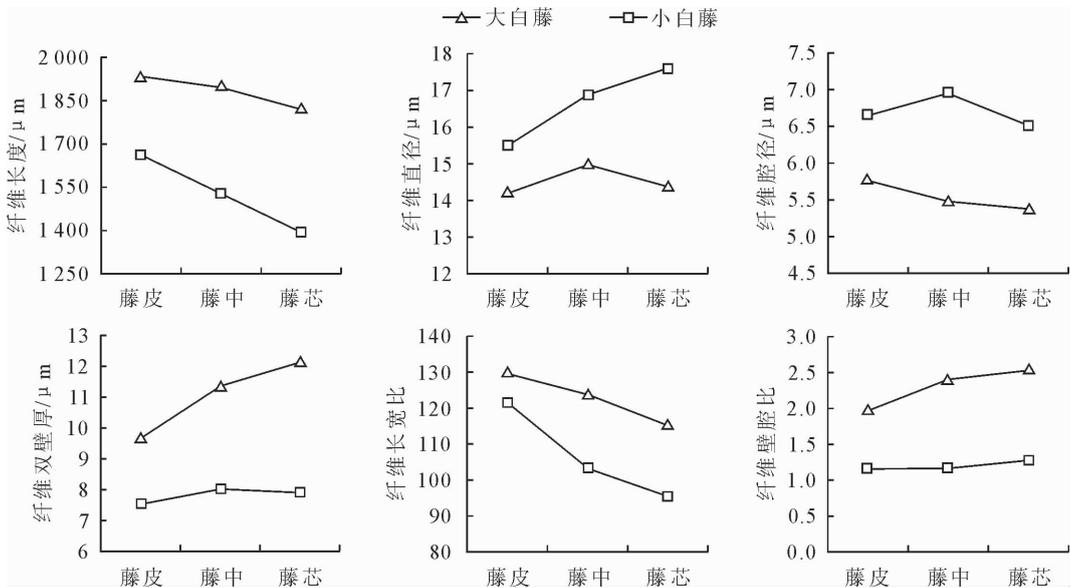


图 3 大白藤和小白藤径向纤维形态变化趋势

Fig. 3 Fiber morphology trend of *C. faberii* and *C. balansaeanus*

2.1.3 纤维双壁厚与壁腔比 胞壁厚度在某种程度上表征着细胞壁实质含量,胞壁厚度越大,胞壁实质越多,机械力学等性能越好。由表 2、表 3 和图 3 纤维双壁厚变化趋势可见大白藤在由藤皮到藤芯方向上纤维双壁厚显著增加,差异显著($P<0.05$),且双壁厚 $>$ 小白藤,小白藤趋势不明显,差异不显著($P>0.05$)。大白藤纤维双壁厚平均为 $11.08 \mu\text{m}$,小白藤纤维双壁厚平均为 $7.83 \mu\text{m}$ 。大白藤在径向上由外向内纤维壁腔比逐渐提高,平均为 2.30。小白藤纤维壁腔比径向差异不明显,平均为 1.2,且 3 种部位均 <1.3 ,结合其长宽比均 >90 ,可以推断小

白藤较适宜作为造纸原料^[12]。

2.2 物理性质

2.2.1 密度 材料密度往往与其自身的力学强度存在一定的正相关。大白藤和小白藤的平均气干密度分别为 $0.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $0.45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,小白藤的密度明显 $<$ 大白藤(表 4)。由于这种正相关关系,可以初步推断大白藤的力学强度要 $>$ 小白藤。大白藤基本密度($0.50 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)平均值与其他藤种如钩叶藤($0.327 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)^[13]、黄藤($0.39 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)^[14]和云南省藤($0.42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)^[15]相比密度较高,据此可以推测大白藤有较好的力学性能。

2.2.2 干缩性 2 种藤材的气干和全干干缩率的测定结果见表 5。大白藤的气干干缩率变化:轴向干缩率 0.19%~0.49%、面积干缩率 2.67%~5.95%、体积干缩率 3.58%~5.68%。全干干缩率的变化:轴向干缩率 0.88%~1.02%、弦向干缩率 6.55%~11.45%、体积干缩率 7.05%~13.03%。小白藤的气干干缩率变化:轴向干缩率 0.21%~0.57%、面积干缩率 3.08%~12.14%、体积干缩率

3.86%~12.00%。全干干缩率的变化:轴向干缩率 0.59%~1.49%、弦向干缩率 5.72%~14.46%、体积干缩率 6.70%~15.26%。由于面积干缩率表示的是藤材在径向的干缩,一般而言会比纵向干缩率大,该结果符合国内外学者的研究^[13,16]。几项干缩性指标大白藤均<小白藤,可以看出大白藤的尺寸稳定性要优于小白藤。

表 4 大白藤和小白藤的密度

Table 4 Density of *C. faberii* and *C. balansaeanus*

(g · cm⁻³)

藤种	气干密度			绝干密度			基本密度		
	AVG	SD	CV/%	AVG	SD	CV/%	AVG	SD	CV/%
大白藤	0.65	0.03	5.2	0.64	0.04	6.6	0.5	0.03	6.7
小白藤	0.45	0.04	8.1	0.42	0.03	7.7	0.37	0.03	7.5

表 5 大白藤和小白藤的气干干缩率和全干干缩率

Table 5 Air-dry shrinkage ratio and oven-dry shrinkage ratio of *C. faberii* and *C. balansaeanus*

藤种	轴向气干干缩率			面积气干干缩率			体积气干干缩率		
	AVG	SD	CV/%	AVG	SD	CV/%	AVG	SD	CV/%
大白藤	0.34	0.15	43.5	4.31	1.64	38.1	4.63	1.05	22.8
小白藤	0.39	0.18	45.3	7.61	4.53	59.5	7.93	4.07	51.5

藤种	轴向全干干缩率			面积全干干缩率			体积全干干缩率		
	AVG	SD	CV/%	AVG	SD	CV/%	AVG	SD	CV/%
大白藤	0.95	0.26	27.7	9	2.45	27.3	10.04	2.99	29.8
小白藤	1.04	0.45	43.9	10.1	4.37	43.3	10.98	4.28	39

2.3 力学性能

2 种藤材力学性质见表 6,大白藤抗弯弹性模量和抗弯强度分别为 1 534.24 MPa 和 89.30 MPa,均<小白藤,但抗弯强度与其他藤种如黄藤(65.52 MPa)和单叶省藤材(68.38 MPa)相比较,大白藤抗压强度达 48.58 MPa,明显>小白藤 29.05 MPa,由此可知大白藤具有较好的抗弯性能和抗压性能,而小白藤抗弯性能较好。此外大白藤抗剪强度为 10.97 MPa,小白藤由于自身尺寸限制无法进行抗剪强度测试。

表 6 大白藤与小白藤主要力学性质

Table 6 Main mechanical properties of *C. faberii* and

C. balansaeanus

MPa

藤种	指标	AVG	SD	CV/%
大白藤	抗弯弹性模量	2 958.79	726.58	24.6
	抗弯强度	89.30	13.1	14.7
	抗压强度	48.58	4.6	9.4
	抗剪强度	10.97	2.0	18.2
小白藤	抗弯弹性模量	3 725.53	793.7	21.3
	抗弯强度	118.77	28.5	24
	抗压强度	29.05	5.2	17.9

种藤材纤维径向变异特性并研究了其主要物理力学性质,结果表明:纤维形态在径向由藤皮到藤芯方向上,大白藤和小白藤的纤维长度均逐渐下降;纤维直径变化为逐渐提高和先增后降;纤维腔径为略有降低和先增后降;双壁厚变化为明显提高和略有增加。大白藤与小白藤纤维的长度、直径、腔径、双壁厚分别为 1 885.8 μm 和 1 528.9 μm、16.62 μm 和 14.54 μm、5.54 μm 和 6.71 μm、11.08 μm 和 7.83 μm。大白藤的纤维直径和双壁厚以及小白藤纤维长度径向差异显著。

大白藤与小白藤的气干密度、绝干密度、基本密度分别为 0.65 g · cm⁻³和 0.45 g · cm⁻³、0.64 g · cm⁻³和 0.42 g · cm⁻³、0.50 g · cm⁻³和 0.37 g · cm⁻³,大白藤密度明显>小白藤。大白藤与小白藤的体积气干干缩率、体积全干干缩率分别为 4.63%和 7.93%、10.04%和 10.98%。大白藤干缩性较低,尺寸稳定性要优于小白藤。大白藤与小白藤的抗弯弹性模量、抗弯强度、抗压强度分别为 1 534.24 MPa 和 3 725.53 MPa、89.30 MPa 和 118.77 MPa、48.58 MPa 和 29.05 MPa。大白藤抗剪强度为 10.97 MPa。大白藤抗弯性能和抗压性能较好,小白藤的抗弯性能较好。综合来看,大白藤具有良好

3 结论

以大白藤和小白藤为研究对象,统计分析了 2

的物理力学性质,是目前还未被商业利用的藤种中,最具应用潜力的藤种之一。

参考文献:

- [1] 国际竹藤网络中心. 世界棕榈藤资源[J]. 世界竹藤通讯, 2005, 3(2):21.
- [2] 郑雅娴, 吕文华. 黄藤材主要变色菌的分离和鉴定[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(5):219-223.
ZHENG Y X, LYU W H. Isolation and identification of stain fungi associated with *Daemonorops margaritae* Cane[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(5):219-223. (in Chinese)
- [3] 王瑞, 段新芳, 宁攸凉, 等. 中国竹藤家具、竹地板国际市场竞争评价及建议[J]. 林产工业, 2018, 45(3):11-15.
- [4] 刘杏娥, 吕文华. 中国棕榈藤产业现状及展望[J]. 木材加工机械, 2012(2):41-44.
- [5] 费本华, 汪佑宏, 江泽慧, 等. 棕榈藤的研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2009, 36(2):163-171.
- [6] 袁东, 姜忠斌, 蔡道雄. 棕榈藤采制机械研制与采制新技术[J]. 木材加工机械, 2010, 21(5):22-28.
- [7] 罗真付, 潘彪, 王艳波, 等. 单叶省藤藤茎形态及解剖特征研究[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(3):365-370.
- [8] 尚莉莉, 刘杏娥, 吕黄飞, 等. 大钩叶藤与玛瑙省藤材的主要物理力学性质对比[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(12):123-125, 129.
SHANG L L, LIU X E, LYU H F, *et al.* Physical and mechanical properties of *Plectocomia assamica* grift and *Calamus man-na*[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2014(12):123-125, 129. (in Chinese)
- [9] 罗真付, 张雪峰, 陆步云, 等. 棕榈藤力学性质及测试方法的研究[J]. 家具与室内装饰, 2012(7):108-110.
- [10] 王玉荣, 江泽慧, 刘杏娥, 等. 棕榈藤工艺学特性研究及其新进展[J]. 林业机械与木工设备, 2008, 36(5):4-5.
WANG Y R, JIANG Z H, LIU X E, *et al.* Research and progress of technical properties of rattan canes [J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2008, 36(5):4-5. (in Chinese)
- [11] 隋睿正. 探讨室内设计中藤装饰材料的应用[J]. 艺术评论, 2016(2):183-185.
- [12] 牛敏, 高慧, 张利萍. 构树木质部的纤维形态、化学组成及制浆性能[J]. 经济林研究, 2007, 25(4):45-49.
- [13] 尚莉莉. 钩叶藤材的基本性能及增强增韧改性研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2014.
- [14] 王传贵, 徐鑫, 汪佑宏, 等. 黄藤和单叶省藤的主要物理力学性质[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(12):132-133, 136.
- [15] 曹积微, 袁哲, 强明礼. 云南3种棕榈藤材材性分析及开发利用价值评价[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(4):265-268.
CAO J W, YUAN Z, QIANG M L. Properties analysis and utility value evaluation for three rattan species in Yunnan[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(4):265-268. (in Chinese)
- [16] LUCAS E B, DAHUNSI B I O. Characteristics of three western Nigerian rattan species in relation to their utilization as construction material[J]. Journal of Bamboo and Rattan, 2004, 3(1):45-56.
- (上接第 173 页)
- [10] 乔婷, 张怀清, 陈永富, 等. 基于 NDVI 分割与面向对象的洞庭湖湿地植被信息提取技术[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(4):170-175.
QIAO T, ZHANG H Q, CHEN Y F, *et al.* Extraction of vegetation information based on NDVI segmentation and object-oriented method[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(4):170-175. (in Chinese)
- [11] 刘翔, 刘会玉, 林振山, 等. 基于 Landsat OLI 影像的盐城滨海湿地分类方法对比研究[J]. 湿地科学, 2017, 15(5):689-696.
LIU X, LIU H Y, LIN Z S, *et al.* Comparisons of classification methods for coastal wetlands in Yancheng City based on landsat OLI images[J]. Wetland Science, 2017, 15(5):689-696. (in Chinese)
- [12] 莫利江, 曹宇, 胡远满, 等. 面向对象的湿地景观遥感分类——以杭州湾南岸地区为例[J]. 湿地科学, 2012, 10(2):206-213.
- [13] 王海龙, 刘雪惠, 温小荣, 等. 顾及植被季相节律的滨海湿地类型动态变化研究[J]. 林业资源管理, 2017(2):58-64.
- [14] 孙华, 林辉, 熊育久, 等. Spot5 影像统计分析及最佳组合波段选择[J]. 遥感信息, 2006(4):57-60.
- [15] 肖锦成, 欧维新, 符海月. 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类[J]. 生态学报, 2013, 33(23):7496-7504.
XIAO J C, OU W X, FU H Y, *et al.* Land cover classification of Yancheng coastal natural wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23):7496-7504. (in Chinese)
- [16] 丁晶晶, 王磊, 季永华, 等. 江苏省盐城海岸带湿地景观格局变化研究[J]. 湿地科学, 2009, 7(3):202-207.
- [17] 王凯, 高媛赞, 温小荣, 等. 近 10 年盐城国家级珍禽自然保护区核心区湿地动态变化分析[J]. 森林工程, 2015, 31(1):17-21.
- [18] 齐乐, 岳彩荣. 基于 CART 决策树方法的遥感影像分类[J]. 林业调查规划, 2011, 36(2):62-66.
- [19] 马宇龙, 林志奎. 基于面向对象和 CART 决策树方法的遥感影像湿地变化检测研究——以龙祥岛地区为例[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 2017, 33(6):69-80.
- [20] 曹宝, 秦其明, 马海建, 等. 面向对象方法在 SPOT5 遥感图像分类中的应用——以北京市海淀区为例[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(2):46-49.
- [21] 游丽平. 面向对象的高分辨率遥感影像分类方法研究[D]. 福州:福建师范大学, 2007.
- [22] 周春艳, 王萍, 张振勇, 等. 基于面向对象信息提取技术的城市用地分类[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(1):31-35.
- [23] 李加林, 张忍顺, 王艳红, 等. 江苏淤泥质海岸湿地景观格局与景观生态建设[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5):86-90.
- [24] 张学勤, 王国祥, 王艳红, 等. 江苏盐城沿海滩涂淤蚀及湿地植被消长变化[J]. 海洋科学, 2006, 30(6):35-39.