

贵州草本植物分布新记录*

王 琨^{1,2}, 安明态^{1,2▲}, 黄江华³, 崔兴勇⁴, 刘 锋^{1,2}, 张 央^{1,2}

(¹ 贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025; ² 贵州大学 生物多样性与自然保护研究中心, 贵州 贵阳 550025; ³ 贵州省望谟县林业局, 贵州 望谟 552399; ⁴ 北京林业大学 生态与自然保护学院, 北京 100083)

摘 要: 贵州省独特的地理环境和良好的水热条件, 蕴育了丰富的植物资源。本文主要报道了贵州省 4 种草本植物分布新纪录, 并提供主要形态学描述及凭证照片。它们是茜草科(Rubiaceae)的伞花螺序草(*Spiradiclis umbelliciformis* H. S. Lo.); 母草科(Linderniaceae)的大叶母草(*Lindernia megaphylla* Tsoong); 兰科(Orchidaceae)的城口盆距兰(*Gastrochilus fargesii* (Kraenzl.) Schltr.) 和大花地宝兰(*Geodorum attenuatum* Griff.)。此次新记录的发现, 丰富了贵州省植物本底资料, 为贵州省植物多样性和植物区系的研究提供了基础数据。

关键词: 草本植物, 新记录, 区系, 贵州

中图分类号: Q949.7 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0001-04

New distribution records of herb plants in Guizhou*

WANG Kun^{1,2}, AN Mingtai^{1,2▲}, HUANG Jianghua³, CUI Xingyong⁴, LIU Feng^{1,2}, ZHANG Yang^{1,2}

(¹ College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; ² Research Center for Biodiversity and Nature Conservation, Guizhou University, Guiyang 550025, China; ³ Wangmo Forestry Bureau, Wangmo 552399, China; ⁴ School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Thanks to its unique geographical environment and good hydrothermal conditions, Guizhou has abundant plant resources. This paper reports the newly-recorded distribution of four herb plants in Guizhou, and provides their morphological descriptions and voucher photos. They are *Spiradiclis umbelliciformis* H. S. Lo. of Rubiaceae, *Lindernia megaphylla* Tsoong of Linderniaceae, *Gastrochilus fargesii* (Kraenzl.) Schltr. of Orchidaceae, and *Geodorum attenuatum* Griff. of Orchidaceae. The new records have enriched the plant background data of Guizhou, and have provided basic data for the study on plant diversity and flora in Guizhou.

Keywords: herbs, new record, flora, Guizhou

课题组近几年在野外植物资源调查期间, 发现了 4 种此前未见过的草本植物, 经查阅《中国植物志》《中国生物物种名录》《贵州植物志》《贵州维管束植物编目》等相关文献^[1-5], 结合物种 2000 中国节点(<http://www.sp2000.org.cn/>), 未发现贵州有相关分布的记载。该 4 种植物在贵州均为首次记录, 现予以报道, 并提供相应的物种照片及主要形态特征描述。

1 贵州省草本植物新记录种

1.1 云南螺序草(图 1)

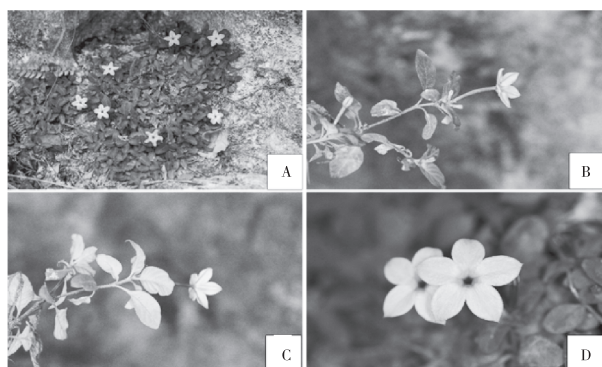
Spiradiclis karstana L. Wu, X. Li & Q. R. Liu, PhytoKeys 117: 2(2019).

茜草科 Rubiaceae 螺序草属 *Spiradiclis*。匍匐草本, 茎圆柱状, 密被微柔毛。叶纸质, 椭圆形到长圆

形,全缘,正面绿色,背面黄绿色,正面被微柔毛到近无毛,背面被微柔毛,密被短柔毛沿主脉在下表面。花序顶生,聚伞状,5~9花,被微柔毛。花冠5瓣,紫色带红色,有一深紫色带红色的环围绕喉部,外面无毛。本种为2019年在云南麻栗坡县发现的新种,其与靖西螺序草(*Spiradiclis jingxiensis* R. J. Wang)相似,但与后者相比,云南螺序草托叶小于1 mm,花序上有5~9朵花,而靖西螺序草托叶在1.5~3 mm,花序上往往只有1~2朵花。

分布于云南省。生长于石灰岩上,分布区窄小。模式标本产自云南麻栗坡县麻栗镇的落水洞。贵州首次记录。

贵州新分布于黔西南州望谟县马蹄坡沙场旁,生于石灰岩上,生境土壤为石灰土,106°8'47.81"E, 25°11'28.83"N,海拔1091 m,2017年4月24日,采集人:崔兴勇、王琨等,采集号:20220611,凭证标本存放于贵州大学林学院标本馆(GZAC)。新记录的发现,有效补充了该种的地理分布。



A-生境;B-植株(正面);C-植株(背面);D-花。

图1 云南螺序草

1.2 大叶母草(图2)

Lindernia megaphylla P. C. Tsoong, Acta Phytotax. Sin. 8:67. 1959.

母草科 Linderniaceae 陌上菜属 *Lindernia*。一年生草本。叶片矩圆形或卵状矩圆形,顶端急尖,基部宽楔形,常不相称,缘有圆钝锯齿,上面散生极细的毛瘤状凸起,在齿上为密,下面无毛,沿脉上有极细之毛。花冠白色,长达12 mm。本种和越南东京产的 *Lindernia foliosa* Bonati 相似,区别是本植株没有根茎,花冠筒部内没有毛,特别是后方萼片极长,约为其他4枚的2倍。

为我国特有种,分布于广东、海南岛、广西。生于密林中。在贵州为首次发现。

贵州新分布于黔西南州望谟县王母街道天马山的山坡草丛中,数量少,生境土壤为黄壤。地理位置106°06'23.74"E,25°10'36.34"N,海拔651 m。2021年5月2日,采集人:黄江华、王琨、刘峰等,采集号:20210502,凭证标本存放于贵州大学林学院标本馆(GZAC)。大叶母草的新分布扩大了其分布范围,同时说明贵州西南部分地区的植物区系和海南岛存在相似的植物区系。



图2 大叶母草

1.3 城口盆距兰(图3)

Gastrochilus fargesii (Kraenzl.) Schltr. in Fedde Repert. Sp. Nov. Beih. 4:288. 1919.

兰科 Orchidaceae 盆距兰属 *Gastrochilus*。茎匍匐状,纤细,具多数叶。叶二列互生,狭长圆形或镰刀状长圆形。伞形花序具2~3朵花;花小,萼片和花瓣黄绿色带紫红色斑点;花期5月至6月。城口盆距兰与列叶盆距兰 *Gastrochilus distichus* (Lindl.) Kuntze 近似,但与后者相比,城口盆距兰的叶子较长,花较小,唇瓣无胼胝体。

分布于重庆城口、四川、云南。生于海拔2300 m的山坡林中树干上。模式标本采自重庆城口。贵州为首次记录。

贵州新分布于贵州宽阔水国家级自然保护区内,附生于树干上,107°5'15.4"E,28°11'1.9"N,海拔1319 m,2021年3月23日,采集人:刘峰、王琨等,采集号:20210323,凭证标本存放于贵州大学林学院标本馆(GZAC)。城口盆距兰是我国分布范围狭窄

的特有种类,它的新分布,扩大了该种的分布范围。

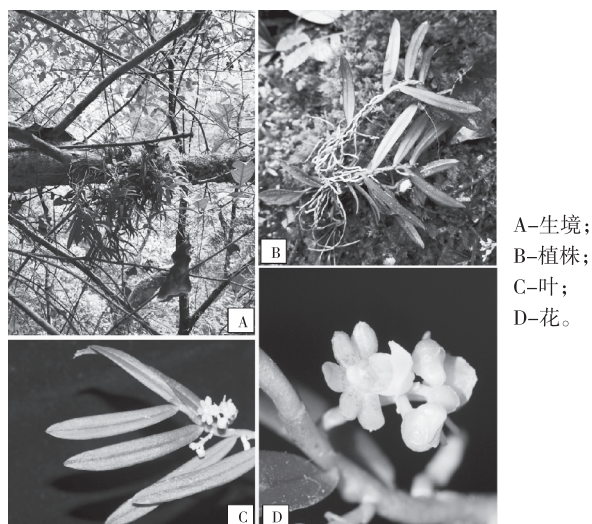


图3 城口盆距兰

1.4 大花地宝兰(图4)

Geodorum attenuatum Griff. in Calc. J. Nat. Hist. 5:358. Pl. 24. 1845.

兰科 Orchidaceae 地宝兰属 *Geodorum*。叶倒披针状长圆形;花直径约 2 cm,白色,唇瓣中上部柠檬黄色;萼片长圆形或卵状长圆形;花期 5 月至 6 月。本种与地宝兰 *Geodorum densiflorum* (Lam.) Schltr. 相似,区别在于后者的花葶一般为叶长的 2/3 或长于叶,而前者的花葶一般不到叶长的 1/2。

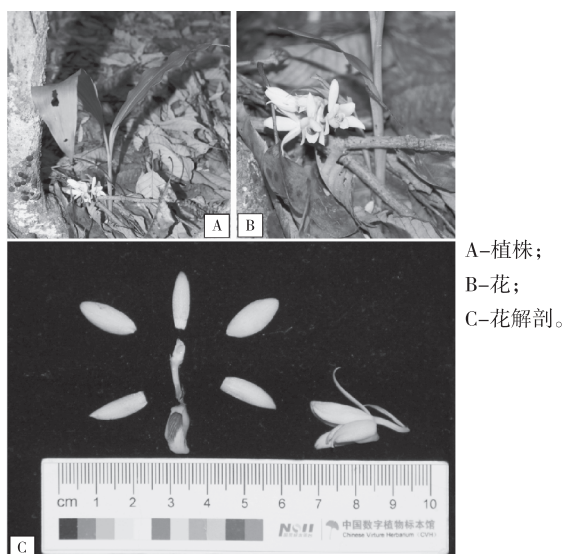


图4 大花地宝兰

产海南和云南南部(景洪)。生于林缘,海拔

800 m 以下。越南、老挝、泰国、缅甸也有分布。模式标本采自缅甸。

贵州新分布于黔西南州册亨县外磨麻栎林中,生境土壤为黄壤,105°57'2.36"E,25°4'21.49"N,海拔 398 m,采集人:张央、王琨等,2021 年 6 月 15 日,采集号:20210615,凭证标本存放于贵州大学林学院标本馆(GZAC)。本种的新分布,有效补充了其地理分布,同时也说明贵州西南部分区域与云南南部和海南岛存在相似的植物区系成分,对研究西南地区与海南地区的植物区系有一定意义。

2 讨论

贵州地处中国西南高原山地,气候属于独特的中亚热带季风气候,境内地形地貌复杂多样,良好的水热条件和复杂多变的地形地貌,形成了丰富的植物森林区系,孕育了贵州丰富的生物多样性。近年来,有关贵州维管束植物新记录的文献报道近十余篇^[6-9],对新记录属^[10-12]甚至新种^[13-14]均有报道。可见贵州植物的本底资料还有很大的发掘空间。

本次发现的贵州 4 种草本植物新记录,隶属 3 科 4 属,分别位于贵州省的北部和西南部,有效补充了贵州省植物区系和本地资料,同时,这几个种都表现出与邻近地区相近的植物成分,对研究华中地区、华南地区、西南地区、海南的植物区系有一定意义。在发现的 4 个新记录中,城口盆距兰发现于干扰较弱、生态环境良好的保护区中,而云南螺序草、大花地宝兰、大叶母草发现于有人为干扰较强的环境中,可见,在保护力度较强的森林植被以及存在人为活动的区域中都仍存在不少物种等着被发现和报道。

参考文献【REFERENCES】

- [1] WU L, LI X, LIU W J, et al. *Spiradicliskarstana* (Rubiaceae), a new species from Yunnan, China [J]. *PhytoKeys*, 2019, 117:1-8.
- [2] 罗阳, 邓秀伦. 贵州维管束植物编目 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2015.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 71 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 132-133.
- [4] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 18 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 189-190.
- [5] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 19 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 414.

贵州汇川喇叭河国家湿地公园主要植物群落与多样性特征^{*}

陈 荟¹, 梁 康^{1▲}, 袁丛军¹, 熊 焱², 赵 庆³, 严令斌³, 蔡国俊⁴

(¹ 贵州省林业科学研究院, 贵州 贵阳 550002; ² 遵义市汇川区林业局, 遵义 汇川 563000; ³ 贵州大学, 贵州 贵阳 550025; ⁴ 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001)

摘 要: 贵州汇川喇叭河国家湿地公园位于贵州省北部、遵义市中部, 是以喀斯特河流湿地为载体形成的以库塘湿地为主体的湿地生态系统, 有人工库塘湿地、永久性河流湿地以及稻田湿地 3 类湿地型。采用常规群落生态调查样地方法, 结果显示: (1) 国家湿地公园受到一定程度的人为干扰, 表现出较强的次生性; (2) 植物资源丰富, 种类繁多, 是中亚热带的一个天然物种资源基因库, 有维管束植物 119 科 240 属 298 种; (3) 植被类型多样, 共有 5 个植被型组、11 个植被型、34 个群系。

关键词: 植物群落, 喇叭河, 国家湿地公园

中图分类号: Q941 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0004-10

Characteristics of main plant communities and diversity in Labahe National Wetland Park, Huichuan, Guizhou^{*}

CHEN Hui¹, LIANG Kang^{1▲}, YUAN Congjun¹, XIONG Yan², ZHAO Qing³, YAN Lingbin³, CAI Guojun⁴

(¹ Guizhou Academy of Forestry, Guiyang 550002, China; ² Huichuan Forestry Bureau, Zunyi 563000, China; ³ Guizhou University, Guiyang 550025, China; ⁴ Guizhou Institute of Mountain Resources, Guiyang 550001, China)

[6] 陈菊艳, 徐超然, 安云虹, 等. 贵州 8 种植物的新记录[J]. 种子, 2018, 37(10): 68-70.

[7] 杨加文, 蔡磊. 贵州苦苣苔科植物 4 新记录种[J]. 广西科学, 2019, 26(1): 86-88.

[8] 崔兴勇, 杨焱冰, 安明态, 等. 贵州植物分布新记录[J]. 种子, 2019, 38(3): 64-66.

[9] 韦宏金, 周喜乐, 陈彬, 等. 贵州蕨类植物新记录(II)[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2019, 37(2): 152-157.

[10] 殷建强, 李鹤, 邓伦秀, 等. 9 种贵州的新记录植物[J]. 西部林业科学, 2016, 45(2): 58-60.

[11] 张娅, 吴道伦, 张华海, 等. 贵州种子植物新记录(VI)[J]. 种子, 2016, 35(11): 60-61.

[12] 杨成华, 李鹤, 陈志萍. 10 种贵州种子植物新记录[J]. 西部林业科学, 2017, 46(1): 17-19.

[13] WANG Z W, SUN W G, XI H C, et al. *Dysosmavillosa* (Berberidaceae), a new species from Guizhou, Southwestern China[J]. PhytoKeys, 2019, 124: 77-85.

[14] JIANG H, DENG T, LV X Y, et al. *Primulina serrulata* (Gesneriaceae), a new species from Southeastern Guizhou, China[J]. PhytoKeys, 2019, 132: 11-18.

收稿日期: 2022-07-30; 修回日期: 2022-08-21

基金项目: 国家林业和草原局野生植物保护管理项目(2019073004)。

作者简介: 王 琨(1996-), 男, 贵州福泉人; 硕士研究生, 研究方向: 植物分类与生物多样性保护研究。

▲通讯作者: 安明态(1975-), 男, 正高级实验师, 博士, 研究方向: 植物分类与保护生物学研究。

Abstract: Guizhou Huichuan Labahe National Wetland Park is located in the north of Guizhou Province and the middle of Zunyi City. It is a wetland ecosystem with karst river wetlands as the carrier and reservoir/pond wetlands as the main body. There are three types of wetlands: artificial reservoirs and ponds, permanent river wetlands and rice field wetlands. The sample plot method was adopted to investigate the wetlands, and the results showed that: (1) Labahe National Wetland Park was subject to a certain degree of human disturbance, showing strong secondary nature; (2) The wetland park was rich in plant resources, with 298 species of vascular plants belonging to 119 families and 240 genera; (3) There were various vegetation types, including 5 vegetation type groups, 11 vegetation types and 34 formations.

Keywords: plant community, Labahe, national wetland park

国家湿地公园是国家湿地保护体系的重要组成部分,对湿地生态系统结构、生态过程与生态特征、生态功能和生物多样性具有重要的保护作用^[1]。植物群落是湿地生态系统的重要组成部分,植物多样性直接影响湿地质量和野生动物的栖息地状况,对维持湿地生态功能和生态系统稳定有重要作用。因此,开展植物多样性研究对湿地及生物多样性保护有重要意义^[2-4]。

贵州汇川喇叭河国家湿地公园位于贵州省北部遵义市,地处遵义市汇川区西北角。公园总面积 304.27 公顷。属中亚热带湿润的季风气候区,具有气候温和,雨热同季,夏无酷暑,冬无严寒等特点。年平均气温 13.5℃,最冷月(1月)均温 3.7℃;最热月(7月)均温 24.7℃;极端最高气温为 34℃,极端最低气温为 -8℃,年平均降水量为 1043 mm,公园主要以砂页岩发育的黄壤、山地黄棕壤及碳酸盐岩发育的石灰土为主^[5]。2019 年通过国家林业和草原局试点国家湿地公园验收,正式成为“国家湿地公园”^[6]。是以喀斯特河流湿地为载体,以库塘湿地为主体的湿地生态系统,有人工库塘湿地、永久性河流湿地以及稻田湿地 3 类湿地型。当前针对贵州汇川喇叭河国家湿地公园的研究多集中在植物区系分析等方面,对区内植物群落与多样性特征研究较少。通过常规群落生态调查样地方法,进一步分析其群落组成结构和多样性特征,为揭示国家湿地公园的群落结构演替趋势、多样性维持机制提供科学依据^[7],同时为国家湿地公园的区划、管理提供一定的参考。

1 研究方法

1.1 植物群落的选择与调查

调查方法以野外调查资料与最新的林业二类调查资料相结合。野外调查采用线路与典型样地调查相结合,调查线路尽量覆盖整个湿地公园的森林植被类型,调查时沿调查线路记录森林群系类型。典型样地采用群落学调查方法,根据调查地区地形地貌特点,在典型地段内设置调查样地,群落样地调查面积一般为 20 m×20 m,在样地内均匀设置 10 个小样方,调查内容主要包括样地所在位置、群落盖度及生境因子(包括海拔、坡向、坡度、坡位等),样地内胸径≥5.0 cm 的乔木树种每木检尺。

1.2 数据处理与分析方法

组成各个种群的个体数是群落多样性的重要测度指标,选取重要值(Important value, IV)作为评价群落中各物种相对重要性的综合数量指标^[8]。针对植物群落的特殊性, Pielou、Whittaker 等学者建议采用相对盖度、重要值或生物量等作为多样性测度的指标^[9],本研究选用重要值与群落物种多样性为测度指标^[10-11],分别计算样地内不同层次物种的重要值与物种多样性指数。

$$IV = \frac{RA + RD + RF}{3} \quad (1)$$

$$RF = \frac{\text{某物种频度}}{\text{所有种频度之和}} \times 100\% \quad (2)$$

$$RD = \frac{\text{某物种个体数}}{\text{所有种个体数}} \times 100\% \quad (3)$$

$$RA = \frac{\text{某物种基面积之和}}{\text{所有物种基面积之和}} \times 100\% \quad (4)$$

$$IV_c = \frac{RF + RC}{2} \quad (5)$$

$$RC = \frac{\text{某物种盖度}}{\text{所有物种盖度之和}} \times 100\% \quad (6)$$

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (7)$$

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (8)$$

$$J = \frac{H}{\ln S} \quad (9)$$

式中, IV 为乔木和灌木重要值; IV_c 为草本重要值; RA 为相对显著度; RF 为相对频度; RD 为相对密度; RC 为相对盖度。 P_i 为重要值 (IV), S 为物种数, H 为 Shannon - Wiener 多样性指数, D 为 Simpson 优势度指数, J 为 Pielou 均匀性指数。

2 植物群落特点

2.1 植物种类组成

研究表明, 贵州汇川喇叭河国家湿地公园植物资源丰富, 森林生态系统中有维管束植物 119 科 240 属 298 种。其中, 有国家重点 II 级重点保护野生植物 2 种, 凹叶厚朴 (*Magnolia officinalis subsp. biloba*) 和伞花木 (*Eurycorymbus cavaleriei*); 国家 I 级珍稀濒危保护植物 1 种, 为南方红豆杉 (*Taxus wallichiana* var. *mairei*)^[12]。

2.2 受干扰情况

在喇叭河国家湿地公园内, 由于人为活动对植被的干扰对森林群落的组成和外貌特征都有较大的影响, 经济价值较高的保护树种就是随着整个森林的破坏而几近绝迹。根据喇叭河湿地公园的水热状况, 母岩及土壤类型, 地形地貌来看, 主体属于中亚热带常绿阔叶林, 其特征是终年常绿, 物种组成丰富, 森林群落结构复杂多样, 抗外界干扰的能力强。但由于人为活动等各种因素的干扰, 使现存的大量植物群落已变成以各种先锋树种为主, 且物种组成单一、群落结构简单、抗外界干扰能力弱的植物群落, 如喇叭河湿地公园常见的马尾松林、杉木林、盐肤木等, 有的地段甚至于受到人为的强烈干扰形成了大量的灌丛或草坡。

3 植被类型及特征

根据已有资料^[13-16], 结合本次调查结果, 喇叭河国家湿地公园植被可分为针叶林、阔叶林、针阔混交林、灌丛及灌草丛和水生植被 5 个植被型组, 亚热带山地暖型针叶林、中亚热带常绿阔叶林、中亚热带

常绿落叶阔叶混交林、中亚热带落叶阔叶林、灌丛及灌草等 11 个植被型和 34 个群系 (表 1)。

表 1 喇叭河国家湿地公园植被分类

植被型组	植被型	群 系
针叶林	亚热带山地暖性针叶林	马尾松林 (From. <i>Pinus massoniana</i>)
		马尾松—女贞林 (From. <i>Pinus massoniana</i> + <i>Ligustrum lucidum</i>)
针阔混交林	亚热带山地针阔混交林	红豆杉—银杏林 (From. <i>Taxus chinensis</i> + <i>Ginkgo biloba</i>)
		香樟—女贞林 (From. <i>Cinnamomum bodinieri</i> + <i>Ligustrum lucidum</i>)
阔叶林	中亚热带常绿阔叶林	香叶树群系 (Form. <i>Lindera communis</i>)
		青冈栎群系 (Form. <i>Cyclobalanopsis glauca</i>)
		白栎—山胡椒林 (From. <i>Quercus fabri</i> + <i>Lindera glauca</i>)
	中亚热带常绿阔叶林混交林	杜仲—枫香林 (From. <i>Eucommia ulmoides</i> + <i>Robinia pseudoacacia</i>)
		杜仲—刺槐林 (From. <i>Eucommia ulmoides</i>)
		枫香林 (From. <i>Liquidambar formosana</i>)
常绿阔叶灌丛	中亚热带落叶阔叶林	麻栎林 (From. <i>Quercus acutissima</i>)
		白栎群系 (Form. <i>Quercus fabri</i>)
灌草丛	落叶阔叶灌丛	细齿叶柃群系 (Form. <i>Eurya nitida</i>)
		化香群系 (Form. <i>Platycarya strobilacea</i>)
		插田泡—缙丝花 (From. <i>Rubus coreanus</i> + <i>Rosa roxburghii</i>)
	草 丛	黄荆群系 (Form. <i>Vitex negundo</i>)
		硬秆子草—芒 (From. <i>Capillipedium assimile</i> + <i>Miscanthus sinensis</i>)
		毛茛蒿—平车前 (From. <i>Artemisia vestita</i> + <i>Plantago depressa</i>)
		蕨草群系 (Form. <i>Scirpus triqueter</i>)
		牛毛毡群系 (Form. <i>Heleocharis yokoscensis</i>)
		十字苔草群系 (Form. <i>Carex cruciata</i>)
		白茅群系 (Form. <i>Imperata cylindrica</i>)
水生植被	漂浮植物型	棒头草群系 (Form. <i>Polypogon fugax</i>)
		野古草群系 (Form. <i>Arundinella anomala</i>)
		狗牙根群系 (Form. <i>Cynodon dactylon</i>)
	浮叶植物型	石龙芮群系 (Form. <i>Ranunculus sceleratus</i>)
		水蓼群系 (Form. <i>Polygonum hydropiper</i>)
		毛茛群系 (Form. <i>Ranunculus japonicus</i>)
		豆瓣菜群系 (Form. <i>Nasturtium officinale</i>)
		浮萍群系 (Form. <i>Lemna minor</i>)
		眼子菜群系 (Form. <i>Potamogeton distinctus</i>)
		狐尾藻群系 (Form. <i>Myriophyllum verticillatum</i>)
	沉水植物型	小茨藻群系 (Form. <i>Najas minor</i>)
		竹叶眼子菜群系 (Form. <i>Potamogeton malaiianus</i>)

3.1 针叶林

马尾松群系 (Form. *Pinus massoniana*), 主要分

布于北郊水库面山上,群落结构层次清楚,群落郁闭度较高,以马尾松(*Pinus massoniana*)占绝对优势,乔木层混有少量的漆树(*Toxicodendron vernicifluum*)、白栎(*Quercus fabri*)等;灌木层种类较多,有南烛(*Lyonia ovalifolia*)、川榛(*Corylus heterophylla* var. *sutchuenensis*)和灰毛泡(*Rubus irenaeus*)等;草本层覆盖度较小,种类也较简单,主要有白茅(*Imperata cylindrica*)、野古草(*Arundinella anomala*)等。

该类型在喇叭河国家湿地公园广泛分布,主要为人为破坏原生植被后人工栽培或自然更新形成。样地海拔 829 m,中坡,坡度 30°,林分总郁闭度 0.85 左右,乔木层盖度 0.5 ~ 0.6,植物群落平均胸径 10.79 cm,高度 9.22 m,密度为 1650 株/公顷(表 2)。建群种为马尾松,伴生阔叶树种为柏树、朴树和漆树等。灌木层盖度为 0.5 左右,物种组成丰富,有白栎、菝葜、刺异叶花椒、地瓜藤、滇莓、多花蔷薇、火棘、金银花、女贞、青桐、铁线莲、烟管荚蒾、岩豆藤等,草本盖度 0.35,物种组成有常春藤、情人菊、贯众、青蒿、如意草、刺儿菜、芒、千里光、茜草、舌叶蕺草、拟金茅、铁芒箕、菱棱菜等。各层次植被多样性指数和均匀度指数见图 1。

表 2 马尾松乔木层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对	相对	相对	重要值 IV
		显著度 /%	密度 /%	频度 /%	
白栎 <i>Quercus fabri</i>	2	3.03	1.31	12.50	0.06
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	56	84.85	91.41	56.25	0.78
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	3	4.55	2.13	12.50	0.06
漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	5	7.58	5.16	18.75	0.10

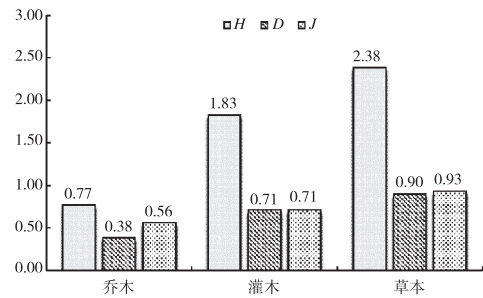


图 1 马尾松林各植被层次多样性指数、优势度指数和均匀性指数比较

3.2 针阔混交林

3.2.1 南方红豆杉—银杏林

该类型主要是原生植被遭到破坏后人工种植或天然更新形成的。样地海拔 855 m,位于中坡,土壤类型为黄壤,林分总郁闭度 0.7,乔木层盖度 0.7,林下灌草植被稀疏,建群种为南方红豆杉和银杏(表 3)。Shannon-Wiener 多样性指数 H 为 0.98、Simpson 优势度指数 D 为 0.58、Pielou 均匀性指数 J 为 0.71。

表 3 南方红豆杉—银杏林乔木层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对	相对	相对	重要值 IV
		显著度 /%	密度 /%	频度 /%	
南方红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>mairei</i>	18	4.76	6.67	8.70	4.76
凹叶厚朴 <i>Magnolia officinalis</i> subsp. <i>biloba</i>	21	42.86	32.86	43.48	42.86
银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	2	2.38	0.74	4.35	2.38
枇杷 <i>Eriobotrya japonica</i>	1	50.00	59.72	43.48	50.00

3.2.2 马尾松—木犀林

该类型在喇叭河国家湿地公园有分布,主要为人为破坏原生植被后人工栽培或自然更新形成。样地海拔 859 m,中坡,坡度 30°,林分总郁闭度 0.85 左右,乔木层盖度 0.5 ~ 0.6,植物群落平均胸径 15.55 cm,高度 9.77 m,密度为 2000 株/公顷(表 4)。建群种为马尾松和杉木,伴生阔叶树种为木犀。灌木层盖度为 0.45 左右,物种组成丰富,有插田蕪、刺梨、刺异叶花椒、滇鼠刺、火棘、金樱子、球核荚蒾、小果蔷薇、烟管荚蒾、油茶等,草本盖度 0.25,物种组成有菝葜、鸡屎藤、三脉紫菀、三叶木通等。Shannon-Wiener 多样性指数 H 、Simpson 优势度指数 D 和 Pielou 均匀性指数 J 见图 2。

表 4 马尾松—木犀林乔木层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对	相对	相对	重要值 IV
		显著度 /%	密度 /%	频度 /%	
木犀 <i>Osmanthus fragrans</i>	19	23.75	1.34	36.84	0.21
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	58	72.50	96.99	52.63	0.74
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	3	3.75	1.67	10.53	0.05

3.3 阔叶林

3.3.1 白栎—山胡椒林

该类型在喇叭河国家湿地公园分布,为落叶阔

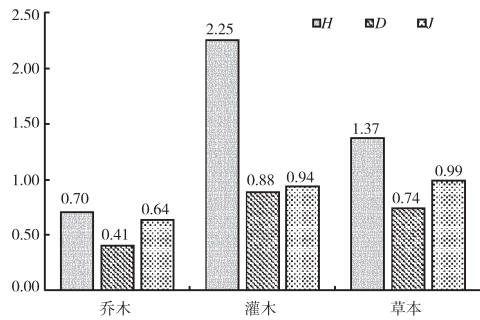


图 2 马尾松—木犀林各植被层次多样性指数、优势度指数和均匀性指数比较

叶混交林,主要为自然更新形成。样地海拔 830 m,中坡,坡度 30°,土壤类型为黄壤,林分总郁闭度 0.7 左右,乔木层盖度 0.6,植物群落平均胸径 9.52 cm,高度 6.38 m,密度为 900 株/公顷(表 5)。建群种为白栎和山胡椒,伴生阔叶树种为朴树、漆树、香叶树等。灌木层盖度为 0.6 左右,物种组成丰富,有菝葜、白栎幼苗、刺异叶花椒、地果、兴安悬钩子、野蔷薇、火棘、金银花、女贞、青桐、铁线莲、烟管荚蒾、灰毛鸡血藤等,草本盖度 0.15,物种组成有多花黄精、贯众、肾蕨、丝叶薹草等。各层次植被多样性指数和均匀度指数见图 3。

表 5 白栎—山胡椒林乔木层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对显著度 /%	相对密度 /%	相对频度 /%	重要值 IV
山胡椒	12	33.33	22.08	30.43	0.29
白栎	10	27.78	24.65	26.09	0.26
朴树	7	19.44	27.00	21.74	0.23
漆树	5	13.89	24.40	13.04	0.17
香叶树	2	5.56	1.88	8.70	0.05

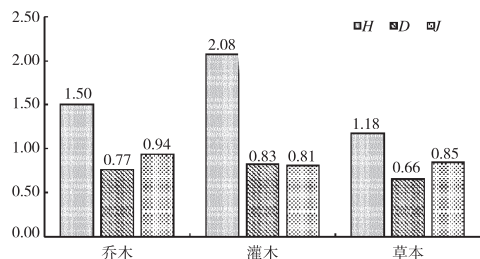


图 3 白栎—山胡椒林各植被层次多样性指数、优势度指数和均匀性指数比较

3.3.2 香樟—女贞林

该类型在喇叭河国家湿地公园分布,为常绿阔

叶混交林,主要为自然更新或人工种植形成。样地海拔 911 m,上坡位,坡度 10°,土壤类型为石灰土,林分总郁闭度 0.65 左右,乔木层盖度 0.6,植物群落平均胸径 12.05 cm,高度 7.25 m,密度为 1375 株/公顷(表 6)。建群种为香樟和女贞,伴生阔叶树种为枫香等。灌木层盖度为 0.5 左右,物种组成丰富,有白栎幼苗、地果、方竹、胡颓子、火棘、三叶木通、铁线莲、针齿铁籽、香叶树、小果蔷薇、小叶女贞、悬钩子蔷薇、烟管荚蒾、灰毛鸡血藤等,草本盖度 0.3,物种组成有贯众、麦冬、芒、蛇莓、肾蕨、丝叶薹草、月见草、鸢尾等。各层次植被多样性指数、优势度指数和均匀度指数见图 4。

表 6 香樟—女贞林乔木层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对显著度 /%	相对密度 /%	相对频度 /%	重要值 IV
香樟 <i>Lindera communis</i>	39	5.45	5.31	14.29	0.08
女贞 <i>Ligustrum quihoui</i>	13	23.64	11.82	38.10	0.25
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	3	70.91	82.87	47.62	0.67

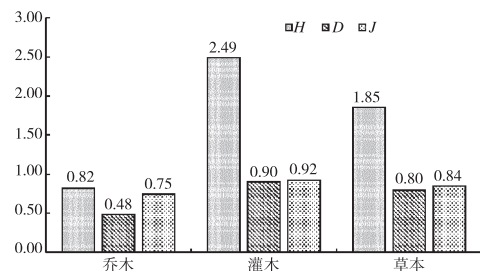


图 4 香樟—女贞林各植被层次多样性指数、优势度指数和均匀性指数比较

3.3.3 杜仲—枫香林

该类型在喇叭河国家湿地公园分布,为落叶阔叶混交林,主要为自然更新或人工种植形成。样地海拔 855 m,下坡位,坡度 15°,土壤类型为黄壤,林分总郁闭度 0.6 左右,乔木层盖度 0.6,植物群落平均胸径 10.42 cm,高度 8.37 m,密度为 900 株/公顷(表 7)。建群种为杜仲和枫香,伴生阔叶树种为马桑、白花泡桐、朴树、水麻、香樟等。灌木层盖度为 0.3 左右,物种组成丰富,有野蔷薇、小果蔷薇、悬钩子蔷薇、盐麸木等,草本盖度 0.1,物种组成有戟叶火绒草、何首乌、荩草、蛇莓等。各层次植被多样性指数、优势度指数和均匀度指数见图 5。

表 7 杜仲—枫香林乔木层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对显著度 /%	相对密度 /%	相对频度 /%	重要值 IV
侧柏	1	11.11	6.31	12.50	0.10
杜仲	2	22.22	19.73	12.50	0.18
枫香	1	11.11	19.19	12.50	0.14
马桑	1	11.11	1.11	12.50	0.08
泡桐	1	11.11	29.51	12.50	0.18
朴树	1	11.11	9.95	12.50	0.11
水麻	1	11.11	0.87	12.50	0.08
香樟	1	11.11	13.33	12.50	0.12

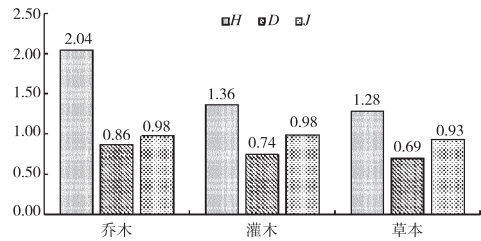


图 5 杜仲—枫香林各植被层次多样性指数、优势度指数和均匀性指数比较

3.3.4 杜仲—刺槐林

该类型在喇叭河国家湿地公园分布,为落叶阔叶混交林,主要为自然更新或人工种植形成。样地海拔 835 m,下坡位,坡度 0°,土壤类型为黄壤,林分总郁闭度 0.53 左右,乔木层盖度 0.53,植物群落平均胸径 16.94 cm,高度 11.79 m,密度为 1150 株/公顷(表 8)。建群种为杜仲和刺槐。灌木层盖度为 0.3 左右,物种组成丰富,有白栎幼苗、插田蕪、野蔷薇、胡颓子、火棘、金樱子、针齿铁籽、小果蔷薇、灰毛鸡血藤等,草本盖度 0.2,物种组成有丝叶薹草、荨麻等。各层次植被多样性指数、优势度指数和均匀度指数见图 6。

表 8 杜仲—刺槐林乔木层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对显著度 /%	相对密度 /%	相对频度 /%	重要值 IV
杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i>	39	15.22	7.60	35.71	0.20
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	7	84.78	92.40	64.29	0.80

3.3.5 白栎群系

白栎群系(Form. *Quercus fabri*),广泛分布于湿地公园内的山上。乔木层以白栎为主要优势种,乔木层郁闭度达 0.6,乔木树种还有香叶树(*Lindera*

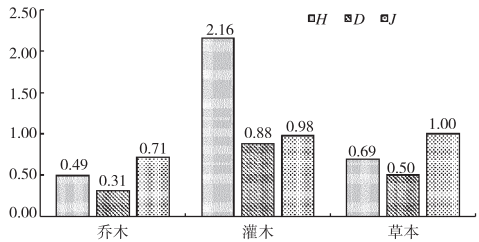


图 6 杜仲—刺槐林各植被层次多样性指数、优势度指数和均匀性指数比较

communis)、粗糠柴(*Mallotus repandus*)、冬青叶鼠刺(*Itea ilicifolia* Oliver)等。灌木层盖度达 45% 以上,主要种类有中华绣线梅(*Neillia sinensis*)、野扇花(*Sarcococca ruscifolia*)、川榛(*Corylus heterophylla* var. *sutchuanensis* Franchet)、柘(*Cudrania tricuspidata*)等,草本层盖度较低,主要有荩草(*Arthraxon hispidus* (Thunb.) Makino)、红盖鳞毛蕨(*Dryopteris erythrosora*)等。

3.3.6 麻栎林

该类型在喇叭河国家湿地公园分布,为落叶阔叶林,主要为自然更新形成。样地海拔 852 m,上坡位,坡度 45°,土壤类型为黄壤,林分总郁闭度 0.65 左右,乔木层盖度 0.6,植物群落平均胸径 9.41 cm,高度 6.74 m,密度为 2375 株/公顷(表 9)。建群种为麻栎,伴生种为马尾松、枫香和桉木。灌木层盖度为 0.2 左右,物种组成丰富,有爬藤榕、菝葜、兴安悬钩子、冬青、麻栎幼苗、针齿铁籽、香叶树、小果蔷薇、灰毛鸡血藤、珍珠荚蒾等,草本盖度 0.1,物种组成有堇菜、芒、千里光、丝叶薹草、芒箕等。各层次植被多样性指数、优势度指数和均匀度指数见图 7。

表 9 麻栎林乔木层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对显著度 /%	相对密度 /%	相对频度 /%	重要值 IV
桉木	4	4.21	1.43	8.70	0.05
枫香	8	8.42	12.18	26.09	0.16
麻栎	74	77.89	75.81	43.48	0.66
马尾松	9	9.47	10.58	21.74	0.14

3.3.7 枫香林

主要分布于北郊水库周边村寨旁。该群系受人为影响较大,群落层次简单,物种组成较少,乔木层以枫香为优势种类,其他还有马尾松、白栎、杉木等种类。该类型在喇叭河国家湿地公园分布,为落叶阔叶林,主要为自然更新形成。样地海拔 903 m,上

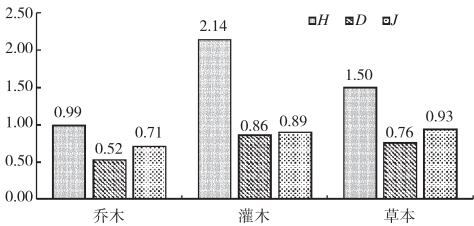


图 7 麻栎林各植被层次多样性指数、优势度指数和均匀性指数比较

坡位,坡度 40°,土壤类型为黄壤,林分总郁闭度 0.63 左右,乔木层盖度 0.63,植物群落平均胸径 14.65 cm,高度 10 m,密度为 1525 株/公顷(表 10)。建群种为枫香,伴生种为白栎、枫香、杉木、盐麸木、圆果化香。灌木层盖度为 0.3 左右,物种组成丰富,有白栎、地果、野蔷薇、火棘、金樱子、柃木、南天竹、针齿铁籽、小果蔷薇、海金子、烟管莢蒾等,草本盖度 0.2,物种组成有白茅、凤尾蕨、何首乌、来江藤、三脉紫菀、丝叶藁草等。各层次植被多样性指数、优势度指数和均匀度指数见图 8。

表 10 枫香林乔木层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对显著度 /%	相对密度 /%	相对频度 /%	重要值 IV
枫香	41	66.13	95.68	35.71	0.66
白栎	7	11.29	2.89	17.86	0.11
圆果化香	6	9.68	1.02	17.86	0.10
杉木	4	6.45	0.15	14.29	0.07
盐麸木	4	6.45	0.26	14.29	0.07

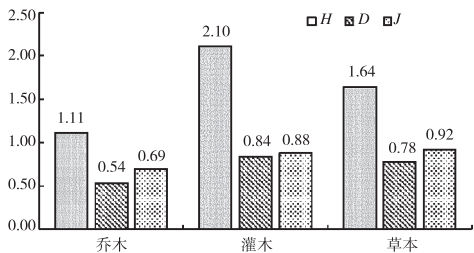


图 8 枫香林各植被层次多样性指数、优势度指数和均匀性指数比较

3.3.8 香叶树群系

香叶树群系 (Form. *Lindera communis*), 主要分布于湿地公园中立溪附近。乔木层郁闭度达 0.6, 乔木层以香叶树为主要优势种, 还有冬青 (*Ilex purpurea*)、女贞 (*Ligustrum lucidum*)、朴树 (*Celtis sinensis*) 等; 林下灌木有雀梅藤 (*Sageretia thea*) 和胡颓子 (*Elaeagnus pungens*) 等; 草本植物主要有荇草 (*Ar-*

thraxon hispidus)、贯众 (*Cyrtomium fortunei*) 等。

3.3.9 青冈栎群系

青冈栎群系 (Form. *Cyclobalanopsis glauca*), 分布于湿地公园中海龙水库大坝附近及水邑岩。乔木层郁闭度达 0.5, 乔木层以青冈栎为主要优势种, 还有冬青 (*Ilex purpurea*)、白栎等; 林下灌木主要有蚊母树 (*Distylium racemosum*) 和海桐 (*Pittosporum tobir*) 等; 草本植物主要有荇草 (*Arthraxon hispidus*)、水龙骨 (*Polypodiodes niponica*) 等。

3.4 灌丛

3.4.1 插田泡—繸丝花群落

该类型在喇叭河国家湿地公园分布, 为插田泡—繸丝花灌丛林, 主要为自然更新形成。样地海拔 858 m, 上坡位, 坡度 0°, 土壤类型为黄壤, 林分总郁闭度 0.7 左右。灌木层盖度为 0.7 左右, 物种组成丰富(表 11), 有插田蕪、刺梨、构树、光皮桦、朴树、乌桕、烟管莢蒾等, 草本盖度 0.35, 物种组成有戟叶火绒草、华北鸦葱、扁穗雀麦、车前、刺儿菜、风轮菜、凤尾蕨、过路黄、黄鹌菜、喜旱莲子草、毛茛、牛筋草、牛膝、千里光、酸模、五节芒、野胡萝卜、一年蓬等。各层次植被多样性指数、优势度指数和均匀度指数见图 9。

表 11 插田泡—繸丝花灌木层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对显著度 /%	相对密度 /%	相对频度 /%	重要值 IV
插田蕪	3	12.37	65.91	25.00	0.34
繸丝花	3	15.59	11.36	25.00	0.17
构树	1	17.20	2.27	8.33	0.09
光皮桦	1	20.43	6.82	8.33	0.12
朴树	1	10.22	2.27	8.33	0.07
乌桕	1	7.53	2.27	8.33	0.06
烟管莢蒾	1	9.68	4.55	8.33	0.08
金佛山莢蒾	1	6.99	4.55	8.33	0.07

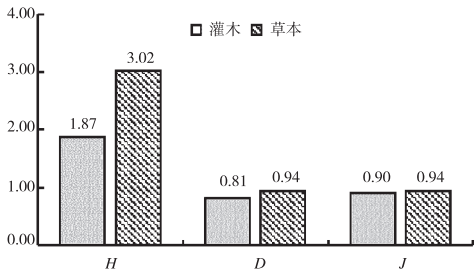


图 9 插田泡—繸丝花群落各植被层次多样性指数比较

3.4.2 化香群系

化香群系(Form. *Platycarya strobilacea*), 主要分布于海龙水库坝址以下山地下部。群落高度约 3 ~ 4 m, 覆盖度达 45%。主要伴生种类有柘、针齿铁籽、鸡屎藤(*Paederia scandens*)、金银花(*Lonicera japonica*)、烟管荚蒾(*Viburnum utile*)等。

3.4.3 黄荆群系

黄荆群系(Form. *Vitex negundo*), 分布于北郊水库面山的下部。群落高度约 1 ~ 2.5 m, 覆盖度达 46%。主要伴生种类有化香、针齿铁籽、接骨草(*Sambucus chinensis* Blume)、牡蒿(*Artemisia japonica* Thunb.)等。

3.4.4 细齿叶柃木群系

细齿叶柃木群系(Form. *Eurya nitida*), 主要分布于公园内黄鱼孔处。群落主要建群种为细齿叶柃木, 灌木层还有油茶(*Camellia oleifera*)等, 草本层覆盖度达 60%, 主要种类有拉拉藤(*Galium spurium* L.)、鬼针草(*Bidens pilosa*)等。

3.5 草丛

3.5.1 硬秆子草—芒群系

该类型主要是原生植被人为全伐后依靠天然更新形成的草丛。样地位于贵州汇川喇叭河国家湿地公园内, 海拔 800 m, 生长于河边, 下坡位, 土壤类型为黄壤, 群落总盖度 0.85, 平均高度 33.11 cm, 样地内主要以硬秆子草为主, 伴生种为芒、酸模叶蓼、青蒿、千里光、天胡荽、寸金草、荩草、拟金茅、车前、蛇莓、水芹等(表 12)。群落多样性指数、优势度指数和均匀性指数分别为 2.15、0.83 和 0.86。

表 12 硬秆子草—芒草本层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对盖度 /%	相对频度 /%	重要值 IV
硬秆子草	10	53.55	16.67	0.35
芒	6	7.58	9.26	0.08
酸模叶蓼	6	1.90	11.11	0.07
青蒿	5	5.69	9.26	0.07
千里光	5	2.56	9.26	0.06
天胡荽	5	4.27	9.26	0.07
寸金草	4	3.41	7.41	0.05
荩草	4	12.80	7.41	0.10
拟金茅	4	5.50	7.41	0.06
车前	3	1.14	5.56	0.03
蛇莓	2	0.38	3.70	0.02
水芹	2	1.23	3.70	0.02

3.5.2 毛莲蒿—平车前群系

该类型主要是原生植被人为全伐后依靠天然更新形成的灌草。样地位于贵州汇川喇叭河国家湿地公园内, 海拔 856 m, 生长于河边, 下坡位, 土壤类型为黄壤, 群落总盖度 0.8, 平均高度 67.12 cm, 样地内主要以毛莲蒿和平车前为主, 伴生种为白车轴草、风轮菜、凤尾蕨、黄鹌菜、喜旱莲子草、牛筋草、千里光、圆叶牵牛、雀麦、珊瑚樱、酸模、野胡萝卜等(表 13)。群落多样性指数、优势度指数和均匀性指数分别为 2.4、0.85 和 0.85。

表 13 白蒿—平车前草本层主要物种组成重要值

物种名	株数	相对盖度 /%	相对频度 /%	重要值 IV
毛莲蒿	7	51.38	17.07	0.34
平车前	4	3.56	9.76	0.07
白车轴草	2	0.79	4.88	0.03
风轮菜	2	1.58	4.88	0.03
凤尾蕨	2	2.37	4.88	0.04
黄鹌菜	2	1.58	4.88	0.03
喜旱莲子草	2	2.37	4.88	0.04
牛筋草	2	15.81	4.88	0.10
千里光	2	0.79	4.88	0.03
圆叶牵牛	2	0.79	4.88	0.03
雀麦	2	2.37	4.88	0.04
珊瑚樱	2	0.79	4.88	0.03
酸模	2	2.37	4.88	0.04
五节芒	2	3.95	4.88	0.04
香藜	2	0.79	4.88	0.03
野胡萝卜	2	7.91	4.88	0.06
油菜	2	0.79	4.88	0.03

3.5.3 其他群系

蔗草群系(Form. *Scirpus triqueter*), 蔗草群落高度约 0.4 ~ 0.5 m, 盖度约 60%, 分布在水库河漫滩上, 主要伴生种类有棒头草(*Polypogon fugax*)和水蓼(*Polygonum hydropiper*)等。

牛毛毡群系(Form. *Heleocharis yokoscensis*), 分布于水沟边等地。群落盖度 60% ~ 70%, 高度约 0.1 m, 主要伴生种有野古草(*Arundinella anomala*)、狗牙根等。

十字苔草群系(Form. *Carex cruciata*), 分布于林边或沟边草地。群落盖度带 65%, 高度约 0.5 m, 主要伴生种有狗尾草(*Setaria viridis*)、棒头草(*Polypogon fugax*)等。

白茅群系 (Form. *Imperata cylindrica*), 主要分布于河漫滩。群落高度 0.8 m, 盖度约 55%, 伴生种有砖子苗 (*Mariscus sumatrensis*)、狗牙根、扁穗莎草 (*Cyperus compressus*) 等。

棒头草群系 (Form. *Polypogon fugax*), 分布于河边滩涂或稻田旁。群落高度 0.6 m, 盖度约 55%, 伴生种有砖子苗、狗牙根等。

野古草群系 (Form. *Arundinella anomala*), 分布于水沟边或田边等地。群落盖度 60% ~ 70%, 高度约 0.7 m, 主要伴生种有马唐 (*Digitaria sanguinalis*)、皱叶狗尾草 (*Setaria plicata*)、牛毛毡等。

狗牙根群系 (Form. *Cynodon dactylon*), 主要分布于河边、田边或路边。群落高度 0.4 m, 盖度约 65%, 伴生种有扁穗莎草、砖子苗等。

石龙芮群系 (Form. *Ranunculus sceleratus*), 分布在河漫滩和浅水湿地处, 群落高度 0.3 m, 盖度约 40%, 伴生种天名精 (*Carpesium abrotanoides*)、婆婆纳 (*Veronica didyma*)、通泉草 (*Mazus japonicus*) 等。

水蓼群系 (Form. *Polygonum hydropiper*), 分布在河漫滩和浅水湿地处, 群落高度 0.6 m, 盖度约 45%, 伴生种珠光香青 (*Anaphalis margaritacea*)、短葶飞蓬 (*Erigeron breviscapus*)、婆婆纳、通泉草等。

毛茛群系 (Form. *Ranunculus japonicus*), 分布在河漫滩和浅水湿地处, 群落高度 0.5 m, 盖度约 40%, 伴生种石龙芮、婆婆纳、水田碎米荠 (*Cardamine lyrata*) 等。

豆瓣菜群系 (Form. *Nasturtium officinale*), 分布在浅水湿地处, 群落高度 0.2 m, 盖度约 50%, 伴生种节节草 (*Equisetum ramosissimum*)、棒头草。

3.6 水生植被

漂浮植物型: 浮萍群系 (Form. *Lemna minor*) 在稻田中和静水湾处常见, 群系中偶见少量野慈姑 (*Sagittaria trifolia*)。

浮叶植物型: 眼子菜群系 (Form. *Potamogeton distinctus*) 分布于海龙水库海龙坝处, 主要伴生种类有羊蹄、毛茛等。

沉水植物型: ①狐尾藻群系 (Form. *Myriophyllum verticillatum*) 见于北郊水库十字村附近河段, 群落盖度 40%, 常伴生有黑藻和小眼子菜 (*Potamogeton puerillius*) 等种类; ②小茨藻群系 (Form. *Najas minor*) 在海龙水库和北郊水库均有分布, 群落盖度达 80% 以上, 常伴生有竹叶眼子菜、小眼子菜和菹草 (*Pota-*

mogeton crispus) 等; ③竹叶眼子菜群系 (Form. *Potamogeton malaianus*) 广泛分布在公园内水库中的沉水植被, 群落盖度约 70% 以上, 常见伴生种类有黑藻、小眼子菜和狐尾藻等。

4 结论与讨论

贵州汇川喇叭河国家湿地公园共有维管束植物 119 科 240 属 298 种, 植物资源丰富, 种类繁多, 是中亚热带的一个天然物种资源基因库。主要以湿地植被为主要植被类型, 类型多样, 包括 5 个植被型组 11 个植被型 34 个群系。湿地公园的植被类型为针叶林、阔叶林、针阔混交林、灌丛及灌草丛和水生植被 5 个植被型组, 亚热带山地暖型针叶林、中亚热带常绿阔叶林、中亚热带常绿落叶阔叶混交林、中亚热带落叶阔叶林、灌丛及灌草等 11 个植被型和 34 个群系。

针叶林植被 1 个, 为马尾松林, 主要分布于北郊水库面山上。阔叶林植被 2 个, 分别为常绿阔叶林和落叶阔叶林, 常绿阔叶林主要为香叶树群系 (Form. *Lindera communis*), 青冈栎群系 (Form. *Cyclobalanopsis glauca*), 分别分布于湿地公园中立溪附近、湿地公园中海龙水库大坝附近及水邑岩。落叶阔叶林主要为白栎群系 (Form. *Quercus fabri*) 和枫香群系 (Form. *Liquidambar formosana*), 白栎群系广泛分布于湿地公园内的山上, 枫香群系主要分布于北郊水库周边村寨旁。

灌丛植被类型 2 个, 分别为常绿阔叶灌丛林和落叶阔叶灌丛林。常绿阔叶灌丛林为细齿叶柃群系 (Form. *Eurya nitida*), 主要分布于公园内黄鱼孔处。落叶阔叶灌丛为林化香群系 (Form. *Platycarya strobilacea*) 和黄荆群系 (Form. *Vitex negundo*), 化香群系主要分布于海龙水库坝址以下山地下部, 黄荆群系分布于北郊水库面山的下部。

草地植被类型 1 个, 共有蔺草群系 (Form. *Scirpus triquetus*)、水蓼群系 (Form. *Polygonum hydropiper*)、毛茛群系 (Form. *Ranunculus japonicus*) 等 11 个群系。

水生植被类型 3 个, 包括漂浮植物、浮叶植物和沉水植物。漂浮植物主要为浮萍群系 (Form. *Lemna minor*), 稻田中和静水湾处常见, 群系中偶见少量野慈姑 (*Sagittaria trifolia*); 浮叶植物为眼子菜群系 (Form. *Potamogeton distinctus*), 分布于海龙水库海

龙坝处,主要伴生种类有羊蹄、毛茛等;沉水植物为狐尾藻群系(Form. *Myriophyllum verticillatum*)、小茨藻群系(Form. *Najas minor*)和竹叶眼子菜群系(Form. *Potamogeton malaianus*)。

湿地公园植物资源相对丰富,但具有一定人为的破坏,多数群系面积较小,群落结构较为单一,稳定性较差。面积较大且较典型的有狐尾藻群系、小茨藻群系等,是湿地公园的重要水生型植被。此外,由于人为干扰,各种类型演替共存,这为森林演替过程、方向和方式规律以及植被恢复方式的研究提供重要价值。

湿地公园具备涵养水源、丰富景观、生态维护等功能,公园内山清水秀、气候宜人。同时,湿地公园内广布具备不俗经济效益的药用植物资源,但是,湿地公园的主要功能是提供休闲和游憩,这对湿地公园的生态平衡造成一定影响。因此,需要健全各项责任管理制度,严禁各种破坏湿地公园的行为,对湿地公园的开发利用必须以各种动植物能够正常生存为前提,使其既达到应有的生态功能,又能够产生一定经济效益。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 赖春林. 湖北省国家湿地公园空间格局分析与评估[D]. 武汉:湖北大学,2016.
- [2] 代雪玲,谢建平,王蒙,等. 敦煌阳关国家级自然保护区湿地植物群落特征与物种多样性[J]. 湿地科学,2015,13(3):381-386.
- [3] 王立龙,陆林,唐勇,等. 中国国家级湿地公园运行现状、区域分布格局与类型划分[J]. 生态学报,2010,30(9):2406-2415.
- [4] 陈明林,文慧慧,汪小平,等. 安徽秋浦河源湿地植物物种多样性研究[J]. 湿地科学,2014,12(3):369-373.
- [5] 周尔松. 遵义市汇川区地下水水质时空变化及评价[J]. 开封教育学院学报,2016,36(7):283-284.

[6] 国家林业和草原局关于 2019 年试点国家湿地公园验收情况的通知[EB/OL]. (2019-12-27)[2022-03-18]. <http://www.forestry.gov.cn/sites/main/main/gov/content.jsp?TID=20200204102455298817038>.

[7] 林路香,何明华,徐学英,等. 广东孔江国家湿地公园 1 hm² 针阔叶混交林样地群落组成与结构研究[J]. 林业与环境科学,2020,36(1):9-20.

[8] 马克平,黄建辉,于顺利,等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报,1995(3):268-277.

[9] 吴开岑,王定江,冯邦贤. 榕江月亮山植物群落的特征及多样性[J]. 贵州农业科学,2013,41(8):23-27.

[10] LEVANDOWSKY M. Ecological Diversity[J]. Quarterly review of biology,1976,51(2):336-336.

[11] 方精云,王襄平,沈泽昊,等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性,2009,17(6):533-548.

[12] 绿文. 新《国家重点保护野生植物名录》正式公布[J]. 国土绿化,2021(9):48-49.

[13] 吴征镒,孙航,周浙昆,等. 中国种子植物区系地理[J]. 生物多样性,2011,19(1):1.

[14] 佚名. 贵州人民出版社[J]. 编辑学刊,2015(1):4.

[15] 杜芳娟,陈品冬. 荔波世界自然遗产地的景观美学特征分析[C]//贵州省地理学会. 现代地理科学与贵州社会经济. 贵阳:贵州科技出版社,2009.

[16] 李朝阳,刘恺,陈勇,等. 轿子山自然保护区植被类型及其分布特点研究[J]. 山东林业科技,2010,40(2):4.

收稿日期:2022-06-09;修回日期:2022-09-12

基金项目:贵州省科学技术基金(黔科合基础 ZK[2021]一般 097);贵州科学院院长基金(黔科院字[2017]3 号);国家湿地公园试点建设项目(贵州汇川喇叭国家湿地公园生物多样性监测)资助。

作者简介:陈 荟,林业助理工程师,主要从事森林资源保护相关工作和研究。

▲通讯作者:梁 康,林业高级工程师,主要从事森林资源保护、监测等相关工作和研究。

八角枫药材质量控制含量测定方法研究*

陈志琳, 杨 可, 杜洪志, 李 玮[▲]

(贵州中医药大学, 贵州 贵阳 550025)

摘 要: **目的:** 建立八角枫总生物碱含量测定方法, 测定黔产八角枫中的水分、浸出物含量, 并规定其限度范围, 为八角枫质量控制提供实验依据。**方法:** 以八角枫碱为标准品, 采用酸性染料比色法测定八角枫中总生物碱的含量, 依照《中国药典》2020 年版水分和浸出物测定方法, 测定八角枫中水分和浸出物含量。**结果:** 八角枫碱在 0.180 ~ 0.450 mg/mL 浓度范围内, 回归方程 $Y=1.6024X-0.0389$, $R^2=0.9996$, 吸光度与浓度具有良好线性关系, 平均加样回收率为 100.19%, $RSD<3\%$ 。不同产地 10 批次八角枫药材总生物碱含量在 0.015% ~ 0.029% 之间, 水分含量在 4.36% ~ 9.00% 之间, 水溶性浸出物含量在 10.23% ~ 24.59% 之间, 醇溶性浸出物含量在 9.69% ~ 23.81% 之间, 建议水分含量不得超过 8.50%, 水溶性浸出物含量和醇溶性浸出物分别不得低于 10.06% 和 9.54%。**结论:** 采用酸性染料比色法测定八角枫中的总生物碱方法操作简单、重复性好、准确度高, 同时, 水分和浸出物含量的测定结果可以用于八角枫药材的质量控制。

关键词: 八角枫, 总生物碱, 酸性染料法, 质量控制

中图分类号: R284.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0014-08

Determination method of total alkaloids in *Alangium chinense**

CHEN Zhilin, YANG Ke, DU Hongzhi, LI Wei[▲]

(Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China)

Abstract: In this study we established a method for the determination of total alkaloids in *Alangium chinense*. The contents of water and extracts in *A. chinense* from Guizhou were determined, and their limit ranges were specified, so as to provide experimental basis for the quality control of *A. chinense*. Using L(-) Anabasinein as the control substance, the content of total alkaloids in *A. chinense* was determined by acid dye colorimetric method. According to the determination methods provided in the Chinese Pharmacopoeia 2020, the contents of water and extracts in *A. chinense* were determined. In the concentration range of 0.180 mg/mL to 0.450 mg/mL, the regression equation was $Y=1.6024X-0.0389$, $R^2=0.9996$, the absorbance and concentration had a good linear relationship, the average recovery was 100.19%, $RSD<3\%$. The total alkaloids in 10 batches of *A. chinense* from different origins was between 0.015% and 0.029%, the water content was between 4.36% and 9.00%, the content of water-soluble extracts was between 10.23% and 24.59%, and the content of alcohol-soluble extracts was between 9.69% and 23.81%. It is recommended that the water content should not exceed 8.50%, and the content of water-soluble extracts and alcohol-soluble extracts should not be less than 10.06% and 9.54%, respectively. The method for the determination of total alkaloids in *A. chinense* is simple to operate, with good accuracy and reproducibility. The determination results of water content and extracts can be used for the quality control of *A. chinense*.

Keywords: *Alangium chinense*, total alkaloids, acid dye colorimetric method, quality control

八角枫为八角枫科八角枫属植物八角枫 *Alangium chinense* (Lour.) Harms 的干燥须根^[1], 又名白

筋条(《四川中药志》)、八角枫(《简易草药》)、木八角(《本草纲目拾遗》)等^[2]。在《简易草药》中首次记载中药八角枫,曾收载于《中国药典》1977年版一部。八角枫为落叶小乔木或灌木,其叶有八个角,因此命名为八角枫,主要分布于湖南、四川、贵州等地^[3]。

八角枫为贵州常用黔药,是贵州汉族、苗族、布依族、水族等民族习用药物。药材来源均为野生。具有祛风除湿、舒筋活络、散瘀止痛等功效,临床及民族民间主要用于风湿痹痛、四肢麻木、跌打损伤^[4]。八角枫还作为主药在“消痹灵合剂”“风湿定片”“枫荷梨祛风湿酒”等制剂中被使用。随着中药发展及中成药生产规模的不断扩大,八角枫药材的应用也越来越广泛。八角枫中的主要有效成分为生物碱类化合物^[5]。其中生物碱类成分具有抗肿瘤^[6]、升血压^[7]、肌肉松弛等^[8-9]药理作用。目前八角枫的质量控制研究主要以八角枫碱为指标^[10-12],较少涉及其他成分^[10-12],《贵州省中药材民族药材》2003年版记载八角枫药材质量标准只有鉴别项(横切面、粉末和生物碱)。且各地方标准中未制定含量测定指标。为此,笔者采用紫外-可见分光光度法测定八角枫中总生物碱的含量,依据《中国药典》2020年版四部通则项下水分及浸出物含量的测定方法,检测八角枫药材中水分及浸出物含量,以期为黔产八角枫药材八角枫的质量评价提供科学的依据和参考。

1 材料与方法

1.1 材料

所有试验药材样品均由贵州中医药大学杜洪志老师准确鉴定为八角枫(*A. chinense*)的干燥细须根。供试样品共10个批次,产地分别为贵州毕节(5个批次)、贵州贵阳(2个批次)、贵州凯里(2个批次)以及贵州遵义(1个批次)。样品置于鼓风干燥机中55℃烘干后粉碎过筛。信息见表1。

甲醇、乙酸(天津市富宇精细化工有限公司)、乙腈(天津市北辰方正试剂厂)、庚烷磺酸钠(天津市科密欧化学试剂有限公司)、磷酸二氢钾(成都金山化学试剂有限公司)、八角枫碱,纯度98%(贵州迪大生物科技有限公司)。

表1 八角枫须根的产地与采集日期

药材编号	采集日期(年月)	产地
S1	20210902	贵州毕节
S2	20210902	贵州毕节
S3	20210920	贵州毕节
S4	20210920	贵州毕节
S5	20210521	贵州毕节
S6	20210718	贵州遵义
S7	20210921	贵州凯里
S8	20210921	贵州凯里
S9	20210917	贵州贵阳
S10	20210917	贵州贵阳

1.2 仪器

高效液相色谱仪(美国赛默飞公司);分析天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司);SHA-B数显恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司);超声机(上海易净超声波仪器有限公司);沃特浦超纯水机(四川沃特尔特水处理设备有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 对照品溶液的制备

取八角枫碱对照品,精密称定10.0 mg,置于5 mL容量瓶中,加5%醋酸的30%甲醇溶液溶解定容,得浓度为2 mg/mL的对照品溶液。

1.3.2 供试品溶液的制备

精密称定八角枫药材生品粉末约0.5 g,精密加入25 mL含5%乙酸的30%甲醇溶液于锥形瓶中,超声提取(功率250 W,频率40 kHz)50 min,提取完成后放冷至室温,用提取溶液补足减失的重量,摇匀,过滤,即得。

1.3.3 酸性染料的制备

精密称定溴百里香酚蓝0.03 g,精密加入0.5 mL 1 mol/L的氢氧化钠溶液并用蒸馏水定容于100 mL的棕色容量瓶中。

1.3.4 缓冲溶液的制备

精密称定磷酸二氢钾2.72 g,加入蒸馏水,配制成0.2 mol/L的磷酸二氢钾溶液,用氢氧化钠溶液或乙酸溶液调节pH值,配制成pH 4.5的缓冲溶液。

1.3.5 检测波长的选择

精密吸取1 mL对照品溶液,0.6 mL试品溶液,

置分液漏斗中,各加入 12 mL pH 4.5 的缓冲溶液,2 mL 酸性染料,12 mL 石油醚,充分振摇 1 min,静置 1 h,以未加对照品或供试品溶液的同法操作,作为试剂空白。按照《中国药典》2020 年版四部(通则 0401 紫外-可见分光光度法)的要求在 200 ~ 800 nm 范围内扫描。结果表明,光谱扫描曲线在 259 nm 波长处有紫外最大吸收,因此选择 259 nm 作为检测波长。结果见图 1 和图 2。

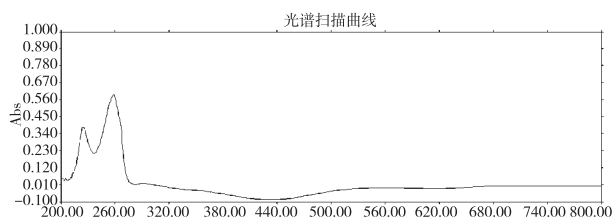


图 1 对照品光谱扫描

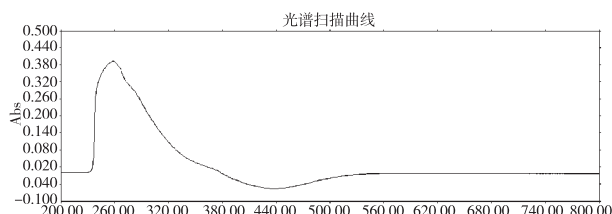


图 2 供试品光谱扫描

1.3.6 显色条件的选择

按照“1.3.2”项下制备供试品溶液,稀释 1.3 倍,精密吸取 0.6 mL 供试品溶液,加入 10 mL pH4.5 的缓冲溶液,1.5 mL 酸性染料,10 mL 石油醚,充分振摇 1 min,静置 30 min 后,以未加供试品溶液的同法操作作为试剂空白。在 259 nm 处测定吸光度。

1.3.7 酸性染料比色法的方法学考察

1.3.7.1 线性关系试验

精密吸取对照品溶液 2.0 mL、2.5 mL、3.0 mL、3.5 mL、4.0 mL、4.5 mL、5.0 mL 于 5 mL 容量瓶中,分别加 35% 甲醇溶液定容,按“1.3.6”项下操作。以对照品浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制曲线。

1.3.7.2 精密度试验

精密吸取八角枫对照品溶液 1.0 mL 置于分液漏斗中,按照“1.3.6”项下的显色条件显色,取石油醚层于 259 nm 波长处测定吸光度,连续测定 6 次,测得 $RSD=0.16\%$,说明仪器所测得数据准确可靠。

1.3.7.3 稳定性试验

精密吸取同一供试品溶液 1.0 mL 置于分液漏

斗中,按照“1.3.6”项下的操作方法,取石油醚层,分别在 0 min、10 min、20 min、30 min、40 min、50 min、60 min 于 259 nm 波长处测定吸光度,结果 $RSD=1.47\%$,表明供试品溶液在 1 h 内基本稳定。

1.3.7.4 重复性试验

取同一批八角枫细粉(S6)6 份,每份约 1.0 g,按照“1.3.2”项下方法制备供试品溶液,精密吸取供试品溶液 6 份,每份 1 mL,依“1.3.6”项下方法处理显色后,于 259 nm 波长处测定吸光度,结果八角枫中总生物碱平均百分含量在 0.015% ~ 0.029% 之间, $RSD=1.36\%$,表明实验方法重现性良好。

1.3.7.5 加样回收率试验

精密称定 6 份已知含量的样品 0.25 g,并加入已知浓度的对照品溶液 8 mL,混匀,按“1.3.6”项下方法操作,于 259 nm 波长处测定吸光度值。

1.3.7.6 样品含量的测定

取 10 批八角枫药材样品粉末,按“1.3.2”项下方法制备供试品溶液,再按“1.3.6”项下条件测定吸光度,记录吸光度值,计算样品含量。

1.3.8 水分含量的测定

按照《中国药典》2020 年版四部(通则 0832)水分测定法(烘干法)测定水分含量。

1.3.9 浸出物含量的测定

按照《中国药典》2020 年版四部(通则 2201)浸出物测定法(热浸法),以水和乙醇做溶剂,测定水溶性浸出物和醇溶性浸出物含量。

1.3.10 聚类分析

以 10 批八角枫须根药材的总生物碱含量为原始数据,应用组间连接的聚类方法,利用 SPSS26.0 进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 线性关系试验结果

精密吸取对照品溶液适量,按“1.3.6”项下显色条件显色,于 259 nm 波长处测定吸光度,以对照品浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制曲线,得回归方程: $Y=1.6024X-0.0389$ ($R^2=0.9996$),回归方程在 0.180 ~ 0.450 mg/mL 的浓度范围内线性关系良好,标准曲线见图 3。

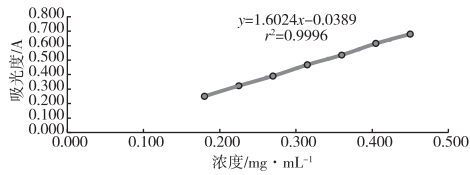


图3 标准曲线

2.2 精密度试验结果

精密吸取对照品溶液适量,按照“1.3.6”项下操作并连续测定6次,于259 nm波长处测定吸光度值,结果RSD为0.16%,表明仪器与对照品之间精密度良好。

2.3 稳定性试验结果

取“1.3.2”项下供试品溶液适量,分别于室温下放置0 min、10 min、20 min、30 min、40 min、50 min、60 min后,按“1.3.6”项下操作测定,记录吸光度值。结果显示RSD值为1.47% (n=6),表明上述供试品溶液于室温下放置1 h内稳定性良好。

2.4 重复性试验结果

取八角枫药材样品(S5)1.0 g,6份,按“1.3.2”项下方法制备供试品溶液,按“1.3.6”项下操作测定,记录吸光度值。八角枫总生物碱的平均百分含量为0.023%,RSD为1.09%,表明该方法有较好的重复性。

2.5 加样回收率试验结果

精密称取已知含量的八角枫药材(S5)样品粉0.25 g,共6份,加入已知浓度(0.450 mg/mL)的对照品溶液8 mL,按“1.3.6”项下操作,记录吸光度值,计算得平均回收率为100.19%,RSD为1.73%,表明该方法测定的准确度较高,结果见表2。

表2 回收率试验结果

序号	称样量 /g	样品含量 /mg	加入量 /mg	吸光度 /A	测得值 /mg	回收率 /%	平均回收率 /%	RSD /%
1	0.2500	3.8075	3.6000	0.330	7.4821	102.07		
2	0.2501	3.8075	3.6000	0.335	7.5835	104.89		
3	0.2500	3.8075	3.6000	0.324	7.3604	98.69	100.19	1.73
4	0.2500	3.8075	3.6000	0.329	7.4618	101.51		
5	0.2499	3.8075	3.6000	0.320	7.2792	96.44		
6	0.2500	3.8075	3.6000	0.322	7.3198	97.56		

2.6 样品含量测定结果

取10个批次的八角枫药材样品粉末,每个批次平行3份,每次精密量取2 mL,按照“1.3.6”项下进行操作,取石油醚层于259 nm波长处测定吸光度,根据标准曲线计算八角枫总生物碱的含量,得10个批次八角枫中总生物碱平均含量在0.015%~0.029%之间,结果见表3和图4。

表3 八角枫药材总生物碱含量测定结果(n=3)

编号	药材来源	称样量 /g	吸光度 /A	总生物碱含量 /mg·g ⁻¹	平均含量 /mg·g ⁻¹	RSD /%
S1	贵州毕节1	0.5002	0.665	28.55		
		0.5001	0.685	29.36	29.07	1.54
		0.5002	0.683	29.28		
S2	贵州毕节2	0.5001	0.594	25.67		
		0.5003	0.573	24.82	25.48	2.32
		0.5002	0.601	25.96		
S3	贵州毕节3	0.5002	0.593	25.63		
		0.5002	0.594	25.67	25.56	0.60
		0.4999	0.587	25.39		
S4	贵州毕节4	0.5002	0.599	25.88		
		0.4999	0.576	24.94	25.24	2.18
		0.5001	0.575	24.90		
S5	贵州毕节5	0.5001	0.538	23.40		
		0.5001	0.517	22.55	22.98	1.85
		0.4998	0.5000	0.528		
S6	贵州遵义	0.597	23.00	25.79		
		0.4998	0.593	25.63	25.61	0.80
		0.5001	0.587	25.39		
S7	贵州凯里	0.4999	0.485	21.25		
		0.4999	0.463	20.36	20.91	2.31
		0.5000	0.482	21.13		
S8	贵州益佰	0.5000	0.551	23.93		
		0.5000	0.547	23.77	23.90	0.52
		0.5001	0.553	24.01		
S9	贵阳花溪1	0.5001	0.335	15.17		
		0.4999	0.330	14.96	15.23	2.03
		0.5001	0.345	15.57		
S10	贵阳花溪2	0.5000	0.371	16.63		
		0.5001	0.360	16.18	16.57	2.22
		0.5001	0.378	16.91		

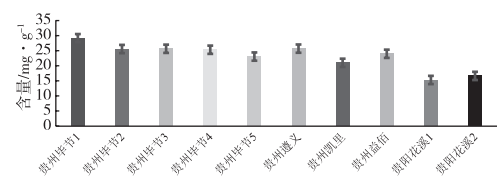


图 4 八角枫总生物碱含量测定结果

2.6.1 聚类分析结果

以 10 批八角枫样品的总生物碱含量为原始数据,导入 SPSS26.0,采用组间联结法,以欧式平方距离为分类依据,进行系统聚类。由图 5 可知,当判别距离为 25 时,黔产各地八角枫可聚成 3 类,其中产自贵州毕节 3 和贵州遵义的 2 个批次聚为一类,产自贵阳的 2 个批次聚为一类,其余 6 个批次聚为一类。

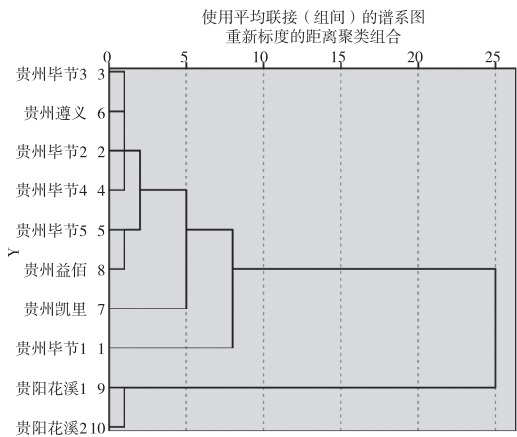


图 5 系统聚类分析结果图

2.6.2 方差分析结果

在“方差齐性检验表”中,显著性大于 0.05,说明可以使用单因素方差分析法;在“ANOVA”表中显著性小于 0.05,说明组间存在显著性差异,即不同产地批次八角枫药材总生物碱含量有明显差异。方差分析见表 4 和表 5。

表 4 方差齐性检验

总碱含量	莱文统计	自由度 1	自由度 2	显著性
基于平均值	1.839	9	20	0.123
基于中位数	0.319	9	20	0.959
基于中位数并具有调整后自由度	0.319	9	11.014	0.951
基于剔除后平均值	1.648	9	20	0.168

表 5 ANOVA 分析

总碱含量	平方和	自由度	均方	F	显著性
组间	503.973	9	55.997	355.522	0.000
组内	3.150	20	0.158		
总计	507.123	29			

2.7 水分含量测定结果

按照《中国药典》2020 年版四部(通则 0832)水分测定法(烘干法)测定水分含量。精密称定不同产地批次八角枫药材样品约 2 g,结果见表 6 和图 6。

表 6 八角枫药材水分含量测定结果(n=3)

序号	药材来源	称样量 /g	水分含量 /%	平均含量 /%	RSD /%
S1	贵州毕节 1	2.0001	8.27	8.28	0.39
		1.9999	8.26		
		1.9999	8.32		
S2	贵州毕节 2	2.0000	8.23	8.17	0.80
		1.9999	8.10		
		1.9999	8.18		
S3	贵州毕节 3	2.0001	7.85	7.86	0.29
		1.9999	7.85		
		2.0001	7.89		
S4	贵州毕节 4	2.0001	6.48	6.45	0.72
		2.0001	6.48		
		2.0000	6.40		
S5	贵州毕节 5	2.0000	7.79	7.74	0.65
		1.9999	7.69		
		2.0001	7.75		
S6	贵州遵义	1.9999	5.96	5.88	1.19
		1.9999	5.85		
		1.9999	5.83		
S7	贵州凯里	2.0000	7.63	7.69	0.72
		1.9999	7.72		
		2.0000	7.73		
S8	贵州益佰	2.0001	4.35	4.36	0.95
		1.9999	4.33		
		2.0001	4.41		
S9	贵阳花溪 1	2.0001	8.93	9.00	0.74
		2.0001	9.04		
		2.0000	9.05		
S10	贵阳花溪 2	2.0001	5.48	5.44	0.84
		2.0001	5.45		
		2.0001	5.39		

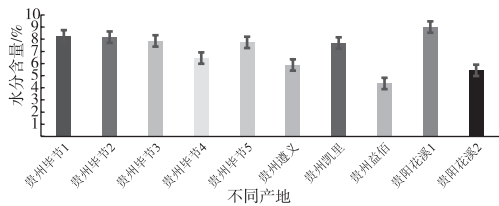


图6 水分含量测定结果

2.8 浸出物含量测定

2.8.1 水溶性浸出物

按照《中国药典》2020 年版四部(通则 2201)浸出物测定法(热浸法)测定水溶性浸出物含量。精密称定不同产地批次八角枫药材样品约 2 g,精密加水 50 mL,取滤液 25 mL,结果见表 7 和图 7。

表 7 八角枫药材水溶性浸出物含量测定结果(n=3)

序号	样品来源	称样量 /g	浸出物含量 /%	平均含量 /%	RSD /%
S1	贵州毕节 1	2.0001	15.81	15.78	0.22
		2.0000	15.74		
		2.0001	15.78		
S2	贵州毕节 2	2.0000	14.71	14.51	1.38
		1.9999	14.50		
		2.0001	14.31		
S3	贵州毕节 3	1.9999	18.74	18.42	1.54
		2.0000	18.32		
		1.9999	18.20		
S4	贵州毕节 4	2.0001	18.48	18.90	1.93
		2.0000	19.16		
		2.0001	19.05		
S5	贵州毕节 5	2.0001	12.40	12.46	0.53
		2.0001	12.53		
		1.9999	12.44		
S6	贵州遵义	2.0001	24.56	24.59	1.42
		2.0001	24.95		
		1.9998	24.25		
S7	贵州凯里	2.0000	12.01	12.10	1.73
		2.0001	12.34		
		2.0002	11.95		
S8	贵州益佰	2.0000	10.08	10.23	2.65
		2.0001	10.54		
		2.0001	10.06		

续表 7

序号	样品来源	称样量 /g	浸出物含量 /%	平均含量 /%	RSD /%
S9	贵阳花溪 1	1.9999	22.96	22.53	1.72
		2.0001	22.21		
		1.9998	22.43		
S10	贵阳花溪 2	2.0001	11.99	11.86	1.03
		2.0000	11.77		
		1.9999	11.81		

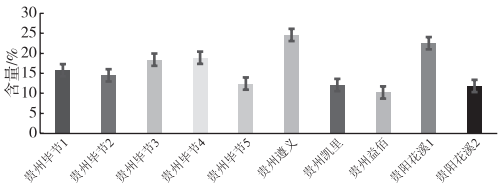


图 7 水溶性浸出物含量测定结果

2.8.2 醇溶性浸出物

按照“2.8.1”项下操作,分别选择 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90% 不同浓度的乙醇作为溶剂,得到不同乙醇浓度下浸出物含量。结果表明,浸出物含量在乙醇浓度为 70% 时较高,因此选择乙醇浓度为 70% 的乙醇作为提取溶剂,结果见表 8 和图 8。

表 8 八角枫药材醇溶性浸出物含量测定结果(n=3)

序号	样品来源	称样量 /g	浸出物含量 /%	平均含量 /%	RSD /%
S1	贵州毕节 1	2.0000	14.87	14.81	1.36
		2.0000	14.98		
		2.0000	14.59		
S2	贵州毕节 2	2.0002	13.63	13.41	2.01
		2.0001	13.11		
		2.0001	13.49		
S3	贵州毕节 3	1.9999	17.47	17.70	1.13
		2.0001	17.81		
		1.9999	17.82		
S4	贵州毕节 4	2.0001	17.72	17.52	1.03
		2.0000	17.37		
		2.0001	17.47		
S5	贵州毕节 5	1.9999	11.54	11.67	1.76
		2.0001	11.57		
		2.0001	11.91		

续表 8

序号	样品来源	称样量 /g	浸出物含量 /%	平均含量 /%	RSD /%
S6	贵州遵义	2.0001	23.64	23.81	2.11
		2.0000	24.37		
		1.9999	23.41		
S7	贵州凯里	2.0002	11.39	11.29	0.74
		2.0001	11.25		
		2.0002	11.24		
S8	贵州益佰	2.0001	9.62	9.69	2.07
		2.0001	9.92		
		2.0001	9.54		
S9	贵阳花溪 1	1.9998	21.81	22.16	2.61
		2.0001	22.83		
		1.9999	21.85		
S10	贵阳花溪 2	1.9999	11.37	11.20	1.77
		2.0001	11.24		
		2.0000	10.98		

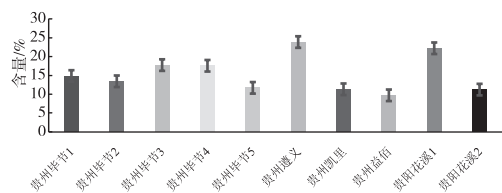


图 8 醇溶性浸出物含量测定结果

3 讨论与结论

目前对于八角枫的质量控制没有统一的国家标准,只有少数省份收载并制定了地方标准,检测项目及其控制的限度各有不同。八角枫有很好的抗炎、镇痛等药理活性,其品质的优劣对于药效的发挥至关重要,八角枫的总生物碱、水分及浸出物含量是影响品质的主要指标,所以控制好这些指标对于八角枫的质量控制至关重要。本实验中对黔产 10 个批次八角枫样品进行了总生物碱、水分及浸出物含量的测定,结果为提高八角枫的质量控制方法提供了实验依据,可用于建立八角枫的质量评价标准,对于保证其质量具有重要意义。

在对八角枫总生物含量测定研究中,对影响酸性染料比色法测定的因素和条件进行了优化,最终确定了酸性染料为溴百里香酚蓝;缓冲液为磷酸二氢钾-氢氧化钠;缓冲液用量 10 mL,pH3.5;酸性染

料的用量 1.5 mL,有机溶液石油醚用量 10 mL,静置时间 30 min,测得离子对在 259 nm 波长处吸光度最大,应用最佳条件测得不同产地 10 个批次的八角枫提取物中总生物碱的含量在 0.015% ~ 0.029% 之间。该方法具有一定的专属性和准确度,灵敏度高,简便易行,适用于八角枫药材中总生物碱含量的测定,用于其质量的控制。

水分含量在 4.36% ~ 9.00% 之间,水溶性浸出物含量在 10.23% ~ 24.59% 之间,醇溶性浸出物含量在 9.69% ~ 23.81% 之间,建议水分含量不得超过 8.50%,水溶性浸出物含量和醇溶性浸出物分别不得低于 10.06% 和 9.54%。

本实验结果可为今后八角枫制定质量标准及八角枫资源开发利用提供理论依据。

参考文献【REFERENCES】

[1] 刘毅,徐廷婷,赵波,等. 苗药八角枫的药学研究进展[J]. 微量元素与健康研究,2012,29(1):57-60.

[2] 岳跃栋. 双斑獐牙菜和八角枫的化学成分与生物活性研究[D]. 武汉:华中科技大学,2016.

[3] 刘玉梅,李红念,梅全喜. 广东地产药材八角枫的药理作用和临床应用研究进展[J]. 今日药学,2011,21(6):325-327.

[4] 汪毅. 黔本草[M]. 贵阳:贵州科技出版社:2015.

[5] 周文斌,黄火强,燕梦云,等. 苗药八角枫中生物碱类成分分离和结构鉴定[C]//中国化学会第十一届全国天然有机化学学术会议论文集(第四册). 2016:59.

[6] 练东银,侯红平,张广平,等. 八角枫碱的神经毒性及机制[J]. 中国药理学与毒理学杂志,2021,35(10):788.

[7] 章元沛,杨秋火. 关于八角枫碱心血管系统作用的若干实验观察[J]. 浙江医科大学学报,1982(S2):324-325.

[8] 八角枫碱肌肉松弛作用的研究[J]. 新医药学杂志,1974(10):45-50.

[9] 丁辰,金中初. 八角枫碱对膈肌的松弛作用及应用新斯的明对抗的实验研究[J]. 浙江医科大学学报,1981(6):270-274.

[10] 王其勇,许亚玲. HPLC 法测定八角枫药材不同药用部位中 L(-)-八角枫碱的含量[J]. 中国药房,2016,27(27):3877-3879.

[11] 胡玉霞,和芳,余启荣,等. HPLC 测定制八角枫中八角枫碱的含量[J]. 中国实验方剂学杂志,2011,17(12):56-58.

[12] 王其勇,许亚玲,钟宏波. 八角枫不同药用部位的高效液相指纹图谱测定[J]. 贵州农业科学,2015,43(2):133-136.

[13] 冉海霞,赵波,包凤英,等. 不同产地八角枫根及须根的水分和浸出物的含量测定[J]. 微量元素与健康研究,2013,30(1):38-40.

贵州典型极小种群植物西畴青冈 *Cyclobalanopsis sichourensis* 群落结构特征分析*

袁茂琴, 黄凤燕, 何选泽, 李晓芳, 徐建, 杨加文[▲], 周庆

(贵州省植物园, 贵州 贵阳 550004)

摘要: 采用样方调查法, 以贵州目前已知唯一分布点的西畴青冈 *Cyclobalanopsis sichourensis* 群落为研究对象, 分析了群落的物种组成、群落结构特征。结果表明, 该群落中共有 41 科 61 属 66 种植物; 其中乔木层 10 科 13 属 13 种, 灌木层有 23 科 31 属 34 种, 草本层 15 科 22 属 23 种, 层间植物 5 科 5 属 5 种。从龄级结构看, 西畴青冈属于增长型种群, 从生活型看, 群落中以高位芽植物为主, 此外, 还分析了西畴青冈分布区域狭窄的原因, 应该加强对西畴青冈群落的保护。本文可为西畴青冈的保护提供一定理论依据。

关键词: 贵州, 西畴青冈, 群落结构

中图分类号: Q94 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0021-06

Studies on the community structure of typical minimal population species *Cyclobalanopsis sichourensis* in Guizhou*

YUAN Maoqin, HUANG Fengyan, HE Xuanze, LI Xiaofang, XU Jian, YANG Jiawen[▲], ZHOU Qing

(Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550004, China)

Abstract: The community structure of the minimal population species *Cyclobalanopsis sichourensis* was investigated by using sample plot method. The results showed that there were 66 vascular plants belonging to 41 families and 61 genera in the community. Among them, 10 families, 13 genera and 13 species were in the arbor layer, 23 families, 31 genera and 34 species were in the shrub layer, 15 families, 22 genera and 23 species were in the herb layer, and 5 families, 5 genera and 5 species were interlayer plants. From the age structure, *C. sichourensis* belonged to an expanding population. From the life form, the community mainly consisted of phanerophytes. In addition, the reason for the narrow distribution area of *C. sichourensis* was analyzed. This paper can provide a theoretical basis for the protection of *C. sichourensis*.

Keywords: Guizhou, *Cyclobalanopsis sichourensis*, community structure

[14] 段红, 翟科峰, 高贵珍, 等. RP-HPLC 测定八角枫药材中的水杨苷[J]. 光谱实验室, 2012, 29(2): 1065-1068.

号); 2020 年大学生创新创业训练计划项目-75; 贵州省中医药管理局中医药科学技术研究重点项目(QZYYZD-2019-01); 贵州中医药大学中药产地加工与炮制研究中心。

作者简介: 陈志琳(1990-), 女, 实验师, 在读硕士生, 主要从事中药民族药资源分类鉴定与质量控制关研究工作。

▲通讯作者: 李玮(1964-), 教授, 主要从事中药民族药产地加工与炮制相关研究工作。

收稿日期: 2022-07-03; 修回日期: 2022-07-29

基金项目: 贵州省中药炮制技术传承基地建设(国家中医药科技[2015]86号); 贵州中医药大学科研项目(贵中医科院内[2019]78

植物群落是一定区域植物之间相互作用并受环境影响的结果,植物群落为动植物的栖息创造了必要条件,确保了地球生态系统的服务功能,是生态系统的基本组成单元^[1]。群落空间分布格局和物种组成是群落生态系统功能的基础,可用来衡量群落中物种的多样性。群落的物种组成以及优势种空间分布格局研究,可以为物种共存和生物多样性维持机制的研究提供重要信息^[2]。随着气候变化及人类生产活动的影响,物种多样性的丧失正发展成为全球面临的最严重的问题之一,尤其是对扩散能力有限的植物类群^[3]。相关研究显示,人类活动是造成生物多样性变化的第一驱动因子,其正在造成地球上生物物种以前所未有的速度消逝^[4],在部分地区,生境被过度利用是导致物种退化的重要原因^[5]。

西畴青冈 *Cyclobalanopsis sichourensis* 为壳斗科 Fagaceae 青冈属 *Cyclobalanopsis* 植物^[6],是我国濒临灭绝的珍稀植物,处于极危状态,属于极小种群物种^[7]。2021 年《国家重点保护野生植物名录(珍稀植物名录)(2021 年版)》将其由无保护等级新增为国家Ⅱ级重点保护野生植物,被世界自然保护联盟评为“极危种”。它主要分布于云南的富宁、西畴和贵州册亨的狭窄区域,野生种群不足百株。为高大常绿乔木,树干挺拔,在生态系统中发挥着重要的作用;西畴青冈的壳斗是青冈属中最大的,对于研究青冈属的系统分类和演化具有重要意义^[6]。据资料记载^[8],贵州省册亨县达央乡洛法村也仅有一颗大树残存于田边,根据调查结果显示,目前已知贵州只有这唯一的分布点,因此,西畴青冈是贵州典型的极小种群植物。

目前,关于西畴青冈的相关研究较少,没有得到应有的重视,相关报道主要是分布地和生长状况等^[8-9],关于西畴青冈群落物种结构特征的研究尚未见报道,而有关极小种群物种黄梅秤锤树^[2]、单性木兰^[10]、狭叶坡垒^[11]的研究为其相应物种的保护提供了科学依据,故拟对贵州目前已知的唯一一个西畴青冈群落结构特征进行分析,以期对西畴青冈的保护提供一定程度的理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

调查地位于册亨县达央乡洛法村,海拔 768 m,

土壤为山地黄壤,土层厚度 60 ~ 180 cm,植被总盖度 80%,坡度 15°,北向,坡位为下部,根据达央乡多年平均气象资料,调查地年均气温 24 °C,年均降水量 1075 mm,最热月平均 30 °C,极端最高温度 38.3 °C,最冷月平均气温 4.5 °C,极端最低温度-3.5 °C。

1.2 样方设置

在群落内,沿等高线设置 30 m×20 m 的样地,面积为 600 m²。在样地内划分为 10 个 10 m×6 m 的样方;记录其中乔木、灌木的物种信息,草本调查在 10 个样方中各设置 1 m×1 m 样方进行^[12]。乔木层从胸径≥0.05 m 的植株开始调查,进行种类、胸径、树高和冠幅调查,同时,灌木调查种类、数量、平均高、平均地径、平均覆盖度;草本调查种类、数量、平均高、平均盖度,在进行样地调查的同时,对层间植物也进行调查,记录群落的生境特征,并计算重要值^[13-14]。

1.3 数据处理

按照植物群落学^[15]有关的内容,重要值计算公式如下:

某物种重要值(*IPV*, Important Value)=[相对显著度(relative dominance, *RD*)+相对密度(relative abundance, *RA*)+相对频度(relative frequency, *RF*)]/3;

$RD = (\text{某物种胸高断面积之和} / \text{所有物种胸高断面积之和}) \times 100\%$, 灌木层重要值计算时以相对盖度(Relative coverage, *RC*)代替相对显著度;

$RA = (\text{某物种密度} / \text{所有物种密度之和}) \times 100\%$;

$RF = (\text{某物种频度} / \text{所有物种频度之和}) \times 100\%$;

$RC = (\text{某物种盖度} / \text{所有物种盖度之和}) \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 群落的物种组成

样地内共有植物 44 科 61 属 66 种,样地中出现植物最多的科为菊科 Asteraceae,为 4 属 4 种,而后是壳斗科 Fagaceae 和禾本科 Poaceae,均为 3 属 3

种。其次是桑科 Moraceae、蔷薇科 Rosaceae 和紫金牛科 Myrsinaceae 等 3 科含有 2 属 3 种。大戟科 Euphorbiaceae、蝶形花科 Fabaceae、漆树科 Anacardiaceae、茜草科 Rubiaceae、忍冬科 Caprifoliaceae、荨麻科 Urticaceae、榆科 Ulmaceae 等 9 科样地中含有 2 属 2 种,菝葜科 Smilaceae 和卷柏科 Selaginellaceae 含有 1 属 2 种,其余如蚌壳蕨科 Dicksoniaceae、番荔枝科 Annonaceae、金缕梅科 Hamamelidaceae、木兰科 Magnoliaceae、山茶科 Teaaceae、杉科 Taxodiaceae、鸭跖草科 Commelinaceae 等 29 科在样地中只含有 1 属 1 种。具体科属组成情况见表 1。出现了木兰科、壳斗科、山茶科、金缕梅科等亚热带常绿阔叶林中常见类群的植物。群落中有部分属在植物系统演化中是古老子遗的类群,如桫欏属 *Eurya*、壳斗科的栲属 *Castanopsis* 等。

表 1 西畴青冈群落物种组成表

科名 Family	属 Genus	种 Species	科名 Family	属 Genus	种 Species
菝葜科 Smilaceae	1	2	木通科 Lardizabalaceae	1	1
蚌壳蕨科 Dicksoniaceae	1	1	木犀科 Oleaceae	1	1
大戟科 Euphorbiaceae	2	2	葡萄科 Vitaceae	1	1
大麻科 Cannabaceae	1	1	漆树科 Anacardiaceae	2	2
蝶形花科 Fabaceae	2	2	茜草科 Rubiaceae	2	2
冬青科 Aquifoliaceae	1	1	蔷薇科 Rosaceae	2	3
杜鹃花科 Ericaceae	1	1	秋海棠科 Begoniaceae	1	1
番荔枝科 Annonaceae	1	1	忍冬科 Caprifoliaceae	2	2
禾本科 Poaceae	3	3	三白草科 Saururaceae	1	1
胡桃科 Juglandaceae	1	1	伞形科 Umbelliferae	1	1
夹竹桃科 Apocynaceae	1	1	桑科 Theaceae	2	3
金缕梅科 Hamamelidaceae	1	1	山茶科 Teaaceae	1	1
桔梗科 Campanulaceae	1	1	杉科 Taxodiaceae	1	1
菊科 Asteraceae	4	4	肾蕨科 Nephrolepidaceae	1	1
卷柏科 Selaginellaceae	1	2	鼠李科 Rhamnaceae	1	1
爵床科 Acanthaceae	1	1	天门冬科 Asparagaceae	1	1
壳斗科 Fagaceae	3	3	五加科 Araliaceae	1	1
里白科 Gleicheniaceae	1	1	虎耳草科 Saxifragaceae	1	1
楝科 Meliaceae	1	1	荨麻科 Urticaceae	2	2
蓼科 Polygonaceae	1	1	鸭跖草科 Commelinaceae	1	1
马鞭草科 Verbenaceae	1	1	榆科 Ulmaceae	2	2
爵床科 Acanthaceae	1	1	紫金牛科 Myrsinaceae	2	3
木兰科 Magnoliaceae	1	1			

2.2 群落结构分析

在该西畴青冈群落中,群落可分为乔木层、灌木

层和草本层 3 层,此外,还有部分层间植物。

由西畴青冈、杉木 *Cunninghamia lanceolata*、板栗 *Castanea mollissima*、丝栗栲 *Castanopsis eyrei* 等 13 种树木组成乔木层,隶属于 10 科 13 属,群落为杉木+西畴青冈群落,其中各树种重要值见表 2,杉木以重要值 40.2% 位居第一,西畴青冈重要值为 33.0% 次之;其次是板栗和丝栗栲,重要值分别为 23.4%、13.2%,而后是朴树 *Celtis sinensis*、枫香 *Liquidambar formosana* 和穗序鹅掌柴 *Schefflera delavayi* 等,在乔木层中重要值较低的是翅荚香槐 *Cladrastis platycarpa*、榉树 *Zelkova serrata*、观光木 *Tsoongiodendron odoratum*、油桐 *Vernicia fordii* 等。

乔木层落叶树种 7 种,但其重要值之和小于常绿树种重要值之和,表明乔木层以常绿树种为主,但其中杉木是针叶树,在演替过程中有可能被取代。

表 2 西畴青冈群落乔木层重要值

物种 Species	相 对 显著度 RA/%	相对 频度 RD/%	相对 密度 RA/%	重要值 IPV /%
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	14.1	60.0	46.4	40.2
西畴青冈 <i>Cyclobalanopsis sichouensis</i>	64.5	20.0	14.5	33.0
板栗 <i>Castanea mollissima</i>	11.5	50.0	8.7	23.4
丝栗栲 <i>Castanopsis eyrei</i>	2.3	30.0	7.2	13.2
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	1.7	30.0	4.3	12.0
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	1.8	20.0	4.3	8.7
穗序鹅掌柴 <i>Schefflera delavayi</i>	1.2	20.0	4.3	8.5
漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	0.6	20.0	2.9	7.8
翅荚香槐 <i>Cladrastis platycarpa</i>	1.3	10.0	1.4	4.3
榉树 <i>Zelkova serrata</i>	0.4	10.0	1.4	3.9
枳椇 <i>Hovenia acerba</i>	0.4	10.0	1.4	3.9
观光木 <i>Tsoongiodendron odoratum</i>	0.1	10.0	1.4	3.9
油桐 <i>Vernicia fordii</i>	0.1	10.0	1.4	3.9

灌木层(表 3)种类丰富,共有 23 科 31 属 34 种,以中华石楠 *Photinia beauverdiana*、方竹 *Chimonobambusa* sp. 和西畴青冈为主,其重要值分别为 39.1%、23.5% 和 22.1%。此外,灌木层中重要值大于 10.0% 的种类还有黄杞 *Engelhardtia roxburghiana*、小叶女贞 *Ligustrum quihoui*、灰毛浆果楝 *Cipadessa cinerascens* 等。此外,灌木层中重要值靠前的还有紫麻 *Oreocnide frutescens*、桫欏 *Eurya* sp.、冬青 *Ilex chinensis*、穗序鹅掌柴、琴叶榕 *Ficus pandurata*、丝栗栲等种类,其余如马桑绣球 *Hydrangea aspera*、无刺菝葜 *Smilax mairei*、翅荚香槐等种类重要

值在 5.0% 以下。

表 3 西畴青冈群落中灌木层重要值在前 15 的种类

物种 Species	相对 密度 /%	相对 频度 /%	相对 盖度 /%	重要值 /%
中华石楠 <i>Photinia beauverdiana</i>	34.1	70.0	13.0	39.1
方竹 <i>Chimonobambusa</i> sp.	29.8	30.0	10.7	23.5
西畴青冈 <i>Cyclobalanopsis sichourensis</i>	3.8	60.0	2.6	22.1
黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i>	3.5	40.0	1.3	14.9
小叶女贞 <i>Ligustrum quihoui</i>	1.5	30.0	0.9	10.8
灰毛浆果楝 <i>Cipadessa cinerascens</i>	1.4	30.0	0.7	10.7
紫麻 <i>Oreocnide frutescens</i>	5.7	20.0	1.5	9.1
柃木 <i>Eurya</i> sp.	1.1	20.0	0.6	7.2
冬青 <i>Ilex chinensis</i>	0.8	20.0	0.5	7.1
穗序鹅掌柴 <i>Schefflera delavayi</i>	0.5	20.0	0.4	7.0
琴叶榕 <i>Ficus pandurata</i>	0.5	20.0	0.2	6.9
丝栗栲 <i>Castanopsis eyrei</i>	4.1	10.0	3.0	5.7
马桑绣球 <i>Hydrangea aspera</i>	1.4	10.0	0.4	3.9
无刺菝葜 <i>Smilax mairei</i>	1.4	10.0	0.2	3.9
翅荚香槐 <i>Cladrastis platycarpa</i>	0.5	10.0	0.5	3.7

灌木层出现西畴青冈幼树或幼苗,说明西畴青冈可以实现自然更新,这一点非常重要、非常关键,也就是说如果通过保护,假以时日西畴青冈是能够自己更新并壮大种群的。

草本层种类较为丰富,样方中含有 15 科 22 属 23 种,其中卷柏属 2 种,为江南卷柏 *Selaginella moellendorffii* 和翠云草 *S. uncinata*,表明该区域湿度较好,水分充裕。菊科有 4 属 4 种,禾本科有 2 属 2 种,其余的科只含有 1 属 1 种,见表 4。丰富的草本层对土壤的改善有一定作用,然而,群落中菊科植物吸取养分生长,果熟后瘦果的冠毛极易飞离群落,长期后会造成一定程度的养分流失。菊科的牛膝菊 *Galinsoga parviflora*、鬼针草 *Bidens pilosa*、豨莶 *Siegesbeckia orientalis* 和鸭跖草科的鸭跖草 *Commelina communis* 等常见农田杂草说明该地距离农田较近,加之群落中杉木多,杉木枯叶极易燃,应当加强防火,尤其在农田耕作时节。这也进一步说明,人类活动以及生境被过度利用是使其致濒的重要原因。

值得一提的是,草本层中出现了国家二级保护植物金毛狗这一珍稀种类,说明该区起源古老,明显反映了地带分布特色,以及树种对该区环境的长期适应。

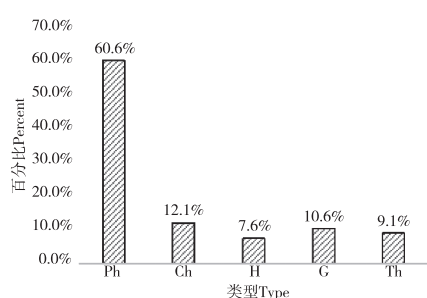
表 4 西畴青冈群落草本层物种

物种 Species	属名 Genus	科名 Family
金毛狗 <i>Cibotium barometz</i>	金毛狗属 <i>Cibotium</i>	蚌壳蕨科 <i>Dicksoniaceae</i>
葎草 <i>Humulus scandens</i>	葎草属 <i>Humulus</i>	大麻科 <i>Cannabaceae</i>
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	淡竹叶属 <i>Lophatherum</i>	禾本科 <i>Poaceae</i>
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	芒属 <i>Miscanthus</i>	禾本科 <i>Poaceae</i>
铜锤玉带草 <i>Lobelia nummularia</i>	半边莲属 <i>Lobelia</i>	桔梗科 <i>Campanulaceae</i>
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	鬼针草属 <i>Bidens</i>	菊科 <i>Asteraceae</i>
牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	牛膝菊属 <i>Galinsoga</i>	菊科 <i>Asteraceae</i>
豨莶 <i>Siegesbeckia orientalis</i>	豨莶属 <i>Siegesbeckia</i>	菊科 <i>Asteraceae</i>
三脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i>	紫菀属 <i>Aster</i>	菊科 <i>Asteraceae</i>
江南卷柏 <i>Selaginella moellendorffii</i>	卷柏属 <i>Selaginella</i>	卷柏科 <i>Selaginellaceae</i>
翠云草 <i>Selaginella uncinata</i>	卷柏属 <i>Selaginella</i>	卷柏科 <i>Selaginellaceae</i>
马蓝 <i>Baphicacanthus cusia</i>	马蓝属 <i>Strobilanthes</i>	爵床科 <i>Acanthaceae</i>
芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	芒萁属 <i>Dicranopteris</i>	里白科 <i>Gleicheniaceae</i>
辣蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	蓼属 <i>Polygonum</i>	蓼科 <i>Polygonaceae</i>
豆腐柴 <i>Premna microphylla</i>	豆腐柴属 <i>Premna</i>	马鞭草科 <i>Verbenaceae</i>
裂叶秋海棠 <i>Begonia palmata</i>	秋海棠属 <i>Begonia</i>	秋海棠科 <i>Begoniaceae</i>
接骨草 <i>Sambucus chinensis</i>	接骨草属 <i>Sambucus</i>	忍冬科 <i>Caprifoliaceae</i>
鱼腥草 <i>Houttuynia cordata</i>	鱼腥草属 <i>Houttuynia</i>	三白草科 <i>Saururaceae</i>
鸭儿芹 <i>Cryptotaenia japonica</i>	鸭儿芹属 <i>Cryptotaenia</i>	伞形科 <i>Umbelliferae</i>
肾蕨 <i>Nephrolepis auriculata</i>	肾蕨属 <i>Nephrolepis</i>	肾蕨科 <i>Nephrolepidaceae</i>
天门冬 <i>Asparagus cochinchinensis</i>	天门冬属 <i>Asparagus</i>	天门冬科 <i>Asparagaceae</i>
蝎子草 <i>Girardinia suborbiculata</i>	蝎子草属 <i>Girardinia</i>	荨麻科 <i>Urticaceae</i>
鸭跖草 <i>Commelina communis</i>	鸭跖草属 <i>Commelina</i>	鸭跖草科 <i>Commelinaceae</i>

该群落的层间植物较为丰富,有广东蛇葡萄 *Ampelopsis cantoniensis*、薜荔 *Ficus pumila*、鸡矢藤 *Paederia scandens*、葛藤 *Pueraria lobata* 和三叶木通 *Akebia trifoliata* 等,总计层间植物为 5 科 5 属 5 种。

2.3 植物群落生态型分析

如图 1 所示,根据 C. Raukiaer 生活型分类系统^[16],从其生活型谱可以发现,群落中高位芽植物最多,其余类型稍有差异,而后分别为地上芽植物、隐芽植物、一年生草本,最少为地面芽植物。群落生活型谱是与当地气候相适应的结果^[10],该地区气候暖热湿润,而地上芽植物、一年生草本等占比较大,表明该群落还不稳定,尚在演替过程中,高位芽植物中存在杉木,可以从侧面证明这一点。西畴青冈群落中主要为高位芽植物,这与焕镛木、狭叶坡垒等植物群落生活型谱一致^[10-11]。



Ch: 地上芽植物Chamaephytes, G: 隐芽植物 Geophytes,
H: 地面芽植物Hemicryptophytes, Ph: 高位芽植物Phanerophytes,
Th: 一年生草本Therophytes

图1 西畴青冈群落生活型谱

2.4 西畴青冈年龄组成结构

以胸径(DBH)8 cm 为一个径级(灌木层中幼树或幼苗按照 $DBH \leq 5$ cm 计)单位统计群落中西畴青冈龄级分布,如图2所示,我们可以发现西畴青冈群落中龄级分布为不规则“倒J型”,表明群落中西畴青冈呈正增长型。从图中可以看出,该群落中有一大径级的西畴青冈大树(胸径162 cm),表明西畴青冈对该区域是高度适应的。然而,由于过去农业生产,或樵采等原因的干扰,其余的都被破坏了。这棵被保存下来的大树近年来因为重新加强了保护,使得西畴青冈幼苗、幼树不断更新并壮大,使得群落中西畴青冈成年植株正在增多,只要加强保护,西畴青冈群落的壮大是可以预见的。

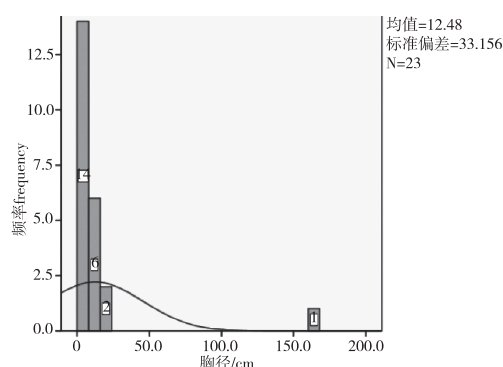


图2 西畴青冈径级结构图

3 讨论

西畴青冈群落有维管束植物41科61属66种,种类较为丰富,含有蕨类植物和部分古老子遗被子植物,说明该区起源古老。群落可分为乔木层、灌木

层、草本层3个部分以及层间植物层。在森林生态系统中,处于主体地位的是乔木层,它决定着群落内林木之间的空间位置以及植物间的竞争关系,可以表现出群落中林木的整体生长状态^[17]。在西畴青冈群落乔木层中,主要为常绿植物,而乔木层中西畴青冈为优势种之一。可见在西畴青冈群落中具有亚热带常绿阔叶林的性质,在这一区域对环境是高度适应的。但乔木层优势种里也有杉木,在必要时,应对杉木适度疏伐,以更好保护西畴青冈。

与此同时,作为森林生态系统的一个重要组成部分,处于灌木层和草本层的林下植被在维护森林生态功能稳定性和多样性以及持续的生产力等方面具有独特的功能和作用^[18]。尽管乔木层限制了林下灌木和草本层的生长,但草灌层也通过他们的生命活动不断改变着林下微环境,从而对维系整个森林生态系统的稳定、演替发展和生物多样性发挥了重要作用^[19]。在西畴青冈群落的灌木层中,可见生长良好的实生更新幼树,这说明西畴青冈能够实现自然更新,从西畴青冈种群龄级结构来看,它属于增长型。但丰富的草本层和灌木层对西畴青冈的生长可能产生干扰,灌木层的方竹为优势种之一,而竹类植物的萌生能力强,化感作用亦较强,在出现方竹的3个小样方中,仅有一个小样方出现西畴青冈幼树。尽管这还不好判断西畴青冈幼树生长是否直接受方竹的影响,但其中原因,仍值得我们研究。

由于西畴青冈能够实现自然更新,然其自然分布区域较为狭窄,由此推测,其分布区域狭窄的原因可能是种子的扩散速率慢;相关研究^[20-22]表明,水青冈、锥栗等壳斗科植物的种子,都存在较高机率的动物捕食率,而种子具有总苞则降低了其被捕食的概率,其被捕食搬运贮藏后而又未被动物吃掉的种子能够萌发,在漫长的群落演替和进化中有助传播。而西畴青冈果大、壳斗全包坚果,动物对其捕食的回报率不如其群落中的丝栗栲、板栗等物种,这可能使得它的种子被动物扩散的速率更为缓慢。这只是漫长进化史中,一个可能造成其分布区域狭窄的推测。而人类经济社会的发展,可能使得它的原生林在人们未注意到该物种之前就被破坏掉,而青冈属植物材质坚硬,是良好的硬木,可作材用或炭薪,树皮可提制栲,种子可作饲料,以上几个原因,都增加了其被人们砍伐或破坏的概率,这势必大大削减或缩小西畴青冈的原有分布区域。山地阔叶林在我国南方是典型的森林生态系统,如南岭山脉、武陵山脉和苗

岭等地,它维持着长江以南地区的生物多样性,是山地生物多样性保护优先区域^[23]。册亨县也处在这个区域之中,因此加大保护力度保护西畴青冈是有必要的,如挂牌保护、加强宣传,或设立保护点等措施。就群落而言,其中出现了金毛狗这一珍稀种类,对其加强保护是具备良好价值的。除此而外,由于西畴青冈自然状态下能够进行实生更新,故也可采取人工育种方式培育苗木进行野外回归种植,从而达到扩大其种群的目的。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 方精云,王襄平,沈泽昊,等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性,2009,17(6):533-548.
- [2] 王世彤,吴浩,刘梦婷,等. 极小种群野生植物黄梅秤锤树群落结构与动态[J]. 生物多样性,2018,26(7):749-759.
- [3] 张丹,刘凯军,马松梅,等. 高山植物天山花楸的适宜分布及其环境驱动因子[J]. 生态学报,2022,42(2):700-709.
- [4] 严陶韬,薛建辉. 中国生物多样性研究文献计量分析[J]. 生态学报,2021,41(19):7879-7892.
- [5] 王鹏程,滕明君,穆俊明,等. 神农架自然保护区川金丝猴退化生境特征及恢复技术[J]. 华中农业大学报,2017,36(5):1-9.
- [6] 中国植物志编委会. 中国植物志:第22卷[M]. 北京:中国科学出版社,1998:414-416.
- [7] 傅立国. 中国植物红皮书:第1册[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [8] 陈文允,纪运恒,邓敏,等. 西畴青冈——贵州壳斗科一新记录种[J]. 云南植物研究,2007(4):395-396.
- [9] 赵汉斌. 迁地保护13年西畴青冈在昆明植物园结实[N]. 科技日报,2021-07-13(002).
- [10] 李晓东,史沉鱼,覃国乐,等. 濒危植物单性木兰林区土壤动物群落结构与季节动态[J]. 华中农业大报,2015,34(4):20-26.
- [11] 黄仕训,陈泓,盘波,等. 广西特有濒危植物狭叶坡垒群落特征研究[J]. 西北植物学报,2008(1):164-170.
- [12] 杨成华,张劼,彭光明,等. 贵州省纳雍县珙桐群落研究[J]. 贵州林业科技,2012,40(1):8-13.
- [13] 袁茂琴,杨加文. 黔东南马尾树群落特征调查分析[J]. 南方农业学报,2015,46(7):1265-1269.
- [14] 袁茂琴,杨加文,张华海. 施秉县黑冲风景区黄心夜合群落调查研究[J]. 贵州科学,2015,33(5):16-21.
- [15] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京:高等教育出版社,1987:123-151.
- [16] 郑忠明,滕明君,张恒,等. 武汉市绿色廊道植物群落组成和结构研究[J]. 华中农业大学报,2010,29(4):502-507.
- [17] 张亚昊,佘袁勇,黄光体,等. 不同演替阶段马尾松林林分空间结构对物种多样性的影响[J]. 生态学杂志,2021,40(8):2357-2365.
- [18] 何艺玲,傅懋毅. 人工林林下植被的研究现状[J]. 林业科学研究,2002(6):727-733.
- [19] 张洋洋,周清慧,许骄阳,等. 林龄对马尾松人工林林下植物与土壤种子库多样性的影响[J]. 生态环境学报,2021,30(11):2121-2129.
- [20] 彭闪江,徐国良. 鼎湖山锥栗种子特征及其对动物取食格局的影响[J]. 生态环境,2005(4):493-497.
- [21] 刘映良,薛建辉. 鼠类及种子特征对水青冈种子命运的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2010,34(5):12-16.
- [22] 崔继法,周友兵,王志先,等. 啮齿动物对米心水青冈种子命运的影响[J]. 植物科学学报,2016,34(5):748-754.
- [23] 邹武,王淦,赖童,等. 木莲(*Manglietia fordiana*)的适生分布、影响因子与保护空缺研究[J]. 生态学报,2022,42(5):1889-1900.

收稿日期:2022-07-25;修回日期:2022-07-25

基金项目:贵州省林业局项目黔林科合[2022]04号;贵州科学院青年基金一般项目黔科院J合字[2017]15号;国家科技基础资源调查专项项目“中国西南地区极小种群野生植物调查与种质保存”(2017FY100100);贵州科学院省级科研专项资金项目黔科院科专合字[2019]07号。

作者简介:袁茂琴(1983-),女,硕士,高级工程师,研究方向:植物资源研究。

▲通讯作者:杨加文(1983-),男,硕士,高级工程师,研究方向:植物资源、植物分类。

追风伞不同产地和部位理化指标测定*

黄桦¹, 杨菁¹, 张敬杰¹, 孙宜春², 李慧馨², 张文文¹, 邹娟¹, 何康[▲]

(¹ 贵州中医药大学药学院, 贵州 贵阳 550025; ² 国药集团(贵州)同济堂制药有限公司, 贵州 贵阳 550009)

摘要: 目的: 比较追风伞药材不同产地和部位中水分、总灰分、酸不溶性灰分和醇溶性浸出物的含量, 并设置其质量控制项目和限量, 为提升追风伞的质量标准提供实验依据。方法: 根据 2020 年版《中国药典》(四部) 通则中的相关检测方法对追风伞进行含量测定。结果: 追风伞不同产地和部位中水分(9.61% ~ 13.82%)、总灰分(5.26% ~ 15.39%)、酸不溶性灰分(0.34% ~ 5.33%)和醇溶性浸出物(13.05% ~ 28.34%)含量均存在差异。结论: 初步建议追风伞根、茎、叶、全草中的水分含量分别不得超过 13%、14%、14%、13%; 总灰分含量分别不高于 16%、8%、9%、11%; 酸不溶性灰分分别不超过 5%、1%、2%、3%; 醇溶性浸出物分别不低于 16%、16%、13%、14%。

关键词: 追风伞, 水分, 总灰分, 酸不溶性灰分, 醇溶性浸出物

中图分类号: R284.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0027-04

Determination of physicochemical indexes of different parts of *Lysimachia paridiformis* var. *stenophylla* from different origins*

HUANG Hua¹, YANG Jing¹, ZHANG Jingjie¹, SUN Yichun², LI Huixin², ZHANG Wenwen¹, ZOU Juan¹, HE Kang^{1▲}

(¹ College of Pharmacy, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China; ² Sinopharm Group Tongjitang (Guizhou) Pharmaceutical Co. Ltd., Guiyang 550009, China)

Abstract: The contents of moisture, total ash, acid-insoluble ash and alcohol-soluble extract in different parts of *Lysimachia pariformis* var. *stenophylla* from different origins were compared, and the quality control items and limits were set to provide experimental basis for improving the quality standard of *L. pariformis* var. *stenophylla*. The indexes were determined according to the detection methods provided in the Chinese Pharmacopoeia 2020. The results showed that the contents of moisture (9.61% ~ 13.82%), total ash (5.26% ~ 15.39%), acid-insoluble ash (0.34% ~ 5.33%) and alcohol-soluble extract (13.05% ~ 28.34%) in different parts of *L. pariformis* var. *stenophylla* from different origins were different. It is preliminarily suggested that the moisture content in the roots, stems, leaves and whole grass of *L. pariformis* var. *stenophylla* should not exceed 13%, 14%, 14%, 13% respectively; the total ash should not exceed 16%, 8%, 9%, 11% respectively; the acid-insoluble ash should not exceed 5%, 1%, 2%, 3% respectively; the alcohol-soluble extract should not be less than 16%, 16%, 13%, 14% respectively.

Keywords: *Lysimachia paridiformis* var. *stenophylla*, moisture, total ash, acid-insoluble ash, alcohol-soluble extract

追风伞系报春花科(Primulaceae)珍珠菜属(*Lysimachia* L.)植物, 学名狭叶落地梅(*Lysimachia paridiformis* var. *stenophylla*), 全株均可入药, 主含黄

酮及其苷类、酚类和挥发油类物质^[1-3], 具有较好的抗炎、镇痛和抗氧化活性^[4-6], 作为贵州少数民族常用药, 主收载于《贵州省中药材、民族药材质量标准》

(2003 年版) 中^[7]。经文献调研显示:目前尚未有对其水分、总灰分、酸不溶性灰分和浸出物限量标准的研究报道。故本实验按照 2020 年版《中国药典》对黔产追风伞不同部位进行以上项目常规检测,以期 为追风伞的质量控制提供实验依据。

1 仪器与材料

1.1 仪器

BSM-220.4 电子天平(上海卓精电子科技有限公司)、HH-4 数显恒温水浴锅(常州智博瑞仪器制造有限公司)、2500 A 多功能粉碎机(永康市红太阳机电有限公司)、FN101-2 电热鼓风干燥箱(长沙仪器仪表厂)、SX-4-10 箱式电阻炉控制箱(天津市泰斯特仪器有限公司)、干燥器、扁形称量瓶、瓷坩埚、锥形瓶、蒸发皿等。

1.2 试剂与药材

无水乙醇(天津市富宇精细化工有限公司)、盐酸(国药集团化学试剂有限公司)、蒸馏水。样品由 国药集团(贵州)同济堂制药有限公司提供,经贵州 中医药大学孙庆文教授鉴定为报春花科珍珠菜属植 物狭叶落地梅(*Lysimachia paridiformis* var. *stenophyl- la*),样品信息详见表 1。

2 方法与结果

2.1 药材粉末的制备

表 1 中各批次样品经自然阴干后,将其根、茎、 叶、全草分别粉碎过三号筛,混合均匀后备用。

2.2 水分测定

精密称取表 1 中样品各 2 g,平铺于干燥至恒重 的扁形称量瓶中,根据 2020 年版《中国药典》(四 部)通则 0832 第二法进行实验^[8],每组实验平行 3 次。结果见表 2,追风伞根、茎、叶、全草的水分范围 分别在 9.61% ~ 12.92%、10.26% ~ 13.59%、 9.62% ~ 13.82%、9.37% ~ 13.28% 之间,均值分别 为11.17%、11.91%、11.81%、10.88%,其中分别以

表 1 追风伞样品信息

批次	部位	编号	产地	采收时间	批次	部位	编号	产地	采收时间	
S1	根	SG1	贵州省桐梓县 风水乡	2020.06		根	SG12	贵州省桐梓县 风水乡	2022.04	
	茎	SJ1				茎	SJ12			
	叶	SY1				叶	SY12			
	全	SQ1				全	SQ12			
S2	根	SG2	贵州省织金县 纳雍乡			根	SG13	贵州省织金县 纳雍乡		
	茎	SJ2				茎	SJ13			
	叶	SY2				叶	SY13			
	全	SQ2				全	SQ13			
S3	根	SG3	贵州省余庆县 关兴镇			根	SG14	贵州省余庆县 关兴镇		
	茎	SJ3				茎	SJ14			
	叶	SY3				叶	SY14			
	全	SQ3				全	SQ14			
S4	根	SG4	贵州省凤冈县 琊川镇			根	SG15	贵州省凤冈县 琊川镇		
	茎	SJ4				茎	SJ15			
	叶	SY4				叶	SY15			
	全	SQ4				全	SQ15			
S5	根	SG5	贵州省湄潭县 兴隆镇			根	SG16	贵州省湄潭县 兴隆镇		
	茎	SJ5				茎	SJ16			
	叶	SY5				叶	SY16			
	全	SQ5				全	SQ16			
S6	根	SG6	贵州省湄潭县 西河镇			根	SG17	贵州省湄潭县 西河镇		
	茎	SJ6				茎	SJ17			
	叶	SY6				叶	SY17			
	全	SQ6				全	SQ17			
S7	根	SG7	贵州省习水县 永安镇			根	SG18	贵州省习水县 永安镇		
	茎	SJ7				茎	SJ18			
	叶	SY7				叶	SY18			
	全	SQ7				全	SQ18			
S8	根	SG8	贵州省习水县 官店镇			根	SG19	贵州省正安县 土坪镇		
	茎	SJ8				茎	SJ19			
	叶	SY8				叶	SY19			
	全	SQ8				全	SQ19			
S9	根	SG9	贵州省正安县 土坪镇			根	SG20	贵州省黔西县 素朴镇		
	茎	SJ9				茎	SJ20			
	叶	SY9				叶	SY20			
	全	SQ9				全	SQ20			
S10	根	SG10	贵州省黔西县 素朴镇			根	SG21	贵州省绥阳县 坪乐乡		
	茎	SJ10				茎	SJ21			
	叶	SY10				叶	SY21			
	全	SQ10				全	SQ21			
S11	根	SG11	贵州省绥阳县 坪乐乡							
	茎	SJ11								
	叶	SY11								
	全	SQ11								

表 2 追风伞不同产地和部位理化指标测定结果

编号	水分 /%	总灰分 /%	酸不溶 性灰分 /%	浸出物 /%	编号	水分 /%	总灰分 /%	酸不溶 性灰分 /%	浸出物 /%
SG1	11.94	10.92	3.22	22.04	SY11	13.19	6.46	1.67	18.95
SJ1	12.48	7.15	0.69	15.71	SQ11	9.96	9.62	3.17	15.38
SY1	12.84	7.44	1.08	13.46	SG12	11.17	13.18	4.05	22.43
SQ1	12.76	9.44	2.60	13.05	SJ12	11.89	6.79	0.51	18.96
SG2	12.92	13.17	3.92	16.38	SY12	11.28	7.69	0.89	16.76
SJ2	13.59	6.36	0.66	18.09	SQ12	11.25	8.11	2.19	19.09
SY2	12.82	7.48	1.70	14.17	SG13	11.27	13.87	4.64	20.02
SQ2	13.28	8.90	2.82	18.05	SJ13	11.84	6.77	0.65	18.67
SG3	12.44	14.93	4.94	18.11	SY13	11.63	7.89	1.17	16.72
SJ3	12.58	5.29	0.49	17.35	SQ13	11.09	7.53	1.47	18.29
SY3	12.83	6.60	1.52	14.37	SG14	11.18	11.94	4.19	16.32
SQ3	12.90	9.85	3.05	15.66	SJ14	12.16	7.07	0.58	17.08
SG4	11.63	12.92	4.02	20.69	SY14	11.47	7.63	0.93	15.36
SJ4	12.24	6.17	0.56	17.87	SQ14	11.27	9.06	2.44	18.95
SY4	11.99	6.82	1.37	14.70	SG15	10.77	14.45	4.98	22.85
SQ4	9.89	9.25	2.83	14.86	SJ15	12.07	7.80	0.80	21.34
SG5	12.53	11.04	3.50	19.62	SY15	11.53	8.53	1.67	17.30
SJ5	11.81	5.26	0.51	18.71	SQ15	11.05	9.05	2.66	20.78
SY5	12.22	5.80	1.57	18.20	SG16	9.64	13.29	4.54	24.88
SQ5	9.75	8.21	1.50	18.63	SJ16	10.45	7.63	0.46	23.25
SG6	11.09	12.81	4.05	22.41	SY16	9.62	7.14	0.82	18.39
SJ6	12.24	6.24	0.50	9.78	SQ16	10.52	10.46	2.86	18.16
SY6	12.57	6.83	1.68	18.28	SG17	9.61	10.76	3.21	21.51
SQ6	11.24	9.37	1.47	15.41	SJ17	10.73	5.45	0.72	20.67
SG7	11.93	13.40	4.30	19.26	SY17	10.52	6.63	0.87	16.72
SJ7	13.03	7.41	0.62	17.65	SQ17	10.08	6.89	1.60	17.95
SY7	13.82	7.55	1.02	15.17	SG18	10.61	15.39	5.33	20.08
SQ7	11.00	7.83	1.39	14.80	SJ18	11.40	5.52	0.66	18.83
SG8	12.02	14.84	5.18	17.13	SY18	11.06	6.98	1.01	15.84
SJ8	11.50	6.49	0.62	17.86	SQ18	11.34	9.65	1.99	16.82
SY8	12.15	7.18	1.28	14.56	SG19	9.78	11.84	4.21	19.77
SQ8	10.97	8.07	1.35	13.97	SJ19	11.15	6.05	0.59	21.03
SG9	10.88	14.68	4.89	13.75	SY19	10.94	6.69	0.82	16.61
SJ9	12.85	7.39	0.61	17.43	SQ19	9.79	7.98	1.66	21.13
SY9	12.66	7.55	1.17	15.52	SG20	9.84	10.68	3.22	27.35
SQ9	11.43	10.51	3.24	16.23	SJ20	10.26	6.97	0.45	23.32
SG10	10.88	13.25	4.12	16.53	SY20	10.40	7.42	1.07	17.37
SJ10	12.82	7.16	0.51	19.04	SQ20	9.62	10.57	2.95	20.03
SY10	12.12	6.74	1.54	17.97	SG21	9.78	10.38	3.50	28.34
SQ10	9.37	8.89	2.84	17.91	SJ21	10.42	6.54	0.54	23.22
SG11	12.60	15.06	5.16	16.66	SY21	10.34	8.53	1.74	18.30
SJ11	12.71	5.58	0.34	21.22	SQ21	9.96	9.42	2.70	20.33

样品 SG2、SJ2、SY7、SQ2 的含水量最高,以样品 SG17、SJ20、SY16、SQ10 的含水量最低,对不同部位的水分含量进行 t 检验可知,根和全草的含水量较低于茎和叶。参考 2020 年版《中国药典》(一部)药材水分限定范围,以各部位均值为基础,向上浮动 20% 后取整数作为标准限量^[9],故追风伞根、茎、叶、全草的水分含量分别不得过 13%、14%、14%、13%,21 批药材各部位的合格率分别为 100%、100%、100%、95.24%。

2.3 总灰分和酸不溶性灰分测定

精密称取表 1 中样品各 3 g,置炽灼至恒重的坩埚中,依据 2020 年版《中国药典》(四部)通则 2302 进行实验^[8],每组实验平行 3 次。结果见表 2,追风伞根、茎、叶、全草的总灰分范围分别在 10.38% ~ 15.39%、5.26% ~ 7.80%、5.80% ~ 8.53%、6.89% ~ 10.57% 之间,均值分别为 12.99%、6.53%、7.22%、8.98%,其中分别以样品 SG18、SJ15、SY21、SQ20 的总灰分最高,以样品 SG21、SJ5、SY5、SQ17 的总灰分最低,对不同部位的总灰分含量进行 t 检验可知,根>全草>叶>茎。参考 2020 年版《中国药典》(一部)药材总灰分限定范围,以各部位均值为基础,向上浮动 20% 后取整数作为标准限量^[9],故追风伞根、茎、叶、全草的总灰分含量分别不高于 16%、8%、9%、11%,21 批药材各部位的合格率均为 100%;追风伞根、茎、叶、全草的酸不溶性灰分范围分别在 3.21% ~ 5.33%、0.34% ~ 0.80%、0.82% ~ 1.74%、1.35% ~ 3.24% 之间,均值分别为 4.25%、0.58%、1.27%、2.32%,其中分别以样品 SG18、SJ15、SY21、SQ9 的酸不溶性灰分最高,以样品 SG17、SJ11、SY19、SQ8 的酸不溶性灰分最低,对不同部位的酸不溶性灰分含量进行 t 检验可知,根>全草>叶>茎。参考 2020 年版《中国药典》(一部)药材酸不溶性灰分限定范围,以各部位均值为基础,向上浮动 20% 后取整数作为标准限量^[9],故追风伞根、茎、叶、全草的酸不溶性灰分含量分别不超过 5%、1%、2%、3%,21 批药材各部位的合格率分别为 85.71%、100%、100%、85.71%。

2.4 浸出物测定

精密称取表 1 中 SG1、SJ1、SY1、SQ1 样品各 4 g,分别置于 250 mL 的锥形瓶中,再分别加入水和不同体积分数的乙醇溶液,按照 2020 年版《中国药

典》(四部)通则 2201 中冷浸和热浸法分别进行实验^[8],每组实验平行 3 次。结果如表 3 所示,热浸法优于冷浸法,SG1 以 50% 乙醇作为溶剂最优,SJ1、SY1 和 SQ1 以 30% 乙醇作为溶剂最佳,故追风伞浸出物的测定法采用醇溶性浸出物测定法中的热浸法,根的浸出溶剂为 50% 乙醇,茎、叶、全草的浸出溶剂为 30% 乙醇。

表 3 追风伞不同部位浸出物实验结果

编号	水		30% 乙醇		50% 乙醇		70% 乙醇		95% 乙醇	
	冷浸	热浸	冷浸	热浸	冷浸	热浸	冷浸	热浸	冷浸	热浸
	/%	/%	/%	/%	/%	/%	/%	/%	/%	/%
SG1	8.20	11.03	13.26	15.37	18.21	22.04	14.23	17.08	5.57	10.10
SJ1	7.08	11.11	12.60	15.71	9.73	14.49	11.41	9.52	5.80	9.36
SY1	6.04	10.01	10.95	13.46	8.22	12.65	10.01	8.12	2.84	7.69
SQ1	5.87	9.86	10.43	13.05	7.83	12.38	9.64	7.63	2.38	7.26

精密称取表 1 中其他待测样品各 4 g,按上述的方法进行实验,结果见表 2,追风伞根、茎、叶、全草的醇溶性浸出物范围分别介于 13.75% ~ 28.34%、15.71% ~ 23.32%、13.46% ~ 18.95%、13.05% ~ 21.13% 之间,均值分别为 20.29%、19.39%、16.41%、17.40%,其中分别以样品 SG21、SJ20、SY11、SQ19 的醇溶性浸出物最高,以样品 SG9、SJ1、SY1、SQ1 的醇溶性浸出物最低,对不同部位的醇溶性浸出物含量进行 t 检验可知,根>全草>叶、茎>全草>叶。以各部位均值为基础,向下浮动 20% 后取整数作为标准限量,故追风伞根、茎、叶、全草的醇溶性浸出物含量分别不低于 16%、16%、13%、14%,21 批药材各部位合格率分别为 95.24%、95.24%、100%、90.48%。

3 讨论

本文首次对贵州不同产地、部位的追风伞药材进行水分、总灰分、酸不溶性灰分和醇溶性浸出物的含量测定,为追风伞药材的质量评价提供了数据支撑,填补了原地方标准的空白。根据实验结果并参考 2020 年版《中国药典》(一部)药材中相关项目的限定范围,建议追风伞根、茎、叶、全草的含水量分别暂定不得过 13%、14%、14%、13% 为宜,总灰分分

别暂定不高于 16%、8%、9%、11% 为宜,酸不溶性灰分分别暂定不超过 5%、1%、2%、3% 为宜,醇溶性浸出物分别暂定不低于 16%、16%、13%、14% 为宜。除此之外,本实验发现同一产地和不同产地以及不同部位间水分、总灰分、酸不溶性灰分和醇溶性浸出物的含量均存在一定的差异,这可能与采收时间、生长环境、物质基础等因素有关。进一步探究不同产地、部位间的质量差异,以期更好地对追风伞进行合理开发和利用。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 张援虎,何丽,关焕玉,等. 追风伞中黄酮类成分的研究[J]. 中国中药杂志,2010,35(14):1824-1826.
- [2] 李胜华,向秋玲. 狭叶落地梅的化学成分研究[J]. 中草药,2010,41(6):881-883.
- [3] WEI J F, YIN Z H, KANG W Y. Volatiles of *Lysimachia-paridiformis* var. *stenophylla*, *Lysimachiafortunei* and *Lysimachia-kungensis* by HS-SPME-GC-MS[J]. African journal of traditional complementary and alternative medicines,2014,11(3):70-75.
- [4] 黄华进,李红美,何雅风,等. 基于网络药理学研究追风伞治疗骨关节炎物质基础及作用机制[J]. 山东化工,2022,51(5):71-74.
- [5] 谢海琴,赵兵,邓璐璐,等. 追风伞抗炎药理活性研究[J]. 时珍国医国药,2013,24(8):1847-1849.
- [6] 叶敏,孔维兵,王小英. 追风伞总黄酮提取工艺优选及其体外抗氧化作用考察[J]. 中国实验方剂学杂志,2013,19(1):44-46.
- [7] 贵州省药品监督管理局. 贵州省中药材、民族药材质量标准[S]. 贵阳:贵州科技出版社,2003:290.
- [8] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:四部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020.
- [9] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020.

收稿日期:2022-08-30;修回日期:2022-08-30

基金项目:国药集团同济堂(贵州)技术服务项目(JS-YF-KY-201912015)。

作者简介:黄 桦(1998-),女,贵州黔西人,硕士,研究方向为中药及民族药药效物质研究。

▲通讯作者:何 康(1982-),男,湖南益阳人,教授,博士,硕士生导师,研究方向为中药及民族药药效物质研究。

玉米须不同萃取物的细胞毒性及对痴呆小鼠的治疗作用^{*}

朱小婷,郭江涛[▲],刘 杰,简梨娜,陶添泽

(贵州中医药大学,贵州 贵阳 550025)

摘 要: **目的:**观察玉米须不同萃取物石油醚组(PF)、二氯甲烷组(DF)、乙酸乙酯组(AF)、正丁醇组(BF)对神经细胞活性的影响,并探讨其对老年痴呆小鼠的治疗作用。**方法:**MTT法测定玉米须不同萃取物对PC12及U87两种神经细胞存活率的影响;构建老年痴呆小鼠模型,采用Morris水迷宫试验与跳台试验检测小鼠认知与学习记忆能力;ELISA法检测小鼠血液中IL-1 β 、TNF- α 、T-SOD、MDA以及脑中T-SOD和MDA的含量。**结果:**玉米须萃取物AF、BF组对PC12细胞有增殖作用,具有一定的神经营养功能;PF、DF、AF组对U87细胞的增殖具有一定的抑制作用;跳台实验、水迷宫实验和空间探索实验结果表明玉米须各萃取物组均能改善痴呆小鼠的空间记忆及学习能力;小鼠海马CA1区的切片结果表明玉米须各萃取物组可以维持痴呆小鼠脑组织结构形态完整,BF组疗效最佳;ELISA法检测结果表明玉米须各萃取物组均能提高小鼠血清中T-SOD活力,降低MDA含量及TNF- α 和IL-1 β 的表达,其中AF组、BF组及PF组效果较为明显;小鼠脑组织中T-SOD及MDA含量实验结果表明AF组、BF组效果较好,说明玉米须各萃取物组可以改善痴呆小鼠脑组织氧化应激的损伤。**结论:**玉米须不同萃取部位可改善老年痴呆小鼠模型的认知功能,综合所测各项指标,得到的治疗效果为:BF>AF>PF>DF。

关键词: 玉米须,MTT法,老年痴呆,水迷宫,跳台实验

中图分类号:R285.5 文献标识码:A 文章编号:1003-6563(2023)04-0031-07

Cytotoxicity of different extracts of Stigma Maydis and their therapeutic effect on dementia mice^{*}

ZHU Xiaoting, GUO Jiangtao[▲], LIU Jie, JIAN Lina, TAO Tianze

(Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China)

Abstract: The effect of Stigma Maydis extracts extracted by petroleum ether(PF), dichloromethane(DF), ethyl acetate(AF) and n-butanol(BF) on the activity of nerve cells was observed, and their therapeutic effect on senile dementia mice was explored. MTT method was used to determine the effect of different extracts of Stigma Maydis on the survival rate of PC12 and U87 nerve cells. Morris water maze test and diving platform test were used to detect the cognition, learning and memory ability of dementia mice. The contents of IL-1 β , TNF- α , T-SOD and MDA in the blood and brain of the mice were determined by ELISA method. The results showed that AF and BF groups had proliferation effect on PC12 cells, and had certain neurotrophic function; PF, DF and AF groups could inhibit the proliferation of U87 cells to a certain extent. The results of diving platform experiment, water maze experiment and space exploration experiment showed that each extract group could improve the spatial memory and learning ability of dementia mice. Section results of hippocampal CA1 region of mice showed that each extract group could maintain the integrity of brain tissue structure of dementia mice, and BF group had the best effect. The results of ELISA method showed that each extract group could increase the activity of T-SOD, decrease the content of MDA and the expression of TNF- α and IL-1 β in serum of mice, among which the effect of AF, BF and PF groups was more obvi-

ous. The experimental results of T-SOD and MDA content in brain tissues of mice showed that AF and BF groups had better effect, indicating that each extract group could improve the oxidative stress damage of brain tissues of dementia mice. In conclusion, different extracts of *Stigma Maydis* can improve the cognitive function of senile dementia mice, and the therapeutic effect is BF>AF>PF>DF.

Keywords: *Stigma Maydis*, MTT method, senile dementia, water maze, diving platform experiment

阿尔茨海默病(AD)是一种常见于老年人群中的神经系统退行性疾病,在病变的过程中常伴有神经元的死亡,主要临床表现为学习记忆障碍、定向障碍和视觉空间功能障碍等^[1-2]。氧化应激(oxidative stress)为AD发病的重要假说之一,是由于体内的氧化还原平衡失调,造成体内过多的活性氧物质(ROS)堆积,引起神经细胞损伤从而导致细胞凋亡或坏死,使机体存在损害风险。氧化应激现象存在于AD病程中的认知功能完整、轻度认知功能障碍(MCI)、早期AD、晚期AD四个阶段且随病程进展而增强,是全过程的共同机制^[3-5]。

玉米须(*Stigma Maydis*)是禾本科植物玉蜀黍 *Zea mays* L. 的花柱和柱头,是一种药食两用的传统中药,主要含有黄酮类、多糖、氨基酸和蛋白质等化学成分,具有抗氧化^[6]、抗肿瘤^[7]、降脂降糖^[8]、治疗肥胖^[9]等作用,目前已开发了多款玉米须保健食品^[10]、功能性食品^[11]和化妆品^[12]。有文献报道玉米须总黄酮具有一定的抗痴呆作用^[13],但并没有玉米须不同萃取物对神经细胞活性及对痴呆小鼠的治疗作用的相关报道。课题组前期研究表明,玉米须具有显著的抗氧化活性^[14],是一类安全、高效与低毒^[15]的天然抗氧化剂,可以抑制自由基的活性,避免细胞遭受氧化应激损伤。基于此文章先采用MTT法检测玉米须不同萃取物对PC12、U87细胞活性的影响,判断玉米须各萃取物的细胞毒性,再探讨玉米须不同萃取物对老年痴呆小鼠模型中相关氧化应激因子水平的影响,为今后玉米须用于预防和治疗老年痴呆提供借鉴依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试剂与药材:二甲基亚砜(Sigma)、DMEM(赛默飞世尔(苏州)仪器有限公司),精制新生牛血清(吉林博深精制小牛血清有限公司),MTT溶液(合肥博美生物科技有限公司),0.25% Trypsin-EDTA(gib-

co),青霉素与链霉素(合肥博美生物科技有限公司),磷酸盐缓冲液(青岛高科技工业园海博生物技术有限公司),D-(+)-Galactose(Ruibio G3107)、氯化钠注射液(贵州科伦药业有限公司)、VE(青岛双鲸药业有限公司),吡拉西坦(华中药业股份有限公司),甲醛(西陇科学股份有限公司),T-SOD测试盒、MDA测试盒、TNF- α 酶联免疫检测试剂盒、IL-1 β 酶联免疫检测试剂盒均来自南京建成生物工程研究所,玉米须药材购于贵州同济堂中药饮片有限公司(批号:1809333)。

动物与细胞株:KM小鼠(SPF级别)92只,雌雄各半,购自长沙市天勤生物技术有限公司(许可证号:SCXK(湘)2014-001),PC12、U87细胞购自中国培养物保藏中心。

1.2 实验方法与步骤

1.2.1 MTT法检测玉米须不同萃取物对PC12、U87细胞活性的影响

步骤^[16]:配制药液→细胞处理(确定消化时间、细胞传代、细胞冻存、细胞复苏)→铺板→加药→加MTT→记录并处理数据(酶标仪492 nm波长下检测OD值)

$$\text{细胞生存率} = \left(\frac{OD_{\text{药}} - OD_{\text{板}}}{OD_{\text{空}} - OD_{\text{板}}} \right) \times 100\%$$

式中: $OD_{\text{药}}$ 为加药孔的吸光度; $OD_{\text{板}}$ 为板的吸光度; $OD_{\text{空}}$ 为空白对照组孔的吸光度。

1.2.2 建立动物模型

1.2.2.1 药物准备

将所得萃取物挥去有机试剂后冷冻干燥得粉末,配成1%的药液;取5.0 g D-半乳糖,生理盐水定容至250 mL,配制成2%的D-半乳糖溶液。

1.2.2.2 分组及给药

将小鼠随机分为空白组、模型组和给药组,空白组小鼠注射生理盐水,模型组和给药组小鼠腹腔注射2% D-半乳糖溶液共36 d。灌胃相应药物70

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 共 26 d, 空白组和模型组则灌胃等量生理盐水^[17-18]。

1.2.3 观察方法及指标

1.2.3.1 跳台实验

第 35 天给药 1 h 后对 AD 小鼠进行跳台实验以测定小鼠的记忆保持能力。向 $10.5 \text{ cm} \times 10.5 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 的 5 个被动回避条件反射箱里投放小鼠, 反射箱底部通电后小鼠将跳到左上角放置的 $4 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ 的软木塞上, 此后 5 min 记录小鼠跳下软木塞即为错误反应的次数, 第一次跳下软木塞的时间即潜伏期, 超过 5 min 未跳下软木塞的潜伏期记为 60 min。实验开始前 24 h 对小鼠进行训练, 训练时将小鼠放入反射箱 1 min 后再通以电流, 训练时小鼠第一次跳下平台的时间为反应时间, 训练时的情况记为小鼠学习成绩, 正式实验情况记为小鼠记忆成绩^[19]。

1.2.3.2 Morris 水迷宫实验

①定位航行实验: 第 35 天给药 2 h 后进行定位航行实验, 测定小鼠的学习记忆能力。将水迷宫分为 4 个象限, 安全平台置于其中一个象限, 向水迷宫内注水至高于平台 1 cm, 将整个调整连接显示系统的摄像机使其能清晰拍摄小鼠航行轨迹, 采用 SPSS 进行航行轨迹的数据分析处理^[20]。正式实验开始前对各组小鼠进行训练, 记录小鼠从下水至登上安全平台且持续 2 s 的时间即逃避潜伏期及其航行轨迹, 若超过 60 s 未登上安全平台, 则由实验人员将其引导至安全平台 5 s 以使其记忆平台位置, 且将该小鼠的逃避潜伏期记为 60 s; ②空间搜索实验: 在定位航行实验的基础上撤去安全平台, 其他步骤与定位航行实验保持一致。

1.2.3.3 小鼠血清和海马组织的制备

第 36 天给药 1 h 后各组小鼠眼球取血约 0.5 mL, 在 4000 r/min 的转速下离心分离血清和血浆, 取上层血清 -20°C 冻存备用。取血后立即取脑, 用生理盐水洗去脑表面血迹, 一部分匀浆取上清, 一部分放至 10% 甲醛中保存, 制成切片。采用 ELISA 法对小鼠血清中 $\text{TNF-}\alpha$ 、 $\text{IL-1}\beta$ 、 T-SOD 、MDA 和海马组织中 T-SOD 、MDA 进行检测。

1.3 统计分析

采用 Excel 及 SPSS17.0 单因素方差分析统计

处理数据。

2 实验结果及分析

2.1 MTT 法检测玉米须不同萃取物对 PC12、U87 细胞活性的影响

由图 1 和图 2 可知: 玉米须各萃取物既有细胞毒性, 也有使细胞增殖的作用。对 PC12 细胞而言, AF、BF 浓度高时则能使细胞增殖; 对 U87 细胞而言, PF、DF、AF 对细胞有抑制作用。

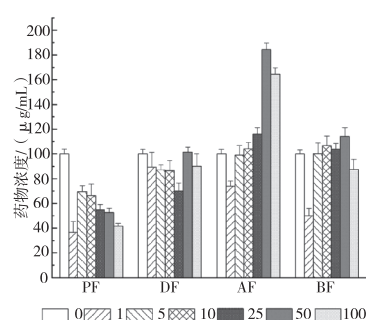


图 1 PC12 细胞在玉米须不同萃取物作用下的生存率/% ($\bar{x} \pm s$)

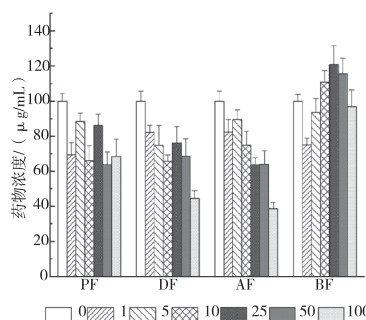


图 2 U87 细胞在玉米须不同萃取物作用下的生存率/% ($\bar{x} \pm s$)

2.2 玉米须对痴呆小鼠的治疗作用

2.2.1 跳台实验测试小鼠学习和记忆能力

由表 1 可知: 与模型组相比, 空白组小鼠反应时间与潜伏时间短, 错误次数多; 给药组潜伏时间长、错误次数少, 且各萃取物组均有显著统计学差异 ($p < 0.01$)。可能是由于玉米须黄酮类型以中极性为主, 在不同的玉米须萃取物中, AF 组、BF 组黄酮含量相对较高, 具有较强的抗氧化活性, 所以疗效要好于其他两组。

表 1 各组小鼠跳台学习成绩和记忆成绩 ($\bar{x} \pm s$)

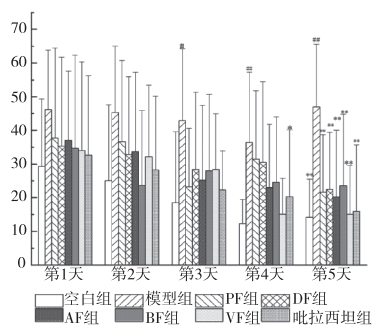
组别	反应时间/s	错误次数/次	潜伏时间/s	错误次数/次
空白组	23.14±16.35	1.71±0.76	283.14±47.69	0.44±0.53
模型组	7.58±8.82	3.00±1.70 [#]	71.36±57.77 ^{##}	1.50±0.71 ^{##}
PF 组	14.57±25.53	2.40±0.84	223.72±124.39 ^{**}	0.67±1.12 ^{**}
DF 组	10.77±6.82	2.82±1.25	227.47±112.39 ^{**}	0.64±0.92 ^{**}
AF 组	16.27±16.84	2.50±1.18	240.07±103.20 ^{**}	0.80±1.23 ^{**}
BF 组	17.18±38.67	2.75±2.19	270.70±61.16 ^{**}	0.75±0.50 ^{**}
VE 组	16.10±15.50	1.83±0.41	260.99±89.52 ^{**}	0.60±0.89 ^{**}
吡拉西坦组	8.15±4.14	2.70±0.82	278.84±70.18 ^{**}	0.50±0.71 ^{**}

注:与空白组比,[#] $p<0.05$,^{##} $p<0.01$;与模型组比,^{*} $p<0.01$ 。

2.2.2 水迷宫实验情况

2.2.2.1 定位航行实验情况

由图 3、图 4 可知:随着训练天数的增加,空白和给药组小鼠的逃避潜伏期明显呈下降趋势。与模型组比较,给药组的逃避潜伏期明显缩短,且在第 5 天时,各萃取物组相比于模型组均具有显著性差异 ($p<0.01$),说明玉米须各萃取物组能明显改善小鼠方向辨别的学习能力及记忆能力。



注:与空白组比,[#] $p<0.05$,^{##} $p<0.01$;与模型组比,^{*} $p<0.05$,^{**} $p<0.01$ 。

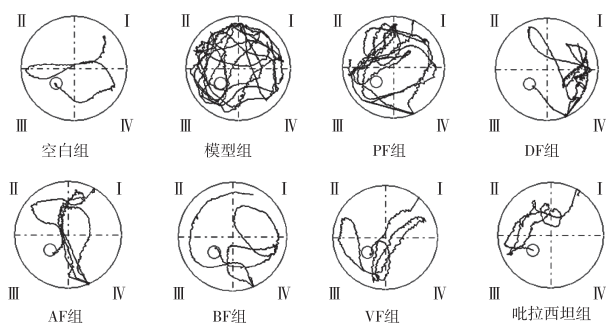
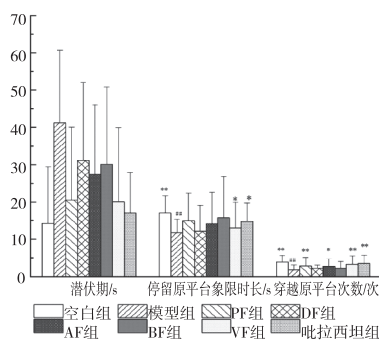
图 3 各组小鼠逃避潜伏期/s ($\bar{x} \pm s$)

图 4 各组小鼠航行轨迹

2.2.2.2 空间搜索实验结果

由图 5 可知:与空白组小鼠比较,模型组小鼠潜伏期长,停留原平台象限时长短,穿越原平台次数少;与模型组比较,给药组潜伏期短、停留时间长,穿越次数多,且 PF 组及 AF 组穿越平台次数均具有显著性 ($p<0.05$, $p<0.01$),说明玉米须各萃取物组可以改善小鼠空间学习记忆能力。



注:与空白组比,[#] $p<0.05$,^{##} $p<0.01$;

与模型组比,^{*} $p<0.05$,^{**} $p<0.01$ 。

图 5 各组小鼠空间搜索实验结果比较 ($\bar{x} \pm s$)

2.2.3 脑切片结果

由图 6 可知,空白组的海马 CA1 区域锥体细胞层排列整齐紧密,分布均匀,呈 3~5 层排列,结构清晰,偶见少量细胞散在分布;锥体细胞形态正常,胞核大而圆,核仁明显;模型组的细胞层排列紊乱、稀疏,部分细胞散在分布于细胞层一侧或两侧,细胞数量明显减少,部分锥体细胞空泡变性或坏死,可见胞质染色不均匀,内含大小不等的空泡,部分核固缩、碎裂或溶解消失;与模型组相比,给药组小鼠脑组织损伤模型均有改善,其中吡拉西坦组和 BF 组偶见少量锥体细胞空泡变性或坏死,说明玉米须各萃取物组可以维持痴呆小鼠脑组织结构形态完整,对痴呆小鼠模型有较好的治疗作用。

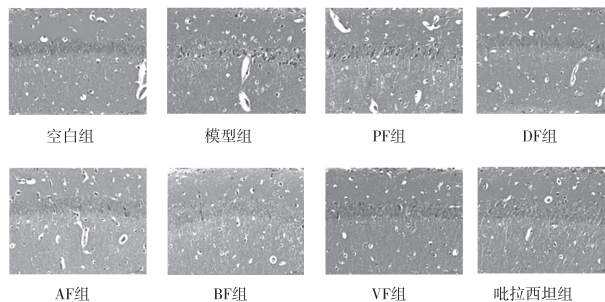


图 6 各组小鼠海马 CA1 区 HE 染色图

2.2.4 ELISA 法测定实验结果

2.2.4.1 各组小鼠血清中 T-SOD 和 MDA 结果

由图 7、图 8 可知:与模型组比较,各萃取物组均能一定程度的提高小鼠血清中 T-SOD 活力,降低 MDA 含量,但不具备显著性,说明玉米须各萃取物组在一定程度可以改善痴呆小鼠的氧化应激损伤。

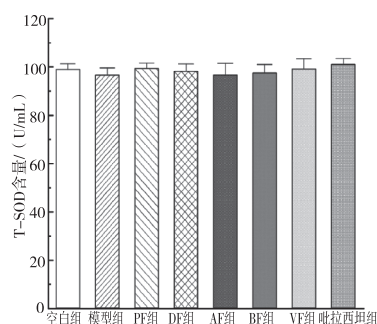


图 7 各组小鼠血清中 T-SOD 结果 ($\bar{x} \pm s$)

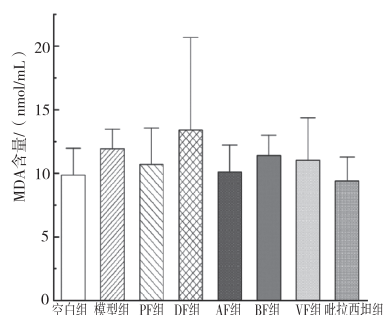


图 8 各组小鼠血清中 MDA 结果 ($\bar{x} \pm s$)

2.2.4.2 各组小鼠血清中 TNF- α 和 IL-1 β 结果

由图 9、图 10 可知:与模型组相比,各萃取物组均能一定程度的降低 TNF- α 的表达水平,AF 组具有显著性($p < 0.05$);各个萃取物组均能一定程度的降低 IL-1 β 的表达水平,除 PF 组外各给药组均具有显著性($p < 0.01$),说明玉米须各萃取物组可以减轻炎症对痴呆小鼠的损伤。

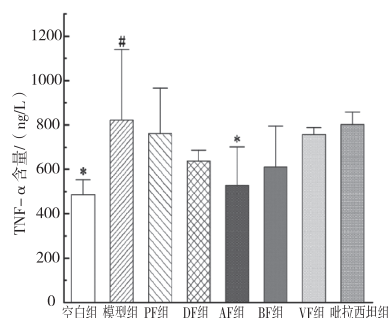
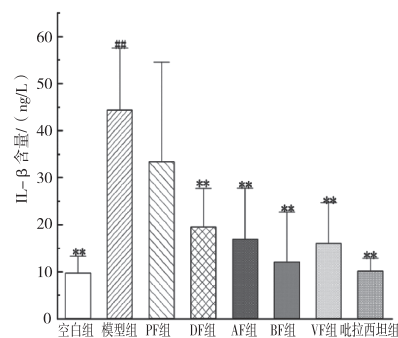


图 9 各组小鼠血清中 TNF- α 结果 ($\bar{x} \pm s$)



注:与空白组比, # $p < 0.05$, ## $p < 0.01$; 与模型组比, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ 。

图 10 各组小鼠血清中 IL-1 β 结果 ($\bar{x} \pm s$)

2.2.4.3 各组小鼠脑组织中 T-SOD 和 MDA 结果

由图 11、图 12 可知:与模型组相比,各萃取物组均能一定程度的提高小鼠脑组织中 T-SOD 活力,减少 MDA 含量,说明玉米须各萃取物组可以改善痴呆小鼠脑组织氧化应激的损伤。

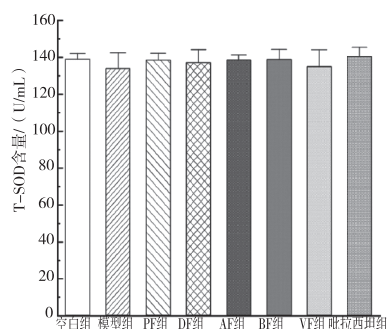
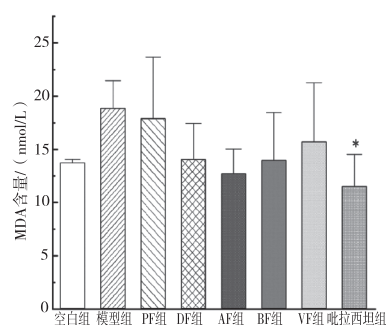


图 11 各组小鼠脑组织中 T-SOD 结果 ($\bar{x} \pm s$)



注:与模型组比, * $p < 0.05$ 。

图 12 各组小鼠脑组织中 MDA 结果 ($\bar{x} \pm s$)

3 结论

在年龄的增长过程中,机体的抗氧化能力会随

之减弱,产生过多的 ROS,ROS 会引起蛋白质和核酸等细胞成分的损伤,导致细胞凋亡或坏死。神经细胞凋亡与 AD 的发生有着紧密的联系,近年来体外培养神经细胞被广泛应用于神经系统退行性疾病的研究中,本文对 PC12、U87 细胞活性的影响实验结果表明,玉米须萃取物对相关神经细胞有一定的安全性。

玉米须有显著的抗氧化活性,可以通过抑制自由基的活性来阻断不良反应,防止自由基过量堆积对组织细胞产生毒害作用,从而避免细胞遭遇氧化损伤,改善学习与记忆能力。老年痴呆最主要的特征之一就是学习记忆能力下降,本文将跳台实验和 Morris 水迷宫实验联用,旨在准确反映 AD 鼠老年痴呆严重程度。跳台实验结果表明:给药组小鼠明显比模型组潜伏时间长、错误次数少,明显改善小鼠认知与学习记忆能力,其中 BF 组和 AF 组疗效更佳。Morris 水迷宫试验:与模型组小鼠比较,给药组潜伏期短、停留时间长、穿越次数多,明显改善小鼠方向辨别的学习能力及记忆能力。

海马区主要负责机体长期记忆的存储、转换和定向等功能,除行为观察实验外,小鼠脑组织海马 CA1 区 HE 染色图以及对小鼠血清和脑组织各指标的检测也能从一定程度上看出小鼠老年痴呆的治疗情况。与模型组相比,给药组海马 CA1 区域锥体细胞层排列整齐紧密,结构清晰,细胞分布集中;锥体细胞形态正常,坏死数量少,致炎因子 TNF- α 和 IL-1 β 明显降低;均能提高 T-SOD 含量、降低 MDA 含量,保护细胞免受氧化应激损伤。综合数据表明,玉米须萃取物对老年痴呆小鼠模型有治疗作用。

参考文献【REFERENCES】

[1] MARTINS RN, VILLEMAGNE V, SOHRABIHR, et al. Alzheimer's Disease: a journey from amyloid peptides and oxidative stress, to biomarker technologies and disease prevention strategies—gains from AIBL and DIAN cohort studies[J]. *Alzheimersdis*, 2018, 62(3): 965–992.

[2] BIELA H, MINOCHA T, KUMAR G, et al. Role of oxidative stress and metal toxicity in the progression of Alzheimer's Disease[J]. *Curr neuropharmacol*, 2020, 18(7): 552–562.

[3] CHEIGNON C, TOMAS M, BONNEFONT-ROUSSELOT D, et al. Oxidative stress and the amyloid beta peptide in Alzheimer's Disease[J]. *Redox biol*, 2018, 14: 450–464.

[4] CIOFFI F, ADAM RHI, BROERSEN K. Molecular mechanisms and genetics of oxidative stress in Alzheimer's Disease

[J]. *Alzheimersdis*, 2019, 72(4): 981–1017.

[5] BUTTERFIELD DA, MATTSON MP. Apolipoprotein E and oxidative stress in brain with relevance to Alzheimer's Disease[J]. *Neurobioldis*, 2020, 138: 104795.

[6] BUTTERFIELD DA, BOYD – KIMBALL D. Oxidative stress, amyloid- β peptide, and altered key molecular pathways in the pathogenesis and progression of Alzheimer's Disease[J]. *Alzheimersdis*, 2018, 62(3): 1345–1367.

[7] AL-OQAIL M M, AL-SHEDDI E S, FARSHORI N N, et al. Corn silk (*Zea mays* L.) induced apoptosis in human breast cancer (MCF-7) cells via the ROS-mediated mitochondrial pathway[J]. *Oxid med cell longev*, 2019, 2019: 9789241.

[8] OKOKON JE, ANTIA BS, MOHANAKRISHNAN D, et al. Antimalarial and antiparasitic activity of husk extract and fractions of *Zea mays*[J]. *Pharm biol*, 2017, 55(1): 1394–1400.

[9] CHO IJ, SHIN JH, CHOI BR, et al. Lemon balm and corn silk mixture alleviates metabolic disorders caused by a high-fat diet[J]. *Antioxidants*, 2022, 11(4): 730.

[10] 宁楚洁, 赵倩, 谢春阳, 等. 玉米须果蔬复合酵素饮料的研制及其抗氧化活性[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(20): 116–122.

[11] 王翠娜, 刘静波, 王二雷, 等. 玉米须食品化及分析研究进展[J]. *食品科学*, 2010, 31(15): 304–307.

[12] 李浩楠, 刘杰, 梁亚蓝, 等. 玉米须总黄酮护肤霜的研制[J]. *广州化工*, 2022, 50(1): 77–79.

[13] 冯小童. 玉米须总黄酮对阿尔茨海默症小鼠学习记忆功能的影响[J]. *山西农经*, 2017(20): 68–69.

[14] 刘杰, 郭江涛, 徐剑, 等. 黔产玉米须不同萃取部位抗氧化作用研究[J]. *食品工业*, 2019, 40(1): 179–183.

[15] HA A W, KANG H J, KIM S L, et al. Acute and subacute toxicity evaluation of corn silk extract[J]. *Preventive nutrition and food science*, 2018, 23(1): 70–76.

[16] 高春霞. 玉米须中异荭草素对苯并(α)芘诱导的肝损伤的保护作用研究及其咀嚼片制备[D]. 西安: 陕西师范大学, 2018.

[17] 陈洪燕, 敖明章, 熊义涛. 蜂眠宁胶囊对 D-半乳糖小鼠抗衰老作用的实验研究[J]. *时珍国医国药*, 2017, 28(1): 84–85.

[18] 谷晓艳, 蒋萍, 康金森, 等. 香茅精油对 D-半乳糖联合三氯化铝致老年痴呆小鼠的影响及作用机制[J]. *中国临床药理学杂志*, 2017, 33(23): 2407–2410.

[19] 杨曦. 白藜芦醇对小鼠记忆能力的提升及抗氧化作用[J]. *数理医药学杂志*, 2015, 28(6): 885–886.

[20] 胡祖林, 张源文, 刘杨, 等. 蓝布正提取物对老年痴呆模型小鼠学习记忆能力及海马区 TNF- α 、AKT 表达的影响[J]. *中国民族民间医药*, 2019, 28(1): 20–24.

氟虫腈对日本鹌鹑的短期饲喂毒性评价*

周冉豪¹, 廖朝选², 王莉娜¹, 谢源¹, 魏杰^{1▲}

(¹ 贵州省检测技术研究应用中心, 贵州 贵阳 550014; ² 贵州省分析测试研究院, 贵州 贵阳 550014)

摘要: 为了明确氟虫腈对鸟类的短期饲喂毒性效应。以准则推荐物种日本鹌鹑为试验对象, 采用饲料拌药法对日本鹌鹑进行短期饲喂毒性测试, 获取半致死浓度并评价其毒性等级。结果显示: 95% 氟虫腈原药对日本鹌鹑的短期饲喂毒性 8 d 的半致死浓度 LC_{50} 为 367.6 mg a. i. /kg 饲料, 95% 置信限为 343.5 ~ 394.4 mg a. i. /kg 饲料, 毒性等级为“高毒”。结果表明: 95% 氟虫腈原药与饲料混拌被鸟类取食后, 对鸟类会产生较高的毒性, 因此在田间施用该农药时要注意对环境鸟类的保护。

关键词: 氟虫腈, 日本鹌鹑, 短期饲喂, 毒性评价

中图分类号: TQ450.261 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0037-04

Evaluation of short-term feeding toxicity of fipronil to *Coturnix japonica* *

ZHOU Ranhao¹, LIAO Chaoxuan², WANG Lina¹, XIE Yuan¹, WEI Jie^{1▲}

(¹ Guizhou Testing Technology Research and Application Center, Guiyang 550014, China; ² Guizhou Academy of Testing and Analysis, Guiyang 550014, China)

Abstract: In order to determine the short-term feeding toxicity of fipronil to birds, *Coturnix japonica* was taken as the test object, and the short-term feeding toxicity test was carried out by mixing the pesticide with the feed to obtain the semi-lethal concentration and evaluate its toxicity. The results showed that the LC_{50} of the short-term feeding toxicity of 95 % fipronil to *Coturnix japonica* was 367.6 mg a. i. /kg feed, and the 95 % confidence limit was 343.5 a. i. /kg feed to 394.4 mg a. i. /kg feed; the toxicity level was high. In conclusion, 95 % fipronil mixed with feed would produce high toxicity to birds. Therefore, attention should be paid to the protection of birds when applying fipronil in the field.

Keywords: fipronil, *Coturnix japonica*, short-term feeding, toxicity evaluation

氟虫腈是苯基吡唑类杀虫剂, 阻碍昆虫 γ -氨基丁酸(GABA)受体控制的代谢途径, 具有触杀、胃毒作用, 可高效杀灭鳞翅目、鞘翅目等农田害虫^[1]。张玉娟等^[2]研究发现, 50 g/L 氟虫腈悬浮剂对棉花

盲蝽象具有更高的防效和更长的作用期, 并且该农药对棉花生长具有较高的安全性。熊强等^[3]研究表明, 氟虫腈对黑胸散白蚁具有良好的慢性毒性和高效的杀灭效果。氟虫腈因高防效和作用期长得到

收稿日期: 2022-08-22; 修回日期: 2022-08-31

基金项目: 贵州省科技基金(黔科合基础[2018]1013); 国家自然科学基金委员会-贵州省人民政府联合基金(No. U1812403-2); 黔科合基础-ZK[2022]一般 463; 黔教合 YJSKYJJ[2021]164。

作者简介: 朱小婷(1998-), 女, 硕士研究生在读, 研究方向: 中药民族药药物新制剂及新剂型。

▲通讯作者: 郭江涛(1987-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 中药民族药药效物质基础及质量标准研究。

广泛应用的同时,也对环境有益生物造成严重危害。研究表明,氟虫腈对家蚕、蜜蜂、赤眼蜂以及水生生物等都具有很强的毒害作用,影响动物的甲状腺功能甚至致癌^[1,4]。

鸟类是生态系统中重要的消费者,在生态食物链中具有不可替代的作用,农业生产中农药的大量施用,对环境中鸟类的生存和繁衍造成严重威胁^[5]。研究表明,啉虫脒对日本鹌鹑的急性经口毒性为高毒,会导致鹌鹑出现蹬腿挣扎、瘫痪、站立不稳等中毒症状,还会产生繁殖负效应^[6], Anderson 和 Duan 的研究发现^[7],鸟类长期接触农药后,除了产生直接毒性作用,还会产生很多慢性毒害,导致产蛋量降低、蛋壳薄、孵化率降低、幼鸟存活率下降等负面影响。邓兆荣^[8]研究新烟碱农药对日本鹌鹑的毒性效应发现,吡虫啉和噻虫嗪会引起鹌鹑肝脏暗黄、质地脆弱,肾脏还会出现肿大,通过对血液物质进行检测分析,确定该农药对鹌鹑肝肾器官会造成损伤。因前人对氟虫腈对鸟类的毒性研究较少,本文以 95% 氟虫腈原药作为供试农药,试验准则推荐物种日本鹌鹑作为试验生物,进行鸟类短期饲喂毒性试验,获得毒性数据并评价其毒性等级,为氟虫腈在田间应用时对鸟类的保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

电子天平(型号为 TLE204E/02,0.0001 g),购自梅特勒-托利多(中国)有限公司;电子天平(型号为 JY5002,0.01 g),上海方瑞仪器有限公司;试验鸟笼(50 cm×60 cm×40 cm),定制;饲料:贵阳正邦畜牧有限公司,经粉碎为粉末,其营养成分如下:粗蛋白质(≥21%)、粗纤维(≤5.0%)、粗灰分(≤8.0%)、钙(0.3%~1.7%)、总磷(≥0.3%)、氯化钠(0.2%~1.0%)、赖氨酸(≥1.05%)、水分(≤13.5%)。

丙酮,购自国药集团化学试剂有限公司。95% 氟虫腈原药,由农业部农药检定所提供。

1.2 试验生物

日本鹌鹑(*Coturnix japonica*):鹌鹑蛋购自江西恒衍禽业有限公司,在实验室孵化后饲养至 14 d 鸟龄进行试验,饲养环境条件为 0~7 d 鸟龄:35~38

℃,8~14 d 鸟龄:30~32 ℃,相对湿度 50%~75%,光暗比 16 h:8 h,饲养期间及时补充饲料与清洗喂水器,保证鹌鹑健康成长,在试验前 7 d 内无鹌鹑死亡。

1.3 试验方法

1.3.1 预试验

参照《化学农药环境安全评价试验准则第 9 部分:鸟类急性毒性试验》中的急性饲喂方法进行^[9]。称取一定质量的 95% 氟虫腈原药,将其用丙酮定容至 10 mL 容量瓶中并摇匀备用。将饲料碎成均匀粉末,然后加入一定体积氟虫腈溶液,搅拌均匀并挥发溶剂后制备丙酮对照、4.0 mg a. i./kg、20.0 mg a. i./kg、100.0 mg a. i./kg、500.0 mg a. i./kg、2000.0 mg a. i./kg 饲料的处理组进行预实验。结果显示,100.0 mg a. i./kg 饲料处理以下试验鹌鹑未发生死亡,500.0 mg a. i./kg 饲料处理中试验鹌鹑死亡达 80%,2000.0 mg a. i./kg 饲料处理中鹌鹑全部死亡。

1.3.2 正式试验

根据预实验结果设置 6 个处理组,分别为 221.0 mg a. i./kg、265.2 mg a. i./kg、318.3 mg a. i./kg、381.9 mg a. i./kg、458.3 mg a. i./kg、550.0 mg a. i./kg 饲料,称取一定质量的 95% 氟虫腈原药,将其用丙酮定容至 10 mL 容量瓶中并摇匀,得到 30.0 mg a. i./mL 的药液,分别移取 0.74 mL、0.88 mL、1.06 mL、1.27 mL、1.53 mL、1.83 mL 的药液于 5 mL 容量瓶中并用丙酮定容得到供试药液。称取 100.0 g 饲料于烧杯中,将其中 1/5 置于培养皿中,取上述所制备的供试药液与 1/5 饲料混匀,待丙酮挥发干后与剩余饲料拌匀,制得所需染毒饲料。随机挑取 10 只鹌鹑,雌雄各半,称量并记录初始体重后,放入试验鸟笼中,并连续饲喂 5 d 每日新配的染毒饲料,之后饲喂未拌药的饲料 3 d,设置空白和丙酮对照,试验温度 25~28 ℃,相对湿度 50%~75%,光暗比 16 h:8 h,试验期间每日观察记录鹌鹑中毒症状和死亡数,同时称量并记录试验 1~5 d 每日饲料消耗量、6~8 d 的饲料消耗量以及第 5 天和第 8 天的试验鹌鹑体重。

1.4 数据处理与毒性评价

利用 Excel 对试验所获得的饲料消耗量、鹌鹑体重以及毒性数据进行统计分析,使用 SPSS 19.0

软件计算半致死浓度 LC_{50} 和 95% 置信限,采用线性模型获取回归方程。

根据试验准则^[9]利用 LC_{50} (mg a. i. /kg 饲料) 进行毒性等级划分:低毒 ($LC_{50} > 1000$), 中毒 ($500 < LC_{50} \leq 1000$), 高毒 ($50 < LC_{50} \leq 500$), 剧毒 ($LC_{50} \leq 50$)。

2 结果与分析

在试验期间,空白对照和丙酮对照的试验鹌鹑未发生死亡和异常行为,符合标准要求,表明试验结果有效,结果见表 1。如表 2 所示,在饲喂染毒饲料期,对照组鹌鹑平均饲料消耗量呈平稳上升趋势,其体重也随之增加;6 个处理组的试验鹌鹑出现拒食行为导致饲料消耗减少,试验周期越长或试验浓度越高,饲料消耗量越低。因农药毒害食量降低,221.0 mg a. i. /kg、265.2 mg a. i. /kg 饲料处理组的鹌鹑平均体重增加明显低于对照组,浓度高于 318.3 mg a. i. /kg 饲料的处理组中鹌鹑平均体重出现负增长的现象,浓度越高现象越明显。饲喂未拌药的饲料后,各处理组 3 天(6~8 d)的饲料消耗量见表 2,每日平均饲料消耗量均高于前 5 d,说明试验鹌鹑食量出现一定增长,体重也随之增加。试验结束时,浓度越高的处理组可能是前期受到的毒害作用越大,导致平均饲料消耗量和体重也越低。试验过程中处理组鹌鹑还出现翅膀蓬松、精神萎靡以及平躺甚至死亡的症状,当停止饲喂染毒饲料后,中毒症状逐渐减轻并恢复正常,但浓度高于 381.9 mg a. i. /kg 饲料处理组仍有精神萎靡的症状。

鹌鹑短期饲喂毒性数据与分析结果见表 1 和表 3。在 95% 氟虫腈原药的短期饲喂暴露下,221.0 mg a. i. /kg、265.2 mg a. i. /kg、318.3 mg a. i. /kg、381.9 mg a. i. /kg、458.3 mg a. i. /kg、550.0 mg a. i. /kg 饲料处理对试验鹌鹑在前 4 d 的死亡率低于 50%, LC_{50} 大于 550.0 mg a. i. /kg 饲料。试验第 5 天,最高浓度处理死亡过半,死亡率分别为 0%、0%、0%、10%、50%、90%,半致死浓度 LC_{50} 为 458.9 mg a. i. /kg 饲料,95% 置信限为 448.2~470.1 mg a. i. /kg 饲料。试验第 6 天,处理组死亡率分别为 0%、10%、30%、50%、80%、100%,半致死浓度 LC_{50} 为 367.6 mg a. i. /kg 饲料,95% 置信限为 343.5~394.4 mg a. i. /kg 饲料。试验 7~8 d 时试验鹌鹑未发生死亡,因此 95% 氟虫腈原药对日本

鹌鹑的短期饲喂毒性终点 LC_{50} 为 367.6 mg a. i. /kg 饲料,根据毒性等级划分标准,该农药对日本鹌鹑毒性等级为“高毒”。

表 1 试验鹌鹑存活数与中毒症状

处理组	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d
空白对照	10/A	10/A	10/A	10/A	10/A	10/A	10/A	10/A
丙酮对照	10/A	10/A	10/A	10/A	10/A	10/A	10/A	10/A
221.0 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	10/BC	10/BC	10/BCD	10/BCD	10/BC1D1	10/BD	10/D3	10/A
265.2 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	10/BC	10/BC	10/BCD	10/BCD	10/BC1D1	9/BD	9/D4	9/A
318.3 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	10/BC	10/BC	10/BCD	10/BCD	10/BC4D3	7/BD	7/D	7/A
381.9 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	10/BC	10/BC	10/BCD	10/BCD	9/BC4E3	5/BC	5/D	5/AD1
458.3 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	10/BC10/BCD	10/BCD	10/BCD	5/BC2E3	2/BCD	2/D	2/D	
550.0 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	10/BC10/BCD	10/BCD	9/BCD	1/BE	0	0	0	

注:A-活动正常;B-食量减少;C-羽毛蓬松;D-精神萎靡;E-平躺。

表 2 试验鹌鹑平均饲料消耗量及体重

处理组	平均饲料消耗量/g						平均体重/g		
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6~8 d	0 d	5 d	8 d
空白对照	9.96	10.50	11.70	11.39	12.41	40.27	43.5	65.3	72.5
丙酮对照	10.05	10.73	12.20	11.23	12.16	39.97	43.8	65.3	72.8
221.0 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	4.86	3.07	4.16	3.35	2.45	23.96	43.6	50.5	57.2
265.2 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	4.78	2.36	2.88	2.21	1.43	20.47	43.7	45.2	51.6
318.3 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	3.58	2.06	2.86	2.12	0.96	18.67	43.4	39.1	47.0
381.9 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	3.14	2.07	2.09	1.37	0.67	12.94	43.4	37.5	43.4
458.3 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	2.76	1.84	1.62	0.72	0.96	5.55	43.9	31.4	40.7
550.0 mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料	2.70	1.52	1.19	0.48	0.69	/	43.7	27.6	/

表 3 95% 氟虫腈原药对日本鹌鹑的毒性数据分析

试验生物	试验时间	回归方程	R^2	LC_{50} / (mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料)	95% 置信限 / (mg a. i. · kg ⁻¹ 饲料)	毒性等级
日本鹌鹑	≤4d	/	/	>550.0	/	/
	5d	y=0.153x-26.6	0.597	458.9	448.2~470.1	/
	6d	y=0.201x-24.4	0.811	367.6	343.5~394.4	高毒

3 结论

研究发现,95% 氟虫腈原药通过饲料拌药法对日本鹌鹑会产生一定毒害作用,导致试验鹌鹑出现体重减轻、羽毛蓬松、精神萎靡、平躺等较为严重的症状。当停止饲喂染毒饲料后,鹌鹑的中毒症状得到缓解并逐渐恢复,但高浓度处理(>381.9 mg a.i./kg 饲料)中日本鹌鹑仍然精神萎靡,未得到彻底恢复,同时浓度越高的处理组鹌鹑食量恢复效果越差。可能是经过高浓度染毒饲料饲喂的鸟类需要更长的恢复期,也可能是高浓度处理会对鸟类产生不可逆转的伤害导致中毒症状不能完全恢复。本研究中短期饲喂毒性终点 LC_{50} 为 367.6 mg a.i./kg 饲料,该半致死浓度在“50 mg a.i./kg 饲料 < LC_{50} ≤ 500 mg a.i./kg 饲料”范围内,毒性等级为“高毒”。吴长兴^[10]使用经口灌胃法也得出氟虫腈水分散粒剂对鹌鹑毒性为“高毒”的结论。研究表明,氟虫腈农药对鸟类会产生较高的毒害作用。

李佳欢等^[11]研究发现,氟虫腈对蜜蜂具有较高的急性毒性,同时还会显著降低幼虫化蛹率和羽化率、增加成蜂死亡率,降低蜂体内酶活力,造成氧化损伤等亚致死效应。吴声敢等^[12]研究氟虫腈对家蚕毒性试验中明确其具有高毒毒性。氟虫腈还会对水生生物产生严重危害,研究表明,氟虫腈对麦瑞加拉鲢鱼幼鱼的 LC_{50} 为 0.004 mg/L,毒性等级达到高毒,会导致幼鱼躯体弯曲、内脏变黑、鳃颜色变淡甚至死亡,氟虫腈对斑马鱼胚胎发育具有显著影响,会引起胚胎和幼鱼死亡并导致幼鱼脊柱弯曲,随着暴露浓度的增加,负效应也越严重^[13-14]。由上述可知,氟虫腈对环境蜜蜂、家蚕、鱼类等生物生存和繁殖都会产生严重影响,也会对大自然中鸟类的健康和存活造成威胁。因此为保护自然界中鸟类,维护物种多样性和生态系统稳定性,在田间使用氟虫腈农药时,要严格遵照使用说明,在满足害虫防治效果的基础上尽可能的降低施用量,杜绝滥用和增量施用,以减轻对鸟类所产生的危害。

参考文献【REFERENCES】

[1] 侯莉莉,李艳,张冷思,等. 氟虫腈的毒作用机理及其

残留的检测方法[J]. 安徽农业科学,2020,48(3):8-10.

[2] 张玉娟,崔明晖,韩秋成,等. 氟虫腈等 4 种药剂对棉田盲蝽象的田间药效试验[J]. 棉花科学,2018,40(5):40-42.

[3] 熊强,李大波,高勇勇,等. 不同浓度氟虫腈防治黑胸散白蚁的效果研究[J]. 华中昆虫研究,2018(14):247-251.

[4] 苍涛,王新全,王彦华,等. 手性氟虫腈对意大利蜜蜂和稻螟赤眼蜂的急性毒性及安全评价[J]. 生态毒理学报,2012,7(3):326-330.

[5] 杨淞霖,尹晶,郝伟玉,等. 3 种农药及其复配制剂对日本鹌鹑的急性毒性比较[J]. 生态毒理学报,2017,12(2):228-232.

[6] 潘波,刘迎,姜蕾,等. 啮虫脒对日本鹌鹑的毒性效应[J]. 农药,2016,55(9):675-678.

[7] ANDERSON W L, DUAN R E. DDE residues and egg-shell thinning in loggerhead shrikes[J]. Wilson bulletin,1978,90:215-220.

[8] 邓兆荣. 两种新烟碱类杀虫剂对日本鹌鹑的毒性及毒理效应研究[D]. 泰安:山东农业大学,2013.

[9] 中华人民共和国农业部. 化学农药环境安全评价试验准则第 9 部分: 鸟类急性毒性试验: GB/T 31270. 9—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2015.

[10] 吴长兴. 毒死蜱和氟虫腈的环境毒理与风险[D]. 杭州:浙江大学,2010.

[11] 李佳欢,齐素贞,吴黎明,等. 氟虫腈对意大利蜜蜂工蜂幼虫及幼龄工蜂的亚致死效应[J]. 生态毒理学报,2021,16(5):314-325.

[12] 吴声敢,王强,赵学平,等. 阿维菌素和氟虫腈对家蚕毒性与安全性评价研究[J]. 浙江农业学报,2004,16(5):309-312.

[13] 刘祖毅,杨阳,王志铮,等. 2 种农药对麦瑞加拉鲢鱼幼鱼的急性毒性[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版),2010,29(2):173-178.

[14] 章晓凤,张微,周聪. 氟虫腈和铜对斑马鱼早期发育的联合毒性效应[J]. 浙江工业大学学报,2012,40(6):612-615.

收稿日期:2023-01-11;修回日期:2023-02-27

基金项目:黔科院 J 字[2021]34 号。

作者简介:周冉豪(1991-),男,贵州贵阳人,工程师,主要从事农药分析。

▲通讯作者:魏 杰(1995-),男,贵州贵阳人,高级工程师,主要从事农药环境与毒理研究。

纤维素降解细菌的筛选、鉴定及产酶条件优化*

彭永妍,杨彬彬,李志羲,何玲,伍勇,邱成书[△]

(成都师范学院 化学与生命科学学院,四川 成都 611130)

摘要: 在成都师范学院校园采集土壤,经过两次富集培养。选择羧甲基纤维素钠-刚果红平板结合降解圈直径和菌落直径的比值进行初筛,筛选得到两株生长良好的菌株,编号 S-04 和 S-10。利用液体产酶培养基,测定羧甲基纤维素酶和滤纸酶的活性进行复筛。综合两种酶活性,最终筛选出纤维素降解效果较好的菌株 S-04。以 S-04 菌株为研究对象,研究其形态观察、革兰氏染色、生理生化鉴定、分子鉴定,并对其产酶条件优化。实验结果显示:S-04 号菌株菌落为圆形,表面平滑,边缘较平整,中央较突出,较湿润,菌落整体不透明,呈现淡黄色,革兰氏阴性菌。结合生理生化和分子鉴定,该菌为产碱杆菌属中的粪产碱菌(*Alcaligenes faecalis*)。该菌产酶最适碳源为羧甲基纤维素钠(CMC-Na);最适氮源为牛肉膏。

关键词: 纤维素降解细菌,筛选,鉴定,羧甲基纤维素酶,滤纸酶

中图分类号:Q939.96 文献标识码:A 文章编号:1003-6563(2023)04-0041-05

Screening, identification and enzyme-producing conditions optimization of cellulose-degrading bacterial strains*

PENG Yongyan, YANG Binbin, LI Zhixi, HE Ling, WU Yong, QIU Chengshu[△]

(College of Chemistry and Life Sciences, Chengdu Normal University, Chengdu 611130, China)

Abstract: Soil samples were collected from the campus of Chengdu Normal University. Two strains were screened out from the collected samples by the carboxymethyl cellulose-Congo red medium and the ratio of the diameter of the degradation circle to the colony diameter, and were named S-04 and S-10. Strain S-04 was selected by detecting the activities of carboxymethyl cellulase (CMCase) and filter paper enzyme. Strain S-04 was determined to be *Alcaligenes faecalis* based on morphologic observation, Gram staining, physiological-biochemical identification, and molecular identification. The optimum enzyme-producing conditions for S-04 were as follows: CMC-Na as the carbon source, and beef extract as the medium.

Keywords: cellulose-decomposing bacteria, screen, identification, carboxymethyl cellulase, filter paper enzyme

0 引言

纤维素是葡萄糖单体通过 β -1,4糖苷键相互连接而成的高分子多糖,其结构紧密,排列有序^[1]。地球上有着非常丰富的纤维素资源,且纤维素是可再生资源^[2]。自然界纤维素十分丰富,植物光合作用产生大量的纤维素,但绝大多数都因其结构复杂,难以利用。目前,能够降解纤维素的主要是细菌、真

菌以及放线菌^[3]。目前已有研究报道的可降解纤维素的微生物有200多种^[4],主要是产碱菌属(*Alcaligenes*)、生孢噬纤维菌属(*Sporocytophaga*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)等。因为细菌繁殖周期短、结构简单、分布广等特点,国内外学者发现了其在纤维素降解方面的巨大潜力。同时细菌可与真菌互补形成复合菌系,拥有更强的降解能力^[4-5]。因此,纤维素降解细菌的研究很有前景。

本研究采集校园土壤,分离得到能够降解纤维

素的细菌,对其菌株进行分子鉴定和对产酶条件进行优化。为后续利用纤维素降解细菌的研究提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 样品采集

实验样品土壤来自成都师范学院小树林(主要树木品种为银杏)。使用五点采样法,在采样时,拨开表面落叶,采集土层 5 ~ 10 cm 的土样,放入密封袋,做好标记。

1.1.2 实验试剂

1.1.2.1 培养基

实验所用富集培养基^[3],筛选和分离所用羧甲基纤维素钠培养基^[6]、纤维素刚果红培养基^[7-8]、液体产酶鉴定培养基^[7]、LB 培养基^[1]。培养基配制参照文献^[9],略作修改。

1.1.2.2 试剂及配制

羧甲基纤维素钠(CMC-Na)、K₂HPO₄、MnSO₄、NaCl、(NH₄)₂SO₄、KH₂PO₄、NaOH、KNO₃、NaNO₃、乙酸钠、冰醋酸、淀粉、葡萄糖、蔗糖、酒石酸钾钠、3,5-二硝基水杨酸(DNS)、苯酚、蛋白胨、胰蛋白胨、琼脂、牛肉膏、酵母粉、琼脂糖等。试验所用常规试剂均为分析纯。

细菌生理生化鉴定试剂:购买杭州微生物试剂公司生理生化鉴定管。

试验用 0.1 mol/L 醋酸-醋酸钠缓冲溶液(pH=4.6)^[6]、羧甲基纤维素钠(CMC-Na)溶液^[10]、葡萄糖标准使用液^[11]、DNS 试剂^[12]。

1.1.3 实验仪器

pH 计(PHS-3E),上海仪电科学仪器股份有限公司;立式蒸汽灭菌器(DGL-50B),江苏登冠医疗器械有限公司;电子天平(FA1004B),上海良平仪器仪表有限公司;超净工作台(VS-840-1),上海博讯实业有限公司医疗设备厂;电热恒温培养箱(DHP-220),郑州生元仪器有限公司;电热恒温水浴锅(HH-S1),江苏金坛市金城国胜实验仪器厂;电泳仪(DYY-8C),北京市六一仪器厂;PCR 扩增仪(BIO-RAD S1000),美国伯乐;凝胶成像系统

(JY04S-3E),北京君意东方电泳设备有限公司;紫外分光光度计(UV754),上海菁华科技仪器有限公司;离心机(HC-2062),安徽中科中佳科学仪器有限公司;冰箱(BCD-2255LDA),青岛海尔股份有限公司。

1.2 菌种筛选与鉴定

1.2.1 纤维素降解细菌的筛选

富集培养基进行两次富集。富集培养基生长良好的菌落,转移至纤维素刚果红培养基进行初筛,将接种后的菌株培养基置于 30 ℃ 恒温培养箱中,培养 48 ~ 72 h。观察各平板上的菌株生长情况。观察平板上出现的透明圈,测定并记录透明圈直径(*D*)和菌落直径(*d*),计算透明圈直径与菌落直径的比值(*D/d*)。选择 *D/d* 比值较大且透明圈清晰度较高的两株菌株进入复筛^[12]。

初筛得到的菌株分别接种于相应的 LB 液体培养基中,30 ℃ 恒温培养 48 h,将菌株制成种液^[12]。2% 的接种量接种到 250 mL 液体产酶培养基中^[1],置于 30 ℃ 恒温培养箱中,培养观察 72 h。离心培养基内混合液体(5000 rpm,15 min),取上清酶液。参照 QB2583—2003^[11]测定菌株的 CMC 酶活和滤纸酶活;综合比较两种酶活性,选择两种酶活力值都较高的菌株作为最终筛选的目的菌株进行后续研究。

1.2.2 纤维素降解细菌的鉴定

1.2.2.1 形态观察

将菌株转接至 LB 固体培养基中,置于 30 ℃ 恒温培养 48 h,观察其生长状态,并记录菌落的形状、大小、表面、颜色、边缘情况、透明度等特征,并对菌株进行革兰氏染色^[9]。

1.2.2.2 生理生化鉴定

参照《常见细菌鉴定手册》,按照杭州微生物试剂公司生理生化鉴定管使用说明书进行鉴定。

1.2.2.3 分子生物学鉴定

采用生工有限公司(Sangon Biotech)细菌基因组 DNA 快速抽提试剂盒,按照试剂盒使用说明书,提取两株菌的基因组 DNA。

PCR 反应以基因组 DNA 作为模板,通用 16S rDNA 引物^[13],正向引物 27F:5'-AGAGTTTGATC-CTGG CTCAG-3',反向引物为 1492R:5'-GGTAC CTTGTTACGACTT-3',引物由上海生工有限公司合

成。

PCR 反应总体积为 50 μL :模板 2 μL ,模板各 1 μL ,Taq PCR Master Mix 25 μL ,添加 dd H_2O_2 1 μL 至 50 μL 。PCR 扩增反应程序为:94 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 2 min,94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 1 min,55 $^{\circ}\text{C}$ 退火 1 min,72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 90 min,72 $^{\circ}\text{C}$ 保持 10 min,循环 30 次,4 $^{\circ}\text{C}$ 保温。

将扩增得到的 16S rDNA PCR 产物经 1% 琼脂糖凝胶电泳检测后,用 SanPrep 柱式 DNA 胶回收试剂盒进行纯化,送往上海生工有限公司进行测序。测序结果经 DNAMAN 拼接校对后,与 NCBI 中 GenBank 数据库中已有序列进行 BLAST 对比分析^[12],并进行同源性比较和同源性分析,运用 MEGA7.0 软件构建菌株系统发育进化树。

1.3 纤维素降解细菌的产酶条件优化

为探究 S-04 菌纤维素酶的产酶条件,分别开展了该菌菌株的最适碳源和最适氮源进行探究。

1.3.1 最适碳源优化

以液体发酵培养基为基础,采用 CMC-Na、葡萄糖、蔗糖、淀粉作为唯一碳源,30 $^{\circ}\text{C}$ 培养目的菌株。分别测定 CMC 酶活性和滤纸酶活性,确定最适碳源。

1.3.2 最适氮源优化

液体发酵培养基中,用蛋白胨、牛肉膏、酵母粉、硝酸钾、硝酸钠、硫酸氨作为唯一氮源,30 $^{\circ}\text{C}$ 培养目的菌株。分别测定 CMC 酶活性和滤纸酶活性,筛选其最适氮源。

2 结果与分析

2.1 纤维素降解细菌的筛选

2.1.1 纤维素降解细菌的初筛

按照纤维素菌初筛方法,选出 8 株长势较好的、透明圈清晰的菌株,测定并记录其 D 和 d 的值,计算 D/d 的数值。结果见表 1。

从表 1 看,菌株 S-04 号的 D/d 最大,为 1.64,其次为 S-10 号,比值为 1.61。选择 S-04 号和 S-10 号进行复筛。

表 1 菌株的透明圈直径和菌落直径

菌株	D/cm	D/cm	D/d
S-01	0.28	0.36	1.29
S-04	0.33	0.54	1.64
S-06	0.32	0.49	1.53
S-10	0.23	0.37	1.61
S-11	0.39	0.42	1.08
S-12	0.35	0.51	1.46
S-14	0.25	0.34	1.36
S-15	0.26	0.37	1.42

2.1.2 纤维素降解细菌的复筛

以筛选得到的菌株 S-04 号和 S-10 号进行复筛。测定两株菌的 CMC 酶活和滤纸酶活性。结果见表 2。

表 2 菌株的纤维素酶活性和滤纸酶活性

菌株编号	CMC 酶活/(U/mL)	滤纸酶活/(U/mL)
S-04	0.2213	0.1608
S-10	0.1328	0.1661

从表 2 可以看出:S-04 号菌株的 CMC 酶活性远高于 S-10 号,而 S-10 号菌株的滤纸酶活力略高于 S-4 号。综合 CMC 酶活性和滤纸酶活性,选择 S-04 菌株作为产酶研究的出发菌株。

2.2 纤维素降解细菌的鉴定

2.2.1 纤维素分解菌形态观察

在普通琼脂培养基上,30 $^{\circ}\text{C}$ 培养 48 h,观察:S-04 号菌株菌落为圆形,表面平滑,边界较平整,但中部稍微隆起,表面湿润,且菌落不透明,呈浅黄色(图 1)。革兰氏染色后,显微镜下观察红色杆状,为革兰氏阴性细菌(图 2)。

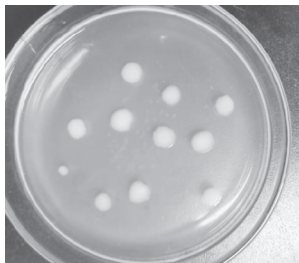


图 1 S-04 号菌株菌落形态

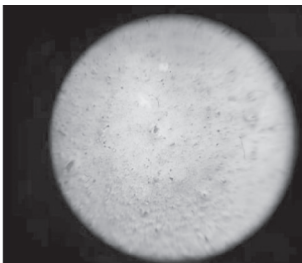


图 2 S-04 号菌株革兰氏染色

2.2.2 生理生化鉴定

对 S-04 号菌株进行 8 项生理生化鉴定,鉴定

结果见表 3。

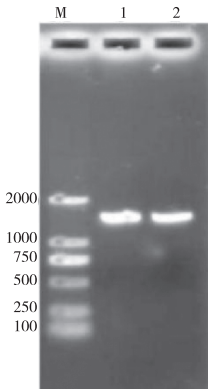
表 3 菌株的生理生化特征

试验项目	鉴定结果
淀粉水解	-
蔗糖	+
葡萄糖	+
乳糖	-
半乳糖	-
麦芽糖	+
木糖	+
硝酸盐还原	-

注：“+”为阳性，“-”为阴性。

2.2.3 分子生物学鉴定

提取 S-04 号菌株 DNA,并用琼脂糖凝胶电泳进行检测。以提取的 DNA 样品作为模板,通过 16S rDNA 通用引物扩增得到的 PCR 产物,琼脂糖凝胶电泳进行检测,如图 3。



注:泳道 1-2 为 S-04 号菌株 16S rDNA 基因扩增产物,M 为 DL2000 Maker。

图 3 16S rDNA PCR 电泳图

从图 3 可以看出:扩增出一条清晰片段,条带大小约 1500 bp 左右。测序,所测序用 SeqMan 对进行拼接,最终得到 S-04 号菌株 16S rDNA 的长度为 1432 bp。将两株菌株在 NCBI 中 GenBank 数据库已有序列进行 BLAST 对比,发现与粪产碱菌(*Alcaligenes faecalis*) MOR02 菌株的同源性相似度最高,且一致性大于 99%。

采用 Mega 7.0 对目的菌株的同源性和相似性进行分析构建系统进化树(图 4)。由图知:进化树节点处数值均大于 90%,S-04 号菌株与 *Alcaligenes faecalis strain* MOR02 菌株同源性达 99% 以上。推测该菌株属于产碱菌属(*Alcaligenes*)细菌。

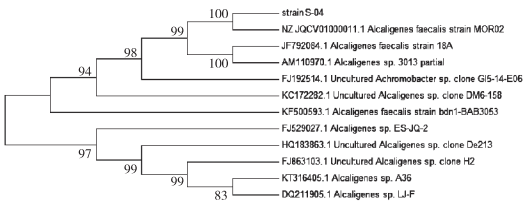


图 4 菌株系统发育进化树

2.3 纤维素降解细菌的产酶条件优化

2.3.1 不同碳源对产酶影响

选取葡萄糖、蔗糖、淀粉和 CMC-Na 作为碳源,其他成分不变,测定 CMC 酶活性和滤纸酶活性,其结果见表 4 和图 5。从表 4 和图 5 中可知:当碳源为蔗糖时,CMC 酶的活性达到了较高的酶活,为 0.5763 U/mL,其次为 CMC-Na,为 0.2213 U/mL;当碳源为淀粉时,滤纸酶的活性达到了较高的酶活,为 0.1550 U/mL,其次为 CMC-Na,为 0.1217 U/mL。综合两种酶活性,CMC-Na 作为碳源时,其 CMC 酶活性和滤纸酶活性都有稳定的表现。因此,CMC-Na 作为 S-04 菌株的最佳碳源。不同碳源对纤维素分解菌的不同酶组分的活性存在较大差异^[10,12]。表明碳源差异也是影响纤维素分解细菌产酶条件的一个重要因素;需要进一步探索纤维素菌碳源的利用情况。

表 4 不同碳源酶活

碳源	CMC 酶活/(U/mL)	滤纸酶活/(U/mL)
葡萄糖	0.0882	0.0552
蔗糖	0.5763	0.0552
淀粉	0.0882	0.1550
CMC-Na	0.2213	0.1217

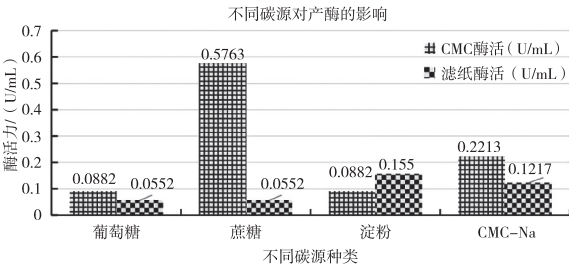


图 5 碳源对产酶活性的影响

2.3.2 不同氮源对产酶影响

选择蛋白胨、酵母粉、牛肉膏和硝酸钾等六种氮

源,其他条件不变,测定其 CMC 酶活性和滤纸酶活性,结果见表 5 和图 6。从表 5 和图 6 中可知:不同的氮源,S-04 菌株的 CMC 酶和滤纸酶的活性差异很大,表明 S-04 菌可以利用不同种类的氮源,但不同氮源的产酶能力差异很大^[2,4]。用牛肉膏作氮源时,CMC 酶的活性达到了较高的酶活,为 0.6247 U/mL,滤纸酶活性为 0.2619 U/mL,两个纤维素酶组分的活性均为最高值。其次为硝酸钠,两个酶组分的活性较牛肉膏有一定差异,但差别不如其他氮源那么明显。总的来看,结合两酶组分活性,S-04 菌株的最适氮源为牛肉膏。

表 5 不同氮源酶活

氮源	CMC 酶活/(U/mL)	滤纸酶活/(U/mL)
蛋白胨	0.1003	0.0703
酵母粉	0.3222	0.1107
牛肉膏	0.6247	0.2619
硝酸钾	0.1205	0.2115
硝酸钠	0.6045	0.1611
硫酸铵	0.2012	0.1208

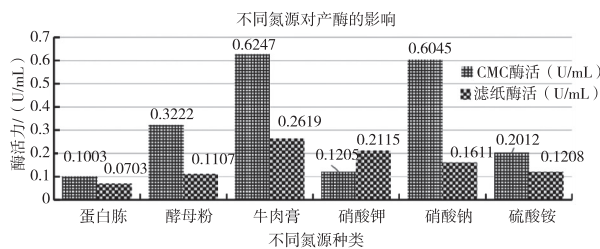


图 6 氮源对产酶活性的影响

3 小结

以校园树林表层土作为试验样品,通过富集培养、涂布平板初筛获得 8 株具有较强纤维素分解能力的细菌;然后通过液体发酵进行复筛,最终筛选得到纤维素分解细菌 S-04 株,并依此进行生理生化鉴定和产酶条件优化。根据菌株形态特征、生理生化特征和 16S rDNA 基因序列分析,S-04 菌株属于产碱菌属的细菌。

对 S-04 菌株的产酶条件简单优化,初步确定该菌碳源谱较为广泛,能利用有机碳源和无机碳源,总体来看,CMC-Na 是其产酶效果较好的碳源。该菌能广泛利用无机和有机氮源,牛肉膏为其最适氮源。对于详细的产酶最佳条件,我们有待于进一步

研究。本实验获得的具有纤维素分解能力微生物可以作为生物降解环境中纤维素材料的出发菌株。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 刘晓梅. 杏鲍菇菌渣纤维素降解菌的筛选、复合菌剂构建及应用[D]. 北京:中国农业科学院,2015.
- [2] HUSSAIN A A, ABDEL-SALAM M S, ABO-GHALIA H H, et al. Optimization and molecular identification of novel cellulose degrading bacteria isolated from Egyptian environment[J]. Journal of genetic engineering and biotechnology, 2017, 15(1): 77-85.
- [3] 周锦锦. 高温纤维素降解菌的分离筛选及复合腐熟剂的应用研究[D]. 南京:南京农业大学,2016.
- [4] 孙悦. 高温纤维素降解菌的分离与鉴定研究[D]. 秦皇岛:河北科技师范学院,2021.
- [5] 陈晨. 纤维素降解菌群的纯化鉴定及其诱变育种[D]. 天津:天津理工大学,2013.
- [6] 于素素. 低温玉米秸秆降解菌的筛选及其复合菌系产酶条件优化[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2019.
- [7] 高静. 棉花秸秆木质纤维素降解菌的筛选及鉴定[D]. 塔里木:塔里木大学,2012.
- [8] OLOWOMOFE T O, BABALOLA T F, OLUYIDE O O, et al. Isolation, screening and molecular identification of cellulose-degrading bacteria from paper and pulp mill dumpsites [J]. Frontiers in environmental microbiology, 2019, 5(3): 77-83.
- [9] 徐德强, 王英明, 周德庆. 微生物学实验教程[M]. 4 版. 北京:高等教育出版社,2019.
- [10] 薛藩. 纤维素降解微生物的筛选及高效纤维素酶活条件研究[D]. 扬州:扬州大学,2019.
- [11] 全国食品工业标委会工业发酵分会. 纤维素酶制剂:QB/T 2583—2003[S]. 北京:中国轻工业出版社,2004.
- [12] 杨艳. 纤维素降解菌的筛选、鉴定及发酵产酶特性研究[D]. 南充:西华师范大学,2015.
- [13] TILSALA-TIMISJÄRVI A, ALATOSSAVA T. Development of oligonucleotide primers from the 16S-23S rRNA intergenic sequences for identifying different dairy and probiotic lactic acid bacteria by PCR[J]. International journal of food microbiology, 1997, 35(1): 49-56.

收稿日期:2022-08-31;修回日期:2022-09-14

基金项目:大学生创新创业项目(S202014389167)。

作者简介:彭永妍,成都师范学院,生物科学 2018 级学生。

▲通讯作者:邱成书,男,副教授,博士,主要从事资源微生物和环境微生物研究。

草莓中农药残留及重金属污染状况研究*

于霞,曹俊杰,王乾丽,胡永娇,冉艳

(贵州省检测技术研究应用中心,贵州 贵阳 550014)

摘要: 为了了解某地草莓中农药残留和重金属污染情况,采用液相色谱-串联质谱法、气相色谱-质谱联用法、液相色谱-柱后衍生法、电感耦合等离子体质谱法及原子吸收光谱法分析草莓中农药残留及重金属污染状况。结果表明,33 种农药残留和 5 种重金属,在标准曲线内呈现良好的线性关系,精密度按照相关标准开展试验。在检测的 36 批次草莓中,其中有 8 批次草莓检出农药残留,占比为 22.22%,有 18 批次草莓检出重金属,占比为 50.00%,其中,4 类农残检出率较高,2 类重金属检出较高,但所测样品中农药残留及重金属含量均未超标,检出项目的食品安全指数均小于 1。

关键词: 草莓,农药残留,重金属,风险评估,安全指数

中图分类号:S663.9;S131+.3 文献标识码:A 文章编号:1003-6563(2023)04-0046-04

Study on pesticide residues and heavy metal contamination in strawberries*

YU Xia, CAO Junjie, WANG Qianli, HU Yongjiao, RAN Yan

(Guizhou Testing Technology Research and Application Center, Guiyang 550014, China)

Abstract: In order to understand the situation of pesticide residues and heavy metal contamination in strawberries, liquid chromatography-tandem mass spectrometry, gas chromatography-mass spectrometry, liquid chromatography-post column derivatization, inductively coupled plasma-mass spectrometry, and atomic absorption spectrometry were adopted for the analysis. The results showed that the 33 pesticide residues and 5 heavy metals showed a good linear relationship in the standard curve, and the precision was tested according to relevant standards. Among the 36 batches of strawberries tested, pesticide residues were detected in 8 batches, accounting for 22.22%; heavy metals were detected in 18 batches, accounting for 50.00%. The detection rate of 4 kinds of pesticide residues and 2 kinds of heavy metals was high. However, the pesticide residues and heavy metals in the tested samples did not exceed the standard, and the food safety indexes of the detected items were all less than 1.

Keywords: strawberry, pesticide residues, heavy metals, risk assessment, safety index

草莓是鲜食为主的水果,由于草莓的皮包细嫩、饱满多汁、果软和极难保存等特点,成熟期的草莓在不挤压的情况下仅能保持 1~2 天。草莓在大棚的生长过程中,容易遇到病虫和细菌的侵害。因此,果农常喷洒农药防止病虫害,进而提高草莓产量。由于果农对农药施用及安全相关的知识和意识缺乏,导致了农药滥用的情况较为严重。为掌握花溪区草莓中农药残留及重金属污染状况,评估草莓质量安全,促进草莓高品质发展。本试验以某地种植草莓

为样品,对草莓中的农药残留量和重金属含量进行质量安全评估,同时为果农在草莓种植过程中对农药施用、周期性监控以及施肥和土质管理提供依据。

1 材料方法

1.1 材料与试剂

在 10 个采摘果园按照 2022 年国家食品安全抽检管

理办法实施细则,随机抽取 5 批次,共计 50 批次样品,样品制备根据 GB 2763—2021 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量^[1]和 GB 2762—2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量^[2]的要求,去除柄和叶,用粉碎机粉碎,保存在-22~-18℃,备用。满足农药残留和重金属的检测要求,抽样覆盖面也能客观反映贵阳市花溪区草莓生产质量安全状况。

1.2 实验方法

根据国家实施细则和市场调研情况,检验检测项目选择克百威(包括三羟基克百威)、涕灭威(包括涕灭威砒和涕灭威亚砒)、苯醚甲环唑、吡虫啉、啶虫脒、吡啶醚菌酯、多菌灵、唑虫酰胺、灭多威、腐霉利、甲胺磷、敌敌畏、乙酰甲胺磷、氧乐果、甲拌磷、氯唑磷、甲基对硫磷、马拉硫磷、倍硫磷、毒死蜱、水胺硫磷、甲基异柳磷、二甲戊灵、联苯肼酯、三唑磷、肟菌酯、联苯菊酯、甲氰菊酯、氯氟氰菊酯和高效氯氟氰菊酯、氯氰菊酯和高效氯氰菊酯、烯酰吗啉、溴氰菊酯和阿维菌素 33 种;铅、镉、砷、汞、锡等 5 种重金属。

根据标准:GB/T 20769—2008 水果和蔬菜中 450 种农药及相关化学品残留量的测定 液相色谱-串联质谱法^[3]、NY/T 1379—2007 蔬菜中 334 种农药多残留的测定气相色谱质谱法和液相色谱质谱法^[4]、GB 23200.113—2018 食品安全国家标准 植物源性食品中 208 种农药及其代谢物残留量的测定 气相色谱-质谱联用法^[5]、GB 23200.112—2018 食品安全国家标准 植物源性食品中 9 种氨基甲酸酯类农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱-柱后衍生法^[6]、GB 5009.12—2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定^[7]、GB 5009.15—2014 食品安全国家标准 食品中镉的测定^[8]、GB 5009.11—2014 食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定^[9]、GB 5009.17—2021 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定^[10]、GB 5009.16—2014 食品安全国家标准 食品中锡的测定^[11]。

1.3 膳食摄入风险评估方法

食品安全指数是评价食品安全的有效手段之一,通过对草莓的检测,计算出草莓中的食品安全指数^[12]。

$$IFS=\frac{EDlc \times f}{Slc \times mb} \tag{1}$$

$$EDlc=R \times F \times P \times E \tag{2}$$

式(1)式(2)中:EDlc 为农药的实际摄入量估量值;f 为安全摄入量校正因子;Slc 为安全摄入量;mb 为平均人体质量;R 为农药的残留量;F 为草莓估计摄入量;E 为草莓的可食部分因子;P 为草莓的加工处理因子。

2 结果与分析

2.1 线性关系、检出限和定量限

农药残留量产生基质效应,除 GB 23200.112—2018 之外都用基质标对试验进行校准分析,元素指标采用试剂配标对试验进行校准分析。如表 1 所示,在各自的线性范围内,线性关系良好,相关系数(r)均大于 0.992。采用空白加标确定方法检出限,查询 GB2763—2021 中的技术指标。

表 1 草莓残留量的线性方程、相关系数(r)、检出限及技术指标

目标药物	回归方程	线性范围 /(ng/mL)	相关系数 r	技术指标	方法检出限 /(mg/kg)	ADI /(mg/kgbw)
多菌灵	$Y=1.0e^7 * X-1.7e^4$	0.00~0.50	0.999	≤0.5	0.00012	0.03
吡虫啉	$Y=5.2e^5 * X-3.0e^3$	0.00~0.50	0.997	≤0.5	0.00012	0.06
啶虫脒	$Y=3.2e^6 * X+9.3e^3$	0.00~0.50	0.999	≤2	0.00012	0.07
烯酰吗啉	$Y=1.3e^6 * X-3.4e^2$	0.00~0.50	0.999	≤0.05	0.00009	0.2
吡啶醚菌酯	$Y=3.5e^6 * X+3.7e^3$	0.00~0.50	0.998	≤2	0.00012	0.03
唑虫酰胺	$Y=4.6e^5 * X-5.1e^2$	0.00~0.50	0.999	/	0.00012	0.006
灭多威	$Y=1.4e * X+8.2e^3$	0.00~1.00	0.999	≤0.2	0.01	0.02
涕灭威	$Y=1.1e * X-9.4e^3$	0.00~1.00	0.999	≤0.02	0.01	0.003
克百威	$Y=7.2e * X+2.7e^3$	0.00~0.50	0.999	≤0.02	0.01	0.001
联苯肼酯	$Y=3.4e^6 * X+1.3e^4$	0.00~0.50	0.999	≤2	0.0057	0.01
甲胺磷	$Y=0.99 * X-0.06$	0.00~0.50	0.999	≤0.05	0.01	0.004
敌敌畏	$Y=1.56 * X+0.34$	0.00~0.50	0.994	≤0.2	0.01	0.004
乙酰甲胺磷	$Y=0.39 * X+0.03$	0.00~0.50	0.997	≤0.02	0.01	0.004
氧乐果	$Y=0.47 * X-0.09$	0.00~0.50	0.998	≤0.02	0.01	0.0003
甲拌磷	$Y=0.37 * X-0.01$	0.00~0.50	0.999	≤0.01	0.01	0.0007
氯唑磷	$Y=1.76 * X-0.01$	0.00~0.50	0.999	≤0.01	0.01	0.00005
甲基对硫磷	$Y=0.44 * X-0.12$	0.00~0.50	0.997	≤0.02	0.01	0.003
马拉硫磷	$Y=2.16 * X-0.26$	0.00~0.50	0.999	≤1	0.01	0.3
倍硫磷	$Y=1.60 * X-0.07$	0.00~0.50	0.999	≤0.05	0.01	0.007
毒死蜱	$Y=1.81 * X-0.02$	0.00~0.50	0.998	≤0.3	0.01	0.01
水胺硫磷	$Y=2.70 * X-0.62$	0.00~0.50	0.998	≤0.05	0.01	0.003

续表 1

目标药物	回归方程	线性范围 /(ng/mL)	相关系数 <i>r</i>	技术指标 /(mg/kg)	方法检出限 /(mg/kg)	ADI /(mg/kgbw)
甲基异柳磷	$Y=3.86 \times X-0.28$	0.00~0.50	0.999	≤ 0.01	0.01	0.003
二甲戊灵	$Y=0.18 \times X-0.08$	0.00~0.50	0.992	/	0.01	0.1
腐霉利	$Y=2.65 \times X+0.22$	0.00~0.50	0.997	≤ 10	0.01	0.1
三唑磷	$Y=0.73 \times X-0.19$	0.00~0.50	0.998	/	0.01	0.001
肟菌酯	$Y=2.32 \times X-0.32$	0.00~0.50	0.999	≤ 1	0.01	0.04
联苯菊酯	$Y=8.88 \times X-0.46$	0.00~0.50	0.999	≤ 1	0.01	0.01
甲氧菊酯	$Y=0.40 \times X-0.16$	0.00~0.50	0.995	≤ 2	0.01	0.03
氯氟氰菊酯 和高效氯 氟氰菊酯	$Y=0.49 \times X-0.03$	0.00~0.50	0.999	≤ 0.2	0.01	0.02
氯氟菊酯 和高效氯 氟菊酯	$Y=0.68 \times X-0.15$	0.00~0.50	0.998	≤ 0.07	0.01	0.02
苯醚甲环唑	$Y=0.86 \times X-0.28$	0.00~0.50	0.995	≤ 3	0.01	0.01
溴氰菊酯	$Y=0.20 \times X-0.04$	0.00~0.50	0.997	≤ 0.2	0.01	0.01
阿维菌素	$Y=2.0e^7 \times X+12e^6$	0.01~0.30	0.999	≤ 0.02	0.007	0.001
铅	$Y=5.3e^4 \times X+3.7e^2$	1.00~20.00	1	≤ 0.2	0.05	/
汞	$Y=6.9e^3 \times X-2.2e^4$	1.00~20.00	0.999	/	0.05	/
砷	$Y=4.4e^3 \times X+4.8e^2$	1.00~20.00	0.999	/	0.05	/
锡	$Y=1.2e^2 \times X+8.0$	1.00~20.00	0.999	/	0.05	/
镉	$Y=9.3e^{-2} \times X-7e^{-3}$	0~2.00	0.999	≤ 0.05	0.003	/

2.2 草莓中农药残留分析

2.2.1 农药残留组成分析

在 36 批次草莓样品中,8 批次检出农药残留,占 22.22%,且均未超标。其中,杀虫剂检出 5 种,占 20.00%;杀菌剂 5 种,占 71.43%。所检出的杀虫剂主要为:啉虫脒、吡虫啉、氯唑磷、毒死蜱和氯氟氰菊酯和高效氯氟氰菊酯,检出率分别为 30.56%、8.33%、5.56%、2.78% 和 2.78%;检出的杀菌剂主要为:苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯、多菌灵、腐霉利和肟菌酯,检出率分别为 27.78%、19.44%、13.89%、8.33% 和 2.78%。草莓中所检出的农药残留指标见表 2。

表 2 草莓样品中农药残留量检测结果

农药类别	农药	检出残留的 批次数	检出率/%
杀菌剂	多菌灵	5	13.89
	吡唑醚菌酯	7	19.44
	肟菌酯	1	2.78
	苯醚甲环唑	10	27.78
	腐霉利	3	8.33

续表 2

农药类别	农药	检出残留的 批次数	检出率/%
杀虫剂	氯唑磷	2	5.56
	氯氟氰菊酯和高效氯氟氰菊酯	1	2.78
	吡虫啉	3	8.33
	啉虫脒	11	30.56
	毒死蜱	1	2.78

2.2.2 多残留农药检测结果

在抽检的草莓中,一个样品中最多检测出 5 种农药残留,检测出 2~5 种为 6 批次,占比 16.67%,占检出农药样品的 75.00%。

2.3 重金属残留总体检出状况分析

检测结果表 3 表明,花溪地区 36 批次草莓样品中铅、镉、砷、汞、锡等 5 种重金属检出率分别为 11.11%、52.78%、0%、0%、和 0%。其中铅的最大值为 0.13 mg/kg,镉的最大值为 0.032 mg/kg。

5 种重金属均未检出的样品共 18 个,占样品总数的 50.00%;检测出 1 种重金属的样品共 16 个,占样品总数的 44.44%;检测出 2 种重金属的样品共 3 个,占样品总数的 8.33%。

表 3 草莓样品中重金属检测结果

检出重金属	阳性样品数	检出值区间 /(mg/kg)	检出率 /%	超标率 /%
铅	5	0.05~0.13	11.11	0
镉	19	0.0039~0.032	52.78	0
砷	0	/	0	0
汞	0	/	0	0
锡	0	/	0	0

2.4 草莓安全指数分析

根据食品安全指数公式计算公式,其中 $f=1$; SIc 为每日允许摄入量值(ADI),详见表 1; mb 为 18 岁全国平均体重 61.8 kg; R 为草莓检测出的最高值; F 为草莓摄入量日均推荐最大值 350 g 计算^[13]; E 取 1; P 取 1。通过对每一个检出农药残留和重金属进行计算,所有的食品安全指数均小于 1,同时也表明此次抽检的草莓农药残留均在安全范围内。

3 结论与讨论

检测结果表明,草莓整体状况较好,农药残留和重金属虽有检出但均为超标。其中农药残留量检出率为 22.22%,超标率为 0%。杀菌剂的检出率高于杀虫剂,说明草莓园中菌类多于虫类。发现同时检出 2~5 种农药残留为 6 批次,占比 16.67%,占检出农药样品的 75.00%,都远离限量值,说明草莓在种植过程中果农施药有一定水平,建议以周为单位对农药进行检测分析。5 种重金属铅、镉、砷、汞、锡检出率分别为 11.11%、52.78%、0%、0%、和 0%。其中铅的最大值为 0.13 mg/kg,镉的最大值为 0.032 mg/kg。5 种重金属均未检出的样品共 15 个,占样品总数的 41.67%;检测出 1 种重金属的样品共 23 个,占样品总数的 63.89%;检测出 2 种重金属的样品共 3 个,占样品总数的 8.33%。其中铅和镉靠近限量值,说明在种植过程中施肥和土质管理方面需要进行关注。

由于都未超过限量,草莓安全指数均低于 1,说明花溪地区草莓膳食摄入风险均是可以接受的。但在检测过程有一个草莓同时发现 4 种农药残留和 1 种重金属,另一个发现 2 种农药残留和 2 种重金属。单独计算农药残留和重金属的风险指数是可以接受的,两者结合在一起分析是否存在安全隐患,在国内还未见到相关文献的报道。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 国家卫生健康委员会. 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [2] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. 水果和蔬菜中 450 种农

药及相关化学品残留量的测定 液相色谱-串联质谱法: GB/T 20769—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[4] 蔬菜中 334 种农药多残留的测定气相色谱质谱法和液相色谱质谱法: NY/T 1379—2007[S]. 2007.

[5] 国家卫生健康委员会. 食品安全国家标准 植物源性食品中 208 种农药及其代谢物残留量的测定 气相色谱-质谱联用法: GB 23200.113—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

[6] 国家卫生健康委员会. 食品安全国家标准 植物源性食品中 9 种氨基甲酸酯类农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱-柱后衍生法: GB 23200.112—2018[S] 北京: 中国标准出版社, 2018.

[7] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中铅的测定: GB 5009.12—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[8] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中镉的测定: GB 5009.15—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

[9] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定: GB 5009.11—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

[10] 国家卫生健康委员会. 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定: GB 5009.17—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.

[11] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中锡的测定: GB 5009.16—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

[12] 李扬, 蔡智华, 许奕, 等. 2021 年春季洞庭湖区章姬草莓农药残留检测分析[J]. 食品安全导刊, 2021(22): 86-87.

[13] 国家卫生计生委疾控局. 中国居民膳食指南(2016)[Z]. 2016.

收稿日期: 2023-03-10; 修回日期: 2023-03-26

基金项目: 贵州科学院青年基金(黔科院 J 字[2021]39 号)。

作者简介: 于 震(1990-), 女, 汉, 辽宁庄河人, 大学本科, 现就职于贵州省检测技术研究应用中心, 中级工程师, 主要研究方向: 检验检测。

QuEChERS-气相色谱串联质谱法测定茶叶中甲氧滴滴涕残留量

高庆龄, 蒋小迷, 罗廷武

(贵州省检测技术研究应用中心, 贵州 贵阳 550014)

摘要: 基于一种 QuEChERS 结合气相色谱串联质谱的方法, 测定茶叶中甲氧滴滴涕的残留量, 样品中甲氧滴滴涕采用 QuEChERS (quick, easy, cheap, effective, rugged, safe) 前处理方法, 用乙腈提取, 试剂盒净化, 动态多反映监测 (DMRM) 扫描, 内标法以及基质匹配校准曲线精准定量, 在 0.01 ~ 0.20 $\mu\text{g/mL}$ 线性范围内, 相关系数值 $R^2=0.99902$, 精密度 (RSD) 在 2.0% ~ 7.9% 之间, 回收率在 80.2% ~ 90.1% 之间。该方法省时省力, 重现性好, 线性范围宽, 具有良好的灵敏度和准确度, 适用于茶叶中农药多残留的检测分析。

关键词: 甲氧滴滴涕, QuEChERS, 气相色谱串联质谱法, 茶叶, 农药残留

中图分类号: O658 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0050-03

Determination of methoxy-DDT residue in tea by QuEChERS-gas chromatography-tandem mass spectrometry

GAO Qingling, JIANG Xiaomi, LUO Tingwu

(Guizhou Testing Technology Research and Application Center, Guiyang 550014, China)

Abstract: A QuEChERS-gas chromatography-tandem mass spectrometry method was developed to determine the residual amount of methoxy-DDT in tea. The sample was pretreated with QuEChERS (quick, easy, cheap, effective, rugged, safe) method, extracted with acetonitrile, purified with the kit, and scanned by DMRM. Internal standard method and matrix matching calibration curve were used for accurate quantification. In the linear range of 0.01 $\mu\text{g/mL}$ to 0.20 $\mu\text{g/mL}$, the correlation coefficient $R^2=0.99902$, the precision (RSD) was between 2.0% and 7.9%, and the recovery rate was between 80.2% and 90.1%. This method saves time and effort, has wide linear range, good reproducibility, sensitivity and accuracy, and is suitable for the detection and analysis of pesticide residues in tea.

Keywords: methoxy-DDT, QuEChERS, gas chromatography-tandem mass spectrometry, tea, pesticide residue

甲氧滴滴涕又名甲氧氯, 是一种有机化合物, 化学式为 $\text{C}_{16}\text{H}_{15}\text{Cl}_3\text{O}_2$, 主要用作有机氯杀虫剂, 具有触杀和胃毒作用, 无内吸作用, 在有机体内无累积作用, 易被多功能氧化酶分解, 而转为水溶性无毒排泄物。可用于大田作物、果树、蔬菜、茶叶等作物, 防治玉米螟、造桥虫、豆甲、豌豆象、果树食心虫、苹果蠹蛾、日本金龟甲、小象虫、天幕毛虫、实蝇、叶蝉、蜡

象、蔬菜叶跳甲、菜蛾、黄守瓜、种蝇等害虫, 还可用于防治家畜体外寄生虫和卫生害虫。

本研究对茶叶中农药甲氧滴滴涕的检测前处理方法进行了优化, 通过 QuEChERS 提取和净化, 结合 GC-MS 法, 建立一种茶叶中甲氧滴滴涕残留量的快速测定方法。可用于茶叶中甲氧滴滴涕残留量的测定。

1 物料与实验

1.1 器材与设备

气相色谱-三重四级杆质谱联用仪(美国安捷伦科技有限公司,型号:Agilent 8890/7000D);多管漩涡振荡摇匀仪(南京互川电子有限公司,型号:MIX-28);台式低速自动平衡离心机(盐城市安信实验仪器有限公司,型号:AXT-D4);全自动平行浓缩仪(睿科集团股份有限公司,型号:Auto EVA 30 Plus);电子天平(沈阳龙腾电子有限公司;型号:JD200-3);垂直振荡器(睿科集团股份有限公司,型号:V12);多管漩涡混合仪(浙江月旭材料科技有限公司,型号:B100250)。

1.2 材料与试剂

样品:市售绿茶,放入捣碎机中捣碎成粉末待使用。

试剂:醋酸、乙酸乙酯、丙酮、乙腈(均为色谱纯)(东莞市勋业化学试剂有限公司);陶瓷均质子(安捷伦科技有限公司);净化管、净化用盐析包(赛默飞世尔科技有限公司)。

标准物质:甲氧滴滴涕(1000.2 $\mu\text{g/mL}$,天津阿尔塔公司)、外环氧七氯 B(100 $\mu\text{g/mL}$,农业部环境保护科研监测所)。

标准溶液:甲氧滴滴涕(1000.2 $\mu\text{g/mL}$,天津阿尔塔公司)、外环氧七氯 B(100 $\mu\text{g/mL}$,农业部环境保护科研监测所)。

1.3 实验与检测

1.3.1 内标溶液配制

准确量取 0.20 mL 外环氧七氯 B 标准溶液于 10 mL 容量瓶中,用丙酮定容,涡旋混匀得到 2.00 $\mu\text{g/mL}$ 的内标储备液, $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱避光储备。

1.3.2 标准溶液配制

准确量取甲氧滴滴涕标准溶液 0.1 mL 于 10 mL 的容量瓶中,用丙酮定容,涡旋混匀,得到 10.00 $\mu\text{g/mL}$ 的标准储备溶液^[1];准确量取上一步 10.00 $\mu\text{g/mL}$ 甲氧滴滴涕的标准储备溶液 0.1 mL 于 1 mL 的容量瓶中,用丙酮定容,涡旋混匀得到 1.00 $\mu\text{g/mL}$ 甲氧滴滴涕的标准溶液备用^[2];制备好的空白茶叶基质分装的其中 6 份氮吹至近干,加入 0.02 mL 内标溶液,加入相应体积 1.00 $\mu\text{g/mL}$ 甲氧滴滴

涕的标准溶液稀释成 0.01 $\mu\text{g/mL}$ 、0.02 $\mu\text{g/mL}$ 、0.05 $\mu\text{g/mL}$ 、0.08 $\mu\text{g/mL}$ 、0.10 $\mu\text{g/mL}$ 、0.20 $\mu\text{g/mL}$ 梯度的标准工作液,乙酸乙酯定容,过微孔滤膜,现配现用。

1.3.3 样品前处理

准确称取 2 g(精确至 0.01 g)样品于离心管中,加入 10 mL 蒸馏水振摇混匀,静置 30 min,加入 15 mL 醋酸-乙腈溶液(1+99,体积比)、盐析包(1.5 g 醋酸钠、6 g 无水硫酸镁)及 1 颗陶瓷均质子,立即盖上管盖,剧烈振摇 10 min 后,离心机 4200 r/min 离心 5 min,吸取 8 mL 上清液加到 15 mL 净化管(1200 mg 硫酸镁、400 mg PSA、400 mg C18 及 200 mg GCB)中,振摇旋涡 2 min。分别准确量取 2 mL 上清液以及 0.02 mL 内标溶液于试管中,45 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中氮气吹至近干,再加入 1 mL 乙酸乙酯复溶,有机滤膜过滤,待上机。

1.3.4 仪器条件

色谱方法:色谱柱:Agilent DB-5MS(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm 、Temperature Limits: R = From: 60 $^{\circ}\text{C}$ to 325 $^{\circ}\text{C}$);升温程序:85 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min,然后以 30 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 程序升温至 200 $^{\circ}\text{C}$ 保持 8.5 min,再以 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 250 $^{\circ}\text{C}$ 保持 10 min。进样方式:不分流;载气:高纯氮气,流速为 1.2 mL/min;进样口温度:240 $^{\circ}\text{C}$;进样量:1 μL 。

质谱方法:扫描方式:动态多反应检测;三重四级杆温度:140 $^{\circ}\text{C}$;传输线温度:270 $^{\circ}\text{C}$ 。离子源:电子轰击源(EI 源);离子源温度:270 $^{\circ}\text{C}$ ^[3]。

2 结果与讨论

2.1 讨论

2.1.1 净化盐析包及净化管的选择

鉴于茶叶样品加入了纯水,故选用含无水硫酸镁及柠檬酸钠、柠檬酸氢二钠酸碱缓冲体系的盐析包,在去除水分的同时,可保护对碱不稳定的农药;茶叶中色素较多,颜色较深,选含有无水硫酸镁和 GCB 的净化管,可使样品净化后色素少、颜色浅、噪音低,对被测峰干扰小,甲氧滴滴涕 TIC 图和加标样品色谱图如图 1、图 2 所示。

2.1.2 实验关键步骤

由于样品中加水遇萃取盐析包中的硫酸镁放热,

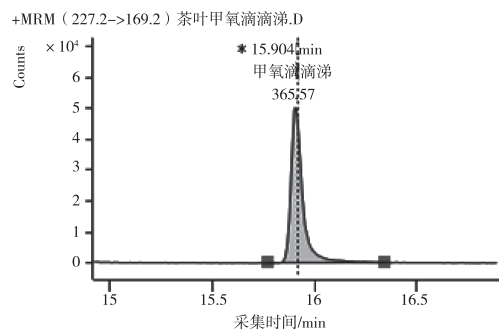


图1 甲氧滴滴涕 TIC 图

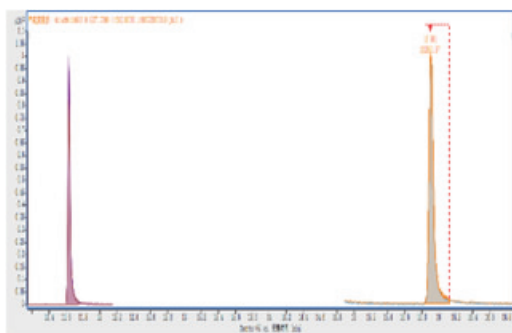


图2 茶叶加标样品色谱图

应及时用冰块冷却,而陶瓷均质器能在振摇过程中避免样品遇硫酸镁结块,保证了农药回收率。在氮吹过程中要控制好时间和温度,氮吹至近干即可。内标物和试样需准确称量,内标物应与样品混合均匀,内标物纯度需足够高。

2.1.3 基质效应

茶叶的基质中含有影响农药残留检测结果的组分,并且在前处理方法以及仪器分析检测方法中都会影响到测定方法的基质效应,从而影响到检测结果的准确度。所以,本实验选取无被测组分的空白茶叶基质来配制标准曲线,从而减小基质效应对甲氧滴滴涕的影响,采取此基质效应补偿措施,大大消除了检验结果的不稳定性。

2.1.4 内标法定量和对内标物的要求

外标法虽简便,但要求进样的准确性,如要避免误差,则需控制样品在与标准物相同的色谱条件下进样。内标法则是一种间接校准法,在测定样品中某组分时,加入内标物以消除由于前处理以及仪器条件的波动而产生的不稳定性^[4]。相较于外标法来说,内标法可以提升测定组分含量的准确度^[5]。内标物环氧七氯与被测组分之间不发生反应,在自然界中没有该物质,出峰时间大概在整个运行方法中部。内标物与被测物峰面积的比值不受到进样量

的影响,所以消除了许多由于操作条件的变化而引起的可避免的误差。因而,内标法的优势在于分析的结果更准确。

2.2 结果

本实验称取 18 份茶叶样品做三水平六平行加标实验,以及 1 份空白样和 1 份空白平行样,添加水平在 0.06 ~ 0.3 mg/kg 时,回收率在 80.2% ~ 90.1% 之间,精密度 ($n=6$) 在 2.0% ~ 7.9% 之间,详情见表 1。

表1 茶叶中甲氧滴滴涕回收率

添加水平 /(mg/kg)	回收率/%							精密度 /%
	1	2	3	4	5	6	平均值	
0.06	81.0	82.7	80.2	88.9	82.6	82.6	83.0	2.9
0.12	80.3	81.6	81.0	82.0	82.9	83.3	81.9	7.9
0.3	81.6	82.3	81.2	84.8	85.2	90.1	84.2	2.0

3 结论

该研究随机选取了本市市售的 10 份茶叶样品进行检测,着重研究利用 QuEChERS 前处理技术与气相色谱-质谱联用仪相结合,以其在种植过程中常用的杀菌杀虫剂甲氧滴滴涕为分析对象,建立了一种茶叶中甲氧滴滴涕的快速测定方法。该方法净化效果明显,可用于水果蔬菜中甲氧滴滴涕残留量的高通量、快速测定,十分适合在基层食品检测机构应用。为茶叶生产销售及出口贸易中农残的测定提供了可靠的技术优化方式。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 张月,黄海珠,韩丙军.液相色谱串联质谱法测定香蕉中三唑类农药[J].热带农业工程,2022,46(6):130-133.
- [2] 薛新花,李婷婷,刘盼,等. QuEChERS-气相色谱串联质谱法同时测定番茄中 46 种农药残留[J].食品工业科技,2023,44(4):337-344.
- [3] 于飞飞,邹鹏,王丽丽,等. QuEChERS-气相色谱质谱法检测苹果中氟虫腈及其代谢物残留量[J].食品工业,2022,43(1):304-307.
- [4] 郑剑杰.基于自由定标法的激光诱导击穿光谱定量分析技术研究[D].北京:北京交通大学,2010.
- [5] 马骏,陈发元,孙智荣,等.气质联用(GC-MS)内标法测定烟叶中烟碱的含量[J].贵州农机化,2022,(3):14-16.

收稿日期:2023-06-09;修回日期:2023-06-29

作者简介:高庆龄(1997-),女,贵州贵阳,学士学位,助理工程师,研究方向:化工分析。

不同品种鸡蛋的品质、胆固醇及维生素 A 含量的测定分析

王莉娜

(贵州省检测技术研究应用中心, 贵州 贵阳 550014)

摘要: 为了明确市场上常见的 3 种鸡蛋的品质、胆固醇及维生素 A 含量的差异, 本文测定鸡蛋的重量、蛋形指数, 并应用高效液相色谱法分析测定商品蛋(海兰灰蛋鸡)、土鸡蛋(农户杂交鸡)、绿壳鸡蛋(高产麻羽绿壳蛋鸡)中的胆固醇和维生素 A 含量。结果显示, 商品蛋重量最大, 商品蛋、土鸡蛋及绿壳蛋的蛋形指数分别为 0.74 ± 0.012 、 0.81 ± 0.019 、 0.75 ± 0.022 ; 胆固醇含量分别为 14.9 ± 0.7 mg/g、 15.3 ± 0.8 mg/g、 15.5 ± 0.7 mg/g; 维生素 A 含量分别为 7.39 ± 0.14 μ g/g、 2.98 ± 0.11 μ g/g、 2.53 ± 0.11 μ g/g。研究表明, 3 个品种的鸡蛋具有较高的孵化价值, 胆固醇含量低且维生素 A 含量高的鸡蛋品种有利于降低食用鸡蛋导致胆固醇过高的风险。

关键词: 鸡蛋, 胆固醇, 维生素 A, 含量分析

中图分类号: TS253.7 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0053-04

Determination of quality, cholesterol content and vitamin A content of different kinds of eggs

WANG Lina

(Guizhou Testing Technology Research and Application Center, Guiyang 550014, China)

Abstract: In order to determine the differences in the quality, cholesterol content and vitamin A content of three common kinds of eggs (commercial eggs, native eggs, green shell eggs) on the market, the weight and egg shape index of the eggs were determined, and the contents of cholesterol and vitamin A in the eggs were determined by HPLC. The results showed that the weight of the commercial eggs was the heaviest; the egg shape indexes of the commercial eggs, the native eggs and the green shell eggs were 0.74 ± 0.012 , 0.81 ± 0.019 , and 0.75 ± 0.022 , respectively; the cholesterol content was 14.9 ± 0.7 mg/g, 15.3 ± 0.8 mg/g, and 15.5 ± 0.7 mg/g, respectively; the content of vitamin A was 7.39 ± 0.14 μ g/g, 2.98 ± 0.11 μ g/g, and 2.53 ± 0.11 μ g/g, respectively. The research shows that the three kinds of eggs have high hatching value, and the eggs with low cholesterol content and high vitamin A content can help to reduce the risk of high cholesterol caused by eating eggs.

Keywords: egg, cholesterol, vitamin A, content analysis

鸡蛋中含有丰富的蛋白质、脂肪、维生素及无机盐、酵素等物质, 成为生活中常见的食物, 统计发现, 我国鸡蛋市场规模高达 3000 亿元^[1]。随着生活质量的提升, 人类因饮食导致疾病的案例屡见不鲜, 研究表明, 胆固醇过高是引起高血脂症、脂肪肝、心血

管疾病的重要因素之一, 而缺乏维生素 A 会导致人类暗适应能力下降, 出现夜盲、干眼病等眼部疾病, 同时维生素 A 可以在一定程度上降低人体的胆固醇水平^[2-3]。因此, 鸡蛋中的胆固醇、维生素等成分受到广泛关注。研究发现, 不同品种的鸡在相同饲

养条件下,所获鸡蛋的品质、营养成分等都存在一定差异^[4]。晏志勋等^[5]研究表明,北京油鸡的叠层笼养鸡蛋黄颜色最高,山坡散养组鸡蛋蛋白质较其他处理组更好,大棚散养处理的鸡蛋重量最低,蛋壳薄且蛋黄小,蛋白质品质差。柴明杰等^[6]也发现,通过添加复合营养添加剂可以提高产蛋率及蛋黄比色等品质。本研究针对市场上常见的3种鸡蛋(商品蛋、土鸡蛋、绿壳鸡蛋)的品质及胆固醇、维生素A的含量进行测定和分析,旨在为鸡蛋在品质选择以及健康饮食等方面提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验仪器、试剂与材料

高效液相色谱仪,C18反相色谱柱(4.6 mm×150 mm,5 μm),Waters反相C18柱(15 cm×4.6 mm,5 μm),电子天平,游标卡尺。

无水乙醇、乙醚、石油醚、乙腈、异丙醇、甲醇、胆固醇标准品,维生素A标准品(视黄醇)。

供试鸡蛋采购自农贸市场,每个品种的鸡蛋选取50个,且保证鸡蛋外形完整无破损,调查供试鸡蛋的产蛋鸡品种、饲养方式及饲料成分等信息,信息见表1。

表 1 供试鸡蛋信息

相关信息	鸡蛋品种		
	商品蛋	土鸡蛋	绿壳鸡蛋
产蛋鸡品种	海兰灰蛋鸡	农户杂交鸡	高产麻羽绿壳蛋鸡
饲养方式	集中笼养	自由放养	自由放养
饲料成分	混合饲料(小麦32%,蚕蛹3%,豆粉16%,玉米28%,石粉10%,市场采购预混饲料6%,5%松针粉)	杂粮+自行觅食	杂粮+自行觅食

1.2 试验方法

1.2.1 鸡蛋外观品质测定

本研究采用全蛋重与蛋形指数2个指标评价鸡蛋品质。

全蛋重测定:随机各取10个不同品种的供试鸡蛋用电子天平逐个称重(精确至0.01 g),并记录试

验数据,计算不同品种鸡蛋的全蛋重的平均值。

蛋形指数测定:随机各取10个不同品种鸡蛋,使用游标卡尺分别测量每个鸡蛋的横向和纵向直径长(精确至0.01 mm),获取鸡蛋横、纵径平均值及标准偏差,利用公式 $S=A/B$ (式中:S-蛋形指数;A-横径长;B-纵径长)计算蛋形指数。

1.2.2 鸡蛋胆固醇含量测定

参照GB 5009.128—2016《食品安全国家标准食品中胆固醇的测定》中高效液相色谱法^[7]并根据试样特性选择适合的方法进行试验。

首先使用无水乙醇将胆固醇标准品配制成下列浓度的标准系列工作液:50 μg/mL、100 μg/mL、200 μg/mL、400 μg/mL、600 μg/mL、800 μg/mL、1000 μg/mL。

然后取鸡蛋去除蛋清,将蛋黄打散混匀后取4.0 g蛋黄,加入40 mL超纯水搅拌均匀,取上述稀释的蛋黄液1.0 mL于试管中,加入1.0 mL无水乙醇,在涡旋仪上混匀后分别加入3.0 mL的乙醚和石油醚,再次混匀后离心,将上层有机溶剂转移至离心管中,下层物质加入2 mL乙醚和石油醚再次萃取,将上层有机相转移到上述离心管,使用氮吹仪浓缩后加入1.0 mL乙醇摇匀,用0.45 μm有机微孔滤膜过滤得到供试样液。

最后在下列色谱条件:色谱柱:C18反相色谱柱(4.6 mm×150 mm,5 μm),柱温:38℃,流动相:乙腈/异丙醇=85/15,流速:1.0 mL/min,进样量:10 μL,测定波长:210 nm,对上述标准系列工作液和制备的试验液进行检测,计算供试样液中胆固醇的浓度。

1.2.3 鸡蛋维生素A含量测定

参照国标GB 5009.82—2016《食品安全国家标准食品中维生素A、D、E的测定》^[8]进行试验。维生素A标准系列工作溶液:制备0.20 μg/mL、0.50 μg/mL、1.00 μg/mL、2.00 μg/mL、4.00 μg/mL、6.00 μg/mL的标准溶液,并在检测方法下测定获取标准曲线。将鸡蛋全蛋打散混匀,取50 g全蛋液,按照标准方法进行皂化、提取、洗涤、浓缩,使用0.22 μm有机系滤膜过滤后检测,通过标准曲线计算鸡蛋中维生素A含量。

仪器检验条件:色谱柱:Waters反相C18柱(15 cm×4.6 mm,5 μm),流动相:甲醇,流速:1.0 mL/min,柱温:40℃±1℃,进样量:10 μL,检测波长:325 nm。

2 结果与分析

本研究所采集的不同品种鸡蛋中,商品蛋外壳颜色明显浅于土鸡蛋和绿壳蛋,试验所选鸡蛋中外壳颜色最深的为绿壳蛋;在鸡蛋重量指标上,商品蛋的平均重量为 48.23 g,高于土鸡蛋的 36.77 g 与绿壳蛋的 37.55 g,而土鸡蛋和绿壳蛋在重量方面的差异不明显;在蛋形指数方面,商品蛋指数为 0.74,绿壳蛋指数为 0.75,2 种鸡蛋的外形相似,而土鸡蛋指数为 0.81,大于商品蛋和绿壳蛋的蛋形指数,结果见表 2。

由表 3 可知,三种鸡蛋的胆固醇含量差异不大,绿壳蛋胆固醇含量为 15.5 mg/g,高于土鸡蛋 15.3 mg/g 和商品蛋 14.9 mg/g,土鸡蛋和绿壳蛋的维生素 A 含量分别为 2.98 $\mu\text{g/g}$ 、2.53 $\mu\text{g/g}$,明显低于商品蛋的 7.39 $\mu\text{g/g}$,这可能是饲喂的饲料差异以及产蛋鸡的品种不同导致出现较大差距,饲料中含有的维生素 A 比例比较大,商品蛋中维生素 A 的含量可能也随之增加。

表 2 试验鸡蛋重量与蛋形指数试验数据

组别	全蛋重/g	蛋形指数
商品蛋	48.23 $\pm$ 3.64	0.74 $\pm$ 0.012
土鸡蛋	36.77 $\pm$ 7.36	0.81 $\pm$ 0.019
绿壳蛋	37.55 $\pm$ 6.10	0.75 $\pm$ 0.022

表 3 试验鸡蛋胆固醇和维生素 A 含量检测数据

组别	胆固醇/(mg/g)	维生素 A/($\mu\text{g/g}$)
商品蛋	14.9 $\pm$ 0.7	7.39 $\pm$ 0.14
土鸡蛋	15.3 $\pm$ 0.8	2.98 $\pm$ 0.11
绿壳蛋	15.5 $\pm$ 0.7	2.53 $\pm$ 0.11

3 结论

维生素 A 和胆固醇是动物体生长发育、生理功能和健康必不可缺的物质,其中胆固醇还是生物体细胞膜的重要组成成分,参与生物体细胞信息通讯、离子传输等,还会对蛋孵化产生显著影响。鸡蛋是日常生活常见的食物,含有丰富的营养物质,但人体在补充营养时需要适量,否则可能会产生不利影响^[3,9-10]。因此研究不同品种鸡蛋品质、胆固醇及维生素 A 含量对鸡蛋价值选择和居民膳食具有一定意义。

研究结果发现,试验所采用的商品蛋(海兰灰蛋鸡)、土鸡蛋(农户杂交鸡)、绿壳蛋(高产麻羽绿壳蛋鸡)3 种鸡蛋中,商品蛋的重量最高,大于土鸡蛋和绿壳蛋,但外壳颜色明显浅于土鸡蛋和绿壳蛋。简承松等^[11]研究发现,蛋形指数在 0.71~0.76 间鸡蛋具有最高的孵化率,考虑生产实际认为指数在 0.71~0.88 间用于孵化具有较高的经济价值,本研究的 3 种鸡蛋蛋形指数符合前人研究结果,说明试验采用的鸡蛋在孵化繁殖方面具有较高价值,可作为种蛋的最佳选择。李西波等^[9]研究发现,沙棘鸡蛋与普通鸡蛋的蛋黄胆固醇含量分别为 6.94 mg/g、11.38 mg/g,低于本研究的 3 种鸡蛋,这一差异与产蛋鸡品种以及饲养条件有较大关系。研究表明,土鸡蛋和绿壳蛋的维生素 A 含量小于商品蛋,这与饲料喂养存在直接关系,饲料中含有富含的维生素 A 成分,可使鸡蛋中维生素 A 的含量也有所提高。贾久满^[12]研究发现,在种鸡养殖过程中饲喂多维营养富硒生态饲料可显著提高鸡蛋中多个营养成分含量。因此,可选择养殖蛋胆固醇含量低的雌鸡,同时通过增加饲料中维生素 A 比例和促进维生素 A 合成的物质,提高鸡蛋维生素 A 含量,有利于降低食用鸡蛋导致胆固醇过高的风险。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 刘乔乔,高健宝,倪润滋,等. 4 个品种鸡的鸡蛋营养成分研究[J]. 现代畜牧兽医,2021(2):21-25.
- [2] 刘雪,杜叶叶,谢春嫡,等. 文昌鸡鸡蛋胆固醇含量与蛋品质和血脂的相关性分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2019,34(1):37-42.
- [3] 王宏亮. 维生素的概述及研究进展[J]. 临床药物治疗杂志,2022,20(12):40-45.
- [4] 李园园,周洁蕊,马忠文,等. 饲料中添加油脂和大豆磷脂对鸡蛋品质及蛋中胆固醇和甘油三酯含量的影响[J]. 饲料研究,2021,44(8):33-36.
- [5] 晏志勋,初芹,曾另超,等. 不同养殖模式北京油鸡蛋品质和营养成分对比研究[J]. 中国家禽,2020,42(5):103-107.
- [6] 柴明杰,刘俊美,王东,等. 复合营养添加剂对蛋鸡生产性能和鸡蛋品质的影响[J]. 中国畜牧杂志,2020,56(11):154-156.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中胆固醇的测定: GB 5009.128—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中维生素 A、D、E 的测定: GB 5009.82—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.

配方基质与构树容器苗根系生长关系研究

——以猪粪为例

陈显金,毛祥让,云炜琦

(贵州省山地资源研究所有限公司,贵州 贵阳 550001)

摘要: 本试验采用猪粪作为有机基质,与椰渣、珍珠岩、锯末混合成基质,利用容器袋进行播种培育,之后采集标准株,对标准株的根系进行测定分析。通过对构树容器苗根系^[1]的研究,筛选出作为构树容器苗^[2]培育的最佳配比,为构树苗木生产提供参考。结果表明:Z1(猪粪:椰渣:珍珠岩:锯末=4:4:1:1)这个基质配方在构树容器苗根系的长度、根尖数、分叉数、连接数等指标上均有极好的表现,这些指标的数值越高,代表着根系的生长情况就越好,因此选择 Z1 作为构树容器苗的培育基质。

关键词: 构树,猪粪,容器苗,根系,基质

中图分类号:S7 文献标识码:A 文章编号:1003-6563(2023)04-0056-04

Relationship between substrate formula and root system growth of container seedlings of *Broussonetia papyrifera*

CHEN Xianjin, MAO Xiangrang, YUN Weiqi

(Guizhou Institute of Mountain Resources Co. Ltd., Guiyang 550001, China)

Abstract: In this experiment, pig manure was used as the organic substrate, mixed with coconut chips, perlite and saw dust, and then used for the cultivation of *Broussonetia papyrifera* seedlings in container bags. The standard seedlings were then collected and their root systems were measured and analyzed. Through the study on the root system of the container seedlings of *Broussonetia papyrifera*, the best substrate formula for the cultivation of *Broussonetia papyrifera* seedlings in container bags was screened out. The results showed that, formula Z1 (pig manure : coconut chips : perlite : sawdust = 4 : 4 : 1 : 1) had the best performance in root length, root tip number, branch number, connection number and other indicators of the container seedlings of *Broussonetia papyrifera*. Therefore, formula Z1 was selected as the cultivation substrate of container seedlings of *Broussonetia papyrifera*.

Keywords: *Broussonetia papyrifera*, pig manure, container seedling, root system, substrate

[9] 李西波,尹明,杨润雨,等. 低胆固醇沙棘鸡蛋的品质和营养成分分析[J]. 中国饲料,2018(23):82-86.

[10] 熊婷,张怀勇,周崔伟,等. 鸡血清胆固醇含量与孵化率的关系研究[C]//中国畜牧兽医学会. 第十六次全国动物遗传育种学术讨论会暨纪念吴仲贤先生诞辰 100 周年大会论文集. 2011.

[11] 简承松,贺玉书,廖晓明,等. 蛋重和蛋形对肉鸡种蛋

孵化效果的影响[J]. 中国畜牧杂志,1999(6):33-34.

[12] 贾久满. 多维营养富硒生态饲料对鸡蛋品质及营养成分的影响[J]. 饲料研究,2020,43(2):15-19.

收稿日期:2023-02-02;修回日期:2023-02-02

作者简介:王莉娜(1980-),女,贵州大方人,助理工程师,主要从事食品分析检测研究。

根系是构成个体及生态系统的重要部分^[3],也是决定构树容器苗移栽后成活以及生长发育的关键因素^[4]。本次试验是通过研究以猪粪、椰渣、珍珠岩、锯末 4 种材料的不同配比作为基质对构树根系各项生长指标的影响,从而筛选出各项指标最优的基质配比作为构树容器苗培育的主要配比。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 猪粪来源

采用规模化养殖场饲喂统一猪饲料的生猪猪粪,经自然发酵后粉碎成末。

1.1.2 其他材料

千粒重为 1.913 g/千粒的构树种子、规格为 6 cm×8 cm 的无纺布容器袋^[5]、椰渣、珍珠岩、锯末。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

设计猪粪与椰渣和珍珠岩和锯末的 6 个不同配比,每个配比需要 3 个重复试验。

表 1 基质配比

处理	猪粪	椰渣	珍珠岩	锯末
Z1	4	4	1	1
Z2	4	4	0	2
Z3	5	4	1	0
Z4	3	5	1	1
Z5	6	3	1	0
Z6	5	3	1	1

注:表格中的数字均代表此物质在容器袋中所占的体积比例。

1.2.2 种子千粒重测定

采用百粒法测定构树种子千粒重,百粒法适用于多数树种的种子。它的原则是从净度测定的纯净种子中随机数 100 粒种子,称重后用以推算种子的千粒重。

1.2.3 种子催芽

根据测定出的构树种子千粒重,计算所有配比所需要的种子数量,称取略多于此数量的种子置于温水中,浸泡 24 h 后即可^[6]。

1.2.4 基质配比

用容器袋分别称取满袋的猪粪、椰渣、珍珠岩的重量并记录,然后通过这 6 个不同配比算出 90 袋所需要的各个基质的总量。根据计算出的总量,称取各个基质所需要的重量,然后混匀,使用消毒剂对其消毒,装入大袋子之中隔夜后使用。将头天处理好的基质装入容器袋之中,每个袋子的量要均匀,之后将其摆放在清理好的苗圃地上,摆放的时候要随机摆放,90 袋中每 30 袋作为一个重复,将其编号并记录。

1.2.5 播种

使用经过催芽处理之后的构树种子,将其播种在容器袋内。

1.2.6 取标准株

根据记录的构树苗的地径和苗高,计算出标准株,然后小心地取出标准株并截取根系、编号。

1.2.7 根系指标测定

截取根系之后使用自来水清除根系的表面杂物,再使用去离子水进行清洗,然后吸干水分之后称取根系的鲜重^[7]。采用上海中晶科技有限公司生产的 ScanMaker i800 Plus 扫描仪和万深 LA-S 组合型植物图像分析仪系统进行根系图像分析,得出根长、根系体积、根系表面积等各项指标。采用烘箱将构树根系烘干,测量烘干之后的重量。

2 结果与分析

2.1 表格结果分析

据表可得,Z1 的根系长度在 $p<0.05$ 时显著性要大于 Z4 的根系长度,其余的 Z2,Z3,Z5,Z6 在根系长度上没有表现出显著性差异;Z2,Z3,Z5,Z6 四个配比在根系投影面积上没有表现出显著性差异,Z1 的投影面积在 $p<0.05$ 的情况下显著性大于 Z4;Z1,Z2,Z3,Z4,Z5,Z6 六个配比在根系表面积与根系平均直径两个指标上均没有表现出显著性差异($p<0.05$);Z1 在 $p<0.05$ 的情况下根系连接数与根系分叉数的显著性差异均大于 Z4;Z1 的根系生物量在 $p<0.05$ 时显著性差异要大于 Z4 的根系生物量,而 Z2,Z3,Z5,Z6 在 $p<0.05$ 时没有表现出显著性差异。

表 2 根系各指标均值与标准误差

指标处理		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
长度	均值	280.342	171.323	153.912	90.255	163.178	135.883
	标准误差	100.810	62.711	79.354	41.797	106.763	60.222
投影面积	均值	25.742	13.047	9.072	7.499	22.146	11.220
	标准误差	12.668	2.685	5.270	5.104	25.746	6.263
实际面积	均值	17.488	9.732	7.513	5.367	11.677	7.445
	标准误差	7.765	1.804	4.539	3.313	11.486	4.304
表面积	均值	80.871	40.987	28.501	23.560	69.572	(35.247400
	标准误差	39.799	8.436	16.557	16.036	80.883	19.677
体积	均值	5.277	2.214	1.050	1.416	8.077	2.200
	标准误差	3.530	0.420	0.601	1.300	10.871	1.499
平均直径	均值	0.766	0.652	0.508	0.732	0.912	.734333±
	标准误差	0.766	0.171	0.031	0.426	0.746	0.085
连接数	均值	1719.000	1181.333	1008.333	549.000	896.000	822.000
	标准误差	714.011	607.001	522.975	381.865	567.100	338.749
根尖数	均值	767.667	558.333	449.000	293.667	388.500	395.333
	标准误差	312.657	150.514	120.403	147.825	85.560	195.014
分叉数	均值	733.000	463.333	418.333	226.000	393.500	340.000
	标准误差	311.153	251.520	241.715	165.581	300.520	126.428
生物量	均值	6.053	2.897	1.706	1.898	5.841	3.101
	标准误差	3.318	0.943	0.767	1.542	6.682	1.444

表 3 根系指标差异性检验

指标处理	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
长度	a	ab	ab	b	ab	ab
投影面积	a	ab	ab	b	ab	ab
实际面积	a	ab	ab	b	ab	ab
表面积	ab	ab	ab	ab	ab	ab
体积	a	ab	ab	b	ab	ab
平均直径	ab	ab	ab	ab	ab	ab
连接数	a	ab	ab	b	ab	ab
根尖数	a	ab	ab	b	ab	ab
分叉数	a	ab	ab	b	ab	ab
生物量	a	ab	ab	b	ab	ab

2.2 图纸结果分析

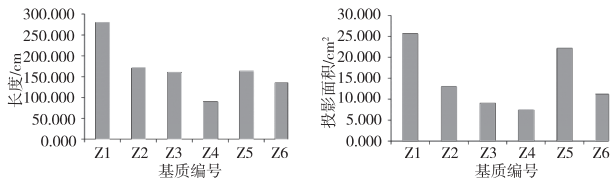


图 1 根系长度

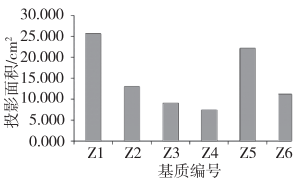


图 2 根系投影面积

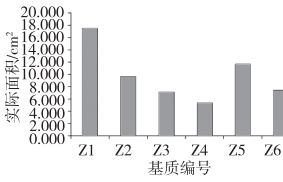


图 3 根系实际面积

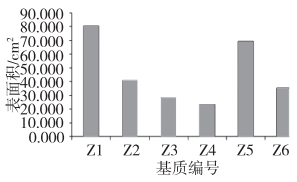


图 4 根系表面积

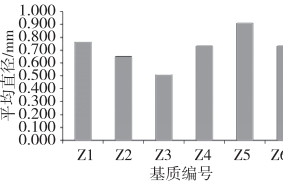


图 5 根系平均直径

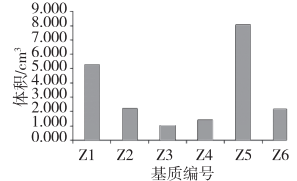


图 6 根系体积

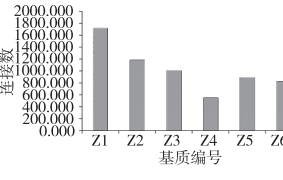


图 7 根系连接数

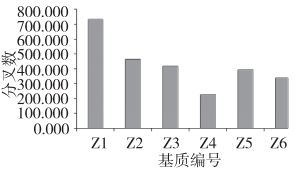


图 8 根系分叉数

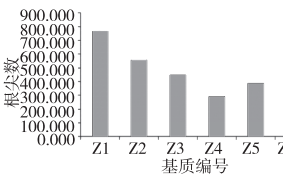


图 9 根系根尖数

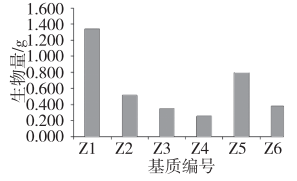


图 10 根系生物量

据图可得：

(1) Z1 在根系的长度、投影面积、实际面积、体积、分叉数、连接数、根尖数、生物量等指标上均与 Z4 存在着显著性差异 ($p < 0.05$), 且 Z1 的显著性大于 Z4。Z1 长度、投影面积、实际面积、分叉数、连接数、根尖数、生物量最大。Z5 平均直径、体积值最大。

(2) 根系总长度越长, 根系越发达, 根系的功能越强^[8]。对于构树容器苗根系总长度的培育, 用 Z1 配方基质培育构树容器苗, 其根系总长度最长, 因此, 要增加构树容器苗根系总长度, 选用 Z1 配方基质培育的效果最佳。

(3) 根系面积反映植物被动吸水的能力, 根系面积越大, 苗木根系吸水能力越强^[9]。Z1 配方培育的构树容器苗根系面积最大。可选用 Z1 培育构树容器苗的吸水能力。

(4)根系体积反映了根系所占空间大小^[10],根系平均直径反映的是根系的大小,用 Z5 配方基质培育出的构树容器苗,根系体积和根系平均直径都是最大的,但差异不显著,效果不是很明显。

(5)连接数和节点数越多,根系空间开拓能力越强,有利于根系在土壤中的生长、苗木根系的吸收效率的提高^[11]。用 Z1 配方基质培育构树容器苗,根系产生的连接数和节点数最多。因此,要培养构树容器苗根系的空间开拓能力,选用 Z1 配方基质的效果最好。

(6)Z1 配方基质培育的构树容器苗,根系根尖数最多。根尖数反映根毛的数量,根尖数越多,根毛越多,则苗木吸收水、养分和无机盐的能力越强。因此,要培育构树容器苗的吸收能力,则选用 Z1 配方基质进行培育。

(7)根系分叉数越多,代表着根系空间结构越复杂,反映根系的固定作用越好^[11]。选用 Z1 配方基质培育的构树容器苗分叉数量最多、根系固定作用最好。

(8)根系生物量衡量了根系的干物质量,根系生物量越高,说明苗木根系的有机物质含量越高^[12],根系是植物吸收营养物质、水分、无机盐的重要组成部位,根系的生物量越大,植物根系的生长状况越好。选用 Z1 配方基质培育出的构树容器苗根系生物量最大,且差异显著。

3 结论

综合试验结果,在猪粪不同配方基质中,Z1(猪粪:椰渣:珍珠岩:锯末=4:4:1:1)配方基质是培育构树容器苗的最佳配方基质。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 张秋玉,李远发,梁芳. 构树资源研究利用现状及其展望[J]. 广西农业科学,2009(2):217-220.
- [2] 杜华兵,杜婧. 容器育苗发展现状及趋势[J]. 山东林业科技,2014(2):116-119.
- [3] 李子敬,陈晓,舒健骅,等. 树木根系分布与结构研究方法综述[J]. 世界林业研究,2015(3):13-18.
- [4] 宋维峰,王希群. 林木根系研究综述[J]. 西南林学院学报,2007(5):8-13.
- [5] 曹宝杰,绳亚军,蔡胜国. 容器苗造林技术要点[J]. 安徽农学通报(下半月刊),2012(24):213-214.
- [6] 张克利,夏玉芳,张雪燕. 构树种子萌发的生理生态学特征[J]. 贵州农业科学,2012(10):41-43.
- [7] 王海军,朱宏慧. 林木根系研究方法概述[J]. 内蒙古林业科技,2015(1):42-46.
- [8] 李谦,周本智,安艳飞,等. 绿竹根系分布及生物力学性质[J]. 应用生态学报,2014(5):1319-1326.
- [9] 孙继生. 桉树幼苗生长与根系表面积关系初探[J]. 广东林业科技,1986(3):16-18.
- [10] 宋晋辉,郭江,李龙江,等. 裸燕麦根系体积与表面积的变化特征[J]. 干旱地区农业研究,2012(4):133-138.
- [11] 宋清华,赵成章,史元春,等. 不同坡向甘肃臭草根系分叉数和连接长度的权衡关系[J]. 植物生态学报,2015(6):577-585.
- [12] 燕辉,刘广全,李红生. 青杨人工林根系生物量、表面积和根长密度变化[J]. 应用生态学报,2010(11):2763-2768.

收稿日期:2023-04-10;修回日期:2023-04-20

作者简介:陈显金(1995-),男,贵州兴义人,汉,大学本科,工程师,从事林业调查规划设计工作。

噁霉灵水稻田施用下的水生生态系统风险评估

龚会琴, 谭正莹, 何钰, 包娜, 廖朝选[▲]

(贵州省分析测试研究院, 贵州 贵阳 550014)

摘要: 为了明确噁霉灵制剂产品水稻苗床用药对水生生态系统的风险, 根据噁霉灵的理化性质、环境归趋数据和产品 GAP 施药信息, 结合产品用药的特点对施药信息进行处理, 根据降解半衰期折算噁霉灵施药量, 采用 TOP-Rice 模型预测叶发育期、分蘖期用药后水体中噁霉灵的暴露浓度, 结合噁霉灵毒性数据评估其对水生生态系统的环境暴露风险。结果表明: 噁霉灵苗床用药移栽前直接进入水体, 对脊椎动物急性性和无脊椎动物急性、慢性风险不可接受, 对脊椎动物慢性、初级生产者风险可接受, 移栽后噁霉灵制剂产品所有场景施用对水生生态系统风险均可接受, 噁霉灵水稻苗床用药移栽后对水生生态系统较为安全, 但应密切重视苗床土壤和用药后移栽前剩余秧苗的管理, 严禁丢弃至水田、池塘及河水中, 同时应开发适合的模型用于水稻苗床用药对水生生态系统的评估, 避免不适当的评估加大产品风险, 给企业造成负担, 同时也要避免低估风险给生态系统产生危害。

关键词: 噁霉灵, 水稻, 水生生态系统, 风险评估

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563 (2023) 04-0060-06

Aquatic ecosystem risk assessment under the application of hymexazol in rice fields

GONG Huiqin, TAN Zhengying, HE Yu, BAO Na, LIAO Chaoxuan[▲]

(Guizhou Academy of Testing and Analysis, Guiyang, 550014, China)

Abstract: In order to determine the risk of the application of hymexazol in rice fields to the aquatic ecosystem, the application information was processed according to the physicochemical properties of hymexazol, the environmental trend data and the GAP application information, and the application dosage was converted according to the degradation half-life. TOP-Rice model was used to predict the exposure concentration of hymexazol in water after application at leaf development stage and tillering stage. The risk of environmental exposure to the aquatic ecosystem was evaluated based on the toxicity data of hymexazol. The results showed that hymexazol directly went into the water body before transplanting, the acute risk to vertebrate, and the acute and chronic risk to invertebrate was unacceptable, and the chronic risk to vertebrate and the primary producer risk was acceptable. After transplanting, all scenarios of hymexazol application were acceptable. The application of hymexazol after rice transplanting was safe for the aquatic ecosystem. Close attention should be paid to the management of seedbed soil and remaining seedlings before transplanting, and it is strictly forbidden to be discarded in rice fields, ponds and rivers. Suitable models should be developed for the evaluation of the risk of the application of chemicals in rice fields to the aquatic ecosystem to avoid overestimating or underestimating the risks.

Keywords: hymexazol, rice, aquatic ecosystem, risk assessment

水稻作为中国主要粮食作物之一, 对保障国家 口粮绝对安全发挥了重要作用。据国家统计局公

报,2019 年全国水稻种植面积 2969.4 万公顷,总产达 20961 万吨,连续 9 年稳定在 2 亿吨以上水平^[1]。然而,水稻立枯病很大程度上影响和制约了水稻的产量,水稻立枯病是由镰孢菌属(*Fusarium*)、丝核菌属(*Rhizoctonia*)及腐霉菌属(*Pythium*)等多种真菌引起的,是危害水稻生长的重要苗期病害,在秧田发生普遍,水稻一旦染病其产量会受到严重影响,严重时导致秧苗大量立枯死亡^[2-6]。噁霉灵(Hymexazol)是由日本三共株式会社开发的唑类杀菌剂。其具有内吸活性,用作土壤和种子杀菌剂,对由土传病菌引起的各种作物立枯病、猝倒病、枯黄萎病、根腐病、茎枯病、茎腐病等防治效果显著,并兼具植物生长调节功能^[7-10]。中国农药信息网^[11]登记数据查询结果显示,立枯病防治登记产品中,噁霉灵制剂产品占总登记产品的 44.2%,成为了防治水稻立枯病的主导产品。其大量的施用必然会在降雨、灌溉等情况下溢流,通过稻田水下渗至土层或穿过田埂或沿田埂底部侧漏等途径进入水生生态系统环境中,在水层和沉积物中残留,从而对水生生态系统中环境生物产生暴露风险,进而通过食物链影响到人类的健康,因此,噁霉灵施用的风险评估很有必要。

农药风险评估是指评估特定条件下农药对人类和环境造成危害的可能性。它不仅需要考虑农药本身的毒性(危害),还需要考虑农药实际使用条件下,保护对象对这些危害的接触或暴露程度(暴露)。主要包括问题阐述、暴露分析、效应分析和风险表征 4 个方面的内容。多位学者^[12-14]针对吡唑醚菌酯、噁唑酰草胺、毒死蜱等水稻用药对水生生态系统的风险进行了评估,未见对噁霉灵水稻用药的水生生态系统风险进行评估。中国农药信息网^[11]资料显示,噁霉灵制剂产品目前的水稻登记均为苗床用药,本文采用农业部发布的 NY/T 2882.2—2016《农药登记环境风险评估指南第 2 部分:水生生态系统》^[15]和 Top-Rice 模型软件对噁霉灵制剂产品水稻施用的风险进行评估,由于指南和 TOP-Rice 软件均只适用于水稻直播田用药的水生生态系统风险的评估,为了科学合理的评估噁霉灵制剂产品水稻苗床施用对水生生态系统的风险,本文考虑水田直播稻与移栽稻田用药的差别,针对水稻苗床用药对水生生态系统的风险评估进行了探索,首先对评估关联数据进行科学合理的预处理,采用直播稻田水生生态系统风险的评估模式,对噁霉灵制剂产品施用后对

水生生态系统的中暴露情况进行预测,通过欧盟网站公开数据查询的噁霉灵原药数据,结合不同物种不确定性因子 UF 进行效应分析,采用风险商值法对噁霉灵水稻苗床用药对水生生态系统的风险进行评估,通过科学合理的评估噁霉灵制剂产品水稻田施用对水生生态系统风险,以期对噁霉灵登记产品的施用进行风险管理和控制,以及为指导用药提供依据和数据支撑。

1 研究内容与方法

1.1 暴露分析

1.1.1 噁霉灵制剂在水稻上登记施药信息

中国农药信息网^[11]数据中心登记信息资料显示,截止到 2021 年 12 月,登记在水稻上的噁霉灵制剂产品共有 87 个,其中混剂 40 个,主要与甲霜灵或精甲霜灵复配,占复配制剂的 80%,单制剂 47 个,以水剂为主,有 42 个,占 89.4%,噁霉灵水剂单制剂产品主要以苗床喷雾或苗床土壤处理的方式用于水稻立枯病的防治,施药次数通常为 1 次,推荐施药剂量为 9~18 kg a. i. /ha。采用 TOP-RICE 模型,选择长江流域的南昌和华南地区的连平为代表性暴露场景点,对噁霉灵及代谢物在环境中的预测暴露浓度(PNEC)进行预测。水稻苗床时间一般为 35~45 天,水稻育秧最佳移栽时间是 3 叶 1 心至 4 叶 1 心,在此叶龄段移栽,能促进早发多发分蘖,利于获得大穗多穗。水稻叶片的生长,前 3 片叶在分蘖前出生,最后 3 片叶在长穗期长出,其余的叶片都是在分蘖期生长。因此,移栽时间在叶片生长期或分蘖期均有可能,即连平早稻 4 月 13 日—5 月 10 日,晚稻 7 月 16 日—8 月 13 日,南昌早稻 4 月 22 日—5 月 17 日,晚稻 7 月 11 日—8 月 8 日。

1.1.2 模型参数

通过查询美国农药电子手册(e-Pesticide Manual)、PPDB、EFSA 等公开数据查询网站,得到噁霉灵理化性质、环境归趋行为数据,由于噁霉灵为水稻苗床用药,水稻需要移栽,根据水稻生长规律,水稻从播种到移栽需要 30~35 天,保守采用 30 天计算,通过查询的噁霉灵土壤好氧降解半衰期几何平均值 $DT_{50}=14.8$ 天进行估算,噁霉灵经过 30 天,降解为初始施药剂量的 $2^{2.03}$ 分之一,即 9~18 kg a. i. /ha

降解 2.20 ~4.41 kg a. i. /ha,数据详见表 1。

表 1 噁霉灵 TOP-RICE 模型输入参数

项 目	参 数	噁霉灵
理化性质	分子量 (g/mol)	99.15 ^[16-17]
	水中溶解度 (mg/L, 20℃)	65100 ^[16-17]
	饱和蒸汽压 (Pa, 20℃)	0.182 ^[16-17] (25℃)
吸附性质	土壤吸附 Kom (L/kg, 20℃)	110.80 ^[17]
	Freundlich 吸附指数 1/n	0.90 ^[17]
	悬浮颗粒物吸附 Kom	68.45 ^[17]
	Freundlich 吸附指数 1/n	0.90 ^[17]
降解性质	土壤好氧降解 DT ₅₀ (d, 20℃)	几何平均值 14.8 ^[17]
	土壤厌氧降解 DT ₅₀ (d, 20℃)	几何平均值 11.28 ^[17]
	在池塘水中的降解 DT ₅₀ (d, 20℃)	水沉积物系统水层降解半衰期几何平均值为 2.7 天 ^[17]
	在稻田水中降解 DT ₅₀ (d, 20℃)	水沉积物系统水层降解半衰期几何平均值为 2.7 ^[17]
	田间用量 (kg a. i. /ha)	2.20 ~4.41
漂移因子/%		3.73
模型运行时间		连平 4 月 13 日—5 月 10 日 (早稻), 7 月 16 日—8 月 13 日 (晚稻); 南昌 4 月 22 日—5 月 17 日 (早稻), 7 月 11 日—8 月 8 日 (晚稻)

1.2 效应分析

按照 NY/T 2882.2—2016《农药登记环境风险评估指南第 2 部分:水生生态系统》^[15] 导则的要求, 分别选择水生生态系统中 3 个营养级水平的物种的急性毒性数据、慢性毒性数据作为效应分析终点。查询国外公开数据库资料获取噁霉灵原药水生毒性数据,数据详见表 2。

表 2 噁霉灵水生毒性数据

项目类别	受试生物种类	毒性终点数据 EnP
脊椎动物急性	虹鳟鱼	96h LC ₅₀ >100 mg a. i. /L
脊椎动物慢性	虹鳟鱼	28d NOEC>100 mg a. i. /L
无脊椎动物急性	大型蚤	48h LC ₅₀ =28 mg a. i. /L
无脊椎动物慢性	大型蚤	21d NOEC=0.8 mg a. i. /L
初级生产者	斜生栅藻	EyC ₅₀ =32 mg/L
	羊角月牙藻	EyC ₅₀ =32 mg/L
	圆瘤浮萍	14d IC ₅₀ =9.4 mg/L

2 结果与分析

2.1 产品施用后的环境暴露

不同噁霉灵制剂产品施用于水稻上,通过 Top-Rice 模型中江西南昌、广东连平为典型代表场景对水生生态系统中噁霉灵的暴露浓度进行预测,PEC 峰值用于急性风险评估,21 天 PEC 值和 28 天 PEC 值分别用于无脊椎动物和脊椎动物慢性风险的评估,预测暴露浓度 PEC 值见图 1 所示。各场景同一施

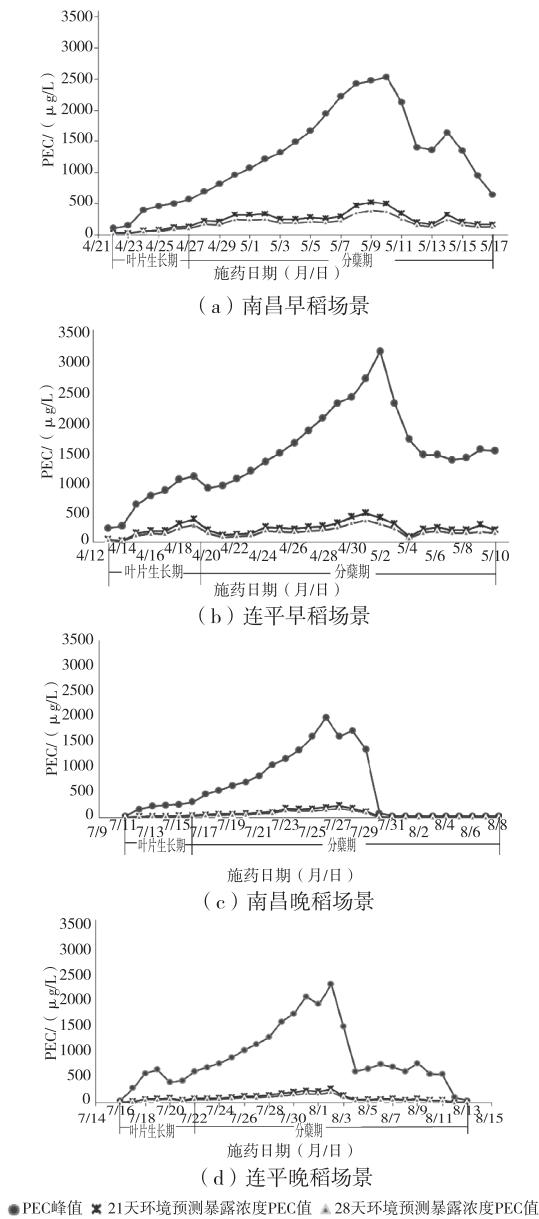


图 1 噁霉灵水稻田施用的环境预测暴露浓度 PEC 值

药时期对应连平、南昌场景早稻暴露浓度明显高于晚稻,同一施药时期连平暴露浓度高于南昌,各场景施药下叶片生长期的暴露浓度较低,分蘖初期开始逐渐升高,至分蘖中期达到峰值,分蘖晚期的暴露浓度又逐渐下降至一个较低的水平,这可能与华南地区年平均温度和年平均降雨量高于长江流域地区有关,同时与各区域不同时期降雨量、蒸发、渗漏、田埂侧漏及稻田水外溢径流均有关系。

2.2 效应分析

根据《农药登记环境风险评估指南》(NY/T 2882—2016)要求,有多个毒性终点数据时,毒性终点取几个物种几何平均值用于评估,急性评估及初级生产者的评估不确定性因子取 100,慢性评估不确定性因子取 10,据此计算噁霉灵对初级生产者、水生脊椎动物急性、水生脊椎动物慢性、水生无脊椎动物急性、水生无脊椎动物慢性的效应分析浓度

PNEC 值分别为 2100 $\mu\text{g a. i. /L}$ 、1000 $\mu\text{g a. i. /L}$ 、10000 $\mu\text{g a. i. /L}$ 、280 $\mu\text{g a. i. /L}$ 、80 $\mu\text{g a. i. /L}$ 。

2.3 风险表征

根据不同施药时间各场景暴露条件下预测的噁霉灵在水生态环境中的暴露浓度 PEC 值,考虑不同物种敏感度外推的不确定性因子 UF,结合生态毒理学研究得出的不同水生态环境生物物种急性、慢性毒性效应终点数据预测出不同环境生物无效应浓度 PNEC 值,通过风险商值法比较预测环境暴露浓度与预测无效应浓度的大小,确定噁霉灵的风险可接受程度,按照风险评估导则的要求,水生生态系统中,满足 60% 场景-时间点的风险商值(RQ) ≤ 1 ,且其余 40% 场景点的风险商值(RQ) ≤ 10 时,认为对水生生态系统的风险可接受。噁霉灵制剂产品 18 kg a. i. /ha 施药量作为水稻苗床用药的在各场景和施药时期的风险商值情况见表 3。

表 3 噁霉灵对水生生态系统风险商值 RQ 结果

项目	施药时间	脊椎动物				无脊椎动物				初级生产者	
		急性风险	RQ ≤ 1	慢性风险	RQ ≤ 1	急性风险	RQ ≤ 1	慢性风险	RQ ≤ 1	慢性风险	RQ ≤ 1
		RQ	比例/%	RQ	比例/%	RQ	比例/%	RQ	比例/%	RQ	比例/%
连平早稻		0.232 ~ 1.086	71.4	0.001 ~ 0.015	100	0.828 ~ 3.877	28.6	0.304 ~ 4.739	28.6	0.110 ~ 0.517	100
南昌早稻	BBCH	0.108 ~ 0.569	100	0.001 ~ 0.004	100	0.387 ~ 2.031	33.3	0.370 ~ 1.695	66.7	0.052 ~ 0.271	100
连平晚稻	10-19	0.039 ~ 0.633	100	0.000 ~ 0.003	100	0.139 ~ 2.259	33.3	0.028 ~ 1.062	83.3	0.019 ~ 0.301	100
南昌晚稻		0.033 ~ 0.316	100	0.000 ~ 0.002	100	0.118 ~ 1.127	83.3	0.029 ~ 0.520	100	0.016 ~ 0.150	100
连平早稻		0.893 ~ 3.528	4.8	0.003 ~ 0.018	100	3.189 ~ 12.600	0	1.149 ~ 6.121	0	0.425 ~ 1.680	71.4
南昌早稻	BBCH	0.642 ~ 2.530	25.0	0.006 ~ 0.020	100	2.292 ~ 9.035	0	2.039 ~ 6.511	0	0.306 ~ 1.205	75.0
连平晚稻	20-29	0.039 ~ 2.266	59.3	0.000 ~ 0.011	100	0.141 ~ 8.093	11.1	0.027 ~ 3.284	51.9	0.019 ~ 1.079	92.6
南昌晚稻		0.033 ~ 1.985	66.7	0.000 ~ 0.010	100	0.118 ~ 7.089	40.7	0.026 ~ 3.081	51.9	0.016 ~ 0.945	100

从表 3 数据可知,连平早稻、南昌早稻、连平晚稻、南昌晚稻场景叶片生长期施药对脊椎动物的急性风险商值 RQ ≤ 1 的比例分别为 71.4%、100%、100%、100%,慢性风险商值 RQ ≤ 1 的比例均为 100%,风险均可接受;在分蘖期施药对脊椎动物急性风险商值 RQ ≤ 1 的比例分别为 4.8%、25.0%、59.3%、66.7%,慢性风险商值 RQ ≤ 1 的比例均为 100%,四个场景对脊椎动物慢性风险均可接受,连平早稻、南昌早稻、连平晚稻场景对脊椎动物急性风险不满足 60% 场景-时间点的风险商值 RQ ≤ 1 ,风险不可接受,南昌晚稻场景对脊椎动物急性风险满足 60% 场景-时间点的风险商值 RQ ≤ 1 ,风险可接

受;连平早稻、南昌早稻、连平晚稻、南昌晚稻场景叶片生长期施药对无脊椎动物的急性风险商值 RQ ≤ 1 的比例分别为 28.6%、33.3%、33.3%、83.3%,慢性风险商值 RQ ≤ 1 的比例分别 28.6%、66.7%、83.3%、100%;连平早稻、南昌早稻、连平晚稻、南昌晚稻场景分蘖期施药对无脊椎动物的急性风险商值 RQ ≤ 1 的比例分别为 0、0、11.1% 和 40.7%,慢性风险商值 RQ ≤ 1 的比例分别为 0、0、51.9%、51.9%;四个场景对无脊椎动物急性、慢性风险均不可接受;连平早稻、南昌早稻、连平晚稻、南昌晚稻场景叶片生长期施药对初级生产者的风险商值 RQ ≤ 1 的比例均为 100%,分蘖期施药对初级生产者的风险商

值 $RQ \leq 1$ 的比例分别为 71.4%、75.0%、92.6%、100%，即四个场景对初级生产者的风险均可接受。

3 结论与讨论

采用 TOP-Rice 模型进行暴露预测分析,针对目前已登记的噁霉灵单制剂水稻苗床 1 次施用对水生生态系统风险进行保守评估,结果表明,噁霉灵单制剂产品对脊椎动物急性、无脊椎动物急性、无脊椎动物慢性风险均不可接受,对脊椎动物慢性和初级生产者风险可接受。EFSA 公开数据资料显示,噁霉灵原药对虹鳟鱼急慢性、大型蚤的急性 LC_{50} 均 >10 mg a. i. /L,对初级生产者的毒性 $EC_{50} >3.0$ mg a. i. /L,根据《化学农药环境安全评价试验准则》(GB/T 31270—2014)中毒性等级划分,噁霉灵对水生脊椎、无脊椎动物、初级生产者的毒性级别均为“低毒”。Yongmei Fan^[18] 等研究了噁霉灵对斑马鱼胚胎的发育毒性、黑色素生物合成、生化和转录终点的影响,研究表明,与对照组比较,噁霉灵对斑马鱼的几项指标均有显著差异,但浓度均在 100 mg/L 以上,因此,斑马鱼具有较低的急性毒性和胚胎毒性。据此说明风险不可接受的原因主要是由于施药量过大造成,因此在用药时应该严格控制施药剂量,避免对无脊椎动物的繁殖产生影响,对无脊椎动物种群密度和多样性产生长期风险。

噁霉灵单制剂水稻用药为苗床用药,水稻苗床用药后生长一定的周期后需要移栽,目前我国的 TOP-Rice 软件仅适用于水稻直播田用药风险的评估,由于目前没有适合的模型用于移栽稻苗床用药风险评估,本研究采用了直播稻用药的 TOP-Rice 模型,针对直播稻与移栽稻的差别,采用噁霉灵土壤降解半衰期对制剂产品施用后的施药剂量进行预测,得到产品施用后进入田间的施用量,采用该施药量进行水生生态系统风险评估,能真实地体现苗床用药水稻移栽至田间前的风险。从评估结果看,在水稻移栽前应坚决避免施药后的育秧盘放置于水田、池塘或河水中,避免其对水生生物产生危害。

针对移栽至田间后对水生生态系统的风险,应充分考虑移栽后与育秧盘种植密度的差异,对移栽至田间噁霉灵的实际药量进行预测计算,然后再根据直播田水稻模型软件进行预测评估,评估结果才更真实地体现其实际用药风险。因此需要将苗床用药量转换为田间施药量,邱锦辉等^[19] 介绍了苗床育秧

盘式育秧适宜的落谷密度为 23000 ~ 25000 粒/ m^2 ,朱德峰等^[20] 对中国水稻高产栽培进行研究,认为高产水稻秧苗种植密度为 2 万丛 ~ 3 万丛/ $667 m^2$,单丛种植苗数 1 ~ 2 苗,保守计算为 90 株/平方米,据此预测从苗床至田间用药量比值为 278 : 1,即田间施药量为 0.0080 ~ 0.0159 kg a. i. /ha。从水稻移栽前风险评估结果看,风险商值在 0 ~ 12.6 之间,施药剂量降低至 1/278,移栽后噁霉灵制剂产品对水生生态系统风险均 <1 。

综上,对于噁霉灵水稻苗床用药应密切重视苗床用药后土壤和剩余秧苗的管理,严禁丢弃至水田、池塘及河水中,同时应开发适合的模型用于水稻苗床用药对水生生态系统的评估,避免不适当的评估加大产品风险给企业造成负担,同时也要避免低估给生态系统产生危害风险。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 徐春春,纪龙,陈中督,等. 2020 年我国水稻产业形势分析及 2021 年展望[J]. 中国稻米,2021,27(2):1-4.
- [2] 李丽丽,姜亚娟,李立华,等. 四霉素与噁霉灵混配制剂对水稻立枯病的防治效果[J]. 微生物学杂志,2017,37(1):83-87.
- [3] 朱桂梅,潘以楼,杨敬辉. 水稻恶苗病产量损失率测定[J]. 江苏农业科学,2001(5):43-45.
- [4] 刘峰,慕卫,张文吉,等. 杀菌剂对水稻旱育秧立枯病的控制作用及其对秧苗的生理效应[J]. 农药学学报,2002,6(2):37-42.
- [5] LARRAN S, SIURANA M P S, CASELLERS J R, et al. *Fusarium sudanense*, endophytic fungus causing typical symptoms of seedling blight and seed rot on wheat[J]. Journal of King Saud University-Science, 2018(14):299-315.
- [6] NIEH S S P, DOSE B, SCHERLACH K, et al. Genomics-driven of a symbiont-specific cyclopeptide from bacteria residing in the rice seedling blight fungus[J]. Chembiochem, 2018, 19(20):2167-2172.
- [7] 尹家楼,郝培培,兰永乐,等. 98% 噁霉灵可溶粉剂的开发及应用[J]. 天津化工,2020,34(3):44-47.
- [8] 李秋梅,王艳梅,黄培鑫,等. 3% 甲霜·噁霉灵霉灵水剂的气相色谱分析[J]. 现代农药,2012,11(4):37-39.
- [9] 许允成,崔丽丽,王燕,等. 噁霉灵在人参和土壤中的残留动态及最终残留量研究[J]. 现代农药,2015,14(1):29-31.
- [10] 秋梅,王艳梅,黄培鑫,等. 30% 噁霉灵水剂高效液相色谱分析[J]. 农药,2017,56(11):805-806.
- [11] 农药信息网[DB/OL]. [2022-06-14]. <http://www.>

chinapesticide.org.cn/hysj/index.jhtml.

- [12] 林涛,曾兆华,朱珍珍,等. 10% 噁唑酰草胺乳油对 3 种水生生物的急性毒性和风险评价[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2019,48(4):418-422.
- [13] 陈诗卉,姜锦林,张焕朝,等. 毒死蜱在我国水稻上登记现状及水生生态风险评估[J]. 中国环境科学,2020,40(8):3585-3594.
- [14] 郑豪杰,孙健,程涵智,等. 四种作物上登记吡唑醚菌酯单剂的水生生态风险高级评估[J]. 农药学学报,2022,24(2):411-422.
- [15] 中华人民共和国农业部. 农药登记 环境风险评估指南 第 2 部分:水生生态系统:NY/T 2882. 2—2016[S]. 北京:中国农业出版社,2016.
- [16] Hymexazol[DB/OL]. IUPAC Pesticides Properties Data Base(2022-01-07) [2022-01-27]. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/388.htm>.
- [17] EFSA. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance hymexazol[J]. EFSA

journal,2010,8(8):1653.

- [18] FAN Y, MIAO W, LAI K, et al. Developmental toxicity and inhibition of the fungicide hymexazol to melanin biosynthesis in zebrafish embryos[J]. Pesticide biochemistry and physiology, 2018,147:139-144.
- [19] 邱锦辉,周士林,慕容耀明,等. 机械化栽种和机播用种量对水稻生产的影响[J]. 现代农业装备,2021,42(1):21-25.
- [20] 朱德峰,张玉屏,陈惠哲,等. 中国水稻栽培技术发展展望[J]. 中国稻米,2021,27(4):45-49.

收稿日期:2022-07-14;修回日期:2022-07-14

作者简介:龚会琴(1980-),女,贵州贵阳人,高级工程师,主要从事农药、新物质的生态环境毒理的研究。

▲通讯作者:廖朝选(1984-),男,贵州贵阳人,高级工程师,主要从事农药环境毒理的研究。

危岩体清除工程安全技术措施研究

吕胜坤

(贵州地矿基础工程有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 危岩体清除是崩塌地质灾害治理工程常采用的措施之一,危岩体往往存在于山崖上、陡坎间,当危岩体发生崩塌时会直接威胁保护对象。因距离保护对象较近,对危岩体进行清除,施工过程安全防护技术措施更为重要,确保保护对象和作业人员自身安全是工程施工安全管理的最终目标。结合实际工程案例,对崩塌地质灾害危岩体清除工程安全防护技术措施进行分析与研究,寻求合理、可操作的安全施工方案,旨在提高施工过程中安全管理水平,降低工程投资,达到安全生产的目的。

关键词: 危岩体清除,工程,安全,技术措施

中图分类号: TU712 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0066-05

Safety technical measures of dangerous rock body removal engineering

LYU Shengkun

(Guizhou Geology and Mineral Foundation Engineering Co. Ltd., Guiyang 550081, China)

Abstract: Removing the dangerous rock body is one of the measures often used in collapse disaster control projects. Dangerous rock bodies often exist on the cliff and between the scarps. When the dangerous rock body collapses, it will directly threaten the protected object. As it is close to the protected object, it is very important to take safety technical measures when removing the dangerous rock body. Ensuring the safety of the protected object and the operators is the ultimate goal of project safety management. Based on actual engineering cases, the safety technical measures for the removal of dangerous rock bodies caused by collapse disasters are analyzed, and a reasonable and feasible safety construction scheme is proposed, so as to improve the safety management level in the construction process, to reduce the project investment, and to achieve the goal of safe production.

Keywords: dangerous rock body removal, engineering, safety, technical measures

地质灾害直接危害人民生命和财产安全,常见的地质灾害有崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等 6 种^[1]。近年来,国家及各级政府对地质灾害隐患高度重视,各地均组织专业队伍对辖区各类各种地质灾害隐患进行排查、建档管理。崩塌地质灾害属于主要发生的地质灾害类型之一,特别是在山区,早期建(构)筑物依山而建较多,建造过程中也未对周边环境进行危险性评估,致使排查中发现的崩塌隐患较多,且直接威胁人民生命和财产安全,隐患排除治理存在着紧迫性和必要性。文

中结合危岩体清除工程案例,分析治理工程的特征,研究分析并制定可行的安全技术方案,确保了治理工程施工安全,达到了地质灾害治理的目的。

1 项目概况

研究项目位于法启村一组东侧陡崖带上,整个陡崖带长约 700 m,高约 400 m,呈南北向展布,整体自下而上可划分为两级陡崖带:一级陡崖带位于斜坡中部,水平距离法启村一组居民区 200 ~ 300 m,

陡崖高差在 40 ~ 120 m, 海拔高程在 1220 ~ 1420 m 之间; 二级陡崖带位于一级陡崖带上部, 距居民区水平距离 400 ~ 600 m, 陡崖高差 90 ~ 200 m, 海拔高程在 1390 ~ 1570 m 之间, 两级陡崖中间为陡斜坡。勘查设计中整体划分为 5 个危岩带, 15 个典型危岩体, 危岩带风化强烈, 节理裂隙发育, 岩体结构破碎, 植物根劈作用强烈, 常发生零星掉块, 崩塌危岩体规模约 73951 m³, 按照规范灾害规模等级划分属中型崩塌地质灾害。地质灾害点危害对象为斜坡坡脚法启村一组 83 户 510 名居民及法启火车站, 潜在经济损失 3000 万元。根据《崩塌防治工程勘查规范》(T/CAGHP 011—2018) 中崩塌防治工程等级划分, 该崩塌地质灾害防治工程等级为 I 级。

设计治理方案为: 被动防护网+危岩清除。被动网型号为 RXI-200, 网型为 R19/3/300, 结构配置为钢柱+支撑绳+拉锚系统+缝合绳+减压环, 防护网高度 5.0 m, 网长 610 m, 面积共 2850 m²; 危岩清除, 对 WY1、WY2-1、WY2-2、W4、WY8 ~ WY15 整体全部清除, WYD1、WYD4、WYD5 主要清除受节理裂隙切割严重, 岩体破碎, 稳定性极差的表层松动块体, 清除方量按其总方量的 10% 计算, 整个危岩清除工程清除方量为 8847 m³。

2 项目特征分析

2.1 工程地质特征分析

施工区的地层由新到老分别为: 第四系 (Q4el+dl)、三叠系下统夜郎组 (T1y)、二叠系上统长兴-大隆组 (P3c+d) 和二叠系上统龙潭组 (P3l), 分述如下:

第四系 (Q4el+dl): 为黄色粘土, 表层为耕植土, 含少量碎石, 结构松散, 透水性强, 系基岩遭受风化作用后残留在原地和雨水搬运作用下堆积于斜坡、缓斜坡区域的产物。分布于治理区缓斜坡-陡斜坡地带, 厚度一般在 0 ~ 3.0 m 之间, 厚度分布随地形变化而变化, 陡斜坡上较薄, 缓斜坡地带地形平缓区域较厚。

三叠系下统夜郎组 (T1y): 为灰白色、灰色厚层中至厚层灰岩、泥灰岩夹薄层泥岩, 岩层产状为 140° ∠ 14°, 灰岩抗风化能力强, 岩体相对完整性好, 泥岩抗风化能力差, 在风力作用和雨水侵蚀下, 岩体破碎, 节理裂隙发育。该地层分布有两级陡崖带, 呈

南北向分布, 其中一级陡崖带高程在 1220 ~ 1420 m 之间, 整个陡崖带北侧岩体完整性好, 岩面光滑, 陡崖带南侧岩体相对破碎, 节理裂隙发育, 发育有 1 个危岩带及 6 个典型危岩体; 二级陡崖带位于高程 1390 ~ 1570 m 之间, 整个陡崖带由 3 个陡崖面组成, 该陡崖带为灰岩、泥灰岩夹泥岩互层, 岩体节理裂隙发育, 崖面破碎, 根据陡崖面分布整体划分为 3 个危岩带。

二叠系上统长兴-大隆组 (P3c+d): 为灰色厚层燧石灰岩夹薄层泥岩, 岩层产状为 140° ∠ 14°。分布于居民区后侧平缓耕地区域, 治理区大部分被第四系覆盖, 在治理区南侧陡崖坡脚有基岩出露, 岩体完整性较好, 厚度约 70 m。

二叠系上统龙潭组 (P3l): 为黄褐色中厚层砂岩、泥岩夹煤层, 岩层产状 140° ∠ 14°。分布于法启村居民聚集区以西, 治理区内被第四系覆盖, 局部已加固边坡可见出露。

2.2 水文地质特征分析

气象: 治理区位于云贵高原中部, 年平均气温 11.8 °C, 最高温度 31.5 °C, 最低温度 -9.3 °C; 年平均降水量为 1155 mm, 降水多集中在 4 月至 9 月, 降水量年内分配不均匀。

水文: 治理区位于长江流域乌江水系六冲河支流的落脚河下游的白布河东岸, 属吱嘎阿鲁湖上游。距白布河直线距离 1 km, 白布河在该区域呈自北向南径流, 河流流量随季节性变化较强, 水位受下游吱嘎阿鲁湖的库区调节。

2.3 施工周边环境特征分析

施工主要受影响的因素有: 居民区、火车站、过往车辆及行人安全。需要对饮水管道、火车站高压线路、老百姓房屋进行保护等, 整个陡崖带长约 700 m, 高约 400 m, 一级陡崖带位于斜坡中部, 水平距离法启村一组居民区 200 ~ 300 m, 陡崖高差在 40 ~ 120 m, 海拔高程在 1220 ~ 1420 m 之间; 二级陡崖带位于一级陡崖带上部, 距居民区水平距离 400 ~ 600 m, 陡崖高差 90 ~ 200 m, 海拔高程在 1390 ~ 1570 m 之间, 两级陡崖中间为陡斜坡。

施工场地内交通不便, 需要修筑 2 段施工便道, 作为材料运输和土石方外运的运输通道。

临时弃渣场设置: 在地形缓斜坡耕地处, 需要平场 500 m² 场地作为临时料场, 一块 30 m × 20 m 的回

转车道,供车辆掉头和会车使用。

施工临水、临电:施工用水,施工场地北侧约 600 m 处,有一座自来水水池,存水量约 200 m³,经协调可以临时施工使用;施工用电,施工场地外 100 m 处有一变压器,“浦屯线”法启村一组变压器,输出功率为 50 千瓦时,满足施工使用。

2.4 危岩体分布特征分析

危岩体分布特征见图 1。



图 1 危岩体分布特征

3 安全技术措施

3.1 安全防护工程特点分析

治理区整个陡崖带长约 700 m, 高约 400 m, 需要清除的地方包括 WY1、WY2-1、WY2-2、WY4、WY8 ~ WY15 危岩体和 WYD1、WYD4、WYD5 危岩带共 15 个点。治理工程安全防护工程特点: 面积广, 点分散, 高差大, 山体坡度大, 保护对象多, 投资大等。鉴于此, 建设单位在招标过程针对安全防护工程列出了约 120 万元的暂估价。

3.2 安全防护总体方案

根据治理项目安全防护工程特点, 采取“局部与整体相结合”的安全防护总体方案。整体防护, 即在危岩体下方与保护对象之间设置一道安全防护措施; 局部防护, 即根据各危岩体清除点设置专项防护技术措施。安全防护总体方案见图 2。

3.3 安全施工便道

从治理区北侧通村公路绕行至山顶, 从山顶顺危岩体施工区修建施工便道, 施工便道不小于 1.5

m, 局部跨沟段采用“脚手架+竹跳板”搭设。



图 2 安全防护总体方案图

3.4 整体防护措施

在危岩体清除工程施工前, 先施工 RXI-200 型被动网, 使被动防护网成为危岩清除工程施工期间的一道整体安全防护措施; 根据场地地形地貌, 在 RXI-200 型被动网前(靠山侧方向)约 20 ~ 50 m 处设置一道“脚手架+竹跳板+砂袋墙”的水平方向安全防护措施; 在 WY8 危岩体南侧下方设置一道“脚手架+竹跳板+砂袋墙”的南侧竖向安全防护措施。竖向、水平方向安全防护措施, RXI-200 型被动网共同成立体半包围结构施工安全整体防护方案。

3.4.1 RXI-200 型被动网

根据数值模拟计算, 50 个 3 m³ 的落石自 WYD5 最高处突然失稳, 到达缓斜坡区域最大剩余动能为 1592364 J, 最大弹跳高度为 3.51 m。因此, 被动网防护选择为 RXI-200 柔性被动防护网, 网高 5.0 m。被动防护网共分 4 段设置, 其中 W1-W3 段长 170 m, W4-W7 段长 240 m, W8-W9 段长 60 m, W10-W12 段长 140 m。被动网柱间距为 10 m, 网底部与地面接触带反卷 0.5 m, 钢柱基坑长 1 m, 宽 1 m, 深 2 m; 上拉锚绳、下拉锚绳及中间加固绳基坑直径为 0.6 m, 深为 2.5 m, 抗拉拔力不小于 50 kN; 侧拉锚绳基坑直径为 0.6 m, 深为 3.0 m, 抗拉拔力不小于 60 kN, 钢柱基坑采用 C30 混凝土浇注。

3.4.2 脚手架+竹跳板+砂袋墙安全防护

防护栏脚手架: 高度 6.0 m, 双排宽度 1.5 m, 外侧架斜支撑柱。采用 $\phi 48 \times 3.0$ mm 钢管脚手架^[2-3], 立杆间距 0.9 m, 横向水平杆和纵向水平杆间距为 1.8 m, 每 3 m 设置一套 45°角斜撑, 为确保脚手架整体稳定性, 两侧设置一道剪刀撑, 以保证整

体稳固。当立杆基础不在同一高度上时,必须将高处的纵向扫地杆向低处延长两跨与立杆固定,高低差不应大于 1 m。靠边坡上方的立杆轴线到边坡的距离不应小于 500 mm。立杆的垂直偏差应控制在不大于架高的 1/400,开始搭设立杆时,每隔 6 跨设置一根抛撑。防护栏搭设结构见图 3、图 4。

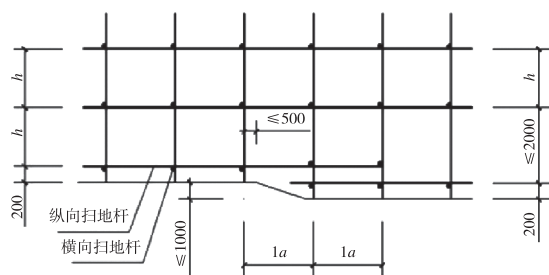


图 3 纵横向扫地杆构造

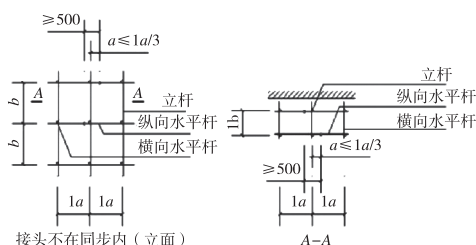


图 4 纵向水平杆对接接头构造

竹跳板:采用 5 cm×25 cm×300 cm 规格的竹跳板,用 10#铁丝固定在防护栏内侧,满铺。

砂袋墙:采用人工装袋,堆码在防护栏竹跳板内侧,堆码高度为 1.5 m,顶部宽度不小于 0.3 m,形成落石槽。

整体防护栏剖面见图 5。

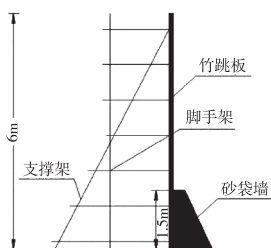


图 5 整体防护栏剖面图

3.5 局部防护措施

3.5.1 安全通道

根据危岩体分布情况,从 WYD5 与 WY14、WYD4 与 WY14、WYD3 与 WY8 之间选择合适位

置,从山顶施工便道自上而下搭设 3 条竖向安全通道,适当位置水平分至各危岩清除点。竖向安全通道采用 $\phi 48 \times 3.0$ mm 钢管脚手架搭设,宽度不小于 0.9 m,高度不小于 1.2 m,两侧护栏挂绿目网。安全通道两侧立杆每间隔 1 跨,设置预埋 $\phi 32$ 螺纹钢钢筋锚杆,预埋深度不小于 1.0 m,外露长度不小于 0.8 m,灌注 M30 砂浆;每间隔 2.0 m 设置一道与稳固岩体的连接件加固,连接件预埋 $\phi 32$ 螺纹钢钢筋锚杆,预埋深度不小于 0.8 m,外露长度不小于 0.8 m,外套 $\phi 48 \times 3.0$ mm 钢管脚手架与通道连接。水平安全通道满铺脚手板,采用 10#铁丝加固。

3.5.2 作业人员操作平台

危岩体清除前应先在危岩体周边搭设作业人员操作平台,操作平台搭设宽度不小于 1.2 m,高度不小于 1.5 m。操作平台立杆每间隔 1 跨,设置预埋 $\phi 32$ 螺纹钢钢筋锚杆,预埋深度不小于 1.0 m,外露长度不小于 0.8 m,灌注 M30 砂浆;每间隔 2.0 m 设置一道与稳固岩体的连接件加固,连接件预埋 $\phi 32$ 螺纹钢钢筋锚杆,预埋深度不小于 0.8 m,外露长度不小于 0.8 m,外套 $\phi 48 \times 3.0$ mm 钢管脚手架与通道连接。操作平台满铺脚手板,采用 10#铁丝加固。所有作业人员作业前必须穿戴安全带。

3.5.3 危岩体临时加固措施

清除前,采用 SNS 主动柔性网对清除体进行临时加固,再逐步进行清除。

3.6 安全防护效果

研究项目,在实施过程中严格按照以上安全技术方案执行,施工全过程未发生任何安全事故,工程全部安全防护措施实际造价共计约 80 万元,比建设单位预估的 120 万元,节约了 40 万元。

4 结论

安全管理在施工项目管理中是重中之重,安全第一、预防为主,正体现了施工前安全防护技术方案的重要性。合理、可行的安全技术措施不但确保工程本身和施工人员的安全,还能节约工程投资。地质灾害危岩体清除工程,本身安全风险高,安全工程投入大,对安全技术措施进行分析与研究,寻求高效的安全技术措施,对工程项目管理有着重要意义。

贵州万山区新屋场崩塌成因机制分析及风险评价

王 星, 吕 东

(贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550000)

摘 要: 新屋场崩塌是多种因素综合作用下逐步发展形成的, 其形成机制为压致拉裂式倾倒。通过对成灾机理的分析、不同暴雨频率下稳定性及危险区范围预测、不同暴雨频率下的易损性计算得出新屋场崩塌在 20 年一遇暴雨工况下其风险性为“中风险”; 在 50 年一遇暴雨工况下其风险性为“高风险”。

关键词: 新屋场, 崩塌, 成因机制, 风险评价

中图分类号: P642 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0070-04

Genesis mechanism and risk assessment of the collapse in Xinwuchang, Wanshan County, Guizhou Province

WANG Xing, LYU Dong

(Guizhou Geological Environment Monitoring Institute, Guiyang 550000, China)

Abstract: The collapse in Xinwuchang is gradually developed under the influence of various factors, and its formation mechanism is pressure-induced pull-crack dumping. Through the analysis of the disaster genesis mechanism, the stability and risk range prediction of the hazard area, and the risk calculation under different rainstorm frequency, it is concluded that the risk level of the collapse in Xinwuchang under once-in-twenty-year rainstorm is medium, and the risk level under once-in-fifty-year rainstorm is high.

Keywords: Xinwuchang, collapse, genesis mechanism, risk assessment

参考文献【REFERENCES】

- [1] 中华人民共和国国务院令 第 394 号: 地质灾害防治条例[A]. 2003.
- [2] 住房和城乡建设部定额研究所. 建筑施工安全检查标准: JGJ59—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范: JGJ130—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

收稿日期: 2022-08-22; 修回日期: 2022-08-22

作者简介: 吕胜坤(1981-), 男, 贵州德江人, 本科, 高级工程师, 国家一级建造师、注册造价师、注册监理工程师、注册安全工程师, 主要从事地基基础、边坡、地质灾害治理等工程方面的施工技术与管理工

1 研究区地质环境概况

1.1 地形地貌

研究区属溶蚀、侵蚀低山沟谷地貌,沟谷切割深,相对高差 192.5 m,坡度陡。危岩体位于斜坡北部,东西向展布,北高南低,坡向 174° 左右,斜坡上坡度较陡约 75° ,中下部略缓约 25° ,凹型,危岩体位于陡崖顶部。

1.2 地层岩性

出露的地层主要为第四系(Q)土层及寒武系敖溪组(C_3a),主要特征分述如下:

第四系(Q):含碎块石粉质粘土、粘土。灰褐色、棕黄色,稍湿。

夹炭质页岩及少量灰岩碎石,多呈棱角状,碎石含量约 25%~40%。崩塌块石粒径 2~50 cm 不等。属松散岩类,力学强度低。该层广泛分布在崩塌区域斜坡地段,厚度一般 0~2.0 m 不等。

寒武系敖溪组(C_3a):

第三段:灰色薄至中厚层白云岩;

第二段:黑色条带状砂质、炭质页岩;

第一段:灰色薄至中厚层泥灰岩、白云岩。

岩层产状 $335^{\circ}\angle 6^{\circ}$,发育三组节理,J1: $210^{\circ}\angle 84^{\circ}$,线密度 3~5 条/米,无填充;J2: $300^{\circ}\angle 84^{\circ}$,线密度 3~5 条/米,无填充;J3: $50^{\circ}\angle 85^{\circ}$,线密度 3~5 条/米,无填充。

1.3 地质构造

研究区位于茶店断层与石竹断层中部的东西向次级断层北盘,距次级断层直线距离 230 m,次级断层两盘皆为敖溪组地层。

1.4 水文地质条件

区内地下水主要为大气降水补给,大气降水通过构造裂隙、风化裂隙渗入地下形成迳流,地下水排泄主要受地形地貌及岩性组合所控制,主要以泉水方式排泄,其次呈散流或片流形式排泄。地下水向地势低洼处或沟谷地带排泄,具有泉水流量小、沟长水量大、沟短水量小和山高水高的特点。地势低洼处、沟谷地带是基岩裂隙水主要排泄场所。

1.5 人类工程活动

研究区主要为灌木林地、建筑用地及少量耕地,建筑用地主要为木式房屋;耕地位于崩塌下方,农耕活动对滑坡影响较小;西侧 500 处为汞矿开采区,因历史原因井下巷道走向及深度未知。总体人类工程活动一般。

2 崩塌基本特征

万山区茶店街道垢溪村新屋场崩塌^[1]主要分布在斜坡顶部陡崖地带,属低山溶蚀、侵蚀沟谷地貌,总体地势北高南低,区内高程 448.1~712.9 m,相对高差约 264.8 m。地形条件为危岩体提供了良好的势能场,且危岩带内岩体节理裂隙较发育,上部危岩体岩性以薄至中厚层白云岩为主,属于硬质岩类工程岩组,地层产状 $355^{\circ}\angle 6^{\circ}$,下伏基座为敖溪组二段炭质页岩,为软质岩类工程岩组。上部为硬质岩,下部为软质岩,形成上硬下软的岩土组合,在有临空面形成的条件下,易形成崩塌地质灾害。

根据现场调查,结合无人机航拍得出区内共发育 4 个危岩体,总体分布呈东西向分布,见图 1。

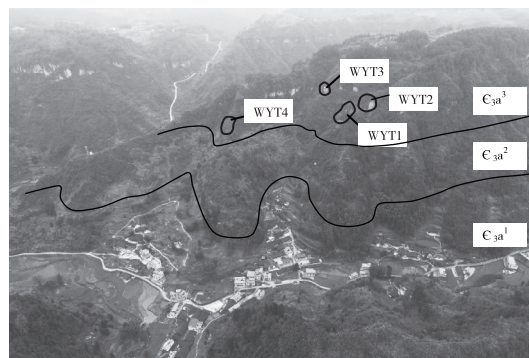


图 1 新屋场崩塌分布图

3 崩塌成因机制分析

新屋场崩塌是多种因素综合作用下逐步发展形成的。其形成机制^[2-5]为压致拉裂式倾倒,破坏模式可分为四个阶段。

1) 差异风化

危岩体底部有一层 20 cm 软弱夹层,呈灰黑色。因差异风化,软弱夹层受侵蚀形成凹岩腔,导致上部

岩体出现悬空。

2) 压致拉裂

随着凹岩腔形成,岩体在自重条件下,应力集中于软弱夹层面,生成与软弱面近于垂直的拉张裂隙,自下而上扩展,走向大致与坡面平行,裂缝宽度 1 ~ 3 cm,呈下宽上窄。

3) 变形扩展

随着软弱夹层持续风化、拉张裂隙变形的发展,陡倾的裂面成为应力集中带,岩体被拉张裂隙与层面切割分离成破碎块体,从外至内慢慢脱落,形成更大的凹岩腔,此时,上部岩体仍处于破碎稳定阶段。

4) 重心外移倾倒

底部岩体逐步向临空面卸荷变形,支撑能力逐渐降低,上部岩体重心外移,最终失去支撑,发生倾倒。

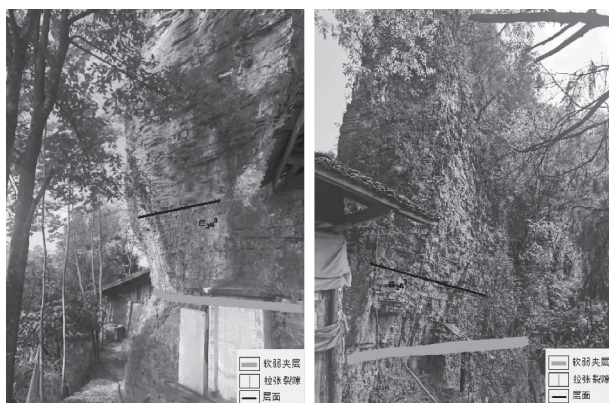


图 2 新屋场崩塌现状

4 崩塌危岩体风险评价^[6]

4.1 评价方法

1) 成灾机理。首先通过灾害体成因机理分析,确定灾害体破坏模式及运动路径,初步预测危险区范围及威胁对象。

2) 不同暴雨频率下稳定性及危险区范围预测。通过实地调查与公式计算相结合的方式,预测灾害体在不同暴雨频率下的稳定性与危险区范围。本次评价考虑 20 年一遇及 50 年一遇两种频率降雨作用下的稳定性与危险区范围。

崩塌危险范围预测:采用现场调查、公式计算确定。

3) 不同暴雨频率下的易损性计算。通过第二

步中的方法预测出不同暴雨频率下危险区范围,在建立适当大小的栅格单元后,估算出受威胁人数与受威胁财产,具体公式如下:

$$R = \sum n_{(人)} \cdot S \cdot M_{(人)}$$

式中, R :受威胁人数; $n_{(人)}$:人口损毁率(此次取 1); S :栅格计算单元面积; $M_{(人)}$:栅格计算单元人口密度值。

$$C = \sum n_{(财)} \cdot S \cdot M_{(财)}$$

式中, C :受威胁财产; $n_{(财)}$:财产损毁率(此次取 1); S :栅格计算单元面积; $M_{(财)}$:栅格计算单元财产密度值。

计算出受威胁人口与受威胁财产后,根据地质灾害危险性等级划分表(表 1)可判定其危险等级。

表 1 地质灾害易损性等级划分表

易损性等级	受威胁人数/人	受威胁财产/万元
低	<100	<500
中	100 ~ 500	500 ~ 1000
高	500 ~ 1000	1000 ~ 5000
极高	>1000	>5000

4) 确定风险等级。通过第三步可计算出不同暴雨频率下的易损性,结合危险性评价的结果,查地质灾害风险等级划分表(表 2),判定灾体风险级别。

表 2 地质灾害风险等级划分

易损性	危险性			
	极高	高	中	低
极高	极高	极高	高	中
高	极高	高	中	中
中	高	高	中	低
低	中	中	低	低

4.2 危害范围分析

根据以上对崩塌危害范围的确定和成灾的可能性分析,崩塌地质灾害隐患威胁 55 户 255 人,威胁耕地 22000.0 m²,林地 92000.0 m²,威胁房屋砖混结构面积 2100.0 m²、木结构面积 8460.0 m²,威胁村公路 0.28 km,路宽 4 m。

灾情预评估价值参考《贵州省县(市、区)地质灾害详细调查及风险评价技术要求(试行)》中表 6-1、表 6-2,耕地按 20/m²,灌木林 12/m²,农村空地 10/m²,砖混结构 600/m²,砖木结构 300/m²,通村道路 800/m² 计算。人口、财产统计见表 3。

表 3 新屋场崩塌人口、财产统计表

工况	项 目	单位	数量	单价/元	合计/万元
(20 年一遇 降雨重现期)	房屋(砖木)	m ²	1960	300	58.80
	道路	m ²	400	800	32.00
	林地	m ²	46000	15	69.00
	耕地	m ²	10500	20	21.00
	财产合计	万元		180.80	
	人口合计	户 人		30 149	
(50 年一遇 降雨重现期)	房屋(砖木)	m ²	6500	300	195.00
	房屋(砖混)	m ²	2100	600	126.00
	道路	m ²	1120	800	89.6
	林地	m ²	46000	15	69.00
	耕地	m ²	11500	20	23.00
	财产合计	万元		502.60	
工况Ⅲ	人口合计	户 人		55 255	

4.3 风险评价结果

1)20 年一遇暴雨:在该工况条件下危岩体基本稳定,危险性为“中”。根据现场调查结果,危岩体滚落进入村寨中上部,威胁 30 户 149 人及部分耕地、林地,受威胁财产价值约 180.8 万元,查地质灾害易损性等级划分表(表 1),判定其易损性等级为“中”,再查表 2 可知其风险性为“中”。

2)50 年一遇暴雨:在该工况条件下危岩体不稳定,危险性为“高”。危岩体在该工况条件下的危险区范围最远距离为 187.5 m,共有 55 户 255 人、财产 502.6 万元,由地质灾害易损性等级划分表(表 1)可知其易损性等级为“中”,再查表 2 可知其风险性为“高”。

综上所述,新屋场崩塌在 20 年一遇暴雨工况下其风险性为“中风险”;在 50 年一遇暴雨工况下其风险性为“高风险”(表 4、图 3、图 4)。

表 4 新屋场崩塌不同风险概率下风险性等级表

工况	危险性	易损性等级	风险性
20 年一遇暴雨	中	中	中
50 年一遇暴雨	高	高	高

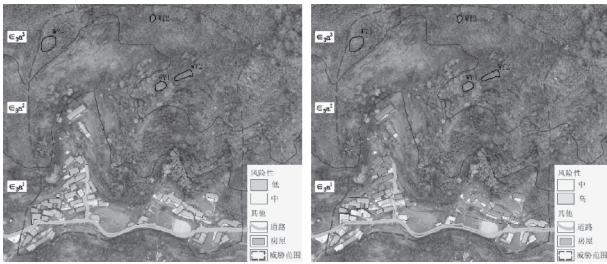


图 3 20 年一遇风险评价图 图 4 50 年一遇风险评价图

5 结论

1)新屋场崩塌为小型倾倒地崩塌地质灾害。经调查,受风化作用、震动和降水的作用,危岩区掉块时有发生。

2)危岩带内岩体节理裂隙发育,岩体破碎,危岩体形态以块状为主,危岩体破坏类型以倾倒地为主,运动形式为倾倒、滚动。

3)新屋场崩塌在 20 年一遇暴雨工况下其风险性为“中风险”;在 50 年一遇暴雨工况下其风险性为“高风险”。

参考文献【REFERENCES】

[1] 陶小郎,吕东. 茶店街道办事处垢溪村新屋场崩塌地质灾害勘查报告[R]. 贵州省地质环境监测院,2020.

[2] 邓广哲. 矿山高陡边坡崩塌灾害演化的成因分析[J]. 岩土力学,2005,26(S1):595-598.

[3] 陈洪凯,鲜学福,唐红梅. 石质山区崩塌灾害形成机制——以四面山国家级风景名胜区红岩山为例[J]. 四川大学学报(工程科学版),2005,43(3):1-6.

[4] 郭炳跃,咸玉建,梁聪,等. 无锡市鼋头渚景区岩质边坡崩塌形成机制及防治对策研究[J]. 地质灾害与环境保护,2020,31(1):63-69.

[5] 程鹏翔,李宗发. 贵州武陵山区中二叠统崩塌地质灾害形成机理研究[J]. 中国岩溶,2019,38(4):565-572.

[6] 张春山,吴满,张业成. 地质灾害风险评价方法及展望[J]. 自然灾害学报,2002,12(1):96-102.

收稿日期:2022-08-24;修回日期:2022-08-24

作者简介:王 星(1991-),女,汉族,湖北天门人,硕士研究生,主要从事水文地质、工程地质、环境地质调查工作。

2016 年 6 月 15 日株洲特大暴雨成因分析*

谢倩雯, 石世玮, 邓新林, 朱 劲

(株洲市气象局, 湖南 株洲 412000)

摘 要: 2016 年 6 月 15 日株洲市区出现了极端强降水, 小时雨强达到了 72.7 mm, 累计降水量达到了 213.6 mm。利用常规气象观测资料及 ERA5 再分析资料, 分析造成这次强降水的形势场和水汽条件。结果表明: 降水前期的前倾槽、低层急流是造成这次强降水突发性的原因, 为后期强降水积蓄了较好的水汽条件。当低层辐合系统重叠时, 水汽迅速辐合、上升运动发展。

关键词: 株洲, 极端暴雨, 成因分析, 切变线

中图分类号: P458.121.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0074-04

Analysis of the causes of the exceptionally heavy rainstorm in Zhuzhou on June 15, 2016*

XIE Qianwen, SHI Shiwei, DENG Xinlin, ZHU Jin

(Zhuzhou Meteorological Bureau, Zhuzhou 412000, China)

Abstract: An exceptionally heavy rainstorm occurred in Zhuzhou on June 15, 2016. The hourly rainfall intensity reached 72.7 mm, and the accumulated precipitation reached 213.6 mm. Using meteorological observation and ERA5 reanalysis data, the synoptic situation and vapor conditions were analyzed. The results showed that, the forward-tilting trough and low-level jet in the early stage of precipitation were the reasons for the suddenness of the heavy rainstorm, which provided abundant vapor as well. With the low-layer convergence system overlapping with each other, the water vapor gathered and the convection developed rapidly.

Keywords: Zhuzhou, exceptionally heavy rainstorm, cause analysis, shear line

0 引言

湖南降水丰沛, 暴雨日数多, 降雨时空分布不均, 多集中在 4 月至 7 月, 主汛期时间长^[1]。近几年极端暴雨频发, 其中 2016 年 6 月 14 日株洲市区后半夜突发强降水, 小时降水强度大具有极端性, 南移后降水开始减弱。这次短历时极端暴雨对研究株洲的突发性、局地性暴雨, 对于提高暴雨预警和强降水气象服务非常重要。

周慧等^[2]通过对湖南大暴雨天气过程高低空环流形势特征分析, 建立了 5 类天气学分型。徐明

等^[3]归纳了有利于华南前汛期持续性暴雨发生的 4 种典型环流类型。孙继松^[4]从水汽方程的尺度分析入手, 讨论短时强降水和暴雨的区别和联系, 指出对于对流过程, 瞬时降水强度主要决定于水汽垂直递减率和低层大气对流有效位能, 降水强度由大气层结状态和环境风垂直切变决定。田莹等^[5]通过对江南暖区暴雨进行分型, 分析不同型下环流特征和物理量特征的区别。本文旨在通过分析这次过程的形势场和动力条件, 分析这次极端强降水过程的特征。

1 资料与方法

本文所使用的资料包括:2016年6月14日20时至15日08时的常规地面观测资料和探空资料,逐小时地面雨量、风场资料,逐1小时ERA5再分析资料。

2 降水实况

株洲地处湘东,湘江下游,位于罗霄山脉西麓,南岭山脉至江汉平原的倾斜地段上,总体地势东南高、西北低。总体呈长条形,北中部地形岭谷相间,盆地呈带状展布;东南部均为山地,山峦迭障,地势雄伟。

2016年6月14日20时至15日20时,市区出现了历史极端日降水量257.6 mm,醴陵、攸县出现了暴雨,茶陵、炎陵出现了中雨,这次过程雨强大、突发性强,市区降水主要集中在15日凌晨1点至8点,降水量达到213.6 mm,1小时最大雨量达到72.7 mm;醴陵的降水峰值落后市区2小时,小时降水明显小于市区,但持续时间更长。这次过程夜雨明显,小时雨量大于20 mm的时段均集中在后半夜到清晨。

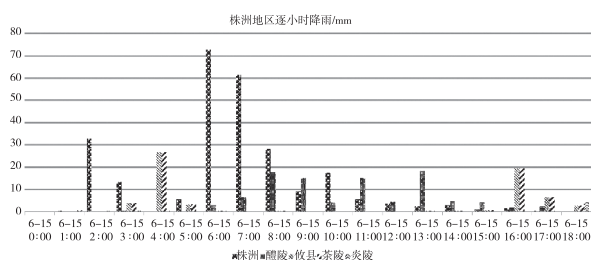


图1 株洲地区逐小时降雨量

此次过程造成了株洲市区、株洲县、醴陵、攸县受灾严重,特别是株洲市区城市内涝明显,出现多处滑坡与房屋倒塌。

3 环流特征分析

3.1 对流层中层环流形势

这次特大暴雨过程符合江南暖区暴雨的高空槽特征^[4],贝加尔湖附近低涡东移南下,在我国中部

形成了强盛低槽。14日20时,槽后西北气流影响整个华北,河套至江苏为一条大风带,经河南处风速最大,达到了32 m/s,温度槽落后于高度槽,冷平流输送明显。副高维持在华南沿海,副高北侧华南地区为西南急流。快速南下的冷空气与稳定的西南风在湖南形成稳定存在的气流汇合区,同时我国西南多小槽东移,有利于地面辐合系统在此发展。随着南风增强,西南急流范围扩大,08时冷空气北缩,强降水减弱。

通过再分析资料进行进一步分析,株洲市区强降水发生前500 hPa高空槽并没有加深,相反15日0时中东部的高空槽有所拉平,在06时降水最强时段,我市处在海上北抬的高空槽后。陕西、河南上空稳定存在西北风,湖北上空稳定存在西南风和西北风的对峙,06时湖南上空的西南风增强,株洲市区降水发生发展。

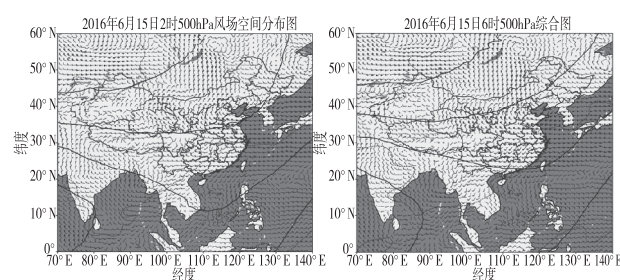


图2 500hPa 风场、位势高度(实线)及温度场(虚线)

3.2 对流层低层形势

14日20时750 hPa切变已经位于湘中一带,株洲市区处在暖切之中,暖切一直稳定维持在湘中,切变线南侧西南风不断增强,至15日0时湘南风速达到急流标准,15日6时转冷切,东段持续维持在株洲市区、醴陵市,至17时南压至涪口区。

14日20时850 hPa湘中有一条冷切,冷切西端与750 hPa暖切位置相同,东段在洞庭湖附近,株洲处在切变南侧的暖区之中。冷切南侧西南风增强,同时切变线东端东移缓慢南压。在22时湘南风速达到急流标准。15日5时,市区处于急流出口区,切变东段位于湘东北,06时切变东段压至市区北部,07时切变线稳定维持在市区,至16时南压移出市区。

由此可见,15日5时之前株洲处在切变线南侧的暖区之中,此时的短时强降水是暖区降水,750 hPa切变线位于850 hPa切变线的南侧,也就是说

辐合区随高度向南倾斜,如 1 时市区、3 时的攸县、茶陵短时强降水为暖区降水,降水强度较大,降水的时间持续时间短;6 时开始的强降水发生在冷切南侧,700 hPa 切变线和 850 hPa 切变线的位置重合,降水强度极大,持续整个切变重叠时段,850 hPa 切变略南压后降水落区南压强度减弱。

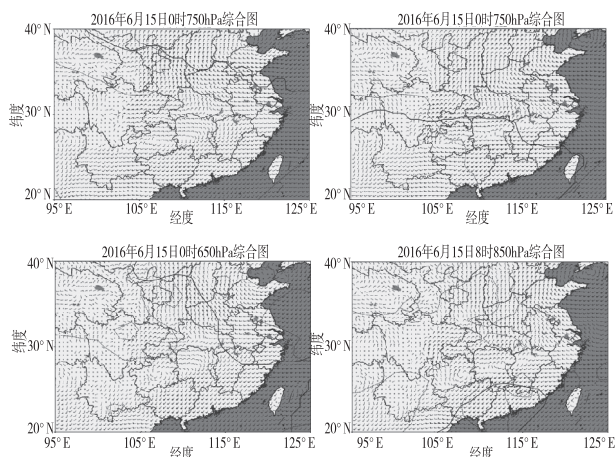


图 3 700 hPa、850 hPa 风场、位势高度(实线)及温度场(虚线)

3.3 近地面形势

边界层辐合线东侧较 850 hPa 切变位置偏北,06 时移动至湘东北,此时位于边界层辐合线南部的市区强降水发生。当边界层辐合线南移位置超前于低层切变,降水减弱。

至 15 日 08 时,株洲一直处在倒槽控制中,地面风场一直有辐合系统,有利于株洲地区中小尺度系统的触发,由于地面辐合系统并不宽广,因此降水更具有局地性。

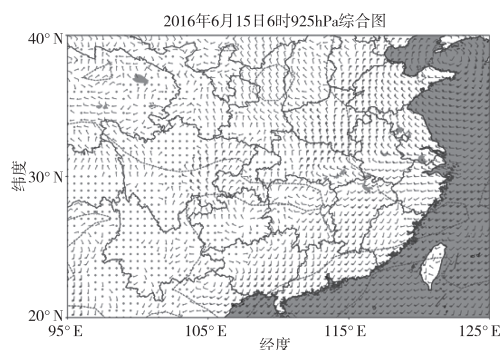


图 4 925hPa 风场、位势高度(实线)及温度场(虚线)

4 环境条件分析

4.1 水汽条件

15 日 02 时,株洲全市 850 hPa 水汽通量散度为负,低层水汽辐合,06 时水汽辐合迅速增强,水汽通量散度中心值达到了 $-20 \cdot 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,强降水此时快速发展,在之后的 2 个小时仍维持较强的水汽辐合,强降水也继续维持。

700 hPa 水汽通量则相反,06 时之前水汽通量散度在辐合或辐散之间波动,06 时开始,株洲上空的水汽通量为正,水汽辐散。

由此可见,06 时之前低层已经存在水汽辐合,中层没有对应的水汽辐散,06 时 850 hPa 以下水汽辐合,700 hPa 及以上水汽辐散,水汽垂直输送得以发展,降水强度爆发性增强。

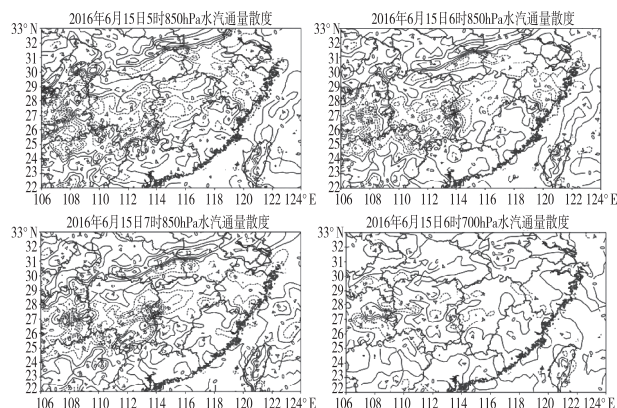


图 5 水汽通量散度分布图(单位: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

4.2 动力条件

垂直速度在 06 时迅速增加,700 hPa 垂直速度大值区与 850 hPa 水汽辐合区对应,700 hPa 最大垂直速度达到了 2.5 hPa/s 。与水汽通量散度相同,垂直速度的大值区也位于攸县附近,即低层切变线南侧西南急流前端,强降水中心则位于低层切变线上,即垂直速度和水汽辐合梯度处。

从市区垂直速度时间剖面图可以看出,15 日 2 时中层垂直速度达到 1.6 hPa/s ,较好地对应了 2 时的短时强降水。6 时至 8 时垂直上升速度延展更高,因此降水效率更强。

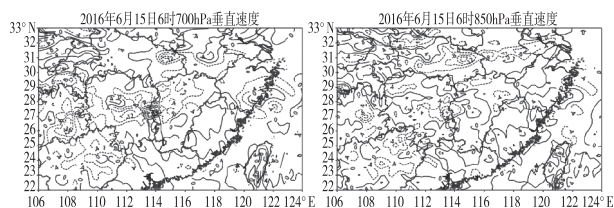


图6 垂直速度分布图(单位: $10^{-1} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

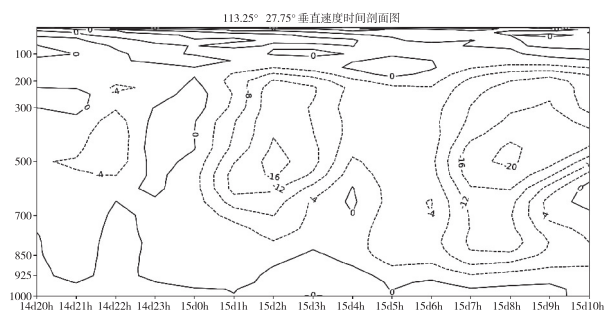


图7 株洲市区垂直速度剖面图(单位: $10^{-1} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

5 小结

1)这次强降水并不是传统的低涡冷槽型降水,在最强降水时段,市区是处于高空槽后的。降水发生前,低层为西南急流,地面为暖倒槽,为这次过程积蓄能量,高空槽过境,对流层中层为干冷空气,上冷下暖有利于对流。

2)强降水前期维持前倾槽结构,此时短时强降水发生,但降水持续性短、强度弱,当中低层辐合系统垂直时,降水迅速发展、强度大。低层辐合先于中

层南移时,降水落区随之南移,降水强度较重叠时减弱。

3)切变线重叠有利于水汽水平方向的辐合辐散、垂直向上输送,在重叠引起强降水之初,降水强度最强,之后尽管水汽辐合辐散强度继续维持、垂直上升速度进一步发展,降水强度也较稍弱于强降水之初。

4)水汽辐合大值区、垂直上升速度大值区并不一定对应强降水中心,切变线位置更好的对应了强降水的落区。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 潘志祥,黎祖贤,叶成志. 湖南省天气预报手册[M]. 北京:气象出版社,2006.
- [2] 周慧,杨令,刘志雄,等. 湖南省大暴雨时空分布特征及其分型[J]. 高原气象,2013,32(5):1425-1431.
- [3] 徐明,赵玉春,王晓芳,等. 华南前汛期持续性暴雨统计特征及环流分型研究[J]. 暴雨灾害,2016,35(2):109-118.
- [4] 孙继松. 短时强降水和暴雨的区别与联系[J]. 暴雨灾害,2017,36(6):498-506.
- [5] 田莹,叶成志,姚蓉. 2008—2018年江南暖区暴雨特征[J]. 大气科学学报,2022,45(1):51-64.

收稿日期:2022-08-10;修回日期:2022-08-24

基金项目:湖南省气象局预报员专项项目(XQKJ20C004)。

作者简介:谢倩雯,女,主要从事天气预报、气象服务工作。

贵州省木贡天然矿泉水成因及化学特征研究

吕 东

(贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550000)

摘 要: 木贡天然矿泉水水源地处于贵州省六盘水市六枝特区岩脚镇木贡村, 属浅切中山地貌, 地势西北高, 东南低; 泉域范围内出露的地层有二叠系中统栖霞茅口组、三叠系下统永宁镇组, 区域地质构造体系主要是受北西—南东向的垭都—紫云深大断裂控制和影响而形成的北西—南东褶皱带; 热储层主要为二叠系中统茅口组灰岩含水层, 热储盖层为峨眉山玄武岩和龙潭组页岩、粉砂质泥岩夹煤层及灰岩, 属断裂裂隙型热矿泉; 水化学类型为重碳酸硫酸钙型水。

关键词: 木贡, 地层, 热储层, 水化学类型, 成因

中图分类号: P641.5 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0078-04

Genesis and chemical characteristics of Mugong natural mineral water in Guizhou Province

LYU Dong

(Guizhou Geological Environment Monitoring Institute, Guiyang 550000, China)

Abstract: The water source of Mugong natural mineral water is located in Mugong Village, Yanjiao Town, Liuzhi Special Zone, Liupanshui City, Guizhou Province. It belongs to a shallow-cut Zhongshan landform with high terrain in the northwest and low in the southeast. The strata exposed in the spring area include the Permian Middle Qixia Maokou Formation and the Triassic Lower Yongning Town Formation. The regional geological structure system is mainly the North-West-South-East fold belt formed by the control and influence of the North-West-South-East Zhiyadu-Ziyun deep fault. The thermal reservoir is mainly the Permian Maokou Formation limestone aquifer. The thermal storage caprock is Emeishan basalt and Longtan Formation shale, silty mudstone coal seam and limestone, which are fracture-fissure thermal mineral springs. The hydrochemical type is calcium bicarbonate sulfate type water.

Keywords: Mugong, stratum, thermal reservoir, hydrochemical type, genesis

贵州是我国地热资源较发育地区之一, 具有得天独厚的地质富集条件^[1]。木贡天然矿泉水水源地处于贵州省六盘水市六枝特区岩脚镇木贡村, 距岩脚镇政府驻地 9 km、六枝特区 25 km。1992 年 4 月, 调查认为木贡矿泉水赋存在上二叠系碳酸盐岩裂隙中, 达到饮用天然矿泉水国家标准; 1995 年 8 月, 对水质的物理特征、化学成分、微量元素和流量进行复核, 指出木贡矿泉水发育在二叠系中统茅口组岩溶含水层中, 该泉水为低矿化度、低钠含偏硅

酸、锶、碘、重碳酸硫酸钙淡矿泉水。

1 区域地质概况

1.1 地形地貌

木贡天然矿泉水水源地属浅切中山地貌, 总体地势西北高, 东南低, 最高标高大 1500 m, 最低标高 1240 m(湾河河水面)。在湾河的西北, 地形坡度

大,切割较深,一般山脊标高均在 1400 ~ 1500 m,最大相对高差达 300 m 以上;湾河的东南,地形切割较浅,一般山脊标高 1200 ~ 1300 m,相对高差 100 m 左右。矿泉水点四周地表分水岭封闭汇水面积约 10 km²,大部分标高均在 1000 m 以上,地面起伏较大,自然排泄条件良好。

1.2 区域地层

木贡天然矿泉水位于长江流域与珠江流域的分水岭北侧,即长江流域三岔河南岸。区域内出露的基岩地层为石炭系、二叠系和三叠系,第四系松散层。

表 1 木贡天然矿泉水区域地层简表

界	系	统	地层名称	代号	岩性简述	厚度/m
新生界	第四系	全新统		Q	粘土、砂砾层	0 ~ 15
中生界	三叠系	中统	三段	T _{2g} ³	白云岩、白云质灰岩、岩溶角砾岩	400
			二段	T _{2g} ²	灰岩、白云质灰岩	230
			一段	T _{2g} ¹	泥岩、泥质白云岩夹灰岩	120
		下统	二段	T _{1yn} ²	灰色中夹薄层白云岩夹石膏岩溶角砾岩	320
			一段	T _{1yn} ¹	灰色中厚层灰岩鲕状灰岩夹泥岩	482
		夜郎组		T _{1y}	紫红色泥岩、砂岩夹泥灰岩、灰岩	547
古生界	二叠系	上统	大隆组	P _{3d}	薄层燧石层夹蒙脱石黏土层	43
			长兴组	P _{3c}	浅灰-深灰色燧石灰岩	48
			龙潭组	P _{3l}	页岩、粉砂质泥岩夹煤层及灰岩	300 ~ 500
			峨眉山玄武岩	P _{3β}	暗绿黑色块状致密玄武岩	342
		中统	茅口组	P _{2m}	灰白至灰色厚层块状细至微晶灰岩	687
			栖霞组	P _{2q}	深灰色薄至中厚层含燧石结合灰岩	179
	石炭系	下统	梁山组	P _{1l}	粉砂岩、石英砂岩夹泥灰岩	20 ~ 260
		上统	马平组	C _{3mp}	厚层灰岩、生物灰岩、碳质泥岩	843
		统中	黄龙组	C _{2hn}	厚层灰岩、生物灰岩、夹白云岩	440

泉域范围内出露的最老地层为二叠系中统栖霞茅口组灰岩,最新为三叠系下统永宁镇组第二段白云岩夹石膏岩溶角砾岩。

1.3 区域构造

木贡天然矿泉水矿区位于六盘水断陷之威宁北西向构造变形区,区域地质构造主要是受北西—南东向的垭都—紫云深大断裂的控制和影响而形成的北西—南东褶皱带^[2]。木贡矿泉水位于该褶皱带中的三丈水—堕却背斜北东翼,是该背斜次一级断裂构造最为发育、地质构造最复杂的地段之一,主要特征是断裂方向多是北东或近东西向伸展,呈羽状分布,属压扭性、或直接切割或斜交错动,致使北西

向构造遭到破坏或改变,为地下水向深部和横向运移提供了良好条件。

矿泉水矿区为一单斜构造,岩层走向北西,倾向东南,倾角多为 60° ~ 80°。主要断裂呈北东向(F1、F4、F5)至近东西向(F2、F3),规模较大,矿泉水发育主要受近东西向断裂(F2)控制;另外在矿泉水北侧发育两条走向 10° 和 330° 的张性裂隙,这一组断裂和两条裂隙对木贡热矿泉水的形成具有重要意义。

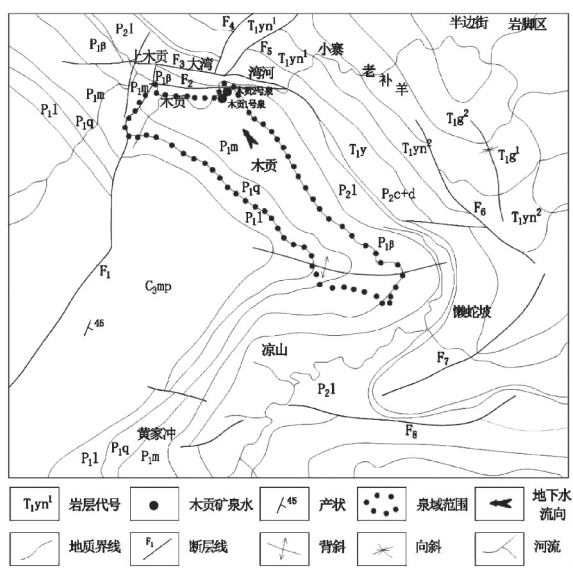


图 1 木贡天然矿泉水区域地质构造

2 矿泉水基本特征

木贡 1 号泉的出露高程为 1224 m,流量为 5.61 L/s,水温为 25.4 ℃,现场测试 pH 值为 7.56,电导率为 497 μs/cm,溶解氧为 0,浊度为 0.28 NTU,氧化还原电位为 134,泉水清澈透明,无嗅无味。根据对矿泉流量和水温动态长期监测资料,木贡 1 号泉点最大流量 6.1 L/s,最小流量 5.62 L/s,年最大变化率为 1.085 倍。最高温度为 28 ℃,最低温度为 24 ℃,可能受到地表水的补给,水温偶尔低于 25 ℃,但总体较为稳定。

木贡 2 号泉的出露高程为 1227 m,流量为 2.71 L/s,水温为 30.1 ℃,现场测试 pH 值为 7.37,电导率为 468 μs/cm,溶解氧为 0,浊度为 0.64 NTU,氧化还原电位为 147,泉水清澈透明,无嗅无味。根据对矿泉流量和水温动态长期监测资料,木贡 2 号泉点最大流量 2.98 L/s,最小流量 2.8 L/s,年最大变化率为 1.064 倍。最高温度为 30 ℃,水温最低为

27 ℃, 温度变化幅度不大, 较为稳定。

两处泉点流量动态变化、水温相对稳定。

3 赋存条件

木贡天然矿泉水热储层主要为二叠系中统茅口组灰岩含水层; 热储盖层为峨眉山玄武岩和龙潭组页岩、粉砂质泥岩夹煤层, 盖层总厚 600 ~ 900 m, 为良好的隔水层, 深部热矿泉水受断裂构造的影响上升, 遇浅部冷水混合降温, 形成温泉。

二叠系中统栖霞茅口组灰岩含溶洞管道水, 分布在木贡矿泉水点南部, 岩性为灰白色至灰色厚层块状细至微晶灰岩, 厚 687 m, 本层地下水水位埋深一般大于 10 m, 泉水流量 1 ~ 10 L/s, 地下水径流模式为 4 ~ 12 L/s · km², 富水性强。据钻孔勘探资料, 含水层富水性与地貌条件密切相关, 在地形开阔地段, 钻孔单位涌水量达 3.03 L/s · m, 而在地形条件差的地段, 仅为 0.00015 ~ 0.8 L/s · m。

二叠系上统龙潭组和峨眉山玄武岩为相对隔水层, 主要分布在矿泉水点以北, 龙潭组以页岩、粉砂质泥岩为主, 厚 300 ~ 500 m, 峨眉山玄武岩由暗绿色黑色块状致密玄武岩、玄武质岩屑-玻屑凝灰岩组成, 厚 342 m, 二者均具有良好的隔水性能, 这层巨厚的隔水层对热矿泉水起着相对隔热、阻水和保温的作用, 成为矿泉良好的盖层。

4 热矿水成因

地下水的运移和富集既与地层、岩性有关, 又受地质构造控制^[3]。木贡矿泉水出露于湾河右岸, 属断裂裂隙型热矿泉, 矿泉水出露于茅口组灰岩和玄武岩地层之断裂接触带上。该断裂 (F2) 走向约 280°, 倾角 70° ~ 80°, 倾向南。矿泉水出露受断裂构造的控制, 断裂沟通了深部赋存的高温水, 为其深部循环上升出露创造了条件, 成为导出地下热矿泉的良好通道。另有两组走向 10° 和 330° 的张性裂隙, 成为浅部泉水与热矿泉相混合的通道。

该矿泉水的水量补给来源于远距离高位置的大气降水向地下的入渗。经过长时间的深循环过程被地下水热源不断加温, 在特殊的地球化学环境的矿床中, 获得适量的化学组分和微量元素, 最后通过深大断裂通道上升, 在浅部受冷水混合降温, 并在断裂带上、河谷地带出露于地表, 成为具有特殊化学成

分和独特利用价值的矿泉水^[4]。

5 水化学特征

地热流体的化学成分主要取决于循环过程中得围岩和构造环境^[5], 经采样测试, 木贡 1 号泉 pH 值为 7.36, 属中性水; 溶解性总固体 387.6 mg/L, 为淡水; 总硬度为 241.61 mg/L, 属微硬水; 水质中主要阴离子 HCO₃⁻ 含量为 181.72 mg/L, SO₄²⁻ 含量为 96.70 mg/L, Cl⁻ 含量为 3.12 mg/L; 主要阳离子 Ca²⁺ 含量为 79.43 mg/L, Mg²⁺ 含量为 10.14 mg/L, K⁺ 含量为 1.83 mg/L, Na⁺ 含量为 7.52 mg/L。按舒卡列夫分类法, 其水化学类型为重碳酸硫酸钙型水, 流量动态变化相对稳定。

木贡 2 号泉 pH 值为 7.37, 属中性水; 溶解性总固体 361.7 mg/L, 为淡水; 总硬度为 224.71 mg/L, 属微硬水; 水质中主要阴离子 HCO₃⁻ 含量为 161.86 mg/L, SO₄²⁻ 含量为 100.45 mg/L, Cl⁻ 含量为 2.22 mg/L; 主要阳离子 Ca²⁺ 含量为 73.66 mg/L, Mg²⁺ 含量为 9.9 mg/L, K⁺ 含量为 2.08 mg/L, Na⁺ 含量为 8.06 mg/L。按舒卡列夫分类法, 其水化学类型为重碳酸硫酸钙型水, 流量动态变化相对稳定。

6 结语

1) 木贡矿泉水属断裂裂隙型热矿泉, 深部热矿泉水受断裂构造的影响上升, 遇浅部冷水混合降温, 形成温泉。

2) 木贡矿泉水水化学类型为重碳酸硫酸钙型水, 水质其各项化学指标符合《饮用天然矿泉水》(GB8537—2018) 标准, 为含偏硅酸型锶型矿泉水。

3) 木贡村矿泉水具有深循环特征, 补给充足, 流量动态变化相对稳定, 具有特殊化学成分和独特利用价值。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 王亮, 胡从亮, 张嘉玮, 等. 贵州区域地热成因探讨[J]. 物探与化探, 2022, 46(2): 304-315.
- [2] 陆安良, 杨秀丽. 六枝特区岩脚镇木贡天然矿泉水厂资源储量核实报告[R]. 2015.
- [3] 杨致萍, 宋晨, 金翔霖, 等. 贵州六盘水太阳沟天然矿泉水特征与成因分析[J]. 地下水, 2020, 42(4): 22-23.

盘州市鸡母滑坡发育特征及稳定性分析评价*

曾红晓^{1,2}, 陶小郎^{1▲}

(¹ 贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550008; ² 贵州地环工程有限公司, 贵州 贵阳 550008)

摘要: 采矿诱发的地质灾害隐患因其危害大、影响深等特征而不可被忽视。以遥感、机载雷达、无人机调查、地面调查、工程地质勘察等手段,对存在复发可能的盘州市盘关镇鸡母滑坡进行研究。文章描述了鸡母滑坡发育特征并运用 Geostudio 软件选取折线滑动法(传递系数法)进行稳定性分析评价,得出该滑坡为因人类采矿工程引起的中型土质滑坡,由松散覆盖层和较软弱顺层基覆界面组成,滑坡变形范围较大。目前处于基本稳定状态,在降雨、加载、扰动等不利条件下存在再次启动的可能,建议做好后缘裂缝位置和两侧排水工程,继续保持监测,如有必要,前缘设置挡土墙或抗滑桩进行治理。

关键词: 鸡母滑坡, 稳定性, 变形破坏

中图分类号: P642 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0081-06

Development characteristics and stability evaluation of Jimu Landslide in Panzhou City*

ZENG Hongxiao^{1,2}, TAO Xiaolang^{1▲}

(¹ Guizhou Geological Environment Monitoring Institute, Guiyang 550008, China; ² Guizhou Dihuan Engineering Co. Ltd., Guiyang 550008, China)

Abstract: The geological disasters caused by mining cannot be ignored because of their great harm and deep influence. By means of remote sensing, airborne radar, UAV investigation, ground survey and engineering geological exploration, this paper describes the development characteristics of Jimu Landslide and uses the broken line sliding method (transfer coefficient method) in Geostudio software to evaluate its stability. It is concluded that the landslide is a medium-sized soil landslide caused by mining, which is composed of loose covering layer and relatively weak bedding interface, with a large deformation range. The landslide is now in a basically stable state, and there is a possibility of restarting under adverse conditions such as rainfall, loading and disturbance. It is recommended to strengthen the drainage work at the rear edge cracks and on both sides, and maintain monitoring. If necessary, retaining walls and anti-slide piles should be set at the front edge.

Keywords: Jimu Landslide, stability, deformation and destruction

[4] 王明章, 王中美, 王诗扬. 贵州省岩溶地下水系统及地下水赋存规律研究[M]. 北京: 地质出版社, 2018.

[5] 张新, 赵振远, 杜江. 贵州省晴隆县光照镇地热成因及化学特征研究[J]. 地下水, 2021, 43(5): 6-8.

收稿日期: 2022-10-18; 修回日期: 2022-10-18

作者简介: 吕东(1989-), 男, 土家族, 贵州德江人, 工程师, 主要从事水文地质、工程地质、环境地质调查工作。

0 引言

盘州境内蕴藏丰富的矿产资源,大量的煤炭资源开发和特殊的地质环境,使其成为矿山地质灾害发育地带^[1-2]。采矿工程活动引起的地质灾害有分布广、影响大、潜在灾害隐患突出等特点,严重威胁着矿区周围人民的生命财产安全^[3-4]。盘关镇鸡母滑坡为老滑坡,初现时间在 1997 年,最近一次滑动在 2016 年,因地质环境条件复杂,发育程度强,危害程度大,受采矿工程活动等的影 响,老滑坡有复活趋势,使其成为重点研究的典型区域^[5]。本文对鸡母滑坡发育特征和稳定性进行定量分析评价,以期最大限度避免和减轻地质灾害造成的损失,维护人民生命和财产安全,为当地地质灾害防灾减灾提供基础地质依据。

1 地质环境条件

鸡母滑坡位于贵州省盘州市盘关镇丘田村 4 组,鸡母村落及后方山体区域(图 1)。地势北东高,南西低,地形山峦起伏,切割强烈,属于高山地貌。



图 1 研究区全貌图

地层岩性主要为第四系残坡积土,三叠系飞仙关组下段(T_1f)及二叠系龙潭组(P_3l)。坡体中上部分布第四系坡积物和滑坡堆积物(Q_4^{dl+del}),松散堆积物厚 0.5 ~ 2.5 m;坡体后缘为飞仙关组下段(T_1f)砂岩,形成近直立的陡壁,表面紫红色,风化强烈,较破碎,岩层产状为 $112^\circ \angle 28^\circ$,呈三组结构面发育(图 2);坡体中下部下伏二叠系龙潭组(P_3l)灰黑色泥岩夹砂岩、泥岩,堆积层较薄,强风化,岩层产状 $112^\circ \angle 28^\circ$,呈四组结构面(图 3)发育。

滑坡附近区域无强烈的地质构造活动,对斜坡范围影响很小。地震基本烈度小于 VI 度。

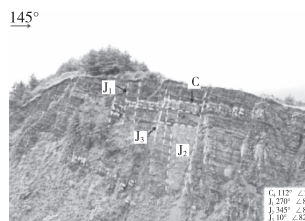


图 2 坡体后缘陡壁出露的基岩

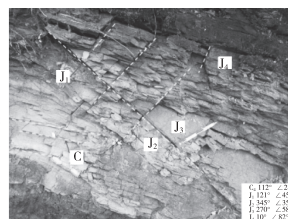


图 3 坡体底部的泥岩及煤层露头

滑坡区域属于矿产开采范围内,斜坡的稳定性受到人类工程活动的影响较为严重,区内人类工程活动包括煤矿开采、房屋建筑及农业活动。

2 滑坡发育特征

2.1 滑坡形态及空间特征

鸡母滑坡(图 4)由松散覆盖层和较软弱顺层基覆界面组成,滑坡变形范围较大,坡体结构复杂。滑坡体长约 393 m,宽约 100 m,厚度 4 m 左右,体积约为 $15.72 \times 10^4 \text{ m}^3$,滑坡体的主滑方向近 190° ,滑坡类型为推移式中型土质滑坡。

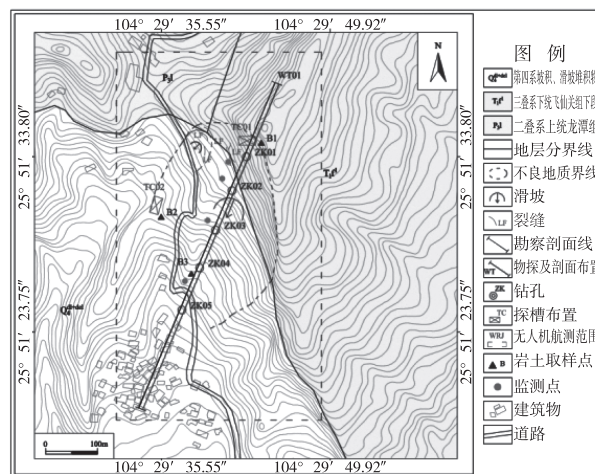


图 4 鸡母滑坡平面图

滑坡平面上呈典型圈椅状,后缘高程约 1830 m,前缘高程约 1630 m,相对高差 200 m,整体坡度较陡,介于 $30^\circ \sim 90^\circ$ 之间。后缘近直立陡壁,基岩出露,走向 108° ,上部坡度 34° 左右,基岩面可见宽约 246 m,并有大量的拉张裂缝发育;中间呈阶梯状,坡度约 25° ;前缘以坡陡缓交接处为界,下坡约 8° ,长 683 m,沟宽约 212 m,为沟槽冲积扇;坡体内

部还存在局部滑移,在滑坡北西侧发育有一小规模的次级滑坡,平面呈圈椅状,坡度约 45° ,高约 20 m,宽约 60 m,其后缘发育拉张裂缝,坡表树木倾倒现象严重,滑坡后壁出露黄褐色强风化泥岩,岩面可见夹碳条带。

2.2 物质组成及结构特征

滑体主要为含有碎石粉质粘土的第四系崩坡积层(Q_4^{col+dl}),干燥-略湿,碎石含量约 20%,粒径 0.5 ~ 5 cm,土体结构疏松。据浅井及物探资料分析,第四系崩坡积层厚度约 8 ~ 35 m,平均厚约 20 m。其中,滑坡体后缘第四系崩坡积层相对前缘较厚,在延伸方向,坡体主要有两种岩性分布,上部以三叠系飞仙关组下段(T_1f')约 20 m 的紫红色砂岩为主,下部以二叠系龙潭组(P_3l)的薄层泥质粉砂岩为主。

滑床主要为二叠系龙潭组(P_3l)紫红色砂质泥岩与砂岩,在层序分布上呈软硬互层的规律。滑床地层产状为 $112^{\circ} \angle 28^{\circ}$ 。根据 ZK03(图 4 图 5)数据,坡体中部结构大致可分为两层,从孔口往下 0.5 m 为粉质黏土,0.5 ~ 8.96 m 为破碎的砂泥岩,可知坡中堆积体厚度大约 10 m;8.96 ~ 30.5 m 为较完整砂泥岩。结合坑探和钻孔结果,斜坡岩体破碎,存在软弱夹层变形现象,根据收集资料及现场勘查,斜坡深部有采空区,发育贯通裂隙。

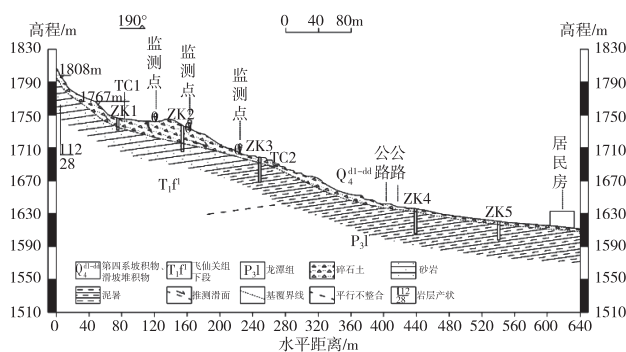


图 5 鸡母滑坡工程地质剖面图

滑面为堆积层与基岩接触面,滑带土以碎石土为主,碎石母岩成分为粒径 2 ~ 4 cm 泥质粉砂岩,经挤压碾磨,结构较为密实,局部夹杂粉质黏土,具可塑性。

2.3 变形破坏特征

滑坡区内变形破坏现象主要为坡体上部的拉张裂缝、局部滑坡及中部表层岩体挤压变形,坡表树木

歪倒。坡体高程约 1748 m 处发育裂缝群,形成牵引式裂缝,前缘出现鼓胀变形,后缘基岩发育有一组倾向坡外的结构面(产状: $153^{\circ} \angle 56^{\circ}$),拉张裂缝受此结构面的主要控制(图 6);另外在斜坡高程 1659 m 处发生挤压变形,原产状 $96^{\circ} \angle 32^{\circ}$,挤压变形后产状 $60^{\circ} \angle 71^{\circ}$ 。挤压变形带内岩体较破碎,表层受强风化作用,局部位置发生大角度弯曲,对岩性稳定性有一定的影响(图 7)。

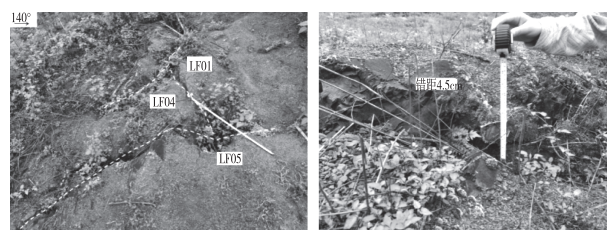


图 6 滑坡上部裂缝群

滑坡体中部偏北处出现了次生滑坡(图 8)。坡体后部及中部有大量树木倾倒现象,坡脚向上至高度 25 m 处开始发现的裂缝,走向 350° ,最大宽约 30 cm,为表层堆积体开裂,无基岩露出;向上至高度 29 m 处同样发育有较宽的裂缝带,最大宽约 43 cm。

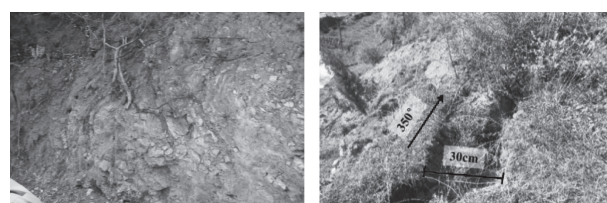


图 7 滑坡中部挤压变形

图 8 次级滑坡脚向上 25m 裂缝

3 滑坡稳定性分析评价

结合调查资料选取图 9 所示剖面,采用 GEO-Studio 软件对滑坡进行计算,分析滑坡在天然、暴雨、地震工况下的稳定性。计算模型的岩土体参数由成都蜀通岩土工程检测监测中心对地质灾害现场取得的岩土体试样进行试验所得。

3.1 计算方法

鸡母滑坡面呈折线形,参考《滑坡防治工程勘察规范》(GB/T 32864—2016),滑坡体稳定性系数采用折线滑动法(传递系数法)计算,其计算公式如下:

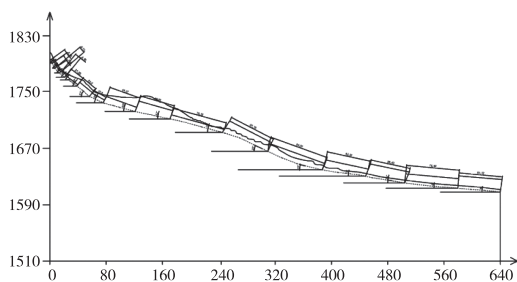


图 9 传递系数法计算简图

$$\textcircled{1} F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{l=i}^{n-1} \psi_l) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{l=i}^{n-1} \psi_l) + T_n}$$

$$\textcircled{2} \psi_i = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \phi_{i+1}$$

$$\textcircled{3} R_i = N_i \tan \phi_i + c_i l_i$$

$$\textcircled{4} T_i = W_i \sin \theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i) + P_h \cos \theta_i$$

$$\textcircled{5} N_i = W_i \cos \theta_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i) - P_h \sin \theta_i$$

$$\textcircled{6} W_i = V_{iu} \gamma + V_{id} \gamma' + F_i$$

$$\textcircled{7} P_{wi} = \gamma_w i V_{id}$$

$$\textcircled{8} P_k = G_z * K_k * W_i$$

$$\textcircled{9} i = \sin | \alpha_i |$$

$$\textcircled{10} \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

式中: F_s —滑坡稳定性系数; ψ_i —传递系数; R_i —第 i 计算条块滑体抗滑力 (kN/m); T_i —第 i 计算条块滑体下滑力 (kN/m); i —地下水渗透坡降; γ_w —水的容重 (kN/m³); N_i —第 i 计算条块滑体在滑动面法线上的反力 (kN/m); c_i —第 i 计算条块滑动面上岩土体的粘结强度标准值 (kPa); ϕ_i —第 i 计算条块滑带土的内摩擦角标准值 (°); l_i —第 i 计算条块滑动面长度 (m); α_i —第 i 计算条块地下水流线平均倾角, 一般情况下取浸润线倾角与滑面倾角平均值 (°), 反倾时取负值; θ_i —第 i 计算条块底面倾角 (°), 反倾时取负值; P_{wi} —第 i 计算条块单位宽度的渗透压力, 作用方向倾角为 α_i (kN/m); V_{iu} —第 i 计算条块单位宽度岩土体的浸润线以上体积 (m³/m); V_{id} —第 i 计算条块单位宽度岩土体的浸润线以下体积 (m³/m); γ —岩土体的天然容重 (kN/m³); γ' —岩土体的浮容重 (kN/m³); γ_{sat} —岩土体的饱和容重 (kN/m³); F_i —第 i 计算条块所受地面荷载 (kN); G_z —综合影响系数, 考虑到综合影响系数为对地震加速度的折减, 本工程 G_z 取 0.25; K_k —水平地震力系数, 根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015) 及 1 号修改单, 本场地地震

动峰值加速度为 0.20g (g 为重力加速度); W_i —第 i 计算条块自重与建筑等地面荷载之和 (kN/m)。

3.2 计算工况

滑坡稳定性计算, 目的在于分析滑坡堆积体在天然、暴雨等工况下的稳定性, 对滑坡堆积体的后续变形提出合理预测^[6]。滑坡稳定性系数参考《滑坡防治工程勘察规范》(表 1), 其计算分别选择工况 I 天然状态滑体自重+地表荷载+地下水 (天然工况), 工况 II 滑体自重+地表荷载+暴雨 (暴雨工况), 工况 III 滑体自重+地表荷载+地下水+地震 (地震工况) 三种工况进行。

表 1 滑坡稳定性工况类型计算表

工况	荷载组合	稳定性系数
I	自重+地表荷载+地下水 (天然工况)	1.15
II	自重+地表荷载+暴雨 (暴雨工况)	1.1
III	自重+地表荷载+地下水+地震 (地震工况)	1.05

3.3 计算荷载

在稳定性计算中的主要荷载包括土体自重、暴雨、地面荷载、地下水压力。其中, 天然容重部分用于土体自重地下水位以上, 饱和容重部分用于地下水位以下; 暴雨状态分为三类: 如雨量下渗深度小于地下水位面的埋设深度, 雨量下渗范围内按饱和重度计算, 雨量下渗范围以下、地下水位面以上按天然重度计算, 雨量下渗深度大于地下水位面的埋设深度, 地下水位面以上仍按饱和重度计算; 由于坡面地表裂缝发育较多, 地表水容易下渗, 本计算结合目前山体滑坡的情况, 考虑暴雨时按土体的三分之一饱水状态进行计算; 此滑坡没有集中的建筑物群、道路等, 地面荷载为 0 kN/m²; 因地下水埋藏深度较大, 在本次勘查中未见地下水, 暂不考虑动水压力的影响。

3.4 计算结果

对鸡母滑坡进行整体稳定性计算, 并对次级滑面进行验算。计算参数取值参考表 1 推荐值。计算结果如表 2 所示。

根据勘查和现场调查情况, 结合计算结果得出: 1) 在天然工况条件下滑坡整体处于稳定—基本稳定状态; 2) 在暴雨和地震状态下, 稳定性进一步降低, 大多为欠稳定—不稳定状态; 3) 次生滑面在突

降暴雨等不利因素的作用下,有变形破坏的可能,甚至产生次生滑面的滑移。

3.5 成因机制分析

鸡母滑坡所在斜坡下方为采矿范围,滑坡距煤

矿直线距离约 200 m(图 1),受地下采空及爆破震动安全允许距离影响,地应力重新调整,坡体发生缓慢变形,上覆边坡稳定性降低。

表 2 鸡母滑坡稳定性计算结果表

块号	天 然				暴 雨				地 震			
	抗滑力 /kN	下滑力 /kN	稳定性 系数	稳定性	抗滑力 /kN	下滑力 /kN	稳定性 系数	稳定性	抗滑力 /kN	下滑力 /kN	稳定性 系数	稳定性
1	2.02	1.46	1.39	稳定	1.51	1.6	0.94	不稳定	1.71	1.61	1.06	基本稳定
2	2.9	2.5	1.16	稳定	3.75	3.65	1.03	欠稳定	30.28	26.43	1.15	稳定
3	37.21	34.01	1.09	基本稳定	37.99	36.65	1.04	欠稳定	80.03	89.84	0.89	不稳定
4	85.64	80.67	1.06	基本稳定	85.85	100.96	0.85	不稳定	118.18	120.78	0.98	不稳定
5	122.54	115.42	1.06	基本稳定	122.95	140.99	0.87	不稳定	155.35	149.35	1.04	欠稳定
6	157.26	135.28	1.16	稳定	159.59	149.48	1.07	基本稳定	187.28	165.36	1	欠稳定
7	185.19	179.3	1.03	欠稳定	188.84	178.84	1.06	基本稳定	237.43	242.75	0.98	不稳定
8	226.63	214.95	1.05	基本稳定	232.92	225.28	1.03	欠稳定	246.5	250.37	0.98	不稳定
9	2.02	1.46	1.39	稳定	234.42	245.37	0.96	不稳定	257.27	276.28	0.93	不稳定
10	228.09	216.21	1.05	基本稳定	242.85	246.66	0.98	不稳定	272.11	278.8	0.98	不稳定
11	236.31	223.28	1.06	基本稳定	252.4	253.91	0.99	不稳定	287.54	296.85	0.97	不稳定
12	245.64	231.31	1.06	基本稳定	263.61	262.13	1.01	欠稳定	307.71	352.24	0.87	不稳定
13	256.58	240.72	1.07	基本稳定	278.99	271.77	1.03	欠稳定	320.45	340.85	0.94	不稳定
14	271.6	253.64	1.07	基本稳定	294.93	285	1.03	欠稳定	333.18	345.56	0.96	不稳定
15	287.19	267.05	1.08	基本稳定	315.71	298.71	1.06	基本稳定	345.12	352.4	0.98	不稳定
16	287.19	267.05	1.08	基本稳定	328.8	316.58	1.04	欠稳定	365.39	368.96	0.99	不稳定
17	307.56	284.57	1.08	基本稳定	358.89	327.85	1.06	基本稳定	390.06	402.22	0.97	不稳定

在采空区形成之后,矿层顶板岩体在自重作用下不断下沉,上覆岩层在沉降过程中因应力调整形成各种拉张裂缝。受降雨条件的影响,地表水通过裂隙汇入地下水,形成静水压力和动水压力,促进裂隙的扩展^[7]。由于岩体发育多组节理面,在降雨和自重作用下,被切割的块体将会形成局部小规模滑坡,加之斜坡为顺向坡且坡度陡,在降雨条件下易发生滑移。其变形破坏过程分析如下:

①煤层开采阶段

斜坡在原始状态下,是软硬互层状结构岩体结构。地下采空,顶板岩层失去支撑而冒落,上覆地层的泥岩或砂质泥岩抗拉强度和抗压强度相对较小,当下部失去支撑,上部岩层逐渐变形离层。离层效应迅速向上传递,直至地表,形成裂缝^[8]。

②后缘拉裂阶段

斜坡体内岩层受压产生塑性变形,驱使斜坡顶

部形成拉应力区,产生拉张裂隙^[7,9]。下部开挖及硐室爆破破坏原有应力平衡,引起斜坡应力重分布,坡顶拉应力变大,裂缝向下延伸,降雨入渗,斜坡岩体力学强度参数降低,岩体应力重分布,岩体内部孔隙体积被压缩,孔隙水压力增加,裂缝持续扩展延伸,加剧裂缝变形^[7]。

③岩体蠕滑变形-剪切面贯通发展阶段

此时岩体损伤加剧并不断沿弱面扩展,同时伴随地表塌陷、拉张裂缝发育,地表裂缝逐渐贯通,随着降雨入渗,岩土体饱和,下滑力增加,裂缝持续发展,斜坡抗滑力降低,斜坡变形加剧,最终软弱面贯通,形成地表裂缝。

在上述多种因素的综合作用下,斜坡体逐渐向坡外滑移的同时向后缘倾倒,直至裂隙贯通形成滑面,在坡表形成阶梯状错动。

4 滑坡的发展趋势及危险性分析

近年来鸡母滑坡体多在雨季发生蠕变变形,滑坡体前缘隆起,裂缝不断产生并在局部发生次生滑坡,滑坡体变形在后续降雨等不利因素的作用下不断积累并逐渐加剧,滑带土强度不断减小,最终出现滑坡体破坏,该滑坡体失稳发生进一步大规模滑坡的危险性大。

滑坡的前部分布有聚集居民,一旦山体滑坡不稳定,威胁人数较多,并且在滑坡影响推测范围内存在大量耕地农田以及公路,总体估算滑坡造成的潜在财产损失约 1250 万元,其风险性高,应高度重视该滑坡隐患点的防治工作。

5 结论

鸡母滑坡位于盘关镇鸡母村落及后方山体区域,属于矿产开采范围内,斜坡的稳定性受到人类工程活动的影响较为严重。

(1) 滑坡平面上呈典型圈椅状,后缘近直立陡壁,基岩出露,并发育有大量的拉张裂缝,中间呈阶梯状,前缘以坡陡缓交接处为界,为沟槽冲积扇。

(2) 盘关镇鸡母滑坡为因人类采矿工程引起的中型土质滑坡,由松散覆盖层和较软弱顺层基覆界面组成,滑坡变形范围较大。

(3) 该滑坡现处于基本稳定状态,在降雨、加载、扰动等不利条件下存在再次启动的可能,潜在财产损失较大,建议继续保持监测,做好后缘裂缝位置和两侧排水工程,如有必要,应在前缘设置挡土墙或抗滑桩进行治理。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 周超,常鸣,徐璐,等. 贵州省典型城镇矿山地质灾害风险评价[J]. 武汉大学学报,2020,45(11):1782-1791.
- [2] 杨胜元,张建江,赵国宣,等. 贵州环境地质[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2008.
- [3] UITTO J I, SHAW R. Sustainable development and disaster risk reduction[M]. Tokyo: Springer,2016.
- [4] 贵州省地质环境监测院. 贵州地质灾害及其防治[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2009.
- [5] 曾红晓,赵宾,杨麒麟,等. 贵州省盘州市盘关镇重点区域地质灾害详细调查及风险评价成果报告[R]. 贵阳:贵州省地质环境监测院,2020.
- [6] 樊柱军,刘晓娟,程东幸. 西藏藏中与昌都联网工程八宿县 10L336-10L338 段滑坡及塔基稳定性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2018,29(2):55-60.
- [7] 王玉川,巨能攀,赵建军,等. 缓倾煤层采空区上覆山体滑坡形成机制分析[J]. 工程地质学报,2013,21(1):61-68.
- [8] 王瑞,吕义清,张华伟,等. 采空滑坡成因机制分析[J]. 煤炭技术,2015(10):3.
- [9] 王玉川. 缓倾煤层采空区上覆山体变形破坏机制及稳定性研究——以马达岭滑坡为例[D]. 成都:成都理工大学,2013.

收稿日期:2023-01-11;修回日期:2023-02-23

基金项目:贵州省地质灾害详细调查及风险评价成果集成(中央自然灾害防治体系建设补助资金 Z195110010003)。

作者简介:曾红晓(1990-),硕士,工程师,主要从事水文地质与环境地质工作。

▲通讯作者:陶小郎,高级工程师。

非线性分数阶常微分方程的一种新的高阶数值方法^{*}

朱鹏程, 曹俊英[△]

(贵州民族大学 数据科学与信息工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 首先利用分段三次插值公式构造了非线性 Caputo 分数阶常微分方程的高阶一致收敛的数值格式, 其次给出了高阶一致收敛的数值格式的理论结果, 最后利用数值实验验证了该数值格式的截断误差是 $4-\theta$ 阶。

关键词: 非线性分数阶常微分方程, 一致收敛阶, 高阶数值格式

中图分类号: O241.82 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2023)04-0087-04

A new numerical algorithm for nonlinear fractional order differential equations^{*}

ZHU Pengcheng, CAO Junying[△]

(School of Data Science and Information Engineering, Guizhou Minzu University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Firstly, a higher order uniform convergence numerical scheme is constructed for nonlinear Caputo fractional order differential equations by using piecewise cubic interpolation formula. Secondly, the theoretical result of the high order uniform convergence numerical scheme is given. Finally, the numerical scheme truncation error of $4-\theta$ order is verified by using numerical experiments.

Keywords: nonlinear fractional order differential equation, uniform convergence order, high order numerical scheme

分数阶微分方程已经有几百年的研究历史了, 现如今广泛应用于数学、物理、航天以及工程等领域中。

在文献[1]中, 郭柏灵院士提出用拉普拉斯-傅里叶变换及其逆变换求出一类分数阶偏微分方程在全平面和半平面上的基本解。文献[2-4]基于修正的 Block-by-Block 方法和用二次拉格朗日插值多项式近似 Caputo 分数阶导数, 构造了分数阶微分方程的高阶数值格式。更多的高阶数值格式构造方法可以参考文献[5-7]。文献[8]的作者利用修正的 Block-by-Block 方法和用二次拉格朗日插值多项式求解了高维的分数阶积分方程。目前具有一致收敛的 $4-\theta$ ($0 < \theta < 1$) 阶数值格式还没有见到报道, 因此本文将构造非线性 Caputo 分数阶常微分方程的 $4-\theta$

阶数值格式。

1 高阶数值格式的构造

考虑下面的方程:

$${}_0D_t^\theta m(t) = g(t, m(t)), 0 < \theta < 1, 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

其中, $m(0) = m_0$ 是方程(1)的初值条件, θ 是分数阶导数的阶数, m_0 是一个常数, $\Gamma(\cdot)$ 表示 Gamma 函数, ${}_0D_t^\theta m(t)$ 是 θ 阶的 Caputo 导数, 定义如下:

$${}_0D_t^\theta m(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\theta)} \int_0^t (t-\tau)^{-\theta} m'(\tau) d\tau \quad (2)$$

为了构造高阶数值格式, 把区间 $[0, T]$ 划分成 M 个等分的子区间, 取步长 $\Delta t = \frac{T}{M}$, 且有 $t_k = k\Delta t, k =$

$0, 1, 2, \dots, M$ 。方程(1) 在点 t_k 处的数值解记为 m_k , 且记 $g_k = g(t_k, m_k)$ 。

我们的目标是有效地近似 ${}_0D_t^\theta m(t)$ 在点 t 处的值。首先用三次拉格朗日插值法计算出 ${}_0D_t^\theta m(t_1)$ 在区间 $[t_0, t_3]$ 上的近似值。令:

$$L_{[t_0, t_3]} m(t) = \sum_{i=0}^3 \beta_{i,0}(t) m_i \quad (3)$$

其中基函数如下:

$$\beta_{0,0}(t) = \frac{1}{-6\Delta t^3} (t - t_1)(t - t_2)(t - t_3)$$

$$\beta_{1,0}(t) = \frac{1}{2\Delta t^3} t(t - t_2)(t - t_3)$$

$$\beta_{2,0}(t) = \frac{1}{-2\Delta t^3} t(t - t_1)(t - t_3)$$

$$\beta_{3,0}(t) = \frac{1}{6\Delta t^3} t(t - t_1)(t - t_2)$$

当 $t = t_1$ 时,把式(3) 带入式(2) 中有

$$\begin{aligned} {}_0D_t^\theta m(t_1) &= \frac{1}{\Gamma(1-\theta)} \int_0^{t_1} (t_1 - \tau)^{-\theta} m'(\tau) d\tau \\ &\approx \frac{1}{\Gamma(1-\theta)} \int_0^{t_1} (t_1 - \tau)^{-\theta} (L_{[t_0, t_3]} m(\tau))' d\tau \\ &= \frac{\Delta t^{-\theta}}{\Gamma(2-\theta)} (E_1 m_0 + F_1 m_1 + G_1 m_2 + H_1 m_3) \end{aligned} \quad (4)$$

这里的 E_1, F_1, G_1, H_1 都是可以计算出来的具体的系数:

$$E_1 = -\frac{1}{(2-\theta)(3-\theta)} + \frac{2}{(2-\theta)} - \frac{11}{6}$$

$$F_1 = \frac{3}{(2-\theta)(3-\theta)} - \frac{5}{(2-\theta)} + 3$$

$$G_1 = -\frac{3}{(2-\theta)(3-\theta)} + \frac{4}{(2-\theta)} - \frac{3}{2}$$

$$H_1 = \frac{1}{(2-\theta)(3-\theta)} - \frac{1}{(2-\theta)} + \frac{1}{3}$$

同理我们计算 ${}_0D_t^\theta m(t_2)$ 的值:

$$\begin{aligned} {}_0D_t^\theta m(t_2) &= \frac{1}{\Gamma(1-\theta)} \int_0^{t_2} (t_2 - \tau)^{-\theta} m'(\tau) d\tau \\ &\approx \frac{1}{\Gamma(1-\theta)} \int_0^{t_2} (t_2 - \tau)^{-\theta} (L_{[t_0, t_3]} m(\tau))' d\tau \\ &= \frac{\Delta t^{-\theta}}{\Gamma(2-\theta)} (E_2 m_0 + F_2 m_1 + G_2 m_2 + H_2 m_3) \end{aligned} \quad (5)$$

其中

$$E_2 = -\frac{2^{3-\theta}}{(2-\theta)(3-\theta)} + \frac{2^{3-\theta}}{(2-\theta)} - \frac{11}{6} \cdot 2^{1-\theta}$$

$$F_2 = \frac{3 \cdot 2^{3-\theta}}{(2-\theta)(3-\theta)} - \frac{5 \cdot 2^{2-\theta}}{(2-\theta)} + 3 \cdot 2^{1-\theta}$$

$$G_2 = -\frac{3 \cdot 2^{3-\theta}}{(2-\theta)(3-\theta)} + \frac{2^{4-\theta}}{(2-\theta)} - \frac{3}{2} \cdot 2^{1-\theta}$$

$$H_2 = \frac{2^{3-\theta}}{(2-\theta)(3-\theta)} - \frac{2^{2-\theta}}{(2-\theta)} + \frac{1}{3} \cdot 2^{1-\theta}$$

再计算 ${}_0D_t^\theta m(t_3)$ 的值:

$$\begin{aligned} {}_0D_t^\theta m(t_3) &= \frac{1}{\Gamma(1-\theta)} \int_0^{t_3} (t_3 - \tau)^{-\theta} m'(\tau) d\tau \\ &\approx \frac{1}{\Gamma(1-\theta)} \int_0^{t_3} (t_3 - \tau)^{-\theta} (L_{[t_0, t_3]} m(\tau))' d\tau \\ &= \frac{\Delta t^{-\theta}}{\Gamma(2-\theta)} (E_3 m_0 + F_3 m_1 + G_3 m_2 + H_3 m_3) \end{aligned} \quad (6)$$

其中

$$E_3 = -\frac{3^{3-\theta}}{(2-\theta)(3-\theta)} + \frac{2 \cdot 3^{2-\theta}}{(2-\theta)} - \frac{11}{6} \cdot 3^{1-\theta}$$

$$F_3 = \frac{3^{4-\theta}}{(2-\theta)(3-\theta)} - \frac{5 \cdot 3^{2-\theta}}{(2-\theta)} + 3^{2-\theta}$$

$$G_3 = -\frac{3^{4-\theta}}{(2-\theta)(3-\theta)} + \frac{4 \cdot 3^{2-\theta}}{(2-\theta)} - \frac{3}{2} \cdot 3^{1-\theta}$$

$$H_3 = \frac{3^{3-\theta}}{(2-\theta)(3-\theta)} - \frac{3^{2-\theta}}{(2-\theta)} + \frac{1}{3} \cdot 3^{1-\theta}$$

当 $k \geq 4$, 我们直接给出 ${}_0D_t^\theta m(t_k)$ 的表达式:

$$\begin{aligned} {}_0D_t^\theta m(t_k) &= \frac{1}{\Gamma(1-\theta)} \left[\int_0^{t_3} (t_k - \tau)^{-\theta} m'(\tau) d\tau + \right. \\ &\quad \left. \sum_{j=4}^k \int_{t_{j-1}}^{t_j} (t_k - \tau)^{-\theta} m'(\tau) d\tau \right] \end{aligned} \quad (7)$$

下面让 $L_{[t_{j-1}, t_j]} m(t)$ 是 $m(t)$ 在区间 $[t_{j-1}, t_j]$ 上的三次插值多项式, 定义如下

$$L_{[t_{j-1}, t_j]} m(t) = \sum_{i=0}^3 \varepsilon_{i,0}(t) m_{j+i-3} \quad (8)$$

其中

$$\varepsilon_{0,0}(t) = \frac{1}{-6\Delta t^3} (t - t_{j-2})(t - t_{j-1})(t - t_j)$$

$$\varepsilon_{1,0}(t) = \frac{1}{2\Delta t^3} (t - t_{j-3})(t - t_{j-1})(t - t_j)$$

$$\varepsilon_{2,0}(t) = \frac{1}{-2\Delta t^3} (t - t_{j-3})(t - t_{j-2})(t - t_j)$$

$$\varepsilon_{3,0}(t) = \frac{1}{6\Delta t^3} (t - t_{j-3})(t - t_{j-2})(t - t_{j-1})$$

把式(3) 和式(8) 带入式(7) 中有

$$\begin{aligned} {}_0D_t^\theta m(t_k) &= \frac{1}{\Gamma(1-\theta)} \left[\int_0^{t_3} (t_k - \tau)^{-\theta} m'(\tau) d\tau + \right. \\ &\quad \left. \sum_{j=4}^k \int_{t_{j-1}}^{t_j} (t_k - \tau)^{-\theta} m'(\tau) d\tau \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\approx \frac{1}{T(1-\theta)} \left[\int_0^{t_3} (t_k - \tau)^{-\theta} [L_{[t_0, t_3]} m(\tau)]' d\tau + \right. \\ &\quad \left. \sum_{j=4}^k \int_{t_{j-1}}^{t_j} (t_k - \tau)^{-\theta} [L_{[t_{j-1}, t_j]} m(\tau)]' d\tau \right] \\ &= \frac{\Delta t^{-\theta}}{T(2-\theta)} \{ E_k m_0 + F_k m_1 + G_k m_2 + H_k m_3 + \\ &\quad \sum_{j=4}^k (W_{1,k-j} m_j + W_{2,k-j} m_{j-1} + W_{3,k-j} m_{j-2} + W_{4,k-j} m_{j-3}) \} \end{aligned} \quad (9)$$

其中

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{3}(k-3)^{1-\theta} + \frac{1}{2-\theta}(k-3)^{2-\theta} + \\ &\quad \frac{1}{(2-\theta)(3-\theta)}[(k-3)^{3-\theta} - k^{3-\theta}] + \frac{2}{2-\theta}k^{2-\theta} - \\ &\quad \frac{11}{6}k^{1-\theta} \\ F_k &= -\frac{3}{2}(k-3)^{1-\theta} - \frac{4}{2-\theta}(k-3)^{2-\theta} + \\ &\quad \frac{3}{(2-\theta)(3-\theta)}[k^{3-\theta} - (k-3)^{3-\theta}] - \frac{5}{2-\theta}k^{2-\theta} + \\ &\quad 3k^{1-\theta} \\ G_k &= 3(k-3)^{1-\theta} + \frac{5}{2-\theta}(k-3)^{2-\theta} + \\ &\quad \frac{3}{(2-\theta)(3-\theta)}[(k-3)^{3-\theta} - k^{3-\theta}] + \frac{4}{2-\theta}k^{2-\theta} - \\ &\quad \frac{3}{2}k^{1-\theta} \\ H_k &= -\frac{11}{6}(k-3)^{1-\theta} - \frac{2}{2-\theta}(k-3)^{2-\theta} + \\ &\quad \frac{1}{(2-\theta)(3-\theta)}[k^{3-\theta} - (k-3)^{3-\theta}] - \frac{1}{2-\theta}k^{2-\theta} + \\ &\quad \frac{1}{3}k^{1-\theta} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1,k-j} &= -\frac{11}{6}(k-j)^{1-\theta} - \frac{2}{2-\theta}(k-j)^{2-\theta} + \\ &\quad \frac{1}{(2-\theta)(3-\theta)}[(k-j+1)^{3-\theta} - (k-j)^{3-\theta}] + \\ &\quad \frac{1}{3}(k-j+1)^{1-\theta} + \frac{1}{2-\theta}(k-j+1)^{2-\theta} \\ W_{2,k-j} &= 3(k-j)^{1-\theta} + \frac{5}{2-\theta}(k-j)^{2-\theta} + \\ &\quad \frac{3}{(2-\theta)(3-\theta)}[(k-j)^{3-\theta} + (k-j+1)^{3-\theta}] - \\ &\quad \frac{2}{2-\theta}(k-j+1)^{2-\theta} + \frac{1}{2}(k-j+1)^{1-\theta} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{3,k-j} &= -\frac{3}{2}(k-j)^{1-\theta} - \frac{4}{2-\theta}(k-j)^{2-\theta} + \\ &\quad \frac{3}{(2-\theta)(3-\theta)}[(k-j+1)^{3-\theta} - (k-j)^{3-\theta}] - \\ &\quad (k-j+1)^{1-\theta} + \frac{1}{2-\theta}(k-j+1)^{2-\theta} \\ W_{4,k-j} &= \frac{1}{3}(k-j)^{1-\theta} + \frac{1}{2-\theta}(k-j)^{2-\theta} + \\ &\quad \frac{1}{(2-\theta)(3-\theta)}[(k-j)^{3-\theta} - (k-j+1)^{3-\theta}] + \\ &\quad \frac{1}{6}(k-j+1)^{1-\theta} \end{aligned}$$

令 ${}_0D_{\Delta t}^{\theta} m_k$ 为 ${}_0D_t^{\theta} m(t_k)$ 的离散格式,由式(4)、式(5)、式(6)和式(9)可得:

$$\begin{aligned} {}_0D_{\Delta t}^{\theta} m_k &= \\ &\begin{cases} \frac{\Delta t^{-\theta}}{\Gamma(2-\theta)}(E_1 m_0 + F_1 m_1 + G_1 m_2 + H_1 m_3), k=1 \\ \frac{\Delta t^{-\theta}}{\Gamma(2-\theta)}(E_2 m_0 + F_2 m_1 + G_2 m_2 + H_2 m_3), k=2 \\ \frac{\Delta t^{-\theta}}{\Gamma(2-\theta)}(E_3 m_0 + F_3 m_1 + G_3 m_2 + H_3 m_3), k=3 \\ \frac{\Delta t^{-\theta}}{\Gamma(2-\theta)}\{E_k m_0 + F_k m_1 + G_k m_2 + H_k m_3 + \sum_{j=4}^k \\ (W_{1,k-j} m_j + W_{2,k-j} m_{j-1} + W_{3,k-j} m_{j-2} + W_{4,k-j} m_{j-3})\}, \\ k \geq 4 \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

因此,分数阶常微分方程的高阶数值格式为:

$${}_0D_{\Delta t}^{\theta} m_k = g_k, k=1, 2, 3, \dots, M。$$

2 局部截断误差分析

我们在这部分将给出 ${}_0D_{\Delta t}^{\theta} m_k$ 的局部阶段误差,利用文献[3]的分析方法可以证明 ${}_0D_{\Delta t}^{\theta} m_k$ 的局部截断误差满足下面的定理1。

定理1 假设 $m(t)$ 是方程(1)在区间 $[0, T]$ 的具有四阶连续导数的数值解,那么我们有

$$|{}_0D_t^{\theta} m(t_k) - {}_0D_{\Delta t}^{\theta} m_k| \leq C \Delta t^{4-\theta}$$

其中, $0 < \theta < 1, C$ 是不依赖于 Δt 的正常数。

3 数值实现

考虑方程(1)的初值条件为 $m(0) = 0$,右端项为:

$$g(t,m)=\frac{\Gamma(5+\theta)}{24}t^4+t^{4+\theta}-m(t)$$

容易验证方程(1)的精确解为 $m(t)=t^{4+\theta}$,我们用 $\max |m(t_k)-m_k|,k=1,2,\cdots,M$ 表示数值解和精确解的最大误差。从表1中可以看到,当 θ 分别取0.4、0.6和0.8时,对应的收敛阶分别接近3.6、3.4和3.2,这就验证了定理1理论结果的正确性。

表 1 基于步长 h 的最大绝对误差和收敛阶

Δt	$\theta=0.4$	Order	$\theta=0.6$	Order	$\theta=0.8$	Order
1/8	7.5623E-3	/	1.8360E-2	/	3.7555E-2	/
1/16	8.2005E-4	3.2050	2.5949E-3	2.8228	6.8993E-3	2.4444
1/32	7.5106E-5	3.4487	2.7560E-4	3.2350	8.5862E-4	3.0063
1/64	6.5503E-6	3.5193	2.7542E-5	3.3228	9.9148E-5	3.1143
1/128	5.5882E-7	3.5511	2.6825E-6	3.3599	1.1103E-5	3.1585
1/256	4.7115E-8	3.5681	2.5800E-7	3.3780	1.2257E-6	3.1792
1/512	3.9775E-9	3.5662	2.4673E-8	3.3863	1.3435E-7	3.1895

参考文献【REFERENCES】

[1] 黄凤辉,郭柏灵.一类时间分数阶偏微分方程的解[J].应用数学和力学,2010,31(2):781-791.
[2] 张旭梅,曹俊英.求解 Caputo 分数阶常微分方程的一个高阶数值算法[J].贵州科学,2020,42(1):6-12.
[3] CAO J,XU C. A high order schema for the numerical solution of the fractional ordinary differential equations[J]. Journal

of computational physics,2013,238:154-168.
[4] CAO J,CAI Z. Numerical analysis of a high-order scheme for nonlinear fractional differential equations with uniform accuracy[J]. Numerical mathematics-theory methods and applications,2021,14(1):71-112.
[5] DU R,YAN Y,LIANG Z. A high-order scheme to approximate the Caputo fractional derivative and its application to solve the fractional diffusion wave equation[J]. Journal of computational physics,2019,376:1312-1330.
[6] XING Y,YAN Y. A higher order numerical method for time fractional partial differential equations with nonsmooth data[J]. Journal of computational physics,2018,357:305-323.
[7] LUBICH C. Discretized fractional calculus[J]. SIAM journal on mathematical analysis,1986,17(3):704-719.
[8] WANG Z Q,LIU Q,CAO J Y. A higher-order numerical scheme for two-dimensional nonlinear fractional Volterra integral equations with uniform accuracy[J]. Fractal and fractional,2022,6(6):314.

收稿日期:2022-06-26;修回日期:2022-06-26
基金项目:国家自然科学基金(11901135,11961009);贵州省科学技术基金项目(黔科合基础[2020]1Y015)。
作者简介:朱鹏程(1997-),男,研究方向:分数阶微分方程的最优控制。
▲通讯作者:曹俊英(1981-),女,博士,教授,硕士生导师,研究方向:微分方程数值解。

波形钢腹板连续刚构桥温度场模型*

黄 华¹,梅龙喜¹,裴志勇¹,熊华鹏²

(¹ 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司,浙江 杭州 311122;² 昆明理工大学,云南 昆明 650500)

摘 要: 为研究波形钢腹板连续刚构桥的温度场模型,以一座波形钢腹板连续刚构桥实际工程为研究对象,对其温度场和线形进行了实测,然后建立有限元计算模型,对比分析了该桥波形钢腹板的竖向温度梯度和顶板的竖向位移,最后对 Potgieter 温度梯度公式中的吸收率 α 和风速 v 的数值进行调整。研究表明:波形钢腹板竖向温度梯度的实测值与模拟值吻合良好,当吸收率 α 取 0.6,风速 v 取 8 m/s 时,顶板边缘悬臂端位移的模拟值与实测值吻合良好,说明此温度场模型适用于该桥。

关键词: 波形钢腹板,连续刚构桥,温度场,干热河谷,温度梯度

中图分类号:U448.23;U445 文献标识码:A 文章编号:1003-6563(2023)04-0091-06

Temperature field model for continuous rigid-frame bridges with corrugated steel webs*

HUANG Hua¹,MEI Longxi¹,PEI Zhiyong¹,XIONG Huapeng²

(¹ Huadong Engineering Corporation Limited, Power China, Hangzhou 311122, China; ² Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: In order to study the temperature field model of continuous rigid-frame bridges with corrugated steel webs, the actual project of a continuous rigid-frame bridge with corrugated steel webs was taken as the research object. Its temperature field and line shape were detected, and the finite element calculation model was established. The vertical temperature grads of the corrugated steel web and the vertical displacement of the top plate were compared and analyzed. Finally, the values of absorptivity α and wind speed v in Potgieter's temperature grads formula were adjusted. The results showed that the detected value of vertical temperature grads of the corrugated steel web was in good agreement with the simulated value. When the absorptivity α was 0.6 and the wind speed v was 8 m/s, the simulated value of cantilever end displacement of the top plate edge was in good agreement with the detected value. The temperature field model was suitable for the bridge.

Keywords: corrugated steel web, continuous rigid-frame bridge, temperature field, dry and hot valley, positive temperature grads

0 引言

波形钢腹板组合梁桥是由混凝土顶板和底板与两块作为腹板的波形钢板通过连接件结合起来的组合结构^[1],近年来它被广泛应用于我国的桥梁建设

中。它相较于混凝土箱梁,自身上部结构的重量变轻,施工周期缩短,下部结构工程量减少,工程造价降低^[2-3],且施工时采用的是异步悬臂施工法^[4]。但是,由于波形钢腹板和混凝土两种材料性质不同,造成它们的导热系数有差别,混凝土的导热系数只有波形钢腹板的 1/50^[5]。波形钢腹板的温度可以

在很短的时间内升至环境温度,两者之间就会形成一定的温度差,进而由此产生温度应力。特别是对节段悬臂施工桥梁而言,过大的温度梯度荷载有可能导致节段线形大幅波动,从而影响到桥梁合拢后的内力和线形。

目前,国内外学者针对桥梁温度场做了大量的研究。Sallal R Abid^[6]对太阳辐射下混凝土桥梁截面的温度梯度进行了研究,发现截面横向的最大温度梯度在 12 月份,而垂直方向则在 6 月。X. M. SONG^[7]通过有限元计算分析,发现温度梯度对桥梁悬臂施工阶段的立模标高有影响。叶见曙等^[8]通过对箱梁温度场的研究,得到箱梁截面竖向温度的变化趋势是呈指数分布。

本文以某波形钢腹板连续刚构桥为工程背景,在该桥 5[#]墩柱 4[#]节段的截面处布置温度传感器,然后对该节段进行温度和位移测试,建立有限元计算模型,之后将 Potgieter 的温度梯度公式应用于数值分析中,对比分析实测数据和数值模拟值,最后调整 Potgieter 温度梯度公式中的参数吸收率 α 和风速 v 。

1 工程概况

1.1 桥梁概况

某波形钢腹板连续刚构桥位于金沙江下游,该地区属于干热河谷。此地南亚热带季风气候显著,且干湿季节分明,每年的 5 月至 10 月为降雨集中期,期间内的降雨量占比为 91.5%。

该桥的桥跨布置为 (65 m+4×120 m+65 m) 预应力混凝土波形钢腹板连续刚构,主桥上部结构采用单箱单室截面,箱梁顶板宽 10.55 m,底板宽 6.5 m,跨中梁高 3.5 m,根部梁高 7.5 m,梁高和底板厚度均按 2 次抛物线变化,其标准横断面见图 1。

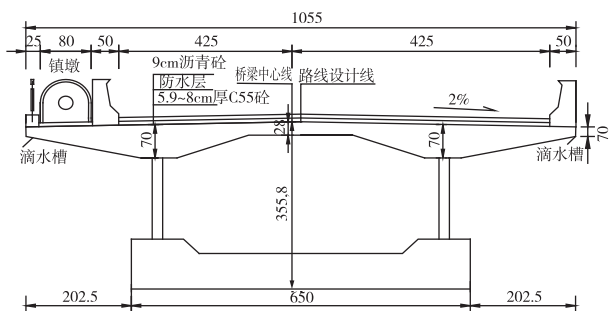


图 1 标准横断面图(单位:cm)

1.2 测点布置

现场测试时,刚完成该桥 5[#]墩柱 4[#]节段的波形钢腹板安装,和顶、底板混凝土浇筑施工。顶板和底板分别预先埋入了振弦应变计和温度计,测点布置详见图 2。腹板的温度测点是 1[#]~8[#]和 1'[#]~8'[#], A1[#]~A3[#]和 B1[#]~B3[#]为应变测点。

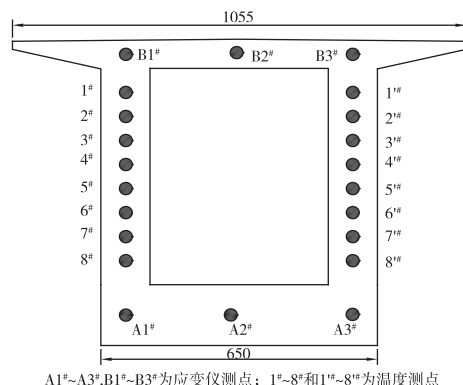


图 2 测点布置图

2 现场实测及结果分析

为研究某波形钢腹板连续刚构桥的温度场,于 2020 年 5 月中旬至 6 月初对该桥 5[#]墩的 4[#]节段进行结构温度和挠度观测。这里仅列出 5 月 20 日和 5 月 21 日的实测数据,因为此时桥梁结构正处于悬臂施工阶段,便于观测桥梁线形变化。

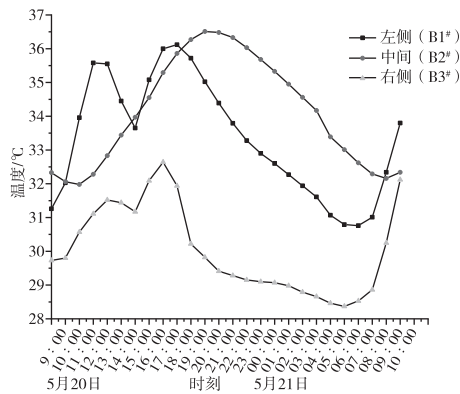
2.1 顶、底板测试结果

顶、底板温度变化时程曲线如图 3 所示。

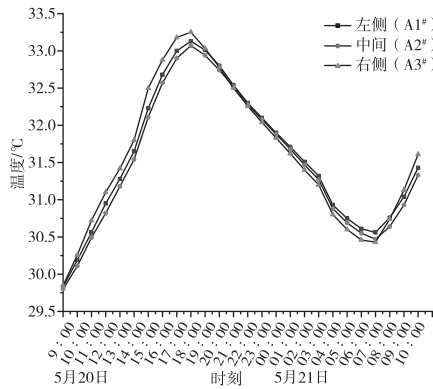
由图 3 可知,顶、底板各温度测点的单日温度时程曲线随着日出而升日落而降,其中顶板处最大温度出现在 17 点左右,底板处最大温度出现在 18 点左右。顶板右侧(B3[#])测点的温度低于另外两个测点,原因是右侧测点位于背阳侧,不易接受日照。底板处 3 个测点的温度变化基本相同,横向温差非常小^[10]。

顶板处的竖向实测位移如图 4 所示。

由图 4 可知,顶板处 3 个测点的竖向位移的变化趋势基本一致,在 16 点时,温度对顶板的影响达到最大。此时顶板 3 个测点中,左侧(B1[#])测点的竖向位移最大,为 7.84 mm。



(a) 顶板测点温度变化时程曲线



(b) 底板测点温度变化时程曲线

图3 顶、底板测点温度变化时程曲线

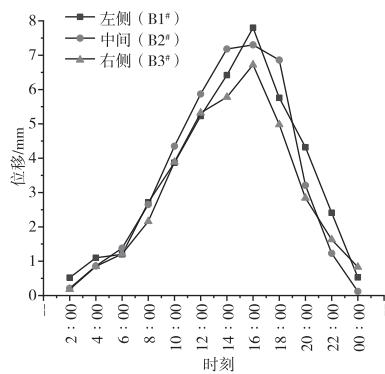


图4 顶板竖向位移

2.2 腹板竖向温度测试结果

5#墩柱4#节段的箱室内、外温度变化见图5。

由图5可知,箱室内的温度高于箱室外的,两者的温度均在16点半左右达到最大,箱室外24小时最大温差为17.5℃,箱室内24小时最大温差为19.5℃。箱室内、外的最大温差为3℃。

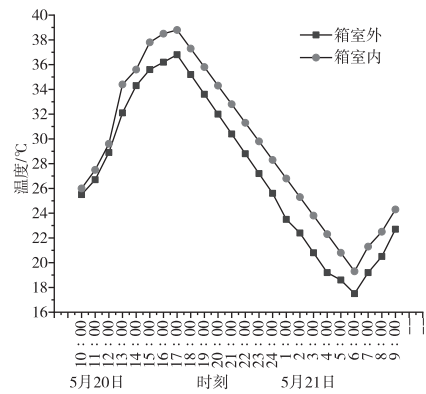
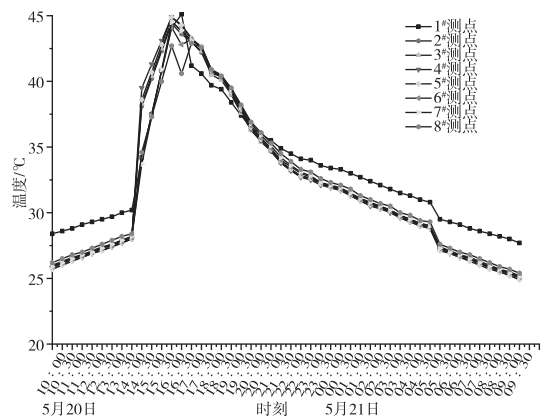
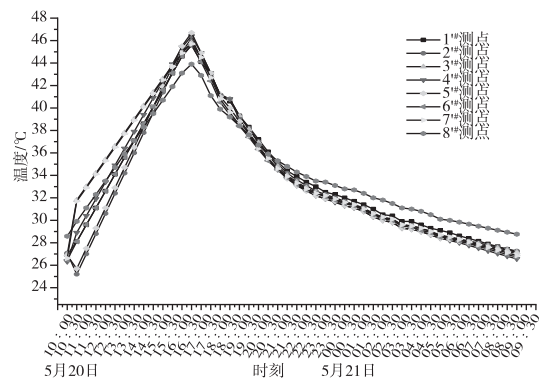


图5 箱室内外温度变化曲线

左腹板(向阳侧)、右腹板(背阳侧)两侧温度变化时程如图6所示。



(a) 左侧腹板测点温度变化时程曲线



(b) 右侧腹板测点温度变化时程曲线

图6 左、右侧腹板测点温度变化时程曲线

由图6可知,波形钢腹板上所有测点的温度值变化均形似于三角形,左侧腹板(向阳侧)在16点时温度达到最大,最大值为45.1℃,右侧腹板(背阳侧)在16点半时温度达到最大,最大值为46.7℃。左、右两侧腹板处测点的温度在达到最大值前

增长速率都比较快,其中左侧腹板在下午 2 点时出现断崖式增长。造成这种差异的原因是左侧腹板较右侧腹板更易接受日照。

3 数值模拟

3.1 有限元模拟

采用 ABAQUS 建立的有限元计算模型如图 7 所示,建模时所用材料为 C55 混凝土和 Q345qc 钢材。网格划分遵循最优原则,文中选用 Abaqus/Explicit 中修正的线形六面体 (C3D8R)。模型中底板网格尺寸为 366.67 mm×400 mm,腹板处为 430 mm×513 mm,顶板处为 764.3 mm×764.3 mm,边缘处为 33.3 mm×764.3 mm,中间 0# 块为 485.7 mm×587.4 mm。

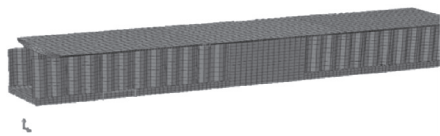


图 7 有限元计算模型

在模型建立后,将 Potgieter^[9] 的温度梯度公式应用于有限元分析中,见公式(1)。

$$T[S,TV,v] = 28.2(S\alpha/29089 - 0.7) + 0.342(TV - 11.1) + [32.3 - 4.84v + 0.77v^2 - 0.088v^3 + 0.00463v^4]$$
 (1)

式中: T - 温差(℃); S - 每日太阳辐射总量(kJ/m^2); TV - 环境温度变化(℃); v - 风速(m/s); α - 吸收率。

太阳辐射强度可通过太阳辐射强度计算公式求得,结果见表 1;对流换热系数参照文献[11]中的公式求得,结果见表 2。

表 1 不同时间的太阳辐射强度(W/m^2)

时间	顶板	底板及腹板	时间	顶板	底板及腹板
6 点	124.62	8.34	16 点	670.52	120.31
8 点	430.03	28.65	18 点	230.54	80.37
10 点	885.24	66.74	20 点	152.35	42.58
12 点	1012.33	173.22	22 点	123.81	23.12
14 点	912.31	167.36	0 点	119.5	4.78

表 2 不同时间的对流换热系数($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

时间	顶板	底板及腹板	时间	顶板	底板及腹板
6 点	14.95	16.5	16 点	17.6	25.41
8 点	18.64	23.22	18 点	12.38	23.19
10 点	23.43	27.46	20 点	11.25	20.54
12 点	27.67	32.21	22 点	11.03	14.88
14 点	20.21	28.9	0 点	10.96	13.94

综上,对 Potgieter 公式中的参数初步选取为:每日太阳辐射总量 S 取 $5376.72 \text{ kJ}/\text{m}^2$,吸收率 α 取 0.7,风速 v 取 $5 \text{ m}/\text{s}$ (是 5 月中旬至 6 月初的风速均值),环境温度变化 TV 取 $17.5 \text{ }^\circ\text{C}$ (箱室外最大温差)。

3.2 数值模拟结果及分析

3.2.1 顶板竖向位移

顶板竖向位移的实测值与数值模拟值见图 8。

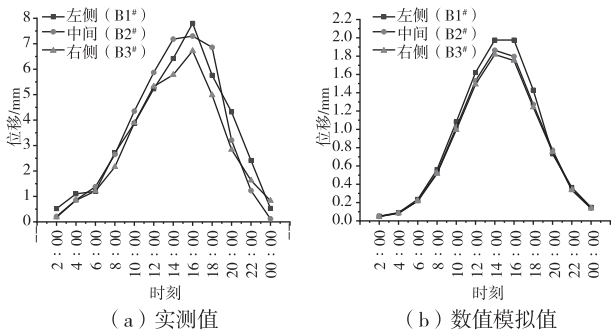


图 8 顶板竖向位移

由图 8 可知,顶板竖向位移的数值模拟值与实测值的位移值都在 16 点左右时达到最大,但两者之间的位移值相差很大,实测值要高于数值模拟值。这说明 Potgieter 公式中一些参数的数值选取不合理,需要做相应调整,使得数值模拟值接近实测值。

3.2.2 腹板竖向温度梯度数值模拟结果

不同时刻左侧腹板(向阳侧)竖向温度变化曲线见图 9,不同时刻右侧腹板(背阳侧)竖向温度变化曲线见图 10。

由图 9 可知,在 16 点时,左侧腹板(向阳侧)8 个测点中,位于波形钢腹板中部位置测点 4 和测点 5 的实测温度最高。原因是波形钢腹板的导热系数比混凝土的大,波形钢腹板位于顶板和底板之间,进而导致靠近两端混凝土测点的实测温度低于波形钢腹板中部位置测点的实测温度。而在其他时刻,靠近混凝土端测点的实测温度要高于波形钢腹板中部位置测点的实测温度。

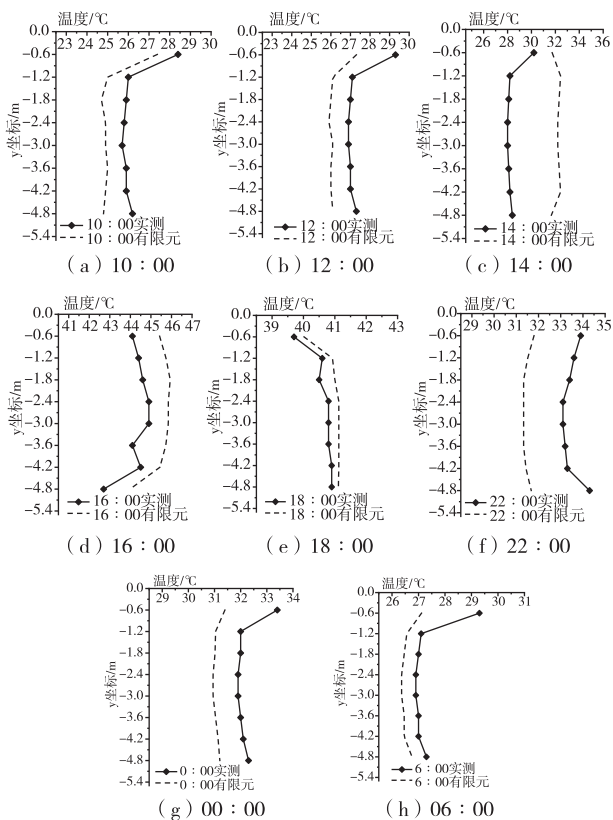


图9 不同时刻左侧腹板竖向温度变化

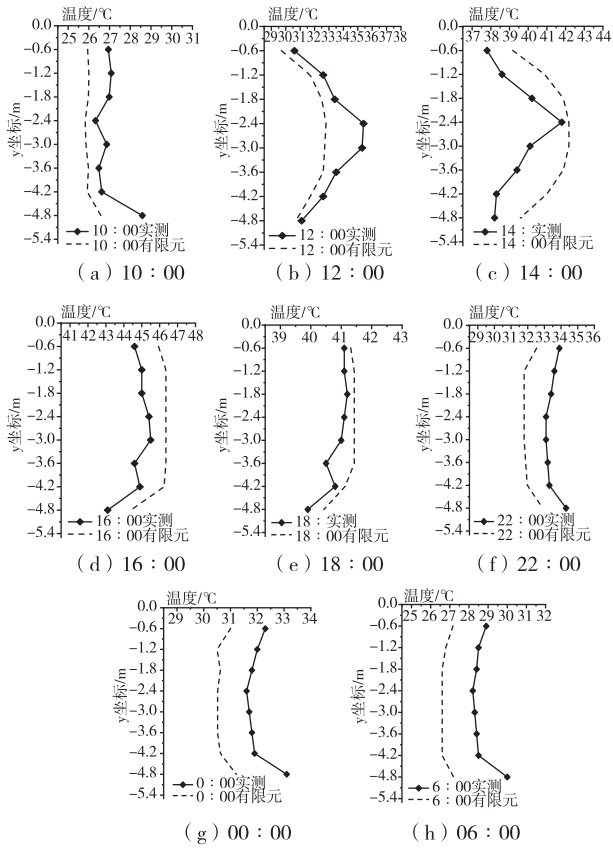


图10 不同时刻右侧腹板竖向温度变化

由图10可知,在12点、14点和16点时,右侧腹板(背阳侧)8个测点中,位于波形钢腹板中部位置测点4的温度最高。原因和左侧腹板一样。

对比实测值与数值模拟值,左侧腹板(向阳侧)和右侧腹板(背阳侧)两者竖向温度的实测值与模拟值的变化趋势均一致,虽然两者的实测值与模拟值均有差值,但温度差值均在1~3℃之间,属于可控范围。

由表3可知,当 α 取0.6, v 取8 m/s时,温差 $T[S,TV,v]$ 为2.91℃,此时最接近3℃。调整后的温度场模型在顶板边缘悬臂端的位移值与实测值相差不大,两者的变化趋势基本一致(图11),表明该温度场模型适用于此桥。

表3 参数调整

α	$v/(m/s)$	$T[S,TV,v]/^{\circ}C$
0.6	5	4.82
	6	1.73
	7	2.66
	8	2.91
0.7	5	2.25
	6	2.25
	7	3.18
	8	2.86
0.8	5	5.86
	6	2.77
	7	3.70
	8	3.96

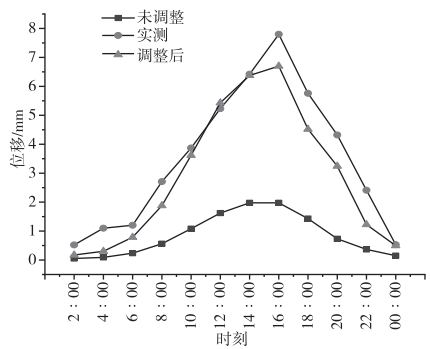


图11 各时刻顶板边缘悬臂端位移比较

4 结论

对于某波形钢腹板连续刚构桥的温度场模型,

本文通过现场测试和数值模拟后得到以下结论:

(1) 波形钢腹板竖向温度梯度的实测值与模拟值吻合良好,当吸收率 α 取0.6,风速 v 取8 m/s时,顶板边缘悬臂端位移的实测值与模拟值吻合良好。

(2) 该桥的温度场模型为: $T[S, TV, v] = 28.2\left(\frac{S\alpha}{29089} - 0.7\right) + 0.342(TV - 11.1) + [32.3 - 4.84v + 0.77v^2 - 0.088v^3 + 0.00463v^4]$,其中每日太阳辐射总量 S 取5376.72 kJ/m²,吸收率 α 取0.6,风速 v 取8 m/s,环境温度变化 TV 取17.5℃。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 陈宝春,黄卿维. 波形钢腹板 PC 箱梁桥应用综述[J]. 公路,2005(7):45-53.
- [2] 邓文琴,刘朵,冯杰,等. 波形钢腹板箱梁桥异步施工节段足尺模型试验研究[J]. 桥梁建设,2019,49(1):53-58.
- [3] 邓文琴,张建东,刘朵,等. 悬臂施工期波形钢腹板斜拉桥腹板剪力分配规律研究[J]. 世界桥梁,2018,46(2):47-51.
- [4] 周东波,金光雷,冯晓楠,等. 波形钢腹板 PC 连续梁异步悬臂施工工序研究[J]. 世界桥梁,2019,47(5):54-58.
- [5] 吕颖. 预应力波形钢腹板组合挑梁力学性能分析与试验研究[D]. 长沙:湖南大学,2006.
- [6] ABID S R, TAYI N, ZAKA M. Experimental analysis of

temperature gradients in concrete box-girders[J]. Construction and building materials,2016,106:523-532.

- [7] SONG X M, MELHEM H, LI J, et al. Effects of solar temperature gradient on long-span concrete box girder during cantilever construction[J]. Journal of bridge engineering, 2016, 21(3):04015061.
- [8] 叶见曙,贾琳,钱培舒. 混凝土箱梁温度分布观测与研究[J]. 东南大学学报(自然科学版),2002(5):788-793.
- [9] POTGIETER I C, GAMBLE W L. Response of highway bridges to nonlinear temperature distributions[M]. University of Illinois at Urbana-Champaign,1983.
- [10] 郭翔飞. 波纹钢腹板预应力混凝土箱梁温度效应研究[D]. 西安:长安大学,2011.
- [11] ZHOU LR, XIA Y, JAMES M. Temperature analysis of a long-span suspension bridge based on field monitoring and numerical simulation[J]. Journal of bridge engineering, 2016, 21(1):1-10.

收稿日期:2022-07-20;修回日期:2022-08-26

基金项目:国家自然科学基金(52068037);中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司科技项目(KY2019-JG-09)。

作者简介:黄 华(1977-),男,高级工程师,主要从事桥梁与隧道方向的研究。